

Biomecánica del accidente de tráfico

A. Hernando Lorenzo, M. Calvo Menchaca*

Departamento Medicina Intensiva. Hospital 12 de Octubre. Madrid

*Master Urgencias Sanitarias. SAMU (Sevilla)

INTRODUCCIÓN

Probablemente el inventor del automóvil no se imaginaba la repercusión que años más tarde acarrearía este maravilloso invento que nos hace la vida más fácil y a la vez es la guillotina de la población juvenil de nuestro país.

El incremento del parque móvil en España ha ido creciendo con los años y con ello el índice de siniestralidad hasta 1978. Entre 1978 y 1982 las cifras de accidentes se estabilizan, llegando incluso a descender para iniciar un nuevo ascenso que alcanza su pico máximo en 1989. Desde 1992 se ha producido un descenso importante del número de accidentes de tráfico hasta 1997, en que se ha vuelto a producir una subida de estas cifras (1).

El accidente de tráfico es la causa más frecuente de accidente durante la vida activa (2).

Diferentes sistemas de emergencias internacionales y nacionales nos demuestran con su experiencia diaria, que con un sistema integral se logra la atención óptima a los accidentados desde el momento y el lugar en que se producen los accidentes, hasta la rehabilitación y reinserción social de los heridos.

OMS/ 1968: "No hay nada que justifique que se prive a un ciudadano de los cuidados más inmediatos y eficaces, cuando se encuentre en un riesgo excepcionalmente grave". (3).

Cuando sucede un accidente de tráfico debe ponerse rápidamente en funcionamiento la cadena de socorro para activar el sistema asistencial de emergencia, para ello necesitamos la colaboración del ciudadano testigo del accidente. El ciudadano de hoy tiene que saber como activar un sistema de emergencia y lo que debe o no debe hacer ante una situación de emergencia (4).

La formación sanitaria básica es un elemento cultural imprescindible y es fácil de adquirir mediante programas básicos de educación sanitaria donde el papel de enfermería debería destacar como educadores en salud. El personal de emergencias debe crear programas que enseñen al ciudadano a actuar ante situaciones de emergencia, que protejan a las víctimas, eviten nuevas víctimas y ayuden a los afectados hasta la llegada de los equipos de emergencia.

Los sistemas de emergencia tienen un papel decisivo en la fase inicial de la atención del accidentado observando, valorando, priorizando y debiendo actuar con rapidez y eficacia. Es decisivo el papel de los médicos y personal de enfermería que se dedica a la asistencia al trauma, con una mentalidad dirigida a la prevención de estos accidentes se podrían convertir así en agentes activos de salud, mediante su influencia en la modificación de conductas que favorecen la producción de los accidentes de tráfico.

Tiene una gran importancia para el personal sanitario (tanto prehospitario como hospitalario) que atiende a estas víctimas de accidente de tráfico, fundamentarse en los mecanismos lesivos y la biomecánica aplicada a la producción de los accidentes de tráfico, para adoptar la conducta adecuada en lo que se refiere a asistencia médica, aplicando medidas de soporte vital traumatológico tanto básico como avanzado y orientando a las pruebas diagnósticas oportunas para un diagnóstico y tratamiento definitivo.

Hay que destacar el importante papel que tiene la enfermería ante: la prevención de accidentes de tráfico, la formación del ciudadano ante estas emergencias y la atención de las víctimas.

BIOMECÁNICA

La biomecánica, es una ciencia que trata de describir los mecanismos lesivos explicando las lesiones producidas en el organismo humano, mediante la integración de diferentes disciplinas: epidemiología, física, ingeniería... (3).

La epidemiología describe los fenómenos lesivos según número, gravedad, tipo...

La física trata de reproducir las fuerzas que han causado determinadas deformaciones y de ello deducir las lesiones producidas. Todo esto mediante el estudio de las leyes que rigen el movimiento de los cuerpos y la energía cinética producida en ese movimiento.

La ingeniería trata de reducir la producción de accidentes con la seguridad activa, y mediante la seguridad pasiva trata de reducir las consecuencias lesivas del accidente sobre las personas.

Las Leyes de Newton son el pilar fundamental en el que se soportan los principios de la biomecánica para la reducción de las lesiones. Así citaremos varias leyes de la energía que necesitan ser consideradas cuando se obtiene la historia de la fase del accidente.

- La energía no es creada ni es destruida, sin embargo, esta puede ser cambiada de forma.
- Un cuerpo en movimiento o un cuerpo en reposo tiende a permanecer en ese estado hasta que una fuente actúe sobre él.
- La energía cinética es igual a la masa multiplicada por la velocidad al cuadrado y dividida entre dos.
- La fuerza es igual a la masa por el tiempo de desaceleración (aceleración) (5).

Las energías que se liberan en el trauma, y que rigen la biomecánica de lesiones (6), se basan en el movimiento del que está animado el agente vulnerante y se interpretan según las mencionadas Leyes de Newton.

Las lesiones se producen cuando una determinada estructura corporal ve superado su límite de resistencia por la energía a que ha sido sometido. Teniendo en cuenta este concepto, vemos que si dejamos caer un huevo al suelo se rompe la cascara; sin embargo si lo dejamos caer en unos almohadones o superficie elástica deformable veremos que el impacto no rompe el huevo. Seguro que nos preguntamos “¿por qué?”. Ocurre que parte de la energía cinética debida al movimiento del huevo al caer se disipará en una deformación de las moléculas de las almohadas quedando una energía residual que es inferior a la resistencia de la superficie (3).

Para un objeto en movimiento al perder velocidad, su energía de movimiento debe ser transmitida a otro objeto. Esta transferencia de energía ocurre también en caso de un accidente en el cuerpo humano.

La dispersión de la energía cinética, tanto en el espacio como en el tiempo, son determinantes para reducir la severidad de las lesiones y pueden suponer la diferencia entre sobrevivir o no.

El personal prehospitalario como el hospitalario que atiende a víctimas graves a consecuencia de un acci-

dente de tráfico debe comprender: la importancia de estos conocimientos ya que la mayoría de las lesiones se deben a traumas cerrados.

Así el equipo de emergencias prehospitalarias debe hacer una breve pero concisa anamnesis de lo ocurrido, y recoger datos sobre los daños interiores y exteriores del vehículo para posteriormente podernos orientar hacia las posibles lesiones que afectan a las víctimas del accidente.

El personal prehospitalario estará adiestrado en la realización de esta labor de valoración y observación de datos que nos ayudarán a comprender los mecanismos lesivos y la biomecánica que rige la producción de estas lesiones para seguir la conducta adecuada.

Los mecanismos de lesión corresponden en el accidente de tráfico a uno de los cinco siguientes, bien sean solos o combinados:

- Flexión*: Suele producir fracturas transversales.
- Extensión*: Puede producir también fracturas transversales y/o luxaciones articulares.
- Tracción*: Suele producir desgarros cutáneos, musculares, luxaciones, etc.
- Compresión*: Se debe a la aplicación de una fuerza en sentido longitudinal, tal como se produce en el caso de un nadador que se tire de cabeza a una zona con poco agua. Es un mecanismo que explica las fracturas por estallido de cuerpo vertebral.
- Torsión*: Suele producir fracturas espiroideas. Caso típico del esquiador, cuyo esquí queda atrapado fijo, produciéndose un giro brusco de su cuerpo sobre la pierna que actúa de eje (3).

Los accidentes de tráfico y sus mecanismos lesivos se describen clásicamente según el vehículo que se vea implicado. Es decir, se clasificarían en accidentes de automóvil, motocicletas y ciclomotores, bicicletas, camiones y autobuses.

I. ACCIDENTES DE AUTOMÓVIL (7-13)

Dentro de este tipo de accidentes donde se ven involucrados los ocupantes del vehículo siniestrado o peatones con un vehículo, podemos clasificarlos según la dirección del impacto en:

- Choques frontales.
- Choques laterales.
- Colisiones por alcance.
- Vuelco.
- Atropello (3).

La interacción entre la víctima y el vehículo depende del tipo de colisión como hemos podido observar. Así dentro de esta clasificación podríamos subdividirlas en:

- colisiones entre la víctima y el vehículo,
- colisión entre los órganos de la víctima y un marco externo del órgano (5).

I.1. Colisiones entre la víctima y el vehículo

I.1.A. Choques frontales

La colisión frontal es definida como un impacto con otro coche o un objeto de frente, que reduce bruscamente la velocidad del vehículo afectado en el choque (Fig. 1).



Fig. 1. Choque frontal contra un poste.

En este tipo de choque nos encontramos con el desplazamiento de los ocupantes delanteros del automóvil, conductor y acompañante, hacia delante.

Si no llevan cinturón de seguridad seguirán su trayectoria hasta que topen con algún obstáculo que frene su trayectoria (salpicadero, cristal) o saldrán disparados hacia el exterior del coche dependiendo de la fuerza del impacto (3,5,6).

En el caso del conductor, el desplazamiento sigue en general dos posibles formas:

1. El desplazamiento abajo y debajo (conocido con el nombre de inmersión) en el cual se produce un impacto inicial de las rodillas contra el salpicadero, pudiendo producirse:

- Fracturas conminutas de rótula
- Fractura diafisaria a uno o más niveles de fémur.
- Posible fractura luxación posterior de cadera por rotura de la ceja posterior de cotilo (debe tenerse en cuenta la proximidad del nervio ciático a este nivel y su posible lesión).

Las lesiones en los pies suelen producirse bien por atrapamiento de los pies y los tobillos contra los pedales, o bien, por deformación brusca del panel metálico se pueden producir:

- Fractura de metatarsianos.
- Fracturas uni o bimalleolares.

Así, en este desplazamiento se produce un impacto inicial de los miembros inferiores contra el salpicadero y unos milisegundos después golpea el tórax contra el volante en el caso del conductor. En este segundo componente se produce la rotación hacia delante del torso hacia la columna del volante o salpicadero.

2. En el desplazamiento tipo arriba y encima, el cuerpo tiende a salir en una dirección oblicua y hacia arriba. La cabeza llega a apuntar como un "misil humano" impactando el cráneo con el parabrisas, el marco de alrededor, espejo retrovisor... (Fig. 2) (8).



Fig. 2. Impacto tipo arriba y encima por choque frontal.

La columna cervical absorbe la energía y dependiendo de la posición del cuello se pueden producir lesiones cervicales de diverso tipo que condicionan lesiones inestables de columna o lesiones medulares altas (3,5,6).



Fig. 3. Coche con choque lateral.

I.1.B. Choques laterales

El choque lateral es definido como la colisión contra el lateral del vehículo y que acelera al ocupante lejos del punto de impacto (aceleración como oposición a la desaceleración) (Fig. 3).

La mayoría de los puntos de impacto en choques laterales se ha visto que ocurren entre 70 a 115° con el punto habitual de choque, justo delante del ocupante frontal y el vehículo que golpea viniendo desde el frente a 65°. A igualdad de velocidad de impacto por el vehículo incidente, las lesiones son más graves que en el choque frontal, al estar más próximo el cuerpo del conductor al automóvil incidente o a las estructuras internas del vehículo. Las lesiones están relacionadas con golpes laterales, la posición del ocupante (conductor o pasajero) y la fuerza del impacto (intrusión o abollamiento).

Las lesiones más frecuentes serían:

- Fracturas costales en el hemitórax golpeado con lesiones intratorácicas asociadas.

- Fracturas de pelvis.
- Lesiones craneoencefálicas.
- Rotura hepática (golpe lado del pasajero).
- Rotura esplénica (golpe lado del acompañante) (3,5).

I.1.C. Colisión por alcance

Es una colisión que representa un tipo diferente de biomecánica. Suele ocurrir cuando un vehículo está detenido y es golpeado por detrás por otro vehículo.

El cuerpo tiende a dirigirse hacia delante por transmisión de la energía del vehículo incidente a los ocupantes del vehículo alcanzado. El tórax es acelerado hacia delante junto con el respaldo del asiento, sin embargo, la cabeza retarda este movimiento respecto al tronco (no es acelerada con el resto del cuerpo) produciéndose una hiperextensión hacia atrás si el respaldo de la cabeza no ha sido elevado adecuadamente (Fig. 4) (3,5).

I.1.D. Vuelcos

Cuando el ocupante de un coche que vuelca no lleva cinturones de seguridad puede golpear cualquier parte del interior del compartimento del vehículo.

Por lo general este tipo de accidentes produce lesiones

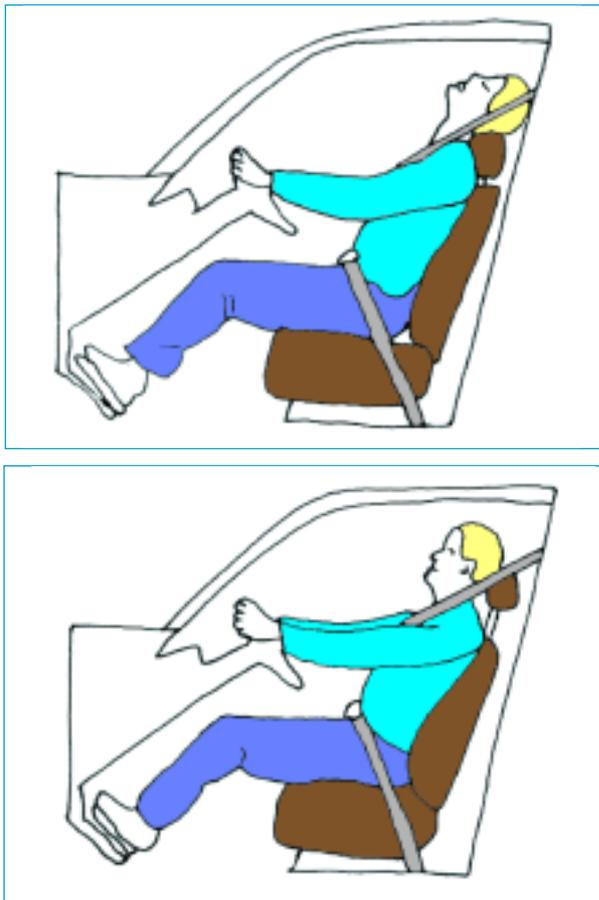


Fig. 4. Colisión por alcance. Hiperextensión del cuello sin y con reposacabezas.

nes más severas porque los movimientos que ocurren durante el vuelco son más violentos y múltiples.

El mejor predictor de la tendencia al vuelco es la relación de la distancia entre ruedas y la altura para automóviles y la relación de la anchura a la altura del centro de gravedad para camionetas y vehículos comerciales.

La gravedad de lesiones en el caso de vuelco depende de:

- La velocidad de comienzo.
- El número de giros de 90°.
- El daño del vehículo.
- Factores ambientales que pueden haber iniciado el vuelco (3).

En el vuelco se disipa la energía en un espacio largo de tiempo. Se desplaza el centro de gravedad al rotar y el primer contacto es con la cabeza contra el techo y se produce mayor lesión al tocar el techo. Se producen fuerzas de compresión e inclinación a nivel de cuello. Son frecuentes las lesiones a nivel de columna vertebral, pudiendo producirse fracturas o luxaciones vertebrales.

El vuelco puede acompañarse de expulsión del vehículo, lo cual agrava enormemente el accidente (3).

I.1.E. Atropello

Los accidentes a peatones son principalmente un problema urbano, en España suponen alrededor del 17% de víctimas mortales en accidentes de tráfico (12).

En años recientes los análisis de datos de accidentes han proporcionado una mejor comprensión del medio en que se producen los accidentes con peatones; las zonas corporales lesionadas más frecuente y gravemente, al igual que los orígenes de esas lesiones, han podido identificarse. Las zonas corporales lesionadas más gravemente son la cabeza y el tórax, las lesiones en miembros inferiores, aunque generalmente mucho menos graves son más frecuentes.

El tipo de colisión peatón –vehículo concurda con un patrón de lesiones que describiremos como “Triada de las lesiones del peatón”; consta de tres fases diferentes:

1ª Fase-Impacto con el parachoques.

El parachoques golpea las piernas del peatón en su parte inferior (siempre dependiendo de la altura del coche) y el cuerpo se inclina hacia el coche.

La cinética inicial del peatón se divide cualitativamente en cinco zonas en función de la altura del impacto:

1. Altura de impacto inferior a 0,20 m.
2. Altura de impacto entre 0,20 y 0,60 m.
3. Altura de impacto de 0,60 a 0,65 m.
4. Altura de impacto de 0,65 a 0,80 m.
5. Altura de impacto superior a 0,80 m.

Según la altura del golpe, el peatón sufrirá un movimiento diferente y por lo tanto unas lesiones diferentes (Fig. 5) (3,5).

2ª Fase-Impacto contra el borde del capó.

El impacto se produce por el golpe de la cadera contra el borde del capó, pivotando lateralmente la parte superior del cuerpo, pudiendo golpear el tórax contra el capó y la cabeza contra el parabrisas produciéndose, en este caso, lesiones más graves. El impacto depende mucho de la velocidad con la que se produzca la colisión.

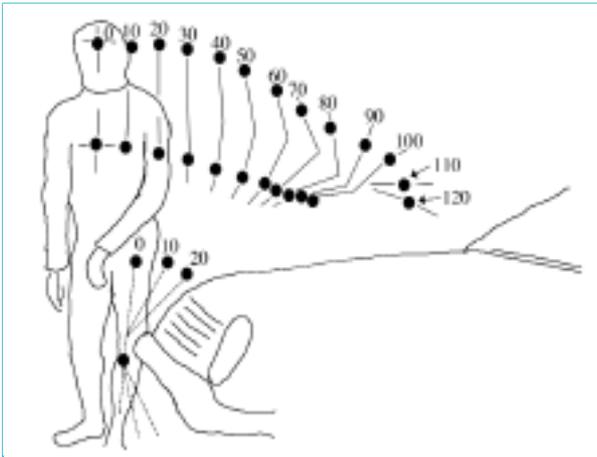


Fig. 5. Cinemática del atropello.

3ª Fase-Impacto contra el suelo.

El impacto se produce por la caída del peatón al suelo. Suelen producirse posiciones atípicas que provocan fracturas o luxaciones articulares de diversos tipos. Las lesiones de la cabeza y la columna son el resultado de la caída del paciente sobre el suelo.

El vehículo puede pasar por encima de la víctima produciéndose aplastamiento de miembros, quemaduras por fricción, tatuaje del neumático sobre la piel... (7).

I.2. Colisión entre los órganos y un marco externo

Se producen por mecanismos que lesionan los órganos por la propia interacción entre ellos mismos o estructuras óseas del organismo. Según el mecanismo que los produzca los podemos dividir en:

I.2.A. Lesión por compresión

Las lesiones por compresión ocurren cuando la parte anterior del tórax y abdomen cesan en su movimiento hacia delante y la parte posterior continúa su viaje hacia adelante. Los órganos están atrapados, el movimiento posterior continúa hacia delante con lo cual, las estructuras anteriores impactadas se ven atrapadas por la columna vertebral y la pared toraco-abdominal posterior.

I.2.B. Lesión por desaceleración

Este tipo de lesiones se producen cuando una porción de un órgano se estabiliza, cesa su movimiento hacia delante con el torso, mientras que otra parte del órgano que es movable sigue la trayectoria hacia delante. Un ejemplo serían los riñones a nivel de la unión de su pedículo. En este caso el pedículo sería el que se estabilizaría con el cuerpo y el riñón seguiría hacia delante.

I.2.C. Lesión por el cinturón de seguridad

Cuando se utiliza correctamente, el cinturón de seguridad puede reducir las lesiones que se producen en un accidente. Sin embargo utilizado incorrectamente puede provocar algunas lesiones. Para funcionar apropiadamente, el cinturón debe estar por debajo de la cresta ilíaca antero/superior y arriba del fémur. Debe estar justo o apretado lo suficiente para permanecer en el lugar durante el movimiento del impacto.

Utilizado de forma incorrecta el cinturón puede causar rotura de vísceras por atrapamiento de órganos entre la pared anterior y la columna vertebral (5).

II. ACCIDENTES DE MOTOCICLEA Y CICLOMOTOR

Afectan normalmente a la población más joven (entre 14 y 30 años) y suponen en España alrededor del 15% de víctimas mortales en accidentes de tráfico.

Las principales lesiones consisten en contusiones, erosiones y fracturas de miembros inferiores, que se pueden producir por diferentes causas como impacto directo contra otro vehículo, por caída y golpe en el momento de deslizarse por el suelo o salir proyectados por el aire. En el caso de choque frontal contra un obstáculo fijo al salir proyectado el conductor por el manillar (dado que el centro de gravedad suele estar situado algo detrás del eje delantero) se produce lesiones en la columna torácica debido a su disposición cifótica, que se exagera en el momento de la desaceleración siendo la máxima curvatura entre T4 y T7 (Fig. 6) (3).

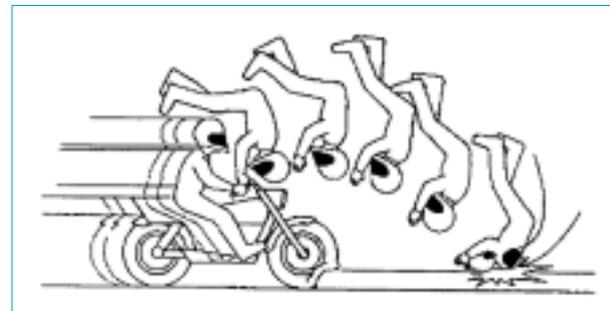


Fig. 6. Choque de moto con obstáculo fijo.

En el caso de tratar de pasar entre un espacio estrecho, como puede ser entre dos vehículos, puede producirse abducción forzada de caderas, con fracturas pélvicas y de fémur asociadas. También se han descrito fracturas de ambas clavículas por impacto del casco en caídas.

Frecuentes son las abrasiones y heridas cutáneas por rozamiento y los desgarros amplios de piel con heridas profundas por impacto contra las barras de fijación de las barreras laterales en las carreteras.

Merecen especial atención los traumatismos craneoencefálicos y faciales en motoristas por su especial relevancia y espectacularidad. Las lesiones craneoencefálicas pueden comprender lesiones de cuero cabelludo (desgarros, erosiones, etc), lesiones craneales -frac-

turas- y lesiones del parénquima cerebral. Casi siempre, se producen por un movimiento excesivo de una parte de la cabeza, en relación a otra. (3)

Existen dos tipos básicos de movimiento y ambos pueden jugar un papel en el proceso de lesión a la cabeza. Esos movimientos son de traslación y rotación. La traslación significa, de una manera simplista, que el objeto no rota y el movimiento a menudo se denomina sencillamente lineal. El movimiento puede ser rectilíneo o curvilíneo, aunque la velocidad puede cambiar a medida que el cuerpo se mueve. En el caso del movimiento curvilíneo, el cuerpo no rota, pero la velocidad del cuerpo cambia de dirección. En ambos casos, la velocidad de cada punto en el cuerpo será siempre la misma. La rotación significa que la orientación angular del cuerpo varía. Un cuerpo que está rotando es aquel en el que el movimiento de traslación de cada punto en el cuerpo es diferente.

La principal lesión es la lesión cerebral que se produce si cualquier parte es estirada, comprimida o desgarrada en el interior del cráneo. Un impacto en la cabeza puede producir deformación craneal y aunque no se fracture, el tejido cerebral puede ser lesionado. La reducción de la deformación del tejido cerebral es el objeto principal de la protección cráneo encefálica (8).

El casco es la forma más habitual de protección de la cabeza y cumple su función protectora mediante un efecto "de cojín" amortiguando el golpe a la cabeza.

El principio básico de la protección de la cabeza es reducir las fuerzas que podrían lesionar la cabeza absorbiendo parte de la energía cinética a través de la deformación u obstrucción de otro objeto (ej. almohadillado, casco...) (Fig. 7).

III. ACCIDENTES DE CAMIONES Y AUTOBUSES

Los camiones grandes y autobuses frecuentemente no son compatibles con los automóviles en los choques, debido a grandes diferencias en la relación de masa y la altura. Esta diferencia permite que el coche vaya bajo las estructuras del camión.

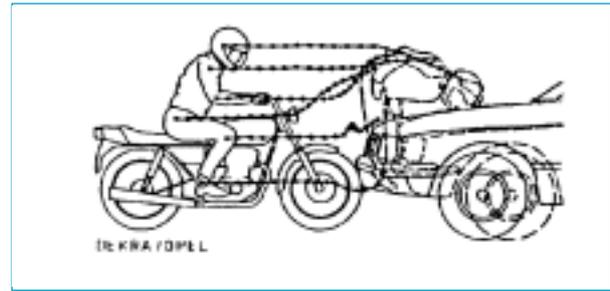


Fig. 7. Choque de moto con golpe en cabeza.

Los ocupantes de camiones tienen una tasa de lesiones del 12%, mientras que los ocupantes de coches tenían una tasa de lesiones del 83%.

Los vehículos comerciales están relacionados en más accidentes con vehículo único, accidentes por la noche, vuelcos y muertes de conductores. Los vehículos más grandes son menos estables cuando hacen cambios de carril y cuando giran en esquinas, si además añaden excesiva velocidad, el riesgo se incrementa.

Los ocupantes de camiones ligeros tienen un riesgo de lesión más alto que los ocupantes de automóviles y además sus vehículos son más agresivos que los coches y tienen tasas más altas de vuelcos en accidentes con un único vehículo.

Se piensa que el 45% de los choques entre camiones o autobuses son por fallo del conductor y el 11% por fallo del equipo.

Muchas fuentes comparan la seguridad para diferentes medios de viaje –son típicos los datos del Consejo de Seguridad Nacional de 1989.

Los datos para 1987 mostraban una mortalidad en ocupantes de automóvil y taxi de 9,7 muertes por mil millones de millas de viaje; las tasa de comparación para pasajeros que utilizan otros modos de desplazamiento son:

- Para autobuses 0,3.
- Para ferrocarril 1,3.
- Para aerolíneas 0,7.

Bibliografía

1. Perales N. Estrategia Comunitaria ante los accidentes de tráfico. *Todo Hospital*. 1990; 63: 51-64.
2. Perales N. Epidemiología de los accidentes de tráfico en España. Febrero 1999. II Curso de biomecánica de lesiones en accidentes de tráfico. Madrid.
3. Hernando Lorenzo A. Biomecánica. Febrero 1999. II Curso de biomecánica de lesiones en accidentes de tráfico. Madrid.
4. Plan Nacional de RCP. Manual de soporte vital básico y avanzado. ED Masson 1996. Pag 4-5.
5. Plan Atlas.
6. Murray McKay. Mecánica de la Lesión y Biomecánica. *World Journal of Surgery* 1997.
7. González Luque J.C. La siniestralidad por tráfico en España. Febrero 1999. II Curso de biomecánica de lesiones en accidentes de tráfico. Madrid.
8. Vaquerizo Alonso C. Traumatismos craneoencefálicos y faciales. Febrero 1999. II Curso de biomecánica de lesiones en accidentes de tráfico. Madrid.
9. World Health Organization (WHO). Accidentes de tráfico en los países en desarrollo. Ginebra 1984.
10. Prada C.; Prada R. y aut. Accidentes de tráfico en la población española. *Med Clin (Barcelona)* 1995 Nov 11; 105 (16): 601-4
11. Dirección General de Tráfico. Boletín Informativo: Accidentes 1997. Madrid.
12. Domínguez Roldán J.M. y col. Lesiones medulares agudas de origen traumático. *Med Intensiva* 1989; 13: 467-484.
13. De Castro Martínez et al. Accidente de Tráfico masivo, Análisis del accidente de tráfico acaecido el 28/12/90 en la Comunidad de Madrid. *Medicina Intensiva*, vol 16. Num 7- 1992.
14. Salleras L., Taberner J.L. y cols. Consejos para la prevención de accidentes. *Med Clin* 1994 ; 102 supl 1: 127-131.