

Persönliche PDF-Datei für

Tobias Fraatz, Hendrik Wyen

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Traumakinetik – Eine Frage der Geschwindigkeitsänderung

retten 2021; 10: 342–351

Nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt.
Keine kommerzielle Nutzung, keine Einstellung
in Repositorien.

Verlag und Copyright:
© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 2193-2387

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Traumakinetik – Eine Frage der Geschwindigkeitsänderung

Tobias Fraatz, Hendrik Wyen



Quelle: KH Krauskopf (nachgestellte Situation)

Statistiken der letzten Jahre zeigen eine sinkende Zahl von Rettungsdiensteinsätzen mit traumatologischem Hintergrund bei steigender Gesamtzahl von Notfalleinsätzen. Wie hoch der Anteil von Hochrasanztraumen ist, ist unbekannt [1]. Dieser Beitrag zeigt, dass das Wissen über physikalische Zusammenhänge eine gute Einschätzung über mögliche verdeckte Verletzungen von Traumapatienten insbesondere bei Hochrasanztraumen möglich macht.

Einteilung von Traumen

Unfallfolgen werden mitunter in hochenergetische oder niederenergetische Traumen eingeteilt. Dabei bezieht man sich auf die Menge der Energie, die bei einem Unfallereignis übertragen wurde [2–4].

Kann man nach Ankunft an der Einsatzstelle die übertragene Energie und die wirkenden Kräfte gut abschätzen, dann lässt sich die zu erwartende Verletzungsschwere

grob einschätzen. In der Traumakinetik beschreibt man die Änderung der physikalischen Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei der Interaktion zwischen dem menschlichen Körper und einem sich bewegenden oder ruhenden Körper unter Berücksichtigung der Massen der sich bewegenden Körper. Aus diesen Größen lassen sich weitere Größen wie Arbeit, Energie und Impuls ableiten, die für die Bewertung von Unfallmechanismen sehr wichtig sind [3, 5].

HINTERGRUNDWISSEN

Hochrasanztrauma

Die Art der Geschwindigkeitsänderungen des menschlichen Körpers im Rahmen eines Unfallereignisses gibt einen guten Anhaltspunkt für die vermutlichen Verletzungsmuster des Patienten. Kam es bei dem Unfallereignis zu hohen Geschwindigkeitsänderungen und somit zur Übertragung hoher Energien, dann spricht man von einem Hochrasanztrauma. Eine einheitliche Definition, ab welcher Geschwindigkeitsänderung von „Hochrasanz“ gesprochen wird, fehlt. Aus Hochrasanzunfällen resultieren in der Regel schwere, teils lebensbedrohliche Verletzungen.

Grundlegende physikalische Gesetze der Kinetik

Kraft

Ruhende oder sich bewegende Körper bleiben in Ruhe oder bewegen sich weiterhin, solange keine äußeren Kräfte auf sie einwirken. Dies wird auch als Trägheitsgesetz (1. Newtonsches Gesetz) bezeichnet. Das 2. Newtonsche Gesetz baut darauf auf und beschreibt die physikalische Größe Kraft (F), die dem Produkt aus Masse (m) und Beschleunigung (a) entspricht (s. a. ▶ Tab. 1).

$$F = m \cdot a$$

Fährt beispielsweise ein Kraftfahrzeug frontal gegen eine Mauer, dann wirkt dieses mit einer Kraft gegen die Mauer. Erkennbar an einer Beschädigung der Mauer. Gleichzeitig wirkt aber auch die Mauer mit einer Kraft auf das Fahrzeug. Man spricht vom sogenannten Wechselwirkungsprinzip. Erkennbar ist die wirkende Kraft der Mauer daran, dass das Fahrzeug zum Stillstand kommt (Trägheitsgesetz) und verformt wird [5].

Impuls

Da die Kraft der Mauer eine gewisse Zeit auf das Fahrzeug einwirkt, bis das Fahrzeug zum Stillstand kommt, benötigt man noch eine weitere physikalische Größe. Es handelt sich dabei um den Impuls. Das Produkt aus Kraft (F) und der Zeitdauer (Δt) der Krafteinwirkung wird Impuls (p) genannt.

$$p = F \cdot \Delta t$$

Unter dem physikalischen Impuls versteht man umgangssprachlich den „Schwung“ oder die „Wucht“ eines Objekts [5]. Der Impuls hat immer eine Richtung in die

Bewegungsrichtung des Fahrzeugs. Jedes fahrende Fahrzeug hat einen Impuls. Bewegt es sich schnell und ist schwer, dann hat es viel Impuls, also eine große „Wucht“. Steht das Fahrzeug, dann hat es keinen Impuls, also keinen „Schwung“ mehr. Impulse bleiben in einem System immer gleich. Fährt beispielsweise ein Lkw auf einen stehenden Pkw auf, dann ist der Impuls des Pkw vor dem Aufprall null und nach dem Aufprall wird dieser größer. Er hat „Schwung“ bekommen. Beim Lkw ist der Impuls gesunken. Er hat weniger „Schwung“ als vor dem Ereignis.

Arbeit und Energie

Die letzten 2 wichtigen Größen sind die der Arbeit (W) und der Energie (E). Arbeit ist eine Kraft, die über eine bestimmte Strecke wirkt. Die Mauer, die frontal vom Fahrzeug getroffen wird, verrichtet Arbeit am Kraftfahrzeug. Erkennbar ist dies daran, dass das Fahrzeug noch einen bestimmten Weg beim Auftreffen auf die Mauer bis zum Stillstand zurücklegt. Verrichtet die Mauer nun Arbeit am Fahrzeug, dann ändert sich seine Energie. Für die Traumakinetik spielt die Bewegungs- oder kinetische Energie die wichtigste Rolle. Sie lässt sich mathematisch mit der Formel $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ beschreiben. Dabei bezeichnet m die Masse und v die Geschwindigkeit eines Objekts. Energie bleibt in einem abgeschlossenen System immer erhalten [5].

Fährt ein Lkw mit einer Masse von 14 t mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h ungebremst einen Fußgänger an, dann hat er eine Energie von ca. 54 kJ. Bei der Kollision überträgt er einen Großteil seiner Energie auf die Person. Verdoppelt der Lkw seine Geschwindigkeit, dann besitzt er die 4-fache kinetische Energie (ca. 216 kJ). Der Lkw verrichtet also Arbeit an dem Fußgänger und übergibt dabei kinetische Energie. Die erkennt man daran, dass der Fußgänger nach dem Aufprall durch die Luft geschleudert wird und der Lkw etwas langsamer werden wird. An dieser Stelle wird schon klar, dass hohe Geschwindigkeiten zu schwersten Verletzungen bis hin zum Tod führen können [3, 5, 6].

Hochrasanztrauma

Das Hochrasanztrauma gehört zu den hochenergetischen Traumen. Dabei kommt es zur Übertragung hoher Energien in kurzer Zeit [3].

Es ist in den meisten Fällen so, dass sich physikalische Parameter wie Kraft, Geschwindigkeitsänderungen und übertragene Energien mit der Wahrscheinlichkeit einer Verletzung verknüpfen lassen. Die Kenntnisse darüber stammen in den meisten Fällen aus Experimenten mit Crashtest-Dummies oder Leichen [7].

► Tab. 1 Übersicht und Erklärung der grundlegenden kinetischen Gesetze.

Symbol	physikalische Größe	Erklärung
a	Beschleunigung	engl. acceleration; Änderung der Geschwindigkeit Δv in einer bestimmten Zeit Δt
E	Energie	engl. energy; Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu verrichten
E_{kin}	Bewegungsenergie	Energie, die ein Körper aufgrund seiner Bewegung erhält. Sie hängt von der Geschwindigkeit v und der Masse m ab.
E_{pos}	Höhenenergie	Ein Körper, der nach oben gehoben wird, bekommt zusätzliche Energie. Das erkennt man daran, dass er beim Loslassen herunterfällt. Die Höhenenergie hängt von der Höhe h , der Masse m des Körpers und der Fallbeschleunigung g ab.
F	Kraft	engl. force; Kräfte erkennt man an ihren Wirkungen wie Geschwindigkeitsänderung oder Deformation
g	Fallbeschleunigung	engl. gravitational acceleration; Beschleunigung, die ein Körper durch die Erdanziehungskraft erfährt. Ihr mittlerer Wert beträgt für die Erdoberfläche $9,81 \text{ m/s}^2$.
h	Höhe	engl. height; Höhe, um die ein Objekt angehoben wird
m	Masse	engl. mass
p	Impuls	lat. pellere („stoßen“); Umgangssprachlich „Schwung“ oder „Wucht“ eines Körpers
s	Strecke	Entfernung zwischen 2 Punkten.
t	Zeit	engl. time
v	Geschwindigkeit	engl. velocity; pro Zeiteinheit Δt zurückgelegte Strecke s
W	Arbeit	engl. work; Arbeit ist eine Kraft F , die über eine bestimmte Strecke s wirkt

HINTERGRUNDWISSEN

Beispiele für Hochrasanztraumen

- Sturz aus 2- bis 3-facher Körperhöhe
- Kollision eines Fußgängers oder Fahrradfahrers mit einem Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 10 km/h
- Zusammenstoß in einem Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 35 km/h ohne Sicherheitsgurt
- Zusammenstoß in einem Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 45 km/h mit Sicherheitsgurt
- Der Patient wurde aus einem Fahrzeug geschleudert [8].

Sturz aus einer Höhe

Bei einem Sturz aus großen Höhen wird die Höhenenergie ($E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$) während des Falls in Bewegungsenergie umgewandelt, die beim Auftreffen dann durch den Körper und den Boden absorbiert werden muss. Es hängt von der Bodenbeschaffenheit ab, welche Energie durch den Boden absorbiert wird. So sind beispielsweise auf Spielplätzen ab einer Fallhöhe von 60 cm Fallschutzplatten vorgeschrieben, die die kinetische Energie des Kindes

so absorbieren, dass bei einem Aufschlag mit dem Kopf aus der höchstmöglichen vorgesehenen Höhe es mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % zu einer Fraktur des Schädels kommt [3, 5, 7, 9].

FALLBEISPIEL

Kinderspielplatz

An einem Mittwochnachmittag werden Sie um 15:30 Uhr als RTW-Besatzung (Notfallsanitäter und Rettungssanitäter) zu folgendem Einsatz am örtlichen Spielplatz alarmiert:
„Kind von Kletterturm gefallen, bewusstlos, Notarzt nicht verfügbar“.

Beim Eintreffen finden Sie ein ca. $1,5 \text{ m}$ großes und ansprechbares Kind vor. Andere Kinder berichten Ihnen, dass das Kind auf das Dach des Kletterturms (ca. 3 m hoch) gestiegen und dann auf die Fallschutzplatten heruntergefallen sei. Das Kind kann sich an den Sturz nicht erinnern, hat keine äußerlich sichtbaren Verletzungen und klagt über Schmerzen im Brustbereich. Atemfrequenz 12/min, GCS 14, systolischer Blutdruck 120 mmHg, Puls 100/min.

Aufgrund der Diagnostik gehen Sie im 1. Schritt von einem leichten Schädel-Hirn-Trauma mit retrograder Amnesie und einer Thoraxprellung aus. Nach Berücksichtigung der Traumakinematik müssen Sie Ihre

1. Verdachtsdiagnose verwerfen. Da der Sturz aus ca. 3 m stattfand, müssen Sie von einem Hochrasantrauma ausgehen, da es sich um die doppelte Körpergröße des Kindes handelt und Sie eine Abschätzung bzgl. der Höhe vorgenommen haben. Da die Höhe des Dachs des Kletterturms bei der Auswahl der Fallschutzplatten nicht berücksichtigt wird, müssen Sie davon ausgehen, dass die Platten nicht genügend Energie absorbiert haben. Sie erweitern nun Ihre Verdachtsdiagnose um mögliche innere Verletzungen. Der schnelle Transport in die Klinik und die ständige Überwachung der Vitalfunktionen haben für Sie nun höchste Priorität.

Merke

Die Verletzungsmuster beim freien Fall sind stark davon abhängig, mit welchem Körperteil der Patient zuerst auftrifft. Die häufigsten Verletzungen bei Stürzen aus Höhen > 2 m sind Frakturen.

Dabei sind ca. 20 % Wirbelsäulenfrakturen, von denen nur ca. 4 % ein primär neurologisches Defizit entwickeln. Ca. 6 % der Patienten haben intraabdominelle Verletzungen [3, 7].

HINTERGRUNDWISSEN

Arbeiten in der Höhe

Der freie Fall mit dem Auftreffen auf den Boden ist bei Stürzen aus Höhen nicht ausschließlich zu betrachten. Es gibt auch andere Situationen wie beispielsweise das Abstürzen bei Arbeiten in Höhen. Auch der Absturz mit Auffangeinrichtungen kann zu Verletzungen führen, da nicht immer die gesamte Bewegungsenergie des fallenden Arbeiters durch die Absturzsicherungen absorbiert werden kann. Auch an das Hängetrauma sollte in diesen Fällen gedacht werden [10].

Kollisionen

Fußgängerverletzungen

Verletzungen nach Kollisionen zwischen Fußgängern und Fahrzeugen hängen von der Fahrzeugart, der Größe und der Aufnahme des Fußgängers durch das Fahrzeug ab. Der größte Teil der Patienten, die von einem Pkw erfasst werden, zeigt Verletzungen der unteren Extremitäten. Dennoch tauchen diese selten isoliert auf. Da sich im Stand der Körperschwerpunkt in Hüfthöhe befindet, kommt es bei einem Stoß zwischen Stoßstange und Kniegelenk zu einer Drehung des Oberkörpers zur Motorhaube hin. Der Fußgänger schlägt dann mit Kopf oder

Oberkörper auf die Motorhaube auf. Die Folge sind Rippenbrüche, Schienbeinfraktur, Verdrehung des Kniegelenks, Verletzungen des Rumpfes und Verletzungen des Gehirns. Bei Neufahrzeugen kann die Motorhaube einen großen Teil der Energie des auftreffenden Fußgängers absorbieren. Dies führt nach einem Unfall zu der Konsequenz, dass man nicht mehr erkennen kann, ob die Motorhaube eingedrückt wurde, weil große Kräfte gewirkt haben oder weil sie modern konzipiert ist und entsprechend Energie auch bei geringen Kräften absorbiert.

Bei geringer Körpergröße, beispielsweise Kinder, oder höheren Fahrzeugen wie SUVs und Lkws wird häufiger der Thorax und das Abdomen betroffen sein. Hinzu kommt, dass der Patient zu Boden fällt, da er in der Höhe oder oberhalb des Körperschwerpunkts durch das Fahrzeug getroffen wird. Ungefähr die Hälfte aller Fußgänger wird danach vom Fahrzeug überrollt, bevor es zum Stehen kommt [3, 6, 7, 11, 12].

Merke

Auch für Radfahrer gilt, dass außer einem Helm in der Regel keine Schutzausrüstungen vorhanden und somit ähnliche Verletzungen wie bei Fußgängern zu erwarten sind.

Frontalkollision zweier Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von > 35 km/h ohne Sicherheitsgurt

Bei einem Frontalzusammenstoß zweier Kraftfahrzeuge mit gleicher Masse und gleicher Geschwindigkeit sind die Impulse und kinetischen Energien beider Fahrzeuge vor dem Auftreffen gleich. Da die Geschwindigkeiten entgegengesetzt sind, ist die Summe der beiden Impulse vor der Kollision null. Da der Gesamtimpuls eines Systems immer erhalten bleiben muss, muss er nach der Kollision auch null sein. Das ist daran zu erkennen, dass beide Fahrzeuge unter oben vorgegebenen Bedingungen nach der Kollision zum Stehen kommen und damit kein Fahrzeug mehr „Schwung“ und somit keinen Impuls mehr hat. Da die Geschwindigkeiten nach dem Zusammenstoß null sind, sind auch die kinetischen Energien beider Fahrzeuge null. Die kinetischen Energien müssen also umgewandelt worden sein in Arbeit. Dies erkennt man eindeutig an den Verformungen und dem Glasbruch an den Fahrzeugen.

Wenn die Masse oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs A vor dem Frontalzusammenstoß größer war, dann gibt es nach dem Zusammenstoß einen Impuls in die Richtung, in die Fahrzeug A gefahren ist. Beide Fahrzeuge werden sich dann noch etwas in diese Richtung bewegen. Nach einem Frontalzusammenstoß zweier Fahrzeuge lässt sich also anhand der Entfernung zum Ort des Zusammenstoßes sehr gut erkennen, welches Fahrzeug vor dem Auftreffen einen größeren Impuls hatte. Frontalzusammenstöße haben die größte Änderung der Impulse

über sehr kurze Zeit, und daher wirken dabei auch die größten Kräfte. Die hohe Sterblichkeitsrate bei allen Frontalzusammenstößen bei Hochrasanzunfällen lässt sich damit sehr gut erklären.

Für den Rettungsdienst ist es wichtig, die bei einem Verkehrsunfall übertragenen Energien und Kräfte zu verstehen, um daraus nicht sichtbare Verletzungen des Patienten ableiten zu können. Betrachtet man beispielsweise einen Frontalzusammenstoß zweier Fahrzeuge, dann kommt es selten zu einer vollständigen Überlappung beider Karosserienfronten. Die Kräfte wirken in diesem Fall hauptsächlich in Richtung Fahrer. Beim Zusammenstoß treten die ersten Belastungen der Insassen im Bereich der unteren Extremitäten, insbesondere an Knien und Füßen auf. Beim Fahrer kommen noch die Hände dazu. Dies liegt daran, dass sich bei einer Kollision der Körper des Insassen nach dem Trägheitsgesetz weiterbewegt und die Extremitäten auf Lenkrad, Armaturenbrett und Dielenbrett stoßen. Die Änderung des Impulses ist aufgrund des kurzen Wegs bis zum Auftreffen der Extremitäten eher gering. Anders verhält es sich bei Brustkorb und Kopf. Sie treffen auf Lenksäule bzw. Windschutzscheibe auf. Der lange Weg dorthin führt zu einer stärkeren Änderung des Impulses.

Merke

Die Arten von Verletzungen hängen also damit zusammen, welchen Weg der Körper bei einem Zusammenstoß einschlägt. Die Auftreffpunkte sind Knie, Brustkorb, Oberbauch und Kopf.

Trifft das Knie auf das Armaturenbrett, kann es zu einer Posterior-Verschiebung und dann zu einer dorsalen Hüftluxation bzw. Tibiakopffraktur kommen. Als nächstes trifft der Thorax oder das obere Abdomen auf. Feste Organe wie Leber oder Milz folgen im Oberbauch ebenfalls dem Trägheitsprinzip und bewegen sich beim Aufschlag des Abdomens weiter. Dabei sind insbesonders die Organe Milz und Leber gefährdet, die rupturiert werden können. Rippenfrakturen, Contusio cordis (Herzprellung) oder ein Pneumothorax können Verletzungen des Thorax sein. Trifft der Thorax etwas seitlich versetzt auf das Lenkrad oder das Armaturenbrett, kommt es zu Scherkräften und einer Verdrehung des Thorax, was zu einem Teil- oder vollständigen Abriss der Aorta führen kann.

Im anderen Fall trifft der Kopf als erstes entweder auf das Lenkrad oder die Windschutzscheibe auf. Letzteres führt zu einer spinnwebartigen Berstung der Windschutzscheibe. In der Folge kommt es zu Weichteilverletzungen an der Aufprallstelle und ggf. Frakturen des Schädelknorpels. Aufgrund des Trägheitsgesetzes bewegt sich auch das Gehirn innerhalb des Schädels weiter und trifft auf die Schädeldecke, und es kann dann zu entsprechenden Verletzungen (Quetschungen, Einblutung etc.) kommen (Coup). Nach vollständigem Ende der ursprüng-

lichen Bewegungsrichtung kommt es dann zu einem zweiten Anprall des Gehirns an der exakt gegenüberliegenden Schädelseite (contre-coup), wo ebenfalls Einblutungen auftreten können. Beim Aufschlagen des Kopfes werden die Kräfte, die von der Windschutzscheibe auf den Kopf wirken, auf die Halswirbelsäule übertragen. Dies kann zu einer Hyperflexion, Hyperextension oder Kompression führen. Nach Kopf und Hals schlagen Brustkorb und Abdomen wieder analog zum beschriebenen Knieaufprall auf [3, 6, 7, 11, 12].

Seitenkollision zweier Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von >35 km/h ohne Sicherheitsgurt

Bei einer Seitenkollision sind die Richtungen der Geschwindigkeiten und somit der Impulse senkrecht zueinander. Dies führt nach dem Aufprall dazu, dass beide Geschwindigkeitsrichtungen sich zu einer neuen Richtung vereinen. Beide Fahrzeuge bewegen sich dementsprechend in eine neue Richtung und haben weiterhin kinetische Energie. Es wird weniger Energie in Arbeit umgewandelt und es treten daher weniger Schäden an den beiden am Unfall beteiligten Fahrzeugen auf. Die Sterblichkeitsrate liegt bei ca. 35 %. Der Fahrer des Fahrzeugs, das in die Seite des anderen Fahrzeugs gefahren ist, kann hinsichtlich des Verletzungsmuster wie bei einem Frontalzusammenstoß betrachtet werden.

Merke

Beim seitlichen Aufprall hängen die Verletzungen mit der getroffenen Fahrzeugseite und dem Sitzplatz des Unfallopfers zusammen.

Ereignet sich der Unfall auf der Seite des Patienten, dann ist der Abstand zwischen Fahrzeug und Patient sehr klein und der Widerstand der Fahrzeuge zu gering, um den Impuls zu verringern. Der Patient wird fast dem gesamten Impuls ausgesetzt, und Thorax, Abdomen und Becken müssen diesem entgegenwirken. Bei linksseitigem Aufprall sind linke Niere und Milz gefährdet, rechtsseitig Leber und rechte Niere. Beim Seitenauftprall kommt es auch vermehrt vor, dass aufgrund der großen wirkenden Kräfte der Hüftkopf durch die Hüftpfanne gedrückt wird [2, 3, 6, 7, 11, 12].

Auffahrunfall mit einer Geschwindigkeit von >35 km/h ohne Sicherheitsgurt

Beim Auffahrunfall zeigen die Kräfte und Impulse beider Fahrzeuge in die gleiche Richtung, daher sind die Änderungen der Impulse eher klein und es wirken geringere Kräfte. Dies führt zu einer niedrigen Sterblichkeitsrate von ca. 5 %. Die Verletzungen der Halswirbelsäule beim Auffahrunfall können sehr gut durch das Trägheitsgesetz erklärt werden. Das auffahrende Fahrzeug wirkt mit einer Kraft in die gleiche Richtung wie das vorausfahrende Fahrzeug steht oder sich bewegt. Dies führt dazu, dass

das Fahrzeug eine Beschleunigung nach vorne erfährt. Ebenso erhält der Oberkörper des Insassen durch den Sitz eine Beschleunigung nach vorne. Liegt der Kopf dicht an der Kopfstütze an, dann wird er ebenfalls mitbeschleunigt und es kommt selten zu Verletzungen. Besteht ein Abstand zwischen Kopf und Kopfstütze oder ist die Kopfstütze zu tief, dann bleibt der Kopf beim Aufprall aufgrund der Trägheit kurz in Ruhe, während der Oberkörper sich nach vorne bewegt. Es kommt zu einer Überdehnung der Halswirbelsäule. Dieses Ereignis ist auch unter dem Begriff Schleudertrauma bekannt [2, 3, 6, 7, 11, 12].

Mortalität

Die Mortalität bei Verkehrsunfällen hängt mit den wirkenden Kräften und der Summe der Energien zusammen. Überschlagsunfälle haben eine geringe Mortalität, da die Impulse des Fahrzeugs bei der Drehung in verschiedene Richtungen abgeführt werden. Es ist grundsätzlich so, dass nicht alle Kräfte, die bei einem Verkehrsunfall auf die Fahrzeuge wirken, direkt auf die Insassen des Fahrzeugs übertragen werden. Fahrzeuge bieten daher einen Schutz vor der vollständigen Übertragung des Impulses auf den Insassen [3, 7, 11].

Zusammenstoß in einem Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 45 km/h mit Sicherheitsgurt

Fahrzeuge werden hinsichtlich ihrer Sicherheit und des Absorbierens von Energien immer mehr verbessert. Der Sicherheitsgurt, der häufig als Drei-Punkt-Gurt in Fahrzeugen vorhanden ist, soll dafür sorgen, dass sich der Körper des Insassen bei einem Unfall nicht nach vorne oder zur Seite bewegt.

Merke

Bei einem richtig angelegten Sicherheitsgurt werden die Kräfte beim Aufprall zum größten Teil auf das Skelett und zu einem geringen Teil auf die Weichteile verteilt.

Zusätzlich wird dadurch die Gefahr des Kopfanpralls am Fahrzeuginnenraum reduziert. Da der Kopf sich aufgrund des Trägheitsgesetzes dennoch bewegt, können Airbags diesen gezielt abbremsen. Ohne Airbags vergrößert sich die Gefahr, ein Schleudertrauma zu erleiden. Bei Abbremsgeschwindigkeiten ab 45 km/h, z. B. Frontalzusammenstöße außerhalb von geschlossenen Ortschaften, führen auch richtig angelegte Drei-Punkt-Gurte zu massiven Verletzungen des Brustkorbs inklusive Weichteilverletzungen. Viele Fahrzeughersteller setzen daher neuerdings auf eine Kombination aus Gurtkraftbegrenzer und Airbag. Aber auch der Airbag stellt eine Gefahr dar, wenn der Drei-Punkt-Gurt nicht eng genug angelegt ist. Bei einem Aufprall des Fahrzeugs schlagen dann Kopf und Brustkorb zu früh auf den Airbag auf und es kommt ebenfalls zu massiven Verletzungen in diesen Bereichen.

Inwieweit der Sicherheitsgurt richtig angelegt wurde, lässt sich bei höheren Geschwindigkeiten sehr gut am „Gurtabdruck“ bzw. „Gurtzeichen“ („seat belt sign“) erkennen. Nach einem Aufprall bilden sich im Bereich des Sicherheitsgurts Hämatome. Hämatome außerhalb des Sicherheitsgurts sind Hinweise auf ein erhöhtes Risiko erheblicher Verletzungen im Bauch-, Gefäß- und Wirbelsäulenbereich [2, 3, 6, 7, 11–14].

PRAXIS

Bei Zusammenstößen zwischen Fahrzeugen sollte man folgende Fragen beantworten können, um mögliche Verletzungsmuster besser abschätzen zu können.

- Ist/war der Patient richtig angeschnallt?
- Ist/war die Kopfstütze richtig eingestellt?
- Ist das Lenkrad verformt?
- Ist das Armaturenbrett deformiert?
- Ist der Fußbereich des Patienten deformiert?
- Haben die Airbags ausgelöst?
- Was am Fahrzeug ist deformiert?
- Sind Front-/Heck-/Seitenscheiben zerstört?
- Gibt oder gab es Gegenstände auf, neben oder hinter dem Patienten?
- Wie waren die Sitze eingestellt?

Merke

Eine nicht vorhandene Verformung eines Pkw lässt bei Fahrzeugen mit einer Karosserie aus Kunststoff nicht unbedingt auf ein Hochrasanztrauma schließen.

Der Patient wurde aus einem Fahrzeug geschleudert

Insassen, die bei einem Verkehrsunfall aus dem Fahrzeug geschleudert werden, haben beim Verlassen des Fahrzeugs die gleiche Geschwindigkeit wie das Fahrzeug. Dies führt zu einem großen Impuls des Insassen, der beim Aufprall auf den Boden oder beim Anprall auf ein Hindernis nicht übertragen werden kann, sodass es zu schweren bis schwersten Verletzungen kommt [2, 3, 6, 7].

Patientenklassen

Die Größe, das Gewicht, das Alter und Vorerkrankungen haben ebenfalls einen Einfluss auf das Verletzungsmuster des Patienten nach einem traumatischen Ereignis. Besonders bei älteren Patienten (> 60 Jahre) ist nach einem Hochrasanztrauma mit Komplikationen zu rechnen, die häufig durch Vorerkrankungen, Einnahme verschiedener Medikamente (Polypharmazie) und Gebrechlichkeit (Frailty) begründet sind [6, 7, 12, 15, 16].

KERNAUSSAGEN

- Die Traumakinetik liefert wichtige Hinweise auf mögliche Verletzungsmuster eines Traumapatienten.
- Die Geschwindigkeitsänderung eines Patienten bei einem Unfall ist der wichtigste Indikator für die Schwere der Verletzung.
- Bei Hochrasanztraumen kommt es zur Übertragung hoher Energien und großen Geschwindigkeitsänderungen.
- Frontalzusammenstöße haben die höchste Mortalität. Bei Geschwindigkeiten >45 km/h beider Fahrzeuge sind selbst bei gutschitzendem Dreipunkt-Gurt und ausgelöstem Airbag schwere Verletzungen zu erwarten.
- Die Verletzungsmuster variieren hinsichtlich der Patientenklassen, beispielsweise Alter und Vorerkrankungen.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Autorinnen/Autoren



Tobias Fraatz

Jahrgang 1981. 2005 staatlich anerkannter Rettungssanitäter. 2007 Lehrrettungssanitäter. 2008–2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Kassel im Bereich Physikdidaktik. Seit 2009 staatlich anerkannte Lehrkraft für den Bildungsgang Notfallsanitäter in Thüringen. Seit 2014 Lehrkraft mit Lehramt für Gymnasien (Mathematik, Physik). Seit 2016 Lehrbeauftragter an der SRH Hochschule für Gesundheit in Gera im Fachbereich Medizinpädagogik.



Hendrik Wyen

Dr. med., Jahrgang 1978. 2001–2008 Studium der Humanmedizin an der Goethe-Universität, Frankfurt. 2008–2017 Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie/Unfallchirurgie. 2010 Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. 2011–2012 Forschungsrotation IFOM-Institut, Universität Witten/Herdecke. 2018 Qualifikation/Bestellung (MKK) zum leitenden Notarzt. 2019 Zusatzbezeichnung Klinische Akut-/Notfallmedizin. Seit 2020 Oberarzt ZNA, Klinikum Fulda.

Korrespondenzadresse

Tobias Fraatz

DRK-Bildungswerk Thüringen gGmbH
Höhere Berufsfachschule für die Notfallsanitäterausbildung
Dammstraße 28
98617 Meiningen
Deutschland
tobias.fraatz@drk-bildungswerk-thueringen.de

Literatur

- [1] Sieber F, Kotulla R, Urban B et al. Entwicklung der Frequenz und des Spektrums von Rettungsdiensteinsätzen in Deutschland. Notfall Rettungsmed 2020; 23: 490–496. doi:10.1007/s10049-020-00752-1
- [2] van der Vliet QMJ, Sweet AAR, Bhashyam AR et al. Polytrauma and High-energy Injury Mechanisms are Associated with Worse Patient-reported Outcomes After Distal Radius Fractures. Clin Orthop Relat Res 2019; 477: 2267–2275. doi:10.1097/CORR.0000000000000757
- [3] Feliciano DV, Mattox KL, Moore EE. Trauma. 9. Aufl. New York: McGraw-Hill Education; 2020
- [4] Hodax JD, Eltorai AEM, Daniels AH Hrsg. The Orthopedic Consult Survival Guide. Cham: Springer International Publishing; 2017. doi:10.1007/978-3-319-52347-7
- [5] Tipler PA, Mosca G, Kersten P et al. Physik. Für Studierende der Naturwissenschaften und Technik. Lehrbuch. 8. Aufl. Berlin: Springer Spektrum; 2019
- [6] NAEMT, Hrsg. Praktisches Traumamanagement. Prehospital trauma life support (PHTLS). 3. Aufl. München: Elsevier; 2016
- [7] Schmitt K-U, Niederer PF, Cronin DS et al. Trauma-Biomechanik. Einführung in die Biomechanik von Verletzungen. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer Vieweg; 2020
- [8] Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. Im Internet (Stand: 13.09.2021): https://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2016-07.pdf
- [9] DIN EN 1177:2018-03, Stoßdämpfende Spielplatzböden – Prüfverfahren zur Bestimmung der Stoßdämpfung; Deutsche Fassung EN_1177:2018. Berlin: Beuth Verlag GmbH doi:10.31030/2743356
- [10] Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Leitlinie Risikobeurteilung von Arbeiten mit Absturzgefahr bei Verwendung von PSA gegen Absturz bzw. PSA zum Retten aus Höhen und Tiefen (Beispielsammlung). Im Internet (Stand: 13.09.2021): https://www.dguv.de/medien/fb-psa/de/regelwerk/leitlinien/praeveit_risiko.pdf
- [11] Böhme M. Potenziale passiver Sicherheit in Frontalcrashes. Kopfbelastungen bei geringer und Vorderwagenoptimierung für große Überdeckung. AutoUni – Schriftenreihe. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 2020
- [12] Johannsen H. Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. Grundlagen der Unfallaufklärung. ATZ/MTZ-Fachbuch. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2013. doi:10.1007/978-3-658-01594-7
- [13] Gouveia E, Melo R, Amorim P et al. Clinical aspects and present challenges of the seat belt aorta. J Vasc Surg 2020; 72: 995–1004. doi:10.1016/j.jvs.2019.11.038
- [14] Shreffler J, Smiley A, Schultz M et al. Patients with Abrasion or Ecchymosis Seat Belt Sign Have High Risk for Abdominal Injury, but Initial Computed Tomography is 100% Sensitive. J Emerg Med 2020; 59: 491–498. doi:10.1016/j.jemermed.2020.06.057
- [15] Gather A, Grützner PA, Münzberg M. Polytrauma im Alter – Erkenntnisse aus dem TraumaRegister DGU. Chirurg 2019; 90: 791–794. doi:10.1007/s00104-019-01019-3

- [16] Kalbas Y, Lempert M, Ziegenhain F et al. A retrospective cohort study of 27049 polytraumatized patients age 60 and above: identifying changes over 16 years. *Eur Geriatr Med* 2021; 374: 1196 doi:10.1007/s41999-021-00546-9

Bibliografie

retten 2021; 10: 342–351

DOI 10.1055/a-1214-1055

ISSN 2193-2387

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany



Punkte sammeln auf CEE.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar.
Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://eref.thieme.de/cxfcxy>.
Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/cxfcxy> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.



Frage 1

Welche Aussage zur Traumakinetik ist richtig?

- A Die Traumakinetik befasst sich mit der Bewegung von Körpern mitsamt den einwirkenden Kräften vor und während der Entstehung des Traumas.
- B Die Traumakinetik befasst sich mit der Bewegung von Körpern ohne Berücksichtigung der wirkenden Kräfte vor und während der Entstehung des Traumas.
- C Die Traumakinetik wird nur zur Beschreibung von Hochrasanztraumen benötigt.
- D Die Traumakinetik muss zur Entdeckung möglicher Verletzungsmuster bei internistischen Notfällen genutzt werden.
- E Die Beurteilung der Traumakinetik hat vor der Patientenbeurteilung immer Priorität.

Frage 2

Bei einem Frontalzusammenstoß...

- A spielt das Wechselwirkungsgesetz hinsichtlich der Verletzungen der Pkw-Insassen keine Rolle.
- B ist die Mortalität geringer als bei Seitenaufprällen.
- C zeigen die Impulse der Fahrzeuge in die gleiche Richtung und führen beim Patienten dadurch zu einem Schleudertrauma.
- D kommt es zu einer großen Geschwindigkeitsänderung beider Fahrzeuge.
- E in einer verkehrsberuhigten Zone handelt es sich immer um ein Hochrasanztrauma.

Frage 3

Bei welchem Ereignis können Sie von einem Hochrasanztrauma ausgehen?

- A Ein Jugendlicher ist beim Kippen mit dem Stuhl umgekippt.
- B Ein Kind ist auf einem Spielplatz von einer Kletterwand gefallen.
- C Ein Lkw-Fahrer hat an einer Ampel beim Rechtsabbiegen einen Radfahrer übersehen.
- D Seitenaufprall zweier Fahrzeuge nach Vorfahrtmissachtung innerhalb einer geschlossenen Ortschaft.
- E Ein Profirennradfahrer stürzt außerhalb geschlossener Ortschaften ohne Helm.

Frage 4

Ein 25-jähriger Patient ist nach einem Verkehrsunfall bewusstlos. Welches Ereignis führt nur mit geringer Wahrscheinlichkeit zur anhaltenden Bewusstlosigkeit?

- A Frontalzusammenstoß zweier Pkw mit erkennbarer spinnwebartiger Berstung der Windschutzscheibe.
- B Heckaufprall mit richtig angeschnallten Insassen.
- C Fahrerseitiger Seitenaufprall mit 90 km/h des gegnerischen Fahrzeugs. Patient war der Fahrer.
- D Überschlagunfall auf einer Autobahn.
- E Patient wurde nach einem Frontalzusammenstoß aus dem Pkw geschleudert.

Frage 5

Sie werden als RTW-Besatzung zu einem Verkehrsunfall auf eine Landstraße gerufen, bei dem ein Kleinbus mit 5 Insassen auf der Beifahrerseite mit einem Baum kollidiert ist. Massive Deformationen auf der Beifahrerseite sind zu erkennen, und das Fahrzeug scheint sich nach dem Aufprall um 75° um den Baum gedreht zu haben. Die Airbags auf der Fahrer- und Beifahrerseite wurden ausgelöst. Welcher Insasse hatte bei dem Aufprall das geringste Verletzungsrisiko? Es wird vorausgesetzt, dass alle Insassen mit dem Drei-Punkt-Gurt gesichert waren.

- A Fahrer
- B Beifahrer
- C Fahrgast hinter dem Fahrer auf der vorderen Sitzbank
- D Fahrgast hinter dem Fahrer auf der hinteren Sitzbank
- E Fahrgast auf dem mittleren Sitz auf der hinteren Sitzbank

Frage 6

Welcher mathematische Zusammenhang gibt die kinetische Energie oder Bewegungsenergie an?

- A $E = m \cdot a$
- B $E = F \cdot \Delta t$
- C $E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
- D $E = m \cdot g \cdot h$
- E $E = U \cdot I$

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite...

Frage 7

Bis zu welcher der angegebenen Abbremsgeschwindigkeiten bei einem Verkehrsunfall kann der Drei-Punkt-Gurt allein noch einen Schutz vor schweren Verletzungen bieten?

- A 30 km/h
- B 50 km/h
- C 70 km/h
- D 90 km/h
- E 100 km/h

Frage 8

Welche Aussage ist richtig?

- A Die Masse eines Fahrzeugs spielt für die wirkenden Kräfte bei einem Verkehrsunfall keine Rolle.
- B Ändert ein Fahrzeug seine Geschwindigkeit von 40 km/h auf 80 km/h, dann verdoppelt sich seine kinetische Energie.
- C Ändert ein Fahrzeug seine Geschwindigkeit von 40 km/h auf 80 km/h, dann vervierfacht sich seine kinetische Energie.
- D Physikalische Arbeit wird auch Kraft genannt.
- E Der Impuls eines Fahrzeugs ist nicht von seiner Geschwindigkeit abhängig.

Frage 9

Welche physikalische Größe kann bei der Bewertung eines Traumas vernachlässigt werden?

- A Kinetische Energie
- B Kraft
- C Impuls
- D Geschwindigkeit
- E Frequenz

Frage 10

Bei welcher Altersgruppe ist nach einem Hochrasanztrauma mit häufigen Komplikationen zu rechnen?

- A >60 Jahre
- B <15 Jahre
- C 30 Jahre
- D 40 Jahre
- E alle Altersgruppen sind gleich zu betrachten