Ein Airbag kann auch tödlich sein

Hintergrund

Weltweit sterben nach Angaben der Welt Gesundheits Organisation (WHO) jedes Jahr etwa 1,25 Mio. Menschen im Straßenverkehr. Im Gegensatz zu anderen Ländern sind die Zahlen der Verkehrstoten in Deutschland in den letzten Jahren rückläufig, auch wenn die Zahl der erfassten Unfälle leicht ansteigt [6]. Die Abnahme der Verkehrsunfälle mit tödlichen Folgen für die Insassen wird auf technische Verbesserungen an den Fahrzeugen, mehr Geschwindigkeitsbegrenzungen und strengere Gesetze sowie vermehrte Kontrollen und ein gutes Rettungssystem zurückgeführt.

Verletzungen der Halswirbelsäule (HWS) sind bei Verkehrsunfällen, trotz inzwischen lang etablierter Sicherheits-einrichtungen in den Fahrzeugen, wie Gurt, Kopfstütze und Airbag, keine Seltenheit [2]. Gerade der Airbag scheint hier eine besondere Rolle einzunehmen. Einerseits gilt er unumstritten als Lebensretter, andererseits zeigen Untersuchungen, dass der Airbag in bestimmten Situationen zu schwersten Verletzungen oder Tod führen kann. Dies kann der Fall sein, wenn bei Airbag-Auslösung durch Zündung des Treibsatzes kein Gurt angelegt ist, oder aber sich die Fahrzeuginsassen in einer ungünstigen Position auf dem Fahrer- oder Beifahrersitz befinden. Eine solche „out of position“ liegt dann vor, wenn z. B. der Kopf einen zu geringen Abstand zum Airbag oder die Person eine mehr liegende Position auf dem Sitz eingenommen hat [9]. Auch bei überdurchschnittlich großen, aber besonders bei kleinen Insassen (z. B. Kindern) kann die Entfaltung des

Airbags fatale Folgen haben. Bei einer Kollision ist der Gurt praktisch bei jeder Geschwindigkeit wirksam. Der Airbag ist dagegen so konzipiert, dass er erst ab einer kollisionsbedingten, abrupten Geschwindigkeitsänderung (Wandaufprall) von etwa 25–30 km/h auslöst und seine schützende Wirkung entfaltet [8], dies vollumfänglich nur in Kombination mit Gurt und Kopfstütze, wie Untersuchungen gezeigt haben.

Nach amerikanischen Unfallstatistiken kommen auf 100 durch einen Airbag gerettete Unfallopfer je nach Untersuchung etwa 3–5, die durch die Airbag-Auslösung tödlich verletzt wurden [10, 11]. Viele der durch einen Airbag getöteten Insassen waren nicht angeschnallt. Es ist den Statistiken nicht explizit zu entnehmen, ob diese nichtangeschnallten Unfallopfer ohne Airbag-Auslösung eine Überlebenschance gehabt hätten. Die Zahlen sind möglicherweise nicht direkt auf deutsche Straßen zu übertragen, da das Sicherheitsniveau weltweit sehr unterschiedlich ist. Sie belegen aber, dass sich die eigentliche schützende Wirkung des Airbags in manchen Fällen nicht entfalten und der Airbag sogar Verletzungen verursachen kann. Selbst nach einem Unfall kann ein zunächst nichtausgelöster Airbag für Retter noch eine Gefahr darstellen, wenn dieser verzögert zündet. Polizei und Feuerwehr verfügen deshalb über spezielle Schutzvorrichtungen.

Trifft der Airbag bei der explosionsartigen Entfaltung, die in etwa 30–40 ms abläuft [9], auf den Körper, dann wird der Impuls als ein extrem starker Kraftstoß übertragen. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des Stoßes können die Folgen denen eines Hochgeschwindig-

keitstraumas entsprechen. Erfolgt der Aufprall des Airbags bei entsprechend ungünstiger Sitzposition (z. B. vorgebeugt) auf das Gesicht, dann wird der Kopf ruckartig nach hinten geschleudert (Abb. 1). Aus dieser extremen Extension resultieren hohe Biegemomente und Scherkräfte im Bereich der HWS, durch die knöcherne Strukturen (z. B. Axis) brechen können. Die Analyse des Verletzungsmusters im Rahmen der Post-mortem-Medizin gibt Hinweise auf die Art der Krafteinwirkung und deren Richtung [12].

Unabhängig von seiner äußeren Form weist der 2. Halswirbelkörper (Axis, C2) eine morphologische Besonderheit in der inneren, spongiösen Struktur auf. Etwa im Bereich des Übergangs zwischen dem oberen Dorn des Axis (Dens) und der Wirbelkörperbasis findet sich eine auffällige Strukturreduzierung mit deutlicher Abnahme des Knochenvolumens im Vergleich zu den darüber und darunter gelegenen Axis-Bereichen (Abb. 2).

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich in diesem Wirbelkörperabschnitt bei einigen Menschen noch bandscheibenartige Weichgewebereste (subdentale Synchondrose) befinden [3]. Diese werden als Überbleibsel der evolutionären Entwicklung unserer heutigen Wirbelsäule interpretiert (Abb. 2). Solche rudimentären Bandscheiben, aber auch allein schon die lokal reduzierte Spongiosastruktur, stellen eine biomechanische Schwachstelle dar. Je nach Ausprägung kann dies eine Fraktur begünstigen. Auch haben Studien gezeigt, dass arthrotische Veränderungen des Dens das Frakturrisiko erhöhen [5]. Die schlagartige Wucht eines sich entfaltenden Airbags kann bei

Abb. 1 ▲ Idealerweise entfaltet sich der Airbag vor der Brust und die Kopfflexion wird abgefangen, wie schematisch dargestellt (a). Befindet sich die fahrende Person in einer ungünstigen Position („out of position“) zum Airbag und ist nicht angeschnallt, erhöht sich das Risiko, dass der sich entfaltende Airbag den Kopf trifft und gegen die Bewegungsrichtung des Körpers nach hinten katapultiert (b). Dabei können große Biege- und Scherkräfte auf die obere HWS übertragen werden, die zur Densfraktur (Sternchen) führen können, wie in (c) an einem intakten Präparat (Röntgenbild) exemplarisch dargestellt

Abb. 2 ▲ Im Übergangsbereich zwischen Axis-Basis und Dens finden sich nicht selten rudimentäre Bandscheibenreste und regelmäßig eine weniger dichte Spongiosastruktur, wie hier exemplarisch dargestellt (großes Bild: oberflächengefärbtes Blockpräparat, 1 mm dick, Versilberungstechnik, kleines Bild: Kontakttradiographie)

Abb. 3 ▲ CT-Schichtaufnahme mit Darstellung der Densfraktur (Pfeil)

entsprechender Konstellation aber sicher ausreichen, um auch bei einer homogenen Knochenstruktur im Axis eine Fraktur zu bewirken.

Mit rund 25 % stellen Densfrakturen die häufigste Form aller Verletzungen in der HWS dar, und sie sind häufig die Folge von Unfällen. Insbesondere ältere Personen mit Knochenvorerkrankungen sind betroffen [2].

Fallbericht

Bei dem im Folgenden vorgestellten Fall handelt es sich um eine männliche, knochengesunde Person, die am Steuer eines Fahrzeuges (5er BMW, ca. 36 km/h)

in einen Frontalzusammenstoß bei voller Überdeckung mit einem anderen Auto (VW Phaeton, ca. 30 km/h) verwickelt war. Der betroffene Fahrer war nicht angeschnallt; die Wucht des Zusammenpralls führte zur Auslösung des Airbags. Noch im Rettungswagen musste der Patient reanimiert werden, als Ausdruck der Rückenmarkschädigung mit akuter hoher Tetrasymptomatik.

Anamnese

Bei Ankunft im Schockraum zeigten sich bei den Untersuchungen keine versorgungsrelevanten äußeren Verletzungen. Die Wirbelsäule wies keine Stufenbildung

auf, auch in der Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST) gab es im Ultraschall keine Anzeichen für freie intraabdominelle Flüssigkeit. Bei der Untersuchung im Ganzkörper-CT wurde dann eine nichtdislozierte Densfraktur Typ II nach Anderson und d'Alonzo [4] festgestellt. Eine Einengung des Spinalkanals war nicht zu erkennen (Abb. 3). Zunächst erfolgte eine Ruhigstellung mit einem „stiff neck“, der dann zur Vermeidung von Weichteilproblemen durch eine Philadelphia-Orthese ersetzt wurde. Der Patient hatte in dieser Phase eine rezidivierende Kreislaufinstabilität. Bei intensivmedizinischer Stabilisierung wurde nach 2 Tagen eine

MRT-Untersuchung durchgeführt. Hier präsentierte sich eine sekundäre Dislokation der Densfraktur nach dorsal. Weiter war auf Höhe der Fraktur eine deutliche Myelonkontusion mit einem Ödem erkennbar, das vom Hirnstamm bis zum Wirbel C3 reichte. Auch waren diskoligamentäre Zerreißungen auf Höhe C5/6 und C7/T1 zu sehen. Nach leitliniengerechter Hypothermiebehandlung über 3 Tage erfolgte eine adäquate operative Versorgung der Densfraktur und der betroffenen unteren Abschnitte der HWS mit Schrauben, Platten und Cages. Der Patient verstarb innerhalb einer Woche an den Komplikationen der Tetrasymptomatik.

Ergebnisse der Obduktion

Bei der Sektion zeigten sich äußerlich ein flächenhaftes Hämatom im Bereich der Stirn sowie mehrere kleinere Hautabschürfungen (■ Abb. 4a).

Alle Schädelknochen waren intakt. Es bestand eine Hirnswellung, aber keinerlei Blutung im Bereich der harten und weichen Hirnhaut. Im Bereich der HWS waren keine auffälligen Blutungen oder Einreißen des Gewebes zu beobachten. Das Rückenmark wies eine etwa 10 mm breite grau-bräunlich farbveränderte Kontusionszone etwa 30 mm unterhalb der Schädelbasis auf (■ Abb. 4b). Die operative Versorgung der Verletzungen an der HWS mit Schrauben und Platten war auf der ventralen Seite gut darzustellen (■ Abb. 4c).

Eine neuropathologische Untersuchung im Querschnitt durch das obere Halsmark zeigte eine zentral gelegene blutige Erweichungszone sowie eine ausgedehnte, teils frisch eingeblutete Quetschung des oberen Rückenmarks über nahezu den gesamten Querschnitt (■ Abb. 5). Angrenzend finden sich zahllose Amyloid Precursor Protein (APP)-positive geschädigte Nervenfasern („perilesional traumatic axonal injury“). Auch mikroskopisch gab es keinerlei Nachweis von Hirnkontusionen.

Rekonstruktion

Es kann festgestellt werden, dass die Verletzungen an der HWS und die Kontusion

Rechtsmedizin 2022 · 32:131–135 <https://doi.org/10.1007/s00194-021-00484-7>
© Der/die Autor(en) 2021

M. Hahn · M. Dreimann · J. Matschke · L. Lohner · K. Püschel

Ein Airbag kann auch tödlich sein

Zusammenfassung

Es wird das Verletzungsschema eines Fahrers nach Frontalzusammenstoß mit Airbag-Auslösung bei nichtangelegtem Gurt dargestellt. Der Patient wies bei Erstuntersuchung nur geringe äußere Verletzungen auf. Im CT zeigte sich eine nichtdislozierte Densfraktur. Im späteren MRT waren eine sekundäre Dislokation der Fraktur mit Myelonkontusion und diskoligamentäre Zerreißungen bei C5–T1 zu erkennen. Nach operativer Versorgung verstarb der Patient an den Folgen eines kompletten Querschnittsyndroms. Bei der Sektion fanden sich eine Hirnswellung und

eine Quetschungszone im oberen Halsmark. Unerwartet bestanden hier keine Blutungen und Einreißen des Gewebes. Es wird auf die strukturelle Besonderheit des Axis eingegangen und das Unfallgeschehen anhand des Verletzungsmusters sowie der Sektionsbefunde rekonstruiert.

Schlüsselwörter

Hochrasanztrauma · Bildgebung · Densfraktur · Rückenmarkkontusion · Geringe Weichteilläsionen

An airbag can also be fatal

Abstract

This article presents the injury pattern of a driver after a frontal collision with airbag deployment when the seat belt was not worn. The patient had only minor external injuries on initial examination. The CT scan revealed a nondisplaced fracture of the dens. The magnetic resonance imaging (MRI) carried out later showed secondary dislocation of the fracture with myelon contusion and discoligamentous lacerations at C5–T1. After surgical treatment the patient died as a result of the sequelae of a complete paraplegic

syndrome. At autopsy there was brain swelling and a zone of contusion in the upper cervical medulla. Unexpectedly, there was no hemorrhage or tearing of the tissue. The structural peculiarity of the axis is discussed and the accident is reconstructed on the basis of the injury pattern and the autopsy findings.

Keywords

High-impact trauma · Imaging · Dens fracture · Spinal cord contusion · Minor soft tissue lesions

des Rückenmarks gravierend waren, wobei sich aber im angrenzenden Weichgewebe unerwartet keine Verletzungen zeigten. Es ist davon auszugehen, dass dies eine Folge des Hochrasanztraumas im Sinne einer (Sub)Luxation ist. Aus den Verletzungen lässt sich Folgendes rekonstruieren: Der durch den Zusammenstoß in Fahrtrichtung schnellende Körper besitzt bereits eine hohe kinetische Energie und trifft dann mit dem Kopf auf den sich schlagartig entfaltenden Airbag. Dieser fängt oder bremst ihn nicht, wie es eigentlich sein sollte, sondern schlägt ihn durch die Entfaltung zurück. Der Airbag hat zwar nur eine geringe Masse, dafür aber eine sehr hohe Geschwindigkeit (etwa 150 m/s) beim Aufbau des Kissens. Die knapp 70 l Volumen des Airbag-Kissens sind durch den Treibsatz in wenigen Millisekunden maximal gefüllt. Das

heißt, dass das Zeitintervall, in der die Kraft auf den Körper bzw. Kopf einwirkt und nach hinten in die Extension beschleunigt, sehr klein ist. Der kurze und sehr schnelle Kraftstoß ist möglicherweise der Grund, warum schwerere Verletzungen des angrenzenden Weichgewebes im Bereich des Axis ausgeblieben sind.

Das Hämatom im Stirnbereich (■ Abb. 4) stützt die These, dass der Airbag den Kopf getroffen hat. Die im Gesicht relativ gering ausgeprägten Verletzungen sind wahrscheinlich auf eine Verteilung der Stoßkraft auf eine große Fläche zurückzuführen. Die am Kopf gefundenen oberflächigen Hautabschürfungen können durch das Tragen einer Brille beim Aufprall verursacht worden sein. Eine deformierte Brille wurde im Auto gefunden. Dies würde zu Untersuchungen des ADAC passen,

Abb. 4 ▲ **a** Darstellung der Verletzungen im Gesichtsbereich. **b** Nach Präparation der Dura ist die linienförmige Kontusionszone (Pfeil) im Halsmark unterhalb des Kleinhirns (im Bild links) erkennbar. **c** An der ventralen Seite der HWS finden sich die eingebauten Schrauben zur Fixierung des Dens (Pfeil) und die Platten zur Stabilisierung auf Höhe C5/6 und C7/T1

Abb. 5 ▲ Querschnitt durch das Zervikalmark in Markscheidenfärbung nach Klüver-Barrera mit massiver Kontusion (2 Sternchen) und angrenzenden Einblutungen oberhalb (Sternchen) und unterhalb (3 Sternchen)

wonach getragene Brillen bei Airbag-Auslösung in der Regel lediglich leichte Verletzungen verursachen [8].

Auch das Verletzungsmuster der HWS lässt sich mit der skizzierten unphysiologischen, ruckartigen Überstreckung des Kopfes nach hinten verbinden, zumal wenn der Fahrer sich nicht angeschnallt, trägeheitsbedingt mit dem Kopf in den sich entfaltenden Airbag bewegte und die deshalb weit entfernte Kopfstütze die Extension nicht abfangen konnte. Befindet sich dagegen der Fahrer in korrekter Position im Sitz und ist angeschnallt, kann der Gurt den Impuls des Körpers

Richtung Airbag abfangen und eine Extension des Kopfes durch die Kopfstütze gebremst werden. In diesem Fall greifen die Schutzsysteme, und mit hoher Wahrscheinlichkeit tritt dann keine Fraktur, aber möglicherweise eine sog. HWS-Distorsion (Schleudertrauma) auf. Die vorgestellte Kasuistik demonstriert eindrucksvoll, dass scheinbar nahezu unversehrt wirkende Unfallopfer schwere innere Verletzungen haben können, und unterstreicht die Bedeutung moderner Bildgebung bei der Erstuntersuchung, auch nach scheinbaren Bagateltraumata.

Diskussion

Die Schutzwirkung eines Airbags ist ohne das Zusammenwirken mit dem Sicherheitsgurt nicht ausreichend. Die Auslösung des Airbags kann, wie im dargestellten Fall, dann sogar zur Gefahr werden. Möglicherweise hätte ein angelegter Sicherheitsgurt die beschriebenen Verletzungen weitgehend verhindert. Auch wenn es seit 1970 eine generelle Anschnallpflicht gibt, sieht das Gesetz in bestimmten Situationen Ausnahmen, besonders für einzelne Berufsgruppen (Taxifahrer, Polizei), vor. Die Ausnahmen haben das Ziel, die Beweglichkeit und das schnelle Reagieren in Notfällen zu ermöglichen.

Regeln sind aber immer nur wirksam, wenn sie Akzeptanz finden und befolgt werden. Die Anschnallquote liegt in Deutschland aktuell bei etwas unter 100 % [7]. Der hier beschriebene Fall wirft einmal mehr die Frage auf, ob die Ausnahmeregeln wirklich sinnvoll sind, oder sich vielleicht auch andere Lösungen finden lassen. Es ist davon auszugehen, dass seinerzeit erst nach sorgsamer Abwägung der Nutzen-Risiko-Relation die Ausnahmen definiert wurden. Inzwischen sind Jahrzehnte vergangen, und es gibt enorme Fortschritte im technischen Bereich. So weisen neue Fahrzeuge nicht selten 7 oder mehr Airbags auf und verfügen über automatische Gurtstraffer, Fahrhilfen und Sensorik, die vor Unfällen warnt oder aktiv eingreift. Eine Untersuchung des ADAC zeigt, dass einige Fahrzeuge technische Parameter an den Hersteller im Minutentakt übermitteln, die nicht nur den technischen Zustand des Wagens aufzeigen, sondern z. B. auch Rückschlüsse auf das Nutzungsprofil, den Fahrstil oder die Anzahl unterschiedlicher Fahrer ermöglichen [1]. Aber trotz all dieser technischen Möglichkeiten kann der Sicherheitsgurt als Lebensretter Nummer 1 im Auto manchmal hinderlich sein, und das seitlich am Sitz befindliche Gurtschloss ist auch nicht immer leicht zu erreichen, gerade wenn es schnell gehen muss. Die Ausnahmeregeln sind deshalb nachvollziehbar. Es wäre aber zu prüfen, ob Taxen oder Einsatzfahrzeuge nicht mit sog. passiven Gurtsystemen [9] ausgestattet werden soll-

ten (parallel zum aktiven Gurt oder ausschließlich). Diese brauchen nicht aktiv durch den Fahrer angelegt und geöffnet zu werden, sondern legen sich selbstständig an den Körper, wenn die Tür geschlossen wird, und lösen sich dann wieder beim Öffnen der Tür, wobei auch andere Mechanismen denkbar sind. Diese primär für den amerikanischen Markt entwickelten passiven Gurtsysteme – vielleicht in Verbindung mit entsprechenden Airbags als Kniefänger – könnten einerseits bei entsprechender Auslegung die Reaktionsfähigkeit in Notsituationen verbessern und andererseits das Verletzungsrisiko gegenüber nichtangeschnallten Personen deutlich reduzieren. Passive Gurtsysteme sind bisher teurer als aktive, aber ein Plus an Sicherheit für besonders gefährdete Personengruppen sollte eigentlich nicht an Kosten scheitern. Vielleicht bräuchten wir auch keine Ausnahmen von der Anschnallpflicht und hätten längst optimierte Gurtsysteme, wenn die Hersteller in den letzten Jahren beim Sicherheitsgurt die gleiche Energie und Kreativität zur weiteren Optimierung eingesetzt hätten wie beim Generieren von Daten.

Fazit für die Praxis

Nach einem Hochrasanztrauma besteht auch bei gering ausgeprägten äußeren Verletzungen und Weichteilläsionen die Möglichkeit, dass schwere knöcherne und/oder diskoligamentäre Verletzungen entstanden sind. Der Einsatz moderner Bildgebung bei der Erstuntersuchung ist hervorzuheben. Das Verletzungsmuster und die Sektionsbefunde sind wichtige Parameter bei der Unfallanalyse. Der Airbag kann ohne angelegten Sicherheitsgurt eine Gefahr darstellen. Es ist zu diskutieren, ob alternative Rückhaltesysteme die Sicherheit des Personenkreises, der von der generellen Anschnallpflicht befreit ist, erhöhen könnten, ohne deren Reaktionsfähigkeit entscheidend einzuschränken.

Korrespondenzadresse

Dr.-Ing. M. Hahn
Institut für Osteologie
und Biomechanik,
Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf
Lottestraße 59, 22529 Hamburg, Deutschland
hahn@uke.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Hahn, M. Dreimann, J. Matschke, L. Lohner und K. Püschel geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen oder an menschlichem Gewebe wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten unter Einhaltung der Vorgaben der Zentralen Ethikkommission der Bundesärztekammer.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. ADAC (2020) Diese Daten sammelt ein modernes Auto. <https://www.adac.de/rundums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistentensysteme/daten-modernes-auto/#DieErgebnisseimDetail>. Zugegriffen: 7. Jan. 2021
2. Alas H, Segreto FA, Chan HY, Brown AE, Pierce KE, Bortz CA, Horn SR, Varlotta CG, Baker JF, Passias PG (2019) Association between frailty status and odontoid fractures after traumatic falls: investigation of varying injury mechanisms among 70 elderly odontoid fracture patients. *J Orthop Trauma* 33(12):484–488

3. Amling M, Pösl M, Wening VJ, Ritzel H, Hahn M, Dellling G (1995) Structural heterogeneity within the axis: the main cause in the etiology of dens fractures. *J Neurosurg* 83:330–335
4. Anderson LD, D'Alonzo RT (1974) Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am* 56(8):1663–1674
5. Betsch M, Blizzard S, Krishnamoorthy B, Yoo J (2020) Zusammenhang zwischen der Degeneration der Halswirbelsäule und dem Vorhandensein von Dens-Frakturen. *Z Orthop Unfall* 158:46–50
6. Heigl S (Hrsg) (2017) DEKRA Verkerssicherheitsreport 2017 – Bewährte Maßnahmen. DEKRA Automobil GmbH, Stuttgart
7. Kathmann T, Johannsen M (2019) Sicherung durch Gurte, Helme und andere Schutzsysteme 2018 und 2019. Bericht zum Forschungsprojekt 83.0037, Bundesanstalt für Straßenwesen. https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/DaFa/2020-2019/2020-02.html?nn=1497062. Zugegriffen: 7. Jan. 2021
8. Klanner W, Ambos R, Paulus H, Hummel T, Langwieder K, Köster H-JW (2005) Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verlag für neue Wissenschaft GmbH, S 12–24 (Fahrzeugtechnik Heft F 53)
9. Kramer F (2006) Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen Biomechanik – Simulation – Sicherheit im Entwicklungsprozess. Vieweg, Wiesbaden, S 162–200 (ATZ/MTZ-Fachbuch)
10. NCSA (2009) Special crash investigation, counts of frontal air bag related fatalities and seriously injured persons. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811104>. Zugegriffen: 6. Jan. 2021
11. Insassenschutz (2007) Rückhaltesysteme und Airbags. http://insassenschutz.50webs.com/5_1_sicherheitsgurte.html. Zugegriffen: 6. Jan. 2021
12. Püschel K, Heinemann A, Dietz E, Hellwinkel O, Henners D, Fitzek A (2020) New developments and possibilities in the field of post-mortem medicine mortui vivos docent. *Rechtsmedizin* 30:425–429