

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Jens Ricke

Das stumpfe Thoraxtrauma:

**Eine allgemeine Übersicht zur radiologischen Diagnostik und eine
spezielle retrospektive Studie zur Analyse des Zusammenhangs zwischen
medialen Schlüsselbeinverletzungen und dem Auftreten wertiger
Verletzungen an anderer Stelle**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Stephan Jansen

aus Stolberg im Rheinland

2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. rer. biol. hum. Stefan Wirth

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Ulrich-Georg Fink

Prof. Dr. Dierk Vorwerk

Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Dr. Tobias Helfen

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hicckel

Tag der mündlichen Prüfung: 19.03.2020

0 Inhaltsverzeichnis

1	ÜBERGREIFENDE EINLEITUNG, MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	5
1.1	EINLEITUNG	5
1.2	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	6
2	A: REVIEWTEIL „STUMPFES THORAXTRAUMA IN DER NOTFALLRADIOLOGIE“	7
2.1	MATERIAL UND METHODEN ZUM REVIEWTEIL	7
2.1.1	ETHIK ZUM REVIEWTEIL	7
2.2	ERGEBNISSE ZUM REVIEWTEIL	8
	DIE IM FOLGENDEN DARGESTELLTEN ERGEBNISSE ZUM REVIEWTEIL WURDEN IN TEILEN ALS KAPITEL „BONY AND THORACIC CHEST WALL INJURIES“ IM LEHRBUCH „EMERGENCY RADIOLOGY OF THE CHEST AND CARDIOVASCULAR SYSTEM“ PUBLIZIERT [20].	8
2.2.1	EPIDEMIOLOGIE UND ÄTIOLOGIE VON THORAXTRAUMATA	8
2.2.2	RECHTLICHE ASPEKTE IN DER RADIOLOGIE	10
2.2.3	OSTEOPOROSE	12
2.2.4	RADIOLOGISCHE AUSRÜSTUNG UND TECHNIKEN	13
2.2.5	WEICHTEILKONTUSIONEN UND SUBCUTANES EMPHYSEM	21
2.2.6	RIPPENFRAKTUREN	29
2.2.7	FRAKTUREN VON STERNUM UND CLAVICULA	40
2.2.8	FRAKTUREN UND DISLOKATIONEN DER SCAPULA	43
2.2.9	VERLETZUNGEN DER WIRBELSÄULE UND DES RÜCKENMARKS	52
2.3	DISKUSSION DES REVIEWTEILS „STUMPFES THORAXTRAUMA IN DER NOTFALLRADIOLOGIE“	58
3	B. STUDIENTEIL ZUM STELLENWERT VON MEDIALEN CLAVICULAFRAKTUREN IN DER NOTFALLVERSORGUNG.	59
3.1	VERLETZUNGEN DER STERNOCLAVICULARREGION SIND INDIKATOREN FÜR BEGLEITVERLETZUNGEN UND ERFORDERN EINE DIFFERENZIERTE BILDGEBUNG	62
4	GEMEINSAME SCHLUSSFOLGERUNG	75
4.1	AUSBlick	76
5	GEMEINSAME ZUSAMMENFASSUNG	77
6	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	79
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	82
8	TABELLENVERZEICHNIS	86
9	LITERATURVERZEICHNIS	87
10	DANKSAGUNG	98
11	LEBENSlauf	99
12	EIDESSTÄTTLICHE VERSICHERUNG	100

Vorwort:

Die vorliegende Dissertation gliedert sich in zwei Teile. Zum Einen wurde eine umfassende Literaturlaufarbeitung zum Thema der Thoraxverletzungen getätigt und in Form eines Review dargestellt. Falls solche Verletzungen im Rahmen eines schweren Traumas eintreten, so wird oft sowieso eine Ganzkörper-Polytraumadiagnostik im CT durchgeführt. Hierbei ist bekannt, dass insbesondere Verletzungen des medialen sternoclaviculären Komplexes häufig mit schweren Verletzungen anderer Körperregionen assoziiert sind. Damit stellt sich die Frage, wie bei Patienten mit vermeintlich geringerer Traumaschwere umgegangen wird, bei denen manchmal nur die Schulterregion verletzt erscheint. Meist wird in solchen Fällen geröntgt. Bedeutet nun eine hierbei festgestellte oder vermutete Verletzung des sternoclaviculären Komplexes, dass im Umkehrschluss auch auf weitere, deutlich schwerer wiegende, Verletzungen geschlossen werden kann? Falls ja, so sollte erwogen werden, die Diagnostik dann noch auszuweiten, z.B. mittels CT. Um dieser Frage nachzugehen wurde nach dem Reviewteil eine Studie durchgeführt und ausgewertet.

Dieses Vorgehen bewirkt einen etwas ungewöhnlichen Aufbau der Dissertationsschrift entsprechend der zwei Teile des Promotionsprojektes.

Zudem wird aus Gründen der leichteren Lesbarkeit im vorliegenden Projekt die männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

1 Übergreifende Einleitung, Motivation und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Traumata jeglicher Art sind sehr häufig und haben weltweit einen großen Einfluss auf Mortalität und Morbidität. In den Vereinigten Staaten sterben jährlich mehr als 100.000 Menschen an Traumata und ihren Folgen. Die Inzidenz thorakaler Traumata liegt hier bei zwölf Fällen pro einer Millionen Einwohner täglich. Bei etwa einem Drittel dieser Verletzten ist eine Hospitalisierung notwendig [1]. In bis zu 90% der Fälle sind Verletzungen verschiedener Körperregionen, deren Vorkommen regelmäßig vorhersehbar ist, auf komplexe Weise miteinander assoziiert [2]. Claviculafrakturen gehören mit einem Anteil von 2,6% bis 5% zu den häufigsten Frakturen des Menschen [3, 4]. Eine Methode zur Einteilung von Claviculafrakturen ist die Allman-Klassifikation [5]. Frakturen werden demnach in anatomische Drittel unterteilt (Abb. 1). Bei Typ I-Frakturen befindet sich die Fraktur im mittleren Drittel, Typ II-Frakturen beziehen sich auf das laterale Drittel und Typ III-Frakturen auf das mediale Drittel der Clavicula.

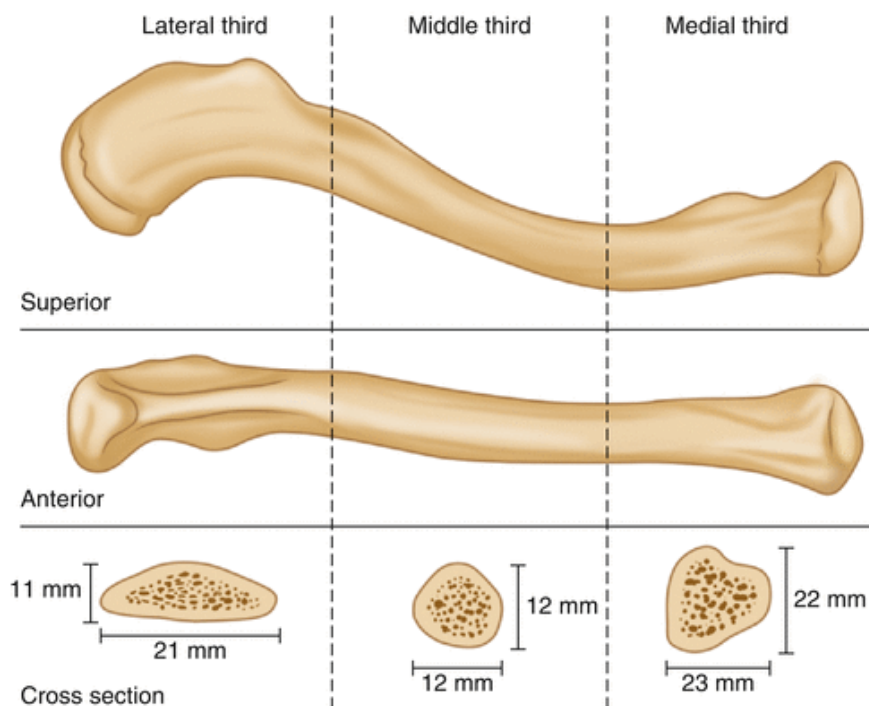


Abbildung 1. Unterteilung der Clavicula in Drittel nach Allman. Frakturen werden im mittleren Drittel als **Typ I**, im lateralen Drittel als **Typ II** und im medialen Drittel als **Typ III** klassifiziert. Ansicht von superior und anterior sowie Anschnitte der jeweiligen Drittel. Quelle: [6].

Typ III-Frakturen machen, je nach Diagnostik (Sensitivität bei Computertomographie höher als bei Röntgen), nur ungefähr zwischen 3% und 15% aller Frakturen der Clavicula aus [3, 7]. Epidemiologie, Management und Outcome sind bisher, nicht zuletzt aus diesem Grund, im

Gegensatz zu Typ I- und Typ II-Frakturen [3, 8, 9] vergleichsweise wenig erforscht [7]. Überwiegend wird ein konservatives Vorgehen favorisiert, da die Fehlstellungsrate meist gering ist und lebenswichtige mediastinale Strukturen, welche im engen räumlichen Bezug zur medialen Clavicula stehen, bei der operativen Versorgung gefährdet sind [10, 11]. Kommt es nach primär konservativem Vorgehen zu Schmerzen und/oder Fehlstellung, so sollte eine sekundäre operative Versorgung erfolgen [12, 13]. Jedoch weisen vorhandene Daten auf eine häufige Vergesellschaftung von Typ III-Frakturen der Clavicula mit anderen signifikanten Verletzungen hin [14]. Die Schwere der beispielsweise cranialen oder thorakalen Begleitverletzungen kann selbst unter Patienten, welche das Krankenhaus lebend erreichen zu Sterblichkeitsraten von bis zu 20% führen [15, 16]. Die Radiographie in zwei Ebenen wird von vielen Autoren empfohlen und in vielen Kliniken als Goldstandard für die erste und oftmals einzige Bildgebung angewendet [3, 17-19].

1.2 Motivation und Zielsetzung

Die Schwere und Häufigkeit von relativ häufig mit Frakturen des medialen Clavicula-Drittels vergesellschafteten Verletzungen wirft die Frage auf, ob Radiographien von Claviculafrakturen als erster bildgebender Schritt im Falle von Typ III-Frakturen aufgrund der auf die Untersuchungsregion limitierten diagnostischen Aussagekraft möglicherweise unzureichend sind. Das vorgelegte Promotionsprojekt versucht diese Fragen zu beantworten und gliedert sich hierfür in zwei Teile.

1. Reviewteil A: Erstes Ziel ist eine ausführliche allgemeine Aufarbeitung des Themas „Stumpfes Thoraxtrauma in der Notfallradiologie“ inklusive der Publikation von Teilen davon als Kapitel „Bony and Thoracic Chest Wall Injuries“ im Lehrbuch „Emergency Radiology of the Chest and Cardiovascular System“, Springer Verlag [20].
2. Studienteil B: Darauf aufbauend ist das zweite Ziel die a) Planung, Durchführung und Auswertung einer retrospektiven Multi-Center-Studie zur Einschätzung des Zusammenhangs zwischen dem Verletzungsausmaß medialer Schlüsselbeine und wertigen anderen Verletzungen inklusive einer Empfehlung für das radiologische Vorgehen zur geeigneten Diagnostik sowie b) die Publikation dieser Ergebnisse als Artikel „Injuries of the sternoclavicular region indicate concomitant lesions and need distinguished imaging“ im European Journal of Trauma and Emergency Surgery [21].

2 A: Reviewteil „Stumpfes Thoraxtrauma in der Notfallradiologie“

2.1 Material und Methoden zum Reviewteil

Für Teil A wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Quellen hierfür waren die Universitätsbibliotheken der Ludwig-Maximilians-Universität München, die medizinischen bibliographischen Datenbanken PubMed (National Library of Medicine) und Embase (Elsevier), sowie die Internetseiten der Weltgesundheitsorganisation und diverser medizinischer Fachgesellschaften und Berufsverbände. Die Suchbegriffe waren in deutscher und (hier nicht angegeben synonym in) englischer Sprache:

- (mediale OR mittlere OR laterale) AND Clavicula AND (Rippen OR Scapula OR Sternum OR Wirbelsäule) AND Fraktur AND (Epidemiologie OR Diagnostik OR Behandlung)
- Thoraxtrauma AND Medizinrecht
- Stumpfes Thoraxtrauma AND (Epidemiologie OR Diagnostik OR Behandlung)
- Osteoporose AND (Trauma OR Fraktur OR Evaluation)
- (Ultraschall OR Computertomographie OR Magnetresonanztomographie OR Radiographie) AND (Trauma OR Thoraxtrauma)
- Injury Severity Score AND Polytrauma

Darüber hinaus wurden auf Anfrage freundlicherweise nicht publizierte Erfahrungswerte aus dem Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München bereitgestellt. Alle Quellen wurden mithilfe des Literaturverwaltungsprogramms EndNote, Version X7 (Thomson Reuters, Toronto, Kanada) gespeichert und verwaltet. Des Weiteren wurden Microsoft Excel 2011 und Microsoft Word 2011 (Microsoft Corporation, Redmont, USA) verwendet.

2.1.1 Ethik zum Reviewteil

Als Review wurde keine Studie durchgeführt und insbesondere wurden auch keine Patientendaten verarbeitet. Stattdessen erfolgte eine Aufarbeitung fremder Daten aus einer Literaturrecherche bzw. im Falle der Rechtsmedizin aus zur Verfügung gestellten klinischen Erfahrungswerten ohne Rückführbarkeit auf Patienteninformationen. Eine Genehmigung der lokalen Ethikkommission war daher für Teil A der Arbeit nicht erforderlich. Sofern notwendig, wurden die Genehmigungen für fremde Abbildungen beantragt und erteilt.

2.2 Ergebnisse zum Reviewteil

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zum Reviewteil wurden in Teilen als Kapitel „Bony and Thoracic Chest Wall Injuries“ im Lehrbuch „Emergency Radiology of the Chest and Cardiovascular System“ publiziert [20].

2.2.1 Epidemiologie und Ätiologie von Thoraxtraumata

Ungefähr ein Viertel aller Todesfälle durch Traumata steht in direktem Zusammenhang mit thorakalen Verletzungen [22-24]. Unterschieden werden hierbei das penetrierende Thoraxtrauma und das stumpfe Thoraxtrauma, welches mit einem Anteil von ungefähr zwei Dritteln häufiger ist [25, 26]. Das stumpfe Thoraxtrauma ist eine potenziell gravierende Bedrohung für Atemwege, Atmung und Zirkulation, was sich an Mortalitätsraten von bis zu 60% in Europa und in den USA zeigt [22-24]. Mit 70 bis 80% sind Verkehrsunfälle bei weitem die häufigste Ursache des signifikanten thorakalen Traumas. Stürze, Gewaltakte und Explosionen sind weitere relevante Ursachen [1]. Verletzungen, die aus Verkehrsunfällen resultieren, rangieren unter den zehn häufigsten Todesursachen weltweit und deren Inzidenz hat in den letzten Jahrzehnten trotz aller technischen Weiterentwicklungen und Sicherheitsbemühungen – weltweit gesehen – sogar zugenommen [27].

Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) sterben jährlich ungefähr 1,24 Millionen Menschen durch Verkehrsunfälle, während bis zu 50 Millionen Menschen zwar nicht-tödlich verletzt werden, aber dennoch teilweise unter irreparablen Schäden und lebenslangen Behinderungen leiden. Verkehrsunfälle repräsentieren die führende Todesursache bei jungen Menschen im Alter zwischen 15 und 29 Jahren. 91% der tödlichen Verkehrsunfälle geschehen in Ländern mit mittlerem oder niedrigem Einkommen und selbst in reichen Ländern korreliert ein niedriger sozioökonomischer Status mit einer höheren Wahrscheinlichkeit, Opfer eines Verkehrsunfalls zu werden, im Vergleich zur Gesamtbevölkerung. Adäquate gesetzliche Regelungen zur Unfallverhütung gibt es weltweit nur in 28 Ländern. Hierzu gehören Regelungen für Geschwindigkeit, Kindersitze, Sicherheitsgurte, Sicherheitshelme und das Fahren unter dem Einfluss von Alkohol und anderen Substanzen. Die Hälfte der tödlich Verunfallten sind Motorradfahrer, Radfahrer oder Fußgänger. Diese Gruppen sind also besonders gefährdet, während die Fahrer eines Kraftfahrzeugs durch dieses vergleichsweise gut geschützt werden. Junge Erwachsene im Alter zwischen 15 und 44 Jahren sind im Straßenverkehr einem besonders hohen Risiko ausgesetzt, denn sie stellen einen Anteil von 59% der Verkehrstoten [28]. In dieser Altersgruppe ist die Wahrscheinlichkeit, einen tödlichen Verkehrsunfall zu erleiden für Männer fast dreimal so hoch wie für Frauen. Das ist der größte Geschlechtsunterschied bei Mortalitätsraten, abgesehen von Gewaltakten [29, 30]. Während die Überlebenschancen von Fußgängern, welche von einem Auto erfasst werden, bei

einer Geschwindigkeit von weniger als 30 km/h signifikant erhöht ist, senkt eine Reduktion der Geschwindigkeit im Straßenverkehr generell die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls, sowie im Falle eines Unfalls die Schwere der Verletzungsfolgen. Des Weiteren hat der Genuss von Alkohol einen großen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Eine Blutalkoholkonzentration (BAK) von über 0,4 g/l (0,32 ‰) erhöht das Unfallrisiko im Straßenverkehr signifikant [28].

Mit dem korrekten Tragen von Schutzhelmen im Straßenverkehr (auf Zweirädern oder offenen mehrrädriigen Fahrzeugen) kann das Risiko von tödlichen Kopfverletzungen um 40% und von schweren Kopfverletzungen generell um 70% gesenkt werden. Die Verwendung von Sicherheitsgurten und Kindersitzen gilt ebenfalls als effektive Schutzmaßnahme. Im Falle eines Verkehrsunfalls reduziert der Gebrauch von Kindersitzen die Sterblichkeitsquote unter Säuglingen um bis zu 80% und bei Kleinkindern um 70%. Passagiere mit Sicherheitsgurten haben bei Unfällen eine bis zu 50% höhere Überlebenschance auf den vorderen Sitzen, auf den hinteren Sitzen ist diese sogar um bis zu 75% erhöht. Die Benutzung von Mobiltelefonen reduziert die Fahrleistung (z.B. durch längere Reaktionszeiten) und erhöht so die Wahrscheinlichkeit in einen Unfall verwickelt zu werden um 400% [28].

Als weltweit zweitgrößte traumatische Unfall-Todesursache fordern Stürze jedes Jahr ungefähr 424.000 Todesopfer. Von den 37,3 Millionen Patienten, die jährlich aufgrund von Stürzen in ein Krankenhaus eingewiesen werden, haben Erwachsene über 65 Jahre die höchste Wahrscheinlichkeit an ihren Verletzungen zu sterben. Eine weitere hochgefährdete Gruppe sind Kinder. Zu den komplexen Gründen hierfür zählen inadäquate Aufsicht durch Erwachsene, Armut und gefährliche Umgebungen. In einigen Ländern zeigt sich eine höhere Mortalität nach Stürzen bei Männern, während Frauen häufiger nicht-tödlich stürzen. Zu den Risikofaktoren zählen gefährliche Arbeitsbedingungen wie das ungesicherte Arbeiten in großer Höhe, sozioökonomische Faktoren, der Einfluss von Alkohol und anderen Drogen, Mobilitätseinschränkungen, sowie neurologische-, kardiologische- oder andere Vorerkrankungen [31]. Aus einem thorakalen Trauma können sekundäre Komplikationen wie Atelektasen, Pneumothoraces, Pneumonien, Pleuraergüsse, kardiale- und Wundprobleme und weniger häufig auch Lungenemphyseme, Atemwegsprobleme, Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS), Lungenarterienembolien und massive subkutane Emphyseme entstehen [23]. Trotz der Abwesenheit von knöchernen Frakturen liegen signifikante thorakale Verletzungen bei bis zu 24,7% der Patienten vor. Am häufigsten sind dies Hämothoraces und Pneumothoraces (62,2%), Herzkontusionen (15,7%), Rupturen des Zwerchfells (7,9%) oder Rupturen der Aorta (7%) [30].

Der Injury Severity Score (ISS) korreliert für Patienten mit thorakalen Verletzungen zwar als Indikator für die Schwere von Traumata gut mit der Mortalität, kann aber nicht als absolut

verlässlich angesehen werden und muss deshalb in Relation mit anderen klinischen Informationen interpretiert werden [23]. Darüber hinaus kann ein korrekter ISS nur berechnet werden, wenn alle Diagnosen bekannt sind, weshalb er eher für retrospektive Fallgruppenauswertungen und weniger für die prädiagnostische Phase (z.B. Entscheidungen im diagnostischen Protokoll) relevant ist. Laut Paffrath et al. führt ein erhöhter ISS in Verbindung mit dem Vorliegen von Risikofaktoren, wie hohem Alter, Azidose, Bewusstlosigkeit, Hypertension und Gerinnungsstörungen, zu einer erhöhten Sterblichkeit. Demnach lag die Mortalität für Patienten mit einem medianen ISS von 24,2 und keinem dieser Risikofaktoren bei 3,1%, während 16,0% der Patienten mit einem medianen ISS von 27,8 und einem vorliegenden Risikofaktor starben. Für Patienten mit einem medianen ISS von 35,5 und zwei vorliegenden Risikofaktoren lag die Sterblichkeitsrate sogar bei 46,7% [32]. Gemäß der Ergebnisse von Emircan et al. ist ein ISS von über 22 einer der wichtigsten, die Mortalität beeinflussenden, Faktoren (Odds Ratio (OR) = 6,27; 95% Confidence Interval (CI) = 2,48-15,88; $p < 0,0001$) [33]. Darüber hinaus haben Patienten mit einem ISS von über 16 ein 8,1-fach erhöhtes Risiko für das Vorliegen eines okkulten Pneumothorax, verglichen mit Patienten mit einem ISS von unter 16 ($p < 0,0001$) [34]. Outcome und Prognose der meisten Patienten nach Thoraxtrauma sind exzellent. Bei über 80% bedarf es keiner invasiven Therapie, oder allenfalls der Anlage einer Thoraxdrainage [1]. Dennoch müssen alle diese Patienten adäquat überwacht werden, um jene zu identifizieren, welche eine operative oder anderweitig invasive Therapie benötigen [35].

2.2.2 Rechtliche Aspekte in der Radiologie

Ein Fehler oder eine falsche Entscheidung kann in der Radiologie, wie in jeder anderen medizinischen Disziplin, rechtliche Folgen haben. Selbst der sorgfältigste Radiologe kann irgendwann in seiner Karriere eine Verletzung oder Erkrankung übersehen. Jedoch lassen sich durch eine Auseinandersetzung mit den häufigsten Fehlerquellen viele Fehler im Vorhinein vermeiden. Generell werden vier Hauptgründe für gerichtliche Verfahren gegen Radiologen unterschieden:

- Fehler in der *Erkennung*
- Fehler in der *Interpretation*
- Fehler in der *Kommunikation* von Befunden in einer klinisch und zeitlich korrekten Weise
- Fehler in der *Empfehlung* von folgenden diagnostischen und therapeutischen Schritten

Der häufigste Grund für Klagen gegen Radiologen ist hierbei der Erkennungsfehler. Kommt es zu einem Verfahren, ist die Frage, ob der Fehler für einen vermeidbaren Schaden am Patienten

ursächlich ist von großer Bedeutung. Die rechtliche Bedeutung von Kommunikationsfehlern wächst dabei stetig. Als begutachtender Radiologe ist das alleinige Verfassen eines schriftlichen Berichtes häufig nicht ausreichend. Daher müssen wichtige Befunde unverzüglich dem behandelnden Arzt persönlich demonstriert oder zumindest an diesen telefonisch weitergegeben werden. Zudem ist es ratsam, die stattgehabte Kommunikation schriftlich zu dokumentieren (was, wie, wann, an wen z.B. am Ende des Befundberichts). Vorberichte haben einen beeinflussenden Effekt auf den Betrachter radiologischer Bildmaterialien. Wurde ein Befund in einem vorherigen Bericht übersehen, so neigt der Begutachter dazu, den Fehler zu wiederholen. Aus diesem Grunde sollte das Bildmaterial vor dem Lesen etwaig vorliegender Vorberichte gesichtet werden [36].

Von 1991 bis zum Beginn des Jahres 2016 wurden am Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität in München 2086 Obduktionen an Patienten, welche durch ein thorakales Trauma oder einen Pneumothorax starben durchgeführt. In etwa 5% dieser Fälle, stand die Todesursache zumindest in Verbindung zu medizinischer Diagnostik oder Therapie (Information freundlicherweise von Dr. F. Fischer mit freundlicher Erlaubnis von Prof. Dr. M. Graw, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der LMU in München überlassen). Abhängig von der nationalen Gesetzgebung, liegt die Beweispflicht im Falle einer vermuteten Fehlbehandlung normalerweise beim Patienten. Von dieser Seite aus muss nicht nur das Vorliegen eines solchen Behandlungsfehlers bewiesen werden, sondern auch, dass dieser Fehler für einen Schaden am Patienten ursächlich gewesen ist. (Conditio-sine-qua-non-Formel oder Kausalitätsprinzip). Wenn im Zuge der Ermittlungen Hinweise auf eine Manipulation medizinischer Dokumente oder eine Nichtdurchführung essenzieller Diagnostik zu Tage treten, kann die Beweispflicht auf den Arzt übergehen [37].

Auch ohne das Vorliegen einer Fehlbehandlung kann es zu Anklagen gegenüber Ärzten kommen. Die häufigsten Gründe hierfür sind:

1. Der Patient oder seine Angehörigen sind mit dem Behandlungsergebnis unzufrieden, auch wenn es aus medizinischer Sicht akzeptabel ist, oder sogar zu erwarten war.
2. Inakkurate, inkomplette oder verspätete medizinische Dokumente werden bemängelt, selbst wenn das Behandlungsergebnis exzellent ist.
3. Fehler bei der Ausführung oder der Dokumentation der Patientenaufklärung.

Im Zuge der Ermittlung der Ursache oder der Kostenübernahme bei Verletzungen, in die ein Arbeitgeber oder dritte Personen involviert sind, kann der behandelnde Radiologe gebeten werden, ein gerichtliches Gutachten zu erstellen [38].

2.2.3 Osteoporose

In Europa, Japan und den Vereinigten Staaten sind über 65 Millionen Menschen von Osteoporose betroffen. Mit der Alterung der Bevölkerung in diesen Regionen wächst die Bedeutung der Osteoporose. Schon heute führt die Osteoporose zu weltweit jährlich über 8,9 Millionen Frakturen bis hin zu Bettlägerigkeit und ernsthaften Komplikationen. Das Lebenszeitrisiko für eine osteoporotische Wirbelkörperfraktur (Abb. 2) liegt mit 30% bis 40% im Bereich des Risikos für eine coronare Herzerkrankung [39, 40]. Knöcherne thorakale Frakturen speziell bei postmenopausalen Frauen, aber auch bei Männern, können Indikatoren einer bestehenden Osteoporose sein und somit hat das Thema einer verminderten Knochendichte eine große Relevanz in der vorliegenden Arbeit. Sajjan et al. werteten Daten von 155.031 amerikanischen Frauen im Alter von 50 bis 99 Jahren aus. Jene mit einer dokumentierten Rippenfraktur hatten ein 5,4-fach erhöhtes Risiko für eine erneute Rippenfraktur und ein 2,4-fach erhöhtes Risiko für eine erneute Fraktur an anderer Stelle [41]. Osteoporose und hochdosierte Steroid-Therapien können die Knochenhärte so weit reduzieren, dass selbst starkes Husten zu einer Rippenfraktur führen kann [42]. Pluskiewicz et al. sehen in osteoporotischen Frakturen sogar den wichtigsten prognostischen Faktor für zukünftige Frakturen [43]. Laut Neuerburg et al. leiden 59,0% der Männer über 60 Jahre und 56,2% der Frauen über 50 Jahre welche sich im Krankenhaus mit einer Fraktur vorstellen an einer Osteoporose. Um das Risiko zukünftiger Frakturen zu reduzieren ist es daher in dieser Gruppe sinnvoll, die Knochendichte zu evaluieren und gegebenenfalls zu therapieren [44]. Auch kann die Frage, ob ein Unfallmechanismus adäquat gewesen ist, um zu einer Fraktur zu führen, Hinweise auf eine reduzierte Knochendichte geben [41, 45-49].

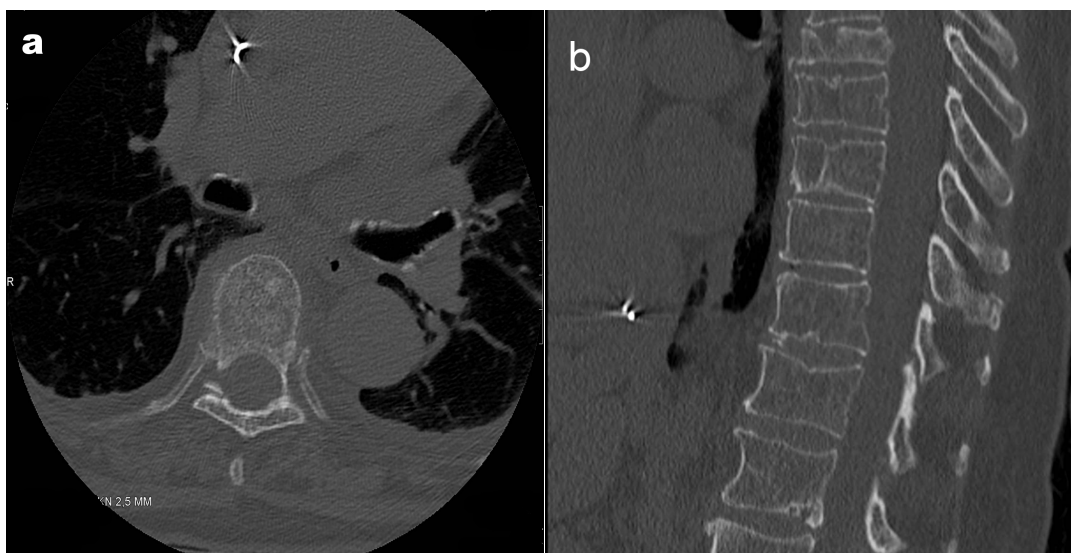


Abbildung 2. Osteoporotische Frakturen der thorakalen Wirbelsäule bzw. eines thorakalen Wirbelkörpers bei einer 86-jährigen Patientin. CT ohne Kontrastmittel in (a) axialen und (b) sagittalen Reformationen. Quelle: [20].

2.2.4 Radiologische Ausrüstung und Techniken

2.2.4.1 Ultraschall

Portable, nicht-invasive Ultraschall(US)-Diagnostik kann zu jeder Zeit, an jedem Ort und bei jedem Patienten durchgeführt werden und ist aus diesem Grund optimal für Notfallsituationen [50]. Das Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST), zur Suche nach freier abdomineller Flüssigkeit, stößt im Allgemeinen auf große Akzeptanz [51-53] Dieses Protokoll wurde erweitert (Extended-FAST, EFAST) um Pathologien des Pleuraspaltes zu detektieren (Abb. 3) [34, 54]. Obwohl die Suche nach nachfolgend genannten Pathologien teilweise weit über den Fokus des EFAST hinaus geht, können neben Pneumothoraces, Hämatothoraces und Pleuraergüssen in geübter Hand manchmal sogar Pulmonalarterienembolien, cardiale Verletzungen, Rippenfrakturen und Pneumonien mit der Hilfe von Ultraschallgeräten diagnostiziert werden [50]. US ist zum Ausschluss eines vermuteten Pneumothorax sogar geeigneter als eine Röntgenaufnahme des Thorax im Liegen (Sensitivität 48,8% vs. 20,9%; Spezifität 99,6% vs. 98,7%) [34]. 2010 wurde dieser Sachverhalt in einer Meta-Analyse in Bezug auf die Sensitivität bestätigt (86% bis 98% vs. 28% bis 75%), während sich für die Spezifität beider Bildgebungsverfahren kein Unterschied ergeben hat (97% bis 100% vs. 100%) [55]. US könnte dem Röntgen-Thorax gegenüber auch zur Detektion für Rippenfrakturen überlegen sein, jedoch fehlt es zur Zeit noch an ausreichender Evidenz durch aussagekräftige Studien [56].

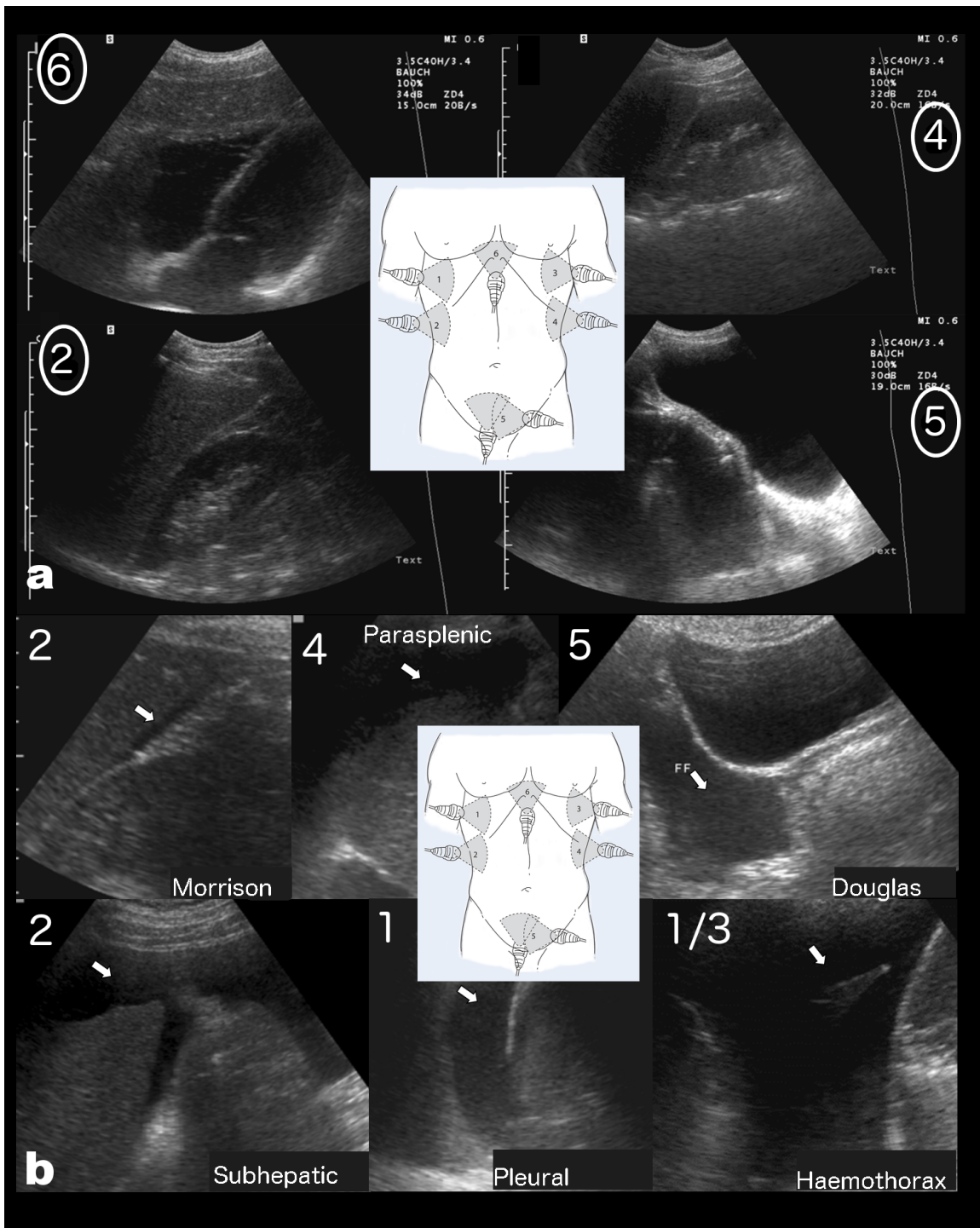


Abbildung 3. EFAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma): Schnelle Ultraschall-Untersuchung zur Detektion freier intraabdomineller-, sowie intrapleuraler Flüssigkeiten. a: Nicht-pathologische Darstellung von Herz (6), Morrison-Pouch (2), Koller-Pouch (4) und Douglasraum (5), in sagittaler Ausrichtung. b: Korrespondierende Beispiele pathologischer Befunde. Freie Flüssigkeit mit Pfeilen markiert. Die Zentrale Abbildung zeigt die Positionen des Schallkopfes. Quelle: [20], zentrale Abbildung [57].

2.2.4.2 Röntgen Thorax

Röntgenaufnahmen des Thorax sind häufig Bestandteil der Standard Traumadiagnostik, selbst im Falle einer geplanten späteren Computertomographie (CT)-Untersuchung. Mit mobilen C-Bogen-Fluoroskopie- und Radiographie-Geräten lässt sich die Positionierung von Kathetern und Endotrachealtuben überprüfen (Abb. 4). Häufig ist die Detektion von Pathologien wie Pneumothorax, Spannungspneumothorax, Hämatothorax, Hämatomen außerhalb der Pleura und Verletzungen der Aorta (Abb. 5), des Herzens, der Trachea, des Oesophagus, der großen thorakalen Gefäße, der knöchernen Brustwand und der Lungen möglich. Also ist die Radiographie ein wichtiges und zeiteffektives Instrument zur Triage von Notfallpatienten im Schockraum. In diesen Situationen sind die Patienten jedoch selten in der Lage zu stehen und in voller Inspiration zu verbleiben, was zu einer Limitierung auf den anterior-posterioren (AP) Strahlengang und einer verminderten Qualität aufgrund von Bewegungsartefakten und verdeckendem Material, wie zum Beispiel EKG-Kabeln, führt [53, 58]. Aus diesem Grund ist leicht verständlich, dass ungefähr die Hälfte der Pneumothoraces und Rippenfrakturen, welche durch die CT diagnostiziert werden können, im AP-Radiogramm okkult bleiben. Daher raten Experten davon ab, sich im Falle eines hochenergetischen stumpfen Brusttraumas zu sehr auf die Röntgen-Bildgebung zu verlassen [53, 59, 60].

Zusammenfassend kann die Radiographie des Thorax trotz verringerter Genauigkeit im Vergleich zur CT, wichtige Informationen liefern und ist je nach baulichen bzw. strukturellen Gegebenheiten für Schockraumpatienten häufig schneller verfügbar. Die Nutzung der konventionellen Radiographie des Thorax ist also berechtigt bei Patienten mit minderschwerem Thoraxtrauma oder bei Patienten nach hochenergetischem Thoraxtrauma, falls die CT nicht rechtzeitig verfügbar ist. Ist die CT für Hochrisiko-Patienten gleich schnellverfügbar, so liefert der CT-Scout (auch Topogramm oder Scanogramm) (Abb. 6) mit der konventionellen Radiographie vergleichbare relevante Informationen (über Zustände, welche eine unmittelbare Intervention nötig machen), jedoch geht hierfür weniger Zeit verloren [61]. Die Auswahl der radiologischen Bildgebungsmodalität für Notfallpatienten hängt daher im klinischen Alltag insgesamt nicht nur von der Dringlichkeit, sondern auch vom Zustand des Patienten und von räumlichen Gegebenheiten ab [2, 53, 58-60, 62].

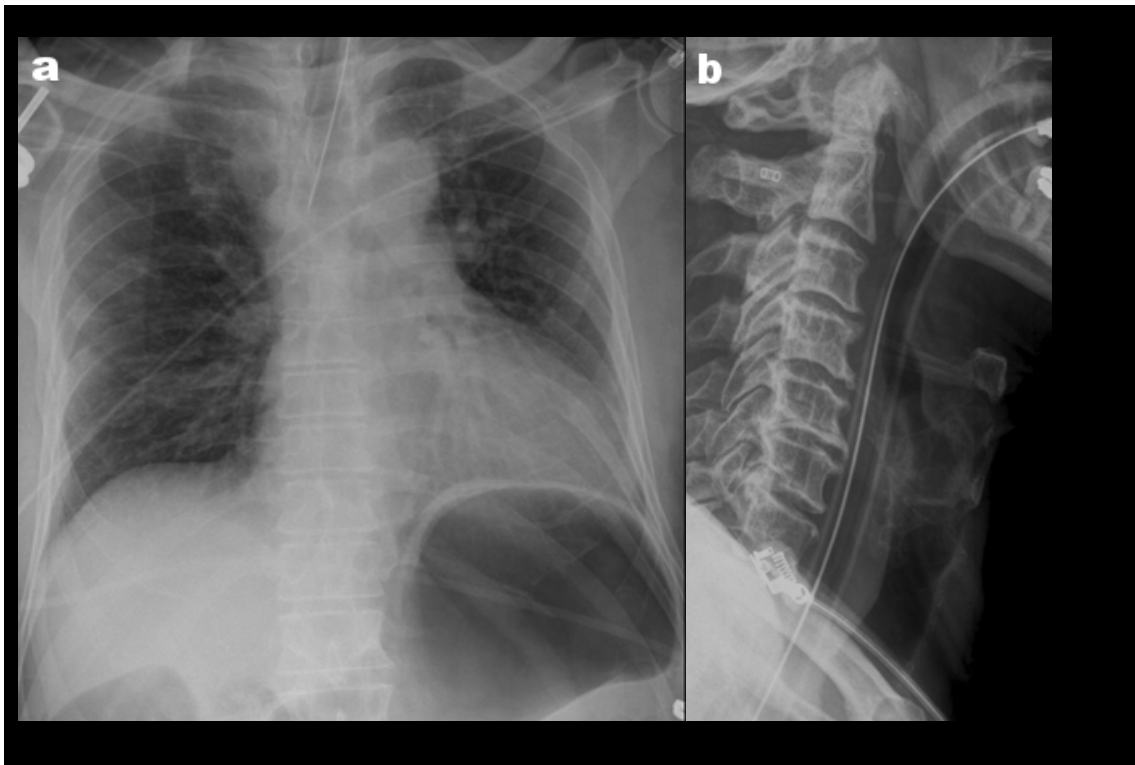


Abbildung 4. Falsch platzierter Endotrachealtubus. Bemerkenswert ist die große Menge Luft in Projektion auf den Magen und die Kreuzung des Tubus mit der linken Begrenzung der Trachea im Thorax-Radiogramm (a) in AP-Strahlengang und (b) in sagittaler Halsansicht. Ein Beleg für die Fehlpositionierung. Quelle: [20].

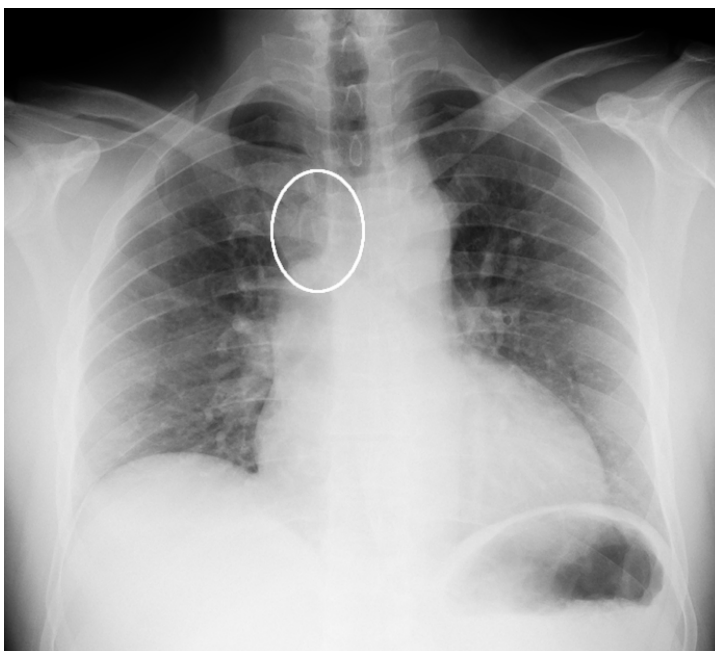


Abbildung 5. Primär unentdeckte Stanford A Dissektion der Aorta mit letaler sekundärer Herzbeutelamponade. AP-Radiogramm des Thorax bei einem 46-jährigen Patienten mit dezentem Brustschmerz nach Gewichtheben vier

Stunden zuvor. Die dezente Verdickung und die verminderte Strahlentransparenz im anterioren Mediastinum, sowie die Buckelung in Projektion auf die Begrenzung der Aortenwurzel wurde übersehen. Bei fehlendem Apical Cap Sign und nur leichten Schmerzen wurde der Patient nach Ausschluss internistischer Pathologien nach Hause entlassen wo er vier Stunden später verstarb. Eine CT wurde nicht angefertigt, aber die Autopsie bestätigte die Befunde. Quelle: [20].



Abbildung 6. Topogramm eines Polytraumapatienten zur Planung der exakten Positionierung für den CT-Scan. Zusätzlich liefert es Informationen über relevante Pathologien und kann Hinweise für eine eventuelle Erweiterung der Scan-Region geben. Quelle: [20].

2.2.4.3 Computertomographie

Die CT (inklusive CT-Angiographie) hat die Versorgung stumpfer Traumata revolutioniert. Sie ermöglicht eine schnelle Diagnose komplexer Verletzungen und als Konsequenz oft auch einen früheren Beginn einer gezielten Therapie. Typische Beispiele hierfür sind z.B. die Embolisierung arterieller Blutungen oder der Einsatz von Stents bei Dissektionen oder Transsektionen von Gefäßen [63]. In Traumazentren sind hochqualitative 3D Ganzkörper-CT-Bildgebungen rund um

die Uhr verfügbar. Die Sensitivität für Rippenfrakturen ist mit 80% bis 100% die höchste unter allen Modalitäten [64, 65]. Darüber hinaus lassen sich mit der CT auch Informationen über assoziierte Verletzungen gewinnen. Laut Traub et al. können mithilfe der CT signifikante Verletzungen bei ungefähr 38% der Patienten mit initial blanden Radiogrammen demaskiert werden. Hierzu zählen Rippenfrakturen (14,9%, $p < 0,001$), Sternumfrakturen (7,1%, $p < 0,001$), Scapulafrakturen (4,9%, $p = 0,016$), und Frakturen der Wirbelkörper (15,5%, $p < 0,001$). In anderen Fällen kann eine vermutete Verletzung ausgeschlossen und der Patient so schneller entlassen werden [2]. Eine CT kann selbst während einer Kardiopulmonalen Reanimation durchgeführt werden (Abb. 7) [61]. Gegenargumente gegen die Verwendung der CT sind, je nach Situation, eine längere Dauer der Gesamtuntersuchung und eine höhere Strahlenbelastung im Vergleich zur konventionellen Radiographie (Thorax: Average Effective CT Dose = 2,86 bis 7,4mSv (beziehungsweise bis zu ungefähr 30 mSv bei der Ganzkörper-CT) vs. etwa 0,1mSv in der Radiographie), sowie höhere Kosten [66-68]. Für den großen Teil der Trauma-Verletzten im jungen Erwachsenenalter ist die Diskussion über Kosten und Nutzen der Untersuchung in Bezug auf die Strahlenbelastung besonders wichtig, da ihre Lebenserwartung sehr hoch ist. Demgegenüber steht die Tatsache, dass es möglich ist, mithilfe der Ganzkörper-CT (im Vergleich zur dosisreduzierten, organbasierten CT) bis zu einem Viertel der PolyTraumapatienten das Leben zu retten [69]. Es ist also von größter Wichtigkeit, schnell zu entscheiden, ob sich der Patient in einem akut lebensbedrohlichen Zustand befindet oder nicht. Ist der Patient vital bedroht, so steht die Strahlenexposition in keinem Verhältnis zum Benefit durch die gewonnenen Informationen. Für die meisten Patienten ist ein Polytrauma zudem eine einmalige Erfahrung – eine Situation, welche über Leben und Tod entscheidet. Besonders bei Kindern und jungen Frauen sollte diese Entscheidung aber trotzdem besonders sorgfältig getroffen werden [70].

In der CT werden Flüssigkeiten (z.B.: im Pleuraspalt) durch ihren Dichtewert unterschieden. Im Falle frischer Blutungen kann dieser Wert bei 20 bis 45 Hounsfield Units (HU) liegen [49, 71]. Während des Gerinnungsprozesses erhöht sich die CT-Dichte auf 50 bis 90 HU [49]. Ein Grund für die hohen Schwankungen dieser Werte könnte die mögliche Verdünnung des Blutes von Traumapatienten durch infundierte Lösungen sein. Die Dichtemessung von Flüssigkeiten im Pleuraspalt zur Differenzierung von Blut und anderen Flüssigkeiten sollte standardmäßig durchgeführt werden [2, 49, 53, 58, 63, 71, 72].

Empfehlungen zur Verwendung der CT werden in der Literatur kontrovers diskutiert. Viele Autoren sehen aber hochenergetische Unfallmechanismen, eine instabile und druckschmerzhafte Brustwand, reduzierte Ventilation, erhöhte Anstrengungen bei der Atmung, reduziertes Bewusstsein und einen angelegten endotrachealen Tubus als Kriterien für die Durchführung einer CT-Untersuchung an [2, 53, 58, 62, 63, 71, 72].

In einer gut-strukturierten radiologischen Abteilung kann eine Standard-Ganzkörper-CT inklusive der Bildrekonstruktionen in ungefähr 20 Minuten erfolgen (wobei die ersten Bilder an der CT-Konsole sehr viel eher beurteilt werden können). Die Zeit, die der Patient effektiv im CT-Raum verbringt, lässt sich im Idealfall auf 10 Minuten beschränken. Demzufolge könnten bei einem Massenanfall an Verletzten (MANV) bis zu sechs Patienten pro Stunde und CT-Gerät mit einem Standardprotokoll versorgt werden [70, 73].

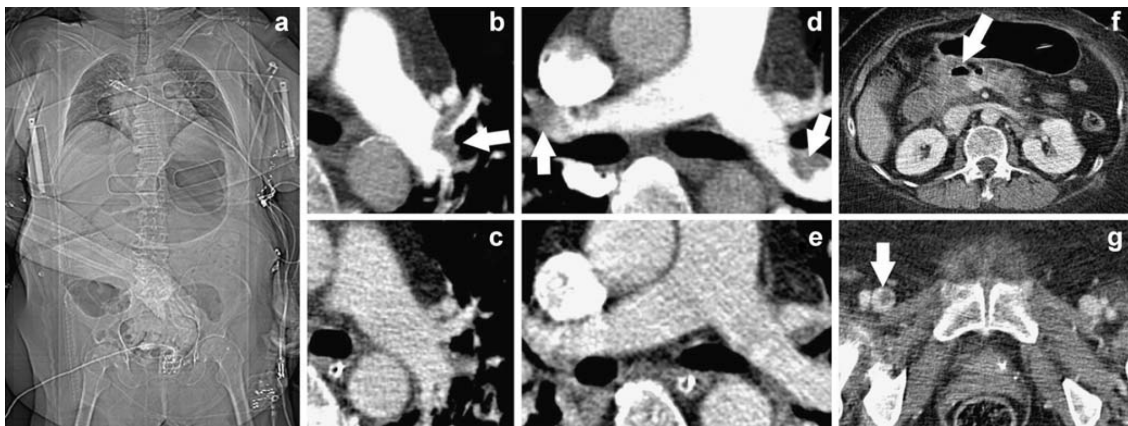


Abbildung 7. CT während der Reanimation einer 62-jährigen Patientin. Die Kompressionseinheit wurde für jede CT-Datenaquisition abgenommen da die Patientin zu adipös war, um mit komplettem LUCAS-Kompressionssystem in die Öffnung des CT-Gantry zu passen. (a) Topogramm zur Planung der thorakalen-, abdominalen- und pelvinalen CT-Serien, (b, d) das Lumen obstruierende Emboli in Lobararterien beider Lungen (**Pfeile**, 50s Delay). (c, e) Bestätigung der erfolgreichen Fibrinolyse in thorakaler Kontrollaufnahme nach Rückkehr der spontanen Blutzirkulation. Bemerkenswert ist die unterschiedliche Kontrastmittelverteilung obwohl alle Parameter mit denen der ersten Aufnahmen (b, d) übereinstimmen. Venöse Phase, 210 s Delay: (f) freie peripancratische Luft umgeben von kleinen Gebieten mit Kontrastmittel (**Pfeil**). (g) Thrombose der rechten tiefen Femoralvene (**Pfeil**). Quelle: [61].

2.2.4.4 Magnetresonanztomographie

Im Gegensatz zu Ultraschall, Computertomographie, und konventioneller Radiographie, kann die Magnetresonanztomographie (MRT) bis zu einer Stunde andauern und ist somit sehr zeitintensiv. Währenddessen müssen die Patienten stillliegen und können nur sehr eingeschränkt therapiert werden. Aufgrund dieser Umstände ist die MRT in der Primärversorgung schwerverletzter Traumapatienten häufig weniger geeignet. Trotzdem ergeben sich in speziellen Situationen, wie vermuteten Herz-, Perikard-, spinalen Verletzungen, sowie insbesondere bei Schwangeren oder pädiatrischen Patienten wichtige Indikationen für die Verwendung der MRT [53].

Im Notfall hilft die Auseinandersetzung mit folgenden Aspekten für eine Entscheidung für oder wider die MRT:

1. Ist die MRT die einzig verfügbare Modalität zur Diagnose oder zum Ausschluss der vermuteten Pathologie oder ist sie, im Falle annähernder Gleichwertigkeit zweier Modalitäten, aus anderen Gründen (z.B. der Strahlenbelastung bei pädiatrischen Patienten) vorzuziehen?
2. Könnte der erwartete Zugewinn an Informationen zu einer wertigen Therapieänderung führen?
3. Könnten diese neuen Informationen zu einer sofortigen Maßnahme führen, welche den Patienten vor irreversiblen Schäden voraussichtlich bewahren könnten (z.B. die Re-Fixierung von geschädigtem Gelenkknorpel)?

Wurden alle diese Fragen mit „ja“ beantwortet, so ist die MRT trotz gegebener Nachteile auch in der akuten Notfallsituation angebracht. Dennoch sollten die gefahrenen Sequenzen zur Einsparung von Zeit auf ein nötiges Minimum zur Beantwortung der spezifischen Fragestellung reduziert werden [74]. Immer zu bedenken ist, dass Traumapatienten (z.B. schmerzbedingt) dazu neigen sich zu bewegen. Da eine MRT-Sequenz im Gegensatz zur schichtweisen CT immer aus dem gesamten Datensatz errechnet werden muss, ist hier eine hohe Patienten-Compliance nötig um eine diagnostisch aussagekräftige MRT zu ermöglichen. In der Praxis resultieren im Falle von Bewegungen in der CT Bewegungsartefakte in den betroffenen Schichten, nicht aber in den sonstigen Bildern der gesamten Spirale. Im Gegensatz hierzu bewirken Bewegungen in der MRT die falsche Berechnung aller Bilder der gesamten betroffenen MRT-Sequenz, wodurch diese in der Regel insgesamt nicht mehr verwertbar sind.

2.2.5 Weichteilkontusionen und subcutanes Emphysem

2.2.5.1 Epidemiologie von Weichteilkontusionen und subcutanen Emphysemen

Weichteilverletzungen wie Muskelrisse, Hämatome, Ablederungen, Verbrennungen, Ecchymosen (kleine fleckförmige Blutungen) oder Lacerationen sind häufige Befunde bei Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma [75]. Da diese Weichteilverletzungen regelmäßig mit schwereren Verletzungen assoziiert sind, sollten sie als Indikatoren hierfür betrachtet werden. Eine Lungenkontusion (Abb. 8) ist beispielsweise eine häufige Verletzung nach stumpfem Thoraxtrauma (17% bis 70%) und kann ihrerseits als Prädiktor für einen okkulten Pneumothorax angesehen werden (OR = 3,25; 95% CI = 1,62-6,54; p = 0.001) [49, 58, 59, 76]. Subcutane Emphyseme bei Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma (in ungefähr 15% der Fälle) sind ebenso Marker für okkulte Pneumothoraces mit einer Risk-Ratio von 6,78 (95% CI 2,46-18,66; p < 0.001) und einer Spezifität von 98% [59, 75]. Ball et al. berichten hierbei von einer Inzidenz des Emphysems von 7% in einer Population von 338 Traumapatienten mit einem ISS \geq 12 [59]. Turkalj et al. detektierten subcutane Emphyseme bei 34,4% von 61 Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma [77].

Das Vorliegen subcutaner Emphyseme sollte auch die genaue Suche nach knöchernen Frakturen stark motivieren. Zwischen 18,4% und über 75% der Patienten mit subcutanen Emphysemen weisen mindestens eine assoziierte Rippenfraktur auf [77]. Die Sterblichkeitswahrscheinlichkeiten von Patienten mit Weichteilverletzungen sind vorwiegend abhängig von assoziierten schwereren Verletzungen. Als Beispiel erhöht die gleichzeitige Inzidenz einer Lungenkontusion und einer „Flail Chest“ die Sterblichkeitswahrscheinlichkeit des Patienten auf mehr als das Doppelte von 16% auf 42% [23]. Flail Chest ist eine klinische Diagnose auf Basis von ossären Frakturen und des Atemmechanismus. Sind drei oder mehr zusammenhängende Rippen an jeweils mindestens zwei Stellen gebrochen, so bilden sie ein Segment, welches sich bei der Atmung des Patienten im Vergleich zum Rest der Brustwand paradox bewegt. Dieses Verletzungsbild tritt üblicherweise an den anterioren oder anterolateralen Regionen der mittleren und unteren Rippen auf, welche schlechter durch Muskulatur und anderes umgebendes Gewebe geschützt sind. Die Compliance der Rippen ist bei der Entstehung der Flail Chest genauso wichtig wie die Kraft des Aufpralls. Mögliche Konsequenzen sind starke Schmerzen und respiratorische Insuffizienz aufgrund von einer reduzierten Vitalkapazität und ineffektiver Ventilation. Während die Frakturen durch bildgebende Verfahren dargestellt werden, ist die paradoxe Bewegung der Brustwand üblicherweise ein Befund der körperlichen Untersuchung [58, 65, 78].

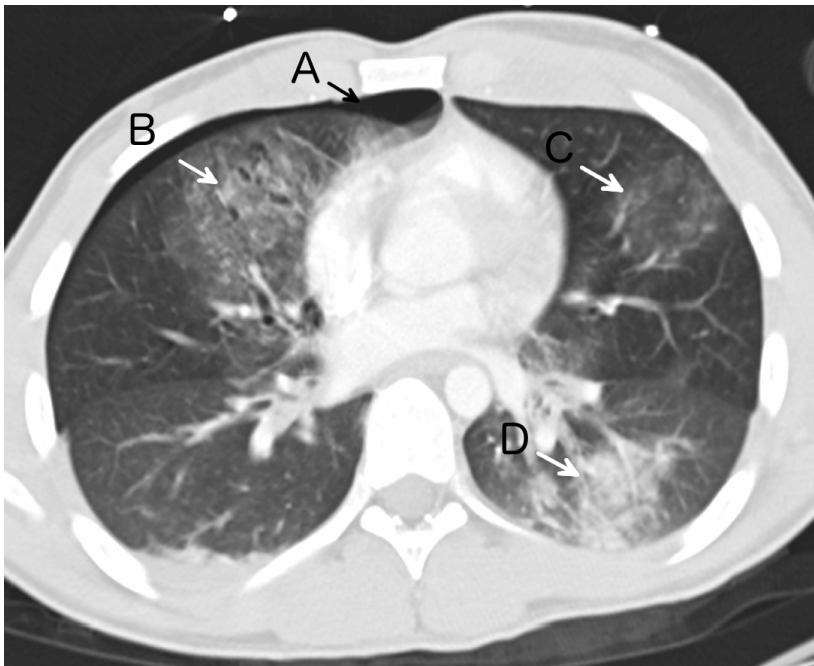


Abbildung 8. Pneumothorax (A), Lungenlazeration (B), Lungenkontusion (C), und Aspiration (D). Axiale kontrastmittelgestützte CT des Thorax in Lungenfenster-Einstellung. Quelle: [20].

2.2.5.2 Biomechanik von Weichteilkontusionen und subcutanen Emphysemen

Weichteilkontusionen können Emphyseme, Schwellungen, Schmerzen und Hämatome arterieller oder venöser Genese verursachen. Während sich arterielle Hämatome häufig schnell ausbreiten, sind venöse Hämatome vorwiegend selbst-limitierend und langsam ausbreitend. In diesem Kontext entwickeln Patienten unter antikoagulativer Therapie häufiger Komplikationen als nicht-antikoagulierte Patienten (75% vs. 41%) [59]. Die Einnahme von Antikoagulanzen vor einem Trauma erhöht die Odds-Ratio von Verletzten für Blutungskomplikationen auf 2,3 (95%, CI 1,1-4,8; $p < 0,05$) [49, 79]. Rippenfrakturen können über Luft-Leckage durch die Zerreißung von Pleura und Lungenparenchym subcutane Emphyseme und Pneumothoraces verursachen. Tracheobronchiale Verletzungen können ebenso subcutane Emphyseme und auch Mediastinalemphyseme induzieren. Da das menschliche Fettgewebe nicht in Kompartimente unterteilt ist, können sich subcutane Emphyseme thorakaler Genese in Abdomen, Skrotum, Extremitäten, Mediastinum, Retroperitoneum oder sogar Gesicht und den restlichen Kopf ausbreiten (Abb. 9) [75].

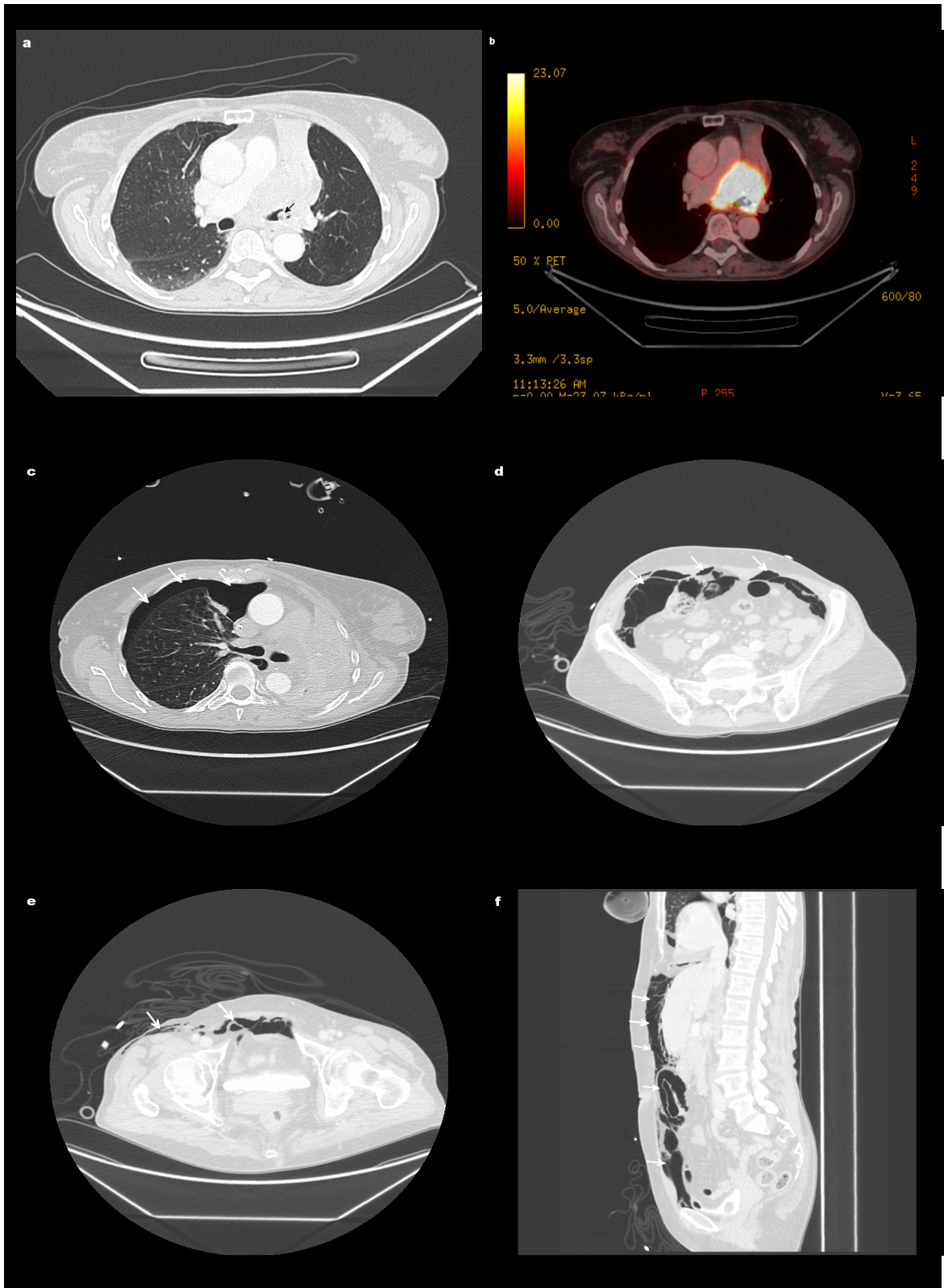


Abbildung 9. Spannungspneumothorax mit Luftverteilung über das Abdomen in subcutane Räume. Den linken Hauptbronchus verengendes Bronchialkarzinom bei einer 65-jährigen Patientin in (a) kontrastverstärkter (contrast-

enhanced=CE) CT in axialer Schnittbildführung und (b) 2-Fluor-2-Desoxy-D-Glucose-Positronen-Emissions-Tomographie (FDG-PET)-CT. Eine Woche später präsentiert dieselbe Patientin eine komplette Atelektase der linken Lunge (sekundär nach einer kompletten Verlegung des linken Hauptbronchus durch das Bronchialkarzinom), einen Spannungspneumothorax auf der rechten Seite (c, **Pfeile**) sowie eine Luftumverteilung durch das Abdomen (d, **Pfeile**) (und Becken)(e, **Pfeil rechts**). Die sagittale Schnittführung (f) demonstriert die gesamte Ausdehnung des abdominalen Emphysems bis in den Leistenkanal (e, **Pfeil links**). Quelle: [20].

2.2.5.3 Diagnostik, Therapie und Outcome von Weichteilkontusionen und subcutane Emphyseme

Kleinere Weichteilkontusionen bleiben in konventionellen Radiogrammen des Thorax üblicherweise okkult. Speziell bei adipösen Patienten, können Hämatome oder Emphyseme schwierig zu erkennen sein. Dennoch sind Asymmetrien oder erhöhte Dichtewerte im Weichteilgewebe Hinweise auf eine Kontusion [49]. Selbst kleine, unscheinbare Hämatome können Marker für gravierende, tieferliegende Verletzungen sein. Subcutane Emphyseme sind in bis zu 32% der Fälle das erste Anzeichen eines okkulten Pneumothorax [59], welcher, speziell bei Beatmung mit positiven Drücken oder bei einem Transport mit Luftfahrzeugen in großer Höhe, eine substanzielle Gefahr für das Leben des Patienten darstellt [34]. Rothlin et al. detektierten per US subcutane Emphyseme bei 17% von 70 Patienten mit thorakalen Pathologien. US kann als angemessenes Untersuchungswerkzeug für diese Verletzungen also zumindest diskutiert werden [52] und ist in jedem Fall außerhalb des Krankenhauses von größter Bedeutung. Tracheo-bronchiale Verletzungen nach stumpfem Thoraxtrauma sind in den Notaufnahmen mit 1% bis 2% selten [80]. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass viele dieser Patienten bereits am Unfallort ihren Verletzungen erliegen. Die geschätzte Gesamtmortalität liegt bei 30% [81-84].

Radiologische Zeichen tracheo-bronchialer (Abb. 10) oder oesophagealer (Abb. 11) Verletzungen sind tiefliegende cervicale Emphyseme (100%), paratracheale Luft (94%), und Pneumothorax (36%). Tracheo-bronchiale Rupturen verlaufen typischerweise transversal, also parallel zu den Knorpelspangen (74%) [80] und befinden sich innerhalb von 2,5cm um die Carina [58, 80]. Dieser Region sollte also bei der Befundung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ein persistierender Pneumothorax bei korrekt angelegter Thoraxdrainage mit kontrolliertem Sog ist ein Indiz für mögliche Verletzungen des tracheo-bronchialen Systems und sollte zum Ausschluss solcher Verletzungen führen. Als "Fallen Lung Sign" (Abb. 12) bezeichnet man die Verlagerung einer Lunge nach postero-lateral bei liegenden und nach inferior bei stehenden Patienten. Dies ist das radiologische Korrelat eines kompletten ipsilateralen Abrisses des Hauptbronchus und seiner Begleitstrukturen. Zusätzlich finden sich in solchen Fällen typischerweise ein Pneumomediastinum, cervicale subcutane Emphyseme und schwerste Blutungen [58, 59]. Des Weiteren können alveoläre Rupturen über den sog. „Macklin-Effekt“ (Abb. 14) zu einem Pneumomediastinum führen (Abb. 13). Laut der

Beschreibung aus der Publikation von Macklin und Macklin aus dem Jahr 1944 gelangt Luft aus den beschädigten Alveolen über bronchoalveoläre Bündel in das Mediastinum. In diesem Falle können Luftstreifen entlang dieser Bündel radiologisch sichtbar werden [85]. Lacerationen der Trachea können meist (70% bis 100%) mithilfe der CT identifiziert werden [58, 80]. Dennoch sollten Verletzungen des tracheo-bronchealen Systems, auch im Hinblick auf das Outcome und mögliche Komplikationen wie Atemwegs Obstruktionen, Bronchiektasen, Pneumonien, Abszesse und Empyeme, bronchoskopisch bestätigt werden [58, 80].

Bei ungefähr 16% der Patienten nach Verkehrsunfällen, bei denen eine hohe Verzögerungsenergie auf den Körper eingewirkt hat, zeigen sich Hämatome im Bereich von Hals und Brust. Dieses „Seatbelt-Sign“ genannte Phänomen ist mit Verletzungen der cervicalen Gefäße assoziiert (z.B. Arteria carotis 3%), welche deshalb mithilfe einer CT mit Kontrastmittel ausgeschlossen werden sollten [49, 86]. Verletzungen der Vertebralarterien treten bei ungefähr 0,5% der Patienten nach stumpfem Trauma auf [87]. Als besonders deutlicher Hinweis auf Verletzungen von Gefäßen gilt eine Kombination von „Seatbelt-Sign“, Glasgow Coma Scale (GCS) < 14, ISS > 16 und einer Fraktur von Clavicula und/oder erster Rippe [49, 86].

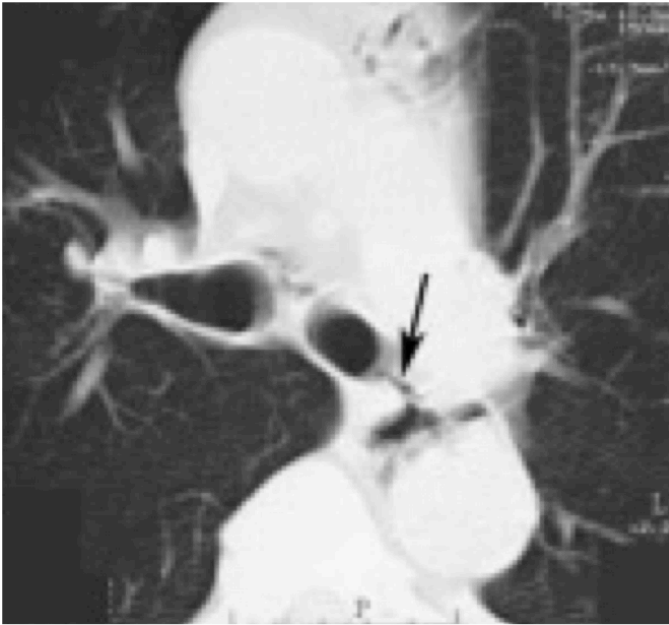


Abbildung 10. Bronchiale Ruptur (Pfeil). CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster. Quelle: [20].

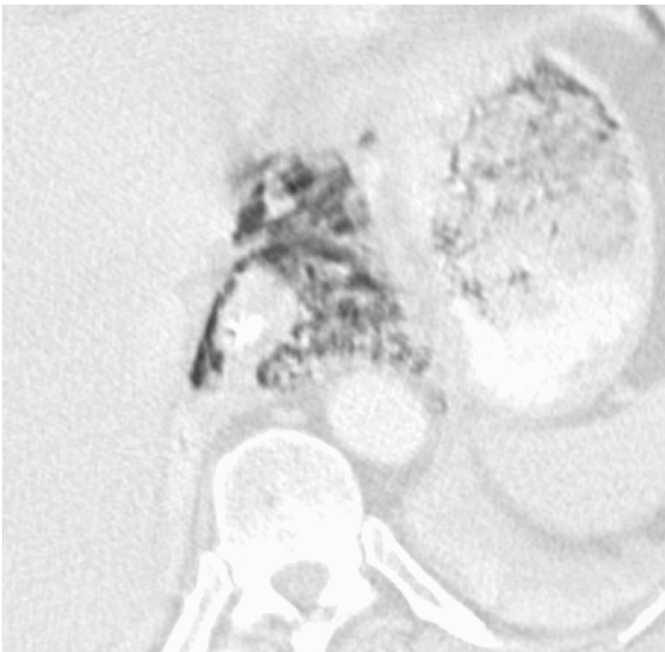


Abbildung 11. Oesophagusruptur. CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster. Quelle: [20].

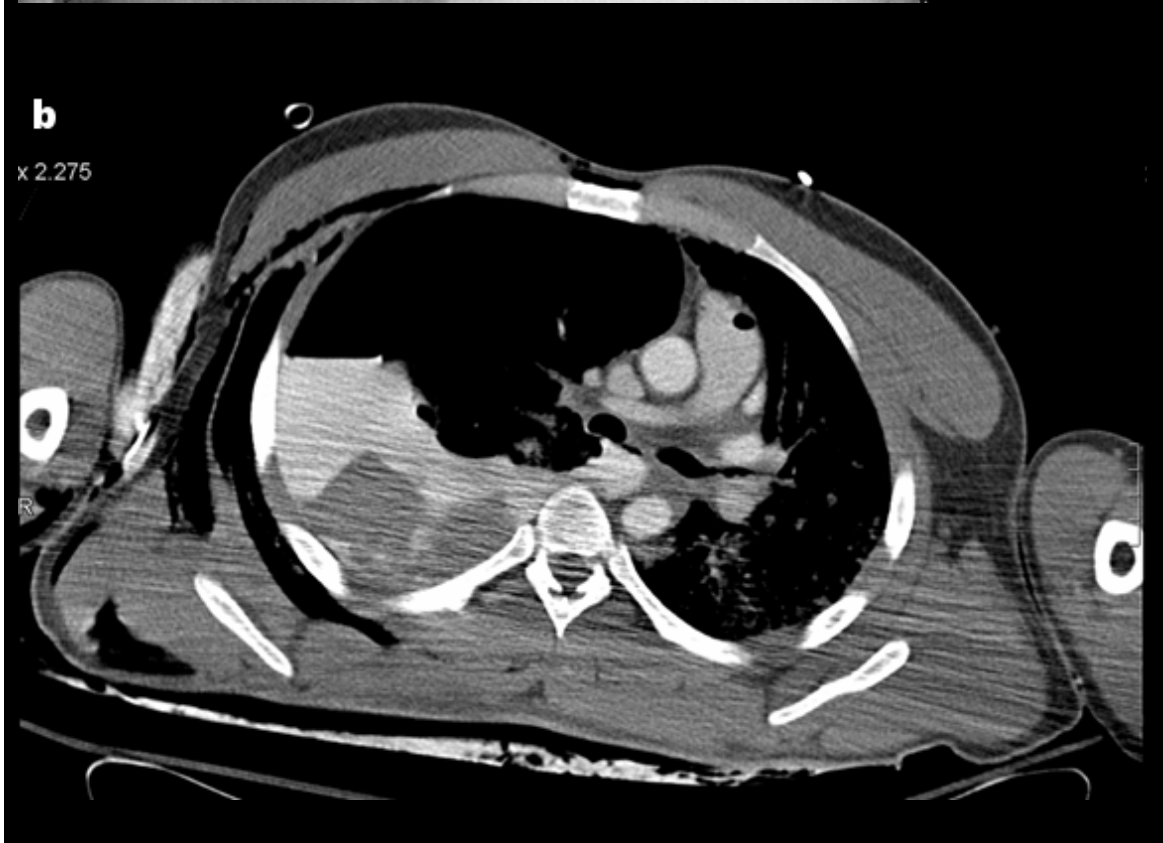
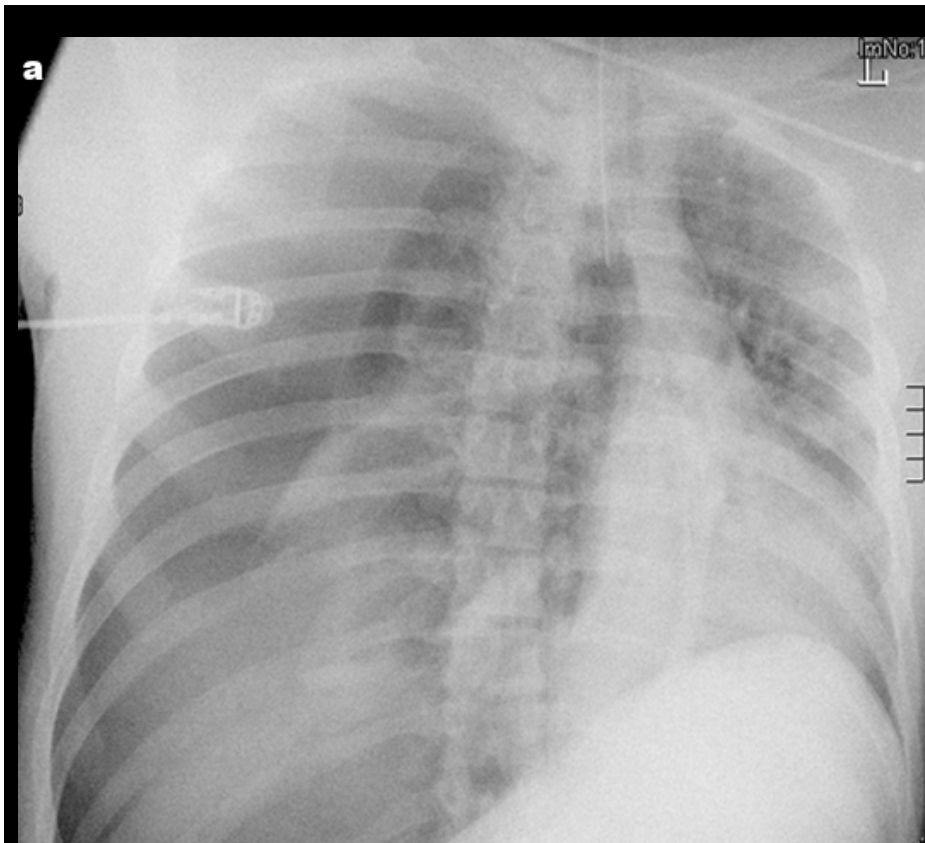


Abbildung 12. Fallen Lung Sign. Polytraumatisierter junger Erwachsener unter manueller Reanimation. (a) AP-Radiogramm des Thorax direkt nach Aufnahme. Bemerkenswert ist die dorsale Position der Lunge und die massive Spannungskomponente in Richtung der linken Seite. Die kontrastmittelverstärkte (contrast-enhanced=CE) CT in axialer Schnittbildführung mit Weichgewebfenster-Einstellung (b) beweist den Spannungspneumothorax, die massive Blutung nach kompletter Avulsion des rechten Hilus und das subcutane Emphysem. Der Patient war trotz intensivster Bemühungen nicht zu retten und der Befund rechtfertigte das Einstellen der Wiederbelebungsmaßnahmen. Quelle: [20].

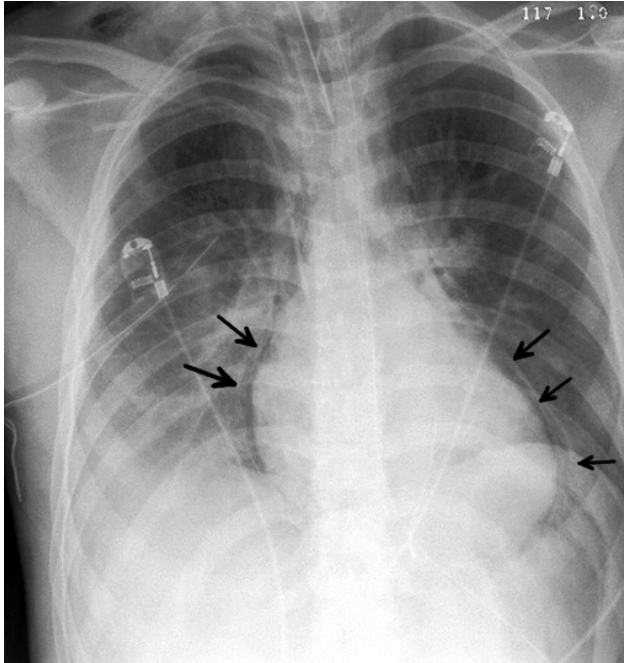


Abbildung 13. Pneumomediastinum im AP-Radiogramm des Thorax (Pfeile). Quelle: [20].



Abbildung 14. Macklin-Effekt (Luft aus beschädigten Alveolen gelangt über bronchovasculäre Bündel in das Mediastinum wodurch ein Pneumomediastinum entsteht). Axiale und coronare CT Reformationen, Lungenfenster. Durch eine Rippenfraktur (hier nicht sichtbar) induzierte distale Lazeration der Lunge mit sich an bronchovasculären

Ästen orientierenden Bahnen freier Luft, welche sich in das Mediastinum fortsetzen. Derselbe Patient wie in Abb. 12.
Quelle: [20].

2.2.5.4 Weichteilkontusionen und subcutane Emphyseme in Kurzform

Kleine Weichteilschäden und subcutane Hämatome mögen unscheinbar wirken, sie können jedoch Hinweise auf ausgeprägte tieferliegende Verletzungen sein. Zum Beispiel leiden bis zu 32% der Patienten mit subcutanen thorakalen Hämatomen zusätzlich an einem Pneumothorax. Tiefe cervicale Emphyseme, paratracheale Luftansammlungen, Pneumomediastinum und Pneumothorax (insbesondere nach Anlage einer Thoraxdrainage persistierende Pneumothoraces) weisen auf tracheo-bronchiale Verletzungen hin. Diese befinden sich normalerweise im Umkreis von 2,5cm um die Carina herum und sind bei einer Mortalität von 30% als lebensgefährlich einzuordnen. Lazerationen der Trachea können zwar in 70% bis 100% der Fälle mittels CT identifiziert werden, trotzdem sollte die Diagnose durch eine Bronchoskopie bestätigt werden. Das "Seatbelt Sign" ist ein Indikator für mögliche cervicale Gefäßverletzungen, weshalb das CT-Protokoll auch bei nicht polytraumatisierten Patienten eine entsprechende kontrastmittelgestützte CT dieser Region beinhalten sollte.

2.2.6 Rippenfrakturen

2.2.6.1 Epidemiologie von Rippenfrakturen

Frakturen der Rippen sind die häufigsten knöchernen Verletzungen nach stumpfen Thoraxtraumata (50% der Fälle) und rangieren beim Trauma allgemein auch unter den vorderen Plätzen (10% der Fälle) [30, 49, 62, 88]. Frakturen der ersten beiden Rippen sind in ca. 13% der Fälle mit Verletzungen der Aorta oder der anderen großen thorakalen Gefäße vergesellschaftet [23, 64]. Laut Shalhub et al., stehen arterielle Blutungen nach stumpfem Thoraxtrauma bei 44% der Patienten im Zusammenhang mit Frakturen der Rippen [89]. Bis zu 50% der Rippenfrakturen sind multiple Frakturen und 8% dieser multiplen Frakturen treten bilateral auf [30]. Die Rate von Komplikationen, wie Pneumothorax, Hämatothorax, Lungenkontusion, Flail Chest, Pneumonie und Atelektasen, steigt laut Sirmali et al. mit der Anzahl der frakturierten Rippen (16,4% bei 1-2 Frakturen, 33,6% bei 3-5 Frakturen und 52,7% bei 6 oder mehr Frakturen) [78].

Eine Flail Chest (bis zu 7% der Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma) kann zu starken Blutungen und relevanten Einschränkungen der Atemmechanik führen. Die Angaben der Mortalitätsrate variieren zwar in der Literatur, sie werden aber mit bis zu 33% angegeben [23, 49, 58, 78, 90]. Das Vorliegen einer Scapulafraktur sollte zu einer genaueren Betrachtung der

Rippen führen, da es die Wahrscheinlichkeit von Rippenfrakturen (Relatives Risiko 3,1; $p < 0,01$) und Flail Chest (RR 8,8; $p < 0,001$) erhöht [91]. Des Weiteren liefern Frakturen der Rippen einen Anhaltspunkt für okkulte Pneumothoraces (OR = 2,65; 95% CI = 1,34-5,24; $p = 0,005$) [59]. Die Gesamtmortalität bei Patienten, die mit Frakturen der Rippen im Krankenhaus vorstellig werden liegt bei ungefähr 6% [78].

2.2.6.2 Biomechanik von Rippenfrakturen

Während Rippenfrakturen bei jüngeren Patienten meistens Folge eines hochenergetischen Traumas sind, treten sie bei älteren Patienten eher nach Aktivitäten des täglichen Lebens oder Stürzen aus stehender Position auf. Für diese zweite Gruppe sind Strategien zur Sturzvermeidung effektive Mittel um Verletzungen in Zukunft zu vermeiden. Die menschlichen Rippenfrakturieren meist im lateralen Bereich des Thorax aufgrund des generellen Aufbaus des Brustkorbes und des geringeren Schutzes durch Muskeln und andere Weichgewebe [49]. Nicht nur direkte Lungenverletzungen sondern auch Frakturen des knöchernen Thorax, können durch ihre Schmerzhaftigkeit die Ventilation kompromittieren. Darüber hinaus verschlechtern diese Verletzungen die Oxigenierung durch die Totraumventilation und einen möglichen intrapulmonalen Shunt [1].

2.2.6.3 Diagnostik, Therapie und Outcome von Rippenfrakturen

Das stumpfe Thoraxtrauma ist als Korrelat des Einflusses hoher Energiemengen auf den Brustkorb regelmäßig mit knöchernen Frakturen assoziiert [30, 62]. Dennoch können Patienten generell und besonders Kinder auch ohne vorliegende Rippenfrakturen schwerwiegende andere Verletzungen erlitten haben. Skinner et al. untersuchten die Morbidität von Kindern und Erwachsenen nach stumpfem Thoraxtrauma. Demnach kommt es bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen seltener zu Rippenfrakturen (20,2% vs. 42%) und Flail Chest (2,4% vs. 26,3%), aber häufiger zu Lungenkontusionen (79,8% vs. 65,6%) oder assoziierten Kopfverletzungen (61,9% vs. 42,3%) [76]. Im Gegensatz zu selten lebensbedrohlichen isolierten Rippenfrakturen stellen multiple oder bilaterale Rippenfrakturen Indikatoren für schwere Brustkorbverletzungen mit signifikanter Morbidität und Mortalität dar [58, 88]. Rippenfrakturen beeinflussen die Ventilation durch Laceration des darunter befindlichen Lungenparenchyms, paradoxe Brustwandbewegung oder durch Schmerz [30, 62]. Die ersten drei Rippen sind kurz, breit und gut durch Muskulatur und anderes Gewebe geschützt. Folglich führen hier erst höhere Energiemengen zu Frakturen, wobei der Plexus brachialis sowie die Arteria- und Vena subclavia durch ihre enge topografische Verbindung besonders gefährdet sind. Frakturen der

untersten drei Rippen sind aus dem selben Grund häufig mit traumatischen Verletzungen von Leber, Milz (Abb. 15), Nieren und Lungen vergesellschaftet [58].

Laut einer Studie von Lee et al., die 105.683 Traumapatienten, welche zwischen den Jahren 1984 und 1986 in den Vereinigten Staaten hospitalisiert worden sind inkludiert, erhöht die Diagnose von drei oder mehr Rippenfrakturen das relative Risiko für das gleichzeitige Vorliegen von Hämatothorax/Pneumothorax (RR 18,4), Milz- (RR 6,2) und Leberverletzungen (RR 3,6) [92]. Insofern sind Rippenfrakturen Indikatoren koexistierender thorakaler oder abdomineller Traumata [58, 88]. Im Falle einer Fraktur einer der unteren drei Rippen sollten assoziierte abdominelle Verletzungen via US oder - je nach Situation - anderer abdomineller Bildgebung ausgeschlossen werden. Wenn weder die unteren drei Rippen, noch Abdomen oder Becken mutmaßlich verletzt sind, ist laut aktuellen Leitlinien ein auffälliger Befund in der körperlichen Untersuchung, der Blut- oder Urinanalyse nötig, um eine Bildgebung dieser Region zu rechtfertigen [62]. Drei oder mehr Rippenfrakturen liefern – so Sirmali et al. – als orientierender Richtwert die Indikation für eine Hospitalisierung und sechs oder mehr Rippenfrakturen beim älteren Patienten die Indikation für die Behandlung auf einer Intensivstation [78]. Ball et al. untersuchten ein Kollektiv von Traumapatienten auf einen Zusammenhang von Pneumothoraces und Rippenfrakturen. Demnach erlitten 59% der Patienten mit initial okkultem Pneumothorax (Abb. 16) Rippenfrakturen, während unter den Patienten ohne Pneumothorax nur 27% Rippenfrakturen aufwiesen [59]. Zur Abschätzung der zu erwartenden Morbidität und Mortalität spielt die Anzahl von Rippenfrakturen eine Rolle. In einer Analyse von Bulger et al. erhöhte sich die Odds Ratio für das Versterben des Patienten um 1,19 und für eine Pneumonie als Folge der Verletzung um 1,16 pro frakturierte Rippe [93]. Eine adäquate Schmerztherapie kann jedoch der Entwicklung von Infektionen der Lunge sowie Atemdepression oder Atelektasen vorbeugen. Hier ist eine epidurale Applikation von Analgetika – sofern indiziert – der intravenösen oder oralen Gabe als überlegen anzusehen. Auch bei der Entwöhnung von invasiven Beatmungsmethoden spielt der atemabhängige Schmerz nach multiplen Rippenfrakturen eine Rolle, weswegen die unterstützende Schmerztherapie hier nicht nur zur Pneumonieprophylaxe besonders wichtig ist [78, 93].

Bei der Auswahl der diagnostischen Modalität ist das Abwägen von Pro und Kontra – also Spezifität und erwartetem Zugewinn von Informationen gegenüber Zeitaufwand, Strahlenbelastung und Kosten – ausschlaggebend. Trotz der potenziellen signifikanten Morbidität durch Rippenfrakturen selbst, spielt der Nachweis von assoziierten Komplikationen, wie Hämatothorax (Abb. 17), Pneumothorax, Lungenkontusion, Flail Chest, Atelektasen, cardiovasculären- und abdominellen Verletzungen eine größere Rolle. Zur Diagnose von Rippenfrakturen bei Patienten nach niederenergetischem Trauma stellt das Thorax-Röntgenogramm in zwei Ebenen daher den Goldstandard dar und ist meistens ausreichend

[62]. Laut Empfehlung des American College of Radiology ist eine CT-Bildgebung mit oder ohne Kontrastmittelapplikation die adäquate Modalität für Patienten, bei denen durch die körperliche oder vorangegangene radiologische Untersuchung Rippen- beziehungsweise Sternumfrakturen plus eine der oben genannten assoziierten Komplikationen festgestellt wurden [62]. Singuläre, multiple oder nicht akute Rippenfrakturen sind isoliert nur mit geringer Morbidität und Mortalität vergesellschaftet. Eine CT Untersuchung des Thorax ist hier zwar genauer, aber dennoch nur dann indiziert, wenn beispielsweise nach einem hochenergetischen Unfallhergang ein relevanter Zugewinn an Information erwartet wird. Eine „übersehene“ unkomplizierte Rippenfraktur hat meist keinen Einfluss auf Outcome oder Behandlung. Deswegen gibt es in der Fachliteratur auch wenige Empfehlungen zu erweiterter Bildgebung in diesen Fällen, trotz der Überlegenheit der CT im Vergleich zur konventionellen Radiographie (die Sensitivität der CT liegt für die Diagnose von Rippenfrakturen bei 80 bis 100%) [2, 62, 64, 65].

Gleichwohl sollte bedacht werden, dass nur ungefähr 50% der Rippenfrakturen in der konventionellen Radiographie des Thorax entdeckt werden [93]. Bei Patienten mit druckschmerzhaftem Thorax, erschwerter Atmung und reduzierter Lungenbelüftung bietet die CT einen signifikanten Zugewinn an Information. Traub et al. empfehlen für invasiv beatmete Patienten bei Hospitalisierung standardmäßig eine CT des Thorax aufgrund der limitierten Anamnese und körperlichen Untersuchung. Die finale Entscheidung zur Wahl der radiologischen Modalität sollte erst nach Abwägung aller vorhandenen klinischen und radiologischen Informationen getroffen werden [2].

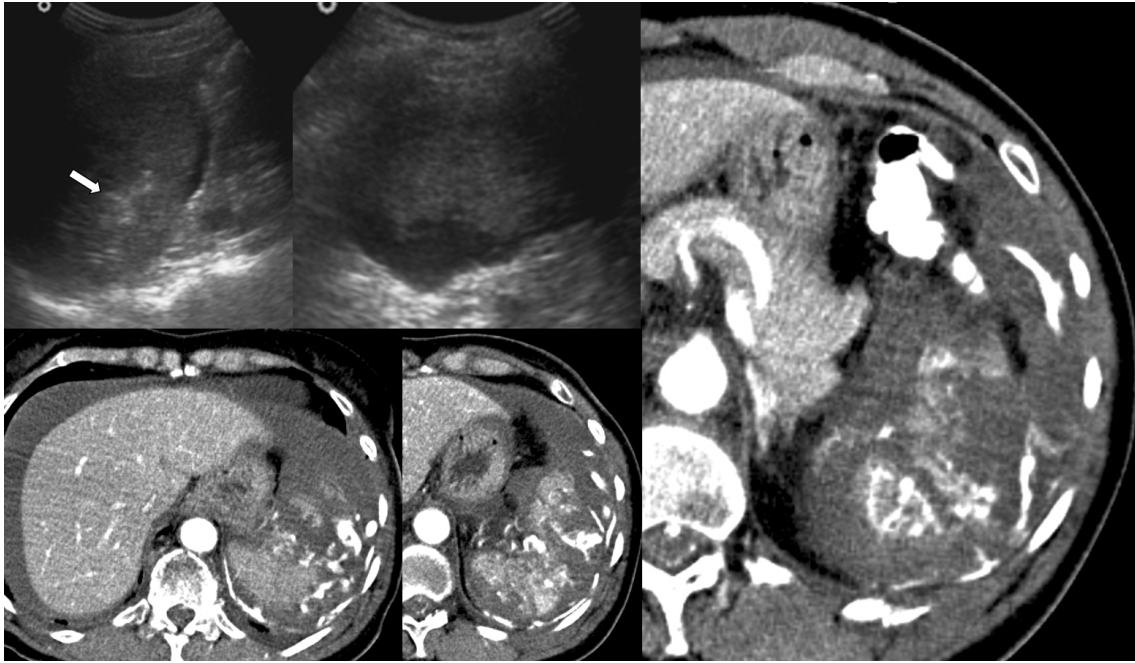


Abbildung 15. Milzblutung (Pfeil) nach Laceration, welche durch eine Rippenfraktur induziert wurde. US und CT in axialer Schnittbildführung. Quelle: [20].

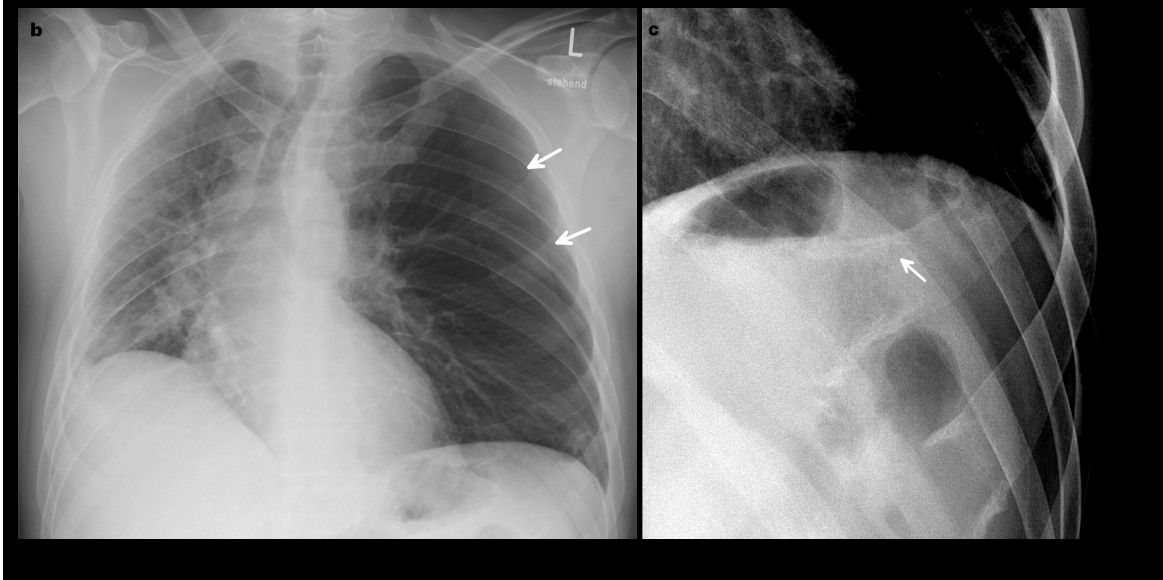
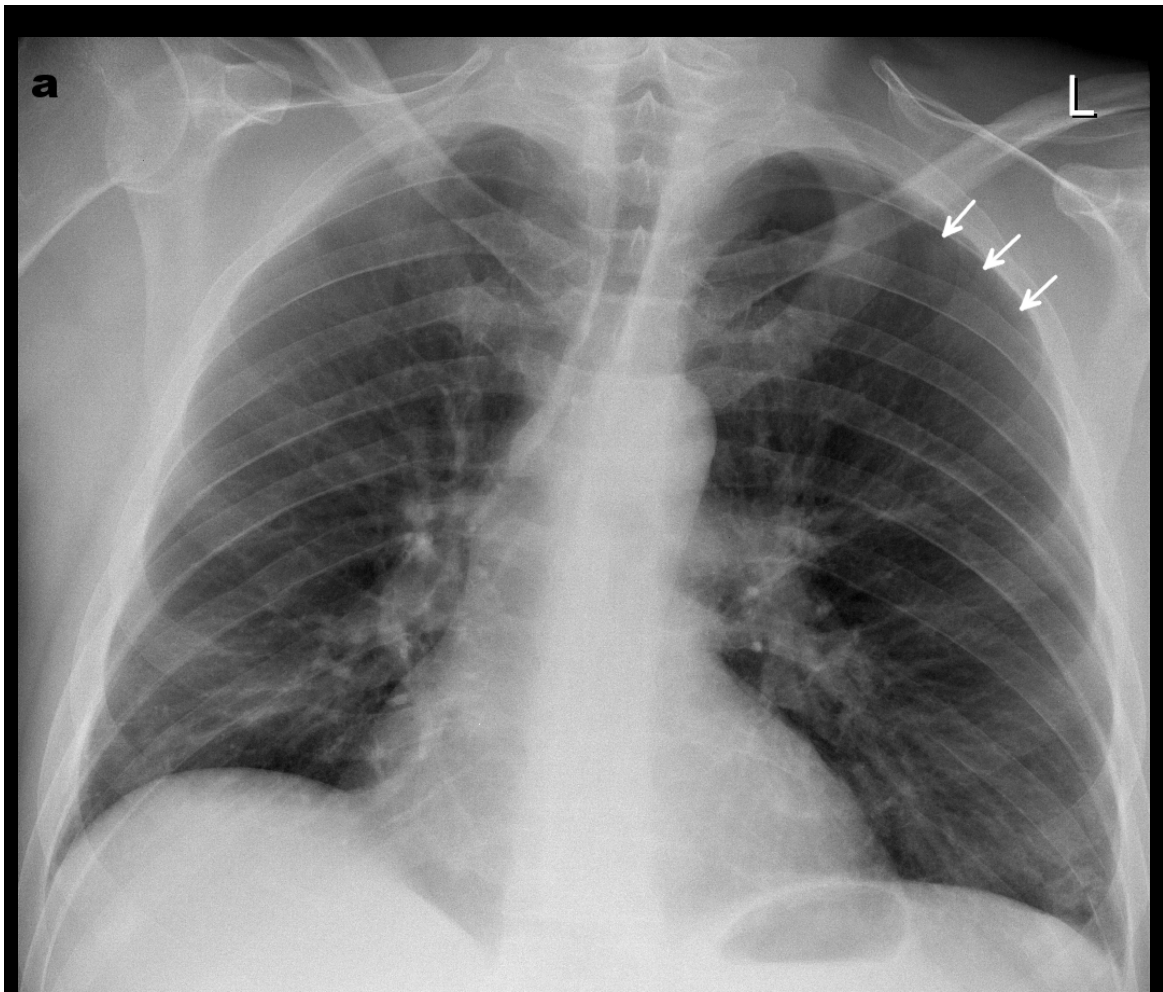


Abbildung 16. Pneumothorax, Ausweitung über die Zeit. (a, Pfeile) Initiales Radiogramm des Thorax mit schwer erkennbarem Pneumothorax. Der Patient entwickelte einen ausgeprägten Mediastinalshift als Indikator für eine Spannungskomponente und eine im Bild b (Pfeile) nun klar erkennbare Grenzlinie zum Pneumothorax. (c, Pfeil) Der Ausschnitt aus einem Radiogramm der unteren Rippen zeigt eine Rippenfraktur als wahrscheinlichste Ursache des Pneumothorax. Quelle: [20].

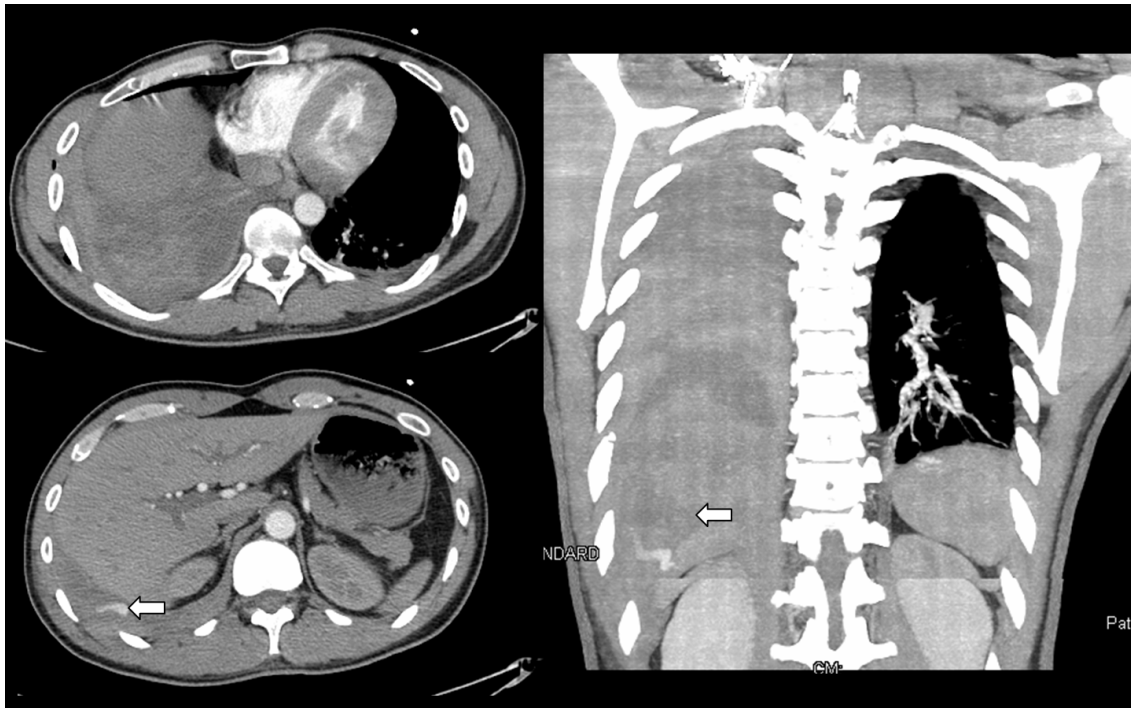


Abbildung 17. Sekundäre aktive arterielle Blutung nach Rippenfraktur, welche selbst nicht abgebildet ist. Die axialen CT Bilder des Thorax in arterieller Phase zeigen eine aktive Kontrastmittelextravasation (Pfeile), und liefern den Beleg für die Ursache des rechtsseitigen Hämatothorax (links: axiale Schnitte; rechts: coronare Maximumintensitätsprojektion (MIP)). Quelle: [20].

Rippenfrakturen können durch die Verletzung von Intercostalarterien mit einiger Latenz einen verzögerten Hämatothorax „Delayed Haemothorax“ (DHX) zur Folge haben (Abb. 17). Dessen Vorkommen bei Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma wird mit 2,1% bis 7,4% angegeben. Laut einem Fallbericht von Curfman et al. verlor ein Patient – noch in klinischer Behandlung - zehn Tage nach dem Erleiden einer traumatischen Rippenfraktur 6.500 ml Blut durch die Verletzung einer einzelnen Intercostalarterie [94]. Am Ort eines Brustwanddefekts als Folge einer Rippenfraktur können Pleura-bedeckte Lungenanteile extrudieren. Diese traumatischen Lungenherniationen sollten nach Möglichkeit vor der Intubation behandelt werden, da die Beatmung mit positivem Druck den Zustand verschlimmern kann [58]. Bei Rippenfraktur-induzierten Pneumothoraces und Hämatothoraces kann die Einbringung einer Thoraxdrainage – durch den Druck der sich entfaltenden Lunge – ausreichend sein, um kleinere Blutungen zum

Sistieren zu bringen. Nach Verletzung größerer intra-thorakaler Gefäße oder intercostaler Arterien sind jedoch meistens interventionell-radiologische Verfahren oder eine Thorakotomie notwendig [78].

Die kindliche Brustwand ist elastischer als die Brustwand von Erwachsenen. Folglich ist beim traumatischen Geschehen bei Kindern eine relativ höhere Energiemenge von Nöten um eine Rippenfraktur zu produzieren. In weiterer Konsequenz erleiden Kinder mit Rippenfrakturen auch häufiger assoziierte Verletzungen wie Hämatothorax, Pneumothorax und Hirn-, Leber- oder Milzverletzungen im Vergleich zu Erwachsenen [95]. Auch zwischen jüngeren und älteren Erwachsenen bestehen Unterschiede. Bulger et al. berichten von einer verdoppelten Mortalität und thorakalen Morbidität nach stumpfem Thoraxtrauma unter Patienten im Alter über 65 Jahren, im Vergleich zu Patienten unter 65 Jahren, trotz gleicher Verletzungsmuster und Verletzungsschwere [93].

Die Diagnose von Rippenfrakturen mithilfe von CT-Bildmaterial kann eine anspruchsvolle Aufgabe sein. Jede Rippe ist komplex geformt und erstreckt sich über mehrere Sektionen, während sie sich um Ihre Longitudinalachse dreht. Folglich ist die Rippe-für-Rippe-Evaluation des gesamten Thorax zeitintensiv und anstrengend. Nicht dislozierte Rippenfrakturen sind – besonders wenn sie parallel zu den axialen Schnittbildern verlaufen – leicht zu übersehen [96]. In diesem Fall ist eine coronare Schnittbildführung sensitiver zur Diagnose von Frakturen [97]. Rippenfrakturen werden in der radiologischen Diagnostik relativ häufig übersehen. Das kann auch medizinrechtlich relevant sein. Der größte Teil der übersehen Rippenfrakturen in der CT befinden sich am anterioren Rippenbogen und die Hälfte der übersehenen Frakturen sind buckelig geformt. Sie kommen gleichsam auf beiden Seiten des Thorax vor. Regelmäßig werden nach der Diagnose von Rippenfrakturen weitere Frakturen auf derselben oder der benachbarten Rippe übersehen [96, 97]. Andererseits sollte die Suche nach Rippenfrakturen in der Traumaversorgung wegen der häufigen Verbindung mit wertigeren Verletzungen so wenig Zeit wie möglich beanspruchen. Durch die Verwendung von Post-Processing-Software für CT Datensätze, die Rippen automatisch erkennt, nummeriert und plan in einer Ebene darstellt, lässt sich bei der Befundung von Rippenfrakturen ein Zeitersparnis erreichen (Abb. 18). Weniger erfahrene Radiologe könnten darüber hinaus von der diagnostischen Genauigkeit der alternativen Darstellung profitieren (ungefähr 80% bei multiplanarer vs. ungefähr 92% bei aufgefalteter Betrachtung) [65]. In ähnliche Richtung zeigende Ergebnisse wurden für die Befundung von multiplen Myelomen und Metastasen von Bronchialkarzinomen publiziert [98, 99]. Laut Bier et al. kann eine Reduktion der Befundungszeit von 67% bis 80% erreicht werden [65]. Zusätzlich erhöht sich die Rate der übereinstimmenden Ergebnisse wenn mehreren Befundern dieselben Bilder vorgelegt werden. Bei falscher oder unvollständiger Erkennung von Rippen durch die Software muss jedoch manuell korrigiert werden [96]. Die Verwendung dieser

Software erhöht das Risiko falsch positiver Befunde. Zum Einen sind Bewegungsartefakte schwerer zu erkennen, da der Vergleich mit dem umliegenden Gewebe fehlt, zum Anderen können artifizielle Biegungen wie geknickte Frakturen imponieren [65, 98]. Die Häufigkeit dieser Fehler lässt sich aber durch Übung mit der neuen Betrachtungsweise recht schnell reduzieren [96]. Wenn die entfaltete Darstellung der Rippen in den Standard-CT-Berechnungsprozess integriert würde, wäre dies für die Evaluation von Traumapatienten profitabel, da Zeitersparnis hier eine große Rolle spielt.

Intercostalarterien liegen für die ersten sechs Zentimeter lateral der Processus spinosi ungeschützt zwischen den Rippen. Von dort an verlaufen 97% der Intercostalarterien in enger räumlicher Beziehung zum unteren Rand der jeweils darüber liegenden Rippe. Daraus resultiert bei unversehrten Rippen eine Schutzfunktion für die Arterien. Im Falle einer Rippenfraktur droht aber eine Beschädigung der Intercostalarterien durch die Bruchfragmente [100]. Darüber hinaus können Rippenfrakturen über die Verletzung von Arteria subclavia, Arteria axillaris oder Arteria mammaria interna zu lebensbedrohlichen intrathorakalen Blutungen (Abb. 19) und weitergehend Kompressionen von Herz und Lunge führen. Bedingt durch die Zunahme der Dichte des Blutes im Gerinnungsprozess stellen sich aktive Blutungen im CT meist als Schichten unterschiedlicher Röntgenabschwächung dar [49]. Eine Extravasation von Kontrastmittel (Röntgendichte ungefähr gleich mit dem Lumen des angrenzenden Gefäßes) im CT gilt als Beweis einer aktiven Blutung (Abb. 20) [58]. Als Therapieoptionen stehen offen chirurgische und endovasculäre Verfahren (Ballonokklusion/Stent) zur Verfügung. Shalhub et al. verglichen die Therapieoptionen bei Patienten mit Verletzungen thorakaler Gefäße nach stumpfem Trauma und die Ergebnisse favorisierten die endovasculären Verfahren gegenüber den offen-chirurgischen Verfahren in den Kategorien Operationszeit (149 Minuten vs. 230 Minuten, $p = 0,03$), Blutverlust (50 ml vs. 1.225 ml, $p = 0,03$) und Morbidität (nicht statistisch signifikant) [89].

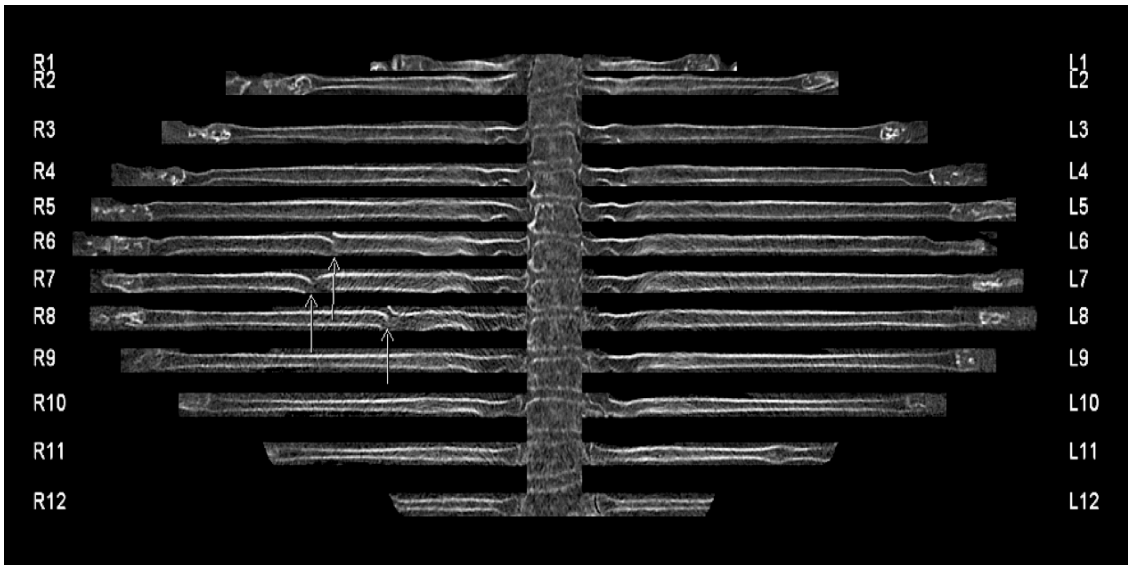


Abbildung 18. Durch CT-Post-Processing-Software berechnete aufgefaltete Darstellung der Rippen eines 88-jährigen Patienten mit traumatischen Frakturen der sechsten, siebten und achten Rippe rechtsseitig (**Pfeile**). Die Ansicht in einer Ebene kann die Befundungszeit im Vergleich zur Darstellung in axialen Schnittbildern erheblich verkürzen. Quelle: [20].



Abbildung 19. Rechtsseitige Rippenfraktur (**Pfeilspitze**). Gleichzeitig bestand eine traumatische intrathorakale Blutung aus der rechten Arteria mammaria interna (im Bild nicht erkennbar). CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster-Einstellung. Quelle: [20].

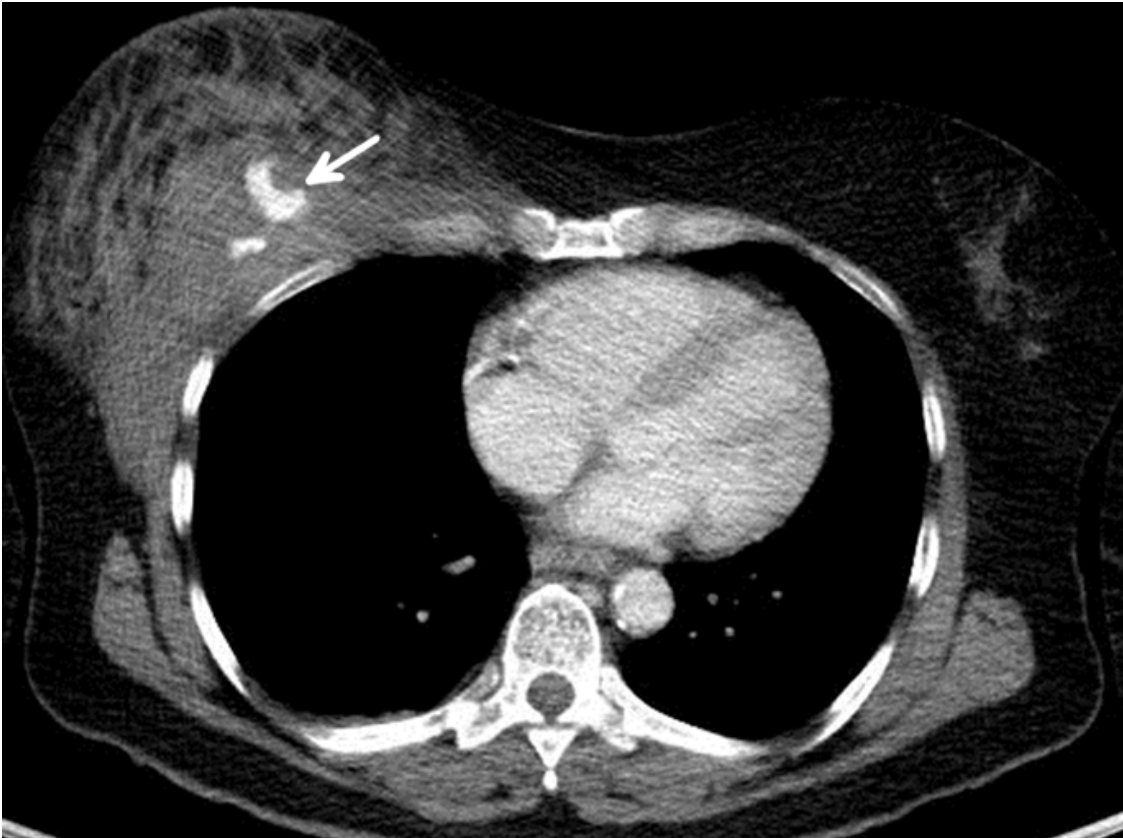


Abbildung 20. Massive Weichgewebsverletzung mit Kontrastmittel-Extravasation (Pfeil) als Zeichen einer aktiven Intercostalarterien-Blutung, CT axial, arterielle Phase, Weichgewebsfenster. Quelle: [20].

2.2.6.4 Rippenfrakturen in Kurzform

Rippenfrakturen sind häufige Verletzungen bei Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma (50%) und oft mit Verletzungen tieferer Strukturen assoziiert, welche andererseits auch bei intaktem knöchernen Brustkorb vorliegen können. Frakturen der oberen Rippen können auf Verletzungen des Plexus brachialis oder der Subclavia-Gefäße hinweisen. Gleiches gilt für Verletzungen der abdominalen Organe bei Frakturen der unteren Rippen. Mithilfe der CT können 80% bis 100% aller Rippenfrakturen identifiziert werden. Durch Post-Processing-Software können alle Rippen aufgefaltet in einer Ebene dargestellt werden, was die Befundungszeit von Rippenfrakturen reduzieren kann.

2.2.7 Frakturen von Sternum und Clavicula

2.2.7.1 Epidemiologie von Frakturen von Sternum und Clavicula

Drei bis acht Prozent aller Patienten nach schweren stumpfen Thoraxtraumata erleiden Sternumfrakturen. Diese sind im Vergleich zu Rippenfrakturen also selten [24, 49] und sollten – besonders in Kombination mit Scapulafrakturen – als Zeichen enormer Krafteinwirkung auf den Brustkorb und die darin befindlichen Strukturen gesehen werden. 70% der Sternumfrakturen treten am Korpus auf, 16,5% am Manubrium, und 12,7% verlaufen schräg über beide Anteile [75, 101]. Sternumfrakturen sind in 55% bis 77% der Fälle mit anderen Verletzungen assoziiert, namentlich Rippenfrakturen (bis zu 14%), Herzkontusionen (1,5% bis 6%), cervico-thorakale Wirbelsäulenverletzungen (bis zu 23%), Lungenkontusionen (bis zu 12%), Flail Chest, Pericard-Tamponaden und Verletzungen der Mammaria-interna-Gefäße sowie ihrer Äste [1, 49, 75, 102]. Aufgrund der Schwere dieser assoziierten Verletzungen liegt die Mortalität von Patienten mit Sternumfrakturen bei bis zu 22% [75]. Claviculafrakturen machen einen Anteil von 2,6% bis 5% aller Frakturen aus [4]. Sie resultieren häufig aus Stürzen oder Verkehrsunfällen [49].

2.2.7.2 Biomechanik der Frakturen von Sternum und Clavicula

Sternumfrakturen sind meist Folge hochenergetischer Dezelerationen oder direkter Stöße (bis zu 84%) gegen die vordere Brustwand [58, 101]. Die häufigsten Mechanismen sind der Aufschlag auf ein Lenkrad (Informationen über Deformitäten von Lenkrad und Lenkstange am Unfallort sind von großer Bedeutung für die präklinische und klinische Evaluation), den Sicherheitsgurt oder Airbag sowie die Kollision mit einem Kraftfahrzeug als Fußgänger [49]. Andere Mechanismen sind zum Beispiel indirekte Frakturen nach Stürzen auf den Rücken oder spontane Frakturen als Resultat von Muskelkrämpfen [101]. Sternumfrakturen können in Kombination mit Rippenfrakturen zu paradoxen Brustwand-Bewegungen führen (Flail Chest) und so die Atmung kompromittieren [30]. Sterno-Claviculäre-Dissektionen sind Folge von Krafteinwirkungen auf Schulter oder mediale Clavicula. Ein Stoß auf die Schulter von posterior führt zu posterioren Dissektionen und vice versa [58].

2.2.7.3 Diagnostik, Therapie und Outcome von Frakturen von Sternum und Clavicula

Sternumfrakturen treten meist am Korpus (70%) oder Manubrium (16,5%) auf [58, 75, 101, 103]. Einfache Sternumfrakturen können als isolierte Verletzungen gesehen werden und haben selten weitere Konsequenzen. Dislozierte Frakturen oder Sprengungen des Manubrio-Sternal-Gelenks hingegen sind regelmäßig mit anderen thorakalen-, cardialen- oder spinalen

Verletzungen vergesellschaftet. Sternumfrakturen stellen sich am besten in sagittalen oder coronaren CT-Schnitten dar, da sie regelmäßig parallel zu den axial Schnitten verlaufen. Auf Röntgenaufnahmen des Thorax im Liegen sind meist nur signifikant dislozierte Frakturen erkennbar. Bis zu 84% der Frakturen werden hier übersehen [75]. Fast alle Sternumfrakturen werden von Hämatomen begleitet, weshalb anteromediastinale oder retrosternale Blutansammlungen entscheidende Hinweise liefern können, wenn die Fraktur selbst nicht klar erkennbar ist. Die CT-Dichtewerte dieser Hämatome liegen im Bereich der Werte des Blutes der Aorta ohne Kontrastmittel. In der Literatur finden sich Werte von +20 bis +70 HU (hauptsächlich abhängig vom Gerinnungsprozess des Blutes). Normalerweise ist eine Fettschicht zwischen retrosternalem Hämatom und Aorta abgrenzbar. Ist dies nicht der Fall und Blut und Aorta stehen im direkten Kontakt so stammt das Hämatom wahrscheinlich von einer traumatischen Verletzung der Aorta.

Wie zuvor erwähnt, können Dislozierungen des Sternoclaviculargelenks nach Schlägen auf Clavicula oder auf die Schulter auftreten. Während Dislozierungen nach anterior gewöhnlich durch Palpation und Inspektion auffallen, können Dislozierungen nach posterior bei klinischer Untersuchung oder konventioneller Radiologie okkult bleiben. Mit Hilfe der kontrastmittelgestützten CT lässt sich eine vermutete Dislokation nach posterior bei gleichzeitiger Evaluation des Gefäßstatus sichern. Diese Tatsache ist von großem Wert, da Dislozierungen des Sternoclaviculargelenks nach posterior häufig mit Verletzungen der angrenzenden Gefäße, sowie der Trachea oder des Oesophagus assoziiert sind. Wenn eine Sternumfraktur diagnostiziert wird, sollte zusätzlich eine cardiale Evaluation mit EKG, Herzenzymen und Troponin erfolgen, um eine mögliche Beteiligung des Herzens zu beurteilen. Die meisten Frakturen des Sternums werden konservativ behandelt. Im Falle von Dislozierung, starken Schmerzen oder Instabilität, könnte jedoch eine offene Reposition mit interner Fixierung (ORIF) notwendig sein [1, 49, 58, 71, 75, 102, 104]. Die Erkennung von Sternumfrakturen und assoziierten aortalen-, cardialen-, pericardialen- (Abb. 21), vasculären- oder anderen thorakalen Verletzungen ist häufig essentiell bei Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma [30].

Claviculafrakturen werden durch die Allman Klassifikation [5] in Frakturen des medialen Drittels (Typ III, 5%), mittleren Drittels (Typ I, 80%), und lateralen Drittels (Typ II, 15%) unterteilt [49]. Die Standardevaluation von vermuteten Claviculafrakturen besteht (bislang, siehe Studienteil der vorliegenden Arbeit) aus einer konventionellen Radiographie in zwei Ebenen (in AP- und in um 15° bis 25° caudo-cranial gekipptem Strahlengang von anterior). Häufig ist ein konservatives Vorgehen ausreichend aber bei komplizierten und stark dislozierten Frakturen kann eine chirurgische Versorgung nötig sein. Plattenosteosynthesen, Kirschnerdrähte und intraossäre Schrauben sowie Nahtmaterial bei ligamentärer Beteiligung stehen hier zur

Verfügung [3, 9, 15, 17, 18, 105]. Für die Versorgung erweisen sich prä-operative multi-planare- und 3D-Reformationen als sehr Hilfreich [4].

Intravasculäre Stents haben die Behandlung traumatischer Verletzungen der Aorta revolutioniert und offen-chirurgische Verfahren teilweise verdrängt. Patienten profitieren von diesen neuen Verfahren durch geringere Raten von Mortalität und Komplikationen, sowie geringeren Operations- und Krankenhausaufenthaltsdauern. Ein initiales CT-Angiogramm wird zur Planung der Platzierung der Stent-Prothese verwendet [49]. Die interventionelle Radiologie ist ein substanzieller Teil radiologischer Notfalltherapie geworden.



Abbildung 21. Traumatische Perikard-Tamponade (Pfeil). 25-jährige Patientin, axiales CT in arterieller Phase, Weichgewebsfenster. Quelle: [20].

2.2.7.4 Frakturen von Sternum und Clavicula in Kurzform

Sternumfrakturen sind meist Folge von hochenergetischen Unfallhergängen und häufig assoziiert mit Verletzungen von Herz oder Aorta. 84% aller Sternumfrakturen bleiben auf Röntgenbildern okkult. Selbst mithilfe der CT ist die Diagnose häufig schwer. Retrosternale Hämatome sind hier von großer diagnostischer Bedeutung. Claviculafrakturen machen 2,6% bis 5% aller Frakturen aus und in 50% der Fälle sind Kinder unter 10 Jahren betroffen. Bei komplizierten und dislozierten Frakturen kann eine Indikation zur operativen Versorgung mit Plattenosteosynthesen, Kirschnerdrähten, Schrauben oder Nahtmaterial bestehen. Zur Planung der Versorgung sind präoperative sagittale, coronare und 3D-reformierte CT-Aufnahmen hilfreich. Beachte hierzu auch den Studienteil der vorliegenden Arbeit.

2.2.8 Frakturen und Dislokationen der Scapula

2.2.8.1 Epidemiologie von Frakturen und Dislokationen der Scapula

Frakturen und Dislokationen der Scapula finden sich bei vier bis sieben Prozent aller Polytraumapatienten und treten somit eher selten auf [58, 90, 91]. Der mittlere Altershöhepunkt dieser Patienten liegt bei 35 bis 45 [49] Jahren und ungefähr drei Viertel der Patienten sind männlich [91]. Die Rate von assoziierten Verletzungen ist sehr hoch (75% bis 100%) [1]. Patienten mit Scapulafrakturen haben im Mittel 3,5 assoziierte Verletzungen, wie Rippenfrakturen (27% bis 54%), cerebralen Verletzungen (bis zu 42%), Claviculafrakturen (23% bis 27%), Lungenverletzungen (16% bis 23%), Verletzungen des Plexus brachialis (8% bis 11%), Verletzungen von Arterien (3% bis 11%), Verletzungen der thorakalen Wirbelsäule (3%) und Verletzungen des angrenzenden Schultergürtels [90, 91, 106-110]. Laut Schofer et al. sind Skapula-Frakturen in bis zu 44% der Fälle mit ipsi-lateralen Rippenfrakturen vergesellschaftet [106]. Unter 1,164 polytraumatisierten Patienten aus einer Studie von Veysi et al. hatten die Patienten mit Scapulafrakturen schwerere tieferliegende Verletzungen und einen signifikant höheren ISS als die Patienten ohne Scapulafrakturen ($27,12 \pm 15,13$ vs. $22,8 \pm 14,4$, $p = 0,01$). Jedoch korrelierte dies nicht mit einer höheren Mortalität [90]. In einer Studie von Weening et al. war die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Pneumothorax (RR 3,7; $p < 0,001$) oder einer Lungenkontusion (RR 3,5; $p < 0,001$) signifikant höher bei Patienten mit Scapulafrakturen im Vergleich zur Kontrollgruppe [91]. In der Literatur finden sich Angaben zu Mortalitätsraten von Patienten mit Scapulafrakturen im Bereich von 2% bis 14.3% [90, 108-111].

2.2.8.2 Biomechanik von Frakturen und Dislokationen der Scapula

Durch den, durch Rowe beschriebenen, „Recoil Mechanism“ (Scapula prallt elastisch auf den Brustkorb) kann die Scapula - im Falle einer axialen Kompression über den Humerus – hohen Energiemengen standhalten ohne zu frakturieren [112, 113]. Folglich ist eine Scapulafraktur ein Zeichen eines enormen Energietransfers, welcher am häufigsten bei Unfällen im Straßenverkehr (PKW 48% bis 52%, Motorrad 11% bis 25%, Fußgänger 18% bis 46,7%) oder bei Stürzen aus großer Höhe (12% bis 17,1%) auftritt. Folglich müssen Verletzungen tieferer Strukturen angenommen werden. Direkte Krafteinwirkung auf die Scapula (75% der Fälle) oder indirekte Krafttransmission über den Humerus sind typische Verletzungsmechanismen [30, 49, 58, 106-109]. Scapulo-thorakale (ST) Dissoziationen nach wesentlichem musculosceletalen Trauma, sind komplette geschlossene Amputationen des Schulterkomplexes, welche sich durch einen pulslosen Arm und spezifische radiologische Befunde diagnostizieren lassen. Die Avulsion von subclaviculären oder axillären Gefäßen, sowie des Plexus brachialis kann massive Hämorrhagien nach sich ziehen, was die ST-Dissoziation zu einer lebensbedrohlichen Verletzung macht [114]. Scapulafrakturen können des Weiteren auch durch plötzliche Muskelkontraktionen, beispielsweise bei Krampfanfällen oder Unfällen mit elektrischem Strom auftreten [113, 115, 116].

2.2.8.3 Diagnostik, Therapie und Outcome von Frakturen und Dislokationen der Scapula

Zur Einteilung von Scapulafrakturen existiert eine Vielzahl von Systemen. Jedes hat seine Daseinsberechtigung durch Vorteile in spezifischen Situationen, aber gleichzeitig gibt es auch jeweilige Limitationen. Eine isolierte Bewertung von erwartetem Outcome oder Therapieoptionen ist problematisch, da dies auch von anderen Faktoren, wie Grad der Dislokation, Patientenzustand oder Verletzungen von Nerven, Blutgefäßen und anderen Weichteilen, abhängig sind [106, 113, 117-122].

Die New International Classification of Scapula Fractures (Abb. 22, Tabelle 1), entwickelt vom Orthopaedic Trauma Association (OTA) Classification Committee und dem AO Classification Advisory, ist eine speziell an den traumatischen Notfall angepasste Einteilung. Einfache Kommunikation und Dokumentation, sowie ein geringer Zeitaufwand und ein hohes Inter-Reader-Agreement zeichnen diese aus. Die Scapula wird hier in drei Segmente unterteilt: Processus, Fossa und Corpus. Frakturen der Processus werden unterteilt in Frakturen des Coracoids oder des Acromion. Frakturen der Fossa in Frakturen des Randes (Typ 1), einfach gespaltene Frakturen (Typ 2) oder komplexe Gelenks-Frakturen (Typ 3) und Corpus-Frakturen in einfache Frakturen mit einer Frakturlinie und einem/keinem Kontakt zum Rand der Scapula (Typ 1), Kontakt zum Rand der Scapula an zwei Stellen (Typ 2) und multifragmentäre Frakturen mit drei oder mehr Kontaktstellen zum Rand der Scapula (3) [117, 123].

Tabelle 1. New International Classification of Scapula Fractures. Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [117].

	Fossa	Corpus	Processus
1.	Pfannenrand	Einfach mit einzelner Frakturlinie und einem oder keinem Austrittspunkt	Acromion
2.	Einfache Spaltungsfrakturen	Einfach mit einzelner Frakturlinie und zwei Austrittspunkten	Coracoid
3.	Trümmerfrakturen	Multifragmentär mit drei oder mehr Austrittspunkten	

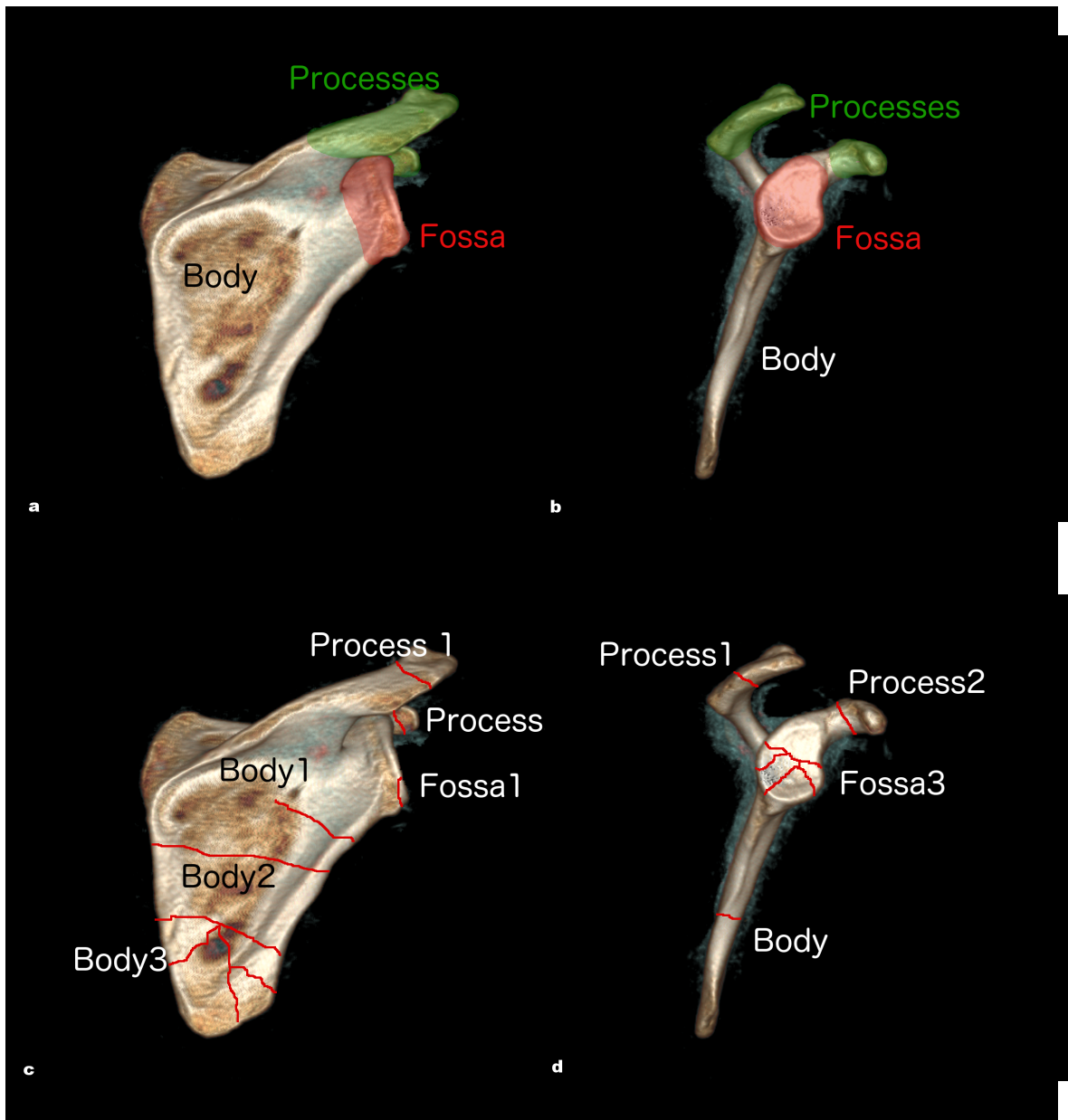


Abbildung 22. New International Classification of Scapula Fractures. (a) Dorsale und (b) glenoidale Ansicht der Frakturgebiete: Corpus ungefärbt, Processus in Grün, Fossa in Rot. Exemplarische Frakturlinien in (c) dorsaler Ansicht und (d) glenoidaler Ansicht. Quelle: [20].

Mit der Euler und Rüedi Klassifikation lassen sich Morphologie, Schwere und Prognose von Scapulafrakturen detaillierter beschreiben. Dies ist zum Beispiel bei Entscheidungen zwischen konservativer oder operativer Behandlung von Vorteil (Abb. 23, Tabelle 2). Frakturen werden in fünf Gruppen unterteilt, drei davon (A, B, C) beschreiben extraartikuläre Frakturen und zwei (D, E) beschreiben intraartikuläre Formen. Die Schwere der Frakturen steigt von Typ A bis E und, innerhalb eines spezifischen Typs, von 1 bis 3. Isolierte oder multifragmentäre Frakturen des Corpus werden klassifiziert als Typ A, Frakturen der Processus als Typ B und Typ C Frakturen beziehen sich auf den Hals der Scapula. Typ B Frakturen werden unterteilt in Frakturen der Spina scapulae (B1), des Coracoids (B2), und des Acromion (B3). Scapulahals-Frakturen treten seltener am Collum anatomicum (C1), sondern eher am Collum chirurgicum (C2) auf. Ist eine Fraktur des Collum chirurgicum mit einer Verletzung des „Superior Shoulder Suspensory Complex“ (SSSC) assoziiert, so wird sie als Typ C3 klassifiziert. Diese Frakturen können von einer Fraktur von Clavicula/Acromion (C3a) oder von Rupturen der coraco-claviculären/coraco-acromialen Ligamente (C3b) begleitet sein. Der „coraco-glenoidale Block“ ist in beiden Fällen von allen stabilisierenden Strukturen getrennt. Dies zeigt sich klinisch meist durch eine instabile „Floating Shoulder“. Aufgrund seiner anatomischen Beziehung zur Incisura scapulae am oberen Rand des Collum chirurgicum ist der Nervus suprascapularis bei Patienten mit C2 oder C3 Frakturen besonders gefährdet. Intraartikuläre Frakturen werden als Typ D klassifiziert. Diese werden weiter in Frakturen des glenoidalen Randes (D1), der Fossa glenoidalis (D2) oder Collum-/Corpus-Frakturen mit Gelenksbeteiligung (D3) unterteilt. Intraartikuläre Frakturen mit Beteiligung des Humeruskopfes repräsentieren eine separate Gruppe (Typ E) [113, 120].

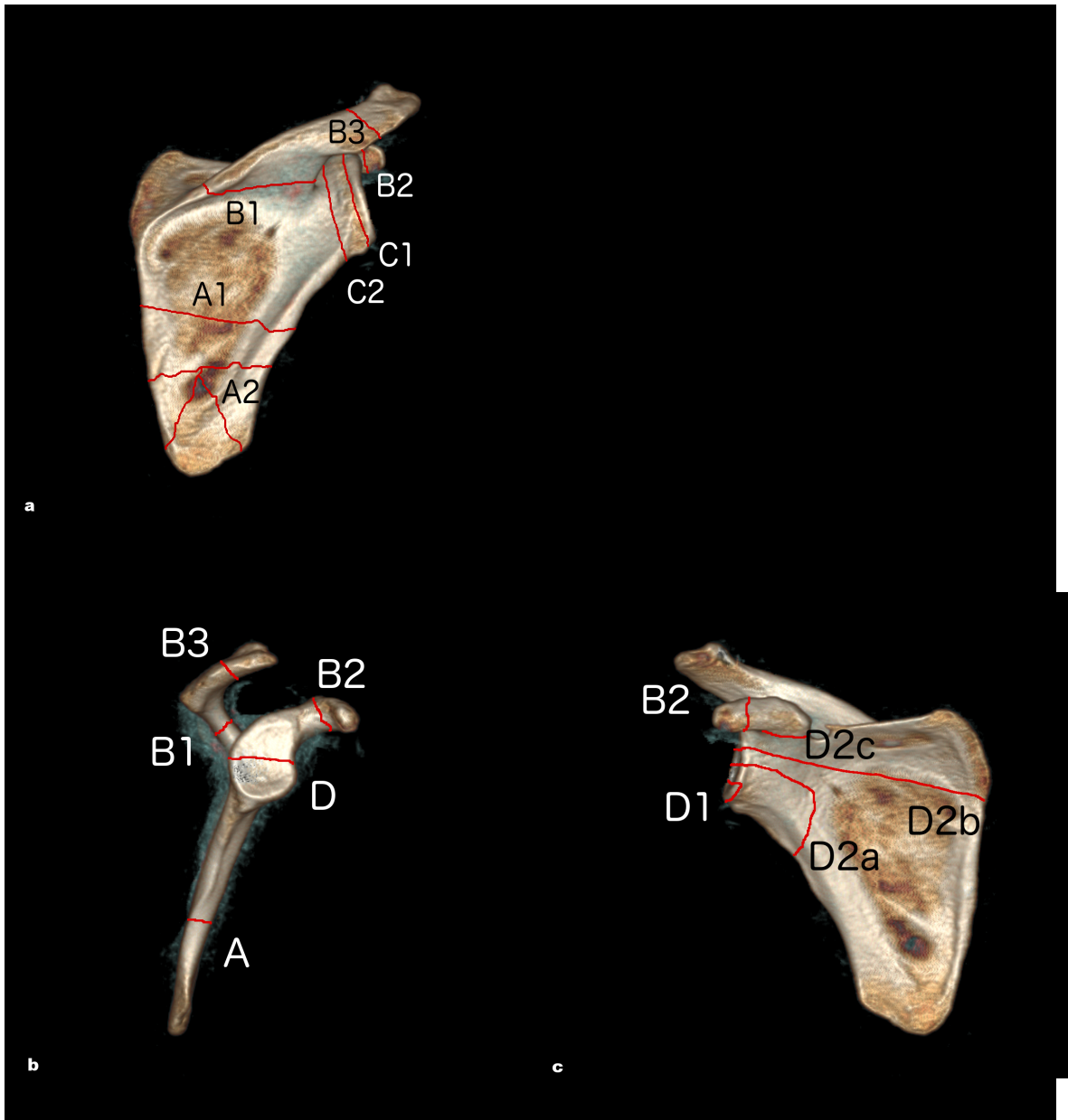


Abbildung 23. Euler und Rüedi Klassifikation von Scapulafrakturen. (a) Dorsale-, (b) glenoidale- und (c) ventrale Ansicht. Quelle: [20].

Tabelle 2. Euler und Rüedi Klassifikation von Scapulafrakturen. Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Informationen aus [120].

A	Frakturen des Corpus
	A1 einfach/isoliert A2 multifragmentär
B	Frakturen der Processus
	B1 Spina scapulae B2 Coracoid B3 Acromion
C	Frakturen des Collum
	C1 Collum anatomikum C2 Collum chirurgikum C3 Collum chirurgikum in Kombination mit a Frakturen von Clavicula und Acromion b Rupturen der acromio-claviculären und coraco-acromialen Ligamente
D	Artikuläre Scapulafrakturen
	D1 Pfannenrandabbrüche D2 Fossa-glenoidale-Frakturen a mit inferiorem Pfannenrandfragment b mit horizontaler Scapulaspaltung c mit coraco-glenoidaler Blockbildung d Trümmerfraktur D3 Kombination mit Collum- bzw. Corpus-Fraktur
E	Kombination mit Humeruskopf-Fraktur

Corpus- (49% bis 89%) und Collum-Frakturen (10% bis 60%) kommen häufiger vor als Frakturen von Glenoid, Coracoid oder Acromion. Koexistierende Hämatome sind bei Patienten mit Scapulafrakturen in der Regel sehr gering ausgeprägt, da die durch Fascien abgetrennten Kompartimente eine weitere Ausbreitung verhindern [113]. Dementsprechend sollte die klinische Inspektion besonders sorgfältig durchgeführt werden, damit Hinweise auf eine Fraktur nicht übersehen werden. Darüber hinaus ist das Fehlen von Schmerzen kein Ausschlusskriterium für das Vorliegen einer Scapulafraktur, da sich ein erheblicher Teil der Patienten klinisch ohne Schmerzen (28%) oder mit nur geringen Schmerzen bei starker Beanspruchung der Schulter (18%) präsentiert [106].

Die Erkennung von Scapulafrakturen in der konventionellen Radiographie ist häufig schwierig und wertigere koexistierende Verletzungen können klinische Symptome maskieren. Folglich werden diese Frakturen bei der initialen Trauma-Evaluation in mehr als 30% der Fälle übersehen. Die CT ermöglicht eine präzisere Darstellung einer möglichen intraartikulären Beteiligung von Frakturen. Laut Bartonicek et al. sind 3D-CT-Rekonstruktionen (Abb. 24) am besten geeignet, um Frakturen im Bereich des Collum scapulae zu diagnostizieren [119]. Die von Bartonicek beschriebenen transspinösen Collum-Frakturen, wären nach der New International Classification of Scapula Fractures aber Frakturen des Corpus scapulae. Dislozierte intraartikuläre Frakturen des Glenoids und dislozierte juxtaarticuläre Frakturen müssen meist chirurgisch versorgt werden. Dennoch können bis zu 88% der Scapulafrakturen mit guten Resultaten konservativ behandelt werden. So früh wie möglich sollte die Schulter nach einer Operation zur Prävention von bleibenden Einschränkungen im Bewegungsumfang therapeutisch beübt werden [1, 58, 106, 109, 113]. Bis zu 50% der Patienten mit Scapulafrakturen mit Indikation zur chirurgischen Versorgung haben so schwere assoziierte Verletzungen, dass diese Versorgung nicht initial erfolgen kann [108].

Scapulafrakturen sind in drei bis elf Prozent der Fälle mit arteriellen Verletzungen assoziiert [108, 110]. Wie im Abschnitt „Rippenfrakturen“ beschrieben lassen sich arterielle Verletzungen nach stumpfem Trauma endovasculär oder offen-chirurgisch versorgen. Die endovasculären Techniken haben eine höhere Erfolgsquote (z.B.: für die Arteria subclavia 94% bis 100%) und Prozedur-assoziierte Komplikationen treten seltener auf (z.B.: für die Arteria subclavia 0% bis 22%) [89]. In manchen Situationen können auch beide Techniken gleichzeitig zum Einsatz kommen. Zum Beispiel eine schnelle Blutungskontrolle durch eine temporäre proximale Ballonokklusion mit anschließender offener Rekonstruktion der Arterie.

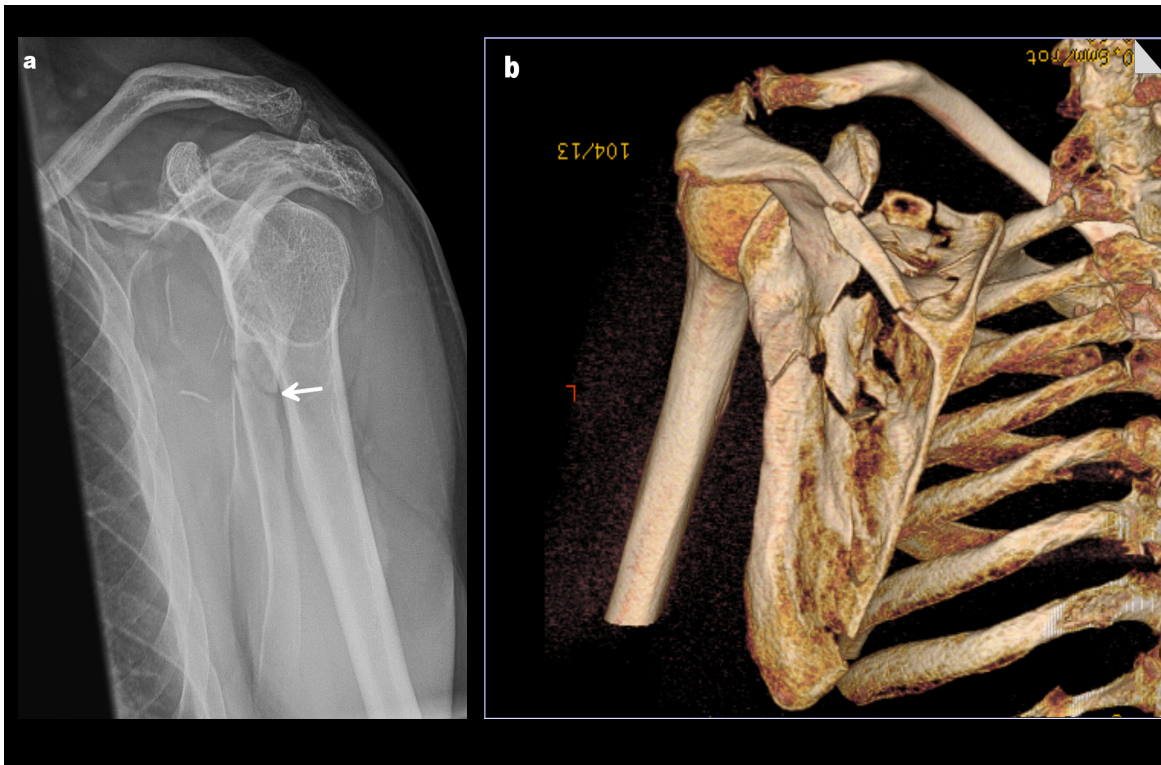


Abbildung 24. Komplexe Scapulafraktur. Kombinierte A2-Fraktur und B1-Fraktur (nach der Euler und Rüedi Klassifikation) oder Typ 3-Corpus-Fraktur (nach der New International Classification) im (a) Radiogramm und (b) 3D-CT-Rendering. Quelle: [20].

2.2.8.4 Frakturen und Dislokationen der Scapula in Kurzform

Scapulafrakturen sind häufig Folge hochenergetischer Unfälle und werden, aufgrund schwerer Begleitverletzungen, regelmäßig bei der initialen Aufarbeitung der Patienten übersehen. Scapulo-thorakale Dissoziationen sind schwere traumatische Verletzungen, einhergehend mit Avulsionen des Plexus brachialis sowie brachialen-, axillären- oder subclaviculären Gefäßen und stellen deshalb lebensbedrohliche Zustände dar. Die New International Classification of Scapula Fractures und die Euler-Rüedi-Klassifikation sind zwei gängige Beispiele für die Einteilung von Frakturen der Scapula: Bei Ersterer wird eine Unterteilung der Scapula in Fossa, Korpus und Processus und eine weitere Unterteilung zur Beschreibung der genauen Frakturlokation und der Verletzungsschwere vorgenommen. Euler und Rüedi unterteilen die Scapula in Corpus, Processus, Collum und Gelenksregion. Sie ist im Vergleich zur New International Classification komplexer und ermöglicht eine detailliertere Beschreibung von Frakturen. Kombinationsfrakturen der verschiedenen Anteile werden hier auch berücksichtigt.

2.2.9 Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks

2.2.9.1 Epidemiologie von Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks

Frakturen der thorako-lumbalen Wirbelsäule treten bei 18% aller Patienten nach stumpfem Trauma auf [49]. Frakturen der cervico-thorakalen Wirbelsäule können, als Resultat einer hyperflexion des Rumpfes, mit Sternumfrakturen assoziiert sein (z.B.: beim Aufprall auf einen Sitz-Gurt), (Abb. 25) [49, 75]. In einem Studienkollektiv von Turkalj et al. wurden bei 27,9% von 61 Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma Wirbelkörperfrakturen diagnostiziert [77]. Ungefähr 16% bis 30% aller Wirbelkörperfrakturen betreffen den thorakalen Teil der Wirbelsäule und circa 50% der Patienten weisen fokale-neurologische Defizite auf [124].

Weltweit erleiden zwischen 250.000 und 500.000 Menschen pro Jahr Rückenmarksverletzungen [125]. Laut Stephan et al. erleidet ungefähr jeder 13te PolyTraumapatient eine Rückenmarksverletzung mit neurologischem Defizit; über 50% als komplette Querschnittsverletzung [126]. Verglichen mit Patienten ohne Rückenmarksverletzungen, bergen diese Verletzungen ein zwei- bis fünf-fach erhöhtes Risiko, frühzeitig zu sterben. Rückenmarksverletzungen können traumatisch (90%), sekundär nach Osteodestruktion bei prä-existierender Erkrankung (z.B.: maligne Erkrankungen) oder degenerativ sein. Mögliche Symptome sind Verlust sensibler oder motorischer Funktion und Fehler in den Regulationssystemen von Magen-Darm-Trakt, Blase, Blutdruck, Herzfrequenz oder Atmung. In der Jugend (15 bis 19 Jahre), sind Frauen gefährdeter, während Männer im jungen Erwachsenenalter den größten Anteil an Rückenmarksverletzungen haben (20 bis 29 Jahre). Insgesamt liegt das Männer-Frauen-Verhältnis bei mindestens 2:1. Die möglichen Komplikationen sind unter anderem: multi-Organ-Versagen, tiefe Venenthrombosen, Infektionen der ableitenden Harnwege, Sepsen, Muskelspasmen, Osteoporose, Druckulcera, chronische Schmerzen, Atmungsprobleme und verlängerte Krankenhausaufenthalte [125, 126]. Eine adäquate Rehabilitationstherapie zielt darauf ab, diese Komplikationen zu verhindern oder zu lindern. Ungefähr 20% bis 30% der Patienten mit Rückenmarksverletzungen zeigen klinisch relevante Zeichen einer Depression, welche den Effekt der Therapie reduzieren kann. Eine adäquate psychiatrische Therapie kann der Entstehung eines Teufelskreises aus Schmerzen, Verzweiflung und anderen Symptomen vorbeugen [125].

2.2.9.2 Biomechanik von Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks

Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks können durch Unfälle im Straßenverkehr, Stürze, Einquetschungen, Gewaltakte, Sport- oder Arbeitsunfälle verursacht werden [125]. Stürze (OR 2,81), Einquetschungen (OR 2,80), Verkehrsunfälle mit Überrollen und/oder Herausgeschleudert werden des Patienten aus dem Fahrzeug (OR, 1,11) und Unfälle mit nicht geschlossenen Fahrzeugen (OR, 1,08), können als hoch-Risiko-Unfallmechanismen angesehen werden, da sie die Ursache für 67,4% aller Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks sind [127]. Nach Versorgung einer Wirbelkörperfraktur (z.B.: Vertebroplastie) tritt eine erneute Wirbelkörperfraktur am wahrscheinlichsten an den benachbarten Wirbelkörpern auf. Vermutlich stehen Wirbelkörperfrakturen auch im Zusammenhang mit Osteoporose, da diese gehäuft bei älteren Männern und postmenopausalen Frauen auftreten [128]. Mit Gerinnungsstörungen, Gefäßmalformationen und Neoplasien assoziierte spinalepidurale Hämatome können nach spinalem Trauma auftreten und zu neurologischen Defiziten führen [129].

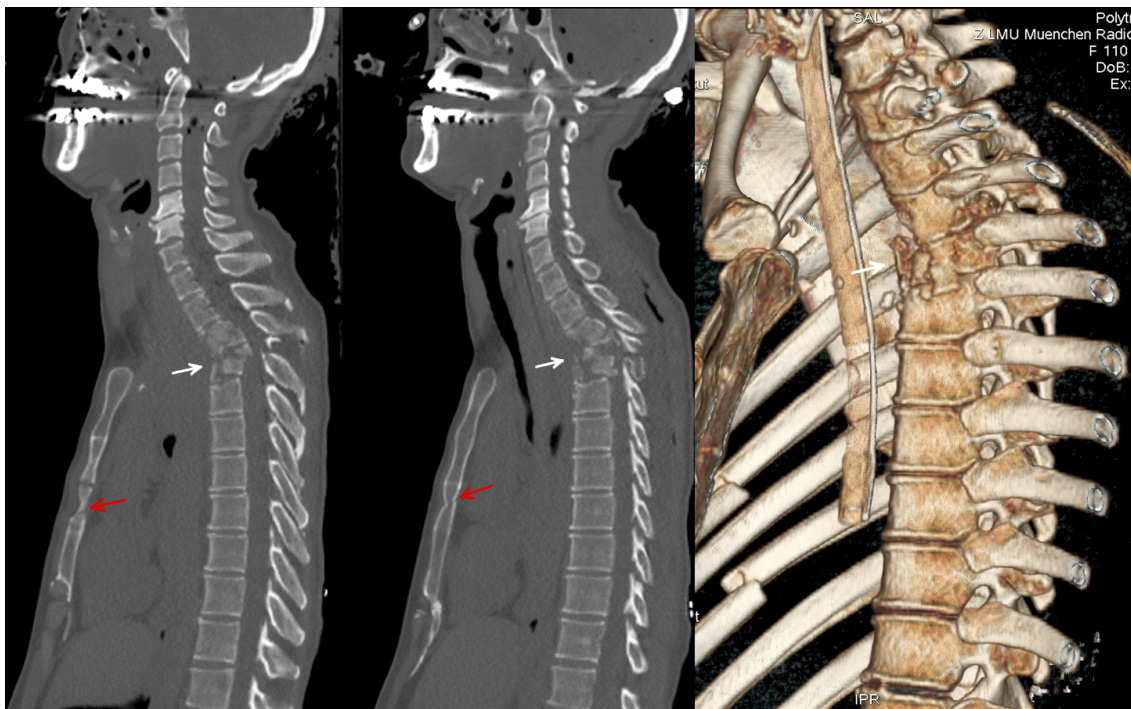


Abbildung 25. Vertebrale Berstungsfraktur von Th3 und Th4 (weiße Pfeile). Sagittale CT-Reformation und 3D-CT-Rendering bei einem polytraumatisierten Patienten mit assoziierter Sternumfraktur (rote Pfeile). Post mortem Aufnahmen. Quelle: [20].

2.2.9.3 Diagnostik, Therapie und Outcome von Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks

Ob eine Verletzung der thorako-lumbalen Wirbelsäule als stabil oder instabil einzuschätzen ist, lässt sich indirekt über die klinische Untersuchung und die radiologische Bildgebung prognostizieren. Große Akzeptanz findet hierzu die Drei-Säulen-Theorie, welche der Orthopäde Francis Denis 1982, basierend auf der Zwei-Säulen-Theorie von Holdsworth, publizierte [130]. Der anteriore Wirbelkörper, der anteriore Annulus fibrosus und das Ligamentum longitudinale anterius, bilden die vordere Säule. Die mittlere Säule besteht aus dem posterioren Teil des Wirbelkörpers, dem posterioren Annulus fibrosus und dem Ligamentum longitudinale posterius. Der Wirbelbogen mit seinen Processus und der posteriore Ligamentkomplex (bestehend aus interspinösen und supraspinalen Ligamenten, der Kapsel und des Ligamentum flavum) bilden die hintere Säule (Abb. 26). Wirbelsäulenverletzungen werden als instabil angesehen wenn zwei dieser drei Säulen beschädigt sind (mit einem Fokus auf die mittlere Säule) (Abb. 27) [130]. Denis teilte Wirbelkörperfrakturen in vier Kategorien ein, namentlich Kompressionsfrakturen, Berstungsfrakturen, Frakturen vom Sicherheitsgurt-Typ und dislozierte Frakturen (Tab. 3) [130]. Die Einteilung von Wirbelkörperfrakturen in stabil oder instabil gelingt meist mit multiplanaren CT-Reformationen. Komplexe Frakturen und nicht eindeutige Ergebnisse sollten jedoch in coronaren Reformationen überprüft werden [131].

Das Übersehen oder die verspätete Diagnose einer Wirbelsäulenverletzung kann desaströse Folgen haben. Selbst unter streng vorsichtiger Behandlung kann es auch zu einer iatrogenen Vergrößerung eines Schadens kommen [49, 127]. Schmerzen (Sensitivität 63,3%, Spezifität 82,0%), Druckdolenz (Sensitivität 67,4%, Spezifität 77,6%), Deformität (Sensitivität 5,3%, Spezifität 99,6%) und neurologische Defizite (Sensitivität 6,8%, Spezifität 99,1%) sind Prädiktoren für klinisch signifikante Wirbelkörperfrakturen. Dennoch sollten diese nicht als einzige Kriterien verwendet werden, um eine mögliche Verletzung auszuschließen, da ungefähr 21,6% der Patienten mit signifikanten Wirbelsäulenverletzungen in der klinischen Untersuchung unauffällig bleiben [127]. Als Versuch der Schaffung einer Richtlinie für den Einsatz erweiterter Bildgebung bei erwarteten Verletzungen der thorako-lumbalen Wirbelsäule nach stumpfem Trauma (in Anlehnung an die NEXUS- oder Canadian C-Spine-Kriterien für die cervicale Wirbelsäule), kombinierten Inaba et al. einen hochenergetischen Unfallmechanismus (siehe „Biomechanik von Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks“), ein Patientenalter \geq 60 Jahre und einen auffälligen Befund in der klinischen Untersuchung. Die Kombination dieser drei Kriterien erwies sich in der Studie zu 98,9% sensitiv und mit 29% spezifisch für die Diagnose von klinisch signifikanten thorako-lumbalen Wirbelkörperfrakturen bei Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma. Die Autoren empfehlen eine Erweiterte Bildgebung sogar bei solitärem Vorliegen eines dieser drei Kriterien [127].

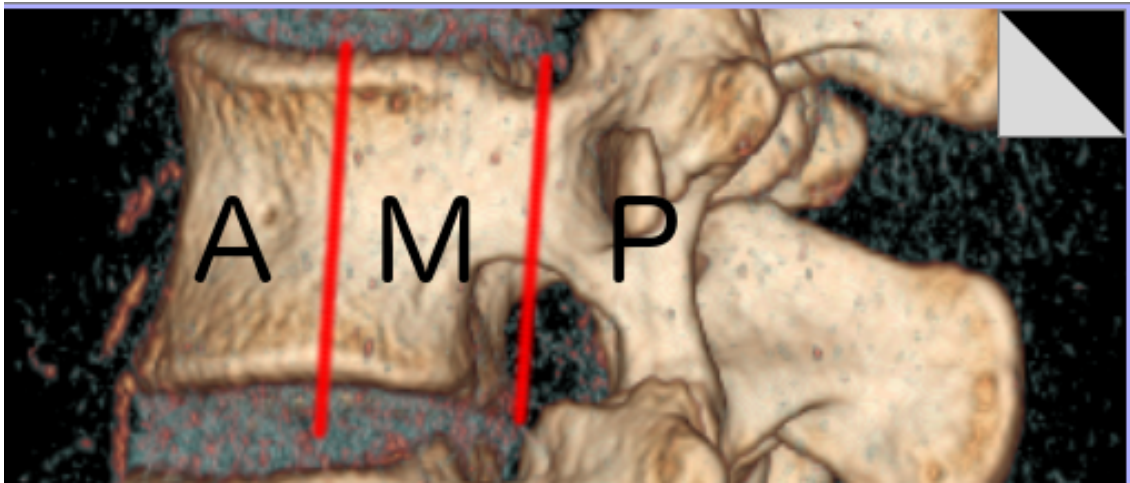


Abbildung 26. Drei-Säulen-Theorie nach Denis zur Einschätzung der Stabilität von Wirbelkörperfrakturen. Schematische Darstellung. **A**-anteriore Säule, **M**-mittlere Säule, **P**-posteriore Säule. Wenn zwei der drei Säulen betroffen sind kann eine Fraktur als instabil betrachtet werden. Quelle: [20].

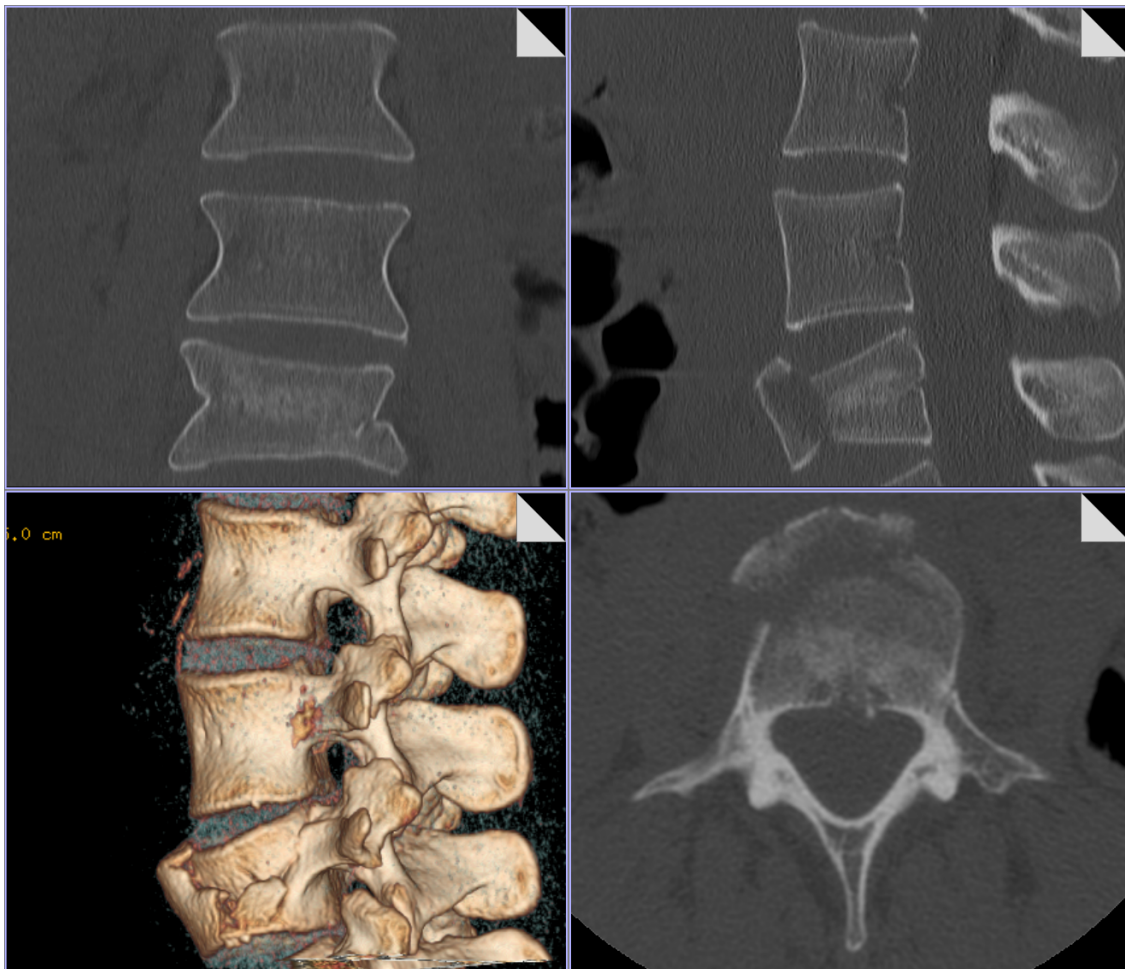


Abbildung 27. L4 Wirbelkörperfraktur. 32-jährige Patientin, CT Reformationen. Die Fraktur ist wegen der Beteiligung der anterioren- und mittleren Säule als instabil anzusehen (Drei-Säulen-Theorie, Denis). Quelle: [20].

Das American College of Radiology empfiehlt zur präzisen Evaluation von Wirbelsäulenverletzungen, wenn die Umstände es erlauben, die Magnetresonanztomographie, da sie die genaueste Modalität zur Darstellung von Rückenmarkskompressionen, zum Beispiel durch Diskus-Herniation, Knochenfragmente oder Hämatome ist [132].

Zu definitiven Indikationen für die operative Therapie von thorako-lumbalen Berstungsfrakturen ist die Datenlage aktuell noch dürftig. In ihrer Übersichtsarbeit zur verfügbaren Literatur sahen Pneumaticos et al. Patienten mit bestehender oder fraglicher Instabilität, inkomplettem neurologischen Defizit oder kompletter Paraplegie als diejenigen an, welche voraussichtlich von operativen Therapien profitieren. Je nach Frakturtyp und neurologischem Status des Patienten kommen hierfür anteriore, posteriore, kombinierte oder minimalinvasive Zugänge in Frage [133]. Nach einer schweren Verletzung der Wirbelsäule bleiben bei den meisten Patienten chronische

Schmerzen. Je nach Lokalisation kann auch die Blasen- und Darmfunktion beeinflusst sein. Das Management/die Therapie dieser Funktionen und Schmerzen ist für die Patienten von großer Bedeutung [125].

Tabelle 3. Haupttypen von Wirbelsäulenverletzungen nach Denis. Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Informationen aus [130].

Frakturtyp	Säule		
	Anterior	Mitte	Posterior
Kompression	Kompression	Keine	Keine oder Distraction
Berstung	Kompression	Kompression	Keine
Sicherheits- Gurt-Typ	Keine oder Kompression	Distraction	Distraction
Dislozierte Fraktur	Kompression/Rotation /Scherverl.	Distraction/Rotation/Sch erverl.	Distraction/Rotation/Sch erverl.

2.2.9.4 Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks in Kurzform

Die Stabilität ist ein wichtiger Faktor für die Therapiestrategie und die Prognose von Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Diese lässt sich mit der Drei-Säulen-Theorie von Denis abschätzen. Wenn mindestens zwei der „Säulen“ von der Fraktur betroffen sind wird sie als instabil angesehen. Des Weiteren werden Kompressions-Frakturen, Berstungs-Frakturen, Frakturen vom Sicherheitsgurt-Typ und dislozierte Frakturen unterschieden. Kriterien für eine klinisch relevante Wirbelsäulenfraktur sind ein hochenergetischer Unfallhergang, ein Patientenalter ≥ 60 Jahre und ein auffälliger Befund in der klinischen Untersuchung wie Druckdolenz, Krepitation, Deformität oder neurologische Defizite. Die Konsequenz aus dem Vorhandensein dieser Kriterien sollte eine in Abhängigkeit der weiteren Umstände so schnell wie mögliche CT- oder MRT Diagnostik sein.

2.3 Diskussion des Reviewteils „Stumpfes Thoraxtrauma in der Notfallradiologie“

An dieser Stelle wurde aufgrund des Charakters als Übersichtsarbeit von einer Diskussion abgesehen. Die Aufarbeitung des Themas soll lediglich den Zusammenhang vom Verletzungsausmaß von Thoraxverletzungen und wertigen anderen Verletzungen sowie die aktuellen diagnostischen und therapeutischen Ansätze darstellen. Die bisher wenig erforschten Zusammenhänge für den speziellen Fall der medialen Claviculafrakturen sollen in der nun folgenden Studie genauer beleuchtet und dort auch diskutiert werden.

3 B. Studienteil zum Stellenwert von medialen Claviculafrakturen in der Notfallversorgung.

Die lokale Ethikkommission bescheinigte dem Projekt mit der Nummer 18-910 die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit.

Eingeschlossen wurden 354 Patienten im Alter von 9,7 bis 94,1 Jahren mit Frakturen des medialen Drittels der Clavicula (Typ III) und/oder Subluxationen beziehungsweise Dislokationen des Sternoclaviculargelenks über einen Zeitraum von 15 Jahren zwischen 2002 und 2017.

293 doppelt gespeicherte (beispielsweise Kontrolluntersuchungen nach operativer Versorgung) und falsch kodierte Fälle wurden in mehreren Kontrollrunden ausgeschlossen, sodass 61 Patienten verblieben. Je nach Lokalisation kann die exakte Zuordnung des betroffenen Drittels im klinischen Alltag in wenigen Fällen erschwert sein, was zu Fehlern bei der Kodierung führen kann [134].

Nun wurden zur Bearbeitung der Fragestellung statistische Merkmale festgelegt. Der Verletzungstyp wurde mit den Variablen „Fraktur des medialen Drittels der Clavicula“, „Luxationsverletzung des Sternoclaviculargelenks“ und „Kombinationsverletzung aus medialer Fraktur und Luxation“ festgelegt. Das Geschlecht wurde in „weiblich“ oder „männlich“ unterteilt und das Alter wurde in Jahren mit einer Nachkommastelle angegeben. Die Unterteilung von weiteren Verletzungen über die Frakturen und Luxationen der Clavicula hinaus, die mit dem Begriff „Mehrfachverletzungen“ belegt wurden, erfolgte in „keine Mehrfachverletzungen“, „thorakale Mehrfachverletzungen“, „sonstige – also nicht den Thorax betreffende – Mehrfachverletzungen“ und „Kombinationen aus thorakalen und sonstigen Mehrfachverletzungen“. Die Indikation zur operativen Versorgung der weiteren Verletzungen wurde nach zeitlicher Dringlichkeit und Bedeutung für die Gesundheit des Patienten als „keine Indikation“, „dringliche Indikation“ - für lebensgefährliche Verletzungen mit sofortigem Handlungsbedarf bis zu Versorgungen die in einem Zeitraum von sechs Stunden erfolgen müssen - oder „nicht-dringliche Indikation“ – für Verletzungen die in einem Zeitraum von sechs Stunden bis elektiv versorgt werden müssen - klassifiziert.

Von Patienten welche, als potenziell schwerverletzt über den Schockraum aufgenommen werden, wird nach schneller Evaluation durch das Schockraumpersonal an den Universitätskliniken der Ludwig-Maximilians-Universität standardmäßig ein CT-Topogramm angefertigt und damit die Spirale für CT des Kopfes, des Thorax, des Abdomens und des Beckens geplant und durchgeführt. Die Bilder werden zusätzlich neben der eigentlichen Schnittebene, also der primär axialen Darstellung, in sagittalen- und coronaren

Rekonstruktionen berechnet. Dieses Protokoll wird nachstehend als „Ganzkörper CT“ bezeichnet. Die Modalität der primären radiologischen Bildgebung wurde in „Röntgen in zwei Ebenen“, „organselektive CT“ und „Ganzkörper CT“ unterteilt. Eine weitere Unterteilung wurde bei der primären Versorgung zwischen der Versorgung im Schockraum und außerhalb des Schockraums getroffen. Der Injury Severity Score wurde in Punkten angegeben. Der Diagnosezeitpunkt wurde in „innerhalb von 24 Stunden nach Ereignis“ und „mehr als 24 Stunden nach Ereignis“ unterteilt.

Die Informationen bezüglich der Merkmale wurden an einer Workstation der Klinik und Poliklinik für Radiologie der Ludwig–Maximilians–Universität aus der Klinikdatenbank erhoben. Eingesehen wurden Notaufnahme- und Schockraumprotokolle, Verlegungs- und Entlassbriefe, Konsiliarbefunde, Operationsberichte, radiologische Befunde und radiologisches Bildmaterial aller verfügbaren Modalitäten aus dem Picture Archiving and Communication System (PACS). Nach Erhebung wurden die Daten anonymisiert in einer Excel-Tabelle (Version 2010, Microsoft Corporation, Redmont, USA) gespeichert und mit IBM SPSS Statistics, Version 25 (SPSS, Chicago, USA) verarbeitet. Ab diesem Zeitpunkt ließen sich die gewonnenen Daten nicht mehr zum konkreten Patienten Zurückverfolgen.

Tabelle 4. Im Rahmen der Studie erfasste Merkmale. Quelle: eigene Darstellung.

Merkmal	Ausprägung
Verletzungstyp	-Typ III-Fraktur/-SC-Luxation/-Kombination aus Typ III-Fraktur und Luxationsverletzung
Geschlecht	-weiblich/-männlich
Patientenalter	-in Jahren
Assoziierte Verletzungen	-keine/-thorakal/-sonstige/-thorakal und sonstige
Dringlichkeit der operativen Versorgung	-„Lebensgefahr“/-„1 h“/-„1-6 h“/-„6-12 h“/-„12-24 h“/-„elektiv“
Primäre radiologische Diagnostik	-Röntgen/-CT organselektiv/-CT Ganzkörper
Primäre Schockraumversorgung	-nein/-ja
ISS	In Punkten
Erweiterung der radiologischen Diagnostik	-nein/-ja

Zu den Daten wurden arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen bestimmt. Für den Vergleich von Gruppen wurde bei ordinal-skalierten Daten der Chi-Quadrat-Test verwendet. Bei rationalen Daten wurden Varianzanalysen und Post-Hoc-Tests (parametrische Daten) oder der Mann-Whitney-U-Test (nicht-parametrische Daten) gewählt. Ein P-Wert von $\leq 0,05$ wurde als statistisch signifikant definiert. Für die statistische Auswertung der Daten wurde IBM SPSS Statistics, Version 25 (SPSS, Chicago, USA) verwendet.

Ab hier folgt – mit Genehmigung von Springer Nature – eine deutsche Übersetzung des Artikels „Injuries of the sternoclavicular region indicate concomitant lesions and need distinguished imaging“ [21] welcher im Original in englischer Sprache erschienen ist als direktes Zitat. Die Nummerierung der Tabelle und der Abbildungen sowie der Literaturverweise wurde zur Vermeidung von Unklarheiten geändert und in die laufende Nummerierung dieser Arbeit integriert. Die Original-Version des Artikels befindet sich als Anhang am Ende dieser Arbeit.

Direktes Zitat Anfang (sinngemäße Übersetzung von [21], siehe auch 7. Anhang):

3.1 Verletzungen der Sternoclavicularregion sind Indikatoren für Begleitverletzungen und erfordern eine differenzierte Bildgebung

Abstract

Zweck: Bewertung von Verletzungen der Sternoclavicularregion als Indikatorverletzung für relevante Begleitverletzungen und Bewertung der Modalitäten der initialen Bildgebung. Wir vermuteten eine hohe Inzidenz von Begleitverletzungen sowie eine Unzulänglichkeit des derzeitigen Goldstandards in Form von initialen Röntgenaufnahmen.

Methoden: Wir analysierten retrospektiv Patienten, die zwischen 2002 und 2017 Verletzungen der Sternoclavicularregion erlitten. Wir analysierten die Art und Schwere der Verletzung, die initiale Bildgebung (Röntgen- vs. CT-Scan der Sternoclavicularregion vs. Ganzkörperscan) und die Ergänzung der Bildgebung in Abhängigkeit von der Lokalisation der Begleitverletzungen und die daraus resultierende Notwendigkeit und Dringlichkeit einer operativen Versorgung.

Ergebnisse: Wir haben n = 61 Patienten eingeschlossen. Der mittlere ISS lag bei 13,5 ± 17 Punkten, n = 13 (21,3%) Patienten wurden als „schwer verletzt“ definiert (ISS ≥ 16). N = 29 (47,5%) erhielten eine initiale Röntgenaufnahme, n = 10 (16,4%) eine initiale CT-Aufnahme der Sternoclavicularregion und n = 22 (36%) eine initiale Ganzkörper-CT-Aufnahme. Die initiale Bildgebung korrelierte signifikant mit dem ISS. Bei n = 21 (72,4%) Fällen der Gruppe mit initialen Röntgenaufnahmen war eine Erweiterung der Bildgebung durch einen CT-Scan der Sternoclavicularregion indiziert (p ≤ 0,001). N = 31 (50,8%) der Patienten erlitten Begleitverletzungen. N = 39 (63,9%) Patienten wurden operativ versorgt, davon n = 23 (37,7%) mit operativer Versorgung von sternoclaviculären Verletzungen.

Schlussfolgerung: Verletzungen des sternoclaviculären Komplexes sind Indikatoren für das Vorliegen von Mehrfachverletzungen. Eine CT-Untersuchung der Sternoclavicularregion, inklusive Apex der ipsilateralen Lunge und oberem Brustkorb, kann einen großen Teil dieser Begleitverletzungen erfassen. Die Suche nach solchen Verletzungen im Zuge der initialen Bildgebung verbessert den Behandlungsprozess, vermeidet Unterdiagnostik und verringert Unsicherheiten.

Zweck:

Die Häufigkeit von Schlüsselbeinverletzungen variiert je nach Lokalisation erheblich. 70-80% sind Frakturen des mittleren Drittels. Frakturen des distalen Drittels des Schlüsselbeins respektive des Acromioclavicular-Gelenks treten häufiger auf (10-44%) als Verletzungen des medialen Drittels respektive des Sternoclavicular-Gelenks (2-3%) [135-137]. Es ist bekannt, dass Verletzungen des medialen Drittels der Clavicula, beziehungsweise des Sternoclavicular-Gelenks, potentiell schwere traumatische Verletzungen darstellen können [138]. Es existieren zwei relevante Arten von Verletzungen: die Fraktur des medialen Drittels des Schlüsselbeins und die Luxation des Sternoclavicular-Gelenks. Die häufigsten Verletzungsmechanismen sind Verkehrsunfälle oder Stürze (aus großer Höhe) [139]. Über Verletzungen dieser Region wurden bisher wenige Studien veröffentlicht. In diesen befassen sich die Autoren meist mit der Epidemiologie oder mit Unterschieden im operativen Management und zwischen Operationstechniken [140, 141]. Begleitverletzungen wurden in diesem Zusammenhang thematisiert [134]. Wichtige potenziell von diesen Begleitverletzungen betroffene Strukturen sind Arteria carotis, Vertebralarterien, Jugularvenen, Pharynx, Larynx, Trachea, Ösophagus, Halswirbelsäule und Rückenmark. Bisher wurden noch

keine Studien mit Bezug auf die initiale Bildgebung oder die Rolle medialer Claviculaverletzungen als Indikatorverletzung für relevante Begleitverletzungen veröffentlicht. Die potenzielle Lebensgefahr, die mit medialen Claviculaverletzungen einhergeht, steht im Gegensatz zum derzeit geringen Wissen über die Rolle der initialen Bildgebung und des informativen Werts dieser Verletzungen. Röntgenaufnahmen sind der diagnostische Goldstandard der Bildgebung bei Schlüsselbeinverletzungen [142, 143]. Wir vermuteten eine hohe Inzidenz von Begleitverletzungen sowie eine Unzulänglichkeit des derzeitigen Goldstandards in Form von initialen Röntgenaufnahmen.

Methoden:

Die Studie basiert auf einer retrospektiven multizentrischen Analyse von Daten aus zwei Level-1-Traumazentren. Diese retrospektive Studie wurde mit Zustimmung der lokalen Ethikkommission (Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) #18-910) durchgeführt. Von den Teilnehmern wurden im Zuge der Nachsorge schriftliche Einverständniserklärungen eingeholt. Der Untersuchungszeitraum war von Januar 2002 bis Dezember 2017 (15 Jahre). Wir haben die Datenbanken nach den entsprechenden ICD-10 (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) Codes für mediale Schlüsselbeinfrakturen und Sternoclavicular-Gelenks-Dislokationen durchsucht. Gemäß der 10. Revision haben wir alle in den beiden Kliniken aufgenommenen Patienten nach den folgenden Codes gefiltert und daraufhin einbezogen: S42.01 (Fraktur des sternalen Endes des Schlüsselbeins) und S43.2 (Subluxation und Dislokation des Sternoclaviculargelenks). Chronische Verletzungen (≥ 6 Wochen) wurden als Ausschlusskriterium definiert. Wir analysierten die epidemiologischen Faktoren, die Verletzungsart (Fraktur vs. Dislokation), die Schwere der Verletzung (Injury Severity Score, ISS [144]), den Aufnahmemodus (Schockraum vs. Notaufnahme), die initiale Bildgebung und die ergänzende Bildgebung (Röntgen vs. CT-Scan der Sternoclavicularregion inklusive ipsilateralem Apex der Lunge und oberem Brustkorbs vs. Ganzkörper-CT-Scans). Die Entscheidung für den Ganzkörper-CT-Scan als primären Bildgebungsmodus fiel entweder nach Protokoll bei Aufnahmen über den Schockraum oder abhängig vom behandelnden ärztlichen Personal bei Aufnahmen über die Notaufnahme. Darüber hinaus haben wir Begleitverletzungen als: thorakale (Lunge, Herz, Gefäße, Brustkorb und Brustwirbelsäule) vs. andere (Kopf, Extremitäten, Bauch, Becken und Lendenwirbelsäule) vs. eine Kombination beider definiert. Zusätzlich analysierten wir die Notwendigkeit der operativen Versorgung. Zuletzt haben

wir auch die Dringlichkeit der Operation (Lebensgefahr, innerhalb von 1 h, 1-6 h, 6-12 h, 12-24 h, und elektiv) klassifiziert.

Die Daten wurden über Microsoft Excel 2010 erfasst (Microsoft, Redmond, WA), gefolgt von einer statistischen Analyse mit IBM SPSS Statistics, Version 25 (SPSS, Chicago, IL). Die Daten wurden in Form des arithmetischen Mittels und der Standardabweichung angegeben. Für ordinalskalierte Daten wurden Häufigkeiten berechnet und für Vergleiche von Gruppen wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Rationale Daten wurden durch Mittelwert und Standardabweichung beschrieben. Zum Vergleich von Gruppen wurden Varianzanalysen (ANOVA) und Post-Hoc-Tests für parametrische Daten und der Mann-Whitney-U-Test für nicht-parametrische Daten verwendet. Ein Wert von $p \leq 0.05$ wurde als signifikant für Unterschiede im Gruppenvergleich angesehen. Eine Post-Hoc-Trennschärfe-Analyse für die Effektivität der initialen Bildgebung (27,6% vs. 98,4% adäquate Bildgebungsmodalität) ergab eine statistische Trennschärfe (Power) von 100% für einen $p \leq 0,05$.

Ergebnisse:

Wir haben insgesamt $n = 61$ Patienten mit folgenden Erkrankungen einbezogen: mediale Schlüsselbeinfraktur ($n = 46$; 75,4%) und sternoclaviculäre Dislokation ($n = 15$; 24,6%). $N = 3$ (20%) der sternoclaviculären Dislokationen waren nach posterior disloziert, alle anderen in anteriorer/superiorer Richtung. Das Durchschnittsalter betrug $50,8 \pm 23,1$ Jahre, $n = 46$ (65,7%) waren männlich ($p = 0,03$). Der mittlere ISS betrug $13,5 \pm 17$ und $n = 13$ (21,3%) Fälle wurden als „schwer verletzt“ eingestuft ($ISS \geq 16$).

$N = 29$ (47,5%) Patienten erhielten eine initiale Röntgenaufnahme, $n = 10$ (16,4%) eine initiale CT-Aufnahme der Sternoclavicularregion und $n = 22$ (36%) eine initiale Ganzkörper-CT-Aufnahme (Abb.] 28a [). Abb.] 28b [zeigt das Boxplot-Diagramm zum Zusammenhang zwischen ISS und initialer Bildgebung und Abb.] 28c [das Diagramm zum Zusammenhang zwischen ISS und Aufnahme über den Schockraum. In $n = 21$ (72,4%) Fällen der Röntgengruppe war eine sekundäre Erweiterung der Bildgebung von Röntgen- zu CT-Scan der sternoclaviculären Region indiziert ($p \leq 0,001$); die Erweiterung von CT-Scan der sternoclaviculären Region zu Ganzkörper-CT wurde nur in $n = 1$ (1,6%) Fall (nicht signifikant, $p = 0,31$) indiziert (Abb.] 28d [). Alle Patienten der Röntgen- und Sternoclaviculär-CT-Gruppe wurden nicht über den Schockraum aufgenommen, während 21 (87,5%) Patienten der Ganzkörper-CT-Gruppe über den Schockraum aufgenommen wurden.

Verletzungsmuster: N = 31 (50,8%) Patienten erlitten Begleitverletzungen. N = 3 (10,7%) Patienten der Röntgengruppe erlitten thorakale Begleitverletzungen und n = 2 (7,1%) Patienten eine Kombination von thorakalen und anderen Verletzungen. In allen diesen Fällen war eine Erweiterung der Bildgebung zum CT der sternoclaviculären Region und/oder zu weiteren Röntgenaufnahmen erforderlich. In der Sternoclaviculär-CT-Gruppe erlitten n = 3 (27,3%) Patienten thorakale Begleitverletzungen; außerdem erlitt n = 1 (9%) Patient eine Kombination von Brust- und anderen Verletzungen; hier war eine Erweiterung zum Ganzkörper-CT indiziert. Die Anzahl mehrfach verletzter Patienten war im Vergleich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,17$). In der Ganzkörper-CT-Gruppe erlitten alle Patienten Begleitverletzungen (Tab.] 5 [). Eine initiale CT-Aufnahme der Sternoclaviculärregion inklusive ipsilateraler Lungenspitze und oberem Brustkorb hätte bei n = 5 (17,9%) Patienten der Röntgengruppe zu einer genaueren und schnelleren Identifikation von Begleitverletzungen geführt. Die Bewertung mithilfe der Abbreviated Injury Scale (AIS) [144] für die Körperregion „Thorax“ ergab $2,5 \pm 1,9$ Punkte und bewegte sich damit zwischen "mäßig" und "schwer" verletzt.

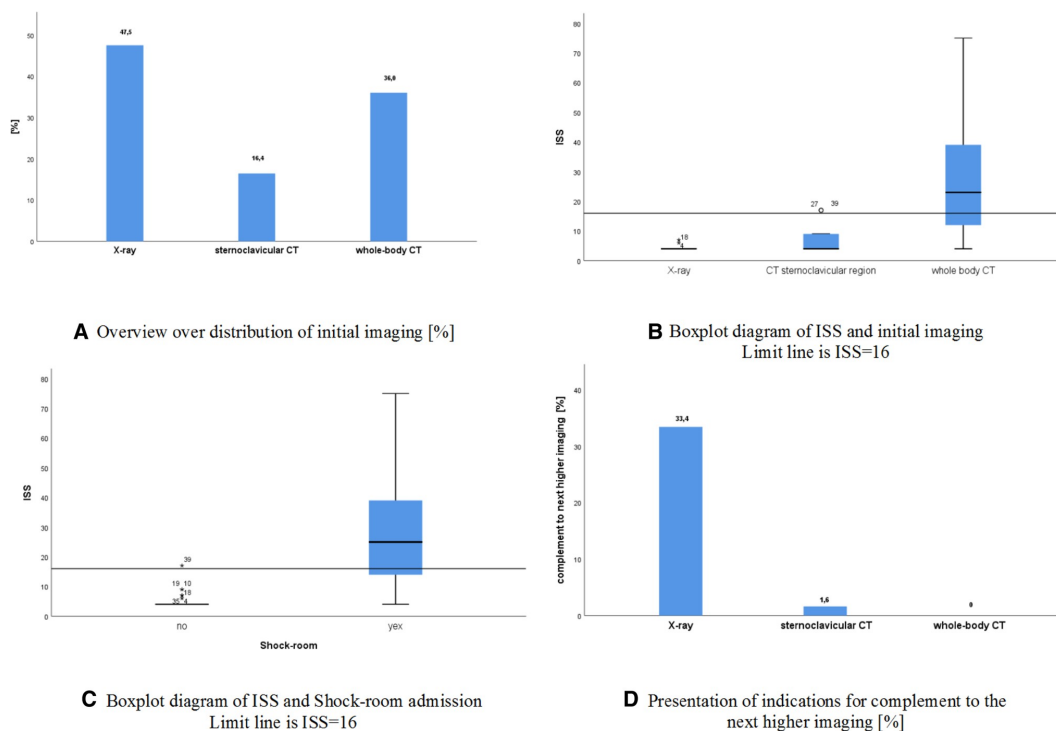


Abbildung 28 Boxplot-Diagramme der Ergebnisse. Quelle: [21].

Insgesamt wurden bei n = 39 (63,9%) aller Patienten Operationen/Interventionen durchgeführt. Darunter waren n = 23 (37,7%) Patienten mit Operationen im Zusammenhang mit ihren sternoclaviculären Verletzungen. Bei n = 12 (52,2%) dieser Patienten wurde eine CT-Bildgebung ohnehin vom behandelnden Chirurgen zur Operationsplanung angefordert. Die Dringlichkeit der operativen Therapie war kennzeichnend: Keiner der Patienten der Röntgen- oder Sternoclaviculär-CT-Gruppe benötigte eine mit „Lebensgefahr“ oder „innerhalb von 1 h“ klassifizierte Operation. Bei n = 1 (2,5%) Patienten war eine Operation mit einer Dringlichkeit von „1 bis 6 h“ indiziert. Dieser litt unter einer instabilen Fraktur des fünften Brustwirbels (Chance-Fraktur). Alle anderen wurden nach 12 h und später operativ behandelt. Demgegenüber steht die Ganzkörper-CT-Gruppe. Hier waren bei n = 8 (36,4%) Patienten Operationen mit der Dringlichkeit „Lebensgefahr“ oder „innerhalb von 1 h“ indiziert.

Im Folgenden werden drei Fälle aus unserem Kollektiv zur Veranschaulichung von Schwierigkeiten bei der initialen Bildgebung beschrieben:

Fall 1: Ein 17-jähriger Junge stürzte nach einer Kollision mit einem Auto von einem Fahrrad. Die initiale Bildgebung im aufnehmenden Krankenhaus war eine Röntgenaufnahme der Clavicula ohne klare pathologische Befunde. Nach einem Tag wurde bei persistierenden Schmerzen eine MRT-Bildgebung des Thorax durchgeführt. Diese ergab eine Dislokation der Clavicula nach posterior mit Kontakt zur Arteria carotis interna. Daraufhin wurde ein Notfall-Transport in unsere Klinik organisiert. Der Patient war die ganze Zeit in einem stabilen Zustand. Die chirurgische Behandlung bestand aus Relokation und Augmentationsplastik sternocostaler Ligamente. Ein CT der Region wäre ohnehin für die operative Planung notwendig gewesen und hätte die Verletzung initial abbilden können (Abb.] 29 []).

Fall 2: Ein 30-jähriger Patient, der bei einem Motorradunfall in der Tschechischen Republik verletzt wurde. Der Patient wurde 24 Stunden nach dem Trauma mit Transport via Rückholdienst in unserer Klinik aufgenommen. Die initiale Bildgebung in Tschechien umfasste insgesamt neun verschiedene Röntgenaufnahmen der Clavicula und des Thorax, bevor, allein wegen anhaltender Dyspnoe, eine CT-Bildgebung der Sternoclavicularregion und des Thoraxes durchgeführt wurde. Die Befunde hierbei waren: Ein apikaler Pneumothorax rechts, ein mediastinales retrosternales Emphysem und Lungenkontusionen sowie eine mediale Claviculafraktur rechts. Die Behandlung der Fraktur war eine Osteosynthese per Verriegelungsplatte. Alle Begleitverletzungen wurden konservativ behandelt (Abb.] 30 []).

Fall 3: Eine 74-jährige Frau, die als Fußgängerin einen Verkehrsunfall erlitten hatte. Es wurde eine Röntgenuntersuchung der rechten Clavicula durchgeführt. Hier war die Situation der medialen Clavicula und der Lunge nicht klar beurteilbar. Nach einer CT-Untersuchung des sternoclaviculären Komplexes mit Inklusion von Hals und Thorax nach CT-Protokoll zeigten sich deutlich eine intraarticuläre mediale Claviculafraktur sowie ein kleiner apikaler Pneumothorax. Die mediale Claviculafraktur wurde operativ durch eine Plattenosteosynthese versorgt. Die Behandlung des kleinen apikalen Pneumothorax erfolgte konservativ durch Kontrolluntersuchungen (Abb.] 31 [).

Tabelle 5 Verteilung der Ergebnisse. Vergleich der Bildgebungsmodalitäten und Häufigkeit der Erweiterung der Bildgebung. Quelle: [21].

	Total [n (%)]	X-ray [n (%)]	CT sternoclavicular [n (%)]	CT whole body [n (%)]	Complemented imaging [n (%)]
Severity of injury	61 (100)	29 (47.5)	10 (16.4)	22 (36.0)	26 (43.3)
ISS [<10]	42 (68.8)	28 (45.9)	8 (13.1)	5 (8.2)	25 (40.1)
ISS [11–16]	8 (13.1)	1 (1.6)	2 (3.3)	5 (8.2)	1 (1.6)
ISS [16–30]	3 (4.9)	–	–	3 (4.9)	–
ISS [31–40]	3 (4.9)	–	–	3 (4.9)	–
ISS [41–50]	1 (1.6)	–	–	1 (1.6)	–
ISS [51–60]	2 (3.3)	–	–	2 (3.3)	–
ISS [61–75]	2 (3.3)	–	–	2 (3.3)	–
Shock-room	61 (100)	29 (47.5)	8 (13.1)	24 (39.3)	26 (43.3)
No	40 (65.6)	29 (47.5)	8 (13.1)	3 (4.9)	26 (42.6)
Yes	21 (34.4)	–	–	21 (34.4)	–
Multiple injured	61 (100)	28 (45.9)	11 (18)	22 (36.1)	26 (43.3)
No	30 (49.2)	23 (37.7)	7 (11.5)	–	22 (36.1)
Thoracic	18 (29.5)	3 (4.9)	3 (4.9)	12 (19.7)	–
Thoracic+others	13 (21.3)	2 (3.3)	1 (1.6)	10 (16.4)	4 (6.6)
Urgency of surgery	61 (100)	30 (49.2)	9 (14.8)	22 (36.1)	23 (37.7)
Danger to life	5 (8.2)	–	–	5 (8.2)	–
1 h	3 (4.9)	–	–	3 (4.9)	–
1–6 h	6 (9.8)	–	1 (1.6)	5 (8.2)	1 (1.6)
6–12 h	1 (1.6)	–	–	1 (1.6)	–
12–24 h	24 (39.3)	14 (23)	4 (6.6)	6 (9.8)	12 (19.7)
No	22 (36.1)	16 (26.2)	4 (6.6)	2 (3.3)	10 (16.4)
Complemented imaging [n (%)]	26 (43.3)	4 (6.6)	21 (33.4)	1 (1.6)	–

Diskussion:

Unser Hauptergebnis dieser Studie ist, dass das Röntgenogramm als initiale Bildgebung für Verletzungen des sternoclaviculären Komplexes unzureichend ist. Schwerverletzte Patienten scheinen jedoch bei der Hospitalisierung eine angemessene initiale CT-Aufnahme zu erhalten. Defizite bestehen hier vornehmlich bei leichter verletzten Patienten. Darüber hinaus spielen Begleitverletzungen im Zusammenhang mit diesen Verletzungen eine wichtige Rolle wobei dringende chirurgische Eingriffe nicht immer indiziert sind. Bislang sind Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen der diagnostische Goldstandard der Bildgebung bei Schlüsselbeinverletzungen [142]. Allerdings sollten bei der Wahl der Bildgebung bestimmte Besonderheiten der sternoclaviculären Verletzung und die genaue Verletzungslokalisierung an der Clavicula berücksichtigt werden. Mittlere oder laterale Verletzungen sind durch Röntgenaufnahmen besser einschätzbar und darüber hinaus sind Verletzungen in diesen Bereichen der Clavicula potentiell weniger schwerwiegend [14]. In der vorliegenden Studie wurden verschiedene Aspekte der Entscheidung für eine initiale CT-Bildgebung der sternoclaviculären Region identifiziert und unterstrichen.

Die Schwere der Verletzung scheint in diesem Zusammenhang eine große Rolle zu spielen. Monotraumapatienten erlitten nur eine mediale Claviculafraktur oder eine sternoclaviculäre Dislokation, plus eventuell eine leichte Abrasionsverletzung, ein Hämatom oder eine oberflächliche Hautläsion, die retrospektiv zu ISS-Werten von 4 oder 5 führten [14]. Ein mittlerer ISS von $13,5 \pm 17$ in unserer Studie unterstreicht die große Anzahl von Patienten mit Mehrfachverletzungen, die fast genau die Hälfte unseres Kollektivs ausmachten. Diese Mehrfachverletzungen sollten im Optimalfall durch die initiale Bildgebung erfasst werden. Ihre Lokalisation sollte bei der Empfehlung der Bildgebung berücksichtigt werden. Wichtig für diese Empfehlung ist auch eine angemessene Berücksichtigung von Detektionsgenauigkeit, technischer Machbarkeit und Strahlenbelastung. Das Thema Strahlenbelastung ist nach wie vor von großer Bedeutung; allerdings konnte durch beispielsweise iterative Rekonstruktion und biphasische Split-Bolus-Protokolle die Strahlung deutlich reduziert werden [145].

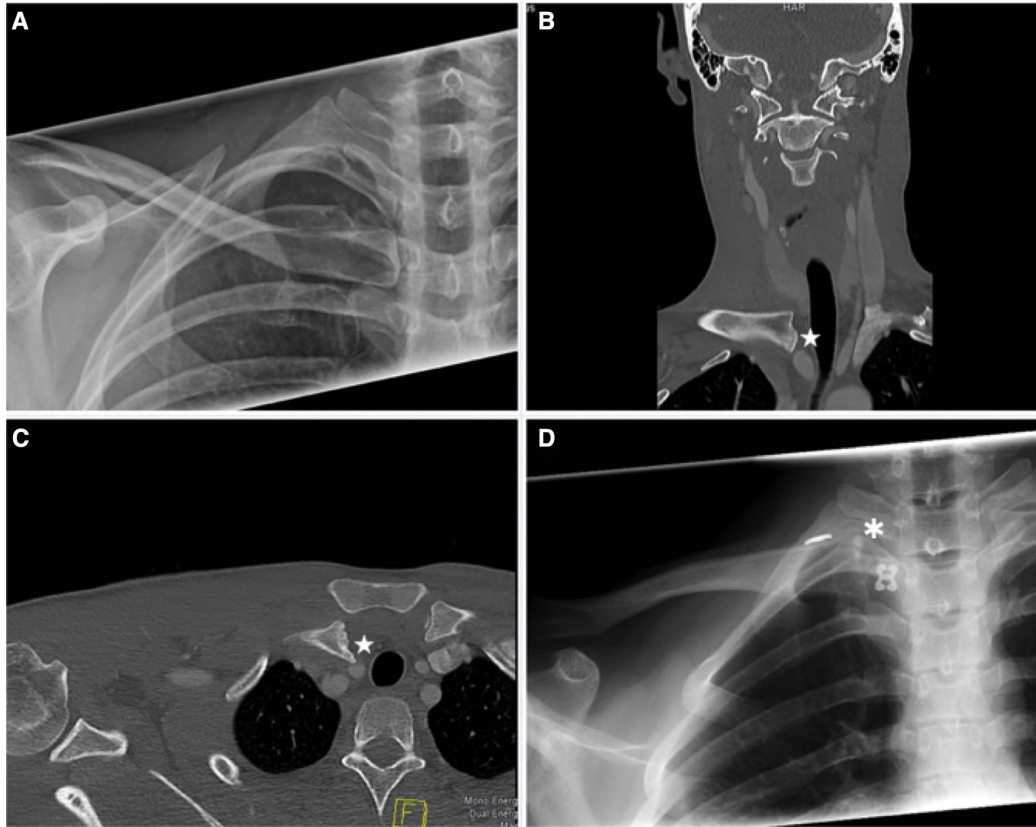


Abbildung 29 Fall 1, 17-jähriger Patient. **a** Initiale Röntgenaufnahme des Schlüsselbeins am Aufnahmetag. **b** Der coronare CT-Schnitt am Folgetag zeigt den Kontakt zwischen dem medialen Ende der Clavicula und der Arteria carotis interna (**Stern**). **c** Dieser Kontakt im Schnitt durch die Transversalebene. **d** Postoperatives Röntgenbild nach offener Rekonstruktion und Augmentationoplastik der sternocostalen Ligamente. Quelle: [21].

Wir identifizierten den ISS als diagnostischen Entscheidungsmarker für die initiale Bildgebung: 96,5% der Patienten mit einer initialen Röntgenaufnahme hatten einen ISS ≤ 10 , nur 3,4% hatten einen ISS von 11-16 und niemand hatte einen höheren Wert. In der Gruppen von Patienten mit sternoclaviculären CT-Aufnahmen hatten 80% einen ISS ≤ 10 , 20% einen ISS von 11-16 und niemand einen höheren ISS. Von den eingeschlossenen Patienten mit ISS ≥ 16 erhielten 100% eine initiale Ganzkörper-CT-Bildgebung. Sternoclaviculäre Verletzungen werden als, in bis zu 30% der Fälle, unmittelbar lebensbedrohlich beschrieben und die Mortalitätsrate beträgt 3-4% [146]. Unsere schwer verletzten Patienten zeigten eine Inzidenz von lebensbedrohlichen Zuständen von 18% und eine Mortalitätsrate von 3,2%, was im Wesentlichen mit diesen Angaben übereinstimmt. Patienten mit geringeren Verletzungen befanden sich weder in lebensbedrohlichen Zuständen, noch waren bei diesen Patienten Operationen mit der Dringlichkeit "Lebensgefahr" indiziert gewesen. Auf den ersten Blick scheint die Wahl der ersten Bildgebung angemessen.

Im Gegensatz dazu steht das charakteristischste Ergebnis unserer Studie: Die Anzahl der Fälle, in denen die initiale Bildgebung erweitert wurde. Die Erweiterung zu CT-Aufnahmen der sternoclaviculären Region in 72,4% der Fälle der Patienten mit initialen Röntgenaufnahmen zeigt deutlich die unzureichende Aussagekraft von Röntgenbildern bei der Beurteilung der Verletzung, dem Verdacht auf Begleitverletzungen oder der Notwendigkeit einer genauen Operationsplanung. Für diese Region sind Überlagerungs-Effekte in Röntgenaufnahmen ein relevantes Thema [147]. Mit Hilfe der CT könnte die diagnostische Genauigkeit bei sternoclaviculären Verletzungen deutlich erhöht werden. Diese modalitätsbedingte unzureichende Aussagekraft ist vor allem bei Patienten mit leichten Verletzungen relevant. Die Gruppe mit den signifikant höchsten ISS-Werten und der Notwendigkeit von operativer Therapie mit einer als „Lebensgefahr“ oder „innerhalb von 1 h“ klassifizierten Dringlichkeit war die Ganzkörper-CT-Gruppe. Diese erhielt somit eine ausreichende Bildgebung. Die Operationen in den beiden anderen Gruppen waren selbstverständlich weniger zeitkritisch, aber trotzdem wurden insgesamt 59% dieser Patienten im Bereich der sternoclaviculären Region operiert. In etwa der Hälfte der Fälle wurden ohnehin CT-Untersuchungen zur präoperativen Planung angefordert. Die Anzahl der Patienten in der Gruppe mit einer initialen CT-Untersuchung der sternoclaviculären Region war signifikant geringer als die in den beiden anderen Gruppen. Dieses Ungleichgewicht ist gut zu erklären. Bisher liegt der Stellenwert der initialen CT-Untersuchung der sternoclaviculären Region weit unter dem der Röntgenaufnahme als Goldstandard für Claviculafrakturen oder dem Stellenwert von Ganzkörper-CT-Untersuchungen in Schockraumalgorithmen.

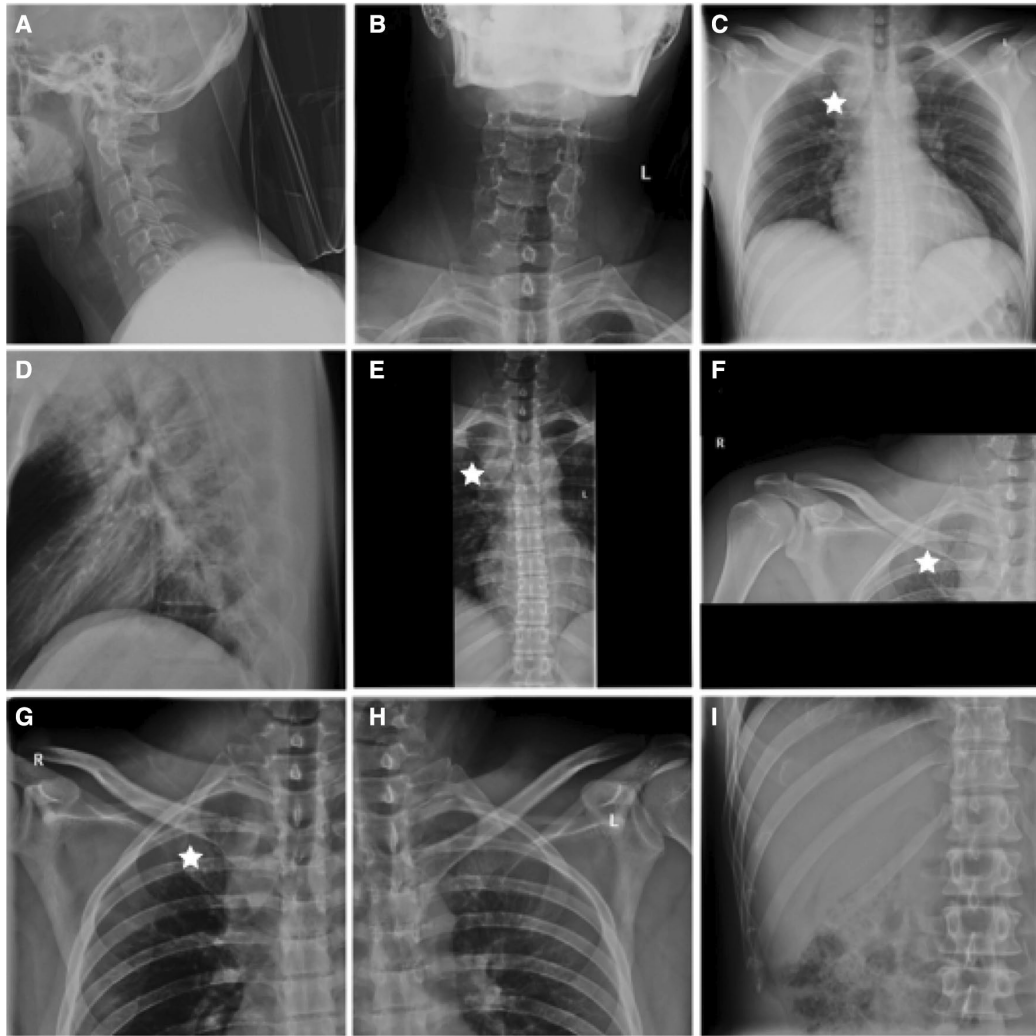


Abbildung 30 Fall 2 eines 30-jährigen Patienten. **a-i** Die initiale Bildgebung umfasste insgesamt neun verschiedene Röntgenbilder des Schlüsselbeins, der Brust und der Halswirbelsäule, bevor wegen anhaltender Dyspnoe eine CT-Untersuchung der sternoclaviculären Region und des Thorax durchgeführt wurde. Die Fraktur des medialen Schlüsselbeins (**Stern**) wurde im Röntgenbild dargestellt; der apikale Pneumothorax rechts, das mediastinale Emphysem sowie die Lungenkontusionen blieben in dieser Modalität jedoch unbemerkt. Quelle: [21].

Ein weiterer Aspekt ist der Behandlungsprozess. Die Unterdiagnostik beeinflusst die Effektivität und Dauer der Behandlung sowie deren Wirtschaftlichkeit negativ. 72,4% aller Patienten in der Röntgengruppe mussten über die anfängliche Unklarheit in Bezug ihrer Verletzungsmuster informiert werden. Dies, in Verbindung mit einer Begleitverletzungs-Rate von 50,8%, rechtfertigte die Empfehlung einer initialen CT-Untersuchung der sternoclaviculären Region. Relativierend ist hinzuzufügen, dass die gewünschte Erfassung aller Begleitverletzungen nicht unbedingt von grundlegender Bedeutung für die Notfalltherapie ist. Die Erfassung relevanter und schwerer Begleitverletzungen bei schwer verletzten Patienten ist sinnvoll; die Erfassung kleinerer Begleitverletzungen bei Patienten mit leichten Verletzungen ist weniger zielführend.

Ursache und Wirkung von Begleitverletzungen sind in diesem Zusammenhang ein Thema. Die Frage, ob Unfallmechanismen von sternoclaviculären Verletzungen zu Mehrfachverletzungen führen oder ob der Zustand von Mehrfachverletzungen in hohem Maße mit sternoclaviculären Verletzungen zusammenhängt, bleibt unklar. In ihrer Publikation aus dem Jahr 2017 berichten Bakir et al. über eine Begleitverletzungsinzidenz von 84,2% mit überwiegend thorakaler Beteiligung [134]. Postacchini et al. berichten von Inzidenzen von bis zu 10% für Frakturen im mittleren Drittel der Clavicula bei mehrfachverletzten Patienten [137]. In der vorliegenden Studie lag die Rate von Mehrfachverletzten mit 21,3% mehr als doppelt so hoch wie bei Postacchini, aber nur bei einem Viertel im Vergleich zu Bakir. Eine genauere Klärung muss mit Hilfe von Scoring-Systemen erfolgen. Die vorliegende Studie nutzte den AIS zur erstmaligen Beschreibung der Schwere von Begleitverletzungen in diesem Kontext. Werte für Verletzungen zwischen „mäßig“ und „schwer“ unterstreichen unsere Empfehlung für die Bildgebung. Auf jeden Fall müssen wir sternoclaviculäre Verletzungen als Indikator für Mehrfachverletzungen ansehen.

Die drei Fälle zeigen in beschreibender Weise Arten von Über-, Unter- und verzögerter Diagnostik. Sie sind repräsentative Beispiele für die aktuelle medizinische Versorgungssituation. Eine initiale CT der sternoclaviculären Region hat sternoclaviculäre Verletzungen sowie Begleitverletzungen zunächst unabhängig von den Behandlungsergebnissen abgebildet. Eine Therapie war in manchen Fällen indiziert, in anderen nicht.

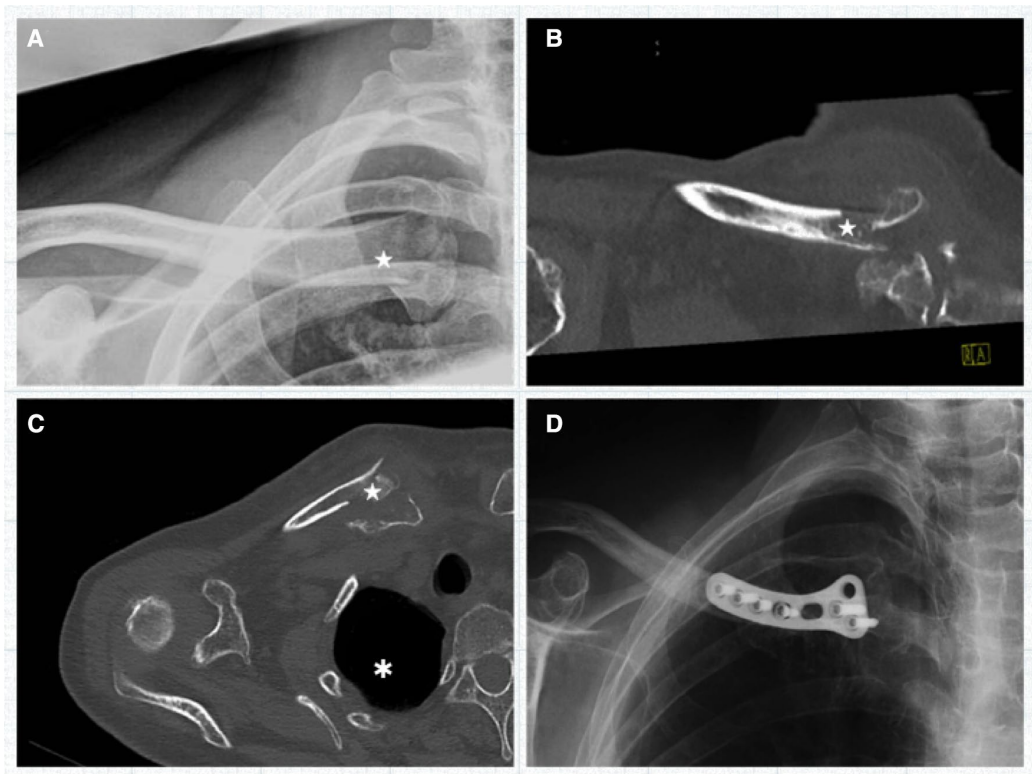


Abbildung 31 Fall einer 74-jährigen Frau, die als Fußgängerin an einem Verkehrsunfall beteiligt war. Die Patientin erhielt eine Röntgenaufnahme des rechten Schlüsselbeins. Danach blieben der Zustand des medialen Schlüsselbeins (**Stern**) sowie der Lunge unklar. **b, c** Nach der CT-Untersuchung des sternoclaviculären Komplexes sowie des Halses und Thorax gemäß CT-Protokoll wurden die intraartikuläre mediale Claviculafraktur und ein kleiner apikaler Pneumothorax (**Asterisk**) klar sichtbar. **d** Die Behandlung der medialen Claviculafraktur erfolgte operativ durch Plattenosteosynthese. Die Behandlung des kleinen apikalen Pneumothorax erfolgte konservativ durch Kontrolluntersuchungen. Quelle: [21].

Die vorliegende Studie hat einige Einschränkungen: Über einen retrospektiven Ansatz kann die Machbarkeit der Empfehlung nicht standardisiert überprüft werden. Einige Patienten wurden zunächst in einem anderen Krankenhaus behandelt; möglicherweise wurden dort unterschiedliche diagnostische Algorithmen angewendet. Hinsichtlich der Begleitverletzungen wurde in der Studie keine organspezifische Differenzierung vorgenommen, auch der Begriff "andere" ist weit gefasst. Subgruppenanalysen wären jedoch aufgrund der Anzahl der Studienteilnehmer nicht sinnvoll gewesen. Gleiches gilt für den Operations-/Interventionsteil. Der Strahlenschutz hat in der Bildgebung einen hohen Stellenwert. Mit der empfohlenen Verfahrensweise steigt die Strahlendosis deutlich an. Zum Beispiel wurde der Patient aus Fall 2 mit den neun Röntgenaufnahmen der sternoclaviculären Region einer berechneten mittleren Strahlendosis von 0,5 Millisievert (mSv) ausgesetzt. Bei Anwendung des empfohlenen Verfahrens wäre die Strahlendosis etwa zehnmal höher gewesen. Eine verbleibende diagnostische Unsicherheit steht hier in Konkurrenz zum Strahlenschutz.

Fazit:

Verletzungen der sternoclaviculären Region sind selten und schwerwiegender im Vergleich zu Verletzungen der anderen Anteile der Clavicula. Schwerverletzte Patienten erhalten eine schnelle und angemessene CT-Bildgebung sowie eine standardisierte Notfallbehandlung. Eine frühzeitige umfassende Diagnostik zur Analyse des Verletzungsmusters bei Patienten mit vermutlich leichten Verletzungen ist meist mangelhaft. Verletzungen des sternoclaviculären Komplexes sind Indikatoren für das Vorhandensein von Mehrfachverletzungen. Bei Patienten mit leichten Verletzungen besteht die Gefahr der Unterdiagnostik. Eine CT-Untersuchung der Sternoclavicularregion inklusive Apex der ipsilateralen Lunge und oberem Brustkorb kann einen großen Teil dieser Begleitverletzungen erfassen. Die Suche nach solchen Verletzungen im Zuge der initialen Bildgebung verbessert den Behandlungsprozess, vermeidet Unterdiagnostik und verringert Unsicherheiten.

Direktes Zitat Ende (sinngemäße Übersetzung von [21], siehe auch 7. Anhang).

4 Gemeinsame Schlussfolgerung

Nach ausführlicher allgemeiner Einordnung im Reviewteil unterstützen die Ergebnisse der Studie die Betrachtung von medialen Verletzungen der Clavicula beziehungsweise Verletzungen der sternoclaviculären Region als eigene Entität, welche sich von anderen Verletzungen der Clavicula durch häufigere und gravierendere assoziierte Verletzungen abhebt. Sie sind als Indikatoren für das Vorhandensein von Mehrfachverletzungen anzusehen. Schwerverletzte Patienten mit akut lebensbedrohlichen Begleitverletzungen werden über den Schockraum aufgenommen und erhalten gemäß aktuellem Protokoll ohnehin eine schnelle Ganzkörper-CT-Diagnostik sowie eine standardisierte Notfallbehandlung. Bei Patienten mit anfänglich leicht eingeschätzten Verletzungen der sternoclaviculären Region, die nicht über den Schockraum aufgenommen werden, fehlt eine frühzeitige umfassende Diagnostik zur Analyse des Verletzungsmusters. Also besteht bei diesen Patienten die Gefahr der Unterdiagnostik. Die Notwendigkeit der Erweiterung der initialen Röntgendiagnostik auf eine gezielte CT-Diagnostik in 72,4% der Fälle untermauert dies eindrücklich.

Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Stellen sich Patienten mit Hinweisen auf eine Verletzung der sternoclaviculären Region vor oder fällt eine solche in der Radiographie auf, so empfiehlt sich eine CT-Diagnostik der sternoclaviculären Region inklusive Apex der ipsilateralen Lunge und oberem Brustkorb.

Eine differenzierte Betrachtung des Zusammenhangs von medialen Verletzungen der Clavicula und assoziierten Verletzungen bezogen auf deren genaue Lokalisation (z.B.: Cranium, Pelvis oder Extremitäten) hätte wegen der vergleichsweise kleinen Studienpopulation keinen Sinn ergeben. Deswegen war sie nicht Teil dieser Arbeit. Die Ergebnisse liefern die Grundlage für eine umfassendere Untersuchung des Themas, welche zu klaren Leitlinien für die Bildgebung bei Nicht-Schockraumpatienten mit medialen Verletzungen der Clavicula führen kann. Bis dahin bleibt die Frage nach der angebrachten, radiologischen Modalität eine Fallentscheidung bei welcher, wie im Reviewteil beschrieben, zusätzliche Informationen über assoziierte Verletzungen, die helfen können, Leben zu retten oder Patienten vor irreparablen Schäden zu bewahren, gegen Strahlenbelastung, Zeit und Kosten aufgerechnet werden müssen.

4.1 Ausblick

In zukünftigen multizentrischen Studien mit einem größeren Patientenkollektiv könnte die genaue Lokalisation der Begleitverletzungen differenziert betrachtet und eine klare Empfehlung für die angemessene Diagnostik eröffnet werden. Es muss geprüft werden ob die mit medialen Verletzungen der Clavicula assoziierten Verletzungen auch eine CT-Diagnostik von anderen, über den Thorax hinausgehenden, Regionen rechtfertigen. Eventuell könnte sogar eine Ganzkörper-CT-Diagnostik empfohlen werden. Auch könnte die Erweiterung der Analyse um die Art der Versorgung, Operationstechnik und postoperative Schmerzen, Funktionseinschränkungen und die Patientenzufriedenheit den Fokus der Studie ausweiten und die Aussagekraft weiter erhöhen.

5 Gemeinsame Zusammenfassung

Claviculafrakturen gehören zu den häufigsten Frakturen des Menschen. Sie werden nach anatomischen Drittel unterteilt (Typ I- im mittleren, Typ II- im lateralen und Typ III-Frakturen im medialen Drittel). Typ III-Frakturen sind mit 3% bis 15% selten und vergleichsweise wenig erforscht. Die vorhandenen Daten weisen auf eine häufige Vergesellschaftung von medialen Verletzungen der Clavicula mit anderen signifikanten Verletzungen hin. Der bisherige Goldstandard für die erste und oftmals einzige Bildgebung ist die Radiographie in zwei Ebenen. Es stellt sich die Frage, ob – obwohl Radiographien von Typ III-Frakturen der Clavicula lokal aussagekräftig sind – aufgrund der Häufigkeit von Begleitverletzungen **eine CT-Diagnostik als Goldstandard empfehlenswert** ist. Das vorgelegte Promotionsprojekt gliedert sich zur Bearbeitung in zwei Teile: Einen Reviewteil (A) zur ausführlichen allgemeinen Aufarbeitung des Themas „Stumpfes Thoraxtrauma in der Notfallradiologie“, inklusive der Publikation von Teilen davon als Kapitel „Bony and Thoracic Chest Wall Injuries“ im Lehrbuch „Emergency Radiology of the Chest and Cardiovascular System“ [20]. Der darauf aufbauende Studienteil (B) besteht aus der Planung, Durchführung und Auswertung einer retrospektiven Multi-Center-Studie zur Einschätzung des Zusammenhangs zwischen dem Verletzungsmaß medialer Schlüsselbeine und wertigen anderen Verletzungen inklusive einer Empfehlung für das radiologische Vorgehen zur geeigneten Diagnostik, sowie der Publikation dieser Ergebnisse als Artikel „Injuries of the sternoclavicular region indicate concomitant lesions and need distinguished imaging“ im European Journal of Trauma and Emergency Surgery [21].

Für Teil A wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Ebenfalls wurden, auf Anfrage freundlicherweise zur Verfügung gestellte, bislang nicht publizierte Erfahrungswerte aus dem Institut für Rechtsmedizin der LMU aufgearbeitet. Für Teil B wurden mit Bescheinigung der ethisch-rechtlichen Unbedenklichkeit durch die lokale Ethikkommission (Projektnummer: 18-910) 354 Patienten im Alter von 9,7 bis 94,1 Jahren mit den ICD-10-Kodierungen: S42.01 (Fraktur des sternalen Endes des Schlüsselbeins) und S43.2 (Subluxation und Dislokation des Sternoclaviculargelenks) über einen 15-Jahres-Zeitraum zwischen 2002 und 2017 identifiziert. Nach Ausschluss 293 doppelt gespeicherter und falsch kodierter Fälle verblieben 61 Patienten. Von diesen wurden Daten anonymisiert in einer Excel-Tabelle gespeichert und mit der Statistiksoftware SPSS verarbeitet. Diese Daten bezogen sich auf Art und Schwere der Verletzung, initiale Bildgebung (Röntgen- vs. CT-Scan der Sternoclavicularregion vs. Ganzkörperscan) und Ergänzung der Bildgebung in Abhängigkeit von der Lokalisation der Begleitverletzungen und die daraus resultierende Notwendigkeit und Dringlichkeit einer operativen Versorgung. Die Daten ließen sich zu diesem Zeitpunkt nicht mehr zum konkreten Patienten zurückverfolgen. Für ordinalskalierte Daten wurden Häufigkeiten berechnet und für Vergleiche von Gruppen wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Rationale Daten wurden durch

Mittelwert und Standardabweichung beschrieben. Zum Vergleich von Gruppen wurden Varianzanalysen (ANOVA) und Post-Hoc-Tests für parametrische Daten und der Mann-Whitney-U-Test für nicht-parametrische Daten verwendet. Ein Wert von $p \leq 0.05$ wurde als signifikant für Unterschiede im Gruppenvergleich angesehen.

Von medialen Verletzungen der Clavicula waren hauptsächlich männliche Patienten mit einem Altershöhepunkt von $50,8 \pm 23,1$ Jahren betroffen. Der mittlere ISS lag bei $13,5 \pm 17$ Punkten, $n = 13$ (21,3%) Patienten wurden als „schwer verletzt“ definiert ($ISS \geq 16$). $N = 29$ (47,5%) Patienten erhielten eine initiale Röntgenaufnahme, $n = 10$ (16,4%) eine initiale CT-Aufnahme der Sternoclavicularregion und $n = 22$ (36%) eine initiale Ganzkörper-CT-Aufnahme. Die initiale Bildgebung korrelierte signifikant mit dem ISS. Bei $n = 21$ (72,4%) Fällen der Gruppe mit initialen Röntgenaufnahmen war eine Erweiterung der Bildgebung durch einen CT-Scan der Sternoclavicularregion indiziert ($p \leq 0,001$). $N = 31$ (50,8%) der Patienten erlitten Begleitverletzungen. $N = 39$ (63,9%) Patienten wurden operativ versorgt, davon $n = 23$ (37,7%) mit operativer Versorgung von sternoclaviculären Verletzungen.

Verletzungen des sternoclaviculären Komplexes sind, nach ausführlicher allgemeiner Einordnung im Reviewteil und spezieller Analyse im Studienteil, Indikatoren für das Vorliegen von Mehrfachverletzungen. Schwerverletzte Patienten erhalten gemäß aktuellem Schockraum-Protokoll ohnehin eine schnelle Ganzkörper-CT-Diagnostik und standardisierte Notfallbehandlung. Bei Patienten mit anfänglich leicht eingeschätzten Verletzungen der sternoclaviculären Region fehlt eine frühzeitige umfassende Diagnostik zur Analyse des Verletzungsmusters. Röntgenaufnahmen sind hier als derzeitiger Goldstandard nicht ausreichend. Eine CT-Untersuchung der Sternoclavicularregion, inklusive Apex der ipsilateralen Lunge und oberem Brustkorb, kann einen großen Teil der vergesellschafteten Begleitverletzungen erfassen. Die Suche nach solchen Verletzungen im Zuge der initialen Bildgebung verbessert den Behandlungsprozess, vermeidet Unterdiagnostik und verringert Unsicherheiten. Nicht zuletzt muss die Bildgebung bei diesen Patienten ohnehin häufig zur Diagnosefindung oder zur OP-Planung erweitert werden. Eventuell könnte sogar eine noch stärker erweiterte CT-Diagnostik empfehlenswert sein. Dies lag zwar außerhalb des Fokus dieser Studie, sollte aber in zukünftigen multizentrischen Studien mit überprüft werden. Die Ergebnisse liefern eine berechtigte Motivation für eine umfassendere Untersuchung des Themas, welche zu klaren Leitlinien für die Bildgebung bei Nicht-Schockraumpatienten mit medialen Verletzungen der Clavicula führen kann.

6 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AIS	Abbreviated Injury Score
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AP	Anterior-posterior (Strahlengang bei Röntgenaufnahme)
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
BAK	Blutalkoholkonzentration
CE	Contrast-enhanced (kontrastmittelverstärkt)
CI	Confidence Interval
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
CT-Scout	= Scanogramm/Topogramm. Schnelle Übersichtsaufnahme zur Planung einer Computertomographie
DHX	Delayed Hemothorax
EFAST	Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
EKG	Elektrok/(c)ardiogramm
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FDG-PET	2-Fluor-2-desoxy-D-glucose-Positronen-Emissions-Tomographie
GCS	Glasgow Coma Scale
h	Stunde
HU	Hounsfield Units

ICD-10	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ISS	Injury Severity Score
Km/h	Kilometer pro Stunde
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität (, München)
LUCAS	Lund University Cardiac Assisst System
MANV	Massenanfall von Verletzten
MF	Studiengruppe mit Frakturen im mittleren Drittel der Clavicula „Mittlere Frakturen“
MIP	Maximum-Intensitäts-Projektion
MK	Studiengruppe mit medialen Verletzungen der Clavicula „Medialer Komplex“
ml	Milliliter
MRT	Magnetresonanztomographie
mSv	Milli-Sievert
NEXUS-Kriterien	National Emergency X-Radography Utilization Study-Kriterien
OR	Odds Ratio
ORIF	Offene Reduktion und interne Fixierung
OTA	Orthopaedic Trauma Association
PA	Posterior-anterior (Strahlengang bei Röntgenaufnahme)
PACS	Picture Archiving and Communication System
P-Wert	Probability- (Überschreitungswahrscheinlichkeits-/Signifikanz-) Wert
RR	Relatives Risiko

SSSC	Superior Shoulder Suspensory Complex
ST Dissoziation	Scapulo-thorakale Dissoziation
Tab.	Tabelle
US	Ultraschall
3D-CT-Rendering	Dreidimensionale Computertomographie Rekonstruktion

7 **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1. Unterteilung der Clavicula in Drittel nach Allman.** Frakturen werden im mittleren Drittel als Typ I, im lateralen Drittel als Typ II und im medialen Drittel als Typ III klassifiziert. Ansicht von superior und anterior sowie Anschnitte der jeweiligen Drittel. Quelle: [6].....5
- Abbildung 2. Osteoporotische Frakturen der thorakalen Wirbelsäule bzw. eines thorakalen Wirbelkörpers bei einer 86-jährigen Patientin.** CT ohne Kontrastmittel in (a) axialen und (b) sagittalen Reformationen. Quelle: [20]. 12
- Abbildung 3. EFAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma): Schnelle Ultraschall-Untersuchung zur Detektion freier intraabdomineller-, sowie intrapleuraler Flüssigkeiten.** a: Nicht-pathologische Darstellung von Herz (6), Morrison-Pouch (2), Koller-Pouch (4) und Douglasraum (5), in sagittaler Ausrichtung. b: Korrespondierende Beispiele pathologischer Befunde. Freie Flüssigkeit mit **Pfeilen** markiert. Die Zentrale Abbildung zeigt die Positionen des Schallkopfes. Quelle: [20], zentrale Abbildung [57]..... 14
- Abbildung 4. Falsch platzierter Endotrachealtubus.** Bemerkenswert ist die große Menge Luft in Projektion auf den Magen und die Kreuzung des Tubus mit der linken Begrenzung der Trachea im Thorax-Radiogramm (a) in AP-Strahlengang und (b) in sagittaler Halsansicht. Ein Beleg für die Fehlpositionierung. Quelle: [20]..... 16
- Abbildung 5. Primär unentdeckte Stanford A Dissektion der Aorta mit letaler sekundärer Herzbeutelamponade.** AP-Radiogramm des Thorax bei einem 46-jährigen Patienten mit dezentem Brustschmerz nach Gewichtheben vier Stunden zuvor. Die dezente Verdickung und die verminderte Strahlentransparenz im anterioren Mediastinum, sowie die Buckelung in Projektion auf die Begrenzung der Aortenwurzel wurde übersehen. Bei fehlendem Apical Cap Sign und nur leichten Schmerzen wurde der Patient nach Ausschluss internistischer Pathologien nach Hause entlassen wo er vier Stunden später verstarb. Eine CT wurde nicht angefertigt, aber die Autopsie bestätigte die Befunde. Quelle: [20]. 16
- Abbildung 6. Topogramm eines Polytraumapatienten zur Planung der exakten Positionierung für den CT-Scan.** Zusätzlich liefert es Informationen über relevante Pathologien und kann Hinweise für eine eventuelle Erweiterung der Scan-Region geben. Quelle: [20]. 17
- Abbildung 7. CT während der Reanimation einer 62-jährigen Patientin.** Die Kompressionseinheit wurde für jede CT-Datenaquisition abgenommen da die Patientin zu adipös war, um mit komplettem LUCAS-Kompressionssystem in die Öffnung des CT-Gantry zu passen. (a)

Topogramm zur Planung der thorakalen-, abdominellen- und pelvinen CT-Serien, **(b, d)** das Lumen obstruierende Emboli in Lobararterien beider Lungen (**Pfeile**, 50s Delay). **(c, e)** Bestätigung der erfolgreichen Fibrinolyse in thorakaler Kontrollaufnahme nach Rückkehr der spontanen Blutzirkulation. Bemerkenswert ist die unterschiedliche Kontrastmittelverteilung obwohl alle Parameter mit denen der ersten Aufnahmen **(b, d)** übereinstimmen. Venöse Phase, 210 s Delay: **(f)** freie peripancreatische Luft umgeben von kleinen Gebieten mit Kontrastmittel (**Pfeil**). **(g)** Thrombose der rechten tiefen Femoralvene (**Pfeil**). Quelle: [61].
19

Abbildung 8. Pneumothorax (A), Lungenlazeration (B), Lungenkontusion (C), und Aspiration (D). Axiale kontrastmittelgestützte CT des Thorax in Lungenfenster-Einstellung. Quelle: [20].22

Abbildung 9. Spannungspneumothorax mit Luftverteilung über das Abdomen in subcutane Räume. Den linken Hauptbronchus verengendes Bronchialkarzinom bei einer 65-jährigen Patientin in **(a)** kontrastverstärkter (contrast-enhanced=CE) CT in axialer Schnittbildführung und **(b)** 2-Fluor-2-Desoxy-D-Glucose-Positronen-Emissions-Tomographie (FDG-PET)-CT. Eine Woche später präsentiert dieselbe Patientin eine komplette Atelektase der linken Lunge (sekundär nach einer kompletten Verlegung des linken Hauptbronchus durch das Bronchialkarzinom), einen Spannungspneumothorax auf der rechten Seite **(c, Pfeile)** sowie eine Luftumverteilung durch das Abdomen **(d, Pfeile)** (und Becken)**(e, Pfeil rechts)**. Die sagittale Schnittführung **(f)** demonstriert die gesamte Ausdehnung des abdominalen Emphysems bis in den Leistenkanal **(e, Pfeil links)**. Quelle: [20].23

Abbildung 10. Bronchiale Ruptur (Pfeil). CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster. Quelle: [20].26

Abbildung 11. Oesophagusruptur. CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster. Quelle: [20].26

Abbildung 12. Fallen Lung Sign. Polytraumatisierter junger Erwachsener unter manueller Reanimation. **(a)** AP-Radiogramm des Thorax direkt nach Aufnahme. Bemerkenswert ist die dorsale Position der Lunge und die massive Spannungskomponente in Richtung der linken Seite. Die kontrastmittelverstärkte (contrast-enhanced=CE) CT in axialer Schnittbildführung mit Weichgewebsfenster-Einstellung **(b)** beweist den Spannungspneumothorax, die massive Blutung nach kompletter Avulsion des rechten Hilus und das subcutane Emphysem. Der Patient war trotz intensivster Bemühungen nicht zu retten und der Befund rechtfertigte das Einstellen der Wiederbelebensmaßnahmen. Quelle: [20].28

- Abbildung 13. Pneumomediastinum** im AP-Radiogramm des Thorax (**Pfeile**).
Quelle: [20].28
- Abbildung 14. Macklin-Effekt** (Luft aus beschädigten Alveolen gelangt über bronchovasculäre Bündel in das Mediastinum wodurch ein Pneumomediastinum entsteht). Axiale und coronare CT Reformationen, Lungenfenster. Durch eine Rippenfraktur (hier nicht sichtbar) induzierte distale Laceration der Lunge mit sich an bronchovasculären Ästen orientierenden Bahnen freier Luft, welche sich in das Mediastinum fortsetzen. Derselbe Patient wie in Abb. 12. Quelle: [20].28
- Abbildung 15. Milzblutung (Pfeil)** nach Laceration, welche durch eine Rippenfraktur induziert wurde. US und CT in axialer Schnittbildführung. Quelle: [20].33
- Abbildung 16. Pneumothorax, Ausweitung über die Zeit. (a, Pfeile)** Initiales Radiogramm des Thorax mit schwer erkennbarem Pneumothorax. Der Patient entwickelte einen ausgeprägten Mediastinalshift als Indikator für eine Spannungskomponente und eine im Bild **b (Pfeile)** nun klar erkennbare Grenzlinie zum Pneumothorax. **(c, Pfeil)** Der Ausschnitt aus einem Radiogramm der unteren Rippen zeigt eine Rippenfraktur als wahrscheinlichste Ursache des Pneumothorax. Quelle: [20].35
- Abbildung 17. Sekundäre aktive arterielle Blutung nach Rippenfraktur**, welche selbst nicht abgebildet ist. Die axialen CT Bilder des Thorax in arterieller Phase zeigen eine aktive Kontrastmittelextravasation (**Pfeile**), und liefern den Beleg für die Ursache des rechtsseitigen Hämatothorax (**links**: axiale Schnitte; **rechts**: coronare Maximumintensitätsprojektion (MIP)). Quelle: [20].35
- Abbildung 18. Durch CT-Post-Processing-Software berechnete aufgefaltete Darstellung der Rippen** eines 88-jährigen Patienten mit traumatischen Frakturen der sechsten, siebten und achten Rippe rechtsseitig (**Pfeile**). Die Ansicht in einer Ebene kann die Befundungszeit im Vergleich zur Darstellung in axialen Schnittbildern erheblich verkürzen. Quelle: [20].38
- Abbildung 19. Rechtsseitige Rippenfraktur (Pfeilspitze)**. Gleichzeitig bestand eine traumatische intrathorakale Blutung aus der rechten Arteria mammaria interna (im Bild nicht erkennbar). CT in axialer Schnittbildführung, Lungenfenster-Einstellung. Quelle: [20].38
- Abbildung 20. Massive Weichgewebsverletzung mit Kontrastmittel-Extravasation (Pfeil)** als Zeichen einer aktiven Intercostalarterien-Blutung, CT axial, arterielle Phase, Weichgewebsfenster. Quelle: [20].39

- Abbildung 21. Traumatische Perikard-Tamponade (Pfeil).** 25-jährige Patientin, axiales CT in arterieller Phase, Weichgewebfenster. Quelle: [20].42
- Abbildung 22. New International Classification of Scapula Fractures.** (a) Dorsale und (b) glenoidale Ansicht der Frakturgebiete: Corpus ungefärbt, Processus in Grün, Fossa in Rot. Exemplarische Frakturlinien in (c) dorsaler Ansicht und (d) glenoidaler Ansicht. Quelle: [20].46
- Abbildung 23. Euler und Rüedi Klassifikation von Scapulafrakturen.** (a) Dorsale-, (b) glenoidale- und (c) ventrale Ansicht. Quelle: [20].48
- Abbildung 24. Komplexe Scapulafraktur.** Kombinierte A2-Fraktur und B1-Fraktur (nach der Euler und Rüedi Klassifikation) oder Typ 3-Corpus-Fraktur (nach der New International Classification) im (a) Radiogramm und (b) 3D-CT-Rendering. Quelle: [20].51
- Abbildung 25. Vertebrale Berstungsfraktur von Th3 und Th4 (weiße Pfeile).** Sagittale CT-Reformation und 3D-CT-Rendering bei einem polytraumatisierten Patienten mit assoziierter Sternumfraktur (rote Pfeile). Post mortem Aufnahmen. Quelle: [20].53
- Abbildung 26. Drei-Säulen-Theorie nach Denis zur Einschätzung der Stabilität von Wirbelkörperfrakturen.** Schematische Darstellung. A- anteriore Säule, M-mittlere Säule, P-posteriore Säule. Wenn zwei der drei Säulen betroffen sind kann eine Fraktur als instabil betrachtet werden. Quelle: [20].55
- Abbildung 27. L4 Wirbelkörperfraktur.** 32-jährige Patientin, CT Reformationen. Die Fraktur ist wegen der Beteiligung der anterioren- und mittleren Säule als instabil anzusehen (Drei-Säulen-Theorie, Denis). Quelle: [20].56
- Abbildung 28 Boxplot-Diagramme der Ergebnisse.** Quelle: [21].66
- Abbildung 29 Fall 1, 17-jähriger Patient.** a Initiale Röntgenaufnahme des Schlüsselbeins am Aufnahmetag. b Der coronare CT-Schnitt am Folgetag zeigt den Kontakt zwischen dem medialen Ende der Clavicula und der Arteria carotis interna (**Stern**). c Dieser Kontakt im Schnitt durch die Transversalebene. d Postoperatives Röntgenbild nach offener Rekonstruktion und Augmentationoplastik der sternocostalen Ligamente. Quelle: [21].70
- Abbildung 30 Fall 2 eines 30-jährigen Patienten.** a-i Die initiale Bildgebung umfasste insgesamt neun verschiedene Röntgenbilder des Schlüsselbeins, der Brust und der Halswirbelsäule, bevor wegen anhaltender Dyspnoe eine CT-Untersuchung der sternoclaviculären Region und des Thorax durchgeführt wurde. Die Fraktur des medialen Schlüsselbeins (**Stern**)

wurde im Röntgenbild dargestellt; der apikale Pneumothorax rechts, das mediastinale Emphysem sowie die Lungenkontusionen blieben in dieser Modalität jedoch unbemerkt. Quelle: [21].72

Abbildung 31 Fall einer 74-jährigen Frau, die als Fußgängerin an einem Verkehrsunfall beteiligt war. Die Patientin erhielt eine Röntgenaufnahme des rechten Schlüsselbeins. Danach blieben der Zustand des medialen Schlüsselbeins (**Stern**) sowie der Lunge unklar. **b, c** Nach der CT-Untersuchung des sternoclaviculären Komplexes sowie des Halses und Thorax gemäß CT-Protokoll wurden die intraartikuläre mediale Claviculafraktur und ein kleiner apikaler Pneumothorax (**Asterisk**) klar sichtbar. **d** Die Behandlung der medialen Claviculafraktur erfolgte operativ durch Plattenosteosynthese. Die Behandlung des kleinen apikalen Pneumothorax erfolgte konservativ durch Kontrolluntersuchungen. Quelle: [21].74

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. New International Classification of Scapula Fractures. Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [117].	45
Tabelle 2. Euler und Rüedi Klassifikation von Scapulafrakturen. Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Informationen aus [120].	49
Tabelle 3. Haupttypen von Wirbelsäulenverletzungen nach Denis. Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Informationen aus [130].	57
Tabelle 4. Im Rahmen der Studie erfasste Merkmale. Quelle: eigene Darstellung.	61
Tabelle 5 Verteilung der Ergebnisse. Vergleich der Bildgebungsmodalitäten und Häufigkeit der Erweiterung der Bildgebung. Quelle: [21].	68

9 Literaturverzeichnis

1. Mancini, M.C., F. Talavera, S.V. Karwande, J. Geibel, B.B. Roe, M.A.J.J. Sawyer, D. M. , and J. Kukreja. *Blunt Chest Trauma: Overview, Relevant Anatomy, Workup*. 2014 Oct 03, 2014 [cited 2015 Oct 09. 14:54]; Available from: <http://emedicine.medscape.com/article/428723-overview>.
2. Traub, M., M. Stevenson, S. McEvoy, G. Briggs, S.K. Lo, S. Leibman, and T. Joseph, *The use of chest computed tomography versus chest X-ray in patients with major blunt trauma*. *Injury*, 2007. **38**(1): p. 43-7.
3. Khan, L.A., T.J. Bradnock, C. Scott, and C.M. Robinson, *Fractures of the clavicle*. *J Bone Joint Surg Am*, 2009. **91**(2): p. 447-60.
4. Scheurecker, G., *[Traumatic bone and cartilage injuries of the shoulder]*. *Radiologe*, 2015. **55**(3): p. 188-94.
5. Allman, F.L., Jr., *Fractures and ligamentous injuries of the clavicle and its articulation*. *J Bone Joint Surg Am*, 1967. **49**(4): p. 774-84.
6. Phadnis, J. and G.I. Bain, *Clavicle Anatomy*, in *Normal and Pathological Anatomy of the Shoulder*, G.I. Bain, et al., Editors. 2015, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 71-80.
7. Salipas, A., L.A. Kimmel, E.R. Edwards, S. Rakhra, and A.K. Moaveni, *Natural history of medial clavicle fractures*. *Injury*, 2016. **47**(10): p. 2235-2239.
8. Altamimi, S.A. and M.D. McKee, *Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. Surgical technique*. *J Bone Joint Surg Am*, 2008. **90 Suppl 2 Pt 1**: p. 1-8.
9. van der Meijden, O.A., T.R. Gaskill, and P.J. Millett, *Treatment of clavicle fractures: current concepts review*. *J Shoulder Elbow Surg*, 2012. **21**(3): p. 423-9.
10. Robinson, C.M., *Fractures of the clavicle in the adult. Epidemiology and classification*. *J Bone Joint Surg Br*, 1998. **80**(3): p. 476-84.
11. Ponce, B.A., J.A. Kundukulam, R. Pflugner, G. McGwin, R. Meyer, W. Carroll, D.J. Minnich, and M.C. Larrison, *Sternoclavicular joint surgery: how far does danger lurk below?* *J Shoulder Elbow Surg*, 2013. **22**(7): p. 993-9.
12. Al-Yassari, G., M. Hetzenauer, M. Tauber, and H. Resch, *Novel method to treat sternoclavicular joint instability and medial clavicle fracture symptomatic nonunion*. *J Shoulder Elbow Surg*, 2009. **18**(4): p. 553-5.
13. Sidhu, V.S., D. Hermans, and D.G. Duckworth, *The operative outcomes of displaced medial-end clavicle fractures*. *J Shoulder Elbow Surg*, 2015. **24**(11): p. 1728-34.
14. Ferree, S., J. van Laarhoven, R.M. Houwert, F. Hietbrink, E. Verleisdonk, and L.P.H. Leenen, *Distribution and treatment of clavicular fractures in monotrauma and polytrauma patients*. *J Trauma Manag Outcomes*, 2014. **8**.
15. Throckmorton, T. and J.E. Kuhn, *Fractures of the medial end of the clavicle*. *J Shoulder Elbow Surg*, 2007. **16**(1): p. 49-54.

16. van Laarhoven, J.J., S. Ferree, R.M. Houwert, F. Hietbrink, E.M. Verleisdonk, and L.P. Leenen, *Demographics of the injury pattern in severely injured patients with an associated clavicle fracture: a retrospective observational cohort study*. World J Emerg Surg, 2013. **8**(1): p. 36.
17. Donnelly, T.D., R.J. Macfarlane, M.T. Nagy, P. Ralte, and M. Waseem, *Fractures of the clavicle: an overview*. Open Orthop J, 2013. **7**: p. 329-33.
18. Bentley, T.P. and J.D. Journey, *Clavicle Fractures*. 2018: StatPearls Publishing LLC.
19. Sharr, J.R. and K.D. Mohammed, *Optimizing the radiographic technique in clavicular fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2003. **12**(2): p. 170-2.
20. Wirth, S. and S. Jansen, *Bony and Thoracic Chest Wall Injuries*, in *Emergency Radiology of the Chest and Cardiovascular System*, M. Scaglione, et al., Editors. 2017, Springer International Publishing: Cham. p. 25-59.
21. Helfen, T., S. Jansen, E. Fleischhacker, W. Bocker, S. Wirth, and B. Ockert, *Injuries of the sternoclavicular region indicate concomitant lesions and need distinguished imaging*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2019.
22. Calhoun, J.H. and J.K. Trinkle, *Pathophysiology of chest trauma*. Chest Surg Clin N Am, 1997. **7**(2): p. 199-211.
23. Clark, G.C., W.P. Schechter, and D.D. Trunkey, *Variables affecting outcome in blunt chest trauma: flail chest vs. pulmonary contusion*. J Trauma, 1988. **28**(3): p. 298-304.
24. Veysi, V.T., V.S. Nikolaou, C. Paliobeis, N. Efsthopoulos, and P.V. Giannoudis, *Prevalence of chest trauma, associated injuries and mortality: a level I trauma centre experience*. Int Orthop, 2009. **33**(5): p. 1425-33.
25. Demirhan, R., B. Onan, K. Oz, and S. Halezeroglu, *Comprehensive analysis of 4205 patients with chest trauma: a 10-year experience*. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2009. **9**(3): p. 450-3.
26. Shanmuganathan, K. and J. Matsumoto, *Imaging of penetrating chest trauma*. Radiol Clin North Am, 2006. **44**(2): p. 225-38, viii.
27. World Health Organization, W. *The top 10 causes of death*. 2014 [cited 2015 Oct 08., 15:46]; Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/index.html>.
28. World Health Organization, W. *Road traffic injuries*. 2015 [cited 2015 Oct 08., 15:20]; Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>.
29. World Health Organization, W., *Gender and road traffic injuries*. 2002.
30. Shorr, R.M., M. Crittenden, M. Indeck, S.L. Hartunian, and A. Rodriguez, *Blunt thoracic trauma. Analysis of 515 patients*. Ann Surg, 1987. **206**(2): p. 200-5.
31. World Health Organization, W. *Falls*. 2015 [cited 2015 Oct 08., 15:27]; Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs344/en/>.

32. Paffrath, T., R. Lefering, and S. Flohe, *How to define severely injured patients? -- an Injury Severity Score (ISS) based approach alone is not sufficient*. *Injury*, 2014. **45 Suppl 3**: p. S64-9.
33. Emircan, S., H. Ozguc, S. Akkose Aydin, F. Ozdemir, O. Koksai, and M. Bulut, *Factors affecting mortality in patients with thorax trauma*. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 2011. **17**(4): p. 329-33.
34. Kirkpatrick, A.W., M. Sirois, K.B. Laupland, D. Liu, K. Rowan, C.G. Ball, S.M. Hameed, R. Brown, R. Simons, S.A. Dulchavsky, D.R. Hamilton, and S. Nicolaou, *Hand-Held Thoracic Sonography for Detecting Post-Traumatic Pneumothoraces: The Extended Focused Assessment With Sonography For Trauma (EFAST)*. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 2004. **57**(2): p. 288-295.
35. LoCicero, J., 3rd and K.L. Mattox, *Epidemiology of chest trauma*. *Surg Clin North Am*, 1989. **69**(1): p. 15-9.
36. Raskin, M.M. *Why Radiologists Get Sued*. *Applied Radiology* 2001 Jan 02, 15:54 2016]; Available from: <http://www.medscape.com/viewarticle/406661>.
37. Hager, J. *BGB § 823 I, Arzthaftungsrecht*. *Staudinger BGB 2009* [cited 2016, 15:12 Feb. 15.]; Available from: http://www.juris.de/emedien.ub.uni-muenchen.de/jportal/portal/t/12c8/page/jurisw.psml?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&fromdoctodoc=yes&doc.id=samson-sdg013BGB_P823_I061304&doc.part=C&doc.price=0.0 - [013.BGB_P823_I.RI_44](http://www.juris.de/emedien.ub.uni-muenchen.de/jportal/portal/t/12c8/page/jurisw.psml?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&fromdoctodoc=yes&doc.id=samson-sdg013BGB_P823_I061304&doc.part=C&doc.price=0.0).
38. Vevaina, J., R.C. Bone, and E. Kassoff, *Legal Aspects of Medicine: Including Cardiology, Pulmonary Medicine, and Critical Care Medicine*. 2012: Springer New York.
39. World Health Organization, W. *WHO scientific group on the assessment of osteoporosis at primary health care level*. 2004 [cited 2015 02.Nov. 18:57]; Available from: <http://www.who.int/chp/topics/Osteoporosis.pdf>.
40. World Health Organization, W., *Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group*. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1994. **843**: p. 1-129.
41. Sajjan, S.G., E. Barrett-Connor, C.A. McHorney, P.D. Miller, S.S. Sen, and E. Siris, *Rib fracture as a predictor of future fractures in young and older postmenopausal women: National Osteoporosis Risk Assessment (NORA)*. *Osteoporos Int*, 2012. **23**(3): p. 821-8.
42. Katrancioğlu, O., Y. Akkas, S. Arslan, and E. Sahin, *Spontaneous rib fractures*. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2015. **23**(6): p. 701-3.
43. Pluskiewicz, W., R. Wilk, A. Wielgorecki, K.S. Golba, and B. Drozdowska, *Fracture status in men assessed by quantitative ultrasound measurements at the calcaneus*. *J Ultrasound Med*, 2011. **30**(7): p. 877-82.
44. Neuerburg, C., R. Schmidmaier, S. Schilling, C. Kammerlander, W. Bocker, W. Mutschler, and U. Stumpf, *[Identification, diagnostics and guideline conform therapy of osteoporosis (DVO) in trauma patients : A Treatment algorithm]*. *Unfallchirurg*, 2015(118): p. 913-924.

45. Wuermsler, L.A., S.J. Achenbach, S. Amin, S. Khosla, and L.J. Melton, 3rd, *What accounts for rib fractures in older adults?* J Osteoporos, 2011. **2011**: p. 457591.
46. Palvanen, M., P. Kannus, S. Niemi, and J. Parkkari, *Hospital-treated minimal-trauma rib fractures in elderly Finns: long-term trends and projections for the future.* Osteoporos Int, 2004. **15**(8): p. 649-53.
47. Barrett-Connor, E., C.M. Nielson, E. Orwoll, D.C. Bauer, and J.A. Cauley, *Epidemiology of rib fractures in older men: Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) prospective cohort study.* Bmj, 2010. **340**: p. c1069.
48. Watts, N.B., E.M. Lewiecki, P.D. Miller, and S. Baim, *National Osteoporosis Foundation 2008 Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis and the World Health Organization Fracture Risk Assessment Tool (FRAX): what they mean to the bone densitometrist and bone technologist.* J Clin Densitom, 2008. **11**(4): p. 473-7.
49. Mirvis, S.E., W.S. Kubal, K. Shanmuganathan, J.A. Soto, and J. Yu, *Problem Solving in Emergency Radiology.* 2014: Elsevier - Health Sciences Division.
50. Reissig, A., R. Copetti, and C. Kroegel, *Current role of emergency ultrasound of the chest.* Crit Care Med, 2011. **39**(4): p. 839-45.
51. Fleming, S., R. Bird, K. Ratnasingham, S.J. Sarker, M. Walsh, and B. Patel, *Accuracy of FAST scan in blunt abdominal trauma in a major London trauma centre.* Int J Surg, 2012. **10**(9): p. 470-4.
52. Rothlin, M.A., R. Naf, M. Amgwerd, D. Candinas, T. Frick, and O. Trentz, *Ultrasound in blunt abdominal and thoracic trauma.* J Trauma, 1993. **34**(4): p. 488-95.
53. Chung, J.H., C.W. Cox, T.L. Mohammed, J. Kirsch, K. Brown, D.S. Dyer, M.E. Ginsburg, D.E. Heitkamp, J.P. Kanne, E.A. Kazerooni, L.H. Ketai, J.G. Ravenel, A.G. Saleh, R.D. Shah, R.M. Steiner, and R.D. Suh, *American College of Radiology Appropriateness Criteria for Blunt Chest Trauma.* 2013.
54. Matsushima, K. and H.L. Frankel, *Beyond focused assessment with sonography for trauma: ultrasound creep in the trauma resuscitation area and beyond.* Curr Opin Crit Care, 2011. **17**(6): p. 606-12.
55. Wilkerson, R.G. and M.B. Stone, *Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma.* Acad Emerg Med, 2010. **17**(1): p. 11-7.
56. Lalande, E. and K. Wylie, *Towards evidence-based emergency medicine: best BETs from the Manchester Royal Infirmary. BET 1: Ultrasound in the diagnosis of rib fractures.* Emerg Med J, 2014. **31**(2): p. 169-70.
57. Schieb, E. and C.-A. Greim, *Notfallsonographie,* in *Weiterbildung Anästhesiologie: CME-Beiträge aus: Der Anaesthetist 2015,* H. Forst, et al., Editors. 2016, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 39-52.
58. Kaewlai, R., L.L. Avery, A.V. Asrani, and R.A. Novelline, *Multidetector CT of blunt thoracic trauma.* Radiographics, 2008. **28**(6): p. 1555-70.
59. Ball, C.G., A.W. Kirkpatrick, K.B. Laupland, D.I. Fox, S. Nicolaou, I.B. Anderson, S.M. Hameed, J.B. Kortbeek, R.R. Mulloy, S. Litvinchuk, and B.R. Boulanger, *Incidence, risk*

- factors, and outcomes for occult pneumothoraces in victims of major trauma.* J Trauma, 2005. **59**(4): p. 917-24; discussion 924-5.
60. Barrios, C., Jr., J. Pham, D. Malinoski, M. Dolich, M. Lekawa, and M. Cinat, *Ability of a chest X-ray and an abdominal computed tomography scan to identify traumatic thoracic injury.* Am J Surg, 2010. **200**(6): p. 741-4; discussion 744-5.
 61. Wirth, S., M. Korner, M. Treitl, U. Linsenmaier, B.A. Leidel, T. Jaschkowitz, M.F. Reiser, and K.G. Kanz, *Computed tomography during cardiopulmonary resuscitation using automated chest compression devices--an initial study.* Eur Radiol, 2009. **19**(8): p. 1857-66.
 62. Henry, T.S., J. Kirsch, J.P. Kanne, J.H. Chung, E.F. Donnelly, M.E. Ginsburg, D.E. Heitkamp, E.A. Kazerooni, L.H. Ketai, B.L. McComb, J.A. Parker, J.G. Ravenel, C.S. Restrepo, A.G. Saleh, R.D. Shah, R.M. Steiner, R.D. Suh, and T.L. Mohammed, *ACR Appropriateness Criteria(R) rib fractures.* J Thorac Imaging, 2014. **29**(6): p. 364-6.
 63. Tillou, A., M. Gupta, L.J. Baraff, D.L. Schriger, J.R. Hoffman, J.R. Hiatt, and H.M. Cryer, *Is the use of pan-computed tomography for blunt trauma justified? A prospective evaluation.* J Trauma, 2009. **67**(4): p. 779-87.
 64. Magu, S., A. Yadav, and S. Agarwal, *Computed tomography in blunt chest trauma.* Indian J Chest Dis Allied Sci, 2009. **51**(2): p. 75-81.
 65. Bier, G., C. Schabel, A. Othman, M.N. Bongers, J. Schmehl, H. Ditt, K. Nikolaou, F. Bamberg, and M. Notohamiprodjo, *Enhanced reading time efficiency by use of automatically unfolded CT rib reformations in acute trauma.* Eur J Radiol, 2015. **84**(Nov 2015): p. 2173-2180.
 66. Mettler, F.A., W. Huda, T.T. Yoshizumi, and M. Mahesh. *Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog.* 2008 [cited 18:45 2016 Jan 09.]; Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2481071451>.
 67. Tonkopi, E. and A.A. Ross, *ASSESSMENT OF EFFECTIVE DOSE FROM CONE BEAM CT IMAGING IN SPECT/CT EXAMINATION IN COMPARISON WITH OTHER MODALITIES.* Radiat Prot Dosimetry, 2016.
 68. Reske, S.U., R. Braunschweig, A.W. Reske, R. Loose, and M. Wucherer, *Whole-Body CT in Multiple Trauma Patients: Clinically Adapted Usage of Differently Weighted CT Protocols.* Rofo, 2018. **190**(12): p. 1141-1151.
 69. Huber-Wagner, S., R. Lefering, L.M. Qvick, M. Korner, M.V. Kay, K.J. Pfeifer, M. Reiser, W. Mutschler, and K.G. Kanz, *Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study.* Lancet, 2009. **373**(9673): p. 1455-61.
 70. Mueck, F.G., K. Wirth, M. Muggenthaler, U. Kreimeier, L. Geyer, K.G. Kanz, U. Linsenmaier, and S. Wirth, *Radiological mass casualty incident (MCI) workflow analysis: single-centre data of a mid-scale exercise.* The British Journal of Radiology, 2016. **0**(0): p. 20150918.
 71. Feeman, T.G., *The Mathematics of Medical Imaging: A Beginner's Guide.* 2010: Springer Science & Business Media. 141.

72. Brink, M., J. Deunk, H.M. Dekker, D.R. Kool, M.J. Edwards, A.B. van Vugt, and J.G. Blickman, *Added value of routine chest MDCT after blunt trauma: evaluation of additional findings and impact on patient management.* AJR Am J Roentgenol, 2008. **190**(6): p. 1591-8.
73. Wirth, S., *Polytraumabefundung: Wenn jede Sekunde zählt.*, in Reiser, M., 8. Internationales Symposium Mehrschicht-CT und Aktualisierungskurs Fachkunde Strahlenschutz nach RöV und StrlSchV (inkl. CT-Grundkurs: Protokolle und Anwendungen für Ärzte und MTRAs): Garmisch-Partenkirchen, 22. - 25. Januar 2014 ; [wissenschaftliches Programm]. 2014, Eurokongress. p. 52 and following.
74. Wirth, S. *Wann brauchen wir notfallmäßig ein MRT? 9. Internationales Symposium Mehrschicht CT, Garmisch-Partenkirchen.* 2016 [cited 2016, 19:47 Feb, 14.]; Available from: http://www.mehrschicht-ct.org/fileadmin/user_upload/conferences/ct/ct2016/pdf/Programm/ct2016_hauptprogramm.pdf.
75. Schnyder, P. and M. Wintermark, *Trauma of the chest wall*, in *Radiology of Blunt Trauma of the chest.* 2000, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
76. Skinner, D.L., D. den Hollander, G.L. Laing, R.N. Rodseth, and D.J. Muckart, *Severe blunt thoracic trauma: differences between adults and children in a level I trauma centre.* S Afr Med J, 2015. **105**(1): p. 47-51.
77. Turkalj, I., K. Petrovic, S. Stojanovic, D. Petrovic, A. Brakus, and J. Ristic, *Blunt chest trauma--an audit of injuries diagnosed by the MDCT examination.* Vojnosanit Pregl, 2014. **71**(2): p. 161-6.
78. Sirmali, M., H. Turut, S. Topcu, E. Gulhan, U. Yazici, S. Kaya, and I. Tastepe, *A comprehensive analysis of traumatic rib fractures: morbidity, mortality and management.* Eur J Cardiothorac Surg, 2003. **24**(1): p. 133-8.
79. Battle, C.E., H. Hutchings, K. James, and P.A. Evans, *The risk factors for the development of complications during the recovery phase following blunt chest wall trauma: a retrospective study.* Injury, 2013. **44**(9): p. 1171-6.
80. Welter, S. and H. Hoffmann, *[Injuries to the tracheo-bronchial tree].* Zentralbl Chir, 2013. **138**(1): p. 111-6.
81. Burke, J.F., *Early diagnosis of traumatic rupture of the bronchus.* Jama, 1962. **181**: p. 682-6.
82. Chesterman, J.T. and P.N. Satsangi, *Rupture of the trachea and bronchi by closed injury.* Thorax, 1966. **21**(1): p. 21-7.
83. Ecker, R.R., R.V. Libertini, W.J. Rea, W.L. Sugg, and W.R. Webb, *Injuries of the trachea and bronchi.* Ann Thorac Surg, 1971. **11**(4): p. 289-98.
84. Kirsh, M.M., M.B. Orringer, D.M. Behrendt, and H. Sloan, *Management of tracheobronchial disruption secondary to nonpenetrating trauma.* Ann Thorac Surg, 1976. **22**(1): p. 93-101.
85. Macklin, M.T. and C.C. Macklin, *Malignant interstitial emphysema of the lungs and mediastinum as an important occult complication in many respiratory diseases and*

- other conditions: an interpretation of the clinical literature in the light of laboratory experiment.* *Medicine*, 1944. **23**(4): p. 281-358.
86. Rozycki, G.S., L. Tremblay, D.V. Feliciano, K. Tchorz, A. Hattaway, J. Fountain, and B.J. Pettitt, *A prospective study for the detection of vascular injury in adult and pediatric patients with cervicothoracic seat belt signs.* *J Trauma*, 2002. **52**(4): p. 618-23; discussion 623-4.
 87. Nedeltchev, K. and R.W. Baumgartner, *Traumatic cervical artery dissection.* *Front Neurol Neurosci*, 2005. **20**: p. 54-63.
 88. Ziegler, D.W. and N.N. Agarwal, *The morbidity and mortality of rib fractures.* *J Trauma*, 1994. **37**(6): p. 975-9.
 89. Shalhub, S., B.W. Starnes, T.S. Hatsukami, R. Karmy-Jones, and N.T. Tran, *Repair of blunt thoracic outlet arterial injuries: an evolution from open to endovascular approach.* *J Trauma*, 2011. **71**(5): p. E114-21.
 90. Veysi, V.T., R. Mittal, S. Agarwal, A. Dosani, and P.V. Giannoudis, *Multiple trauma and scapula fractures: so what?* *J Trauma*, 2003. **55**(6): p. 1145-7.
 91. Weening, B., C. Walton, P.A. Cole, K. Alanezi, B.P. Hanson, and M. Bhandari, *Lower mortality in patients with scapular fractures.* *J Trauma*, 2005. **59**(6): p. 1477-81.
 92. Lee, R.B., S.M. Bass, J.A. Morris, Jr., and E.J. MacKenzie, *Three or more rib fractures as an indicator for transfer to a Level I trauma center: a population-based study.* *J Trauma*, 1990. **30**(6): p. 689-94.
 93. Bulger, E.M., M.A. Arneson, C.N. Mock, and G.J. Jurkovich, *Rib fractures in the elderly.* *J Trauma*, 2000. **48**(6): p. 1040-6; discussion 1046-7.
 94. Curfman, K.R., R.J. Robitsek, G.G. Salzler, K.D. Gray, C.S. Lapunzina, R.K. Kothuru, and S.D. Schubl, *Massive Hemothorax Caused by a Single Intercostal Artery Bleed Ten Days after Solitary Minimally Displaced Rib Fracture.* *Case Rep Surg*, 2015. **2015**: p. 120140.
 95. Kessel, B., J. Dagan, F. Swaid, I. Ashkenazi, O. Olsha, K. Peleg, A. Givon, and R. Alfici, *Rib fractures: comparison of associated injuries between pediatric and adult population.* *Am J Surg*, 2014. **208**(5): p. 831-4.
 96. Ringl, H., M. Lazar, M. Topker, R. Woitek, H. Prosch, U. Asenbaum, C. Balassy, D. Toth, M. Weber, S. Hajdu, G. Soza, A. Wimmer, and T. Mang, *The ribs unfolded - a CT visualization algorithm for fast detection of rib fractures: effect on sensitivity and specificity in trauma patients.* *Eur Radiol*, 2015. **25**(7): p. 1865-74.
 97. Cho, S.H., Y.M. Sung, and M.S. Kim, *Missed rib fractures on evaluation of initial chest CT for trauma patients: pattern analysis and diagnostic value of coronal multiplanar reconstruction images with multidetector row CT.* *Br J Radiol*, 2012. **85**(1018): p. e845-50.
 98. Homann, G., D.F. Mustafa, H. Ditt, W. Spengler, H.G. Kopp, K. Nikolaou, and M. Horger, *Improved detection of bone metastases from lung cancer in the thoracic cage using 5- and 1-mm axial images versus a new CT software generating rib unfolding images: comparison with standard (1)(8)F-FDG-PET/CT.* *Acad Radiol*, 2015. **22**(4): p. 505-12.

99. Homann, G., K. Weisel, D.F. Mustafa, H. Ditt, K. Nikolaou, and M. Horger, *Improvement of diagnostic confidence for detection of multiple myeloma involvement of the ribs by a new CT software generating rib unfolded images: Comparison with 5- and 1-mm axial images*. Skeletal Radiol, 2015. **44**(7): p. 971-9.
100. Helm, E.J., N.M. Rahman, O. Talakoub, D.L. Fox, and F.V. Gleeson, *Course and variation of the intercostal artery by CT scan*. Chest, 2013. **143**(3): p. 634-9.
101. Schulz-Drost, S., P. Oppel, S. Grupp, D. Taylor, S. Krinner, A. Langenbach, F. Hennig, and A. Mauerer, *The oblique fracture of the manubrium sterni caused by a seatbelt-a rare injury? Treatment options based on the experiences gained in a level I trauma centre*. Int Orthop, 2015.
102. Knobloch, K., S. Wagner, C. Haasper, C. Probst, C. Krettek, D. Otte, and M. Richter, *Sternal fractures occur most often in old cars to seat-belted drivers without any airbag often with concomitant spinal injuries: clinical findings and technical collision variables among 42,055 crash victims*. Ann Thorac Surg, 2006. **82**(2): p. 444-50.
103. Schulz-Drost, S., P. Oppel, S. Grupp, S. Krinner, A. Langenbach, R. Lefering, and A. Mauerer, *[Bony injuries of the thoracic cage in multiple trauma : Incidence, concomitant injuries, course and outcome]*. Unfallchirurg, 2015.
104. Knobloch, K., S. Wagner, C. Haasper, C. Probst, C. Krettek, P.M. Vogt, D. Otte, and M. Richter, *Sternal fractures are frequent among polytraumatized patients following high deceleration velocities in a severe vehicle crash*. Injury, 2008. **39**(1): p. 36-43.
105. Oh, J.H., S.H. Kim, J.H. Lee, S.H. Shin, and H.S. Gong, *Treatment of distal clavicle fracture: a systematic review of treatment modalities in 425 fractures*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2011. **131**(4): p. 525-533.
106. Schofer, M.D., A.C. Sehart, N. Timmesfeld, S. Stormer, and H.R. Kortmann, *Fractures of the scapula: long-term results after conservative treatment*. Arch Orthop Trauma Surg, 2009. **129**(11): p. 1511-9.
107. Imatani, R.J., *Fractures of the scapula: a review of 53 fractures*. J Trauma, 1975. **15**(6): p. 473-8.
108. McGahan, J.P., G.T. Rab, and A. Dublin, *Fractures of the scapula*. J Trauma, 1980. **20**(10): p. 880-3.
109. Salimi, J., A. Khaji, M. Karbakhsh, S. Saadat, and B. Eftekhari, *Scapular fracture: lower severity and mortality*. Sao Paulo Med J, 2008. **126**(3): p. 186-9.
110. Thompson, D.A., T.C. Flynn, P.W. Miller, and R.P. Fischer, *The significance of scapular fractures*. J Trauma, 1985. **25**(10): p. 974-7.
111. Armstrong, C.P. and J. Van der Spuy, *The fractured scapula: importance and management based on a series of 62 patients*. Injury, 1984. **15**(5): p. 324-9.
112. Rowe, C.R., *Fractures of the scapula*. Surg Clin North Am, 1963. **43**: p. 1565-71.
113. Wiedemann, E., *[Fractures of the scapula]*. Unfallchirurg, 2004. **107**(12): p. 1124-33.
114. Ebraheim, N.A., S.R. Pearlstein, E.R. Savolaine, S.L. Gordon, W.T. Jackson, and T. Corray, *Scapulothoracic dissociation (closed avulsion of the scapula, subclavian artery,*

- and brachial plexus): a newly recognized variant, a new classification, and a review of the literature and treatment options.* J Orthop Trauma, 1987. **1**(1): p. 18-23.
115. Cser, I. and A. Vajda, [*Bilateral fracture of the scapulae caused by a convulsive seizure (author's transl)*]. Arch Orthop Unfallchir, 1976. **86**(2): p. 227-33.
 116. Mathews, R.E., T.B. Cocke, and R.D. D'Ambrosia, *Scapular fractures secondary to seizures in patients with osteodystrophy. Report of two cases and review of the literature.* J Bone Joint Surg Am, 1983. **65**(6): p. 850-3.
 117. Harvey, E., L. Audige, D. Herscovici, Jr., J. Agel, J.E. Madsen, R. Babst, S. Nork, and J. Kellam, *Development and validation of the new international classification for scapula fractures.* J Orthop Trauma, 2012. **26**(6): p. 364-9.
 118. Audige, L., J.F. Kellam, S. Lambert, J.E. Madsen, R. Babst, J. Andermahr, W. Li, and M. Jaeger, *The AO Foundation and Orthopaedic Trauma Association (AO/OTA) scapula fracture classification system: focus on body involvement.* J Shoulder Elbow Surg, 2014. **23**(2): p. 189-96.
 119. Bartonicek, J., M. Tucek, V. Fric, and P. Obruba, *Fractures of the scapular neck: diagnosis, classifications and treatment.* Int Orthop, 2014. **38**(10): p. 2163-73.
 120. Euler, E., P. Habermeyer, W. Kohler, and L. Schweiberer, [*Scapula fractures--classification and differential therapy*]. Orthopade, 1992. **21**(2): p. 158-62.
 121. Friederichs, J., M. Morgenstern, and V. Buhren, *Scapula fractures in complex shoulder injuries and floating shoulders: a classification based on displacement and instability.* J Trauma Manag Outcomes, 2014. **8**: p. 16.
 122. Neuhaus, V., A.G. Bot, T.G. Guitton, D.C. Ring, M.I. Abdel-Ghany, J. Abrams, J.M. Abzug, L.E. Adolfsson, G.W. Balfour, H.B. Bamberger, A. Barquet, M. Baskies, W.A. Batson, T. Baxamusa, G.J. Bayne, T. Bogue, M. Behrman, D. Beingsner, J. Biert, J. Bishop, M.B. Alves, M. Boyer, D. Brilej, P.R. Brink, L.M. Brunton, R. Buckley, J.C. Cagnone, R.P. Calfee, L.A. Campinhos, C. Cassidy, L. Catalano, 3rd, K. Chivers, P. Choudhari, M. Cimerman, J.M. Conflitti, R.M. Costanzo, B.D. Crist, B.J. Cross, P. Dantuluri, M. Darowish, R. de Bedout, T. DeCoster, D.G. Dennison, P.H. DeNoble, G. DeSilva, T. Dienstknecht, S.F. Duncan, X.A. Duralde, H. Durchholz, K. Egol, C. Ekholm, N. Elias, J.M. Erickson, J.D. Esparza, C.H. Fernandes, T.J. Fischer, M. Fischmeister, E. Forigua Jaime, C.L. Getz, R.S. Gilbert, V. Giordano, D.L. Glaser, T. Gosens, M.W. Grafe, J.E. Filho, R.R. Gray, L.V. Gulotta, N.W. Gummerson, E.M. Hammerberg, E. Harvey, R. Haverlag, P.D. Henry, J.L. Hobby, E.P. Hofmeister, T. Hughes, J. Itamura, P. Jebson, R. Jenkinson, K. Jeray, C.M. Jones, J. Jones, A. Jubel, S.G. Kaar, K. Kabir, F.T. Kaplan, S.A. Kennedy, M.W. Kessler, H.L. Kimball, P. Kloen, C. Klostermann, G. Kohut, G.A. Kraan, A. Kristan, M.I. Loebenberg, K.J. Malone, L. Marsh, P.A. Martineau, J. McAuliffe, I. McGraw, S. Mehta, M. Merchant, C. Metzger, S.A. Meylaerts, A.N. Miller, J.M. Wolf, J. Murachovsky, A. Murthi, M. Nancollas, B.M. Nolan, T. Omara, R. Omid, J.A. Ortiz, J.P. Overbeck, A.P. Castillo, R. Pesantez, D. Polatsch, G. Porcellini, M. Prayson, M. Quell, M.M. Ragsdell, J.G. Reid, J.M. Reuver, M.J. Richard, M. Richardson, M. Rizzo, S. Rowinski, J. Rubio, C.G. Guerrero, W. Satora, P. Schandelmaier, J.H. Scheer, A. Schmidt, T.A. Schubkegel, L.M. Schulte, E.D. Schumer, B.W. Sears, A.B. Shafritz, N.L. Shortt, T. Siff, D.M. Silva, R.M. Smith, S. Spruijt, J.A. Stein, E.S. Pemovska, P.N. Streubel, C. Swigart, M. Swiontkowski, G. Thomas, E.T. Tolo, M. Turina, M. Tyllianakis, M.P. van den Bekerom, H. van der Heide, M.A. van de Sande, P.V. van Eerten, D.O. Verbeek, D.V. Hoffmann, A.J. Vochteloo, R. Wagenmakers, C.J. Wall, R. Wallensten, D.C. Wascher, L. Weiss, J.M. Wiater, B.P.

- Wills, J. Wint, T. Wright, J.P. Young, C. Zalavras, R.D. Zura and K. Zyto, *Scapula fractures: interobserver reliability of classification and treatment*. J Orthop Trauma, 2014. **28**(3): p. 124-9.
123. Alton, T.B. and M.J. Gardner. *Scapular Fractures: Diagnosis and Treatment Plan*. Current Orthopaedic Practice 2015 Jan 04, 2016 17:36]; 26(2):[Available from: http://www.medscape.com/viewarticle/840138_3.
 124. Lomoschitz, F.M., E. Eisenhuber, K.F. Linnau, P. Peloschek, M. Schoder, and A.A. Bankier, *Imaging of chest trauma: radiological patterns of injury and diagnostic algorithms*. European Journal of Radiology, 2003. **48**(1): p. 61-70.
 125. World Health Organization, W. *Spinal cord injury*. 2015 [cited 2015 Oct 08., 15:12]; Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs384/en/>.
 126. Stephan, K., S. Huber, S. Haberle, K.G. Kanz, V. Buhren, M. van Griensven, B. Meyer, P. Biberthaler, R. Lefering, and S. Huber-Wagner, *Spinal cord injury – incidence, prognosis, and outcome: an analysis of the TraumaRegister DGU*. Spine J, 2015. **15**(9): p. 1994-2001.
 127. Inaba, K., L. Nosanov, J. Menaker, P. Bosarge, L. Williams, D. Turay, R. Cachecho, M. de Moya, M. Bukur, J. Carl, L. Kobayashi, S. Kaminski, A. Beekley, M. Gomez, and D. Skiada, *Prospective derivation of a clinical decision rule for thoracolumbar spine evaluation after blunt trauma: An American Association for the Surgery of Trauma Multi-Institutional Trials Group Study*. J Trauma Acute Care Surg, 2015. **78**(3): p. 459-65; discussion 465-7.
 128. Melton, L.J., 3rd and D.F. Kallmes, *Epidemiology of vertebral fractures: implications for vertebral augmentation*. Acad Radiol, 2006. **13**(5): p. 538-45.
 129. Cha, J.R., K.B. Park, and S.H. Ko, *Post-traumatic Lumbar Epidural Hematoma with Neurology: Report of 1 Case*. Asian Spine J, 2011. **5**(2): p. 130-2.
 130. Denis, F., *The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries*. Spine (Phila Pa 1976), 1983. **8**(8): p. 817-31.
 131. Begemann, P.G., J. Kemper, C. Gatzka, A. Stork, C. Nolte-Ernsting, and G. Adam, *Value of multiplanar reformations (MPR) in multidetector CT (MDCT) of acute vertebral fractures: do we still have to read the transverse images?* J Comput Assist Tomogr, 2004. **28**(4): p. 572-80.
 132. ACR, A.C.o.R. *ACR Appropriateness Criteria-suspected spine trauma*. 1999 2012 [cited 2016 00:58 Feb, 05.]; Available from: [http://www.acr.org/Search?q=suspected spinal trauma](http://www.acr.org/Search?q=suspected%20spinal%20trauma).
 133. Pneumaticos, S.G., G.K. Triantafyllopoulos, and P.V. Giannoudis, *Advances made in the treatment of thoracolumbar fractures: current trends and future directions*. Injury, 2013. **44**(6): p. 703-12.
 134. Bakir, M.S., D. Mersch, J. Unterkofler, D. Guembel, A. Langenbach, A. Ekkernkamp, and S. Schulz-Drost, *Injuries of the Medial Clavicle: A Cohort Analysis in a Level-I-Trauma-Center. Concomitant Injuries. Management. Classification*. Chirurgia (Bucur), 2017. **112**(5): p. 594.

135. Banerjee, R., B. Waterman, J. Padalecki, and W. Robertson, *Management of distal clavicle fractures*. J Am Acad Orthop Surg, 2011. **19**(7): p. 392-401.
136. Kirby, J.C., E. Edwards, and A. Kamali Moaveni, *Management and functional outcomes following sternoclavicular joint dislocation*. Injury, 2015. **46**(10): p. 1906-13.
137. Postacchini, F., S. Gumina, P. De Santis, and F. Albo, *Epidemiology of clavicle fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2002. **11**(5): p. 452-6.
138. Glass, E.R., J.D. Thompson, P.A. Cole, T.M. Gause, 2nd, and G.T. Altman, *Treatment of sternoclavicular joint dislocations: a systematic review of 251 dislocations in 24 case series*. J Trauma, 2011. **70**(5): p. 1294-8.
139. McIntosh, A.L., *Surgical Treatment of Adolescent Clavicle Fractures: Results and Complications*. J Pediatr Orthop, 2016. **36 Suppl 1**: p. S41-3.
140. Groh, G.I., M.A. Mighell, C.J. Basamania, and W.B. Kibler, *All Things Clavicle: From Acromioclavicular to Sternoclavicular and All Points in Between*. Instr Course Lect, 2016. **65**: p. 181-96.
141. Hubner, E.J., O. Hausschild, N.P. Sudkamp, and P.C. Strohm, *Clavicle fractures--is there a standard treatment?* Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2011. **78**(4): p. 288-96.
142. Ernberg, L.A. and H.G. Potter, *Radiographic evaluation of the acromioclavicular and sternoclavicular joints*. Clin Sports Med, 2003. **22**(2): p. 255-75.
143. Harris, J.D. and J.C. Latshaw, *Improved clinical utility in clavicle fracture decision-making with true orthogonal radiographs*. Int J Shoulder Surg, 2012. **6**(4): p. 130-4.
144. Baker, S.P., B. O'Neill, W. Haddon, Jr., and W.B. Long, *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. **14**(3): p. 187-96.
145. Huber-Wagner, S., K.G. Kanz, M. Hanschen, M. van Griensven, P. Biberthaler, and R. Lefering, *Whole-body computed tomography in severely injured patients*. Curr Opin Crit Care, 2018. **24**(1): p. 55-61.
146. Nettles, J.L. and R.L. Linscheid, *Sternoclavicular dislocations*. J Trauma, 1968. **8**(2): p. 158-64.
147. Herzog, C., H. Ahle, M.G. Mack, B. Maier, W. Schwarz, S. Zangos, V. Jacobi, A. Thalhammer, J. Peters, H. Ackermann, and T.J. Vogl, *Traumatic injuries of the pelvis and thoracic and lumbar spine: does thin-slice multidetector-row CT increase diagnostic accuracy?* Eur Radiol, 2004. **14**(10): p. 1751-60.

10 Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn Professor Wirth, der mir bei der Erstellung dieser Arbeit in außerordentlichem Maße mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ein besonderer Dank gilt meinen lieben Freunden für deren Motivation und Hilfestellungen an der einen oder anderen Stelle. Des Weiteren danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Radiologie der LMU in München für ihre Hilfe und Ratschläge im Zuge der Datenerhebung und Bildrecherche.

Frau Grab möchte ich für die freundliche Korrespondenz und die Organisation der Kommunikation mit Herrn Professor Wirth im Zuge dieses Projektes danken.

Ein besonderer Dank gilt auch Sandra Meyers für die Korrekturlesung des Buchartikels in englischer Sprache.

Die wichtigste Danksagung gilt meinen Eltern, die mich in allen Lebenslagen unterstützt haben und erheblich daran beteiligt waren, dass ich diesen wundervollen Beruf erlernen konnte.

11 Lebenslauf

12 Eidesstattliche Versicherung

Jansen, Stephan

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema: „Das stumpfe Thoraxtrauma: Eine allgemeine Übersicht zur radiologischen Diagnostik und eine spezielle retrospektive Studie zur Analyse des Zusammenhangs zwischen medialen Schlüsselbeinverletzungen und dem Auftreten wertiger Verletzungen an anderer Stelle.“ selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe. Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Berlin, 23.03.2020

Stephan Jansen

Ort, Datum

Unterschrift Doktorand

