

11 Schuss-, Stich- und Explosionsverletzungen

Carsten Hackenbroch, Klaus Efinger

Verletzungen durch Waffengewalt (Schuss- und Stichwaffen) sowie durch Explosionen sind in Deutschland – bislang – selten. Ihre Bedeutung wird durch das verstärkte außenpolitische Engagement Deutschlands zunehmen, nicht nur „abstrakt“ im Rahmen von Auslandseinsätzen und humanitären Kampagnen, sondern auch zunehmend greifbar durch ein erhöhtes Risiko asymmetrischer, z. B. terroristischer Angriffe. Dabei erfordern auch diese Verletzungen ein Grundverständnis des Pathomechanismus der stattgehabten Krafteinwirkung mit den daraus resultierenden spezifischen Verletzungsmustern.

11.1 Diagnostik

Eine schnelle und zielgerichtete radiologische Diagnostik ist ein essenzieller Pfeiler der Professionalität des Schockraumteams und mitentscheidend für das Outcome der Patienten. Die moderne MDCT bietet die besten Bedingungen für eine effiziente Diagnostik und sollte bei solchen Verletzungen großzügig eingesetzt werden. Während Perforationsverletzungen früher eine ausgedehnte explorative Operation bedingten, kann heute mithilfe der CT-Diagnostik eine sehr genaue Einschätzung der erlittenen Schäden erfolgen, insbesondere bei Gefäßverletzungen oder vital bedrohlichen Blutungen. Darüber hinaus können mittels Schnittbildgebung inkorporierte Fremdkörper (Projektile, Schrapnelle usw.) und deren Bezie-

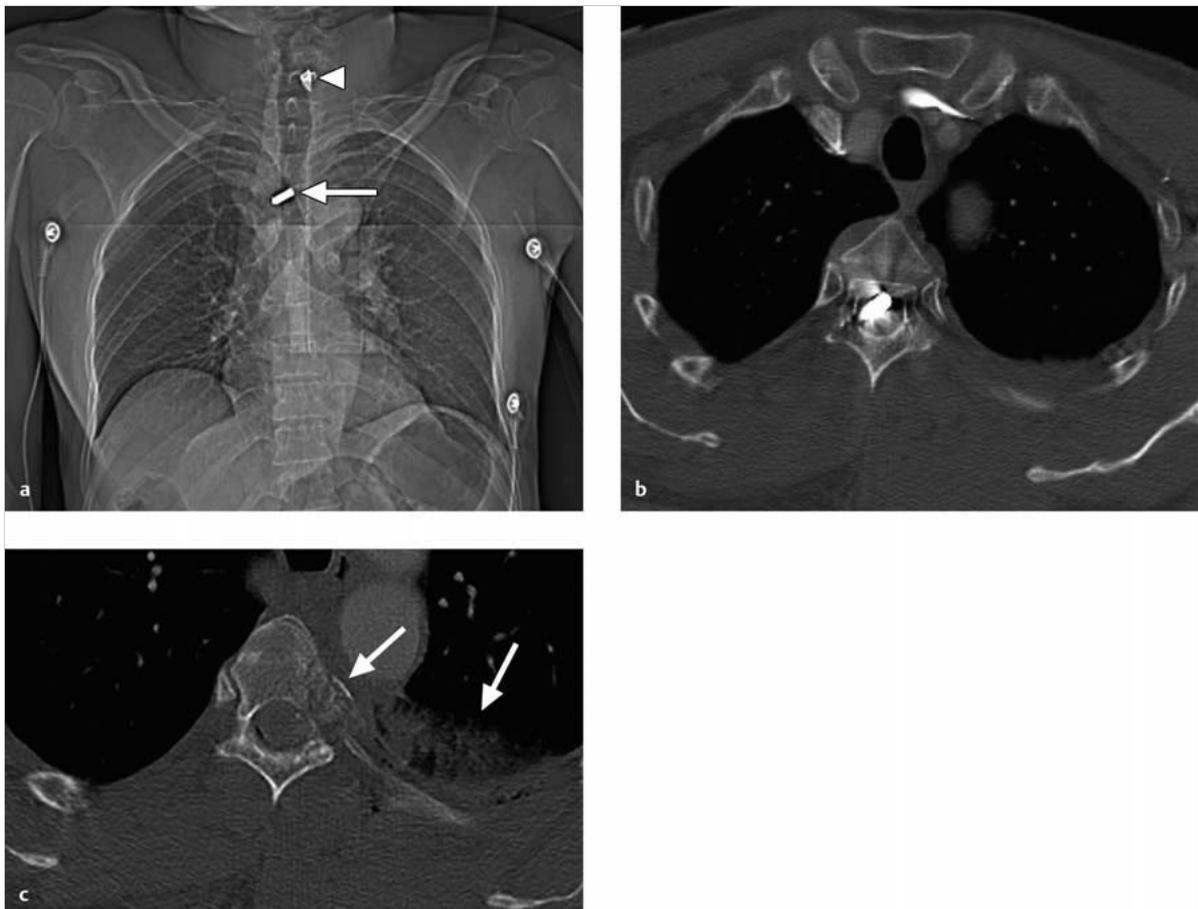


Abb. 11.1 Schnittbilddarstellung von Projektilfragmenten und Geschosskanal. Etwa 30-jähriger Mann mit Schussverletzung.

- a** Im Topogramm ist in Projektion auf BWK 4 ein nicht fragmentiertes Geschossprojektile zu erkennen (Pfeil). In Projektion auf HWK 7 Fragment eines Metallfremdkörpers (Pfeilspitze).
- b** Die transversale CT-Schicht auf Höhe von BWK 4 zeigt die intraspinal Lage des Projektils.
- c** Einige Schichten weiter kaudal stellt das CT eindrücklich den Geschossverlauf durch die dorsale Lunge und die Wirbelfraktur am Eintrittsort des Projektils in den Spinalkanal (Pfeile) dar.

hung zu Gefäßen und neurovaskulären Strukturen genau lokalisiert werden (► Abb. 11.1).

Im Rahmen eines Massenanfalls von Verwundeten wird das CT jedoch schnell zum Nadelöhr, sodass die konventionelle Röntgenbildgebung und insbesondere auch die Sonografie in dieser Situation einen wichtigen Stellenwert haben.

Praxistipp



Nummerierung der Patienten bei Massenanfall von Verwundeten

Bei einem Massenanfall von Verwundeten sind die Identitäten anfangs oft nicht bekannt. Es empfiehlt sich dann die Nummerierung der Patienten, z. B. mit „MANV-001“ – MANV: Massenanfall von Verletzten (► Abb. 11.2). Die sorgfältige Dokumentation und die enge Rückkopplung mit den Weiterbehandlern zum späteren Datenabgleich ist in solchen Fällen essenziell, da sich die Bilder sonst später nicht mehr dem richtigen Patienten zuordnen lassen. Dies stellt bisweilen eine große Herausforderung für das radiologische Team dar. Dass dies nicht immer gelingt, zeigt die fehlerhafte Seitenbeschriftung in ► Abb. 11.2.

11.2 Schussverletzungen

11.2.1 Schusswaffen und Projektile

Schusswaffen werden eingeteilt in Langfeuerwaffen (mit einer Gesamtlänge von mehr als 60 cm, z. B. Gewehre) und Kurzfeuerwaffen (mit einer Gesamtlänge von bis zu 60 cm, z. B. Pistolen). Die maximale Mündungsgeschwindigkeit am Laufende ist abhängig von der Art der verwendeten Treibladung und von der Länge des Laufes. Je länger ein Lauf ist, desto länger ist die Beschleunigungsstrecke des Projektils im Lauf und desto höher ist somit dessen Endgeschwindigkeit. Die Mündungsgeschwindigkeit eines modernen Sturmgewehrs mit NATO-Standardmunition (Kaliber 5,56 × 45 mm) beträgt ca. 920 m/s, die einer Pistole ca. 340 m/s und die eines Luftgewehrs ca. 150 m/s. Ein längliches Geschoss, wie es bei modernen Waffen verwendet wird, wird durch spiralförmige Rillen, sog. Züge, im Lauf in Rotation versetzt und somit drallstabilisiert. Ein längerer Lauf führt zu einer stabileren Geschosslage und verbessert somit Reichweite und Treffgenauigkeit. Im angloamerikanischen Sprachgebrauch werden Waffen abhängig von ihrer Mündungsgeschwindigkeit häufig in High Velocity Weapons (Mündungsgeschwindigkeit über 600 m/s) und Low Velocity Weapons (weniger als 600 m/s) eingeteilt, evtl. auch zusätzlich in Intermediate Velocity Weapons (350–600 m/s). Die Einteilung ist allerdings nicht standardisiert, die Literatur dementsprechend inkongruent.



Abb. 11.2 Metallfragmente in Projektion auf die Leisten- bzw. Glutäalregion bei einem Massenanfall von Verletzten. Identifikation des Patienten über ein Nummernsystem bei fehlender Identität. Fehlerhafte Seitenbeschriftung als Zeichen eines Fahrlässigkeitsfehlers bei Massenanfall. Die Ressourcen des CT waren durch andere Patienten belegt, deshalb wurde aufgrund einer sichtbaren inguinalen Weichteilverletzung zunächst eine konventionelle Aufnahme angefertigt, die mehrere Metallfragmente zeigt.

Entscheidend für die Wirkung eines Projektils auf das Ziel ist die übertragene Energie. Die Geschosskinetik wird durch folgende Formel beschrieben:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \times v^2$$

mit

E_{kin} = kinetische Energie

m = Geschossmasse

v = Auftreffgeschwindigkeit

Eine Verdoppelung der Auftreffgeschwindigkeit führt demnach zu einer Vervierfachung der kinetischen Energie. Ein kleinkalibriges, leichtes Geschoss kann also bei hoher Geschwindigkeit auch zu schweren Gewebeschäden führen. Kinetische Energie verschiedener Geschosse:

- **Pistolenmunition (9 mm):** Masse 8 g, E_0 490 J
- **Munition eines kleinkalibrigen Sturmgewehrs (5,56 mm):** Masse 4 g, E_0 1700 J
- **Munition eines großkalibrigen Sturmgewehrs (7,62 mm):** Masse 9,5 g, E_0 3270 J

Darüber hinaus ist die Wirkung im Ziel stark abhängig von der Projektzilzusammensetzung. Geschosse bestehen in der Regel aus einem dichten, schweren Metall im Inne-

ren (meist Blei), um die Geschossmasse zu erhöhen, und einem äußeren Mantel aus einem harten Material (Stahl, Kupfer), damit das Geschoss den hohen Beanspruchungen beim Abfeuern widersteht. Zusammensetzung von Geschossprojektilen:

- **Vollgeschosse:** Vollgeschosse bestehen vollständig aus dem gleichen Material und werden z. B. bei Luftgewehren oder als Ladung von Schrotmunition benutzt.

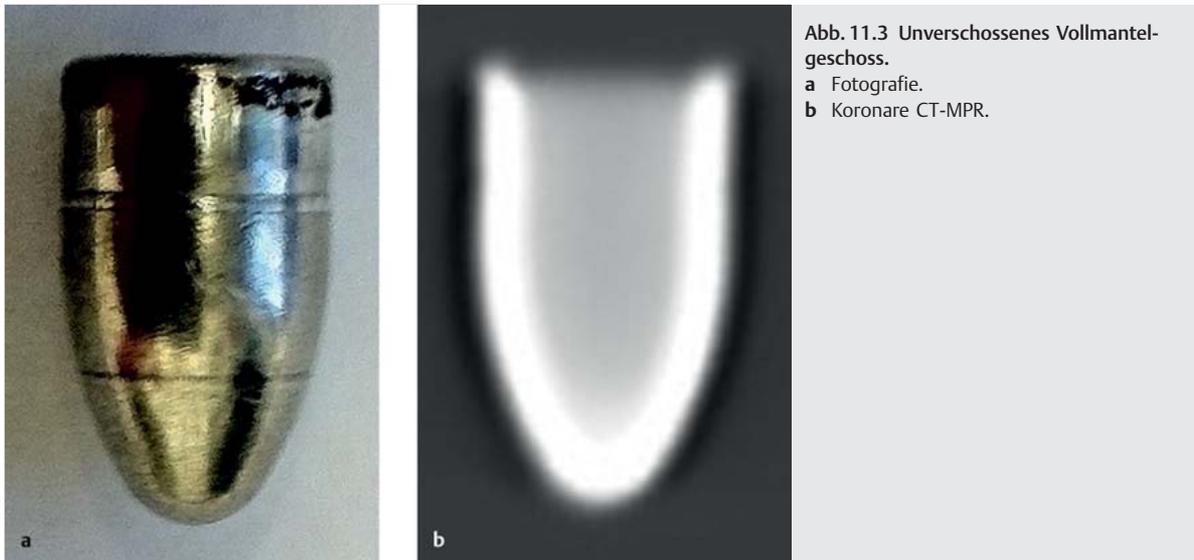


Abb. 11.3 Unverschossenes Vollmantelgeschoss.

- a Fotografie.
- b Koronare CT-MPR.



Abb. 11.4 Schussverletzung durch Vollmantelgeschoss. Für die initiale Untersuchung stand kein CT zur Verfügung. Die konventionelle Aufnahme zeigt ein nicht deformiertes oder fragmentiertes Vollmantelgeschoss.

- a Sagittal.
- b Frontal.

- **Vollmantelgeschosse** (► Abb. 11.3, ► Abb. 11.4 und ► Abb. 11.5): Vollmantelgeschosse gehören zu den formstabilen Geschossen und sind komplett von einem äußeren Mantel bedeckt (ggf. an der Basis offen). Dieser hält das Geschoss in einer stabilen Form und soll eine Fragmentation bzw. Zersplitterung verhindern. Gemäß der Haager Landkriegsordnung von 1899 werden militärisch nur Vollmantelgeschosse verwendet. Auch Vollmantelgeschosse können fragmentieren, insbesondere wenn sie bei hohen Geschwindigkeiten auf harte Strukturen wie Knochen treffen und die Auftreffgeschwindigkeit im Ziel über 800 m/s liegt. Unter 600 m/s tritt in

der Regel keine Zerlegung auf, es sei denn, es handelt sich um mindere Herstellungsqualität.

- **Teilmantelgeschosse** (► Abb. 11.6): Bei Teilmantelgeschossen fehlt die Ummantelung der Geschosspitze, der Bleikern liegt dort frei. Die Spitze kann abgeflacht sein, eine Aushöhlung aufweisen oder aus einem Polymer bestehen (sog. Hohlspitzengeschoss). Teilmantelgeschosse können weiter unterteilt werden in Projektile, die nach dem Auftreffen im Ziel aufpilzen, aber in einem Stück bleiben (Deformationsgeschosse), und Projektile, die in viele kleinere Stücke fragmentieren (Zerlegergeschosse). Durch die Deformation des Geschosses

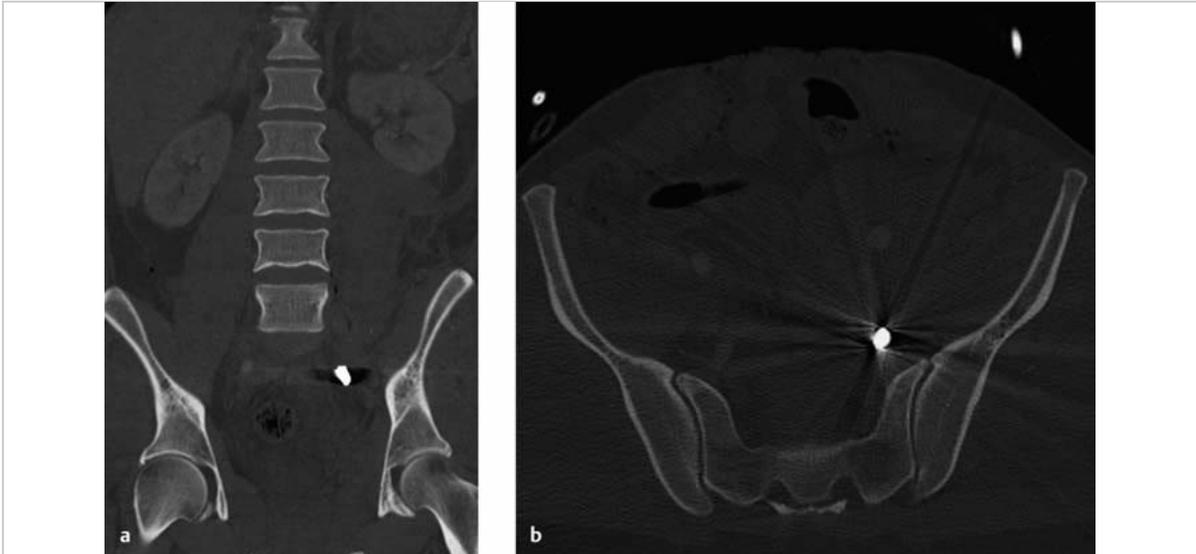


Abb. 11.5 Nicht fragmentiertes Projektil nach Bauchschuss. Das CT zeigt nicht nur die Lage des Projektils, sondern auch ein im Knochenfenster erkennbares großes retroperitoneales Hämatom.

- a Koronare Schicht.
- b Axiale Schicht.



Abb. 11.6 Unverschossenes Teilmantelgeschoss mit Polymerspitze.

- a Fotografie.
- b Koronare CT-MPR.

vergrößert sich die Kontaktfläche. Dies führt zu einer höheren Energieabgabe in einem kleineren Volumen und die Stoppwirkung erhöht sich. Das wird z. B. auch bei Polizeimunition genutzt. Zerlegergeschosse führen zu einer noch stärkeren Wirkung im Ziel und zu schwereren Verletzungen, die einen schnellen Tod des getroffenen Tieres in der Jagd bewirken sollen.

11.2.2 Wirkung im Ziel und Wundballistik

Die Endballistik beschreibt das Verhalten des Geschosses im getroffenen Körper, die entsprechenden Gewebeschäden werden durch die Wundballistik (einen Teilbereich der Endballistik) beschrieben.

Merke

Die Haut wird etwa ab einer Geschwindigkeit von 50 m/s perforiert (Grenzgeschwindigkeit der Haut), Knochenbrüche treten ab etwa 65 m/s auf.

M!

In der Theorie unterteilt man Schussverletzungen in Hochgeschwindigkeitsverletzungen (Auftreffgeschwindigkeit des Geschosses über 600–650 m/s) und Niedriggeschwindigkeitsverletzungen (weniger als 600–650 m/s). Dringt ein Geschoss in einen Körper ein, gibt es seine Energie an diesen ab. Bei einem Steckschuss wird die gesamte Energie abgegeben (► Abb. 11.7), bei einem Durchschuss verfügt das Geschoss noch über genügend Energie, den Körper auf der Gegenseite wieder zu verlassen. Je größer die Querschnittsfläche eines Geschosses, umso schneller gibt es seine Energie ab. Daher sind neben der Auftreffgeschwindigkeit und der Geschossform vor allem das Deformationsverhalten, die Zerlegermöglichkeit und das Taumelverhalten im Körper entscheidend.

Tritt das Geschoss in einen Körper ein, bildet sich ein schmaler Schusskanal, der nur wenig mehr als das Geschosskaliber weit ist (sog. Narrow Channel; ► Abb. 11.8). Abhängig ist dies von der Geschossform bzw. -konstruktion, der Auftreffgeschwindigkeit und dem Gewebewiderstand. Bei Vollmantelgeschossen kann er sehr lang sein (10–15 cm), bei Deformations- und Zerlegergeschossen deutlich kürzer (einige Millimeter bis wenige Zentimeter). Danach beginnt eine Taumelbewegung des Geschosses. Die aerodynamische Form eines Langgeschosses bedingt eine größere Masse am Geschossboden. Nach dem Auftreffen auf das Ziel verliert das Geschoss seine Rotationsstabilität, das schwerere Geschossende dreht nach vorn. Dies erklärt, warum Geschosse oftmals mit ihrer Spitze entgegen der Schussrichtung zu liegen kommen. Während der Drehung kommt es aufgrund des vergrößerten Querschnitts zu einer noch höheren Energieabgabe an das umgebende Gewebe. Das Gewebe, das unmittelbar durch den Geschossverlauf im Körper ge-

schädigt wird, ist die sog. permanente Wundhöhle. Die darüber hinausreichende temporäre Wundhöhle entsteht durch die hohe Energieabgabe an das umgebende Gewebe, das dadurch nach radial verdrängt wird. Abhängig von der Gewebeelastizität der betroffenen Organe kehrt es wieder in seine Ausgangslage zurück. Diese Veränderung besteht nur für wenige Millisekunden. Sie kommt bei allen Geschossverletzungen vor, spielt im Regelfall aber nur bei Hochgeschwindigkeitsgeschossen eine relevante Rolle. Ist das beteiligte Gewebe elastisch genug, der Bewegung zu folgen (z. B. Lunge und Muskel), können strukturelle Gewebeschäden ausbleiben. Rigide Organe wie Knochen und Leber erleiden dagegen bleibende Gewebeschäden. Je stärker und abrupter die Energieübertragung und je rigider das umgebende Gewebe, umso stärker ist die Schädigung. Der irreversibel geschädigte Gewebeanteil wird dann der permanenten Wundhöhle zugerechnet. Dem Geschoss eilt innerhalb des getroffenen Körpers eine Schalldruckwelle voraus, die Spitzendrücke von über 100 bar erreichen kann. Da sie nur wenige Millisekunden besteht und eine geringe Amplitude aufweist, kommt es hierdurch zu keinen relevanten Gewebeschäden.

Merke

Für den Radiologen bedeutet dies, dass er nicht nur die unmittelbare Umgebung des vermuteten Schussverlaufs dediziert betrachten, sondern auch davon entfernt nach Umgebungsverletzungen fahnden muss. Dies gilt z. B. für subtile Gefäßverletzungen wie Wandhämatome oder fokale Dissektionen bei primär rein muskulär imponierenden Extremitätenverletzungen, aber auch für Nervenschäden.

M!

Auch wenn militärische Hochgeschwindigkeitsgeschosse prinzipiell so ausgelegt sind, dass sie nicht fragmentieren, kann beim Auftreffen auf Knochen die Energieabgabe so hoch sein, dass sich das Geschoss zerlegt, insbesondere auf geringe Distanz. Die Fragmente können dann wiederum selbst weiteres Gewebe schädigen. Außerdem entstehen multiple kleine Knochenfragmente, die als sog. sekundäre Geschosse weitere Gewebeschäden hervorrufen (► Abb. 11.9).

Schädigungen von flüssigkeitshaltigen Organen wie der Harnblase oder des Magens bereiten insbesondere dann Probleme, wenn sie prall gefüllt sind. Aufgrund der fehlenden Kompressibilität der Flüssigkeit kommt es dadurch häufig zu einer explosionsartigen Zerreißen des Organs – die Schädigung eines großen Blutgefäßes kann einen ähnlichen Effekt hervorrufen. Ist das Organ zumindest teilweise mit Luft gefüllt, gehen solche Treffer wesentlich glimpflicher aus, da die komprimierbare Luft viel Energie abfängt.

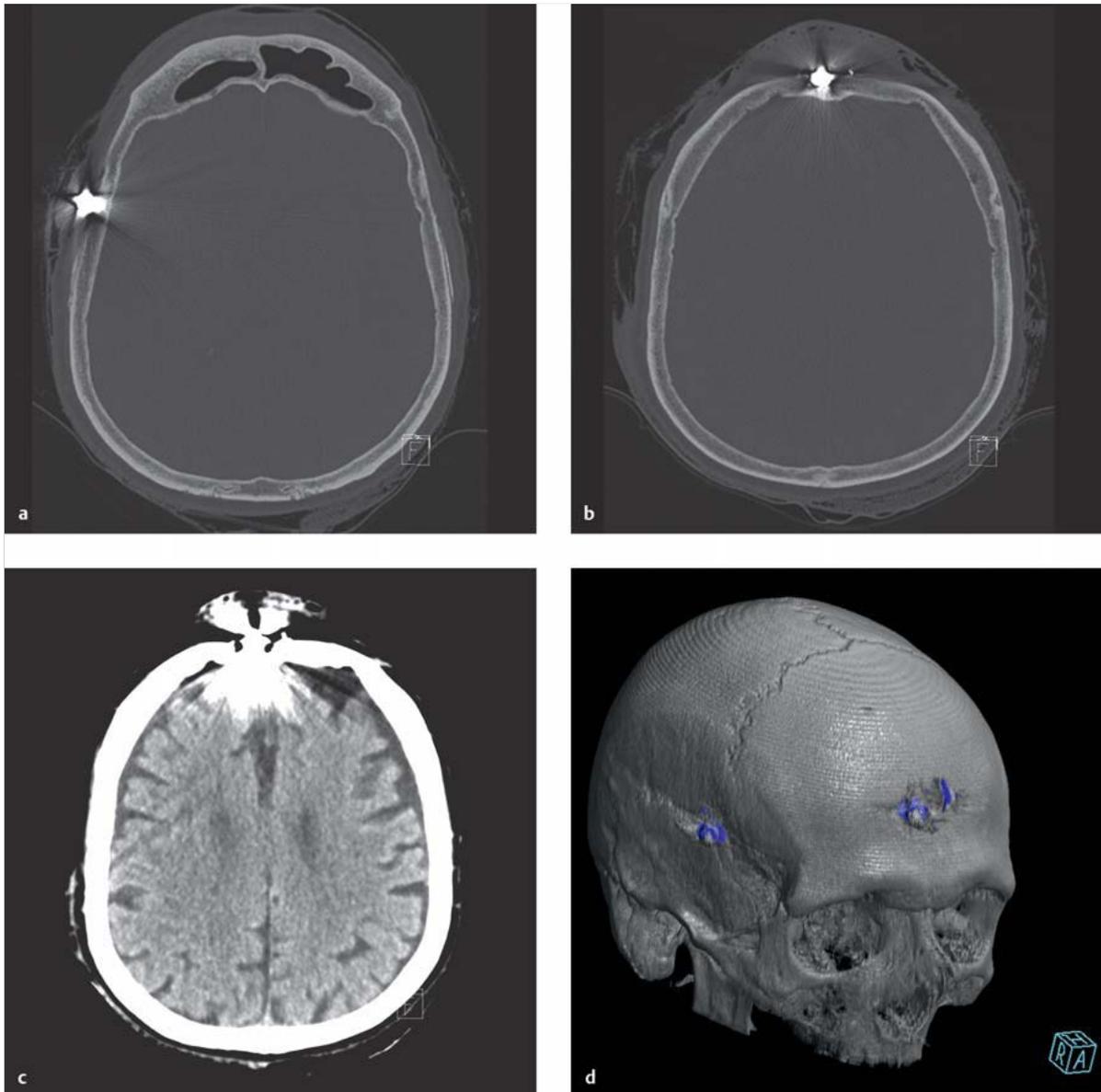


Abb. 11.7 Kopfsteckschuss. Der Patient wurde von 2 Projektilen getroffen, die nicht defragmentierten.

a CT, Knochenfenster. Rechtstemporal ist die Kalotte intakt geblieben.

b CT, Knochenfenster. Frontal ist es zu einer Impressionsfraktur der Kalotte gekommen. Die Artefakte des Projektils lassen keine Aussage über eine kleinere intrakranielle Blutung oder Parenchymschädigung zu.

c CT, Weichteilfenster.

d VRT-Reformation.

Ebenso fängt lufthaltiges Lungengewebe aufgrund seiner hohen Elastizität viel Energie ab. Dadurch fällt die Wundhöhle kleiner aus als bei anderen Geweben. Ist jedoch Knochen (Rippen, Skapula) mitbeteiligt, verstärkt dies den Energieübertrag auf das angrenzende Lungengewebe. Wichtigste Faktoren bei Lungenverletzungen sind die beeinträchtigte Atmung durch einen entstehenden Pneumothorax bzw. Spannungspneumothorax und

die oft mitbeteiligten großen thorakalen Gefäße (► Abb. 11.10).

Gerade bei Niedriggeschwindigkeitsgeschossen (z. B. Pistolenmunition) kann es vorkommen, dass diese die Haut durchdringen, nicht jedoch die Energie haben, die angrenzende Muskelfaszie zu penetrieren. Sie verlaufen dann subkutan durch das wesentlich widerstandsärmere Fettgewebe und können so an Orten zu liegen kommen, die weit vom eigentlichen Eintrittspunkt entfernt sind.

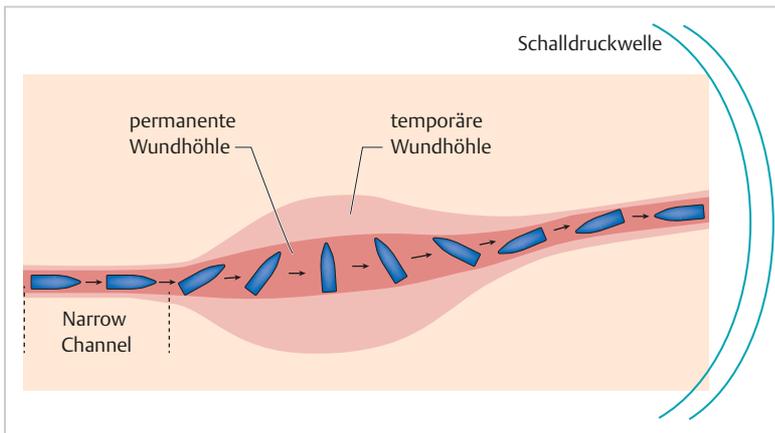


Abb. 11.8 Wundhöhle bei Schussverletzung.

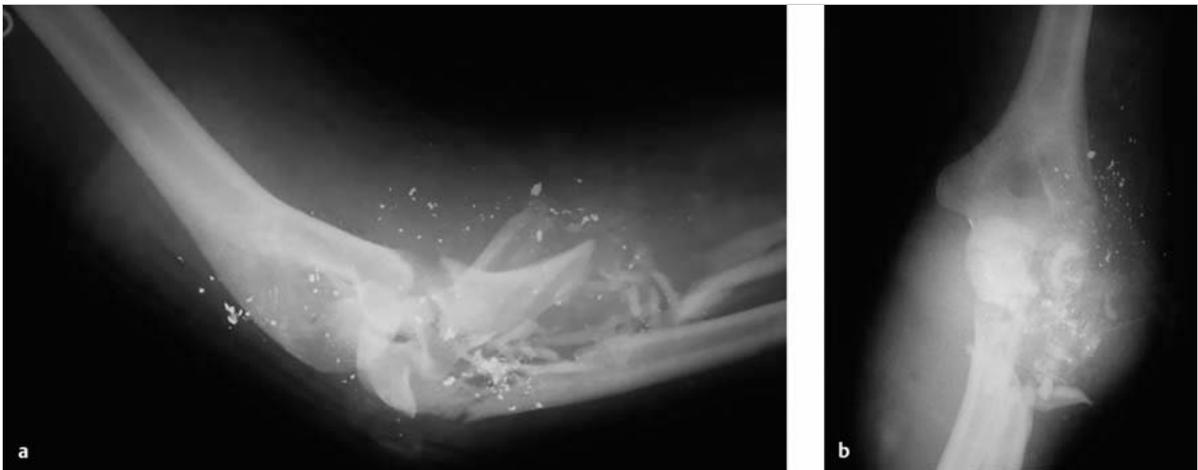


Abb. 11.9 Schussverletzung mit einem Hochgeschwindigkeitsgeschoss auf kurze Distanz. Das Projektil fragmentierte nach dem Auftreffen auf den Knochen in multiple kleine Bruchstücke. Der Knochen frakturierte ebenfalls in zahlreiche kleine Fragmente. Die Partikel liegen in einem typischen divergierenden Muster radialseits, d. h., der Schuss kam von ulnar. Der Begriff des „Lead Snowstorm“ ist zwar eigentlich den fragmentierenden Bleiprojektilen vorbehalten, ist in diesem Fall aber ebenfalls passend.

- a Röntgenaufnahme in Behelfstechnik, seitliche Projektion.
- b Röntgenaufnahme in Behelfstechnik, a.-p. Projektion.

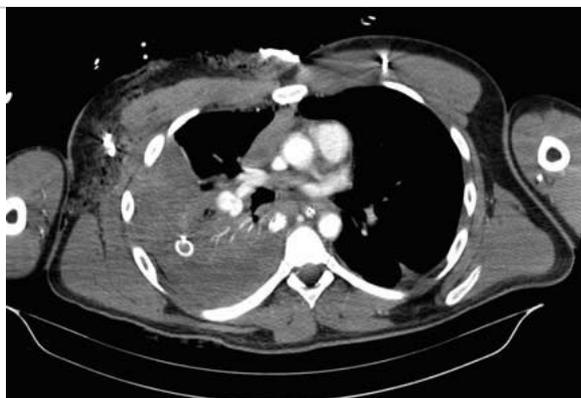


Abb. 11.10 Thoraxschussverletzung. Mehrere Projektiltreffer auf die rechte ventrale Thoraxwand. Keine perforierende Lungenverletzung. Massiver Hämato-pneumothorax rechts durch indirekte Trefferwirkung.

11.2.3 Diagnostik

Der Eintrittspunkt der Schussverletzung ist meist sehr klein, oft nur so groß wie das Geschosskaliber. Der Austrittspunkt (sofern er existiert) ist dagegen deutlich größer, bedingt durch die Geschossrotation und -deformation. Radiologisch ist der Eintrittspunkt im CT nicht oder nur schwierig abzugrenzen, die Lokalisation des Austrittspunkts fällt etwas leichter (► Abb. 11.11).

Praxistipp



Markierung von Geschosseintritts- und -austrittspunkt

Nach eigener Erfahrung der Autoren bietet es sich an, vor einem CT-Scan den Ein- und Austrittspunkt z. B. durch EKG-Kleber oder sonstige Materialien zu markieren, um so den Schussverlauf im Körper besser nachvollziehen zu können.

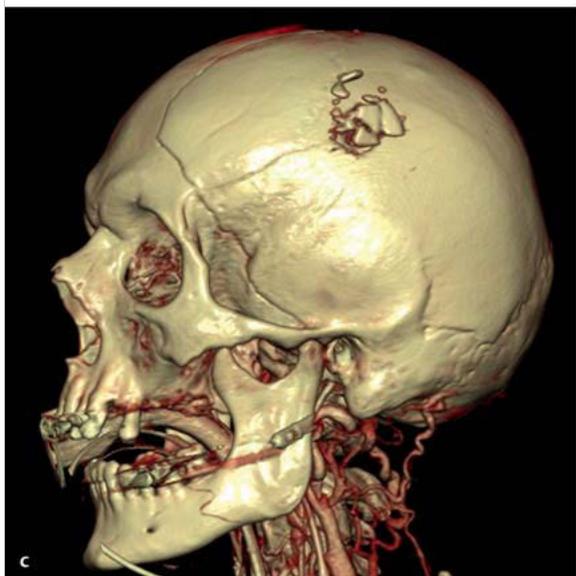
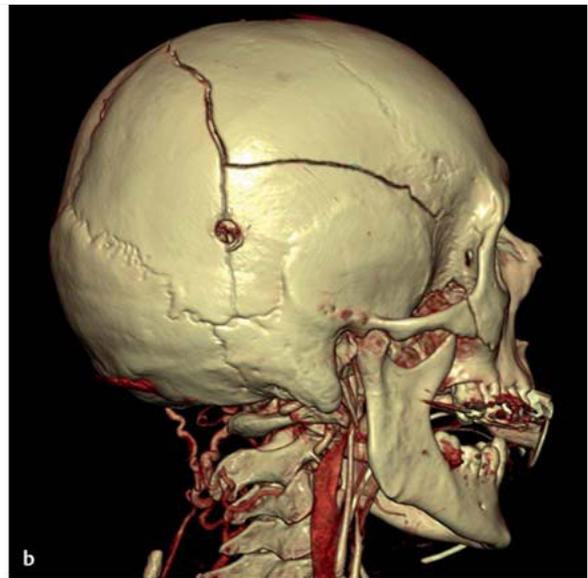


Abb. 11.11 Kraniale Schussverletzung.

- a Die koronare Weichteilreformation zeigt die eingeblutete permanente Wundhöhle (Pfeile). Zusätzlich finden sich eine intraventrikuläre Blutung und ein Subduralhämatom im Interhemisphärenspalt. Die Schussrichtung von rechtskaudal nach linkskranial ist anhand der im Verlauf des Schusskanals liegenden Knochenfragmente gut nachvollziehbar. Dies sollte im Befund auch so dokumentiert werden.
- b VRT der Einschussseite. Kleine Eintrittsöffnung, begleitende Kalottenfraktur.
- c VRT der Ausschussseite. Der Defekt ist etwas größer als der auf der Eintrittsseite. Gut zu sehen ist die Kalottenfraktur.

Falls eine ergänzende MRT-Untersuchung im Anschluss nötig ist, kann auch dabei die vorhergehende Röntgenuntersuchung behilflich sein. Die Durchführung einer MRT bei ferromagnetischen Projektilen ist aufgrund der Bewegungsmöglichkeit im Magnetfeld kontraindiziert, während das Problem der Erwärmung eher zweitrangig ist. Lediglich wenn ferromagnetisches Material fest eingesprengt ist (im Knochen oder festen Muskel), kann in einer Einzelfallentscheidung ein MRT durchgeführt werden.

Merke



Vor MRT bei einer Schussverletzung immer zunächst eine konventionelle Bildgebung zur Beurteilung eventueller ferromagnetischer Fremdkörper durchführen!

Bei Schussverletzungen durch Schrotflinten sind in der Regel Blei- oder Eisenprojekte eingesprengt. Während Bleiprojektile zur Verformung neigen, behalten Eisenprojekte ihre Form bei. Die Identifizierung von allen anderen inkorporierten Geschossen ist schwierig, daher ist eine enge Kooperation mit den ermittelnden Behörden besonders wichtig. Mit einer Schrotpatrone wird eine große Anzahl (meist mehrere Hundert) millimetergroßer Metallkugeln aus Blei oder Eisen verschossen. Dabei handelt es sich um Vollgeschosse. Aufgrund der schlechten Ballistik mit einem schnellen Geschwindigkeitsverlust und hoher Streuung ist die Einsatzreichweite auf ca. 35–50 m begrenzt. Jedoch ist der Gefährdungsbereich deutlich größer. Treffer aus kürzester Distanz (weniger als 5 m) führen zu schwersten Verletzungen, aufgrund der hohen Energieübertragung mit einer sehr hohen Mortalität von bis zu 90%. Aus größerer Distanz nimmt die Penetrationskraft der Projektile stark ab, über 12–15 m wird meist nur noch die Haut penetriert, ohne tiefergreifende Verletzungen. Gelangen kleine Schrotkugeln in ein größeres Blutgefäß, ist allerdings eine Verschleppung möglich. Arteriell kann eine Embolie einer Extremität auftreten und auch zerebrale Embolisationen sind beschrieben. Venös kann das Geschoss nach kardial bzw. bis in die Pulmonalarterie transportiert werden.

Merke



Verbleiben Bleikugeln im Körper, ist an die Problematik der Intoxikation zu denken.

11.3 Explosionsverletzungen

Eine Explosion ist definiert als die plötzliche Freisetzung großer Energiemengen, in der Regel aufgrund einer chemischen Reaktion (Sprengstoffe, explosionsfähige Aerosole), verbunden mit einem schlagartigen Anstieg von Druck und/oder Temperatur im Umkreis. Charakteristisch für eine Explosion ist die initiale Druckwelle (maximale Druckspitze und Druckdauer entscheidend für die Zerstörungskraft), die sich im Freien nach der Explosion konzentrisch um den Ort der Zündung ausbreitet. Mit zunehmendem Abstand zum Explosionsort verliert die Druckwelle indirekt proportional an Energie. In geschlossenen Räumen kann die Druckwelle mehrfach reflektiert werden und sich überlagern, sodass die Wirkung auf das 2- bis 9-Fache verstärkt werden kann.

Die durch eine Explosion verursachten Verletzungen werden aufgrund unterschiedlicher Verletzungsmechanismen durch die sich ausbreitende Druck- und Hitzewelle in 4 Phasen unterteilt:

- **Primäre Verletzung:** Durch die Explosion kommt es initial zu einer Überdruckwelle (bei Hochexplosivsprengstoffen, auch als Hochgeschwindigkeitsdruckwelle mit Spitzendrücken bis zu mehr als 100 000 bar), gefolgt von einer etwas längeren Unterdruckphase. Durch dieses Barotrauma kommt es zu einer Schädigung luftgefüllter Organe (Ohr mit Trommelfell, Lunge und, seltener, Magen-Darm-Trakt) sowie zu Hirnverletzungen.
- **Sekundäre Verletzung:** Nach der initialen Schockwelle folgt die Verletzung durch umherfliegende Projektile, die entweder von der Explosionsquelle, z. B. des Sprengkörpers, selbst stammen (primäre Fragmente) oder aufgeschleuderte Umgebungsmaterialien, z. B. Steine (sekundäre Projektile), sind. Dadurch kommt es zu penetrierenden oder stumpfen Verletzungen.
- **Tertiäre Verletzung:** Diese Verletzungsart entsteht dadurch, dass das Opfer durch die Druckwelle gegen Gegenstände geschleudert wird (Akzelerations- und Dezelerationstrauma) oder Trümmer das Opfer treffen oder verschütten. Diese Verletzungen sind in der Regel durch stumpfe Traumata geprägt.
- **Quartäre Verletzung:** Darunter werden Verletzungen zusammengefasst, die nicht in die anderen 3 Gruppen eingeordnet werden können. Dazu zählen Verbrennungen, Intoxikationen und Inhalationstraumata, sowohl durch den sog. Blast Wind als auch durch explosionsbedingte Dämpfe. Dies sind in der Regel keine radiologischen Diagnosen.

Merke



Manche Explosionsverletzungen sind Kombinationstraumata aus primären, sekundären oder tertiären Verletzungen wie z. B. Frakturen, traumatische Amputationen oder Schädelverletzungen.

11.3.1 Primäre Verletzungen

Typische primäre Verletzungsmuster umfassen insbesondere Schädigungen luftgefüllter Organe. Trommelfellrupturen sind die häufigsten Verletzungen und dienen auch als Indikatorläsion für stattgehabte Explosionstraumata. Des Weiteren können Gehörknöchelfrakturen und -dislokationen vorkommen. Auch wenn diese Verletzungen in der akuten Phase nicht im Vordergrund stehen, so können sie sehr wohl in einer Dünnschichtuntersuchung des Schädelsknochens im Rahmen einer Polytraumaspirale detektiert werden.

Klinisch in der Akutphase wesentlich bedeutsamer ist das Barotrauma der Lunge. Einrisse der Alveolen bis hin zu ausgedehnten Lungenlazerationen und konsekutiver Einblutung sind die Folge. Durch traumatische alveolovenöse Fisteln kann es zu systemischen Luftembolien kommen. Lungenschäden treten vor allem an der Grenzfläche zwischen Lunge und Mediastinum, in den kostophrenischen Winkeln und in der Peripherie zwischen den Rippen auf. Pneumothoraces, Einblutungen und Pneumatozelen bzw. Lazerationen lassen sich bildmorphologisch abgrenzen. Klinisches Bild des sog. Blast Lung Syndrome sind Husten, Dyspnoe und Hypoxie.

Das Barotrauma des Abdomens ist deutlich seltener und betrifft insbesondere Opfer von Unterwasserexplosionen, z.B. Kampfschwimmer. Durch die Druck- und Scherkräfte kann es zu Wandhämatomen, Kontusionen

und Verletzungen der mesenterialen Gefäße mit entsprechender Darmischämie kommen, die sekundär zu einer verzögerten Darmperforation führen kann.

11.3.2 Sekundäre Verletzungen

Sekundäre Verletzungen entstehen durch umherfliegende Splitter des Sprengsatzes oder versprengte Partikel der unmittelbaren Umgebung und betreffen alle Körperteile, die der Splitterwelle direkt ausgesetzt sind. Bei terroristischen Attacken werden häufig Nägel oder sonstige scharfkantige Objekte im Sprengsatz mitverbaut, um größtmöglichen Schaden anzurichten. Diese verhalten sich ähnlich wie Geschosse (S.353) mit entsprechenden penetrierenden Verletzungen (► Abb. 11.12 und ► Abb. 11.13).

11.3.3 Tertiäre Verletzungen

Tertiäre Verletzungen, die durch das Herumschleudern des Patienten gegen umgebende Gegenstände oder durch einstürzende Gebäudeteile verursacht werden, können alle Körperregionen betreffen und sind vergleichbar mit Verletzungsmustern, wie sie bei Stürzen aus großer Höhe oder bei Verkehrsunfällen mit Fußgängern auftreten. Dabei handelt es sich in der Regel um stumpfe Traumata.

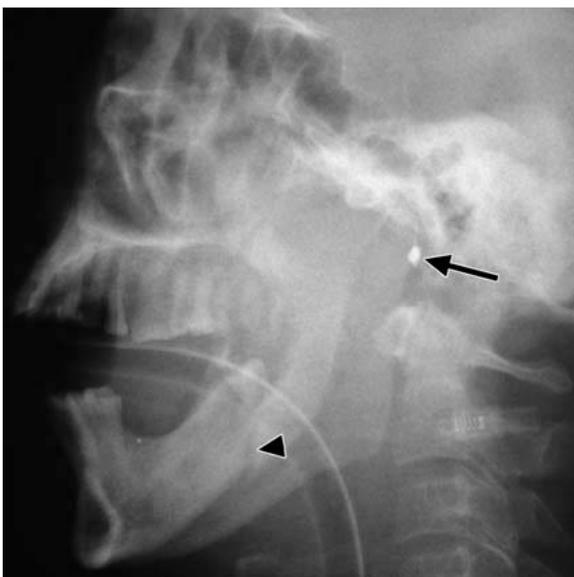


Abb. 11.12 Splitterverletzung nach Anschlag mit einer Sprengfalle. Das Metallfragment ist prävertebräal liegen geblieben (Pfeil), bei der Passage des Unterkiefers ist es zu einer Fraktur gekommen (Pfeilspitze).



Abb. 11.13 Anspregverletzung. Unterschenkelfraktur nach Fixateur-externe-Anlage. Multiple Metallfragmente.

11.3.4 Kombinationsverletzungen

Viele Verletzungen entstehen aufgrund der Kombination mehrerer Phasen oder können nicht weiter differenziert werden. So können z. B. Frakturen der luftgefüllten Nasennebenhöhlen sowohl durch die primäre Druckwelle als auch durch sekundäre oder tertiäre Verletzungen ausgelöst worden sein. Muskuloskeletale Verletzungen sind die am häufigsten durch Explosionen verursachten Läsionen (► Abb. 11.14). Traumatische Amputationen sind dabei die schwersten Formen, die mit einer hohen Mortalität einhergehen.

Merke



Eine schnelle CT-Diagnostik in Kombination mit einer CTA bzw. Split-Bolus-Technik kann innerhalb kürzester Zeit eine umfassende Diagnose bei Explosionstrauma liefern. Vaskuläre Verletzungen und die genaue Splitter- bzw. Fragmentlage eingesprengter Fremdkörper können innerhalb kürzester Zeit geklärt werden. Darüber hinaus bietet die CT den Vorteil, hölzerne und glashaltige Fremdkörper besser zu detektieren, als es die konventionelle Röntgendiagnostik ermöglicht.



Abb. 11.14 Beschleunigungsverletzung nach Auffahren auf ein IED (Improvised explosive Device). Das Fahrzeug blieb im Innenraum ohne schwere Beschädigung. Durch die abrupte Anhebung des Fahrzeugbodens gegen die Beine kam es zur drittgradig offenen Unterschenkelfraktur beidseits.

11.4 Messerstichverletzungen

Stichverletzungen werden zu den niederenergetischen Perforationsverletzungen gezählt. Abhängig von der Stärke, mit der sie ausgeführt werden, reichen sie von oberflächlichen „Ritzern“ bis zu tiefen Weichteilwunden. Die meisten Stichverletzungen sind nicht letal, da sie nur in wenigen Fällen die großen tieferliegenden Gefäße betreffen. Im Gesicht-Hals-Bereich kann es jedoch durch die oberflächliche Lage der zervikalen arteriellen Gefäße deutlich häufiger zu lebensbedrohlichen Verletzungen kommen. In der Vergangenheit bestand das Vorgehen bei Stichverletzungen wie bei allen penetrierenden Wunden häufig in einer explorativen Operation (bedingt durch Erfahrungen aus den Weltkriegen und dem Koreakrieg). Durch die moderne CT-Bildgebung hat sich jedoch mittlerweile ein deutlich konservativeres Regime etabliert. Wichtig ist der Ausschluss von Gefäßverletzungen, der mit der CTA gut gelingt, sowie von relevanten Organverletzungen mit aktiven Blutungen (► Abb. 11.15). Daher sollte eine CT-Untersuchung immer eine arterielle Phase und eine spätere Phase beinhalten und z. B. unter Verwendung einer Split-Bolus-Technik erfolgen.

11.5 Literatur

- [308] da Costa LB, Wallace MC, Montanera W. Shotgun pellet embolization to the posterior cerebral circulation. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006; 27: 261–263
- [309] DiMaio VJ, Copeland AR, Besant-Matthews PE et al. Minimal velocities necessary for perforation of skin by air gun pellets and bullets. *J Forensic Sci* 1982; 27: 894–898
- [310] Frank M, Kneubuehl B, Spranger N et al. Schussbruch. (German). Gunshot-related fractures. (English). *Trauma Berufskrankheit* 2016; 18: 22
- [311] Hinck D, Unkelbach U, Debus E. Schusswaffen- und Explosionsverletzungen der Gefäße. (German). *Vascular injuries from firearms and explosive devices.* (English). *Notfall Rettungsmed* 2017; 20: 332–344
- [312] Ladehof K, Neitzel C, Ladehof K. *Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin.* Berlin: Springer; 2015
- [313] von Lübken F, Holsträter T, Palm HG et al. Schussverletzungen – Diagnostik und Therapie in der Präklinik. *Notarzt* 2017; 33: 120–131
- [314] McCague A, Kelly S, Wong DT. Shotgun pellet embolization to the middle cerebral artery. *Am Surg* 2013; 79: E322–E323
- [315] McDowell MM, Zhu X, Johnson S et al. Shotgun pellet embolization to the posterior cerebral artery. *Childs Nerv Syst* 2016; 32: 1317–1320
- [316] Stein M, Mirvis SE, Wiles CE 3 rd. Delayed embolization of a shotgun pellet from the chest to the middle cerebral artery. *J Trauma* 1995; 39: 1006–1009
- [317] Swan KG, Swan RC. Principles of ballistics applicable to the treatment of gunshot wounds. *Surg Clin North Am* 1991; 71: 221–239
- [318] Tosti R, Rehman S. Surgical management principles of gunshot-related fractures. *Orthop Clin North Am* 2013; 44: 529–540
- [319] Vedelago J, Dick E, Thomas R et al. Look away: arterial and venous intravascular embolisation following shotgun injury. *J Trauma Manag Outcomes* 2014; 8: 19
- [320] Wilson AJ. Gunshot injuries: What does a radiologist need to know? *Radiographics* 1999; 19: 1358–1368