

# Biomecánica de lesiones: utilidad en la valoración del daño corporal

Hernando Lorenzo AE<sup>1</sup>, García-Nieto Gómez-Guillamón F<sup>1</sup>, Menchaca Anduaga A<sup>2</sup>

## Introducción

La biomecánica de las lesiones, trata de explicar los mecanismos de producción de lesiones corporales en el ser humano mediante la aplicación de los conocimientos de diversas ciencias que determinando los factores humanos y físicos que han podido intervenir en la producción del accidente, la dirección principal de fuerza, la intensidad de las fuerzas que se han liberado en una determinada colisión, la resistencia de los diversos tejidos del cuerpo humano y la protección determinada por dispositivos de seguridad pasiva (cinturones de seguridad, bolsas de aire y asientos de seguridad infantil en automovilistas, cascos en motoristas o ciclistas, etc.), explican la aparición de un tipo u otro de lesiones. En algunos casos será posible determinar con certeza o excluir con certeza una determinada hipótesis relativa al mecanismo de producción de las lesiones, y en otros casos (pocos), será asimismo imposible determinar la forma de producción de las lesiones. Sin embargo, en la mayoría de casos sí que será posible establecer una explicación de la forma de producción de las lesiones, y sobre todo, determinar una probabilidad de que estas lesiones se hayan producido de una forma concreta, así como también se podrá explicar que habría podido ocurrir en el caso de que hubiesen intervenido elementos distintos a los que estaban presentes en el accidente en estudio.

La aplicación de la biomecánica a la reconstrucción de accidentes de tráfico, viene realizándose de manera habitual en determinados países de nuestro entorno socio-económico y constituye una herramienta técnica muy valiosa para

---

<sup>1</sup> Servicio de Medicina Intensiva, H. U. 12 de Octubre, Madrid

<sup>2</sup> Dirección de Enfermería, SUMMA 112, Sistema de Emergencias Comunidad Autónoma de Madrid

establecer bases firmes, sólidas y rigurosas desde el punto de vista pericial para comprender las causas y efectos de los accidentes, así como para mejorar las prácticas asistenciales de emergencia a los accidentados.

La biomecánica aplicada a los accidentes comenzó con Sir Hugh Cairns, quien describió durante la 2ª Guerra Mundial, al principio de la contienda, que los motoristas del ejército británico que utilizaban casco, sufrían lesiones craneo-encefálicas menos graves que los que no lo usaban. Ello determinó una normativa de utilización obligatoria del casco en los motoristas militares británicos (Maartens).

En 1959, Nils Bohlin, un ingeniero de seguridad de la casa Volvo, en Suecia, inventa el moderno cinturón de seguridad en tres puntos; en 1967, se introduce el asiento de seguridad infantil en sentido contrario a la marcha, desarrollado por Volvo en colaboración con el Profesor Bertil Aldman del Consejo Nacional Sueco para la Investigación de Seguridad Vial. (R&D milestones of the Volvo Group).

En 1966, la NHTSA (Administración Nacional para la Seguridad del Tráfico en Carreteras) de los EE.UU, dictó una serie de normas federales para aumentar la seguridad en los automóviles, (Highway Safety Act of 1966).

En este mismo país, los trabajos de Stapp sobre tolerancia a aceleraciones en el cuerpo humano habían sentado bases para la investigación. Otras investigaciones han tratado de determinar mayores niveles de resistencia humana al choque, mediante utilización de dispositivos de seguridad para automovilistas y motociclistas, y que son básicos para el progreso en este campo (Viano, Wismans, Thibault,)

## Utilidad de la biomecánica

En el caso concreto de lesiones producidas en accidentes de tráfico, el estudio de Biomecánica de lesiones, podría ser útil, entre otros casos, para:

1. Determinar por el tipo de lesiones sufridas conociendo el resto de circunstancias (tipo de accidente, hora y lugar de su producción, tipo, modelo y número de vehículos involucrados, número, edad, sexo, etc.), la posición que ocupaban las personas lesionadas, en el interior del vehículo. Si fueron encontradas fuera del vehículo, -eyección-, trata de explicar la importancia de no utilización de dispositivos de fijación, de uso obligatorio.

El análisis del tipo de asistencia médica recibida, tanto en fase pre-hospitalaria como hospitalaria (Soporte Vital Básico, SVB, o Soporte Vital Avanzado, SVA), y el tiempo dedicado a la atención, la necesidad

- de rescate o no, etc., son aspectos que pueden indicar la gravedad potencial o real del accidente.
2. Asimismo, en colisiones entre vehículos o colisión con vehículo único, según el tipo de colisión, frontal con o sin oblicuidad, fronto-lateral, alcance, vuelco -con choque de rueda contra obstáculo o sin él-, atropello, accidente con vehículos de dos ruedas, se podría tratar de determinar la posición que ocupaban las víctimas, conductor y pasajero, en el momento de producirse el accidente.
  3. Se podría también tratar de determinar si se produjo la utilización o no de cinturón de seguridad o casco por alguno de ellos y las lesiones correspondientes, tanto las que se hubiesen debido a estos dispositivos de seguridad pasiva, como el nivel de protección que habrían conferido, caso de haber sido usados correctamente.
  4. Sería posible en determinados casos, establecer la influencia de determinados tóxicos sobre la conducción.
  5. Los factores humanos (atención, percepción, etc.,) alterados por condiciones fisiológicas o provocadas, así como por enfermedades, podrían explicar en determinados casos su influencia sobre la producción y efectos del accidente, debido a alteraciones en el rendimiento y en el comportamiento.
  6. Existiría la posibilidad de determinar, en el caso de colisiones múltiples, y bajo determinadas circunstancias, la producción de lesiones determinadas en fases diferentes del accidente.
  7. En casos de accidente tipo vuelco, y en conjunción con los estudios de ingeniería, se podría discutir la influencia del tipo de vehículo, el número de personas ocupantes del mismo, etc., en la producción del vuelco y en sus efectos sobre las lesiones sufridas.
  8. Podría servir como un elemento muy útil de control de calidad asistencial, para determinar la existencia de un posible daño sobreañadido a la víctima, en función de circunstancias asistenciales.

Los casos anteriores, serían aplicables a “siniestros graves”, por la importancia de sus efectos, considerando cada caso individualmente. Por otra parte, existen siniestros que aunque considerados aisladamente no supondrían una repercusión económica importante, sí que lo podrían ser por su frecuencia, como es el caso de accidentes por alcance, o los accidentes denominados “a baja velocidad”. En estos casos, la determinación del umbral mínimo lesivo, así como la influencia de otros factores, podría ser importante a la hora de establecer relaciones o nexos de causalidad.

En los atropellos a peatones o ciclistas, el establecer la velocidad de impacto, en base a las lesiones encontradas, así como evitar o no el atropello, puede ser un elemento determinante para establecer responsabilidades.

## **Problema socio-económico de las lesiones producidas en accidentes de tráfico en España**

La importancia del trauma como enfermedad social, viene dada por la morbilidad y mortalidad que supone. Se considera la enfermedad traumática como la tercera causa de mortalidad en la población adulta después de las enfermedades cardiovasculares y las neoplasias, pero si se considera por grupos de edad, en la población joven constituiría la primera causa de mortalidad (entre los 15 y los 30 años). Dentro de las causas de la enfermedad traumática, en los países industrializados destacan los accidentes y dentro de ellos los accidentes de tráfico.

Según UNESPA (2007), la totalización al 100% de los datos de la base relativos a los años más completos en el periodo 2004/2006, sugiere que el número de lesionados con secuelas permanentes tras lesiones sufridas en accidentes de tráfico, puede situarse en los años más intensos en el entorno de los 260.000 a 290.000.

En España en el año 1997 se produjeron 5604 muertes por accidentes de tráfico, y el número de heridos supuso 270.575. En el año 1998, se habría producido un incremento de un 6,2% en el número de muertos hasta el 31 de Diciembre, respecto a la misma fecha del año anterior -DGT-. (RUZA).

En los últimos años, y debido a una serie de medidas y circunstancias, se ha producido en España una reducción en la siniestralidad y en el número de muertos y heridos. Así, en el año 2004 habrían muerto en accidentes de tráfico en carretera 3.036 personas.

En el año 2010 se produjeron en España 85.503 accidentes de circulación con víctimas, entendiéndose como tal aquél en el que una o varias personas resultan muertas o heridas y está implicado al menos un vehículo en movimiento. En esos accidentes fallecieron 2.478 personas dentro de los 30 días siguientes al accidente y 120.345 resultaron heridas, de las cuales, 11.995 lo fueron gravemente, es decir, necesitaron más de 24 horas de hospitalización. El índice de gravedad de los accidentes en el año 2010 fue de 2,9 muertos por cada 100 accidentes con víctimas y el de letalidad de 2,02 muertos por cada 100 víctimas. En el año 2010, en el 7,8% de los accidentes mortales hubo más de un muerto y en el 0,4% de ellos hubo más de tres.

La importancia de los accidentes de tráfico como productores de lesiones viene dada, entre otras razones, por su especial incidencia en el grupo de población joven. En cuanto a la distribución por tipos, y también refiriéndonos a España, las víctimas mortales por accidentes de automóvil suponen más de la mitad de víctimas totales, las muertes en accidentes de motocicletas y ciclomotores alrededor del 17% y las muertes en atropellos a peatones supusieron el 18% de víctimas mortales, observándose una tendencia al aumento de este tipo de víctimas.

La siniestralidad por accidentes de tráfico suponía en España, en 1997, un coste para las aseguradoras de casi 800.000 millones de las antiguas pesetas y de ellos casi 300.000 millones correspondieron a daños personales. (Hernando). Para dar una idea de lo que suponen los accidentes de tráfico en el mundo, una previsión estima que si en el año 1990 se producían alrededor de 150.000 muertos por accidentes de tráfico en los países industrializados y alrededor de 350.000 en los países en vías de desarrollo, para el año 2020 se mantendría en cifras similares la mortalidad en el mundo industrializado, pero en los países en vías de desarrollo se alcanzaría un número próximo a los 2.000.000.

A ello contribuirían el alto crecimiento demográfico en éstos países; Pakistán tiene una tasa de crecimiento anual próxima al 3%, la deficiente infraestructura viaria y el parque automovilístico que crecerá considerablemente.

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, tales como intervenciones dirigidas a una reducción en la ingesta de alcohol en los conductores y en la población en general. Se ha considerado que el alcohol intervendría como agente productor o facilitador en más de 1/3 parte de los accidentes mortales de tráfico. En los accidentes de tráfico, la mayoría de lesiones se deben a trauma cerrado. Es fundamental para el personal sanitario que atiende a las víctimas del trauma grave tanto en el ambiente pre-hospitalario como en el hospitalario, comprender los mecanismos lesivos y la biomecánica que rige la producción de estas lesiones, para tomar la conducta adecuada en lo que se refiere a la asistencia médica, realizando la aplicación de medidas de soporte vital avanzado y orientando las pruebas diagnósticas oportunas, realizadas en el “centro útil”, centro adaptado en cuanto a las posibilidades diagnósticas y terapéuticas, a la patología del paciente, para reducir la mortalidad y morbilidad. Así, si un médico o personal sanitario que atienden en el ambiente extrahospitalario un traumatismo, entienden que bajo un tórax que ha sufrido un impacto de alta energía, se pueden haber producido lesiones internas, aún en ausencia de lesiones externas evidentes, dirigirá a ese paciente a un centro que pueda detectar una posible lesión de grandes vasos intratorácicos y tratarla oportunamente. En este sentido, se han desarrollado protocolos asistenciales a los accidentados de tráfico en Florida, EEUU, (Augenstein), que en función de las características del impacto, la posición de la víctima en el vehículo, las deformaciones del vehículo, etc., establecen un riesgo de haber sufrido lesiones graves, ej. rotura traumática de aorta, y establecen prioridades asistenciales. La Escala SCENE, se basa en los parámetros siguientes:

**S:** *steering wheel deformation* o deformación del volante. Si, a pesar del airbag, el volante se deforma, quiere decir que el impacto fue de gran energía.

**C:** *close proximity of driver to wheel*, o frontal collisions. Si el conductor está muy cerca del volante, se ocasionan lesiones cuando se activa el airbag; además, en algunos choques el cuerpo se va hacia adelante antes de que aquel se infle, con gran riesgo de lesiones internas en el tórax. Son de riesgo los conductores de pequeña estatura o circunferencia craneana grande, y los ancianos.

**E:** *energy*, es decir, la energía de la colisión. En impacto frontal, 40 cm o más de hundimiento indican que probablemente el impacto fue de alta energía; en cambio, en impacto lateral se sospecha lo mismo con 25 - 32 cm.

**N:** *no seat belt* o no tener puesto el cinturón de seguridad es un factor alto de riesgo.

**E:** *eyewitness report*, si hay testigos presenciales o fotográficos de que la persona quedó inconsciente, aunque luego esté alerta, también es un factor de riesgo.

Las leyes de Newton, principio de la mecánica, son de mucha utilidad para comprender las lesiones en los accidentes y su gravedad, las diferencias significativas, tanto en la masa como en la velocidad entre los dos cuerpos que soportan el choque, lo que se denomina incompatibilidad. En los accidentes de tráfico, sería grave, por ejemplo, una colisión entre un autocar y un automóvil, o un atropello a un peatón por un ciclista bajando una cuesta a elevada velocidad.

Las lesiones se producen cuando una determinada estructura corporal ve superado su límite de resistencia por la energía a que ha sido sometido. Si dejamos caer un huevo sobre una superficie dura, se romperá la cáscara, siempre que la altura desde la que haya caído sea de una dimensión determinada. Si interponemos entre esa superficie dura y el huevo, alguna superficie elástica deformable, como pueden ser almohadas, etc., parte de la energía cinética debida al movimiento del huevo al caer sobre los almohadones, se disipará en forma de energía térmica, en muy pequeña cuantía, debida al rozamiento, y en una deformación de las moléculas de las almohadas, al ser estructuras flexibles, quedando una energía residual que es inferior a la resistencia de la cáscara del huevo, por lo que éste no rompe.

Esa dispersión de la energía cinética, tanto en el espacio como en el tiempo, son determinantes para reducir la gravedad de las lesiones y pueden suponer la diferencia entre sobrevivir o no. En este principio se basan dispositivos tan eficaces como el cinturón de seguridad o el "air-bag". El cinturón de seguridad reparte la energía producida en el curso de una deceleración brusca, sobre una superficie amplia del cuerpo, al apoyar una banda de fibra de una anchura determinada sobre estructuras resistentes relativamente, tales como la clavícula y la cresta ilíaca, banda oblicua, y entre las dos cresta

ilíacas, banda transversal abdominal. La incorrecta disposición del cinturón de seguridad sería a su vez origen de lesiones.

Las lesiones se producen cuando una determinada estructura corporal ve superado su límite de resistencia por la energía a que ha sido sometido. Si dejamos caer un huevo sobre una superficie dura, se romperá la cáscara, siempre que la altura desde la que haya caído sea de una dimensión determinada. Si interponemos entre esa superficie dura y el huevo, alguna superficie deformable, como almohadas, etc., parte de la energía cinética debida al movimiento del huevo al caer sobre los almohadones, se disipará en forma de energía térmica, en muy pequeña cuantía, debida al rozamiento, y en una deformación de las moléculas de las almohadas, al ser estructuras flexibles, quedando una energía residual que es inferior a la resistencia de la cáscara del huevo, por lo que éste no rompe. Esa dispersión de la energía cinética, tanto en el espacio como en el tiempo, son determinantes para reducir la gravedad de las lesiones y pueden suponer la diferencia entre sobrevivir o no. En este principio se basan dispositivos tan eficaces como el cinturón de seguridad o el air-bag. El cinturón de seguridad reparte la energía producida en el curso de una deceleración brusca, sobre una superficie amplia del cuerpo, al apoyar una banda de fibra de una anchura determinada sobre estructuras resistentes relativamente, tales como la clavícula y la cresta ilíaca, banda oblicua, y entre las dos cresta ilíacas, banda transversal abdominal. La colocación incorrecta del cinturón de seguridad sería a su vez origen de lesiones. También, aspectos tales como la carga de agua o carga mineral del hueso, la disposición de las fibras musculares, etc., explican la producción de diferentes lesiones.

Los mecanismos de lesión corresponden a uno de los cinco siguientes, sean aislados o combinados.

**Flexión:** Suelen producir fracturas transversales.

**Extensión:** Pueden 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, como en el caso de un nadador que se tire de cabeza a una zona con poca agua, quedando su cabeza comprimida contra el suelo por el resto del cuerpo que la empuja, produciendo un fenómeno de émbolo, pudiendo producirse fracturas o lesiones cervicales. Este mecanismo 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.



## Accidentes de tráfico

En un accidente de tráfico en el que un automóvil colisiona contra un obstáculo, se produce un primer impacto o impacto inicial, que es el de el automóvil contra el objeto, sea éste fijo o móvil. El segundo impacto es el de los ocupantes contra alguna estructura interior del vehículo, caso de no salir despedidos, como puede ser el golpe contra el volante en el caso de un choque frontal de un conductor no sujeto por cinturón de seguridad. El tercer impacto, es el de los órganos internos entre sí, como ocurre por ejemplo, en el caso que mencionábamos si además del impacto del tórax contra el volante se produce el impacto de la cabeza contra alguna estructura interna del vehículo.

Éste impacto de los órganos internos entre sí, tiene importancia para explicar la producción de lesiones de golpe y de contragolpe. Por ejemplo, si el encéfalo, que está contenido en el interior del cráneo, una estructura dura e inextensible, golpea tras una desaceleración brusca, produciéndose el impacto de los lóbulos frontales, protegidos parcialmente por las meninges, contra la parte interna del hueso frontal, se podrán producir hematomas o focos de contusión frontales, pero si además consideramos que la zona occipital se ha visto sometida a un fenómeno de tracción tras el desplazamiento, que puede haber producido un desgarro de los vasos sanguíneos que unen el encéfalo con las meninges, se podrá producir también en el mismo accidente un hematoma subdural occipital o una hemorragia subaracnoidea a dicho nivel, o una contusión del lóbulo occipital, al volver el encéfalo hacia atrás. Por otra parte, otros mecanismos, tales como aceleración-desaceleración muy intensas del encéfalo en el interior del cráneo, explican lesiones tipo hematoma subdural, lesión axonal difusa, etc.

## Mecanismos lesivos en accidentes de tráfico

Se describen clásicamente, en lo que se refiere al vehículo, accidentes de automóviles, motocicletas y ciclomotores, bicicletas, camiones y autobuses y atropellos a peatones.

Según la dirección de impacto los accidentes de automóvil se clasifican en choques frontales, choques laterales, colisiones por alcance, vuelcos y atropellos.

### Colisiones o choques frontales

El desplazamiento de los ocupantes delanteros de un automóvil en el caso de choque frontal, y si no van sujetos por cinturón de seguridad, puede



referirse a conductor o acompañante, en los que el desplazamiento sigue en general una de dos posibles formas: El desplazamiento abajo y debajo (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, y posible fractura-luxación posterior de cadera, por rotura de la ceja posterior del cotilo (debe tenerse en cuenta la proximidad del nervio ciático a éste nivel, que puede lesionarse). 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 inclinado sobre el que reposan los pies, transmitiéndose una sobrecarga axial brusca con producción de fractura de metatarsianos, fracturas uni, bi o trimaleolares de tobillo, etc.

Temporalmente, el choque frontal suele detener el vehículo en aproximadamente unos 130-150 msec. Analizando este período, el impacto inicial de miembros inferiores contra el salpicadero se ha producido alrededor de los 50-60 msec. Unos 15-20 msec después, el tórax golpea contra el volante, pudiendo producirse fracturas costales con o sin "volet" costal, fracturas esternales y lesión de órganos internos intratorácicos por compresión y por desaceleración.

En el desplazamiento tipo arriba y encima, el cuerpo tiende a salir en una dirección oblicua y hacia arriba, golpeando la cabeza contra el parabrisas, espejo retrovisor o marco interno del parabrisas. Dependiendo de la posición del cuello, en mayor flexión o extensión, se podrán producir además de fracturas craneales y lesiones encefálicas, lesiones cervicales de diverso tipo que pueden condicionar lesiones inestables de columna o lesiones medulares altas. El cinturón de seguridad, evitaría estos tipos de desplazamiento, disminuyendo por tanto la posibilidad de ocurrencia de las lesiones mencionadas. El "air-bag" o bolsa de aire, es un dispositivo que se activa al detectarse una deceleración de una determinada intensidad (en coches norteamericanos a una deceleración en el plano frontal superior a la correspondiente a impactos a velocidades superiores a 16 Km/h y en los automóviles europeos a más de 30 Km/h, sin superar una determinada oblicuidad, en general, menor de 30°. Sentada esta deceleración brusca, un dispositivo pirotécnico pone en ignición unos gases acumulados en el interior de una bolsa que producen el hinchado rápido de la bolsa de aire, a una velocidad superior a 300 Km/h, y que se interpone entre el cuerpo del conductor y el volante. Este hinchado se produce aproximadamente a partir de los primeros 16-20 msec tras el impacto, es decir, unos 40 msec antes de que el tórax de el conductor haya comenzado a desplazarse hacia delante, impidiendo, por tanto, el contacto con el volante, aumentando aproximadamente entre un 7% y un 17% las posibilidades de supervivencia del conductor en caso de choque frontal, caso de ir sujeto por el cinturón de seguridad, ya que el air-bag no sustituye al cinturón de seguridad, sino que lo complementa.

El airbag es un dispositivo que complementa al cinturón de seguridad, y así se exprese en sus siglas en inglés, **SRS**, *Supplemental Restraint System*, o sistema de sujeción complementario. El desplazamiento hacia delante del tórax y la cabeza del conductor, aún en el caso de ir sujetos por cinturón de seguridad, puede no evitar su contacto contra el volante, salpicadero, parabrisas, etc.

La diferencia de masas en un choque frontal entre dos vehículos que circulasen con la misma velocidad y en sentido contrario, explicaría la mayor mortalidad en los ocupantes del vehículo de menor peso. En el caso del acompañante, los desplazamientos serían similares, con la diferencia de que el impacto no sería contra el volante sino contra el salpicadero o el parabrisas, y que no habría pedales. El uso o no del cinturón de seguridad y la activación o no de airbag, determinarán diferente tipo y gravedad de lesiones.

Debe tenerse en cuenta el concepto de cambio de velocidad o *delta-V*, que se produce en el vehículo tras la colisión. En un impacto accidental, si el automóvil lleva una velocidad de 50 km/h, en una décima de segundo pasa a 0. Así ocurre habitualmente en las colisiones frontales, por lo que cuando los ocupantes de un turismo no van asegurados por el cinturón, que retrasa su detención, golpearán contra estructuras del interior del vehículo con gran violencia, sufriendo lesiones graves. Dadas las características mecánicas de los automóviles, las zonas de absorción de energía son diferentes, y, en caso de colisión, a igualdad de cambio de velocidad posterior al impacto (*delta-V*), es más grave una colisión por embestida lateral que una colisión frontal, sobre todo para los ocupantes del lado próximo al impacto. Se puede tener una idea aproximada de la gravedad de la colisión y de la velocidad que llevaba el vehículo, por el grado de aplastamiento de éste, aplicando la siguiente regla empírica, por cada 2,5 cm de aplastamiento hay un km/h de *delta-V*. Siguiendo esta ecuación, cuando el aplastamiento es menor de 20 cm, seguramente el impacto fue a baja velocidad y la lesión no será muy grave. Entre 20 - 40 cm de hundimiento significa que el impacto fue importante y que probablemente hubo lesiones de los ocupantes y con más de 40 cm de hundimiento los accidentes son muy graves.

## Colisiones o choques laterales

En el caso de choque lateral, y a igualdad de velocidad de impacto por el automóvil incidente, las lesiones son más graves que en el choque frontal, al estar más próximo el cuerpo del conductor al automóvil incidente y/o a las estructuras internas de la puerta que es deformada, produciendo su intrusión. Así, golpea directamente el hemitórax correspondiente al lado que ha sufrido el impacto, siendo, en general más graves las lesiones en los

ocupantes del lado próximo al impacto que en los del lado lejano. Se suelen producir fracturas costales en ese hemitórax con lesiones intratorácicas, fracturas de pelvis, así como lesiones abdominales, y lesiones craneoencefálicas, debidas a que el movimiento de la cabeza es de inclinación lateral, tendiendo a acercarse al automóvil incidente, según la tercera Ley de Newton, pudiendo golpear la cabeza contra la ventanilla, el marco de la puerta o incluso el capot del automóvil que golpea. Las lesiones torácicas son mas frecuentes que las abdominales.

Debe recordarse la asociación de lesiones, de forma que fracturas costales altas, de la primera a la tercera, al estar muy protegidas indicarían un mecanismo de alta energía de impacto, pueden asociarse a lesión de grandes vasos intratorácicos. Las fracturas costales medias pueden producir contusión pulmonar, contusión miocárdica, etc. Las fracturas costales bajas, de la novena a la décimo segunda, pueden producir rotura hepática en el lado derecho, rotura esplénica en el lado izquierdo o rotura diafragmática. Las estructuras circulares suelen partir a dos niveles, similar a lo que ocurre al comprimir un aro modelo “hoola-hoop” contra el suelo, por lo que deben buscarse fracturas a dos niveles en costillas, en pelvis, etc.

### Colisión por alcance

En el caso de una colisión por alcance posterior, muy frecuente en ámbito urbano, el cuerpo tiende a dirigirse hacia delante por transmisión de la energía del vehículo incidente al respaldo del asiento y a los ocupantes del automóvil alcanzado. Este desplazamiento solidario del asiento con el tronco, no se ve acompañado del mismo movimiento en la cabeza, que debido por una parte a que tiene el centro de gravedad en una situación relativamente posterior, y a que tiende a retardar su movimiento respecto al del tronco, pivotaría hacia atrás sobre el cuello, produciendo una hiperextensión, lo que se podría evitar mediante el reposacabezas situado adecuadamente. Se producen lesiones en cuello, que generalmente afectan a las partes blandas, constituyendo el denominado “esguince cervical”.

### Vuelco

Si el ocupante de un automóvil que vuelca no está sujeto por el cinturón de seguridad, puede golpear con cualquier parte del interior del compartimento del vehículo y producirse lesiones craneales y de cuello por impacto contra el techo. Son frecuentes las lesiones de columna vertebral, fracturas o luxaciones vertebrales con o sin daño medular.

Los equipos de asistencia médica a víctimas de accidentes que han sufrido un vuelco, deben extremar las medidas de control de columna cervical y de

inmovilización del resto de columna, guardando un alto índice de sospecha de posibilidad de lesiones a éste nivel. El vuelco puede acompañarse de expulsión del vehículo, lo cual agrava enormemente el accidente, ya que la mortalidad de los ocupantes despedidos es entre cuatro y seis veces superior respecto a si permanecen en el interior del vehículo.

## Atropello

En los atropellos, el factor mas decisivo para determinar la gravedad de las lesiones sufridas por el peatón, es la velocidad del vehículo en el momento del golpe. A igualdad de velocidad, la energía liberada dependerá de la masa, siendo más grave por tanto el atropello por vehículos pesados que por vehículos más ligeros. Influye también la posibilidad de deformación de la estructura que golpea al peatón, y así los parachoques deformables, de materiales plásticos, son menos lesivos que los parachoques de automóviles antiguos, fabricados con metal. En el atropello se distinguen cuatro fases.

La primera fase es el impacto de la parte más saliente del automóvil, generalmente el parachoques, contra extremidades inferiores. Si existe frenada previa, suele descender unos centímetros el punto de impacto que también vendrá determinado por la talla del peatón. Se producen fracturas abiertas o cerradas de tobillo, tercio medio de pierna o en rodilla, en este caso deberá prestarse atención a posibles lesiones vasculo-nerviosas del hueco poplíteo. También son frecuentes las fracturas de peroné a nivel de cabeza con lesión del nervio ciático poplíteo.

El segundo 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 el hombro o la cabeza contra el parabrisas o el marco del parabrisas, siendo en este caso más graves las lesiones dada la rigidez de esta estructura.

El tercer impacto se produce por la caída del peatón al suelo, que puede producirse en posiciones atípicas, resultando fracturas o luxaciones articulares de diversos tipos.

Finalmente, el automóvil puede pasar por encima de la víctima produciéndose un tatuaje de los neumáticos sobre la piel y aplastamiento de miembros o de otra parte del cuerpo, o arrastrarla, produciéndose erosiones y quemaduras cutáneas por fricción y se puede producir tatuaje por impregnación de asfalto en la piel.

El atropello supone un impacto lateral para la víctima, en más del 90% de casos. Los atropellos a baja velocidad y dando marcha atrás el vehículo pueden producir lesiones leves, pero que pueden resultar relativamente incapacitantes.

## Accidentes de motocicleta y ciclomotor

Afectan en general a población joven y suponen en España alrededor del 17% de víctimas mortales en accidentes de tráfico. La lesiones principales consisten en contusiones, erosiones y fracturas de miembros inferiores, que pueden producirse por impacto directo contra otro vehículo en el momento del choque, por caída secundaria y golpe en el momento de deslizar por el suelo o salir proyectados por el aire, o en el caso de choque frontal contra un obstáculo fijo, al salir proyectado el conductor por el manillar; dado que el centro de gravedad de la moto suele estar situado algo detrás del eje delantero. En este tipo de impacto, la moto tiende a levantar la rueda delantera, por lo que el conductor golpea con ambos muslos sobre el manillar, produciendo fracturas diafisarias de ambos fémures.

En el caso de tratar de pasar entre un espacio estrecho, como puede ser entre dos automóviles, puede producirse un abducción forzada de caderas, con diástasis de sínfisis púbica y fractura pélvicas o de fémur asociadas; este tipo de lesiones en pelvis también se han descrito tras impactos frontales, al golpear con la zona inguinal contra el depósito de combustible. Se han descrito fracturas de ambas clavículas por impacto del casco sobre ellas en caídas de motoristas. Son frecuentes 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.

Mención especial merecen los traumatismo cráneo-encefálicos y faciales en motoristas. El casco supone el mejor dispositivo de seguridad pasiva para motoristas y reduciría la mortalidad y producción de lesiones graves en alrededor del 29% (Evans). Puede producirse también lesión encefálica grave, lesión axonal difusa, por un mecanismo de aceleración angular intensa sin existencia de fractura craneal.

## Bibliografía

- Advanced Trauma Life Support. A Manual for Physicians American College of Surgeons – Committee on Trauma.
- The Abbreviated Injury Scale AIS. American Association of Automotive Medicine, Revision 85, Morton Grove, Illinois/USA.
- Augenstein J, Digges K y cols. Development and validation of the urgency algorithm to predict compelling injuries. The William Lehman Injury Research Center University of Miami School of Medicine, United States of America, Paper # 352.
- Daffner, RH, Deeb, ZL, Lupetin, AR, Rothfus, WE. Patterns of high-speed impact injuries in motor vehicle occupants. *J. Trauma* 28 (4):498-501, 1988.

- Dischinger PC, Siegel JH, Ho SM, Kufera JA. Effect of change in velocity on the development of medical complications in patients with multisystem trauma sustained in vehicular crashes. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 30, Issue 6, November 1998: pp 831-837.
- Evans L, Frick M. Helmet effectiveness in preventing motorcycle driver and passenger fatalities: accident analysis and prevention. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Vol. 20, Number 6, 1988.
- Hernando Lorenzo AE, Parise Methol J. Aspectos generales, biomecánica del trauma, en Cap. 97, pág. 1862 del libro Ruza F. Tratado de cuidados intensivos pediátricos. 3ª Ed., Vol. II, Ed. Norma-Capitel.
- Horton TG, Cohn SM, Heid MP, Augenstein JS, Bowen JC, McKenney, MG, Duncan, RC. Identification of trauma patients at risk of thoracic aortic tear by mechanism of injury. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care*. 48(6):1008-1014, June 2000.
- Lestina DC, Williams AF, Lund AK, Zador P, Kuhlmann TP. Motor vehicle crash injury patterns and the Virginia seat belt law. *Journal of the American Medical Association*, 1991.
- Loo GT, Siegel JH, Dschinger PC. Airbag protection versus compartment intrusion effect determines the pattern of injuries in multiple trauma motor vehicle crashes. *J. Trauma* 41: 935-951, 1996.
- Maartens NF, Wills AD y cols. Lawrence of Arabia, Sir Hugh Cairns and the origin of motorcycle helmets. *Neurosurgery*, Jan. 2002: Vol. 50; N° 1: pp 176-180.
- Nance ML, Elliott MR, Arbogast KB, Winston FK, Durbin, DR. Delta V as a predictor of significant injury for children involved in frontal motor vehicle crashes. *Annals of Surgery*. 243(1):121-125, January 2006.
- Otte D, von Rheinhaben H, Zwipp H. Biomechanics of injuries to the foot and ankle joint of car drivers and improvements for an optimal car floor development. 35 Stapp Car Crash Conference, SAE 922514, 1992.
- Pattimore D, Ward E, Thomas P, Bradford M. The nature and cause of lower limb injuries in car crashes. Proc. 34 Stapp Car Crash Conference, SAE 912902, 1991.
- Richter M, Krettek C, Otte D, Wiese, B, Stalp M, Ernst S, Pape, H-C. Correlation between crash severity, injury severity, and clinical course in car occupants with thoracic trauma: a technical and medical study. *Journal of Trauma - Injury Infection & Critical Care*. 51(1):10-16, July 2001.
- R&D milestones of the Volvo Group.
- Siegel JH, Mason-Gonzalez S, Dschinger PC et al. Safety belt restraints and compartment intrusions in frontal and lateral motor vehicle crashes: mechanisms of injuries, complication, and acute care costs. *J. Trauma* 34, 736-759, 1993.
- Siegel JH, Mason-Gonzalez S, Dschinger PC et al. Causes and cost of injuries in multiple trauma patients requiring extrication from motor vehicle crashes. *J. Trauma* 35, 920-931, 1995.
- Siegel JH, Mason-Gonzales S, Cushing BM, Dischinger PC, Soderstrom CA, Read KM et al. A prospective study of injury patterns, outcomes and costs of high speed frontal versus lateral motor vehicle crashes. Proc. 34 AAAM, pp 289-313, 1990.
- Smith JA, Siegel JH, Siddiqi SQ. Spine and spinal cord injury in motor vehicle crashes: a function of change in velocity and energy dissipation on impact with respect to the direction of crash. *J. Trauma*. 2005 Jul; 59(1):117-31.

- Stapp JP (August 1948). Problems of human engineering in regard to sudden declarative forces on man. *Mil. Surg.* 103 (2): 99–102.
- Thibault LE, Gennerelli TA, Margulies SS, Eppinger MJR. (1990). The strain dependant pathophysiological consequences of inertial loading on central nervous system tissue, In Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Impact (IRCOBI conference).
- UNESPA: Evidencias sobre la siniestralidad grave en accidentes de tráfico. Un estudio a partir de la Base de Datos, Tabla VI (v 1.0) de la Comisión de Autos de UNESPA.
- Viano DC, Lau IV, Asbury C. Biomechanics of the human chest, abdomen, and pelvis in lateral impact. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 1, No. 6, Dec. 1989: pp 553–574.
- Wismans W. et al. (1994). *Injury biomechanics (4J610) Course Notes*, Eindhoven University of Technology, Mechanical Engineering, The Netherlands.

**Fuentes de financiación del trabajo:** Beca de Investigación de la Fundación Mapfre Medicina  
Los autores declaran que en la realización de este trabajo no existe ningún conflicto de intereses

**Resumo:** Biomecânica das lesões: utilidade na avaliação do dano corporal

Objetivo: rever a utilidade da biomecânica aplicada à reconstrução médica de acidentes, explicando os mecanismos lesionais nos diversos tipos de acidentes de tráfego, como colisões entre veículos, choque de veículos contra objetos, atropelamentos, etc. Analisa-se ainda a utilidade do conhecimento e compreensão destes mecanismos lesionais para melhorar as práticas assistenciais médicas nos acidentados, no local do acidente e nos centros de tratamento.

**Palavras-chave:** Dano corporal; biomecânica; acidente.

**Abstract:** Injury biomechanics: usefulness in bodily damage expertise

Objective: to review the concept of Injury biomechanics and its application to medical investigation and reconstruction in motor vehicle crashes, explaining the mechanisms of injury in the different crashes, as collisions between vehicles, impacts with objects, car to pedestrian crashes, etc. and to understand this mechanisms of injury to improve medical attention practices to injured patients, at the accident site and at the definitive care institutions.

**Keywords:** Body damage; biomechanics; accident.

**Pedido de separatas:**

ANTONIO E. HERNANDO LORENZO  
herloren@antonioehernando.e.telefonica.net