

“TRAUMATISMO PULMONAR POR ONDA EXPANSIVA”

EL CORPUS DE LA MEDICINA de emergencias prehospitalarias es amplio y a menudo se introduce en terrenos en apariencia ajenos a la medicina. Como bien dice el autor, en los tiempos actuales, en un mundo violento y con amenazas permanentes, nos toca preocuparnos por adquirir unos conocimientos básicos de muchas disciplinas, entre otros de la física de las explosiones.

No es raro confundir deflagraciones con explosiones. La diferencia fundamental es la velocidad a la que se difunde la onda explosiva: superior a la del sonido en el caso de estas últimas.

Las explosiones afectan de manera peculiar a los órganos que contienen gas: pulmones, aparato digestivo y oídos. La víctima de una explosión puede presentar múltiples lesiones, desde quemaduras hasta fracturas o heridas penetrantes por metralla.

El artículo se centra en las lesiones pulmonares por onda expansiva (término más correcto en español que el conocido blast pulmonar). Contusión pulmonar, hemorragias pulmonares y edema pulmonar, son la base de la semiología de este cuadro. Se trata de pacientes muy graves, pero que si se tratan de forma adecuada tienen muchas probabilidades de sobrevivir sin secuelas respiratorias.

El primer reto es identificar a los pacientes susceptibles de padecerlo: no nos vale ya el “filtro” de fijarnos en los que presentan rotura de tímpano. En general se trata de pacientes con dificultad respiratoria e hipoxia sin necesidad de una lesión externa llamativa. La presencia de quemaduras superiores al 10% de la superficie corporal, fracturas de cráneo y lesiones penetrantes de tórax o cráneo aumentan el grado de sospecha.

El tratamiento de estos pacientes requiere un manejo cuidadoso de la ventilación mecánica, manteniendo una hipercapnia permisiva con hipoventilación alveolar, uso generoso de la toracostomía (que hay que considerar en prehospitalaria, muy especialmente antes de un traslado aéreo). En nuestro país, desgraciadamente, la experiencia en este tipo de víctimas es dilatada. Recomendamos la lectura del artículo que describe la casuística atendida en el Hospital Gregorio Marañón, el más próximo a la zona afectada por las explosiones del 11-M y que está incluido entre la bibliografía del artículo que nos ocupa.

No podemos dejar de mencionar la seguridad de los que intervienen en caso de explosión; la mejor protección frente a una explosión es la distancia y la prudencia (en ese orden).

- Unas distancias de seguridad mínimas de 100 m en caso de vehículos ya explosionados y 200 m si no lo han hecho aún es una medida aceptable en ausencia de otra indicación por las fuerzas de orden público.
- Cuidado con lo que se usa como parapeto; puede convertirse en metralla en caso de explosión.
- Se debe valorar el riesgo de “bombas-trampa”.
- En la zona “caliente” sólo deben aplicarse gestos salvadores sencillos: apertura de vías aéreas y cohibición de hemorragias (si es necesario acudiendo al uso de torniquetes hasta llegar a zona segura).
- La zona “caliente” no es, en absoluto, el lugar adecuado para realizar medidas de soporte vital avanzado.

Luis Roberto Jiménez Guadarrama

*Médico de emergencias de EPES-061.
Servicio Provincial de Granada. España*

TRAUMATISMO PULMONAR POR ONDA EXPANSIVA

ENTRE EL AÑO 2001 Y EL 2003 EL TERRORISMO INTERNACIONAL PRODUJO MÁS DE 500 EXPLOSIONES, PROVOCANDO MÁS DE 4.600 MUERTES. EN TODO EL MUNDO, ENTRE 1968 Y 1999, SE PRODUJERON MÁS DE 7.000 ATAQUES TERRORISTAS CON BOMBAS

TIPOS DE EXPLOSIVOS

- **Explosivos de bajo orden** (pólvora): liberan energía a través del proceso llamado “deflagración”, que ocurre a velocidades subsónicas.
- **Explosivos de alto orden** (trinitrotolueno [TNT], C-4) dan lugar a la transformación casi instantánea del material explosivo en un gas muy presurizado, que libera energía a velocidades supersónicas.

ONDA EXPANSIVA Y TIPO DE LESIONES

A medida que se expande “la punta de lanza de la onda explosiva (el “frente explosivo”), se produce una disminución de la presión con el consiguiente desarrollo de una onda negativa, de subpresión o succión.

- **Las lesiones primarias por onda expansiva** se caracterizan por cambios anatómicos y fisiológicos que son consecuencia de la fuerza de hiperpresurización que impacta en la superficie corporal, y afecta principalmente a las estructuras que contienen gas (pulmones, tracto gastrointestinal y oídos).
- **La lesión secundaria por onda expansiva** hace referencia a un traumatismo contuso o penetrante que es consecuencia de detritos o fragmentos de la bomba impulsados (metralla).
- **La lesión terciaria por onda expansiva** se produce como consecuencia del desplazamiento físico de la víctima por el estallido (p. ej., la víctima choca contra una pared).
- **Las lesiones cuaternarias por onda expansiva** incluyen todos los demás traumatismos que se producen como consecuencia del estallido (quemaduras, exposiciones, etc.).

LESIÓN PULMONAR POR ONDA EXPANSIVA

El término “**lesión pulmonar por onda expansiva**” se usa para describir una grave contusión, hemorragia y/o edema pulmonar con una lesión alveolar y vascular directa. Puede complicarse con neumotórax, hemotórax, fístulas broncopleurales, embolia grasa, fístulas venosas pulmonares alveolares con la consiguiente embolización por aire y otras lesiones torácicas.

SÍNTOMAS Y SIGNOS

- **Síntomas:** disnea, hemoptisis, tos y dolor torácico.
- **Signos:** taquipnea, hipoxia, cianosis, apnea, sibilancias, disminución de los ruidos respiratorios e inestabilidad hemodinámica. Pueden producirse hemotórax o neumotórax

ACTUACIÓN

En la lesión pulmonar por onda expansiva aislada, se considera que **la inestabilidad hemodinámica** es consecuencia del shock cardiogénico, mediado por el nervio vago a través de las fibras C aferentes pulmonares, como resultado del impacto de la onda expansiva en la cavidad torácica.

A pesar de los primeros informes de lo contrario, **la perforación aislada del tímpano** sin signos y síntomas respiratorios, no parece ser un marcador de una lesión pulmonar por onda expansiva.

Todos los pacientes con sospecha de TPO o confirmación recibirán **oxígeno suplementario de flujo elevado** suficiente para prevenir la hipoxemia.

Si la insuficiencia ventilatoria es inminente o se produce, es preciso **intubar** al paciente; no obstante, el profesional sanitario del servicio prehospitalario debe entender que la ventilación mecánica y la presión positiva aumentan el riesgo de rotura alveolar, neumotórax y embolia aérea en pacientes con TPO.

Si se sospecha una **embolia aérea**, debe administrarse oxígeno con una tasa de flujo elevado y el paciente debe colocarse en una posición de decúbito prono lateral izquierdo o semilateral izquierdo. El tratamiento definitivo de los émbolos aéreos incluye el traslado del paciente a una cámara hiperbárica.

La administración de **líquidos** debe ser prudente, porque la administración excesiva en pacientes con TPO puede traducirse en una sobrecarga de volumen y la agravación de estado pulmonar.

TRAUMATISMO PULMONAR POR ONDA EXPANSIVA

Scott M. Sasser, MD; Richard W. Sattin, MD; Richard C. Hunt, MD, y Jon Krohmer, MD

RESUMEN

En el terrorismo mundial, las tendencias actuales obligan a los servicios de emergencias médicas (SEM), medicina de urgencias y otros médicos que trabajan en la asistencia aguda de los pacientes, a tener unos conocimientos básicos acerca de la física de las explosiones, los tipos de traumatismos que pueden ser consecuencia de una explosión y el tratamiento actual de pacientes que son víctimas de explosiones. Las detonaciones explosivas de alto grado dan lugar a una transformación casi instantánea del material explosivo en un gas altamente presurizado que libera energía a velocidad supersónica. Esto se traduce en la formación de una onda explosiva que se desplaza desde el epicentro de la explosión. Las lesiones primarias por onda expansiva se caracterizan por cambios anatómicos y fisiológicos a partir de la fuerza generada por la onda explosiva que impacta en la superficie corporal y afecta principalmente a las estructuras que contienen gas (pulmones, tubo digestivo y oídos). El traumatismo pulmonar por onda expansiva es un diagnóstico clínico, y se caracteriza por dificultades respiratorias e hipoxia sin una lesión externa evidente en el tórax. Puede complicarse por un neumotórax y émbolos de aire, y asociarse con otras lesiones múltiples. Los pacientes presentan una diversidad de síntomas, que incluyen la disnea, el dolor torácico, la tos y la hemoptisis. La exploración física puede revelar taquipnea, hipoxia, cianosis y disminución de los ruidos respiratorios. La radiografía de tórax, la tomografía computarizada y la determinación de los gases en sangre arterial contribuyen al diagnóstico y tratamiento; no obstante, las intervenciones urgentes en un paciente expuesto a una explosión no deben retrasar el diagnóstico. Los componentes esenciales del tratamiento de un traumatismo pulmonar por onda expansiva son la administración de oxígeno de flujo elevado, el tratamiento que garantiza la permeabilidad de las vías respiratorias, un tubo de toracostomía en el contexto de un neumotórax,

la ventilación mecánica (cuando sea necesaria) con hipercapnia permisiva y la administración prudente de líquidos. **Palabras clave:** traumatismo por onda expansiva; explosiones; terrorismo; lesión pulmonar aguda.

PREHOSPITAL EMERGENCY CARE 2006;10:165-172

FUNDAMENTO

Las formas actuales de la actividad terrorista en todo el mundo han aumentado la posibilidad de víctimas relacionadas con las explosiones que se producen fuera del campo de batalla. El United States Department of State documentó más de 500 explosiones por el terrorismo internacional entre 2001 y 2003, que dieron lugar a más de 4.600 muertes¹⁻³ y, en todo el mundo, entre 1968 y 1999, más de 7.000 ataques terroristas con bombas¹. Además, el US Federal Bureau of Investigation ha documentado 324 atentados terroristas con bomba, confirmados entre 1980 y 2001 en Estados Unidos⁴, con un total de más de 21.000 explosiones (reales, accidentales y tentativas) entre 1988 y 1998⁵. En 2005, hubo 758 ataques terroristas en todo el mundo, de los que 349 fueron con bomba⁶.

Las explosiones tienen la posibilidad de infligir traumatismos multisistémicos (traumatismos por onda expansiva) que amenazan la vida de muchos individuos a la vez y plantean un reto exclusivo de selección de los pacientes, de diagnóstico y de tratamiento. Los médicos, los profesionales de los servicios prehospitalarios y otros profesionales sanitarios que participan en la provisión del tratamiento de traumatismos agudos en un entorno prehospitalario y hospitalario deben tener unos conocimientos básicos acerca de la física de las explosiones, los tipos de lesiones que pueden ser consecuencia de una explosión y el tratamiento actual de pacientes que son víctimas de explosiones, de modo que mejore al máximo el tratamiento de dichos pacientes.

Física de la explosión

Las explosiones son reacciones físicas que dan lugar a una liberación rápida de energía; pueden ser consecuencia de fenómenos químicos, mecánicos o nucleares⁷⁻⁹. Los explosivos pueden clasificarse como de bajo orden o de alto orden. Los explosivos de bajo orden (pólvora) liberan energía a través del proceso llamado "deflagración", que ocurre a velocidades subsónicas¹⁰.

Las detonaciones de los explosivos de alto orden (trinitrotolueno [TNT], C-4) dan lugar a la transformación casi instantánea del material explosivo en un gas muy

Recibido el 16 de diciembre de 2005 del Department of Emergency Medicine, Emory University School of Medicine, Atlanta, Georgia (SMS), the Division of Injury Response, National Center for Injury Prevention and Control, Centers for Disease Control and Prevention (RS, RCH), Department of Emergency Medicine, SUNY Upstate Medical University, Syracuse, NY (RCH), and the Department of Emergency Medicine, Spectrum Health—Butterworth Campus, Grand Rapids, MI (JK).

Correspondencia y solicitud de separatas: Scott M. Sasser, MD, Department of Emergency Medicine, Emory University School of Medicine, 531 Asbury Circle-Annex Suite N340, Atlanta, GA 30322. Correo electrónico: ssasser@emory.edu.

En el presente artículo los hallazgos y las conclusiones son los de los autores y no representan necesariamente las opiniones de la agencia que financió la investigación.

doi:10.1080/10903120500540912

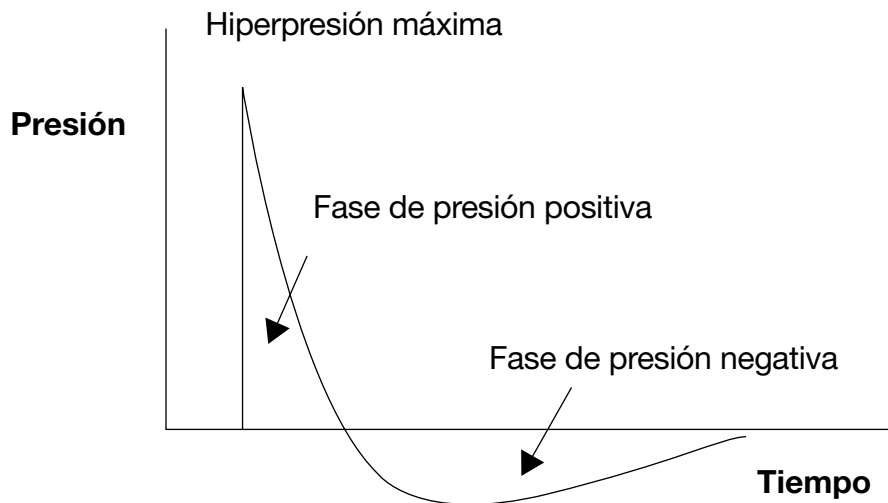


FIGURA 1. Morfología idealizada de la onda expansiva.

presurizado que libera energía a velocidades supersónicas⁷⁻¹⁰. Esta energía liberada da lugar a un aumento instantáneo de presión positiva por encima de la presión atmosférica. Este aumento de presión alcanza una “hiperpresión” máxima y, acto seguido, en un medio ideal, disminuye rápida y exponencialmente, dando lugar a una fase de presión negativa más prolongada, antes de recuperar el valor basal (fig. 1). Este aumento de presión positiva provoca la compresión del medio circundante (aire o agua) y la propagación hacia fuera, de manera rápida, de la “onda explosiva”⁷⁻¹⁴ u “onda de choque” (que hace referencia a la capacidad de la onda para destruir los objetos que encuentra a su paso)^{7,10}. A medida que se expande “la punta de lanza” de la onda explosiva (el “frente explosivo”¹⁴), se produce una disminución de la presión con el consiguiente desarrollo de una onda negativa, de subpresión o succión¹⁵. En un recinto cerrado, la onda puede llegar a ser compleja debido al reflejo de las estructuras circundantes^{8,9,11,12,14}, lo que aumenta la fuerza total de la fase de presión positiva¹¹ y se traduce en una duración prolongada de dicha fase.

TRAUMATISMOS POR ONDA EXPANSIVA

Los 4 mecanismos básicos del traumatismo por onda expansiva se denominan primario, secundario, terciario y cuaternario (o miscelánea)^{8,14,16-18}. Las lesiones primarias por onda expansiva se caracterizan por cambios anatómicos y fisiológicos que son consecuencia de la fuerza de hiperpresurización directa o reflejada generada por la onda explosiva que impacta en la superficie corporal, y afecta principalmente a las estructuras que contienen gas (pulmones, tracto gastrointestinal y oídos). La lesión secundaria por onda expansiva hace referencia a un traumatismo contuso o penetrante que es consecuencia de detritos o fragmentos de la bom-

ba impulsados (p. ej., metralla). La lesión terciaria por onda expansiva se produce como consecuencia del desplazamiento físico de la víctima por el estallido (p. ej., la víctima choca contra una pared). Las lesiones cuaternarias por onda expansiva incluyen todos los demás traumatismos que se producen como consecuencia del estallido (quemaduras, exposiciones, etc.). El presente artículo presta atención a la lesión primaria del pulmón por onda expansiva o estallido pulmonar.

Traumatismo pulmonar por onda expansiva: revisión

La lesión pulmonar por onda expansiva es una consecuencia directa de la onda expansiva en el cuerpo, y puede ser una importante causa de morbilidad y mortalidad en las víctimas del estallido; es una causa significativa de muerte, tanto en el escenario de la explosión como en los supervivientes iniciales¹⁹⁻²². En un análisis de 220 atentados terroristas con bomba, Frykberg y Tepas²² documentaron una incidencia del 47% de lesión primaria del pulmón por onda expansiva en las víctimas inmediatas. Mellor²³ documentó un 17% de muertes debido exclusivamente a una “grave lesión torácica” como consecuencia de la explosión de una bomba. Katz et al²⁴ documentaron que en 11 de 29 (38%) pacientes ingresados después de una explosión acontecida en un autobús de civiles se estableció el diagnóstico de lesión primaria del pulmón por onda expansiva. Por último, en un artículo acerca de las bombas terroristas de marzo de 2004 en Madrid, los autores describen que en 17 de 243 (7%) pacientes visitados en un hospital universitario se estableció el diagnóstico de lesión pulmonar por onda expansiva. Sin embargo, la lesión pulmonar por onda expansiva se observó en 17 de los 27 (63%) pacientes en estado crítico ingresados en unidades de cuidados intensivos²⁵.

Las lesiones pulmonares por onda expansiva parecen relacionarse con los diferenciales de presión generados en las superficies de tejido de diferentes densidades, lo que da lugar a una lesión y a un traumatismo tisular directos^{7,18,23,26,27}. El gado ravedad guarda relación con el explosivo utilizado, la intensidad y la amplitud de la onda de presión, su ritmo de aumento, su duración, la localización de la víctima en el momento de la explosión y el medio (espacio abierto comparado con cerrado)^{12,22-24,28}. En un recinto cerrado las explosiones dan lugar a una mayor incidencia de lesiones primarias por onda expansiva, incluido un traumatismo o estallido pulmonar^{24,27,28}.

En general, el término “lesión pulmonar por onda expansiva” se usa para describir una contusión grave, hemorragia y/o edema pulmonar con una lesión alveolar y vascular directa^{17,18,26,27,29,30}. Puede complicarse con neumotórax, hemotórax, fístulas broncopleurales, embolia grasa, fístulas venosas pulmonares alveolares con la consiguiente embolización por aire y otras lesiones torácicas^{7,17,18,26}.

Mecanismo del traumatismo y patología

Una detonación explosiva elevada se traduce en el desarrollo de una esfera de alta presión que se expande rápidamente y que se mueve desde el epicentro del estallido. Como se ha descrito previamente, la lesión pulmonar por onda expansiva es consecuencia directa de esta “onda expansiva” en el cuerpo, y es el resultado de una interacción compleja y dinámica entre las ondas de presión, la pared torácica, el tejido pulmonar y la vasculatura pulmonar. Los mecanismos propuestos de la lesión resultante de esta interacción incluyen el paso de esta onda de hiperpresurización a través del cuerpo, una desfragmentación o *spalling* (la pérdida de solución de continuidad de los tejidos en la interfase aire-líquido), la implosión (compresión y reexpansión violenta de las estructuras llenas de aire), la aceleración y desaceleración de los tejidos de diferentes densidades^{16-18,22,24,31,32} y diferenciales notables de presión en las superficies corporales con las consiguientes ondas de cizallamiento y tensión diseminadas por todo el tejido circundante^{7,8,23}. La dinámica de la pared torácica, las estructuras torácicas y la velocidad del movimiento de la pared torácica contribuyen a la gravedad del traumatismo resultante^{13,27,33,34}.

Es importante no suponer que el armazón corporal protege frente a una lesión primaria por estallido del tórax^{35,36}. Para identificar los umbrales a los que puede producirse una lesión pulmonar se ha descrito diversos valores de hiperpresión. En un estudio en policías víctimas de traumatismos en el conflicto de Irlanda del Norte durante 1970-1984, Mellor²³ describió que una hiperpresión de 350-550 kPa fue suficiente para provocar una lesión pulmonar en un “número significativo de víctimas”. Stein e Hirshberg²⁰ documentaron que la

“hiperpresión necesaria para causar una lesión primaria pulmonar por onda expansiva es aproximadamente de 276 kPa”, y presiones superiores a 552 kPa dan lugar a lesiones pulmonares por onda expansiva en el 50% de las personas expuestas. Por último, Leibovici et al²⁸ mencionan que “es previsible una lesión pulmonar en el 50% de casos expuestos a ondas expansivas de 480 kPa”.

Por otra parte, en la lesión pulmonar por onda expansiva se ha propuesto un papel de la onda de subpresión. Zhang et al³⁷ describieron una lesión pulmonar similar a la causada por las ondas de hiperpresión cuando expusieron ratas y conejos a un generador de subpresión.

El resultado del impacto de la onda expansiva en los pulmones es desgarro, hemorragia y edema^{11,20,27,31,38}, que se traduce en un desajuste de la ventilación-perfusión^{8,11}, la posibilidad de una embolia por aire^{11,24,32} y un barotrauma^{18,21}. Se produce una lesión del epitelio de las vías respiratorias¹⁸ y de los tabiques intraalveolares¹⁴, y el examen de los pulmones revela equimosis, petequias, laceraciones y un aumento de peso^{7,18,31,39}. Este aumento de peso pulmonar se debe al edema y a la hemorragia y se correlaciona directamente con la presión máxima de la onda expansiva y la mortalidad en los estudios efectuados en animales¹¹. En un estudio basado en la autopsia, realizado en víctimas de una onda expansiva y en las que no se practicaron maniobras de reanimación, Tsokos et al²⁷ describieron una “sobredistensión alveolar difusa y hemorragias pulmonares más circunscritas, con o sin edema, embolia aérea venosa, embolia de médula ósea y embolia grasa pulmonar”. Además, la mucosa de las vías respiratorias puede manifestar contusiones, lo que sugiere la presencia de una lesión pulmonar adicional, y en teoría da lugar a un compromiso de las vías respiratorias a partir de la hemorragia o edema o de complicaciones adicionales (disminución del aclaramiento ciliar)⁸. Los procesos bioquímicos relacionados con la hemoglobina, oxidantes y antioxidantes pueden contribuir a una inflamación y una lesión continuadas después de la exposición a la onda expansiva^{27,38}.

Presentación clínica

La lesión pulmonar por onda expansiva o estallido pulmonar es un diagnóstico clínico que se caracteriza por dificultades respiratorias e hipoxia sin una lesión externa evidente del tórax^{18,24}. La tríada clásica descrita en los estudios efectuados en animales con este proceso incluye apnea inicial, bradicardia e hipotensión^{8,31,32}. En víctimas de explosiones con onda expansiva es frecuente la presencia de otras lesiones múltiples, que pueden complicar el diagnóstico del traumatismo pulmonar por onda expansiva. Típicamente, en el momento de la evaluación inicial^{18,18,40,41} hay pruebas clínicas de una lesión pulmonar por onda expansiva, aunque se ha

descrito que se produce durante el curso de las 24-48 h después de la explosión^{18,24,38}.

Los pacientes pueden presentar una diversidad de síntomas respiratorios, que incluyen dificultades respiratorias, malestar torácico, tos o hemoptisis, después de la exposición al estallido^{18,21,27,39,41}. La exploración física puede revelar inmediatamente una lesión pulmonar, incluida apnea, taquipnea o hipopnea, hipoxia y cianosis, tos, sibilancias, matidez en la percusión, disminución de los ruidos respiratorios o hemoptisis. Almog y et al⁴³ describieron que las víctimas con quemaduras > 10% del área de superficie corporal, fracturas de cráneo y lesiones penetrantes del tórax o cráneo tuvieron más probabilidades de experimentar una lesión pulmonar por onda expansiva. Además, el paciente puede estar inestable desde un punto de vista hemodinámico y presentar pruebas de lesiones asociadas^{8,26,29,42}. La inestabilidad hemodinámica inicial puede producirse como consecuencia de una hemorragia concomitante u otra lesión. Sin embargo, en la lesión pulmonar por onda expansiva aislada se considera que la inestabilidad hemodinámica es consecuencia del shock cardiogénico mediado por el nervio vago a través de las fibras C aferentes pulmonares, como resultado del impacto de la onda expansiva en la cavidad torácica^{8,38}. A pesar de los primeros informes de lo contrario, la perforación aislada del tímpano sin signos y síntomas respiratorios, no parece ser un marcador de una lesión pulmonar por onda expansiva⁴⁰.

Los émbolos aéreos son consecuencia de la lesión alveolar, ya que el aire penetra en la circulación arterial a través de la vasculatura pulmonar. Los émbolos de aire constituyen una amenaza para la vida del paciente^{8,13,19,21}. Sus consecuencias significativas incluyen

episodios embólicos relacionados con el sistema nervioso central, arterias retinianas o arterias coronarias. Los signos y síntomas son el resultado de la oclusión vascular por los émbolos e incluyen síntomas neurológicos focales y visuales, presencia de aire en los vasos retinianos, isquemia miocárdica y extremidades marmoreas^{13,16,24,39}.

Evaluación diagnóstica

La mayor parte de exámenes de laboratorio y diagnósticos se conducen por los protocolos de reanimación y se orientan adicionalmente en función de la naturaleza de la explosión (espacio confinado, fuego, haber quedado atrapado mucho tiempo o evacuación, sospecha de acontecimiento químico, radiológico o biológico, etc.). Sin embargo, diversas intervenciones diagnósticas son específicamente decisivas en la evaluación de una lesión pulmonar por onda expansiva.

Cualquier individuo expuesto a un estallido requiere de una radiografía de tórax, que puede usarse para clasificar la gravedad y supervisar el curso de la lesión^{8,16}. Con frecuencia, en la lesión pulmonar los hallazgos característicos incluyen infiltrados en placas bilaterales en un patrón "de mariposa", que se desarrollan y progresan a lo largo de varias horas (fig. 2)^{20,24,29}.

Además, la radiografía de tórax puede revelar pruebas de hemotórax, neumotórax, cuerpos extraños, derrame pericárdico, fracturas, enfisemas subcutáneos, o confirmar los resultados de las intervenciones terapéuticas (intubación endotraqueal, tubo de toracostomía). Shaham y et al¹⁶ describen que en general la radiografía de tórax se normaliza al cabo de 5-7 días.

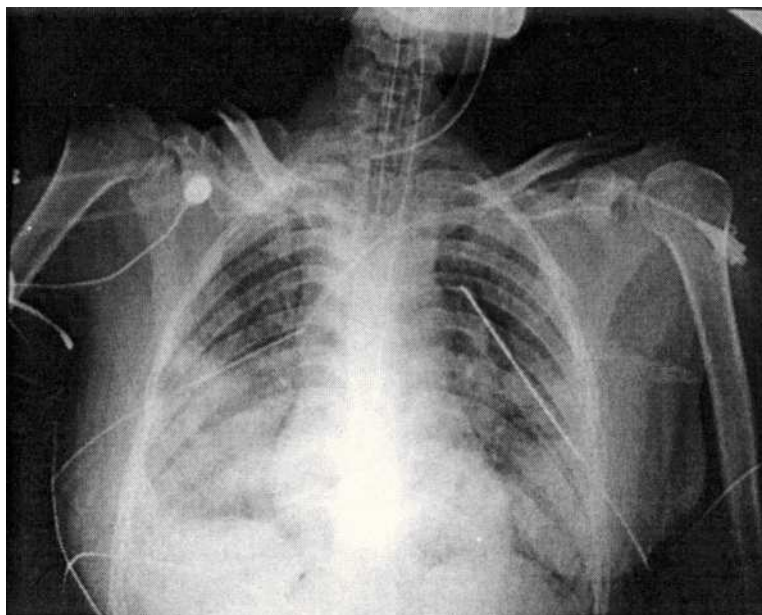


FIGURA 2. Radiografía de tórax de un paciente con traumatismo pulmonar por onda expansiva. Reproducida de Hirshberg B, Oppenheim-Eden A, Pizov R, et al. Recovery from Blast Lung Injury: One-Year Follow-up. *Chest*. 1999;116(6):1683-1688, con permiso de *Chest*.

Traumatismo pulmonar por onda expansiva: conocimientos que necesitan los médicos del servicio prehospitalario

Los patrones actuales en la actividad terrorista mundial han aumentado la posibilidad de víctimas relacionadas con las explosiones, aunque en Estados Unidos pocos servicios médicos de urgencias a civiles tienen experiencia en el tratamiento de víctimas de estos traumatismos relacionados con explosiones. El traumatismo pulmonar por onda expansiva (TPO) plantea retos exclusivos de la selección, diagnóstico y tratamiento de los pacientes, y es consecuencia directa de la onda expansiva a partir de detonaciones explosivas elevadas en el cuerpo. Los individuos que son víctimas de explosiones en espacios cerrados o los que se encuentran muy cerca de una explosión corren el mayor riesgo. El TPO es un diagnóstico clínico caracterizado por dificultades respiratorias e hipoxia. Aunque es poco frecuente, el TPO puede producirse sin un traumatismo externo evidente del tórax.

Presentación clínica

- Los síntomas pueden incluir disnea, hemoptisis, tos y dolor torácico
- Los signos pueden incluir taquipnea, hipoxia, cianosis, apnea, sibilancias, disminución de los ruidos respiratorios e inestabilidad hemodinámica
- Las víctimas con quemaduras > 10% del área de superficie corporal, fracturas de cráneo y lesiones penetrantes del tórax o cráneo tienen más probabilidades de presentar un traumatismo pulmonar por onda expansiva
- Puede producirse hemotórax o neumotórax
- Debido al desgarramiento de los árboles pulmonar y vascular, el aire puede penetrar en la circulación arterial ("émbolos aéreos") y dar lugar a episodios embólicos que afecten al sistema nervioso central, arterias retinianas o arterias coronarias
- Las pruebas clínicas de un traumatismo pulmonar por onda expansiva suelen estar presentes en el momento de la evaluación inicial; sin embargo, se ha descrito que se produce durante las 24-48 h después de la explosión
- Con frecuencia están presentes otros traumatismos

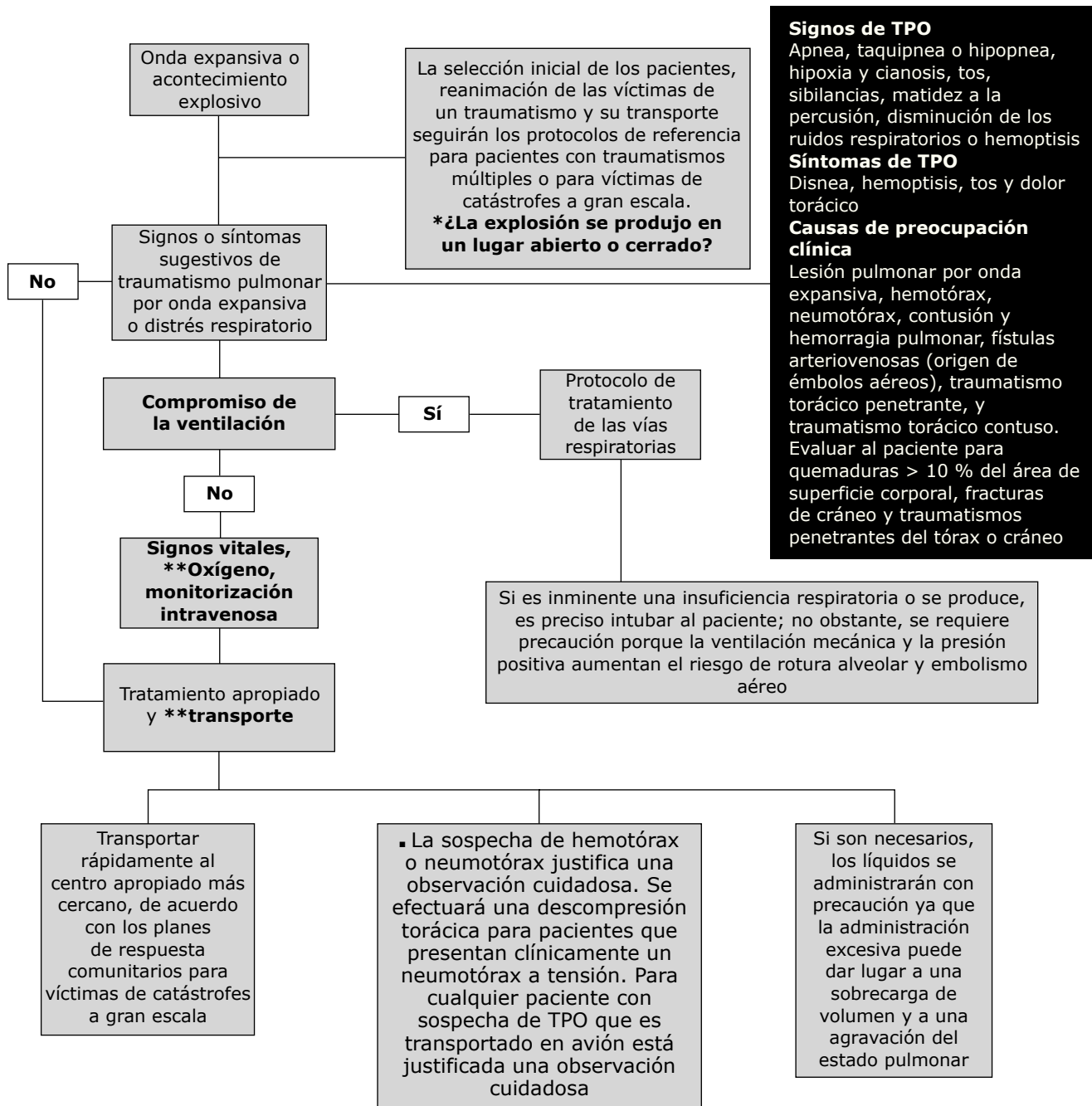
Consideraciones de tratamiento en el medio hospitalario

- La selección inicial de los pacientes, la reanimación de las víctimas del traumatismo y el transporte de los pacientes debe seguir los protocolos de referencia de pacientes con múltiples traumatismos o de víctimas en situaciones catastróficas a gran escala
- Se observará la localización del paciente y el medio circundante. Las explosiones en un espacio cerrado dan lugar a una mayor incidencia de traumatismo primario por onda expansiva, incluida la lesión pulmonar
- Todos los pacientes con sospecha o confirmación de TPO recibirán oxígeno suplementario de flujo elevado suficiente para prevenir la hipoxemia
 - El compromiso inminente de las vías respiratorias requiere una intervención inmediata
 - Si la insuficiencia ventilatoria es inminente o se produce, es preciso intubar al paciente; no obstante, el profesional sanitario del servicio prehospitalario debe saber que en pacientes con TPO, la ventilación mecánica y la presión positiva aumentan el riesgo de rotura alveolar, neumotórax y embolia aérea
 - Si se sospecha embolismo aéreo debe administrarse oxígeno de flujo elevado y el paciente debe colocarse en posición de decúbito prono lateral izquierdo o semilateral izquierdo
- Las pruebas clínicas o la sospecha de hemotórax o neumotórax justifican una observación cuidadosa. Para pacientes que clínicamente presentan un neumotórax a tensión debe practicarse una descompresión torácica. Para cualquier paciente con sospecha de TPO que es transportado en avión está justificada una observación cuidadosa
- La administración de líquidos debe ser prudente, ya que la administración excesiva en pacientes con TPO puede traducirse en una sobrecarga de volumen y la agravación de estado pulmonar
- Los pacientes con TPO deben ser transportados rápidamente al centro apropiado más próximo de acuerdo con los planes de respuesta comunitaria para las víctimas de catástrofes a gran escala

TABLA 1. Tratamiento prehospitalario de pacientes con sospecha de traumatismo pulmonar por onda expansiva.

Para detectar o evaluar con más detalle la presencia de neumotórax, cuerpos extraños, laceraciones, grado de contusión y necesidad de soporte ventilatorio, puede usarse una tomografía computarizada^{16,20,39,43}.

La pulsioximetría y la determinación de gases en sangre arterial establecen el grado de hipoxemia y también se usan para clasificar la gravedad de las lesiones, para el seguimiento de la lesión o la resolución de la lesión



***Mayor incidencia de traumatismo pulmonar por onda expansiva (TPO) en espacios cerrados**

****Oxígeno de flujo elevado, tratamiento de las vías respiratorias según sea apropiado, evaluación de traumatismos adicionales y transporte rápido**

FIGURA 3. Protocolo de tratamiento del traumatismo pulmonar por onda expansiva.

por estallido pulmonar, y las técnicas de tratamiento específicas directas (ventiladores, etc.)^{14,26,36,41}.

Puede usarse tecnología Doppler para detectar la presencia de aire en las cavidades cardíacas o en los grandes vasos como consecuencia de los émbolos de aire⁷.

Está en curso el desarrollo de exámenes adicionales dirigidos a los marcadores bioquímicos (p. ej., tromboxano A₂, prostaciclina y leucotrienos que aumentan después de la exposición a una onda expansiva⁴⁴) como factores pronósticos de una lesión pulmonar por onda expansiva y de una lesión primaria por onda expansiva⁴⁵⁻⁴⁷.

Intervenciones clínicas

Los pacientes con un traumatismo pulmonar por onda expansiva pueden presentar otras múltiples lesiones, y después de una explosión el médico ha de tratar a múltiples pacientes.

La selección inicial, reanimación, tratamiento, transporte y traslado de las víctimas con un traumatismo deben seguir unos protocolos de referencia, reconociendo que en una situación de catástrofe algunas opciones diagnósticas o terapéuticas son limitadas. Durante todo este proceso, los pacientes expuestos a una onda expansiva deben ser reexaminados y reevaluados repetidamente. En general, buena parte del tratamiento de una lesión aislada pulmonar por onda expansiva es similar al tratamiento de una contusión pulmonar.

En el contexto de un paciente con otras posibles lesiones múltiples, las preocupaciones específicas del tratamiento relacionadas con un traumatismo pulmonar por onda expansiva que deben tenerse en cuenta incluyen:

1. Compromiso inminente de las vías respiratorias, edema pulmonar secundario o hemoptisis masiva que requieren una intervención inmediata para proteger las vías respiratorias. Los pacientes con hemoptisis masiva o fugas de aire significativas pueden beneficiarse de una intubación bronquial selectiva^{7,43}.
2. Todos los pacientes con sospecha o confirmación de lesión pulmonar por onda expansiva deben recibir oxígeno suplementario, con una tasa de flujo elevada, que sea suficiente para impedir la hipoxemia (los métodos de distribución pueden incluir máscaras de tipo Ventura, presión positiva continua de las vías respiratorias o intubación endotraqueal).
3. Las pruebas clínicas de hemotórax o neumotórax o su sospecha justifican una descompresión inmediata³⁹. Para pacientes que necesitan ventilación mecánica o cuyo estado es demasiado grave para su transporte, con el objetivo de una evaluación adicional, se ha recomendado un tubo de toracostomía profiláctico²⁰. Además, antes del transporte por avión de pacientes con neumotórax, también se recomienda la implantación de un tubo de toracostomía³⁹. Leibovici et al²⁸ documentaron que dicho tubo dio lugar a una mejora clínica en 15 pacientes con un traumatismo pulmonar por onda expansiva, en algunos de los cuales la radiografía no había establecido el diagnóstico de neumotórax²⁸. Deben usarse tubos de gran calibre pero cortos debido a la posibilidad de extensas fugas de aire como consecuencia de fístulas broncopleurales⁷. En un medio de transporte prehospitalario por tierra, antes de llegar al hospital, sólo se someterá a descompresión a los pacientes con pruebas de neumotórax a tensión.
4. Si la insuficiencia ventilatoria es inminente o se produce, es preciso intubar al paciente; no obstante, en

la decisión de intubar se requiere precaución porque la ventilación mecánica y la presión telespiratoria positiva pueden aumentar el riesgo de rotura alveolar y embolia por aire^{16,18,20,26,39,41}. De los 17 pacientes con un diagnóstico de traumatismo pulmonar por onda expansiva ingresados en un hospital en las explosiones terroristas que se produjeron en Madrid en 2004, el 87% requirió ventilación mecánica²⁵. Si se intuba al paciente, la hipercapnia permisiva con hipoventilación alveolar, presiones más bajas y acidosis respiratoria pueden limitar la lesión pulmonar^{20,32,41}. La ventilación pulmonar independiente puede ser beneficiosa en pacientes con fístulas broncopleurales unilaterales, extensas^{8,43}.

5. En pacientes con un traumatismo múltiple y una lesión pulmonar por onda expansiva puede requerirse reanimación con líquidos. Al igual que en el tratamiento de las contusiones pulmonares, se requiere una administración prudente de líquidos, dirigida a garantizar la perfusión tisular sin una sobrecarga de volumen. La presencia de lesiones adicionales (quemaduras, traumatismo por aplastamiento, hemorragia, etc.) puede complicar todavía más la administración, tasa y selección de líquidos. Aunque se ha recomendado el uso preferente de sangre o soluciones coloidales sobre los cristaloideos³⁹, no se dispone de datos de resultados claros que lo respalden^{7,43}. Es probable que sea necesaria la inserción de una línea venosa central que regule la reanimación con líquidos en la unidad de cuidados intensivos.
6. Si se sospecha una embolia aérea, debe administrarse oxígeno con una tasa de flujo elevado y el paciente debe colocarse en una posición de decúbito prono lateral izquierdo o semilateral izquierdo^{7,39,46}. El tratamiento definitivo de los émbolos aéreos incluye el traslado del paciente a una cámara hiperbárica.

Después de revisar retrospectivamente los datos de pacientes con traumatismo pulmonar por onda expansiva debido a explosiones que tuvieron lugar en un autobús de civiles, Pizov et al²⁶ han diseñado una puntuación de gravedad del proceso. El sistema de puntuación se basa en 3 factores: hipoxemia, hallazgos en la radiografía de tórax y presencia de una fístula broncopleurale. En este estudio, los pacientes con un traumatismo pulmonar grave (cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 60$ mmHg, opacidades radiológicas difusas y bilaterales y fístula broncopleurale) requirieron mayores valores de presión telespiratoria positiva y una tentativa de tratamiento con técnicas ventilatorias "no convencionales" (ventilación a chorro, óxido nítrico y oxigenación con membrana extracorpórea) que aquéllos con un traumatismo pulmonar por onda expansiva "leve" (cociente $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 200$ mmHg, sin hallazgos radiológicos y sin fístula broncopleurale).

Destino de los pacientes y resultado

En general, como se ha descrito en los párrafos previos, los pacientes con un diagnóstico de traumatismo pulmonar por onda expansiva requieren un tratamiento complejo y deben ser ingresados en una unidad de cuidados intensivos¹⁶, y los pacientes con cualquier síntoma o hallazgo sospechoso del proceso deben permanecer en observación en el hospital.

No se han publicado directrices significativas para la observación, ingreso o alta después de la evaluación en el departamento de urgencias tras una explosión. Las decisiones del alta también dependen de los traumatismos asociados y de otras cuestiones relacionadas con el acontecimiento, incluida la situación social actual del paciente. En general, los pacientes expuestos a una onda expansiva y que no presentan síntomas sugestivos de traumatismo pulmonar por onda expansiva, con radiografías de tórax normales y sin hipoxia pueden ser dados de alta después de 6 a 8 h de observación. Para pacientes implicados en una explosión en un espacio cerrado está justificado un índice elevado de sospecha. Como con cualquier paciente con la posibilidad de complicaciones diferidas, los pacientes dados de alta deben seguir las instrucciones estrictas de regresar al departamento de urgencias en caso de aparición de síntomas respiratorios o torácicos. Como se ha mencionado previamente, los pacientes con rotura aislada del tímpano y ningún otro hallazgo sugestivo de traumatismo pulmonar no requieren el ingreso hospitalario⁴⁰. No obstante, estos pacientes deben someterse a una observación breve y pueden requerir una radiografía de tórax³⁶. En la actualidad se dispone de datos limitados con respecto al resultado, tanto a corto como a largo plazo, de pacientes con un traumatismo pulmonar por onda expansiva. Horrocks⁸ afirma que "el pronóstico de pacientes con un traumatismo pulmonar por onda expansiva, no complicado parece ser favorable". Pizov et al²⁶ describen que 11 de 15 (73%) pacientes con un diagnóstico de lesión pulmonar sobrevivieron, y destacan que la mejora de la mayor parte de los pacientes se debió al drenaje eficaz del neumotórax y a la ventilación mecánica suficiente. Sorkine et al⁴¹ describieron que sobrevivieron 15 de 17 (88%) pacientes con un diagnóstico de traumatismo pulmonar por onda expansiva, destacando que los 2 que fallecieron eran portadores de traumatismos craneales graves. Katz y et al²⁴ refirieron que sobrevivieron 10 de los 11 (91%) pacientes hospitalizados con el diagnóstico de traumatismo pulmonar por onda expansiva, destacando que el que falleció había experimentado quemaduras en el 60% del área de superficie corporal.

En un estudio conducido en los supervivientes un año después del traumatismo, ningún paciente presentaba síntomas pulmonares, en todos, las exploraciones físicas, al igual que las radiografías de tórax eran normales, y la mayor parte (9/11) había obtenido pruebas de función pulmonar normales²⁹.

CONCLUSIONES

Los traumatismos por explosión y onda expansiva son cada vez más frecuentes, y el traumatismo o estallido pulmonar por onda expansiva es una entidad clínica exclusiva debido a la elevada detonación explosiva. Como consecuencia, los médicos implicados en el tratamiento agudo (tanto del servicio prehospitalario como hospitalario) deben conocer la física, presentación clínica y tratamiento de este proceso. Hemos añadido una página informativa de muestra para los médicos de los servicios de urgencias (SU) acerca del tratamiento prehospitalario de pacientes con sospecha del proceso (tabla 1). Además, la figura 3 representa el algoritmo del protocolo sugerido para usar en los SU.

Bibliografía

1. Patterns of Global Terrorism 2001. United States Department of State. May 2002. United States Department of State website. Available at: <http://www.state.gov/documents/organization/10319.pdf>. Accessed February 4, 2005.
2. Patterns of Global Terrorism 2002. United States Department of State. April 2003. United States Department of State website. Available at: <http://www.state.gov/documents/organization/20177.pdf>. Accessed February 4, 2005.
3. Patterns of Global Terrorism 2003. United States Department of State. April 2004. United States Department of State website. Available at: <http://www.state.gov/documents/organization/31912.pdf>. Accessed February 4, 2005.
4. Terrorism 2000/2001. United States Department of Justice, Federal Bureau of Investigation, Counterterrorism Division. Publication #0308. Federal Bureau of Investigation website. Available at: <http://www.fbi.gov/publications/terror/terror2000>. htm. Accessed February 4, 2005.
5. Gadson LO, Michael ML, Walsh N (eds). FBI Bomb Data Center: 1998 Bombing Incidents, General Information Bulletin 98-1. US Department of Justice, Federal Bureau of Investigation, 1998.
6. The Terrorism Research Center. Available at www.terrorism.com. Last accessed December 15, 2005.
7. Wightman JM, Gladish SL. Explosions and blast injuries. *Ann Emerg Med*. 2001;37(6):664-78.
8. Horrocks CL. Blast injuries: biophysics, pathophysiology, and management principles. *J R Army Med Corps*. 2001;147:28-40.
9. Cullis, IG. Blast waves and how they interact with structures. *J R Army Med Corps* 2001;147:16-26.
10. Langworthy MJ, Sabra J, Gould M. Terrorism and blast phenomena: lessons learned from the attack on the USS Cole (DDG67). *Clinic Orthop*. 2004;422:82-7.
11. Elsayed NM. Toxicology of blast overpressure. *Toxicology*. 1997;121: 1-15.
12. Yetiser S, Ustun T. Concussive blast-type aural trauma, eardrum perforations, and their effects on hearing levels: an update on military experience in Izmir, Turkey. *Mil Med*. 1993;158(12):803-6.
13. Mayorga MA. The pathology of primary blast overpressure injury. *Toxicology*. 1997;121:17-28.
14. Kluger Y. Bomb explosions in acts of terrorism-detonation, wound ballistics, triage, and medical concerns. *Isr Med Assoc J*. 2003;5:235-40.
15. Sasser SM. Blast injuries. *The Turkish Journal of Emergency Medicine*. 2001;1(1):97-98.
16. Shaham, D, Sella T, Makori A, Appelbaum L, Rivkind AI, Bar-Ziv J. The role of radiology in terror injuries. *Isr Med Assoc J*. 2002;4(7):564-7.

17. Knapp JF, Sharp RJ, Beatty R, Medina F. Blast trauma in a child. *Pediatr Emerg Care*. 1990;6(2):122-6.
18. Phillips YY. Primary blast injuries. *Ann Emerg Med*. 1986;15:1446-50.
19. Cooper GJ, Maynard RL, Cross NL, Hill JF. Casualties from terrorist bombings. *J Trauma*. 1983;23(11):955-67.
20. Stein M, Hirshberg A. Trauma care in the new millennium. *Surg Clin North Am*. 1999;79(6):1537-52.
21. Hadden WA, Rutherford WH, Merrett JD. The injuries of terrorist bombing: a study of 1532 consecutive patients. *Br J Surg*. 1978;65(8):525-31.
22. Frykberg ER, Tepas JJ. Terrorist bombings: lessons learned from Belfast to Beirut. *Ann Surg*. 2008;208:569-76.
23. Mellor SG. The relationship of blast loading to death and injury from explosion. *World J Surg*. 1992;16:893-8.
24. Katz E, Ofek B, Adler J, Abramowitz HB, Krausz MM. Primary blast injury after a bomb explosion on a civilian bus. *Ann Surg*. 1989;209(4):484-8.
25. de Ceballos JP, Turegano-Fuentes F, Perez-Diaz D, Sanz-Sanchez M, Martin-Llorente C, Guerrero-Sanz JE. 11 March 2004: The terrorist bomb explosions in Madrid, Spain-an analysis of the logistics, injuries sustained and clinical management of casualties treated at the closest hospital. *Crit Care Med*. 2005 Jan;33(1):s107-12.
26. Pizov R, Oppenheim-Eden A, Matot I, Weiss YG, Eidelman LA, Rivkind AI, Sprung CL. Blast lung injury from an explosion on a civilian bus. *Chest*. 1999;115(1):165-72.
27. Tsokos M, Paulsen F, Petri S, Burkhard M, et al. Histological, immunohistochemical, and ultra-structural findings in human blast lung injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;168:549-55.
28. Leibovici D, Gofrit ON, Stein M, Shapira SC, Noga Y, Heruti RJ, Shemer J. Blast injuries: bus versus open-air bombings-a comparative study of injuries in survivors of open-air versus confined-space explosions. *J Trauma*. 1996;41:1030-35.
29. Hirshberg B, Oppenheim-Eden A, Pizov R, Sklair-Levi M, Rivkin A, Bardach E, Bublil M, Sprung C, Kramer MR. Recovery from blast lung injury: one-year follow-up. *Chest*. 1999;116(6):1683-8.
30. Frykberg ER, Tepas JJ, Alexander RH. The 1983 Beirut airport terrorist bombing: injury patterns and implications for disaster management. *Am Surg*. 1989;55:134-41.
31. Irwin RJ, Lerner MR, Bealer JF, Mantor PC, Brackett DJ, Tuggle DW. Shock after blast wave injury is caused by a vagally mediated reflex. *J Trauma*. 1999;47(1):105-10.
32. Frykberg ER. Medical management of disasters and mass casualties from terrorist bombings: how can we cope? *J Trauma*. 2002;53:201-12.
33. Stuhmiller JH, Ho KH, Vander Vorst MJ, Dodd KT, Fitzpatrick T, Mayorga M. A model of blast overpressure injury to the lung. *J Biomech*. 1996;29(2):227-34.
34. Stuhmiller JH. Biological response to blast overpressure: a summary of modeling. *Toxicology*. 1997;121:91-103.
35. Mellor SG, Cooper GJ. Analysis of 828 servicemen killed or injured by explosion in Northern Ireland 1970-84: the Hostile Action Casualty System. *Br J Surg*. 1989 Oct;76(10):1006-10.
36. DePalma RG, Burris DG, Champion HR, Hodgson MJ. Blast injuries. *N Engl J Med*. 2005 Mar 31;352(13):1335-42.
37. Zhang J, Wang Z, Leng J, Yang Z. Studies on lung injuries caused by blast underpressure. *J Trauma*. 1996;40 (3 supplement): s77- s80.
38. Elsayed NM, Gorbunov NV. Interplay between high energy impulse noise (blast) and antioxidants in the lung. *Toxicology*. 2003;189(1-2):63-74.
39. Argyros, GJ. Management of primary blast injury. *Toxicology*. 1997;121:105-15.
40. Leibovici D, Gofrit ON, Shapira SC. Eardrum perforation in explosion survivors: is it a marker of pulmonary blast injury? *Ann Emerg Med*. 1999;34(2): 168-72.
41. Sorkine P, Szold O, Kluger Y, Halpern P, Weinbroum AA, Fleishon R, Silbiger A, Rudick V. Permissive hypercapnia ventilation in patients with severe pulmonary blast injury. *J Trauma*. 1998;45(1):35-38.
42. Irwin RJ, Lerner MR, Bealer JF, Brackett DJ, Tuggle DW. Cardiopulmonary physiology of primary blast injury. *J Trauma*. 1997;43(4):650-5.
43. Almog G, Luria T, Richter E, Pizov R. Can external signs of trauma guide management? Lessons learned from suicide bombings attacks in Israel. *Arch Surg*. 2005 Apr;140(4):390-3.
44. Cohn SM. Pulmonary contusion: review of the clinical entity. *J Trauma*. 1997 May;42(5):973-79.
45. Cernak I, Savic J, Ignjatovic D, Jevtic M. Blast injury from explosive munitions. *J Trauma*. 1999 Jul;47(1):96-103; discussion 103-4.
46. Elsayed NM, Gorbunov NV, Kagan VE. A proposed biochemical mechanism involving hemoglobin for blast over-pressure induced injury. *Toxicology*. 1997;121:81-90.
47. Lavonis E. Blast injuries. Emedicine website. Available at: <http://www.emedicine.com/emerg/topic63.htm>. Accessed February 4, 2005.
48. Gorbunov NV, McFaul SJ, Van Albert S, Morrisette C, Zaucha GM, Nath J. Assessment of inflammatory response and sequestration of blood iron transferrin complexes in a rat model of lung injury resulting from exposure to low-frequency shock waves. *Crit Care Med*. 2004 Apr;32(4):1028-34.