

Trauma craneoencefálico por proyectil de arma de fuego: revisión temática

Traumatic brain injury (TBI) by a firearm projectile: thematic review

Traumatismo craneoencefálico por proyectil de arma de fuego: revisión temática

Fecha de recepción: 2017/05/17 | Fecha concepto de evaluación: 2017/09/14 | Fecha de aprobación: 2018/05/10

Gabriel David Pinilla

Posdoctoral en Trastornos del Líquido Cefalorraquídeo.
Médico Investigador, Departamento de Neurocirugía,
Universidad Johns Hopkins,
Baltimore, Estados Unidos.
gabriel.pinilla@correo.uis.edu.co

Iliana María Castro Navas

Magister en Medicina Forense.
Perito Clínico Forense,
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses,
Bucaramanga, Colombia.
icastro@medicinalegal.gov.co

Carlos Julián Amaya Mujica

Médico y Cirujano.
Investigador
Grupo de Investigación en Cirugía y Especialidades (GRICES-UIS),
Universidad Industrial de Santander,
Bucaramanga, Colombia.
cjamayamujica@gmail.com

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Pinilla, G., Castro, I. & Amaya, C. (2018). Trauma craneoencefálico por proyectil de arma de fuego: revisión temática. *Revista Criminalidad*, 60 (2): 107-126.

Resumen

El Trauma Craneoencefálico (TCE) por Proyectil de Arma de Fuego (PAF) es una condición severa producida por alteraciones mecánicas sobre el encéfalo. En Colombia, uno de cada cinco homicidios se produce a nivel craneal. **Objetivo:** realizar una revisión de la literatura para identificar los aspectos médico-legales y clínico-quirúrgicos del TCE por PAF. **Metodología:** revisión realizada por medio de la búsqueda en bases de datos de la literatura médica, y recopilación de datos publicados por entidades gubernamentales. **Resultados:** el TCE por PAF es un evento epidemiológicamente constante, cuyos

patrones se relacionan con la presencia de conflictos armados. Se asocia con manifestaciones clínicas y complicaciones severas relacionadas con diversas variables, como el tipo de arma y munición, sexo de la víctima, región principal de la lesión y mecanismo de la muerte. La mortalidad en este evento es muy alta si no se realiza intervención quirúrgica, y de hacerlo, las lesiones determinan la reducción de la expectativa y la calidad de vida. **Conclusión:** el conflicto armado actual en Colombia hace del TCE por PAF un tema de importancia criminológica, criminalística y médico-legal.

Palabras clave

Trauma craneoencefálico, armas de fuego, crímenes de guerra, medicina legal (fuente: Tesoro de Política Criminal Latinoamericana - ILANUD).

Abstract

Traumatic brain injury (TBI) caused by a firearm projectile (FAP) is a severe condition produced by mechanical alterations on the encephalon. In Colombia, one in every five killings is produced at cranial level. **Objective:** to do a literature review to identify the medical-legal and clinic-surgical issues of TBI by FAP. **Methodology:** a review conducted by means of medical literature databases searching and data gathering published by governmental entities. **Results:** TBI by FAP is an event epidemiologically constant; and its standards are related to the presence of the armed

conflicts. It is associated with clinical manifestations and severe medical complications connected with diverse variables such as type of weapons and ammunition, sex of the victims, main region of the lesion and death mechanism. If the surgical operation is not performed, the mortality in this event is very high, but if the surgery is carried out, the lesions determine the decrease of life expectancy and quality. **Conclusion:** the current Colombian armed conflict makes TBI by FAP a topic of criminological, criminalistics and medical-legal relevance.

Key words

Traumatic brain injury, firearms, war crimes, legal medicine (source: Tesauro de Política Criminal Latinoamericana - ILANUD).

Resumo

O Traumatismo Cranioencefálico (TCE) por Projétil de Arma de Fogo (PAF) é uma condição severa causada por alterações mecânicas sobre o encéfalo. Na Colômbia, um em cada cinco homicídios é produzido na zona craniana. **Objetivo:** realizar uma revisão de literatura para identificar os aspectos médico-legais e clínico-cirúrgicos do TCE por PAF. **Metodologia:** revisão realizada por meio de busca em bases de dados da literatura médica e coleta de dados publicados por entidades governamentais. **Resultados:** o TCE por PAF é um evento epidemiologicamente constante, cujos

padrões relacionam-se à presença de conflito armado. Associa-se a manifestações clínicas e complicações graves vinculadas a diversas variáveis, como o tipo de arma e munição, sexo da vítima, lugar principal da lesão e mecanismo da morte. A mortalidade, decorrente desse evento, é muito alta caso não seja realizada intervenção cirúrgica. No pós-cirúrgico, as lesões determinam a redução da expectativa e da qualidade de vida. **Conclusão:** o conflito armado atual na Colômbia faz do TEC por PAF um tema de importância criminológica, criminalística e médico-legal.

Palavras-chave

Traumatismo cranioencefálico, armas de fogo, crimes de guerra, medicina legal (fonte: Tesauro de política criminal latinoamericana - ILANUD).

Introducción

El Trauma Craneoencefálico (TCE) corresponde a la denominación otorgada al conjunto de signos y síntomas producidos por una alteración mecánica sobre el encéfalo, en la cual ciertas variables cinemáticas (velocidad, aceleración y energía) determinan los efectos fisiopatológicos derivados, medidos a través del estado de conciencia, complicaciones, secuelas y mortalidad (Guzmán, 2008). Los mecanismos fisiopatológicos iniciales pueden derivarse del impacto o jalón mecánico sobre el cráneo (deltas de aceleración positivos y negativos) inducido por un objeto contundente, mientras este se halla en estado de reposo, con lesión secuencial desde el cuero cabelludo hasta la masa encefálica. Además, la gravedad de las lesiones se incrementa debido a alteraciones dinámicas sobre

la barrera hematoencefálica y aumento de la presión intracraneal (con compromiso del tallo cerebral o los pares craneales, o sin él) (Mantilla, 2008). Otro mecanismo corresponde a las lesiones por conversión de energía cinética a hidráulica, con expansión de la onda de choque en sentido lineal y rotacional sobre la masa cerebral, lo cual ocasiona daño difuso o incluso estallido craneal (Aso-Escario, 1999).

En general, el TCE incluye dos noxas principales: una de tipo primario, inmediata a la lesión traumática y que induce disfuncionalidad reversible o no, y otra secundaria, referente a los efectos en el organismo inducidos por el daño primario, entre los que se destacan la aparición de hematomas dentro de la bóveda craneal, con el consecuente aumento de la presión intracraneal (Guzmán, 2008; Aso-Escario, 1999). Las lesiones cerebrales primarias se clasifican en dos tipos (tabla 1).

Tabla 1.
Lesiones cerebrales primarias (con base en Peña-Quiñones & Hakim-Daccach, 2014; Mantilla, 2008).

Tipo	Lesión	Definición
Difuso	Conmoción cerebral	Alteración inmediata de la conciencia y crisis transitorias.
	Lesión axonal difusa	Daño por el jalón, el cual induce ruptura axonal y microhemorragias en el tallo cerebral, que se traducen en compromiso prolongado de la conciencia.
	Hemorragia subaracnoidea	Induce isquemia cerebral.
Focal	Contusión cerebral	Lesión parenquimatosa a distancia en lóbulos temporales y occipitales (en TCE por PAF).
	Laceración cerebral	Diversas manifestaciones clínicas que pueden desencadenar hipertensión craneana, con herniación inmediata por proyectiles de alta velocidad, o transtentorial por los de baja velocidad, pero también daño axonal difuso cuando el proyectil ha seccionado regiones de interneuronas en el cuerpo calloso o en el tallo cerebral.

Se entienden como lesiones cerebrales secundarias: hipertermia tisular; edema (vasogénico, característico junto con la hipertermia en el TCE por HPAF), hiperemia, trombosis, hematomas, hipoxia e isquemia cerebrales, así como la concentración elevada de radicales libres neurotóxicos, hipertensión endocraneana e infecciones (American Association of Neurological Surgeons, 2011; Guzmán, 2008). Desde una perspectiva neuropatológica, además de la lesión

primaria y secundaria, la literatura incluye la existencia de lesiones terciarias como efectos tardíos. Entre estas se incluyen leucomalacia y neurodegeneración, producidas por anoikis, apoptosis o necrosis (Guzmán, 2008). La correspondencia entre el TCE y la severidad del cuadro está dada por la Escala de coma de Glasgow (GCS) (tabla 2) (Casas-Fernández, 2008; Guzmán, Moreno & Montoya, 2008; Peña-Quiñones, 2003).

Tabla 2.
Escala de coma de Glasgow (extraída de Guzmán et al., 2008)

Puntaje	Categoría	Conducta
13-15	Leve	Observación en casa u hospitalización, según presencia de lesión clínica específica o alteración imaginológica.
9-12	Moderado	Hospitalización y tratamiento.
3-8	Severo	Traslado a unidad de cuidados intensivos, intubación y posible monitoreo de la presión intracerebral.

Con relación a la epidemiología, en España se calcula una incidencia de 150-250 por cada 100.000 habitantes, de los cuales 75-125 corresponden a menores de 15 años (Casas-Fernández, 2008). A su vez, en Estados Unidos ocurren al año unos 17 millones de casos de lesiones craneoencefálicas traumáticas (American Association of Neurological Surgeons, 2011). Entre los mecanismos que pueden ocasionar estas lesiones traumáticas, se incluyen: traumatismos por accidente de tránsito, caídas a diversas alturas, accidentes laborales o deportivos (Karasu, Sabanci, Cansever, Hepgul, Imer, Dolas et al., 2009), violencia doméstica y violencia interpersonal con objetos contundentes (armas negras) (Muñoz, Pérez & Pastor, 2013), elementos cortantes, punzantes o cortopunzantes (armas blancas), proyectiles de arma de fuego, o lesiones por explosivos (Hussain & Ehsan, 2013).

En países con historial de conflictos internos, como Colombia, El Salvador, Guatemala, Jamaica y Sudáfrica, existe una prevalencia significativa de lesiones letales y no letales por proyectil de arma de fuego (Aguirre & Restrepo, 2010), de acuerdo con el Informe de la Carga Global de Violencia Armada (GBAV, por sus siglas en inglés) propuesto por la Oficina de Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas. De tal manera, las pérdidas económicas anuales producto de las muertes prematuras por conflictos armados pueden ser de hasta US\$163.000 millones (Organización de Naciones Unidas, 2008).

Colombia, según las cifras del GBAV, es el segundo país del mundo en donde su población aumentaría de manera significativa la expectativa de vida, si los homicidios no existieran. Cifras recientes en Colombia revelan que existen alrededor de 560.000 armas con salvoconducto, lo que se relaciona además con la existencia de 1'240.000 armas que pertenecen a los organismos del Estado. Según el ODIYA (Observatorio de Drogas Ilícitas y Armas) de la Universidad del Rosario y la Fundación Ideas para la Paz en Colombia, por cada arma legal existen cuatro armas ilegales. En síntesis, existen alrededor de 9 millones de armas en Colombia, muchas de las cuales fueron disparadas y causaron el 76,8% (10.508) de los casos de homicidios y el 16,3% (275) de los suicidios (ODIYA, 2012). En cuanto a la clasificación topográfica, una región predilecta como blanco del proyectil de arma de fuego es la craneofacial, en virtud de la conocida severidad que representan las lesiones en este territorio anatómico.

El objetivo de este artículo es hacer una revisión narrativa de los aspectos fundamentales del trauma craneoencefálico (epidemiológicos, forenses y clínicos) producido por proyectiles de arma de fuego,

contextualizándolo al medio colombiano con base en literatura nacional y en las cifras del año 2013 del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

Metodología

Este es un artículo de revisión narrativa de la literatura, realizado por medio de la búsqueda en bases de datos tales como Medline (PubMed), Scopus, Scielo y Latindex, usando como palabras clave, en español e inglés, los términos Herida por Proyectil de Arma de Fuego (*Gunshot Wound*), Trauma Cráneo Encefálico (*Traumatic Brain Injury*) y Cabeza (*Head*), en sus diferentes combinaciones. La mayor proporción de artículos se obtuvo de bases de datos no latinoamericanas, y se incluyeron en la revisión aquellos que respondían al objetivo principal de dicha revisión, y que fueron publicados de manera predominante desde el año 2000. Tras un ejercicio de búsqueda tipo “bola de nieve”, se incluyeron aquellas fuentes antiguas que fueron repetidamente citadas en la literatura. Las publicaciones escritas en otros idiomas, distintos a español e inglés, fueron excluidas en caso de no presentar resumen en dichas lenguas. Los datos estadísticos para Colombia fueron extraídos de la publicación Forensis, y aquellos correspondientes a la caracterización del evento se obtuvieron del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF).

Epidemiología

En el ámbito histórico, estudios de antropología forense en fosas comunes, producto de la Segunda Guerra Mundial, han reportado la presencia de herida múltiple por proyectil de arma de fuego (HPAF) en la región occipital (Boric, Ljubkovic & Sutlovic, 2011; Gojanovic & Sutlovic, 2007). En otros conflictos, como el de la guerra de Irak (2006), una serie del Hospital Militar Británico reportó TCE penetrante en el 7,3% de las HPAF y en el 5% de las heridas por arma blanca (Ramasamy, Harrison, Stewart & Midwinter, 2009), mientras que en Israel, producto del conflicto religioso, el 39,21% de los niños lesionados presentó TCE por HPAF y el 6,5% asociado a explosiones (Amir, Aharonson, Peleg, Watsman & The Israel Trauma Group, 2005).

En Estados Unidos (EE. UU.), se reportan al año alrededor de 33.000 muertes por HPAF, de las cuales la mitad corresponde a disparos en el cráneo, lo que equivale a 8,5-18 por cada 100.000 habitantes (Coronado, Xu, Basavaraju, McGuire, Wald, Faul et al., 2011; Palorno, Ramos, Palorno, López & Santos, 2008).

En cuanto a lesiones personales, en la armada del mismo país, el 17% corresponden a lesiones balísticas en el polo cefálico, lo que ocasiona una disminución de 0,8 días en la expectativa de vida (Richmond & Lemaire, 2008). Respecto al TCE, en esta región se originan 14-35% de las muertes causadas por PAF entre los civiles, pero en los militares es hasta del 50%. Datos del Reino Unido ubican esta proporción en el 33,3% (Maguire, Hughes, Fitzpatrick, Dunn, Rocke & Baird, 2007), mientras en la India es del 20% (Saraswat, 2009) y en Nigeria del 14,3% (Babatunde, Oladimeji, Samuel & Ambose, 2013).

En Turquía, la HPAF corresponde a la segunda causa más frecuente de TCE entre los 16-35 años (13,5%) (Isik, Bostanci, Yildiz, Ozdemir & Gokyar, 2011), después de los accidentes de tránsito, mientras en Nigeria, la HPAF corresponde, en un 10,2%, a heridas en cráneo y cuello (Udosen, Etiuma, Ugare & Bassey, 2006). En 1920, en el Hospital de la Armada de EE. UU., se propusieron cifras de mortalidad del 4,5% para heridas del cuero cabelludo, 9,1% para fracturas con duramadre intacta y 53,6% en heridas lacerantes de la duramadre con lesión intracerebral. Lo anterior correspondía a una mortalidad general de 27,9% para el TCE por PAF (Towne & Goethals, 1980). De otro lado, datos de autopsias realizadas en jóvenes brasileños revelan una tendencia a HPAF múltiples, siendo la mandíbula la región facial de mayor compromiso (Leite, Barros, Araujo, Suenya de Almeida, Cabral, Leite et al., 2012). Lo anterior no descarta la posibilidad de otros compromisos faciales, como la destrucción de los globos oculares (Desai & Mahon, 2011) o la fractura de la porción petrosa del hueso temporal con laceración de la arteria carótida interna (Abad, McHenry, Carter & Mitchell, 2009).

Con relación a cifras recientes reportadas para Colombia, solo el 12% de los pacientes con trauma, del estudio CRASH2, presentaron TCE (Mejía, Puentes, Ciro & Morales, 2009), en un contexto donde, además, hasta el 50% de la mortalidad por trauma de guerra ocurre en pacientes con TCE severo (Arias, Arroyo, Guzmán, Barragán, Ibata & Parra, 2011). Según cifras oficiales, para el 2013 se presentaron 13.683 homicidios, de los cuales el 76,79% (10.508) fueron causados por PAF y, a su vez, el 19,03% (2.605) por lesión directa en cráneo (INMLCF, 2013). Además, los casos de suicidios aportan 1.685 casos, de los cuales el 16,32% (275) se produjeron por PAF; entre estos casos, el 69,45% (191) presentaron como causa primaria de muerte el TCE penetrante (INMLCF, 2013). Complementariamente, se presentaron 155.507 lesiones no fatales, dato que incluyó 2.674 casos (1,71%) de HPAF, y en 20 de estos (0,75%) el blanco fue la región cráneo-facial (INMLCF, 2013). En cuanto a los grupos etarios para homicidios

y suicidios, el pico de incidencia se registró dentro de los 20 y los 35 años, mientras en lesiones personales fue entre 35-54 años. A nivel departamental, los casos incidentes de homicidios y suicidios fueron mayores en los departamentos de Valle del Cauca, Antioquia y Bogotá, D. C., y para las lesiones no letales, en Antioquia, Valle del Cauca, Huila y Cauca (INMLCF, 2013).

Por lo general, en el departamento del Cesar, el TCE por agresión física se reportó en el 7,9% (Alvis-Miranda, Adie-Villafañe, Velásquez-Loperena, Velásquez-Loperena, Carmona-Meza, Alcalá-Cerra et al., 2013), mientras que en el municipio de Sogamoso (Boyacá), la violencia intrafamiliar generó el 5,6% de los casos (Montaña, Parada & Rodríguez, 2018), sin que se especificara el tipo de arma en ninguna de las dos fuentes. Para el caso práctico del Hospital Universitario de Santander (centro de referencia regional del nororiente colombiano), la proporción de TCE por PAF en una serie pequeña de neuro-imágenes fue del 2,12% (Vásquez & Franco, 2014), lo que no difiere significativamente del 2,1% referido en un estudio del Hospital Hernando Moncaleano de Neiva (Alarcón, Reyes & Barrera, 2004) o del 3,4% reportado por el Hospital de San José de Bogotá (Quiroga, Ávila, Badillo, Cleves, Garavito, Huertas et al., 2009). Sobre la severidad del cuadro, según datos del Hospital Universitario del Valle, el PAF como mecanismo de trauma corresponde al 30,97% de los TCE severos (Guzmán, Moreno & Montoya, 2008). En población pediátrica, la serie de 63 casos con TCE severo en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCIP) del Hospital de la Misericordia, incluyó un 1,6% asociado con PAF (Páez-Gaitán, 2016).

En cuanto a la epidemiología forense del TCE, la referencia más cercana al contexto colombiano es una cohorte de 1.032 autopsias, realizadas durante un año en el INMLCF sede Bucaramanga (Pérez & Mantilla, 1997), donde a 353 (34,2%) cadáveres se les anotó como causa de muerte TCE. De esta muestra, 141 (40%) tuvieron como mecanismo de muerte los PAF únicos (23,61%) y múltiples (16,38%). Al cruzar algunas variables de interés con el sexo, se evidenció que el 87,7% de los casos de heridas por PAF único y el 90,9% de PAF múltiples, se presentaron en cadáveres de sexo masculino y conformaban el 49,3% de los casos de muerte por TCE en la segunda década de la vida (Pérez & Mantilla, 1997). Esto concuerda con hallazgos en otras regiones de Latinoamérica, como Honduras, donde las víctimas de TCE por PAF fueron en un 91% hombres (Bienst-Castillo & Valle-Pérez, 2000).

Debido a la severidad de la HPAF, resulta de importancia la caracterización de las secuelas derivadas. No obstante, los estudios neuroepidemiológicos realizados en Colombia, de modo particular en el

Valle del Cauca, Aratoca y Piedecuesta (Santander), reportaron una prevalencia de secuelas de 6,4 (IC95% 5,0-7,8) (Pradilla, Vesga, León & Grupo GENECO, 2003), 3,7 (IC95% 0,0-7,4) (Takeuchi & Guevara, 1999), 9,2 (Pradilla, Vesga, León & Grupo GENECO, 2002) y 17,7 (IC95% 16,7-18,6) por mil habitantes (Pradilla, Vesga, Díaz, Pinto, Sanabria, Baldovino *et al.*, 2002), respectivamente, sin especificar el mecanismo causante de las mismas. De igual forma sucede con la investigación neuropsicológica llevada a cabo por Quijano, Arango y Cuervo (2010), que demuestra alteraciones en la atención, concentración, memoria y lenguaje en pacientes con TCE, en comparación con los controles ($p=0,01$).

Aspectos médico-forenses

Conceptualización desde la patología forense

El TCE penetrante más frecuente se debe a PAF; sin embargo, la fisiopatología de su accionar es similar a otros elementos penetrantes, tales como armas blancas, cucharas, dientes (Singh *et al.*, 2010), puntillas (Hussain & Ehsan, 2013) u otros instrumentos exóticos (Lingamfelter, Duddlesten & Quinton, 2009; Cardoso, Leal, Arantes, Fonseca & Pinheiro, 2004), causantes de hemorragias subaracnoideas por lesión de diversos territorios arteriales. De tal manera, en la HPAF, la caracterización de la lesión es interdependiente de la velocidad, deformación, rotación y fragmentación del proyectil. Las regiones del sistema nervioso central que pueden verse afectadas por los PAF incluyen: la médula espinal (pudiendo generar fístulas subaracnoido-pleurales y neumocéfalo) (Kairinos, Nicol & Navsaria, 2009), el tallo cerebral, el tálamo óptico, la cápsula interna con sus fibras y la corteza cerebral (Bury, 1921).

La fisiopatología natural del TCE por PAF ha sido estudiada en ratas, en las cuales se ha identificado, por medio de RT-PCR (reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real), un aumento en la expresión (durante las primeras 3-6 horas posherida) de los genes del factor de necrosis tumoral α , interleucinas ($I\beta$ y 6) y moléculas de adhesión celular (V-CAM, I-CAM y E-Selectina) (Williams, Wei, Dave & Tortella, 2007). Subsecuentemente, se produce infiltración de sangre periférica con abundantes neutrófilos a las 24 horas y macrófagos a las 72 horas. En la inmuno-histoquímica, se ha observado reactividad de los astrocitos (GFAP) a las 6 horas, y de la microglia (OX-18) a las 72 horas, siendo esta revertida de la corteza cerebral a las 108 horas. En este periodo, la activación celular favorece inflamación

talámica retardada y degeneración estromal. Existen investigaciones realizadas en conejos, en los que se ha evidenciado un aumento de la expresión de la proteína quinasa estimuladora de mitógeno P38, la cual favorece la apoptosis, diferenciación celular y autofagia (Huang, Xu & Ke, 2005), mientras que en gatos se han demostrado alteraciones de la microcirculación cerebral, disfunción vasomotora (Zhu, Guo & Xu, 2004), ruptura de las estructuras de las células neurales periféricas con fuga de los organelos y degeneración vacuolar de la vaina de mielina (Ma, Xu & Zhu, 2004).

En el campo médico-forense, la clasificación del TCE por PAF ha sido propuesta desde 1918 por el padre de la neurocirugía, Harvey Cushing (Cushing, 1918), y ratificada en la década de los 40 tras la Segunda Guerra Mundial. Esta consideración divide la entidad en herida acanalada (*gutter wound*), en donde el proyectil entra a través del cuero cabelludo e insinúa una especie de canal en el cráneo que al final es desviado, lo cual favorece el desplazamiento de algunos fragmentos óseos en dirección al tejido cerebral, y herida propiamente penetrante (*penetrating proper wound*), donde la munición pasa a través de la bóveda craneana y se aloja en el tejido cerebral en compañía de los fragmentos óseos que arrastra (Cushing, 1917).

Según Cushing, la herida acanalada genera contusión local y extrusión cerebral inevitable, y facilita la aparición de complicaciones, como el *fungus cerebri* (con sintomatología ocular) (Ferreira & Moura, 2008) y la encefalitis, con mortalidad de hasta el 24% (Keen & Thomson, 1871). Por el contrario, la herida propiamente penetrante produce grave extrusión cerebral, y su sintomatología depende de las características de la lesión, la cual, en general, es severa (16,3% mueren antes de llegar al hospital) (Bienst-Castillo & Valle-Pérez, 2000). Las principales complicaciones de esta herida son tempranas, como la compresión del tejido, y tardías, como el absceso cerebral (Peña-Quiñones & Hakim-Daccach, 2014), con una mortalidad de hasta el 36,6%. Ambos tipos se consideran especialmente peligrosos, si existe compromiso de los ventrículos laterales (Cushing, 1918; Horrax, 1919).

Desde el punto de vista forense, en los suicidios se han encontrado diferencias entre hombres y mujeres, respecto al orificio de entrada del proyectil. Los hombres prefieren halar del gatillo en la parte intraoral o sobre la región orbital izquierda, mientras las mujeres eligen la región temporal derecha y el entrecejo. Al parecer, no existen diferencias significativas en la preferencia por la región craneoencefálica como blanco, según el grupo etario (Asirdizer, Canturk, Carnturk, Yavuz & Sari, 2010). Sin embargo, de acuerdo con el rango del disparo, en las heridas por contacto firme se observa mayor predilección por la región temporal

derecha; en las dadas por contacto suave, por la región del entrecejo, y en las que ocurren por semicontacto angulado, por la modalidad intraoral (Asiridizer *et al.*, 2010). También, la literatura ha reportado la presencia de mayor mortalidad asociada a la herida en trayectoria latero-lateral (83%), en comparación con aquellas en sentido antero-posterior (25%) (Iza, Koyoli, Daneyamez & Koksel, 2005).

Sobre los hallazgos evidentes, es frecuente observar el agujero de entrada de un tamaño proporcional al de la boca del arma, pero el defecto interno es mucho mayor debido a las deciduas óseas, que se convierten en instrumentos penetrantes, y arrastran pelo y piel a la cavidad permanente. Dependiendo del rango del disparo, entre más cerca se hale del gatillo, mayor será el tatuaje y más evidente el anillo de Fish (externo o de conjugamiento, interno o cintilla de contusión) (Mantilla, 2008).

En heridas por contacto firme, donde el cuero cabelludo entra al cañón, se observa el orificio de entrada ennegrecido y con residuos de pólvora, los cuales son expelidos con presión, y atraviesan la piel y el cuero cabelludo (para lo que se requiere una velocidad de 150-170 pies por segundo) (Mantilla, 2008). Posteriormente colisionan con el mineral óseo y producen disección de la piel, con morfología estrellada de bordes evertidos (golpe de mina de Hoffman) (Algieri, Lazzarino, Fernández, Bernadou & Cipollone, 2013). Tras dicho desgarró, los residuos se depositan en la galea subaponeurótica y sobre el periostio, y conforman un tatuaje conocido como signo de Benassi, que permanece en los restos óseos (Sibón, Martínez, Vizcaya, Haro & Romero, 2009; Mantilla, 2008). Otros signos médicos forenses observables son los de Puppe Werkgartner (marca del contorno de la boca del arma en la piel del cuero cabelludo), Shusskannal (ahumamiento entre las tablas óseas), Fraenckel (ahumamiento de la tabla interna) y Bonnet (el orificio en la tabla interna es mayor e irregular, con forma de cono truncado) (Vadra, 1997; Mantilla, 2008; Sibón *et al.*, 2009).

En la serie de autopsias del INMLCF, las HPAF únicas y múltiples comprometieron el rostro en el 95,1% y 89,4%, respectivamente (Pérez & Mantilla, 1997). En todos los casos de interés, se presentaron fracturas de la tabla ósea del cráneo, desgarró de meninges y laceración de estructuras intracerebrales. Con respecto a las lesiones secundarias, los hematomas se produjeron en el 14,8% para PAF único, y el 7,6% para múltiple, con predominancia subdural (69,3% y 100%) o subaracnoideo (30,7% y 0%). Por el contrario, cambios inflamatorios, como el edema, solo fueron observados en el 25%, el cual tuvo tendencia a ser generalizado. Aún más, la proporción para fractura conminuta fue del 97,5% para PAF único y

98,5% para PAF múltiple, así como del 32,1% y 30,3% para compromiso óseo de la base del cráneo, respectivamente (Pérez & Mantilla, 1997).

Sobre las fracturas, pueden clasificarse como lineales (con superficie de impacto $>5 \text{ cm}^2$) o deprimidas ($<5 \text{ cm}^2$) (Delgado, Hernández & Pérez, 2011), y se producen al superar el módulo de elasticidad craneal, por lo que la energía calórica de los proyectiles deberá ser de al menos 64,69 joules en la región frontal, 5,85 en la occipital, 95,50 en la temporal y 79,93 en el vértice, para provocar la lesión (Font, 1992).

En el análisis del TCE por PAF múltiple, el signo de Chavigney permite establecer el orden de producción de las lesiones, teniendo en cuenta la trayectoria de las fisuras (Vadra, 1997). En general, para identificar las diferencias entre el orificio de entrada y el de salida, se debe reconocer que: si hay disparo con cañón tocante, el orificio de entrada es estrellado y más grande; de lo contrario, es redondo; las lesiones en el orificio de entrada son mayores en la tabla interna que en la externa; para el de salida esta condición es invertida; los remanentes óseos están invertidos en el orificio de salida, el cual es más grande siempre y cuando la lesión no corresponda a un disparo a contacto, y que en los casos de suicidio en la región temporal, el orificio de salida se encuentra más arriba que el de entrada (Aso-Escario, 1999).

Finalmente, el porcentaje de muerte en los pacientes con TCE por PAF se relaciona con la localización de la lesión, así: lóbulo frontal, 2,7%; temporal, 9,2%; parietal, 5,4%; occipital, 4,3%; fosa posterior y tallo cerebral, 93,3%; región orbitocraneal, 9,5%, y múltiple, 27,9% (Solmaz, Kural, Temoz, Secer, Duz, Gonul *et al.*, 2009). Dentro de las causas intermedias de muerte, en orden de frecuencia, se encuentran el daño cerebral difuso, la infección, la lesión del tallo cerebral y el tromboembolismo pulmonar (Solmaz *et al.*, 2009).

Aspectos de las armas y los proyectiles

La clasificación médico-legal para el traumatismo penetrante de cráneo por PAF se establece en relación con la velocidad de entrada y de salida. Estos traumatismos pueden ser de baja velocidad (250-450 m/s) por armas cortas o de alta velocidad ($>450 \text{ m/s}$) por armas largas (Mantilla, 2008). El método de Pollak permite determinar el arma a partir del proyectil recuperado, y con ello el ángulo entre los conductos de salida gaseosa y el perno, y la distancia entre la porción central del tatuaje y la herida. Así, es factible identificar el ángulo de entrada anteroposterior del proyectil (Aso-Escario, 1999).

Los casos de HPAF de alta velocidad son en un 60% por fusiles y 40% con subametralladora, y la herida

de mayor prevalencia es en la región frontotemporal (Bakir, Temiz, Umur, Aydi & Torun, 2005). Si las armas utilizadas son de aire comprimido (Dalgic *et al.*, 2010), las regiones de entrada predominantes son el hueso temporal, la escama occipital y la órbita (Mushtaque, Mir, Bhat, Parray, Akhanday, Dar *et al.*, 2012). De esta manera, a pesar de que parecen menos dañinas, en comparación con el resto de las armas, pueden acceder al tejido cerebral y comprometer ambos ventrículos. Aún más, el principal compromiso en el TCE por proyectil de armas de aire comprimido es la fuga de líquido cefalorraquídeo, aunque también pueden producir abscesos cerebrales (Ransohoff, 1909) y, en otros sistemas, compromiso de los vasos cervicales. Este tipo de proyectiles son de particular prevalencia en víctimas adolescentes (Bethune, Hern, Qayyum, Pratap & Brown, 2004).

En un reporte de caso de Uganda, se refiere el compromiso por balas de rifle tipo AK-47, con alojamiento del proyectil en la vaina carotídea derecha, a nivel de las vértebras C6-C7, observándose orificio de entrada en el cuero cabelludo, fractura conminuta de mandíbula y compromiso de los nervios facial y trigémino, así como del oído medio (Ongom, Kijjambu & Jombwe, 2014). En estos casos las heridas de entrada son amplias y anteceden heridas estructurales severas, por lo que configuran gran dificultad para identificar la trayectoria, de modo que se requieren estudios radiológicos adicionales (Ongom *et al.*, 2014; Aderet, 2009). En heridas por proyectil de pistola de perno cautivo (Oikonomou, Astrinakis, Birbilis, Pavlidis & Prassopoulos, 2011), se encuentra al final de la herida un pequeño fragmento óseo, sin residuos metálicos ni orificio de salida (Santín-Amo, Castro-Bouzas, Arcos-Algaba, Díaz-Cabanas, Serramito-García, Bandín-Díez *et al.*, 2010).

Sobre los suicidios planeados, un reporte de caso relaciona el disparo de rifle M-16 como causante de TCE por PAF (Aderet, 2009). Es importante diferenciar las tentativas de suicidio o suicidios consumados con aquellas lesiones, letales o no, de tipo accidental (como disparar el arma mientras se le realiza limpieza), ya que pueden acompañarse de condiciones atípicas, como el atasco del proyectil en el cañón y la penetración de este en el cráneo (Agrawal, Malla, Joshi, Kumar & Koirala, 2008).

Con relación a los tipos de balas, algunas simulaciones de la proliferación bacteriana han concluido que el riesgo de infección en la cavidad permanente es el mismo tanto en los proyectiles encamisados (fusil) como en los semiencañados o de punta blanda (revólver), pero mayor en la cavidad temporal para estos últimos, incluso cuando la significancia de esta cavidad sea mayor para heridas por proyectiles de alta

velocidad (Von See, Majeed, Stoetzer, Wilker, Rucker & Gellrich, 2011). La cavidad temporal es 30 veces el tamaño del proyectil y colapsa 20 μ segundos tras haberse formado (Mantilla, 2008). De igual manera, se ha propuesto que con aquellos proyectiles cuyo orificio de ingreso sean los senos paranasales o la orofaringe, estos tienen mayor probabilidad de infectarse (Streinbruner, Mazur & Mahoney, 2007). En cuanto a la hemorragia, la velocidad y temperatura del proyectil parecen disminuir la probabilidad de que ocurra (Aso-Escario, 1999).

Peritaje desde la clínica forense

La valoración clínica que realiza el perito sobre el daño cerebral traumático por PAF confluye con la del resto de etiologías para TCE, por lo que se deben evaluar los antecedentes patológicos previos que puedan influir de manera adversa en la aparición de secuelas, además de consignar en la historia clínica forense los valores de la GCS en las diferentes evaluaciones, los valores de presión intracraneal, resultados de estudios de imágenes, reanimación cardiopulmonar, prescripción de antibióticos y manejo antitetánico, detalles principales de la intervención quirúrgica, electroencefalograma, pruebas de función auditiva, pruebas psicométricas y actividades de rehabilitación (Romero, Subirana, Planchat & Cuquerella, 2001).

Para la valoración médico-legal del TCE se recomienda definir a cabalidad las siguientes características: integridad anterior (antecedentes patológicos), caracterización topográfica (ubicación y causalidad de la lesión), cuantificación del estado de conciencia (clasificación por GCS), concordancia etiológica (relación entre el trauma y las secuelas), cronología (orden de aparición de los síntomas), continuidad sintomática (ausencia de remisión total) y exclusión de patologías alternas (ausencia de otras causas para dicha sintomatología) (Romero *et al.*, 2001). Después de ello, se deberán detallar las concausas anteriores (antecedente de patología neurológica), concurrentes (complicaciones de la herida producida) o posteriores (derivadas de la hospitalización o rehabilitación), así como el tiempo de reparación de la lesión primaria (incapacidad médico-legal), el tiempo de incapacidad para realizar sus actividades cotidianas (incapacidad laboral, dada por médico tratante) y la duración de la hospitalización (incluyendo todas las modalidades hospitalarias y extrayéndola de la historia clínica allegada) (Palorno *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2001).

Al examen físico se debe evaluar, con suficiente tiempo, la existencia de grafoestesia, estereognosia, sensibilidad facial (Palorno *et al.*, 2008; Romero *et*

al., 2001; Aso-Escario, 1999), alteraciones olfativas mayores de tres meses (anosmia, parosmia y cacosmia), equimosis periorbitaria bilateral (signo de los ojos de mapache) o mastoidea retroauricular (signo de Battle) (Mantilla, 2008), diplopía, amaurosis, afasia, deformidades óseas, hidrorreas y cicatrices.

Tras el manejo médico-quirúrgico, los pacientes que sufren TCE por PAF presentan secuelas, como carencias (1,8%) o perturbaciones funcionales del sistema neurológico y de la locomoción, moderadas (26,8%) o severas (3,6%), además de alteraciones estéticas en la cabeza. Se han descrito como predictores de recuperación satisfactoria posoperatoria y, en consecuencia, de reducción de secuelas: el tiempo entre la noxa y la intervención quirúrgica menor de una hora, lesión en cerebro no elocuente y ausencia de lesión en mesencéfalo, tallo cerebral o vasos mayores (Lin et al., 2012). Asimismo, la valoración psiquiátrica forense destacará la presencia o no de secuelas psíquicas, como delirios, amnesia, psicosis, depresión, ansiedad, estrés postraumático, somatomorfias, disociaciones, comportamientos maladaptativos, alteraciones sexuales, de la conducta alimentaria y/o del sueño (Palorno et al., 2008; Romero et al. 2001; Aso-Escario, 1999).

Con relación a pacientes especiales, se identificó el reporte de caso de una paciente de 41 años, quien recibió una HPAF en su vientre a las 27 semanas de gestación, y el proyectil se ubicó en el lóbulo frontal del feto. Sorprendentemente, la condición obstétrica y hemodinámica de la madre se controló, de modo que la gestación se llevó a término. Sin embargo, debido a la lesión en el lóbulo frontal, el infante, durante sus primeros 4 años de vida, presentó signos comportamentales patológicos compatibles con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (Gundogmus, Akkaya, Karbeyaz & Keskin, 2013).

Diagnóstico y manifestaciones clínicas

Debido a una menor prevalencia de daño en comparación con otros territorios anatómicos, y la dificultad clínica para el estudio de las lesiones cerebrales por PAF, no existe abundante literatura al respecto. Así pues, para la evaluación del HPAF en cráneo se considera el sistema de clasificación clínica de Raimondi y Samuelson (tabla 3) (Sherman, Apuzzo, Heiden, Petersons & Weiss, 1980).

Tabla 3.

Sistema de clasificación clínica de Raimondi y Samuelson (extraído de Sherman et al., 1980)

Estadio	Definición
1	Alerta sin pérdida de la conciencia ni déficit neurológico.
2	Alerta sin pérdida de la conciencia, pero con déficit neurológico localizado.
3	Alerta, agitación, confusión y letargia.
4	Condición comatosa con solo respuesta dolorosa.
5	Condición comatosa con su respectiva postura.

Para el diagnóstico imaginológico del TCE por PAF, anteriormente se recomendaba tomar una radiografía de cráneo que permitiera planear la intervención con profundidad y trayectoria. En la actualidad, una tomografía computarizada (TC) resulta obligatoria (Palorno et al., 2008), teniendo en cuenta las configuraciones técnicas para atenuar los artefactos metálicos. En esta, se podrán observar alteraciones de la tabla ósea interna y/o un canal hiperdenso por la hemorragia y las deciduas óseas; además, será posible reconocer el edema cerebral, usando la clasificación de Marshall para evaluar los hallazgos tomográficos (tabla 4) (Cruz-Benites & Ramírez-Amezcuca, 2007).

Tabla 4.

Clasificación tomográfica de Marshall (extraída de Uscanga, Castillo & Arroyo, 2005)

Categoría	Definición
Difusa I	Sin hallazgos.
Difusa II	Desviación de línea media <5 mm, lesiones heterodensas <25 mm.
Difusa III (edema)	Compresión cisternal, desviación de la línea media <5 mm, lesiones de densidad mixta o alta <25 mm.
Difusa IV (desviación)	Desviación de la línea media >5 mm, lesiones de densidad mixta o alta <25 mm.
Masa evacuada	Cualquier masa evacuada.
Masa no evacuada	Cualquier masa no evacuada >25 mm.

La angiografía cerebral está indicada si hay sospecha de lesión en senos venosos y hemorragia intracraneal, por lo cual es importante ordenar pruebas de hemoglobina y hematocrito, como también tiempos de protrombina y tromboplastina, por el posible desarrollo de alteraciones en la coagulación. Otras pruebas, como la microdiálisis cerebral y la presión tisular cerebral de oxígeno, pueden ser de utilidad en pacientes críticamente enfermos (Henry, Emilie, Bertrand & D'Aranda, 2012). No obstante, la afectación macrovascular en este tipo de heridas es infrecuente. A manera de ejemplo, en un metaanálisis realizado sobre traumas vasculares ocasionados en

Kosovo (Jaha, Andreevska, Rudan, Adem & Imalli-Jaha, 2012), se identificó que, si bien la hemorragia profusa, los hematomas y la isquemia constituían las presentaciones clínicas más frecuentes, solo el 24,2% de los casos presentaban compromiso vascular cerebral. En contraste, los territorios vasculares más afectados en pacientes politraumatizados son las arterias femoral superior, braquial, crural, antebraquial, iliaca, aorta abdominal, femoral común y poplítea.

Es de recalcar que en estos casos la sintomatología puede ser diversa, y depende de las variables mecánicas y dinámicas del proyectil, como la ubicación de la lesión y el estado del paciente. De tal manera, el TCE por HPAF puede generar compromiso neurológico en pares craneales, cuando la trayectoria y los restos se ubican en la región mandibular (nervio facial) o infratemporal (nervio oftálmico) (Sonkhya, Singhal & Srivastava, 2005). A su vez, si bien es menos frecuente que en las lesiones contundentes, las heridas traumáticas penetrantes como causa de TCE pueden producir oculorrea por fistulas cráneo-orbitales (Pease, Marquez, Tuchman, Markarian & Zada, 2013), además de hematomas palpebrales, pérdida de la visión, oftalmoplejía y/o disfunción pupilar de los reflejos fotomotor y consensual (Ferreira & Moura, 2008).

En contraposición a la complejidad de la lesión cerebral traumática por estos proyectiles, existen casos aislados de pacientes adultos mayores o adolescentes que accidentalmente han sido heridos por PAF: su superficie de entrada son el macizo facial, el hueso parietal derecho, el hueso palatino o el arco cigomático, y la estructura en la que se alojan, la base del cráneo, la fosa posterior, el cuerpo calloso (Shea, Chang & Chu, 2011), el arco anterior del atlas (Park, Kin, Kim & Do, 2012) o el lóbulo frontal (Newington, 1881). Si bien en estos casos se genera pérdida de conciencia transitoria sin compromiso neurológico posterior, los proyectiles retenidos pueden producir, a largo plazo, convulsiones, cefalea intensa, estado de coma, abscesos cerebrales o intoxicación por metales pesados, o migración del proyectil (Thompson, Huff & Wass, 1957).

La intoxicación por metales es factible cuando hay contacto del proyectil con el líquido cefalorraquídeo en la región ventricular, y puede expresarse con anemia, cólico abdominal, nefropatía, encefalopatía y/o neuropatía motora. Si se observan dichos síntomas, es posible que el paciente presente un cuadro de intoxicación por metales pesados, a pesar de que no exista acumulación de estos en el cabello. Por tanto, es pertinente la realización de pruebas de espectrometría de absorción atómica de Zeeman, que permitan detectar las concentraciones reales en los tejidos (Ryselis, Abdrachmanovas, Nagimiene & Norkus,

2005). La acumulación de metales pesados puede darse, por ejemplo, en el vientre frontal del músculo occipitofrontal (Ryselis *et al.*, 2005).

Asimismo, la migración de la bala (Arslan, Eseoğlu, Gudu, Demir & Kozan, 2012) puede favorecerse por la presencia de un absceso cerebral. Existen casos extremos, en los que el proyectil ha migrado desde el tejido cerebral hacia los ventrículos, el tronco braquiocefálico (Greaves, 2010) o la médula espinal (Castillo-Rangel, Reyes-Soto & Mendizábal-Guerra, 2010). En estos, el diagnóstico puede fundamentarse en la secuencia FLAIR de la resonancia magnética nuclear, para evidenciar la trayectoria que ha seguido la bala, aunque en general no es recomendada. Si el proyectil migra al raquis, la complicación más temida es el choque medular.

Otras complicaciones de esta entidad clínico-patológica y forense son la coagulación intravascular diseminada, hidrocefalia refleja, retención de fragmentos óseos, rinorrea, otorrea, meningitis, cerebritis, convulsiones y/o síncope vago-glosofaríngeo (por irritación en el foramen yugular) (Link, Driscoll & Esquenazi, 2010). En los casos en los que se confirma muerte cerebral, y tras la consecución del consentimiento informado para trasplante de órganos (Dokmak, Aussilhou, Ftéliche, Furand & Belghit, 2013; Sutter, Daily, Owen, Daubert & Albertson, 2010), son de vital importancia los estudios que descarten concentraciones sanguíneas peligrosas de fármacos o tóxicos específicos. Lo anterior, teniendo en cuenta la prevalencia de consumo de sustancias y tentativas de suicidio con intoxicación en aquellos pacientes que deciden suicidarse causando TCE por PAF (Sutter *et al.*, 2010).

En el estudio de los desenlaces a corto plazo en adultos críticamente heridos (5% por HPAF), es usual descartar aquellos con compromiso del sistema nervioso central (Richmond, Klauder, Robinson & Strumpf, 2006). De otro lado, no se han estudiado ampliamente los factores predictores de la morbimortalidad secundaria a hematomas subdurales agudos producidos por PAF, ya que este tipo de heridas por lo general son excluidas de los estudios observacionales. Dichas investigaciones tienen en cuenta factores como: puntuación de la GCS al ingreso al servicio de urgencias, anomalías de la reacción pupilar, tiempo de intervención quirúrgica y edad del paciente (Karasu *et al.*, 2010).

Por otra parte, la escasa literatura con relación a la HPAF en cráneo refiere los siguientes predictores: aumento de la presión intracraneal, presencia de hemorragias intraventriculares o subaracnoideas, hematomas mayores de 15 ml y daño secundario por efecto de masa con desplazamiento de la línea media

(American Association of Neurological Surgeons, 2011; Santín-Amo *et al.*, 2010). En población pediátrica, la mortalidad pareciera estar asociada con la GCS prehospitalaria y al ingreso, el examen pupilar, el puntaje ISS (*Injury Severity Score*), la clasificación de Marshall, el cierre de las cisternas basales, la presencia de hemorragia subaracnoidea, el puntaje de APACHE II, el uso de ventilación mecánica y la prescripción profiláctica de antibióticos (Parrado *et al.*, 2017).

Abordaje terapéutico

Evolución histórica

La intervención quirúrgica planteada por Cushing correspondió inicialmente a la escisión de la porción de la herida en el cuero cabelludo hasta el hueso, con posteriores incisiones radiadas sobre los bordes de esta, que permitieran la retracción del tejido blando con una buena exposición de la fractura y el área circundante. Se realizaba la apertura de Burr penetrando el hueso y extrayendo en bloque la porción deseada. La duramadre no era retirada para evitar la exposición continua postoperatoria del espacio subaracnoideo, y, en dichas circunstancias, se le solicitaba al paciente, previamente anestesiado con novocaína, que tosiera, lo que facilitaba que el tejido cerebral disgregado, coágulos y fragmentos óseos emergieran por medio de la solapa de la duramadre (Cushing, 1918).

Tras dicha extrusión, se procedía a usar un catéter que permitía identificar el lugar donde se encontraban los restos tisulares, los cuales eran retirados por medio de un fórceps, o en el caso de residuos metálicos del proyectil, con un electroimán. Dicha intervención tenía una duración de 10 a 12 horas, y el cierre primario sin drenaje era por lo general suficiente en la mayoría de los pacientes. En casos donde la intervención se realizaba de 18 a 60 horas tras el impacto, el drenaje era necesario debido al alto riesgo de infección, principalmente fúngica; esta era menos prevalente al usar gutapercha como recubrimiento, pues se facilitaba la granulación, con posterior proliferación del tejido y reducción del agente infeccioso. Las intervenciones de Cushing lograron reducir la mortalidad del 54,5% al 28,8% (Cushing, 1918; Horrax 1919).

En 1940 se sugirió la renovación del procedimiento, y se establecieron distintas etapas. La primera correspondía a la profilaxis, en la que se aplicaba un refuerzo de toxoide tetánico profiláctico o, de no haberse hecho con anterioridad, administración de antitoxina tetánica en dos dosis de 1.500 unidades, una lo más pronto tras la herida y otra en el

posoperatorio. La preparación posoperatoria, como segundo momento, correspondía al rasurado del cuero cabelludo completo, lo cual evitaba que el neurocirujano subvalorara lesiones pequeñas potencialmente peligrosas, y despejaba el campo para así mantenerlo estéril. En esa etapa, se requerían a su vez neuroimágenes y examen neurológico detallado. Al final, la intervención quirúrgica implicaba el desbridamiento cuidadoso del cuero cabelludo, periostio y hueso. Se sugería, a su vez, retirar una porción de la duramadre que permitiera visualizar de forma clara al menos 3 cm, si la herida se encontraba en áreas consideradas silentes, tales como el lóbulo frontal o temporal derecho. Si el proyectil había ingresado al ventrículo lateral, la ventana realizada en la duramadre permitiría extraer con mayor facilidad los restos de interés. Finalmente, se sugería la realización de estudios de control con neuroimágenes. El resultado final se correspondió con una mortalidad del 46,5% (Horrax, 1918; Horrax 1940).

Manejo médico integral

En la actualidad, hay tres puntos fundamentales en la atención inicial de un paciente con TCE por PAF, que son: asegurar la vía aérea si GCS <8 (Hardcastle & Goff, 2007), controlar la hemorragia e identificar otras posibles lesiones que pongan en riesgo la vida. Es importante mencionar que no se deben usar sondas nasofaríngeas, por la posibilidad de que se ubiquen intracranealmente en caso de lesiones de la base del cráneo (Steinbruner, Mazur & Mahoney, 2007). Desde el punto de vista médico, se sugiere realizar la reposición de líquidos con cristaloides (dextrosa al 5% o solución salina normal al 0,9%). El plan farmacológico intrahospitalario referido en la literatura incluye, entre otros, metilprednisolona (500 mg/100 ml cada 12 horas), fenitoína sódica (100 mg cada 8 horas), cefaperazona sulbactam (0,5 g cada 12 horas), linezólida (200 mg/100 ml cada 12 horas) y metronidazol (500 mg cada 8 horas) (Arunkumar, Sanjeev, Aggarwai & Dubey, 2012).

Igualmente, se considera que si pasan más de dos horas entre la herida y la intervención quirúrgica, y existe a su vez una hemorragia subdural, la mortalidad se eleva del 47% al 80%. Por tanto, la intervención temprana puede implicar una mejoría significativa en la recuperación, evaluada con el puntaje de la Escala de Desenlace de Glasgow (GOS, por sus siglas en inglés) (Guzmán *et al.*, 2008). A pesar de esto, y debido a los riesgos que implica la craneotomía, ciertos autores recomiendan mantener el manejo médico y maximizarlo según parámetros de neuro-monitoreo focal (Mezue, Ndubuisi, Ohaegbulam, Chikani & Erechokwu, 2012),

ordenando la intervención quirúrgica cuando la presión intracerebral es inestable, con estigmas isquémicos sugeridos por la PtO_2 y alteraciones de la glucosa en la microdiálisis sugerentes de hiperglicosis sin alteración en la relación lactato:piruvato (Henry et al., 2012).

Las intervenciones quirúrgicas se basan en la técnica de Friedrich, elevación y remoción de la fractura, las meninges y la porción cerebral afectada, con posterior lavado de la herida con solución salina normal (Aso-Escario, 1999). El cierre de la duramadre puede realizarse con parches pericraneales, además de posicionar la herida del proyectil en la porción central de una incisión lineal o crear un colgajo óseo mínimo, en compañía del desbridamiento antes mencionado. A pesar de lo anterior, no existe un abordaje quirúrgico único para la HPAF en TCE, pudiéndose hacer uso de neuronavegadores, marcos estereotáxicos o simplemente la técnica quirúrgica tradicional (Elserry, Anwer & Esene, 2013). Cuando el proyectil persiste en la base del cráneo y se trata de pacientes frágiles, es posible realizar abordaje endoscópico endocraneal transnasal con craneotomía unilateral (Villaret, Zenga, Esposito, Rasulo, Fontanella & Nicolai, 2012). Si la herida se ubica en la región temporal, se puede definir un abordaje transótico para retirar el proyectil y ejecutar anastomosis microquirúrgica (neurorrafia) entre el nervio masetero y el facial, en caso de parálisis de los músculos del rostro (Donnarumma, Tarantino, Gennaro, Mitro, Valentini, Magliulo et al., 2013).

Ciertas escuelas de neurocirugía han propuesto, de manera específica para población en riesgo, como los miembros de las fuerzas armadas, el uso de implantes de cráneo cuando no es posible reutilizar la porción de hueso extraída inicialmente, por destrucción del tejido o infección ósea. Los materiales recomendados son el titanio de 2-3 mm o 4-6 mm, capaz de resistir proyectiles encamisados tanto de revólver como de rifle, no siendo de utilidad los implantes de material sintético para estos casos (Lemcke, Loser, Telm & Meier, 2013).

Para el tratamiento de los casos de TCE por proyectil de arma de aire comprimido, se debe realizar intervención con urgencia, basada en duroplastia con colgajo del tendón de la fascia lata o material sintético (Duragen Dural®), además de prescribir medicación antiedema, antiepiléptica y antibiótica profiláctica, que prevenga la formación de abscesos cerebrales (Arunkumar et al., 2012). En los casos extraños de herida con pistola de bala cautiva se han utilizado como abordajes la craneotomía fronto-temporal derecha con esquirlectomía, polectomía temporal y reconstrucción dural, ósea y cutánea (Santín et al., 2010). En caso de que al final el proyectil se aloje en

la médula espinal, se puede proponer la realización de laminectomía posterior y mielotomía dorsal de la línea media (Castillo-Rangel et al., 2010). Finalmente, la reparación de las secuelas faciales, de existir, pueden repararse con ayuda de colgajos del sistema subescapular (Kalavrezos, Hardee & Hutchison, 2005).

En este tipo de pacientes es común que no sea posible retirar el o los proyectiles en su totalidad. En un estudio prospectivo realizado en el Hospital General de Fuzhou (China), se intervinieron 43 pacientes, de los cuales 40 fueron para remoción completa del proyectil, dos para extracción parcial y en uno se consideró inaccesible la bala. La mortalidad se produjo en el 3,6% (Wei, Wang, Jung, Zheng, Gao, Lui et al., 2013). Por tanto, revisiones de la literatura mencionan que en caso de no ser fácil el acceso al proyectil (Arslan et al., 2012), no se recomienda retirarlo, ya que con el régimen antibiótico profiláctico se reduce la posibilidad de infección, y de hacerlo, se podría aumentar la lesión neurológica. Desde otra perspectiva, si el paciente presenta signos y síntomas de intoxicación por metales, y esta se confirma, se debe realizar intervención quirúrgica para remover los restos del proyectil, teniendo en cuenta que parte del metal ya ha podido ser reabsorbido en el mineral óseo.

En el posoperatorio, algunos autores sugieren controles con tomografía computarizada y la prescripción de antibióticos y anticonvulsivantes (Peña-Quiñones & Hakim-Daccach, 2014; Aso-Escario, 1999). En cuanto a la evolución clínica, una serie de 442 pacientes evaluados en Turquía evidenció la existencia de complicaciones postoperatorias en un 29,8% de ellos, dentro de las cuales se encuentran la infección local o sistémica (6,1%), fístula de líquido cefalorraquídeo (4,5%), hidrocefalia (2%), hematoma intracraneal (3,6%), alteraciones en la cicatrización de la herida (1,8%) y/o reacciones medicamentosas (11,7%) (Karasu et al. 2009). A diferencia de la mortalidad encontrada en el estudio chino de Wei, en la serie turca fue del 10,6% (Solmaz et al., 2009).

Discusión y conclusión

Breve contextualización del conflicto armado en Colombia

El uso de armas de fuego en Colombia ha estado ligado de manera estrecha al conflicto armado del país, por lo cual es importante contextualizarlo. Este tiene sus raíces en la violencia bipartidista de la primera mitad del siglo pasado (Sánchez, Díaz & Fornisano, 2003), recrudescida posteriormente con el asesinato del líder liberal Jorge Eliécer Gaitán, el 9 de abril de

1948, en el evento conocido como *El Bogotazo*; como consecuencia, se conformaron guerrillas afines al Partido Liberal durante los años 50, con el propósito de combatir las políticas conservadoras del presidente Laureano Gómez. Tras el golpe de estado propinado por el General Rojas Pinilla, en 1953, se otorgó amnistía a los guerrilleros, muchos de los cuales regresaron a la clandestinidad (Montalvo-Velásquez, 2012).

En 1964, el gobierno de turno bombardeó la autodenominada República Independiente de Marquetalia, en la que los insurgentes pretendían tener un Estado paralelo. Entre otras circunstancias, lo anterior favoreció la conformación de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), de ideología marxista-leninista, grupo al que se le fueron sumando otros actores al margen de la ley, como el Ejército de Liberación Nacional (ELN), el Ejército Popular de Liberación (EPL) y el Movimiento 19 de Abril (M-19) (Niño-González, 2017; Trejos-Rosero, 2013). Posteriormente, se adiciona en los años 80 la violencia armada asociada con los carteles del narcotráfico de Medellín y Cali (Atehortúa-Cruz & Rojas-Rivera, 2008), y es en la década de los 90 cuando ocurre la puesta en marcha de grupos paramilitares (Niño-González, 2017). Luego del proceso de desmovilización de las Autodefensas en el 2006, y de las FARC en el 2017, han aparecido otros actores armados, como las bandas criminales (BACRIM), así como facciones disidentes de las FARC, grupos terroristas que intimidan a la sociedad y al Estado.

La anterior evolución histórica de la violencia en Colombia es coherente con las tasas de homicidios, en las que se evidencia un aumento desde finales de la década de los 40 hasta 1964 (Bello-Montes, 2008), con un seguido descenso, y desde mediados de los años 70, asociado con el fenómeno creciente de violencia e inseguridad en las ciudades colombianas. Por lo anterior, mientras en 1974 la tasa de homicidios era de 25 por cada 100.000 habitantes, en 1991 (tan solo 17 años después), se triplicó hasta 79 por cada 100.000 habitantes, la cifra más alta en la historia del país (Bello-Montes, 2008). Desde aquel año se ha dado una disminución constante en el indicador, hasta alcanzar 24 por cada 100.000 habitantes en el 2016 (INMLF, 2016). A partir de las negociaciones y la posterior firma del acuerdo de paz con las FARC, se ha observado un desescalamiento del conflicto, con una reducción de la tasa de homicidios del 8,5% entre los años 2012 y 2015 (Peñalosa, 2017). No obstante, la violencia derivada de la delincuencia en las ciudades es aún sustancial, aunque con una clara disminución de la tasa de homicidios a expensas del aumento en la tasa de hurtos y lesiones personales, como posible consecuencia de las medidas implementadas para

el control y reducción de la circulación de armas de fuego (Aguirre & Restrepo, 2010).

En Colombia está reglamentado el uso de armas de fuego mediante el Decreto Ley 2535, el cual determina los procedimientos que se deben seguir para poseer un arma de fuego, y se da potestad a las Fuerzas Armadas para conceder los permisos de tenencia, porte y venta y provisión de munición, lo que le da al Estado el monopolio sobre ellas (Organización de Naciones Unidas, 2006). Esto es contrario a lo reglamentado en Estados Unidos (EE. UU.), donde poseer un arma de fuego es un derecho constitucional avalado por la Segunda Enmienda y sustentado en el fin de la protección (Hernández-Pinzón, 2010). Por supuesto, la normatividad y dinámica social de los EE. UU. son diferentes de las de Colombia, y aunque no corresponden a la temática principal de este artículo, sí justifican el alto porcentaje de armas que circulan en la legalidad. En Colombia, esta tendencia se invierte: con solo un 25% de armas de fuego legales, la proporción restante pertenece a armas sin salvoconducto, que son usadas para delinquir en la ciudad y en el campo. Esta situación es facilitada por el tráfico de armas ejercido por los grupos armados ilegales previamente mencionados, a través de las fronteras geográficas (Organización de Naciones Unidas, 2006).

Sobre el TCE por HPAF

En general, el trauma craneoencefálico por proyectil de arma de fuego corresponde a un mecanismo de trauma infrecuente en la mayoría de las series reportadas, aun en escenarios de conflicto armado. No obstante, dentro de la mortalidad asociada a proyectiles por arma de fuego, el TCE es una de las condiciones más frecuentes, independientemente de la región geográfica estudiada (Babatunde *et al.*, 2013; Saraswat, 2009; Richmond & Lemaire, 2008; Maguire *et al.*, 2007), de manera especial entre los actores armados (Maguire *et al.*, 2007). Aún más, la literatura es coherente con las altas tasas de mortalidad asociadas a esta condición, así como en el compromiso traumático concomitante de otras regiones anatómicas (Leite *et al.*, 2012; Desai & Mahon, 2011; Abad *et al.*, 2009).

En Colombia, a pesar de que pareciera existir una menor prevalencia relativa de trauma craneoencefálico (Mejía *et al.*, 2009), este sigue siendo una entidad frecuente entre los casos de homicidios reportados por el INMLCF; ello resulta preocupante, teniendo en cuenta el alto porcentaje de muertes asociadas con HPAF, en especial en ciudades como Cali o Palmira, pertenecientes a las 50 ciudades más peligrosas del mundo (The Economist, 2017). Particularmente, en el caso de los suicidios asociados con HPAF, el trauma

craneoencefálico penetrante pareciera ser la causa primaria de muerte más prevalente (INMLCF, 2013). La infrecuencia de lesiones no fatales asociadas con TCE por HPAF reportadas en el país es, además, consistente con la referida por la literatura internacional. Esta coincidencia se expande al grupo etario y sexo predominante, correspondiente a hombres entre la tercera y cuarta décadas de la vida.

Lamentablemente, múltiples publicaciones colombianas relacionadas con TCE no especifican los proyectiles de arma de fuego como mecanismo causal traumático, y en el mejor de los casos lo agrupan dentro de aquellos asociados con conductas violentas (Alvis-Miranda *et al.*, 2013; Montaña *et al.*, 2018). Dentro del espectro de TCE, la HPAF mantiene una escasa prevalencia, pero alta severidad, lo que ha sido constatado en las diversas series llevadas a cabo en Bucaramanga (Vázquez & Franco, 2014), Bogotá, D. C. (Quiroga *et al.*, 2009; Páez-Gaitán, 2016), Neiva (Alarcón *et al.*, 2004) y Cali (Guzmán *et al.*, 2008). Con excepción de esta última, la mayoría de los artículos referenciados cuentan con un tamaño de muestra limitado, lo que perjudica la realización de análisis bivariados debido al pobre poder estadístico.

Desde la patología forense, es necesario analizar las lesiones de acuerdo con las particularidades del sujeto, las características del proyectil, el tipo de arma, las estructuras comprometidas del sistema nervioso central, entre otras. Así pues, los modelos animales reafirman la existencia de múltiples mecanismos patogénicos, incluyendo la activación de la inmunidad celular y humoral, procesos de apoptosis, degeneración y disfunción, que involucran no sólo a las neuronas, sino también a las células de la glía y la microcirculación (Zhu *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2005). Lo anterior explica las altas tasas de mortalidad y la aparición de lesiones secundarias y complicaciones severas en la mayoría de los casos. A nivel macroscópico, el médico encargado de la autopsia debe considerar los diversos estigmas evidentes en los tejidos (anillo de Fish, golpe de mina de Hoffman, signos de Benassi, Puppe Wekgartner, Shusskannal, Fraenckel, Bonnet y Chavigney) (Vadra, 1997; Aso-Escario, 1999; Mantilla, 2008; Sibón *et al.*, 2009).

De otro lado, los casos reportados en la literatura resultan bastante diversos. Por tanto, en aquellos escenarios infrecuentes de lesión no mortal, es fundamental que el perito realice una exhaustiva evaluación de los antecedentes médicos, los medios diagnósticos implementados e intervenciones realizadas tras el trauma (pruebas de laboratorio, imágenes, medicamentos, procedimientos quirúrgicos, protocolos de rehabilitación, etc.), las características topográficas y clínicas de la lesión, las potenciales complicaciones, así como el estado actual del paciente

(examen físico neurológico); de lo contrario, se llegará a conclusiones médico-legales inadecuadas, que pudieran entorpecer el esclarecimiento de los hechos y cualquier proceso judicial derivado de los mismos. Tras el peritaje, el profesional podrá determinar las secuelas (carencias, perturbaciones y/o alteraciones), tanto orgánicas como psíquicas (Palorno *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2001; Aso-Escario, 1999).

En la literatura revisada sobre adultos críticamente heridos, aquellos con compromiso neurológico se excluyeron en ocasiones (Richmond *et al.*, 2006), lo que, aunado a la ausencia de estudios sobre factores predictores de la morbilidad, dificulta la definición de un pronóstico certero. A pesar de ello, las escasas investigaciones que han estudiado este desenlace refieren como variables asociadas con el pronóstico: la trayectoria del proyectil, ubicación de la lesión, hallazgos en el examen físico y en las imágenes diagnósticas, lesiones secundarias severas, puntajes en escalas de severidad (GCS, GOS, ISS, APACHE II), presión intracraneal, tiempo de la intervención quirúrgica y el requerimiento de ventilación mecánica (Parrado *et al.*, 2017, American Association of Neurological Surgery, 2011; Santín-Amo *et al.*, 2010; Guzmán *et al.*, 2008).

En conclusión, en este artículo se realizó una revisión de la literatura sobre TCE por HPAF, en la cual se abarcaron aspectos históricos, conceptos aplicados de balística, cinemática del trauma, mecanismos fisiopatológicos de la lesión y hallazgos forenses, que son claves para un adecuado abordaje médico-legal. Aún más, se describen aspectos clínicos y quirúrgicos concernientes a esa entidad, que permiten dimensionar su gravedad. Lo anterior podrá ser de utilidad para médicos legistas, patólogos forenses y demás integrantes del personal de salud, involucrados en el manejo de estos casos.

Conflicto de intereses: Los autores manifiestan no tener ningún conflicto de interés en la realización del presente artículo; además, declaran que no han recibido financiación externa para escribir esta revisión.

Agradecimientos

A la doctora Diana María Moya, del Centro de Referencia Nacional sobre Violencia del INMLCF (2014), por su colaboración en la consecución de las estadísticas para Colombia, y a la doctora Olga Mercedes Álvarez, por la promoción de la investigación desde la Dirección del Departamento de Patología de la Universidad Industrial de Santander.

Referencias

- Abad, S., McHenry, D. S., Carter, L. & Mitchell, D. (2009). Carotid Artery Injury from an Airgun Pellet: a Case Report and Review of the Literature. *Head and Face Medicine*, 5 (3): 1-5.
- Aderet, A. (2009). Alert: The Dark Side of Chats: Internet without Boundaries. *Israel Journal of Psychiatric Related Science*, 46 (3): 162-171.
- Agrawal, A., Malla, G., Joshi, S., Kumar, A. & Koirala, S. (2008). Unusual Mode of Firearm Injury from the Recoiled Rear End of a Gun Barrel. *Singapore Medical Journal*, 49 (9): 238.
- Aguirre, K. & Restrepo, J. (2010). El control de armas como estrategia de reducción de la violencia en Colombia: pertinencia, estado y desafíos. *Revista Criminalidad*, 52 (1): 265-284.
- Alarcón, J. D., Reyes, P. & Barrera, V. (2004). Caracterización del Trauma Craneoencefálico Severo en la E.S.E. Hospital Hernando Moncaleano Perdomo de Neiva del 1 de marzo del 2001 al 30 de septiembre del 2002. Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Epidemiología. Universidad Surcolombiana.
- Algieri, R. D., Lazzarino, C., Fernández, J. P., Bernadou, M. M. & Cipollone, S. (2013). Eventos adversos en la identificación del golpe de mina de Hoffmann en heridas por proyectil de arma de fuego. *Hosp. Aeronáut. Cent.*, 8 (2): 87-90.
- Alvis-Miranda, H. R., Adie-Villafañe, R. J., Velásquez-Loperena, D., Velásquez-Loperena, R. A., Carmona-Meza, Z., Alcalá-Cerra, G. et al. (2013). Trauma Craneoencefálico en el Departamento del Cesar: Análisis de Frecuencia, Severidad y Complicaciones. *Panamerican Journal of Trauma, Critical Care and Emergency Surgery*, 2 (2): 89-93.
- American Association of Neurological Surgeons (2011). Gunshot Wound Head Trauma. Patient Information. Recuperado de <http://www.aans.org/Patients/Neurosurgical-Conditions-and-Treatments/Gunshot-Wound-Head-Trauma>
- Amir, L., Aharonson, L., Peleg, K., Watsman, Y. & The Israel Trauma Group (2005). The Severity of Injury in Children resulting from Acts against Civilian Populations. *Annals of Surgery*, 241 (41): 666-671.
- Arslan, M., Esegolu, M., Gudu, B. O., Demir, I. & Kozan, A. B. (2012). Spontaneous Migration of a Retained Bullet within the Brain: a Case Report. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 18 (5): 449-452.
- Arias, C. A., Arroyo, F., Guzmán, F., Barragán, R., Iбата, L. & Parra, S. (2012). Patronos de Trauma de Guerra en Colombia. Análisis del Grupo Quirúrgico Avanzado de Apoyo a Trauma (GATRA) de las Fuerzas Militares de Colombia. *Panamerican Journal of Trauma, Critical Care and Emergency Surgery*, 1 (2): 61-67.
- Arunkumar, K. V., Sanjeev, K., Aggarwai, R. & Dubey, P. (2012). Management Challenges in a Short-range Low-velocity Gunshot Injury. *Annals of Maxillofacial Surgery*, 2 (2): 200-203.
- Asirdizer, M., Canturk, F., Carnturk, N., Yavuz, M. S. & Sari, H. (2010). Analysis of Suicidal Deaths with Shotguns in Istanbul, 1998-2007. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 16: 47-53.
- Aso-Escario, J. (1999). *Traumatismos Craneales: Aspectos Médico-Legales y Secuelas*. Barcelona, España: Masson.
- Atehortúa-Cruz, A. L. & Rojas-Rivera, D. M. (2008). El Narcotráfico en Colombia. Pioneros y Capos. *Historia y Espacio*, 4 (31): 169-207.
- Babatunde, A., Oladimeji, A., Samuel, U. & Ambose, O. (2013). Pattern, Severity, and Management of Cranio-maxillofacial Soft Tissue Injuries in Port Harcourt, Nigeria. *Journal of Emergency Trauma Shock*, 6 (4): 235-240.
- Bakir, A., Temiz, C., Umur, S., Aydi, V. & Torun, F. (2005). High Velocity Gunshot Wounds to the Head: Analysis of 135 Patients. *Neurological Medical Surgery (Tokyo)*, 45: 281-287.
- Bello-Montes, C. (2008). La violencia en Colombia: Análisis histórico del homicidio en la segunda mitad del siglo XX. *Revista Criminalidad*, 50 (1): 73-84.
- Bethune, R., Hern, E., Qayyum, A., Pratap, R. & Brown, R. (2004). Face Value? *Emergency Medicine Journal*, 21 (5): 631.
- Bienst-Castillo M. & Valle-Pérez, L. (2000). Trauma Cráneo Encefálico Abierto por Proyectil Disparado por Arma de Fuego en Pacientes del Bloque Médico Quirúrgico del Hospital Escuela atendidos desde mayo de 1998 hasta septiembre de 2000. *Revista Médica de Postgrado UNAH*, 5 (2): 118-123.
- Boric, I., Ljubkovic, J. & Sutlovic, D. (2011). Discovering the 60 Years-old Secret: Identification of the World War II Mass Grave Victims from the Island of Daksa near Dubrovnik, Croatia. *Croatian Medical Journal*, 52: 327-335.
- Bury, J. S. (1921). Gunshot Injury to the Brain involving both Cortical and Subcortical Tissue. *British Medical Journal*, 1 (3146): 556-557.
- Cardoso, G., Leal, R., Arantes, A., Fonseca, G. A. & Pinheiro, N. (2004). Lesión Cerebral

- Penetrante por Grande Fragmento de Fibra de Amianto tratada por Craniectomía Descompresiva. *Archivos de Neuropsiquiatría*, 62 (4): 1104-1107.
- Casas-Fernández, C. (2008). Traumatismos Craneoencefálicos. Asociación Española de Pediatría. *Protocolos Diagnósticos y Terapéuticos de la AEP: Neurología Pediátrica*, 17: 118-128.
- Castillo-Rangel, C., Reyes-Soto, G. & Mendizábal-Guerra, R. (2010). Cranio-thoracic Bullet Migration over a Period of 27 Years: Case Reports. *Neurocirugía*, 21: 326-329.
- Coronado, V. G., Xu, L., Basavaraju, S. V., McGuire, L. C., Wald, M. M., Faul, M. D. et al. (2011). Surveillance for Traumatic Brain Injury-related Deaths: United States, 1997-2007. *CDC Surveillance Summaries*, 60 (5): 1-32.
- Cruz-Benítez, L. & Ramírez-Amezcuca, F. J. (2007). Estrategias de Diagnóstico y Tratamiento para el Manejo de Traumatismo Craneoencefálico en Adultos. *Trauma*, 10 (2): 46-57.
- Cushing, H. (1917). A Study of a Series of Wounds involving the Brain and its Developing Structures. *British Journal of Surgery*, 5 (20): 558-684.
- Cushing, H. (1918). Notes on Penetrating Wounds of the Brain. *British Medical Journal*, 1 (2982): 221-226.
- Dalgic, A., Okay, O., Ergungor, F. M., Uckun, O., Nacar, O. A. & Yildirim, A. E. (2012). Brain Injury due to Air Gunshot: Report of Three Adult Cases. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Medicine*, 16: 473-476.
- Delgado, S., Hernández, D. & Pérez, N. (2011). Biomecánica en la Valoración Médico Legal de las Lesiones. Madrid, España: Pontificia Universidad Comillas.
- Desai, B. & Mahon, B. (2011). Visual Diagnosis: Eucleation Status Post-Gunshot Wound to the Head: a Visual Diagnosis Case Report. *International Journal of Emergency Medicine*, 4: 61.
- Dokmak, S., Aussilhou, B., Ftériche, F. S., Furand, F. & Belghit, J. (2013). The Use of a Liver with a Gunshot Injury as a Donor for Auxiliary Liver Transplantation: Case Report. *International Journal of Surgical Case Report*, 4 (10): 917-919.
- Donnarumma, P., Tarantino, R., Gennaro, P., Mitro, V., Valentini, V., Magliulo, G. & Delfini, R. (2014). Penetrating Gunshot Wound to the Head Transotic Approach to Remove the Bullet and Masseteric Facial Nerve Anastomosis for Early Facial Reanimation. *Turkish Neurosurgery*, 24 (3): 415-418.
- Elserry, T., Anwer, H. & Esene, I. (2013). Image-guided Surgery in the Management of Craniocerebral Gunshot Injuries. *Surgical Neurology International*, 4 (6): 8448-8454.
- Ferreira, O. & Moura, O. (2008). Management of Traumatic Macular Holes: Case Reports. *Archivos Brasileiros de Oftalmología*, 71 (4): 581-584.
- Font, C. R. (1992). Cráneo y Caída Casual: Perfiles. *Revista Española de Medicina Legal*, 19 (72-73): 221-226.
- Gojanovic, M. D. & Sutlovic, D. (2007). Skeletal Remains from World War II Mass Grave: from Discovery to Identification. *Croatian Medical Journal*, 48: 520-527.
- Greaves, N. (2010). Gunshot Bullet Embolus with Pellet Migration from the Left Brachiocephalic Vein to the Right Ventricle: a Case Report. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 18: 36.
- Gundogmus, U. N., Akkaya, H., Karbeyaz, K. & Keskin, A. (2012). Residual Pellet in Fetal Brain Tissue following a Gunshot Injury to a Pregnant Woman: a Case Report. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 19 (4): 371-374.
- Guzmán, F., Moreno, M. C. & Montoya, A. (2008). Evolución de los Pacientes con Trauma Craneoencefálico en el Hospital Universitario del Valle: Seguimiento a 12 meses. *Colombia Médica*, 3 (3): 880-883.
- Guzmán, F. (2008). Fisiopatología del Trauma Craneoencefálico. *Colombia Médica*, 3 (3): 609-614.
- Hardcastle, T. C. & Goff, T. (2007). Trauma Unit Emergency Doctor Airway Management. *South African Medical Journal*, 97 (9): 864-867.
- Henry, B., Emilie, C., Bertrand, P. & D'Aranda, E. (2012). Cerebral Microdialysis and PtiO₂ to decide Unilateral Decompressive Craniectomy after Brain Gunshot. *Journal of Emergency Trauma Shock*, 5 (1): 103-105.
- Hernández-Pinzón, A. (2010). El Derecho Constitucional a las Armas en EE. UU. *Revista Jurídica de la Universidad Autónoma de Madrid*, 21 (1): 133-148.
- Horrax, G. (1919). Observations on a Series of Gunshot Wounds of the Head. *British Journal of Surgery*, 7 (25): 10-54.
- Horrax, G. (1940). A Proposal for the more Radical Treatment of Gunshot Wounds of the Brain. *Canadian Medical Association Journal*, 43 (4): 320-324.

- Huang, Q. J., Xu, R. X. & Ke, Y. Q. (2005). Changes of Brain p38 MAPK in Rabbits with Craniocerebral Gunshot Injury in Hot and Humid Environment. *Journal of the First Military Medical University*, 25 (9): 1155-1157.
- Hussain, M. & Ehsan, M. (2013). Suicide Bomb Attack causing Penetrating Craniocerebral Injury. *Chinese Journal of Traumatology*, 16 (1): 51-53.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2013). Muertes Violentas según Manera, Grupo de Edad y Sexo de la Víctima. Sistema de Información Red de Desaparecidos y Cadáveres.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2016). *Forensis: Datos para la Vida*.
- Isik, H. S., Bostanci, U., Yildiz, O., Ozdemir, C. & Gokyar, A. (2011). Retrospective Analysis of 954 Adult Patients with Head Injury: an Epidemiological Study. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 17 (1): 46-50.
- Iza, Y., Koyoli, H., Daneyamez, M. & Koxsel, T. (2005). Comparison of Clinical Outcomes between Anteroposterior and Lateral Penetrating Craniocerebral Gunshot Wounds. *Emergency Medicine Journal*, 22: 409-410.
- Jaha, L., Andreevska, T., Rudan, H., Adem, B. & Imallijaha, V. (2012). A Decade of Civilian Vascular Trauma in Kosovo. *World Journal of Emergency Surgery*, 7 (24): 1-6.
- Kairinos, N., Nicol, A. & Navsaria, P. (2009). Pneumocephalus following Gunshot Injury to the Thoracic Vertebral Column: a Case Report. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 15 (6): 614-616.
- Kalavrezos, N., Hardee, P. S. & Hutchison, I. L. (2005). Reconstruction of Through-and-Through Osteocutaneous Defects of the Mouth and Face with Subscapular System Flaps. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 87 (1): 45-52.
- Karasu, A., Sabanci, P. A., Cansever, T., Hepgul, K. T., Imer, M., Dolas, I. & Taviloglu, K. (2009). Epidemiological Study in Head Injury Patients. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 15 (2): 159-163.
- Karasu, A., Civelek, E., Aras, Y., Sabanci, P. A., Cansever, T., Yanar, H. et al. (2010). Analysis of Clinical Prognostic Factors in Operated Traumatic Acute Subdural Hematomas. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 16 (3): 233-236.
- Keen, W. W. & Thomson, W. (1871). Gunshot Wound of the Brain Followed by Fungus Cerebri and Recovery with Hemiopsia. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 1 (8): 122-7.
- Leite, A., Barros, C., Araujo, I. S., Suenya de Almeida, M., Cabral, A. F., Leite, C. & Gondim, A. M. (2012). Injuries to the Head and Face in Brazilian Adolescents and Teenagers Victims of Non-natural Deaths. *Journal of Forensic Odontostomatology*, 30 (1): 13-21.
- Lemcke, J., Loser, R., Telm, A. & Meier, U. (2013). Ballistics for Neurosurgeons: Effects of Firearms of Customized Cranioplasty Implants. *Surgical Neurology International*, 4 (46): 1-8.
- Lin, D. J., Lam, F. C., Siracuse, J. J., Thomas, A. & Kasper, E. M. (2012). "Time is Brain" the Gifford Factor -or: Why do some Civilian Gunshot Wounds to the Head do Unexpectedly Well? A Case Series with Outcomes Analysis and a Management Guide. *Surgical Neurology International*, 3: 98.
- Lingamfelter, D., Duddlesten, E. & Quinton, R. (2009). An Unusual Suicidal Death by Automobile Antenna: a Case Report. *Diagnostic Pathology*, 4 (40): 1-4.
- Link, M. J., Driscoll, C. L. W. & Esquenazi, Y. (2010). Vaguglossopharyngeal-associated Syncope due to a Retained Bullet in the Jugular Foramen. *Skull Base*, 20 (2): 105-109.
- Ma., D. X., Xu, R. X. & Zhu, H. S. (2004). Changes of Cat Cerebral Microcirculation and Blood Brain Barrier in Early Stage of Craniocerebral Gunshot Wound in the Hot and Humid Environment. *Journal of the First Military Medical University*, 24 (8): 877-880.
- Maguire, K., Hughes, D., Fitzpatrick, M. S., Dunn, F., Roche, L. & Baird, C. (2007). Injuries caused by the Attenuated Energy Projectile: the Latest Less Lethal Option. *Emergency Medical Journal*, 24: 103-105.
- Mantilla, J. C. (2008). *Patología y Antropología Forense*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Mejía, J. H., Puentes, F. E., Ciro, J. D. & Morales, C. (2009). Hemorragia y Trauma, avances del Estudio CRASH2 en Colombia. *Revista Colombiana de Cirugía*, 24 (3): 175-183.
- Mezue, W. C., Ndubuisi, C., Ohaegbulam, S. C., Chikani, M. & Erechokwu, U. (2013). Cranial Bony Decompressions in the Management of Head Injuries: Decompressive Craniotomy and Craniectomy? *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 16: 343-347.
- Montalvo-Velásquez, C. E. (2012). Conflicto Armado en Colombia: un Estudio desde el Paradigma Neoconstitucional. *Pensamiento Americano*, 5 (8): 51-75.

- Montaña, G. J., Parada, C. P. & Rodríguez, J. H. (2018). Caracterización Clínica y Sociodemográfica de Pacientes con Traumatismo Craneoencefálico (TCE) de la Ciudad de Sogamoso. *Revista Enfoques*, 2 (2): 1-11.
- Muñoz, N., Pérez, B. & Pastor, B. (2013). Homicidio por Traumatismo Craneoencefálico: Importancia de los Indicios no Biológicos. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, 7: 65-73.
- Mushtaque, M., Mir, M., Bhat, M., Parray, F., Akhanday, S., Dar, Y. & Malik, A. (2012). Pellet Gunfire Injuries among Agitated Mobs in Kashmir. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 18 (3): 255-259.
- Newington, A. (1881). Gunshot Wound of the Brain: Death after Seven Weeks. *The British Medical Journal*, 1 (1059): 593-594.
- Niño-González, C. A. (2017). Breve Historia del Conflicto Colombiano. *Revista de Paz y Conflictos*, 10 (1): 327-330.
- Observatorio de Drogas Ilícitas y Armas (2012). La Amenaza de Armas Pequeñas y Ligeras, Municiones y Explosivos. Universidad Colegio Nuestra Señora del Rosario.
- Oikonomou, A., Astrinakis, M., Birbilis, T., Pavlidis, P. & Prassopoulos, P. (2011). Head Trauma by Captive Bolt Gun. *BMJ Case Reports*, 2011, doi: 10.1136/bcr0920114809.
- Ongom, P. A., Kijambu, S. C. & Jombwe, J. (2014). Atypical Gunshot Injury to the Right Side of the Face with the Bullet lodged in the Carotid Sheath: a Case Report. *Journal of Medical Case Reports*, 8: 29.
- Organización de Naciones Unidas: Oficina contra la Droga y el Delito (2006). Violencia, Crimen y Tráfico Illegal de Armas en Colombia.
- Organización de Naciones Unidas (2008). Carga Global de Violencia Armada. Declaración de Génova.
- Páez-Gaitán, H. F. (2016). Trauma Craneoencefálico Severo en la UCIP del Hospital de la Misericordia, 2010-2013. Trabajo de Grado para optar por el Título de Especialista en Pediatría. Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.
- Palorno, J. L., Ramos, V., Palorno, I., López, A. & Santos, I. M. (2008). Patología Forense y Neurología asociada de los Traumatismos Craneoencefálicos. Estudio Práctico. *Cuadernos de Medicina Forense*, 14 (52): 7-117.
- Park, J. H., Kin, H. S., Kim, S. W. & Do, N. Y. (2012). Gunshot Injury to the Anterior Arch of Atlas. *Journal of The Korean Neurosurgical Society*, 51: 164-166.
- Parrado, L., Gómez, C., Valderrama, J. A., Beltrán, L. D., Sierra, M., Enríquez, A. et al. (2017). Traumatismo Craneoencefálico Pediátrico secundario a Heridas por Arma de Fuego en un Hospital General en Cali, Colombia. *Cirugía Pediátrica*, 30: 50-56.
- Pease, M., Marquez, Y., Tuchman, A., Markarian, A. & Zada, G. (2013). Diagnosis and Surgical Management of Traumatic Cerebrospinal Fluid Oculorrhea: Case Report and Systematic Review of the Literature. *Journal of Neurological Surgery Reports*, 74: 53-66.
- Peña-Quiñones, G. & Hakim-Daccach, F. (2014). Traumatismos Craneoencefálicos. Guías de Actuación en Urgencias y Emergencias. Sociedad de Enfermería en Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales.
- Peña-Quiñones, G. (2003). Traumatismo Craneoencefálico. Texto de Neurología - Capítulo XXXVII. Bogotá, D. C., Colombia: Fundación Santa Fe de Bogotá.
- Peñalosa, M. J. (2017). La variación del homicidio durante los diálogos de paz entre el Gobierno Nacional y las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia, FARC: octubre 18 del 2012 a agosto 28 del 2016. *Revista Criminalidad*, 59 (1): 129-149.
- Pérez, G. & Mantilla, J. C. (1997). Hallazgos Morfológicos encontrados a Nivel Craneoencefálico en Personas que fallecieron por Lesión a este Nivel en Bucaramanga y su Área Metropolitana durante el Periodo comprendido entre el 1 de octubre de 1995 y el 30 de septiembre de 1996. Trabajo de Grado para optar por el Título de Especialista en Patología. Universidad Industrial de Santander.
- Pradilla, G., Vesga, B. E., León, F. E. & Grupo GENECO (2003). Estudio Neuroepidemiológico Nacional (EPINEURO) Colombiano. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 14 (2): 104-111.
- Pradilla, G., Vesga, B. E., León, F. E. & Grupo GENECO (2002). Estudio Neuroepidemiológico en Aratoca, un Área Rural del Oriente Colombiano. *Revista Médica de Chile*, 130 (2): 191-199.
- Pradilla, G., Vesga, B. E., Díaz, L. A., Pinto, N. X., Sanabria, C. L., Baldovino, B. P. et al. (2002). Estudio Neuroepidemiológico en la Comunidad Urbana de Piedecuesta (Santander). *Acta Médica Colombiana*, 27 (6): 407.

- Quijano, M. C., Arango, J. C. & Cuervo, M. T. (2010). Alteraciones Cognitivas, Emocionales y Comportamentales a Largo Plazo en Pacientes con Trauma Craneoencefálico en Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 39 (4): 716-731.
- Quiroga, A., Ávila, J., Badillo, G., Cleves, O., Garavito, M., Huertas, L. et al. (2009). Intervenciones de Enfermería en Trauma Craneoencefálico en Urgencias. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 18 (4): 223-230.
- Ramasamy, A., Harrison, S., Stewart, M. & Midwinter, M. (2009). Penetrating Missile Injuries during the Iraqi Insurgency. *Annals of the Royal College of England*, 91: 551-558.
- Ransohoff, J. (1909). VI. Gunshot Injury of the Brain: with Late Manifestations after Immediate Recovery. *Annals of Surgery*, 50 (1): 66-72.
- Richmond, T. & Lemaire, J. (2008). Years of Life Lost because of Gunshot Injury to the Brain and Spinal Cord. *American Journal of Physical Medicine Rehabilitation*, 87 (7): 609-618.
- Richmond, T., Thompson, H., Klauder, D., Robinson, K. & Strumpf, N. (2006). A Feasibility Study of Methodological Issues and Short-term Outcomes in Seriously Injured Older Adults. *American Journal of Critical Care*, 15: 158-165.
- Romero, J., Subirana, M., Planchat, L. M. & Cuquerella, A. (2001). Valoración Médico Forense del Daño Cerebral Traumático. *Revista Española de Neuropsicología*, 3 (1-2): 95-130.
- Ryselis, S., Abdrachmanovas, O., Nagimiene, R. & Norkus, T. (2005). Chronic Poisoning by Metallic Lead from Locations of Gunshot Wound. *Medicina (Kaunas)*, 41 (2): 135-137.
- Sánchez, F., Díaz, A. M. & Fornisano, M. (2003). Conflicto, Violencia y Análisis Criminal en Colombia: un Análisis Espacial. Documentos CEDE, 5, 1-60.
- Santín-Amo, J. M., Castro-Bouzas, D., Arcos-Algaba, L., Díaz-Cabanas, R., Serramito-García, F. J., Bandín-Díeguez, J. M. et al. (2010). Lesiones Intracraneales originadas con Pistola de Bala Cautiva. *Neurocirugía*, 21: 491-495.
- Saraswat, V. (2009). Injury Patterns in Low Intensity Conflict. *Indian Journal of Anesthesiology*, 53 (6): 672-677.
- Shea, Y. F., Chang, R. & Chu, L. W. (2011). An Unexpected Finding in a Lucky Elderly Man. *Hong Kong Medical Journal*, 17 (5): 423-424.
- Sherman, W., Apuzzo, M., Heiden, J., Petersons, V. & Weiss, M. (1980). Gunshot Wounds to the Brain: a Civilian Experience. *Western Journal of Medicine*, 132: 99-105.
- Sibón, A., Martínez, P., Vizcaya, M. A., Haro, M. J. & Romero, J. L. (2009). Signo del Cono Truncado y Signo de Benassi en Suicidio por Arma de Fuego. *Cuadernos de Medicina Forense*, 15 (56): 155-158.
- Singh, D., Gupta, V., Kataria, R., Chopra, S., Gupta P. & Bagaria H. (2010). An Unusual Presentation of Head Injury: Teeth in Brain. *Turkish Neurosurgery*, 20 (1): 63-66.
- Solmaz, I., Kural, C., Temoz, C., Secer, H. I., Duz, B., Gonul, E. & Izci, Y. (2009). Traumatic Brain Injury due to Gunshot Wounds: a Single Institution's Experience with 442 Consecutive Patients. *Turkish Neurosurgery*, 19 (3): 216-223.
- Sonkhya P., Singhal, P. & Srivastava, S. (2005). Civilian Firearm Injured in Head and Neck. *Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 57 (3): 262-265.
- Steinbruner, D., Mazur, R. & Mahoney, P. (2007). Intracranial Placement of a Nasopharyngeal Airway in a Gunshot Victim. *Emergency Medical Journal*, 24: 311.
- Sutter, M., Daily, M., Owen, K., Daubert, G. P. & Albertson, T. (2010). Multiple Organ Transplantation after Suicide by Acetaminophen and Gunshot Wound. *Western Journal of Emergency Medicine*, 11 (5): 506-509.
- Takeuchi, Y. & Guevara, J. G. (1999). Prevalencia de las Enfermedades Neurológicas en el Valle del Cauca. Estudio Neuropidemiológico Nacional (EPINEURO). *Colombia Médica*, 30 (2): 74-81.
- Trejos-Rosero, L. F. (2013). Colombia: una Revisión Teórica de su Conflicto Armado. *Revista Enfoques*, 11 (18): 55-75.
- The Economist (2017). The World's most Dangerous Cities. Rio de Janeiro, Brazil: Instituto Igarapé. Recuperado de: <https://igarape.org.br/the-worlds-most-dangerous-cities/>
- Thompson, C. V., Huff, T. & Wass, W. (1957). Migration of Bullet in Gunshot Wound of the Brain. *California Medicine*. *California Medical Journal*, 87 (1): 44.
- Towne, E. & Goethals, T. (1980). Finger Exploration of Gunshot Wounds of the Brain. *Annals of Surgery*, 71 (5): 532-559.
- Udosen, A. M., Etiuma, A. U., Ugare, G. A. & Bassey, O. O. (2006). Gunshot Injuries in Calabar, Nigeria: an Indication of Increasing Societal Violence and Police Brutality. *African Health Science*, 6 (3): 170-172.
- Umredkar, A. & Mohindra, S. (2010). Intracranial Moving Bullet Syndrome. *Indian Neurology*, 58: 151-152.

- Uscanga, M. C., Castillo, J. A. & Arroyo, G. (2005). Hallazgos por tomografía computada en pacientes con trauma craneoencefálico, su relación con la evolución clínica y cálculo del edema cerebral. *Revista Neurología, Neurocirugía y Psiquiatría*, 38 (1): 11-19.
- Vadra, G.A. (1997). Heridas por proyectiles de Armas de Fuego Portátiles (Armas de Fuego, Cartuchos, Balística, Aporte Experimental y Clínico). *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 62 (2): 213-239.
- Vásquez, A. & Franco, L.E. (2014). Hallazgos Radiológicos en Trauma Craneoencefálico en Pacientes entre los 18 y 90 años en un Trimestre del año 2014 en el Hospital Universitario de Santander. Trabajo para optar por el Título de Médico y Cirujano. Universidad del Magdalena, 2014.
- Villaret, A. B., Zenga, F., Esposito, I., Rasulo, F., Fontanella, M. & Nicolai, P. (2012). Intracerebral Bullet Removal through an Endoscopic Transnasal Craniectomy. *Surgical Neurology International*, 3: 155.
- Von See, C., Majeed, R., Stoetzer, M., Wilker, C., Rucker, M. & Gellrich, N. C. (2011). A New Model for Characterization of Infection Risk in Gunshot Injuries: Technology, Principal Consideration and Clinical Implementation. *Head and Face Medicine*, 7 (18): 1-5.
- Wei, L. F., Wang, S. S., Jung, J. J., Zheng, S. C., Gao, J. X., Lui, Z. et al. (2013). Surgical Therapy for Craniocerebral Firearm Injury. *Turkish Neurosurgery*, 23 (4): 491-497.
- Williams, A.J., Wei, H.H., Dave, J.R. & Tortella, F.C. (2007). Acute and Delayed Neuroinflammatory Response following Experimental Penetrating Ballistic Brain Injury in the Rat. *Journal of Neuroinflammation*, 4: 17.
- Zhu, H. S., Guo, Y.W. & Xu, R. X. (2004). Pathological Changes of Cat Brain Tissues after Cranial Gunshot Wound in Hot and Humid Environment. *First Military Medical University*, 24 (7): 761-764.