

El efecto cavitacional en la lesión vascular penetrante fémoro-poplítea

The Cavitation Effect on Penetrating Femoral- Popliteal Vascular Injury

Dr. MSc. Orestes Díaz Hernández, Dr. Osvaldo Eliseo Musenden, Dra. María Luisa García Lizame, Dra. Yanela Peguero Bringuez.

Servicio de Angiología y Cirugía Vascular, Hospital Hermanos Ameijeiras. La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: las lesiones vasculares producidas durante un conflicto bélico siempre han sido una preocupación para el cirujano vascular. Una de ellas lo constituye el efecto cavitacional como producto del desarrollo de las armas modernas.

Objetivos: dar a conocer la importancia del efecto cavitacional en las heridas por arma de fuego.

Métodos: fueron analizados los heridos en combate del conflicto angolano durante los años 1990 hasta 1994. El diseño básico fue descriptivo y retrospectivo. Se realizaron 134 exploraciones vasculares, de ellas 41 del sector fémoro-poplíteo. Se compararon con efecto cavitacional 12 casos grupo A y sin efecto cavitacional 29 grupo B.

Resultados: el efecto cavitacional es totalmente destructivo y coloca al herido en situación de peligro para la extremidad y para su vida.

Conclusiones: a pesar de los análisis y clasificaciones siempre vale la pena un esfuerzo para un correcto salvamento.

Palabra clave: efecto cavitacional, lesiones vasculares

ABSTRACT

Introduction: vascular injuries during a war have always been a concern for vascular surgeon. One of them is the cavitation effect as a result of the development of modern weapons.

Objectives: present the importance of cavitation effect on gunshot wounds.

Methods: combat casualties of the Angolan war were studied from 1990 to 1994. The basic design was descriptive and retrospective. 134 vascular examinations were performed, 41 out of them were femoral-popliteal sector. 12 cases in group A with cavitation effect were compared with 29 no cavitation effect cases in group B.

Result: the cavitation effect is totally destructive and placed the wounded at risk for limb and life.

Conclusions: analysis and classifications always worth an effort to rescue correct.

Keywords: cavitation effect, vascular lesions.

INTRODUCCIÓN

Muchas de las lesiones vasculares producto de la agresividad del proyectil y sus consecuencias en medio de un campo de batalla no dan lugar a la evacuación y ocurre el fallecimiento del combatiente. Por ello, todas las lesiones nunca tienen iguales características y el comportamiento siempre es diferente sobre todo teniendo en cuenta la severidad y complejidad de las mismas. Sirvió de preocupación y estímulo analizar el efecto que producen sobre los tejidos el impacto de los proyectiles de alta velocidad. El principal elemento destructor es el efecto cavitacional (EC) con las consecuencias sobre la extremidad dando lugar a la amputación por las pocas posibilidades de reparación y salvación de la extremidad y de la vida. El empleo del torniquete es muy útil y hay reportes de sus beneficios, en nuestros casos con heridas por EC fue muy difícil su empleo, de ahí el desarrollo del shock hemorrágico.¹⁻³

Las lesiones y las causas de muerte están íntimamente relacionadas con otras causas como el pneumotórax y la obstrucción de las vías aéreas.⁴

La experiencia obtenida en distintos escenarios con heridos en combate expone que el 17 % pueden potencialmente sobrevivir bajo circunstancias óptimas. De ellos, a 79 % se eleva la mortalidad secundaria a hemorragias, 12 % por compromiso de las vías respiratorias y 4 % por lesiones en el sistema nervioso central (SNC).⁵

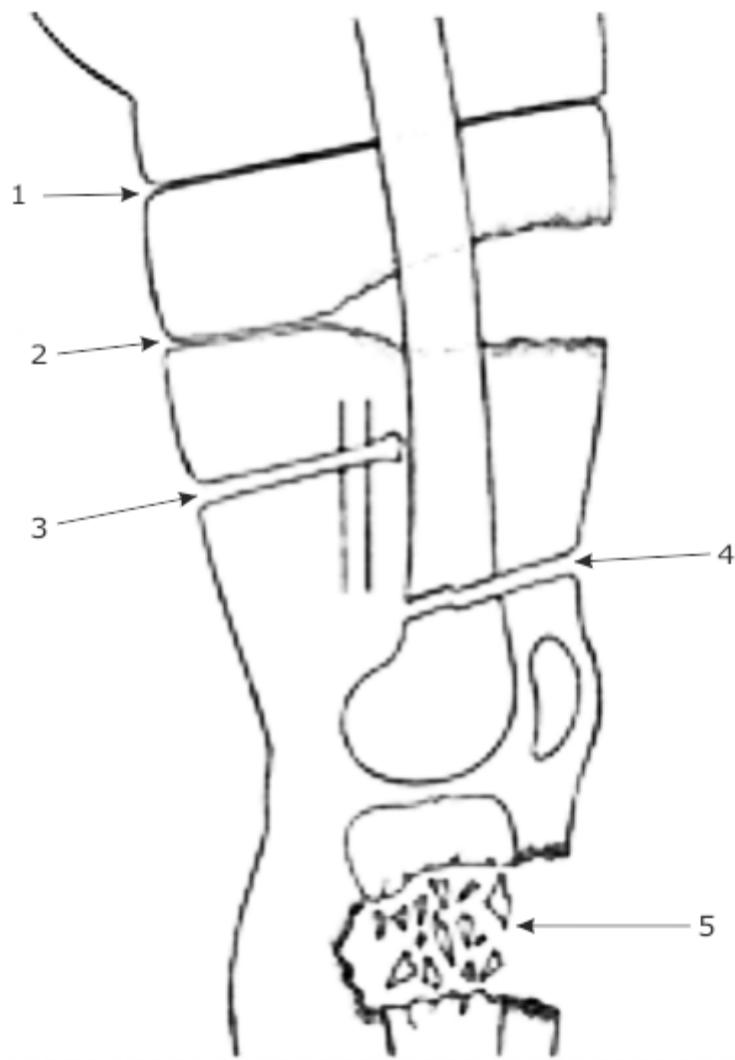
No obstante, las lesiones se definen como daño físico causado por la transferencia de energía (mecánica, térmica, eléctrica, química o radiante) o por la falta repentina de calor u oxígeno. Las lesiones se clasifican con referencia a la presunta intención subyacente: las lesiones involuntarias son las causadas por accidentes de tránsito,

caídas, ahogamiento, quemaduras e intoxicaciones. Las lesiones voluntarias son las causadas por autoagresión, violencia interpersonal, *guerras y conflictos*. Si bien este tema en general ha recibido poca atención, el estudio sobre carga global de enfermedad ("Global Burden of Disease") incluyó las lesiones en la agenda de salud global al clasificar las principales causa de muerte en tres grupos: *Grupo I*: enfermedades transmisibles, enfermedades maternas, perinatales y de la nutrición, *Grupo II*: enfermedades no transmisibles y *Grupo III: lesiones*.⁶

Balística elemental

La balística estudia el comportamiento de un proyectil desde el interior del arma - balística interna-, su paso a través del aire –balística externa-, hasta su impacto - balística terminal-. El potencial destructivo de un proyectil está determinado por la energía liberada al producirse el impacto por lo que la velocidad contribuye más al efecto letal que la masa. Si duplicamos el valor de la masa se duplica también la energía cinética y si duplicamos la velocidad se cuadriplica la misma. Llamamos energía cinética de un cuerpo, a la mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad $K = \frac{1}{2} mv^2$. El enunciado resultante sería: el trabajo hecho por la fuerza resultan te que obra sobre una partícula es igual al cambio de energía cinética de la partícula.⁷

En general se distinguen 2 tipos de proyectil: los de alta velocidad que alcanzan desde 600 m/seg hasta más 900 m/seg y los que no alcanzan dicho límite son de baja velocidad. Las escopetas de caza (perdigones), las armas cortas, pistolas y revólveres son de baja velocidad, en tanto que los rifles militares y los de caza mayor son de alta velocidad. En una herida producida por un proyectil de baja velocidad el orificio de entrada suele ser del mismo diámetro que el de salida en tanto que si es de alta velocidad el orificio de salida es mucho mayor que el de entrada. Además, se pueden producir fracturas lejos del sitio del impacto debido a las ondas de choque. La gravedad del impacto está en relación con la densidad y la elasticidad del tejido afectado. Cuando un proyectil impacta en un hueso hay fragmentos óseos que siguen la dirección del proyectil y que se comportan como proyectiles secundarios causando daño tisular y destrucción vascular. Otros fragmentos se desplazan en sentido contrario por efecto de la cavitación. ([Fig. 1](#))



1. Entrada y salida según calibre del proyectil.
2. Entrada con salida de más de 4 cm con cavidad temporal y permanente.
3. Entrada sin salida, afectación de los tejidos y fragmentos de metralla.
4. Entrada, fractura simple y metralla en el trayecto del proyectil.
5. Entrada amplia, gran cavidad y fractura conminuta con fragmentos de metralla.

Fig. 1. Esquema con 5 ejemplos de trauma vascular bélico:

Efecto cavitacional

La cavitación es un fenómeno consistente en la formación de una cavidad temporal producida por la onda de paso de un proyectil de alta velocidad, al producirse una presión "sub-atmosférica" que arrastra por succión aire, pelos, restos de piel u otros elementos dentro de la herida. Una vez que ha pasado el proyectil la cavidad se colapsa. Estudios experimentales han demostrado que el húmero es más resistente que el fémur a la comminución producida por un proyectil de alta velocidad.^{8,9}

En primer lugar están las heridas por arma de fuego, cuya severidad depende de la velocidad del proyectil. Los proyectiles de alta velocidad empleados por los militares producen destrucción masiva de tejidos. Además del daño directo, originan una lesión a distancia llamada Efecto Cavitacional (EC), consistente en la destrucción de los tejidos por el efecto ondulante del proyectil.¹⁰

Este EC lesiona la íntima y origina trombosis en sitios distantes al lugar del impacto. Los proyectiles de baja velocidad, que son los causantes de las heridas civiles, producen un daño importante pero menos severo.¹¹

Los efectos sobre las arterias de los proyectiles de alta velocidad han sido bien documentados por el trabajo experimental de *Amató y col.* que demuestra que la pared vascular se daña no sólo por la acción directa del proyectil, sino que a esto se agrega el daño indirecto provocado por los fenómenos de cavitación temporal producidos en los tejidos al momento de ocurrir la transferencia de la energía cinética del proyectil.¹²

Se ha estimado que el área de cavitación temporal puede llegar a alcanzar hasta 30 veces el diámetro del proyectil mismo, lo que la hace ser mayor aún que la cavitación permanente o área definitiva de injuria que quedará como secuela.¹³⁻¹⁵

El proceso físico de la cavitación es casi exactamente igual que el que ocurre durante la ebullición. La mayor diferencia entre ambos consiste en cómo se efectúa el cambio de fase. La ebullición eleva la presión de vapor del líquido por encima de la presión ambiente local para producir el cambio a fase gaseosa, mientras que la cavitación es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor. El factor determinante en la cavitación es la temperatura del líquido. Al variar la temperatura del líquido varía también la presión de vapor de forma importante, haciendo más fácil o difícil que para una presión local ambiente dada la presión de vapor disminuya a un valor que provoque cavitación.¹⁶

La cavitación o aspiración en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, que produce una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de *Bernoulli* (Principio de Bernoulli).¹⁷

Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambien inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o *cavidades*. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) y produce una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno. La propia implosión origina una considerable fuerza destructiva. Las burbujas sirven como indicadores de cavitación acústica también.¹⁸⁻²¹

Al ampliar el concepto de cavitación tenemos en cuenta que la acción de fragmentación es presumiblemente cavitación. Y este principio se usa en litotricia para la desintegración de los cálculos.^{22,23}

Al aplicar esta expresión con balas simétricas son prácticamente indeformables al choque con el organismo humano. En el caso de las balas asimétricas, los efectos conseguidos son superiores porque se voltean en el momento del impacto, la bala se aplasta y aumenta la destrucción. Este fenómeno es altamente evaluado en los servicios de atención a los heridos de combate.²⁴ Además, si el proyectil es animado de alta velocidad en el momento del impacto se produce una hiperextravasación de los tejidos por una subida de presión en una gran zona alrededor de la herida, en virtud del principio de Pascal. Este principio se basa en que la presión aplicada a un fluido confinado se transmite con el mismo valor a todos los puntos del fluido y a las paredes del depósito que lo contiene.^{25,26}

Los pacientes portadores de fracturas fueron clasificados de la siguiente forma para definir la correcta atención:

Tipo I.- Proyectil de baja velocidad. La fractura es transversa u oblicua. No hay pérdida de hueso cortical. Mínima lesión de tejidos blandos.

Tipo II.- Proyectil de baja velocidad. La fractura es comminuta. No hay pérdida de hueso cortical. Mínima lesión de tejidos blandos.

Tipo III.- Proyectil de alta velocidad. La fractura es comminuta con pérdida de hueso cortical o fragmentos muy pequeños. Lesión grave de tejidos blandos.

Las fracturas suelen ser únicas y por cavitación muy raras veces ocurre. Los múltiples fragmentos óseos mezclados con fragmentos del proyectil significa que la bala chocó con el hueso y no que la fractura comminuta sea el resultado de la cavitación temporal. Los fragmentos óseos resultantes del choque del proyectil pueden ser impulsados a distancia y entonces actuar como proyectiles secundarios que tienen la capacidad de lesionar tejidos vecinos.

El método empleado está basado en un diseño descriptivo y retrospectivo obteniendo los datos de una base codificada y confeccionada especialmente para esta actividad.

MÉTODOS

Se realizó una revisión del archivo de historias clínicas de forma retrospectiva de todos los pacientes diagnosticados de trauma vascular que concurrieron al cuerpo de guardia del Hospital Militar Central de Luanda entre 1991 y 1995. Los datos tomados de los expedientes fueron: diagnóstico (trauma agudo o crónico), tipo de arma, tipo de trauma, lesión arterial, tiempo de isquemia, arteriografía, ecografía, vaso lesionado, nervio, fractura, tipo de cirugía, complicaciones. Las arteriografías no fueron necesarias debido a la urgencia extrema con estos pacientes en fase de shock hemorrágico y por el efecto cavitacional, a pesar de lo importante y útil para un correcto diagnóstico topográfico y estratégico quirúrgico.^{27,28}

Con los datos obtenidos se evalúa el sistema NISSA y se determinó la posibilidad de realizar una revascularización o una amputación primaria. Este sistema valora la lesión

nerviosa, la isquemia, lesiones tisulares, afectación de huesos o fracturas, estado del shock y la edad del herido. Para ello proponen la posible pérdida de la extremidad cuando los puntos sumados por cada una de las variables son mayores de 9.²⁹

El diagnóstico del EC se basa en las características de la herida. Lo primero que se observa es el orificio de entrada del proyectil que suele ser pequeño con relación al orificio de salida que es de mayor dimensión y al explorarlo deben entrar más de tres dedos, abundante sangramiento, impotencia funcional del miembro, acompañado de pérdida de la estabilidad del miembro por las fracturas que en ocasiones pueden ser abiertas con exposición del hueso y potencialmente sépticas. En la exploración quirúrgica detectamos el daño vascular que puede ser sección total o parcial de arteria y vena, destrucción ósea con posible fractura comminuta, gran destrucción de músculos, y tejido celular subcutáneo y piel. Dentro de la cavidad podemos encontrar fragmentos de ropa, metálicos, piedras, tierra y otros.

Los pacientes para su mejor estudio y tratamiento son divididos en dos grupos. El grupo A con EC y el grupo B sin el efecto. Este análisis estableció una comparación de acuerdo a las variables estudiadas.

Se excluyeron los pacientes con fracturas y daño vascular irreversible con sepsis severa asumidos por Ortopedia para su amputación. Desde un principio los pacientes fueron divididos en trauma vascular agudo (hemorragia, isquemia y combinados) y trauma vascular crónico (falso aneurisma y fistula arteriovenosa).

En los distintos conflictos bélicos ocurridos en el mundo los porcentajes de las lesiones vasculares al nivel fémoro-poplíteo varían entre 56 % y 62 %. ([Tabla 1](#))³⁰⁻³⁴

Tabla 1. Lesiones del sector fémoro-poplíteo según conflictos bélicos por países

País	Año	N	(%)
Vietnam	(1965-1969) (31)	944	(60%)
Israel)	(1973-1974 (32)	41	(56%)
Libano	(1969-1982) (33)	720	(62%)
Croacia	(1991-1992) (30)	57	(60%)
Golfo Pérsico	(1990) (34)	31	(32%)
Angola	(1990-1994)	112	(37%)

De manera que de estos 41 solamente recepcionamos 12 con heridas con las características de haber sufrido una herida por proyectil de alta velocidad con el EC. Los 29 restantes no tenían EC en sus heridas. Para ello se confeccionó un flujograma para el diagnóstico de estos pacientes. ([Fig. 2](#))

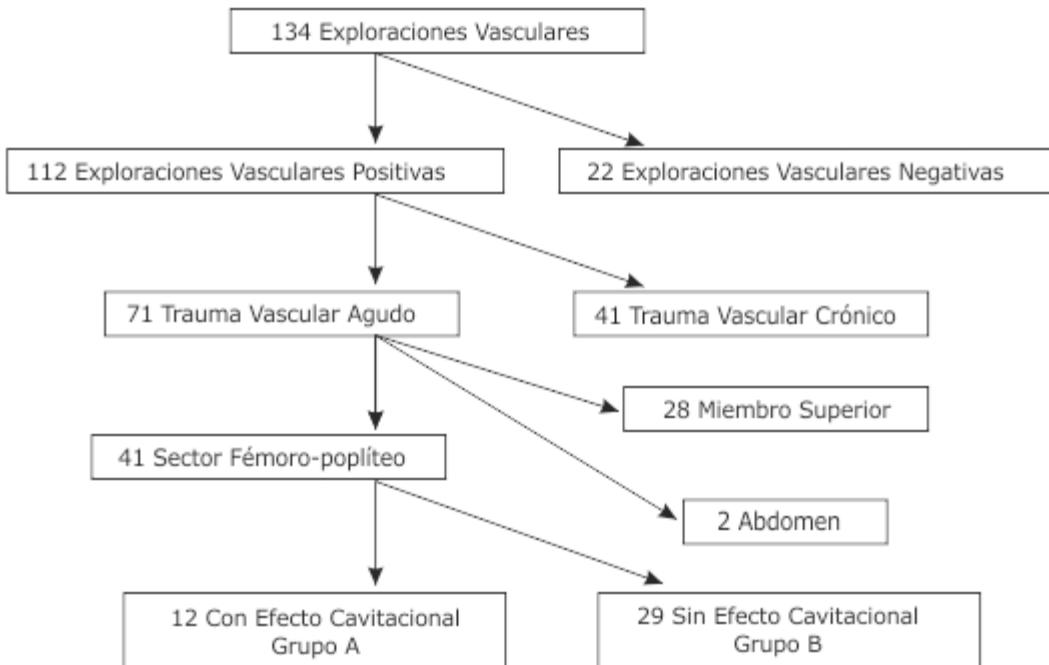


Fig. 2. Flujograma diagnóstico para pacientes heridos con efecto cavitacional.

Los datos se obtuvieron con un archivo de datos codificados y elaborados en Access con la ayuda de Excel y StatCalc de EpiInfo versión 7. Se realizaron los análisis estadísticos pertinentes basados en las pruebas de Sensibilidad y Especificidad, Valor Predictivo Positivo y Negativo, Razón de Verosimilitud o Cociente de Probabilidades y el Riesgo Relativo con Intervalo de Confianza al 95 % para pruebas diagnósticas aplicadas al sistema NISSA. Se acepta generalmente como significante un valor de $p<0,05$.

RESULTADOS

A los 134 heridos atendidos se les realizó exploración vascular cuya herida se correspondía con un trayecto vascular y se obtuvo el resultado de 22 (16,4 %) exploraciones negativas y 112 (83,6 %) positivas. De ellas, 71 por trauma vascular agudo y 41 (37 %) al sector fémoro-poplíteo.

De las 41 correspondientes al sector fémoro-poplíteo se detectan 12 casos con EC (grupo A) y sin este efecto 29 casos (grupo B). Al comparar los dos grupos detectamos que la sección arterial total (75 %) y parcial (25 %) predominó en el grupo A. Mientras que ambos tipos de secciones arterial (58 %) y venosas (42 %) están casi iguales en los dos grupos.

Las variables como el tiempo de isquemia superior a las 6 horas, las lesiones de huesos (fracturas) y tejidos afectados por el EC predominaron también en el grupo A con $p<0,0001$ excepto las lesiones neurológicas $p=0,66$. Las trombosis vasculares y la

infección fueron superiores en este grupo $p<0,0001$ y $p<0,0002$, respectivamente. ([Tabla 2](#))

Tabla 2. Comparación entre según variables

Variables	Riesgo Relativo	(IC 95%)	Valor de p
Tiempo isquemia >6 H	2,50	(1,30-3,52)	0,0001
Lesión neurológica	1,09	(0,82-1,44)	0,66
Lesión tisular	23,98	(3,45-166,64)	0,0001
Lesión ósea (fracturas)	5,66	(2,93-10,95)	0,0001
Trombosis vascular	7,28	(3,71-13,98)	0,0001
Sepsis tisular	1,70	(1,30-2,22)	0,0002

En la [tabla 3](#) se observa el tratamiento quirúrgico específico y en la [tabla 4](#) se complementan los resultados del tratamiento quirúrgico.

Tabla 3. Comparación entre grupos según Cirugía Arterial

Cirugía arterial	Grupo A N=12 N (%)	Grupo B N=29 N (%)	Total N=41
Injerto venoso	1 (8,3)	1 (3,4)	2
Término-terminal	6 (50)	4 (14)	10
Arteriorrafia	2 (17)	10 (34)	12
Ligaduras	3 (25)	14 (48)	17
Fasciotomías	12 (100)	25 (86)	37
Trombectomías	6 (50)	12 (41)	18

Tabla 4. Comparación entre grupos según Cirugía Venosa

Cirugía venosa	Grupo A N=12 N (%)	Grupo B N=29 N (%)	Total N=41
Término-terminal	2 (17)	1 (3,4)	3
Venorrafia	2 (17)	4 (14)	6
Ligadura	8 (67)	11 (38)	19

Las posibilidades para microcirugía vascular de vasos de mediano calibre fueron nulas por el EC pero a su vez no es recomendada por algunos cirujanos.³⁵ La microcirugía requiere de patrones flujométricos capaces de garantizar el éxito y en nuestros casos esto estaba anulado e incluso en los casos sin EC.³⁶

Las amputaciones en general para el grupo A fueron 67 % y para el grupo B 17 %. Las causas que motivaron la amputación en el grupo A fueron la isquemia y de forma combinada isquemia y sepsis, mientras que en el grupo B por isquemia y combinada.

Los amputados con isquemia de más de 6 horas en el grupo A fue 67 % y para el grupo B 20 %. Los fallecidos con menos de 24 horas en el grupo A fue 30 % y en el grupo B 12 %. Los amputados que fallecieron fueron 2 (33,3 %) en el grupo A y 20 % para el grupo B. La tasa de amputaciones en general para los dos grupos fue de 28,3 %. El seguimiento de los casos amputados es imprescindible pero nuestros casos retornaron a sus respectivos lugares de entrenamiento para su recuperación.³⁷ En la [tabla 5](#) se exponen los resultados del puntaje del sistema NISSA.

Tabla 5. Resultados de la exploración vascular en el sector fémoro-poplíteo y puesta en práctica del sistema NISSA

Sistema NISSA	Grupo A	Grupo B	Total
≥ 9 puntos	11	5	16
< 9 puntos	1	24	25
Total	12	29	41

Sensibilidad = 92% Especificidad = 83%

Valor Predictivo Positivo = 69%

Valor Predictivo Negativo = 96%

Razón de Verosimilitud Positiva = 5,4

Razón de Verosimilitud Negativa = 0,096

RR=17,2(IC95% 2,45-120,6) p<0,0001

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el grupo A, con EC, son efectivamente peores por las características destructivas de los proyectiles de alta velocidad. Hasta ahora no se han editado trabajos científicos para demostrar este efecto en grupos comparativos. Es importante hacer notar que en el propio lugar de combate donde se desarrollan los hechos militares los heridos que sufren este efecto es muy probable que no puedan ser evacuados en tiempo y forma con alto riesgo para sus vidas. En nuestra estadística se analizaron aquellos heridos afortunados en cuanto al tiempo de isquemia y a la evacuación y llegada oportuna al cuerpo de guardia del hospital de campaña.

Las lesiones arteriales del sector fémoro-poplíteo están asociadas con un manejo clínico complejo y una significante morbilidad y mortalidad. De ahí, la importancia del empleo de los rayos X y el ultrasonido ante cualquier duda para verificar el diagnóstico de la lesión vascular y de los tejidos vecinos y aplicar la técnica adecuada^{38,39} pero este tipo de paciente con las características de gravedad no requiere estudios sino el tratamiento urgente. Los heridos con frecuencia presentan shock hemorrágico y están en un sustancial riesgo de muerte precoz por exsanguinación.⁴⁰

El sector fémoro-poplíteo es el más afectado; *Ringburg*,⁴¹ en su estudio sobre la calidad de vida post-quirúrgico, obtuvo OR=2,3 (IC 95 %1,0-4,9) en la zona fémoro-poplítea con calidad de vida aceptable. En series de análisis civiles se obtienen datos como *Shah*⁴² (43,4 %) y *Franz*⁴³ (59 %) en las lesiones fémoro-poplíticas. En los

conflictos militares el sector fémoro-poplíteo siempre ha sido el más afectado.⁴⁴⁻

⁴⁶ Compartimos la opinión de los trabajos en conflictos armados.

La mortalidad estuvo íntimamente ligada entre otras cosas al tiempo de isquemia, a la evacuación precoz con pre-tratamiento en el lugar pre-hospital y la conducta complementaria en el hospital de base.⁴⁷

La experiencia indica que la logística en el punto final debe estar garantizada con transfusiones de sangre, todo tipo de líquidos para uso endovenoso, antibióticos, instrumental quirúrgico, prótesis vasculares, suturas y unidades quirúrgicas apropiadas para este tipo de cirugía. La reparación de las fracturas juega un papel esencial sobre todo las fracturas abiertas (tipo III) tanto en fémur como en tibias que requieren un cuidado especial.⁴⁸⁻⁵⁰

Varios autores expusieron sus resultados y opiniones en cuanto a las experiencias en estados de guerra en el "Joint Theater Trauma Registry (JTTR)". Consideraron 66,4 % de heridas penetrantes en sus heridos de combate, 24,1 % con lesiones extremadamente severas (por posible EC), 21,8 % en estado de shock, 24 % requirieron transfusiones de sangre y de estos 4,2 % recibieron más de unidades de sangre en 24 horas. Y en su metaanálisis proponen ofrecer medidas de extremo cuidado para tratar situaciones tales como hemorragia, hipotensión y quemaduras.⁵¹⁻

⁵⁸

Por nuestra parte, el shock en los casos con EC estuvo en 100 % y en los casos sin EC 41,4 % mucho mayor por el escenario del combate. Jawas reporta 22 % de shock en su serie.³⁴ Las heridas penetrantes en nuestros casos con EC 100 % y sin EC 70 %, las transfusiones de sangre fueron bajas 30 %.

El sistema NISSA puede ser válido en el momento de decidir la viabilidad de una extremidad, no obstante, siempre se debe realizar una exploración vascular y verificar si en realidad está perdido el miembro. En los casos con EC las 12 exploraciones fueron positivas y 3 de ellas por el estado de gravedad se realizó ligadura arterial y venosa por la destrucción vascular con fractura cominuta abierta tipo III. Estos 3 casos fueron amputados y no fallecieron.

La sensibilidad y especificidad es casi similar (92 % y 83 % respectivamente) a otros estudios publicados en el consenso Europea Journal of Trauma en el 2003 por Hoogendorp y Van der Werken⁵⁹ 67 y 92 %, Sapiens²⁹ 80 % y 86 % y McNamara⁶⁰ 82 % y 92 % pero no tan alta como el publicado por autor del sistema NISSA. El valor predictivo positivo y negativo que se obtuvo (80 % y 86 % respectivamente) por Sapiens²⁹ también es similar al obtenido por nosotros en dicho consenso 82 % y 90 %, respectivamente.

La sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y negativo no alcanzan el 100 % o se encuentran muy cercanos a éste, con un porcentaje de margen de error importante. Este sistema de puntaje tiene valor clínico limitado o no puede ser usado como criterio absoluto para el manejo del trauma de una extremidad. El EC es producto del paso de un proyectil de alta velocidad que proporciona una destrucción total o parcial de las estructuras vitales de una extremidad. La reparación de las estructuras involucradas es de extrema dificultad tanto para los vasos sanguíneos, los huesos, los nervios, músculos y tejidos circundantes. El EC lesiona inclusive tejidos distantes al paso del proyectil. La cavidad permanente puede ser asiento de

infecciones graves. Todo esto contribuye tanto a la pérdida de la extremidad como a la vida.

Las medidas que deben tomarse desde el lugar donde ocurren los hechos, ya sea un campo de batalla o civil, deben ser muy extremas para detener el sangramiento y su rápido traslado a las unidades sanitarias.

El análisis NISSA puede ser útil pero se aconseja siempre realizar la exploración vascular a pesar de indicar altas probabilidades de pérdida de la extremidad. Su empleo puede mejorar los resultados a corto y largo plazo. Podemos recomendar el empleo del sistema NISSA con variables más objetivas, mayor número de casos y lograr valores predictivos mucho mejores que los actuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arias J. Fisiopatología quirúrgica. 1999. Consultado: 20 de diciembre del 2013. Disponible en: Books.google.com.cu
2. Kragh JF, Walters TJ, Baer Dg. Survival with emergency tourniquet use to stop bleeding in major trauma. Ann Surg. 2009; 249(1):1-7.
3. Kragh JF, Walters TJ, Baer DG, Fox CJ. Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. J Trauma. 2008; 64(s2):S38-S50.
4. Beekley AC, Sebesta JA, Blackbourne LH. Prehospital tourniquet use in operation Iraqi freedom: effect on hemorrhage control and outcomes. J Trauma. 2008; 64(s 2):S28-S37.
5. Tien HC, Jung V, Rizoli SB. An evaluation of tactical combat casualty care interventions in a combat environment. J Am Coll Surg. 2008; 207:174-8.
6. Kelly JF, Ritenour AE, McLaughlin DF. Injury severity and causes of death from operation Iraqi freedom and operation enduring freedom: 2003-2004 versus 2006. J Trauma. 2008; 64(suppl 2):S21-S7.
7. Norton R, Kobusingye O. Lesiones, la situación en el mundo. N Engl J Med. 2013; 368:1723-30.
8. Resnick R, Halliday D. Física, Parte 1. Ed Instituto Cubano del Libro, 1974.
9. De Muth WE. The mechanism of shotgun wounds. J Trauma. 1971; 11:219-29.
10. Cooper GJ, Ryen JM. Interaction of penetrating missiles with tissues: some common misapprehensions and implications for wound. Br J Surg. 1990; 77:606-10.
11. Weaver FA. Epidemiology and Natural History of Vascular Trauma. Cap. 69. En: Rutherford´s Vascular Surgery, Section XII – VASCULAR TRAUMA. 6th ed. Saunders Elsevier; 2005. p. 720.

12. Coupland RM. Technical aspects of war wound excision. *Br J Surg.* 1989;76:663-7.
13. Amato JA, Rich N, Billy JL, Gruber R, Lawson N. High velocity arterial injury, a study of the mechanism of injury. *J Trauma.* 1971;2(5):412-6.
14. Poblete R. Heridas vasculares periféricas por proyectiles de alta velocidad. En: Lombardi J, Silva P, Castro J, Ejército de Chile, eds. *Heridas por proyectil. experiencia en 376 casos.* Dirección de Sanidad del Ejército Chileno, 1977:159-70.
15. Radonic V, Baric D, Petricevic A, Kovacevic H, Sapunari D, Glavina M. War injuries of the crural arteries. *British Journal of Surgery.* 1995;82:777-83.
16. Leppaniemi A, Rich N. Treatment of vascular injuries in war wounds of the extremities. *Techniques in Orthopaedics.* 1995;10(3):265-71.
17. Wikipedia. Cavitación. Consultado: diciembre 2013. <http://es.wikipedia.org/wiki/cavitaci%C3%B3n2010>.
18. Resnick R, Halliday D. Física, Parte 1. Ed Instituto Cubano del Libro. 1974.
19. Apfel RE. Acoustic cavitation: a possible consequence of biomedical uses of ultrasound. *Br J Cancer.* 1982;45:140-6.
20. Sass W. The role of cavitation activity in fragmentation processes by lithotripters. *J Stone Dis.* 1982;4:193-207.
21. Van Wijngaarden L. Hydrodynamic interaction between gas bubbles in liquidid. *J Fluid Mech.* 1976;77:27-38.
22. Lubock P. The physics and mechanics of lithotripters. *Dig Dis Sci.* 1989;34:999-1005.
23. Crum LA. Cavitation microjets as a contributory mechaism for renal calculi disintegration in ESWL. *J Urol.* 1988;140:1587-90.
24. Delius M. Biological effects of shock waves: kidney haemorrhage by shock waves in dogs administration rate dependence. *Ultrasound Med Biology.* 1988;14:689-94.
25. Laudermilch D, Schiff M, Nathens A. Lack of emergency medical services documentation is associated with poor patient outcomes: a validation of audit filters for prehospital trauma care. *J Am Coll Surg.* 2010;210(2):220-7.
26. Stephenson TJ. Short-term effects of extracorporeak shock wave lithotripsy on the human gall bladder. *J Pathol.* 1989;158:239-40.
27. Heymann FJ. High-speed impact between a liquid drop and a solid surface. *J Appl Phys.* 1969;60:5113-22.
28. Peng PD, Spain DA, Tataria M. CT angiography effectively evaluates extremity vascular trauma. *Am Surg.* 2008;74:103-7.

29. Inaba K, Potzman J, Munera F. Multi-slice CT angiography for arterial evaluation in the injured lower extremity. *J Trauma*. 2006;60:502-7.
30. Sapiéns LMC y cols. Resultado de la aplicación del sistema de puntaje NISSA. *Rev Mex Angiol*. 2006;34(4):134-40.
31. Lovrié Z, Wertheimer B, Candrié K. War injuries of major extremity vessels. *J Trauma*. 1994;36:248-51.
32. Rich NM, Baugh JH, Hughes CW. Acute arterial injuries in Vietnam: 1 000 cases. *J Trauma*. 1970;10:359-69.
33. Schramek A, Hashmonai M. Vascular injuries in the extremities in battle casualties. *Br J Surg*. 1977;54:644-648.
34. Zakharia AT. Cardiovascular and thoracic battle injuries in the Lebanon war: analysis of 3 000 personal cases. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1985;89:723-33.
35. Jawas A. Management of war-related vascular injuries: experience from the second gulf war. *World Journal of Emergency Surgery*. 2013;8:22.
36. Karanas YL, Nigriny J, Chang J. The timing of microsurgical reconstruction in lower extremity trauma. *Microsurgery*. 2008;28:632-4.
37. Haddock N, Garfein E, Saadeh P. The lower extremity Allen Test (LEAT). *J Reconstruct Microsurg*. 2009.
38. Saddawi-Konefka D, Kim HM, Chung KC. A systematic review of outcomes and complications of reconstruction and amputation for type IIIB and IIIC fractures of the tibia. *Plast Reconstr Surg*. 2008;122:1796-805.
39. Starnes BW, Beekley AC, Sebesta JA, Andersen CA, Rush RM Jr. Extremity vascular injuries on the battlefield: Tips for surgeons deploying to war. *J Trauma*. 2006;60:432-42.
40. Abu-Zidan FM. Point-of-care ultrasound in critically ill patients: Where do we stand? *J Emerg Trauma Shock*. 2012;5:70-1.
41. Harris D, Denckar C, Haravan M, Sarkar R. Management and outcomes of blunt common and external iliac arterial injuries. *J Vasc Surg*. 2014;59(1):15-25.
42. Ringburg AN, Polinder S, Van Ierland MPC. Prevalence and prognostic factors of disability after major trauma. *J Trauma*. 2011;70(4):916-22.
43. Shah PM, Ivatury RR, Babu SC. Is limb loss avoidable in civilian vascular injuries? *Am J Surg*. 1987;154:202-5.
44. Franz R, Shah K, Malaharvi D, Franz E, Hartman J, Wright M. A 5-year review of management of lower extremity arterial injuries at an urban level I trauma center. *J Vasc Surg*. 2011;53(6):1604-10.

45. Fox C, Gillespie D, Rich N. Contemporary management of wartime vascular trauma. *J Vasc Surg.* 2005;41:638-44.
46. Frykberg ER, Schinco MA. Peripheral vascular injury. In: Moore EE, Feliciano DV, Mattox KL. Trauma. 5th edition. NewYork: McGraw-Hill. 2004:969-1004.
47. Woodward EB, Clouse WD, Eliason JL. Penetrating femoropopliteal injury during modern warfare: Experience of the Balad Vascular Registry. *J Vasc Surg.* 2008;47:1259-64.
48. Markov N, DuBose JJ, Scott D. Anatomic distribution and mortality of arterial injury in the wars in Afghanistan and Iraq with comparison to a civilian benchmark. *J Vasc Surg.* 2012;56(3): 728-36.
49. Parrett BM, Matros E, Pribaz JJ. Lower extremity trauma: trends in the management of soft-tissue reconstruction of open tibia-fibula fractures. *Plast Reconstr Surg.* 2006;117:1314-23.
50. Hsieh CH, Liang CC, Kueh NS. Distally based sural island flap for the reconstruction of a large soft tissue defect in an open tibial fracture with occluded anterior and posterior tibial arteries-a case report. *Br J Plast Surg.* 2005;58:112-5.
51. Luo Z, Lou H, Jiang J. Pedicle flap transfer combined with external fixator to treat leg open fracture with soft tissue defect. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2008;22:956-8.
52. Eastridge BJ, Jenkins D, Flaherty S. Trauma system development in a theater of war. Experiences from operation Iraqi freedom and operation enduring freedom. *J Trauma.* 2006;61(6):1366-73.
53. McLaughlin DF, Niles SE, Salinas J. A predictive model for massive transfusión in combat casualty patients. *J Trauma.* 2008;64(Suppl 2):S57-S63.
54. Borgman MA, Spinella PC, Perkins JG. The ratio of blood products transfused affects mortality in patients receiving massive transfusions at a combat support hospital. *J Trauma.* 2007;63(4):805-13.
55. Holcomb JB, Jenkins D, Rhee P. Damage control resuscitation: directly addressing the early coagulopathy of trauma. *J Trauma.* 2007;62(2):307-10.
56. Ennis JL, Chung KK, Renz EM. Joint theater trauma system implementation of burn resuscitation guidelines improves outcomes in severely burned military casualties. *J Trauma.* 2008;64(suppl 2):S146-S52.
57. Davis DP, Peay J, Sise MJ. Prehospital airway and ventilation management: a trauma score and injury severity score-based analysis. *J Trauma.* 2010;69(2):294-301.
58. Butler FK. Tactical combat casualty care: update 2009. *J Trauma.* 2010;69(1):10-3.

59. Beekley AC, Starnes BW, Sebesta JA. Lessons learned from modern military surgery. *Surg Clin N Am.* 2007;87:157-84.
60. Hoogendoom JM, Weken Chr. The mangled leg decision making based on scoring system and outcome. *European Journal Trauma.* 2002;28(1):1-10.
61. McNamara M, Heckma JD, Corlet FG. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the mangled extremity severity score. *J Orthopedic Trauma.* 1994;8:281-7.

Recibido: 9 de julio de 2014.

Aprobado: 20 de julio de 2014.

Dr. MSc. Orestes Díaz Hernández, Profesor consultante, especialista II grado Angiología y Cirugía Vascular, profesor auxiliar, Email: orestes.diaz@infomed.sld.cu