

Handbuch diagnostische Radiologie

Handbuch diagnostische Radiologie

Thorax

von

Michael Galanski, Jürgen Freyschmidt

1. Auflage

Handbuch diagnostische Radiologie – Galanski / Freyschmidt

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

Thematische Gliederung:

Vorklinische Medizin: Grundlagenfächer – Vorklinische Medizin: Grundlagenfächer

Springer 2003

Verlag C.H. Beck im Internet:

www.beck.de

ISBN 978 3 540 41421 6

M. GALANSKI

- 13.1 Allgemeine Grundlagen 1
 - 13.1.1 Epidemiologie 1
 - 13.1.2 Verletzungsmuster 2
 - 13.1.3 Diagnostische Strategie 3
- 13.2 Thoraxwand, Pleuraraum und Zwerchfell 4
 - 13.2.1 Thoraxwand 4
 - 13.2.2 Pleuraraum 11
 - 13.2.3 Zwerchfell 15
- 13.3 Lunge und Tracheobronchialsystem 17
 - 13.3.1 Lungenparenchym 17
 - 13.3.2 Tracheobronchialsystem 22
- 13.4 Mediastinum 24
 - 13.4.1 Pneumomediastinum/Pneumoperikard 24
 - 13.4.2 Aorta und große Gefäße 26
 - 13.4.3 Pharynx und Ösophagus 31
 - 13.4.4 Ductus thoracicus 32
- Literatur 32

13.1 Allgemeine Grundlagen

13.1.1 Epidemiologie

Thoraxtraumen können in stumpfe Verletzungen, penetrierende Verletzungen und in Druckwellentraumen (Explosionstraumen) gegliedert werden (s. Übersicht).

Formen des Thoraxtraumas

- Stumpfe Traumen
- penetrierende Traumen
 - ▼ Stichverletzungen
 - ▼ Schussverletzungen
- Explosions-/Druckwellentraumen („blast-injury“)

Art und Häufigkeit der Verletzungen variieren in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungskollektiv erheblich. Sie hängen insbesondere vom Zivilisationsgrad, von Milieufaktoren, der Kriminalitätsrate sowie von Kriegs- oder Friedenszeiten ab. So werden penetrierende Verletzungen und Explosionstraumen in Kriegszeiten weitaus häufiger als in Friedenszeiten sein. Häufigkeitsangaben können nur orientierenden Charakter haben. In Mitteleuropa sind Unfälle im

Straßenverkehr mit etwa 85% die häufigste Ursache von Thoraxverletzungen und Polytraumen. Die Thoraxverletzung ist dabei in 20–25% der Fälle für traumabedingte Todesfälle verantwortlich (Trupka et al. 1997). In Deutschland ist eine Zunahme der Zweiradunfälle zu verzeichnen, während die Zahl der PKW-Unfälle rückläufig ist. Männer sind häufiger als Frauen betroffen. Der Altersgipfel liegt in der 3. Lebensdekade. Das Verhältnis zwischen stumpfen und penetrierenden Verletzungen beträgt 9:1 (Khodadayan et al. 1995).

Stichverletzungen

Sie sind relativ harmlos, solange sie nicht relevante Organe betreffen.

Schussverletzungen

Unter Wundballistik versteht man die Geschosswirkung auf das biologische Gewebe. Die pro Wegstrecke an das Gewebe abgegebene Energie ist ein Maß für die biologische Geschosswirkung. Sie hängt von der kinetischen Energie des Projektils (Geschwindigkeit), die Projektilart, dem Abstand („long range“ = >7 m, „close range“ = 3–7 m, „very close range“ = <3 m) und der Vulnerabilität des betroffenen Gewebes ab.

Besondere Bedeutung hat die Projektilgeschwindigkeit. Unterschieden werden langsame (schallschnelle) und überschallschnelle Geschosse. Haut wird nur penetriert, wenn die Geschossgeschwindigkeit 50–60 m/s überschreitet. Bei langsamen Geschossen entspricht die Gewebeerstörung weitgehend dem Schusskanal und seiner unmittelbaren Umgebung. Bei Hochgeschwindigkeitsgeschossen (Rasanzgeschosse; ≥ 600 m/s) mit zwei- oder mehrfacher Schallgeschwindigkeit steht die hydrodynamische Sprengwirkung ganz im Vordergrund. Die temporären Wundhöhlen (Kavitationen) betragen ein Mehrfaches des Volumens der bleibenden Wundhöhle. Es entstehen dadurch Gewbeschädigungen ohne direkte Geschossberührung in einiger Entfernung vom eigentlichen Schusskanal.

Der persistierende Schuss-/Wundkanal mit totalem Gewebsverlust wird von der temporären Wund-

höhle umgeben, die sich aus der inneren Kontusionszone und der äußeren Kompressionszone zusammensetzt. Die Kontusions- oder Devitalisationszone ist durch eine traumatische Nekrose mit homogener hyaliner Muskeldegeneration, Leukozytose, Gewebsthrombose und Diapedeseblutungen gekennzeichnet, die Kompressionszone durch eine reversible Extravasation (Forster 1986; Sherman u. Parish 1963).

Blast Injuries

Bei Explosionen wird die Druckwelle auf die Thoraxwand übertragen und auf die Lunge fortgeleitet. Ausbreitung der Druckwelle im Gewebe (lokale Druckwellengeschwindigkeit) hängt von der Dichte und Elastizität des Gewebes ab. Für die Lungenverletzung sind im Wesentlichen drei Effekte verantwortlich,

- der Abplatzeffekt („spalling effect“),
- der Trägheitseffekt („inertia effect“) und
- der Implosionseffekt.

Der Abplatzeffekt tritt an Grenzflächen zwischen Gas und Flüssigkeit auf. Trifft die Druckwelle auf eine derartige Grenzfläche, so wird sie teilweise reflektiert, teilweise weitergeleitet; frei werdende Energie unterbricht die Grenzfläche.

Beim Trägheitseffekt kann – bedingt durch die unterschiedliche Beschleunigung – das weniger dichte alveoläre Gewebe von den dichteren Hilusstrukturen und von Gefäßen abgeschert werden.

Ein Implosionseffekt tritt auf, wenn die Druckwelle auf abgeschlossene Luftblasen trifft. Diese werden zunächst stark komprimiert und dehnen sich dann mit dem Weiterschreiten der Druckwelle plötzlich weit aus, so dass es zu Überdehnungen und Einrissen kommt (Zuckerman 1940).

13.1.2 Verletzungsmuster

Häufigkeiten

Eine Übersicht über die häufigsten Verletzungen bei Thoraxtraumen an Hand von drei größeren Erhebungen geben Tabelle 13.1 und 13.2. Bei Polytraumen ist der Thorax mit 62% dritthäufigste Verletzungslokalisation nach den Extremitäten (86%) und dem Schädel (69%). Eine primäre operative Intervention ist allerdings nur in ca. 5% der Fälle erforderlich. Die Morbidität beträgt 36%, die Letalität 15,5% (Schorr et al. 1987).

Die häufigsten Verletzungskombination beim Polytrauma sind Extremitäten- und Schädelverletzungen (63%), gefolgt von Extremitäten- und Thoraxverletzungen (52%) sowie von Thorax- und Schädelverletzungen (41%). Thorax- und Abdominaltraumen hingegen machen nur etwa 23% aus (s. Übersicht; Regel et al. 1993; Oestern u. Regel 1999).

Dominierende Verletzungsmuster beim Polytrauma nach einer Analyse von 3406 Fällen der Jahre 1972 – 1991. (Nach Regel et al. 1993)

- 86% der Patienten Frakturen (davon 40% offene Verletzungen)
- 69% Schädel-Hirn-Trauma (primäre operative Intervention in ca. 5%)
- 62% Thoraxtrauma (primäre operative Intervention in ca. 5%)
- < 30% Abdominaltrauma (primäre operative Intervention in ca. 20%)

Tabelle 13.1. Art und Häufigkeit von Thoraxverletzungen

Art der Thoraxverletzung	Häufigkeit		
	Glinz 1985 (vgl. auch Tabelle 13.2) (%)	Gams u. Kalweit 1999 (%)	LoCicero u. Mattox 1989 (%)
Thoraxwand (Rippenfrakturen)	–	60	45
Hämatothorax	51	40	25
Pneumothorax	18	20	20
Lungenparenchymverletzung	21	20	26
Tracheobronchialverletzung	< 1	< 1	–
Herzkontusion	16	15	9
Perikardtamponade	–	< 1	–
Aortenverletzung	2	2	–
Verletzung großer Gefäße	1	1	–
Zwerchfellruptur	4	–	7
Ösophagusruptur	–	< 1	0,5
Chylothorax	0,15	< 1	–
Verschiedene/kombinierte	–	–	21

Tabelle 13.2. Art und Häufigkeit von Thoraxverletzungen und extrathorakalen Begleitverletzungen bei 675 hospitalisierten Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma. (Nach Glinz 1985)

Thoraxverletzungen	Häufigkeit (%)	Begleitverletzungen	Häufigkeit (%)
Hämatothorax	51	Schädel-Hirn-Trauma	51
Pneumothorax	18	Abdominaltrauma	20
Lungenparenchymverletzung	21	Extremitätenfraktur	38
Tracheobronchialverletzung	< 1	Beckenfraktur	13
Herzkontusion	16	Wirbelsäulenverletzung	6
Aortenverletzung	2	Gesichtsschädelverletzung	12
Verletzung großer Gefäße	1		
Zwerchfellruptur	4		
Ösophagusruptur	–		
Chylothorax	0,15		

13.1.3

Diagnostische Strategie

Aufgabe der initialen Röntgendiagnostik polytraumatisierter Patienten ist es, unter zeitkritischen Bedingungen mit möglichst hoher Effizienz die sowohl für die Gesamtprognose als auch die für eine differenzierte organbezogene Therapie notwendigen pathologischen Veränderungen zu erkennen (Danz et al. 1996). Die essenziellen und unverzüglich zu klärenden Fragen sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt.

Basisdiagnostik beim Polytrauma

- Ist der Unfallverletzte hämodynamisch stabil?
 - ▼ Puls-Status [supraaortale Äste; untere Extremitäten (Aortenverletzung)]
 - ▼ oberflächliche Venen (Kollaps bei Hypovolämie und Schock, Distension bei Pneumothorax, Perikarderguss oder -blutung)
- Ist der Unfallverletzte respiratorisch stabil?
- Wie ist Bewußtseinslage?

Der diagnostische Zeitaufwand spielt eine kritische Rolle. Für die Durchführung einer konventionellen Aufnahme im Liegen müssen bei Schwerverletzten 10–15 min kalkuliert werden (Danz et al. 1996).

Nativdiagnostik/Thoraxübersicht

Bei der Analyse der Thoraxübersicht ist neben dem üblichen Check und der Beurteilung der Lage von Tubus, Kathetern, Sonden und Drainagen insbesondere auf Befunde zu achten, die Indiz für gravierende Verletzungen sein können (Blaisdell u. Trunkay 1994). Es sind dies:

- Frakturen der oberen Rippen sind häufiger mit Gefäßverletzungen assoziiert (15%). Ein großes Hämatom an der Halsbasis muss an eine thorakale Gefäßverletzung denken lassen. Andererseits ist die Thoraxübersicht bei einem Viertel der

Gefäßverletzungen unauffällig, oder sie zeigt nur minimale und unspezifische Veränderungen;

- serielle Rippenstückfrakturen und bilaterale kostochondrale Frakturen, die einen instabilen Thorax implizieren;
- Sternumfraktur als Indiz für eine Herzkontusion;
- massiver Pneumothorax als Hinweis auf eine mögliche Bronchusläsion;
- Mediastinalverbreiterung und/oder massiver Hämatothorax als Hinweis auf eine mögliche Aortenruptur oder andere arterielle Blutung.

Computertomographie

Der Stellenwert der Computertomographie (CT) in der Primär- und Verlaufsdagnostik von Schädel-Hirn-Traumen, Wirbelsäulenfrakturen und Abdominaltraumen ist etabliert und unumstritten. Anders ist die Situation beim stumpfen Thoraxtrauma. Obgleich die diagnostische Überlegenheit der CT belegt ist, wird die klinische Wertigkeit der diagnostischen Mehrinformation durch die CT kontrovers beurteilt. Smejkal et al. (1991), Poole et al. (1993) und Marts et al. (1994) sehen die CT kritisch.

Trupka et al. (1997) schätzt den Wert hoch ein. Nach ihm werden in 65% der Fälle wesentliche Zusatzinformationen (Lungenkontusion, Pneumothorax, Hämatothorax) erhoben und in etwa 40% der Fälle soll sich eine Änderung der therapeutischen Strategie (positiver endexpiratorischer Druck/PEEP-Beatmung, Bronchoskopie) ergeben. Eine Übersicht über die Literaturmitteilungen zu diesem Aspekt gibt Tabelle 13.3.

Der hämodynamisch instabile Thoraxtraumatisierte ist sicherlich kein Kandidat für eine primäre CT-Untersuchung. Beim hämodynamisch stabilen Patienten wird jedoch die Indikation zu einer CT-Untersuchung der Thoraxorgane innerhalb der ersten Stunde zunehmend großzügiger gestellt, mit dem Ziel einen möglichst umfassenden Status zu erheben, bevor der Patient auf die Intensivstation oder in den Operationssaal geht (Häuser u. Bohndorf 1999).

Tabelle 13.3. Bewertung der Computertomographie in der Initialdiagnostik des Thoraxtraumas

	Nachweis auf Thoraxübersicht	Nachweis im CT	Kein Nachweis mit CT oder Rö-Thorax
Pneumothorax	– 53% Danz	+ 97% Danz	
Hämatothorax	– 62% Danz	+ 97% Danz	
Kontusionen	– 79% Danz	+ 99% Danz	
Dys-/Atelektasen	– 20–40% Danz	+ 95% Danz	
Gefäßläsionen	–	+	
Rippenfrakturen	+ 57% Marts	– 42% Marts	24% Marts
Skapulafrakturen	– 36% Marts	+ 64% Marts	18% Marts
Klavikula	78% Marts	11% Marts	11% Marts
Sternum	–	25% Marts	75% Marts
Wirbelsäulenfrakturen	–	+ 38% Marts	62% Marts

– = wenig sensitiv; + = hochsensitiv; die Prozentzahlen beziehen sich auf Angaben in der Literatur.

Mögliche Indikationen zur CT können sein (Khadadyan et al. 1995):

- ein isoliertes schweres Thoraxtrauma,
- ein thorakales Hochrasanztrauma,
- ein Polytrauma mit begleitendem Thoraxtrauma,
- eine unklare respiratorische Insuffizienz im weiteren intensivmedizinischen Verlauf,
- ein pathologischer oder unklarer Thoraxröntgenbefund,
- eine Brustwirbelsäulenfraktur.

13.2

Thoraxwand, Pleuraraum und Zwerchfell

13.2.1

Thoraxwand

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Die Thoraxwand wird durch den knöchernen Thorax (Brustwirbelsäule, Rippen, Brustbein, Schlüsselbeine und Schulterblätter) und den umgebenden Weichteilmantel mit Interkostal-, Paravertebral- und Schultergürtelmuskulatur gebildet. Der knöcherne Thorax ist nur im Bereich der oberen 10 Rippen zwischen Wirbelsäule und Sternum zirkulär geschlossen, wobei allerdings auch nur die oberen 7 Rippen direkt an das Sternum heranreichen.

Die erste Rippe nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als sie dorsal relativ fest mit der Wirbelsäule, ventral mit dem Manubrium und dem Schlüsselbein verbunden ist, so dass sie nur eine begrenzte

Beweglichkeit aufweist. Andererseits ist sie dem Zug der kräftigen Skalenusmuskulatur mit der Möglichkeit indirekter Frakturen ausgesetzt. Die A. und V. subclavia verlaufen in einer Knochenrinne am Oberrand der 1. Rippe dorsal bzw. ventral des Tuberculum scalenum. Aufgrund dieser sehr engen topographischen Beziehung kann es bei Frakturen der 1. Rippe durch rezidivierende Mikrotraumen im Rahmen der Atmung zu sekundären und verzögerten Gefäßläsionen kommen (Hämatom, Thrombose).

Die Interkostalarterien, -venen und -nerven verlaufen dorsal interkostal, lateral des Rippenwinkels an den Rippenunterkanten in einem Sulkus. Die A. mammaria interna verläuft entlang der kostochondralen Verbindung und anastomosiert mit der superioren epigastrischen Arterie.

Verletzungen der Thoraxwand können die verschiedenen anatomischen Strukturen isoliert oder in unterschiedlicher Kombination betreffen.

■ **Weichteilverletzungen.** Die häufigsten Weichteilverletzungen der Thoraxwand beim stumpfen Thoraxtrauma sind Hämatome und Emphyseme. In der Mehrzahl sind sie klinisch bedeutungslos. Thoraxwandemphyseme werden beim stumpfen Thoraxtrauma mit einer Häufigkeit von etwa 15% beobachtet. Sie können transkutan über offene Wunden oder häufiger über Rippenfrakturen vom Pleuraraum aus entstehen. Seltener ist die Entstehung über ein massives Mediastinalemphysem beispielsweise im Rahmen einer Verletzung des Tracheobronchialsystems.

Weichteilhämatome können bei arteriellen Gefäßzerreißen erhebliche Ausmaße annehmen. Mas-

sive Hämatome finden sich regelmäßig bei schweren Schultergürtelverletzungen, insbesondere bei der skapulothorakalen Dissoziation, die in 90% der Fälle mit neurovaskulären Verletzungen einhergeht.

■ **Rippen- und Klavikulafrakturen.** Rippenfrakturen sind mit etwa 80% ein überaus häufiger Befund beim stumpfen Thoraxtrauma. Dabei handelt es sich in 85% der Fälle um multiple, in lediglich 15% um solitäre Frakturen. In bis zu 30% liegen bilaterale Frakturen vor. Am häufigsten sind die Rippen V bis XI betroffen, seltener die oberen Rippen, da diese durch den Schultergürtel mit seinem Muskelmantel stärker geschützt sind. Frakturen der oberen Rippen weisen deswegen immer auf eine starke Gewalteinwirkung hin. Jede Rippenfraktur geht mit einem Blutverlust von etwa 150 ml einher (Westaby u. Bralay 1990). Rippenfrakturen sind bei Kindern und Jugendlichen aufgrund der größeren Elastizität des Thoraxskeletts seltener als beim Erwachsenen und älteren Menschen. Fehlende Rippenfrakturen sind deswegen bei Kindern und Jugendlichen nicht mit einem blanden Thoraxtrauma gleichzusetzen.

■ **Sternumfrakturen und Verletzungen des Sternoklavikulargelenks.** Sternumfrakturen sind beim Thoraxtrauma im Gegensatz zu Rippenfrakturen selten und machen nicht mehr als 4% aller Frakturen am Thoraxskelett beim stumpfen Thoraxtrauma aus. Häufigste Frakturlokalisationen sind das Corpus sterni (70%) und das manubriosternale Gelenk (15%). Verletzungen des Sternoklavikulargelenks sind ebenfalls sehr selten. Meist handelt es sich um Subluxationen, Luxationen oder Luxationsfrakturen, die bei geringer Dislokation initial leicht übersehen werden.

Häufigste Ursache einer Sternumfraktur ist das direkte Anpralltrauma durch das Lenkrad beim Auto-unfall. Ein seltener Verletzungsmechanismus ist ein extremes Hyperflexionstrauma, das dann in der Regel zugleich mit einer zervikothorakalen Wirbelkörperkompression einhergeht.

Klinische Symptomatik

Typische Beschwerden sind atemabhängige Schmerzen mit Dyspnoe und/oder Tachypnoe. Als Kehr-Zeichen wird ein Schulterschmerz bezeichnet, ausgelöst durch eine Irritation der zentralen ligamentären Zwerchfellabschnitte infolge einer infradiaphragmalen Blutung.

Eine respiratorische Insuffizienz resultiert insbesondere aus Serien- und Stückfrakturen im Verlauf der ventralen und lateralen Rippenabschnitte, die zu einer paradoxen Atembewegung des betroffenen Thoraxwandabschnitts führen können (instabiler Thorax/„flail chest“). Ein instabiler Thorax liegt auch bei bilateralen, insbesondere parasternale Serien-

frakturen vor. Sternoklavikuläre Dislokationen nach ventral verursachen meist keine Komplikationen. Dislokationen nach dorsal hingegen können zu Kompressionserscheinungen von Seiten der Trachea, des Ösophagus oder von Gefäßen führen und repositionspflichtig sein.

Klinische Zeichen der skapulothorakalen Dissoziation sind die Pulslosigkeit (Verletzung der A. subclavia) und die schlaffe Lähmung des Arms (Plexusausriss).

Beachte

- Patienten mit Rippenfrakturen nach stumpfem Thoraxtrauma und Schock ohne Hämato- oder Pneumothorax müssen an intraabdominelle Blutungsquelle denken lassen.
- Brustbeinverletzungen sind immer ein Indiz für ein schweres Trauma und müssen an mögliche Begleitverletzung von Herz und großen Gefäßen denken lassen.

Radiologische Symptomatik

■ **Weichteilbefunde (Abb. 13.1, 13.2).** Hämatome und Emphyseme der Thoraxwand werden radiologisch in der Mehrzahl der Fälle lediglich als Zusatzbefund erfasst und nur ausnahmsweise gezielt diagnostiziert und registriert, dann nämlich, wenn sie größere Ausmaße angenommen haben.

Thoraxwandemphyseme manifestieren sich je nach Lokalisation und Ausbreitung unterschiedlich. Subkutane Luftsinschlüsse stellen sich als rundliche, ovaläre oder streifige Aufhellungen dar. Subfasziale Emphyseme breiten sich entsprechend der Muskelfiederung fächerförmig aus. Weichteilhämatome sind nativdiagnostisch auf den Thoraxübersichtsaufnahmen lediglich als Verdichtung und Verbreiterung des Weichteilmantels zu identifizieren oder zu vermuten, der Nachweis und die genaue Lokalisation des Hämatoms gelingt mit hinreichender Genauigkeit jedoch nur im Computertomogramm. Die Sonographie ist wegen der fehlenden Übersicht und der eingeschränkten Beurteilung intrathorakaler Kompartimente weniger geeignet.

Bei der skapulothorakalen Dissoziation ist die Skapula aus dem Verband des Schultergürtels gelöst und durch ein massives subskapuläres Hämatom (Zerreißen der A. subclavia und/oder der A. vertebralis; Angiographie!) nach lateral verlagert. A.-subclavia-Verletzungen sind relativ selten; in der Regel ist es nicht die Fraktur, die die Gefäßverletzung bedingt, sondern die Fragmentdislokation; in der Hälfte der Fälle ist eine Verletzung des Plexus brachialis kombiniert (komplett oder inkomplett, passager oder permanent). Indikationen zur Angiographie sind eine Pulslosigkeit oder Pulsabschwächung.



Abb. 13.1. Ausgedehntes Thoraxwandemphysem bei drainiertem Pneumothorax nach Thoraxtrauma mit Rippenfrakturen und pulmonaler Kontusion (Nativbild): Bandförmige, streifige oder fleckige Aufhellungen dokumentieren das Weichteilemphysem der Thoraxwand. Die fächerförmigen Aufhellungen, die die Fiederung der Mm. pectoralis simulieren, sind charakteristisch für ein Muskelfaszienemphysem

Interkostale Lungenhernien setzen eine Verletzung der Interkostalmuskulatur voraus. Sie kommen eher bei penetrierenden Verletzungen als bei stumpfen Thoraxtraumen vor (Schnyder u. Wintermark 2000).

■ **Rippen- und Klavikulafrakturen (Abb. 13.3, 13.4 a–c, 13.5 a–c).** Der Nachweis einer Klavikulafraktur bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten. Anders ist die Situation bei Rippenfrakturen.

Typische Befunde bei Rippenfrakturen sind die Konturunterbrechung oder -versetzung und die Dislokation meist in Form einer Abwinkelung bzw. einer Störung des harmonischen Rippenverlaufs. Trotzdem gelingt der Frakturachweis auf der Thoraxübersicht erfahrungsgemäß nur in etwa 50% der Fälle. Mit jeder zusätzlichen Projektion erhöht sich die Detektionsrate. Der Frakturachweis hängt wesentlich vom Ausmaß der Dislokation und von der Frakturlokalisation ab. Probleme ergeben sich insbesondere bei unmittelbar paravertebral gelegenen Frakturen, bei Frakturen im Bereich der Axillarlinie (wegen der Überlappungen) und bei Frakturen der kostochondralen bzw. kostosternalen Abschnitte. Hier ist die CT hilfreich.

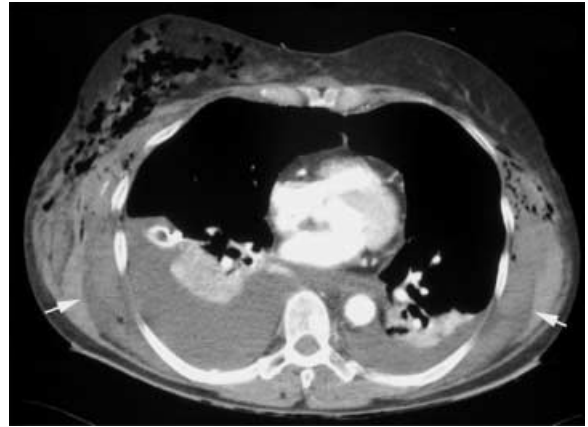


Abb. 13.2. Thoraxtrauma mit bilateralem Hämatothorax, ausgebreitetem Thoraxwandhämatom und zusätzlichem Thoraxwandemphysem. Das CT-Schnittbild verdeutlicht die Überlegenheit der CT. Während die Thoraxübersicht neben dem Thoraxwandemphysem lediglich eine Verbreiterung des Weichteilmantels zeigen würde (vgl. Abb. 13.1), erlaubt die CT durch die bessere Dichteauflösung die Differenzierung der Thoraxwandstrukturen in Fettgewebe, Muskulatur, Hämatom (Pfeile) und Emphysem. Das Schnittbild demonstriert zugleich die Überlegenheit der CT beim Nachweis und der Quantifizierung eines Pleuraergusses oder -hämatoms. Trotz der erheblichen Flüssigkeitsmengen würde die Thoraxübersicht im Liegen hauptsächlich eine Transparenzminderung zeigen, jedoch allenfalls rechtsseitig einen ergussbedingten lateral rippenständigen Begleitschatten

Folgende Erfahrungswerte sind bei der Diagnostik generell zu berücksichtigen:

- Die Zahl der Rippenfrakturen korreliert mit dem Schweregrad des Traumas.
- Frakturen von mehr als 7 Rippen gehen in zwei Drittel der Fälle mit einer Verletzung intrathorakaler Strukturen und in etwa einem Sechstel der Fälle mit einer intraabdominellen Verletzung einher (Wilson et al. 1977).
- Frakturen der oberen Rippen deuten – da sie durch den Schultergürtel mit seiner Muskulatur besser geschützt sind – auf ein stärkergradiges Thoraxtrauma und müssen immer an Begleitverletzungen denken lassen, insbesondere an Gefäßverletzungen im Bereich der oberen Thoraxapertur und an die Möglichkeit einer Verletzung des Tracheobronchialsystems.
- Verletzungen der A. subclavia sind relativ selten, Sie werden weniger durch die Fraktur an sich als vielmehr durch die Fragmentdislokation verursacht. In der Hälfte der Fälle ist eine Verletzung des Plexus brachialis kombiniert. Indikationen zur digitalen Subtraktionsangiographie (DSA) sind eine Pulslosigkeit oder Pulsabschwächung (Philipps et al. 1981; Costa u. Robbs 1998).

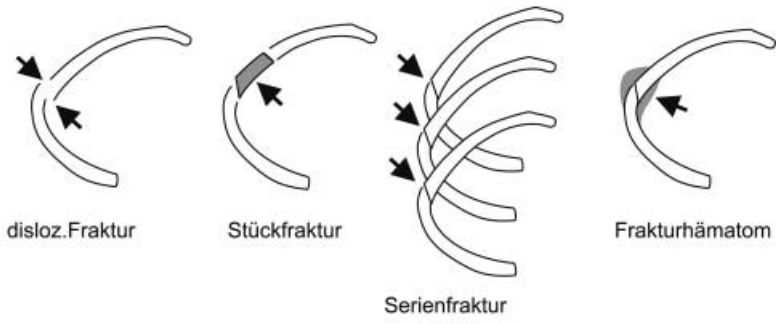
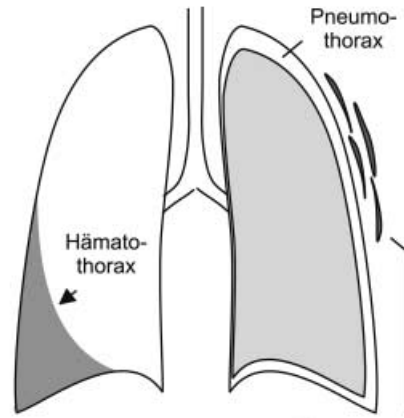
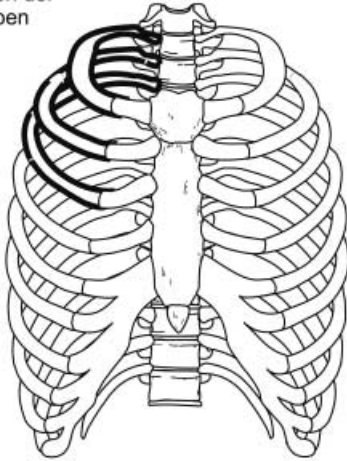


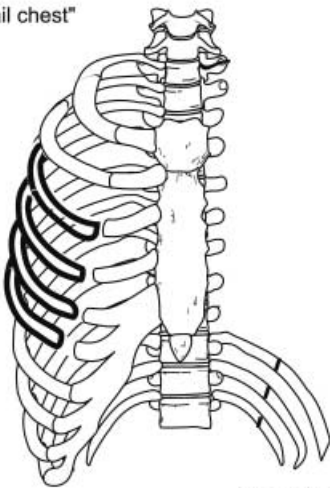
Abb. 13.3. Rippenfrakturen - Synopsis

Frakturen der ob. Rippen

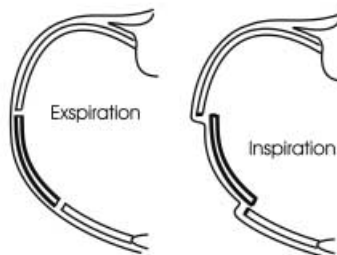


Thoraxwandemphysem

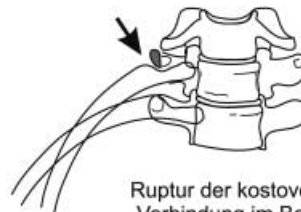
"flail chest"



Frakturen d. unt. Rippen



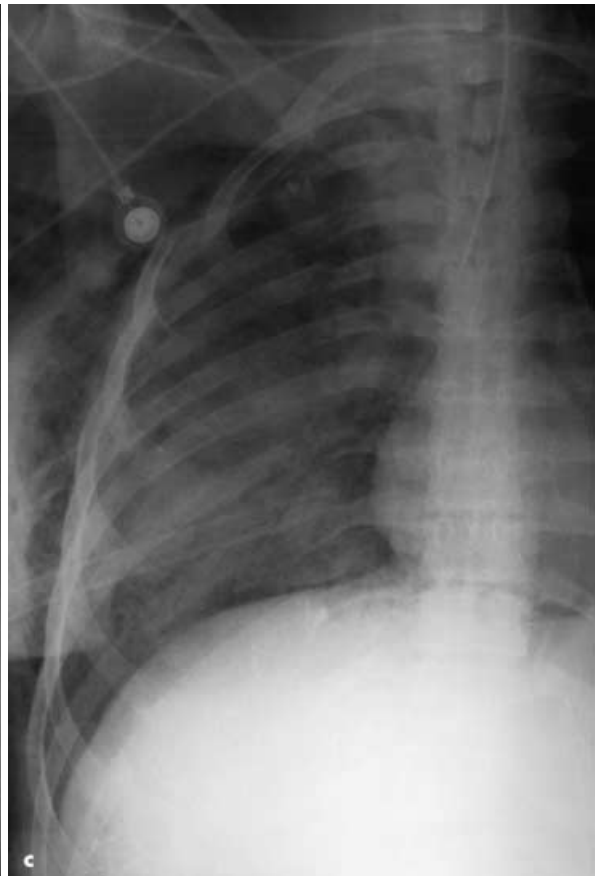
instabiler Thorax "flail chest"



Ruptur der kostovertebralen Verbindung im Bereich der oberen Thorax apertur



Abb. 13.4 a–c. Rippenfrakturen (Thoraxübersicht).
a Diskrete, unverschobene Fraktur der 10. Rippe rechts, ein Befund der bei ungünstigen Aufnahmebedingungen leicht dem Nachweis entgeht. **b** Linksseitige Rippenserienfraktur, die aufgrund der Dislokation trotz der ansonsten wegen der Verkürzung und der gegenseitigen Überlagerung schlecht zu beurteilenden lateralen Rippenabschnitte leicht zu diagnostizieren ist. **c** Serien-Stück-Fraktur; das aus dem Rippenverband ausgesprengte Thoraxsegment ist instabil und wird bei der Atemmechanik nicht mitgeführt (sog. instabiler Thorax mit paradoxer Bewegung)



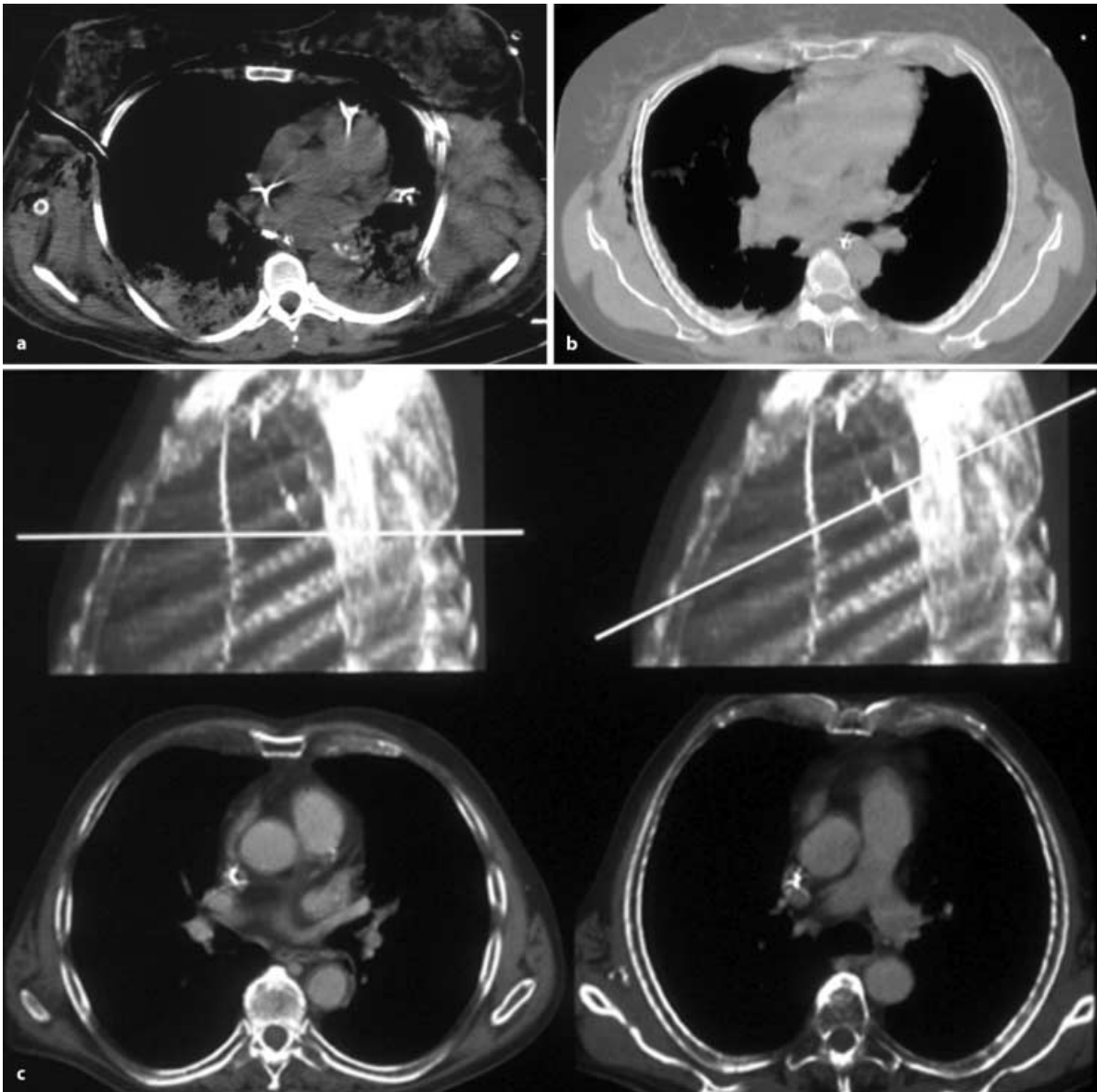


Abb. 13.5 a–c. Rippenfrakturen im CT-Schnittbild: Im axialen Schnittbild werden die schräg verlaufenden Rippen jeweils nur kurzstreckig angeschnitten, was eine verlässliche Beurteilung praktisch unmöglich macht. Nur dislozierte Frakturen

sind auf Anheb zu erkennen (a, b). Ansonsten ist für die Beurteilung der „cine-mode“ unerlässlich; für die Dokumentation ist die Darstellung des Rippenskeletts mit angulierter Schnittebene oder im 3D-Modus geeignet (c)

- Frakturen der unteren Rippen gehen häufiger mit intraabdominellen Begleitverletzungen einher, rechtsseitig mit Leberverletzungen, linksseitig mit Milzverletzungen.
- Bei Frakturen der 11./12. Rippe ist immer an die Möglichkeit von Nierenverletzungen zu denken.
- In nahezu einem Viertel der Fälle werden Rippenfrakturen von einem subkutanen Emphysem begleitet. Ein Hämato-pneumothorax andererseits spricht für eine Lungenlazeration durch Rippenfrakturen.

Einer besonderen Beachtung bedarf aufgrund der klinisch-therapeutischen Konsequenzen der instabile Thorax („flail chest“).

Definition

Unter einem instabilen Thorax versteht man die Herauslösung eines Thoraxwandsegmentes aus dem Gesamtverbund der Thoraxwand.

Es kann sich dabei sowohl um unilaterale Stückfrakturen wie um bilaterale Rippenserienfrakturen oder

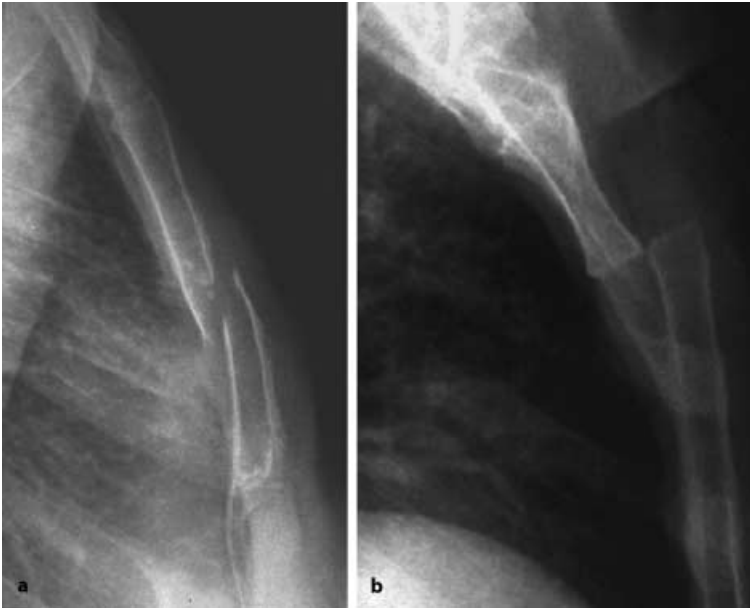


Abb. 13.6 a, b.
Sternumfraktur und manubriosternale Luxation: Die projektionsradiographische Diagnostik setzt die seitliche Aufnahme voraus. **a** Dislozierte Fraktur des Corpus sterni mit einem Begleithämatom. **b** Luxation der Synchondrose zwischen Manubrium und Corpus sterni

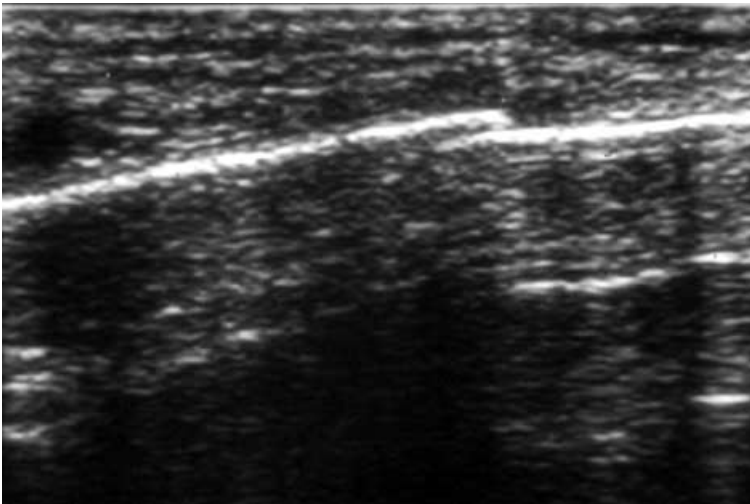


Abb. 13.7.
Sternumfraktur (Sonographie): Die Sonographie ermöglicht eine rasche und einfache Orientierung. Bei einer Sternumfraktur ist der charakteristische Kortikalisreflex unterbrochen und/oder versetzt

um Rippenfrakturen handeln, die von kostochondralen oder kostosternalen Frakturen begleitet werden. In allen diesen Situationen kommt es unter der Atmung oder Beatmung zu einer paradoxen Bewegung des betroffenen, hinsichtlich der Atemmechanik gestörten Wandabschnitts.

Abgesehen vom Nachweis entsprechender Frakturlokalisationen weist das sog. „costal hook sign“ auf ein instabiles Thoraxwandsegment hin. Voraussetzung für dieses Zeichen ist nämlich die Rotation des Rippenfragments.

■ **Sternumfrakturen und Verletzungen des Sternoklavikulargelenks (Abb. 13.6 a, b, 13.7).** Der radiologische Nachweis von Sternumfrakturen und Verletzungen des Sternoklavikulargelenks bei Patienten mit einem Thorax- oder Polytrauma ist unter den Bedingungen der Notfalldiagnostik schwierig. Sternumfrakturen, bei denen es sich in der Regel um Querfrakturen handelt, lassen sich allenfalls im Seitenbild diagnostizieren und auch nur dann, wenn eine Dislokation vorliegt. Andernfalls deutet möglicherweise nur das begleitende prä- und/oder retrosternale Hämatom auf die Verletzung hin. Sensitiver kann in diesen Fällen die Sonographie durch den Nachweis der kortikalen Konturunterbrechung sein.

Bei einem entsprechenden klinischen Verdacht (z. B. aufgrund des Unfallhergangs) empfiehlt sich in jedem Fall eine CT, mit der durch sekundär reformatierte Schnittbilder nicht nur der Frakturnachweis einfacher gelingt sondern zugleich auch Begleitverletzungen an den intrathorakalen Organen beurteilt werden können. Isolierte Sternumfrakturen sind selten und nicht mit einer höheren Inzidenz kardialer Symptome (Arrhythmien) vergesellschaftet (Brookes et al. 1993; Hills et al. 1993).

CAVE ! Sternumfrakturen mit einer Verbreiterung des Mediastinums sind immer verdächtig auf eine Verletzung kardiovaskulärer Strukturen und erfordern in jedem Fall die Schnittbilddiagnostik (Harley u. Mena 1986).

Verletzungen des Sternoklavikulargelenks lassen sich projektionsradiographisch nicht adäquat diagnostizieren. Wenngleich die Dislokation selbst sonographisch leicht zu verifizieren ist, ist die CT zur genauen Beurteilung der Verletzung am besten geeignet.

Merke ! Weichteilverletzungen der Thoraxwand sind angesehen von offenen Wunden klinisch meist bedeutungslos. Rippenfrakturen sind häufig und betreffen meist die 5. bis 11. Rippe. Die Zahl der Rippenfrakturen korreliert mit dem Schweregrad des Traumas. Eine respiratorische Insuffizienz resultiert insbesondere aus Serien-, Stück- und bilateralen parasternalen Frakturen (instabiler Thorax/„flail chest“). Frakturen der oberen Rippen müssen an Gefäßverletzungen im Bereich der oberen Thoraxapertur und an eine Verletzung des Tracheobronchialsystems, solche der unteren Rippen an intraabdominelle Begleitverletzungen (Leber, Milz) denken lassen. Isolierte Sternumfrakturen sind nur selten mit kardialen Komplikationen vergesellschaftet.

13.2.2

Pleuraraum

Pathologisch-anatomische Grundlagen

Pleuraverletzungen kommen bei penetrierenden Thoraxtraumen (offene Thoraxwandverletzung) regelmäßig, bei stumpfen Traumen häufig vor. Häufigste Ursache beim stumpfen Thoraxtrauma ist eine direkte Verletzung des Lungenparenchyms durch Rippenfrakturen. Seltener Ursachen sind eine rupturierte Emphyseblase oder eine Alveolarruptur auf dem Boden eines interstitiellen Emphysems.

Pleura- und Parenchymverletzungen, die durch dislozierte Rippenfrakturen entstehen, sind meist

mit Blutungen im Sinne eines Hämatothorax kombiniert. Pneumothoraces, die über das Mediastinum und das Lungeninterstitium vermittelt werden, sind immer mit einem Mediastinalemphysem, oft auch mit einem tiefen kollaren Emphysem vergesellschaftet.

Definition ! Als „offener Pneumothorax“ wird nicht nur der Pneumothorax bezeichnet, der durch eine Verletzung von außen entstanden ist, sondern jeder Pneumothorax, der nach außen mit der Atmosphäre Verbindung steht (Glinz 1981).

Hämatothoraces entstehen in der Regel durch Blutungen aus Gefäßen des Systemkreislaufs, nur sehr selten aus solchen des Lungenkreislaufs. Häufigste Blutungsquelle sind Interkostalgefäße bei Verletzungen der Thoraxwand. Hämatothoraces können aber auch Folge von Zwerchfellrupturen, Lungenlazerationen, Wirbelsäulenfrakturen oder Aortenverletzungen sein. Venöse Blutungen tamponieren sich aufgrund des niedrigen Drucks rasch spontan. Arterielle Blutungen dagegen können erhebliche Ausmaße annehmen, ehe sie durch Druckausgleich zu Stillstand kommen. Der Druckausgleich kann durch das raumfordernde Hämatom selbst herbeigeführt werden oder aber Folge der schockbedingten Hypovolämie und Hypotonie sein.

CAVE ! Bei arteriellen Blutungen besteht deswegen immer ein Risiko zur Rezidivblutung unter der Therapie (Hämatomentlastung, Volumensubstitution).

Der Pleuraraum kann ein Volumen von bis zu 6 l fassen.

Inzidenz

Pneumo- und Hämatothoraces sind überaus häufige Befunde beim stumpfen Thoraxtrauma. Die Häufigkeitsangaben allerdings schwanken in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungskollektiv und vom verwendeten Nachweisverfahren beträchtlich. Bei Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma, die einer stationären Beobachtung oder Behandlung bedürfen, wird ein Pneumothorax und/oder Hämatothorax in bis zu 40 % der Fälle beobachtet. Bei penetrierenden Verletzungen sind Hämatothoraces noch häufiger (60–80%; Conn et al. 1963; Graham et al. 1979).

Klinische Symptomatik

Symptome eines Hämato- oder Pneumothorax sind Dyspnoe, Husten und Thoraxschmerz. Bei der klinischen Untersuchung ist der Pneumothorax durch fehlende Atemgeräusche und hypersonoren Klopfeschall, der Hämatothorax durch eine Dämpfung

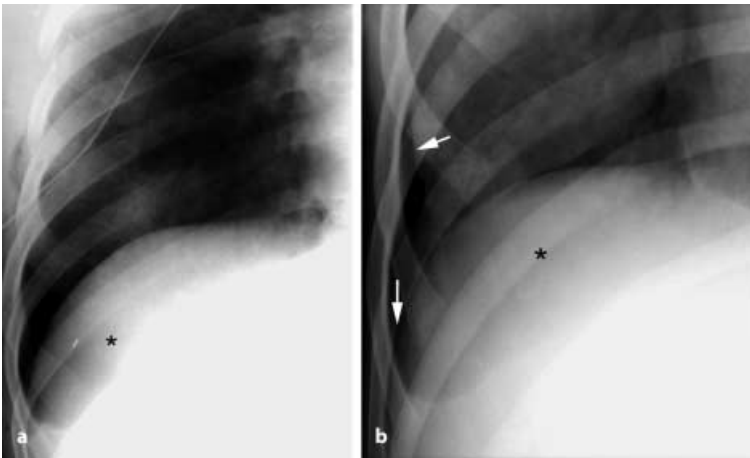


Abb. 13.8 a, b.
 Ventraler Pneumothorax (Röntgenzeichen): Typische Befunde des ventralen Pneumothorax, die auch bei fehlender Pleuralinie und fehlendem lungenzeichnungsfreien Raum die Verdachtsdiagnose nahelegen, sind der tiefe, spitze Sinus (*Pfeil nach unten*), die ungewöhnlich scharfe Zwerchfellkontur und die Aufhellung des Leber- bzw. Milzfeldes (*Sternchen*). In Abb. 13.4 b sind zusätzlich die Pleuralinie (*Pfeil nach lateral*) und der zeichnungsfreie Pleuraraum nachweisbar

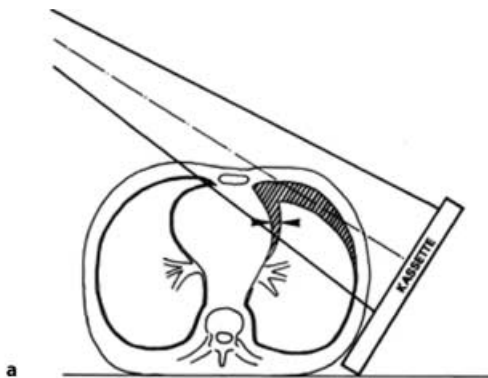


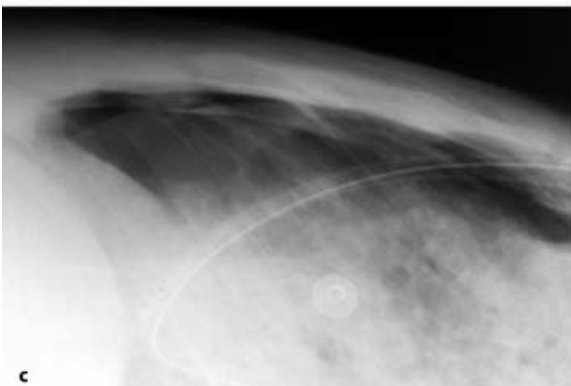
Abb. 13.9 a–c. Ventraler Pneumothorax (Tangential- und Seitenaufnahme): Die Tangentialaufnahme ermöglicht den Nachweis eines ventralen Pneumothorax (Darstellung der sicheren Pneumothoraxzeichen Pleuralinie und lungenzeichnungsfreier Raum) durch eine entsprechende Ausrichtung des Strahlengangs (*a, b*). Die Seitenaufnahme (*c*) ist wegen der notwendigen Hochlagerung der Arme und der Überlagerungen weniger gut geeignet. Interpretationsschwierigkeiten ergeben sich insbesondere auch bei Vorliegen eines Thoraxwandemphysems; computertomographisch ist diese Differenzierung wegen der fehlenden Überlagerungen gänzlich unproblematisch (vgl. Abb. 13.10)



charakterisiert. Diese Zeichen sind bei ausgedehnten Thoraxwandverletzungen oder einem Hauptemphysem allerdings schwer zu erheben.

Ein massiver Hämatothorax geht mit einer Schocksymptomatik einher. Blutverluste von mehr als 1500 ml oder von 200 ml/h über 3–4 h sind Indikationen zur einer chirurgischen Intervention. Blutverluste bis zu 100 ml/h sind meist Ausdruck einer Koagulopathie.

Die akute Entlastung eines massiven Pneumo- oder Hämatothorax kann zu einem Reexpansionsödem mit Husten, schaumigem Sputum, Agitiertheit, Tachypnoe und Tachykardie führen. Aus einem superinfizierten Hämatothorax kann sich ein Empyem entwickeln. Eine seltene Komplikation des Hämatothorax ist die Pachypleuritis.



Radiologische Symptomatik

■ **Pneumothorax (Abb. 13.8 a, b, 13.9 a–c, 13.10).** Die Zeichen des Pneumothorax im Röntgenübersichtsbild sind der lungenzeichnungsfreie Raum und die Pleuralinie. Die Transparenzerhöhung ist ein sehr unsicherer Befund, der keine definitive Diagnose zulässt. Diese Kriterien sind bei Röntgenaufnahmen



Abb. 13.10. Ventraler Pneumothorax: Das CT-Schnittbild zeigt neben Kontusionsherden in den dorsalen Parenchymabschnitten (*Sternchen*), einem Hämatothorax sowie Rippenfrakturen (*scharzer Pfeil*) einen schmalen ventralen Pneumothorax (*weiße Pfeile*), der auf der Thoraxübersicht nicht sichtbar war (vgl. auch Abb. 13.4 d)

im Liegen allerdings nur dann zu erheben, wenn es sich um einen ausgedehnten, mantelförmigen Pneumothorax handelt. Kleinere Pneumothoraces sind bei Liegendaufnahmen im ventralen Pleuraraum lokalisiert, da die Lungen der Schwerkraft folgend nach dorsal absinken. Die gewohnten diagnoserelevanten Zeichen des Pneumothorax fehlen deswegen und es findet sich allenfalls eine leichte Transparenzhöhen des betroffenen Hemithorax, die jedoch wegen der zumeist eingeschränkten Aufnahmequalität kaum zu verwerten ist. Aus diesem Grund wird der ventrale Pneumothorax initial leicht übersehen (nach Literaturangaben in etwa 50 % der Fälle; Schnyder u. Wintermark 2000).

Bei sorgfältiger Bildanalyse ist der ventrale Pneumothorax jedoch vielfach anhand einiger Kriterien zu erkennen, die zwar nicht beweisend aber in hohem Maße verdächtig sind (s. Übersicht; Galanski et al. 1981; Moskowitz u. Griscom 1976). Ein ventraler Pneumothorax mit einem Volumen von deutlich mehr als 200 ml ist auf diese Weise in etwa 90 % der Fälle nachzuweisen oder zumindest zu vermuten (Carr et al. 1992; Schnyder u. Wintermark 2000).

Röntgenzeichen des ventralen Pneumothorax

- Tiefer, scharf konturierter Zwerchfellrippenwinkel („deep sulcus sign“)
- ungewöhnlich scharf gezeichnete und bis ins Mediastinum zu verfolgende Zwerchfellkontur
- verstärkte Transparenz der Oberbauchfelder (Leber- und Milzfeld) durch den überlagernden luftgefüllten Recessus
- ungewöhnlich scharf konturierter Herz- und Mediastinalrand, insbesondere rechtsseitig durch Luft im paramediastinalen Pleuraspalt

Der definitive Nachweis und eine gewisse Volumenabschätzung gelingen mit Zusatzaufnahmen mittels Sonographie oder mit der CT.

Zusatzaufnahmen in Form einer Seiten- oder Tangentialaufnahme zielen auf die Darstellung des lungenzeichnungs-freien Pleuraspaltes und der Pleuralinie ab (Galanski et al. 1981; Carr et al. 1992).

Bei der Sonographie ist im Falle eines Pneumothorax die Gleitbewegung zwischen parietaler und viszeraler Pleura bei der Atmung aufgehoben, und die pleurale Grenzfläche stellt sich als starre Linie dar (Wernecke et al. 1989). Begleitende Thoraxwandemphyseme schränken die Aussagekraft beider Verfahren ein.

Sensitivstes Verfahren zum Nachweis eines ventralen Pneumothorax ist zweifelsfrei die CT, die auch Minimalbefunde zu detektieren vermag. Etwa ein Drittel der computertomographisch nachgewiesenen Pneumothoraces sind auf den Übersichtsaufnahmen nicht nachzuvollziehen (Brooks u. Olson 1989). Die klinische Relevanz kleiner Pneumothoraces wird allerdings kontrovers diskutiert. Als drainagepflichtig werden allgemein Pneuvolumina von über 500 ml angesehen. Marts et al. (1994) propagieren auch die Drainage kleiner, nur computertomographisch fassbarer, sog. okkulten Pneumothoraces bei Patienten, die unter PEEP-Beatmung stehen.

■ **Spannungspneumothorax (Abb. 13.11).** Die radiologischen Zeichen eines Spannungspneumothorax sind die Verlagerung der Mediastinalorgane, die Abflachung und Herabdrängung der betroffenen Zwerchfellhälfte und eine Kompressionsatelektase der Lunge. Dabei ist zu beachten, dass eine kontusionierte Lunge nicht kollabieren kann. Die fehlende Kompressionsatelektase schließt deswegen einen Spannungspneumothorax nicht aus.

Mögliche Begleitbefunde eines Spannungspneumothorax bei der sonographischen oder computertomographischen Untersuchung des Abdomens sind die Distension der V. cava inferior und der Nierenvenen sowie erweiterte Periportalfelder der Leber durch einen Lymphstau (Mirvis u. Templeton 1992).

■ **Hämatothorax (Abb. 13.12, 13.13).** Die Röntgensymptomatologie eines Hämatothorax auf der Liegendaufnahme hängt ebenso wie die des Pneumothorax wesentlich von seinem Volumen ab. Die Übersichtsaufnahme lässt nur eine grobe Abschätzung des Flüssigkeitsvolumen zu (Mirvis u. Rodriguez 1992; Schnyder u. Wintermark 2000). Auf Thoraxübersichtsaufnahmen im Stehen sind pleurale Flüssigkeitsansammlungen ab einer Menge von 200 ml, auf Liegendaufnahmen ab einer Menge von 500 ml nachweisbar. Auf Thoraxübersichtsaufnahmen im Liegen



Abb. 13.11. Spannungspneumothorax: Massiver rechtsseitiger Spannungspneumothorax mit Zwerchfelldepression und Verschiebung der Mediastinalorgane nach links. Begleitendes Pneumoperitoneum und massives Thoraxwandemphysem. Beachte den zu tief liegenden Trachealtubus und den fehlenden Kollaps der rechten Lunge durch die Parenchymkontusion



Abb. 13.12. Hämatothorax: Der Hämatothorax stellt sich auf der Übersichtsaufnahme aufgrund der Lagerung des Patienten meist lediglich als Transparenzminderung dar. Nur der massive Hämatothorax führt zu einem rippenständigen Begleitschatten. Geht er mit Zeichen der Raumforderung einher, ist immer von einer arteriellen Blutung auszugehen (meist Interkostal- oder Diaphragmalerterien, im vorliegenden Fall Aortenruptur)

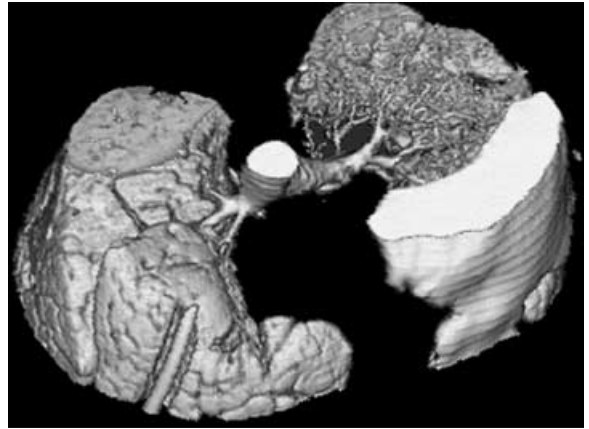


Abb. 13.13. Hämatothorax (CT-Diagnostik): Der Nachweis eines Pleuraergusses bzw. -hämatoms mittels CT ist unproblematisch. Die CT ermöglicht darüber hinaus eine quantitative Aussage (vgl. auch Abb. 13.2)

führen Flüssigkeitsmengen von weniger als 250 ml lediglich zu einer leichten Transparenzminderung der betroffenen Seite. Flüssigkeitsmengen zwischen 250 und 500 ml obliterieren den Zwerchfellrippenwinkel und maskieren die Zwerchfellkontur. Erst danach, bei Volumina von 500–800 ml bildet sich oft unter Einbeziehung des kleinen Lappenspaltes ein bandförmiger Flüssigkeitssaum zwischen Lunge und Thoraxwand aus. Ein „apical cap sign“ im Bereich der Lungenspitze ist erst ab einer Flüssigkeitsmenge von über 1 l zu erwarten.

Bei einem 1 cm breiten Flüssigkeitssaum auf Dekubitusaufnahmen kann man von Volumen von mindestens 500 ml ausgehen. Eine wesentlich genauere Quantifizierung ist heute durch das Volumenscanning mit der Spiral-CT möglich.

Beachte

- Ein Pneumothoraxsaum von 1 cm (10%iger Pneumothorax) signalisiert eine 50%ige Volumenkompression der Lunge, ein Saum von 5 cm (50%iger Pneumothorax) einen Lungenvolumenverlust von 80–90%.
- Rezidivierende Pneumothoraces müssen an eine bronchopleurale Fistel denken lassen.
- Die fehlende Kompressionsatelektase der Lunge schließt einen Spannungspneumothorax nicht aus, da eine kontusionierte Lunge aufgrund der Einblutungen und Flüssigkeitseinlagerungen nicht kollabieren kann.
- Rezidivierende und raumfordernde Hämatothoraces müssen an eine arterielle Blutungsquelle denken lassen.

Merke

! Pneumo- und Hämatothoraces sind häufige Befunde beim stumpfen Thoraxtrauma. Der röntgenologische Nachweis auf der Thoraxübersicht im Liegen ist problematisch. Computertomographisch ist der Nachweis unproblematisch. Verlässliches Hinweiszeichen auf einen ventralen Pneumothorax im Übersichtsbild ist der scharf konturierte, spitze Zwerchfellrippenwinkel („deep sulcus sign“). Beim Spannungspneumothorax ist zu beachten, dass die kontusionierte Lunge nicht kollabieren kann. Rezidivierende und raumfordernde Hämatothoraces müssen an eine arterielle Blutungsquelle denken lassen.

13.2.3 Zwerchfell

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Anatomische Schwachstelle des Zwerchfells ist neben den kostosternalen und paravertebralen Ansatzstellen der Übergang zwischen muskulärem und ligamentärem Teil.

Der N. phrenicus [4. und 5. (3. bis 6.) Zervikalsegment] verläuft zervikal vor dem M. scalenus anterior und hinter dem M. sternocleidomastoideus, im Bereich der oberen Thoraxapertur vor der A. subclavia und hinter der V. subclavia und im Mediastinum rechtsseitig lateral der V. cava superior und des Perikard, linksseitig zwischen der A. carotis communis und der A. subclavia über das Perikard; er liegt dabei jeweils extrapleural vor den Hilusstrukturen.

Zwerchfellrupturen sind, wenn man von den penetrierenden Verletzungen absieht, meist Folge einer plötzlichen und starken intraabdominellen Druckerhöhung. Laterale Kompressionen bzw. Gewalteinwirkungen sind dabei dreimal so häufig wie frontale. Typisch sind radiäre Risse im zentralen Sehnenabschnitt oder im Übergangsbereich zwischen muskulärem und sehnigem Anteil. Laterale Kompressionen führen zur quer verlaufenden Rissen mit Lungenkontusionen, frontale Kompressionen zur Sagittalrissen und Mediastinalverletzungen.

In drei Viertel der Fälle ist die linke Zwerchfellhälfte betroffen (Boulanger et al. 1993). Traumatische transdiaphragmale Organhernien sind sogar in mehr als 90 % links lokalisiert. Die rechte Zwerchfellkuppel ist durch die Leber besser geschützt. Im Vergleich zum Abdominaltrauma sind stumpfe Thoraxtraumen seltener die Ursache einer Zwerchfellruptur. Im Zuge der Thoraxwandverletzung und der damit verbundenen Rippenfrakturen kommt es dabei häufiger auch zu Läsionen der peripheren Zwerchfellabschnitte.

Herniationen betreffen in der Reihenfolge abnehmender Häufigkeit den Magen, Kolon und Omentum, Dünndarm, Milz, Leber, Pankreas und Niere.

■ **Verletzungsformen.** Folgende Verletzungsformen werden unterschieden:

- Zwerchfellrelaxation,
- traumatische Zwerchfellhernie,
- Zwerchfellruptur.

Die Relaxatio diaphragmatis ist Folge einer Phrenikusschädigung meist aus iatrogener Ursache. Bei der Zwerchfellhernie bleiben die pleuroperitonealen Membranen intakt. Die Zwerchfellruptur beinhaltet die vollständige Durchtrennung aller Gewebsschichten.

Inzidenz

Die Häufigkeitsangaben schwanken in weiten Grenzen zwischen unter 1 und über 5 %. Zwerchfellrupturen sind bei Admonial- oder Beckentraumen häufiger als bei Thoraxtraumen (bis 5 % beim stumpfen Abdominaltrauma, bis 1,5 % beim stumpfen Thoraxtrauma und noch häufiger bei penetrierenden Verletzungen, 6%; Mirvis u. Templeton 1992, Regel et al. 1993).

Typische Begleitverletzungen einer Zwerchfellruptur sind Leber- und Milzlazerationen (bis zu 40 %), Verletzungen gastrointestinaler Organe (bis zu 20 %) und Nierenverletzungen (bis zu 20 %). Rippenfrakturen und Beckenfrakturen werden in etwa 15–20 % der Fälle beobachtet.

Klinische Symptomatik

Die Symptomatik hängt von Ausmaß der Zwerchfellruptur und vor allen von den Begleitverletzungen ab, die oftmals das klinische Bild dominieren und die Zwerchfellverletzung zugleich maskieren. Symptome wie Schulterschmerz, Pleura-/Thoraxschmerz, Dyspnoe, Tachypnoe, Tachykardie, ein akutes Abdomen oder eine kontinuierliche Blutung sind möglich, letztlich aber unspezifisch. Kleinere Läsionen können zunächst asymptomatisch sein, ehe sie sich nach Tagen oder Wochen durch eine Hernienbildung manifestieren. Erfahrungsgemäß werden zwei Drittel der Zwerchfellrupturen primär nicht diagnostiziert.

Durch die kontinuierlichen Atembewegungen heilen Zwerchfellrupturen nicht; vielmehr kommt es zu einer Erweiterung der Zwerchfellücke und zu einer zunehmenden Hernienbildung. Der negative intrapleurale Druck führt bei der Zwerchfellruptur dazu, dass die Baueingeweide sukzessive in den Thoraxraum hinein gezogen werden; unter Spontanatmung besteht bei der Zwerchfellruptur also eine Einbahnstraße für abdominales Gewebe vom Abdomen in den Thorax.

■ **Komplikationen.** Eine zwar seltene aber gravierende Komplikation kann die Ischämie hernierter Organe durch Abklemmung der versorgenden oder drainierenden Gefäße mit nachfolgender Nekrose und Sepsis sein.

Radiologische Symptomatik

Zwerchfellrupturen werden auch radiologisch in einem hohen Prozentsatz primär nicht erkannt und erst verzögert diagnostiziert, obgleich das Röntgenbild des Thorax in nahezu 75% der Fälle pathologisch ist. Allerdings ist die Röntgensymptomatologie unspezifisch und allenfalls in 25–50% richtungweisend für Zwerchfellruptur (Marts et al. 1994). Die häufigsten nativdiagnostischen Röntgenbefunde (Thoraxübersicht) sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt.

Zwerchfellruptur – Hinweiszeichen im Thoraxübersichtsbild

- Zwerchfellohochstand (ggf. mit basalen Plattenatektasen)
- Konturunschärfe des Zwerchfells
- Doppelkontur/Buckelung des Zwerchfells
- Hämatothorax
- Mediastinalverlagerung (Abb. 13.14 a, b)
- Verlagerung von Abdominalorganen nach intrathorakal
- ungewöhnliche Hohlraumbildungen und/oder Raumforderungen intrathorakal

Alle Übergänge von einer leichten Unregelmäßigkeit über eine Obliteration der Zwerchfellkontur bis hin zum intrathorakal verlagerten Hohlorgan sind möglich. Beweisend ist im Übersichtsbild allein die intrathorakale Herniation von Abdominalorganen. Ungewöhnliche intrathorakale Hohlraumbildungen oder pseudotumoröse Verschattungen oberhalb der Zwerchfellebene mit begleitender Mediastinalverlagerung zur kontralateralen Seite als Zeichen der Raumforderung sind deswegen hoch verdächtig und fordern die definitive Abklärung ggf. durch eine enterale Kontrastmittel-(KM-)Gabe mit Kontrollaufnahme oder unter Durchleuchtungskontrolle. Damit gelingt allerdings nur der Nachweis einer Herniation von Hohlorganen, nicht aber der Herniation parenchymatöser Organe oder anderer solider Strukturen. Deswegen und zur Abschätzung weiterer Verletzungsfolgen ist eine ergänzende Schnittbilddiagnostik in aller Regel indiziert.

Methode der Wahl zum direkten Rupturnachweis und zum Nachweis transdiaphragmaler Hernien dürfte derzeit die Dünnschicht-Spiral-CT mit der Möglichkeit multiplanarer Sekundärreformationen sein (Abb. 13.15 a–c). Die computertomographischen Zeichen der Zwerchfellläsion sind

- die hämorrhagische Auftreibung,
- die Kontinuitätsunterbrechung oder
- das völlige Fehlen der Zwerchfellkontur.

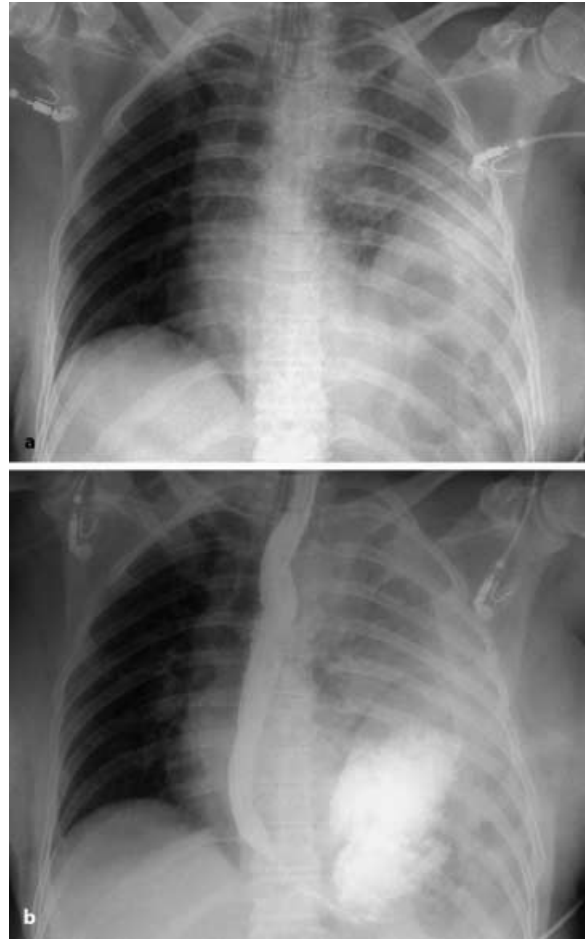


Abb. 13.14 a, b. Linksseitige Zwerchfellruptur mit traumatischer Magen- und Dünndarmhernie: Die Thoraxübersicht zeigt links thorakal pathologische Verschattungen mit Luftpneumothorax oberhalb der typischen Zwerchfellebene. Die ausgeprägte Verlagerung des Mediastinums zeigt den raumfordernden Charakter des Befundes an, was bei pulmonalparenchymatösen Traumafolgen nicht der Fall ist. Die bei Verdacht auf eine Zwerchfellruptur durchgeführte orale KM-Applikation (b) bestätigt den Verdacht und weist die traumatische Magenhernie nach. Es findet sich bei dieser Kontrolle ein zunehmender linksseitiger Hämatothorax (auf eine linksseitige Pleuradrainage wurde wegen des Rupturverdachts initial verzichtet). Beachte die begleitende linksseitige Rippenserienfraktur und das ausgeprägte linksseitige Thoraxwandhämatom

Dieser Nachweis ist am linken Hemidiaphragma relativ leicht möglich, rechtsseitig hingegen wegen der anliegenden Leber und der dadurch schlechten Abgrenzbarkeit des Zwerchfellblattes problematisch. Hernierte Darmschlingen zeigen in Höhe der Zwerchfellücke eine taillenähnliche Schnürung („collar sign“).

Hinweis auf eine Zwerchfellruptur im CT kann das „dependent viscera“ Zeichen sein, bei dem die Oberbauchorgane infolge der Zwerchfellruptur nicht mehr in ihrer typischen Lage gehalten werden, sondern bei Rückenlage des Verletzten nach dorsal ab-



Abb. 13.15 a–c. Zwerchfellruptur (CT): Das transversale Schnittbild (a) zeigt neben der paravertebralen Rippenfraktur (schwarzer Pfeil) den Konturdefekt des linken Zwerchfellschenkels (Pfeil nach links oben) und das ausgedehnte Begleithämatom (Sternchen). Die reformatierten CT-Schnittbilder von zwei anderen Fällen (b, c) zeigen linksseitige Zwerchfellrupturen mit Hernierung von Abdominalorganen in den Thoraxraum

sinken und Kontakt mit den Rippen gewinnen (Bergin et al. 2001).

Die Sensitivität der CT-Diagnostik beim Nachweis von Zwerchfellrupturen ist mit etwa 60%, die Spezifität mit 85% anzusetzen (Schnyder u. Wintermark 2000). Die Leistungsfähigkeit der Kernspintomographie dürfte äquivalent sein, verlässliche Literaturangaben fehlen allerdings.

Die Sonographie kann zwar Flüssigkeitsansammlungen und Parenchymverletzungen gut darstellen. Der direkte Ruptur- oder Defektnachweis gelingt jedoch kaum. Bei Herniationen fehlt oft auch der für die korrekte Interpretation notwendige Überblick.

Eine angiographische Diagnostik mit Darstellung der A. phrenica ist nur ausnahmsweise bei unklaren Befunden oder unklaren Blutungsquellen indiziert.

Beachte

- Bei dem Verdacht auf eine Zwerchfellruptur ist die unkontrollierte Anlage einer Pleura- oder Thoraxdrainage wegen der Gefahr einer Verletzung von Abdominalorganen/Hohlorganen relativ kontraindiziert.

- Ein rechtsseitiger Zwerchfellhochstand beim polytraumatisierten Patienten spricht immer für eine Zwerchfellruptur, da posttraumatische Phrenikusläsionen extrem selten sind (traumatische Phrenikusläsionen sind meist iatrogen; Westaby u. Braylay 1990).
- Unter maschineller Beatmung kann eine Zwerchfellruptur lange maskiert bleiben, da durch die Beatmung die Verlagerung der Abdominalorgane in den Thoraxraum unterdrückt wird. Erst unter Spontanatmung kommt es dann zur Hernierung (Shapiro et al. 1996).
- Seltener Spätfund nach einer Zwerchfell- und Milzruptur ist eine intrathorakale und/oder intraabdominelle Splenose (Schnyder u. Wintermark 2000).

Merke

Zwerchfellrupturen werden in einem hohen Prozentsatz primär nicht erkannt, da die Röntgensymptomatologie unspezifisch ist. Diagnostisch führend sind intrathorakale Hohlraumbildungen oder pseudotumoröse Verschattungen oberhalb der Zwerchfellebene mit begleitender Mediastinalverlagerung. Beweisend ist der Nachweis intrathorakal hernierter Abdominalorgane mittels einer KM-Untersuchung oder der CT, die auch den Rupturdefekt im Zwerchfell direkt nachweisen kann.

13.3 Lunge und Tracheobronchialsystem

13.3.1 Lungenparenchym

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

- **Kontusion und Lazeration.** Kontusion und Lazeration sind unmittelbare traumatische Lungenschädigungen, die sich in erster Linie graduell unterscheiden.

Definition

Als Kontusion (Quetschung) wird eine anatomische und funktionelle Schädigung der Lunge infolge eines nichtpenetrierenden Kompressions-Dekompressions-Traumas bzw. eines Rasantraumas bezeichnet.

Pathomorphologisches Substrat ist eine blutig-seröse Insudation des betroffenen Parenchymabschnitts durch mikroskopische Läsionen.

Definition

Die Lazeration (Zerreißung) bezeichnet makroskopische Rissbildungen im Parenchym mit oder ohne Beteiligung der viszeralen Pleura.

Ein Pneumo- und/oder Hämatothorax sind bei einer Laceration häufig. Durch Verletzung kleiner Gefäße und Bronchien kann es zur Ausbildung traumatischer Hämatoome oder tramatischer Pneumatozelen kommen. Penetrierende Thoraxtraumen führen leicht zur Lacerationen. Stumpfe Traumen hingegen setzen eine erhebliche Gewalteinwirkung voraus.

Neben der direkten traumatischen Schädigung kommt es sowohl bei der Kontusion wie bei der Laceration durch die Einwanderung polymorpher Leukozyten zur Freisetzung gewebstoxischer Mediatoren und zur Ausbildung eines intraalveolären und interstitiellen Ödems (Schlag et al. 1992; Wagner et al. 1988).

Lungenkontusion und -laceration manifestieren sich in der Regel am Ort der Gewalteinwirkung subpleural und thoraxwandnah. Es sind aber auch „Contre-coup-Läsionen“ möglich.

■ **Lungentorsion.** Im Zuge eines gravierenden Thoraxtraumas kann es insbesondere bei Jugendlichen zu einer Lungentorsion bei einem anlagebedingt kurzen oder traumatisch eingerissenen pulmonalen Ligament kommen. Die Fixation der Lunge am Hilus ist dadurch geschwächt, und eine Torsion um den bronchovaskulären Stiel durch starke Beschleunigungskräfte ist möglich. Der Schweregrad und die Folgen sind im Wesentlichen von der Gefäßkompression abhängig.

■ **Blust injury/Explosionstrauma/Druckwellentrauma.** Dieses Trauma stellt eine besondere Kontusionsform dar. Die Druckwelle wird über das Tracheobronchialsystem auf das gesamte Lungenparenchym übertragen. Es kommt zur disseminierten Ruptur von Alveolen und Kapillaren mit interstitiellen und intraalveolären Hämorrhagien und der Ausbildung bronchiolovenöser und alveolovenöser Fisteln mit der Gefahr von Luftembolien.

Inzidenz

Lungenkontusionen sind neben den Rippenfrakturen und Pneumothoraces die häufigste Verletzungsform beim stumpfen Thoraxtrauma mit einer Inzidenz von bis zu 60%. Sie werden heute durch den Einsatz der CT häufiger diagnostiziert als früher, da kleinene Kontusionsherde im Thoraxübersichtsbild dem Nachweis leicht entgehen (Stark 1990). Die traumatische Lungentorsion ist eine Rarität.

Klinische Symptomatik

Die Mehrzahl der Lungenkontusionen und Lacerationen verläuft klinisch inapparent. Hämoptysen sind insgesamt selten, bei einer Laceration häufiger als bei einer Kontusion. Ob und in welchem Ausmaß sich Störungen des Gasaustausches manifestieren,

hängt vom betroffenen Lungenvolumen, von Begleitverletzungen (instabiler Thorax, Pneumothorax, Hämatothorax) und ggf. auch von präexistenten Lungenerkrankungen ab. Oftmals ist der radiologische Befund eindrucksvoll, klinisch aber ohne wesentliche Bedeutung und Konsequenz. Ein Atemnotsyndrom entwickelt sich bei schweren Parenchymverletzungen in etwa 10% der Fälle.

Anders stellt sich die Situation bei akuten intrathorakalen Druckerhöhungen dar (Explosionstrauma, Thoraxkompressionen bei Glottisverschluss). Beim Explosionstrauma ist mit einer respiratorischen Insuffizienz, feuchten Rasselgeräuschen und unproduktivem Husten zu rechnen. Eine Thoraxkompression unter Glottisverschluss führt über eine abrupte venöse Einflusstauung zum Bild der traumatischen Asphyxie mit zyanotisch-hämorrhagischem Aspekt im Kopf-Hals-Bereich, subkonjunktivalen, skleralen oder auch kraniozervikalen Blutungen (Perthes-Syndrom). Die Entwicklung eines progredienten zerebralen und pulmonalen Ödems ist möglich.

Beachte

Eine reelle Gefahr insbesondere beim offenen, penetrierenden Thoraxtrauma ist die arterielle Luftembolie, die oft nicht erkannt wird. Sie entsteht dann, wenn bei simultaner Eröffnung von Alveolen und Venolen Luft unter der Beatmung über die Lungenvenen ins linke Herz gelangt; minimale Luftmengen können tödlich sein, wenn sie in die Koronararterien gelangen (Glinz 1981).



Abb. 13.16. Lungenkontusion: Die Thoraxübersicht zeigt den typischen Befund einer Lungenkontusion mit wenig intensiven, relativ homogenen und unscharf begrenzten Verdichtungen. Kontusionsherde sind zum Zeitpunkt der Primärdiagnostik praktisch immer voll ausgeprägt und bilden sich dann rasch binnen weniger Tage zurück

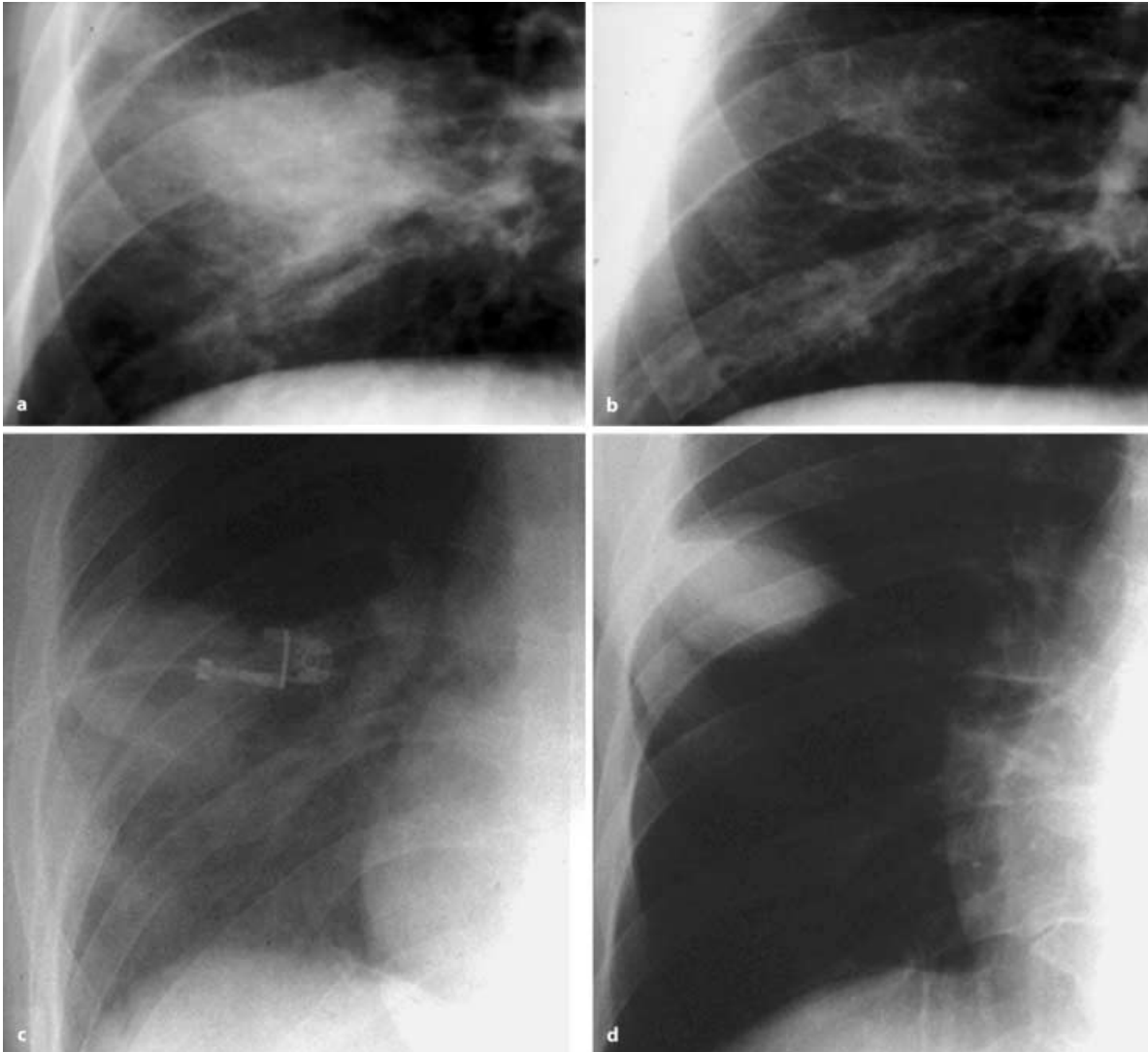


Abb. 13.17 a–d. Lungenkontusion und -hämatom (Verlauf): Die initial nach dem Trauma angefertigten Aufnahmen (a, b) zeigen den typischen Befund einer Lungenkontusion mit einem relativ homogenen und unscharf begrenzten Verdichtungsareal am Ort der Gewalteinwirkung. Auf den 3 Wochen

später angefertigten Kontrollaufnahmen (c, d) sind die Kontusionsherde vollständig resorbiert. Verblieben ist ein umschriebener, relativ scharf begrenzter Verdichtungsherd, der einem pulmonalen Hämatom entspricht, das zunächst durch die kontusionellen Veränderungen maskiert wurde

Radiologische Symptomatik

Der Nachweis pulmonaler Kontusionsherde gelingt mit der CT praktisch immer, mit der Projektionsradiographie in etwa der Hälfte der Fälle (Schild et al. 1986). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die klinisch relevanten Befunde auch der Projektionsradiographie nicht entgehen. Unproblematisch ist in aller Regel auch die artdiagnostische Zuordnung der Befunde im Zusammenhang mit dem Trauma.

■ **Kontusion (Abb. 13.16, 13.17 a–d, 13.18 a–c, 13.19 a, b).** Kontusionsherde stellen sich als relativ homogene, unscharf begrenzte Verdichtungen dar, die typischer-

weise subpleural am Ort der Gewalteinwirkung lokalisiert sind. Auch der zeitliche Ablauf ist charakteristisch. Die Kontusionsherde bilden sich in kürzester Zeit (binnen weniger Stunden) nach dem Trauma aus und haben zum Zeitpunkt der Erstaufnahme meist schon ihre volle Ausdehnung erreicht. Sie bilden sich dann bei unkompliziertem Verlauf binnen weniger Tage zurück. Auch größere Kontusionsherde sind in der Regel nach maximal zwei Wochen resorbiert. Persistierende oder progrediente Veränderungen müssen immer an Komplikationen denken lassen.

Computertomographisch stellen sich Kontusionsherde als unscharf begrenzte wenig intensive Ver-

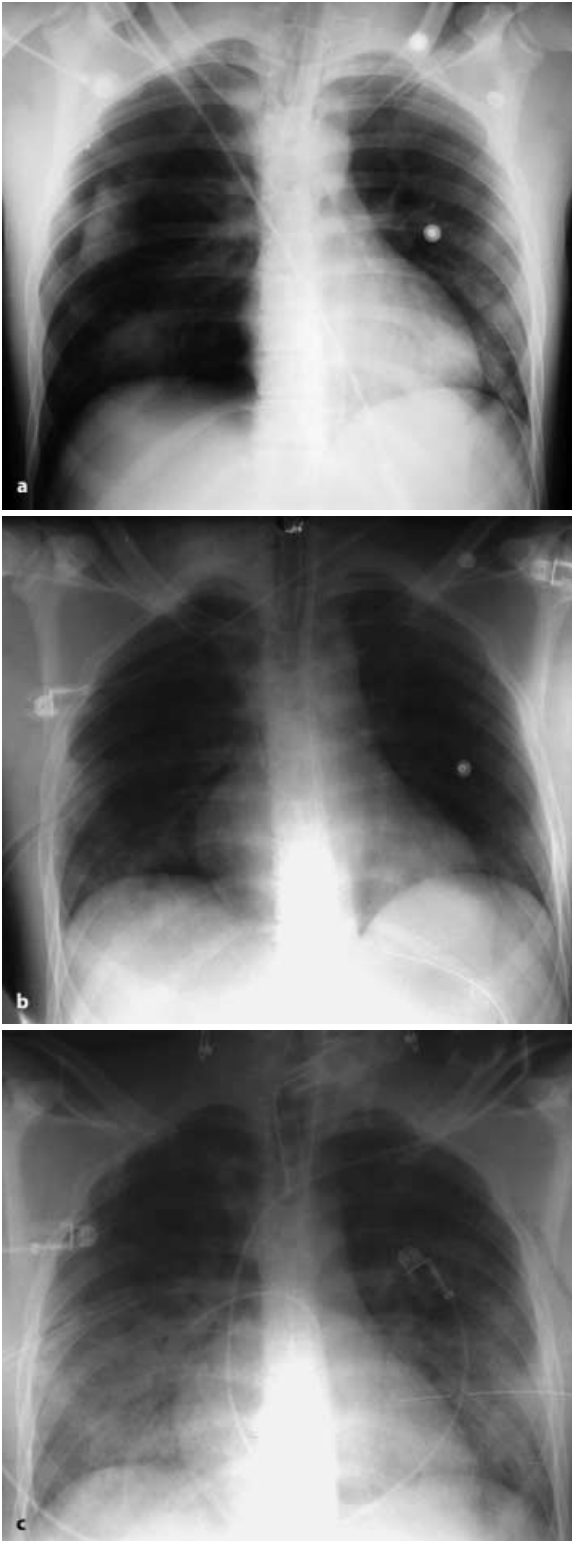


Abb. 13.18 a – c. Lungenkontusion mit komplizierendem „adult respiratory distress syndrome“/ARDS: Die initial nach dem Trauma angefertigte Aufnahme (a) zeigt einen Pneumothorax und pulmonale Kontusionsherde, die sich als Parenchymverdichtungen darstellen. Die wenige Stunden später angefertigte Aufnahme nach Anlage einer Drainage (b) zeigt eine Rückbildung des Pneumothorax und einen praktisch stationären pulmonal-parenchymatösen Befund. Die Kontrolle 4 Tage (c) später zeigt bilateral eine zunehmende Transparenzminderung der Lunge durch homogen flächenhafte Verdichtungen geringer Intensität. Dieser Verlauf ist mit Kontusionsherden nicht vereinbar und muss an Komplikationen denken lassen. Im vorliegenden Fall handelte es sich um ein komplizierendes Atemnotsyndrom

dichtungsareale ähnlich einer milchglasartigen Trübung dar. Ein Luftbronchogramm fehlt. Die Dichte lässt keinen Rückschluss auf die Art der Flüssigkeits-einlagerung zu. Interessanterweise sind Kontusionsherde umso kleiner je mehr Rippenfrakturen vorliegen (Energieabsorption durch Rippenfrakturen). Eine Erfahrung aus der CT ist auch das Vorkommen von Contre-coup-Läsionen beim Thoraxtrauma.

■ **Lazeration (Abb. 13.20, 13.21).** Lazerationen sind im Thoraxübersichtsbild primär von Kontusionsherden nur dann zu unterscheiden, wenn sich innerhalb der Verschattung lufthaltige zystische Strukturen finden, die die Parenchymzerreißung mit Ausbildung einer Pneumatozele anzeigen. Ansonsten sind die Lazerationsherde allenfalls dichter. Im Verlauf ist die Differenzierung jedoch unproblematisch, da sich Parenchymlazerationen nicht im Verlauf von Tagen sondern von Wochen zurückbilden. Hämatome benötigen u. U. sogar einige Monate bis zur vollständigen Resorption. Hämatome und Pneumatozelen treten oftmals erst dann in Erscheinung, wenn sich die begleitenden Kontusionsfolgen zurückbilden.

Im Computertomogramm ist die Differenzierung zwischen einer reinen Kontusion und einer Lazeration meist primär möglich. Lazerationen sind insgesamt dichter und inhomogener, da sie neben den rein kontusionellen Veränderungen fast immer auch dichtere Hämatome, Lufteinschlüsse durch Verletzung kleiner Bronchiolen und Spiegelbildungen in eingebluteten Pneumatozelen aufweisen. Die Pneumatozelen können sich unter assistierter Beatmung aufblähen. Eingeblutete Pneumatozelen geben sich u. U. erst verzögert mit der Evakuierung des Blutes als solche zu erkennen.

■ **Lungentorsion.** Die Lungentorsion ist gekennzeichnet durch eine abnorme Position und Ausrichtung der Hilusachse mit atypischem Verlauf der großen Gefäße und Einengung des torquierten Stammbronchus. Die Lungenlappen können überbläht oder dystelektatisch sein.

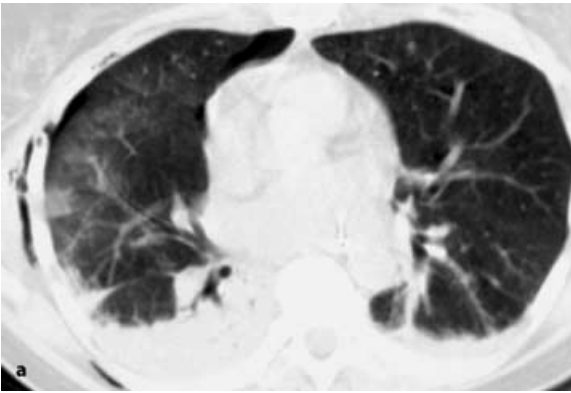
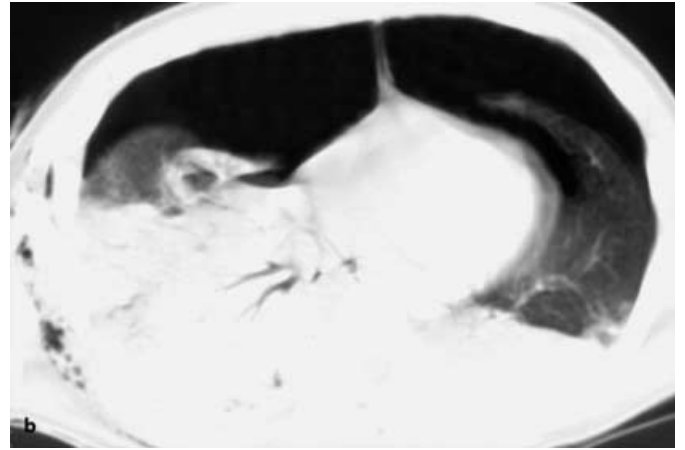


Abb. 13.19 a, b. Lungenkontusion (CT): a Abgesehen von einem schmalen rechtsseitigen Pneumothorax und bilateralen Pleuraergüssen findet sich eine etwas inhomogene, insgesamt wenig intensive Transparenzminderung der angeschnittenen rechtsseitigen Lungenabschnitte als Ausdruck kontusioneller



Einblutungen. b Ausgeprägte bilaterale Pneumothoraces mit rechtsseitigem Thoraxwandemphysem und eine relativ intensive Verdichtung der rechten Lunge, die für reine kontusionelle Einblutungen eher ungewöhnlich ist



Abb. 13.20. Lungenlazeration (Thoraxübersicht): Die unmittelbar posttraumatisch angefertigte Ausschnittsaufnahme der rechten Lunge zeigt unscharf begrenzte fleckig-flächige Verdichtungen, die mit Kontusionsherden vereinbar sind. Innerhalb derselben finden sich jedoch „zystische“ Aufhellungsareale oberhalb des Endes der kürzeren Drainage, die traumatische Pneumatozelen und damit eine Lungenlazeration anzeigen

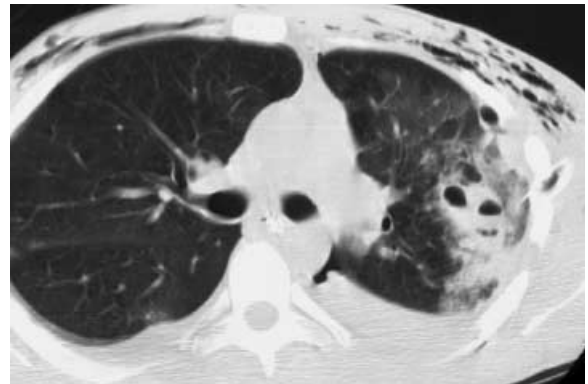


Abb. 13.21. Lungenlazeration (CT): Das unmittelbar posttraumatisch angefertigte Schnittbild zeigt neben Hämatothoraces und einem Thoraxwandemphysem linksseitig pulmonale Kontusionsherde unterschiedlicher Intensität – teils nur milchglasartige Trübungen, teils dichtere Areale mit Luftschlüssen und teilweise Spiegelbildungen. Diese Veränderungen sind Ausdruck einer Lungenlazeration mit pulmonalen Hämatomen (fokal dichte Herde), Pneumatozelen (lufthaltige zystische Formationen) und eingeblutete Pneumatozelen (Spiegelbildungen)

Differentialdiagnostik

Die Differentialdiagnose bereitet im Zusammenhang mit der Anamnese und dem Verlauf in der Regel keine Schwierigkeiten. Bei der im Rahmen der Primärdiagnostik u.U. notwendigen Abgrenzung gegen Aspirationsfolgen ist die Lokalisation hilfreich. Aspirationen zeigen eine gravitationsabhängige und segmentale Verteilung, während sich Traumafolgen subpleural manifestieren und keine anatomischen Grenzen mit Ausnahme der Lappenspalten respektieren.

CAVE

! Persistierende, progrediente und im Vergleich zum Ausgangsbefund neue Befunde müssen immer an Komplikationen, insbesondere Aspirationsfolgen, eine Sekundärinfektion oder die Ausbildung eines Atemnotsyndroms denken lassen.

Merke

! Die Mehrzahl der Lungenkontusionen und Lacerationen verläuft klinisch inapparent und hat keine therapeutische Konsequenz. Die CT ist beim Nachweis von Parenchymverletzungen weitaus sensitiver als die Thoraxübersicht. Die Diagnose ist in der Regel aufgrund der Röntgensymptomatologie und des Verlaufs unproblematisch. Charakteristisch sind thoraxwandnahe Parenchymverdichtungen am Ort der Gewalteinwirkung, die sofortige Manifestation nach dem Trauma und die rasche Rückbildung. Persistierende, progrediente und posttraumatisch zusätzlich auftretende Befunde müssen an Komplikationen denken lassen.

13.3.2

Tracheobronchialsystem

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Verletzungen des zentralen Tracheobronchialsystems sind immer Ausdruck eines schweren Thoraxtraumas. Folgende Entstehungsmechanismen sind möglich:

1. sagittale Thoraxkompression, wodurch der Transversaldurchmesser des Thorax vergrößert wird; die Lungen passen sich dem aufgrund der Elastizität an; das Tracheobronchialsystem kann schlechter ausweichen; durch den Zug auf die Karina kommt es zur Laceration/Transsektion der Trachea oder eines Hauptbronchus;
2. intrathorakale Druckerhöhung bei geschlossener Glottis; lineare Ruptur am Tracheobronchialbaum;
3. Rasanztrauma (Beschleunigungstraume) mit Akzeleration oder Dezeleration; Scherkräfte führen zur Ruptur/Rissbildung;

4. penetrierende Verletzung;
5. nach Glinz (1992): Zum Entstehen einer Bronchusruptur ist ein Glottisschluss erforderlich; in Erwartung des Unfalls holt der Betroffene tief Luft und schließt die Glottis; unter der Kompression kommt es zum intraluminalen Überdruck mit konsekutiver Bronchusruptur.

Lokalisation

80% der Verletzungen des Tracheobronchialsystems lokalisieren sich in einem Umkreis von 2,5 cm um die Karina, wobei die häufigste Lokalisation das proximale Segment der Stammbronchien ist. Rechter und linker Stammbronchus sind in etwa gleich häufig betroffen, evtl. mit leichter Bevorzugung der rechten Seite. Die Verletzung kann sich auf die Mukosa oder die inneren Wandschichten beschränken, die Bronchuswand penetrieren (Riss) oder den Bronchus im Sinne einer Transsektion ganz abtrennen. Transversalrupturen sind häufiger als Longitudinalrisse. An der Trachea ist vorzugsweise der Übergang zwischen membranösem und kartilaginärem Teil betroffen.

Inzidenz

Verletzungen des Tracheobronchialsystems gelten als selten (< 2,5%). Tatsächlich dürften sie jedoch häufiger sein, da einerseits ein Teil der Patienten das Trauma nicht überlebt, andererseits Verletzungen geringeren Grades u. U. nicht erkannt und behandelt werden. Penetrierende Traumen (auch iatrogen) sind ursächlich häufiger als stumpfe Gewalteinwirkungen.

Klinische Symptomatik

In zwei Drittel der Fälle sind die Vitalfunktionen erhalten, und die Tracheobronchialverletzung ist nicht ohne Weiteres apparent. Hämoptysen oder eine Blutaspiration liegen ebenso wie die Zeichen einer obstruktiven Belüftungsstörung in etwa 40% der Fälle vor. Diese Befunde sind jedoch vieldeutig und ebenso unspezifisch wie ein vermindertes Atemgeräusch. Symptome wie Heiserkeit, Dysphonie (durch Recurrensläsion), Husten oder Stridor sind in der Akutphase kaum zu erwarten. Entscheidend ist es, an die Möglichkeit einer Tracheobronchialruptur zu denken. Die relevanten Hinweisszeichen sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt.

Hinweiszeichen auf eine Verletzung des Tracheobronchialsystems

- Anamnestische Hinweise
 - ▼ Rasanztrauma
- klinische Hinweise
 - ▼ Husten
 - ▼ Dyspnoe
 - ▼ Hämoptysen

- radiologische Hinweise, primär
 - ▼ Subkutanemphysem
 - ▼ Pneumothorax
 - ▼ Pneumomediastinum
 - ▼ Pneumoperikard
 - ▼ Frakturen des Thoraxskeletts
- radiologische Hinweise, sekundär
 - ▼ Subkutanemphysem, therapierefraktär
 - ▼ Pneumothorax, therapierefraktär
 - ▼ Pneumomediastinum, therapierefraktär
 - ▼ Pneumoperikard, therapierefraktär

Komplikationen

- Bronchopleurale Fistel,
- bei Sekundärheilung narbig-stenosierende Granulombildung mit konsekutiver Stenosierung und rezidivierenden Infekten der abhängigen Lungensegmente,
- bei komplettem Abriss Atelektase ohne Infektion; Rechts-Links-Shunt initial $> 30\%$ geht rasch auf $< 5\%$ zurück.

Prognose

Verletzungen des Tracheobronchialsystems können, wenn sie rechtzeitig erkannt werden, operativ gut versorgt werden, sodass eine Restitutio ad integrum möglich ist. Trachealrupturen sind jedoch generell prognostisch ungünstiger einzuschätzen als Bronchusrupturen. Fehl- oder narbig stenosierend verheilte Rupturen werden reseziert und sind prognostisch ebenfalls günstig, wenn nicht bereits Schädigungen der abhängigen Lunge eingetreten sind.

Radiologische Symptomatik

Direkte Zeichen einer Verletzung des Tracheobronchialsystems im Thoraxröntgenbild sind weitaus seltener als indirekte. In 20% der Fälle ist mit einem negativen Befund zu rechnen. Die indirekten Zeichen sind zwar unspezifisch, sie können aber den entscheidenden Hinweis auf eine mögliche Verletzung des Tracheobronchialsystems geben. Derartige Hinweiszeichen sind

- ein Pneumothorax,
- ein Pneumomediastinum oder
- ein Pneumoperikard

insbesondere dann, wenn sie sich therapierefraktärer verhalten. In diesen Fällen sind eine CT-Untersuchung und/oder Bronchoskopie indiziert (Abb. 13.22, 13.23).

Die direkten radiologischen Zeichen einer Tracheobronchialverletzung sind zwar spezifisch, aber extrem selten. Dazu zählen ein Bronchusabbruch, eine Versetzung der Bronchuskontur (Bajonett-Zeichen) und das sog. „fallen-lung sign“, welches einen Bronchusabriss voraussetzt. Die betroffene Lunge verliert



Abb. 13.22. Tracheobronchialverletzung (Thoraxübersicht): Die Aufnahme wurde nach einem schweren Thoraxtrauma (Sturz aus großer Höhe) angefertigt. Sie zeigt einen bilateralen drainierten Pneumothorax, ein ausgedehntes Pneumomediastinum und Pneumoperikard und pulmonale Kontusionsherde. Die trotz adäquater Therapie persistierenden Pneumothoraces und mediastinalen Luftansammlungen legten den Verdacht auf eine Bronchusruptur nahe, der endoskopisch bestätigt wurde



Abb. 13.23. Tracheobronchialverletzung (CT): seltener Befund eines direkten nachgewiesenen trachealen Wandeinrisses (Pfeil) mit massivem Mediastinalemphysem

damit ihre Verankerung am Hilus und sinkt der Schwerkraft folgend ab, bei stehender Aufnahme nach kaudal, bei liegender Aufnahme nach dorsal. Bei Betaaufnahmen ist dieses Zeichen deswegen nicht zu verwerten. In der CT manifestiert sich das „fallen-lung sign“ in einer atypischen Schnittbildtopographie: Der rechte Oberlappenbronchus ist mit seinem anterioren Segmentbronchus nicht mehr in seiner typischen Lokalisation in Höhe der Karina dargestellt, sondern

weiter kaudal mit schräg-dorsaler Verlaufsrichtung (Tack et al. 2000).

Beachte

- Der Röntgennativbefund ist in 20% der Fälle negativ.
- Ein kompletter Abriss kann übersehen werden, wenn die Ruptur durch das umgebende Gewebe gedeckt wird.
- Ein Pneumoperikard und Luft in der tiefen Halsregion sprechen für eine Tracheobronchialverletzung (Westaby u. Braylay 1990).
- Das „fallen-lung sign“ bei Ruptur der bronchialen Verankerung der Lunge manifestiert sich in der CT dadurch, dass der rechte Oberlappenbronchus mit seinem anterioren Segmentbronchus nicht mehr in seiner typischen Lokalisation in Höhe der Karina angeschnitten wird, sondern weiter kaudal mit schräg-dorsaler Verlaufsrichtung (Tack et al. 2000).

Merke

Verletzungen des zentralen Tracheobronchialsystems sind immer Ausdruck eines schweren Thoraxtraumas. Wegen der unspezifischen klinisch-radiologischen Symptomatik werden sie in einem hohen Prozentsatz primär übersehen und erst sekundär diagnostiziert. Typische Verletzungslokalisation sind die karinahnahen Bronchusabschnitte. Richtungsweisend im Röntgenbild können ausgeprägte und insbesondere therapierefraktäre Befunde wie ein Pneumothorax, ein Mediastinalemphysem oder eine Atelektase sein.

13.4

Mediastinum

13.4.1

Pneumomediastinum/Pneumoperikard

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Im Zusammenhang mit einem stumpfen Thoraxtrauma wird ein Pneumomediastinum in etwa 10% der Fälle angetroffen. Es kann verschiedene Ursachen haben bzw. auf verschiedenen Wegen entstehen. Häufigste Ursache ist die Entstehung über eine Alveolar-/Parenchymruptur, über die die Luft in das peribronchovaskuläre Lungeninterstitium und von dort in das Mediastinum gelangt („Macklin-Phänomen“ = Parenchymruptur mit interstitieller Dissektion von Luft entlang der bronchovaskulären Bindegewebsscheiden durch Kompression und Reexpansion). Seltener sind die primäre Entstehung im Mediastinum durch Verletzung des zentralen Tra-

cheobronchialsystems oder des Ösophagus und die Fortleitung eines Weichteilemphysems der Thoraxwand oder des Halses in das mediastinale Bindegewebe.

Mediastinalemphyseme sind weitaus häufiger im vorderen Kompartiment lokalisiert oder betreffen den gesamten Mediastinalraum als dass sie im hinteren Mediastinum gelegen sind. Da das Mediastinum kein abgeschlossener Raum ist, kann sich ein Mediastinalemphysem in alle Richtungen ausdehnen, nach zervikal, retroperitoneal und intraperitoneal.

Eine Pneumoperikard kann direkt über eine penetrierende Verletzung oder durch gleichzeitige Ruptur von Pleura und Perikard entstehen oder aber sekundär ausgehend von einem interstitiellen Emphysem über die Adventitia der Pulmonalvenen vermittelt werden, insbesondere bei einer Beatmung mit höherem PEEP.

Klinische Symptomatik

Ein Mediastinalemphysem kann bis in die Schultern und Oberarme ausstrahlende retrosternale Schmerzen und Dyspnoe verursachen. Bei der Auskultation finden sich abgeschwächte Herztöne und herzaktionsabhängige Knistergeräusche („Hamman's crunch“)

Radiologische Symptomatik

Der Nachweis eines relevanten Mediastinalemphysems gelingt nativdiagnostisch in einem hohen Prozentsatz der Fälle. Diskrete Veränderungen entgehen der Thoraxübersichtsaufnahme allerdings infolge der Summationsphänomene, die die Bildinterpretation erschweren. Diesbezüglich ist die CT der Projektionsradiographie deutlich überlegen.

Am besten und einfachsten ist das Mediastinalemphysem üblicherweise an den Mediastinalrändern, insbesondere am linken Herzrand, im Bereich des aortopulmonalen Fensters und entlang der descendierenden thorakalen Aorta sowie an einer betonten Markierung der pleuralen Recessus zu erkennen. Die Vielzahl weiterer, mehr oder weniger häufiger und hilfreicher radiologischer Befunde wurden kürzlich von Wintermark und Mitarbeitern (2000) zusammengestellt.

■ **Pneumomediastinum (Abb. 13.24 a–d).** Typische Befunde beim Pneumomediastinum sind:

- „Continuous diaphragm sign“: Durch Luft zwischen Perikard und Diaphragma wird das Zwerchfell durchgehend in seiner gesamten Länge konturiert, also auch innerhalb des Mediastinalschattens, wo es normalerweise durch den Kontakt zwischen den weichteiläquivalenten Mediastinal- und Oberbachorganen nicht zur Dar-

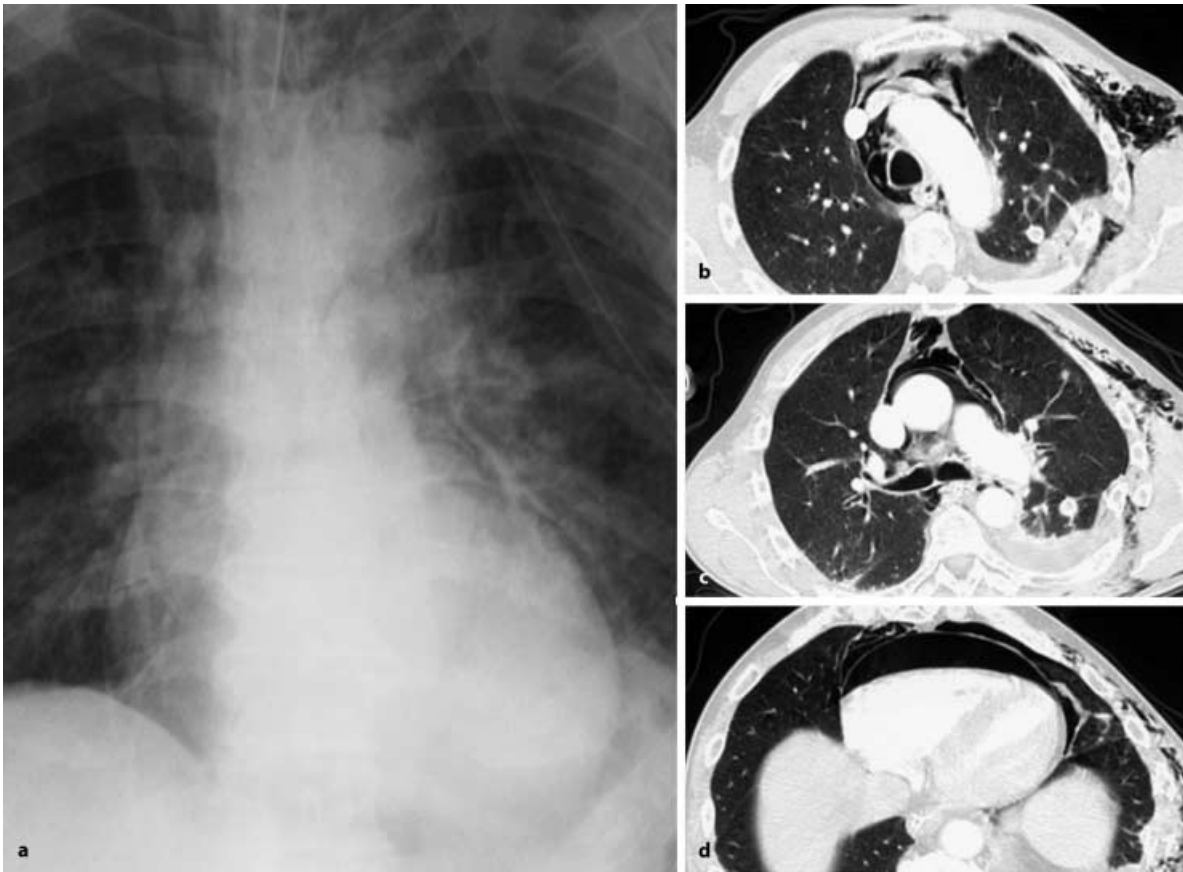


Abb. 13.24 a–d. Mediastinalempysem: **a** Der Nachweis des Mediastinalempysems (hier im Rahmen eines Polytraumas) ist unproblematisch. Typisch sind die vertikal ausgerichteten „schwarzen“ Streifenschatten in Projektion insbesondere auf die Randpartien des Mediastinalschattens. Das Luftleck ist meist nicht lokalisierbar, die Lokalisation desselben vielfach

auch nicht erforderlich. **b–d** Eine weitaus bessere bzw. detailliertere Beurteilung lässt die CT zu. Sie erlaubt die eindeutige Differenzierung zwischen dem Mediastinalempysem im engeren Sinne (**b, c**), einem begleitenden Pneumoperikard (**d**) und etwa zusätzlicher Luft im medialen, paramediastinalen Pleuraspalt

stellung kommt. Modifikationen dieses Befundes sind das „continuous left hemidiaphragm sign“ und das „extrapleural air sign“. Das „continuous left hemidiaphragm sign“ und das „extrapleural air sign“ können sich auch auf der seitlichen Thoraxaufnahme manifestieren.

- „V-sign“: scharf konturierte V-förmige Aufhellung am Übergang vom linken Hemidiaphragma (Luft zwischen dem Zwerchfell und der diaphragmalen Pleura) zum paravertebralen Bindegewebe (Luft zwischen thorakaler Aorta und mediastinaler Pleura). Als „V-sign“ wird auch eine Scharfkonturierung des Venenwinkels zwischen V. subclavia und V. brachiocephalica bei Luft im vorderen oberen Mediastinum bezeichnet.
- Luftstreifen oder -sicheln entlang der großen mediastinalen Gefäße wie Aorta, supraaortalen Ästen, Pulmonalarterien, V. cava und V. acygos; z. B. „ring around the artery-sign“ im Seitbild, „infraacygos air-sign“.

- „Bronchial wall sign“: Durch Luft im peribronchialen Bindegewebe wird die Wand des luftthaltigen Bronchus direkt als weichteildichter Streifen oder Ring dargestellt.
- Thymuszeichen: Demarkierung des Thymus bzw. des Thymusrestes durch Luft im vorderen oberen Mediastinum. Dieser Befund ist insbesondere bei Kindern zu erwarten und entspricht in seiner Konfiguration den typischen Thymusbefunden in diesem Lebensalter.
- Präkordialer bzw. präaortaler Luftstreifen oder Luftsichel im Seitenbild zwischen der Herzvorderwand bzw. der ascendierenden Aorta und dem Sternum.
- Luftstreifen im pulmonalen Ligament: Das Lig. pulmonum fixiert die Unterlappen ans Mediastinum. Mediastinale Luft im pulmonalen Ligament stellt sich als scharf begrenzte bandförmige oder schmale pyramidale Aufhellung rechtsseitig parakardial oder linksseitig in Projektion auf den Herzschatten dar.



Abb. 13.25. Pneumoperikard: Das Pneumoperikard unterscheidet sich vom Mediastinalemphysem dadurch, dass es sich als ein singuläres, nicht gekammertes Kavum darstellt, das kranial durch die Perikardumschlagfalte begrenzt ist und deswegen das Niveau des aortopulmonalen Fensters nicht überschreitet

■ **Pneumoperikard (Abb. 13.25).** Der Perikardsack kann sich in Abhängigkeit von der individuellen Anatomie einige Zentimeter nach kranial auf die ascendierende Aorta und auf die V. cava superior bis in Höhe der einmündenden V. acygos erstrecken. Er kann verschiedene Recessus ausbilden, deren Kenntnis insbesondere für die computertomographische Bildanalyse von Interesse sind.

- Typischer Befund ist ein singulärer Luftstreifen bzw. ein Luftband oder eine Luftsichel, die die Herzkontur je nach Ausdehnung des Befundes begleitet. Das Luftband wird dabei lateral durch einen schmalen Pleurastreifen begrenzt. Nach kranial wird das Pneumoperikard durch die perikardiale Umschlagfalte in Höhe der Aorten- bzw. Pulmonaliswurzel limitiert.
- Perikardiale Recessus sind:
 - ▼ „Theile’s transverse sinus“ hinter der Aorta ascendens und der V. cava superior,
 - ▼ „Haller’s oblique sinus“ dorsal des linken Vorhofs kaudal der einmündenden inferioren Lungenvenen,
 - ▼ linker pulmonaler Recessus zwischen der linken Pulmonalarterie und der linken oberen Pulmonalvene.

Differentialdiagnostik

Ganz generell gilt, dass der Nachweis und die anatomische Zuordnung pathologischer Luftansammlungen im Mediastinum mit der CT leichter und besser gelingt als mit der Projektionsradiographie. Erhebliche Interpretationsschwierigkeiten entstehen ins-

besondere dann, wenn zusätzlich zum Mediastinal- emphysem ein Weichteilemphysem der Thoraxwand oder ein Pneumothorax vorliegt. So können insbesondere die Abgrenzung eines ventralen Pneumothorax gegen Luft im pulmonalen Ligament und die Differenzierung zwischen einem Mediastinal- emphysem und einem Pneumoperikard problematisch sein. Beim Pneumothorax und Pneumoperikard ist die Luft frei verschieblich; im Gegensatz dazu ist die Luft beim Mediastinal- emphysem fixiert und nicht lage- verschieblich. Beim Pneumoperikard wird die Luft nach kranial durch die perikardiale Umschlagfalte in Höhe der Aorten- bzw. Pulmonaliswurzel scharf begrenzt.

Merke

Das Pneumomediastinum kann verschiedene Ursachen haben und kann sich in alle Richtungen ausbreiten, da das Mediastinum kein in sich abgeschlossener Raum ist. Unter Beatmungstherapie ist es ein relativ häufiger Befund ohne besondere Bedeutung. Massive und therapierefraktäre Mediastinal- emphyseme dagegen müssen an eine Tracheobronchial- oder an eine Ösophagus- ruptur denken lassen. Die Röntgendiagnostik ist unproblematisch, die CT wesentlich sensitiver als die Projektionsradiographie.

13.4.2

Aorta und große Gefäße

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

In etwa 75 % der Fälle liegt der Aortenverletzung ein Rasanztrauma mit frontaler oder lateraler Gewalteinwirkung ganz überwiegend im Rahmen von Automobilunfällen zugrunde. In den übrigen 25 % sind ein Fall aus großer Höhe oder selten andere Traumen für die Aortenverletzung verantwortlich. Bis zu 40 % der primär letalen Verletzungen im Straßenverkehr gehen auf eine Aortenruptur zurück.

Verschiedene Pathomechanismen werden postuliert. Neben einer Fixation der Aorta im Isthmusbereich durch das Lig. Botalli, die bei Rasanztraumen zu einem Einriss führt, werden eine Kompression der descendierenden Aorta zwischen Sternum und Wirbelsäule bei frontaler Krafteinwirkung und eine plötzliche traumatisch bedingte intraaortale Druckerhöhung mit Berstung der Wand diskutiert. Nach Glinz (1992) führt die Dezeleration in vertikaler Richtung bei gleichzeitiger Kompression zur Aortenruptur; die Dezeleration in horizontaler Richtung hingegen nicht (negative Beschleunigungen bis -45 g werden toleriert). Plötzliche intraluminal (intraaortale) Drücke $> 2500\text{ mmHg}$ können zur Wandrupturen führen (Parmley et al. 1958).

Häufigste Verletzungslokalisation im Aortenverlauf ist die Aorta descendens unmittelbar distal der A. subclavia sinistra in Höhe des Isthmus bzw. des Ductus arteriosus Botalli. Die Ruptur verläuft in der Regel transversal, selten longitudinal oder spiralig. Teilrupturen, die sich auf die Intima und Media beschränken, machen 65% aus, komplette transmurale Rupturen mit Beteiligung der Adventitia, die die stärkste Wandschicht darstellt, 35%.

10–20% der Patienten mit einer Ruptur der descendierenden thorakalen Aorta überleben das initiale Trauma zumindest temporär und kommen zur Diagnostik und Therapie. Im weiteren Verlauf versterben 30% binnen 6 h, 40% binnen 24 h, 72% innerhalb von 8 Tagen und 90% innerhalb von 10 Wochen.

Inzidenz

Alle Häufigkeitsangaben beziehen sich auf die Verletzten, die nicht primär am Unfallort versterben. Daraus resultiert zwangsläufig eine Dunkelziffer, was die Verletzungen der ascendierenden thorakalen Aorta angeht, da diese wegen der nahezu regelhaften Herz- und/oder Koronargefäßbegleitverletzungen in einem hohen Prozentsatz letal verlaufen.

Verletzungen der distalen thorakalen Aorta in Höhe des Zwerchfelldurchtritts sind selten (2–3%); in 10% der Fälle sind sie mit Zwerchfellrupturen vergesellschaftet.

Klinische Symptomatik

Aortenverletzungen verursachen retrosternale und dorsale Schmerzen, die sich zwischen die Schulterblätter projizieren. Allerdings wird die Symptomatik oft durch andere Traumafolgen überlagert, sodass der Thoraxschmerz kein verlässlicher Befund ist, abgesehen davon, dass der Verletzte oft nicht in der Lage ist, Auskunft zu geben. Klinisches Leitsymptom ist der Kreislaufschock. Hinweiszeichen bei der klinischen Untersuchung sind eine Blutdruckdifferenz zwischen rechtem und linkem Arm bzw. zwischen oberer und unterer Extremität, eine massive Schwellung der unteren Halsregion mit Stridor, Heiserkeit, Dyspnoe und Dysphagie. Indirekte Zeichen können ein Horner-Syndrom, eine Paraplegie und eine Oligurie sein. Neben diesen klinischen Zeichen kommt der Kenntnis des Unfallhergangs in Hinblick auf die Risikoabschätzung eine wesentliche Bedeutung zu.

Beachte

Bei Volumensubstitution kann es zu sekundären Blutungen mit Exitus kommen.

Radiologische Symptomatik

■ **Thoraxübersicht.** Im Thoraxübersichtsbild ist die Verbreiterung des oberen Mediastinalschattens ein zwar häufiger, zugleich aber unspezifischer Befund, der verschiedene Ursachen haben kann. Allein die Tatsache, dass die Aufnahme meist am liegenden Patienten unter erschwerten untersuchungstechnischen Bedingungen angefertigt werden muss, bedingt eine mangelhafte Inspirationstiefe und eine verstärkte Füllung der Kava und der übrigen mediastinalen Venen. Hinzu kommen lagerungsbedingte Projektionsfehler und ungünstig Abstandsverhältnisse (verkürzter Fokus-Film-Abstand).

Die Mediastinalverbreiterung allein ist deswegen kein hinreichend verlässliches Kriterium für eine Aortenverletzung, zumal die Mehrzahl mediastinaler Hämatome aus Blutungen kleinerer arterieller und venöser Gefäße resultiert. Trotz dieser Einschränkungen ist die Thoraxübersichtsaufnahme unverändert Bestandteil der Basisdiagnostik bei Patienten mit einem Thoraxtrauma. Ihre Bedeutung im Zusammenhang mit Aortenverletzungen ist vor allem darin zu sehen, dass ein negativer, d. h. ein unauffälliger Befund eine Aortenverletzung mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließt. Der negative Vorhersagewert liegt bei 98% (Mirvis et al. 1987).

Die möglichen nativdiagnostischen Zeichen einer Aortenruptur sind mit Häufigkeitsangaben in Tabelle 13.4 aufgelistet.

Von diesen Kriterien sind insbesondere diejenigen diagnostisch relevant, die Ausdruck einer raumfordernden arteriellen Blutung im Mediastinum sind. Dies sind die Verlagerung der Trachea und des Ösophagus (bzw. der Magensonde) nach rechts und eine Elongation und Kaudalverlagerung des linken Hauptbronchus. Venöse Blutungen bauen keinen entsprechenden Druck für derartige Organverlagerungen auf. Weitere relativ verlässliche Hinweiszeichen sind eine Obliteration der Aortenkontur (Aortenknopf und Deszendenskontur) und eine Obliteration und Verdichtung des aortopulmonalen Fensters.

Tabelle 13.4. Nativdiagnostische Zeichen einer Aortenruptur

Nativradiologischer Befund	Häufigkeit (%)
Mediastinalverbreiterung > 8 cm	70
Tracheal(tubus)verlagerung nach rechts	63
Ösophagus(sonden)verlagerung nach rechts	50
Hauptbronchusverlagerung nach kaudal	40
Obliteration der Aortenkontur	55
Verdichtung des aortopulmonalen Fensters	67
„left apical cap“	65
Verbreiterung des Paratrachealstreifens	53
Verlagerung der Paravertebrallinie	35
Massiver linksseitiger Hämatothorax	35
Fraktur der 1. Rippe	16

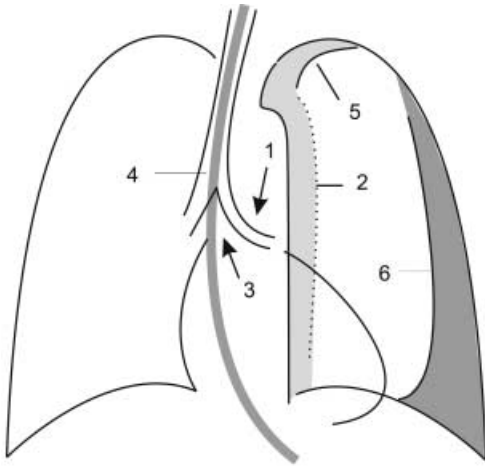


Abb. 13.26. Synopsis nativdiagnostischer Befunde bei Aortenruptur (1 Elongation und Herabdrängung des linken Stammbronchus, 2 Obliteration der Aortenkontur, 3 spitzer Karinawinkel, 4 Verlagerung von Trachea und Ösophagussonde aus der Mittellinie nach rechts, 5 „apical cap sign“, 6 massiver Hämatothorax)

CAVE ! Ein massiver, raumfordernder und therapierefraktärer Hämatothorax ist immer verdächtig auf eine arterielle Blutung (Aorta oder supraaortale Äste, Interkostalarterien, Zwerchfellarterien).

Die Ruptur der Aorta ascendens bedingt einen rechtsseitigen, die Ruptur der Aorta descendens einen linksseitigen Hämatothorax (Abb. 13.26, 13.27 a, b, 13.28 a, b, 13.29 a, b).

■ **Computertomographie (Abb. 13.30).** Bei dringendem Verdacht auf eine Aortenverletzung, sei es aufgrund der Symptomatologie, des nativradiologischen Befundes oder des Unfallhergangs, ist heute die Spiral-CT Methode der Wahl zum Nachweis oder Ausschluss einer Aortenläsion. Die CT in Form der CT-Angiographie ist der klassischen Angiographie (DSA) in mehrfacher Hinsicht überlegen. Zum einen erlaubt der singuläre computertomographische Volumendatensatz die Darstellung der Aorta in jeder beliebigen Projektion, zum anderen liefert die CT nicht nur Informationen über das Lumen, sondern auch über die Wandbeschaffenheit und den perivaskulären Raum, vermag also intramurale und periaortale Hämatome nachzuweisen.

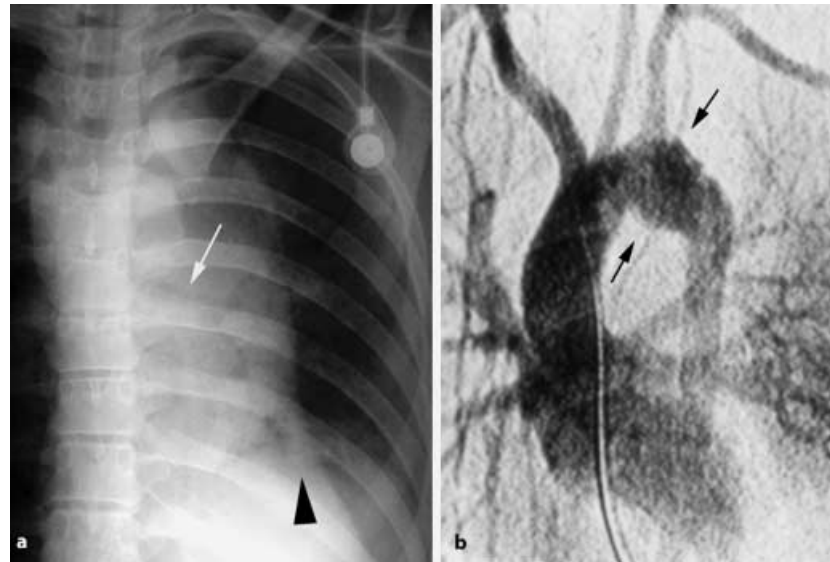
Die typischen Befunde sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt (Dyer et al. 1999; Richardson et al. 1991). Bei sorgfältiger Analyse der Schnittbilder unter Nutzung multiplanarer Rekonstruktionen ist der zu erhebende Befund in der Regel konklusiv, sodass sich weitere diagnostische Schritte erübrigen und auf die Angiographie verzichtet werden kann. Die interaktive multiplanare Schnittbildrekonstruktion ist insofern von besonderer Bedeutung, als sie eine bessere Übersicht im Bereich des Aortenbogens und der supraaortalen Gefäßabgänge gewährleistet. Pulsationsartefakte stellen bei den heute üblichen Subsekundenscannern kein diagnostisches Problem mehr dar.



Abb. 13.27 a, b. Aortenruptur (Mediastinalverbreiterung mit Trachea-/Ösophagusverlagerung): Die Ausschnitte der Thoraxübersichten von zwei Fällen mit Aortenruptur zeigen Befunde, die immer dringend verdächtig auf eine Aortenruptur sein müssen. Es sind dies die Zeichen einer raumfordernden Blutung im oberen Mediastinum. Verdächtig ist dabei weniger die Verbreiterung des oberen Mediastinalschattens als vielmehr die Verlagerung der Trachea (erkennbar am Tubusverlauf, a) bzw. des Ösophagus (erkennbar am Verlauf der Magensonde, b); beides deutet auf den Hämatomdruck infolge der arteriellen Blutung hin. In Teilabb. a erkennt man bei einliegender Pleuradrainage zugleich ein sog. „Apical-cap-Zeichen“. Beachte auch die paravertebralen Frakturen der 1. und 2. Rippe links (Pfeile)

Abb. 13.28 a, b.

Aortenruptur: Die nach einem schweren Polytrauma angefertigte Thoraxübersicht zeigt eine pathologische Verbreiterung des Mediastinums mit Obliteration des aortopulmonalen Fensters und der Kontur der Aorta descendens (a). Eine Elongation des Hauptbronchus ist andeutungsweise zu erkennen (Pfeil). Zusätzlich liegt eine linksseitige Zwerchfellruptur vor (Pfeilspitze). b Der Verdacht einer Aortenruptur bestätigt sich angiographisch



Computertomographische Befunde bei Aortenruptur

- Abrupte Kaliberänderung (akute Koarktation)
- intraluminale Irregularität (Intimaflap)
- abnorme Aortenkontur
- abnorme Kontur der supraaortalen Gefäßabgänge
- intramurales Hämatom
- periaortales/perivaskuläres Hämatom
- Mediastinalhämatom
- Dichtezunahme und Zeichnungsvermehrung des mediastinalen Fettgewebes

Nachteile der transösophagealen Sonographie sind die starke Untersucherabhängigkeit, die oft nicht gewährleistete Verfügbarkeit im Nacht- und Bereitschaftsdienst sowie die Kontraindikation bei Gesichts-, Hals- und Wirbelsäulenverletzungen.

■ **Angiographie/digitale Subtraktionsangiographie.** Die angiographische Diagnostik ist mit der Einführung der Spiral-CT stark in den Hintergrund getreten, da sie bei vergleichbarer Aussagekraft keinen Zeitvorteil mehr bietet und zudem invasiv und kostenintensiver ist. Die angiographischen Zeichen sind denen der CT-Angiographie durchaus vergleichbar. Leitbefund ist eine umschriebene Konturunregelmäßigkeit der Aortenwand an typischer Stelle unmittelbar distal des Abgangs der linken A. subclavia. Die Rupturstelle liegt meist in medialen oder lateralen Wandabschnitt. Informationen über intramurale oder paraaortale Hämatome vermag die Angiographie nicht zu liefern, da sie lediglich das Lumen und damit in Verbindung stehende Hohlräume (Aneurysma spurium) darzustellen vermag. Problematisch kann die Abgrenzung zwischen degenerativen Wandveränderungen und traumatischen Aortenläsionen sein.

Aufgrund dieser Zusammenhänge ist die Angiographie nur noch in wenigen Situationen indiziert, beispielsweise bei einem nichtkonklusiven CT-Befund, bei fehlender Verfügbarkeit eines leistungsfähigen Scanners oder mit dem Ziel einer minimal-invasiven Therapie (Aortenstent).

Differentialdiagnostik

- Mediastinalverbreiterung: Differentialdiagnostisch sollte bei einer pathologischen Mediastinalverbreiterung im Zusammenhang mit einem Polytrauma immer auch an die Möglichkeit einer Wirbelsäulenfraktur gedacht werden.
- Pseudoaneurysma: Nach Literaturangaben muss in etwa 15% der Fälle damit gerechnet werden, dass die Differenzierung zwischen einer traumatischen Läsion und einer anatomischen Variante oder einer traumaunabhängigen Veränderung nicht gelingt (Morse et al. 1987). Falsch-positive Aneurysmabefunde kommen insbesondere bei Ductusdivertikeln vor. Ductusdivertikel sind meist prominenter, inferomedial lokalisiert und weisen einen weniger stumpfen Winkel zum Aortenband auf als ein Aneurysma. Der „ductus bump“ ist durch eine minimale Konvexität, seine Glattheit und Symmetrie sowie durch einen stumpfen Winkel am Übergang zur Aortenwand charakterisiert.

Untersuchungsstrategie

Orientierende Daten zur Sensitivität, Spezifität und zum negativen Vorhersagewert der verschiedenen bildgebenden Verfahren sind in Tabelle 13.5 wiedergegeben. Sie bestimmen letztlich die diagnostische Strategie.

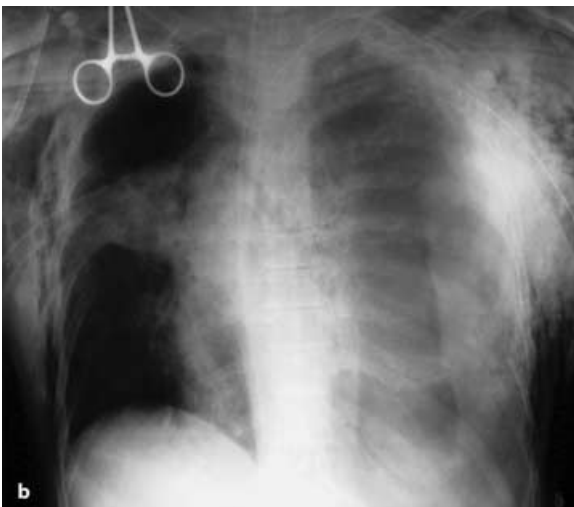


Abb. 13.29 a, b. Aortenruptur: Beide Aufnahmen wurden in einem Abstand von nur 2 h angefertigt. Innerhalb dieser Zeit entwickelte sich ein massiver Hämatothorax mit Schocksymptomatik, der für eine arterielle Blutung sprach und im vorliegenden Fall durch eine Aortenruptur verursacht war

Primäres bildgebendes Verfahren beim Thorax- oder Polytrauma zur Orientierung über den kardiovaskulären und pulmonalen Status ist unumstritten die Thoraxübersicht trotz ihrer geringen Spezifität und trotz der neuen Modalitäten. Legen der klinische Untersuchungsbefund, die Thoraxübersicht oder der Verletzungsmechanismus den Verdacht auf eine Aortenverletzung nahe, ist die KM-unterstützte Spiral-CT-Untersuchung (CT-Angiographie) der nächste diagnostische Schritt. Bei negativem Befund ist diesbezüglich keine weitere Abklärung erforderlich.

Beim Nachweis einer traumatischen Aortenläsion ist die sofortige operative Intervention indiziert. Findet sich lediglich ein Hämatom im vorderen Mediastinum ohne Nachweis einer Blutungsquelle ist eine

Tabelle 13.5. Sensitivität, Spezifität und NPV („negative predictive value“) der verschiedenen Untersuchungsmodalitäten beim Nachweis einer traumatischen Aortenläsion

Untersuchungsmodalität	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	NPV (%)
Thoraxübersicht	90	25	90
Angiographie	96	98	
Transösophageale Sonographie	97	98	
Spiral-CT	96	> 99	> 99

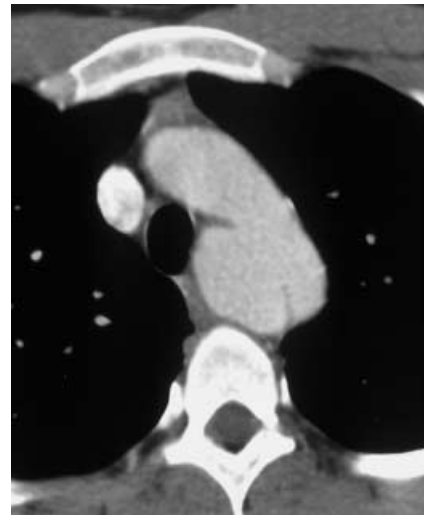


Abb. 13.30. CT-Zeichen der Aortenverletzung (Aneurysma)

abwartende Haltung unter kontinuierlicher Beobachtung gerechtfertigt. Bei einem periaortalen Hämatom und/oder zweifelhaftem Befund im CT ist zur definitiven Abklärung ggf. eine komplementäre Diagnostik (Angiographie, transösophageale Echoangiographie) zur definitiven Abklärung erforderlich.

Merke

Nur 10–20% der Patienten mit einer Ruptur der descendierenden thorakalen Aorta überleben das initiale Trauma. Häufigste und typische Verletzungslage ist die Aorta descendens unmittelbar distal der A. subclavia. Auf der Thoraxübersicht ist die Mediastinalverbreiterung im Zusammenhang mit einer entsprechenden Klinik und Traumaanamnese entscheidender Hinweis. Die

Mediastinalverbreiterung ist allerdings ein unspezifischer Befund. Dringend verdächtig sind immer begleitende Zeichen einer Raumforderung durch die arterielle Blutung. Ein unauffälliger Befund auf der Thoraxübersicht schließt eine Aortenruptur praktisch aus. Nachweismethode der Wahl ist heute die CT-Angiographie.

13.4.3

Pharynx und Ösophagus

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Pharynx- und Ösophagusverletzungen im Rahmen stumpfer Thoraxtraumen sind extrem selten (< 0,01 % der stumpfen Thoraxtraumen), da der Ösophagus in der Tiefe des Mediastinums geschützt liegt und gut verschieblich ist, sodass er Kräfteinwirkungen ausweichen kann (Beal et al. 1988). Stärker gefährdet sind Pharynx und Ösophagus hingegen durch penetrierende Verletzungen (Stich- und Schussverletzungen).

Intraluminale Verletzungsmechanismen (insbesondere iatrogene Verletzungen im Rahmen endoskopischer Eingriffe) sind dabei weitaus häufiger als extraluminale. Typische Lokalisation iatrogenen Läsionen sind die physiologischen Engen, in erster Linie der Ösophagusmund (pharyngoösophagealer Übergang), an zweiter Stelle der ösophagogastrische Übergang (Zwerchfellhiatus).

Extraluminale Ursachen Perforationen sind sehr selten. Nur etwa 5% aller penetrierenden Verletzungen tangieren den Ösophagus, vorzugsweise in seinem oberen Abschnitt (Oparah u. Mandal 1979). Es handelt sich dabei meist um Schussverletzungen. In zwei Drittel der Fälle liegen zugleich Tracheal- und Gefäßverletzungen vor. Sehr selten sind auch Ösophagusrupturen im Rahmen von Explosionsverletzungen. Eine von äußerer Gewalteinwirkung unabhängige Verletzungsform ist die spontane Perforation durch Erbrechen.

Bei stumpfen Traumen und spontanen Rupturen handelt es sich in der Regel um Längsrisse, die sich entweder auf die Mukosa oder Muskularis beschränken und mit intramuralen Hämatomen einhergehen oder die ganze Wand im Sinne einer kompletten Ruptur durchsetzen.

Klinische Symptomatik

Ösophagusverletzungen werden – wenn nicht aufgrund des Unfallhergangs primär an sie gedacht wird (penetrierende Verletzung, iatrogene Verletzung) – leicht übersehen und oft erst nach Tagen mit dem Auftreten entzündlicher Komplikationen im Sinne einer Mediastinitis diagnostiziert (Fie-

ber, Leukozytose, Tachykardie, „general malaise“, Schmerzen). Die Latenzzeit beträgt im Mittel etwa 5 Tage. Die Gründe dafür sind einmal darin zu sehen, dass die Verletzung per se selten ist, zum anderen darin, dass sonstige Traumafolgen das klinische Bild beherrschen und die Ösophagusverletzung maskieren.

Beachte

- Verzögerungen in der Diagnose und Therapie verschlechtern die Prognose signifikant,
- die Mortalität von Ösophagusrupturen liegt zwischen 10–30%, wobei das Alter des Patienten ein ungünstiger Prognosefaktor ist,
- Komplikationen einer nicht adäquat behandelten Ösophagusperforation sind Fistelbildungen und Strikturen.

Radiologische Symptomatik

Häufigster radiologischer Befund (60%) ist ein persistierendes Weichteilemphysem im Mediastinum- und/oder Halsbereich. Häufig ist auch ein begleitender linksseitiger Pleuraerguss. Eine Verbreiterung des Mediastinalschattens und eine Unschärfe der Mediastinalkonturen sind verglichen mit den klinischen Zeichen einer Mediastinitis wenig spezifische Befunde. Neben der KM-Diagnostik (wasserlösliches Kontrastmittel) empfiehlt sich immer die CT, die auch kleinere pathologische Lufteinschlüsse nachzuweisen vermag. Die Sicherung der Diagnose erfolgt in der Regel endoskopisch. Wegen der häufigen Kombinationsverletzungen sollten dabei Ösophagoskopie und Bronchoskopie simultan durchgeführt werden.

Beachte

- Bei einem ätiologisch unklaren Mediastinalemphysem sollte man immer an die Möglichkeit einer Ösophagusverletzung denken,
- in etwa einem Drittel der Fälle ist die Röntgendiagnostik negativ.

Merke

Pharynx- und Ösophagusverletzungen im Rahmen stumpfer Thoraxtraumen sind sehr selten. Häufiger sind sie bei penetrierenden Verletzungen, insbesondere durch intraluminale Verletzungsmechanismen (iatrogen). Ösophagusverletzungen werden – wenn nicht an sie gedacht wird – leicht übersehen. Verzögerungen in Diagnose und Therapie verschlechtern die Prognose signifikant. Häufigster radiologischer Befund ist ein persistierendes Mediastinal- und/oder Halsemphysem, u.U. begleitet von einem linksseitigen Pleuraerguss.

13.4.4

Ductus thoracicus

Pathologisch-anatomische und ätiologische Grundlagen

Verletzungen des Ductus thoracicus sind sehr selten. Neben direkten Läsionen des Ductus thoracicus bei penetrierenden Traumen können Hyperextensionstraumen der Wirbelsäule indirekt zu Ductuszerreißen führen, typischerweise in Höhe des Zwerchfelldurchtritts. Typischer Befund ist der Chylothorax. Nur etwa 18% der Chylothoraces allerdings sind traumatischer Genese. Häufiger ist der Chylothorax tumorbedingt (40%) oder Operationsfolge (20%). In 14% der Fälle ist keine Ursache zu eruieren (spontaner/idiopathischer Chylothorax).

Distale Rupturen führen zum rechtsseitigen, proximale zum linksseitigen Chylothorax. Bei Rupturen in Höhe der Kreuzung des Ductus von rechts nach links (3. bis 6. Thorakalwirbel) sind bilaterale Chylothoraces möglich.

Klinische Symptomatik

Leitsymptom ist die rezidivierende Pleuraergussbildung mit konsekutiver Dyspnoe. Charakteristisch ist das verzögerte Auftreten mit einer Latenz von 2–8 Tagen zum Trauma. Ein Lymphverlust von mehr als 1,5 l innerhalb von 5 Tagen oder von mehr als 200 ml pro Tag nach 14 Tagen gilt als relative Operationsindikation.

Radiologische Symptomatik

Röntgenologisch ist die Differenzierung zwischen einem serösen, einem entzündlich-exsudativen, einem biliären oder einem chylösen Erguss nicht möglich, auch nicht mittels computertomographischer Dichtemessung. Diagnostisch entscheidend ist die Punktion mit nachfolgender biochemischer Analyse (Lipoproteinelektrophorese). Chylusflüssigkeit ist milchig und proteinreich (Proteingehalt < 3 g/l), weist einen pH zwischen 7,4–7,8 und enthält Triglyzeride. In der Sudanfärbung lassen sich Fetttropfen nachweisen. Die Darstellung des Ductus thoracicus und seine Pathologie gelingt möglicherweise mit der Kernspintomographie (Hayashi u. Miyazaki 1999). Größere Erfahrungen diesbezüglich liegen jedoch nicht vor.

Merke

Verletzungen des Ductus thoracicus sind sehr selten. Typischer Befund ist der Chylothorax. Leitsymptom ist mit einer Latenz von einigen Tagen posttraumatisch auftretende Pleuraergussbildung. Der Chylothorax ist immer eine klinisch-biochemische Diagnose. Radiologisch ist die Differenzierung der Ergussflüssigkeit nicht möglich.

Literatur

- Angood PB, Attia EL, Brown RA et al. (1986) Extrinsic civilian trauma to the larynx and cervical trachea – important predictors of long-term morbidity. *J Trauma* 26: 869–873
- Beal SL, Pottmeyer EW, Spisso JM (1988) Esophageal perforation following external blunt trauma. *J Trauma* 28: 1425–1432
- Bender MM, Oh KS et al. (1987) Pediatric chest trauma. *J Thoracic Imaging* 2: 60–67
- Bergin D, Ennis R, Keogh C, Fenlon HM, Murray JG (2001) The dependent viscera sign in CT diagnosis of blunt traumatic diaphragmatic rupture. *AJR* 177: 1137–1140
- Blaisdell FW, Trunkay DD (1994) *Cervicothoracic trauma*. Thieme, New York
- Boulanger BR, Milzman DP, Rosati C et al. (1993) A comparison of right and left blunt traumatic diaphragmatic rupture. *J Trauma* 35: 255–260
- Brooks AP, Olson SK (1989) Computed tomography of the chest in trauma patient. *Clin Radiol* 40: 127–132
- Brookes JG, Dunn RJ, Rogers IR (1993) Sternal fractures: A retrospective analysis of 272 cases. *J Trauma* 35: 46–54
- Carr JJ, Reed JC, Choplin RH, Poopie TL, Case LD (1992) Plain and CT radiography for detecting experimentally induced pneumothorax in cadavers. *Radiology* 183: 193–199
- Conn JH, Hardy JD, Fain WR, Netterville RE (1963) Thoracic trauma: Analysis of 1022 cases. *J Trauma* 3: 22–40
- Costa MC, Robbs JV (1998) Nonpenetrating subclavian artery trauma. *J Vasc Surg* 8: 71–75
- Danz B, Biehl C, Bähren W (1996) Zur Akutdiagnostik therapie-relevanter Thoraxverletzungen bei schwer- und polytraumatisierten Patienten. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 164: 269–274
- Dee PM (1992) The radiology of chest trauma. *Radiol Clin North Am* 30: 291–306
- Dyer DS, Moore EE, Mestek MF et al. (1999) Can chest CT be used to exclude aortic injury? *Radiology* 212: 195–202
- Eibenberger KL, Dock WI, Ammann ME et al. (1994) Quantification of pleural effusions: Sonography versus radiography. *Radiology* 191: 681–684
- Emamian SA, Kaasbol MA, Olsen JF et al. (1997) Accuracy of the diagnosis of pleural effusions on supine chest X-ray. *Eur Radiol* 7: 57–60
- Enderson BL, Maull KI (1991) Missed injuries: The trauma surgeon's nemesis. *Surg Clin North Am* 71: 399–418
- Forster B (1986) *Praxis der Rechtsmedizin*. Thieme, Stuttgart
- Fuhrman GM, Stieg FH, Buerk CA (1990) Blunt laryngeal trauma: Classification and management protocol. *J Trauma* 30: 87–92
- Galanski M, Hartenauer U, Krumme B (1981) Röntgendiagnostik des Pneumothorax auf Intensivstationen. *Radiologe* 21: 459–462
- Gams E, Kalweit G (1999) Thoraxverletzungen. In: Mutschler W, Haas NP (Hrsg) *Praxis der Unfallchirurgie*. Thieme, Stuttgart, S 275–304
- Geisl HJ (1992) Der traumatische Chylothorax. *Hefte Unfallheilk* 223: 72–78
- Gelman R, Mirvis SE, Gens DR (1991) Diaphragmatic rupture due to blunt chest trauma: Value of chest radiography. *AJR Am J Roentgenol* 156: 51–57
- Glinz W (1981) *Chest trauma. Diagnosis and management*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Glinz W (1985) Pleuropulmonale Verletzungen. *Chirurg* 56: 129
- Glinz W (1992) Pathophysiologische Grundlagen der Thoraxverletzungen und ihre klinische Bedeutung. In: Buchinger W (Hrsg) *Das Thoraxtrauma*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 1–12 (Hefte zur Unfallheilkunde, Heft 223)
- Gordon R (1980) The deep sulcus sign. *Radiology* 136: 25–27
- Graham JM, Mattox KL, Beall AC (1979) Penetrating trauma of the lung. *J Trauma* 19: 665–669

- Gupta A, Jamshidi M, Rubin JR (1997) Traumatic first rib fracture: Is angiography necessary? A review of 730 cases. *Cardiovasc Surg* 5: 48–53
- Harley DP, Mena I (1986) Cardiac and vascular sequelae of sternal fractures. *J Trauma* 26: 553–555
- Harris RD, Harris JH (1988) The prevalence and significance of missed scapular fractures in blunt chest trauma. *AJR Am J Roentgenol* 151: 747–750
- Häuser H, Bohndorf K (1999) Radiological emergency management of multiple trauma patients. *Emerg Radiol* 6: 61–69
- Hayashi S, Miyazaki M (1999) Thoracic duct: Visualization of a nonenhanced MR lymphography – initial experience. *Radiology* 212: 598–600
- Hills MW, Delprado AM, Deane SA (1993) Sternal fractures: Associated injuries and management. *J Trauma* 35: 55–60
- Jackson A, Fields JM, Wong-You-Chong JJ (1991) The costal hook: An indicator of occult flail segment in chest trauma. *Eur J Radiol* 13: 69–71
- Jarrett F, Bernhardt LC (1978) Right sided diaphragmatic injury: Rarity or overlooked diagnosis? *Arch Surg* 113: 737–739
- Jones WS, Mavroudis C, Richardson JD et al. (1984) Management of tracheobronchial disruption resulting from blunt trauma. *Surgery* 95: 49–58
- Kemmerer WT, Eckert WG, Gathright JB et al. (1961) Patterns of thoracic injuries in fatal traffic accidents. *J Trauma* 1: 595–599
- Khodadadyan C, Hoffmann R, Neumann K, Vogl T, Pappert D, Südkamp NP (1995) Diagnostische Aussagekraft der Thorax-CT beim schweren Thoraxtrauma. *Chirurg* 66: 1097–1104
- Leidner B, Adiels M, Aspelin P et al. (1998) Standardized CT examination of the multitraumatized patient. *Eur Radiol* 8: 1630–1638
- Livoni JP, Barcia TC (1982) Fracture of the first and second rib: Incidence of vascular injury relative to type of fracture. *Radiology* 145: 31–33
- LoCicero J, Mattox KL (1989) Epidemiology of chest trauma. *Surg Clin North Am* 69: 15–19
- Marnocha KE, Maglinte DDT, Woods J, Goodman M, Peterson P (1984) Mediastinal width/chest width ratio in blunt chest trauma. A reappraisal. *AJR Am J Roentgenol* 142: 275–277
- Marts B, Durham R, Shapiro M, Mazuski JE, Zuckerman D, Sundaram M, Luchtefeld WB (1994) CT in the diagnosis of blunt thoracic injury. *Am J Surg* 168: 688–692
- Mirvis SE, Rodriguez A (1992) Diagnostic imaging of thoracic trauma. In: Mirvis SE, Young JWR (eds) *Imaging in trauma and critical care*. Williams & Williams, Philadelphia, pp 93–147
- Mirvis SE, Templeton P (1992) Imaging in acute thoracic trauma. *Semin Roentgenol* 27: 184–210
- Mirvis SE, Bidwell JK, Buddemeyer EU et al. (1987) Value of chest radiography in excluding traumatic aortic rupture. *Radiology* 163: 487–493
- Morse SS, Glickman MG, Greenwood LH, Denny DF, Strauss EB, Stavens BR, Yoselevitz M (1988) Traumatic aortic rupture: False positive aortographic diagnosis due to atypical ductus diverticulum. *AJR Am J Roentgenol* 150: 793–796
- Moskowitz P, Griscom N (1976) The medial pneumothorax. *Radiology* 120: 143–147
- Nakayama DK, Ramenofsky ML, Rowe MI (1989) Chest injuries in childhood. *Ann Surg* 210: 770–775
- Oestern HJ, Regel G (1999) Allgemeine Aspekte. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) *Trauma-Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 225–238
- Oparah SS, Mandal AK (1979) Operative management of penetrating wounds of the chest in civilian practice. *J Thorac Cardiovasc Surg* 77: 162–178
- Parmley LF, Mattingly TW, Manion WC, Jahnke EJ (1958) Nonpenetrating traumatic injury of the aorta. *Circulation* 17: 1086–1101
- Pate JW (1989) Chest wall injuries. *Surg Clin North Am* 69: 59–70
- Philipps EH, Rogers WF, Gaspar MR (1981) First rib fractures: Incidence of vascular injury and indications for angiography. *Surgery* 89: 42–47
- Poole GV, Morgan DB, Cranston PE, Muakkassa FF, Griswold JA (1993) CT in the management of blunt thoracic trauma. *J Trauma* 35: 296–302
- Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H (1993) Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. *Unfallchirurg* 96: 350–362
- Reuter M (1996) Trauma of the chest. *Eur Radiol* 6: 707–716
- Richardson P, Mirvis SE, Scorpio R, Dunham CM (1991) Value of CT to screen trauma patients with equivocal chest radiographs for great vessel injury. *AJR Am J Roentgenol* 156: 273–279
- Schild H, Strunk H, Störke S et al. (1986) Computertomographie der Lungenkontusion. *Rofo Fortschr Geb Röntgen-Neuen Bildgeb Verfahr* 145: 519–526
- Schlag G, Redl H, Buchinger W, Dinges HP (1992) Pathophysiologie der Lungenkontusion. *Hefte Unfallheilk* 223: 13–19
- Schnyder P, Wintermark M (eds) (2000) *Radiology of blunt trauma of the chest*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
- Shackleton KL, Stewart ET, Taylor AJ (1998) Traumatic diaphragmatic injuries: Spectrum of radiographic findings. *Radiographics* 18: 49–59
- Shapiro MJ, Heiberg E, Durham RM et al. (1996) The unreliability of CT scans and initial chest radiographs in evaluating blunt trauma induced diaphragmatic rupture. *Clin Radiol* 51: 27–30
- Sheafor DH, Mirvis SE (1995) Scapulothoracic dissociation: Report of five cases and review of the literature. *Emerg Radiol* 2: 279–284
- Sherman RT, Parish RA (1963) Management of shotgun injuries; a review of 152 cases. *J Trauma* 3: 76–86
- Shorr RM, Crittenden M, Indeck M et al. (1987) Blunt thoracic trauma – analysis of 515 patients. *Ann Surg* 206: 200–205
- Shorr RM, Rondgriguez A, Indeck MC et al. (1989) Blunt chest trauma in elderly. *J Trauma* 29: 234–237
- Smejkal R, O'Malley KE, David E, Cernaianu AC, Ross SE (1991) Routine initial CT of the chest in blunt torso trauma. *Chest* 100: 667–669
- Stark P (1990) Radiology of thoracic trauma. *Invest Radiol* 25: 1265–1275
- Stark P, Cook M, Vincent A et al. (1987) Traumatic rupture of the thoracic aorta. A review of 49 cases. *Radiologe* 27: 402–406
- Svastano S, Feltrin GP, Miotto D et al. (1989) Value of plain chest film in predicting traumatic aortic rupture. *Ann Radiol* 32: 196–200
- Symbas PN, Tyrus DH, Hatcher CR (1972) Penetrating wounds of the esophagus. *Ann Thorac Surg* 13: 552–558
- Symbas PN, Hatcher CR, Vlasis PA (1980) Esophageal gunshot injuries. *Ann Surg* 191: 703–707
- Tack D, Defrance P, Delcour C, Gevenois PA (2000) The CT fallen-lung sign. *Eur Radiol* 10: 719–721
- Tocino IM, Miller MH, Fairfax WR (1985) Distribution of pneumothorax in the supine and semirecumbent critically ill adult. *AJR Am J Roentgenol* 144: 901–905
- Trupka A, Kierse R, Waydhas C, Nast-Kolb D, Blahs U, Schweiberer L, Pfeifer KJ (1997) Schocktraumadiagnostik beim Polytrauma. Wertigkeit des Thorax CT. *Unfallchirurg* 100: 469–476
- Tscherne H, Regel G (1999) *Trauma-Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
- Van Hise ML, Primack SL, Israel RS et al. (1998) CT in blunt chest trauma: Indications and limitations. *Radiographics* 18: 1071–1084

- Wagner RB, Crawford WO, Schimpf PP (1988) Classification of parenchymal injuries of the lung. *Radiology* 167: 77–82
- Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J (1989) Sonographische Diagnostik des Pneumothorax. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 150: 84–85
- Westaby S, Braylay N (1990) Thoracic trauma. *BMJ* 300: 1639–1643, 1710–1712
- Wilson RE, Murray C, Antonenko DR (1977) Nonpenetrating thoracic injuries. *Surg Clin North Am* 57: 17–36
- Wintermark M, Wicky S, Bettex D, Schnyder P, Theumann N (2000) Trauma of the mediastinum. In: Schnyder P, Wintermark M (eds) *Radiology of blunt trauma of the chest*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 71–134
- Woodring JH (1984) Recognition of pleural effusion on supine radiographs: How much fluid is required? *AJR Am J Roentgenol* 142: 59–64
- Woodring JH, King JG (1989) Determination of normal transverse mediastinal width and mediastinal-width to chest width ratio in control subjects: Implications for subjects with aortic or brachiocephalic arterial injury. *J Trauma* 9: 1268–1272
- Zuckerman S (1940) Experimental study of blast injuries to the lungs. *Lancet* II 354: 219–224