

Oper Orthop Traumatol 2021 · 33:262–284
<https://doi.org/10.1007/s00064-020-00688-2>
Eingegangen: 8. Mai 2019
Überarbeitet: 8. März 2020
Angenommen: 29. März 2020
Online publiziert: 8. Dezember 2020
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
Springer Nature 2020

Redaktion

M. Blauth, Zuchwil

Zeichner

R. Himmelhan, Mannheim



Christopher Spering¹ · Alexander von Hammerstein-Equord² ·
Wolfgang Lehmann¹ · Klaus Dresing¹

¹ Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen, Deutschland

² Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen, Deutschland

Osteosyntheseverfahren bei Thoraxwandinstabilität

Vorbemerkungen

Abhängig vom Unfallmechanismus und der auf den Brustkorb einwirkenden Energie können beim stumpfen Thoraxtrauma Rippenserien- und Sternumfrakturen bis hin zum instabilen Thorax auftreten. Die meisten Verletzungen heilen konservativ aus. Während mehr als die Hälfte der über den Schockraum aufgenommenen Hochenergietraumata (53 %, Jahresbericht TraumaRegister DGU® 2016–2018) eine relevante Thoraxverletzung (AIS [Abbreviated Injury Scale] ≥ 3) aufwies, wurden nur die wenigsten operativ stabilisiert. Die Indikation zur operativen Behandlung der Thoraxwandinstabilität wird kontrovers diskutiert. Dennoch haben die Rippen- und Sternumosteosynthesen in der vergangenen Dekade deutlich zugenommen [9].

De Jong et al. (2014) zeigen in ihrem systematischen Review, dass vermeintlich mehr Patienten von einer Stabilisierung von Rippenfrakturen profitieren würden, als aktuell operiert werden [6]. Insbesondere die frühe operative Stabilisierung eines radiologisch (mehr als 3 Rippen in Serie an mindestens 2 Stellen des Brustkorbs disloziert frakturiert) oder klinisch (inverses Atemmuster) instabilen Thorax innerhalb von 24 h scheint nach Ergebnissen von Pieracci et al. (2018) für die Patienten von Vorteil zu sein. In ihrer prospektiven Multicenterstudie an operativ stabilisierten Patienten mit Rippenfrakturen stiegen

mit jedem Tag, an dem ein instabiler Thorax nicht operativ stabilisiert wurde, die Gefahr einer Pneumonie um 31 %, die Rate der Langzeitbeatmung um 27 % und die Wahrscheinlichkeit einer Tracheotomie um 26 % [20].

Auch Kyriss et al. (2016) kommen in ihrem Review zu dem Schluss, dass die frühe operative Stabilisierung des instabilen Thorax Vorteile zu haben scheint, insbesondere in Bezug auf Sekundärkomplikationen und Rückbildung von restriktiven Ventilationsstörungen. Die operierten Patienten erreichten schneller Schmerzfreiheit und wurden früher wieder arbeitsfähig als die nichtoperativ Versorgten [12]. Sie beschrieben auch, dass die operative Stabilisierung keine mittelfristigen funktionellen Einschränkungen der Biomechanik hervorzurufen scheint [12].

Beks et al. (2019) zeigten dagegen in ihrer retrospektiven Multicenterauswertung, dass eine generelle Operationsindikation für Patienten mit ≥ 3 Rippenfrakturen keinen Vorteil bringt [1]. Kritisch zu hinterfragen sind hier die Indikation und der klinische Algorithmus zur Einleitung einer operativen Therapie.

Aus unserer Sicht sind die richtige und sorgfältige Indikationsstellung sowie der Zeitpunkt der operativen Stabilisierung für das Ergebnis der Patienten entscheidend. Die aktuelle Literatur zeigt, dass Patienten dann profitieren, wenn sie unter einem radiologisch und/oder klinisch instabilen Thorax leiden und innerhalb der ersten 24–48 h operiert werden.

Aber auch bei zunächst konservativ behandelten Patienten kann ein Verfahrenswechsel bei Versagen der bisherigen Maßnahmen sinnvoll sein. Um die Letalität und Morbidität signifikant positiv zu beeinflussen, sollte die Entscheidung jedoch innerhalb der ersten 48 h getroffen werden [4, 13, 15, 17, 25].

Können Patienten nach längerer konservativer Therapie nicht vom Respirator entwöhnt werden und können dafür auch biomechanische Gründe verantwortlich gemacht werden, sollte die operative Versorgung auch zu dem späteren Zeitpunkt immer noch erwogen werden.

Die oben genannte Datenlage sowie weitere, zumeist jedoch aus retrospektiven Studien erhobene Ergebnisse unterstützen den Trend weiter [5, 14, 23] und führten zur Veröffentlichung von Konsensusstatements für Thoraxosteosynthesen [10, 21]. Es soll jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass konservative Therapiekonzepte mit komplexem Schmerzmanagement wie periduralanästhesiologischen Verfahren und selektiven Interkostalnervenblockaden, Bronchiallavage, Tracheotomie und mechanischer druckkontrollierter Beatmung mit erhöhtem PEEP (positiver endexpiratorischer Druck) ihren Stellenwert nicht verloren haben. Der weitaus größte Anteil von Thoraxwandverletzungen wird nach wie vor trotz der bekannten Risiken wie verlängerter Aufenthalt auf der Intensivstation, Langzeitbeatmung und pulmonale Kom-

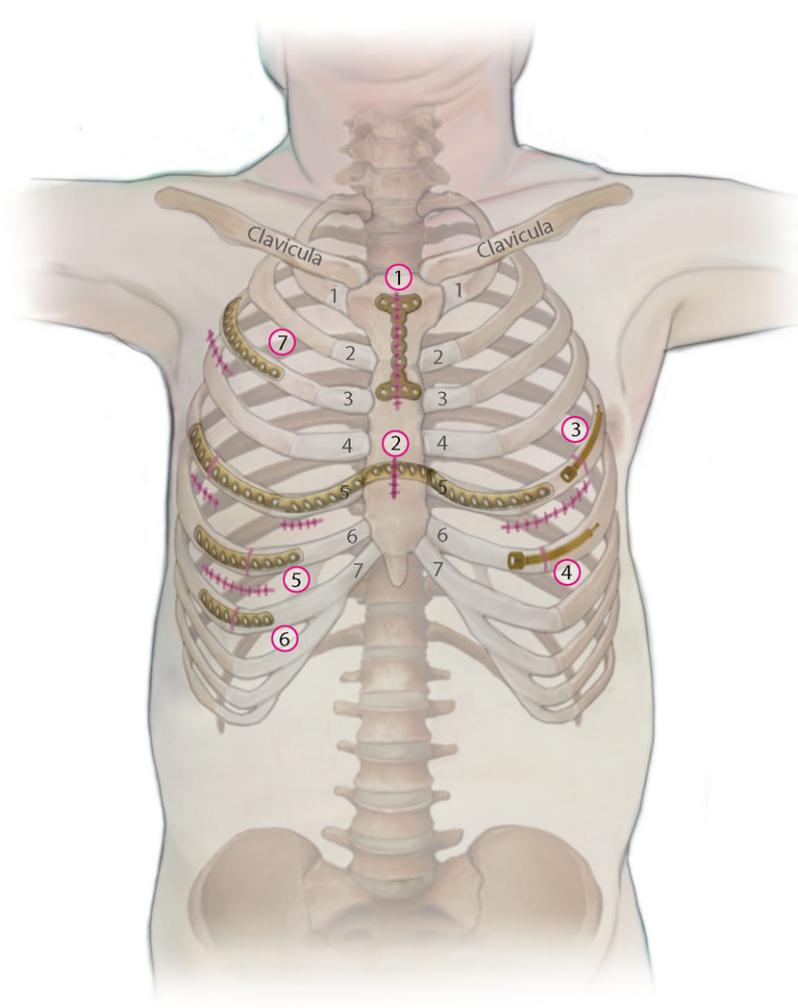


Abb. 1 ▲ Detaillierte Planungsskizze mit Darstellung der Frakturverläufe, geplantem osteosynthetischem Verfahren, Schnittführung und Ablauf der Operationsschritte (Nr. 1–7): 1 offene Reposition und Osteosynthese des Sternums, 2 Schnittführung über dem Sternum in Höhe und entlang der 5. Rippe zur Positionierung und Fixierung der sternumübergreifenden Platte, 3 zusätzliches Einbringen eines Splints aufgrund der weiter lateral gelegenen Stückfraktur, 4 zusätzlicher Splint in der 6. Rippe links, 5 Osteosynthese der 6. und 6 optional der 7. Rippe rechts, 7 optional – je nach Instabilität – Osteosynthese der 3. Rippe rechts

pplikationen wie Pneumonie, Sepsis und Barotrauma konservativ behandelt [24]. Nur bei instabilem Thorax, oft in Kombination mit weiteren Verletzungen, lässt sich regelmäßig eine Reduktion von Pneumonierate, Beatmungszeit und Intensivaufenthaltsdauer bei frühzeitiger Stabilisierung nachweisen [12, 16, 20, 24]. Eine zusätzliche Sternumfraktur gilt dabei als wesentlicher Faktor für inverse Atmung und biomechanische Thoraxwandinstabilität und sollte deshalb fallweise ebenfalls stabilisiert werden.

In den vergangenen 10 Jahren hat sich die Technik der operativen Stabilisierung von Frakturen des knöchernen Thorax gewandelt [9]. Spezifische Osteosynthesysteme mit winkelstabilen, anatomisch geformten Rekonstruktionsplatten, die mit intramedullären Splints kombinierbar sind (Matrix-RIB®, DePuy Synthes (Raynham, MA, U.S.A.)), Platten, die mit Klammern an den Rippen befestigt werden (STRATOS®, MedExpert (München, Deutschland)), U-Profile mit Befestigungsschrauben (RibLoc®, Acute Innovations (Hillsboro, OR, U.S.A.)) sowie biodegradable Polymerplatten (OTPS®,

Inion (Tampere, Finland)) haben diesen Trend begleitet [2, 3, 6–8]. Moderne Osteosynthesysteme ermöglichen die Kombination aus einer sicheren und oft winkelstabilen Osteosynthese mit reduzierter chirurgischer Morbidität [6, 8, 12, 17]. Im Folgenden soll diese Operationstechnik sowohl an den Rippen als auch am Sternum vorgestellt werden.

Operationsprinzip und -ziel

Wiederherstellung der Thoraxkontur und Atemmechanik durch minimalinvasive, winkelstabile Plattenosteosynthesen der Rippen und des Sternums und/oder intramedulläre Schienung der Rippen. Meist reicht die Fixierung von 2 Rippen kranial und kaudal des instabilsten Punktes oder von 2 bis 4 Rippen im instabilen Zentrum einer Rippenserienfraktur im Bereich der 3. bis 10. Rippe aus [22].

Vorteile

- Einfache Operationstechnik
- Unmittelbare Optimierung der Atemmechanik
- Reduktion der Sekundärkomplikationen durch zu flache Atmung beim instabilen Thorax
- Signifikante Reduktion der Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation und der Beatmungsdauer bei frühzeitiger Osteosynthese [11, 12, 20]
- Minimalinvasive Operationstechnik möglich
- MRT(Magnetresonanztomographie)-fähige Implantate mit relativ geringen Artefakten verfügbar

Nachteile

- Operativer Eingriff in anatomischer Nähe zu lebenswichtigen Organen mit Komplikationspotenzial
- Iatrogen hervorgerufener Pneumothorax
- Infektionsgefahr des Operationsgebiets
- Gegebenenfalls erneute Operation bei Dislokation oder Lockerung des Osteosynthesematerials notwendig

C. Spering · A. von Hammerstein-Equord · W. Lehmann · K. Dresing

Osteosyntheseverfahren bei Thoraxwandinstabilität

Zusammenfassung

Operationsziel. Wiederherstellung einer normalen Atemmechanik und Vermeidung beatmungsassoziierter Komplikationen durch operative Stabilisierung eines instabilen Thorax bei dislozierten Rippenserien- und Sternumfrakturen, posttraumatischer Thoraxwanddeformierung, Weaning-Versagen und symptomatischen Rippenpseudarthrosen.

Indikationen. Kombination mehrerer klinischer und radiologischer Parameter wie das Ausmaß der Rippenserien- und Sternumfrakturen, der Grad der Dislokation, pathophysiologische Veränderungen der Atemmechanik, Versagen eines konservativen Therapieansatzes.

Kontraindikationen. Akute hämodynamische Instabilität und Zeichen einer systemischen Infektion.

Operationstechnik. Detaillierte präoperative Planung. Offene, möglichst minimalinvasive

Reposition und winkelstabile Osteosynthese mit anatomisch vorgeformten Low-profile-Platten und/oder intramedullären Splints. Vorsichtige Repositionsmanöver und Einbringen der Implantate aufgrund enger Lagebeziehung zu Pleuraspalt, Lunge und Perikard.

Weiterbehandlung. Möglichst frühzeitiges postoperatives Entwöhnen vom Respirator sowie frühzeitige Therapie eines perioperativen Pneumothorax. Eine Implantatentfernung ist in der Regel nicht notwendig.

Ergebnisse. In einer retrospektiven Untersuchung profitierten 15 Polytraumapatienten mit instabilem Thorax von der frühen operativen Stabilisierung des Thorax innerhalb von 24–48 h und einer differenzierten, interdisziplinären Behandlungsstrategie. Beatmungsdauer und Pneumonierate waren in der Subgruppe der frühzeitig

operierten signifikant niedriger als in der Gruppe der später operativ an der Thoraxwand stabilisierten Patienten. In den Subgruppen der lebensgefährlich Verletzten mit Thoraxtrauma (LVK-Thx und LOTX [LVK-Thx mit Osteosynthese am Thorax]) konnten eine längere Beatmungszeit, Intensivtherapie, Krankenhausverweildauer sowie eine erhöhte beatmungsassozierte Komplikationsrate als in der Subgruppe der Schwerverletzten ohne Thoraxtrauma (AIS [Abbreviated Injury Scale] ≥ 3) gezeigt werden.

Schlüsselwörter

Instabiler Thorax · Rippenserienfraktur · Sternumfraktur · Pseudarthrose der Rippen · Atemmechanik

Osteosynthesis of the unstable thoracic wall

Abstract

Objective. Surgical stabilization of patients with flail chest, dislocated serial rib and sternal fractures, posttraumatic deformities of the thorax, symptomatic non-unions of the ribs and/or sternum, and weaning failure to biomechanically stabilize the thorax and avoid respirator-dependent complications.

Indications. Combination of clinically and radiologically observed parameters, such as pattern of thoracic injuries, grade of fracture dislocation, pathological changes to breathing biomechanics, and failure of nonsurgical treatment.

Contraindications. Acute hemodynamical instability and signs of systemic infection.

Surgical technique. Detailed preoperative planning. Open, minimally invasive reduction and osteosynthesis using precontoured, low-

profile locking plates and/or intramedullary splints. Careful reduction drilling/implantation of screws due to proximity of the pleura, lungs and pericardium.

Postoperative management. Weaning from respirator as early as possible and early therapy of pneumothorax perioperatively. Removal of implants usually not necessary.

Results. In a retrospective study, 15 polytraumatized patients with flail chest benefitted from an early interdisciplinary surgical treatment strategy within 24–48 h. Early osteosynthesis after severe thoracic trauma significantly reduced ventilator dependency and lowered the risk of pneumonia compared to patients who underwent surgery at a later time point. Patients with severe thoracic injury and life-threatening polytrauma, who meet

the indication criteria for open reduction and surgical stabilization of the thorax, are in need of a thoroughly planned and interdisciplinary synchronized prioritization and strategy. Longer intensive care unit stay, overall prolonged duration of admission in hospital, and higher level of respirator-associated complication should be expected in patients with life-threatening severe thoracic trauma (Abbreviated Injury Score (AIS) ≥ 3) compared to patients without thoracic trauma.

Keywords

Flail chest · Serial rib fracture · Sternal fracture · Non-union of rib fractures · Breathing biomechanics

Indikationen

Mindestens 2 der folgenden Kriterien sollten für eine Operationsindikation innerhalb der ersten 2 Tage post trauma vorliegen:

- radiologisch (Rippenserienfraktur mit >3 Rippen an mindestens 2 Stellen des Thorax und/oder Sternumfrak-

- *tur* oder *klinisch instabiler Thorax* (inverse Atmung, Einziehungen),
- *mindestens 3 Rippen bikortikal frakturisiert und um mehr als Schaftbreite disloziert,*
- *Penetration mindestens einer Rippe in Lunge, Zwerchfell oder Leber (CT[Computertomographie]-morphologisch zu sichern),*

- *mehr als 30 % Volumenverlust eines Hemithorax,*
- *Versagen der konservativen Therapie auf Intensivstation bzw. Intermediate-Care-Station (für 4–6 h mindestens 2 der folgenden Faktoren vorhanden):*
 - Schmerz auf der VAS (visuelle Analogskala) > 5 trotz differenzierter Analgesie,

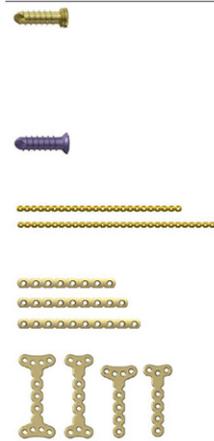
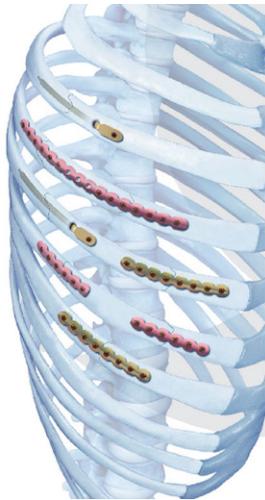


Abb. 2 ▲ Osteosynthesematerial. (Mit freundl. Genehmigung © DePuy Synthes CMF, eine Abteilung der Synthes GmbH, Oberdorf. 2016. Alle Rechte vorbehalten)



Abb. 3 ◀ Seitenlagerung bei lateraler Thorakotomie. Lagerung auf einem pneumatischen Kissens (orange im Bild), wodurch die Rippenfrakturen bereits bei der Lagerung distrahiert und zum Teil reponiert werden können. Zusätzlich reduziert diese Lagerung den Druck auf die unten liegende Schulter

- zu flacher Husten, mangelnde Sekretmobilisation,
- Atemfrequenz >20/min,
- <50 % kalkuliertes Atemvolumen im spirometrischen Atemtrainer.

Indikationen für einen verzögerten Eingriff sind:

- symptomatische Pseudarthrose von Rippen- und/oder Sternumfrakturen,
- Weaning-Versagen bei Rippenserien- und/oder Sternumfrakturen.

Kontraindikationen

- Hämodynamische Instabilität
- T-Plattenosteosynthese des Sternums bei kardial vorbelasteten Patienten, die potenziell für eine Sternotomie infrage kommen. Alternativ sollte bei

diesen Patienten eine Doppelplattenosteosynthese angewandt werden

- Sepsis oder Infektion mit stark erhöhten Infektparametern

Patientenaufklärung

- Allgemeine Operationsrisiken
- Perioperativer Pneumo-/Hämatothorax mit Drainagenimplantation
- Implantatlockerung und -dislokation
- Perimplantäre Frakturen
- Multiple Inzisionen an der ventralen und/oder lateralen Thoraxwand
- Lagerungsbedingte Nervenläsionen insbesondere bei Seitenlagerung
- Mögliche Indikation zur Thorakotomie mit entsprechenden Risiken

- Verletzung von Pleura, Lunge, Zwerchfell, Peri- oder Myokard durch Bohrer oder Schraubenüberstand
- Reduktion der Mobilität des knöchernen Thorax insbesondere bei sternumübergreifenden Osteosyntheseverfahren
- Verletzungsgefahr von Organen (Lunge, Leber, Milz) und Blutungen bei operativ zu versorgenden penetrierenden Rippenfrakturen

Operationsvorbereitungen

- Konventionelles Röntgenbild des Thorax zur Übersicht und intraoperativen Vergleichsmöglichkeit
- CT des knöchernen Thorax zur Abklärung thorakaler/abdomineller Penetration von Rippenanteilen
- 3-D-Rekonstruktion des knöchernen Thorax
- Detaillierte Skizze mit Festlegung der zu versorgenden Rippen, Darstellung der Osteosyntheseverfahren von Rippen und Sternum, der Hautinzisionen und entsprechender anatomischer Landmarken (▣ Abb. 1)
- Gegebenenfalls Rücksprache mit Thorax- und Kardiochirurgen wegen des Risikos einer anstehenden oder zukünftigen Sternotomie
- Gegebenenfalls gemeinsame Planung und Operation mit Thoraxchirurgen bei Lungenverletzungen und Viszeralchirurgen bei Leber- und Zwerchfellpenetration durch Rippen
- Spezielle Lagerungen oder intraoperative Umlagerungen planen, vorbereiten und kommunizieren
- Absprache mit Anästhesisten bei Thorakotomie, da ggf. Intubation mit Doppellumentubus
- Möglichst Lagerung auf Karbontisch
- Leitlinienkonforme perioperative Antibiotikaprophylaxe
- Detailliertes Team-Time-out vor der Inzision
- Markierung der Frakturlokalisationen und Inzisionen nach dem sterilen Abwaschen anhand von anatomischen Landmarken oder Durchleuchtung

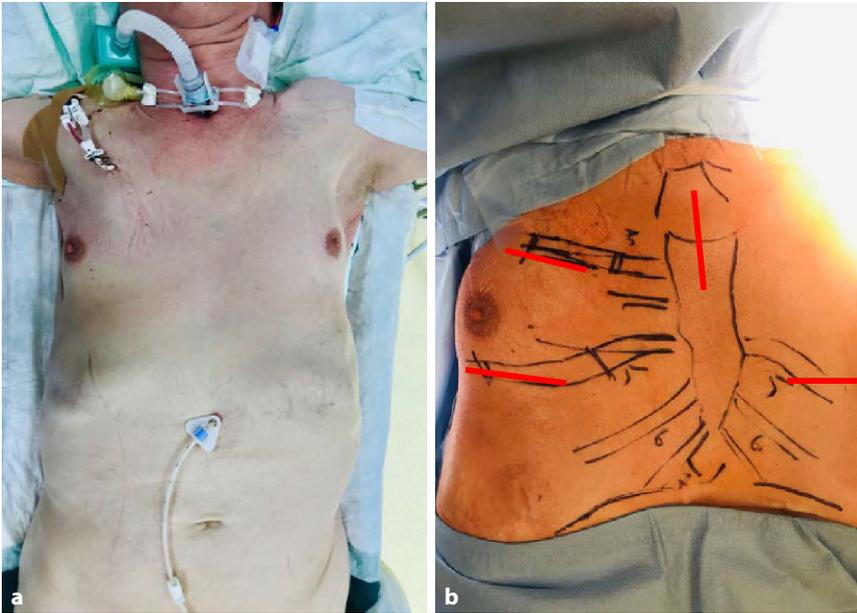


Abb. 4 ▲ **a** Rückenlagerung eines Patienten mit Trachealkanüle, Demers-Katheter und PEG(perkutane endoskopische Gastrostomie)-Sonde vor und nach dem sterilen Abwaschen und Abdecken. **b** Einzeichnung der Pathologien und Operationszugänge (rot hervorgehoben) entsprechend den besonderen Gegebenheiten

Instrumentarium

- Es stehen verschiedene Systeme zur osteosynthetischen Stabilisierung zur Verfügung. Aktuell durchgesetzt haben sich niedrig profilierte Platten mit winkelstabilen Schraubenlöchern (▣ **Abb. 2**) oder alternativ Klammer-systeme, die die Rippen umgreifen.
- Anatomisch vorgeformte Implantate ermöglichen, die zu den jeweiligen Rippen passende Plattenform anzuwenden.
- Eine Erweiterung des Platten-Schrauben-Systems durch intramedulläre Kraftträger (z. B. Splints) ermöglichen minimalinvasive Operationstechniken und Sicherung der Reposition auch in weiter lateral gelegenen Frakturzonen ohne zusätzliche Hautinzisionen.
- Die Reposition selbst kann durch spezielle Repositionszangen erfolgen, die nur flach unter die Rippe fassen, um einen Pneumothorax zu vermeiden. Auch Plattenhalte-zangen stehen in diesem Design zur Verfügung.

Anästhesie und Lagerung

- Allgemeinanästhesie mit engmaschiger intraoperativer Absprache bezüglich Beatmungsdrücke und -volumina, Hämodynamik etc.
- Gegebenenfalls Intubation mit Doppellumentubus bei geplanter Thorakotomie
- Hämodynamisches Monitoring
- Bereithaltung von Erythrozytenkonzentrat
- Meistens Rückenlagerung möglich
- Die Seitenlage ist bei lateral oder dorsolateral gelegenen Frakturen günstig (▣ **Abb. 3**), sollte aber detailliert vorbereitet und überwacht werden, insbesondere bei akuten und hämodynamisch instabilen Patienten
- Gegebenenfalls intraoperative Umlagerung notwendig
- Großflächig steril abwaschen. Vorsicht bei einliegenden Kathetern, Tracheotomie und PEG(perkutane endoskopische Gastrostomie)-Sonden (▣ **Abb. 4**)

Operationstechnik

■ Abb. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

Plattenosteosynthese einer Sternumfraktur

■ Abb. 5, 6, 7

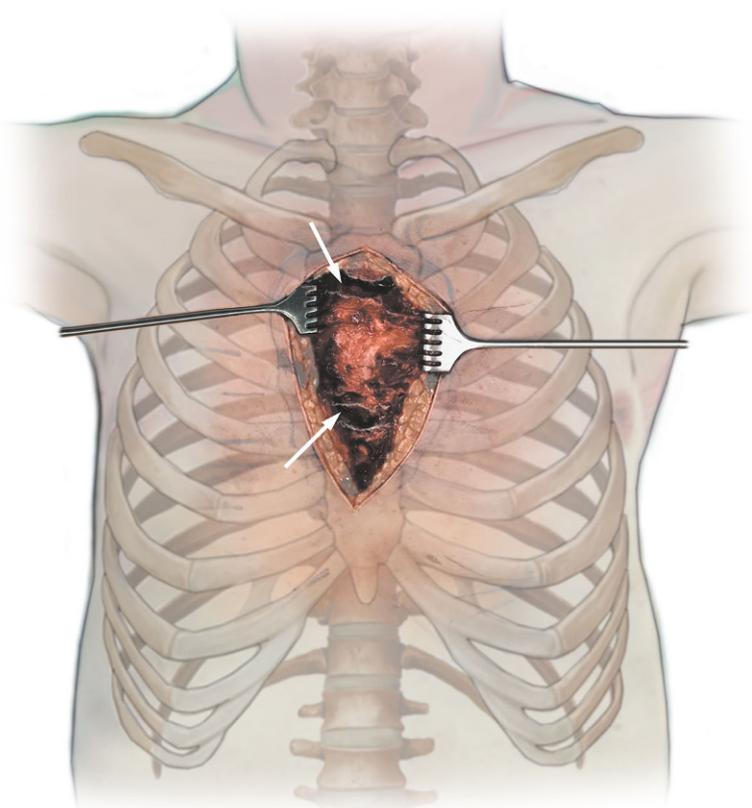


Abb. 5 ▲ Anatomische Orientierung und Höhenlokalisierung unter Zuhilfenahme eines Bildwandlers. Anschließend werden die gebrochenen Rippen auf der Haut angezeichnet (■ **Abb. 4b**). Hautinzision median über dem Sternum in ausreichender Länge. Präparation bis zum Periost und Débridement der Frakturspalten (*weiße Pfeile*).

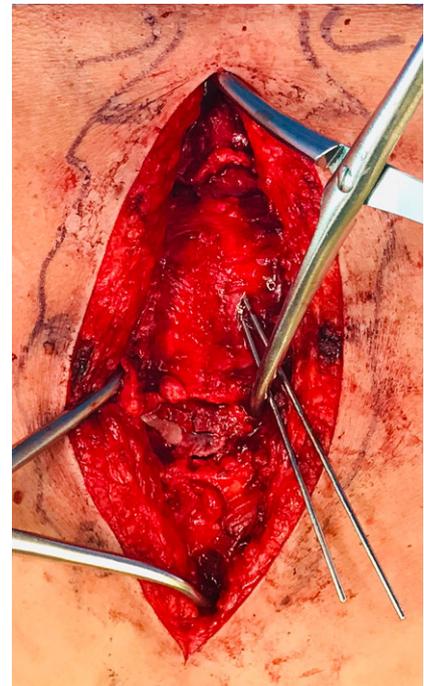


Abb. 6 ▲ Aufgrund der hohen Instabilität und des verzögerten Operationszeitpunkts müssen die Frakturen gründlich, aber vorsichtig debridiert werden. Es erfolgt dann in der Fraktur die Dickenbestimmung des Sternums zur Auswahl der späteren Bohrerlänge. Anschließend Reposition mit spitzer Repositionszange. Hierbei kann man die spitzen Repositionszangen verwenden, sollte diese jedoch vorsichtig und eher seitlich am Sternum positionieren. Um die folgende Implantatlage nicht zu stören, können temporär K-Drähte eingebracht werden. Hierbei ist unbedingt darauf zu achten, dass die K-Drähte die dorsale Kortikalis des Sternums nicht penetrieren. Diese müssen also möglichst flach eingebracht werden

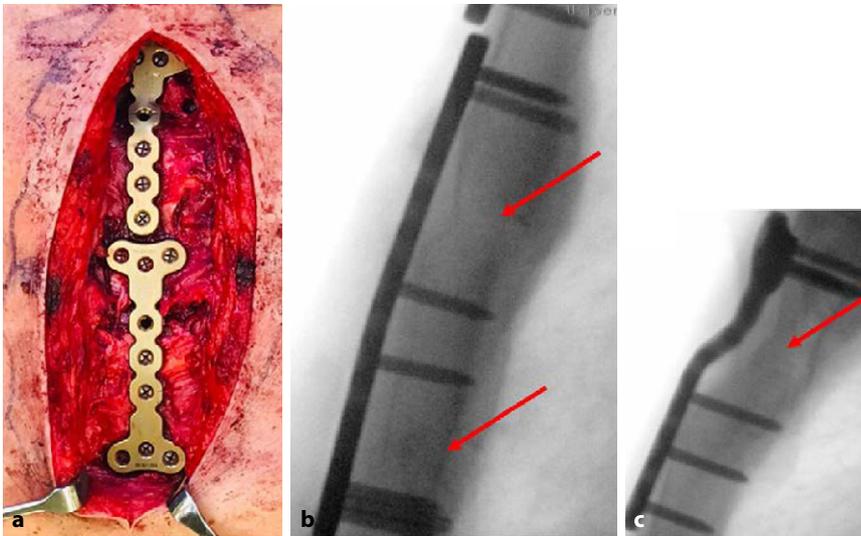


Abb. 7 ▲ Aufgrund der Kontur des Manubrium sterni muss die T-Platte im proximalen Anteil anmodelliert werden. Positionierung der Platte median auf dem Sternum und vorsichtige Fixierung mit Plattenhaltezange. Falls die Platte nicht durch eine Plattenhaltezange an den Knochen gedrückt werden kann, stehen auch nicht-winkelstabile Schrauben mit 10–12 mm Länge zur Verfügung. Entsprechend der zuvor gemessenen Dicke des Sternums wird der längenbegrenzte Bohrer eingestellt. Bikortikale Bohrung mit winkelstabiler Bohrhülse und den 2,2 mm längenbegrenzten Bohrern. Es empfiehlt sich, oszillierend zu bohren, um das Weichteilgewebe nicht aufzufädeln. Nochmalige Längenbestimmung und Eindrehen der winkelstabilen Schrauben. Gegebenenfalls Implantation einer zweiten Platte wie bei diesem Patienten, um eine Stückfraktur entsprechend zu überbrücken. Es sollten mindestens 3 Schrauben in jedem Fragment bikortikal verankert werden. Doppel-T-Platten bieten eine gute Möglichkeit, auch auf kleinem Raum oder kürzeren Stückfragmenten mehrere winkelstabile Schrauben sicher unterzubringen. Anschließend ausgiebige Spülung und schichtweiser Wundverschluss mit Intrakutannaht. Redons müssen meist nicht eingelegt werden. **a** Intraoperativer Situs mit implantierten T-Platten; **b, c** intraoperative Röntgenbefunde mit den reponierten Frakturen (*rote Pfeile*)

Osteosynthese der Rippen

■ Abb. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

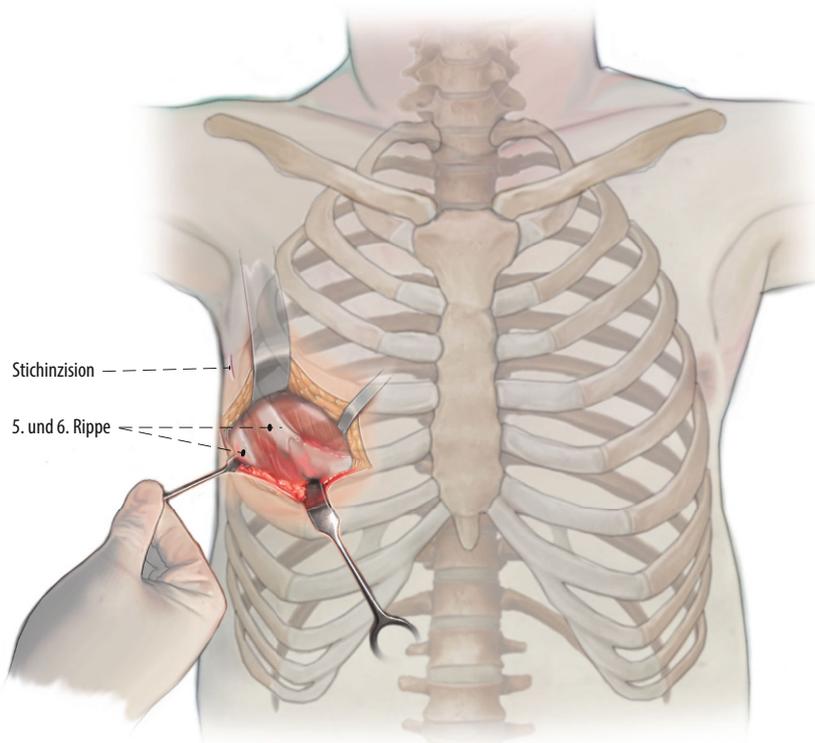


Abb. 8 ▲ Zur Versorgung der beiden Rippen (der 5. und 6. Rippe rechts) erfolgt die gezielte Hautinzision mittig zwischen den beiden Rippen, um möglichst wenig Gewebe zu verletzen. Die weiter lateral liegenden Schrauben werden mit Stichinzisionen minimalinvasiv eingebracht

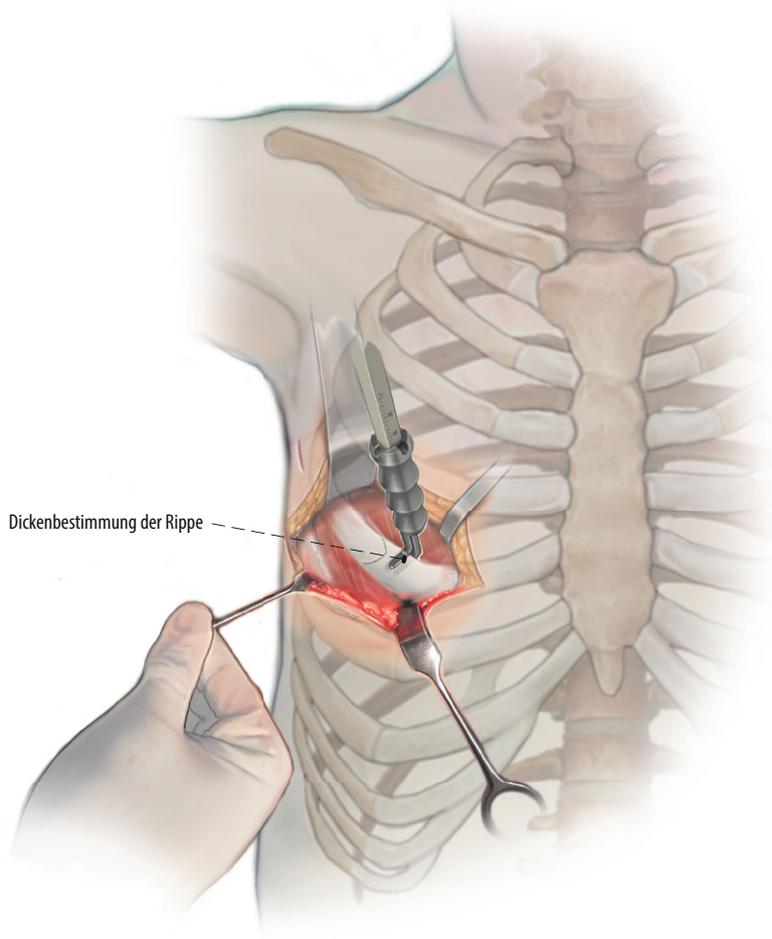


Abb. 9 ▲ Nach der Präparation der Frakturen und ihrer Reposition zunächst erneut Dickenbestimmung der Rippe, um den korrekten Bohrer zu verwenden. Die Reposition kann hier durch spitze Repositionszangen gehalten werden oder über die Platte und die Plattenhaltezange entsprechend gehalten werden

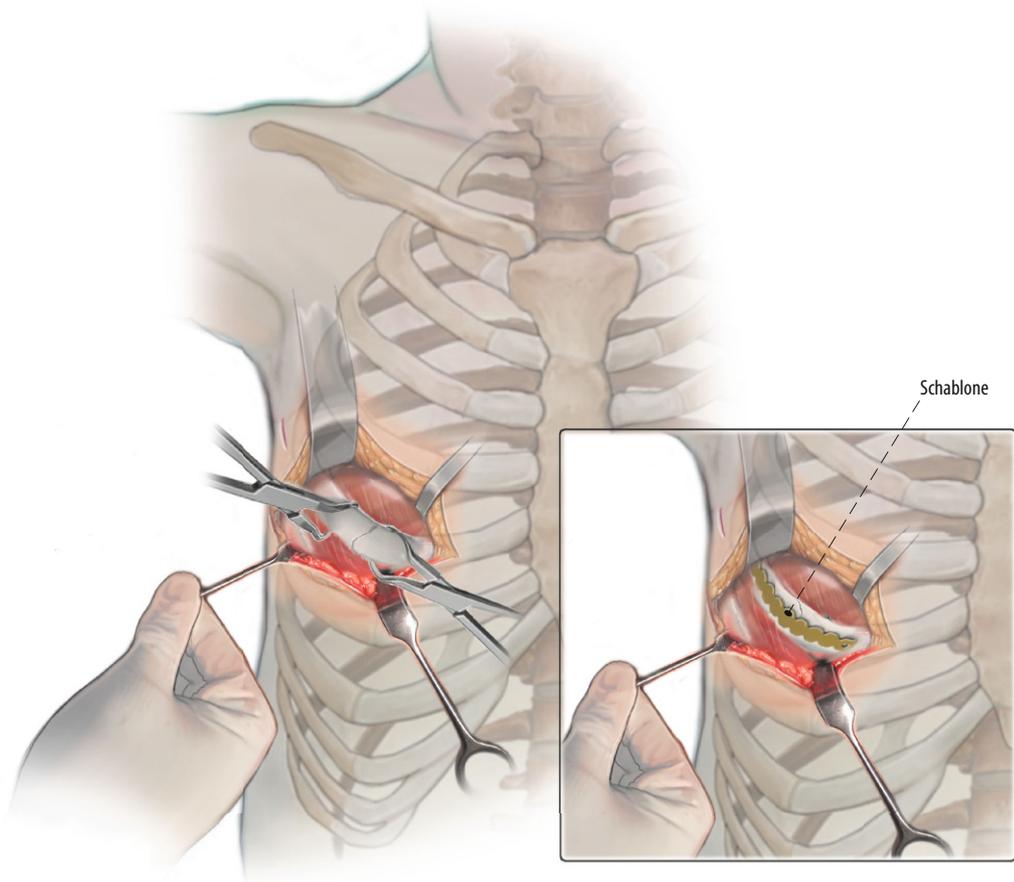


Abb. 10 ◀ Reposition der Rippe und Anmodellieren der Schablone, um die Plattenlänge zu bestimmen und die Platte entsprechend zu kürzen. Mindestens 3 Schrauben sollten medial und lateral der Fraktur bikortikal winkelstabil verankert werden können

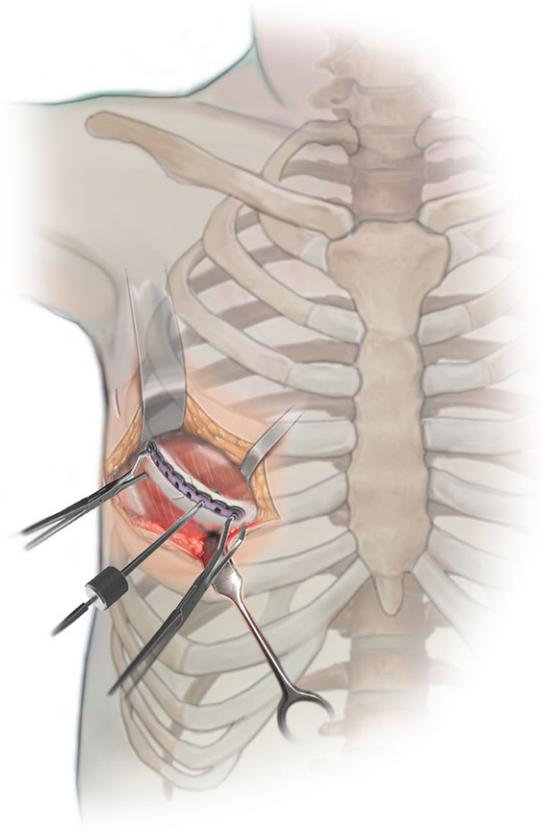


Abb. 11 ▲ Auswahl einer anatomisch vorgeformten Platte für die entsprechende Thoraxseite. Alternativ kann auch eine Universalplatte konturiert werden. Die Platte wird eher am Oberrand der Rippe positioniert und, wenn möglich, mit Plattenhaltezangen fixiert. Diese sollte möglichst subperiostal positioniert sein, um einen Pneumothorax zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, kann die Platte zunächst auf der einen Seite mit Schrauben fixiert werden. Anschließend erfolgen die Reposition der Fraktur über die Platte und das Besetzen der restlichen Plattenlöcher. Es ist jedoch zu empfehlen, eine Plattenhaltezange zu setzen, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die Platte aufgrund der winkelstabilen Schraubenkonfiguration absteht. Zum Bohren wird die winkelstabile Bohrhülse mit dem längenbegrenzten Bohrer entsprechend der zuvor bestimmten Rippendicke bikortikal verwendet

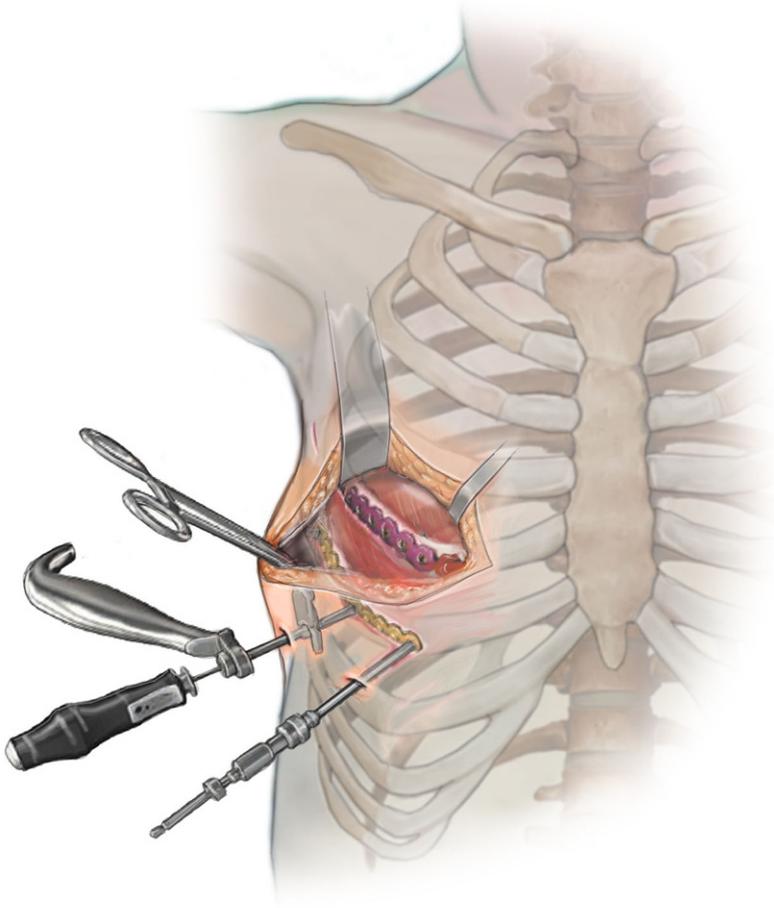


Abb. 12 ▲ Die lateralen Schrauben werden durch eine zusätzliche Hautinzision minimalinvasiv eingebracht



Abb. 13 ▲ Die Platten können durch das Einbringen von intramedullären Splints ergänzt und kombiniert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass so zwar eine weniger invasive Osteosynthese möglich ist, die Reposition der Fraktur jedoch ebenso erfolgen sollte wie bei der Plattenosteosynthese. Die Splints können zur Versorgung von Stückfrakturen einer Rippe mit Platten kombiniert oder zusätzlich für die Versorgung weiterer Rippen über eine bereits für die Platte getätigte Hautinzision eingebracht werden. Hierzu wird zunächst ein Bohrloch mit 5,5 mm Durchmesser medial der Fraktur mit einem speziellen Zielinstrumentarium gebohrt. Das Zielinstrument wird im medialen Fragment der Fraktur einhakt

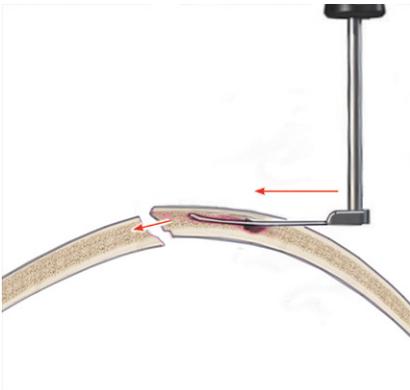


Abb. 14 ▲ Einbringen der Probesplints zur Eröffnung des Markraums medial und lateral der Fraktur. Es stehen 2 Größen zur Verfügung

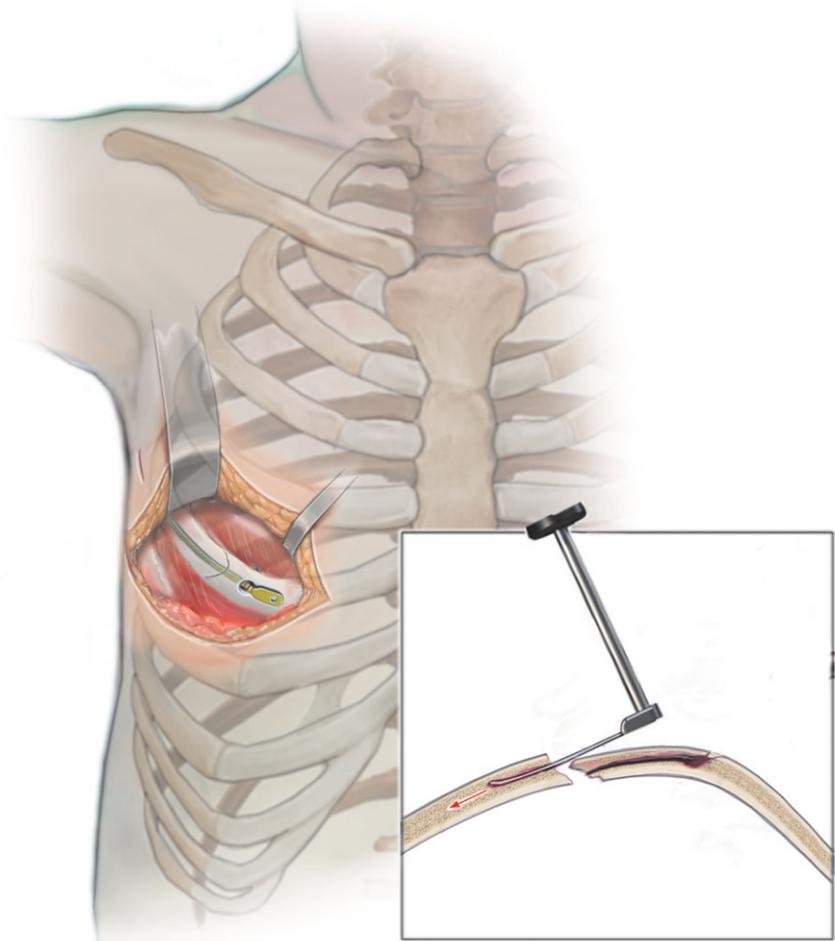


Abb. 15 ▲ Wahl einer der 3 Implantatgrößen und Einbringen des Splints ggf. durch leichte Hammerschläge

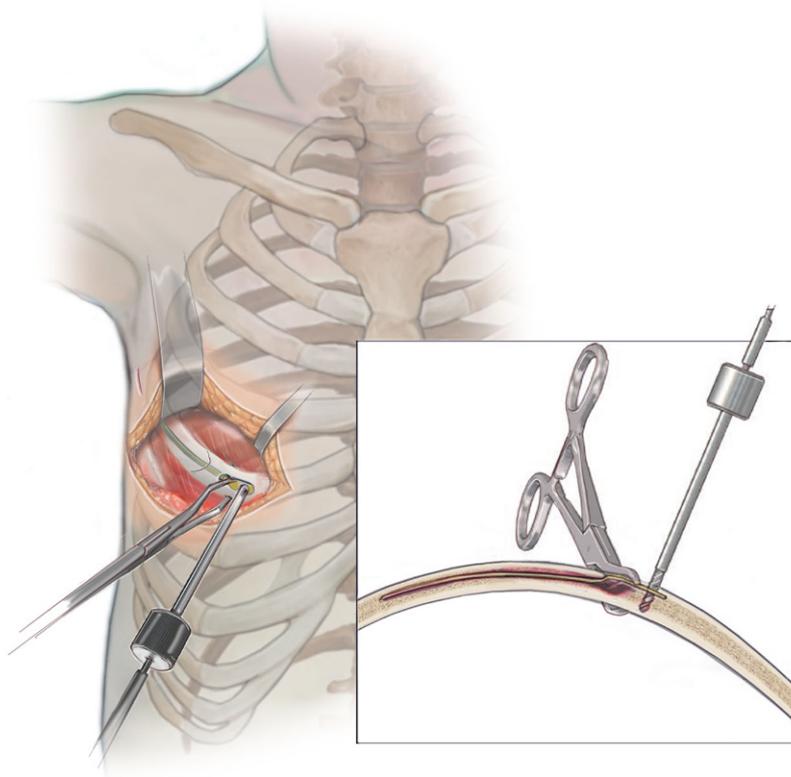


Abb. 16 ▲ Abschließend muss der außerhalb des Markraums verbleibende mediale Anteil an die Rippe gedrückt und mit einer winkelstabilen Schraube fixiert werden

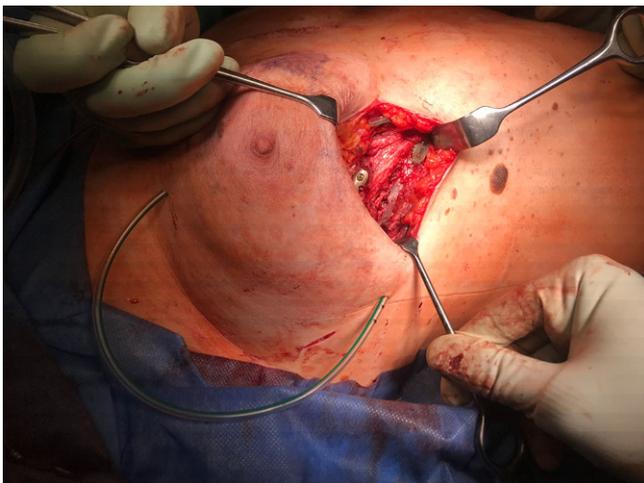


Abb. 17 ◀ Abschließende Lagekontrolle, ggf. Einbringen einer Redondrainage und schichtweiser Wundverschluss mit abschließender Intra-
kutannaht

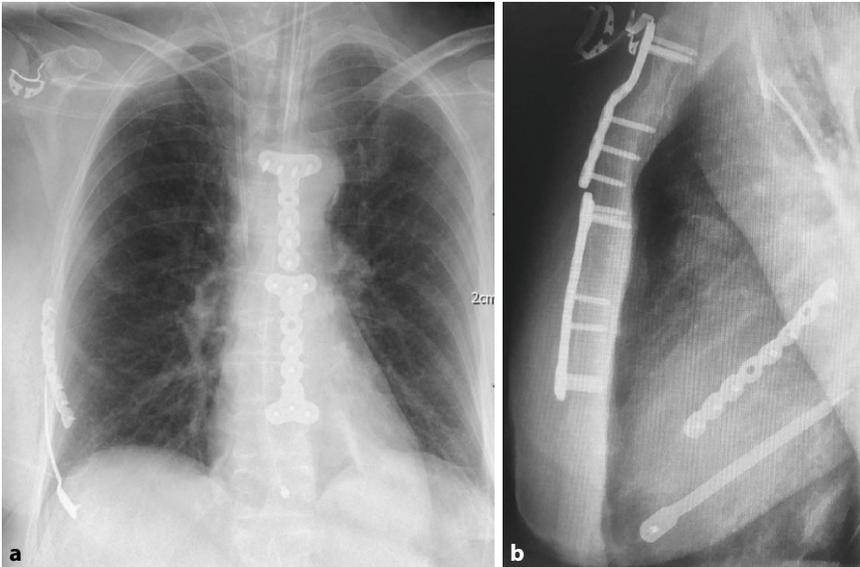


Abb. 18 ▲ Intra- (a) und postoperative (b) Röntgenkontrolle zur Lagekontrolle der Platten, Schrauben und sicheren intramedullären Lage des Splints

Besonderheiten

Thoraxwandinstabilität mit Organverletzung

■ Abb. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25

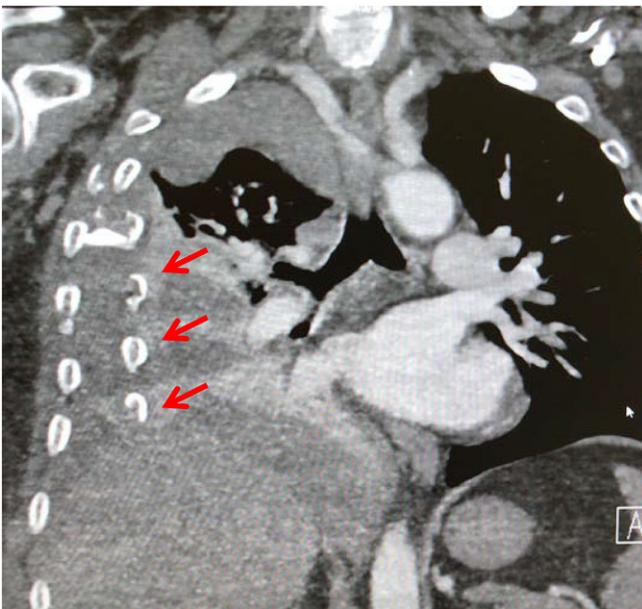


Abb. 19 ◀ Bei dislozierten, penetrierenden Rippenfrakturen mit Verletzungen von Lunge, Leber oder Zwerchfell sollten die Rippenfragmente über eine Thorakotomie geborgen und die intrathorakalen oder intraabdominellen Organverletzungen, wenn nötig, übernäht werden (die Pfeile zeigen dislozierten Rippen mit Penetration von Lunge und Zwerchfell)



Abb. 20 ▲ Darstellung der dislozierten Rippenfrakturen und Bergen der Rippen aus der penetrierten Lunge (weißer Pfeil), die übernäht wird

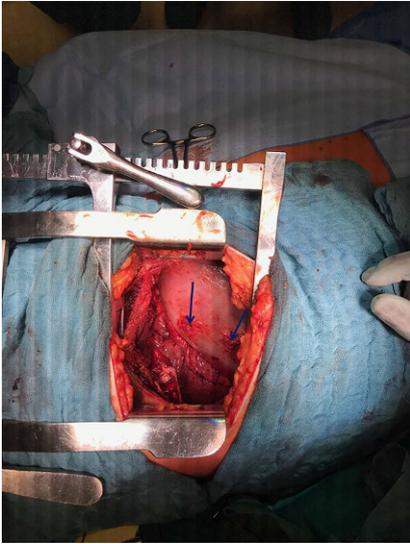


Abb. 21 ▲ Darstellung der Perforationen des Zwerchfells und der Leberverletzung (blaue Pfeile)

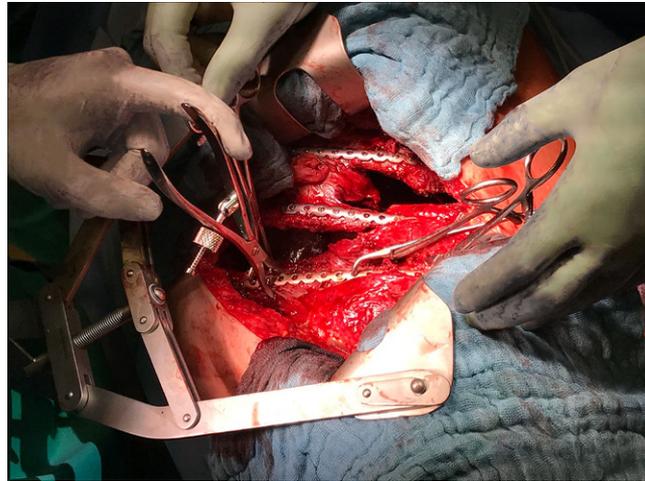


Abb. 22 ◀ Reposition und Plattenosteosynthese der Rippen

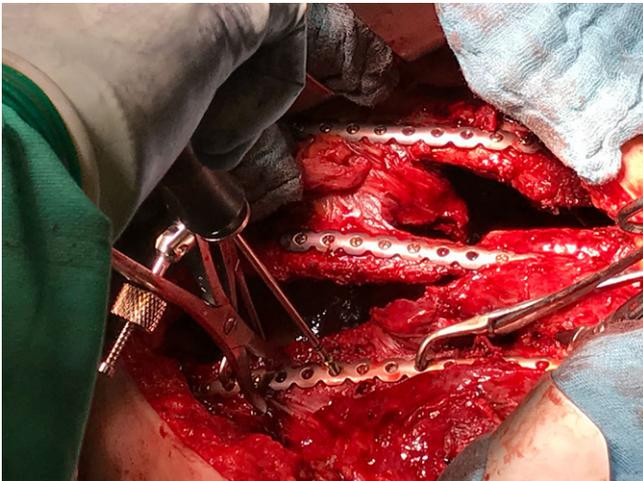


Abb. 23 ▲ Fixierung von Zwischenfragmenten bei Stückfrakturen der Rippen

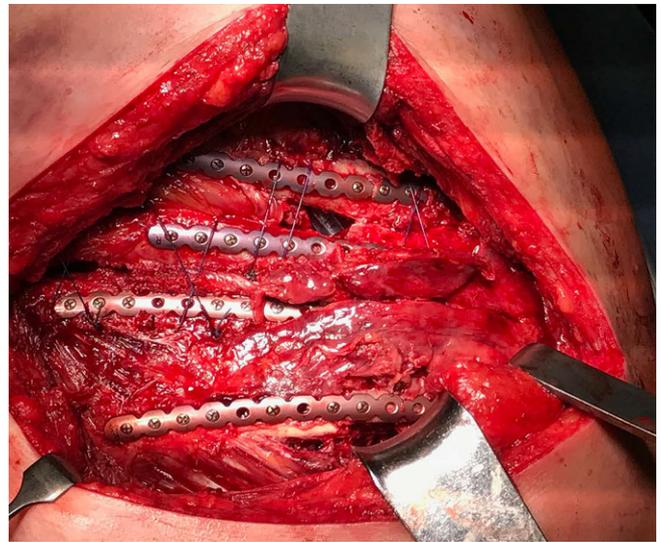


Abb. 24 ▲ Nach Einlage von 2 Pleuradrainagen Refixation der Rippen bei traumatisch bedingter vollständig rupturierter Interkostalmuskulatur mit resorbierbarem Nahtmaterial

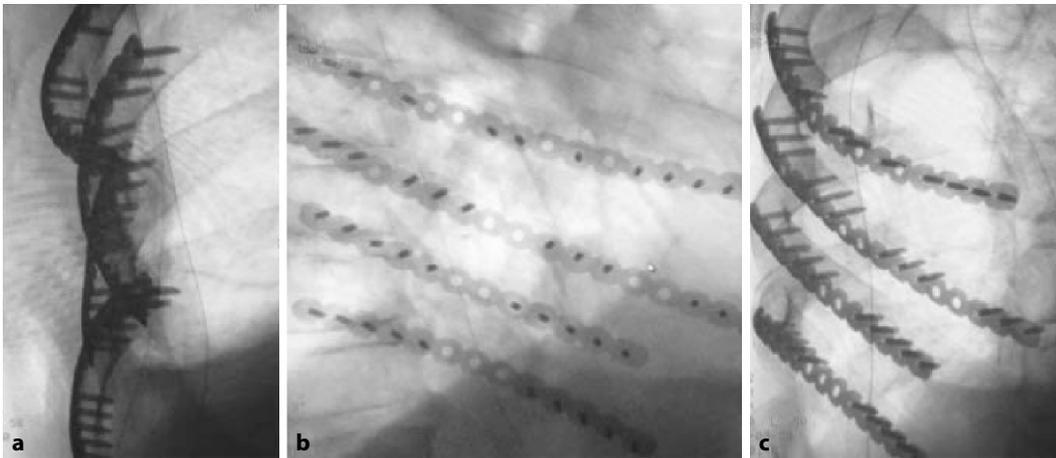


Abb. 25 ◀ Intraoperative Röntgenkontrolle in der anterior-posterior-Projektion (a) sowie unterschiedlichen Schrägebenen (b, c) mit regelrechter Platten- und Schraubenlage bei guter Reposition

Thoraxwandinstabilität nach Herzdruckmassage

▣ Abb. 26, 27, 28, 29, 30

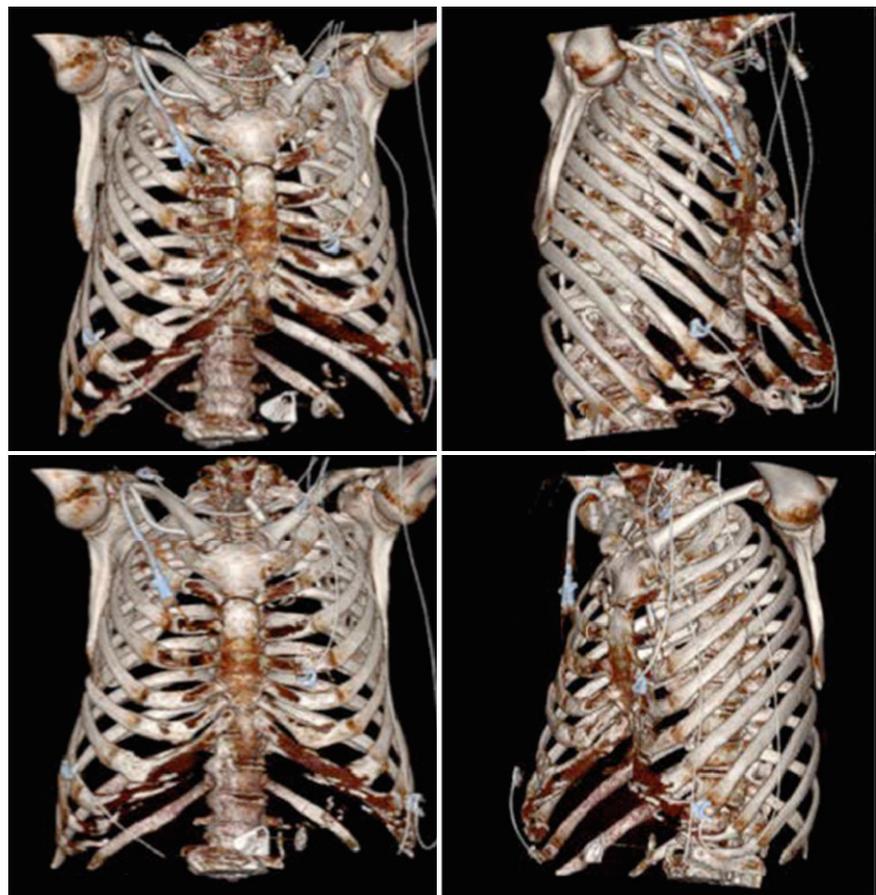


Abb. 26 ▲ Bei Patienten nach Herzdruckmassage können dislozierte und hoch instabile Frakturverhältnisse vorliegen. Dabei steht im Vordergrund, die Biomechanik derart wieder aufzubauen, dass der bereits länger bestehende instabile Thorax wieder ausreichend stabilisiert werden kann. Aufgrund der hämodynamischen Situation war eine frühzeitige Osteosynthese nach den wiederholten Reanimationen nicht möglich. Eine selbstständige Atmung war dem Patienten allerdings ohne Brustgurt nur für ca. 20 min möglich. Postoperativ konnte das Weaning unmittelbar beginnen und war innerhalb von 2 Tagen erfolgreich umgesetzt. 3-D-Rekonstruktion des CT(Computertomographie)-Thorax zur präoperativen Planung von zu versorgenden Frakturen, Schnittführung und Limitierung (s. Vorhofkatheter rechts, PEG[perkutane endoskopische Gastrostomie]-Sonde und Tracheostoma)

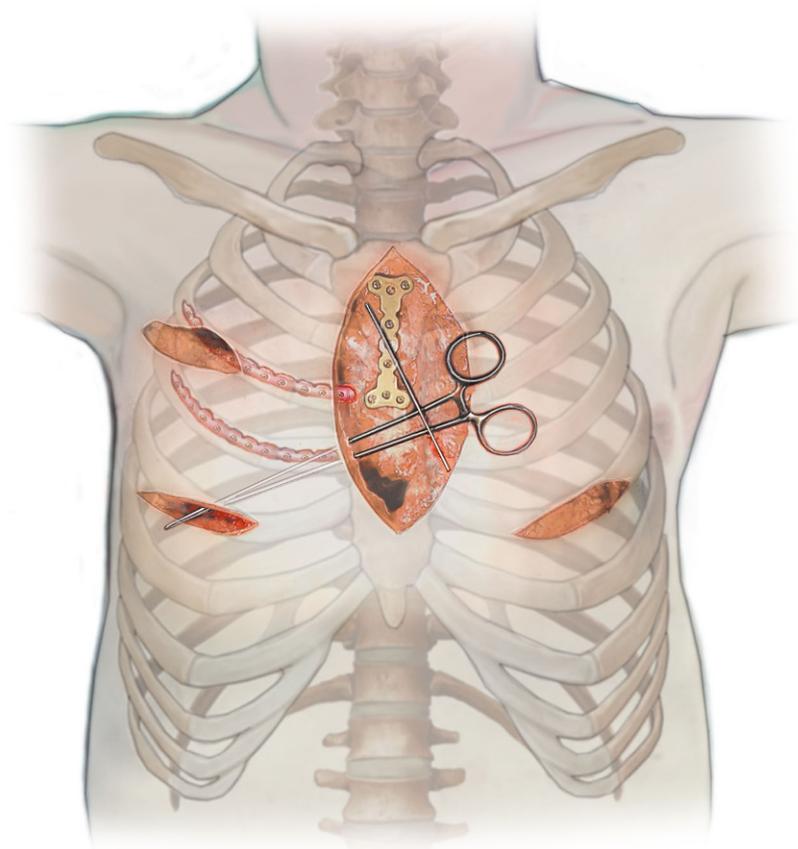


Abb. 27 ▲ Hautinzision entsprechend Skizze rechts zur Präparation und Vorbereitung der sternum-
übergreifenden Plattenosteosynthese (durchgeschobene, manuell angepasste Platte) bei Stückfrak-
tur der 5. Rippe beidseitig und frakturierten sowie dislozierten Rippenknorpeln beidseitig

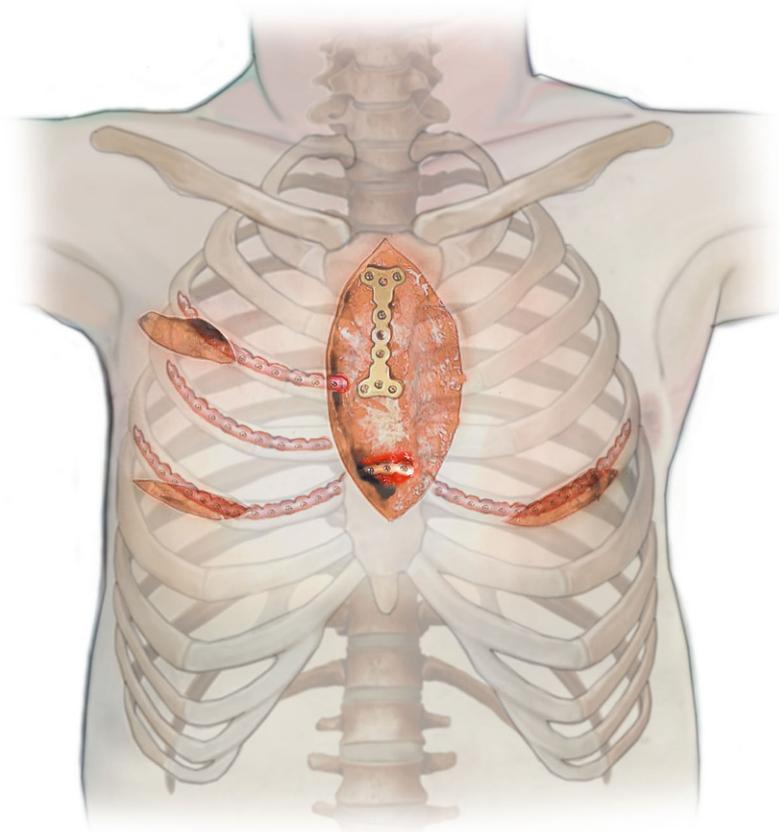


Abb. 28 ▲ Hautinzisionen entsprechend der Skizze mit bereits implantierter schmetterlingsförmiger Platte sternumübergreifend sowie lateralem Pin links über zusätzliche Stichinzision (5. Rippe links lateral) sowie Plattenosteosynthese der 3. und 4. Rippe rechts (abweichend von der Skizze, aufgrund stärkerer Dislokation und Instabilität intraoperativ)



Abb. 29 ◀ Darstellung der Präparation und Plattenosteosynthese

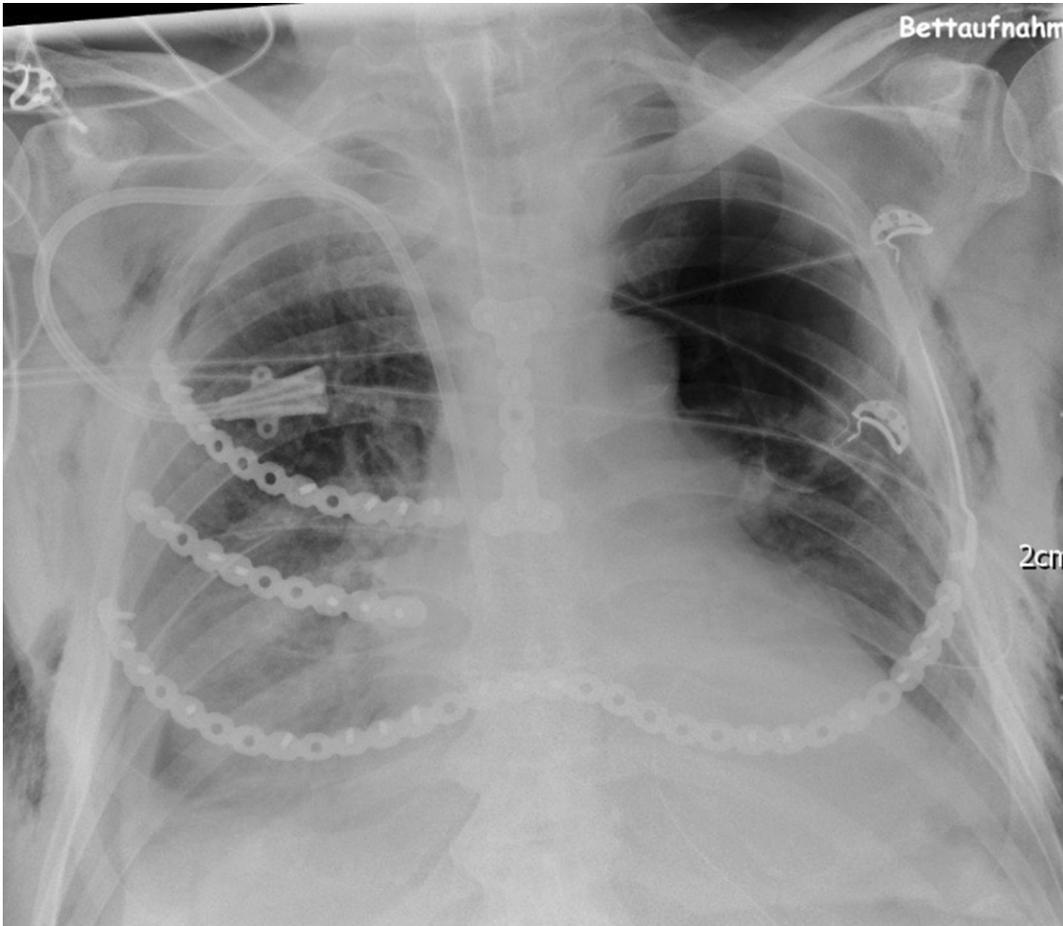


Abb. 30 ◀ Postoperative Röntgenkontrolle zum Ausschluss eines Pneumothorax sowie Implantatlagekontrolle: Doppel-T-Platte am proximalen Sternum, Plattenosteosynthese 3. und 4. Rippe rechts sowie sternumübergreifend die 5. Rippe, zusätzlich links lateraler Splintimplantation bei zusätzlicher lateraler Fraktur

Postoperative Behandlung

- Röntgenkontrolle zum Ausschluss eines Pneumothorax und Lagekontrolle des Osteosynthesematerials
- Engmaschige Kontrolle der Atemmechanik und Thoraxbewegungen
- Engmaschige Wundkontrolle und Redonentfernung spätestens am 2. postoperativen Tag
- Intermittierende CPAP („continuous positive airway pressure“)-Beatmung, Sekretmobilisation, High-Flow-Ventilation und andere Weaning-Maßnahmen. Die Entwöhnung vom Respirator sollte innerhalb weniger Tage möglich sein.
- CT des Thorax zur Verlaufsbeobachtung
- Das Osteosynthesematerial wird grundsätzlich nicht entfernt, es sei denn, es infiziert sich, stört oder muss aufgrund einer Sternotomie entfernt werden.

- Thoraxdrainagen werden je nach Röntgenbefund und Flussrate über die Drainage entfernt.
- Die unmittelbare Unterstützung in der selbstständigen Atemarbeit ist essenziell, um Atelektasen zu mobilisieren und die Entstehung einer Pneumonie zu verhindern. Dies kann zunächst über die geeignete Einstellung des Respirators oder bei bereits extubierten Patienten über die Physiotherapie erfolgen.

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- *Intraoperativer Pneumothorax*: Thoraxdrainage einlegen
- *Verletzung von intrathorakalen Organen*: entweder nur Thoraxdrainage einlegen und konservativ behandeln oder bei umfangreicheren Verletzungen direkt intraoperativ beheben, nachdem die Verletzung genau lokalisiert

worden ist und ggf. übernährt werden kann

- *Infektion des Osteosynthesematerials (gerötetes Wundareal bei steigenden Infektparametern und Ausschluss eines anderen Infektionsherds)*: vollständige Implantatentfernung erwägen
- *Pneumothorax oder Schmerzen durch überstehende Schrauben von mehr als 1 mm im Bereich der Rippen, die sich nicht innerhalb weniger Tage zurückbilden*: CT des Thorax und gezielte Schraubentfernung
- *Refraktur, z. B. bei erneuter Herzdruckmassage*: Reosteosynthese
- *Implantatlockerung, die mechanisch relevant ist, zur Hautperforation führt oder Schmerzen verursacht*: Materialentfernung oder eine Reosteosynthese mit längeren Platten oder einer Kombination von Platten und Splints
- *Insbesondere bei Verwendung der intramedullären Splints kann es zu einer Splintdislokation kommen*:

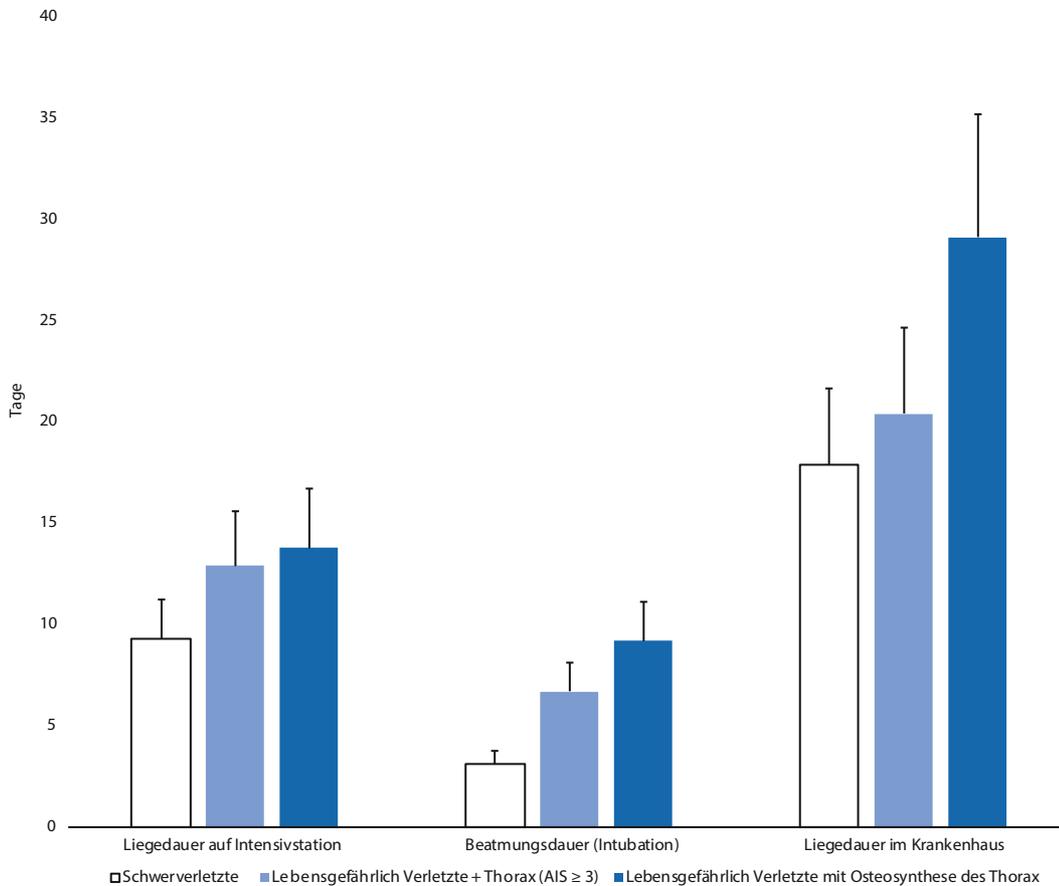


Abb. 31 ◀ Vergleich zwischen Schwerverletzten (Aufnahme über Schockraum und Intensivpflichtigkeit) (SVK), lebensgefährlich Verletzten mit Thoraxverletzung AIS (Abbreviated Injury Scale) ≥ 3 (LVK-Thx) und lebensgefährlich Verletzten mit Thoraxverletzung (AIS ≥ 3) und Osteosynthese der knöchernen Thoraxwand (LOTX). Es zeigen sich eine signifikant längere Beatmungsdauer (p -Wert $< 0,001$) und Krankenhausliegedauer (p -Wert $0,04$), während die Intensivaufenthaltsdauer nicht signifikant verlängert ist

Tab. 1 Epidemiologische Daten der vergleichenden Kohorten LOTX (Osteosynthese-Thorax), SVK (Schwerverletztenkollektiv) und SVK-Thx (Schwerverletztenkollektiv-Thorax)

	Schwer- verletzte (SVK)	Lebensgefährlich Verletzte + Thorax (LVK-Thx)	Osteosynthese Thorax (LOTX)	Signifikanz p -Wert $< 0,05$
Alter (Jahre)	49,9	54,1	57,9	0,04
Männlich (%)	67,9	61,5	80	n. s.
Verletzungsschwere (mittlerer ISS) (Punkte)	23	28	36	0,01
Beatmungsdauer (Intubation) (Tage)	3,1	6,7	9,2	$< 0,001$
Liegedauer (Tage)	17,9	21,4	29,1	0,04

ISS Injury Severity Score, n. s. nicht signifikant

Revision empfohlen, wenn das Osteosynthesematerial stört

Ergebnisse

Wir berichten über eine retrospektive Analyse von über den Schockraum aufgenommenen und intensivpflichtigen Patienten (Schwerverletztenkollektiv [SVK]) aus den Jahren 2011 bis 2018 ($N = 1694$). Sie wiesen einen mittleren Injury Severity Score (ISS) von 23 Punkten und

einen Anteil an schweren Thoraxtraumata (AIS ≥ 3) von 52 % auf. Die Letalität betrug 11,8 %.

In der Subgruppe SVK mit Thoraxtrauma AIS ≥ 3 und lebensgefährlicher Verletzung [18, 19] (LVK-Thx) aus den Jahren 2015 bis 2017 ($N = 102$) zeigten sich eine Letalität von 38,7 % und ein mittlerer ISS von 28 Punkten. In dieser Gruppe wurden 15 Patienten identifiziert, die eine Osteosynthese am Thorax erhalten haben und die retrospektiv an-

hand der Aktenlage vollständig nachuntersuchbar waren. Die Verletzungsschwere der Subgruppe LVK-Thx mit Osteosynthese am Thorax (LOTX) war deutlich höher als bei dem SVK. Der ISS betrug im Mittel 36 Punkte gegenüber 23 beim SVK und 28 beim LVK-Thx.

Auch das durchschnittliche Alter war mit 59,2 vs. 49,9 (SVK) und 57,8 (LVK-Thx) Jahren höher. Das männliche Geschlecht war mit 80 % bei LOTX und mit 67,9 % bei SVK und 61,5 % (LVK-Thx) vertreten (■ Tab. 1).

Der Vergleich zwischen den 3 Kohorten zeigte eine signifikant längere Krankenhausliegezeit und Beatmungsdauer sowie eine tendenziell längere Intensivdauer (nicht signifikant) bei den LOTX (■ Abb. 31). Allerdings betrug die Dauer der Beatmungspflichtigkeit *postoperativ* bei LOTX im Mittel nur noch 3,1 Tage, während die Gesamtbeatmungszeit mit durchschnittlich 9,2 Tagen signifikant länger war als bei LVK-Thx und SVK. Die kurze postoperative Beatmungszeit ist durch die schnelle Wiederherstellung der Stabilität des

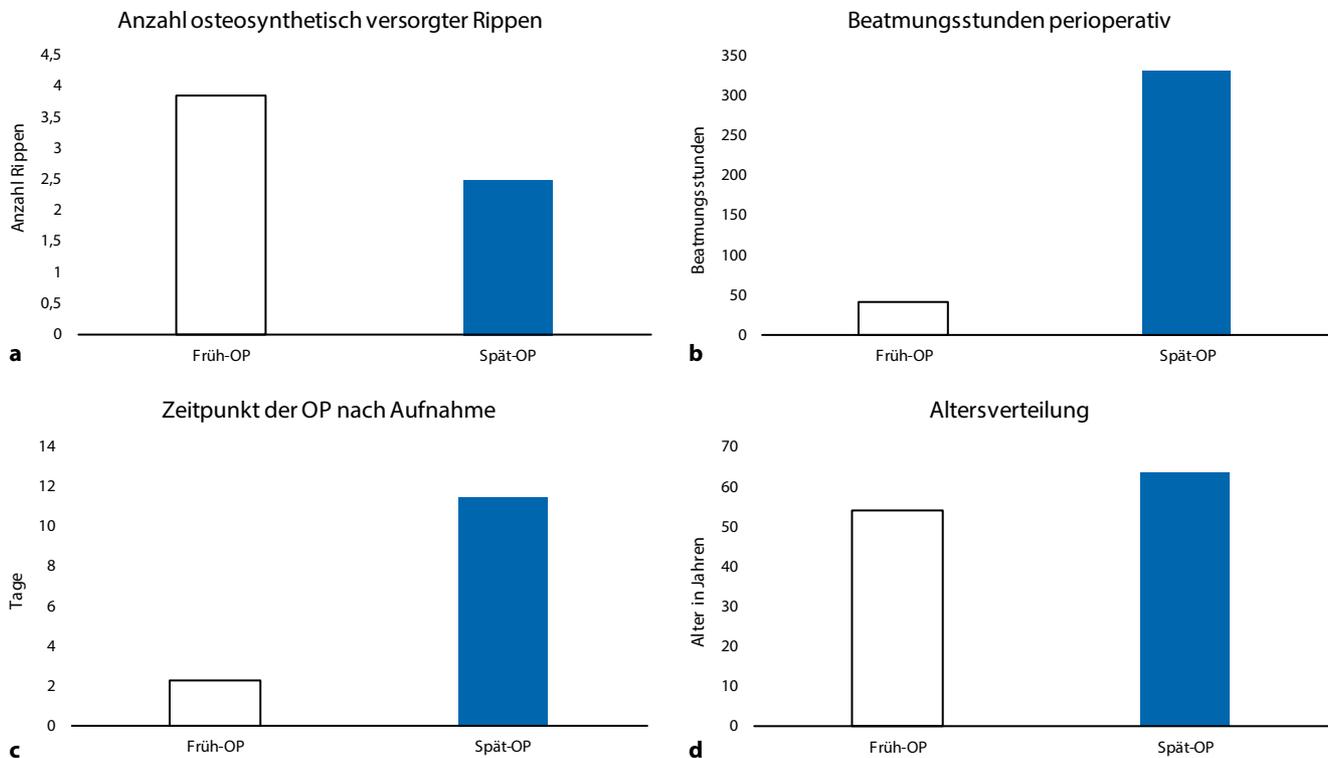


Abb. 32 ▲ a Anzahl der osteosynthetisch versorgten Rippen im Vergleich zwischen Früh- und Spätoperation (p -Wert 0,04). b Beatmungsstunden perioperativ im Vergleich bei Früh- und Spätoperation (p -Wert 0,04). c Zeitpunkt der Operation bei Früh- und Spätoperation (p -Wert <0,001). d Altersverteilung der beiden Gruppen (nicht signifikant)

Thorax und das damit rasch erfolgreiche Weaning zu erklären.

Die Patienten wurden im Mittel nach 7,2 Tagen operiert. Um die Patienten genauer charakterisieren zu können, wurden sie in 2 Subgruppen aufgeteilt: Frühoperation (Gruppe 1, Tag 1 bis 5 nach Trauma) und Spätoperation (Gruppe 2, ab Tag 6 nach Trauma). Im Mittel wurden die Patienten aus Gruppe 1 nach 48 h operiert und die Patienten aus Gruppe 2 nach 11,5 Tagen nach Aufnahme.

Eine derartige zeitliche Differenzierung in der Indikationsstellung ist notwendig: Diejenigen, die einen instabilen Thorax im initialen Trauma erlitten haben, benötigen die Stabilisierung möglichst innerhalb der ersten 24–48 h [20]. Bei den Weaning-Versagern oder reanimationspflichtigen Patienten wird die Indikation meist erst verspätet gestellt, oder der Patient ist erst verspätet operabel. Dabei zeigt sich jedoch, dass bei den Patienten der Gruppe 2 signifikant weniger Rippen osteosynthetisch versorgt werden mussten, bis eine biomechanische Stabilität erreicht werden konnte, während

Patienten der Gruppe 1 höhergradige Instabilitäten aufwiesen und entsprechend mehr Rippen stabilisiert wurden.

Die frühe Operation spiegelt sich auch in den mittleren Beatmungsstunden perioperativ wider. Hier zeigte sich für die Frühoperationssubgruppe eine mittlere Beatmungsdauer von 41,3 h während die Spätoperationssubgruppe 331,25 h im Mittel beatmet wurde (Abb. 32). Bei beiden Gruppen ist jedoch die postoperative Beatmungsdauer im Mittel 76 h bis zur erfolgreichen Entwöhnung vom Respirator.

Patienten der Gruppe 1 wiesen deutlich weniger perioperative Pneumonien auf (Früh 14,3 % vs. Spät 62,5 %). Die Gesamtl mortalität betrug 6,6 %.

Unsere Ergebnisse werden durch die Untersuchungen von u. a. Pieracci et al., Caragounis et al. und Tanaka et al. bestätigt: Erstens profitieren Patienten mit instabilem Thorax und der Indikation zur Osteosynthese (s. oben) von der operativen Stabilisierung des Thorax innerhalb von 24–48 h, zweitens kann die frühe Osteosynthese nach Trauma die

Beatmungsdauer und Entwicklung einer Pneumonie signifikant senken, und drittens bedürfen Patienten mit einem relevanten Thoraxtrauma im Rahmen eines Polytraumas mit der Indikation zur osteosynthetischen Stabilisierung des Thorax einer differenzierten, interdisziplinären Behandlungsstrategie, da mit signifikant längerer Beatmungszeit, längerem Aufenthalt auf der Intensivstation und im Krankenhaus sowie erhöhten beatmungsassoziierten perioperativen Komplikationen zu rechnen ist.

Im eigenen Patientenkollektiv zeigten 58 % der intensivpflichtigen Traumapatienten mit einem ISS >9 ein signifikantes Thoraxtrauma (AIS-Code ≥ 3). Etwa ein Drittel von diesen wies uni- oder bilaterale Rippenserienfrakturen auf bis hin zum instabilen Thorax – beschrieben als >3 Rippen in Serie frakturiert an mindestens 2 Stellen des Thorax als Ursache für ein paradoxes/inverses Atemmuster. Die Folge sind neben Schmerzen v. a. der reduzierte Hustenstoß mit verminderter Sekretmobilisation, Entwicklung von Atelektasen und Pneumonie bis hin zum

Empyem. Die Folge ist dann die prolongierte mechanische Beatmung und Intensivtherapie. Die retrospektiv untersuchten Patienten wurden stets einer interdisziplinären und individualisierten Indikationsstellung unterzogen.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Christopher Spering

Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie, Universitätsmedizin Göttingen

Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen, Deutschland

christopher.spering@med.uni-goettingen.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Spering, A. von Hammerstein-Equord, W. Lehmann und K. Dresing geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien. Für Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts, über die Patienten zu identifizieren sind, liegt von ihnen und/oder ihren gesetzlichen Vertretern eine schriftliche Einwilligung vor.

Literatur

- Beks RB, Reetz D, de Jong MB, Groenwold RHH, Hietbrink F, Edwards MJR, Leenen LPH, Houwert RM, Frölke JPM (2019) Rib fixation versus non-operative treatment for flail chest and multiple rib fractures after blunt thoracic trauma: a multicenter cohort study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 45(4):655–663
- Bottlang M, Helzel I, Long WB, Madey S (2010) Anatomically contoured plates for fixation of rib fractures. *J Trauma* 68(3):611–615
- Bottlang M, Wallaser S, Noll M, Honold S, Madey SM, Fitzpatrick D, Long WB (2010) Biomechanical rationale and evaluation of an implant system for rib fracture fixation. *Eur J Trauma Emerg Surg* 36(5):417–426
- Caragounis E-C, Olsen MF, Pazooki D, Granhed H (2016) Surgical treatment of multiple rib fractures and flail chest in trauma: a one-year follow-up study. *World J Emerg Surg* 11:27
- Coughlin TA, Ng JW, Rollins KE, Forward DP, Olliver BJ (2016) Management of rib fractures in traumatic flail chest: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Bone Joint J* 98-B(8):1119–1125
- De Jong MB, Kokke MC, Hietbrink F et al (2014) Surgical management of rib fractures: strategies and literature review. *Scand J Surg* 103:120–125
- Fitzpatrick DC, Denard PJ, Phelan D et al (2010) Operative stabilization of flail chest injuries: review of literature and fixation options. *Eur J Trauma Emerg Surg* 36:427–433
- Hasenboehler EA, Bernard AC, Bottiggi AJ, Moghadamian ES, Wright RD, Chang PK, Boulanger BR, Kearney PA (2011) Treatment of traumatic flail chest with muscular sparing open reduction and internal fixation: description of a surgical technique. *J Trauma* 71(2):494–501
- Kane E, Jeremitsky E, Pieracci FM, Majercik S, Doben AR (2017) Quantifying and exploring the recent national increase in surgical stabilization of rib fractures. *J Trauma Acute Care Surg* 83(6):1047–1052. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001648>
- Kasotakis G, Hasenboehler EA, Streib EW, Patel N, Patel MB, Alarcon L, Bosarge PL, Love J, Haut ER, Como JJ (2017) Operative fixation of rib fractures after blunt trauma: a practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 82(3):618–626
- Kocher GJ, Sharafi S, Azenha LF, Schmid RA (2017) Chest wall stabilization in ventilator-dependent traumatic flail chest patients: who benefits? *Eur J Cardiothorac Surg* 51:696–701
- Kyriakos T et al (2016) Rippenosteosynthesen – funktionsverbessernd? *Zentralbl Chir* 141:S6–S11
- Lardinois D, Krueger T, Dusmet M, Ghisletta N, Gugger M, Ris HB (2001) Pulmonary function testing after operative stabilisation of the chest wall for flail chest. *Eur J Cardiothorac Surg* 20:496–501
- Leinicke JA, Elmore L, Freeman BD, Colditz GA (2013) Operative management of rib fractures in the setting of flail chest: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg* 258(6):914–921
- Nirula R, Allen B, Layman R, Falimirski ME, Somberg LB (2006) Rib fracture stabilization in patients sustaining blunt chest injury. *Am Surg* 72:307–309
- Okabe Y (2018) Risk factors for prolonged mechanical ventilation in patients with severe multiple injuries and blunt chest trauma: a single center retrospective case-control study. *Acute Med Surg* 5(2):166–172. <https://doi.org/10.1002/ams2.331>
- Olland A, Puyrayeau M, Guinard S, Steilinger J, Kadoche D, Perrier S, Renaud S, Falcoz P-E (2019) Massard G Surgical stabilization for multiple rib fractures: whom the benefit? A prospective observational study. *J Thorac Dis* 11(Suppl 2):S130–S140
- Paffrath T et al (2014) How to define severely injured patients? An Injury Severity Score (ISS) based approach alone is not sufficient. *Injury* 45(Suppl 3):S64–S69. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.08.020>
- Pape HC et al (2014) The definition of polytrauma revisited: an international consensus process and proposal of the new 'Berlin definition'. *J Trauma Acute Care Surg* 77(5):780–786
- Pieracci FM, Coleman J, Ali-Osman F et al (2018) A multicenter evaluation of the optimal timing of surgical stabilization of rib fractures. *J Trauma Acute Care Surg* 84(1):1–10
- Pieracci FM, Majercik S, Ali-Osman F, Ang D, Doben A, Edwards JG, French B, Gasparri M, Marasco S, Minshall C et al (2017) Consensus statement: surgical stabilization of rib fractures rib fracture colloquium clinical practice guidelines. *Injury* 48(2):307–321
- Pieracci FM et al (2015) Surgical stabilization of severe rib fractures. *J Trauma Acute Care Surg*. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000581>
- Slobogean GP, MacPherson CA, Sun T, Pelletier ME, Hameed SM (2013) Surgical fixation vs nonoperative management of flail chest: a meta-analysis. *J Am Coll Surg* 216(2):302–311.e1
- Swart E, Laratta J, Slobogean G, Mehta S (2017) Operative treatment of rib fractures in flail chest injuries: a meta-analysis and cost-effectiveness analysis. *J Orthop Trauma* 31(2):64
- Tanaka H, Yukioka T, Yamaguti Y et al (2002) Surgical stabilization of internal pneumatic stabilization? A prospective randomized study of management of severe flail chest patients. *J Trauma* 52:727–732