

A. Trupka · D. Nast-Kolb · L. Schweiberer · Chirurgische Klinik und Poliklinik,
Klinikum Innenstadt, Ludwig-Maximilians-Universität, München

Das Thoraxtrauma

Zusammenfassung

Die überwiegende Mehrzahl der Thoraxverletzungen wird hierzulande durch stumpfe Unfallmechanismen hervorgerufen, penetrierende und perforierende Verletzungen werden deutlich seltener beobachtet; Rippen(serien)frakturen, Hämato- und Pneumothoraces, sowie Kontusionsverletzungen der Lunge repräsentieren hierbei die häufigsten Verletzungen. Das frühe Management des „akuten Thorax“ ist durch die Erkennung und Behandlung vital bedrohlicher Zustände wie akuter respiratorischer Insuffizienz, Spannungspneumothorax oder intrathorakale Massenblutung gekennzeichnet. Im weiteren Verlauf kann die Mehrzahl der isolierten Thoraxverletzungen unter suffizienter Analgesie, Bronchial toilette und Drainage intrapleuraler Luft- oder Blutansammlungen mit konservativen Maßnahmen therapiert werden, operationspflichtige Läsionen stellen die Ausnahme dar.

Beim polytraumatisierten Patienten hingegen ist ein begleitendes Thoraxtrauma mit einer deutlich höheren Morbidität und Letalität assoziiert. Hauptverantwortlich wird hier die Lungenkontusion gesehen, der in den letzten Jahren eine wesentliche Bedeutung für Verlauf und Prognose des Mehrfachverletzten beigemessen wird. Neben der frühzeitigen Diagnostik mittels thorakaler Computertomographie, haben sich die Konzepte der frühen Intubation und Beatmung, der dorsoventralen Wechsellagerung, sowie der differenzierten Volumen- und Katecholamintherapie bewährt. Darüber hinaus muß der Gesamtbehandlungsplan beim Polytraumatisierten auf eine begleitende Lungenkontusion abgestimmt werden mit dem Ziel jegliche additive Schädigung der pulmonalen Strombahn durch Ischämie, Hypoxie, Mediatorenaktivierung im Rahmen größerer Operationen (z. B. Femurmarknagelung) oder septischer Komplikationen zu vermeiden.

Schlüsselwörter

Thoraxtrauma · Polytrauma · Lungenkontusion

Klinische Bedeutung

Etwa zwei Drittel aller polytraumatisierten Patienten weisen Verletzungen des Brustkorbs und seiner Organe auf, wobei in europäischen Traumazentren die stumpfen Thoraxverletzungen im Vordergrund stehen [53, 59]. Insgesamt werden 80–90 % der schweren Thoraxverletzungen (AIS \geq 3) im Rahmen einer Polytraumatisierung angetroffen, das isolierte Thoraxtrauma wird deutlich seltener beobachtet [59]. Als Unfallursache der stumpfen Verletzungen steht der Verkehrsunfall an erster Stelle, gefolgt vom Sturz aus großer Höhe [47]. Bei den penetrierenden Thoraxtraumen werden im wesentlichen Schuß-, Stich- und Pfählungsverletzungen unterschieden.

Vor dem Hintergrund der Behandlungsdringlichkeit werden die Thoraxverletzungen zweckmäßiger Weise eingeteilt [3] in

Akut lebensbedrohliche Verletzungen:

- Atemwegsobstruktion,
- Spannungspneumothorax,
- instabiler Thorax,
- Perikardtamponade,
- massiver Hämatothorax,
- offener Pneumothorax („sucking wound“);

Potentiell lebensbedrohliche Verletzungen:

- Lungenkontusion,
- Myokardkontusion,

- tracheobronchiale Verletzungen,
- traumatische Aortenruptur,
- Zwerchfellruptur,
- Ösophagusverletzungen und

Einfachere Thoraxverletzungen:

- Rippenfraktur(en),
- Sternumfraktur,
- unkomplizierter Hämatothorax,
- Hautempysem.

Während das isolierte stumpfe Thoraxtrauma in der Mehrzahl der Fälle mit wenig invasiven Maßnahmen behandelt werden kann und mit 0–5 % beim jungen sowie 10–20 % beim älteren Patienten eine geringe Letalität aufweist [25, 63, 72], stellt die begleitende Thoraxverletzung gewissermaßen die Achillesferse des Polytraumatisierten dar. Hierbei müssen v. a. die häufigen Kontusionsverletzungen der Lunge sowie der instabile Thorax als Trigger für eine signifikant erhöhte Komplikationsrate und Letalität angesehen werden [21, 29, 53]. Sie gelten als Wegbereiter der posttraumatischen respiratorischen Insuffizienz und des Adult-Respiratory-Distress-Syndroms (ARDS) und sind mit einer erhöhten Inzidenz an Organfunktionsstörungen bis hin zum Multiorganversagen (MOV) sowie septischer Komplikationen assoziiert [14, 29, 47, 53, 54, 72]. Beim Polytraumatisierten scheint die Kombination der posttraumatischen systemischen Entzündungsreaktion („systemic inflammatory response syndrome“, SIRS) mit der direkten Lungenschädigung, die ebenfalls auf systemischem Wege vermittelt, häufig mit einer progredienten

Dr. A. W. Trupka

Chirurgische Klinik und Poliklinik,
Klinikum Innenstadt,
Ludwig-Maximilians-Universität,
Nußbaumstraße 20, D-80 336 München

Blunt chest trauma

Summary

Blunt chest trauma is the leading cause of thoracic injuries in Germany, penetrating chest injuries are rare. Hereby, single or multiple rib fractures, hemo-pneumothorax and pulmonary contusion represent the most common injuries. The early management of thoracic injuries consists of detection and sufficient therapy of acute life threatening situations like tension pneumothorax, acute respiratory insufficiency or severe intrathoracic bleeding. Most of the isolated thoracic injuries are adequately treated by conservative means, sufficient analgesia, drainage of intrapleural air or blood, physiotherapy and clearance of bronchial secretions provided; operative intervention is rarely indicated.

In multiple injured patients however, severe blunt chest trauma and especially pulmonary contusion negatively affects outcome with a significant increase of morbidity and mortality. Hence, patients with this combination of pulmonary injuries, such as lung contusion and associated severe injuries, carry a particular high risk of respiratory failure, ARDS and MOF with a considerable mortality. Therefore, early exact diagnosis of all thoracic injuries is essential and can be achieved by thoracic computed tomography, which becomes more and more popular in this setting. Early intubation and PEEP-ventilation, alternate prone and supine positioning of multiple injured patients with lung contusion and differentiated concepts of volume- and catecholamine therapy represent the basic therapeutic principles. Additionally, the entire early trauma management of multiple injured patients must focus on the presence of pulmonary contusion. Every additional burden on their pulmonary microvascular system like microembolisation during femoral nailing, the trauma burden of extended surgery or mediator release in septic states may cause rapid decompensation and organ failure and therefore, has to be avoided.

Key words

Thoracic injuries · Blunt chest trauma · Pulmonary contusion · Polytrauma

Tabelle 1

Die Bedeutung der stumpfen Thoraxverletzung für Verlauf und Outcome des Polytraumatisierten (Prospektive Polytraumastudie 1986–1993: 166 Patienten, \varnothing ISS 37 Punkte, Letalität 14,5 %)

	Polytrauma mit Thoraxtrauma	Polytrauma ohne Thoraxtrauma	Signifikanz ($p <$)
Patienten	109 (66 %)	57 (34 %)	
\varnothing ISS	39	33	n. s.
Letalität	18 %	7 %	0,005
Respir. Versagen	57 %	22 %	0,00005
ARDS	18 %	6 %	0,05
MOV	20 %	6 %	0,05
Pneumonie	54 %	31 %	0,05
Sepsis	26 %	30 %	n. s.

Permeabilitätsstörung der pulmonalen Mikrostrombahn einhergeht, zu einer Potenzierung der Organfunktionsstörungen zu führen [20, 53, 79]. Dies resultiert in einer beträchtlich höheren Morbidität und Letalität von mehrfachverletzten Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma im Vergleich zu etwa gleich schwer verletzten Patienten ohne Thoraxtrauma [83] (Tabelle 1). Demzufolge sind Thoraxverletzungen mit einer Letalität von bis zu 40 % behaftet und für etwa 20–25 % der mit einem Trauma assoziierten Todesfälle verantwortlich [21, 25, 27, 29, 39, 63, 72]. Etwa 50 % der versterbenden Polytraumatisierten weisen ein Thoraxtrauma auf.

Aus diesem Grunde muß dieser Region sowohl vom erstversorgenden Notarzt als auch vom weiterbehandelnden Schockraumteam ein ganz besonderes Augenmerk gewidmet werden; neben speziellen Aspekten der Diagnostik ergeben sich bereits frühzeitig wesentliche Konsequenzen für ein adäquates Management.

Präklinische Akutversorgung

In der Phase der Primärversorgung des schwerverletzten Patienten steht die Sicherung der Vitalfunktionen im Vordergrund. Neben schnellstmöglicher Blutstillung und Kreislaufstabilisierung haben die Sicherung der Atemwege und eine adäquate Ventilation entsprechend dem ABC des initialen Traumamanagements absolute Priorität [3]. Akute Atemwegsverlegung, Aspiration, Spannungspneumothorax, Thoraxwandin-

stabilität und Lungenkontusion stellen häufige akut lebensbedrohliche Situationen nach Thoraxtrauma dar mit denen der erstversorgende Notarzt konfrontiert wird, während Patienten mit offenem Pneumothorax, Perikardtamponade oder hämorrhagischem Schock infolge schwerer thorakaler Blutungen nach außen bzw. in die Körperhöhlen (z. B. Aortenruptur, Lungengefäßverletzung) bei uns deutlich seltener zu versorgen sind.

Im Rahmen der ersten orientierenden Untersuchung (*Trauma-ABC*) werden klinische Hinweisen für eine *Verletzung der oberen Atemwege* (Unruhe, Zyanose, inspiratorischer Stridor, suprasternale und interkostale Einziehungen) evident und durch umgehendes Freimachen und Freihalten der Atemwege behandelt. Das Verfahren der Wahl stellt hier die notfallmäßige orotracheale Intubation unter strikter Immobilisation der HWS dar. Gelingt die Intubation bei einer Verletzung der oberen Atemwege (z. B. schwere Gesichtschädelverletzung, direktes laryngotracheales Trauma, Glottisödem) nicht, muß die Notfallkoniotomie als Ultima ratio vom Notarzt unverzüglich durchgeführt werden, um einen hypoxischen Hirnschaden zu vermeiden.

Beim spontanatmenden Patienten folgt die Frage nach einer suffizienten Atemfunktion (*Breathing*): Dyspnoe, Zyanose, Atemfrequenzen < 10 oder > 30 /min, pulsoximetrische Sauerstoffsättigung < 90 %, paradoxe oder inverse, bzw. seitendifferente Atemexkursionen (instabiler Thorax) und interkostale Einziehungen zeigen eine *akute respira-*

Tabelle 2

Checkliste Spannungspneumothorax

- Fehlendes oder deutlich abgeschwächtes Atemgeräusch, hypersonorer Klopfeschall

plus

- Zyanose, Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung
- Halsvenenstauung
- Ansteigender Beatmungsdruck (nach Kontrolle von Beatmungssystem und Tubuslage)
- Systolischer Blutdruck < 80 mm Hg trotz adäquater Volumensubstitution
- Dyspnoe (Atemfrequenz < 10 oder > 29/min) beim spontanatmenden Patienten

torische Insuffizienz und damit die Indikation zur Intubation und Beatmung an [51, 79].

Da 30–60% der Thoraxtraumen mit einem Hämato-Pneumothorax einhergehen [77], muß insbesondere beim bereits intubierten und beatmeten Patienten auf sich entwickelnde Symptome eines *Spannungspneumothorax*, die in Tabelle 2 zusammengefaßt sind, geachtet werden. Die Diagnose des Spannungspneumothorax nach Kontrolle der Tubuslage ist dabei in der Regel klinisch ohne Zeitverzögerung (Röntgen-Thorax) zu stellen.

Bei jeglichem Verdacht auf das Vorliegen eines Spannungspneumothorax besteht präklinisch die Indikation zur sofortigen Entlastung mittels einer Thoraxdrainage, die gleichzeitig in den meisten Fällen bereits die definitive Therapie des Hämato-pneumothorax darstellt. Die immer wieder empfohlenen Dekompressionsversuche mit eingestochenen Kanülen (z. B. Tiegel-Kanüle) sind in ihrer Effektivität (unzureichende Entlastung des Hämato-pneumothorax, keine definitive Therapie), sowie der Patientensicherheit (höhere Verletzungsgefahr der sich expandierenden Lunge, Rezidivpneu unter Beatmung, Transportfähigkeit) der Thoraxdrainage eindeutig unterlegen und sollten deshalb nur noch in Ausnahmefällen, bei z. B. nicht greifbarem Drainagesystem, Anwendung finden [26].

Für die notfallmäßige Anlage einer Thoraxdrainage sollte u. E. der Zugang nach Monaldi im 2.–3. ICR in der Me-

dioklavikularlinie gewählt werden. Im Gegensatz zum Zugang nach Bülau (4.–5. ICR in der mittleren Axillarlinie) besteht hier, insbesondere bei noch nicht vorliegendem Röntgen-Thorax, bei z. B. gleichzeitiger Zwerchfellruptur nicht die Gefahr intrathorakal verlagerte Abdominalorgane zu verletzen. Ferner ist das erforderliche Arbeitsfeld beim meist im Vakuumbett gelagerten Patienten besser zugänglich. Das Risiko einer Lungenverletzung während der Drainagenanlage kann durch digitale Verifizierung des Pleuraraumes, sowie stumpfem Einführen der Drainage minimiert werden [31] (Abb. 1).

Eine Analyse von 51 konsekutiven Patienten mit schwerem Thoraxtrauma (AIS ≥ 3) im eigenen Hause zeigte, daß von 29 präklinisch intubierten und beatmeten Patienten 14 (48%) bei Klinikaufnahme einen Pneumothorax aufwiesen, darunter 4 (14%) einen Spannungspneumothorax. Unter den gleich schwer verletzten, nicht beatmeten Patienten fand sich ein signifikant geringerer Anteil mit Pnemo- (32%) und Spannungspneumothorax (5%). Deshalb

sollte besonders beim *beatmeten Patienten* mit Hinweisen für ein erhöhtes Pneumothoraxrisiko (z. B. Rippenserienfraktur, Hautemphysem, abgeschwächte Atemgeräusche) die Thoraxdrainage, falls erforderlich beidseits, präklinisch vor einem anstehenden Transport bereits prophylaktisch gelegt werden, um nicht im weiteren Verlauf dann in einer ungünstigen Situation (z. B. innerklinischer Transport, Aufzug, CT u. ä.) vom drohenden Spannungspneumothorax überrascht zu werden. Insbesondere vor einem erforderlichen Hubschraubertransport sollte eine großzügige Indikationsstellung erfolgen, da während des Transportes sowohl die diagnostischen Möglichkeiten (Auskultation), als auch der Handlungsspielraum therapeutischer Interventionen deutlich eingeschränkt sind (Tabelle 3).

Der *offene Pneumothorax* (saugende, schlürfende Geräusche über der Wunde, „sucking wound“) führt bei einer Defektgröße von mehr als zwei Dritteln des Trachealdurchmessers durch inspiratorischen Lufteintritt und Kol-

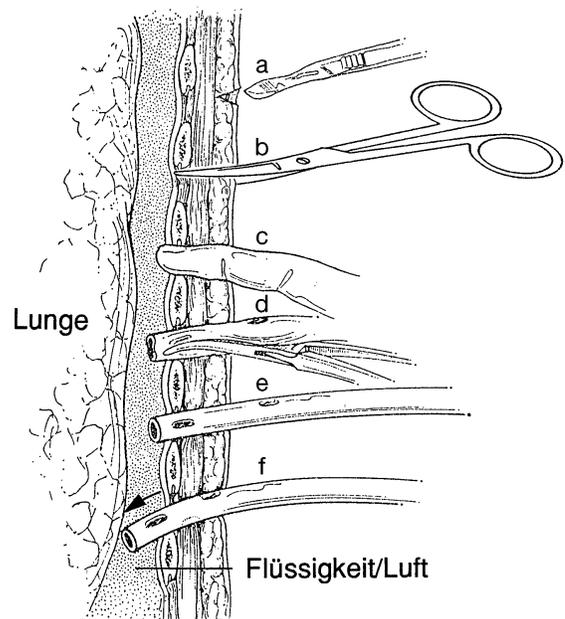


Abb. 1a–f ▲ Technik der Thoraxdrainagenanlage im Schema: a Quere Hautinzision über dem 2.–3. ICR in der Medioklavikularlinie bis auf die Muskulatur (falls erforderlich nach ausreichender Lokalanästhesie); b Vorwiegend stumpfes Auseinanderdrängen der Muskelfasern im Faserverlauf und Eröffnung der Pleura mit der Schere (hörbares Entweichen von Luft); c Sichere Identifizierung des Pleuraraumes mit dem Zeigefinger zur Vermeidung von Lungenverletzungen; d Stumpfes Einführen der Thoraxdrainage; e/f Die korrekte Position der Drainage wird erreicht, wenn alle Perforationen des Drainageschlauches weit genug in den Pleuraraum eingeführt sind, es folgen die Annahrt der Drainage an der Haut, sowie die Konnektierung des Drainagesystemes mit Wasserschloß, Reservoir und Sogkammer. Überprüfung der korrekten Lage durch atembabhängiges Pendeln der Flüssigkeitssäule im Drainageschlauch sowie Röntgenkontrolle

Tabelle 3

Indikation zur prophylaktischen präklinischen Thoraxdrainage beim beatmeten Patienten mit Thoraxtrauma und

- Rippenserienfraktur (insbesondere instabilem Thorax)
- Hautemphysem
- Unklarem Blutdruckabfall
- Abgeschwächtem oder fehlendem Atemgeräusch
- Steigendem Beatmungsdruck (nach Kontrolle von Beatmungssystem und Tubuslage)

laps der Lunge zu einer akuten vitalen Gefährdung des spontan atmenden Patienten (Mediastinalflattern). Kleinere Wunden dichten sich in der Regel von selbst ab. Falls anderweitig keine Indikation zur Intubation besteht kann der offene Pneumothorax durch Anlage eines sterilen Wundverbandes, welcher nur an 3 Seiten geklebt wird (Ventil zum Entweichen von Luft), einfach in einen Geschlossenen überführt werden. Zur Sicherheit sollte eine Thoraxsaugdrainage über einen gesonderten Zugang eingelegt werden. Besteht ohnehin die Indikation zur Intubation, erfährt die kollabierte Lunge durch die mechanische Ventilation eine umgehende Ausdehnung; hierbei muß auf eine ausreichende Drainage der intrapleurale Luft nach außen geachtet werden, sei es durch den Thoraxwanddefekt (dreiseitig geklebter Verband) oder über eine gesondert eingebrachte Thoraxdrainage. Die definitive chirurgische Versorgung des Wunddefektes erfolgt in der Klinik nach Stabilisierung der Vitalfunktionen [18]

Im Falle *massiver Blutverluste* infolge thorakaler, meist penetrierender, Verletzungen, sowie bei Vorliegen einer *Perikardtamponade* im Stadium der Dekompensation (s. unten) bestehen im Rahmen der präklinischen Diagnostik und Therapie nur begrenzte Möglichkeiten. In situ befindliche Pfählungsgegenstände oder Messer sollten auf keinen Fall entfernt werden, da erhebliche Blutungen provoziert werden können; für den Transport wird eine Fixierung dieser Gegenstände mit Verbandsmaterial empfohlen [71]. Die Maßnahmen sollten sich auf großlumige i. v. Zugänge

und massive Volumen- ggf. Katecholaminsubstitution sowie O₂-Gabe beschränken, denn nur bei schnellstmöglichem, verzögerungsfreiem Transport („load and go“) in den Schockraum-Op einer vorinformierten Klinik besteht in diesen Fällen Aussicht auf Rettung des Patienten [28]. Lediglich reanimationspflichtige Patienten sollten zur Sicherung der Atemwege und Verbesserung der Effektivität der kardiopulmonalen Reanimation intubiert werden [17]. Bei V. a. eine Perikardtamponade kann eine Perikardpunktion versucht und damit eine vorübergehende Besserung des Zustandes erreicht werden (Abb. 2). In absoluten Ausnahmefällen wird bei penetrierenden Herzverletzungen und erloschenen Vitalfunktionen über eine erfolgreiche präklinische Notfallthorakotomie berichtet [34].

Bei den häufig initial mehr oder weniger vital kompensierten bzw. kompensiert erscheinenden Mehrfachverletzten mit Thoraxtrauma bedarf es einer differenzierteren Risikobeurteilung zur Indizierung der entsprechenden therapeutischen Maßnahmen. Der Unfallmechanismus liefert wertvolle Hinweise auf das Ausmaß der stattgehabten Gewalteinwirkung und potentiellen Verletzungsschwere und sollte daher vom

erstversorgenden Notarzt immer exakt dokumentiert und an die aufnehmende Klinik übergeben werden. Einklemmungen, Verschüttungen sowie der Sturz aus großer Höhe stellen Unfallmechanismen mit besonders hohem Risiko einer begleitenden Thoraxverletzung dar. Mehrfachverletzte mit Thoraxtrauma entwickeln signifikant häufiger respiratorische Komplikationen, die sich in der Regel bereits während der ersten 24 h nach dem Unfall manifestieren. Durch die höhere Inzidenz an Lungen- und auch Multiorganversagen (MOV) ist die Prognose dieser Patienten gegenüber gleichschwer Verletzten ohne Thoraxtrauma signifikant schlechter (Tabelle 1). Der direkte Parenchymschaden der Lunge mit interstitiellen und alveolären Einblutungen, dys- bis atelektatischen Bezirken und interstitiellem perifokalem Ödem gefährdet den spontan atmenden Schwerverletzten durch Verschlechterung der Compliance, Zunahme der Shuntperfusion und daraus resultierender Hypoxämie. Thoraxwandinstabilität, schmerzbedingte Tachypnoe und Schonatmung führen zu einer enormen Steigerung der Atemarbeit, sowie des Sauerstoffverbrauches. Frühzeitige Intubation und PEEP-Beatmung gewährleisten eine verbesserte Lungen-

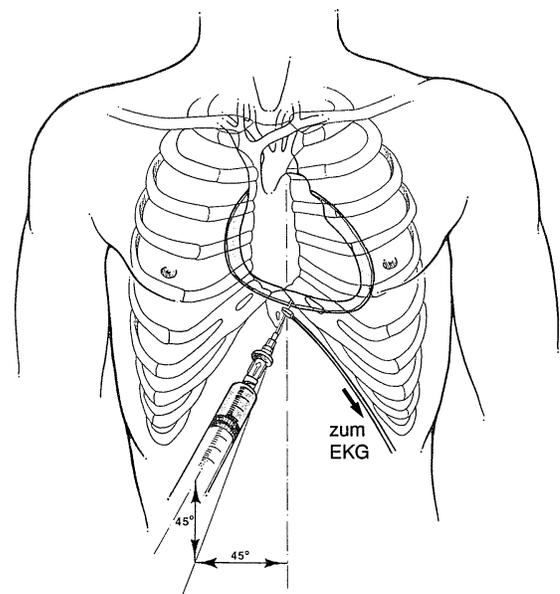


Abb. 2 ▲ Technik der Perikardiozentese: In Rückenlage des Patienten erfolgt die Punktion subxyphoidal zwischen Xyphoid und linkem Rippenbogen mit einer langen Punktionskanüle im Winkel von jeweils 45° zur Frontal- und Sagittalebene mit Zielrichtung auf die Mitte der Klavikula; eine Krokodilklemme mit EKG-Ableitung (Brustwand) kann dabei den Kontakt zum Epi- bzw. Myokard anzeigen (ST-Hebungen). Die Aspiration von bereits wenigen Millilitern Blut führt zu einer Verbesserung der Kreislauffunktion und muß die umgehende Thorakotomie zur definitiven chirurgischen Therapie nach sich ziehen

Tabelle 4

Indikation zur Frühintubation beim Thoraxtrauma [79]

- Traumatische Reanimation
- Verlegung der Atemwege
- Anhaltender hypovolämischer Schock (systolischer RR < 80 mm Hg)
- Akute respiratorische Insuffizienz (Atemfrequenz < 10 oder > 30/min, SaO₂ < 90 % bei Spontanatmung)
- Schweres Thoraxtrauma (AIS ≥ 3) mit signifikanten Begleitverletzungen (SHT mit GCS < 10, Femurfraktur, Beckenfraktur, schweres Weichteiltrauma, hoher Gesamtverletzungsschweregrad ISS > 24)

ventilation und Oxygenierung durch Eröffnung kollabierter Alveolen und reduzieren den ohnehin erhöhten Sauerstoffverbrauch des Polytraumatisierten erheblich [32, 57].

Die frühe Intubation und Beatmung scheint beim Polytraumatisierten mit schwerem Thoraxtrauma, auch bei primär noch kompensierter Lungenfunktion, zu einer Prognoseverbesserung beitragen zu können [24, 78], so daß sich die in Tabelle 4 aufgeführten Indikationen zur Frühintubation beim Thoraxtrauma ergeben.

Spontan atmende Patienten, für die sich keine Intubationsindikation ergibt, sollten mit erhöhtem Oberkörper, nasaler Sauerstoffgabe sowie ausreichender Analgesie möglichst schonend transportiert werden.

Primäre Schockraumdiagnostik

Zur Optimierung des Schockraummanagements hat sich als Leitlinie die Einführung eines zeit- und prioritätenorientierten Algorithmus außerordentlich bewährt [49]. Bei der Übergabe des Patienten im Schockraum wird erneut nach den bereits dargestellten akut *vital bedrohlichen Zuständen* im Rahmen einer ersten orientierenden Untersuchung gefahndet, sowie die Tubuslage bei beatmeten Patienten kontrolliert [51]. Dies schließt selbstverständlich eine wiederholte Überprüfung der Atemfunktion (Dyspnoe, Zyanose, Atemfrequenz, paradoxe Atmung, Sauerstoffsättigung) ein. Vom erstversorgenden Notarzt und vom ansprechbaren Patienten werden Unfallhergang, Schmerzen etc. erfragt.

Unter Berücksichtigung im Vordergrund stehender Begleitverletzungen (z. B. Massenblutung, schweres SHT) folgen die eingehende körperliche Untersuchung sowie Basis- und weiterführende Diagnostik:

Im Rahmen der eingehenden *körperlichen Untersuchung* deuten thorakale Prellmarken bzw. offene Thoraxwunden, Thoraxkompressionsschmerzen, Krepitationen des knöchernen Thoraxskelettes sowie ein Hautemphysem (typisches Schneeballknirschen) auf ein vorliegendes Thoraxtrauma hin. Hierbei ist selbstverständlich auch immer der Rücken und die Wirbelsäule zu inspizieren. Auskultation und Perkussion müssen bei seitendifferenzierter Ventilation, d. h. einseitig abgeschwächtem Atemgeräusch, den Verdacht auf einen Pneumo-(hypersonorer Klopfeschall) oder Hämatothorax (gedämpfter Klopfeschall), deutlich hörbare Darmgeräusche über der Thoraxwand auf eine Zwerchfellruptur lenken. Paradoxe Atemexkursionen werden typischer Weise beim instabilen Thorax beobachtet. Gibt ein wacher kooperativer Patient bei tiefer Inspiration keine Schmerzen an, kann ein schwerwiegendes Thoraxtrauma ausgeschlossen werden.

Nach Wiederherstellung bzw. Sicherung der Vitalfunktionen sollte auch bei zuverlegten und bereits geröntgten Patienten schnellstmöglich als erste wichtige Untersuchung eine *Röntgenaufnahme des Thorax*, angefertigt werden, mit der Fragestellung nach Verletzungen des knöchernen Thorax (Rippen-, Klavikula-, Skapula-, Sternum-, Wirbelsäulenfrakturen), eines Hämato-/Pneumothorax, Lungenkontusionsherden, Mittellinienverlagerungen, einem verbreiterten Mediastinum bzw. ein Pneumomediastinum sowie glatten Zwerchfellkonturen (Zwerchfellruptur?). Hierbei zeigen Frakturen der ersten und zweiten Rippe sowie Brüche des Schulterblattes eine sehr hohe Gewalteinwirkung auf den Thorax an. Ein Hautemphysem ist bei Verletzungen der Thoraxwand sowie bei pleuropulmonalen Läsionen charakteristisch und sollte immer an die Möglichkeit eines begleitenden Pneumothorax denken lassen. Ein Mediastinalemphysem (Pneumomediastinum) mit der typischen Doppellinie am linken Herzrand sowie paratrachealer Luft wird meistens durch rupturierte Alveolarbläschen mit

zentripetaler Luftausbreitung im Rahmen von Lungenkontusionen oder als Beatmungsfolge hervorgerufen, kann jedoch auch Ausdruck einer schweren tracheobronchialen Verletzung oder Ösophagusruptur sein. Der Herzschatten ist bei einer akuten Perikardtamponade aufgrund der geringen Dehnbarkeit des Perikards nicht wesentlich verbreitert. Die Differentialdiagnose der Mediastinalverbreiterung umfaßt neben der relativ seltenen Aortenruptur weitaus häufigere Frakturhämatome von Sternum-, Wirbel- und paravertebralen Rippenfrakturen, andere mediastinale arterielle (z. B. A. mamma interna, Interkostalarterie) und venöse Blutungen sowie technische Ursachen (schräger Strahlengang, liegender Patient, kurzer Abstand Röntgenröhre-Platte). Ferner liefert die Röntgenaufnahme des Thorax wertvolle Hinweise auf die korrekte Lage des Endotrachealtubus, bereits eingebrachter zentralvenöser Katheter und Thoaxdrainagen. Da viele thorakale Verletzungen einer erheblichen Dynamik unterliegen, sollte nach allen erneuten invasiven Maßnahmen, sowie jeglicher unklarer Verschlechterung des Patienten eine Verlaufskontrolle angefertigt werden (Zu-/Abnahme des Hämato-/Pneumothorax, erst verzögert sichtbar werdende Kon-tusionsherde, Zwerchfellrupur? etc.).

Im Rahmen der fast gleichzeitig durchführbaren ersten *sonographischen Untersuchung* des Abdomens kann ein orientierender Blick in die kostodiaphragmalen Winkel (beidseitiger Interkostalschnitt und hintere Axillarlinie längs) einen Hämatothorax, sowie durch epigastrische Längs- und Querschnitte einen Perikarderguß nachweisen [51].

Die wiederholte *arterielle Blutgasanalyse* und das fortlaufend registrierte EKG ergänzen die Basisdiagnostik im Schockraum.

In den letzten Jahren hat die *Computertomographie des Thorax (CTT)* im Rahmen der Primärdiagnostik des Polytraumatisierten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Während knöcherner Thoraxverletzungen mit der konventionellen Röntgenaufnahme zuverlässig erfaßt werden können [60], besteht auch unter Zuhilfenahme der klinischen und sonographischen Befunde in der Frühphase die Gefahr wesentliche intrathorakale Verletzungen zu übersehen

Tabelle 5

Häufigkeit des radiologischen Nachweises intrathorakaler Verletzungen durch Röntgen-Thorax und CT-Thorax (bezogen auf betroffene Hemithoraces bei 103 Patienten; χ^2 -Test mit Yates-Korrektur). (Aus Trupka et al. 1997: Schockraumdiagnostik beim Polytrauma: Wertigkeit der Thorax CT. Unfallchirurg 100: 469–476)

	RT	CTT	p
Lungenkontusion	25	61	< 0,001
Pneumothorax	17	44	< 0,005
Hämatothorax	23	44	< 0,05
Zwerchfellruptur	2	2	–
Myocardruptur	–	1	–

RT, = primäre konventionelle Röntgenaufnahme des Thorax im Liegen;

CTT, = Computertomographie des Thorax

[23, 35]. So sind Lungenkontusionsherde häufig erst nach 24 bis 48 h auf der konventionellen Röntgenaufnahme nachweisbar [16, 66]. Da gerade der Lungenkontusion eine wesentliche Bedeutung für den weiteren Verlauf und die Prognose des Polytraumatisierten beigemessen wird, scheint die frühzeitige exakte Diagnose für ein adäquates Management unabdingbar zu sein. In zahlreichen experimentellen und klinischen Untersuchungen konnte bislang die Überlegenheit der Computertomographie mit einer signifikant besseren Nachweisbarkeit von Lungenkontusionen, Pneumo- und Hämatothorax herausgearbeitet werden, der klinische Nutzen dieser Mehrinformation wurde jedoch kontrovers diskutiert [43, 44, 58, 60, 66]. In einer eigenen prospektiven Untersuchung an 103 Patienten, darunter 94 Polytraumatisierten, mit stumpfem Thoraxtrauma und einem mittleren ISS von 30 konnte die diagnostische Überlegenheit der thorakalen CT gegenüber der konventionellen Röntgenaufnahme einmal mehr eindrucksvoll bestätigt werden: So waren Lungenkontusionsherde, Pneumo- und Hämatothoraces signifikant häufiger in der CT zu visualisieren, in 2 Fällen konnte eine Zwerchfellruptur, in einem Fall eine Myokardruptur diagnostiziert werden (Tabelle 5). Aus diesen zusätzlichen Informationen wurden bei 42 Patienten insgesamt 65 therapeutische Konsequenzen im weiteren Verlauf gezogen: Neuplazierung von Thoraxdrainagen bei occulten und meist anterioren Pneumothoraces, Bronchoskopie, Operationsindikation bei Zwerchfellruptur so-

wie Maßnahmen bei Lungenkontusion (Beatmungsmodus, Lagerungstherapie, Einfluß auf Zeitpunkt und Verfahrenswahl bei vorliegenden Frakturen langer Röhrenknochen (s. u. Abschnitt Lungenkontusion) [74].

Im Rahmen unseres primären Polytrauma-Managements [51] wird daher beim schwerverletzten Patienten mit V. a. stumpfes Thoraxtrauma die thorakale CT bei stabilen Kreislaufverhältnissen routinemäßig durchgeführt (Tabelle 6). Im Zeitalter der schnellen Spiral-Scanner und der ohnehin bei 70 % der Patienten bestehenden Indikation für eine computertomographische Abklärung einer weiteren Körperregion bedeutet diese wertvolle Untersuchung keinen nennenswerten Zeitverlust [74]. Da gerade die Lungenkontusion unmittelbar nach dem Trauma nur mittels thorakaler CT sicher nachweisbar ist, wird in einer neueren Übersichtsarbeit die thorakale CT beim Schwerverletzten mit Thoraxtrauma oder typischem Unfallmechanismus als „Goldstandard“ bezeichnet [52].

Spezielle Diagnostik und Therapie der einzelnen Thoraxverletzungen

Rippenfrakturen, Sternumfraktur und unkomplizierter Hämato-/Pneumothorax

Rippenfrakturen stellen die häufigste Verletzung beim Thoraxtrauma dar, wobei Frakturen der ersten 2 Rippen aufgrund ihrer schützenden Umgebung (Skapula, Klavikula, Schulter und ent-

sprechende Muskulatur) immer eine schwere Gewalteinwirkung auf den Thorax mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von signifikanten Begleitverletzungen anzeigen. Thoraxkompressionschmerz, lokaler Druckschmerz und Krepitation prägen das klinische Bild, die Röntgen-Thoraxaufnahme und der Hemithorax in Rippentechnik bestätigen in den meisten Fällen die Diagnose und geben Hinweise auf Begleitverletzungen und Komplikationen. Anteriore Knorpelfrakturen, sowie kostochondrale Separationen sind funktionell und klinisch der Rippenfraktur gleichzusetzen, auf der konventionellen Thoraxaufnahme jedoch nicht zu erkennen. Aufgrund der erhöhten Elastizität des jugendlichen Thoraxskeletes werden nicht selten schwere intrathorakale Verletzungen ohne jegliche Rippenfraktur gesehen. Einfache oder multiple Rippenfrakturen können im Rahmen einer isolierten Thoraxverletzung in der Regel konservativ behandelt werden (s. unten).

Bei größerem Hämato- oder Pneumothorax stellt die primär angelegte Thoraxdrainage unter kontinuierlicher Sogbehandlung (10–20 cm H₂O) in den meisten Fällen bereits die definitive Therapie dar. Bei persistierendem Hämatothorax, der trotz gezielt eingebrachter Drainagen nicht suffizient entlastet werden kann, empfiehlt sich die frühzeitige thorakoskopische Hämatomausräumung zur Vermeidung eines Koagulo- bzw. Fibrothorax mit restriktiver Atemstörung. Alternativ kann über eine kleine anterolaterale Thorakotomie im 5. ICR zugegangen werden.

Das direkte Lenkradanpralltrauma stellt den klassischen Verletzungsme-

Tabelle 6

Indikationen zur Computertomographie des Thorax beim Polytrauma in der Stabilisierungsphase

- Hinweise für Thoraxverletzung im Röntgen-Thorax
- V. a. Zwerchfellruptur
- V. a. Aortenruptur
- Unklare respiratorische Insuffizienz
- BWS-Fraktur, Skapulafraktur (häufig begleitendes Thoraxtrauma!)
- Unfallmechanismus (Verschüttung, Einklemmung), ausgedehnte Prellmarken

chanismus der *Sternumfraktur* dar. Die klinischen Zeichen umfassen lokales Hämatom und Schwellung, Druckschmerzen und tastbare Krepitationen, 10 % stellen offene Frakturen dar. Die radiologische Diagnostik besteht neben der anteroposterioren Thoraxaufnahme aus einer speziellen seitlichen Sternumaufnahme, bzw. der Computertomographie im Knochenfenster. In etwa 50–60 % liegen schwere Begleitverletzungen wie Rippenserienfrakturen, Lungenkontusion, Herzkontusion, Aortenruptur u. a. vor, die es im Rahmen der Primärdiagnostik auszuschließen gilt. Sternumfrakturen können in der Regel unter ausreichender Analgesie und entsprechender physiotherapeutischer Atemtherapie konservativ zur Ausheilung gebracht werden, lediglich bei massiven Dislokationen bestehen vereinzelt Operationsindikationen.

Massiver Hämatothorax

Ein *massiver Hämatothorax* muß bei Vorliegen eines anhaltenden hypovolämischen Schockzustandes, einseitig abgeschwächtem Atemgeräusch mit gedämpftem Klopfeschall und Verschlechterung der respiratorischen Funktion angenommen werden. Die Diagnose wird in der Regel durch die massive Blutung aus der sofort einzubringenden großlumigen (30–36 French) Thoraxdrainage gestellt, die Röntgenaufnahme der Lunge zeigt häufig eine komplette Verschattung der betroffenen Seite, möglicherweise mit Mediastinalverdrängung. Ursächlich liegen beim stumpfen Trauma häufig Blutungen aus Interkostalgefäßen oder bei Sternumfrakturen mit Blutungen aus der A. mammaria zugrunde, bei penetrierenden Verletzungen Blutungen aus größeren Pulmonalgefäßen, der thorakalen Aorta, Herz- oder Lungenlazerationen [9]. Die Indikation zur notfallmäßigen Thorakotomie und chirurgischen Blutstillung besteht bei einem Hämatothorax von initial mehr als 1500–2000 ml, dem Bild eines anhaltenden Schockzustandes bei Hämatothorax, sowie bei anhaltender Blutung von mehr als 200 ml/h aus der Thoraxdrainage im Verlauf der nächsten Stunden. In einer derartigen Situation ist die sofortige Blutsabstufung mit ungekreuzten blutgruppengleichen oder Null-negativen Erythrozytenkonzentraten erforder-

lich. Intraoperativ kann mit der Verwendung eines Cellsavers die Zahl der benötigten Fremdblutkonserven reduziert werden.

Instabiler Thorax

Etwa 10–15 % der Thoraxverletzungen gehen mit einem *instabilen Thorax* („*flail chest*“) einher [40]. Unfallursachen stellen meistens Hochrasanztraumen des Straßenverkehrs (84 %) und Stürze aus großer Höhe (14 %) mit direkter stumpfer Gewalteinwirkung (z. B. Lenkradimpression) auf die Thoraxwand dar [47].

Das Bild des instabilen Thorax resultiert, wenn ein Thoraxwandsegment durch multiple Frakturen aus der Kontinuität des knöchernen Thoraxrahmens gelöst wird. Dies geschieht in der Regel bei Rippenserien-Stückbrüchen oder Rippenserienfrakturen (mindestens 3) mit zusätzlichen Frakturen der knorpeligen sternokostalen oder kostovertebralen Verbindungen. Die Röntgenaufnahme des Thorax im Schockraum zeigt meistens die zugrundeliegende Rippenserienfraktur, Kontusionsareale der Lunge sowie einen begleitenden Hämato-, Pneumothorax. Die Thoraxwandinstabilität stellt eine rein klinische Diagnose dar, denn insbesondere beim anterioren Typ können im ap Röntgenbild keinerlei Frakturen sichtbar sein (parasternale costochondrale Separation).

Der instabile Thorax ist nahezu immer von einer darunterliegenden Lungenkontusion begleitet, die neben der ineffektiven Ventilation des sich paradox bewegenden Thoraxwandanteiles für die respiratorische Insuffizienz hauptverantwortlich angesehen wird. Zusammen mit schmerzbedingter Schonatmung und mechanisch ineffektivem Hustenstoß entstehen hypoventilierte Areale mit Atelektasenbildung, perifokalem Ödem und Zunahme der pulmonalen Shuntperfusion [47]. Die pathophysiologischen Auswirkungen von Lungenkontusion und Thoraxwandverletzung addieren sich, experimentell erscheinen jedoch die Folgen der Lungenkontusion hinsichtlich der respiratorischen Insuffizienz schwerwiegender zu sein, als die mechanische Instabilität [12, 47].

Bei Patienten mit isoliertem schweren Thoraxtrauma (Rippenserienfrak-

tur, instabiler Thorax, mit oder ohne Lungenkontusion) ohne begleitende signifikante Verletzungen anderer Körperregionen kann bei stabiler Kreislaufsituation und kompensierter Lungenfunktion zunächst ein konservativer Therapieversuch unternommen werden. Durch eine optimale Analgesie kann in vielen Fällen die Intubation umgangen sowie der Entwicklung von Atelektasen und Pneumonie Vorschub geleistet werden. Gegenüber im Intervall verabreichten Opiaten, die erfahrungsgemäß mit einer ungenügenden Analgesie verbunden sind, hat sich die kontinuierliche patientengesteuerte Analgesie („*patient controlled analgesia*“, PCA) bewährt [13]. Die parenteral verabreichten Opiate bergen jedoch immer die Gefahr der Atemdepression und Sedierung des Patienten. Die optimale Analgesie scheint daher mit der kontinuierlichen thorakalen epiduralen Applikation von Lokalanästhetika und Opiaten (z. B. 0,125 % Bupivacain in Kombination mit Fentanyl, 1–2 µg/ml) erreicht zu werden [13, 41]. Hiermit lassen sich signifikante Verbesserungen der Tidalvolumina sowie der negativen inspiratorischen Drucke erzielen [41]. Wiederholte Interkostalblockaden sowie die intrapleurale Applikation von Lokalanästhetikum ergänzen das Spektrum der analgetischen Möglichkeiten, sind jedoch mit der Gefahr einer vermehrten Resorption und damit systemischer Nebenwirkungen des Lokalanästhetikums verbunden [13].

Den zweiten Pfeiler einer erfolgreichen konservativen Therapie stellt die suffiziente Bronchialtoilette, bestehend aus intensiver pulmonaler Physiotherapie, Atemgymnastik, wiederholter nasotrachealer Absaugung, Lagerungsdrainage und inzentive Spirometrie dar. Kann eine ausreichende alveoläre Ventilation und Sekretdrainage auf diesem Wege nicht erreicht werden, können CPAP-Atmung, befeuchtete O₂-Inhalation, die Inhalation von Bronchodilatoren und falls erforderlich die bronchoskopische Sekretabsaugung erforderlich werden [2]. Zirkuläre Tapeverbände, immer noch beschriebene Dachziegelverbände sowie jegliche anderweitige Ruhigstellung sind aus den genannten Gründen kontraindiziert. Patienten mit schwerem Thoraxtrauma, sowie ältere Patienten mit geringen Kompensationsreserven sollten initial

Tabelle 7

Kriterien zur Intubation beim isolierten schweren Thoraxtrauma. (Mod. nach Cogbill 1991 [15])

- Klinische Zeichen der zunehmenden Erschöpfung
- Atemfrequenz $< 10 > 29/\text{min}$
- $\text{PaCO}_2 > 55 \text{ mm Hg}$ unter $\text{FiO}_2 \geq 0.5$
- $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mm Hg}$ unter $\text{FiO}_2 \geq 0.5$
- Horowitz-Quotient < 200
- Vitalkapazität $< 15 \text{ ml/kg}$
- $\text{FEV1} \leq 10 \text{ ml/kg}$
- Begleitender Schockzustand
- Vorbestehende schwere COPD

unbedingt auf einer Intensivstation überwacht und behandelt werden, denn neben umfangreichem Monitoring (EKG, Pulsoximetrie, art. Blutgasanalysen, Bilanzierung) sind die erwähnten intensiven physiotherapeutischen Maßnahmen mit hohem zeitlichen und personellen Aufwand verbunden. Im Falle einer respiratorischen Dekompensation besteht schließlich die Indikation zur Intubation und Beatmung (Tabelle 7).

Das instabile Thoraxwandsegment erfährt durch die mechanische Ventilation eine innere pneumatische Schienung [4], atelektatische und kontusionierte Areale werden durch die PEEP-Beatmung wieder ventiliert. Zur Vermeidung eines Spannungspneumothorax sollte jeder intubierte und beatmete Patient mit instabilem Thorax oder stabiler Rippenserienfraktur bei geringsten radiologischen Anzeichen eines Hämato-/Pneumothorax oder vor längeren Operationen prophylaktisch im Schockraum mit einer Thoraxdrainage, gegebenenfalls auch beidseitig, versorgt werden (s. oben und Tabelle 3).

Falls die Entwicklung einer schwerwiegenden respiratorischen Insuffizienz mit diesen Maßnahmen verhindert werden kann, können viele Patienten unter ausreichender Analgesie schon nach wenigen Tagen wieder extubiert werden. In klinischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß vor allem durch eine suffiziente Periduralanalgesie Patienten mit instabilem Thorax über eine ausreichende Atemmechanik unter Spontanatmung verfügen und dadurch sowohl Komplikationsraten, als auch die Letalität gesenkt werden kön-

nen [84]. Da die begleitende Lungenkontusion weitaus mehr für die respiratorische Insuffizienz beim instabilen Thorax verantwortlich ist, als die paradoxe Atemmechanik, besteht in der Regel primär keine Indikation zur operativen Stabilisierung der Rippenserienfrakturen. Dies ist lediglich bei Patienten, die aufgrund intrathorakaler Verletzungen ohnehin thorakotomiert werden, als Rückzugsosteosynthese von Vorteil. In Einzelfällen einer lang anhaltenden schwer insuffizienten Atemmechanik, ausgeprägter Thoraxwanddeformitäten oder beim isolierten instabilen Thorax des älteren Patienten (ohne Lungenkontusion) kann bisweilen die Indikation zur operativen Stabilisierung gestellt und damit die Dauer der Langzeitbeatmung gesenkt werden [80]. Diverse Techniken stehen hierfür zur Verfügung: Intramedulläre Pins, Drahtnähte, „rib-struts“ (Metallschienen), Rippenklammern (z.B. Judet-Klammern, Essener Federstahlklammer) sowie diverse Implantate zur Plattenosteosynthese (Übersicht bei [68]). Komplikationen bestehen vor allem in Metallbruch bei unzureichender Stabilisierung, Pinwanderungen und Hautperforationen [68].

Perikardtamponade

Wie der Spannungspneumothorax verläuft eine *Perikardtamponade* ebenfalls unter dem Bild des Pumpversagens (*Beck'sche Trias*: leise Herztöne, $\text{ZVD} > 15 \text{ mmHg}$, $\text{sys. RR} < 80 \text{ mmHg}$); häufiger nach penetrierenden, jedoch auch nach stumpfen Traumen führt eine intraperikardiale Blutung im nur wenig dehnbaren fibrösen Perikardsack rasch zu einer erheblichen Füllungsbehinderung des Herzens mit dramatischem Verlauf. Gestaute Halsvenen können bei vorliegender Hypovolämie fehlen, bisweilen kann am spontan atmen- den Patienten das Kussmaul'sche Zeichen (inspiratorischer ZVD Anstieg) oder ein pulsus paradoxus (inspiratorischer sys. RR -Abfall $> 10 \text{ mmHg}$) beobachtet werden. Im Zweifelsfall kann die Diagnose sehr schnell sonographisch gesichert werden. Die Röntgenaufnahme des Thorax ist bei meist nur wenig vergrößertem Herzschatten unspezifisch. Falls die sofortige Perikardpunktion (Abb. 2) subxyphoidal im 45° Winkel mit Zielrichtung auf die linke Scapu-

laspitze nicht zu einer unmittelbaren Entlastung (Blutaspiration *und* klinische Besserung) führt, muß ohne jegliche weitere Verzögerung notfallmäßig thorakotomiert werden. Bei länger bestehender Blutung ist die Punktion wegen der meist vorliegenden Koagel nicht mehr erfolgversprechend.

Der Notfalleingriff erfolgt meist anterolateral im 4.–5. ICR links, kann aber in Abhängigkeit von der diagnostizierten oder vermuteten Verletzung auch rechtsseitig oder über eine mediane Sternotomie erforderlich werden. Nach Perikarderöffnung muß die definitive Versorgung der zugrundeliegenden Verletzung (z.B. Naht einer Herzmuskelverletzung über Teflonpatches) vorgenommen werden. Bei hochgradigem klinischen Verdacht auf eine Perikardtamponade ist insbesondere nach penetrierenden Verletzungen auch bei negativer Punktion und anhaltender Instabilität die Thorakotomie indiziert [64].

Tracheobronchiale Verletzungen

Larynx

Larynxfrakturen stellen eine Rarität dar und sind durch die Trias – Heiserkeit, subcutanes Emphysem, Frakturkrepitation – gekennzeichnet; Prellmarken am Hals und Hämoptysen ergänzen das klinische Bild, die Röntgenaufnahme der HWS zeigt häufig paravertebrale Luft. Im Falle einer Atemwegsobstruktion (inspiratorischer Stridor) sollte – falls verfügbar eine Intubation via flexibles Bronchoskop versucht werden, gelingt diese nicht auf Anhub besteht die Indikation zur Notfall-Tracheotomie. Zur exakten Diagnostik und zum Ausschluß von Begleitverletzungen wird die Triple-Endoskopie (Laryngoskopie, Bronchoskopie, Ösophagoskopie – sowie eine cervikale Computertomographie empfohlen. Abhängig vom Ausmaß und der Dislokation der Larynxfraktur kann bei leichteren Verletzungsformen konservativ verfahren werden, bei schwereren Läsionen sollte eine operative Rekonstruktion durch den HNO-Chirurgen vorgenommen werden [48].

Trachea/Bronchialsystem

Lediglich 0,3–1,5% der Thoraxtraumen sind mit Verletzungen der Trachea und/oder der großen Bronchien vergesell-

Tabelle 8

Radiologische Zeichen der tracheobronchialen Ruptur

- Pneumomediastinum
- Pneumothorax mit großem Luftleck über die Thoraxdrainage, geringer Hämatorax
- „Dropped lung“ (nach komplettem intrapl. Abriß steht die Lungenspitze auf Höhe des Hilus)
- Peribronchiale Luft
- Tiefes zervikales Emphysem auf der seitlichen HWS-Aufnahme (Luft entlang der prävertebralen Faszie)
- Hochstehendes Hyoid bei Trachealruptur

schaftet. Über 80 % der Läsionen werden in einem Umkreis von 2,5 cm um die Carina beobachtet, rechter und linker Hauptbronchus sind dabei etwa gleich häufig betroffen. Das Verletzungsausmaß reicht von kleinen Schleimhauteinrißen bis zur kompletten transversalen Ruptur der Trachea oder eines Hauptbronchus. Viele Patienten sterben noch an der Unfallstelle, die Letalität der primär Überlebenden beträgt 30–40 %, bedingt auch durch häufige schwere Begleitverletzungen. Dyspnoe, Husten und Hämoptysen sind häufige Symptome, bei höhergradigen Verletzungen Zyanose und respiratorische Insuffizienz, das cervikale Hautemphysem und insbesondere das Mediastinalemphysem sind diagnostisch wegweisend und sollten eine sofortige Bronchoskopie nach sich ziehen. Abhängig von der Intaktheit der mediastinalen Pleura kann ein begleitender Pneumothorax (70 %) mit erheblichem Fistelvolumen („air-leak“) zu einer bedrohlichen Situation führen (nicht entfaltbare Lunge nach Anlage einer Thoraxdrainage, Spannungspneumothorax). Bei einem begleitenden Pericardeinriß kann ein Pneumopericard bestehen. Die radiologischen Zeichen der Tracheobronchialen Verletzungen gibt Tabelle 8 wieder.

Neben der Bronchoskopie, die nicht nur diagnostisch weisend ist, sondern auch eine selektive Intubation des einzelnen Hauptbronchus, sowie Stenteinlagen ermöglicht, können die *konventionelle Tomographie* und die *Computertomographie des Thorax* beim respiratorisch stabilen Patienten zur Diagnosesicherung beitragen.

Inkomplette Rupturen mit einer Ausdehnung von weniger als 1/4 bis 1/3 der Zirkumferenz und tolerabler Luftleckage können unter wiederholter bronchoskopischer Kontrolle zur Ausheilung gebracht werden. Größere Rupturen erfordern eine operative Rekonstruktion über eine rechtsseitige posterolaterale Thorakotomie (Ausnahme: linker Hauptbronchus), selektive bronchoskopische Intubation und Doppellumentuben sollten verfügbar sein. Bei instabiler Beatmungssituation kann eine lebensrettende Sofortoperation notwendig werden, ansonsten richtet sich die Versorgung nach der Dringlichkeit der Begleitverletzungen (z. B. Notfallaparotomie, Trepanation), sollte jedoch so schnell als möglich erfolgen. Nur bei grotesker Ausdehnung kann in Einzelfällen beim Mediastinal- und Hautemphysem des Halses (Spannungsmediastinalemphysem) eine colare Mediastinotomie erforderlich werden. Primär nicht erkannte Verletzungen der großen Bronchien können nach ein bis zwei Wochen durch stenosierendes Granulations- und Narbengewebe durch Atelektasenbildung, Retentionspneumonie und respiratorische Insuffizienz manifest werden. Sie bedürfen dann ebenfalls einer bronchoplastischen Rekonstruktion, die jedoch aufgrund der meist vorliegenden Infektion mit einer hohen Komplikationsrate behaftet ist und häufig zur Pneumonektomie führt.

Eine seltene, lebensbedrohliche Komplikation stellt die Luftembolie bei broncho-venöser Kommunikation im Rahmen ausgedehnter Lungenparenchymverletzungen dar [18].

Myokardkontusion

Stumpfe Herzverletzungen zählen aufgrund eines enorm breiten klinischen Erscheinungsbildes mit häufig stummem Verlauf zu den am häufigsten übersehenen Verletzungen beim Polytrauma. Der instabile Thorax (insbesondere der anteriore Typ), Sternumfraktur, Lenkradanpralltrauma, Einklemmung- und Verschüttung sowie schwere Dezelerationstraumen sind in bis zu 75 % von einer Contusio cordis begleitet [7]. Leichtere Verletzungen verlaufen häufig klinisch stumm, wache Patienten können ein dem Herzinfarkt ähnliches klinisches Bild bieten (Steno-

kardie, Arrhythmien), schwerwiegendere Verletzungen können mit den Zeichen der akuten dekompensierten Herzinsuffizienz, einer Perikardtamponade, sowie plötzlichem Herztod (Arrhythmien, Ventrikelruptur, auch noch nach Tagen!) manifest werden. Eine unerklärliche Hypotonie sollte ebenfalls den Verdacht auf eine Herzkontusion lenken. Die Commotio cordis stellt transiente Arrhythmien einschließlich Kammerflimmern ohne histopathologisches Korrelat am Herzen nach thorakaler Gewalteinwirkung dar.

Als sensitivste Untersuchung hat sich in den letzten Jahren die *transösophageale Echokardiographie* (TEE) etabliert, die der *transthorakalen* eindeutig überlegen ist und gleichzeitig auch eine sehr sensitive Screeninguntersuchung zum Ausschluß einer thorakalen Aortenruptur darstellt [10]; sie sollte bei klinischem Verdacht frühzeitig durchgeführt werden und ermöglicht zuverlässig und reproduzierbar die Diagnostik von Flüssigkeitsansammlungen im Perikard (Hämoperikard), Dysfunktionen der Ventrikelwände sowie Läsionen der Herzwände und der Herzklappen. Die häufigsten *EKG-Veränderungen* (12 Ableitungen) sind unerklärte Sinustachycardien, nahezu alle Arrhythmien, ST-Streckenveränderungen, sowie Zeichen des akuten Myocardinfarktes und Schenkelblockbilder. Diese Veränderungen können jedoch bei leichteren Kontusionen völlig fehlen. Die Bestimmung der *kardialen Isoenzyme* (CK-MB) scheint beim Polytraumatisierten mit häufig ausgedehntem Weichteil- und Skelettmuskelschaden mit ohnehin erhöhter CK und CK-MB keine ausreichende Spezifität zu besitzen; möglicherweise besitzt die Bestimmung des *kardialen Troponin I* hier eine höhere Genauigkeit [1].

Akute Komplikationen nach stumpfen Herzverletzungen stellen alle möglichen Formen der Arrhythmie einschließlich Kammerflimmern und plötzlichem Herztod, Klappenrupturen, Zeichen der Rechts-, oder Linksherzinsuffizienz (akut als kardiogener Schock, chronisches Low-output-Syndrom) sowie in seltenen Fällen Ventrikel-, oder Septumrupturen (noch nach bis zu 14 Tagen) mit plötzlichem Herztod dar. Langfristig können Arrhythmien, Herzinsuffizienz, sowie die Ausbildung eines Herzwandaneurysmas re-

Tabelle 9

Radiologische Zeichen der Aortenruptur

- Verbreitetes oberes Mediastinum (> 8 cm)
- Verlust der Aortenknopfkontur
- Massiver Hämatothorax
- Verdrängung des linken Hauptbronchus nach kaudal > 140°
- Elevation und Rechtsverlagerung des rechten Hauptbronchus, Rechtsverlagerung der Trachea
- Frakturen der ersten und zweiten Rippe, links apikales Hämatom (Pleurakappe)
- Verschattung des aortopulmonalen Fensters/ventralisierte Trachea im seitlichen Röntgenthorax

sultieren. Die initiale Überwachung auf einer Intensivstation (RR, ZVD, EKG, ggf. Swan-Ganz-Katheter, wiederholte Echokardiographie) zur frühzeitigen Erkennung und Therapie o.g. Komplikationen ist für die ersten Tage eine *Conditio sine qua non*, gefolgt von einer engmaschigen klinischen Beobachtung während der ersten beiden Wochen. Die anschließende Rehabilitation sollte der Behandlung nach Myokardinfarkt entsprechen. Anhaltende Arrhythmien und chronische Low-output-Zustände bedürfen der weiteren internistischen Überwachung und Therapieeinstellung. Selten erfordern eine Herzluxation bei Perikardruptur eine notfallmäßige Thorakotomie oder Herzklappenverletzungen nach stumpfem Thoraxtrauma eine herzchirurgische Intervention (Rekonstruktion oder Klappenersatz) unter Einsatz der Herzlungenmaschine.

Traumatische Aortenruptur

Die traumatische Aortenruptur stellt eine häufige Ursache für ein sofortiges Versterben von Unfallopfern dar und lediglich etwa 10 %–15 % erreichen lebend eine Klinik. Scherkräfte infolge von Dezelerationsmechanismen, direkte Kompression gegen die Wirbelsäule und plötzlicher intraluminaler Druckanstieg bei Thoraxkompression führen zu Rupturen der thorakalen Aorta. Die Kontinuität einer bedeckenden Adventitiaschicht bewahrt vor einer fulminanten Verblutung. Die häufigste Lokalisation liegt im Isthmusbereich oder am Ansatz des Truncus brachiocephalicus.

Die Letalität dieser Verletzung beträgt 50 % pro Tag, falls keine adäquate Therapie erfolgt [3].

Die in Tabelle 9 genannten *radiologischen Zeichen* sollten den Verdacht auf eine Aortenruptur lenken und eine sofortige weitere Diagnostik nach sich ziehen. Aufgrund zu geringer Sensitivität und Spezifität dieser Hinweise ist beim geringsten Verdacht die Indikation zur *Angiographie*, in der Regel in DSA-Technik, großzügig zu stellen, die nach wie vor den „gold standard“ darstellt. Sie ist der *Computertomographie* in der Diagnostik überlegen und gestattet bessere Aussagen zur Operationsplanung [46]. In den letzten Jahren wird zunehmend die *transösophageale Echokardiographie* (TEE) als Screeningverfahren empfohlen; bei im Vergleich mit der Aortographie deutlich kürzerer Untersuchungszeit wird eine sehr hohe diagnostische Zuverlässigkeit auch im Nachweis von Aortenwandhämatomen mit Sensitivität und Spezifität von 100 % angegeben [33].

Ein begleitender Hämato-/Pneumothorax wird mittels Thoraxdrainage entlastet, die weitere operative Versorgung gestaltet sich abhängig von der hämodynamischen Situation: Der massiv instabile, hypotensive Patient muß in extremen Einzelfällen ohne Angiographie auf Verdacht im Schockraum thorakotomiert werden, den notfallmäßigen Zugang stellt die linksseitige anterolaterale Thorakotomie dar. Ungekreuzte gruppengleiche Blutkonserven und die intraoperative Verwendung des Cell-Savers sind dabei fast immer erforderlich. Nach positiver Aortographie und Ruptur an typischer Stelle im Isthmusbereich stellt die schnellstmögliche posterolaterale Thorakotomie links den Zugang der Wahl dar, die Versorgung kann nach Ausklemmung durch direkte Naht oder Gefäßprotheseninterposition erfolgen. Eine gefürchtete Komplikation stellt die Paraplegie durch spinale Ischämie dar (8 %), sie kann in der Regel durch Abklemmzeiten unter 30 min vermieden werden [36]. Verletzungen der Aorta ascendens und des Aortenbogens werden über die mediane Sternotomie mit kardiopulmonalem Bypass versorgt, jedoch erreichen Patienten mit diesen Verletzungen selten lebend die Klinik.

Etwa ein Drittel der Patienten mit traumatischer Aortenruptur weisen be-

gleitende abdominelle Verletzungen auf, die einer Laparatomie bedürfen; der instabile Patient mit sonographisch nachgewiesener signifikanter Menge freier Flüssigkeit sollte dabei zunächst laparotomiert werden und nach intra-abdomineller Blutstillung der Versorgung der Aortenruptur unterzogen werden [37].

Bei kleinen Einrissen der Aorta, die initial nicht diagnostiziert werden, kann es im Laufe von mehreren Monaten zur Ausbildung eines chronischen Aneurysmas kommen. Die Diagnose wird meist erst nach Jahren als Zufallsbefund auf einer Thoraxaufnahme gestellt.

Zwerchfellruptur

Eine Zwerchfellruptur, mit der bei etwa 3–7 % der stumpfen thorakoabdominellen Verletzungen gerechnet werden muß, tritt links 3- bis 4mal häufiger auf als rechts, weil hier die darunterliegende Leber durch eine gleichmäßigere Druckverteilung einen gewissen Schutzeffekt ausübt. In 5–10 % werden beidseitige Rupturen beobachtet [64]. Durch die meist frühzeitige Intubation und Beatmung werden klinische Zeichen wie respiratorische Insuffizienz durch intrathorakal verlagerte Abdominalorgane oder auskultierbare Darmgeräusche über dem Thorax maskiert. Eine Strangulation von Darmanteilen, sowie die progressive Magendilatation stellen seltene, aber dann fulminante Komplikationen einer Zwerchfellruptur dar. In einer retrospektiven Untersuchung von Richardson wiesen 50 % der Patienten mit Zwerchfellruptur eine be-

Tabelle 10

Radiologische Zeichen der Zwerchfellruptur

- Herniation von Magen-/Darmanteilen in den Thorax (selten: rechtsseitige Kolonherination)
- Rechtsseitig vermeintlich hochstehendes Zwerchfell (Durchleuchtung!)
- Verstrichene/unregelmäßige Zwerchfellkontur
- Sichtbare Magensonde im linken Unterfeld
- Verdrängungszeichen durch herniierte Darmanteile (Atelektase, Mediastinalverschiebung)

gleitende Milz- und/oder Leberruptur auf [64]. Wegweisend in der Primärdiagnostik ist die *Röntgen-Thoraxaufnahme* mit den in Tabelle 10 wiedergegebenen radiologischen Zeichen.

Aufgrund der hohen Anzahl primär nicht diagnostizierter Zwerchfellrupturen besteht ein wichtiger Grundsatz im „daran Denken“ und in allen Fällen einer unscharfen Zwerchfellkontur bzw. eines vermeintlichen Zwerchfellhochstandes eine weitere Abklärung zu erzwingen [75]. Da häufig gleichzeitig ein schweres Thoraxtrauma vorliegt empfiehlt sich zur weiterführenden Diagnostik die *Computertomographie des Thorax* mit Kontrastmittelapplikation über die Magensonde. In der Regel gelingt hiermit die endgültige Diagnose, sowie eine exakte Quantifizierung begleitender intrathorakaler Verletzungen [77]. Bestehen weiterhin Zweifel können Durchleuchtung und Sonographie in Einzelfällen zur Diagnosestellung beitragen. Eine noch nicht klar definierte Rolle spielt derzeit die *Thorakoskopie* bei v.a. Zwerchfellruptur. Neben dem sicheren Nachweis insbesondere der häufig schwierig zu diagnostizierenden rechtsseitigen Zwerchfellruptur kann gleichzeitig eine thorakoskopische Zwerchfellnaht durchgeführt werden. Eine alleinige thorakoskopische Naht sollte jedoch bei den häufigen begleitenden Abdominalverletzungen ohne eine weitere definitive Abklärung des Peritonealraumes nicht vorgenommen werden [70].

Die operative Versorgung in der Frühphase erfolgt in der Regel von einem abdominalen Zugang her, über den die häufigen intraabdominellen Begleitverletzungen mitversorgt werden können. Ist in seltenen Fällen bei einer rechtsseitigen Ruptur ein Zweihöhleingriff erforderlich, sollten zwei getrennte Zugänge für die Laparotomie und Thorakotomie gewählt werden; die postoperative Morbidität ist dabei deutlich geringer, als nach thorakoabdominalem Zugang. Meist gelingt die direkte Naht des Defektes, selten wird die Interposition von Fremdmaterial (Vicrylnetz, Goretex) notwendig. Sind intraabdominelle Organläsionen sicher ausgeschlossen, kann in Einzelfällen die Versorgung über eine Thorakotomie erfolgen. Rechtsseitige Rupturen lassen sich auf diesem Wege einfacher versorgen. Bei entsprechender Erfahrung ist

die thorakoskopische Zwerchfellnaht möglich.

Ösophagusverletzungen

Ösophagusverletzungen nach stumpfen Traumen stellen eine Rarität dar, unerkannt sind sie aufgrund der entstehenden Mediastinitis mit einer sehr hohen Letalität behaftet. Plötzliche starke intraabdominelle Druckerhöhungen mit Auspressen von Mageninhalt in den Ösophagus verursachen typische Längsrupturen im unteren Ösophagus. Stich und Schußverletzungen betreffen überwiegend den cervikalen Ösophagus. Radiologische Zeichen sind ein meist linksseitiges Mediastinalemphysem, sowie ein Hämato-pneumothorax ohne begleitende Rippenfrakturen.

Bei initial nicht erkannter Verletzung kann die Entleerung von Speiseresten aus der Thoraxdrainage, ein beginnendes Pleuraempyem, sowie ein septischer Schock unklarer Genese den Verdacht auf eine Ösophagusruptur lenken.

Die Ösophagographie mit wasserlöslichem Kontrastmittel bestätigt die Diagnose. Bei Trachelverletzungen nach penetrierendem Trauma sollte durch Ösophagoskopie immer nach begleitenden Ösophagusverletzungen gefahndet werden um o.g. Komplikationen und die Ausbildung ösophago-trachealer Fisteln zu verhindern.

Die frühestmögliche operative Rekonstruktion über eine rechtsseitige posterolaterale Thorakotomie besteht in einer zweireihigen Naht und einer Abdeckung und Sicherung der Naht durch Pleurapatch, Interkostalmuskel-flap oder Nissen-Fundoplikatio im Kar-diabereich. Eine großlumige mediastinale Drainage, die Magenentlastung über eine Magensonde, testgerechte antibiotische Abdeckung, die frühestmögliche enterale Hyperalimentation (z.B. via Gastro- oder Jejunostomiekatheter) sowie eine engmaschige Kontrolle sämtlicher Parameter eines septischen Syndroms stellen die wichtigsten Prinzipien der frühen postoperativen Phase dar.

Ausgedehnte Defekte oder verzögert erkannte Rupturen (> 12–16 h) mit Mediastinitis erfordern bisweilen eine temporäre Ausschaltung des Ösophagus, bestehend aus distalem Verschluss des Ösophagus, zervikaler Ausleitung des proximalen Stumpfes und Anlage einer Gastrostomie zur Vermeidung

einer Gefährdung der Rekonstruktion bzw. weitergehenden Kontamination des Mediastinums.

Lungenkontusion

Neben den Verletzungen der Thoraxwand stellt die Lungenkontusion die häufigste Läsion bei Thoraxtrauma dar und wird bei Polytraumatisierten in 30–60 % angetroffen. Die häufigsten Unfallursachen stellen wie beim instabilen Thorax Hochrasanztraumen des Straßenverkehrs (Lenkradanprall, Einklemmung) sowie Stürze aus großer Höhe dar. Pulmonale Kontusionsherde entstehen sowohl durch direkte Druckeinwirkung auf das Parenchym, als auch durch Dezelations- und Scherkräfte im Pleuraraum mit rasch wechselnden Drücken. Selten werden echte Contre-coup-Läsionen beobachtet.

Neben der mediatorenvermittelten pulmonalen Endothelschädigung, die als Folge der generalisierten systemischen Entzündungsreaktion („systemic inflammatory response syndrome“, SIRS) nach traumatisch-hämorrhagischem Schock angesehen wird [19], scheint die direkte lokale Organschädigung der Lunge einen wesentlichen Promotor für das posttraumatische akute Lungenversagen darzustellen und wird darüberhinaus als Wegbereiter weiterer Komplikationen angesehen [20, 62, 65]. So weisen Mehrfachverletzte mit Thoraxtrauma signifikant häufiger posttraumatische Organfunktionsstörungen (insbesondere der Lunge), aber auch signifikant häufiger ein Multiorganversagen auf, als Polytraumatisierte mit gleichem Verletzungsschweregrad ohne Thoraxtrauma (Tabelle 1). Entsprechend ist die Letalität des Mehrfachverletzten mit Thoraxtrauma deutlich erhöht und liegt je nach Studienpopulation zwischen 20 und 40 % [72, 83]. Hierbei scheinen insbesondere der instabile Thorax, der mit steigender Verletzungsschwere häufiger beobachtet wird, und die Lungenkontusion für die Zunahme der Letalität verantwortlich zu sein [21].

Rippenserienfrakturen und der instabile Thorax sind fast immer von kontusionierten Arealen begleitet [47]. Wichtig erscheint jedoch auch darauf hinzuweisen, daß ein beträchtlicher Anteil von Patienten ohne erkennbare knöcherner Verletzungen des Thorax signifi-

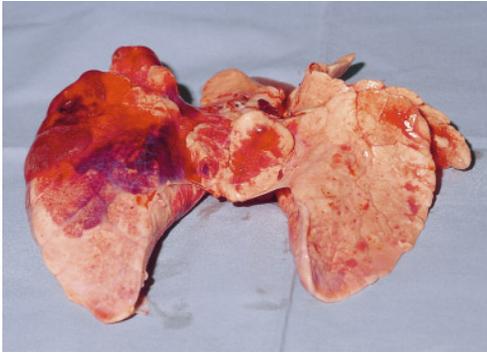


Abb. 3 ▲ Modell der experimentellen einseitigen isolierten Lungenkontusion am Schwein (Mit einem Bolzenschußapparat wird übergeleitet durch eine lateral auf den rechten Thorax angelegten 5×10 cm großen Stahlplatte mit einer $5 \times 5 \times 0,5$ cm Bleiblattendämpfung ein stumpfer, energiereicher Stoß gegen die Thoraxwand geführt). Obduktionspräparat nach 8 stündigem Untersuchungszeitraum mit ausgedehntem pulmonalem Kontusionsherd (Kontrolltier ohne spezifische Therapie)

kante intrathorakale Läsionen aufweist. So wurde in einer Untersuchung von Shorr (1987) bei 25 % der Thoraxverletzten eine schwere Begleitverletzung ohne nachweisbare knöcherne Beteiligung des Thoraxskelettes diagnostiziert (1/3 Hämato-/Pneumothorazes, 1/4 Lungenkontusionen, 1/5 Herzkontusionen). Dies scheint insbesondere bei jüngeren Patienten mit weitaus elastischerem Thoraxskelet von Bedeutung zu sein [52, 69].

Allen u. Coates führen in einer aktuellen Übersichtsarbeit [2] folgende bestehende Defizite in der Diagnostik und Therapie der Lungenkontusion als Ursachen für die hohe Morbidität und Letalität an:

- Bei häufig schwerwiegenden und akut behandlungsbedürftigen Begleitverletzungen wird zu selten an eine Lungenkontusion gedacht „low index of suspicion“;
- die Diagnose wird häufig erst mit einer Verzögerung von 24–48 h gestellt,
- die Pathophysiologie der Lungenkontusion ist nur wenig erforscht und noch nicht in allen Einzelheiten verstanden sowie
- es besteht ein Mangel an wissenschaftlich gesicherten Behandlungsgrundsätzen.

Pathophysiologie

Die mechanische Krafteinwirkung auf den Thorax führt letztendlich durch Kompressions-Dekompressions-Mechanismen, Scherkräfte, Kombinationen dieser Effekte sowie Durchspießun-

gen von benachbarten Rippenfrakturen zur Traumatisierung des Lungenparenchyms [5, 45]. Die pathomorphologischen Substrate der Kontusion reichen von petechialen oberflächlichen Blutungen, über alveoläre und interstitielle Parenchymeinblutungen, posttraumatische Bullae, Parenchymzerreißen bis hin zum intrapulmonalen Hämatom und infolge schwerer Einblutung „hepatisierten“ Lungenabschnitten (Abb. 3). Der akuten Gewebstraumatisierung folgt sehr schnell innerhalb der ersten Stunden eine ausgeprägte, zunächst perifokale inflammatorische Reaktion mit

Sequestrierung bzw. Einwanderung polymorphkerniger Neutrophiler (PMN), die infolge ihrer Aktivierung gewebstoxische Mediatoren (Proteasen, toxische Sauerstoffradikale, Eicosanoidderivate) freisetzen und durch Schädigung des pulmonalen Endothels (Erhöhung der mikrovaskulären Permeabilität) zur Ödembildung wesentlich beitragen [53, 67]. Die Ausbildung des alveolären und interstitiellen Ödems folgt der initialen Hämorrhagie unterschiedlich rasch und führt daher häufig erst verzögert zu einer manifesten Gasaustauschstörung. Diese inflammatorische Reaktion erfaßt zunehmend auch primär unverletzte ipsi- und auch kontralaterale Lungenareale und erklärt somit die „progressive“ Natur der respiratorischen Störung nach Lungenkontusion (Abb. 4) [2, 20, 52, 67].

Frühe Diagnostik

Vor diesem Hintergrund und der erheblichen klinischen Relevanz einer Lungenkontusion für den weiteren Verlauf und die Prognose des Schwerverletzten sei nochmals auf die großzügige Indikationsstellung zur *thorakalen Computertomographie* in der Frühphase hingewiesen (Tabelle 6). Da der Nachweis bzw. der Ausschluß von Lungenkontusionsherden unmittelbaren Einfluß auf

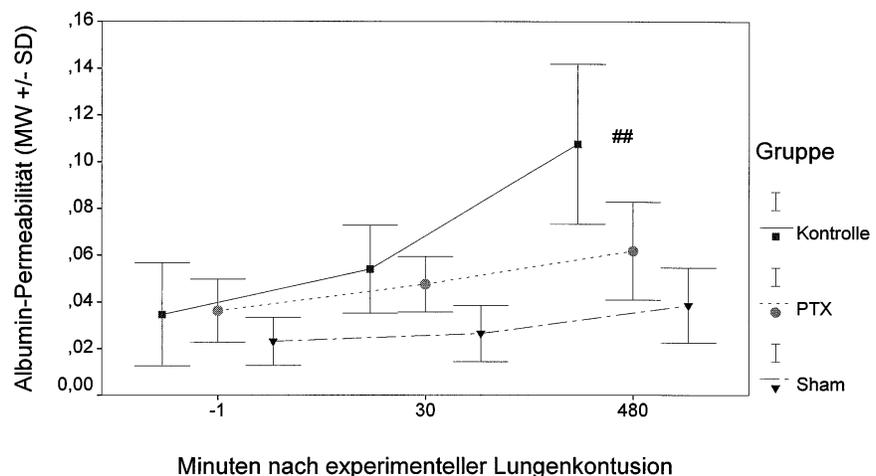


Abb. 4 ▲ Pulmonal-mikrovaskuläre Permeabilität (PMP) für Albumin nach experimenteller einseitiger Lungenkontusion in der kontralateralen, primär unverletzten Lunge. Die PMP für Albumin wird durch Bestimmung des Verhältnisses der Plasma- zur alveolären Albuminkonzentration errechnet und zeigt das Ausmaß der durch systemische inflammatorische Reaktionen ausgelösten pulmonalen Endothelschädigung an: Bei den Kontrolltieren (einseitige, isolierte Lungenkontusion, vgl. Abb. 3) zeigt sich nach 8 stündigem Versuchszeitraum ein signifikanter Anstieg der PMP im Vergleich zu den Sham-Tieren (Narkose, Beatmung, keine Kontusion). Bei den systemisch mit Pentoxifyllin therapierten Tieren (PTX) kann diese Permeabilitätsstörung signifikant ($p < 0,05$) reduziert werden

das frühe Management des Polytraumatisierten hat, ist eine frühe exakte Diagnostik unerlässlich [52, 77].

Frühe Therapie

Frühe Intubation und PEEP-Beatmung gewährleisten eine adäquate Ventilation und Oxygenierung; ferner wird die trauma- und schmerzbedingt deutlich erhöhte Atemarbeit reduziert. Mit diesem Konzept scheinen die Inzidenz der posttraumatischen Organfunktionsstörungen, sowie die Letalität gesenkt werden zu können [6, 38, 62, 63, 79]. Hierbei hat sich die druckkontrollierte Beatmung, mit der unerwünscht hohe Beatmungsdrucke vermieden werden können, sehr gut bewährt [52, 61]. Durch frühzeitigen Einsatz spezieller intensivmedizinischer Maßnahmen bei Polytraumatisierten mit Lungenkontusion scheinen Schwere und Dauer der posttraumatischen Lungenfunktionsstörung günstig beeinflusst werden zu können: Neben der Wechsellagerung (Bauch- und Rückenlage im 8- bis 12-stündigem Wechsel) zur Verbesserung von Ventilations-Perfusions-Mißverhältnissen und Rekrutierung kollabierter Alveolarabschnitte [55, 81], ist ein subtiles Kreislauf- und Volumenmonitoring mit einer differenzierten Volumen- und Katecholamintherapie erforderlich (Übersicht bei [2, 53]). Bei unkompliziertem Verlauf werden Lungenkontusionsherde binnen 8–12 Tagen resorbiert; bei darüber hinaus fortbestehenden Infiltrationen im Röntgenthorax muß an andere Ursachen wie Pneumonie und Atelektasenbildung gedacht werden.

Neben diesen primären organbezogenen Therapieprinzipien sollte beim polytraumatisierten Patienten der Gesamtbehandlungsplan auf eine vorliegende Lungenkontusion abgestimmt werden. Nach heutigen gesicherten Erkenntnissen müssen bei der Behandlung des Mehrfachverletzten jegliche weitere Aktivierung der humoralen und zellulären Kaskadensysteme, die die systemische Entzündungsreaktion (SIRS) immer weiter aggravieren sowie jegliche Phasen der Hypoxämie („secondary insults“) vermieden werden. Dies beinhaltet neben der Frühintubation- und Beatmung, eine aggressive Blutstillung und Schocktherapie, großzügiges Debridement avitalen und nekrotischen Gewebes, sowie einen diffe-

renzierten stadiengerchten Behandlungsplan bei der Versorgung begleitender Frakturen. Hier gilt es rezidivierende operative Traumatisierungen, sowie Blutverluste und Ischämien zu vermeiden, bzw. zu minimieren [82].

Die frühe Marknagelung des Oberschenkels scheint bei Polytraumatisierten mit Lungenkontusion mit einem erhöhten ARDS Risiko verbunden zu sein [50, 54]. Auch wenn viele dieser Patienten initial kardiorespiratorisch stabil erscheinen, befinden sie sich in einer „Borderline“-Situation; jegliche weitere Belastung der pulmonalen Mikrostrombahn, wie Mikroembolisationen während intramedullärer Nagelungen, Mediatorenfreisetzung im Rahmen größerer chirurgischer Eingriffe oder Aktivierung der inflammatorischen Kaskade durch septische Komplikationen kann zur Dekompensation und zum Organversagen führen [54, 56, 82]. Zeitpunkt und Verfahrenswahl bei der Versorgung von Frakturen langer Röhrenknochen (insbesondere Femur) und des Beckens gewinnen vor diesem Hintergrund besonders an Bedeutung. Da die frühzeitige Frakturstabilisierung mittlerweile unumstritten ist (verminderte pulmonale Komplikationen, Pflegeleichterung, Wechsellagerung) [8, 22, 30], stabilisieren wir Femurfrakturen bei Mehrfachverletzten mit Lungenkontusion initial mit einem Fixateur externe. Nach pulmonaler und allgemeiner Stabilisierung erfolgt nach wenigen Tagen der Umstieg auf einen intramedullären Kraftträger [50, 54]. Gerade

für diese Fragestellungen erscheint uns die frühzeitige exakte Diagnostik der Thoraxverletzungen mittels CT mit Nachweis bzw. Ausschluß von pulmonalen Kontusionsherden von entscheidender Bedeutung zu sein.

Im eigenen Patientengut konnte mit dieser Managementstrategie die Anzahl der schweren und langwierigen Verläufe der respiratorischen Insuffizienz des Polytraumatisierten während der letzten Jahre reduziert, sowie die Letalität der Schwerstverletzten weiter gesenkt werden (Tabelle 11).

Zusammenfassung und Ausblick

Die Mehrzahl der Patienten mit einzelnen oder mehrfachen Rippenfrakturen, unkompliziertem Hämato-/Pneumothorax sowie Sternumfrakturen kann bei fehlenden schwerwiegenden Begleitverletzungen mit geringer Komplikationsrate und Letalität konservativ behandelt werden. Nach initialer Drainage pleuraler Blut- oder Luftansammlungen stehen die suffiziente Analgesie, sowie die intensive Physiotherapie und Bronchialtoilette im Vordergrund. Auch bei schwerwiegenden isolierten Thoraxverletzungen, wie Rippenserienfrakturen, instabilem Thorax und Lungenkontusion, können unter maximaler Ausschöpfung dieser Maßnahmen in den meisten Fällen Intubation und maschinelle Beatmung umgangen werden. Hingegen werden Verlauf und Prognose des Polytraumatisierten von einem begleitenden schweren Thoraxtrauma we-

Tabelle 11

Einfluß eines differenzierten Managements auf die Prognose polytraumatisierter Patienten mit schwerem Thoraxtrauma (AIS > 2)

	1986–1992	1993–1995
Patienten (n)	84	80
Alter (Jahre)	39	38
Mittlerer ISS (Punkte)	38	33
Respiratorisches Versagen ^a	56 % (47)	36 % (28)
ARDS ^b	20 % (17)	8 % (6) ^c
Letalität	21 % (18)	10 % (8) ^c

^a Respiratorisches Versagen: PaO₂/FiO₂ < 280 oder PEEP > 8 für mehr als 48 h unter maschineller Beatmung

^b ARDS: respiratorisches Versagen plus die typischen bilateralen radiologischen Zeichen des interstitiellen Ödems

^c p < 0,05 zwischen den Patientengruppen der beiden Untersuchungszeiträume

sentlich beeinflusst. Kontusionsverletzungen der Lunge stellen hierbei die Achillesferse des Mehrfachverletzten dar, da sie mit einem signifikanten Anstieg der Komplikationen und der Letalität einhergehen.

Aus diesem Grunde gewinnt zur frühzeitigen exakten Diagnostik thorakaler Verletzungen die Computertomographie des Thorax bereits in der Frühphase des Polytraumamanagements zunehmend an Bedeutung. Frühe Intubation, frühe druckkontrollierte PEEP-Beatmung, frühzeitige Wechsellagerung des Patienten und ein differenzierter Behandlungsplan zur Versorgung begleitender Verletzungen (z. B. Art und Zeitpunkt der Stabilisierung von Femurfrakturen) stellen wesentliche Maßnahmen zur Reduzierung der gefürchteten Organkomplikationen dar.

Neuere Therapieoptionen haben den Schutz der primär unverletzten Lungenabschnitte vor dem progressiven, sich sekundär entwickelnden Ödem zum Ziele. Neben noch im experimentellen Stadium befindlichen antiinflammatorischen Therapieansätzen (z. B. Ibuprofen [11]), konnte in den letzten Jahren für Pentoxifyllin eine günstige Wirkung auf PMN vermittelte entzündliche Reaktionen und auf die pulmonale Permeabilitätssteigerung nachgewiesen werden. Klinische Daten liegen hierzu jedoch erst für septische Krankheitsbilder vor, sind aber durchaus ermutigend [42, 73]. In einer eigenen experimentellen Untersuchung am Lungenkontusionsmodell konnte ebenfalls ein deutlicher Effekt für Pentoxifyllin auf das progrediente Lungenödem gezeigt werden (Abb. 4). Einen sowohl kausalen, als auch symptomatischen Therapieansatz stellen Konzepte dar, die am nach Lungenkontusion in seiner Funktion erheblich beeinträchtigten alveolären Surfactant ansetzen. Dies kann entweder durch medikamentöse Synthesestimulation oder Ersatz (Replacement) erfolgen. Auch hier liegen bis dato nur wenige klinische Ergebnisse vor, es wurde jedoch über geglückte Versuche des Surfactant-Replacements bei Patienten mit Lungenkontusion berichtet (Übersicht bei [2, 52]).

Experimentell konnten wir ebenfalls am Modell der Lungenkontusion zeigen, daß mit einer mit einer bronchoalveolären Lavage kombinierten Low-dose-Substitution von Surfactant

eine schnelle und signifikante Verbesserung der Lungenfunktion möglich ist [76].

Literatur

- Adams JE, Davila Roman VG, Bessey PQ, Balke DP, Ladenson JH, Jaffe AS (1996) **Improved detection of cardiac contusion with cardiac troponin I.** *Am Heart J* 131: 308–312
- Allen GS, Coate NE (1996) **Pulmonary cotusion: a collective review.** *Am Surg* 62: 895–900
- American College of Surgeons (1990) **Advanced trauma life support (ATLS) – Reference Manual 1990**
- Avery EE, Morsch ET, Benson GW (1956) **Critically crushed chest.** *J Thoracic Surg* 32: 291–311
- Baosong L, Zhengguo W, Huaguang L, Zhihuan Y, Xiaoyan L (1996) **Pathologic study of thoracic impact injury involving a relatively static impact pattern.** *J Trauma* 40: S85–S89
- Barone JF, Pizzi W, Nealon TF, Richman H (1986) **Indications for intubation in blunt chest trauma.** *J Trauma* 26: 334–337
- Bayer M, Burdick D (1977) **Diagnosis of myocardial contusion in blunt chest trauma.** *J Am Coll Emer Phys* 6: 238–243
- Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R (1989) **Early versus delayed stabilization of fractures of the femoral shaft.** *J Bone Joint Surg* 71A: 1324–1330
- Boyd AD (1989) **Pneumothorax and hemothorax.** In: Hood RM, BAD, Culliford AT (eds) *Thoracic trauma.* Saunders, Philadelphia, pp 133–149
- Brook SW, Young JC, Cmolik B, Schina M, Dianzumba S, Townsend RN, Diamond DL (1992) **The use of transesophageal echocardiography in the evaluation of chest trauma.** *J Trauma* 32: 761–765
- Byrne K, Carey PD, Sielaff TD (1991) **Ibuprofen prevents deterioration in static transpulmonary compliance and transalveolar protein flux in septic porcine acute lung injury.** *J Trauma* 31: 155–166
- Cappello M, Yuehua C, De Troyer A (1995) **Rib cage distortion in a canine model of flail chest.** *Am J Respir Crit Care Med* 151: 1481–1485
- Castelli I, Schlöpfer R, Stulz P (1995) **Das Thorax-trauma.** *Anaesthesist* 44: 513–530
- Clark GC, Schechter WP, Trunkey DD (1988) **Variables affecting outcome in blunt chest trauma: flail chest vs. pulmonary contusion.** *J Trauma* 28: 298–304
- Cogbill TH, Landercasper JL (1991) **Injury to the chest wall.** In: Moore EE, Mattox KL, Feliciano DV (eds) *Trauma.* Appleton & Lange, Norwalk, pp 338
- Dresing K, Obertacke U, Doetsch N, Sievers KW, Schmit-Neuerburg KP (1992) **Stellenwert der Computertomographie in der Behandlung der Lungenkontusion und deren Komplikationen.** *Z Herz Thorax Gefäßschir* 6: 289–299
- Durham LA, Richardson RJ, Wall MJ, Pepe PE, Mattox KL (1992) **Emergency thoracotomy: impact of prehospital resuscitation.** *J Trauma* 32: 775–779
- Eddy AC, Carrico CJ, Rusch VW (1991) **Injury to the lung and pleura.** In: Moore EE, Mattox KL, Feliciano DV (eds) *Trauma.* Appleton & Lange, Norwalk, p 363
- Ertel W, Trentz O (1995) **Causes of shock in the severely traumatized patient: emergency treatment.** In: Goris RJA, Trentz O (eds) *The integrated approach to trauma care: the first 24 hours.* Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 78–87
- Fulton RL, Peter ET (1970) **The progressive nature of pulmonary contusion.** *Surgery* 67: 499–506
- Gaillard M, Herve C, Mandin L, Raynaud P (1990) **Mortality prognostic factors in chest injury.** *J Trauma* 30: 93–96
- Goris RJA, Gimbriere JSF, van Niekerk JLM, Schoots FJ, Booy LHD (1982) **Early osteosynthesis and prophylactic mechanical ventilation in the multiple trauma patient.** *J Trauma* 22: 895–890
- Hekir MD, Hollands MJ, Deane SA (1990) **The accuracy of the first chest X-ray in the trauma patient.** *Aust NZ J Surg* 60: 529–532
- Hemmer M (1995) **Early ventilation in trauma patients.** In: Goris RJA, Trentz O (eds) *The integrated approach to trauma care: the first 24 hours.* Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 52–62
- Hoff SJ, Shotts SD, Eddy VA, Morris JA (1994) **Outcome of isolated pulmonary contusion in blunt trauma patients.** *Am Surg* 60: 138–142
- Hörtling H (1988) **Spannungspneumothorax: Tiegel-Kanüle versus Thoraxdrainage – (noch) eine Alternative?** *Notarzt* 4: 18–20
- Inthorn F, Huf R (1992) **Das Thoraxtrauma beim Mehrfachverletzten.** *Anäst Intens Notfallmed* 27: 498–501
- Ivatury RR, Nallthambi MN, Roberge RJ, Rohman M, Stahl W (1987) **Penetrating thoracic injuries: in field stabilization vs. prompt transport.** *J Trauma* 27: 1066–1073
- Johnson JA, Cogbill TH, Winga ER (1986) **Determinants of outcome after pulmonary contusion.** *J Trauma* 26: 695–697
- Johnson KD, Cadambi AJAI, Seibert GB (1985) **Incidence of ARDS in patients with multiple musculoskeletal injuries: effect of early operative stabilization of fractures.** *J Trauma* 25: 376–384
- Jüttner JM, Pinter F, Friehs G (1988) **Digitale Notfallthoraxzentese. Risikoarme Erstbehandlung intrapleuraler Spannungszustände.** *Notarzt* 4: 5–8
- Kalbe P, Kant C (1988) **Erstmaßnahmen am Unfallort aus der Sicht des Unfallchirurgen.** *Orthopäde* 17: 2–10
- Kearney PA, Smith DW, Johnson SB, Barker DE, Smith MD, Sapin PM (1993) **Use of transesophageal echocardiography in the evaluation of traumatic aortic injury.** *J Trauma* 34: 696–703
- Keogh SP, Wilson AW (1996) **Survival following pre-hospital arrest with on-scene thoracotomy for a stabbed heart.** *Injury* 27: 525–527
- Kiev J, Kerstein MD (1992) **Role of three hour roentgenogram of the chest in penetrating and nonpenetrating injuries of the chest.** *Surg Gyn Obstet* 175: 249–253
- Laschinger JC, Cunningham JN, Nathan IM et al (1983) **Experimental and clinical assessment of the adequacy of partial bypass in maintenance of spinal cord flow during operations on the thoracic aorta.** *Ann Thorac Surg* 36: 417

37. Lee RB, Stahlman GC, Sharp KW (1992) **Treatment priorities in patients with traumatic rupture of the thoracic aorta.** *Am Surg* 58: 37–43
38. Lehmann U, Grotz M, Regel G, Rudolph S, Tscherne H (1995) **Hat die Initialversorgung des polytraumatisierten Patienten Einfluß auf die Ausbildung eines multiplen Organversagens?** *Unfallchirurg* 98: 442–446
39. Lewis RF (1982) **Thoracic trauma.** *Surg Clin North Am* 62: 97–102
40. LoCicero J, Mattox KL (1989) **Epidemiology of chest trauma.** *Surg Clin North Am* 69: 15–19
41. Luchette FA, Radafshar SM, Kaiser R, Flynn W, Hassett JM (1994) **Prospective evaluation of epidural versus intrapleural catheters for analgesia in chest wall trauma.** *J Trauma* 36: 865–869
42. Mandell GL (1988) **ARDS, neutrophils, and pentoxifylline.** *Am Rev Respir Dis* 138: 1103–1105
43. Marts B, Durham R, Shapiro M, Mazuski JE, Zuckermann D, Sundaram M, Luchtefeld WB (1994) **Computed tomography in the diagnosis of blunt thoracic injury.** *Am J Surg* 168: 688–692
44. McGonigal MD, Schwab CW, Kauder DR, Miller WT, Grumbach K (1990) **Supplemental emergent chest CT in the management of blunt torso trauma.** *J Trauma* 30: 1431–1438
45. McSwain NE (1992) **Blunt and penetrating chest injuries.** *World J Surg* 16: 924–929
46. Miller FB, Richardson JD, Thomas HA (1989) **Role of CT in the diagnosis of major arterial injury after blunt thoracic trauma.** *Surgery* 106: 596
47. Miller HAB, Taylor GA (1990) **Flail chest and pulmonary contusion.** In: McMurtry RY, McLellan BA (eds) *Management of blunt trauma.* Williams & Wilkins, Baltimore, pp 186–198
48. Minard G, Kudsk KA, Croce MA et al (1992) **Laryngotracheal trauma.** *Am Surg* 58: 181–187
49. Nast-Kolb D, Ruchholtz S, Waydhas C (1997) **Evaluation und Qualitätsmanagement bei der Polytraumaversorgung.** *Langenbecks Arch Chir [Suppl II] (Kongreßbericht):* 330–336
50. Nast-Kolb D, Waydhas C, Jochum M, Spannagl M, Duswald KH, Schweiberer L (1990) **Günstigster Operationszeitpunkt für die Versorgung von Femurfrakturen beim Polytrauma?** *Chirurg* 61: 259–265
51. Nast-Kolb D, Waydhas C, Kanz KG, Schweiberer L (1994) **Algorithmus für das Schockraummanagement beim Polytrauma.** *Unfallchirurg* 97: 292–302
52. Oberlacke U, Neudeck F, Hellinger A, Schmit-Neuerburg KP (1997) **Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie der Lungenkontusion.** *Akt Chir* 32
53. Oberlacke U, Redl H, Schlag G, Schmit-Neuerburg KP (1994) **Lokale und systemische Reaktionen nach Lungenkontusion.** Springer, Berlin Heidelberg New York
54. Pape HC, Auf'm Kolk M, Paffrath T, Regel G, Sturm JA, Tscherne H (1993) **Primary intramedullary femur fixation in multiple injured patients with associated lung contusion – a cause of posttraumatic ARDS.** *J Trauma* 34: 540–548
55. Pape HC, Regel G, Borgmann W, Sturm JA, Tscherne H (1994) **The effect of kinetic positioning on lung functions and pulmonary haemodynamics in posttraumatic ARDS: a clinical study.** *Injury* 25: 51–57
56. Pape HC, Remmers D, Regel G, Tscherne H (1995) **Pulmonale Komplikationen nach intramedullärer Stabilisierung langer Röhrenknöcheln: Einfluß von Operationsverfahren, Zeitpunkt und Verletzungsmuster.** *Orthopäde* 24: 164–172
57. Pepe PE (1989) **Acute posttraumatic respiratory physiology and insufficiency.** *Surg Clin North Am* 69: 157–173
58. Pilgram-Larsen J, Lovstakken K, Hafsahl G, Solheim K (1993) **Initial axial computerized tomography examination in chest injuries.** *Injury* 24: 182–184
59. Pinilla JC (1982) **Acute respiratory failure in severe blunt chest trauma.** *J Trauma* 22: 221–226
60. Poole GV, Morgan DB, Cranston PE, Muakkassa FF, Grisworld JA (1993) **Computed tomography in the management of blunt thoracic trauma.** *J Trauma* 35: 296–303
61. Rappaport SH, Shipner R, Yoshihara G, Wright J, Chang P, Abraham E (1994) **Randomized prospective trial of pressure-limited versus volume-controlled ventilation in severe respiratory failure.** *Crit Care Med* 22: 22–31
62. Regel G, Sturm JA, Friedl HP, Nerlich M, Bosch U, Tscherne H (1998) **Die Bedeutung der Lungenkontusion für die Letalität nach Polytrauma – Möglichkeiten der therapeutischen Beeinflussung.** *Chirurg* 59: 771–776
63. Richardson JD, Adams L, Flint LM (1982) **Selective management of flail chest and pulmonary contusion.** *Ann Surg* 196: 481–487
64. Richardson JD, Mavrourdis C (1991) **Management of thoracic injuries.** In: Richardson JD, Polk HJ, Flint LM (eds) *Trauma: clinical care and pathophysiology.* Year Book Medical Publishers, Chicago, pp 231–351
65. Richardson JD, Woods D, Johanson WG et al (1979) **Lung bacterial clearance following pulmonary contusion.** *Surg* 86: 730–735
66. Schild H, Strunk H, Stoerker S, Hein K, Weitz M, Doll G, Weber W, Lorenz J, Erdmann K, Halbsguth A (1986) **Computertomographie der Lungenkontusion.** *Fortschr Roentgenstr* 145: 519–526
67. Schlag G, Redl H, Buchinger W, Dinges HP (1992) **Pathophysiologie der Lungenkontusion.** *Hefte Unfallheilkd* 223: 13–19
68. Schmit-Neuerburg KP, Zerkowski HR, Hanke J (1986) **Stabilisierende Operationen am Thorax.** *Chirurg* 57: 1–14
69. Shorr RM, Crittenden M, Indeck M, Hartunian SL, Rodriguez A (1987) **Blunt thoracic trauma.** *Ann Surg* 206: 200–205
70. Smith SR, Fry WR, Tsoi EKM, Morabito DJ, Koehler RH, Reinganum SJ, Organ CH (1993) **Preliminary report on videothoracoscopy in the evaluation and treatment of thoracic injury.** *Am J Surg* 166: 690–695
71. Smith TR, Ramzy AI (1991) **Prehospital care of thoracic trauma.** In: Turney SZ, Rodriguez A, Cowley RA (eds) *Management of thoracic trauma.* Williams & Wilkins, Baltimore, pp 1–6
72. Stellin G (1991) **Survival in trauma victims with pulmonary contusion.** *Am Surg* 57: 780–784
73. Thiel M, Bardenheuer HJ (1994) **Medikamentöse Therapie der Sepsis – eine Indikation für Pentoxifyllin?** *Anaesthesist* 43: 249–256
74. Trupka A, Kierse R, Waydhas C, Nast-Kolb D, Blahs U, Schweiberer L (1996) **Schockraumdiagnostik beim Polytrauma: Wertigkeit der Thorax CT.** *Unfallchirurg* 100: 469–476
75. Trupka A, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schweiberer L (1996) **Die Problematik primär nicht diagnostizierter Verletzungen nach stumpfem Abdominaltrauma.** *Acta Chir Aust* 28: 37–42
76. Trupka A, Strohmaier W, Thurnher M, Khakpour S, Schweiberer L, Redl G, Schlag G (1997) **Bronchoalveolar lavage with low dose surfactant in a new porcine model of severe pulmonary contusion.** *Shock* 63 [Suppl]: 8
77. Trupka A, Waydhas C, Nast-Kolb D, Pfeifer KJ, Schweiberer L (1997) **The value of thoracic computed tomography in the first assessment of severely injured patients with blunt chest trauma: results of a prospective study.** *J Trauma* 43: 404–412
78. Trupka A, Waydhas C, Nast-Kolb D, Schweiberer L (1994) **Early intubation in severely injured patients.** *Eur J Emerg Med* 1: 1–8
79. Trupka A, Waydhas C, Nast-Kolb D, Schweiberer L (1995) **Der Einfluß der Frühintubation auf die Reduktion des posttraumatischen Organversagens.** *Unfallchirurg* 98: 111–117
80. Voggenreiter G, Neudeck F, Auf'm Kolk M, Oberlacke U, Schmit-Neuerburg KP (1996) **Outcome of operative chest wall stabilization in flail chest with or without pulmonary contusion.** *Unfallchirurg* 99: 425–434
81. Voggenreiter G, Neudeck F, Oberlacke U, Schmit-Neuerburg KP (1995) **Die dorsoventrale Wechsellagerung in der Therapie der schweren posttraumatischen Lungenfunktionsstörung.** *Unfallchirurg* 98: 72–78
82. Waydhas C, Nast-Kolb D, Kick M, Zettl R, Wiesholler J, Trupka A, Schweiberer L, Jochum M (1996) **Posttraumatic inflammatory response, secondary operations and multiple organ failure.** *J Trauma* 40: 624–631
83. Waydhas C, Nast-Kolb D, Trupka A, Jochum M, Schweiberer L (1990) **Die Bedeutung des traumatisch-hämorrhagischen Schocks und der Thoraxverletzung für die Prognose nach Polytrauma.** *Hefte Unfallheilkd* 212: 104–105
84. Wisner DH (1990) **A stepwise logistic regression analysis of factors affecting morbidity and mortality after thoracic trauma: effect of epidural analgesia.** *J Trauma* 30: 799–804