

Die Radiologie im Krieg – Erfahrung aus der Ukraine

Radiology during a war – experience in Ukraine

Autorinnen/Autoren

Nataliia Nehria¹, Yevhenii Nehria², Tymofii Bukharin²

Institute

- 1 Radiology, Imaging centers “MRT plus”, Kyiv, Ukraine
- 2 Endoscopy and Minimally Invasive Surgery, Universal clinic “Oberig”, Kyiv, Ukraine

Keywords

radiobiology, trauma, ultrasound, MR-imaging, CT, conventional radiography

eingereicht 26.11.2023

akzeptiert nach Revision 22.4.2024

Artikel online veröffentlicht 30.10.2024

Bibliografie

Rofo 2025; 197: 145–153

DOI 10.1055/a-2326-7724

ISSN 1438-9029

© 2024, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Oswald-Hesse-Straße 50, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Nataliia Nehria

Radiology, Imaging centers “MRT plus”, Vulytsya Kompozytora Meytusa 5, 02000 Kyiv, Ukraine
n.m.negria@gmail.com

 English version at: <https://doi.org/10.1055/a-2326-7724>.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die Militärradiologie spielt eine entscheidende Rolle in der Militärmedizin, indem sie wesentliche Beiträge zur medizinischen Triage, Diagnose und Behandlung leistet. Moderne sonografische Methoden ermöglichen die schnelle Diagnose lebensbedrohlicher Zustände und erleichtern somit eine prompte medizinische Versorgung sowie periphere Regionalanästhesie. Die Computertomografie wird als unverzichtbares Instrument zur Bestimmung des Verletzungsumfanges, der Planung chirurgischer Eingriffe, der Überwachung im postoperativen Verlauf und retrospektiven Bewertung in Abwesenheit der Möglichkeit zur Durchführung einer Obduktion betrachtet.

Methode Die Militärradiologie sammelt umfassendes Wissen über die Mechanismen von Verletzungen und die Besonderheiten hochenergetischer Traumata. Ukrainische Ärzte, die direkt an der medizinischen Versorgung in verschiedenen

Phasen beteiligt sind, tragen maßgeblich zu diesem Wissensfundament bei. Dieser Beitrag dient dazu, Diagnose und Behandlung zu verbessern und die Überlebensrate der Verwundeten entscheidend zu erhöhen.

Schlussfolgerung Die Militärradiologie spielt eine zentrale Rolle in der effektiven Versorgung von Verletzten und trägt zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der Militärmedizin bei. Die gewonnene Erfahrung bildet die Grundlage für weitere Optimierungen und die Entwicklung dieses bedeutenden medizinischen Bereichs, selbst in Zeiten des Friedens.

Kernaussagen

- Militärradiologie ist unerlässlich für medizinische Triage, Diagnose und Behandlung in der Militärmedizin.
- Sonografische Methoden ermöglichen eine schnelle Diagnose lebensbedrohlicher Zustände und erleichtern die periphere Regionalanästhesie.
- Computertomografie ist ein entscheidendes Instrument zur Bewertung von Verletzungsumfängen und chirurgischer Planung.
- Ukrainische Ärzte tragen maßgeblich zur Akkumulation von Wissen über Verletzungsmechanismen und hochenergetische Traumata bei.
- Die gewonnene Erfahrung bildet die Grundlage für die fortlaufende Verbesserung der Militärradiologie, auch in Zeiten des Friedens.

Zitierweise

- Nehria N, Nehria Y, Bukharin T. Radiology during a war – experience in Ukraine. Rofo 2025; 197: 145–153

ABSTRACT

Background Military radiology, an integral part of military medicine, plays a pivotal role in medical triage, diagnosis, and treatment. Its significance lies in providing timely and accurate assessments in challenging situations.

Method The utilization of contemporary sonographic techniques enables rapid identification of life-threatening conditions, ensuring prompt medical aid and facilitating regional anesthesia. Computed tomography emerges as a critical tool for assessing injury extent, planning surgeries, monitoring postoperative phases, and conducting retrospective evaluations, especially when anatomical dissection is complex.

Conclusion Battlefield radiology not only enhances the understanding of injury mechanisms and battlefield traumas but also contributes significantly to the overall improvement of diagnostic and treatment approaches. Ukrainian doctors

actively engaged in diverse stages of patient care accumulate a wealth of knowledge, substantially elevating the survival rates of wounded individuals. This experience serves as the foundation for ongoing enhancements and the advancement of military radiology, even during periods of peace.

Key Points

- Military radiology is essential in medical triage, diagnosis, and treatment within military contexts.
- Modern sonographic methods enable swift identification of life-threatening conditions.
- Computed tomography is indispensable for assessing injuries, planning surgeries, and conducting retrospective evaluations.
- Ukrainian doctors actively contribute to the knowledge base, improving diagnostic and treatment practices.
- The acquired experience serves as a foundation for ongoing advancements in military radiology, extending its impact beyond wartime scenarios.

Einleitung

Der 28. Dezember 1895 kann als das offizielle Geburtsdatum der Radiologie angesehen werden, da an diesem Tag das Buch mit dem Titel „Über eine neue Art von Strahlen“ von Wilhelm Conrad Röntgen veröffentlicht wurde. Im 19. Jahrhundert entwickelte sich die Wissenschaft rasant, gleichzeitig entwickelte sich das Militärwesen. Die europäischen Armeen führten Feuerwaffen in ihre Bewaffnung ein. Militärchirurgen erkannten die Nützlichkeit der Verwendung einer „neuen Art von Strahlung“ zur Diagnose dieser Verletzungen und veröffentlichten im März 1896 einen Artikel über die Verwendung der Röntgenmethode zur Erkennung von Schussverletzungen. Die Jahre 1897–1898 gelten als die Geburtsjahre der militärischen Radiologie während des territorialen und kolonialen Konflikts zwischen dem Russischen und dem Britischen Empire [1]. Seitdem sind 123 Jahre vergangen. Die Radiologie ist seither ein integraler Bestandteil der Militärmedizin und spielt eine wichtige Rolle nicht nur in der Diagnose, sondern auch im Heilungsprozess.

Die Struktur und Schwere von Kriegsverletzungen sind variabel und hängen von der Art der Bewaffnung und dem Grad der militärtechnischen Systeme ab. Moderne Armeen verfügen über Ausrüstung mit hoher kinetischer Energie und vielfältigen Wirkungen, was wiederum zum Anstieg des Anteils kombinierter Verletzungen führt – beispielsweise führen Minenexplosionen zu einer Kombination aus mechanischen und thermischen Verletzungen [2, 3, 4].

Eine Besonderheit der Kriegsverletzungen im Zuge der russischen Invasion in die Ukraine ist der hohe Anteil multipler und kombinierter Verletzungen. Diese Besonderheit erschwert den Behandlungs- und Evakuierungsprozess der Verwundeten erheblich, erhöht den Bedarf an komplexer chirurgischer Hilfe in relativ kurzer Zeit und erhöht den Prozentsatz der Fehler sowohl in Behandlungs- als auch in organisatorischen Prozessen [2, 3, 5, 6, 7, 8, 9]. Die Zeiträume für die Bereitstellung medizinischer Hilfe beeinflussen die Ergebnisse der Behandlung erheblich. Die Zusammenarbeit zwischen Radiologie und klinischer Medizin ermöglicht ein besseres Verständnis pathologischer Prozesse und verkürzt die Zeiträume für die Bereitstellung medizinischer Hilfe.

Militärmedizinische Radiologie ist ein spezifischer Zweig der Radiologie, der Kenntnisse über den Mechanismus von Verletzungen und Muster hochenergetischer Verletzungen erfordert und derzeit aktiv in Zeiten der russischen Invasion in die Ukraine seit 2014 bis heute entwickelt wird.

Die Phasen der medizinischen Versorgung in Kriegszeiten

Die medizinische Versorgung in Kriegszeiten erfolgt in der Ukraine gemäß den Grundlagen des ukrainischen Gesundheitsrechts in einem 4-stufigen System:

Erste Stufe der medizinischen Versorgung (0,5–15 km hinter der Konfliktlinie, innerhalb der ersten 10–60 Minuten): Diese Stufe umfasst die präklinische und akute Erstversorgung. In diesem Stadium erfolgten Selbsthilfe und die Unterstützung durch Sanitäter und Allgemeinmediziner in mobilen Einheiten. Die Versorgung erfolgt in medizinischen Fahrzeugen. Ultraschall und digitale Röntgenaufnahmen werden auf dieser Ebene verwendet.

Zweite Stufe der medizinischen Versorgung (25–60 km hinter der Konfliktlinie, in 60 Minuten): Auf dieser Ebene wird spezialisierte medizinische Versorgung angeboten. Sie findet in Stabilisierungspunkten und/oder mobilen Krankenhäusern statt. Die Zeit spielt eine entscheidende Rolle für die Erhaltung von Gliedmaßen und das Leben der Verletzten.

Dritte und vierte Stufe der medizinischen Versorgung (200 km und mehr hinter der Konfliktlinie, 12–24 Stunden): Diese Ebenen umfassen tertiäre, hochspezialisierte medizinische Versorgung in stationären Militärkrankenhäusern und spezialisierten Einrichtungen. Die Versorgung erfolgt innerhalb von 12–24 Stunden. Rehabilitation und Palliativversorgung sind Systeme von Behandlungsmaßnahmen, die darauf abzielen, durch Verletzungen beeinträchtigte oder verlorene Funktionen wiederherzustellen, um optimale Bedingungen für die Rückkehr zum normalen Leben, zur Arbeit und zum Militärdienst zu schaffen.

Methoden der Bildgebung

Sonografie

Die Sonografie ist das am häufigsten verwendete radiologische Verfahren bei der Versorgung eines einzelnen Verletzten auf allen Ebenen der Versorgung [2] (► **Abb. 1**). Die Hauptaufgabe der Ultraschalluntersuchung auf den ersten beiden Versorgungsebenen besteht in der Sortierung der Diagnosen lebensbedrohlicher Zustände (► **Abb. 2**). Die Verwendung von schnellen Konzeptprotokollen wie FAST (eFAST) und Point-of-care-Ultraschall (POCUS) hat sich als effektiv erwiesen, um stumpfe Bauch- und Brustverletzungen zu bewerten und klare Antworten auf spezifische diagnostische Anfragen zu liefern. Der Hauptvorteil dieser schnellen Konzeptprotokolle besteht darin, dass keine Radiologen benötigt

werden, da diese Protokolle nicht nur von Ärzten, sondern auch von Rettungssanitätern einfach durchgeführt werden können.

Neben diagnostischen Aufgaben wird unter Ultraschallkontrolle sowohl während der Evakuierung als auch in mobilen Krankenhäusern/Feldstützpunkten eine periphere Regionalanästhesie durchgeführt. Die Verwendung des FAST-Protokolls hat die Dauer der präoperativen Diagnostik verkürzt, die Qualität und Effizienz der medizinischen Einteilung verbessert und die Anzahl diagnostischer Fehler reduziert [1, 10].



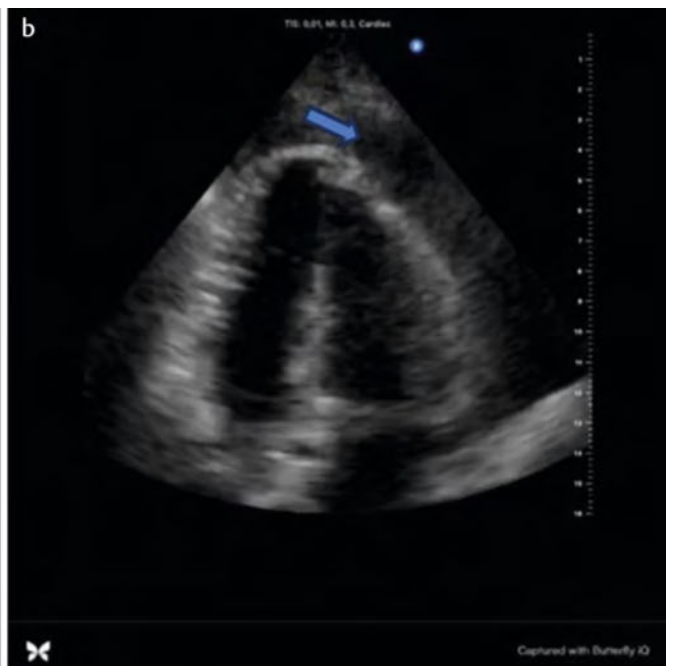
► **Abb. 1** Tragbares Ultraschallgerät.

Röntgen

Mobile Röntgengeräte (► **Abb. 3**) sind in Feldstützpunkten und mobilen Krankenhäusern vorhanden, in denen mittelschwer und schwer Verletzte zur Stabilisierung akut lebensbedrohlicher Zu-



► **Abb. 3** Mobiles Röntgengerät im Feldstützpunkt in 15 km Entfernung von der Frontlinie.



► **Abb. 2** Herz-Ultraschall: Kugelverletzung der Herzspitze (Pfeil) **a**. Herz-Ultraschall: Hämato-Perikard (Pfeil) **b**.

stände gebracht, danach zur weiteren Versorgung eingeteilt und in entsprechend ausgestattete Zentren überwiesen werden. Die aufgenommenen Röntgenbilder werden direkt auf dem Bildschirm des Röntgengeräts vom medizinischen Team des mobilen Krankenhauses/Feldstützpunkts ausgewertet.

Röntgenaufnahmen des Thorax werden durchgeführt, um Pneumothorax und Hämatothorax auszuschließen (► **Abb. 4**), für deren Beseitigung sofortige Versorgung mittels Drainagen erforderlich sind [10]. Ebenso dienen sie der Erkennung von Geschossfragmenten in der Brust und der Bewertung ihres Abstands zu den Hauptgefäßen und zum Herzen (► **Abb. 4**).

Die Aufnahme des Beckens und der Extremitäten dienen dazu, Frakturen zu beurteilen (► **Abb. 5**), Fremdkörper und deren Lage

zu erkennen (► **Abb. 6**) sowie die Triage von Amputationsverletzungen (► **Abb. 7**) vorzunehmen [11, 12].

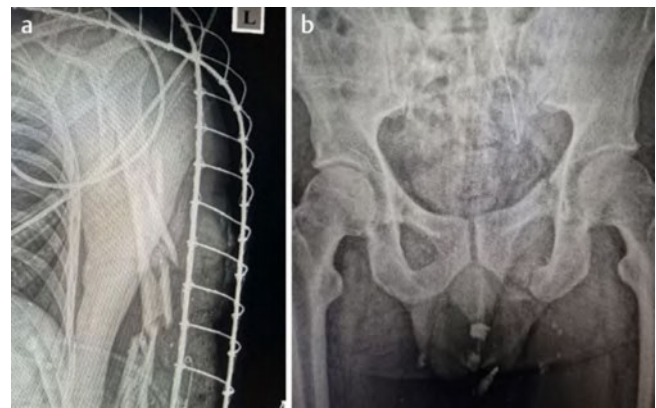
Computertomografie (CT)

Unter den Bedingungen eines hybriden Krieges, das heißt eines Krieges der kombinierte Verletzungen verursacht, spielen nicht-invasive Bildgebungsmethoden eine wichtige Rolle. Bei der Diagnose von Schussverletzungen ermöglicht es insbesondere die Computertomografie, Art und Umfang solcher Verletzungen sowie die Topografie postoperativer Zustände zu bewerten [13, 14, 15, 16, 17]. Das CT wird ab der zweiten Stufe medizinischer Versorgung und aufwärts die zweithäufigste Behandlung.

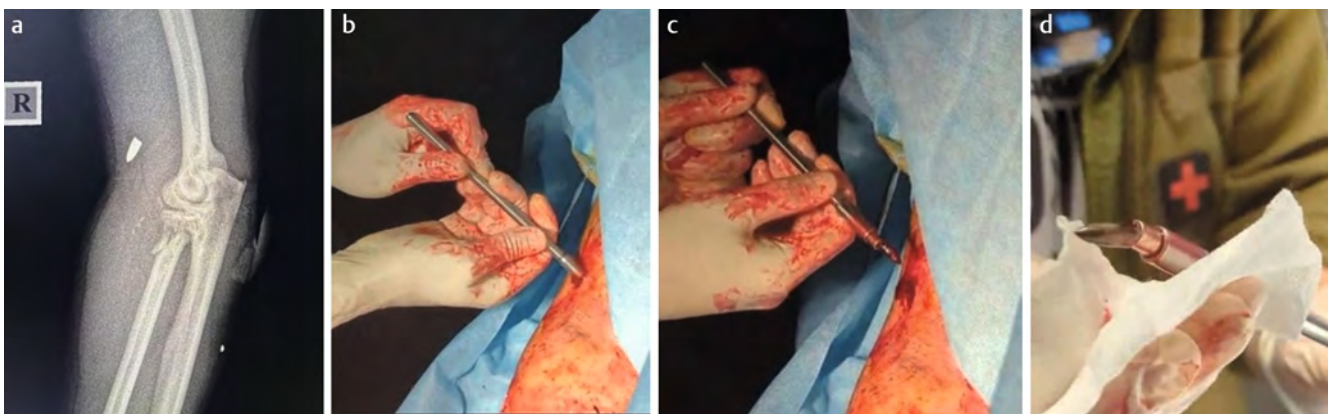
Es bietet viele Vorteile aufgrund seiner Geschwindigkeit, Nicht-invasivität, hoher Empfindlichkeit für die Unterscheidung von Luft, Flüssigkeit und Blut sowie hoher topografischer Genauigkeit bei der Identifizierung von Verletzungen, Fremdkörpern, der Beurteilung des Verletzungsgrades und der Verlaufsbahn von Verletzungskanälen. Das CT ermöglicht die Erkennung von über 50 % zusätzlicher Verletzungen im Vergleich zu anderen bildgebenden Methoden und reiner körperlicher Untersuchung [18].



► **Abb. 4** a. p. Ebene Röntgenthorax: Metallfragment im Mediastinum, linksseitiger Hämatothorax.



► **Abb. 5** **a** Röntgen Schulter links y-View: Mehrfragmentfraktur des linken Humerus. **b** Röntgen Becken a. p.: Fraktur der beiden Schambeinäste links, multiple metallische Fragmente im Genitalbereich.



► **Abb. 6** **a** Lateralaufnahme des rechten Ellenbogengelenks: Trümmerfraktur des Radius, Kugel im Weichteil der Ellenbeuge. **b** Entfernung der Kugel. **c** Entfernung der Kugel. **d** Entfernung der Kugel.

Das Hauptziel der Bildgebung bei Verletzten ist die rechtzeitige Erkennung lebensbedrohlicher Verletzungen, die sofortige chirurgische Behandlung erfordern, Vorhersage der Migration von Fremdkörpern (► **Abb. 8**) und die Diagnose von Verletzungskomplikationen.

Zuerst werden die primär Verletzten von Kopf bis Becken und manchmal einschließlich der Extremitäten gescannt, da die Vorhersage des Weges einer Kugel oder eines Splitters unter Bedingungen kombinierter Verletzungen eine äußerst komplexe Aufgabe ist [2, 12]. Verletzungskanäle durchdringen verschiedene Körperteile und können folglich eine thorakoabdominale, abdominopelvine oder thorakokardiale Lage haben und jedes Organ betreffen [17].

Kugeln und Splitter können sich teilweise wie ein Embolus im Verlauf der Gefäße bewegen. Hierauf zielt die Durchführung einer Angiografie ab, was besonders wichtig ist bei Patienten mit Splitterverletzungen ohne Ausgangsöffnung [10, 15, 19].



► **Abb. 7** Röntgen Fuß bds. seitlich: traumatische Amputation mit kurzem Mittelfußstrumpf.

Post-mortale CTs werden als „Goldstandard“ für die retrospektive Beurteilung von Diagnose und Behandlung bei Schussverletzungen in Abwesenheit der Möglichkeit zur Durchführung einer Obduktion angesehen [18].

Magnetresonanztomografie (MRT)

Die Magnetresonanztomografie wird als Visualisierungsmethode für die langfristigen Folgen erlittener Kriegsverletzungen in den dritten und vierten Phasen der medizinischen Versorgung sowie während der Rehabilitation eingesetzt. Die Anwendung des MRTs ist oft eingeschränkt durch Metallfragmente im Körper des Verletzten. Nach Entfernung der Fragmente ist die Durchführung eines MRT sicher (► **Abb. 9**) und ermöglicht die Bewertung sowohl von Weichteilveränderungen als auch von ossärer Läsionen.

Kopf

In modernen bewaffneten Konflikten verteilen sich Verluste mit neurochirurgischem Profil zu 50 % auf Schädigungen der Weichteile des Kopfes, zu 28 % auf penetrierende Schädelverletzungen und zu 17 % auf nicht penetrierende Verletzungen. Der Anteil der Minen- und Sprengstoffverletzungen nimmt zu und erreicht 70 % der Kampfverletzungen. Kombinierte Verletzungen treten bei etwa 30 % und multiple Verletzungen bei 7 % der Betroffenen auf [20, 21].

Schädel- und Hirnverletzungen werden je nach Art der Gewebeschädigung in geschlossen und offen unterteilt. Bei geschlossenen Schädel-Hirn-Verletzungen gibt es nur Hautverletzungen, und die Weichteile des Kopfes sowie die Schädelaponeurose bleiben erhalten. Eine Schädel-Hirn-Verletzung gilt als offen, wenn die Integrität sowohl der Haut als auch der Aponeurose verletzt ist. Diese Kategorie umfasst auch Schädelbasisfrakturen [22, 23].

Offene Schädel- und Hirnverletzungen werden in durchdringende und nicht durchdringende unterschieden. Offene, nicht penetrierende Verletzungen sind gekennzeichnet durch die Inte-



► **Abb. 8** **a** CT Schädel coronal: Frakturen des Orbitabodens links, Dislokation der lateralen Orbitawand sowie des linken Bulbus oculi und Prolaps des Fettgewebes in die Kieferhöhle. **b** CT Schädel coronal: zahlreiche kleine Knochensplitter im Weichteil der linken Orbita. **c** CT Schädel transversal: fokale Enzephalomalazie der linken Hemisphäre als Folge einer erlittenen hämorrhagischen Kontusion.

gritat der Dura mater, was den Schutz des Subarachnoidalraums und des Hirngewebes vor möglichen Infektionen ermöglicht.

Bei offenen, penetrierenden Schädelverletzungen wird die Dura mater in der Regel beschädigt, was häufig zu Infektionen führt. Daher ist es für die weitere Planung der chirurgischen Eingriffe und die Prognose möglicher Komplikationen wichtig, dass der Radiologe die Art der Schädel-Hirn-Verletzung klar erkennt.

Schadelbruche werden als lineare, konkurrierende, fragmentierte, lochartige und zersplitterte Frakturen unterschieden. Die Lokalisierung des Schadelbruchs und sein Verhältnis zur Schädelbasis und zum Schadeldeckel werden berücksichtigt. Eine Fraktur der Schädelbasis wird als offene penetrierende Schädelverletzung angesehen, da er normalerweise mit einem Bruch der Dura mater einhergeht.

Eine wichtige Aufgabe des Radiologen bei der Beschreibung von Kopfverletzungen besteht darin, die genaue Lokalisation von Knochenfragmenten (► **Abb. 10a, e**), das Vorhandensein von Fremdkörpern und ihre Beziehung zu den Hauptblutgefaen zu bestimmen, was eine wichtige Rolle bei der weiteren Planung des Umfangs chirurgischer Eingriffe spielt und häufig die Prognose für den Patienten bestimmt.

Schussverletzungen des Kopfes umfassen die oben beschriebenen Verletzungselemente, haben jedoch ihre Besonderheiten. Sie werden in durch pfeilartige Elemente verursachte und durch Split-

ter oder Kugeln verursachte Verletzungen unterteilt. Je nach Art des Verletzungskanals werden einfache, blinde, durchgängige und streifende Verletzungen unterschieden. Die Lokalisierung der Hirnverletzung beinhaltet Verletzungen der Stirn, der Schläfen, des Scheitels, des Hinterkopfes und parasasale Verletzungen.

Bei Kopfverletzungen ist es wichtig, Gehirnkontusion, diffuse axonale Schädigungen, intrazerebrale und intrakranielle Hematome sowie Hirnkompression zu erkennen.

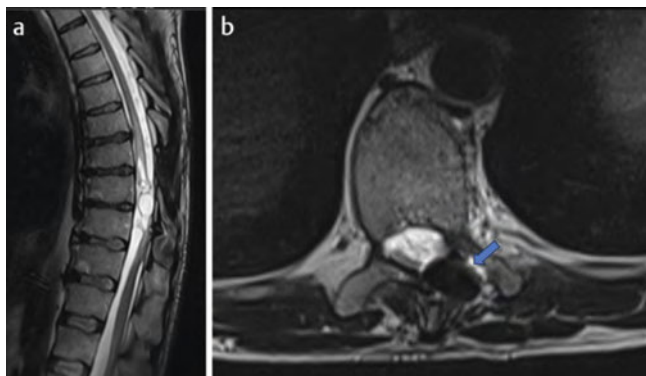
Gehirnkontusion ist durch makroskopische Schädigungen des Gehirngewebes gekennzeichnet und zeigt sich deutlich in CT (► **Abb. 10d**) und MRT. Im CT zeigen sich Schwellung sowie Hämorrhagien des Hirngewebes, die in der Regel mit Brüchen der Schädeldecke oder der Schädelbasis einhergehen, sowie erhebliche subarachnoidale Blutungen.

Diffuse axonale Schädigungen des Gehirns sind eine separate Form der Schädel-Hirn-Traumata (SHT), die zu den schweren SHT gehören. In CT und MRT stellen sie sich durch Parenchymschwellung, Kompression der Ventrikel und subarachnoidale Räume sowie kleine fokale Blutungen in der weißen Substanz (► **Abb. 10b, c**), dem Balken, den subkortikalen Hirnstrukturen und den Hirnstammstrukturen dar.

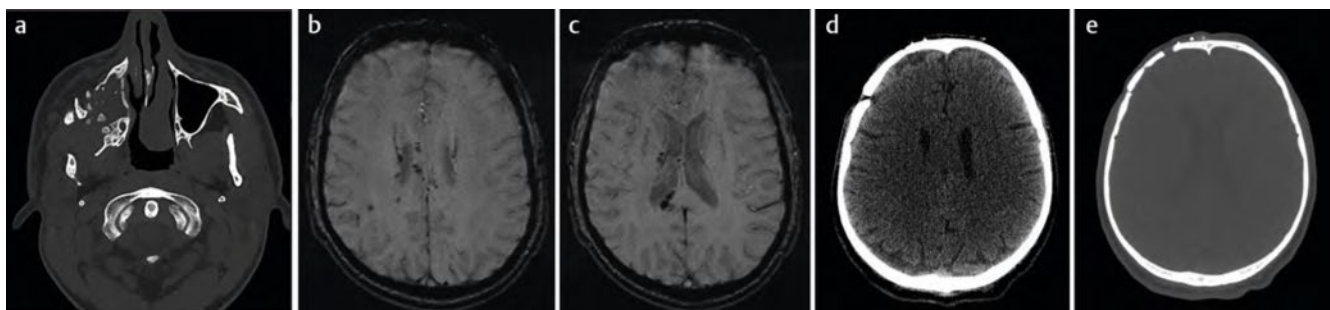
Die Hirnkompression äußert sich durch qualitative Bewusstseinsstörungen, vegetative Störungen, Amnesie, epileptische Anfälle sowie durch das Auftreten und Fortschreiten fokaler neurologischer Defizite. Eine Hirnkompression wird verursacht durch die Entwicklung einer intrakraniellen Blutung, die zur Einklemmung von Hirnstrukturen, das Verschieben von Knochenfragmenten in die Schädelhöhle, die Entwicklung eines akuten Hydrozephalus, eines Pneumozephalus oder das schnelle Fortschreiten eines sekundären Hirnedems führt. Zur Diagnose von intrakraniellen Hematomen ist die CT die wichtigste Methode der Visualisierung.

Thorax

Die Häufigkeit von Verletzungen der Organe in der Brusthöhle beträgt anteilig etwa 7–12 % der Kriegschirurgie [16]. Die Schwere dieser Verletzungen resultiert aus der Kombination von Lungenverletzungen, Gefäßschäden (► **Abb. 11**), sowie Verletzungen des Perikards, Herzens und des Ösophagus [24]. Thoraxverletzungen können in zwei Arten unterteilt werden: penetrierend und stumpf. Es gibt auch sogenannte „Bereichsverletzungen“, die sowohl stumpf als auch penetrierend sein können. Penetrierende



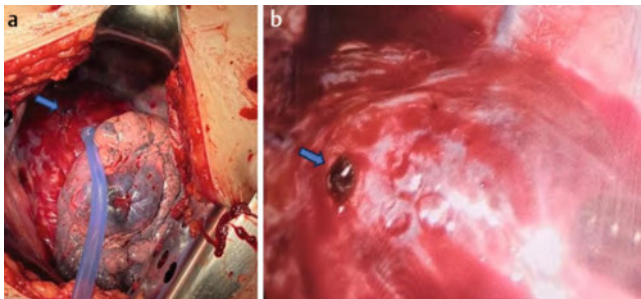
► **Abb. 9** **a** MRT der BWS eines Patienten mit unterer Paraparese: Zustand nach Operation aufgrund einer Schussverletzung im Brustbereich der Wirbelsäule, posttraumatische Myelomalazie des Rückenmarks. **b** MRT der BWS eines Patienten mit unterer Paraparese: Metallartefakt durch einen kleinen Fremdkörper (Pfeil).



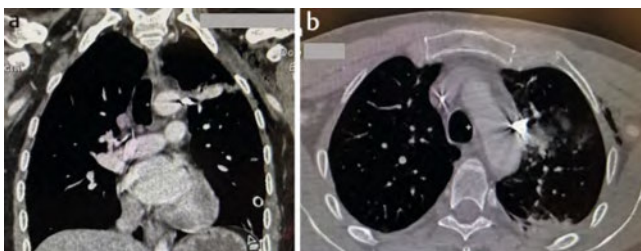
► **Abb. 10** **a** CT Schädel transversal: Darstellung einer mehrfragmentaren Fraktur des rechten Oberkiefers zwei Monate nach dem Trauma. **b/c** MRT Kopf transversal: Diffuse axonale Schädigung Grad 1 nach Adams in der SWI. **d** Transverse CT scan of the skull: Chronic right frontal epidural hematoma. **e** CT Schädel transversal: Frakturen des Os frontale rechts sowie mehrere Fremdkörper im subkutanen Weichteil.

Verletzungen entstehen durch direkte Einwirkung eines verletzenden Agens (Kugel, Splitter, Panzerungselement usw.), das die Integrität von Geweben verletzt. Bei stumpfen Verletzungen besteht die Besonderheit darin, dass Organschäden auftreten, ohne dass dies an der Oberfläche erkennbar wäre [14]. Die überwiegende Mehrheit der kriegsbedingten Thoraxverletzungen sind Schussverletzungen durch Splitter (bis zu 72 %) [24]. Die Besonderheit eines Wundkanals sowie seine Form und Größe hängen von der kinetischen Energie und den physikalischen Eigenschaften des verletzenden Agens ab. Bei Durchschüssen kommt es in der Regel zu stärkeren Blutungen nach außen. Der Wundkanal wird im CT durch eine Parenchymlucke bestimmt (► **Abb. 12**), die von einer Zone der Parenchymschädigung der Lunge umgeben ist und Blut, Luftblasen, Fragmente beschädigter Gewebe und Fremdkörper enthält. Eine Lungenkontusion, die sowohl bei penetrierenden als auch bei stumpfen Verletzungen auftritt, zeigt sich typischerweise auf einem CT-Bild als unscharfe Bereiche mit erhöhter Dichte im Lungengewebe, die auf Blutungen, Ödeme oder Entzündungen hinweisen können.

Sprengfragmentverletzungen können zu Lungenrupturen mit Blutungen, beidseitigen Lungenkontusionen, Schäden am Knochengewüst und den Weichteilen der Brustwand führen [2]. Bei durchdringenden Brustverletzungen können Gefäßverletzungen mit massiven Blutungen in den Pleuraspalt und die Bildung eines Spannungspneumothorax eine der Hauptursachen für Todesfälle sein. Durchschussverletzungen des Mediastinums werden nur in 1–3 % aller Fälle diagnostiziert, da 97–99 % an aller Verletzten mit einem solchen Trauma sofort versterben [16].



► **Abb. 11** a Projektil (Pfeil) im Mediastinum (intraoperative Bilder).
b Projektil (Pfeil) im Mediastinum (intraoperative Bilder).



► **Abb. 12** a Thorax-CT coronal: Projektil im Mediastinum links lateral des Aortenbogens. Gut abgrenzbarer Projektilkanal in der linken Lunge. b Thorax-CT transversal: Projektil im Mediastinum links lateral des Aortenbogens.

Abdomen und Becken

Abdomen- und Beckenverletzungen gehören zu den schwersten modernen Kriegsverletzungen und stellen aufgrund der hybriden Kriegsführung eine Herausforderung bei der Auswahl angemessener chirurgischer Taktiken und effektiver Methoden der medizinischen Bildgebung dar [13, 25, 26, 27]. Geschlossene Abdominalverletzungen (GAV) in Verbindung mit Schussverletzungen machen etwa 20 % der Gesamtzahl der medizinischen Verluste aus.

Schussverletzungen des Abdomens und des Beckens sind die komplexesten Bereiche der Militärradiologie [10, 11] und Militärchirurgie [26].

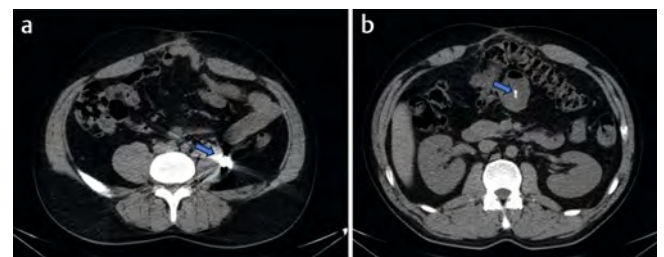
Schussverletzungen des Abdomens sind in 33 % der Fälle penetrierend, beziehungsweise in 67 % der Fälle nicht penetrierend. Unter den Verletzungen des Abdomens dominieren Schussverletzungen durch Splitter und Explosionen mit 62 %, während auf Beckenverletzungen nur 1 % entfallen [25, 17].

Je nach Art der Gewebeschäden und Organverletzungen im Abdomen und Becken werden nicht penetrierende und penetrierende Verletzungen sowie GAV unterschieden (► **Abb. 13**). Beckenfrakturen treten recht häufig auf und erfordern eine detaillierte Beschreibung der Verschiebung von Knochenfragmenten (► **Abb. 14**) und die Bestimmung ihrer Topografie in Bezug auf große Gefäße und Nervenbündel.

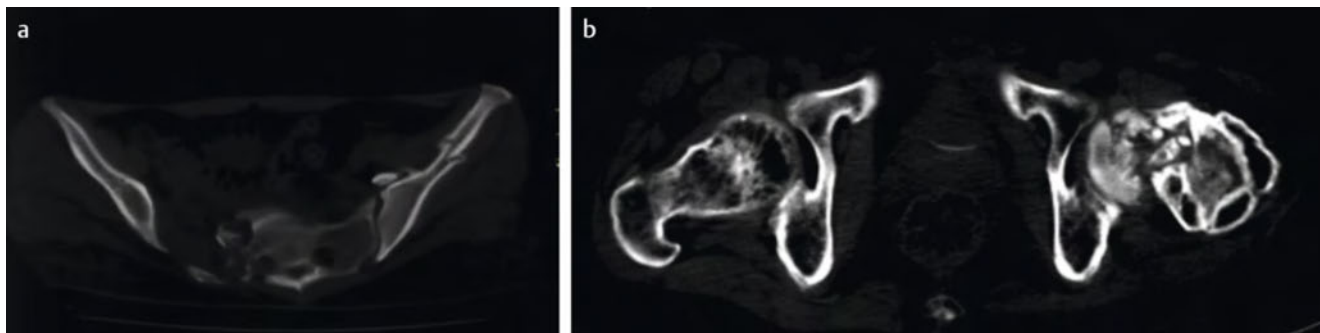
Thorakoabdominale Verletzungen sind eine der komplexesten kombinierten Verletzungen, die durch eine gleichzeitige Verletzung des Brustkorbs und des Abdomens mit Schädigung des Zwerchfells bedingt sind.

Extremitäten

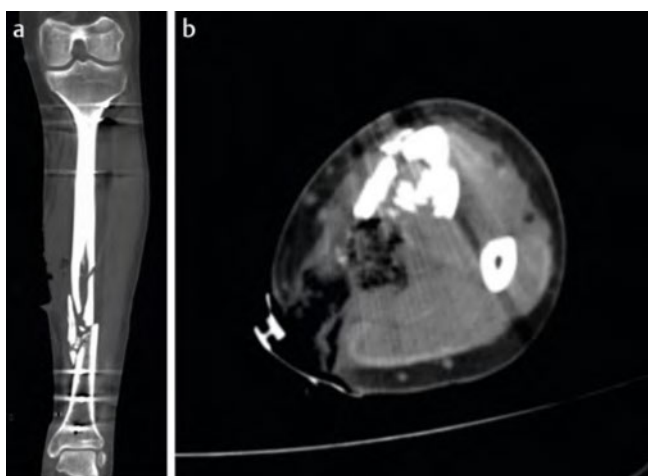
Traumata der Gliedmaßen gehören zu den häufigsten chirurgischen Verlusten in Kriegen und militärischen Konflikten und machen etwa 54–70 % der Gesamtverluste aus. In den meisten Fällen sind sie Teil eines Polytraumas. Knochenverletzungen der Gliedmaßen werden in einem Drittel der Fälle von schweren Weichteilverletzungen begleitet. Schienbeinfrakturen machen 42,1 % aus und werden zumeist durch Schussverletzungen verursacht. Oberschenkelfrakturen treten zu 23,8 % auf, Oberarmfrakturen zu 22,3 %, Unterarmfrakturen zu 11,8 %. In der Regel handelt es sich um Schaftfrakturen, intraartikuläre Frakturen werden bei 17,1 % der Betroffenen diagnostiziert. Von den 76,4 % der Schussverletzungen, die durch moderne Waffen verursacht werden, sind 35,1 % Trümmerfrakturen und 41,3 % Splitterfrakturen. Primäre



► **Abb. 13** a CT Abdomen transversal: Penetrierende Verletzung der Bauchhöhle mit metalllichtem Splitter im linken Psoasmuskel (Pfeil). b CT Abdomen transversal: Penetrierende Verletzung der Bauchhöhle mit Splitter im Dickdarm (Pfeil).



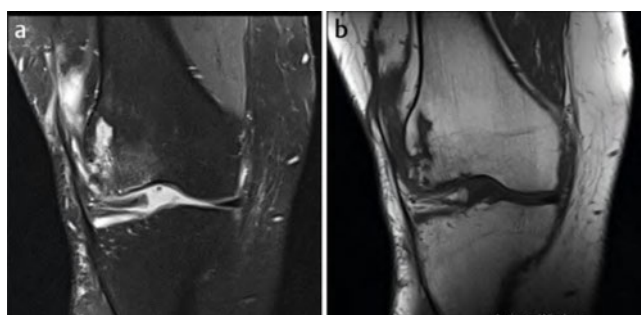
► **Abb. 14 a/b** CT Becken transversal: Mehrfragmentäre dislozierte Beckenfrakturen **a** und des linken Femurs.



► **Abb. 15** CT Unterschenkel coronal **a** und transversal **b**: mehrfragmentäre Fraktur der Tibia mit Fixatur externe **a**. Weichteilschaden am Unterschenkel **b**.

Knochenverletzungen bei Verletzten machen 7,1% aus, wobei 79,3% der Röhrenknochenverletzungen Defekte von 3 cm oder mehr aufweisen [12].

Bei Traumata der Gliedmaßen ist es für Radiologinnen und Radiologen wichtig, Verletzungen der Weichteile, Knochen und Gelenke zu charakterisieren. Abhängig von der Anzahl und Lokalisation der Verletzungen sollten isolierte, multiple und kombinierte Verletzungen identifiziert werden. Die Beschreibung einer Schussverletzung sollte nach Möglichkeit die Art des Projektils (Kugel, Splitter, Minenexplosionsgeschoss usw.), unbedingt die Art der Verletzung (Durchschuss, Steckschuss, Streifschuss), die Art eines Bruchs (vollständig, unvollständig) (► **Abb. 15**) und die Größe von Knochendefekten (► **Abb. 16**), den Charakter einer Bruchlinie (quer, schräg usw.) und die Lokalisation und Begleitverletzungen der Weichteile, Hauptgefäße und Nerven, Gelenke und deren Strukturen sowie die Lokalisation von Verletzungen bei multiplen, kombinierten und komplexen Verletzungen widerspiegeln. Komplikationen sollten ebenfalls erfasst werden.



► **Abb. 16 a/b** MRT des Kniegelenks coronal: Zustand nach Entfernung eines Metallsplitters. Knochendefekt des distalen Femurs.

FAZIT

Militärradiologie ist ein spezieller Bereich der Radiologie, bei dem von Radiologinnen und Radiologen ein Verständnis der Besonderheiten der Pathogenese militärischer Verletzungen und spezifischer radiologischer Zeichen verlangt wird. Radiologinnen und Radiologen spielen eine wichtige Rolle im medizinischen Team, da sie die Schwere anatomischer Veränderungen bestimmen, potenzielle Risikofaktoren identifizieren und mögliche Komplikationen prognostizieren.

Interessenkonflikt

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

References

- [1] Magiorinis E, Vladimirov L, Diamantis A. History of Military radiology: the early period (1896–1916). *Balkan Military Medical Review* 2010; 13: 163–169
- [2] Grechanyk O I, Abdullaiev RY, Dykan IM et al. Medical and statistical aspects of radiodiagnosis of modern combat trauma in the conditions of hybrid warfare in Eastern Ukraine. *International Medical Journal* 2021; 2: 79–87. doi:10.37436/2308-5274-2021-2-14
- [3] Belenky V. A., Negoduiko V.V., Mykhalusov R.N. Analysis of errors in the performance of primary surgical treatment of gunshot wounds to soft tissues. *Surgery of Ukraine* 2015; 1: 7–13

- [4] Kutovenko OK, Krut SO, Halkovych TM et al. Military chest trauma. The experience of a pulmonologist. *Clinical Immunology*
- [5] Eastridge BJ. Died of wounds on the battlefield: Causation and implications for improving combat casualty care. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* 2011; 71 (1): 4–8
- [6] Khomenko IP et al. Deficiencies and achievements in the treatment of the wounded and injured in the ATO conditions: a collection of scientific works 2016; 122–127
- [7] Charles CT. Battle casualties. Incidence, mortality and logistic considerations. Springfield 2013: 283–285
- [8] Hodgetts T, Davies S, Midwinter M et al. Operational mortality of UK service personnel in Iraq and Afghanistan: A one year analysis 2006–2007. *J. R. Army Med. Corps* 2007; 252–254. doi:10.1136/jramc-153-04-07
- [9] Janak JC, Mazuchowski EL, Kotwal RS et al. Comparison of military and civilian methods for determining potentially preventable deaths: A systematic review. *JAMA Surgery* 2017; 153: 367–375. doi:10.1001/jamasurg.2017.6105
- [10] Folio LR. *Combat Radiology: Diagnostic Imaging of Blast and Ballistic Injuries*. ISBN: 978–1-4419–5854–9; Springer; 2010: 232. doi:10.1007/978-14419-5854-9
- [11] Khomenko SP, Grechanyk OI, Abdullaev RY et al. X-ray diagnosis of combat surgical trauma: guidelines. Kyiv, Ukrainian: MP Lesya; 2018: 40
- [12] Buryanov OA, Strafun SS, Shlapak IP et al. Firearm injuries of the extremities. Methodical recommendations. Kyiv, 2015: 46
- [13] Belyi VY, Zarutskiy YL, Zhovtonozhko AI et al. Essays on surgery for abdominal combat trauma. Russian. ISBN: 978–966–8126–89–5. Kiev: Lesya; 2016: 212
- [14] National guide for physicians who refer patients for radiological. ISBN 978–966–8796 40–1. Kyiv, Ukrainian: Medicine of Ukraine; 2016: 74
- [15] Ministrini S, Baiocchi G, Pittiani F et al. Gunshot wound without entrance hole: where is the trick? – a case report and review of the literature. *World J Emerg Surg* 2015; 10: 52
- [16] Dykan I. Radiological diagnosis of thoracic gunshot wounds. *Radiation Diagnostics, Radiation Therapy* 2020; 2: 70–80. doi:10.37336/2707-0700-2020-2-6
- [17] Zarutskiy YL, Klishevych BA, Polezhaiev HO. Combat closed abdominal trauma, diagnosis and treatment at the stages of medical-evacuation support. *Military Medicine of Ukraine* 3 2019; 19: 46–55
- [18] Grechanyk OI, Abdullaev RY, Lurin IA. Modern aspects of diagnosis of the abdominal gun-shot woundings. Experience of a hybrid war in the East of Ukraine. *Clinical Surgery* 2021; 88: 42–52. doi:10.26779/2522-1396.2021.56.42
- [19] Peramaki ER. Pictorial review of radiographic patterns of injury in modern warfare: imaging the conflict in Afghanistan. *Can Assoc Radiol J* 2011; 62 (2): 90–106. doi:10.1016/j.carj.2010.03.005
- [20] Sirko AH. Gunshot Injuries to the Skull and Brain during Armed Conflict in Eastern Ukraine. Report 2. Surgical Treatment. *Ukrainian Neurosurgical Journal* 2015; 2: 46–53
- [21] Sirko A. Skull and brain gunshot wound during the armed conflict in eastern Ukraine/ A. Sirko // 25th Annual Conference of Neurotrauma Society of India, 12–14th August, 2016, New Delhi, India. – P. 48
- [22] Sirko AH. Skull Defects Repair after Decompressive Craniectomy for Severe Cranial-Cerebral Trauma. *Medical Perspectives* 2015; 16 (4): 74–78
- [23] Suzuki T, Takafumi W, Shigeki F et al. Traumatic left ventricular free-wall laceration by a gunshot: report of a case. *Surgery Today* 2014; 44 (6): 1152–1155
- [24] Astree Swiech, Boddaert G., Daban J-L. et al. Penetrating thoracic injuries: a retrospective analysis from a French military trauma centre. *Journal of the Royal Army Medical Corps* 2019; 6. doi:10.1136/jramc-2019-001159
- [25] Zarutskiy YL, Bilyi VY. Military field surgery. ISBN 978–966–136–624–3. Kyiv, Ukrainian: Fenix; 2018: 552
- [26] *Emergency War Surgery*. 4th ed. Ukrainian edition. Our format, 2015. – 540 p. ISBN: 978–617–7279–09–8. Kyiv, Ukrainian, 2013
- [27] Svitlychnyi EV, Grechanyk OL. Ultrasound diagnosis of trauma and its complications. ISBN: 978–966–8126–89–5. Kyiv, Ukrainian: Chalchynska NV; 2016: 214