

**Estudio experimental sobre las  
lesiones oculares y orbitarias  
en usuarios de gafas por  
estallido del airbag a baja  
velocidad**

(RESUMEN)

*Marzo 2010*

## INDICE

1. Introducción
2. Justificación
3. Hipótesis
4. Objetivos y diseño del estudio
5. Material y Métodos
6. Discusión y Conclusiones
7. Resultados
8. Recomendaciones
9. Bibliografía

## 1. Introducción.

### *El airbag como elemento de seguridad pasiva*

La implantación del air-bag o airbag como elemento de seguridad pasiva en la automoción data de finales de la década de los 80, generalizándose en los 90 y haciéndose obligatorio a finales de dicha década en los países desarrollados.

Tras su implantación se sucedieron estudios epidemiológicos que establecieron su contribución a la reducción de la mortalidad de algunos tipos de accidentes. Decir que reduce del 25 al 30% inicialmente o, más recientemente solamente el 10% merece un análisis más profundo.

### *La controversia sobre la contribución del airbag en la reducción de la mortalidad*

La bibliografía consultada refiere reducciones de mortalidad más extremas cuando el airbag ha estallado en una colisión frontal y el conductor o pasajero no llevaba el cinturón de seguridad puesto, pero la llamativa cifra de reducción del 25 al 30 % puede contribuir a minusvalorar la morbilidad asociada al propio evento del estallido del airbag y el ulterior contacto con la cabeza del conductor u ocupante. Empecemos, por lo tanto por acotar los beneficios del airbag a su trabajo en conjunción con los cinturones de seguridad automáticos, con pretensores y tensión pirotécnica en caso de colisión y también por recordar que dicho beneficio se limita a las colisiones estrictamente frontales u ortogonales con el plano de colisión (vehículo o muro). Dicho porcentaje es aproximadamente del 30 a 35 % de los casos, incluso más

contabilizando al vehículo que alcanza al percutido en una colisión en cadena. En la frecuente situación de accidente por salida de la vía la tipología suele variar hacia fronto-laterales o bien vuelcos. Por lo tanto, el impacto de cada elemento de seguridad implantado sobre cada vehículo merecerá un análisis segregado y ponderando el resto de factores también.

Cuando combinamos todos los elementos de seguridad pasiva la contribución del airbag se reduce a menos del 10%.

### *La necesaria estandarización de las pruebas en túnel de choque*

Por otro lado la evaluación de la seguridad de un vehículo en banco de pruebas está estandarizada para poder ser reproducible, tener un valor comparativo y también el constituir la base objetiva para las normativas de exigencias de seguridad pasiva a los fabricantes de vehículos.

Es de todos conocida la asociación EURONCAP, de varios laboratorios europeos que han estandarizado sus test, permitiendo establecer la normativa y contribuir a su mejora con nuevas exigencias, como lo fuera en su día el uso del airbag y la futura del sistema ESP antiderrapaje.

### *La valoración óculo-orbitaria olvidada en las pruebas de choque*

Cuando consultamos los gráficos vemos la valoración en riesgos corporales obtenida tras el análisis de los resultados de fuerzas soportadas, incluyendo aceleración y deceleración, por las distintas estructuras corporales. Son bien conocidos los valores que pueden provocar una fractura esternal o costal en el tórax, o producir una lesión cervical o fracturar una extremidad. No obstante, incluso el

muñeco estándar utilizado Hybrid III carece de captadores de lesiones específicas de la cara y de los ojos.

### *La infrarrepresentación de las lesiones óculo-orbitarias en la investigación en accidentología*

Creemos que el riesgo de la pérdida de visión por uno o ambos ojos en una colisión merece un esfuerzo tecnológico de valoración. Máxime cuando la bibliografía menciona casos aislados de fallecimiento por estallido accidental de airbag, o por colisión a baja velocidad en personas mayores o con problemas de la columna cervical o cervico-dorsal pero más sistemáticamente las lesiones oculo-orbitarias, incluyendo dermatológicas que pueden sobrevenir en caso del estallido del airbag.

El que hasta ahora la posibilidad de ceguera por un accidente en el que el papel del airbag pueda ser considerado lesivo y no protector está infrarrepresentado en la literatura. Creemos que no llama la atención tanto por ser los ojos estructuras duplicadas y el riesgo estadístico de lesiones cegadoras para ambos ojos es mucho menor. Pero también queremos llamar la atención sobre la clasificación utilizada en la valoración de las lesiones tras un accidente : la AIS (Abbreviated Injury Scale) o la MAIS, máxima abreviatura de la escala anterior. La infrarrepresentación de la pérdida de visión puede radicar en la falta de una gradación y mención específicas de las lesiones oculares.

### *La evolución de los airbag*

También investigado recientemente, la evolución de los airbag puede potencialmente contribuir a la reducción de la morbilidad asociada a su despliegamiento en un escenario de colisión a baja velocidad. Las velocidades (deceleraciones) a las que estalla el airbag no están referenciadas por los fabricantes, ni tampoco su velocidad

de desplegamiento, que se conoce en una horquilla del entorno de los 200 km/h a un máximo de 320 km/h.

Las tendencias de los fabricantes ha sido a reducir el volumen y multiplicar su número, para adaptar mejor la protección a distintos tipos de colisión. También el cambio de la composición del álcali de los polvos movilizados en el estallido para rellenar el airbag puede afectar al perfil de lesiones químicas que actualmente se reciben en las salas de emergencias . La desaparición de las costuras y la búsqueda de tejidos más suaves seguirán mejorando la situación. La salida del aerosol del airbag a través de los poros diseñados al efecto trata de evitar la superficie de contacto con la cara para dirigirse hacia zonas inferiores o laterales. También son varios los fabricantes que calculan la magnitud del impacto regulando la expansión del airbag de manera proporcional.

#### *La utilización de gafas a considerar en la investigación sobre lesiones óculo-orbitarias con estallido del airbag*

Todas estas mejoras se generalizan en vehículos actuales, pero pese a la segura incorporación del análisis de la seguridad pasiva de la cara y, sobre todo la óculo-facial seguirá faltando el abordaje de la utilización de las gafas en la conducción como elemento interpuesto entre un airbag en violento despliegue y la cara. La bibliografía ya refleja la incidencia de las lesiones oculares también en usuarios de gafas y establece sus primeras consideraciones generales acerca de la protección con respecto a las lesiones químicas y un potencial riesgo de incrementar el desprendimiento de partes de las gafas o lentes produciendo traumatismos de tipo perforante, en vez de traumatismos contusos , muchas veces no menos graves, pero sí en una consideración general.

*Las lentes de contacto rígidas y su asimilación a la categoría de las gafas. Los distintos tipos de gafas y cristales*

La utilización de lentes de contacto rígidas ha sido asimilada al riesgo de su fractura y de perforación con cuerpo extraño intraocular que pueda comportar una gafa cuya óptica se astille.

Inicialmente este grupo investigador consideraba que los cristales minerales, que antiguamente no soportaban una caída al suelo sin fracturarse eran los máximos candidatos a presentarse en los escenarios del impacto de la bolsa en expansión contra los ojos en forma de pequeños cristales perforantes. No obstante ya habíamos recibido pacientes con gafas con cristales orgánicos rotos, cuando teóricamente tenían un mayor módulo de elasticidad y un menor riesgo de fractura.



La literatura no alcanza al nivel de establecer particularizaciones en cuanto a tipos de cristal o monturas, salvo la excepción de los trabajos de Newsom en el BJO (2000), coincidiendo con la generalización de monturas al aire o “gafas sin marco” en la literatura anglosajona. A éstas últimas le atribuye cualitativamente el autor una mayor incidencia de fractura y potencial transformación en cuerpos extraños intraoculares.

### *Los distintos abordajes experimentales: del cadáver al computador*

El valor de las investigaciones en túnel de choque es enorme, y a dichos trabajos les debemos gran número de vidas salvadas. Pero no es menos cierto que las circunstancias reales de choque rara vez reproducen aquellas experimentadas en laboratorio. Hasta su prohibición generalizada, algunos fabricantes y laboratorios utilizaron en sus experimentos cadáveres. Algunos trabajos utilizan modelos experimentales con animales para la fractura orbitaria ( ) o para la resistencia de la córnea al estallido por contusión tras cirugía refractiva. También ha existido una restricción en la utilización de modelos “ex vivo”, que son aquellos que parten de globos oculares humanos procedentes de donaciones , enucleándolos e incorporándose aislados del resto del cuerpo al modelo experimental. Otros grupos prefieren los análisis matemáticos en modelos computerizados de análisis de elementos finitos.

### *La investigación con la nueva cabeza instrumentada “Focus”*

También es de gran utilidad la investigación asociada a la exploración de las lesiones causadas por proyectiles de armas también aquellas utilizadas en juegos tipo “paint ball”, incluso con la perspectiva de los golpes por pelotas pequeñas a gran velocidad como las del béisbol.

Nuestro grupo ha tratado de centrar el estudio en una posición ecléctica, es decir: utilización de vehículos nuevos con soluciones de seguridad actuales, con cuerpo de maniquí Hybrid III vigente actualmente pero con la cabeza Denton – Focus instrumentada para establecer en los 3 ejes las fuerzas recibidas por cada uno de los huesos que configuran la órbita en su marco externo y también el globo

ocular independientemente. La distancia a la que debíamos practicar el experimento debía tener relación con la comúnmente utilizada en nuestra población. Debíamos privilegiar el estudio de los riesgos sobre el eje x (antero-posterior) dado que la bibliografía analiza estallidos orbitarios y oculares en ese eje, que es el que se estandariza en la investigación de choque frontal.

*Los cada vez más frecuentes ojos operados y su resistencia*

Las referencias bibliográficas ya habían explorado la resistencia de ojos operados de cirugía refractiva con queratotomía radial, ablación láser (Lasik o PRK), cirugía filtrante de glaucoma, suturados o con lentes suturadas.

*La dispersión metodológica en los registros experimentales dinamométricos*

Las medidas utilizadas para los estudios experimentales por los distintos autores presentan la dificultad de la reproducibilidad por la disparidad de superficies sobre la que se considera que se aplica la fuerza. Así hay autores que se expresan en velocidad del agente contra la estructura en m/s, o bien en Kg aplicados sin referir la superficie hasta la fractura orbitaria. También debe ser valorado el tiempo en el que se produce el traumatismo, que cuando es inciso va aplicarse sobre una mínima superficie, favoreciendo la penetración del agente a igualdad de fuerza que en un traumatismo contuso pero aplicado sobre una superficie mucho menor. Por ello nuestro trabajo no renuncia a establecer una referencia futura en el segmento al utilizar métodos convencionales de registro de fuerza sobre una superficie constante conocida en la cabeza FOCUS y en unas abcisas del tiempo registrado en la colisión.

La *distancia habitual de conducción al volante* es una variable que incide directamente sobre la eficiencia de los mecanismos de seguridad pasiva, especialmente del airbag . La velocidad de expansión y la energía del despliegamiento de la bolsa son máximos entre los 80 ms y los 100 ms y a una distancia de unos 15 cm del volante.

Las referencias de seguridad de los fabricantes utilizan distancias de conducción al volante estándares y reproducibles en las pruebas de choque, pero que nada tienen que ver con las que podemos encontrar en cualquier investigación epidemiológica o en cualquier análisis pericial una vez que se ha producido el accidente.

Las *autoridades nacionales recomiendan un mínimo de 25 cm entre el tronco y el volante* y en las autoescuelas se enseña a conducir con una distancia que queda configurada por la de la muñeca de las dos manos sobre el arco superior del volante.

Como es de suponer, las *tallas menores de 155 cm* presentan un perfil de mayor dificultad de cumplimiento de estas recomendaciones y de hecho se referencian como un subgrupo en mayor situación de riesgo incluso vital ante el estallido del airbag .

*Tipos de lesiones oculares y orbitarias causadas por el airbag:*

### 1. QUIMICAS

Abrasión epitelial

Tatuaje subepitelial- estromal anterior

Quemadura conjuntival por álcali

Quemadura de anejos por álcali

Descompensación endotelial corneal por penetración del álcali

Uveítis anterior química

Leucoma corneal

Son más prevalentes en pacientes que no llevan gafas. Debe actuarse en el lugar del accidente irrigando con suero para arrastrar las partículas hasta normalizar el pH (7-7.5) que debe normalizarse en el fondo de saco conjuntival. Esta actuación es perentoria, aún en el caso en el que las frecuentes crisis asmáticas nos deriven hacia otro tipo de actuación en el lugar del accidente (Muñoz, EVER 2004)

### 2. TRAUMÁTICAS O FISICAS

Por el traumatismo contuso:

Úlcera corneal

Pérdida de células endoteliales

Rotura corneal en caso de cirugía previa

Luxación o subluxación del cristalino

Iritis traumática

Desinserción del iris

Glaucoma secundario

Hifema

Hematocórnea

Retinopatía postcontusiva, Purtscher, perdigonada, Sd

Berlin

Agujero macular

Desgarros retinianos

Hemovítreo

Desprendimiento de la retina

Ruptura coroidea

Fractura orbitaria

Hemorragia orbitaria preseptal

Hemorragia postseptal e incluso retrobulbar: compromiso del nervio óptico

*En caso de rotura de gafas* cualquier laceración o perforación incluyendo párpados y vía lagrimal son posibles, así como la presencia de cuerpos extraños intraoculares

## 2. Justificación

A raíz de nuestra experiencia clínica, quirúrgica y rehabilitadora hemos creído necesario es establecer en una secuencia experimental la realidad esperable en una colisión a baja velocidad con estallido del airbag en usuarios de gafas.

Los elementos que configuran la justificación de este esfuerzo investigador son los siguientes:

### 1. Importancia del problema

\*Por su magnitud

\*Por sus consecuencias individuales (potencial ceguera).

En este caso la *ceguera tiene impacto individual* sobre la

calidad de vida, *pero también sociales (dependencia; subsidios, prolongados en el tiempo al ocurrir con frecuencia en jóvenes*

2. *No esta siendo recogido actualmente* en los programas de validación experimental de la seguridad pasiva de los automóviles, lo cual limita la futura inversión en desarrollo de sistemas de protección más perfectos que reduzcan la morbilidad óculo-orbitaria. No existen captadores de lesiones potenciales oculares ni orbitarias en los planes normativos de los experimentos.

3. La realidad cotidiana nos sitúa en una gran prevalencia de la *conducción con gafas en algún momento del día*, incluyendo las gafas de sol. Su comportamiento dinámico en una colisión a baja velocidad no está suficientemente documentado en la bibliografía existente hasta la fecha.

4. Los *distintos tipos de gafas*: Debemos contribuir a establecer el comportamiento ante el estallido del airbag en una colisión a baja velocidad, como las que prevalecen en las grandes ciudades por si podemos orientar hacia un tipo ideal de gafas o una prevención hacia algún tipo de ellas, ya sea por el material de la óptica o cristal y la consistencia de la montura, incluyendo las monturas casi inexistentes o al aire. Alemania dispone de normativa que orienta hacia la resistencia deseable en las gafas de conducción.
  
5. Ya que existe una conciencia sobre la obligatoriedad o conveniencia de llevar otro par de gafas de repuesto en el vehículo parte de los canales y modos de comunicación de esa normativa pudieran ser utilizados en el futuro para influir en la concienciación sobre las garantías exigibles a los fabricantes para la utilización de gafas aptas o seguras en el caso de soportar el impacto del airbag. En este caso la variante de comunicación es que pudiera tanto afectar al conductor como al pasajero delantero.
  
6. Finalmente, dada la *distancia de conducción al volante* prevalente en la conducción real en nuestro medio deseamos comprobar las condiciones de seguridad en caso de uso de gafas y conducción a una distancia no coincidente con la de los test de seguridad pasiva pero sí con la de una población tipo conduciendo a una menor distancia (subóptima)

### **3. Hipótesis de trabajo.**

#### 1. Hipótesis teórica:

Hipótesis principal:

Los ojos y /o la órbita reciben impactos de magnitud significativa por el estallido del airbag que pueden comprometer la visión, especialmente en ojos operados.

Hipótesis secundaria:

Las distintas combinaciones de gafas, monturas y cristales producen distinto tipo de perfil traumático para el globo ocular y/o para la órbita:

#### 2. Hipótesis operativa:

La magnitud máxima de la fuerza experimentada por alguna de las células captadoras correspondientes a los distintos huesos que configuran la órbita supone un riesgo de fractura orbitaria o de hematoma orbitario cuya gravedad referenciaremos con respecto a los valores experimentales conocidos.

La interposición de la gafa detraerá fuerza de impacto sobre el globo para repartirlo sobre el marco orbitario si las gafas permanecen en su lugar.

#### 3. Hipótesis estadística

Las hipótesis estadísticas serán inferenciales cuando el tamaño muestral así lo autorice, como en el estudio preparatorio epidemiológico sobre hábitos de conducción en distancia al volante y utilización de gafas.

#### **4. Objetivos y diseño del estudio**

Para abordar la resolución de las hipótesis planteadas y poder llevar a cabo la compleja elaboración de los ensayos de choque dinámicos procedimos a estudiar las circunstancias de conducción con referencia a la distancia al volante y a la utilización de algún tipo de gafas en algún momento del día.

De la casuística obtenida se utilizarán los valores cotidianos de conducción para reproducirlos el ensayo dinámico.

Por otra parte el banco de pruebas nos apuntará la combinación óptima de gafas (óptica o cristal y montura) a utilizar en los ensayos de choque a baja velocidad para establecer los comportamientos tipo de las gafas más prevalentes.

##### **A. EPIDEMIOLOGIA DE LOS HABITOS DE CONDUCCIÓN**

A.1. Epidemiología del uso de gafas en nuestro medio

A.2. Distancia de conducción al volante: Análisis de variables concurrentes

##### **B. ESTUDIO EXPERIMENTAL**

B.1. Banco de pruebas: Estudio del efecto de distintas combinaciones de óptica y montura de la gafa sobre la lesividad óculo-orbitaria.

B.2. Banco de pruebas: Estudio de la energía necesaria para fracturar una lente de contacto semirrígida.

B.3. Estudios dinámicos: Estudio en túnel de pruebas del efecto del despliegamiento del airbag en colisión a bajas sobre la magnitud del traumatismo soportado por el globo ocular y la órbita con 3 tipos de gafas seleccionadas por su tipo de cristal y de montura

El estudio B es un estudio abierto con componente cualitativo del comportamiento de la cabeza instrumentada con distintos tipos de gafas soportando la expansión del airbag añadido a la variable velocidad, siempre dentro de las magnitudes menores a 30 Km/h (8.33m/s).

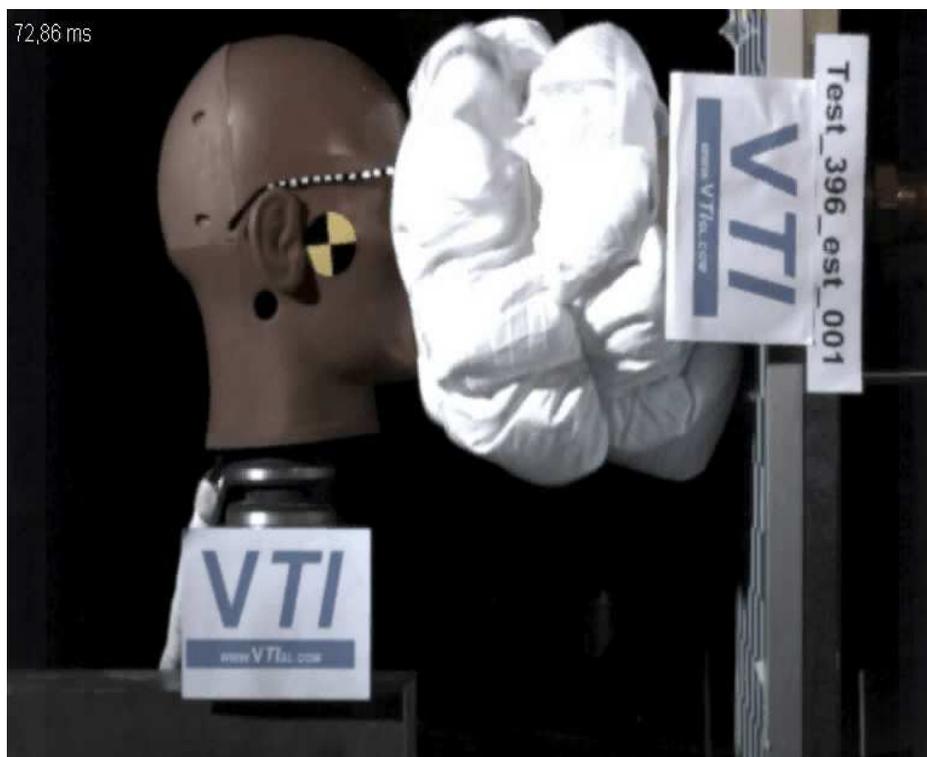
La homogeneidad de los resultados vendrá dada por la tendencia a la repetibilidad de los valores entre lado derecho e izquierdo, si bien son esperables variaciones por no tratarse de una situación estática, sino dinámica con el movimiento propio de la gafa entre la cabeza instrumentada y el airbag en expansión.

## 5. Material y métodos

### A. ESTUDIO SOBRE LOS HABITOS DE CONDUCCION:

### B. ESTUDIO EXPERIMENTAL:

#### B.1 ESTUDIO EN BANCO DE PRUEBAS:



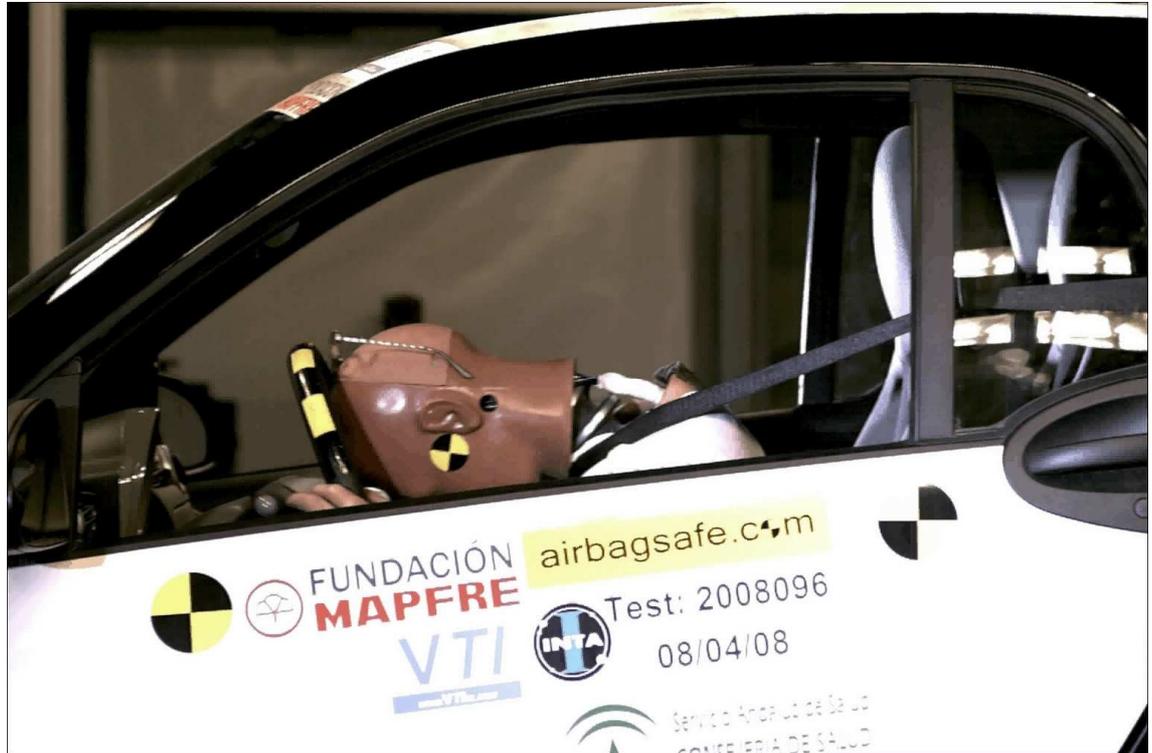
Estudio experimental en banco de pruebas con 9 combinaciones distintas de gafas : distintos tipos de cristales y monturas. Dentro de un mismo tipo de montura dos tipos de apriete: laxo y más firme de la óptica a la montura. El estudio 10 corresponde al efecto del estallido del airbag sobre la cabeza del dummy estáticamente y sin gafas, para servir de base de comparación.



Imagen del estudio 10 del estallido del airbag en banco de pruebas sobre la cabeza Denton Focus sin gafas para servir de referencia comparativa.

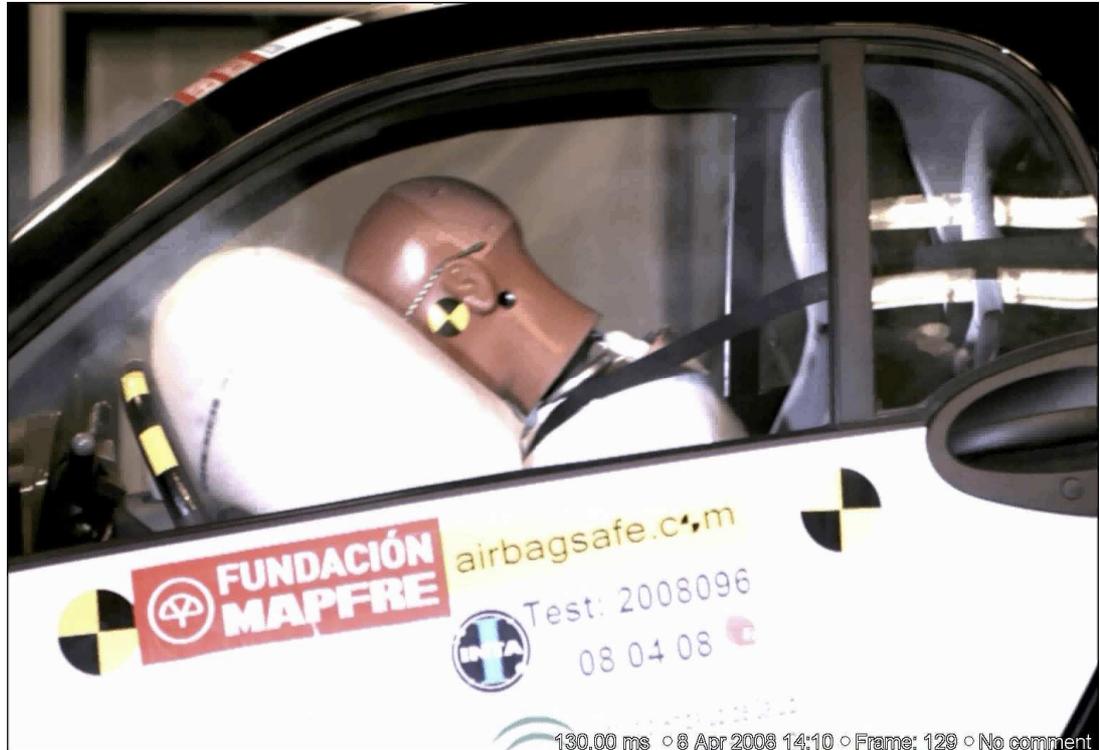
## B.3 ESTUDIO DINAMICO:

### Test de choque 1



Test de choque a 20 km/h con gafas de montura rígida y cristal mineral. Al ser una colisión subumbral cuya deceleración no alcanza los valores programados para el despliegue del airbag permite a la cabeza Denton Focus montada sobre el cuerpo del Hybrid III el realizar una amplia excursión donde, al no haber respetado una distancia más segura al volante, la cabeza llega a contactar con el centro del volante. Los valores de la energía del impacto recibida sobre las distintas células captadoras de las distintas áreas orbitarias y oculares se recogen en el anexo 3 y se valoran más abajo.

## Test de choque 2



En este test de choque la colisión contra el muro se produce a 30 Km/h con el mismo tipo de gafa, montura y óptica mineral que en el caso anterior. A esta velocidad la magnitud de la deceleración es mayor y ya se produce el despliegue del airbag. Dicho despliegue percute sobre la gafa que, a su vez, redistribuye la energía resultante del despliegue del airbag y de la propia deceleración contra el muro o de la aceleración de la cabeza contra el airbag. Llega a registrarse un contacto del cristal contra el globo ocular.

### Test de choque 3.



El choque 3 a baja velocidad de 25 km/h es nuevamente supraumbral para el decelerómetro, produciéndose el despliegue del airbag. Una montura rígida con una óptica de policarbonato quedan atrapadas entre la cara del dummy y la bolsa del airbag. Los resultados son análogos en valores a los del ensayo anterior.

## Test de choque 4.



El ensayo 4 repite las condiciones del ensayo 3 en cuanto a la velocidad de colisión de 25 km/h pero en este caso con unas gafas de montura al aire con cristal de policarbonato. La transmisión de la energía de la resultante del impacto al globo ocular es superior a la de los casos anteriores.

## 6. Discusión y conclusiones

### A. ESTUDIO EPIDEMIOLOGICO

1. El 72% de los conductores usa algún tipo de gafa (graduada o de sol) en algún momento del día en el área estudiada. La utilización de gafas de sol es también máxima en las horas extremas de los días luminosos para evitar el deslumbramiento. Es posible que en zonas con otro clima disminuya el uso de gafas de sol.
2. La distancia media entre el puente de la nariz y el volante (ojos –centro del volante) es de 45.5 cm, la misma que la de la bibliografía más extensa de referencia. Disminuye o aumenta significativamente con el tamaño del vehículo conducido.
3. El factor altura y no el sexo condiciona la menor distancia de conducción al volante. Las mujeres conducen en promedio a 43.9 cm por tener una estatura menor.
4. El 26% de la población conduce a menos de 42.5 cm del volante, considerada insegura. La distancia de 42.5 cm pasa a ser seleccionada para explorar experimentalmente las lesiones oculares en el maniquí en las pruebas dinámicas.
5. Los conductores de mayor edad tienen un mayor peso y conducen a menor distancia mínima del tronco al volante, pero a la misma entre ojos y centro del volante. Los usuarios de gafas de refracción tienen 4.2 años más.

## B. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

*B.1 Banco de pruebas: Estudio del efecto de distintas combinaciones de óptica y montura de la gafa sobre la lesividad óculo-orbitaria.*

\*La máxima fuerza que recibió el globo ocular sin gafas fue de 35,7N

\*La máxima fuerza recibida con algún tipo de gafa fue de 37.18 cuando una montura rígida con cristales de policarbonato fueron desplazadas de la posición original simulando el momento del contacto tras cierto desprendimiento de la gafa en la desaceleración del impacto

\*Ambos casos de recepción de semejante magnitud de golpe sobre el globo ocular supone un alto riesgo de lesiones.

\*En el banco de pruebas el ojo y la órbita derechas recibieron el impacto de mayor magnitud en todos los ensayos estáticos. Posiblemente sea debido a la dinámica de despliegue del airbag de pruebas.

\*Los valores de fuerza recibida por alguna de las células que configuran la órbita llegaron a 65N, valor claramente superior al necesario para fracturar una órbita caprina.

*B.2 Banco de pruebas: Estudio de la energía necesaria para fracturar una lente de contacto semirrígida.*

La fractura por compresión ortogonal sobreviene a partir de los 40 kg. Las lentes de contacto semirrígidas son hoy en día muy resistentes a la fractura, tienen cierta elasticidad y aguantan la fuerza en aplicación ortogonal. Para fracturarse e hipotéticamente lesionar el globo ocular precisarían un golpe más lateral que la desadaptara de ojo o que la dinámica del golpe utilizara el párpado inferior como palanca, para quedar en una posición en la que ya entonces pudiera suponer un elemento cortante por la compresión del airbag.

### *B.3 Estudios dinámicos:*

Cualquier forma de choque a baja velocidad, con o sin estallido del airbag, con o sin gafas representa un riesgo importante para los ojos y la órbita.

En cualquier choque la energía recibida por el globo ocular es de una magnitud de al menos 30 veces la requerida para romper una sutura oftalmológica.

El despliegue del airbag contra la cara en colisión a baja velocidad puede generar una energía entre el 50 y el 70% de la necesaria para producir lesiones conducentes a la ceguera legal en determinadas condiciones, favorecidas por cirugías previas o por adelgazamiento miópico de alguna de sus capas. Los valores de la energía del golpe en estos ensayos recibida son aproximadamente del 50% de los requeridos según la bibliografía para producir fracturas orbitarias y/o nasales.

Las gafas reducen aproximadamente el 50% de la energía recibida por el ojo y la reparten incrementando la energía recibida por el marco orbitario, donde se disipa entre los distintos huesos constituyentes del marco orbitario. Comparativamente en los test dinámicos, dada la posición totalmente perpendicular al airbag las diferencias entre ambos ojos no son significativas. También puede que el airbag tenga en el caso del vehículo un sistema de desplegamiento más homogéneo. En la situación real de un leve giro de la cara en reacción al escenario de la colisión puede resultar que acerque los valores del impacto recibido a los obtenidos en los test estáticos, de hasta 35 N sin gafas o 37 N con gafas desplazándose. Semejante magnitud de golpe prácticamente garantizaría la producción de una lesión grave.

De los test dinámicos se concluye que las gafas, no importa el tipo, si no se fracturan son un factor protector del 50% de la fuerza soportada por el globo ocular. Las gafas con montura al aire protegen un 15% menos.

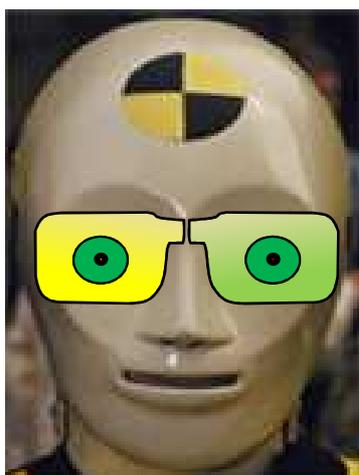
## 7. Resultados.

### RESULTADOS ESTUDIO 1



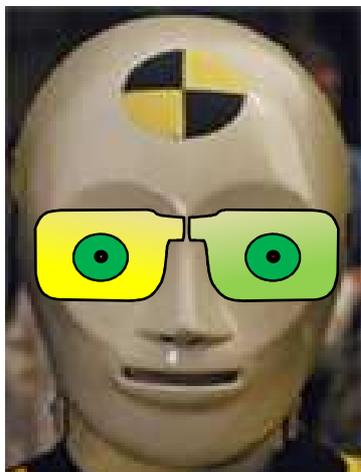
Riesgo de lesión orbitaria: **ELEVADO**  
Riesgo de lesión ocular: **MODERADO**

### RESULTADOS: ENSAYO 2



Riesgo de lesión orbitaria:  
Orbita derecha: **MODERADO**  
Orbita izquierda: **BAJO**  
Globos oculares: **BAJO**

## RESULTADOS: ENSAYO 3



Riesgo de lesión orbitaria:  
Orbita derecha: **MODERADO**  
Orbita izquierda: **BAJO**  
Globos oculares: **BAJO**

19

## RESULTADOS: ENSAYO 4



Riesgo de lesión orbitaria: **ELEVADO**  
Riesgo de lesión ocular: **MODERADO**

20

## 8. Recomendaciones

1. Los *pacientes operados de cataratas, glaucoma o cirugía refractiva* debieran concienciarse del riesgo de sufrir lesiones oculares graves en caso de colisión y elegir unas gafas con cierta capacidad de protección ante el golpe.
2. Los *fabricantes de gafas* deberán comprobar que sus gafas tienen un *mínimo de rigidez* ante un golpe de la magnitud comprobada y etiquetar las gafas que hayan sido comprobadas. La adopción de una normativa del corte de la existente en Alemania desde la pasada década podría mejorar tanto la concienciación como la práctica de una mejor protección.
3. El *apoyo de las autoescuelas* para enfatizar la necesidad de respeto de las distancias del *tronco al volante de >25 cm* para permitir la correcta actuación de los mecanismos de retención en caso de accidente. También recordar que no debe bajarse la guardia reduciendo dicha distancia al montarse pasajeros en los asientos posteriores en vehículos utilitarios.
4. En general los fabricantes deberán generalizar *la modulación del despliegue de los airbag* en relación a la magnitud del accidente y a la complexión o altura del conductor y el ocupante.
5. Para los *médicos, especialmente los oftalmólogos*: recordar nuestro deber de incorporar a la documentación escrita de los procesos de *autorización y consentimiento informado de la disminución de la resistencia del globo ocular ante cualquier tipo de impacto*, ya sea el caso del airbag o circunstancias de golpes de la práctica deportiva u otras de la vida ordinaria.

## 9. Bibliografía

1. Cummins J. S., Koval K. J., Cantu R. V., Spratt K. F. Risk of injury associated with the use of seat belts and air bags in motor vehicle crashes. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases* 2008;66(4):290-6.
2. Zador PL, Ciccone MA. Automobile driver fatalities in frontal impacts: air bags compared with manual belts. *Am J Public Health*. 1993;83:661-6.
3. Lund AK, Ferguson, SA. Driver fatalities in 1985-1993 cars with airbags. *J Trauma*. 1995;38:469-75.
4. Braver ER, Ferguson SA, Greene MA, Lund AK. Reductions in deaths in frontal crashes among right front passengers in vehicles equipped with passenger air bags. *JAMA*. 1997;278:1437-9.
5. Evans L. The effectiveness of safety belts in preventing fatalities. *Accid Anal Prev*. 1986;18,229-41.
6. McGwin G Jr, Metzger J, Alonso JE, Rue LW 3rd. The association between occupant restraint systems and risk of injury in frontal motor vehicle collisions. *J Trauma*. 2003;54:1182-7.
7. Crandall CS, Olson LM, Sklar DP. Mortality reduction with air bag and seat belt use in head-on passenger car collisions. *Am J Epidemiol*. 2001;153:219-24.
8. Cummings P, McKnight B, Rivara FP, Grossman DC. Association of driver air bags with driver fatality: a matched cohort study. *BMJ*. 2002;324:1119-22.
9. Ramírez M, Quiroz-Mercado H, Hernandez-Quintela E, Naranjo-Tackman R. Traumatic flap dislocation 4 years after LASIK due to air bag injury. *J Refract Surg*. 2007 Sep;23(7):729-30.
10. Scarlett A, Gee P. Corneal abrasion and alkali burn secondary to automobile air bag inflation. *Emerg Med J*. 2007 Oct;24(10):733-4.
11. Rao SK, Greenberg PB, Filippopoulos T, Scott IU, Katsoulakis NP, Enzer YR. Potential impact of seatbelt use on the spectrum of ocular injuries and visual acuity outcomes after motor vehicle accidents with airbag deployment. *Ophthalmology*. 2008 Mar;115(3):573-576.e1. Epub 2007 Aug 31.
12. de Vries S, Geerards AJ. Long-term sequelae of isolated chemical "airbag" keratitis. *Cornea*. 2007 Sep;26(8):998-9.
13. Blackmon SM, Fekrat S, Setlik DE, Afshari NA. Posterior dislocation of a crystalline lens associated with airbag deployment. *J Cataract Refract Surg*. 2005 Dec;31(12):2431-2.
14. Rother T, Riechelmann H, Gronau S. Secondarily accelerated foreign bodies as a source of danger from airbag Deployment HNO. 2006 Dec;54(12):967-70.
15. Kenney KS, Fanciullo LM. Automobile air bags: friend or foe? A case of air bag-associated ocular trauma and a related literature review. *Optometry*. 2005 Jul;76(7):382-6.
16. Stitzel JD, Hansen GA, Herring IP, Duma SM. Blunt trauma of the aging eye: injury mechanisms and increasing lens stiffness. *Arch Ophthalmol*. 2005 Jun;123(6):789-94.

17. Duma SM, Rath AL, Jernigan MV, Stitzel JD, Herring IP. The effects of depowered airbags on eye injuries in frontal automobile crashes. *Am J Emerg Med.* 2005 Jan;23(1):13-9.
18. McGwin G Jr, Owsley C. Risk factors for motor vehicle collision-related eye injuries. *Arch Ophthalmol.* 2005 Jan;123(1):89-95.
19. Maharshak I, Bourla D, Grinbaum A, Weinberger D, Axer-Siegel R. Airbag-induced bilateral corneal graft dehiscence. *Cornea.* 2005 Jan;24(1):110-1.
20. Uchio E, Kadonosono K, Matsuoka Y, Goto S. Simulation of air-bag impact on an eye with transsclerally fixated posterior chamber intraocular lens using finite element analysis. *J Cataract Refract Surg.* 2004 Feb;30(2):483-90.
21. Cooper H, Thomas T. Ocular injuries related to airbag use. *Am J Emerg Med.* 2004 Mar;22(2):135-7.
22. Najjar DM, Rapuano CJ, Cohen EJ. Descemet membrane detachment with hemorrhage after alkali burn to the cornea. *Am J Ophthalmol.* 2004 Jan;137(1):185-7.
23. Pieramici DJ, Kuhn F. Frontal air bags and eye injury patterns in automobile crashes. *Arch Ophthalmol.* 2003 Dec;121(12):1807-8; author reply 1808.
24. Bendeddouche K, Assaf E, Emadisson H, Forestier F, Salvanet-Bouccara A. Air bags and eye injuries: chemical burns and major traumatic ocular lesions--a case study. *J Fr Ophtalmol.* 2003 Oct;26(8):819-23.
25. Wrigley F, Hashemi K, Blakeley CJ. Ocular trauma related to airbag deployment. *Emerg Med J.* 2003 Sep;20(5):490.
26. Lehto KS, Sulander PO, Tervo TM. Do motor vehicle airbags increase risk of ocular injuries in adults?. *Ophthalmology.* 2003 Jun;110(6):1082-8.
27. Uchio E, Watanabe Y, Kadonosono K, Matsuoka Y, Goto S. Simulation of airbag impact on eyes after photorefractive keratectomy by finite element analysis method. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2003 Jun;41(6):497-504.
28. Anderson SK, Desai UR, Raman SV. Incidence of ocular injuries in motor vehicle crash victims with concomitant air bag deployment. *Ophthalmology.* 2002 Dec;109(12):2356-8.
29. Duma SM, Jernigan MV, Stitzel JD, Herring IP, Crowley JS, Brozski FT, Bass CR. The effect of frontal air bags on eye injury patterns in automobile crashes. *Arch Ophthalmol.* 2002 Nov;120(11):1517-22.
30. Brandonisio TM, Newman TL. Hypotensive maculopathy and normal visual acuity secondary to post-traumatic cyclodialysis cleft. *Optometry.* 2002 Oct;73(10):620-5.
31. Björnstig U, Haraldsson PO, Polland W, Sandström T. Awareness of the risk of air bag-associated injuries essential. *Lakartidningen.* 2002 Jul 11;99(28-29):3022-6. Review.
32. Pearlman JA, Au Eong KG, Kuhn F, Pieramici DJ. Airbags and eye injuries: epidemiology, spectrum of injury, and analysis of risk factors. *Surv Ophthalmol.* 2001 Nov-Dec;46(3):234-42. Review.

33. Uchio E, Ohno S, Kudoh K, Kadonosono K, Andoh K, Kisielwicz LT. Simulation of air-bag impact on post-radial keratotomy eye using finite element analysis. *J Cataract Refract Surg.* 2001 Nov;27(11):1847-53.
34. Uchio E, Kadonosono K. Are airbags a risk for patients after radial keratotomy?. *Br J Ophthalmol.* 2001 Jun;85(6):640-2.
35. Shah GK, Penne R, Grand MG. Purtscher's retinopathy secondary to airbag injury. *Retina.* 2001;21(1):68-9.
36. Lee WB, O'Halloran HS, Pearson PA, Sen HA, Reddy SH. Airbags and bilateral eye injury: five case reports and a review of the literature. *J Emerg Med.* 2001 Feb;20(2):129-34. Review.
37. Norden RA, Perry HD, Donnenfeld ED, Montoya C. Air bag-induced corneal flap folds after laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol.* 2000 Aug;130(2):234-5.
38. Schrader W, Gramer E, Goldmann F, Marcus U. Penetrating and perforating eye injuries in 343 patients due to auto accidents before and after compulsory seat belt legislation resulting in fines (1966-1998). *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2000 Jul;217(1):23-9.
39. Stein J, Jaeger E, Jeffers J. Air bags and ocular injuries. *Am J Ophthalmol.* 2000 May;129(5):702.
40. Duma SM, Crandall JR. Eye injuries from airbags with seamless module covers. *J Trauma.* 2000 Apr;48(4):786-9. Review.
41. Stein JD, Jaeger EA, Jeffers JB. Air bags and ocular injuries. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1999;97:59-82; discussion 82-6.
42. Asaria RH, Zaman A, Sullivan PM. Retinitis sclopeteria associated with airbag inflation. *Br J Ophthalmol.* 1999 Sep;83(9):1094-5.
43. Tsuda Y, Wakiyama H, Amemiya T. Ocular injury caused by an air bag for a driver wearing eyeglasses. *Jpn J Ophthalmol.* 1999 May-Jun;43(3):239-40.
44. Schmitt-Bernard CF, Arnaud B. Ocular trauma and caustic burns by air bags. *J Fr Ophtalmol.* 1998 Mar;21(3):220-2.
45. O'Halloran HS, Draud K, Stevens JL. Primary enucleation as a consequence of airbag injury. *J Trauma.* 1998 Jun;44(6):1090.
46. Ruiz-Moreno JM. Air bag-associated retinal tear. *Eur J Ophthalmol.* 1998 Jan-Mar;8(1):52-3.
47. Singer HW. Potential air bag-related eye injuries require special ER attention. *J Ophthalmic Nurs Technol.* 1998 Jan-Feb;17(1):21-2.
48. Madreperla SA, Benetz BA. Formation and treatment of a traumatic macular hole. *Arch Ophthalmol.* 1997 Sep;115(9):1210-1.
49. Zabriskie NA, Hwang IP, Ramsey JF, Crandall AS. Anterior lens capsule rupture caused by air bag trauma. *Am J Ophthalmol.* 1997 Jun;123(6):832-3.
50. Bhavsar AR, Chen TC, Goldstein DA. Corneoscleral laceration associated with passenger-side airbag inflation. *Br J Ophthalmol.* 1997 Jun;81(6):514-5.
51. Manche EE, Goldberg RA, Mondino BJ. Air bag-related ocular injuries. *Ophthalmic Surg Lasers.* 1997 Mar;28(3):246-50.
52. Duma SM, Kress TA, Porta DJ, Simmons RJ, Alexander CL, Woods CD. Airbag-induced eye injuries: experiments with in situ cadaver eyes. *Biomed Sci Instrum.* 1997;33:106-11.

53. Duma SM, Kress TA, Porta DJ, Martin PG, Simmons RJ, Alexander CL. An experimental study of airbag impact to the orbit using an instrumented Hybrid III headform. *Biomed Sci Instrum.* 1997;33:59-64.
54. Duma SM, Kress TA, Porta DJ, Woods CD, Snider JN, Fuller PM, Simmons RJ. Airbag-induced eye injuries: a report of 25 cases. *J Trauma.* 1996 Jul;41(1):114-9.
55. Baker RS, Flowers CW Jr, Singh P, Smith A, Casey R. Corneoscleral laceration caused by air-bag trauma. *Am J Ophthalmol.* 1996 Jun;121(6):709-11.
56. Molia LM, Stroh E. Airbag injury during low impact collision. *Br J Ophthalmol.* 1996 May;80(5):487-8.
57. McDermott ML, Shin DH, Hughes BA, Vale S. Anterior segment trauma and air bags. *Arch Ophthalmol.* 1995 Dec;113(12):1567-8.
58. White JE, McClafferty K, Orton RB, Tokarewicz AC, Nowak ES. Ocular alkali burn associated with automobile air-bag activation. *CMAJ.* 1995 Oct 1;153(7):933-4.
59. Polland W, Rönnerstam R. Eye injuries caused by air bags. The importance of information about alkalic aerosol. *Lakartidningen.* 1995 May 31;92(22):2313-4.
60. Sastry SM, Copeland RA Jr, Mezghebe H, Siram SM. Retinal hemorrhage secondary airbag-related ocular trauma. *J Trauma.* 1995 Apr;38(4):582.
61. Gault JA, Vichnin MC, Jaeger EA, Jeffers JB. Ocular injuries associated with eyeglass wear and airbag inflation. *J Trauma.* 1995 Apr;38(4):494-7.
62. Fukagawa K, Tsubota K, Kimura C, Hata S, Mashita T, Sugimoto T, Oguchi Y. Corneal endothelial cell loss induced by air bags. *Ophthalmology.* 1993 Dec;100(12):1819-23.
63. Kuhn F, Morris R, Witherspoon CD, Byrne JB, Brown S. Air bag: friend or foe?. *Arch Ophthalmol.* 1993 Oct;111(10):1333-4.
64. Leshner MP, Durrie DS, Stiles MC. Corneal edema, hyphema, and angle recession after air bag inflation. *Arch Ophthalmol.* 1993 Oct;111(10):1320-2.
65. Rosenblatt MA, Freilich B, Kirsch D. Air bag-associated ocular injury. *Arch Ophthalmol.* 1993 Oct;111(10):1318.
66. Han DP. Retinal detachment caused by air bag injury. *Arch Ophthalmol.* 1993 Oct;111(10):1317-8.
67. Scott IU, John GR, Stark WJ. Airbag-associated ocular injury and periorbital fractures. *Arch Ophthalmol.* 1993 Jan;111(1):25.
68. Dalmotas DJ, German A, Hendrick BE, Hurley RM. Airbag deployments: the Canadian experience. *J Trauma.* 1995 Apr;38(4):476-81.
69. Brookes C, Wang S, McWilliams J. Maxillofacial injuries in North American vehicle crashes. *Eur J Emerg Med.* 2003 Mar;10(1):30-4.
70. Brown JK, Jing Y, Wang S, Ehrlich PF. Patterns of severe injury in pediatric car crash victims: Crash Injury Research Engineering Network database. *J Pediatr Surg.* 2006 Feb;41(2):362-7.
71. Corazza M, Trincone S, Zampino MR, Virgili A. Air bags and the skin. *Skinmed.* 2004 Sep-Oct;3(5):256-8.

72. Suhr M, Kreuzsch T. Burn injuries resulting from (accidental) airbag inflation. *J Craniomaxillofac Surg.* 2004 Feb;32(1):35-7.
73. Stewart TC, Girotti MJ, Nikore V, Williamson J. Effect of airbag deployment on head injuries in severe passenger motor vehicle crashes in Ontario, Canada. *J Trauma.* 2003 Feb;54(2):266-72.
74. Sugg JR Jr, Enzenauer RW. Airbag-related eye trauma: a review of current literature. *Curr Surg.* 2002 Nov-Dec;59(6):505-8.
75. Lueder GT. Air bag-associated ocular trauma in children. *Ophthalmology.* 2000 Aug;107(8):1472-5.
76. Scally JT, McCullough CA, Brown LJ, Eppinger R. Development of the Crash Injury Research and Engineering Network. *Int J Trauma Nurs.* 1999 Oct-Dec;5(4):136-8.
77. Rocchia F, Servadio F, Gerbino G. Maxillofacial fractures following airbag deployment. *J Craniomaxillofac Surg.* 1999 Dec;27(6):335-8.
78. McCarty CA, Fu CL, Taylor HR. Epidemiology of ocular trauma in Australia. *Ophthalmology.* 1999 Sep;106(9):1847-52.
79. Cacciatori M, Bell RW, Habib NE. Blow-out fracture of the orbit associated with inflation of an airbag: a case report. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1997 Aug;35(4):241-2.
80. Kuner EH, Schlickewei W, Oltmanns D. Injury reduction by the airbag in accidents. *Injury.* 1996 Apr;27(3):185-8.
81. Bedell JR, Malik V. Facial nerve paresis involving passenger airbag deployment: a case report. *J Emerg Med.* 1997 Jul-Aug;15(4):475-6.
82. Hollands CM, Winston FK, Stafford PW, Shochat SJ. Severe head injury caused by airbag deployment. *J Trauma.* 1996 Nov;41(5):920-2.
83. Walter DP, James MR. An unusual mechanism of airbag injury. *Injury.* 1996 Sep;27(7):523-4.
84. Antosia RE, Partridge RA, Virk AS. Air bag safety. *Ann Emerg Med.* 1995 Jun;25(6):794-8.
85. Driver PJ, Cashwell LF, Yeatts RP. Airbag-associated bilateral hyphemas and angle recession. *Am J Ophthalmol.* 1994 Aug 15;118(2):250-1.
86. Swanson-Biearman B, Mrvos R, Dean BS, Krenzelok EP. Air bags: lifesaving with toxic potential?. *Am J Emerg Med.* 1993 Jan;11(1):38-9.
87. Zacovic JW, McGuirk TD, Knoop KJ. Bilateral hyphemas as a result of air bag deployment. *Am J Emerg Med.* 1997 May;15(3):323-4.
88. Goldstein DA. Airbag-related injuries in children: a MEDLINE search tip. *Ophthalmology.* 2001 Jun;108(6):1008-9.
89. Wallis LA, Greaves I. Injuries associated with airbag deployment. *Emerg Med J.* 2002 Nov;19(6):490-3.
90. Bourke GJ. Airbags and fatal injuries to children. *Lancet.* 1996 Mar 2;347(9001):560.
91. Levy RL, Geist CE, Miller NR. Isolated oculomotor palsy following minor head trauma. *Neurology.* 2005 Jul 12;65(1):169.
92. Velarde Rodríguez JI. Seguimiento de la poligonalidad del endotelio corneal a los 6 meses de traumatismo ocular por airbag. *Arch. Soc. Canar. Oftal.* 200. Num 11.
93. Uchio E, Ohno S, Kudoh J, Aoki K, Kisielewicz LT. Simulation model of an eyeball based on finite element analysis on a supercomputer. *Br J Ophthalmol.* 1999 Oct;83(10):1106-11.

94. Siegel JH, Loo G, Dischinger PC, Burgess AR, Wang SC, Schneider LW, Grossman D, Rivara F, Mock C, Natarajan GA, Hutchins KD, Bents FD, McCammon L, Leibovich E, Tenenbaum N. Factors influencing the patterns of injuries and outcomes in car versus car crashes compared to sport utility, van, or pick-up truck versus car crashes: Crash Injury Research Engineering Network Study. *J Trauma*. 2001 Nov;51(5):975-90.
95. Van der Linden WJ. Dislocated fracture of the mandibular condylar process after airbag deployment: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg*. 2002 Jan;60(1):113-5.
96. Ikeda N, Ikeda T, Nagata M, Mimura O. Pathogenesis of transient high myopia after blunt eye trauma. *Ophthalmology*. 2002 Mar;109(3):501-7.
97. Motley WW 3rd, Kaufman AH, West CE. Pediatric airbag-associated ocular trauma and endothelial cell loss. *J AAPOS*. 2003 Dec;7(6):380-3.
98. Goldberg MA, Valluri S, Pepose JS. Air bag-related corneal rupture after radial keratotomy. *Am J Ophthalmol*. 1995 Dec;120(6):800-2.
99. Leung AT, Rao SK, Lam DS. Traumatic partial unfolding of laser in situ keratomileusis flap with severe epithelial ingrowth. *J Cataract Refract Surg*. 2000 Jan;26(1):135-9.

