

AUS DEM INSTITUT FÜR RÖNTGENDIAGNOSTIK
DIREKTOR: PROF. DR. CHRISTIAN STROSCZYNKI
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Der klinische Stellenwert der Hemithoraxaufnahme in der
Evaluation des thorakalen Bagatelltraumas

-
Retrospektive Auswertung von 669 Patienten

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Merle Katharina Wagner

2015

AUS DEM INSTITUT FÜR RÖNTGENDIAGNOSTIK
DIREKTOR: PROF. DR. CHRISTIAN STROSCZYNKI
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Der klinische Stellenwert der Hemithoraxaufnahme in der
Evaluation des thorakalen Bagatelltraumas

Retrospektive Auswertung von 669 Patienten

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Merle Katharina Wagner

2015

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Andreas G. Schreyer
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Marcus Scherer
Tag der mündlichen Prüfung: 08.06.2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Rippenfrakturen	5
1.1.1. Anatomie des Thorax	5
1.1.2. Ätiologie und Epidemiologie	6
1.1.3. Klinische Symptomatik	8
1.1.4. Begleitverletzungen und Komplikationen	8
1.1.5. Therapie	10
1.2. Untersuchungsmethoden bei Verdacht auf Rippenfrakturen	11
1.2.1. Anamnese und klinische Untersuchung	11
1.2.2. Bildgebung	12
1.2.2.1. Radiographie	12
1.2.2.2 Computertomographie	24
1.2.2.3. Sonographie	25
2. Zielsetzung	27
3. Patienten und Methoden	28
3.1. Patientenkollektiv	28
3.2. Erfassungsmethode	28
3.3. Röntgentechnik	29
3.4. Auswertung	29
3.4.1. Kriterien	29
3.4.2. Statistische Auswertung	33
3.4.2.1. Sensitivität und Spezifität, Chi-Quadrat-Test nach McNemar	34
3.4.2.2. Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest	36
3.4.2.3. Kruskal-Wallis-Test	38
4. Ergebnisse	39
4.1. Zusammensetzung des Patientenkollektivs	39
4.2. Vorliegen einer Tumorerkrankung	40
4.3. Fallart und zuweisendes Fachgebiet	40
4.4. Diagnostische Fragestellung	40
4.5. Vorliegen eines Berufsgenossenschafts-Falles	41
4.6. Seitenausrichtung der Hemithoraxaufnahme	41
4.7. Befunde der knöchernen Hemithoraxaufnahmen	41
4.8. Anzahl der frakturierten Rippen und Dislokation	42
4.9. Kombination mit konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme	43
4.10. Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen	43
4.11. Kombination mit Computertomographie	44
4.12. Befunde der Computertomographie	45
4.13. Komplikationen	46
4.14. Befunddokumentation im Arztbrief	47
4.15. Behandlungskonsequenz und therapeutische Maßnahmen	47
4.16. Überprüfung der ersten Nullhypothese	50
4.17. Überprüfung der zweiten Nullhypothese	52
4.18. Überprüfung der dritten Nullhypothese	53
5. Zusammenfassung der Ergebnisse	55
6. Diskussion	57
6.1. Zusammensetzung des Patientenkollektivs	57

<i>6.2. Diagnostische Aussagekraft</i>	57
<i>6.3. Therapeutische Relevanz der Hemithoraxaufnahme</i>	58
<i>6.4. Vergleichbare Studien in der Literatur</i>	59
<i>6.5. Klinischer Stellenwert der Hemithoraxaufnahme</i>	66
6.6.1. Hemithoraxaufnahme	68
6.6.2. Konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme	69
6.6.3. Computertomographie	69
6.6.4. Sonographie	70
<i>6.7. Empfehlungen für den klinischen Alltag</i>	71
<i>6.8. Stärken und Schwächen der Studie</i>	72
7. Zusammenfassung	75
8. Tabellenverzeichnis	77
9. Abbildungsverzeichnis	79
10. Abkürzungsverzeichnis	81
11. Literaturverzeichnis	82
12. Danksagung	
13. Lebenslauf	

1. Einleitung

Die Hemithoraxaufnahme ist eine spezielle Röntgenaufnahme einer Thoraxhälfte zur optimierten Darstellung der knöchernen Thoraxanteile. Am Universitätsklinikum Regensburg (UKR) werden jährlich mehr als 300 solcher Aufnahmen angefertigt. Im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme unterscheidet sich die Hemithoraxaufnahme durch weichere Strahlung und somit einer besseren Darstellbarkeit der knöchernen Gewebsanteile.

Indikationen stellen ins Besondere leichtere stumpfe Thorax-Traumata mit klinischem Verdacht auf Rippenfrakturen dar. Weitere bildgebende Verfahren, die bei Thorax-Traumata diagnostisch angewendet werden, sind die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme, Computertomographie und Sonographie. Die Hemithoraxaufnahme gehört zu den Routineuntersuchungen bei klinischem Verdacht auf Rippenfrakturen, ihr Nutzen wird jedoch in mehreren Studien angezweifelt. Im Folgenden soll der diagnostische Nutzen der Hemithoraxaufnahme sowie die therapeutische Relevanz der erhobenen Röntgenbefunde untersucht werden.

1.1. Rippenfrakturen

1.1.1. Anatomie des Thorax

Der knöcherne Thorax besteht aus zwölf Rippenpaaren, der Brustwirbelsäule und dem Brustbein (siehe Abb. 1). Jede Rippe hat einen knöchernen und einen knorpeligen Anteil. Alle Rippen sind aus einem Rippenkopf, einem Rippenhals und einem Rippenkörper aufgebaut. Dorsal sind die Rippenköpfe über Rippen-Wirbel-Gelenke mit der Wirbelsäule verbunden, ventral bilden die knorpeligen Rippenanteile der ersten sieben Rippen mit dem Brustbein die Brustbein-Rippen-Gelenke. Die ersten sieben Rippen werden als sog. echte Rippen bezeichnet da diese direkten Kontakt zum Brustbein besitzen. Demgegenüber werden die 8. bis 12. Rippe als sog. falsche Rippen bezeichnet. Die 8., 9. und 10. Rippe verfügen nur über einen indirekten Kontakt zum Brustbein durch Anlagerung ihrer Rippenknorpel an die

nächsthöhergelegene Rippe. Die 11. und 12. Rippe beteiligen sich gewöhnlich nicht am Aufbau des Rippenbogens und enden frei an der seitlichen Bauchwand. [60]
Die Rippen einer Seite bzw. eine Thoraxhälfte wird als Hemithorax bezeichnet.

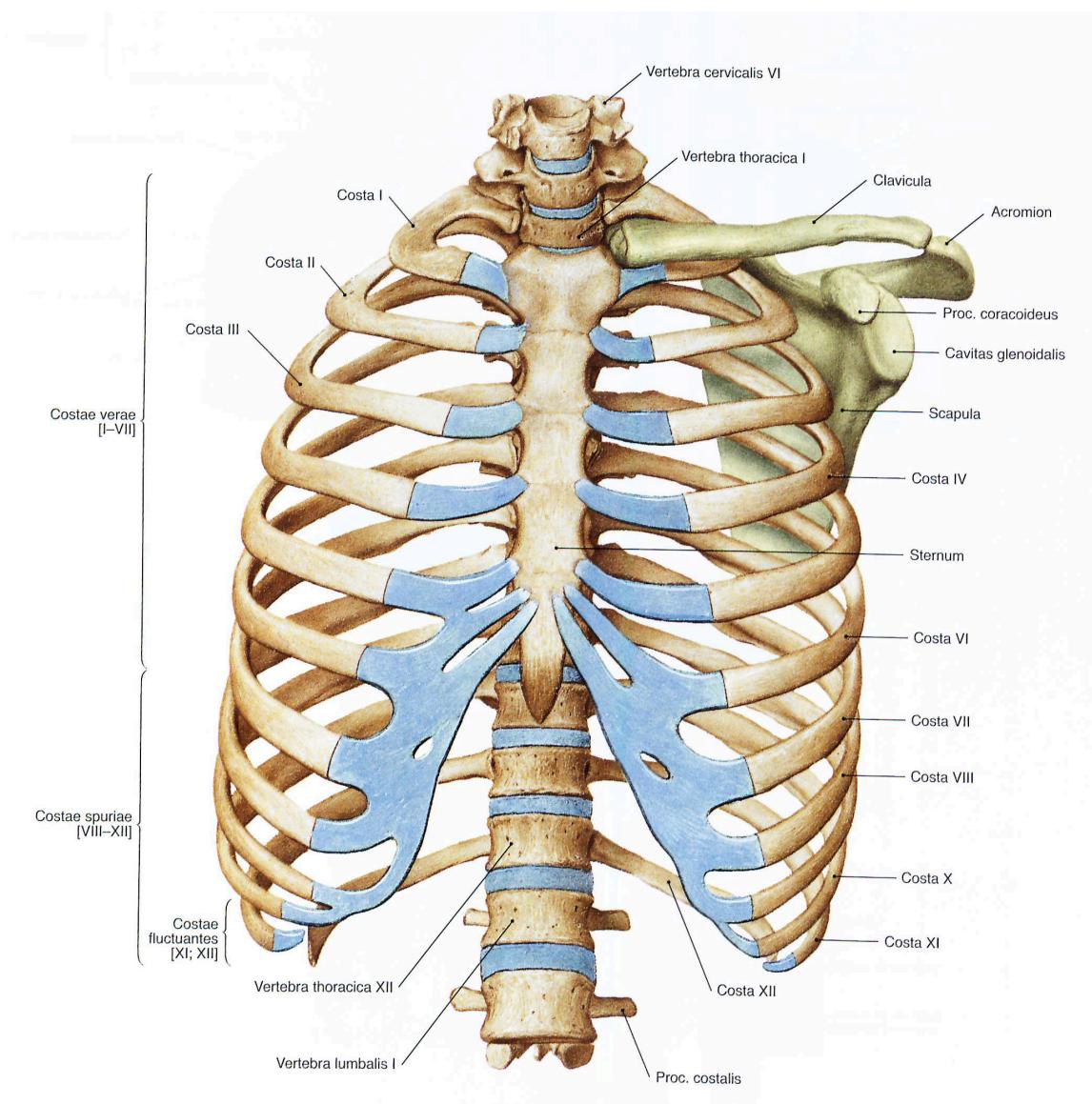


Abb. 1: Anatomie des Thorax [56]

1.1.2. Ätiologie und Epidemiologie

Gemäß dem statistischen Jahresprotokoll 2013 der USA stehen Thorax-Traumata nach Verletzungen des Kopfes und der unteren Extremität an dritter Stelle

mittelschwerer bis schwerer Unfallfolgen [66]. Ungefähr 10 – 66% der Thorax-Traumata sind mit Rippenbrüchen assoziiert [6,10,74]. Sirmali et al. errechneten 2003 eine Rate von 38,7% [61]. Vor allem stumpfe Thoraxtraumata z.B. im Rahmen von Verkehrsunfällen und Stürzen sind häufige Ursachen von Rippenfrakturen [61]. Unter stumpfen Thorax-Traumata versteht man Verletzungen des Brustkorbes ohne eine Eröffnung desselbigen. Im Gegensatz dazu steht das spitze oder penetrierende Thorax-Trauma z.B. durch Stich- oder Schussverletzungen.

Die Rippen Nummer vier bis neun sind am häufigsten von Frakturen betroffen [7,50,55]. Die ersten drei Rippen sind durch Schultergürtel, Schlüsselbein und Muskulatur geschützt, die unteren Rippen sind auf Grund ihrer frei an der seitlichen Bauchwand endenden Lage mobiler und nachgiebiger als die restlichen Rippen [38]. Rippenfrakturen können neben traumatischen Frakturen auch als pathologische Frakturen ohne adäquates Trauma im Rahmen neoplastischer oder entzündlicher Knochenerkrankungen auftreten. Hier können bereits physiologische Kräfte bzw. Bagatelltraumen zu Knochenbrüchen führen. Pathologische Frakturen sind am häufigsten im Rahmen von sekundären Knochentumoren (Knochenmetastasen) zu beobachten, des Weiteren sind primäre maligne (z.B. Chondrosarkom) und benigne (z.B. Fibrom) Knochentumore ursächlich. Entzündliche Veränderungen wie die Osteomyelitis oder genetische Störungen wie Osteogenesis imperfecta können ebenfalls zu pathologischen Frakturen führen [43,62]. Zudem können Rippenfrakturen als Insuffizienzfrakturen bei Osteoporose auftreten. Auf Grund der geringen Knochenmineralisation besteht ein erhöhtes Frakturrisiko - bereits geringe Krafteinwirkungen können Frakturen bedingen [71,73].

Rippenfrakturen werden unterschieden in solitäre Frakturen und Rippenserienfrakturen. Von einer Rippenserienfraktur spricht man ab drei oder mehr benachbarten gebrochenen Rippen [9]. Neben den knöchernen Anteilen können auch die knorpeligen Rippenanteile verletzt sein.

1.1.3. Klinische Symptomatik

Typische Leitsymptome von Rippenfrakturen sind ein atemabhängiger thorakaler Schmerz sowie lokaler Druckschmerz und Kompressionsforschmerz bei seitlichem oder sagittalem Druck auf den Thorax. Eventuell kommt es zu einem Hautemphysem mit Krepitationen [9,18]. Der Schmerz zeigt sich verstärkt beim Husten sowie anderen Bewegungen des Brustkorbes. Die klinische Abgrenzung zu einer Rippenprellung ist auf Grund der ähnlichen Symptomatik schwierig [18,19,57].

Laut Kara et al. sind knöcherne Rippenfrakturen länger schmerhaft als knorpelige Frakturen [35].

1.1.4. Begleitverletzungen und Komplikationen

Häufige Begleitverletzungen stumpfer Thorax-Traumata sind pleurale Verletzungen wie Pneumothorax (20 – 40% der Patienten mit stumpfem Brusttrauma) und/oder Hämatothorax (25 – 50% der Patienten mit stumpfen Brusttraumata) [14,55].

Pneumothorax

Bei einem Pneumothorax gelangt Luft zwischen das parietale und das viszerale Pleurablatt. Dies führt zu einer Aufhebung des physiologischen Unterdrucks im Pleuraspalt und zu einem möglichen Kollaps der Lunge. Je nach Größe des kollabierten Lungenanteils kann es zu einer behinderten Atemmechanik mit Atemnot kommen. Ein Pneumothorax entsteht meist als Folge von Rippenfrakturen durch Verletzung der pleuralen Blätter durch ein spitzes Rippenfragment. Selten kann ein Pneumothorax auch durch Rupturierung von Alveolen und resultierendem Einriss der Pleura visceralis bei einem plötzlichen intrathorakalen Druckanstieg im Rahmen einer traumatischen Thoraxkompression entstehen [40,53,55]. Die Diagnose stellt sich über die Auskultation (aufgehobenes Atemgeräusch über dem kollabierten

Lungenareal) und die röntgenologische Darstellung mittels konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme und CT [50,55].

Bei symptomatischen Pneumothoraces oder großer Luftmenge ($> 15\%$ des Hemithoraxvolumens bzw. $>$ zwei Finger breit in der Röntgenaufnahme) ist in der Regel die Anlage einer Pleuradrainage indiziert [9,58]. Hierbei wird der Pleuraraum punktiert und durch Anlegen eines Soges (20mmH₂O) der Unterdruck wiederhergestellt, so dass sich die Lunge wieder entfalten kann [50].

Hämatothorax

Ein Hämatothorax stellt eine Einblutung in das Pleurakompartiment dar, verursacht durch Verletzungen der Interkostal- oder Lungengefäße. Bei großen Blutungen wird das Lungengewebe verdrängt und es kann zu Atemnot und Schocksymptomatik kommen. Therapie der Wahl ist die Anlage einer Pleuradrainage. Über die Drainage wird das Blut aus dem Brustkorb abgeleitet und das Lungengewebe wird dekomprimiert [50,53].

Weitere Begleitverletzungen und Komplikationen

Bei schweren Thorax-Traumata mit Rippenserienfrakturen kann es zu einer schmerzbedingten Atemhemmung / Schonatmung mit resultierender respiratorischer Insuffizienz kommen. Eine knöcherne Instabilität („flail chest“) kann sich durch das „Nachhinken“ einer Thoraxhälfte oder durch eine „paradoxe Atmung“ manifestieren. Unter einem instabilen Thorax („flail chest“) versteht man die Loslösung eines Thoraxwandsegments vom restlichen Rippenbogen. Dies entsteht wenn mindestens vier benachbarte, unilaterale Rippen in zwei oder mehr Orten frakturiert sind und keine knöcherne Verbindung dieses Segments mit dem Brustkorb mehr besteht [51]. Des Weiteren können Lungenkontusion, Nervenschädigung sowie Kreislaufstörungen in Folge intra- und extrathorakaler Organ- und Gefäßverletzungen auftreten. Bei Verletzungen der oberen drei Rippen sind besonders Herz und Gefäße gefährdet, bei Verletzungen der unteren Rippen (9. - 12. Rippe) besteht ein erhöhtes Risiko für Verletzungen der Bauchorgane wie Milz und Leber [6,55].

Möglicherweise entwickeln sich pulmonale Spätkomplikationen wie Atelektasenbildung und Pneumonie: Auf Grund einer schmerzbedingten Hypoventilation wird die Lunge minderbelüftet und es kann zu Atelektasenbildung kommen. Wird schmerzbedingt Bronchialsekret nicht ausreichend abgehustet, besteht ein erhöhtes Risiko für die Entstehung einer Pneumonie [7,37,53].

Eine seltene Komplikation von Rippenfrakturen stellt die Pseudarthrose dar. Unter einer Pseudarthrose versteht man eine ausbleibende Frakturheilung ohne knöcherne Konsolidierung der Frakturenden nach mindestens sechs Monaten. Man unterscheidet hypertrophe, atrophe und oligotrophe Pseudarthrosen. Klinische Symptome können persistierende Schmerzen, lokaler Druckschmerz und Belastungsatemnot sein. [13,49,63]

1.1.5. Therapie

Solitäre Frakturen und Rippenserienfrakturen ohne Begleitverletzungen werden in der Regel ambulant konservativ behandelt. Die Therapie ist rein symptomatisch und setzt sich aus einer ausreichenden Analgesie vor allem mit nichtsteroidalen Analgetika (NSAIDs), Opioiden, Muskelrelaxantien und physikalischen Anwendungen wie Hitze oder Kälte zusammen. Bei stark schmerhaften Verletzungen finden u.a. hochpotente Opiode, interkostale Nervenblockade, Epiduralanästhesie und Spinalanästhesie Anwendung [18,37,61].

Laut Bulger et al. profitieren sowohl junge als auch ältere Menschen hinsichtlich der Mortalität von einer Epiduralanästhesie, allerdings zeigten diese Patienten erhöhte pulmonale Komplikationsraten und längere Krankenhausaufenthalte [10]. Bassett et al. empfiehlt bei Thoraxwandverletzungen eine interkostale Nervenblockade als beste analgetische Therapiemöglichkeit [4].

Ein Atemtraining zur Pneumonieprophylaxe sowie körperliche Schonung gehören neben der analgetischen Komponente zu jeder Behandlung dazu [22]. Bei schwerwiegenden Verletzungen ist eine stationäre Aufnahme des Patienten mit Sicherung der Atmung, Analgesie und der Behandlung von Komplikationen wie z.B. Anlage einer Pleurasaugdrainage bei Pneumothorax indiziert.

Eine offene Operation (Thorakotomie) ist lebensbedrohlichen Thorax-Traumata vorbehalten [9,53]. Gemäß Nirula et al. ist eine chirurgische Behandlung bei Patienten mit instabilem Thorax („flail chest“), stark schmerzhaften Rippenbrüchen, Brustwanddeformität und symptomatischen Pseudarthrosen zu erwägen [51]. Granetzny et al. und Tanaka et al. zeigten, dass bei Patienten mit instabilem Thorax („flail chest“) die chirurgische Stabilisierung der konservativen Behandlung hinsichtlich Komplikationen und Krankenhausaufenthalt überlegen ist [27,64]. Cacchione et al. bzw. Morgan-Jones et al. empfehlen bei symptomatischen Pseudarthrosen eine chirurgische Stabilisierung mit Titanplatten bzw. autologer Spongiosaplastik [13,49].

1.2. Untersuchungsmethoden bei Verdacht auf Rippenfrakturen

Verschiedene Untersuchungsmethoden kommen in der Diagnostik von Rippenfrakturen zum Einsatz:

1.2.1. Anamnese und klinische Untersuchung

Die Anamnese und klinische Untersuchung stehen diagnostisch an primärer Stelle. Anamnestisch sind vor allem Traumata sowie vorbestehende Erkrankungen zu erfragen. In der klinischen Untersuchung ist die oben genannte Schmerzsymptomatik richtungsweisend, bietet jedoch keine ausreichende diagnostische Sicherheit [19,57]. Laut DeLuca et al. liegen bei Patienten mit typischer Anamnese und Klinik nur in 32 - 42% auch tatsächlich Rippenfrakturen vor [18].

TABLE 1: Clinical Signs Correlated with Rib Fractures

Finding	No. Positive Sign	Not Associated with Rib Finding	Associated with Rib Finding (%)
Point tenderness	86	58	28 (33)
Pain referred to site chest compression	31	18	13 (42)
Ecchymosis	17	10	7 (41)
Splinting	40	26	14 (35)
Shortness of breath	13	9	4 (30)
Crepitus	5	3	2 (40)
Percussion	5	4	1 (20)
Abnormal breath sounds	13	9	4 (31)

Abb. 2: Zusammenhang zwischen klinischer Symptomatik und dem Vorliegen von Rippenfrakturen [18]

1.2.2. Bildgebung

Zur weiteren Diagnostik stehen bildgebende Verfahren zur Verfügung. Dazu zählt die konventionelle Radiographie in Form der Thoraxübersichtsaufnahme sowie der Hemithoraxaufnahme. Des Weiteren finden die Computertomographie und die Sonographie Anwendung.

1.2.2.1. Radiographie

Grundlagen

Röntgenstrahlen wurden erstmals im Jahre 1895 von Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg entdeckt und beschrieben. Basierend auf seinen Arbeiten konnte sich die Radiographie innerhalb weniger Jahre als bildgebendes Verfahren in der Medizin etablieren [25].

Röntgenstrahlung wird in Röntgenröhren erzeugt. Hierbei werden Elektronen aus der Kathode (Wolframdrahtspirale) durch Erhitzen freigesetzt und durch Spannung in der Röntgenröhre beschleunigt (siehe Abb. 3). Diese Elektronen prallen mit großer

Geschwindigkeit auf die Anode, aus deren Atomen Elektronen herausgeschleudert werden und diese freigewordenen Elektronenplätze von Elektronen höherer Schalen besetzt werden. Dabei wird Energie in Form von Strahlung frei – der Röntgenstrahlung [41].

Abhängig vom durchstrahlten Gewebe wird die Röntgenstrahlung unterschiedlich stark absorbiert und durch die am Detektor auftreffenden Strahlen kann ein Bild generiert werden [41]. Die unterschiedlich starke Absorption je nach Gewebe hängt von deren Ordnungszahl, Dichte und Dicke ab. Mineralisiertes Gewebe wie Knochen absorbiert besonders viel Röntgenstrahlung und erscheint weiß auf den Röntgenaufnahmen. Luft und Flüssigkeit absorbieren wenig Röntgenstrahlung und imponieren schwarz. Das Röntgenbild ist somit das Ergebnis von Absorptionsdifferenzen [41].

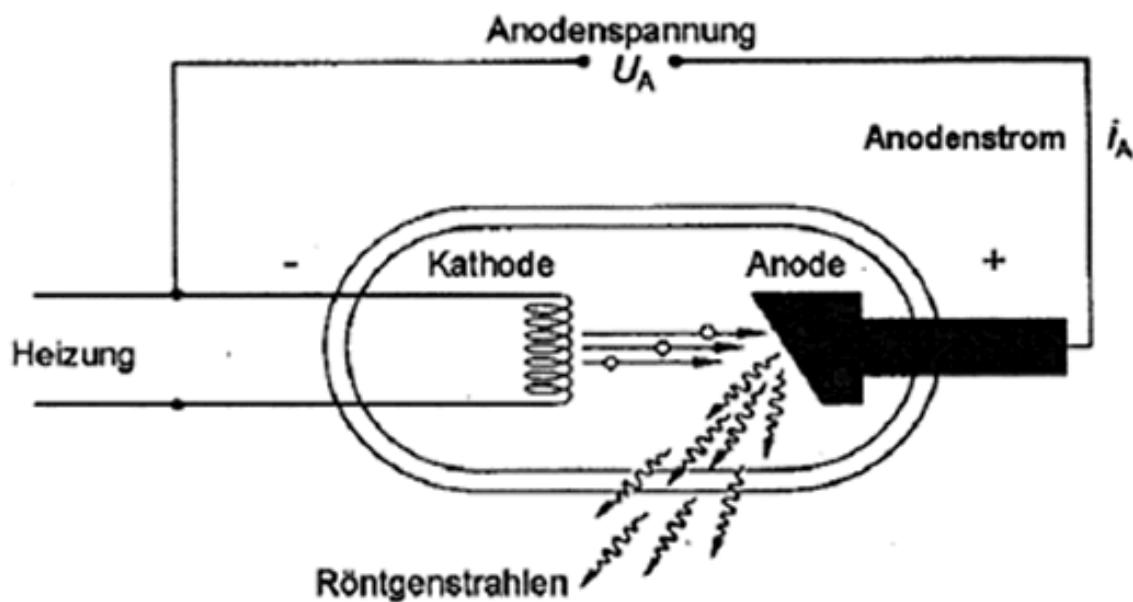


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Röntgenröhre [68]

Durch unterschiedliche Röhrenspannung (Einheit kiloVolt = kV) kann die Kontrastierung der Röntgenaufnahme und die Strahlenexposition verändert werden. Weiche Strahlung (niedrige kV-Werte) wird zu einem größeren Anteil absorbiert als harte Strahlung (hohe kV-Werte). Niedrige Röhrenspannung erzeugt ein gut kontrastiertes Bild unter höherer Strahlenexposition. Hohe Röhrenspannung führt entsprechend zu einer schlechteren Gewebskontrastierung bei geringerer Strahlenexposition. Kontraste durch unterschiedliche Ordnungszahlen der Gewebe

werden in Hartstrahltechnik weniger hervorgehoben, Kontraste durch Dichtedifferenzen bleiben erhalten. Dies erklärt die Anwendung der Hartstrahltechnik bei der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme. Hier werden die Rippen „überstrahlt“ und erscheinen nur gering kontrastiert. Die Dichteunterschiede zwischen Luft und Lungengewebe sind gut sichtbar und mögliche Pathologien sind gut darstellbar. Die Weichstrahltechnik eignet sich im Besonderen zur Darstellung von Verkalkungen und knöchernen Strukturen wie bei der Hemithoraxaufnahme [5].

Die biologisch gewichtete Strahlenexposition wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Nicht nur radiologische Untersuchungen erzeugen Strahlenexposition: Die natürliche Exposition durch terrestrische und kosmische ionisierende Strahlung beträgt je nach Region ca. 2 - 4 mSv pro Jahr [54]. Je nach Stärke erhöhen die ionisierenden Strahlen das Risiko für strahleninduzierte Malignome und genetische Schäden [54].

Radiologische Untersuchung	Effektive Gesamtkörperdosis (mSv)	Äquivalenter Zeitraum der üblichen natürlichen Hintergrundstrahlung
Thoraxübersichtsaufnahme	0,02 - 0,1	3 – 15 Tage
Hemithoraxaufnahme	0,2	30 Tage
CT – Thorax	8	4 Jahre

Tab. 1: Effektive Gesamtkörperdosis bei radiologischen Untersuchungen [54];

Anmerkung: Der mSv-Wert für die Hemithoraxaufnahme wurde basierend auf unseren Daten und Berechnungen geschätzt, Erklärung siehe Kapitel 1.2.2.1., Hemithorax

Konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme

Ziel der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme ist eine vollständige und scharfe Darstellung des Lungengewebes. Für die Aufnahme wird eine hohe Röhrenspannung von 120 kV (110 – 150kV, Hartstrahltechnik) verwendet, damit die knöchernen Thoraxanteile nicht zu stark kontrastiert erscheinen [5,11,52]. Dadurch wäre eine Beurteilung des Lungengewebes in diesen Bereichen erschwert. Neben dem Lungengewebe können auch die Mediastinalorgane (v.a. Herz), Zwerchfell, Pleura sowie der knöcherne Brustkorb beurteilt werden. Die klassische Aufnahme ist eine

posterior-anteriore Aufnahme (p.a. Aufnahme) mit dorsoventralem Strahlengang des stehenden Patienten in tiefer Inspirationshaltung. Hierbei ist eine symmetrische Ablichtung des gesamten Thorax wichtig (mit beidseitiger Darstellung der Lungenspitzen und Zwerchfellrippenwinkel) [48] (siehe Abb. 4 und 5).

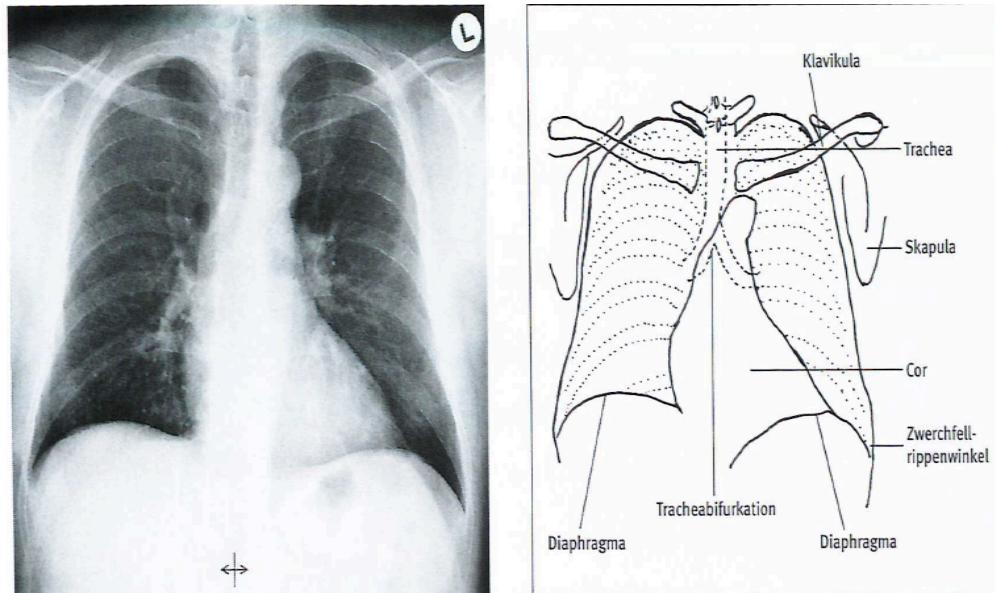


Abb. 4: Röntgenanatomie der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme [24]

In der Regel wird zusätzlich ein latero-laterales Röntgenbild mit seitlichem Strahlengang angefertigt um den Thorax aus einer zweiten Ebene beurteilen zu können (siehe Abb. 6).

Bei Patienten, die nicht stehen können, ist eine Bettaufnahme mit ventro-dorsalem Strahlengang möglich. Bettaufnahmen werden in etwas niedriger Spannung aufgenommen (70 – 110 kV) [11].

Zu den Indikationen für eine Thoraxübersichtsaufnahme zählen u.a. der klinische Verdacht auf einen Pneumothorax, Pleuraerguss, Emphysem oder Pneumonie. Bei Verdacht auf einen Pneumothorax ist zur besseren Darstellbarkeit eine Aufnahme in Exspirationsstellung zu bevorzugen da in Exspirationshaltung die intrapleurale Luft in Relation zur Lungenluft vergrößert erscheint [40]. Röntgenologische Zeichen eines Pneumothorax sind eine lateral-konvexe Haarlinie (entspricht der Pleura viszeralis) parallel zur Thoraxwand sowie das Fehlen der Lungengefäßzeichnung lateral dieser Haarlinie [40] (siehe Abb. 7).

Als Indizien für einen kleinen Pneumothorax auf einer Liegendaufnahme zählen u.a. ein vertiefter Kostodiaphragmalwinkel, basale Hypertransparenz und ein „doppeltes“ Zwerchfell [14].

Die radiologischen Zeichen eines Hämatothorax entsprechen denen eines Pleuraergusses. Beim stehenden Patienten ist eine basale, nach lateral ansteigende Verschattung des vorderen Kostodiaphragmalwinkels zu erkennen [40]. In der p.a. Aufnahme sind Flüssigkeitsmengen ab ca. 200 ml feststellbar [9]. In der Seitenaufnahme sind kleinere Flüssigkeitsmengen (ab 150 ml) als Verschattung des dorsalen Kostodiaphragmalwinkels zu erkennen [40]. Der dorsale Kostodiaphragmalwinkel stellt beim stehenden Patienten den tiefsten Punkt des Thorax dar, so dass sich die Flüssigkeit hier sammelt. Bei Liegendaufnahmen zeigt sich die Transparenzminderung homogen über das Lungenfeld verteilt, in Rückenlage sind Ergussmengen erst ab 500 ml sichtbar [40].

Die Strahlenexposition einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme beträgt ca. 0,02 - 0,1 mSv pro Aufnahme [54].



Abb. 5: Normalbefund einer Thoraxübersichtsaufnahme (posterior-anteriorer Strahlengang, weiblicher Brustkorb) [69]

09.01.2013
15:39:10

CS

L
cza



Abb. 6: Normalbefund einer Thoraxübersichtsaufnahme (laterolateraler Strahlengang, weiblicher Brustkorb [69]

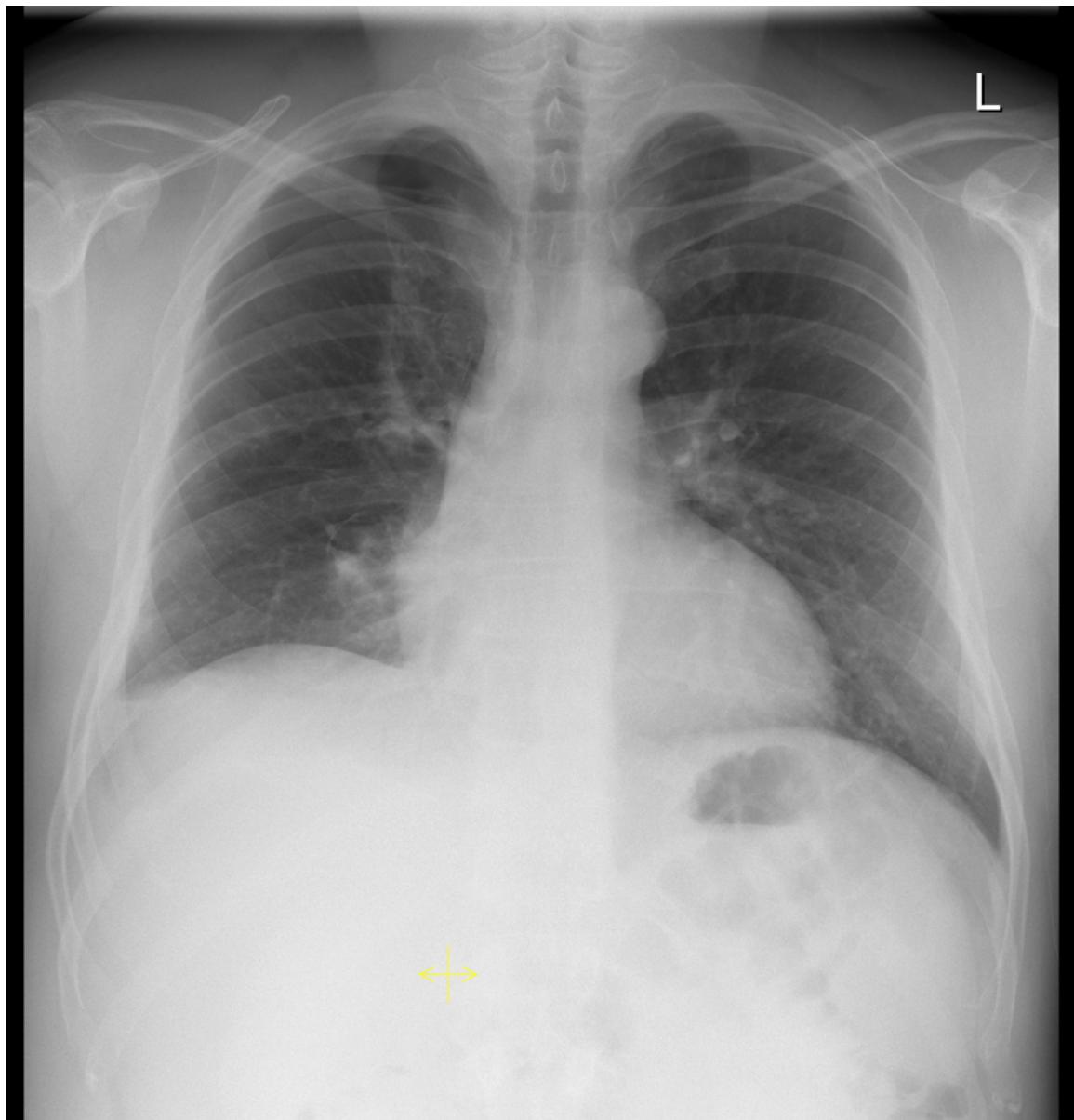


Abb. 7: Pneumothorax rechts apikal [69]

Hemithoraxaufnahme

Primäres Ziel der Hemithoraxaufnahme ist die scharfe Darstellung der knöchernen Thoraxanteile insbesondere der Rippen. Die Hemithoraxaufnahme wird im Vergleich zur Thoraxübersichtsaufnahme in Weichstrahlung (60 – 75 kV) aufgenommen [11]. Dies dient der besseren Darstellung und Kontrastierung der knöchernen Thoraxanteile. Obwohl mit abgebildet, ist die Beurteilung der Weichteilstrukturen wie z.B. das

Lungengewebe auf Grund der niedrigeren Röhrenspannung im Vergleich zur Thoraxübersichtsaufnahme erschwert.

Je nach Einblendung ist die Strahlenexposition damit höher als bei der Thoraxübersichtsaufnahme. Über die genaue Dosismenge der Hemithoraxaufnahme existieren so gut wie keine Daten in der Literatur. Mittels Berechnungen aus unseren Daten schätzen wir in Anlehnung an Gosch et al. [26] die Strahlenexposition auf ca. 0,2 mSv: Die effektive Dosis, die mit dem stochastischen Strahlenrisiko korreliert, kann nicht direkt gemessen werden. Deshalb werden Konversionsfaktoren zur Ermittlung der effektiven Dosis von Patienten aus dem Dosisflächenprodukt berechnet [26]. Das Dosisflächenprodukt kann relativ einfach mit großflächigen Flachkammern gemessen oder aus den Expositionswerten, Röhrenspannung (kV) und Röhrenstrom (mAs) sowie der Strahlenfeldgröße berechnet werden. Das Dosisflächenprodukt wird auch als Messgröße bei der Bestimmung der diagnostischen Referenzwerte für die Projektionsradiografie verwendet [12]. Im Vergleich von Thoraxübersichtsaufnahmen mit Hemithoraxaufnahmen ergibt sich für die Hemithoraxaufnahmen ein deutlich höheres Dosisflächenprodukt, so dass für diese Aufnahmetechnik von einer höheren effektiven Dosis auszugehen ist. In unserem Kollektiv betrug das Flächendosisprodukt der Hemithoraxaufnahme ca. das 5- bis 10-fache der Thoraxübersichtsaufnahmen.

Es wird in der Regel nur diejenige Hälfte des Thorax abgelichtet, in der anamnestisch / klinisch Beschwerden oder Fragestellungen angegeben werden. Daher begründet sich der Name „Hemithoraxaufnahme“. Man schützt die andere Thoraxhälfte vor unnötiger Strahlenexposition. Kriterium für eine gute Aufnahme ist die symmetrische und vollständige Abbildung des Hemithorax (siehe Abb. 8).

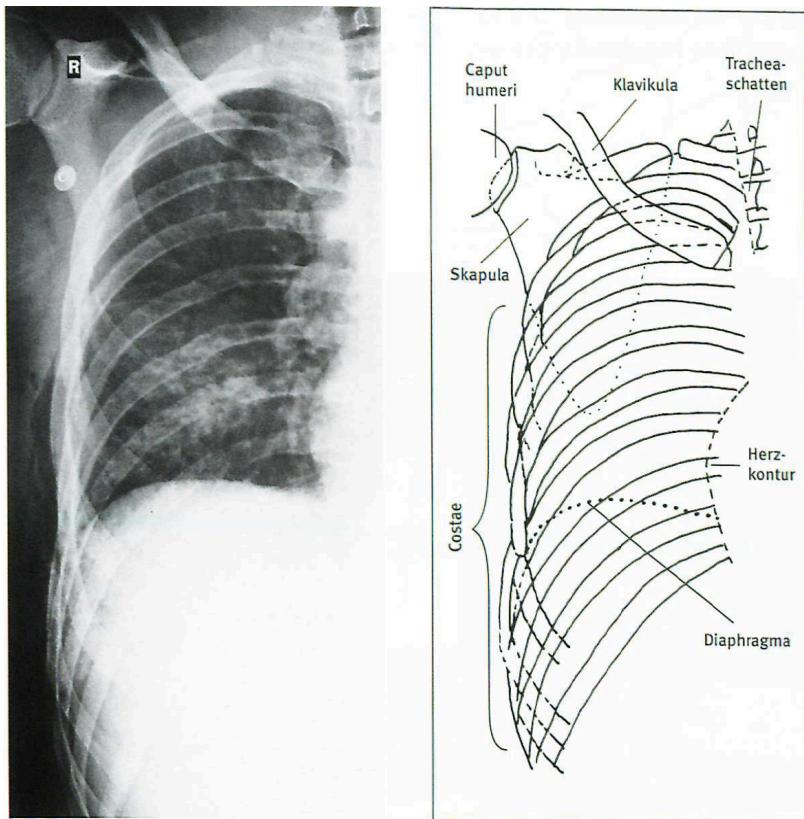


Abb. 8: Röntgenanatomie der Hemithoraxaufnahme [24]

Da die Belichtung einer ganzen Thoraxhälfte v.a. bei großen Patienten technisch schwierig ist, kann je nach Fragestellung eine obere (1. – 9. Rippe) oder untere (8. – 12. Rippe) Hemithoraxaufnahme gewählt werden [52]. Bei nicht stehfähigen Patienten ist eine Bettaufnahme möglich.

Hauptindikation für die Anfertigung einer Hemithoraxaufnahme ist der klinische Verdacht auf eine oder mehrere Rippenfraktur/en. Hier ist eine Markierung des größten Schmerzpunktes (z.B. durch Aufkleben eines Bleikügelchens oder Briefklammer) vor Aufnahme zu empfehlen. Bei der Betrachtung des Röntgenbildes sind auf Frakturzeichen wie

- Frakturlinie/n
- Knochendislokation
- Kortikalisunterbrechungen
- Stufenbildung
- Weichteilschwellung

zu achten [40,62] (siehe Abb. 9).

Knorpelige Rippenanteile können außer bei starker Verkalkung der Knorpel nicht sicher dargestellt werden.

Weitere Indikationen stellen eventuelle osteolytische Veränderungen im Rahmen von Tumoren oder entzündlichen Prozessen dar.

Vermutet man eine Läsion an den ventralen Rippen, wählt man für die Röntgenaufnahme einen dorsal-ventralen Strahlengang. Entsprechend wird für vermutete dorsale Rippenläsionen ein ventral-dorsaler Strahlengang gewählt [52]. Eine Variante ist die schräge Hemithoraxaufnahme, bei der sich der Patient ca. 45° zur gesunden Seite aufgedreht positioniert [48]. Hiermit lassen sich die axillären Rippenanteile besser darstellen [38].

06.05.2009
14:32:52

R



Exposure: 7
KV: 70 KV DFP: 1.57 dGy*cm²
ZOOM: 1
Relative Exposure: 394

Abb. 9: Fraktur der 4. und 5. ventralen Rippe [69]

1.2.2.2 Computertomographie

Die Computertomographie (CT) ist ein Schnittbildverfahren unter Anwendung von Röntgenstrahlung. Der erste Computertomograph wurde 1972 von Sir Godfrey Hounsfield entwickelt. [31,32]

Eine um den liegenden Patienten rotierende Röhre sendet fächerförmige Röntgenstrahlung aus, welche durch einen opponierten Detektor registriert wird. Der Detektor registriert die durch das durchleuchtete Objekt unterschiedlich stark absorbierte Röntgenstrahlung und anhand eines Computers werden hieraus Bilder berechnet. Ältere Geräte erzeugen Einzelschichten, indem das zu durchleuchtende Objekt auf einem Tisch nach und nach durch die Röhre bewegt wird. [31,32]

Eine deutliche Leistungsteigerung konnte durch die Spiraltechnik erzielt werden. Durch eine kontinuierliche Röhrenrotation und konstanten Tischvorschub wird ein Volumendatensatz des Objektes aquiriert. Aus diesem Datensatz können entsprechende Schnittbilder in allen Raumebenen rekonstruiert werden. [29,34]

Bei den modernen Mehrschicht- oder Multidetektorgeräten handelt es sich um eine Kombination von Spiral-CT, die mit mehreren Reihen von Detektorkränen ausgestattet sind. Hierdurch können mehrere Schichten pro Röhrenumdrehung und damit größere Körperregionen in kürzerer Zeit erfasst werden. [29,33]

Analog zu den konventionellen Röntgenaufnahmen hängt die Absorption der Röntgenstrahlung von der Dichte, Dicke und Ordnungszahl der unterschiedlichen Gewebearten ab. Entsprechend der Schwächung der Röntgenstrahlung durch die Gewebe werden Zahlenwerte (Hounsfield-Einheiten = HE) errechnet. [29,33]

Diese Werte entsprechen Grautönen und umfassen eine Spanne von 4096 und mehr. Die Spanne dieser Grautöne ist geräteabhängig und grundsätzlich nach oben hin offen. Da die Monitore nur ca. 256 Graustufen darstellen und das menschliche Auge nur ca. 20 - 50 Graustufungen erfassen kann, hilft die Angabe der Zahlenwerte zur Interpretation der Bilder [29].

Wasser hat definitionsgemäß einen HE-Wert von 0. Dieser Wert dient als Referenzwert zur Einordnung der verschiedenen Gewebe und Materialien. Lufthaltige Areale wie das Lungengewebe sind durch niedrige HE-Werte bis maximal -1000 charakterisiert, röntgendichte Strukturen wie Knochen sind durch hohe HE-Werte von mehr als +1000 charakterisiert. Die Einstellung von unterschiedlichen „Fenstern“ ermöglicht

eine genauere Beurteilung bestimmter Areale. Hierzu wird ein zentraler HE-Wert gewählt, der nahe an dem Dichtewert des zu untersuchenden Gewebes liegt. Für das Lungenfenster werden also entsprechend niedrige HE-Werte gewählt, für das Knochenfenster entsprechend hohe HE-Werte. Durch die Fensterbreite (Spanne der HE-Werte) wird die Kontrastierung angepasst. [29,33]

Eine 3D-Rekonstruktion der Volumendaten ist möglich, so dass z.B. Frakturen in ihrem Verlauf besser dargestellt werden können [29,33,62].

Durch die Gabe von intravenösem Kontrastmittel kann die Darstellung von Gefäßen und Blutungen (z.B. Hämatothorax) auf der Aufnahme verbessert werden. Kontraindikationen für die Gabe von Kontrastmittel stellen u.a. Kontrastmittelallergien sowie Nierenschädigung und Hyperthyreose dar [29].

1.2.2.3. Sonographie

Das Prinzip der Sonographie beruht auf dem piezoelektrischen Effekt. Der Ultraschall-Schallkopf enthält einen Kristall aus Piezokeramik, welcher elektrische Energie in Schallenergie und Schallwellen umwandelt. Der Schallkopf entsendet Schallwellen in das zu untersuchende Gewebe und empfängt anschließend die durch das Gewebe reflektierten Schallwellen (Puls-Echo-Prinzip). Die reflektierten Schallwellen werden wieder in elektrische Energie umgewandelt. Der Schallkopf ist somit Sender und Empfänger von Schallwellen. Die ins Gewebe gesendeten Ultraschallwellen werden durch verschiedene Mechanismen abgeschwächt: Absorption, Reflexion, Brechung, Streuung und Divergenz. Mit Ausnahme der Divergenz ist die Stärke der Schwächung gewebeabhängig. Anhand des Schwächungsverhaltens der Ultraschallwellen können Gewebearten identifiziert werden. Knochen absorbiert Ultraschall stärker als Weichteile, Wasser ist durch sehr geringe bis keine Absorption gekennzeichnet. Die Reflexion (= Echo) beschreibt den Vorgang, dass ein Teil der Ultraschallwelle im Gewebe reflektiert und zum Schallkopf zurückgeschickt wird. Die Reflexion ist abhängig von Impedanzunterschieden von Geweben und ist umso stärker, je unterschiedlicher die Impedanzen von angrenzenden Geweben sind. Die Impedanz berechnet sich aus der Dichte eines Gewebes und der Schallgeschwindigkeit.

Das Ultraschallbild entsteht durch Berechnung der Tiefe des Gewebes aus der Schalllaufzeit (Zeit zwischen Senden und Empfangen der Ultraschallwelle im Schallkopf bei bekannter Schallgeschwindigkeit) und der Impedanz des Gewebes durch die Stärke der reflektierten Schallwellen [17,33].

Bei der Sonographie werden Schallwellen mit sehr hohen Frequenzen verwendet (2,5 bis 15 MHz), diese sind für das menschliche Ohr nicht wahrnehmbar. Die Absorption der Ultraschallwellen ist abhängig von der Frequenz. Hohe Frequenzen sind zur Darstellung oberflächlicher Strukturen z.B. der Schilddrüse geeignet, niedrige Frequenzen kommen z. B. bei der Abdomensonographie zum Einsatz [33].

Bei der Beurteilung der Brustwand werden Schallwellen der Frequenz 5 bis 12 MHz verwendet [28,35,57].

Die Rippen werden entlang ihrer Achse auf die Kontinuität der Rippenränder hin untersucht. Eine Fraktur erscheint als Unterbrechung der echogenen Linie der Rippenränder. Zudem sind auf umgebende Weichteilhämatoome zu achten [28]. Bei einem Hämatothorax ist die pleurale Flüssigkeit als echoarme Raumforderung zu erkennen – Flüssigkeitsmengen ab 20 ml sind mit dem Ultraschall detektierbar [59]. Die Darstellung eines Pneumothorax kann durch den Verlust des „gliding signs“ als Korrelat für die atemabhängige pleurale Bewegung sowie durch fehlende Artefakte durch Luft an den Lungengrenzen („comet tails“) gelingen [65].

2. Zielsetzung

Das Ziel dieser Studie ist es, die klinische Relevanz von Hemithoraxaufnahmen zu evaluieren.

Es soll herausgefunden werden, welchen Stellenwert die knöcherne Hemithoraxaufnahme für den weiteren klinischen Verlauf eines Patienten hat. Hierzu soll die Frage geklärt werden, ob und inwiefern die Therapie eines Patienten von seinem Röntgenbefund abhängig ist.

In diesem Zusammenhang soll auch überprüft werden, in wieweit die knöcherne Hemithoraxaufnahme eine sinnvolle diagnostische Methode zur Detektion von Rippenfrakturen darstellt – insbesondere im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme und CT.

Hierzu werden Röntgenbefunde eines großen Patientenkollektivs retrospektiv analysiert sowie der weitere diagnostische und therapeutische Verlauf der Patienten untersucht.

Folgende Hypothesen sollen statistisch überprüft werden:

Erste Nullhypothese: Die Befunde „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ werden bei der Hemithoraxaufnahme, konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme und CT gleich häufig gestellt, mit der Folge dass es keinen Unterschied in Sensitivität und Spezifität der drei bildgebenden Verfahren gibt.

Zweite Nullhypothese: Die Patienten werden unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleich häufig behandelt.

Dritte Nullhypothese: Die Patienten erhalten im Falle einer Behandlung unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleiche Therapiemaßnahmen.

3. Patienten und Methoden

3.1. Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv rekrutiert sich aus allen Patienten, die eine knöcherne Hemithoraxaufnahme im Zeitraum 2009 - 2010 im Institut für Röntgendiagnostik des Universitätsklinikums Regensburg erhalten haben. Es konnten 706 Patienten identifiziert werden, von diesen 706 Patienten wurden 37 wegen fehlender Daten im Krankenhausinformationssystem (SAP) ausgeschlossen. In 24 dieser Fälle wurde gar keine Dokumentation im SAP-System erstellt, in 13 Fällen handelte es sich um Untersuchungen im Rahmen eines Gutachtens (meist nach Polytrauma) ohne aktuelle Daten aus den betroffenen Jahren 2009 und 2010.

Insgesamt wurden 669 Patienten in die Studie eingeschlossen.

3.2. Erfassungsmethode

Es handelt sich um eine retrospektive Studie.

Die 706 Patientennamen wurden mit Hilfe des Radiologieinformationssystems des Röntgeninstituts Regensburgs (med RIS, Version 9.3., Nexus®, Villingen-Schwenningen, Deutschland) identifiziert, indem alle Patienten, die im Zeitraum 2009 - 2010 an der Universitätsklinik Regensburg eine Hemithoraxaufnahme bekommen haben, ermittelt wurden. Die Ergebnisse dieser Röntgenuntersuchungen wurden anhand der schriftlichen Originalbefunde dokumentiert. Die Originalbefunde wurden von den Radiologen der Universitätsklinik Regensburg erhoben. Zur Beurteilung des weiteren Verlaufs der Patienten erfolgte eine Auswertung der Krankenakten der jeweiligen Patienten. Hierzu wurden alle Arztbriefe und sonstigen relevanten Untersuchungsbefunde, welche im Krankenhausinformationssystem (SAP) gespeichert waren, ausgewertet.

3.3. Röntgentechnik

Alle Hemithoraxaufnahmen wurden an einem digitalen Röntgengerät mit 70 kV durchgeführt (Axiom Aristos Multix FDX, Software VB21B, Siemens Healthcare®, Erlangen, Deutschland). Die Aufnahmen wurden als Rasteraufnahmen (Pb15/80) mit einem Film-Fokus-Abstand von 150 cm beim stehenden Patienten aufgenommen. Die Thoraxübersichtsaufnahmen entstanden am selben Röntgengerät mit 120 kV. Die Befundung der Röntgenaufnahmen erfolgte mit Hilfe eines digitalen Bildarchivierungsprogrammes (Syngo Imaging Advanced, Software Version VB36A, Siemens Healthcare®, Erlangen, Deutschland) an LCD-Doppelbildschirmen (Radioforce GS 220, Eizo®, Mönchengladbach, Deutschland).

Alle CT-Untersuchungen wurden an einem 16-Zeilen Spiral-CT (Sensation 16, Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland) mit folgenden Parametern durchgeführt: Röhrenspannung 120 kV, Rotationszeit 0,75 s, Pitch-Faktor 1,6. Bei einer Kollimation von 16 x 0,75 mm wurden aus dem Datenvolumen axiale und koronare Bilder der Schichtdicke 5 mm und einem Inkrement von 4 mm rekonstruiert. Die Befundung erfolgte mit Hilfe derselben Programme und Bildschirme wie die konventionellen Röntgenaufnahmen.

3.4. Auswertung

3.4.1. Kriterien

Das Patientenkollektiv wurde bezüglich der folgenden 18 Parameter standardisiert untersucht:

1. Alter und Geschlecht der Patienten
2. Vorliegen einer Tumorerkrankung
 - keine Tumorerkrankung

- Tumorerkrankung ohne Knochenmetastasen
- Tumorerkrankung mit Knochenmetastasen

3. Fallart

- ambulant
- stationär

4. Zuweisendes Fachgebiet

- Chirurgie
- Innere Medizin
- anderes Fachgebiet

5. Diagnostische Fragestellung

- traumaassoziierte Fraktur
- pathologische Fraktur

6. Vorliegen eines Berufsgenossenschaftsfalles (BG-Fall)

- kein BG-Fall
- BG-Fall

7. Seitenausrichtung der Hemithoraxaufnahme

- rechts
- links
- Kombination aus rechts und links

8. Röntgenbefund der Hemithoraxaufnahme

- keine Fraktur
- bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich
- Verdacht auf Fraktur
- definitiv Fraktur
- Fraktur mit Komplikation
- Komplikation ohne Fraktur

9. Anzahl der frakturierten Rippen

- keine Rippe gebrochen
- eine Rippe gebrochen
- zwei Rippen gebrochen
- drei oder mehr Rippen gebrochen

10. Grad der Dislokation der Rippenfraktur/en

- keine Dislokation
- geringe Dislokation
- mehr als geringe Dislokation
- keine Angabe bezüglich einer Dislokation

11. Kombination mit konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme

- keine Thoraxübersichtsaufnahme
- Thoraxübersichtsaufnahme am selben Tag der Hemithoraxaufnahme
- Thoraxübersichtsaufnahme an einem anderen zeitnahen Tag als Hemithoraxaufnahme

12. Röntgenbefund der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme

- keine Fraktur
- bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich
- Verdacht auf Fraktur
- definitiv Fraktur
- Fraktur mit Komplikation
- Komplikation ohne Fraktur
- anderer Frakturbefund als Hemithoraxaufnahme

13. Kombination mit Computertomographie (CT)

- keine CT
- CT am selben Tag der Hemithoraxaufnahme
- CT an einem anderen zeitnahen Tag als Hemithoraxaufnahme

14. Computertomographiebefund

- keine Fraktur
- bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich
- Verdacht auf Fraktur
- definitiv Fraktur
- Fraktur mit Komplikation
- Komplikation ohne Fraktur
- anderer Frakturbefund als Hemithoraxaufnahme

15. Vorliegen einer Komplikation

- Pneumothorax
- Hämatothorax
- Kombination aus Pneumo- und Hämatothorax

16. Dokumentation des Röntgenbefundes in einem Arztbrief

- nicht dokumentiert
- richtig dokumentiert
- falsch dokumentiert

17. Behandlungskonsequenz

- keine Behandlung verordnet
- Behandlung verordnet

18. Therapiemaßnahmen

- Stufe 1: Schmerzmedikation
- Stufe 2: Schmerzmedikation und radiologische Verlaufskontrolle
- Stufe 3: Sofortige weiterführende Diagnostik bzw. stationäre Aufnahme

Anmerkung zu 3.:

Der Begriff „ambulant“ beschreibt Patientenvorstellungen in der Notaufnahme des UKR oder ambulante Röntgenuntersuchungen auf Grund von ärztlichen Überweisungen.

Anmerkung zu 11. und 13.:

Zu den konventionellen Thoraxübersichts- und CT-Aufnahmen an „einem anderen zeitnahen Tag als die Hemithoraxaufnahme“ wurden alle konventionellen Thoraxübersichts- und CT-Aufnahmen gezählt, die in direktem Kontext zu der Beschwerdesymptomatik und Fragestellung stehen, die zur Hemithoraxaufnahme geführt haben. Der Zeitraum wurde als maximal 30 Tage vor bzw. nach der Hemithoraxaufnahme festgelegt.

Anmerkung zu 18.:

Die Schmerzmedikation bestand in den meisten Fällen aus oralen NSAIDs, aber auch andere Medikamente und Verfahren kamen zum Einsatz. Der Begriff „Schmerzmedikation“ fasst alle angewandten analgetischen Therapiemaßnahmen zusammen und es wurde keine weitere Differenzierung vorgenommen.

Es wurden nur die radiologischen Verlaufskontrollen erfasst, die im Entlass- oder Verlegungsbefehl des Patienten empfohlen bzw. angeordnet wurden. Spätere Verlaufskontrollen auf Grund von Komplikationen oder weiteren Fragestellungen, die bei einer erneuten Vorstellung oder von andern Ärzten angeordnet wurden, wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

Die unterschiedlichen angewendeten Therapiemaßnahmen wurden in drei Stufen eingeteilt, entsprechend ihrem Aufwand. Es wird davon ausgegangen, dass der Therapieaufwand (zeitlich, technisch wie klinisch) von Stufe zu Stufe zunimmt.

3.4.2. Statistische Auswertung

Die primäre standardisierte Datenerhebung wurde mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2007 durchgeführt. Die weitere statistische Auswertung

erfolgte unter Verwendung des Programms SPSS Statistics Student Version 18.0 für Mac (IBM Corporation, New York, USA).

Bei einem Signifikanzniveau von 95% mit $p \leq 0.05$ wird von einem signifikanten Unterschied in der Verteilung der Häufigkeiten ausgegangen und die Nullhypothese signifikant abgelehnt. Ab einem $p \leq 0.01$ wird die Nullhypothese hochsignifikant abgelehnt.

Folgende Testverfahren kamen zur Anwendung:

3.4.2.1. Sensitivität und Spezifität, Chi-Quadrat-Test nach McNemar

Für die diagnostische Beurteilung der Hemithoraxaufnahmen wurden Sensitivität und Spezifität in der Detektion von Rippenfrakturen ermittelt. Dazu wurden die Befunde der Hemithoraxaufnahmen mit den Befunden der Goldstandardmethode verglichen. Unter Sensitivität versteht man die Wahrscheinlichkeit, dass ein zu untersuchendes Merkmal richtig positiv erkannt wird, unter Spezifität die Wahrscheinlichkeit, dass tatsächlich Gesunde im Test einen negativen Befund erhalten. Mit Hilfe von Vierfeldertafeln werden Sensitivitäten und Spezifitäten errechnet.

In dieser Studie ist/sind das zu untersuchende Merkmal Rippenfraktur/en, als vergleichender Goldstandard zur Erkennung dieses Merkmals dient die CT. Für den Goldstandard werden Sensitivitäten und Spezifitäten von 100% angenommen.

Merkmal: Rippenfraktur/en		Goldstandard: CT		
		positiv	negativ	Gesamt
zu untersuchendes Verfahren: Hemithoraxaufnahme bzw. konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme	Positiv	richtig positiv (a)	falsch positiv (b)	alle Testpositiven (a + b)
	Negativ	falsch negativ (c)	richtig negativ (d)	alle Testnegativen (c + d)
	Gesamt	alle Erkrankten (a + c)	alle Gesunden (b + d)	alle untersuchten Patienten

Tab. 2: Vierfeldertafel - allgemeines Schema

Berechnung der Sensitivität: "richtig positiv" / "alle Erkrankten" = $a / (a + c)$

Berechnung der Spezifität: "richtig negativ" / "alle Gesunden" = $d / (b + d)$

Da in dieser Studie nicht nur die Befunde "keine Fraktur" und "definitiv Fraktur", also „positiv“ und „negativ“, gewertet wurden sondern auch die Befunde

- "bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich"
- "Verdacht auf Fraktur"
- "Fraktur mit Komplikation"
- "Komplikation ohne Fraktur"

wurden diese Befunde den Kategorien "Fraktur ja" und "Fraktur nein" zugeordnet (siehe Tab. 3).

Mit Hilfe dieser Zuordnungen konnte die Vierfeldertafel verwendet und Sensitivitäten und Spezifitäten ermittelt werden.

Fraktur ja	Fraktur nein
<p>"definitiv Fraktur"</p> <p>"Verdacht auf Fraktur"</p> <p>"Fraktur mit Komplikation"</p> <p>("anderer Frakturbefund wie bei Hemithoraxaufnahme")</p>	<p>"keine Fraktur"</p> <p>"bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich"</p> <p>"Komplikation ohne Fraktur"</p>

Tab. 3 : Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen in Kategorien;

Anmerkung: „anderer Frakturbefund wie bei Hemithoraxaufnahme“ gilt für Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen und CT

Auf dieselbe Art wurden Sensitivität und Spezifität der Thoraxübersichtsaufnahmen gegenüber der CT (Goldstandard) errechnet um einen diagnostischen Vergleich zwischen Hemithoraxaufnahme und Thoraxübersichtsaufnahme vornehmen zu können.

Der Chi-Quadrat-Test nach McNemar ist ein Test für verbundene Stichproben mit einem dichotomen Merkmal. Dieser Test prüft, ob es einen signifikanten Unterschied in der Verteilung der ermittelten Befundhäufigkeiten gibt und somit, ob Unterschiede in der Sensitivität und Spezifität der untersuchten bildgebenden Verfahren bestehen.

Die erste zu untersuchende Nullhypothese lautet:

Die Befunde „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ werden bei der Hemithoraxaufnahme, konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme und CT gleich häufig gestellt, mit der Folge dass es keinen Unterschied in Sensitivität und Spezifität der drei bildgebenden Verfahren gibt.

3.4.2.2. Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest

Der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest prüft Häufigkeitsunterschiede aus Kreuztabelle mit kategorialen Variablen. Er testet die Wahrscheinlichkeit des Auftretens

eines Zusammenhangs in einer Stichprobe und damit die Abhängigkeit der Variablen voneinander.

Mit Hilfe dieses statistischen Tests soll die Behandlungskonsequenz der Patienten in Abhängigkeit von ihrem radiologischen Befund beurteilt werden: Es soll herausgefunden werden, ob sich die Häufigkeiten der Behandlungen bezogen auf die radiologischen Befunde signifikant unterscheiden und damit, ob Patienten mit radiologischem Frakturbefund signifikant häufiger behandelt werden als Patienten ohne Frakturnachweis.

Die zweite zu untersuchende Nullhypothese lautet:

Die Patienten werden unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleich häufig behandelt.

Für diese statistische Auswertung und für die Auswertung von 3.4.2.3. wurden die Befunde der Hemithoraxaufnahmen in 4 Kategorien zusammengefasst:

- „sicher keine Fraktur“
- „unsicherer Frakturbefund“
- „definitiv Fraktur“
- „Komplikationen“

Die Befunde „bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Fraktausschluss möglich“ und „Verdacht auf Fraktur“ wurden unter dem Begriff „unsicherer Frakturbefund“ zusammengefasst. Die Befunde „Fraktur mit Komplikation“ und „Komplikation ohne Fraktur“ wurden unter dem Befund „Komplikationen“ zusammengefasst.

Diese Einteilung erfolgte, um das Therapieprinzip besser nachvollziehen zu können. Die Befunde „bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Fraktausschluss möglich“ und „Verdacht auf Fraktur“ bergen eine diagnostische Unsicherheit, mit der der behandelnde Arzt umgehen muss. Um den therapeutischen Umgang mit dieser diagnostischen Unklarheit besser nachempfinden zu können, wurden die Befunde hier nicht - wie zur Berechnung von Sensitivität und Spezifität - nur zwei Kategorien zugeordnet.

3.4.2.3. Kruskal-Wallis-Test

Der Kruskal-Wallis-Test ist ein nonparametrischer Rangsummentest für mehr als zwei unabhängige Stichproben.

In dieser Studie wird der Test zur Beurteilung der therapeutischen Maßnahmen herangezogen. Es soll herausgefunden werden, ob die Patienten im Falle einer Behandlung abhängig von ihrem radiologischen Befund unterschiedlich aufwändige Therapiemaßnahmen erhalten. Hierfür werden nur die Daten der Patienten ausgewertet, bei denen eine Behandlung angeordnet wurde. Entsprechend ihres klinischen, zeitlichen und technischen Aufwands wurden die Therapiemaßnahmen in drei Stufen eingeordnet (siehe Tab. 4). Es wird angenommen, dass der Aufwand (zeitlich, technisch wie klinisch) von Stufe zu Stufe zunimmt und Stufe 3 die aufwändigste Therapiemaßnahme darstellt.

Therapiestufe	Therapiemaßnahme
Stufe 1	Schmerzmedikation
Stufe 2	Schmerzmedikation und radiologische Verlaufskontrolle
Stufe 3	Sofortige weiterführende Diagnostik bzw. stationäre Aufnahme

Tab. 4: Einteilung der Therapiemaßnahmen in Therapiestufen

Die dritte zu untersuchende Nullhypothese lautet:

Die Patienten erhalten im Falle einer Behandlung unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleiche Therapiemaßnahmen.

4. Ergebnisse

4.1. Zusammensetzung des Patientenkollektivs

Das Durchschnittsalter der 669 untersuchten Patienten betrug 51,0 Jahre. Es zeigte sich eine Spannweite von 79 Jahren mit einem Minimum von 13 Jahren und einem Maximum von 92 Jahren.

Der Altersgipfel der Frauen lag im 6. Lebensjahrzehnt, der Altersgipfel der Männer im 5. Lebensjahrzehnt.

Es wurden 411 männliche Patienten (61,4%) und 258 Patientinnen (38,6%) identifiziert (siehe Abb. 10).

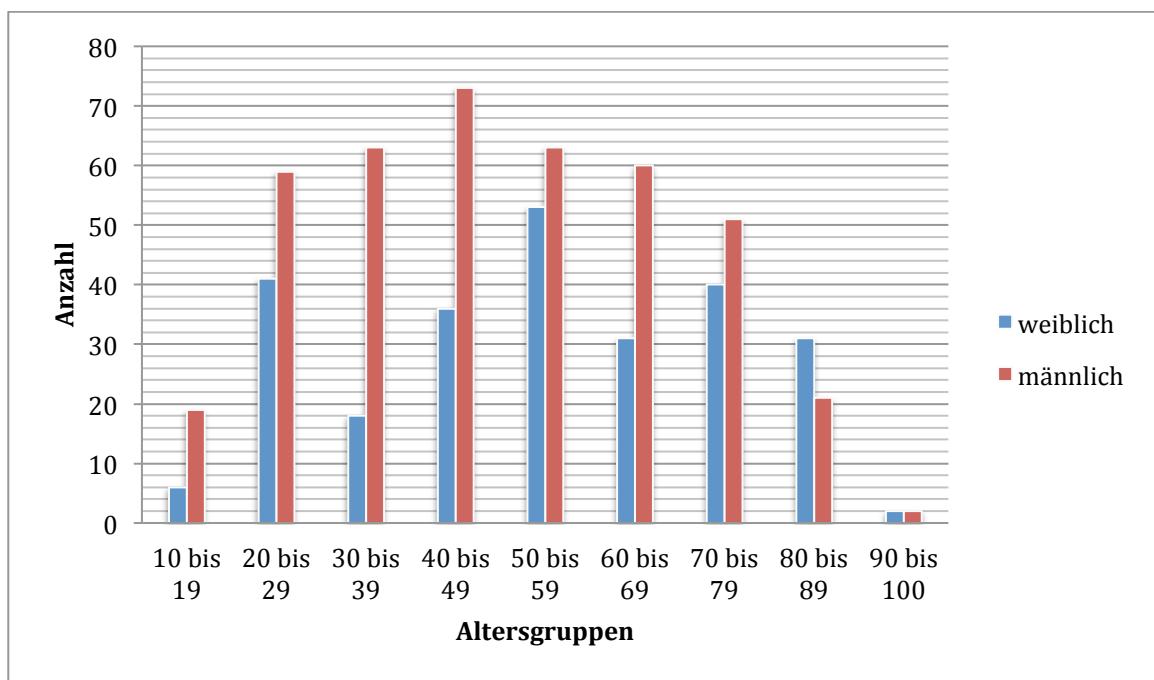


Abb. 10: Alters- und Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs

4.2. Vorliegen einer Tumorerkrankung

Bei 82 Patienten (12,3%) war eine maligne Tumorerkrankung bekannt, bei 31 davon waren Knochenmetastasen dokumentiert.

4.3. Fallart und zuweisendes Fachgebiet

In 82,5% der Fälle handelte es sich um ambulante Untersuchungen.

In 81,8% der Fälle war die Chirurgie die anfordernde Fachabteilung (siehe Abb. 11).

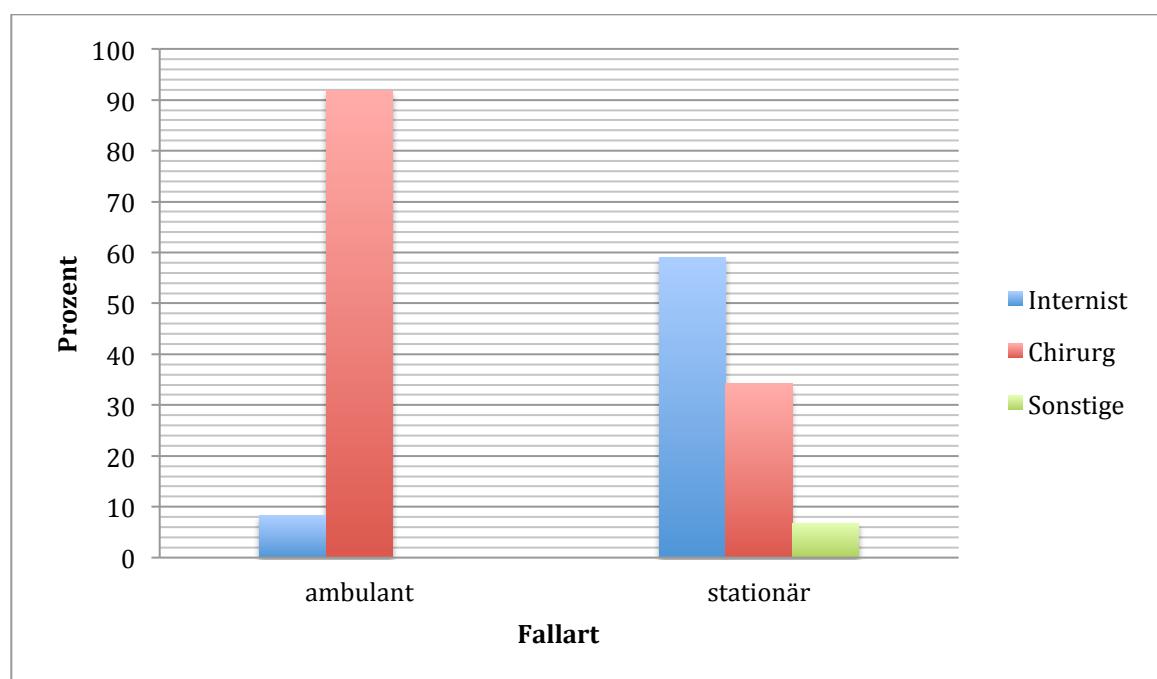


Abb. 11: Verteilung von Fallart und zuweisender Fachrichtung

4.4. Diagnostische Fragestellung

In 95,7% wurde die Indikation für die knöcherne Hemithoraxaufnahme aufgrund der Fragestellung nach einer traumaassoziierten Fraktur gestellt. Bei den restlichen 4,3%

(29 Patienten) handelte es sich um einen Verdacht auf eine pathologische Fraktur ohne positive Traumaanamnese.

4.5. Vorliegen eines Berufsgenossenschafts-Falles

56 Fälle (8,4%) waren dokumentierte BG-Fälle.

4.6. Seitenausrichtung der Hemithoraxaufnahme

In 51,9% wurde die linke Thoraxhälfte geröntgt, in 40,2% die rechte Thoraxhälfte und in 7,9% beide Seiten des Thorax.

4.7. Befunde der knöchernen Hemithoraxaufnahmen

Mit 70,4% der Fälle wurde keine Fraktur befunden. (siehe Tab. 5)

Befunde	Häufigkeit	Prozent
Sicher keine Fraktur	471	70,4
Bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich	41	6,1
Verdacht auf Fraktur	31	4,6
Definitiv Fraktur	120	17,9
Fraktur mit Komplikation	5	0,7
Komplikation ohne Fraktur	1	0,1
Gesamt	669	100

Tab. 5: Häufigkeiten der Befunde der Hemithoraxaufnahmen

Für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität (wie in 3.3.2.1. erläutert) wurden die Befunde den Kategorien „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ zugeordnet. Hierbei ergaben sich folgende Werte (siehe Tab. 6):

	Häufigkeit	Prozent
„Fraktur ja“	156	23,3
„Fraktur nein“	513	76,7
Gesamt	669	100

Tab. 6: Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen für die Errechnung der Sensitivität / Spezifität

Zur Überprüfung der zweiten und dritten Nullhypothese (wie in 3.4.2.2. beschrieben) wurden die Befunde „bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich“ und „Verdacht auf Fraktur“ unter dem Begriff „unsicherer Frakturbefund“ zusammengefasst. Die Befunde „Fraktur mit Komplikation“ und „Komplikation ohne Fraktur“ werden im Weiteren zusammen unter dem Begriff „Komplikationen“ geführt (siehe Tab. 7).

	Häufigkeit	Prozent
Sicher keine Fraktur	471	70,4
Unsicherer Frakturbefund	72	10,8
Definitiv Fraktur	120	17,9
Komplikationen	6	0,9
Gesamt	669	100

Tab. 7: Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen für weitere Statistik

4.8. Anzahl der frakturierten Rippen und Dislokation

In den Fällen der suspekten und sicheren Frakturbefunde wurde in 46,8% der Befund „eine Rippe gebrochen“, in 24,4% der Befund „zwei Rippen gebrochen“ und in 28,8% der Befund „drei oder mehr Rippen gebrochen“ dokumentiert. Bezuglich einer Dislokation konnten folgende Aussagen aus den Röntgenbefunden getroffen werden: In 34,0% wurde eine Dislokation betreffend keine Angabe gemacht. In 25,6% wurde

keine Dislokation angegeben, in 33,3% eine geringe Dislokation und bei 7,1% wurde eine mehr als geringe Dislokation dokumentiert.

4.9. Kombination mit konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme

In 61% der Fälle (405 Patienten) wurde neben der Hemithoraxaufnahme auch eine konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme angefertigt (siehe Abb. 12).

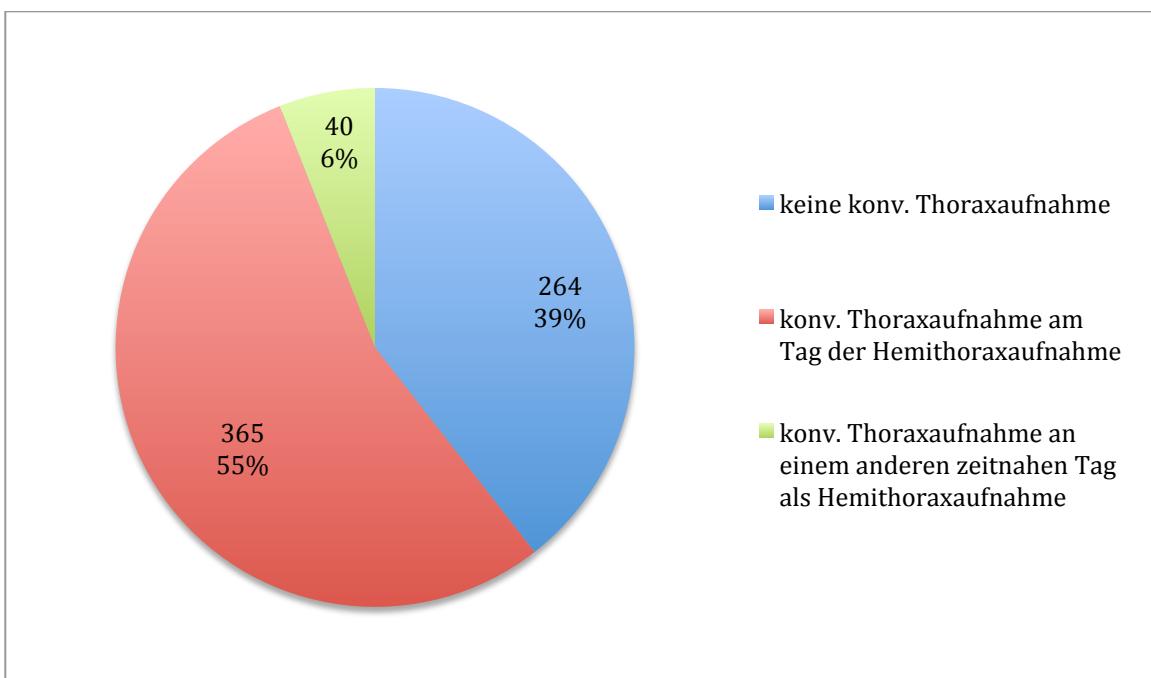


Abb. 12: Häufigkeiten der Kombination mit einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme in Prozent

4.10. Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen

Mit 84,9% wurde in den meisten Fällen keine Fraktur befundet (siehe Tab. 8).

	Häufigkeit	Prozent
Keine Fraktur	344	84,9
Bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich	1	0,2
Verdacht auf Fraktur	2	0,5
Definitiv Fraktur	48	11,9
Fraktur mit Komplikation	4	1
Komplikation ohne Fraktur	5	1,2
Anderer Frakturbefund als Hemithoraxaufnahmefbefund	1	0,2
Gesamt	405	100

Tab. 8: Häufigkeiten der Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme

Für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität wurden die Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme in die Kategorien „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ eingeordnet (siehe Kap. 3.3.2.1.) Daraus ergaben sich die folgenden Werte (siehe Tab. 9):

	Häufigkeit	Prozent
„Fraktur ja“	55	13,6
„Fraktur nein“	350	86,4
Gesamt	405	100

Tab. 9: Befundzuordnung der konventionellen Thoraxaufnahmen zur Errechnung von Sensitivität / Spezifität

4.11. Kombination mit Computertomographie

In 8% der Fälle wurde neben der Hemithoraxaufnahme auch eine CT-Untersuchung durchgeführt (siehe Abb. 13).

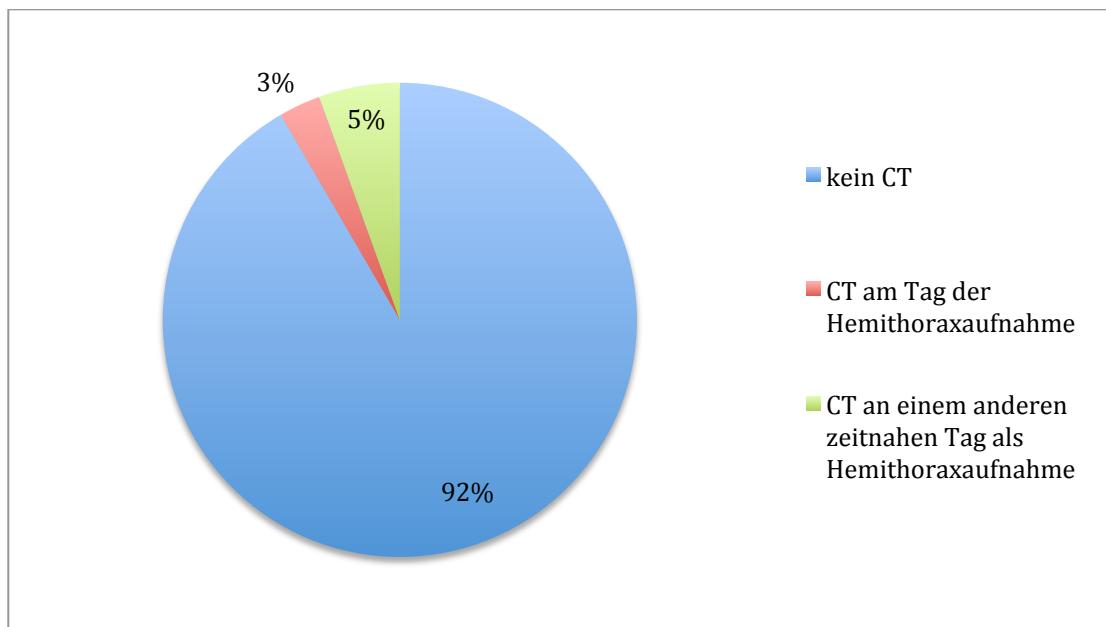


Abb. 13: Häufigkeiten der Kombination mit einer CT in Prozent

4.12. Befunde der Computertomographie

Die folgende Tabelle Nr. 10 zeigt die Befunde der CT-Aufnahmen:

	Häufigkeit	Prozent
Keine Fraktur	33	58,9
Definitiv Fraktur	16	28,6
Fraktur mit Komplikation	3	5,4
Komplikation ohne Fraktur	1	1,8
Anderer Frakturbefund als bei Hemithoraxaufnahme	3	5,4
Gesamt	56	100

Tab. 10: Häufigkeiten der Befunde der CT-Aufnahmen

Unsichere Befunde wie „bei schlechter Beurteilbarkeit kein sicherer Frakturausschluss möglich“ oder „Verdacht auf Fraktur“ wurden von den Radiologen nicht dokumentiert.

Für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität wurden die Befunde der CT-Aufnahmen in die Kategorien „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ eingeordnet (siehe Kap. 3.3.2.1.) Daraus ergaben sich folgende Werte (siehe Tab. 11):

	Häufigkeit	Prozent
„Fraktur ja“	22	39,3
„Fraktur nein“	34	60,7
Gesamt	56	100

Tab. 11: Befundzuordnung der CT-Aufnahmen für die Errechnung von Sensitivität / Spezifität

4.13. Komplikationen

Anhand der Befunde von Hemithoraxaufnahmen, konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen und CT konnten insgesamt 12 Patienten mit Komplikationen identifiziert werden (6 Pneumothoraces, 4 Hämatothoraces und 2 Kombinationen aus Pneumo- und Hämatothorax). Die folgende Tabelle Nr. 12 zeigt, mit welcher Bildgebung die Komplikation erkannt wurde.

Komplikation erkannt: + = ja, - = nein			
Fall Nr.	Hemithoraxaufnahme	Thoraxübersichtsaufnahme	CT
1	-	+	Nicht durchgeführt
2	+	Nicht durchgeführt	Nicht durchgeführt
3	+	+	Nicht durchgeführt
4	-	+	Nicht durchgeführt
5	-	+	Nicht durchgeführt
6	-	+	+
7	-	+	Nicht durchgeführt
8	-	-	+
9	+	+	+
10	+	-	Nicht durchgeführt
11	+	+	Nicht durchgeführt
12	+	+	Nicht durchgeführt
Gesamt	6 von 12 Aufnahmen	9 von 11 Aufnahmen	3 von 3 Aufnahmen

Tab. 12: Komplikationen und Erkennung in bildgebenden Verfahren

Mit der Hemithoraxaufnahme wurden 50% der Komplikationen auf den 12 Aufnahmen detektiert.

4.14. Befunddokumentation im Arztbrief

549 aller Hemithoraxaufnahmen (82,1%) wurden im Arztbrief der behandelnden Fachrichtung (Entlass- oder Verlegungsbefund) korrekt dokumentiert. 8 Befunde (1,2%) wurden falsch dokumentiert und 112 Befunde (16,7%) wurden im Arztbrief nicht erwähnt (siehe Abb. 14). Der Großteil der nicht dokumentierten Befunde war bei Patienten, bei denen keine Fraktur vorlag. Bei den falsch dokumentierten Befunden handelte es sich größtenteils um vom erhobenen Röntgenbefund abweichende Frakturangaben bezüglich Anzahl und Ort der frakturierten Rippen. Die Komplikationen wurden alle korrekt dokumentiert.

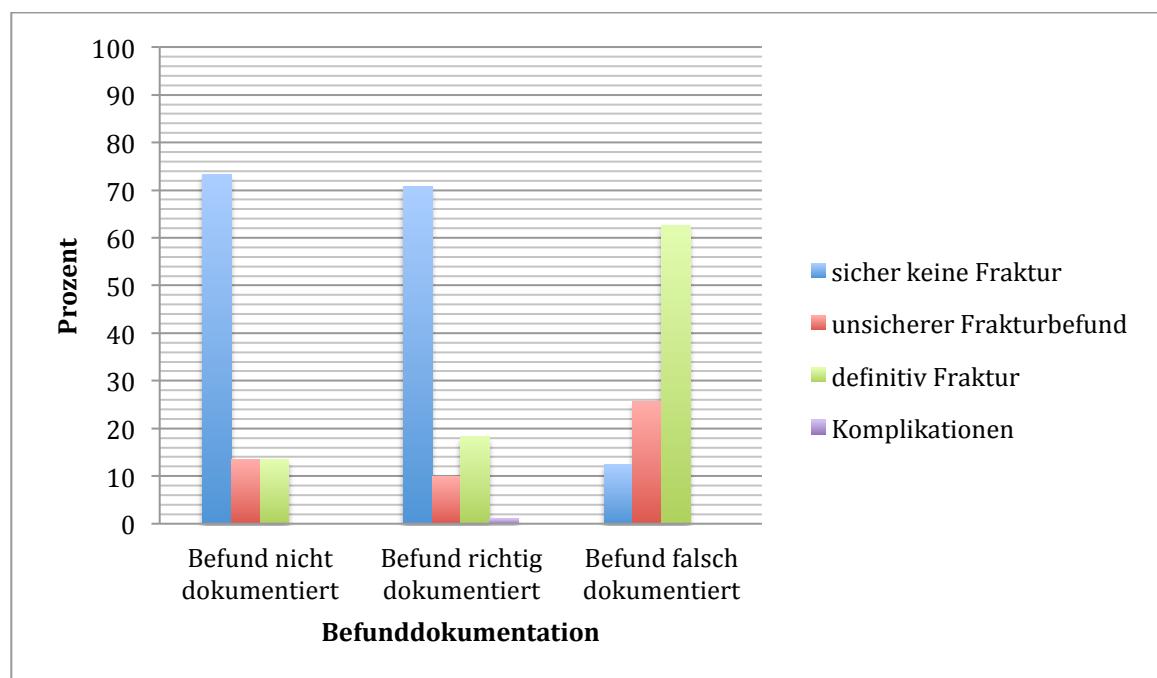


Abb. 14: Befunddokumentation in Abhängigkeit vom Befund der Hemithoraxaufnahme

4.15. Behandlungskonsequenz und therapeutische Maßnahmen

437 Patienten (65%) erhielten eine Behandlung, bei 232 Patienten (35%) wurde keine therapeutische Maßnahme angeordnet.

Die folgende Abbildung Nr. 15 zeigt den Zusammenhang zwischen Befund der Hemithoraxaufnahme und Behandlungshäufigkeit:

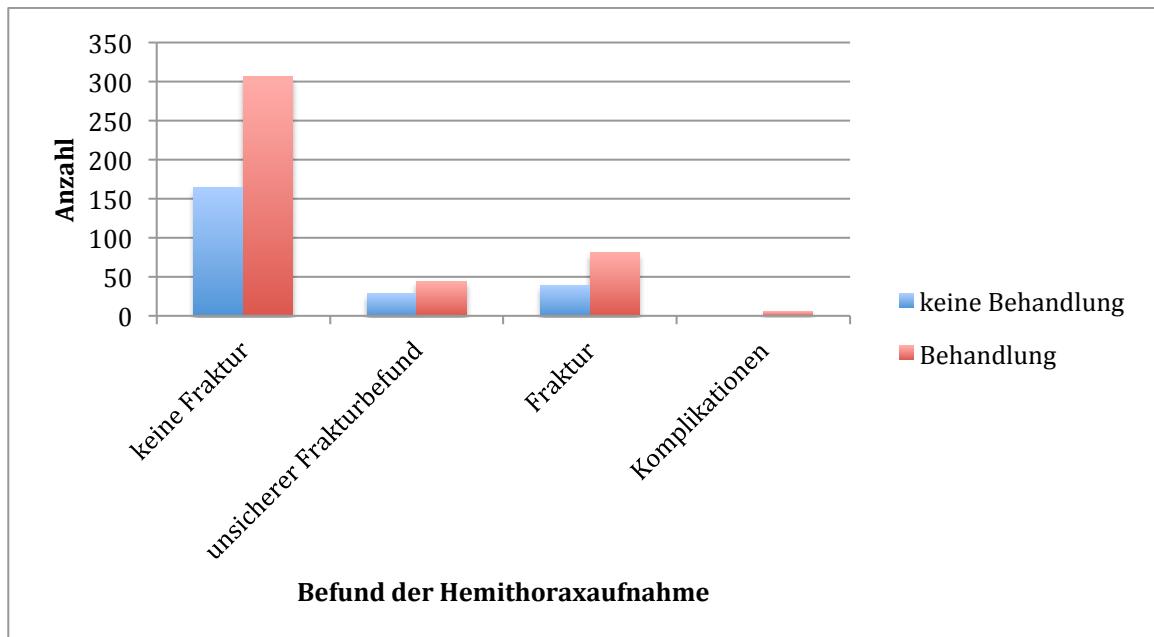


Abb. 15: Behandlung in Abhängigkeit vom Befund der Hemithoraxaufnahme

Von den Patienten ohne radiologischen Frakturnachweis in der Hemithoraxaufnahme erhielten 65% eine Behandlung. Von den Patienten mit unsicherem Frakturnachweis wurden 61,1%, von den Patienten mit sicherem Frakturnachweis 67,5% behandelt. Die Patienten mit Komplikationen wurden in allen Fällen behandelt.

Folgende Behandlungsmethoden kamen gemäß den Patientenakten bei den 437 behandelten Patienten zur Anwendung:

402 Patienten (92%) erhielten eine ausschließlich analgetische Behandlung (Stufe 1), bei 16 Patienten (3,7%) wurde zusätzlich eine radiologische Verlaufskontrolle verordnet (Stufe 2) und 19 Patienten (4,3%) wurden entweder stationär aufgenommen bzw. weitere Diagnostik wurde durchgeführt (Stufe 3) (siehe Abb. 16).

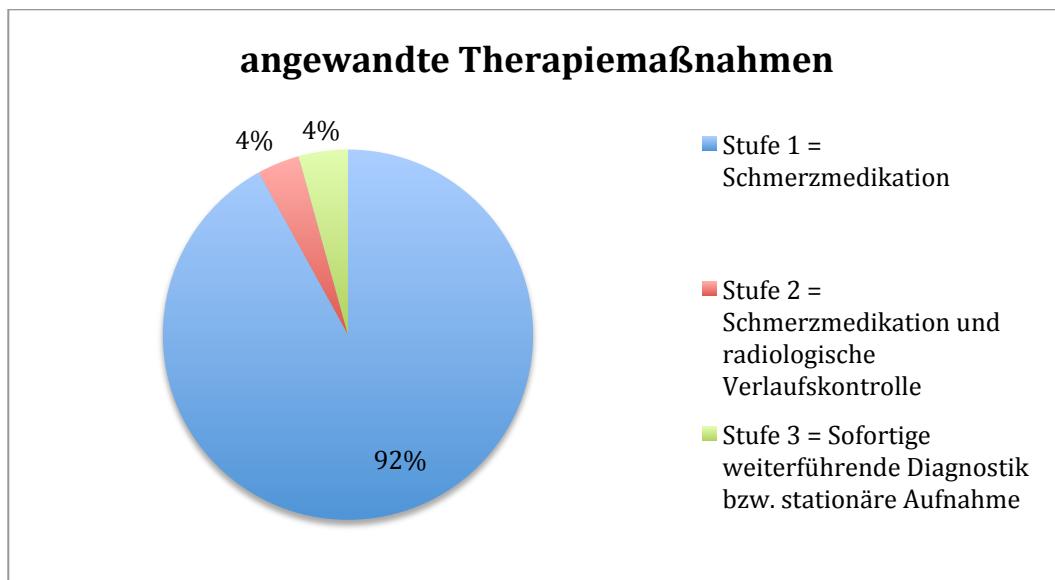


Abb. 16: Angewandte Therapiemaßnahmen in Prozent

Von den behandelten Patienten ohne radiologischen Frakturnachweis (306 Patienten) wurden 98% mit Stufe 1 und je 1 % mit Stufe 2 bzw. Stufe 3 therapiert.

Die Patienten mit unsicherem Frakturbefund (44 Patienten) erhielten in 93% eine Stufe 1-Therapie. Stufe 2-Therapie kam nicht zum Einsatz und in 7% wurde nach Stufe 3 behandelt.

Die Behandlung der Patienten mit Frakturnachweise (81 Patienten) verlief in 71,6% nach Stufe 1. 14,8% wurden gemäß Stufe 2, 13,6% wurden gemäß Stufe 3 therapiert.

Die Patienten mit Komplikationen (6 Patienten) wurden in 50% nach Stufe 1, in 16,7% nach Stufe 2 und in 33,3% nach Stufe 3 behandelt.

Die Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Therapiemaßnahmen abhängig vom Befund der Hemithoraxaufnahme.

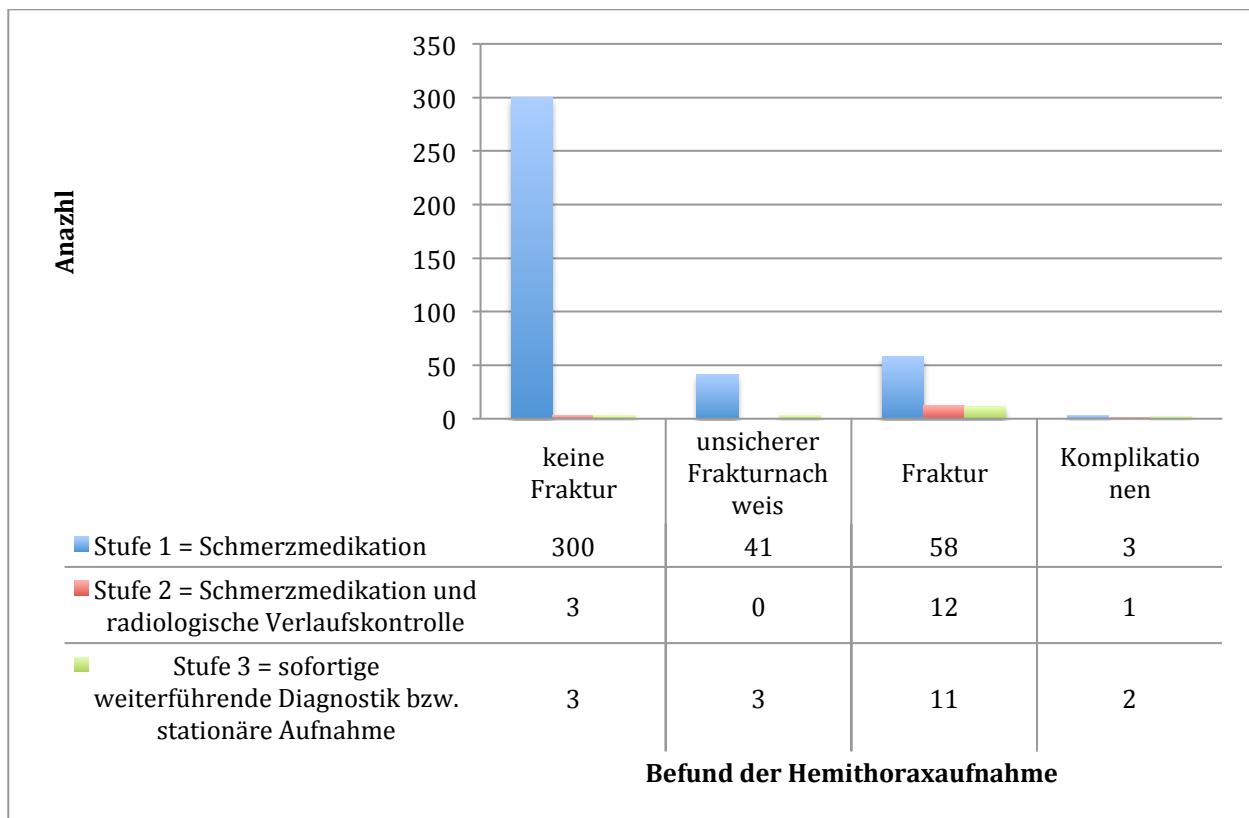


Abb. 17: Angewandte Therapiemaßnahmen in Abhängigkeit der Befunde der Hemithoraxauffnahmen

4.16. Überprüfung der ersten Nullhypothese

Erste Nullhypothese:

Die Befunde „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ werden bei der Hemithoraxauffnahme, konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme und CT gleich häufig gestellt, mit der Folge dass es keinen Unterschied in Sensitivität und Spezifität der drei bildgebenden Verfahren gibt.

Wie in Kapitel 3.3.2.1. beschrieben, wurden die verschiedenen Röntgenbefunde den Kategorien „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ zugeordnet um mit Hilfe der Vierfeldertafel die Sensitivität und Spezifität der Hemithoraxauffnahme bzw. der konventionellen Thoraxaufnahme in der Erkennung von Rippenfrakturen zu berechnen.

Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der Hemithoraxaufnahme konnten nur jene Patienten herangezogen werden, die neben der knöchernen Hemithoraxaufnahme auch eine CT-Untersuchung (Goldstandard) erhalten haben. Dies traf auf 56 Patienten zu (siehe Tab. 13).

Für die Hemithoraxaufnahme ergaben sich eine Sensitivität von 73% und eine Spezifität von 100%, um Rippenfrakturen korrekt zu erkennen. Bei einem p-Wert von 0.031 nach McNemar wird ein signifikantes Testergebnis angenommen und es kann gefolgt werden, dass anhand der CT signifikant mehr Rippenfrakturen erkannt wurden als mit der Hemithoraxaufnahme.

Detektion von Rippenfrakturen		CT		
		Fraktur ja	Fraktur nein	Gesamt
Hemithorax- aufnahme	Fraktur ja	16	0	16
	Fraktur nein	6	34	40
	Gesamt	22	34	n = 56

Tab. 13: Kreuztabelle für Berechnung von Sensitivität / Spezifität der Hemithoraxaufnahme

Sensitivität: $16/22 = 0,7272 \approx 73\%$

95%-KI für die Sensitivität: $n=22: 0,5412 \leq p \geq 0,9134$

Spezifität: $34/34 = 1 = 100\%$

Wert nach McNemar = 4,17

$p = 0.031$

Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme konnten nur die Patienten herangezogen werden, die sowohl eine konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme sowie eine CT-Untersuchung (Goldstandard) erhalten haben. Dies traf auf 39 Patienten zu (siehe Tab. 14).

Es ergab sich eine Sensitivität von 47% und eine Spezifität von 100% für die Detektion von Rippenfrakturen. Mit einem p-Wert von 0.008 nach McNemar ist von einem hoch signifikanten Unterschied in der Verteilung der Befundhäufigkeiten auszugehen. Die CT erkennt somit hoch signifikant mehr Rippenfrakturen als die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme.

Detektion von Rippenfrakturen		CT		
		Fraktur ja	Fraktur nein	Gesamt
Konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme	Fraktur ja	7	0	7
	Fraktur nein	8	24	32
	Gesamt	15	24	n = 39

Tab. 14: Kreuztabelle für Berechnung der Sensitivität / Spezifität der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme

Sensitivität: $7/15 = 0,4666 \approx 47\%$

95%-KI für Sensitivität: n=15: $0,2142 \leq p \geq 0,7191$

Spezifität: $24/24 = 1 = 100\%$

Wert nach McNemar = 7

p = 0.008

Es zeigte sich, dass ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeitsverteilung der Befunde „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ bei den untersuchten bildgebenden Verfahren besteht und dass sich die Sensitivitäten in der Detektion von Rippenfrakturen unterscheiden.

Die erste Nullhypothese wird signifikant abgelehnt.

4.17. Überprüfung der zweiten Nullhypothese

Zweite Nullhypothese:

Die Patienten werden unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleich häufig behandelt.

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests wurde überprüft, ob ein signifikanter Unterschied in der Behandlungshäufigkeit abhängig vom radiologischen Befund besteht (siehe Tab. 15).

		Behandlungskonsequenz		
		Keine Behandlung	Behandlung	Gesamt
Befund der Hemithorax-Aufnahme	Keine Fraktur	165	306	471
	Unsicherer Frakturbefund	28	44	72
	Definitiv Fraktur	39	81	120
	Komplikation	0	6	6
	Gesamt	232	437	669

Tab. 15: Kreuztabelle für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest

Chi = 4,026
 p = 0.259

Bei einem p-Wert von 0.259 wird von einem nicht signifikanten Ergebnis ausgegangen. Folglich liegt eine homogene Verteilung der Behandlungshäufigkeiten vor.

Die Behandlungskonsequenz ist damit unabhängig vom radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme.

Die zweite Nullhypothese wird angenommen.

4.18. Überprüfung der dritten Nullhypothese

Dritte Nullhypothese:

Die Patienten erhalten im Falle einer Behandlung unabhängig von ihrem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme gleiche Therapiemaßnahmen.

Zur Überprüfung der Validität der dritten Nullhypothese wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Hierzu wurde die Testvariable (Therapiemaßnahme) in eine Rangfolge bezüglich des Therapieaufwandes gebracht (siehe Tab. 16). Es wird davon ausgegangen, dass eine Schmerzmedikation plus Verlaufskontrolle (Stufe 2)

einen größeren therapeutischen Aufwand darstellt als die alleinige Schmerzmittelgabe (Stufe 1). Des Weiteren wird angenommen, dass eine sofortige weiterführende Diagnostik / stationäre Aufnahme eine aufwändigere Therapie darstellt als die Anordnung von Schmerzmedikation plus Verlaufskontrolle.

Es konnten die mittleren Zahlenränge verteilt auf die Gruppenvariable (Röntgenbefunde) errechnet werden.

	Befund der Hemithoraxaufnahme	Anzahl	Mittlerer Rang
Therapiemaßnahmen	Keine Fraktur	306	205,77
	Unsicherer Befund	44	216,94
	Definitiv Fraktur	81	263,22
	Komplikationen	6	311,83
	Gesamt	437	

Tab. 16: Kreuztabelle für den Kruskal-Wallis-Test, Gruppenvariable: Befund der Hemithoraxaufnahme, Testvariable: Behandlungsmethode

p = 0.000

Anhand der steigenden Rangzahlen bezüglich der Befunde und einem p-Wert von 0.000 stellte sich heraus, dass die Therapieform bei den behandelten Patienten hochsignifikant vom radiologischen Befund abhängt.

Patienten mit Komplikationen erhielten die aufwändigste Therapie. Patienten mit Frakturen wurden aufwändiger therapiert wie Patienten mit unsicherem Befund und Patienten ohne Fraktur wurden größtenteils nur analgetisch behandelt.

Die dritte Nullhypothese wird hochsignifikant abgelehnt.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Von den insgesamt 669 Patienten, die eine Hemithoraxaufnahme erhalten haben, waren 411 Männer und 258 Frauen. Das Durchschnittsalter lag bei 51 Jahren.

In 82,5% handelte es sich um eine ambulante Untersuchung, in der Mehrheit von Chirurgen angeordnet. In mehr als 90% wurde die Röntgenuntersuchung auf Grund des Verdachts auf eine traumaassoziierte Fraktur durchgeführt. Nur in 4,3% wurde eine pathologische Fraktur vermutet.

In etwas mehr als der Hälfte der Fälle wurde die rechte Thoraxhälfte radiologisch untersucht.

Bei 125 der untersuchten 669 Patienten (17,9%) wurde auf der Hemithoraxaufnahme eine Rippenfraktur / Rippenfrakturen festgestellt. Bei 10,3% der Patienten wurde ein unsicherer Befund erhoben: eine Fraktur konnte radiologisch weder ausgeschlossen noch sicher dargestellt werden. In 47% wurde ein einzelner Rippenbruch festgestellt, in 24% zwei Rippenbrüche und in 29% wurden drei oder mehr Rippenfrakturen diagnostiziert.

61% der Patienten erhielten eine zusätzliche konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme, 8% eine zusätzliche CT-Untersuchung.

Im Vergleich der radiologischen Befundhäufigkeiten von Hemithoraxaufnahme, konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme und CT zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede: In dem hierfür untersuchten Patientenkollektiv von 56 Patienten konnten anhand der CT signifikant mehr Rippenfrakturen als in den Hemithoraxaufnahmen ermittelt werden: Die Hemithoraxaufnahme erkannte 73% der Frakturen. Bei den untersuchten 39 Patienten, die sowohl eine Thoraxübersichtsaufnahme wie eine CT-Untersuchung erhielten, zeigte sich, dass anhand der Thoraxübersichtsaufnahmen 47% der durch die CT diagnostizierten Frakturen erfasst wurden. Bezuglich der Spezifität zeigten sich keine Unterschiede bei den drei Untersuchungen (je 100%).

12 Patienten wiesen Komplikationen auf (6 Pneumothoraces, 4 Hämatothoraces, 2 Kombinationen aus Pneumo- und Hämatothorax). Mit der knöchernen Hemithoraxaufnahme konnten 6 der 12 Komplikationen detektiert werden, mit der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme konnten auf den 11 durchgeführten Aufnahmen 9 der Komplikationen erfasst werden.

82% der Befunde der Hemithoraxaufnahmen wurden korrekt in den Arztbriefen der behandelnden Fachrichtung dokumentiert. Die restlichen Befunde wurden nicht oder unter falschen Angaben dokumentiert.

65% aller Patienten wurden behandelt, bei 35 % wurde keine Therapie begonnen. Die prinzipielle Behandlungskonsequenz zeigte sich unabhängig vom Befund der Hemithoraxaufnahme: Patienten mit Fraktur/en wurden nicht signifikant häufiger behandelt als röntgenologisch gesunde Patienten. Wurde jedoch behandelt, dann erhielten Patienten mit Frakturen und Komplikationen signifikant aufwändiger Behandlungsmethoden als Patienten ohne pathologischen Befund. Am häufigsten (92%) kam die Stufe 1 Therapie (Schmerzmedikation) zum Einsatz, in je 4 % wurde gemäß Stufe 2 (Schmerzmedikation und radiologische Verlaufskontrolle) und Stufe 3 (weiterführende Diagnostik sofort bzw. stationäre Aufnahme) behandelt.

6. Diskussion

6.1. Zusammensetzung des Patientenkollektivs

Bei Betrachtung des Patientenkollektivs fällt auf, dass die Mehrheit der Patienten männlich war (61 %). Dies deckt sich mit anderen Studien, bei denen ebenfalls das Patientenkollektiv nach Thoraxtrauma mehrheitlich aus Männern bestand [1,36,61]. Dies ist möglicherweise dadurch erklärbar, dass Männer im Vergleich zu Frauen häufiger Sportarten mit erhöhtem Verletzungsrisiko (z.B. Fußball, Motorsport) ausüben und riskantere Arbeiten z.B. auf Baustellen durchführen.

Das Durchschnittsalter lag mit 51 Jahren ähnlich bzw. etwas höher wie in vergleichbaren Studien [1,36,61].

Die Anordnung der Hemithoraxaufnahmen erfolgte in den allermeisten Fällen für ambulante Patienten aus der chirurgischen Notaufnahme. Es handelte sich fast ausschließlich um traumatologische Fragestellungen, nur in einzelnen Fällen wurde die Hemithoraxaufnahme bei Verdacht auf pathologische Frakturen angeordnet. Die Hemithoraxaufnahme scheint also primär nach Thorax-Traumata zum Einsatz zu kommen.

6.2. Diagnostische Aussagekraft

Ziel dieser Studie war es unter anderem herauszufinden, mit welcher diagnostischen Sicherheit Rippenfrakturen anhand von Hemithoraxaufnahmen erkannt werden.

Die Sensitivität in der Erfassung von Rippenfrakturen betreffend wiesen die untersuchten bildgebenden Verfahren statistisch signifikante Unterschiede auf (siehe Tab. 17):

Bildgebendes Verfahren	Erkannte Frakturen	Sensitivitäten
CT	22 von 22 (n=56)	100%
Hemithoraxaufnahme	16 von 22 (n=56)	73%
Konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme	7 von 15 (n=39)	47%

Tab. 17: Übersicht der Sensitivitäten der untersuchten bildgebenden Verfahren

Im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme scheint die Hemithoraxaufnahme ein geeignetes Verfahren in der Erfassung von Rippenfrakturen darzustellen. Im Vergleich zur CT ermittelte die Hemithoraxaufnahme allerdings nur 73% der Frakturen. Unter der Einschränkung, dass nur 56 Patienten eine CT-Untersuchung erhielten, scheint die CT der Projektionsradiographie somit überlegen zu sein.

Bei 10,3% der durchgeföhrten Hemithoraxaufnahmen konnte kein eindeutiger Befund erhoben werden d.h. eine Fraktur weder sicher nachgewiesen noch ausgeschlossen werden. Dies deutet auf eine Limitation der diagnostischen Aussagekraft dieser Aufnahmen mit beschränkter Information für den behandelnden Arzt hin. Ca. ein Zehntel der Hemithoraxaufnahmen wurde demnach durchgeführt ohne wesentlich zur Diagnosestellung beizutragen.

6.3. Therapeutische Relevanz der Hemithoraxaufnahme

Bezüglich des therapeutischen Verlaufs der Patienten ergaben sich interessante Ergebnisse: Die Behandlungshäufigkeit zeigte sich unabhängig vom radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme. Die Befunde der Hemithoraxaufnahmen scheinen demnach die behandelnden Ärzte in ihrer grundsätzlichen Frage nach Therapie nicht wesentlich zu beeinflussen. Vermutlich wird ein Behandlungsbeginn maßgeblich von klinischen Faktoren wie Symptomatik, Alter und Vorerkrankungen abhängig gemacht. An den Fällen der behandelten Patienten zeigte sich jedoch, dass diejenigen Patienten mit Rippenfrakturen und Komplikationen aufwändiger therapiert wurden als die Patienten mit unauffälliger Hemithoraxaufnahme: Sie erhielten häufiger

radiologische Kontrollen oder eine stationäre Betreuung als die Patienten ohne Frakturnachweis. Dass Patienten mit Komplikationen am aufwändigsten behandelt wurden, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese Patienten spezifische therapeutische Maßnahmen benötigen, die häufig eine stationäre Aufnahme und radiologische Kontrollen nötig machen. Dass die Patienten mit komplikationslosen Rippenfrakturen aufwändiger therapiert wurden als die Patienten ohne Rippenfrakturen lässt sich möglicherweise somit erklären: Patienten mit Rippenfrakturen bekommen vermutlich zum Ausschluss von verzögert auftretenden Komplikationen oder zur Beurteilung der knöchernen Heilungstendenz häufiger radiologische Verlaufskontrollen angeordnet. Eine radiologische Kontrolluntersuchung nach primärem radiologischen Fraktausschluss wird, falls angeordnet, vermutlich erst Wochen später bei anhaltender Schmerzsymptomatik oder sonstigen Komplikationen angeordnet und wurde in dieser Studie nicht erfasst.

Die doch hohe Anzahl der nicht dokumentierten (17%) bzw. falsch dokumentierten radiologischen Befunde (1%) in den Arztbriefen lassen eine wohl geringe klinische Relevanz des radiologischen Befundes vermuten.

6.4. Vergleichbare Studien in der Literatur

Im Folgenden werden sechs Studien näher erläutert, die sich ebenfalls mit der Frage nach der klinischen Relevanz der Diagnose von Rippenfrakturen bzw. der Therapie bei Rippenfrakturen beschäftigten. Die Literaturrecherche wurde online in der MEDLINE-Datenbank durchgeführt.

Davis, S., et al., Blunt chest trauma: utility of radiological evaluation and effect on treatment patterns. American Journal of Emergency Medicine, 2006 [16]

In dieser retrospektiven Studie aus den USA wurde ein Patientenkollektiv aus 233 Patienten mit leichtem stumpfen Thorax-Trauma untersucht. Die Studie ging ebenfalls der Frage nach, inwiefern die Therapie dieser Patienten von ihrem

radiologischen Thoraxbefund abhängig ist. Zudem wurde ebenfalls untersucht, wie sensitiv Rippenfrakturen in Hemithoraxaufnahmen erkannt werden.

In Bezug auf die Ermittlung der Sensitivität der Hemithoraxaufnahme in der Detektion von Rippenfrakturen zeigte die Studie einen von unserer Studie abweichenden Aufbau: es wurde ausgewertet, wie viele Frakturen die Ärzte aus der Notaufnahme auf den Röntgenbildern korrekt erkannten im Vergleich zu den Radiologen. Die Radiologenmeinung wurde sozusagen als Goldstandard definiert. Hier zeigte sich, dass die Notaufnahmearzte 59% der Frakturen korrekt erkannten und 33% der Frakturen übersehen hatten. Es stellt sich allerdings die Frage, wie sensitiv die Hemithoraxaufnahme selbst ist und ob die Radiologenmeinung einen adäquaten Goldstandard darstellt. Die Aussagekraft dieser Daten ist also kritisch zu betrachten. Weiterhin wurde statistisch überprüft, ob die Patienten, welche vom Notaufnahmearzt eine Fraktur diagnostiziert bekamen, signifikant anders therapiert wurden als die Patienten ohne Fraktur. Therapeutisch kam die Einnahme von nicht-rezeptpflichtigen Schmerzmitteln, NSAIDs, Opioden und Muskelrelaxantien zum Einsatz. Das Ergebnis zeigte, dass kein signifikanter Unterschied in der Anwendung der Therapiemaßnahmen zwischen den beiden Patientengruppen bestand. Diese Daten stützen also unser Ergebnis der geringen therapeutischen Relevanz des Röntgenbefundes.

Bhavnagri, S.J., et al., When and how to image a suspected broken rib. Cleveland Clinic Journal of Medicine, 2009 [7]

Diese Übersichtsarbeit aus den USA diskutiert - basierend auf Literaturrecherche - in welchen Fällen und mit welchen bildgebenden Verfahren vermutete Rippenfrakturen diagnostiziert werden sollten.

Bhavnagri et al. ziehen den Schluss, dass die Diagnose von Rippenfrakturen nach leichtem Thoraxtrauma klinisch irrelevant sei und für die weitere Therapie nicht entscheidend. Allerdings sei der radiologische Ausschluss von Begleitverletzungen und Komplikationen therapeutisch wichtig und es sollte hierauf der diagnostische Schwerpunkt gesetzt werden. Zur Diagnose von Begleitverletzungen und Komplikationen sollte primär die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme durchgeführt werden, bei Unklarheiten ist eine anschließende CT-Untersuchung zu erwägen. Ist

die sichere Diagnose einer Rippenfraktur für Arzt oder Patient wichtig (z.B. bei persistierenden Schmerzen), ist eine Hemithoraxaufnahme zu empfehlen.

Die folgende Abbildung Nr. 18 zeigt das empfohlene diagnostische Vorgehen bei Patienten, die ein Thoraxtrauma erlitten:

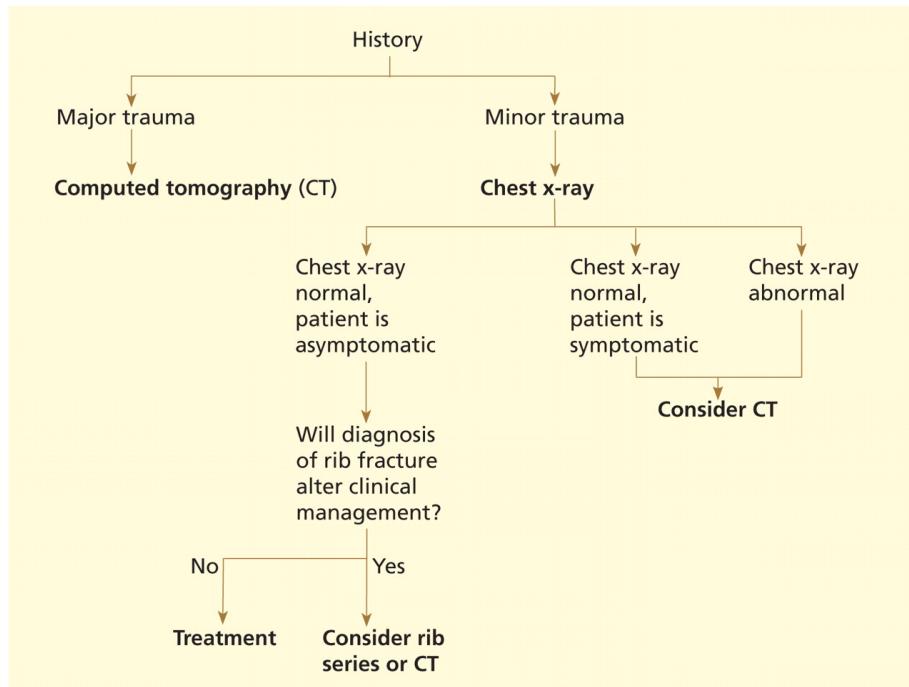


Abb. 18: Schematische Vorgehensweise bei Patienten mit Thoraxtrauma [7]

Diese Arbeit stärkt unsere Annahme, dass die Hemithoraxaufnahme eine geringe therapeutische Relevanz besitzt und nur in Ausnahmefällen durchgeführt werden sollte.

DeLuca, S.A., et al., Radiographic Evaluation of Rib Fractures. American Journal of Roentgenology, 1994 [18]

Dies ist eine ältere prospektive Studie aus den USA, bei der 100 Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma klinisch und radiologisch hinsichtlich Rippenfrakturen untersucht wurden. Die klinische Untersuchung und Anamnese erfolgte standardisiert, jeder Patient erhielt eine p.a. Thoraxübersichtsaufnahme und Hemithoraxaufnahme. Die Untersuchungsmethoden wurden nun hinsichtlich der Detektion von Rippenfrakturen und Komplikationen verglichen. Auch wurde der Einfluss des radiologischen Befundes auf die Therapie evaluiert. Die klinische

Untersuchung zeigte nur eine geringe Korrelation mit dem radiologischen Befund: Der untersuchende Arzt vermutete bei 66 Patienten eine Rippenfraktur - radiologisch wurden bei 29 Patienten Rippenfraktur/en festgestellt. Bei 28 Patienten wurde anhand der Hemithoraxaufnahme die Rippenfraktur/en diagnostiziert, nur in 13 Fällen war die Fraktur auch in der p.a. Aufnahme sichtbar. Bei 13 Patienten wurden Komplikationen festgestellt (u.a. Hämatothorax, Pneumothorax). Diese Komplikationen wurden via konventioneller p.a. Thoraxübersichtsaufnahme diagnostiziert, in nur 3 Fällen war die Komplikation auch in der Hemithoraxaufnahme zu erkennen. Die Therapie (bestehend aus verschiedenen analgetischen Verfahren) unterschied sich nicht zwischen den Patienten mit oder ohne unkomplizierter Fraktur, nur bei 3 Patienten mit Komplikationen änderte sich die Therapie auf Grund des radiologischen Befundes.

DeLuca et al. empfehlen ähnlich wie Bhavnagri et al. die primäre Durchführung einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme nach leichtem Thoraxtrauma zum Ausschluss von Komplikationen. Eine Hemithoraxaufnahme ist nur in solchen Fällen gerechtfertigt, bei denen eine definitive Diagnose von Rippenfrakturen wichtig und entscheidend ist wie z.B. BG-Fälle.

Diese Studie stützt damit unser Ergebnis, dass die Detektion von Komplikationen primär über die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme erfolgt, auch die höhere Sensitivität der Hemithoraxaufnahme in der Erkennung von Rippenfrakturen gegenüber der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme wird bestätigt. Bezuglich der Therapie zeigten sich ebenfalls ähnliche Ergebnisse im Vergleich zu unserer Studie.

Ein Kritikpunkt dieser Studie ist das relativ kleine Patientenkollektiv. Auch wurden die radiologischen Verfahren nur untereinander verglichen, nicht anhand eines Goldstandards wie der CT. Es bleibt also ungeklärt, wie viele Rippenfrakturen und Komplikationen von Hemithoraxaufnahme bzw. konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme übersehen wurden.

Sirmali, M., et al., A comprehensive analysis of traumatic rib fractures: morbidity, mortality and management. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, 2003 [61]

Es handelt sich um eine retrospektive Studie einer türkischen Arbeitsgruppe. Ziel der Studie war es, Mortalität und Morbidität von Rippenfrakturen sowie den geeigneten

Umgang und Therapie herauszufinden. Es wurden die Daten von allen Patienten evaluiert, die innerhalb von 2 Jahren auf Grund eines Thorax-Traumas im Krankenhaus vorstellig wurden (1417 Patienten). Radiologisch (mit konventionellem Röntgen und/oder CT) wurden in 548 Fällen Rippenfrakturen detektiert. Bei 72% der Patienten mit Rippenfrakturen wurden Komplikationen wie Pneumothorax, Hämatothorax und deren Kombination festgestellt. Die Patienten wurden in verschiedene Gruppen eingeteilt abhängig u.a. von der Anzahl der Frakturen und Alter. Es zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Komplikationen sowie der Mortalität und der Anzahl der gebrochenen Rippen. Laut Sirmali et al. sollten daher Patienten auf Grund einer erhöhten Komplikations- und Mortalitätsrate mit drei oder mehr gebrochenen Rippen stationär behandelt werden und ältere Patienten (≥ 60 Jahre) mit sechs oder mehr Frakturen sollten auf einer Intensivstation betreut werden.

Diese Studie proklamiert, dass abhängig von der Anzahl der gebrochenen Rippen und Alter unterschiedlich therapiert werden sollte. Hierfür sei die genaue Diagnose von Frakturanzahl und Komplikationen essentiell.

Auf die genaue Diagnosestellung wurde in dieser Studie leider nicht eingegangen. Es wurde nicht untersucht, wie viele Frakturen und Komplikationen jeweils im Röntgen und in der CT diagnostiziert wurden. Bezuglich der Mortalität ist anzumerken, dass ein Großteil der Patienten Begleitverletzungen wie Kopf- oder intraabdominelle Verletzungen aufwies, die sicherlich zur Mortalitätsrate beitrugen.

Entgegen unserer These, dass die genaue Diagnose von Rippenfrakturen für die Therapie irrelevant ist, formulierte diese Studie die Wichtigkeit der radiologischen Diagnose und deren Beeinflussung auf die Therapie.

Fabricant, L., et al., Prolonged pain and disability are common after rib fractures. The American Journal of Surgery, 2013 [22]

In dieser aktuellen Studie aus den USA wird die Häufigkeit eines anhaltenden Schmerzsyndroms (Schmerzen > 2 Monate) und schmerzbedingter Einschränkungen bei Patienten mit Rippenfrakturen evaluiert. Dafür wurden prospektiv 187 Patienten mit Rippenfrakturen anhand von Fragebögen (nach dem Trauma und 2 Monate später) auf Schmerzen und Einschränkungen in Alltag und Arbeit untersucht. Es sollte weiterhin überprüft werden, von welchen Parametern das Auftreten abhängt.

Es zeigte sich, dass 59% der Patienten eine verlängerte Schmerzsymptomatik und 76% eine verlängerte Einschränkungssymptomatik aufwiesen. Unter den Patienten mit isolierten Rippenfrakturen (ohne Begleitverletzungen oder Komplikationen) litten 64% unter verlängerter Schmerzsymptomatik und 66% unter verlängerter Einschränkungssymptomatik. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Häufigkeiten von Patienten mit und ohne Begleitverletzungen. Es wurde gefolgert, dass das Vorhandensein von Begleitverletzungen das Auftreten von einem Schmerzsyndrom und Einschränkungen nicht beeinflusst. Interessanterweise konnte auch kein Zusammenhang mit der Anzahl und Bilateralität der Frakturen festgestellt werden. Allerdings korrelierte das Auftreten der Symptome signifikant mit der Schmerzintensität in den ersten Tagen nach dem Unfall. Es stellt sich somit die Frage, ob die Inzidenz eines verlängerten Schmerz- und Einschränkungssyndroms bei intensivierter analgetischer Akuttherapie sinken würde und wie die analgetische Behandlung verbessert werden könnte.

Diese Studie verdeutlicht die Wichtigkeit einer guten symptomatischen Therapie bei Patienten mit Rippenfrakturen. Da Anzahl bzw. Bilateralität der Fraktur anscheinend nicht zur Entstehung eines verlängerten Schmerz- und Einschränkungssyndroms beitragen, ist deren radiologische Diagnose für das weitere therapeutische Vorgehen vermutlich nicht entscheidend.

Livingston, D.H., et al., CT Diagnosis of Rib Fractures and the Prediction of Acute Respiratory Failure. The Journal of Trauma, 2008 [44]

Es handelt sich um eine retrospektive Studie aus den USA. Ziel der Studie war es, herauszufinden, ob mit Hilfe einer genauen anatomischen Einteilung von Rippenfrakturen (Anzahl und Ort der Frakturen, Begleitverletzungen) mittels Thorax-CT im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme die pulmonale Morbidität und Mortalität genauer vorhergesagt werden können. Hierzu wurden konventionelle Thoraxübersichtsaufnahmen sowie CT-Aufnahmen von Patienten mit Rippenfrakturen nach Thorax-Trauma eines Zeitraumes von knapp 3 Jahren (388 Patienten) erneut beurteilt und mit den primär erhobenen Befunden verglichen. Anschließend wurden die Daten der Patienten bezüglich des Follow-Ups ausgewertet (Pneumonie, respiratorisches Versagen, Tod). Die CT-Untersuchung identifizierte 64% mehr Patienten mit Rippenfrakturen als die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme.

Wurden in den konventionellen Aufnahmen Rippenfrakturen festgestellt, so wurden im Durchschnitt bei diesen Patienten in der CT drei weitere Frakturen entdeckt. Es zeigte sich, dass die Mortalität und pulmonale Morbidität mit steigender Frakturanzahl (konventionelles Röntgen wie auch CT) zunimmt. Die Gesamtmortalität lag bei 6%. Patienten mit Frakturnachweis im konventionellen Röntgen wiesen eine vierfach höhere Mortalität auf gegenüber den Patienten ohne Frakturnachweis. Die pulmonale Morbidität war wiederum signifikant erhöht bei Nachweis von pleuralen oder parenchymalen Auffälligkeiten im konventionellen Röntgenbild. Es konnten keine erhöhte Mortalität und Morbidität bei den Patienten nachgewiesen werden, die eine unauffällige konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme hatten und die Diagnose mittels CT gestellt wurde. Es zeigte sich abschließend, dass anhand des Vorhandenseins von Rippenfrakturen oder pathologischen pleuralen oder parenchymalen Veränderungen in den konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen Mortalität und Morbidität besser vorhergesagt werden können als anhand der Ergebnisse der CT-Aufnahmen. Der Benefit exakter anatomischer Angaben bezüglich der Frakturen für die Identifikation von Risikopatienten ist also fraglich. Bezuglich der Sensitivität der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme im Vergleich mit der CT decken sich diese Ergebnisse mit den unsrigen. Des Weiteren stützt diese Studie unsere These, dass die exakte Diagnose von Rippenfrakturen für den weiteren Verlauf des Patienten wenig Relevanz besitzt.

6.5. Klinischer Stellenwert der Hemithoraxaufnahme

Die knöcherne Hemithoraxaufnahme scheint ein geeignetes Verfahren zur Detektion von Rippenfrakturen darzustellen. In unserer Studie wurden anhand der Hemithoraxaufnahme 73% der Frakturen festgestellt. Es ist jedoch bemerkenswert, dass in ca. 10% die Befunde bezüglich einer Fraktur unklar („Fraktur kann nicht sicher ausgeschlossen werden“ und „Verdacht auf Fraktur“) waren, das heißt ein beträchtlicher Teil der Untersuchungen trug nicht bis kaum zur Diagnosefindung bei. Auch ist die diagnostische Sensitivität wesentlich von der Erfahrung des Betrachters abhängig: Freed et al. untersuchten die Häufigkeit von radiologisch übersehenen Frakturen. Gemäß seinen Untersuchungen waren Rippenfrakturen die am häufigsten übersehenen Frakturen, 16 der 23 übersehenen Rippenfrakturen wurden auch auf den Hemithoraxaufnahmen primär nicht entdeckt und erst bei erneuter Beurteilung durch einen erfahrenen Radiologen festgestellt [23].

Die generelle Frage muss geklärt werden, inwiefern eine Diagnose von Rippenfrakturen bei leichten Traumata relevant ist. Eine Diagnose zeigt dann Relevanz, wenn sie eine therapeutische Konsequenz hat.

Bezüglich der Relevanz des radiologischen Befundes für das therapeutische Vorgehen gibt es laut Studienlage unterschiedliche Meinungen:

Gemäß einigen Studien erhalten Patienten mit oder ohne Rippenfrakturen unabhängig vom radiologischen Befund dieselbe symptomatische Therapie v.a. bestehend aus adäquater Analgesie [15,18,19,67].

Kara et al. wiederum betonte die Relevanz der Diagnose für die Behandlung: Patienten ohne Fraktur erhielten nur NSAIDs, Patienten mit Rippenfrakturen wurden stationär aufgenommen und erhielten eine interkostale Nervenblockade [35].

Lee et al. äußerte die Meinung, dass Patienten mit drei oder mehr Rippenbrüchen von einer Verlegung in ein Traumazentrum profitieren würden [42].

Laut Thompson et al. sollte die Frage nach einer stationären Behandlung von klinischen Faktoren wie Alter und Krankengeschichte abhängig gemacht werden und nicht vom Vorliegen einer Fraktur [67].

Einige Studien kamen zu dem Schluss, dass die genaue Anzahl der gebrochenen Rippen zur Abschätzung von Mortalität und Morbidität wichtig ist und die Therapie beeinflusse. Besonders ältere Menschen würden von einer aggressiveren Therapie bei multiplen Rippenfrakturen profitieren [6,10]. Mehrere Arbeiten zeigten einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rippenfrakturen und der Mortalität [6,10,44,74]. Karadayi et al. konnte diesen Zusammenhang nicht nachweisen [36]. In Bezug auf das erhöhte Auftreten von pulmonalen Komplikationen wie Pneumonie und Lungenkontusion mit steigender Frakturanzahl herrscht laut Studienlage Uneinigkeit [1,10,44,61,74]. In einer Studie zeigte sich eine erhöhte Mortalität bei Fraktur/en der oberen Rippen, die Mortalität sank je tiefer die Fraktur lag [4].

Schwerwiegende Thorax-Traumata, Komplikationen und Begleitverletzungen erfordern meist spezielle therapeutische Verfahren wie Thorax-Drainage oder Operation. Die Diagnostik von Komplikationen und Begleitverletzungen besitzt also einen hohen Stellenwert. Thompson et al. nennt in seiner Studie den Ausschluss von Komplikationen bei Thorax-Trauma als diagnostisches Ziel der Röntgenaufnahmen, nicht die Detektion von Rippenfrakturen [67]. In einer weiteren Studie wurden nur Patienten mit Komplikationen stationär behandelt, Patienten mit isolierten Rippenfrakturen wurden ambulant behandelt [15].

In der Erkennung von Komplikationen scheint die Hemithoraxaufnahme nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, hier scheint die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme überlegen [18]. Eine gute radiologische Darstellungsmethode von thorakalen Verletzungen und deren Komplikationen wird der CT zugesprochen [3,20,55,70].

Unabhängig von der therapeutischen Konsequenz kann die Diagnose von Rippenfrakturen wichtig und entscheidend sein - so z.B. bei berufsgenossenschaftlichen Fällen. In unserer Studie betraf dies 56 Patienten (8,4%). Hier entscheidet die Diagnose über Schadensersatzzahlungen und mögliche juristische Konsequenzen.

Ebenso kann die Diagnose für den Patienten selbst wichtig sein. Eventuell sind Schmerzen und Tätigkeitseinschränkungen leichter bei der Diagnose einer Rippenfraktur zu akzeptieren als bei einer vermuteten Rippenprellung oder sonstiger klinischer Vermutungen. Auch die gesellschaftliche Akzeptanz von Arbeits- und Alltagsausfällen ist möglicherweise größer bei einer nachgewiesenen Fraktur.

6.6. Vor- und Nachteile der unterschiedlichen diagnostischen Verfahren

Wie in der Einleitung beschrieben, weist die alleinige klinische Untersuchung keine ausreichende diagnostische Sicherheit in der Evaluation möglicher Rippenfrakturen auf. Die Diagnose wird mit Hilfe von bildgebenden Verfahren gestellt, deren Stärken und Schwächen noch einmal gegenüber gestellt werden sollen.

Ein optimales bildgebendes Verfahren wäre idealerweise gekennzeichnet durch:

- hoch sensitive und spezifische Detektion von Rippenfrakturen und deren assoziierte Komplikationen wie Pneumo- und Hämatothorax
- keine oder möglichst geringe Strahlenexposition
- standardisierter Untersuchungsablauf mit guter Reproduzierbarkeit
- gute Dokumentationsmöglichkeit
- hohe Verfügbarkeit verbunden mit geringem zeitlichen und finanziellem Aufwand

6.6.1. Hemithoraxaufnahme

Wie in der Einleitung erläutert, stellt die Hemithoraxaufnahme auf Grund der Weichteilstrahlung ein geeignetes Verfahren zur Darstellung der knöchernen Anteile des Brustkorbs dar. Es lassen sich im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme mehr Rippenfrakturen nachweisen. Allerdings ist auf

Grund der niedrigen Röhrenspannung das Lungengewebe schwieriger zu beurteilen und pulmonale und pleurale Komplikationen sind im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme schwieriger zu erkennen. Die Darstellung der knorpeligen Rippenanteile ist limitiert. Die Strahlenexposition ist mit ca. 0,2 mSv 5-10mal höher als die der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme. Die Hemithoraxaufnahme ist innerhalb weniger Minuten durchführbar und mit geringem Kostenaufwand verbunden.

6.6.2. Konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme

Auf Grund der Hartstrahltechnik ist die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme eine geeignete Methode um das Lungengewebe und Pleuraverletzungen darzustellen. Rippenfrakturen werden dagegen nur mit einer Sensitivität von ca. 23 - 50 % erkannt [3,44,57]. Die knorpeligen Rippenanteile können nicht dargestellt werden. Die Strahlenexposition ist mit 0,02 – 0,1 mSv relativ gering. Für die Untersuchung sind nur einige Minuten einzuplanen.

6.6.3. Computertomographie

Mit der CT lassen sich Rippenfrakturen überlagerungsfrei und kontrastreich darstellen. Es ist eine deutlich höhere Sensitivität beschrieben als für die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme [30,44,72]. Auch können im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen die knorpeligen Rippenanteile gut dargestellt werden. Die CT gilt als das Verfahren der Wahl zur Darstellung bzw. zum Ausschluss von Organverletzungen wie z.B. Lungen- oder Gefäßverletzungen: In einer Studie von Exadaktylos et al. zeigten sich bei der Hälfte der Patienten mit einer unauffälligen Thoraxübersichtsaufnahme multiple Verletzungen in der CT. In den Fällen der auffälligen Thoraxübersichtsaufnahmen wurden mittels der CT weitere (auf der Thoraxübersichtsaufnahme nicht sichtbare) Verletzungen festgestellt [20].

Wegen der hohen Strahlenexposition von ca. 8 mSv sowie im Vergleich zur konventionellen Radiographie relativ hoher Kosten stellt die CT jedoch kein Routineverfahren bei leichtem stumpfen Thoraxtrauma dar. Diese Untersuchung ist Patienten mit schweren Traumata oder suspekten Befunden in der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme vorbehalten [3]. Der Zeitaufwand ist für die CT größer als für die Radiographie, die Verfügbarkeit ist in der Regel deutlich geringer. Bei der CT können Kontraindikationen hinsichtlich der Gabe von intravenösem Kontrastmittel bestehen. Bei Nierenfunktionsstörungen, Hyperthyreose und Kontrastmittelallergie sollte dieses nicht eingesetzt werden [29]. Zum Nachweis von Rippenfrakturen ist zwar kein Kontrastmittel erforderlich, ein Nativ-CT schöpft jedoch nicht das diagnostische Potential hinsichtlich traumatologischer Fragestellungen aus.

6.6.4. Sonographie

In der Literatur wird die Sensitivität in der Erkennung von Rippenfrakturen mit 80% - 90% angegeben [28,57]. Es können sowohl die knöchernen wie auch die knorpeligen Rippenanteile dargestellt werden und die Rippen können im Gegensatz zu den anderen radiologischen Verfahren parallel zu ihrer Achse begutachtet werden [28,57]. Frakturen der knorpeligen Rippenanteile sind wahrscheinlich auf Grund der schlechten radiographischen Darstellbarkeit unterdiagnostiziert [28,47]. In der Detektion eines Hämatothorax sind die Sonographie und die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme gemäß Ma et al. gleichwertige bildgebende Verfahren mit einer jeweiligen Sensitivität von 96% und einer Spezifität von 100% [46]. Auch Röthlin et al. demonstrierte den Benefit des Ultraschalls in der Detektion eines Hämatothorax [59]. Bereits Flüssigkeitsmengen von 20 ml können detektiert werden [59].

Als großer Vorteil der Sonographie ist die fehlende Exposition ionisierender Strahlung zu nennen. Zudem sind Ultraschallgeräte mittlerweile in jeder Notaufnahme und Station zugänglich und können leicht transportiert werden.

Zu den Nachteilen der Sonographie gehört, dass durch den recht kleinen Bildausschnitt der Brustkorb nur ausschnittsweise beurteilbar ist und nicht wie mit der Radiographie vollständig abgebildet werden kann. Durch Überdeckung der ersten

ventralen Rippe durch die Klavikula und durch Überlagerung der oberen dorsalen Rippen durch die Skapula sind bestimmte Areale des knöchernen Thorax schwer darzustellen. Abhängig von der körperlichen Konstitution des Patienten kann eine sonographische Beurteilung der Brustwand schwierig sein. So sind z.B. adipöse Menschen auf Grund der limitierten Tiefenauflösung des Ultraschalls sowie unruhige Patienten schwieriger zu untersuchen. Bei stark schmerhaften Verletzungen kann die Untersuchung durch den Druck des Schallkopfes für den Patienten sehr unangenehm sein und die Untersuchung kann eventuell nicht durchgeführt werden. Die Sensitivität und Genauigkeit der Sonographie hängt maßgeblich vom Untersucher ab. Die Ultraschallaufnahmen werden nicht standardisiert generiert, es entsteht kein einheitliches Bild wie es bei der Radiographie der Fall ist. Welche Areale untersucht werden und wie gut die einzelnen Körperteile bildhaft gemacht werden, ist untersucher- und erfahrungsabhängig. Da auch nur einzelne Aufnahmen uneinheitlich gespeichert werden, ist eine Zweitbeurteilung nur eingeschränkt realisierbar. Die Reproduzierbarkeit der sonographischen Befunde ist damit im Gegensatz zur Radiographie wesentlich erschwert.

Bei der sonographischen Beurteilung des Thorax sind einige diagnostische Fehlerquellen zu beachten so kann z.B. leicht die Rippenkante mit der Pleura verwechselt werden [28]. Ca. 2-3 Monate intensive sonographische Übung scheint für die grundlegende Beurteilung von Thorax-Traumata erforderlich zu sein [59]. Für eine ausführliche Untersuchung des Thorax sind ca. 10-15 min einzuplanen, der zeitliche Aufwand liegt somit deutlich oberhalb der Radiographie.

6.7. Empfehlungen für den klinischen Alltag

Bei Patienten mit leichtem stumpfem Thorax-Trauma sollte immer primär neben der Anamnese eine klinische Untersuchung erfolgen. Besteht nach körperlicher Untersuchung der Verdacht auf pulmonale oder pleurale Verletzungen mit oder ohne Rippenfrakturen bzw. können diese nicht ausgeschlossen werden, sollte eine weitere Diagnostik anhand von bildgebenden Verfahren durchgeführt werden.

Da frakturassoziierte Komplikationen wie Pneumo- oder Hämatothorax eventuell spezifische therapeutische Maßnahmen erfordern, ist der Ausschluss dieser

Komplikationen essentiell. Der Ausschluss von pulmonalen und pleuralen Verletzungen sollte unserer Meinung nach primär mit einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme in zwei Ebenen erfolgen. Zeigt die Thoraxübersichtsaufnahme Auffälligkeiten in Bezug auf Weichteilverletzungen, kann eine anschließende CT-Untersuchung für die weitere Beurteilung erforderlich sein. Nach schweren thorakalen Traumata sollte stets primär eine CT-Untersuchung zum Ausschluss von schwerwiegenden Verletzungen ausgeführt werden. Als möglicher Richtwert für die CT-Indikation eines Thoraxtraumas gilt z.B. eine Geschwindigkeit von mehr als 50 km/h bei Verkehrsunfällen bzw. ein Sturz aus mehr als sieben Meter Höhe [21]. Wenn anhand der primär durchgeführten konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme keine Rippenfraktur/en nachgewiesen werden können, die radiologische Diagnose von Rippenfrakturen aber aus speziellen forensischen Gründen z.B. im Rahmen eines BG-Falles oder einer Begutachtung erforderlich ist, dann wäre eine Hemithoraxaufnahme prinzipiell vertretbar. Auf Grund der deutlich höheren Sensitivität sollte aber trotz der höheren Strahlenexposition in diesen speziellen Ausnahmefällen dennoch der CT der Vorzug gegeben werden. Diese Fälle sind jedoch deutlich in der Minderheit, in unserem Kollektiv waren lediglich 8,4% der Fälle berufsgenossenschaftliche Unfälle.

Bei geeigneten Patienten und geübten Ultraschallern kann die Sonographie zusätzlich bei unklaren Befunden, für die Beurteilung der ventralen knorpeligen Thoraxregion und zum thorakalen Flüssigkeitsnachweis angewandt werden [8]. Auch kann die Sonographie auf Grund der fehlenden Strahlenexposition bei Kindern oder Schwangeren vermehrt eingesetzt werden.

6.8. Stärken und Schwächen der Studie

Eine Stärke dieser Studie ist die Größe des untersuchten Patientenkollektivs. Die Auswertung von 669 Patienten aus einem Untersuchungszeitraums von 2 Jahren ermöglicht repräsentative Ergebnisse.

Unseres Wissens nach wurde erstmalig in der Literatur die klinische Relevanz des radiologischen Nachweisen von Rippenfrakturen an einem Patientenkollektiv dieser Größenordnung untersucht.

Als Schwäche dieser Studie ist das retrospektive Design zu nennen. Auf Grund dessen liegt keine standardisierte Befunddokumentation und Speicherung der Daten im Krankenhausinformationssystem (SAP) vor. Die zum Teil lückenhafte Dokumentation von Befunden und Behandlungsmaßnahmen erschwerten zusätzlich das klinische Follow-Up der Patienten: Möglicherweise wurden Therapieempfehlungen wie z.B. die Einnahme von nichtverschreibungspflichtigen Analgetika bei Entlassung den Patienten mündlich mit auf den Weg gegeben ohne dass diese Therapie schriftlich dokumentiert wurde. Zudem konnte nicht untersucht werden, ob die Patienten zeitlich verzögerte Komplikationen wie Pseudarthrose oder Pneumonien entwickelten oder wie gut oder schlecht eine Behandlung geholfen hat. Auch ob spätere radiologische Untersuchungen durchgeführt wurden, ist ungewiss.

Die Ergebnisse unserer Studie beruhen auf den ursprünglichen Befunden der damals zuständigen Radiologen, es wurde keine erneute Begutachtung der Bilder vorgenommen. Die Befunderhebung wurde in der Regel von Weiterbildungsassistenten durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass ein erfahrener Facharzt mehr pathologische Veränderungen erkannt hätte, und somit das diagnostische Potential der Hemithoraxaufnahme in Wirklichkeit höher ist als unsere Auswertung ermittelte.

In Bezug auf die Behandlungskonsequenz und die angewendeten Therapiemaßnahmen wurde nur der Zusammenhang mit dem radiologischen Befund der Hemithoraxaufnahme untersucht. Der Einfluss von anderen Parametern auf die Therapie wie das klinische Bild und die Beschwerdesymptomatik der Patienten wurden nicht ermittelt. Es wäre interessant gewesen, z.B. anhand von Schmerzskalen den Zusammenhang zwischen Beschwerdebild und Behandlung statistisch zu evaluieren.

In Bezug auf die Berechnung von Sensitivität und Spezifität der bildgebenden Verfahren in der Detektion von Rippenfrakturen gibt es Limitationen: Für eine solche Berechnung wird ein „Gold-Standard“ benötigt um die Befunde vergleichen zu

können. Uns stand hierfür die CT zur Verfügung. Trotz wissenschaftlich belegter hoher diagnostischer Aussagekraft in der Evaluation thorakaler Traumata weist auch diese Methode wie jedes bildgebende Verfahren letztendlich eine begrenzte Sensitivität und Spezifität auf. Eine optimale Vergleichsmethode wäre die direkte Darstellung des Situs durch operative Brustkorberöffnung oder Obduktion. Dies wurde verständlicherweise auf Grund der Art der Verletzungen bei keinem der Patienten durchgeführt. Auch bei einer prospektiven Datenerhebung wäre diese Methode als Referenzstandard natürlich moralisch und ethisch nicht vertretbar.

Da nur 56 Patienten von 669 Patienteneine CT-Untersuchung erhalten hatten, konnte für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität der Hemithoraxaufnahme nur dieses relativ kleine Kollektiv herangezogen werden. Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme lagen uns sogar nur die Daten von 39 Patienten vor (die sowohl eine CT-Untersuchung als auch eine konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme erhielten). Die Aussagekraft der diagnostischen Wertigkeit der untersuchten Verfahren ist also auf Grund der relativ geringen Fallzahlen entsprechend eingeschränkt.

Ein prospektiver Vergleich von Hemithoraxaufnahme, konventioneller Thoraxübersichtsaufnahme und CT mit größeren Fallzahlen ist praktisch nicht möglich, da bei thorakalen Bagatelltraumata die Durchführung aller drei radiologischen Untersuchungen insbesondere der CT aus Strahlenschutzgründen ethisch nicht vertretbar ist.

Über die Detektion von Komplikationen anhand unterschiedlicher radiologischer Verfahren konnte in dieser Studie keine sichere Aussage getroffen werden. Nur 3 Patienten mit Komplikationen hatten auch eine CT-Untersuchung bekommen, so dass bei den insgesamt lediglich 12 Patienten mit Komplikationen keine aussagekräftige statistische Analyse möglich war. Um eine statistisch signifikante Aussage über die Detektion von Komplikationen und Begleitverletzungen treffen zu können, sind größere Patientenzahlen erforderlich.

7. Zusammenfassung

Diese Studie untersuchte retrospektiv alle Patienten, die innerhalb von 2 Jahren eine Hemithoraxaufnahme am UKR erhielten. Es wurden 669 Patienten in die Studie eingeschlossen. Die Hemithoraxaufnahme ist eine Röntgenaufnahme einer Thoraxhälfte in Weichstrahltechnik zur optimierten Darstellung der knöchernen Brustkorbanteile im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme in Hartstrahltechnik. Die Hauptindikation stellt der klinische Verdacht auf Rippenfrakturen dar.

Es sollte untersucht werden, welchen klinischen Nutzen die Hemithoraxaufnahme hat. Diesbezüglich wurde die diagnostische Sensitivität und Spezifität der Hemithoraxaufnahme in der Erkennung von Rippenfrakturen im Vergleich zur konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme und CT evaluiert. Die CT wurde hierfür als Goldstandard festgelegt. Ferner wurde die Relevanz des Befundes der Hemithoraxaufnahme für das therapeutische Vorgehen untersucht.

Es zeigte sich, dass die CT signifikant die meisten Rippenfrakturen entdeckte, gefolgt von Hemithoraxaufnahme und zuletzt der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme. Verglichen mit der CT erkannte die Hemithoraxaufnahme 73% der Frakturen, die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme erkannte dagegen nur 47% der Frakturen. Es muss allerdings beachtet werden, dass für diese Berechnungen ein relativ kleines Patientenkollektiv von 56 bzw. 39 Patienten herangezogen werden konnte (56 Patienten erhielten zusätzlich zur Hemithoraxaufnahme eine CT, nur 39 Patienten erhielten sowohl eine zusätzliche CT und konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme).

Bezüglich der therapeutischen Relevanz ergaben sich folgende Ergebnisse: Die Behandlungshäufigkeit war unabhängig vom Befund der Hemithoraxaufnahme. Das heißt, dass die Patienten mit Frakturnachweis nicht signifikant häufiger behandelt wurden als die Patienten ohne Frakturnachweis. Jeweils ca. 65% der Patienten mit oder ohne Fraktur wurden einer Behandlung zugeführt, bei den restlichen Patienten wurde keine Therapie begonnen. Für die Behandlungsentscheidung scheint somit eher der klinische Aspekt wie die Beschwerdesymptomatik eine Rolle zu spielen als der radiologische Frakturnachweis. Bei den Patienten, die behandelt wurden, zeigte sich, dass die Patienten mit Komplikationen und Frakturen aufwändiger behandelt

wurden als die Patienten ohne Fraktur. Diese Patienten erhielten signifikant häufiger radiologische Kontrolluntersuchungen und stationäre Aufnahmen. Dies ist vermutlich auf die Notwendigkeit von spezifischen Therapiemaßnahmen bei Komplikationen zurückzuführen.

Auf Grund unserer Daten und in Übereinstimmung mit anderen Studien empfehlen wir eine strenge Indikationsstellung für die Hemithoraxaufnahme. Patienten mit leichten Thorax-Traumata sollten primär zum Ausschluss von Komplikationen wie Hämatothorax und Pneumothorax anhand einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme untersucht werden. Sollte die Diagnose von Rippenfrakturen für das weitere Vorgehen wichtig sein und anhand der Thoraxübersichtsaufnahme kein Frakturnachweis gelingt – dann stellt die Hemithoraxaufnahme ein geeignetes Verfahren zum Frakturnachweis dar. Die CT weist jedoch eine signifikant höhere Sensitivität auf, so dass dieser Untersuchung trotz der höheren Strahlenexposition zum Ausschluss oder Nachweis einer Rippenfraktur der Vorzug zu geben ist.

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Effektive Gesamtkörperdosis bei radiologischen Untersuchungen [54]	14
Tab. 2: Vierfeldertafel - allgemeines Schema.....	35
Tab. 3 : Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen in Kategorien	36
Tab. 4: Einteilung der Therapiemaßnahmen in Therapiestufen	38
Tab. 5: Häufigkeiten der Befunde der Hemithoraxaufnahmen	41
Tab. 6: Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen für die Errechnung der Sensitivität / Spezifität.....	42
Tab. 7: Befundzuordnung der Hemithoraxaufnahmen für weitere Statistik ..	42
Tab. 8: Häufigkeiten der Befunde der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme	44
Tab. 9: Befundzuordnung der konventionellen Thoraxaufnahmen zur Errechnung von Sensitivität / Spezifität.....	44
Tab. 10: Häufigkeiten der Befunde der CT-Aufnahmen	45
Tab. 11: Befundzuordnung der CT-Aufnahmen für die Errechnung von Sensitivität / Spezifität	46
Tab. 12: Komplikationen und Erkennung in bildgebenden Verfahren	46
Tab. 13: Kreuztabelle für Berechnung von Sensitivität / Spezifität der Hemithoraxaufnahme	51

Tab. 14: Kreuztabelle für Berechnung der Sensitivität / Spezifität der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme.....	52
Tab. 15: Kreuztabelle für Chi-Quadrat-Unabhängigkeits-Test.....	53
Tab. 16: Kreuztabelle für den Kruskal-Wallis-Test, Gruppenvariable: Befund der Hemithoraxaufnahme, Testvariable: Behandlungsmethode	54
Tab. 17: Übersicht der Sensitivitäten der untersuchten bildgebenden Verfahren	58

9. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Anatomie des Thorax [56]	6
Abb. 2: Zusammenhang zwischen klinischer Symptomatik und dem Vorliegen von Rippenfrakturen [18].....	12
Abb. 3: Schematische Darstellung einer Röntgenröhre [68].....	13
Abb. 4: Röntgenanatomie der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme [24]	15
Abb. 5: Normalbefund einer Thoraxübersichtsaufnahme (posteroanteriorer Strahlengang, weiblicher Brustkorb [69]	17
Abb. 6: Normalbefund einer Thoraxübersichtsaufnahme (laterolateraler Strahlengang, weiblicher Brustkorb) [69]	18
Abb. 7: Pneumothorax rechts apikal [69].....	19
Abb. 8: Röntgenanatomie der Hemithoraxaufnahme [24].....	21
Abb. 9: Fraktur der 4. und 5. ventralen Rippe [69].....	23
Abb. 10: Alters- und Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs	39
Abb. 11: Verteilung von Fallart und zuweisender Fachrichtung.....	40
Abb. 12: Häufigkeiten der Kombination mit einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme in Prozent	43
Abb. 13: Häufigkeiten der Kombination mit einer CT in Prozent.....	45

Abb. 14: Befunddokumentation in Abhangigkeit vom Befund der Hemithoraxaufnahme	47
Abb. 15: Behandlung in Abhangigkeit vom Befund der Hemithoraxaufnahme	48
Abb. 16: Angewandte Therapiemaßnahmen in Prozent	49
Abb. 17: Angewandte Therapiemaßnahmen in Abhangigkeit der Befunde der Hemithoraxaufnahmen	50
Abb. 18: Schematische Vorgehensweise bei Patienten mit Thoraxtrauma [7]	61

10. Abkürzungsverzeichnis

Abb. =	Abbildung
BG =	Berufsgenossenschaft
bzw. =	beziehungsweise
ca. =	circa
CT =	Computertomographie
et al. =	et alii / aliae / alia; lateinisch für „und andere“
HE =	Hounsfield-Einheit
kV =	kiloVolt
mSv =	milliSievert
NSAID(s) =	non-steroidal anti-inflammatory drug(s)
p.a. =	posterior-anterior
sog. =	sogenannte/r/s/n
Tab. =	Tabelle
u.a. =	unter anderem
UKR =	Universitätsklinikum Regensburg
v.a. =	vor allem
z.B. =	zum Beispiel

11. Literaturverzeichnis

- [1]. Al-Hassani A, Abdulrahman H, Afifi I, Almadani A, Al-Den A, Al-Kuwari A, Recicar J, Nabir S, Maull KI. *Rib fracture patterns predict thoracic chest wall and abdominal solid organ injury*. The American Surgeon. 2010; **76**(8): 888-891.
- [2]. Assi AA, Nazal Y. *Rib fracture: Different radiographic projections*. Polish Journal of Radiology. 2012; **77**(4): 13-16.
- [3]. Barrios C Jr, Pham J, Malinoski D, Dolich M, Lekawa M; Cinat M. *Ability of a chest X-ray and an abdominal computed tomography scan to identify traumatic thoracic injury*. American Journal of Surgery. 2010; **200**(6): 741-745.
- [4]. Bassett JS, Gibson RD, Wilson RF. *Blunt injuries to the chest*. The Journal of Trauma. 1968; **8**(3): 418-429.
- [5]. Becht S., Zimmer-Brossy M. *Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik*. 6. Auflage. Heidelberg: Springer; 2008. p. 28-31.
- [6]. Bergeron E, Lavoie A, Clas D, Moore L, Ratte S, Tetreault S, Lemaire J, Martin M. *Elderly trauma patients with rib fractures are at greater risk of death and pneumonia*. The Journal of Trauma. 2003; **54**(3): 478-485.
- [7]. Bhavnagri SJ, Mohammes TL. *When and how to image a suspected broken rib*. Cleveland Clinical Journal of Medicine. 2009; **76**(5): 309–314.
- [8]. Bitschnau R, Gehmacher O, Kopf A, Scheier M, Mathis G. *Ultraschalldiagnostik von Rippen- und Sternumfrakturen*. Ultraschall in der Medizin. 1997; **18**(4): 158-161.

- [9]. Bühren V, Trentz O. *Checkliste Traumatologie*. 6. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2005. p. 238–243
- [10]. Bulger EM, Arneson MA, Mock CN, Jurkovich GJ. *Rib fractures in the elderly*. The Journal of Trauma. 2000; **48(6)**: 1040-1047
- [11]. Bundesärztekammer. *Leitlinie zur Qualitätssicherung in der Röntgen-diagnostik* gemäß Beschluss des Vorstandes der Bundesärztekammer vom 23. November 2007. 33-36, 38
- [12]. Bundesamt für Strahlenschutz. *Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen*. Bundesanzeiger. 28. Juli 2010; 10 p.
- [13]. Cacchione RN, Richardson JD, Seligson D. *Painful nonunion of multiple rib fractures managed by operative stabilization*. The Journal of Trauma. 2000; **48(2)**: 319-321.
- [14]. Chapman S, Nakielny R. *Radiologische Differentialdiagnose*. 3. Auflage München: Urban & Fischer; 1999. p. 130-131.
- [15]. Danher J, Eyes DE, Kumar K. *Oblique rib views after blunt chest trauma: an unnecessary routine?* British Medical Journal. 1984; **289(6454)**: 1271.
- [16]. Davis S, Affatato A. *Blunt chest trauma: utility of radiological evaluation and effect on treatment patterns*. The American Journal of Emergency Medicine. 2006; **24(4)**: 482-486.
- [17]. Delorme S, Debus J, Kenderka KV. *Sonografie, Duale Reihe*. 3. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2012. p. 6-19.
- [18]. DeLuca SA, Rhea JT. *Radiographic evaluation of rib fractures*. American Journal of Roentgenology. 1982; **138(1)**: 91–92.

- [19]. Dubinsky I, Low A. *Non-life-threatening blunt chest trauma: appropriate investigation and treatment*. American Journal of Emergency Medicine. 1997; **15(3)**: 240-243.
- [20]. Exadaktylos AK, Sclabas G, Schmid SW, Schaller B, Zimmermann H. *Do we really need routine computed tomographic scanning in the primary evaluation of blunt chest trauma in patients with „normal“ chest radiograph?* The Journal of Trauma. 2001; **51(6)**: 1173-1176.
- [21]. Exadaktylos AK, Duwe J, Eckstein F, Stoupis C, Schoenfeld H, Zimmermann H, Carrel TP. *The role of contrast-enhanced spiral CT imaging versus chest X-rays in surgical therapeutic concepts and thoracic aortic injury: a 29-year Swiss retrospective analysis of aortic surgery*. Cardiovascular Journal of South Africa. 2005; **16(3)**: 162-165.
- [22]. Fabricant L, Ham B, Mullins R, Mayberry J. *Prolonged pain and disability are common after rib fractures*. American Journal of Surgery. 2013; **205(5)**: 511-516.
- [23]. Freed HA, Shields NN. *Most frequently overlooked radiographically apparent fractures in a teaching hospital emergency department*. Annals of Emergency Medicine. 1984; **13(10)**: 900-904.
- [24]. Frößler A, Pfeffer R. *Konventionelle Röntgendiagnostik, Einstelltechnik und Röntgenanatomie*. 1. Auflage. München: Urban & Fischer; 2005. p. 41,43,45.
- [25]. Glasser O. *Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen*. 3. Auflage. Berlin: Springer Verlag; 1995. 381 p.
- [26]. Gosch D, Gosch K, Kahn T. *Conversion coefficients for estimation of effective dose to patients from dose area product during fluoroscopy x-ray examinations*. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin. 2007; **179(10)**: 1035-1042.

- [27]. Granetzny A, Abd El-Aal M, Emam E, Shalaby A, Boseila A. *Surgical versus conservative treatment of flail chest. Evaluation of the pulmonary status*. Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery. 2005; **4(6)**: 583-587.
- [28]. Griffith JF, Rainer TH, Ching AS, Law KL, Cocks RA, Metreweli C. *Sonography compared with radiography in revealing acute rib fracture*. American Journal of Roentgenology. 1999; **173(6)**: 1603-1609.
- [29]. Hofer M. *CT-Kursbuch, ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Computertomographie*. 7. Auflage. Düsseldorf: Didamed-Verlag; 2010. p. 6-7, 13, 16-17.
- [30]. Hong TS, Reyes JA, Moineddin R, Chiasson DA, Berdon WE, Babyn PS. *Value of postmortem thoracic CT over radiography in imaging of pediatric rib fractures*. Pediatric Radiology. 2011; **41(6)**: 736-748.
- [31]. Hounsfield GN. *Computed medical imaging*. Science. 1980; **210(4465)**: 22-28.
- [32]. Hounsfield GN. *Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system*. The British journal of radiology. 1995; **68(815)**: 166-172.
- [33]. Jackson, SA, Thomas RM. *CT, MRT, Ultraschall auf einen Blick*. 1. Auflage. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009. p. 3-12 und p. 101-108
- [34]. Kalender WA. *Basics and techniques of spiral CT*. Der Radiologe. 1999; **39(9)**: 809-819.
- [35]. Kara M, Dikmen E, Erdal HH, Simsir I, Kara SA. *Disclosure of unnoticed rib fractures with the use of ultrasonography in minor blunt chest trauma*. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery. 2003; **24(4)**: 608-613.

- [36]. Karadayi S, Nadir A, Sahin E, Celik B, Arslan S, Kaptanoglu M. *An analysis of 214 cases of rib fractures*. CLINICS, 2011; **66(3)**: 449-451.
- [37]. Karmakar MK, Ho AM. *Acute pain management of patients with multiple fractured ribs*. The Journal of Trauma. 2003; **54(3)**: 615-625.
- [38]. Kattan KR. *Trauma of the bony thorax*. Seminars in Roentgenology. 1978; **13(1)**: 69-77.
- [39]. Kerr-Valentic MA, Arthur M, Mullins RJ, Pearson TE, Mayberry JC. *Rib fracture pain and disability: can we do better?* The Journal of Trauma. 2003; **54(6)**: 1058-1064.
- [40]. Lange S, Montag M. *Radiologische Diagnostik der Thoraxerkrankungen*. 3. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2005. p. 200-205.
- [41]. Laubenberger T, Laubenberger J. *Technik der medizinischen Radiologie, Diagnostik, Strahlentherapie, Strahlenschutz für Ärzte, Medizinstudenten und MTRA*. 6. Auflage. Köln: Deutscher Ärzteverlag; 1994. 668p.
- [42]. Lee RB, Morris JA Jr, Parker RS. *Presence of three or more rib fractures as an indicator of need for interhospital transfer*. The Journal of Trauma. 1989; **29(6)**: 795-800.
- [43]. Levine BD, Motamedi K, Chow K, Gold RH, Seeger LL. *CT of rib lesions*. American Journal of Roentgenology. 2009; **193(1)**: 5-13.
- [44]. Livingston DH, Shogan B, John P, Lavery RF. *CT diagnosis of rib fractures and the prediction of acute respiratory failure*. The Journal of Trauma. 2008; **64(4)**: 905-911.

- [45]. Lotfipour S, Kaku SK, Vaca FE, Patel C, Anderson CL, Ahmed SS, Menchine MD. *Factors associated with complications in older adults with isolated blunt chest trauma*. The Western Journal of Emergency Medicine. 2009; **10(2)**: 79-84.
- [46]. Ma OJ, Mateer JR. *Trauma ultrasound examination versus chest radiography in the detection of hemothorax*. Annals of Emergency Medicine. 1997; **29(3)**: 312-316.
- [47]. Malghem J, Vande Berg B, Lecouvet F, Maldague B. *Costal cartilage fractures as revealed on CT and sonography*. American Journal of Roentgenology. 2001; **176(2)**: 429-432.
- [48]. Möller TB, Reif E. *Taschenatlas Einstelltechnik. Röntgendiagnostik, Angiografie, CT, MRT*. 4. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2009. p. 78-81, 214-217.
- [49]. Morgan-Jones RL, Mackie IG. *Non-union of a fracture of the 8th rib*. Injury. 1996; **27(2)**: 147-148.
- [50]. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Orthopädie und Unfallchirurgie, Duale Reihe*. 6. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2009. p. 358–365.
- [51]. Nirula R, Diaz JJ Jr, Trunkey DD, Mayberry JC. *Rib fracture repair: indications, technical issues, and future directions*. World Journal of Surgery. 2009; **33(1)**: 14-22.
- [52]. Nowak HP. *Kompendium Röntgen-Einstelltechnik*. 2. Auflage. Rothenthurm: ixray.ch GmbH; 2011. p. 474–477.
- [53]. O'Conner JV, Adamski J. *The diagnosis and treatment of non-cardiac thoracic trauma*. Journal of the Royal Army Medical Corps. 2010; **156(1)**: 5-14.

- [54]. Oestmann JW. *Radiologie – Vom Fall zur Diagnose*. 2. Auflage Stuttgart: Thieme; 2005. p. 29-31.
- [55]. Oikonomou A, Prassopoulos P. *CT imaging of blunt chest trauma. Insights into imaging*. 2011; **2(3)**: 281-295.
- [56]. Putz R, Pabst R. *Sobotta Atlas der Anatomie Band 2 – Rumpf, Eingeweide, untere Extremität*. 22. Auflage. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2006. p. 48 (Abb. 831)
- [57]. Rainer TH, Griffith JF, Lam E, Lam PK, Metreweli C. *Comparison of thoracic ultrasound, clinical acumen, and radiography in patients with minor chest injury*. The Journal of Trauma. 2004; **56(6)**: 1211-1213.
- [58]. Renz-Polster H, Bätge B, Braun J. *Basislehrbuch Innere Medizin*. 5. Auflage. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2013. p. 456.
- [59]. Röthlin MA, Näf R, Amgwerd M, Candinas D, Frick T, Trentz O. *Ultrasound in blunt abdominal and thoracic trauma*. The Journal of Trauma. 1993; **34(4)**: 488-495.
- [60]. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 3. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2011. p. 132-135
- [61]. Sirmali M, Türüt H, Topçu S, Gülhan E, Yazici U, Kaya S, Tastepe, I. *A comprehensive analysis of traumatic rib fractures: morbidity, mortality and management*. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery. 2003; **24(1)**: 133-138.
- [62]. Stäbler A, Freyschmidt J, et al., *Handbuch diagnostische Radiologie – Muskuloskelettales System 1*. Berlin: Springer; 2005. p. 110–126.

- [63]. Steinhausen E, Glombitza M, Böhm HJ, Hax PM, Rixen D. *Non-unions. From diagnosis to healing*. Unfallchirurg. 2013; **116**(7): 633-649.
- [64]. Tanaka H, Yukioka T, Yamaguti Y, Shimizu S, Goto H, Matsuda H, Shimazaki S. *Surgical stabilization of internal pneumatic stabilization? A prospective randomized study of management of severe flail chest patients*. Journal of Trauma. 2002; **52**(4): 727-732.
- [65]. Targhetta R, Bourgeois JM, Chavagneux R, Coste E, Amy D, Balmes PM, Pourcelot L. *Ultrasonic signs of pneumothorax: preliminary work*. Journal of Clinical Ultrasound. 1993; **21**(4): 245-250.
- [66]. The American College of Surgeons, *National Trauma Data Bank (NTDB)*, Annual Report 2013. Table 30
- [67]. Thompson BM, Finger W, Tonsfeldt D, Aprahamian C, Troiano P, Hendley G, Mareer J, Stueven H: *Rib radiographs for trauma: useful or wasteful?* Annals of Emergency Medicine. 1986; **15**(3): 261-265.
- [68]. Universität Marburg,
http://online-media.uni-marburg.de/radiologie/lehre/bilder/roe_roehre.gif
- [69]. Universitätsklinikum Regensburg, Institut für Röntgendiagnostik
- [70]. Van Hise ML, Primack SL, Israel RS, Müller, NL. *CT in blunt chest trauma: indications and limitations*. Radiographics. 1998; **18**(5): 1071-1084.
- [71]. Warriner AH, Patkar NM, Curtis JR, Delzell E, Gary L, Kilgore M, Saag K. *Which fractures are most attributable to osteoporosis?* Journal of Clinical Epidemiology. 2011; **64**(1): 46-53.

- [72]. Wootton-Gorges SL, Stein-Wexler R, Walton JW, Rosas AJ, Coulter KP, Rogers KK. *Comparison of computed tomography and chest radiography in the detection of rib fractures in abused infants*. Child Abuse & Neglect. 2008; **32(6)**: 659-663.
- [73]. Wuermser LA, Achenbach SJ, Amin S, Khosla S, Melton LJ 3rd. What accounts for rib fractures in older adults? *Journal of Osteoporosis*. 2011; doi: 10.4061/2011/457591
- [74]. Ziegler DW, Agarwal NN. *The morbidity and mortality of rib fractures*. *The Journal of Trauma*. 1994; **37**: 975-979.

12. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Andreas G. Schreyer und Herrn Dr. Patrick Hoffstetter für die Möglichmachung und Betreuung meiner Doktorarbeit.

Für die große Unterstützung danke ich Leon Kroczek und meiner Mutter Anette Wagner.

13. Lebenslauf

Name: Merle Katharina Wagner

Geburtstag: 01.06.1988

Geburtsort: Nürnberg

Schulische Ausbildung:

Grundschule Dunant in Nürnberg

Peter-Vischer-Gymnasium und Johannes-Scharrer-Gymnasium in Nürnberg

Abitur 2007

Hochschulausbildung:

Medizinstudium an der Universität Regensburg

Abschluss der Ärztlichen Prüfung 05/2014

Berufliche Tätigkeit:

Beginn einer Assistenzarztätigkeit in der internistischen Abteilung, Klinikum St.

Elisabeth in Leipzig 09/2014