

Die instabile Thorax-Ring-Verletzung

von

Hauke Gerold Callsen

Klinikum rechts der Isar



**Chirurgische Klinik und Poliklinik der Technischen Universität
München**

(Direktor: Prof. Dr. Peter Biberthaler)

Die instabile Thorax-Ring-Verletzung

Hauke Gerold Callsen

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades
eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: Prof. Dr. Jan Friederichs
Prof. Dr. Rüdiger von Eisenhart-Rothe

Die Dissertation wurde am 10.09.2019 bei der Technischen Universität
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 02.01.2020 angenommen.

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	FRAGESTELLUNG	1
1.2	ANATOMIE	6
1.2.1	ANATOMIE DES STERNUMS	6
1.2.2	ANATOMIE DER WIRBELSÄULE	6
1.3	DIAGNOSTIK	10
1.4	PATHOLOGIE	12
1.4.1	FRAKTUREN DER BWS (KLASSIFIKATION)	12
1.4.2	FRAKTUREN DES STERNUMS	20
1.4.3	DEFINITION DES SCHWEREGRADES DER GESAMTVERLETZUNG ANHAND DES ISS	21
1.5	THERAPIE	23
2	<u>PATIENTEN UND METHODEN</u>	24
2.1	PATIENTEN	24
2.1.1	STUDIENKOHORTE	25
2.1.2	VERGLEICHSGRUPPE	27
2.2	METHODEN	29
2.2.1	DATENAUSWERTUNG	29
2.2.2	RADIOLOGISCHE AUSWERTUNG	29
2.2.3	STATISTISCHE AUSWERTUNG	31
3	<u>ERGEBNISSE</u>	32
3.1	DESKRIPTIVE ERGEBNISSE DER STUDIENKOHORTE	32
3.1.1	GESAMTE KOHORTE	34
3.1.2	SUBGRUPPEN	45
3.2	ERGEBNISSE DER HYPOTHESEN	58
3.2.1	DIE STERNUMFRAKTUR IST EIN INDIKATOR FÜR EINE INSTABILE BWS- FRAKTUR	58
3.2.2	DIE DISLOKATION DER STERNUMFRAKTUR KORRELIERT MIT DER INSTABILITÄT DER BWS- FRAKTUR	61
3.2.3	KORRELIERT DIE HÖHE DER STERNUMFRAKTUR MIT DER HÖHE DER BWS-FRAKTUR, SO LIEGT GEHÄUFT EINE INSTABILITÄT DIESER FRAKTUR VOR	63
3.3	VERGLEICH DES KLINISCHEN VERLAUFS VON VERGLEICHSGRUPPE UND STUDIENGRUPPE	70
4	<u>DISKUSSION</u>	78
5	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	83
6	<u>ANHANG</u>	85
7	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	97

Im Text verwendete Abkürzungen

ISS	Injury Severty Score
BWS	Brustwirbelsäule
BWK	Brustwirbelkörper
CT	Computertomographie
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
OTA	Orthoepadic Trauma Association
LWK	Lumbalwirbelkörper
HWK	Halswirbelkörper
ATLS	Advanced Trauma Life Support
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
TLICS	Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score
AIS	Abbreviated Injury Scale
ASIA	American Spinal Injury Association-Classification
BGU	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau
vs.	versus
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrom

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Der Brustkorb bildet eine anatomische Einheit aus der oberen Brustwirbelsäule, den Rippen und dem Sternum (1). Die Sternumfraktur ist eine seltene Verletzung, die oft mit Frakturen der Brustwirbelsäule sowie einem Thoraxtrauma mit Lungenquetschung und Rippenfrakturen einhergeht (2-4). Die Sternumfraktur, mit begleitender Brustwirbelkörperfraktur, ist meist mit einer Polytraumatisierung verbunden. Es besteht eine Korrelation zwischen der Höhe des ISS-Scores und der Wahrscheinlichkeit dieser Kombinationsverletzung (5). Der häufigste zugrundeliegende Unfallmechanismus ist das Hochrasanztrauma (6, 7).

Mit einer Sterblichkeit von 15% bei rund 38.000 Schwerverletzten (ISS<16) im Jahre 2010 sind Unfälle die fünfthäufigste Todesursache in Deutschland. Wenn man die verlorenen Lebensjahre betrachtet, so liegt das Trauma sogar an erster Stelle mit einem Verlust von etwa 35 Jahren (8).

Aus dem Jahresbericht der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie von 2012 geht hervor, dass in den letzten drei Jahren die Verletzungen im Bereich des Thorax mit 62% an erster Stelle liegen und die Verletzungen der Wirbelsäule mit 34% den dritten Rang belegen (9). Aus einer großen Studie mit 23.985 Fällen aus dem Jahre 2013 zum Thema *Kombinationsverletzungen mit assoziierter Sternumfraktur* geht hervor, dass die Kombinationsverletzung aus Sternum- und Wirbelsäulenfraktur nach der Lungenkontusion die zweithäufigste Verletzung ist. Speziell diese Kombinationsverletzung tritt in 21% der Fälle auf (7).

In den letzten 30 Jahren wurden einige Studien und kleinere Fallserien zu dem Thema der Kombinationsverletzungen aus Sternum- und Brustwirbelfraktur publiziert, wobei es sich meist um geringe Fallzahlen mit maximal 32 Patienten handelt (1, 2, 10-24).

Frühere Studien haben gezeigt, dass eine Sternumfraktur als ein Indikator für eine Fraktur der Brustwirbelsäule angesehen werden kann.

Die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Fraktur der Brustwirbelsäule wird in diesen Studien als „upper thoracic cage injury“ (Thorax–Ring-Verletzung) bezeichnet.

Es belegen jedoch keine Literaturdaten, ob die „upper thoracic cage injury“ als ein Indikator für eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule angesehen werden kann.

Aufgrund dessen sollen in dieser Arbeit die folgenden Hypothesen getestet werden:

a) Die Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile BWS- Fraktur

Die begleitende Sternumfraktur ist ein Hinweis für eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule.

Patienten, die eine Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur erlitten haben, zeigten häufiger eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule als diejenigen Patienten, welche eine isolierte Fraktur der Brustwirbelsäule (ohne begleitende Sternumfraktur) aufweisen.

b) Die Dislokation der Sternumfraktur korreliert mit der Instabilität der BWS-Fraktur:

Hinter dieser Hypothese steht die Überlegung, dass die Kraft, die auf den Thorax eingewirkt hat, sehr groß gewesen sein muss, um das Sternum in der Fraktur zu verschieben. Des Weiteren muss diese Kraft auch mit einem gerichteten Vektor und punktuell auf das Sternum eingewirkt haben, um eine Dislokation hervorzurufen. Deshalb entsteht die Vermutung, dass diese Kraft auch durch den Thorax auf die Wirbelsäule gewirkt haben könnte und somit zu einer schwereren Fraktur und damit instabileren Fraktur führt.



Abbildung 1: CT-Aufnahme einer dislozierten Sternumfraktur

Eine weitere Überlegung geht von dem Thorax als knöcherne Einheit aus, die durch den Unfallmechanismus als Gesamtheit auf Höhe der Fraktur verschoben sein könnte.



Abbildung 2: CT-Aufnahme einer Kombinationsverletzung aus dislozierter Sternumfraktur und kompletter Berstungsfraktur der Brustwirbelsäule

c) Korreliert die Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der BWS-Fraktur, so liegt gehäuft eine rotationsinstabile Instabilität der BWS Fraktur vor:

Betreffen Sternumfraktur und BWS-Fraktur das gleiche Segment, liegt gehäuft eine rotationsinstabile Typ C Fraktur der Brustwirbelsäule vor. Entsprechend kann seltener eine

rotationsinstabile BWS-Fraktur diagnostiziert werden, wenn die Höhe der Sternumfraktur und die Höhe der BWS-Fraktur nicht korrelieren.

Folgendes Beispiel veranschaulicht, in welchem Fall das gleiche Segment betroffen ist (s. Abb. 3): Fraktur BWK 5 und Fraktur des Sternums I) Corpus sterni auf Höhe der Incisura costae sterni der 5. Rippe, II) Corpus sterni zwischen den Incisurae costarum sterni der 4. und 5. Rippe, sowie III) Corpus sterni zwischen den Incisurae costarum sterni der 5. und 6. Rippe. Eine Rotationsinstabilität kann auch vorliegen, wenn Sternum- und BWS-Fraktur nicht das gleiche Segment betreffen, jedoch eine beiseitige Rippenserienfraktur zwischen den beiden betroffenen Segmenten vorliegt.

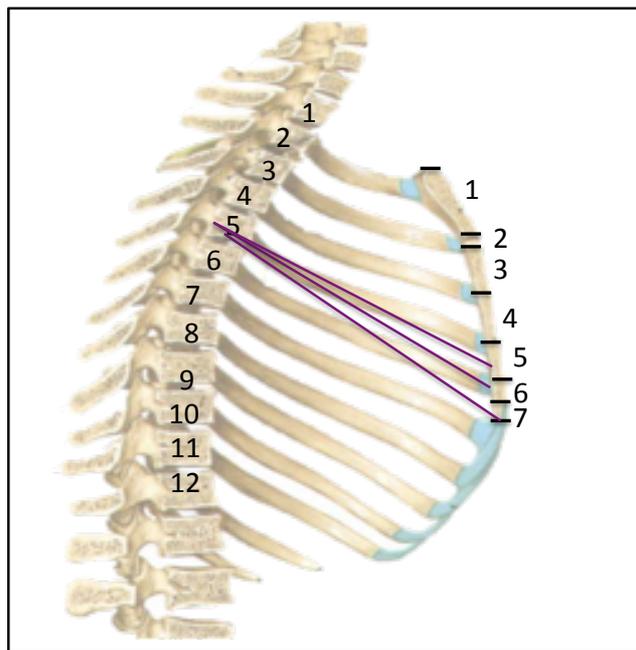


Abbildung 3: Thoracic cage injury: Frakturen mit Korrelation der Höhe
(Modifizierte Abbildung von Putz R, Papst R. Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 2. München: Urban & Fischer; 2000)

Ziel dieser Studie ist es, das Verletzungsmuster des Thoraxtraumas zu untersuchen und die damit verbundenen Verletzungen, den Trauma-Mechanismus und das klinische Outcome in einer großen Patientengruppe zu analysieren.

Einleitung

Diese Arbeit soll deshalb die „Thoracic cage injury“ und im Besonderen die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulen BWS-Fraktur untersuchen.

Diese Kombinationsverletzungen sollen mit isolierten Wirbelsäulenverletzungen verglichen werden.

Es wird angenommen, dass die Sternumfraktur häufig mit einer instabilen Fraktur der Brustwirbelsäule einhergeht und deshalb eventuell ein Indikator für eine instabile Brustwirbelfraktur darstellen könnte.

1.2 Anatomie

Im Folgenden wird die Anatomie der Organe erläutert, die für die Studie von Bedeutung sind.

1.2.1 Anatomie des Sternums

Das Sternum setzt sich aus drei verschiedenen Knochen zusammen: Manubrium sterni, Corpus sterni und dem Processus xiphoideus. Diese drei Knochen sind durch Synchondrosen (knorpelige Verbindungen) verbunden, die im Laufe des Lebens zunehmend verknöchern (25). Es handelt sich um einen platten Knochen, der direkt unter der Haut liegt und so einige topographische Landmarken bildet (26). Das Manubrium sterni ist der kranialste Teil des Sternums und ist etwas massiver und breiter als die anderen Abschnitte. Das craniale Ende des Sternums bildet die sogenannte Drosselgrube (Incisura jugularis), die auch durch die Haut zu tasten ist (25). Jeweils lateral dieser Incisura jugularis bildet das Sternum durch die Incisurae claviculares die Gelenkpfannen, die mit dem jeweiligen medialen Anteil der Clavicula das Sternoclaviculagelenk bilden (26). Weiter kaudal an der lateralen Seite befindet sich der knorpelige Ansatz der ersten Rippe, die Incisura costalis I (25). An dem Übergang vom Manubrium zum Corpus sterni liegt der Ansatzpunkt der zweiten Rippe (Incisura costalis II). Die Gelenkhöhle der zweiten Rippe wird oft durch das Ligamentum sternocostalis in zwei Teile unterteilt. Der Übergang des Manubriums zum Corpus sterni wird durch die Symphysis manubriosternalis gebildet (27). Das Manubrium ist zum Corpus sterni im Angulus sterni nach dorso-cranial abgewinkelt, welcher durch die Haut als Landmarke zu tasten ist (26). Das Corpus sterni bildet die Incisurae costalis des caudalen Anteils der II. Rippe sowie der III.-VII. Rippe (25). Die Incisurae der VI. und VII. Rippe liegen zusammen (28). Der Processus xiphoideus ist der distalste Anteil des Sternums und ist oft kaudal gespalten und durchlöchert (25). Es kommen viele Variationen des Xiphoids vor. Es bildet jedoch in der Regel keinen direkten Ansatzpunkt für Rippen und ist zumeist noch im Erwachsenenalter knorpelig (28).

1.2.2 Anatomie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule bildet eine knöchernen Achse, an der die Extremitäten sowie der Kopf befestigt sind (26). Sie lässt sich in folgende Abschnitte unterteilen: Hals-, Brust-, Lenden-

und Steißwirbelsäule. Die Funktion der Wirbelsäule kann in drei verschiedene Komponenten eingeteilt werden. Zum einen erfüllt sie eine statische Funktion, indem sie Stabilität in eine eingenommene Körperhaltung bringt. Zweitens kann man der Wirbelsäule eine dynamische Funktion zuschreiben, da sie in der Gesamtheit ihrer Bewegungselemente die Bewegung des Rumpfes ermöglicht. Drittens fungiert die Wirbelsäule als „Stoßdämpfer“ bei axialen Stößen (27). Um diese Aufgaben erfüllen zu können, besteht die Wirbelsäule aus 24 freien Wirbeln und dem Os sacrum. Die 24 freien Wirbel sind durch Gelenke miteinander verbunden (26).

Man kann verschiedene Landmarken der Wirbelsäule unterscheiden. Im Halswirbelbereich besitzt der siebte Halswirbel den prominenten und gut palpablen Processus spinosus. Dieser Wirbelkörper wird deshalb auch als Vertebra prominens bezeichnet. Auf Höhe der Verbindungslinie der Spina scapulae ist der Processus spinosus des dritten Brustwirbels zu finden. Der siebte Brustwirbelkörper befindet sich zwischen den Anguli inferiores scapulae. Knapp caudal des Ansatzes der letzten Rippe kann man den Dornfortsatz des zwölften Brustwirbelkörpers tasten und auf der Verbindungslinie der cranialsten Punkte der Crista iliaca befindet sich der vierte Lendenwirbelkörper (28).

Die 24 einzelnen Wirbelkörper ähneln sich in ihrem Aufbau, sind aber an die speziellen Aufgaben angepasst.

Es werden sieben Vertebrae cervicales, zwölf Vertebrae thoracales, fünf Vertebrae lumbales, fünf Vertebrae sacrales, welche zusammen zu dem Kreuzbein verschmolzen sind und drei bis fünf Vertebrae coccyges, die rudimentär als Steißbein zusammengewachsen sind, unterschieden.

Die Disci intervertebrales, die sich (mit Ausnahme der ersten beiden Wirbelkörper) von der cervicalen bis zur lumbalen Wirbelsäule zwischen den Wirbelkörpern befinden, sind an der Bildung der Synchondrosen beteiligt.

Die beiden obersten Zervicalwirbel sind durch echte Gelenke miteinander verbunden. Insgesamt sechs Bandsysteme der Wirbelsäule tragen erheblich zur Stabilität des Konstrukts bei und werden von der Rückenmuskulatur unterstützt (26).

Bei der Rückenmuskulatur kann man primär, autochton und sekundär eingewanderte Rückenmuskeln unterscheiden (25).

Durch die Lordosen und Kyphosen entsteht bei sagittaler Betrachtung eine Doppel-S-Form. Abwechselnd folgt auf die Zervikallordose eine Thorakalkyphose, dann eine Lumballordose und schließlich eine Sakralkyphose. Durch diese Krümmung gleicht die Wirbelsäule in ihrer Funktion einer Feder, die axiale Stöße auf diese Weise abdämpfen kann.

Der Aufbau des Wirbelkörpers besteht aus einem Corpus, einem Arcus und drei Processus arcus vertebrae. Aufgrund der caudal immer größer werdenden Last sind die Wirbelkörper durch eine zunehmende Größe angepasst. Die Wirbelbögen bilden dorsal des Wirbelkörpers in ihrer Gesamtheit durch ihre Hufeisenform den Wirbelkanal, in dem das Rückenmark knöchernen Schutz findet (26).

Der Wirbelkanal beginnt mit dem Foramen magnum des Os occipitale und endet mit dem Hiatus sacralis des Kreuzbeins (25). Aufgrund des nicht synchronen Wachstums von Wirbelsäule und Rückenmark, endet die Medulla spinalis beim Erwachsenen bereits auf Höhe von LWK1/2 und geht hier in die Cauda equina über. Die Spinalnerven verlaufen caudalwärts, ehe sie aus dem Canalis vertebralis austreten (28). Die Medulla spinalis ist wie auch das Gehirn von schützenden Bindegewebshäuten (Dura mater, Arachnoidea mater, Pia mater) umgeben.

Der Ansatz der Wirbelbögen am dorsolateralen Wirbelkörper wird Bogenwurzel (Pediculus arcus vertebrae) genannt und ist cranial und caudal verschmälert, sodass zwischen zwei aufeinander folgenden Wirbeln das Foramen intervertebrale entsteht. Aus diesem Foramen tritt der jeweilige Spinalnerv aus dem Rückenmark heraus (26).

Aus den Laminae arcus vertebrae entspringen sieben Wirbelbogenfortsätze (Processus arcus vertebrae). Lateral gehen jeweils paarig angeordnete Processus transversi hervor. Cranial- sowie caudalwärts entspringen Processus articulares superiores bzw. inferiores. Dorsal setzen die Processus spinosi an, welche man auch durch die Haut ertasten kann. An den Processus transversi bzw. den Processus spinosi entspringen Bänder und Muskeln. Die Processus articulares superiores und die Processus inferiores artikulieren miteinander und bilden auf diese Weise ein Gelenk, das Wirbelbogengelenk (26).

Der Feinbau des Wirbelkörpers ist der Gewichtsbelastung angepasst. Im Inneren des Körpers sind Zugtrabekel in vertikaler und horizontaler Richtung verspannt. Die Ränder bilden eine dünne knöcherne Randleiste. Die Deckplatte wird durch eine etwa 1 mm dicke hyaline Knorpelschicht gebildet. In der Spongiosa befindet sich ein großer Teil des roten Knochenmarks (26).

Die Processus transversi der Brustwirbelkörper sind nicht wie alle anderen in lateraler Richtung, sondern nach dorsolateral gekippt. Dies ermöglicht die Artikulation der Rippe mit den Querfortsätzen und den Wirbelkörpern. Die Gelenkpfanne für eine Rippe bilden immer zwei übereinander liegende Wirbelkörper. Lediglich der erste Brustwirbel bildet die

Gelenkpfanne eigenständig (28). Die Processus transversi der Brustwirbelkörper (BWK) sind deutlich länger als die der Halswirbelkörper (HWK). Die oberen Gelenkflächen sind etwas nach hinten gekippt, die unteren etwas nach vorne (26). Der zehnte BWK bildet cranial eine Gelenkfläche, der elfte und zwölfte BWK bildet jeweils eine komplette Pfanne aus. Die autochtone Rückenmuskulatur inseriert in die Processus mamillaris, die lateral der Facies articularis superior zu finden sind (28). Im Unterschied zu allen weiteren BWK bilden die letzten beiden keine Gelenkflächen für die Rippen an den Processus transversi aus (27).

Zwischen den Wirbelkörpern befinden sich die Bandscheiben (Disci intervertebrales). Da zwischen den ersten beiden Halswirbeln echte Gelenke ausgebildet sind und das Os sacrum zusammengewachsen ist, gibt es insgesamt nur 23 Zwischenwirbelscheiben. Diese sind innen aus einem Kern (Nucleus pulposus) aus gallertartiger Konsistenz und außen aus einem aus straffen Faserknorpel bestehenden Anulus fibrosus zusammengesetzt. (26).

Durch diesen Aufbau sind die Bandscheiben mit einem Wasserkissen vergleichbar, welches als „Stoßdämpfer“ vor übermäßigen axialen Stößen schützt. So verteilen die Disci intervertebrales den Druck gleichmäßig auf die Deckplatten der Corpora vertebrae und verhindern eine unphysiologische Bewegung in ventraler, dorsaler oder lateraler Richtung. Außerdem wirken sie einer übermäßigen Rotationsbewegung entgegen.

Durch die nur minimale Versorgung der Bandscheiben regenerieren sie sich bei Verletzungen auch nur unzureichend (26).

1.3 Diagnostik

Die Sternumfraktur ist oft mit weiteren Verletzungen des Thorax vergesellschaftet und stellt somit eine schwere und potentiell lebensbedrohliche Verletzung dar, die zügig und sicher diagnostiziert werden muss, um weitere Komplikationen zu verhindern (29). Eine Fraktur der Wirbelsäule stellt ebenfalls eine schwere Verletzung dar, die aufgrund des Risikos der dadurch entstehenden Verletzung des Rückenmarks mit einer schweren Behinderung des Patienten einhergehen kann. Deshalb empfiehlt es sich, neben einer ausführlichen Anamnese des Patienten und des Unfallherganges, eine klinische Untersuchung anhand des „Primary Survey“ durchzuführen und hier insbesondere das ABCDE-Schema (entsprechend ATLS®-Protokoll) (30) anzuwenden. Liegt der Verletzung des Thoraxringes oder der Wirbelsäule ein Hochrasanztrauma zugrunde, ist die Durchführung einer CT-Polytraumaspire indiziert, um das genaue Verletzungsausmaß und eventuelle Begleitverletzungen sicher und rasch zu diagnostizieren (31-35).

Des Weiteren wurden im Zuge des „Primary Surveys“ eine FAST- Sonographie (36) sowie, je nach Unfallmechanismus und Vorerkrankung, weitere Diagnostiken durchgeführt.

Das folgende Schaubild (Abb.4) (37) zeigt ein aus unserer Sicht sinnvolles Vorgehen, wie es auch in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau praktiziert wird. Dabei ist es wichtig nach der primären Stabilisierung des Patienten möglichst zeitnah eine Bildgebung durchzuführen, um eine Instabilität der Wirbelsäule zu identifizieren.

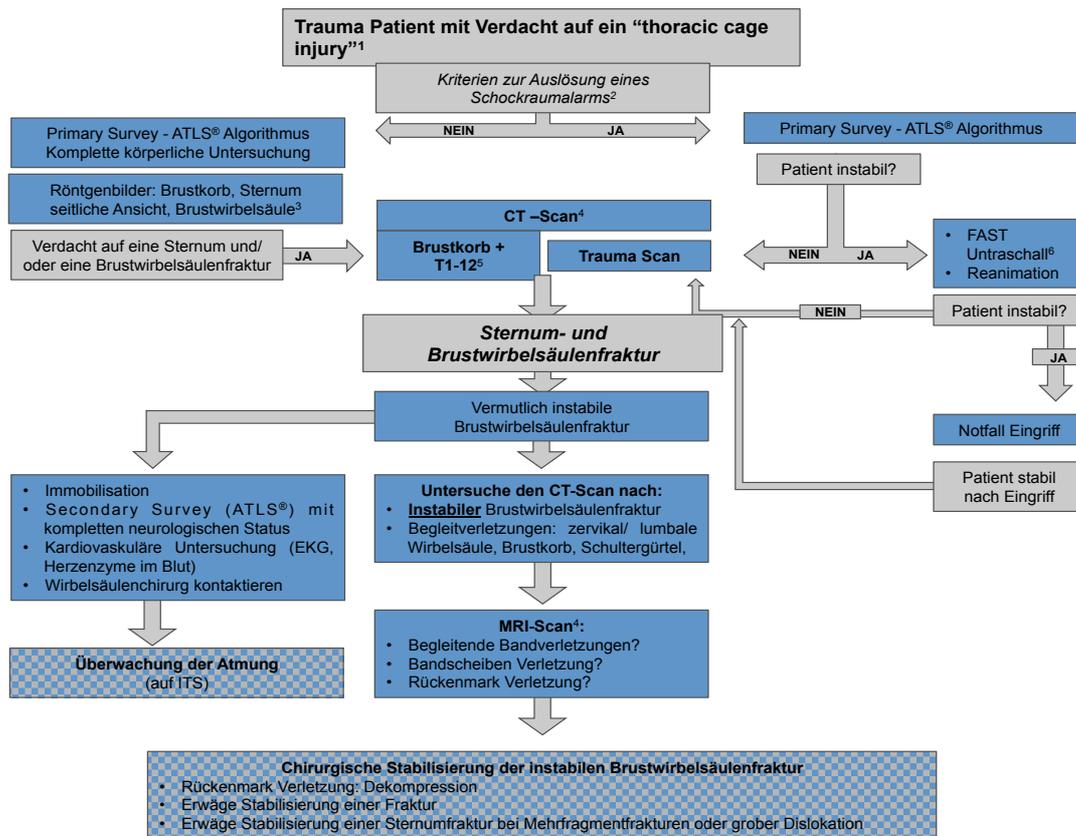


Abbildung 4: Diagnostischer Algorithmus bei vermuteter Thorax-Ring-Verletzung

- 1: Ein Verdacht auf ein „thoracic cage injury“ besteht, wenn das Bewusstsein gestört ist, bei Bestehen eines neurologischen Defizits, Rückenschmerzen mit verhärteter Muskulatur, Intoxikation, schweren Extremitäten-Verletzungen, Brustschmerzen, Dyspnoe, Emphysem, instabile(r)m Thorax (37)
- 2: Die Konsensus Kriterien für die Alarmierung eines Schockraumteams sind aufgelistet im „American College of Surgeons Resources of Optimal Care of the injured Patient 2014“ (38) oder der S3 Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) (39)
- 3: Zusätzliche radiologische Untersuchung der cervicalen und lumbalen Wirbelsäule werden empfohlen sowie weitere Untersuchungen aller betroffenen Körperregionen.
- 4: Wenn nicht verfügbar sollte über eine Verlegung in ein überregionales Traumazentrum diskutiert werden
- 5: Zusätzliche radiologische Untersuchungen der cervicalen und lumbalen Wirbelsäule sollten diskutiert werden
- 6: FAST Ultraschall (Focused Assesment with Sonographie for Trauma)
- 7: Die „thoracic cage injury“ erfordert besondere Aufmerksamkeit, wenn die Sternumfraktur und die Fraktur der Wirbelsäule nicht von dem selben chirurgischen Team versorgt wird.

1.4 Pathologie

In den folgenden Kapiteln werden die Pathologien der Verletzungen erläutert, die für unsere Studie von Bedeutung sind. Dabei werden besonders die Wirbelsäulenfrakturen und deren Einteilung beschrieben.

1.4.1 Frakturen der BWS (Klassifikation)

Es werden verschiedene Klassifikationen der Wirbelsäulenfrakturen unterschieden. Die Einteilungen nach anatomischen Strukturen berücksichtigen die Höhe der Fraktur.

Weiter kann man die Frakturen nach verletzten Strukturen unterscheiden: Hier werden vor allem neben den knöchernen Verletzungen auch Verletzungen der Ligamenti sowie der Disci berücksichtigt.

Wichtig ist auch die Stellung der Wirbelkörper zueinander. Hier wird vor allem auf eventuelle Dislokationen geachtet, welche auf eine Verletzung des Rückenmarks hindeuten könnten (40).

Es gibt darüber hinaus viele verschiedene spezielle Klassifikationen. Für diese Studie sind jedoch die Frakturen der Brustwirbelsäule von besonderem Interesse und deshalb werden hier die geläufigsten Klassifikationen in diesem Bereich der Wirbelsäule vorgestellt.

Eine sehr häufig angewandte Klassifikation der BWK-Fraktur ist die Einteilung nach Denis et al. (41). Sie beruht auf einer Untersuchung von 412 Patienten, die 1983 im *Spine* publiziert wurde. Innerhalb dieser Untersuchung wird die Wirbelsäule von ventral nach dorsal in drei Säulen eingeteilt. Die vordere Säule wird durch den vorderen Teil des Wirbelkörpers sowie durch die dazwischen liegenden Bandscheiben gebildet. Die hintere Säule besteht aus den Wirbelfortsätzen, den Ligamenti interspinosi, dem Ligamentum supraspinosus und dem Ligamentum flavum. Die Innovation dieser Einteilung besteht in der Definition einer dritten Säule, die sich zwischen dem Ligamentum longitudinale und dem Ligamentum anterior befindet. Diese Säule wird durch die Hinterkante des Wirbelkörpers, das Ligamentum posterior sowie den hinteren Anteil der Bandscheibe gebildet. Diese Säule sieht die Einteilung nach Denis als die stabilitätsgebende Säule an.

Als instabile Verletzung gilt eine Fraktur, wenn mindestens zwei dieser beschriebenen Säulen beschädigt sind. Eine viel beachtete Klassifikation, die auch heute noch in den meisten Kliniken Anwendung findet, ist die Einteilung nach Magerl et al. (42).

Sie beruht auf einer Untersuchung, die über den Zeitraum von zehn Jahren durchgeführt wurde und im Jahre 1994 im *European Spine Journal* veröffentlicht wurde. Diese Einteilung stützt sich auf ein *Zwei-Säulen-Konzept*, bei welchem die vordere Säule aus dem vorderen Teil des Wirbelkörpers und den dazwischen liegenden Bandscheiben besteht. Die hintere Säule setzt sich aus der Hinterkante der Wirbelkörper, den dorsalen Bandscheibenanteilen, den Ligamenti posteriores, dem Ligamentum flavum, den Ligamenti interspinalis sowie dem Ligamentum supraspinalis zusammen. Diese Einteilung berücksichtigt neben der Anatomie auch die Kräfte, die bei dem Unfall auf die Wirbelsäule eingewirkt haben. Sie teilt die Frakturen in drei Gruppen (A,B,C) ein.

Eine Typ A- Verletzung wird durch eine axiale Stauchung verursacht und zeigt sich dann in einer Kompressionsfraktur. Die Typ A- Fraktur ist somit eine stabile Fraktur, bei der die hinteren Bandstrukturen unverletzt bleiben.

Die Typ A- Verletzung wird in weitere Untergruppen eingeteilt:

Die Deckplattenimpressionsfraktur wird als A1.1 bezeichnet. Die hintere Kante des Wirbelkörpers ist dabei intakt. Diese Verletzung ist am häufigsten bei jungen und osteoporotischen Wirbelsäulen zu sehen.

Der Keilbruch wird als A1.2 bezeichnet und wird in einen kranialen und einen lateralen Keilbruch unterteilt. Der Verlust der anterioren Wirbelhöhe ergibt eine Abwinkelung von mehr als fünf Grad. Auch hier bleibt die hintere Kante des Wirbelkörpers wie bei der Fraktur A1.1 intakt. Der Höhenverlust der anterioren Wirbelhöhe kann im oberen Teil des Wirbelkörpers (superiore Keilfraktur), im unteren Teil des Wirbelkörpers (inferiorer Keilbruch) oder anterolateral (seitliche Keilfraktur) auftreten. Die anterolaterale Keilfraktur geht mit einer skoliosierenden Deformation einher.

A1.3 bezeichnet die so genannte Wirbelkörperimpaktion. Diese Verletzung kann man häufig bei osteoporotischen Wirbelsäulen beobachten. Oft ist eine Minderung der Wirbelkörperhöhe zu beobachten, ohne jedoch signifikante Dislokationen von Wirbelkörperfragmenten

aufzuweisen. Der Wirbelkanal bleibt hier unversehrt und deshalb sind diese Verletzungen nur in Ausnahmefällen mit neurologischen Schäden assoziiert.

Frakturen mit einer Spaltbildung des Wirbelkörpers werden als A2-Frakturen nach Magerl et al. (42) bezeichnet. Hier werden Spaltbildungen in der Frontalebene von solchen der Sagittalebene unterschieden. Die hintere Säule ist dabei nicht betroffen und deshalb kommen neurologische Defizite sehr selten vor. Auch die A2-Frakturen werden noch weiter unterteilt. A2.1-Frakturen treten sehr selten in der Brust- und Lendenwirbelsäule auf. Sie tauchen in der Regel als begleitende Läsion bei Dreh- oder Berstungsfrakturen auf und werden in andere Gruppen klassifiziert.

Die A2.2-Fraktur weist einen glatten, schmalen koronaren Frakturspalt auf. Die Hinterkante des Wirbelkörpers bleibt auch hier intakt, daher wird diese Verletzung auch zu den stabilen Frakturen gezählt.

Der dislozierte frontale Spaltbruch wird als A2.3-Fraktur klassifiziert. Hier nimmt der zentrale Teil des Wirbelkörpers an Höhe ab und Deckplattenmaterial gelangt in den Frakturspalt. Das vordere Hauptfragment wird deutlich nach vorne verlagert, der Widerstand gegen Flexions- und Kompressionskräfte wird verringert.

Bei A3-Frakturen ist der Wirbelkörper teilweise oder vollständig fragmentiert. Die Fragmente der hinteren Kante können in den Spinalkanal eintreten und verursachen dort bleibende Nervenverletzungen. Der hintere Bandkomplex ist intakt. Wenn die Wirbelbögen oder Dornfortsätze betroffen sind, verlaufen die Frakturen immer vertikal. Ihr Beitrag zur Instabilität ist jedoch zu vernachlässigen. Die Häufigkeit der Nervenverletzung ist hoch und erhöht sich stetig von Untergruppe zu Untergruppe.

A3.1-Fraktur: Der obere oder untere Anteil des Wirbelkörpers ist frakturiert, während die andere Hälfte intakt bleibt. Insbesondere Fragmente der Hinterkante des Wirbelkörpers können weiter in den Spinalkanal dislozieren, wenn die Fraktur durch Flexions- und Kompressionskräfte verursacht wurde.

Bei der A3.2-Fraktur ist meist die obere Hälfte des Wirbelkörpers zertrümmert, während die andere meist untere Hälfte sagittal gespalten wird. Die Lamina oder Dornfortsätze sind vertikal frakturiert. Solche Berstungs-Spalt-Brüche sind instabiler und häufiger mit neurologischen Verletzungen assoziiert als unvollständige Berstungsfrakturen.

Die kompletten Berstungsfrakturen werden als A3.3-Fraktur klassifiziert. Der gesamte Wirbelkörper ist zertrümmert. Komplette Berstungsfrakturen sind flexions- und kompressions- instabil. Die Flexion und die Kompression können einen zusätzlichen Verlust der Wirbelkörperhöhe zur Folge haben. Der Wirbelkanal ist oft deutlich von hinteren Wandfragmenten verengt und die Häufigkeit von Nervenverletzungen ist entsprechend hoch.



Abbildung 5: A3-Fraktur des thorakolumbalen Übergangs

Das Hauptkriterium einer B- Verletzung ist eine transversale Unterbrechung einer oder beider Säulen. Flexions-Distraktionskräfte verursachen eine hintere Unterbrechung und Dehnung (Gruppen B1 und B2). Die Hyperextension mit oder ohne anteriorer bzw. posteriorer Scherbewegung verursacht eine vordere Unterbrechung und Dehnung (Gruppe B3).

Das führende Merkmal der B1-Fraktur ist die Verletzung des hinteren Bandkomplexes mit bilateraler Subluxation, Luxation oder Facettenfraktur.

Die posteriore Verletzung kann entweder mit einer Querunterbrechung des Discus oder in Kombination mit einer Typ A- Verletzung des Wirbelkörpers verbunden sein. Reine Flexion-Subluxationen sind nur flexionsinstabil, während komplette Luxationen flexions- und distraktionsinstabil sind.

Kombinationen mit einer instabilen Typ A- Kompressionsfraktur des Wirbelkörpers sind außerdem in axialer Richtung instabil. Neurologische Defizite sind häufig und werden durch translatorische Dislokationen und/oder durch in den Spinalkanal dislozierte Wirbelkörperfragmente verursacht.

Die Typ B1.1-Verletzungen sind überwiegend mit Verletzungen der Ligamenti und mit Querverletzungen der Zwischenwirbelscheiben verbunden.

Die Typ B1.2-Verletzungen entstehen, wenn die Querachse des Biegemoments nahe der Hinterkante des Wirbelkörpers liegt. Eine kräftige Beugebewegung kann dann zu einer Querverletzung der hinteren Säule und gleichzeitig zu einer Kompressionsverletzung am Wirbelkörper führen.

Das führende Kriterium der B2- Verletzung ist eine transversale Unterbrechung der hinteren Säule. Diese Unterbrechung wird durch die Verletzung der Laminae und der Pedikel verursacht. Das Ligamentum interspinosus und/ oder das supraspinosus sind/ ist gerissen. Wie bei der Typ B1- Verletzung kann die hintere Läsion entweder mit einer Querzerreiung der Bandscheibe oder einer Typ A- Fraktur des Wirbelkörpers kombiniert sein. Mit Ausnahme der *Queren Zweipfeiler-Fraktur* ist der Grad der Instabilität sowie die Inzidenz von neurologischen Defiziten höher als bei den Typ B1- Verletzungen.

Die B2.1- Verletzung wird auch als horizontale Zweipfeilerfraktur bezeichnet und tritt in der Regel in den oberen Segmenten der Lendenwirbelsäule auf. Sie ist flexionsinstabil. Da es sich um eine rein knöcherne Läsion handelt, zeichnet sie sich durch hohes Heilungspotential aus. Neurologische Defizite treten nur selten auf.

Die B2.2- Verletzung wird auch *Flexionsdistraktionsverletzung* genannt. Diese tritt überwiegend in der dorsalen Säule mit einer Querzerreiung der Bandscheibe auf.

B2.3- Verletzungen, die Hyperextensionsscherverletzungen, betreffen ebenfalls den hinteren Pfeiler und sind mit einer Typ A-Fraktur des Wirbelkörpers vergesellschaftet.

Eine reine diskoligamentäre Verletzung ist schwer zu diagnostizieren. Sie wird unter B3.1-Fraktur klassifiziert. Das Vorhandensein einer solchen Verletzung kann durch das Verbreitern des Bandscheibenraums angezeigt werden und durch die Kernspintomographie bestätigt werden.

Hyperextensions-Subluxations-Verletzungen können manchmal mit einer Fraktur der Lamina, der Gelenkfortsätze oder mit einer Fraktur der Wurzel des Pedikels einhergehen.

Die B3.2 Verletzung wird auch als Hyperextensionsspondylolyse bezeichnet. In der Untersuchung von Margel et al. (42) wurden nur Verletzungen mit einer ventralen Dislokation gefunden. Diese Patienten wiesen keine neurologischen Defizite auf. Demgegenüber wurde in der Untersuchung von Denis et al. (41) die Verletzung mit einer

dorsalen Dislokation beschrieben, bei der die Patienten unter schweren neurologischen Ausfällen litten.

Bei der B3.3- Verletzung kommt es zu einer hinteren Luxation. Diese ist eine der schwersten Verletzungen der Wirbelsäule und ist oft mit vollständiger Paraplegie verbunden.

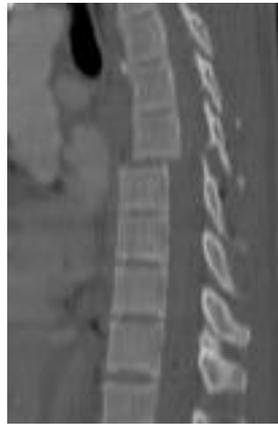


Abbildung 6: CT- Aufnahme einer Typ B3.3 Verletzung der oberen BWS

Der Gruppe der Typ C- Verletzungen kommt die Rotationskomponente hinzu.

Die C1-Verletzung ist eine Kombination aus der Rotationskomponente sowie einer Typ-A-Läsion. Die Seitenwand des Wirbelkörpers bleibt oft intakt.

Bei den am häufigsten gesehenen C2- Läsionen sind verschiedene Varianten der Flexions-Subluxations- Verletzungen kombiniert mit einer Rotation.

Die C3- Verletzung bezeichnet eine Rotationsscherverletzung. Diese kann horizontal oder auch schräg verlaufen. Diese Verletzungen sind aufgrund der Scherung in der horizontalen Ebene offensichtlich gefährlich für das Rückenmark.

2013 wurde die Einteilung nach Magerl überarbeitet (43). Diese überarbeitete Version wird in dieser Dissertation verwendet.

Als Typ A-Verletzungen werden Frakturen bezeichnet, bei denen die anteriore Säule frakturiert ist, bei Typ-B-Verletzungen fehlt die Stabilität der posterioren Säule und als Typ-C-Verletzungen werden Frakturen klassifiziert, die in der anterioren und posterioren Säule Instabilität aufweisen.

Es wird weiter auf die Untergruppen (A1.1, A1.2 usw.) verzichtet, da laut dieser Studie keine klinische Relevanz für diese Unterteilung besteht. Da sich aber in den Untergruppen A3.1 vs A3.2 und A3.3 signifikante Unterschiede zeigten, wurden diese als A3-Fraktur und A4-Fraktur bezeichnet. A3-Frakturen bezeichnen so unvollständige und A4-Frakturen vollständige Berstungsfrakturen.

Die B-Frakturen werden in zwei Subgruppen unterteilt. B1 Verletzungen bezeichnen horizontale Frakturen, die durch den Wirbelkörper, die Pedikel und die posterioren Bänder ziehen. Als Typ B2-Verletzungen werden alle anderen Frakturen bezeichnet, bei denen die anteriore Säule stabil und die posteriore Säule instabil ist.

Typ B3-Frakturen nach Magerl, werden in dieser Klassifikation in die Typ C-Verletzungen eingruppiert.

Typ C-Verletzungen bezeichnen Frakturen, die zu einer Dislokation der Wirbelsäule in anteriore und posteriore Richtung führen.

Typ C1-Verletzungen führen zu einer Hyperextension, Typ C2-Verletzungen sind durch eine Instabilität der Wirbelsäule gekennzeichnet, die meistens zu einer Translokation und Rotation führt und Typ C3- Verletzungen bezeichnen eine komplette Unterbrechung der kranialen und kaudalen Teile der Wirbelsäule.

Eine weitere Einteilung, die in den USA viel Verwendung findet, ist: „The thoracolumbar injury severity score (TLICS) (44). Die Verfasser dieser Einteilung haben einen Verletzungsschweregrad-Score basierend auf drei Hauptvariablen entwickelt: Dem Verletzungsmechanismus, der durch das radiologische Bild ermittelt wird, der Integrität des posterioren Bandkomplexes und dem neurologischen Status des Patienten. Durch systematisches Zuweisen spezifischer Punktwerte innerhalb jeder Kategorie, basierend auf dem Schweregrad der Verletzung, kann ein Gesamtpunktwert errechnet werden. Dieser Score kann dann auch zur Behandlungsplanung verwendet werden.



Abbildung 7: CT-Aufnahme einer Typ C-Verletzung der BWS

2016 ist eine neue Klassifikation der AO publiziert worden (45), die sich auf die Klassifikation nach Magerl (42) und TLICS (46) stützt und zusätzlich die resultierende neurologische Verletzung sowie die begleitenden Erkrankungen wie Osteoporose oder ankylisierende Erkrankungen berücksichtigt.

1.4.2 Frakturen des Sternums

Im Gegensatz zu Frakturen der Wirbelsäule existieren in der Literatur keine einheitlichen Klassifikationen für Sternumfrakturen. Aufgrund dessen wird im Folgenden eine topographische Einteilung der Sternumfrakturen beschrieben und in dieser Studie verwendet. Das Brustbein wird anhand der Costosternalgelenke in sieben Zonen eingeteilt. Das Manubrium sterni stellt die Zone 1 dar, die Synchondrosis manubriosternalis die Zone 2 und das Corpus sterni einschließlich des Schwertfortsatzes die Zonen 3-7 (siehe Abbildung 8).

Horizontale Frakturverschiebungen wurden in morphologisch nicht verschobene Frakturen (1: nicht disloziert), Frakturdislokationen bis zur Hälfte des kortikalen Durchmessers (2: moderat disloziert) und in eine größere Verschiebung von mehr als der Hälfte des kortikalen Durchmessers (3: schwer disloziert) eingeteilt (siehe Abbildung 9).

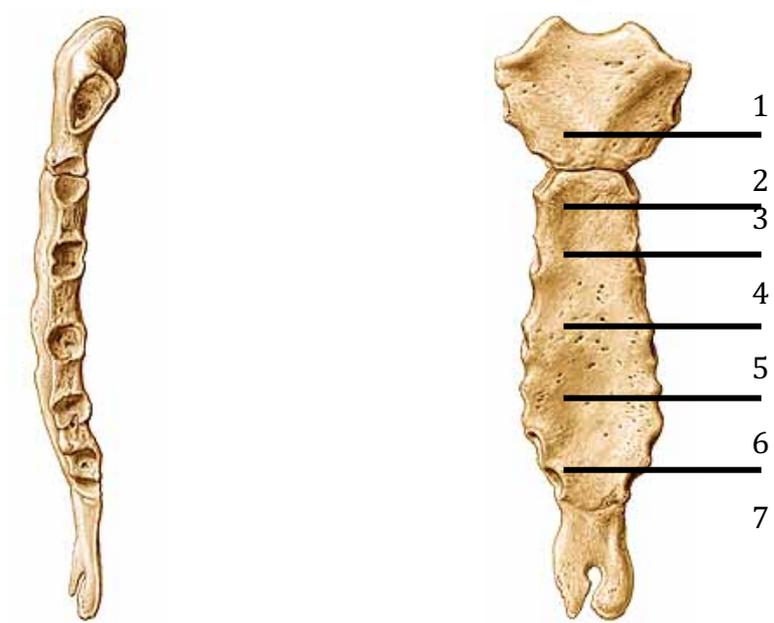
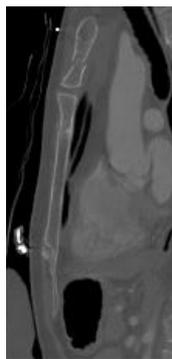


Abbildung 8: Einteilung der Sternumfrakturen in sieben verschiedene Höhen abhängig von den korrespondierenden Ansätzen der Rippen

(Putz R, Papst R. Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 2. München:

Urban & Fischer; 2000).



nicht disloziert(I)



moderat disloziert (II)



schwer disloziert (III)

Abbildung 9: CT- Aufnahmen von Sternumfrakturen (nicht disloziert, moderat disloziert und grob disloziert)

1.4.3 Definition des Schweregrades der Gesamtverletzung anhand des ISS

Bei mehrfachverletzten Patienten kann die Gesamtverletzungsschwere mit dem „Injury Severity Score“ (ISS) erfasst werden, welcher 1974 von Baker et al. (47) beschrieben wurde. Mit Hilfe des ISS können Werte zwischen 0-75 ermittelt werden. Ein Wert von 0 bedeutet, dass der Patient unverletzt ist, ein Wert von 75 drückt die schwerste Verletzungskombination aus. Ab einem Wert von über 15 gelten die Patienten definitionsgemäß als polytraumatisiert (48).

Um den jeweiligen Wert ermitteln zu können, wird der Körper nach der „Abbreviated Injury Scale“ (49) (AIS) in **sechs Regionen** eingeteilt:

Region 1 schließt den Kopf mit der Halswirbelsäule ein. Der Gesichtsschädel ist ausgenommen. Inbegriffen ist außerdem das Gehirn und auch die Asphyxie wird in dieser Gruppe subsummiert.

Region 2 beinhaltet den Gesichtsschädel und die Gesichtsteile.

In der **Region 3** werden die Verletzungen des Thorax kodiert. In diese Gruppe gehören die Brustwirbelsäulenfrakturen, die Rippenfrakturen sowie die Frakturen des Sternums. Auch alle inneren Organe des Brustkorbs inklusive des Diaphragmas werden zu dieser Region gezählt.

In der **Region 4** werden Verletzungen des Abdomens klassifiziert. Dazu zählen alle Organe des Abdomens, des großen und kleinen Beckens sowie die Lendenwirbelsäule.

Zu der **Region 5** zählen Verletzungen der Extremitäten wie Verstauchungen, Prellungen und Frakturen sowie Verletzungen des knöchernen Beckens.

In die letzte und **6. Region** gehören Verletzungen der Haut und des Unterhautgewebes. Auch Verbrennungen, Unterkühlungen und Stromverletzungen werden hier berücksichtigt.

Für jede Region kann ein Punktwert von 1-6 vergeben werden. Ein Punkt bedeutet eine geringe Verletzung in der jeweiligen Region und sechs Punkte stehen für eine maximale (letale) Verletzung in dieser Region.

Die drei Regionen mit den höchsten Werten werden jeweils zum Quadrat genommen und dann addiert. Wird in einer Region ein Wert von 6 vergeben, so resultiert für den gesamt ISS ein Zahlenwert von 75. Ist in einer Gruppe keine Verletzung diagnostiziert worden, so wird in dieser Gruppe die Zahl 0 vergeben.

1.5 Therapie

Im Rahmen eines Hochgeschwindigkeitstraumas treten häufig Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule auf. Dabei ist die Erkennung von Verletzungen der Wirbelsäule und die korrekte Klassifizierung der Frakturen von besonderer Bedeutung, weil anhand dieser in Zusammenschau mit Begleitverletzungen und klinischem Zustand die Indikation zur operativen Versorgung gestellt wird und das operative Vorgehen festgelegt wird (50). Ein konservatives Vorgehen kann gewählt werden, wenn die Höhenminderung des Wirbelkörpers gering ist und die Fraktur nicht zu einer deutlichen Kyphosierung geführt hat (40).

Wenn eine Fraktur als instabil eingeschätzt wird, der Kyphosewinkel zu groß ist, der Spinalkanal eingeengt ist oder wenn der Wirbelkörper im Verlauf weiter sintert, ist ein operatives Vorgehen indiziert (40).

Man unterscheidet bei der operativen Versorgung zunächst die Vertebroplastie/ Kyphoplastie und die Spondylodese.

Die Vertebroplastie/ Kyphoplastie wird häufig bei osteoporotischen Sinterungsfrakturen angewendet. Bei dieser Operation wird Zement in den Wirbelkörper eingebracht und dieser dadurch stabilisiert. Im Unterschied zu der Vertebroplastie wird bei der Kyphoplastie zunächst mittels eines Ballons der Wirbelkörper aufgerichtet und dann der Zement in den so entstandenen Hohlraum injiziert (51).

Der Vorteil dieser Methoden gegenüber einem konservativen Vorgehen wurde in mehreren Studien gezeigt (52, 53).

Die Spondylodese wird in eine dorsale und in eine ventrale Instrumentierung unterteilt (40). Bei sehr instabilen Frakturen kann auch eine Kombination aus ventraler und dorsaler Stabilisierung sinnvoll sein (51). Zunächst wird häufig mit einem dorsalen Zugang eine Stabilisierung mit einem Fixateur interne erreicht. Um die Fraktur, besonders bei einer Zerstörung der vorderen Säule, zu stabilisieren ist auch eine Stabilisierung von ventral erforderlich. Da der offene ventrale Zugang mit einer erhöhten Mortalität und erhöhtem Blutverlust vergesellschaftet ist, wird heutzutage regelhaft minimalinvasiv operiert. Im thorakolumbalen Übergang bietet sich die ventrale thorakoskopische Spondylodese an, welche jedoch sehr anspruchsvoll ist (54).

Bei einer kompletten Zerstörung des Wirbelkörpers kann es auch notwendig sein, den Wirbelkörper durch das Einbringen eines Implantates (Cage) zu ersetzen. (51).

2 Patienten und Methoden

2.1 Patienten

In dieser retrospektiven Studie wurden Patienten, die zwischen 2003 und 2012 in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau (BGU Murnau), einem „Level 1-Traumazentrum“, aufgenommen und therapiert wurden, eingeschlossen. Da die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur eine seltene Verletzung ist, entschieden wir uns für einen möglichst langen Zeitraum, um eine große Patientengruppe auswerten zu können. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird durch die Auswertung eines langen Zeitraums verstärkt.

Das Jahr 2003 wählten wir als Start unserer Auswertung, weil ab diesem Zeitpunkt die Patientendaten in der Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau digitalisiert wurden. Dies ermöglichte uns einen uneingeschränkten Zugriff auf alle Patientendaten und erleichterte uns die Auswertung.

Ausgeschlossen von der Studie wurden Patienten, die den Unfall außerhalb des oben genannten Zeitraums erlitten hatten, auch wenn diese in dem Untersuchungszeitraum behandelt wurden. Des Weiteren wurden Patienten ausgeschlossen, die nicht in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau erstversorgt wurden, sondern für eine Anschlussbehandlung in diese Klinik verlegt wurden. Bei diesen Patienten konnten wir nicht davon ausgehen, dass die Datensätze vollständig waren und das Behandlungskonzept identisch ausfiel.

Zudem wurden Patienten von der Studie ausgeschlossen, welche die Einschlusskriterien nicht im vollen Ausmaß erfüllten.

Die Patientendaten wurden nach folgenden Parametern analysiert:

- Demographische Daten
- Verletzungsmechanismus
- Polytraumatisierung mit entsprechendem ISS (Injury Severity Score)
- Dauer der mechanischen Beatmungstherapie
- Chirurgische Behandlung
- Überleben
- Begleitverletzungen des Thorax und des Schultergürtels sowie Verletzungen des

Rückenmarks. Diese Verletzungen wurden nach der American Spinal Injury Association (ASIA) klassifiziert.

2.1.1 Studienkohorte

Es wurden Patienten, die zwischen 2003 und 2012 in der BGU Murnau aufgrund einer in der Ganzkörper- Computertomographie diagnostizierten Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur erstversorgt wurden, untersucht.

2.1.1.1 Einschluss und Ausschlusskriterien

Für die Studienkohorte wurden folgende Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien festgelegt.

Einschlusskriterien:

- a): Unfallzeitpunkt zwischen 2003 und 2012
- b): Erstversorgung in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau (BGU Murnau)
- c): Durchgeführte Ganzkörper- Computertomographie bei der Aufnahme in die Klinik
- c): Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur

Ausschlusskriterien:

- a): Unfallzeitpunkt außerhalb des Zeitraums zwischen 2003 und 2012
- b): Verlegung aus einem anderen Klinikum nach stattgehabtem Unfall in die Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau
- c): Fehlen einer Ganzkörper- Computertomographie

d): Alle Patienten, welche die Einschlusskriterien nicht im vollen Maße erfüllten

2.1.1.2 Untergruppierung

Um die folgenden Fragestellungen zu beantworten, bildeten wir eine Untergruppe:

1. Ist die Sternumfraktur ein Indikator für eine instabile BWS- Fraktur?
2. Korreliert die Dislokation der Sternumfraktur mit der Instabilität der BWS-Fraktur?
3. Liegt gehäuft eine Instabilität vor, wenn die Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der BWS-Fraktur korreliert?

Diese Untergruppe hat folgende zusätzliche Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien:

Einschlusskriterien:

- a): Alter zum Zeitpunkt des Unfalls unter 50 Jahren
- b): ISS \geq 16 und damit per definitionem polytraumatisiert

Ausschlusskriterien:

- a): Alter zum Zeitpunkt des Unfalls über 50 Jahre
- b): ISS $<$ 16
- c): Osteoporotische oder pathologische Frakturen der BWS

2.1.2 Vergleichsgruppe

Die Studienkohorte wurde einem Vergleichskollektiv gegenübergestellt.

2.1.2.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Hier wurden folgende Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien festgelegt:

Einschlusskriterien:

- a): Unfallzeitpunkt zwischen 2003 und 2012
- b): Erstversorgung in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik
- c): Durchgeführte Ganzkörper- Computertomographie bei der Aufnahme in die Klinik
- c): Brustwirbelsäulenfraktur
- d): Alter zum Zeitpunkt des Unfalls unter 50 Jahren
- e): $ISS \geq 16$ und damit per definitionem polytraumatisiert

Ausschlusskriterien:

- a): Unfallzeitpunkt außerhalb des Zeitraums zwischen 2003 und 2012
- b): Verlegung aus einem anderen Klinikum nach stattgehabtem Unfall in die Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau
- c): Fehlen einer Ganzkörper- Computertomographie
- d): Alle Patienten, die die Einschlusskriterien nicht im vollen Maße erfüllen

d): Alter zum Zeitpunkt des Unfalls über 50 Jahre

e): ISS < 16

2.2 Methoden

2.2.1 Datenauswertung

Die Grundlage der elektronischen Datenerhebung stellte das KISS (Krankenhaus-Informationen-System) der BG Unfallklinik Murnau der Firma SAP® zur Verfügung. Die Datenbanken wurden anhand der ICD (Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision, German Modification, Version 2012, DIMDI, Deutschland) kodiert. Eine genaue Auflistung dieser Kodierungen findet sich im Anhang dieser Dissertation.

Zusätzlich zu den Verletzungen der Patienten erfassten wir folgende Daten:

Geburtsdatum, Geschlecht, Tag des Unfalls, Tag der Krankenhausaufnahme, evtl. Todesdatum, Tag der Krankenhausentlassung, Unfallmechanismus.

Die durch alle Begleitverletzungen entstandene Schwere der Gesamtverletzung wurde mittels des „Injury Severity Score (ISS)“ berechnet. (47).

Der bleibende neurologische Schaden wurde zum Zeitpunkt der Entlassung anhand der ASIA-Klassifikation eingeteilt. Diese Einteilung geht auf eine viel beachtete Publikation von Fraenkel (55), die im Jahre 1969 im *Paraplegia* erschien, zurück.

Zusätzlich werteten wir die Verlegungsbriefe der Intensivstation aus und zählten die Tage, die der Patient auf der Intensivstation verbracht hat sowie die Beatmungstunden. Auch zusätzliche intensivmedizinische Maßnahmen wie z.B. das Legen einer Thoraxdrainage wurden hier erfasst.

2.2.2 Radiologische Auswertung

Das CT- Bildmaterial bzw. die Bilder der konventionellen Röntgenaufnahmen wurden neben dem Verfasser dieser Dissertation von einem klinisch erfahrenen Unfallchirurgen sowie von Radiologen ausgewertet. In Zweifelsfällen haben wir einen gemeinsamen Konsens gefunden.

Die Frakturen der Brustwirbelsäule wurde nach der Einteilung von Margerl et al. klassifiziert (42). Genaueres zu dieser Einteilung ist dem Kapitel 1.4.1 zu entnehmen.

Für die Einteilung der Sternumfrakturen teilten wir das Sternum nach anatomischen Gesichtspunkten in sieben verschiedene Höhen ein und klassifizierten so diese Frakturen (siehe Abbildung 8). Des Weiteren wurde in den sagittalen CT-Schichten die Dislokation der

Sternumfraktur ausgemessen. Diese Frakturen des Sternums wurden dann in „nicht disloziert“, „weniger als eine halbe Schaftbreite disloziert“ und „mehr als eine Schaftbreite disloziert“ unterteilt. Näheres kann man dem Kapitel 1.4.2 entnehmen.

Alle weiteren knöchernen Verletzungen, die nach dem Unfall im Krankenhaus diagnostiziert wurden, sind anhand des Bildmaterials durch den Verfasser dieser Dissertation überprüft und ausgewertet worden.

2.2.2.1 Untersucher

Die Auswertung der CT-Bilder erfolgte von mindestens drei unabhängigen Untersuchern, einschließlich eines Radiologen, eines Unfallchirurgen und einem der Autoren dieser Studie. Ausgewertet wurden die Frakturen der Wirbelsäule, die eventuellen Sternumfrakturen sowie weitere begleitende Verletzungen. Im Falle einer Nicht-Übereinstimmung der Klassifizierung der Verletzung, wurde in der Gruppe der Untersucher diskutiert und ein Konsens gefunden.

2.2.2.2 BWK-Frakturen

Es wurde anhand der CT- Bilder die Verletzungsmorphologie untersucht. Besonderes Augenmerk wurde hier auf die Dislokation, die Integrität des posterioren Ligamentkomplexes sowie die Morphologie der Wirbelkörperfraktur gelegt (42, 43, 56).

Die Brustwirbelkörperfrakturen wurden nach der AO/OTA- Klassifikation nach Magerl et al. klassifiziert (42). Die Frakturen wurden zusätzlich nach der „Thoracolumbar injury classification and severity score“ (TLICS)-Klassifikation eingeteilt (56). „Burst“- Frakturen (AO / OTA Typ A3 und A4) wurden als instabile Frakturen klassifiziert. Verletzungen des posterioren Ligamentums (AO / OTA Typ B) und dislozierte Frakturen (AO / OTA Typ C) galten als sehr instabile Verletzungen. Zusätzlich zu den oben genannten Verletzungseinteilungen basiert die TLICS-Klassifikation auf der Festlegung des neurologischen Status der Patienten. Die betroffenen Ebenen wurden dokumentiert und bei multi-segmentalen BWS-Frakturen wurde die Fraktur mit dem höchsten Grad an Instabilität (aufgrund der AO / OTA-Klassifizierung (42, 43)) in die statistische Analyse aufgenommen.

2.2.2.3 Sternumfrakturen

Eine Sternumfraktur wurde bei einer Unterbrechung der Kortikalis diagnostiziert. Es wurde zusätzlich dokumentiert, ob die Sternumfraktur mit oder ohne Dislokation einherging. Die Dislokationen wurden weiter in eine „weniger als eine halbe Schaftbreite disloziert“ und in eine „mehr als eine Schaftbreite des Sternums disloziert“ unterteilt. Für die topographische Analyse unterteilten wir das Sternum in sieben Zonen (siehe Abbildung 9). Das Manubrium sterni repräsentierte die Zone I, die Synchronosis manubriosternalis die Zone II und der Corpus sterni jeweils zwischen den Artikulationen des Sternums mit den Rippen einschließlich dem Processus xiphoideus die Zonen III-VII (12).

2.2.3 Statistische Auswertung

Wir entschieden uns bei der Durchführung unserer Studie für ein retrospektives Studiendesign. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS1 Statistics for Windows 19.0 (IBM Corp., Armonk, New York, U.S.A.) durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden in dieser Studie als Mittelwert mit Standardabweichungen (SD) dargestellt.

Die Datensätze, die wir mit Hilfe des KISS (Krankenhaus-Informationen-System) der BG Unfallklinik Murnau der Firma SAP generierten, wurden mit Hilfe von SPSS weiterverarbeitet.

Das Signifikanzniveau für kategoriale Daten haben wir mit Hilfe des *Pearson Qui-Quadrat-Test* errechnet. Varianzanalysen wurden zur Untersuchung von Unterschieden zwischen Gruppen durchgeführt. Numerische Daten wurden mit Hilfe des *Kolmogorov Smirnov Test* nach Normalverteilung getestet. Statistische Unterschiede bei angenommenen parametrischen Daten wurden mit Hilfe des abhängigen *t-Tests* untersucht. Als signifikant wurde ein P-Wert von $< 0,05$ definiert.

Für die Veröffentlichung dieser Studie und der dazugehörigen Bilder liegt uns eine schriftliche Einverständniserklärung der Patienten vor. Die Durchführung der Studie wurde von der Koordinationsstelle für klinische Studien an der BG Unfallklinik genehmigt und auf *ClinicalTrials.gov* gespeichert.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Ergebnisse der Studienkohorte

In dem Zeitraum zwischen 2003 und 2012 wurden in der BG Unfallklinik Murnau 1980 Patienten mit 3562 Frakturen der Brustwirbelsäule (im Durchschnitt 1,8 Frakturen) und 396 Patienten mit Sternumfrakturen behandelt. Bei 206 Patienten wurde das kombinierte Verletzungsmuster aus Sternumfraktur und begleitender Wirbelsäulenfraktur (einschließlich der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule) diagnostiziert. Insgesamt erlitten 130 Patienten eine Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur. Bei 81 bzw. 82 Patienten wurden neben der Brustwirbelsäulenfraktur auch noch Frakturen der Hals- bzw. der Lendenwirbelsäule diagnostiziert. Die Frakturen der HWS und der LWS werden in dieser Arbeit nicht weiter analysiert.

Insgesamt 64 Patienten erlitten eine Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur, waren zum Zeitpunkt des Unfalls unter 50 Jahre und hatten einen ISS von 16 und mehr (Subgruppe 1). Verglichen wurde diese Subgruppe mit einer Gruppe von Patienten, die ebenfalls zum Zeitpunkt des Unfalls unter 50 Jahre waren, einen ISS 16 hatten und eine Brustwirbelsäulenfraktur ohne eine begleitende Sternumfraktur erlitten hatten. In diese Gruppe wurden 122 Patienten eingeschlossen (Subgruppe 2) (Abbildung 10).

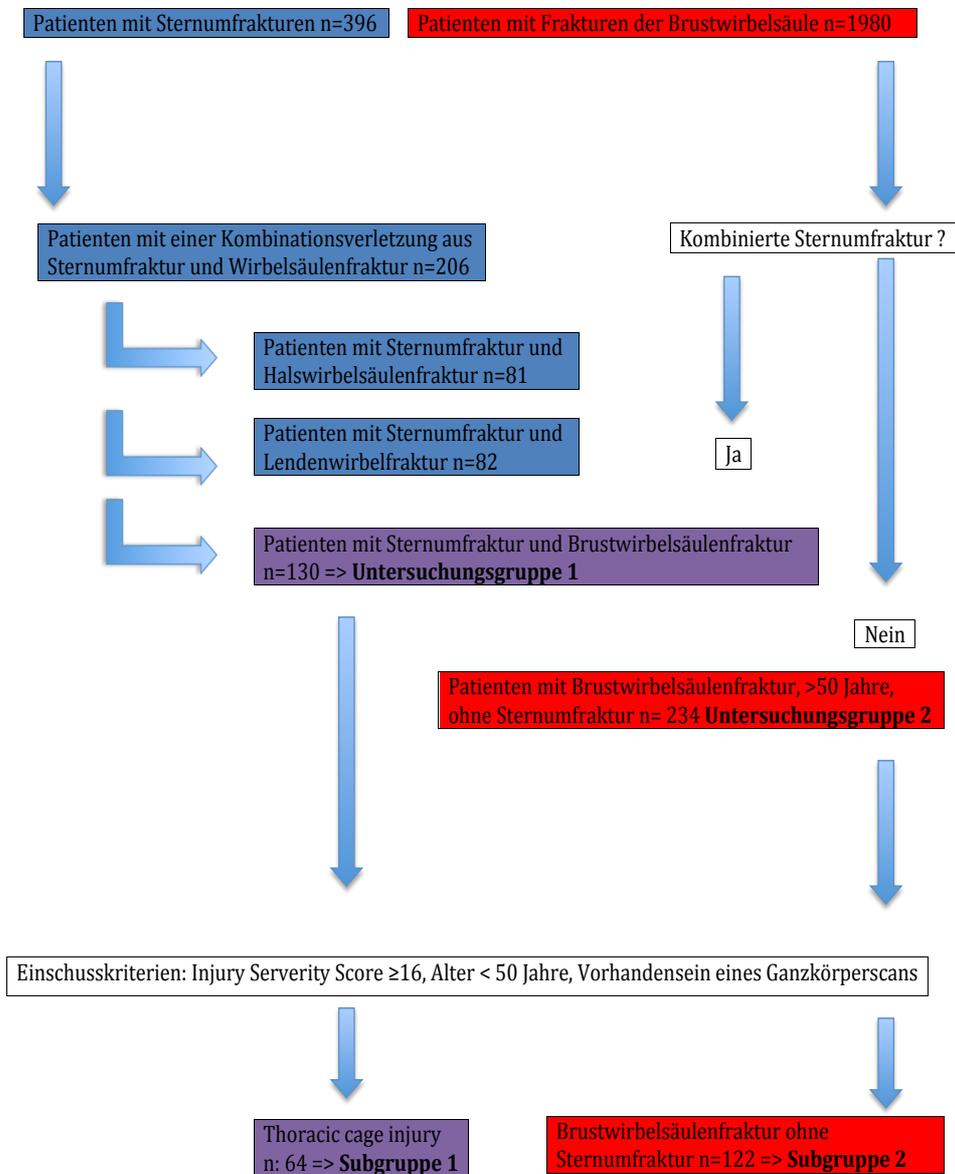


Abbildung 10: Darstellung des Selektionsprozesses für die Studiengruppe

3.1.1 Gesamte Kohorte

In die gesamte Kohorte wurde die Untersuchungsgruppe 1 und die Untersuchungsgruppe 2 eingeschlossen.

Die Untersuchungsgruppe 1 hatte folgende Einschlusskriterien:

- Unfall zwischen 2003 und 2012
- Fraktur der Brustwirbelsäule
- Sternumfraktur
- Aufnahme in die Unfallklinik Murnau spätestens 12 Stunden nach dem Unfallereignis

Die Untersuchungsgruppe 2 hatte folgende Einschlusskriterien:

- Unfall zwischen 2003 und 2012
- Fraktur der Brustwirbelsäule
- Keine Sternumfraktur
- Alter \leq 50
- Aufnahme in die Unfallklinik Murnau spätestens 12 Stunden nach dem Unfallereignis

3.1.1.1 Demographische Daten

Untersuchungsgruppe 1:

In der Untersuchungsgruppe 1 wurden 130 Patienten eingeschlossen. Sie waren überwiegend männlich (77,7%) und das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 49,6 (17- 89) Jahre. Der durchschnittliche ISS betrug 28,5, 96 (73,8%) Patienten wiesen einen $ISS \geq 16$ auf und erfüllten damit die Kriterien eines Polytraumas. Das Hochgeschwindigkeitstrauma war mit 74,6% überrepräsentiert, der führende Unfallmechanismus war der PKW- Unfall.

10 Patienten erlagen ihren Verletzungen und damit lag die Mortalität bei 13%.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Verteilung der Unfallursachen in absoluten Zahlen in einem Kreisdiagramm.

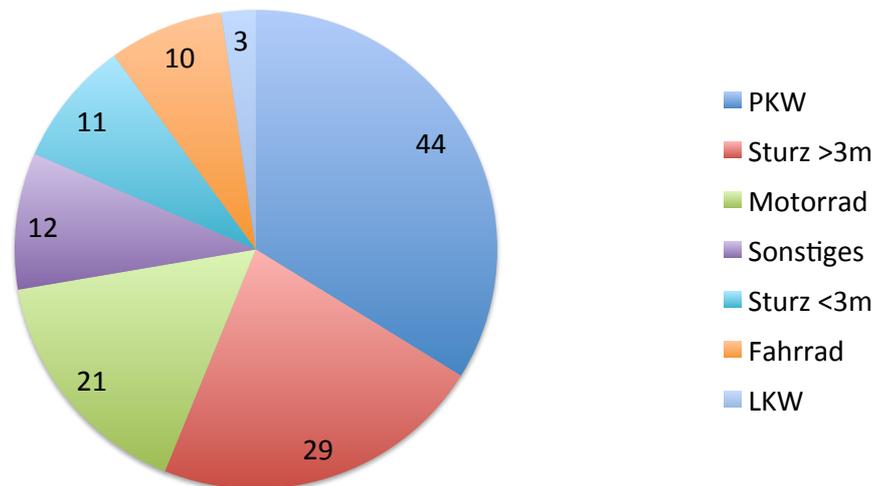


Abbildung 11: Kreisdiagramm der Unfallursachen in absoluten Zahlen

Untersuchungsgruppe 2:

In der **Untersuchungsgruppe 2** wurden 234 Patienten eingeschlossen. Sie waren überwiegend männlich (71,8%) und das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 32 (7- 49) Jahre. Der durchschnittliche ISS betrug 12,8. 122 (52,1%) wiesen einen ISS \leq 16 auf und erfüllten damit die Kriterien eines Polytraumas. Das Hochgeschwindigkeitstrauma war mit 59% überrepräsentiert, der führende Unfallmechanismus waren Stürze aus großer Höhe.

Vier Patienten erlagen ihren Verletzungen und damit lag die Mortalität bei 1,7%.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Verteilung der Unfallursachen in absoluten Zahlen in einem Kreisdiagramm.

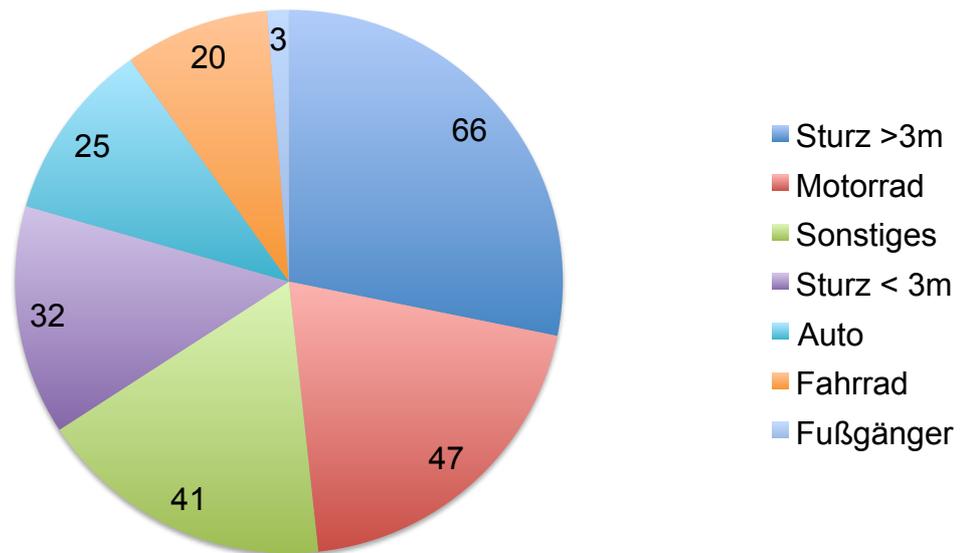


Abbildung 12: Kreisdiagramm der Unfallursachen in absoluten Zahlen

3.1.1.2 Radiologische Auswertung

Untersuchungsgruppe 1:

Die am häufigsten diagnostizierte Begleitverletzung der „thoracic cage injury“ sind Lungenkontusionen und Rippenfrakturen (37,7%). Einseitige Rippenfrakturen zeigten sich bei 17 Patienten (13,1%), bilaterale Rippenfrakturen zeigten sich in 26 Fällen (20%). 54 (41,5%) Patienten erlitten einen bedeutsamen Pneumo- bzw. Hämatothorax, der eine Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich machte. Die durchschnittliche Beatmungszeit auf der Intensivstation betrug 183,5 Stunden.

Die „thoracic cage injury“ war in 44 Fällen (33,8%) mit einer Rückenmarksverletzung vergesellschaftet, bei 32 (24,6%) Patienten lag eine komplette Querschnittslähmung vor (ASIA A/B).

Bei allen Patienten mit einer „thoracic cage injury“ wurden alle BWK-Frakturen vom Typ C (rotationsinstabile Frakturen), vom Typ B (Frakturen mit Begleitung des posterioren Längsbandes), vom Typ A4 (komplette Trümmerfraktur) sowie 50% der A3 Frakturen (inkomplette Trümmerfrakturen) chirurgisch stabilisiert.

Ein Großteil der Patienten mit einer begleitenden Sternumfraktur (77,7% (101 von 130)) erlitt mehrere Frakturen der Brustwirbelsäule. Insgesamt wurden 357 Frakturen der Brustwirbelsäule festgestellt (2,8 Frakturen/Patient). Zwei Drittel der Frakturen (235 von 357) betrafen die obere Hälfte der Brustwirbelsäule (Th1 – Th6).

Patienten mit einer begleitenden Sternumfraktur erlitten in 60,7% der Fälle (79 von 130) eine hoch instabile Fraktur der Brustwirbelsäule: Verletzungen des posterioren Längsbandes (Typ B) 24,6% (n=32), dislozierte Frakturen (TypC) 26,9% (n=35), Trümmerfrakturen zeigten sich in 15,4% (n=20).

Die radiologische Analyse der Sternumfrakturen ergab, dass 83,3% der Frakturen die kraniale Hälfte des Sternums betrafen. 10,8% (14 von 130) der Patienten erlitten multiple Sternumfrakturen. 70 Frakturen des Sternums zeigten keine Dislokation, 59 Frakturen zeigten eine moderate Dislokation und 15 waren über eine halbe Schaftbreite des Sternums disloziert.

Die Verteilung der jeweils schwersten Brustwirbelsäulenfraktur (im Falle von Mehretagen-Verletzung der BWS) bei jedem der 130 Patienten verdeutlicht die folgende Abbildung:

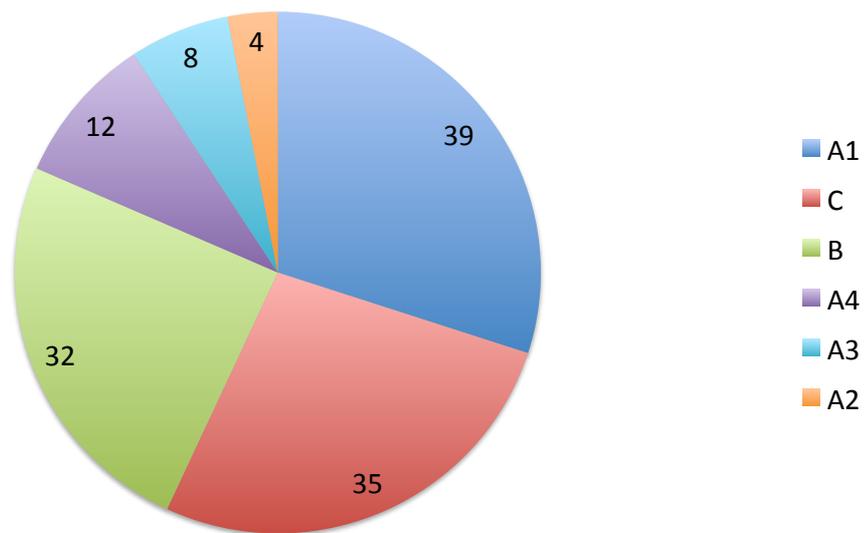
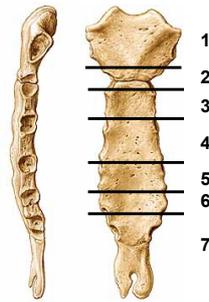


Abbildung 13: Kreisdiagramm der jeweils schwersten Fraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhe der Sternumfrakturen und den Grad der Dislokation verdeutlichen folgende Tabellen:

Höhe der Sternumfraktur	Anzahl der Frakturen
7	1
6	2
5	8
4	13
3	27
2	49
1	44



Einteilung der Dislokation der Sternumfraktur	Anzahl der Frakturen
I: keine Dislokation der Sternumfraktur	70
II: <1/2 Schaftbreite der Sternumfraktur	59
III: >1/2 Schaftbreite der Sternumfraktur	15

Tabelle 1: Verteilung der Höhe der Sternumfraktur in absoluten Zahlen

Tabelle 2: Grad der Dislokation der Sternumfraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhen der jeweiligen Brustwirbelsäulenfrakturen in absoluten Zahlen sowie in Prozentzahlen zeigt folgende Tabelle:

Höhe der Fraktur	Anzahl der Frakturen
BWK 1	23 (6,4%)
BWK 2	29 (8,1%)
BWK 3	42 (11,8%)
BWK 4	53 (14,8%)
BWK 5	47 (13,2%)
BWK 6	41 (11,4%)
BWK 7	33 (9,2%)
BWK 8	21 (5,8%)
BWK 9	20 (5,6%)
BWK 10	16 (4,5%)
BWK 11	15 (4,2%)
BWK 12	17 (4,8%)

Tabelle 3: Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen und in Prozentzahlen

Die schwerste Fraktur der BWS in Verbindung mit einer Sternumfraktur zeigt folgende Abbildung

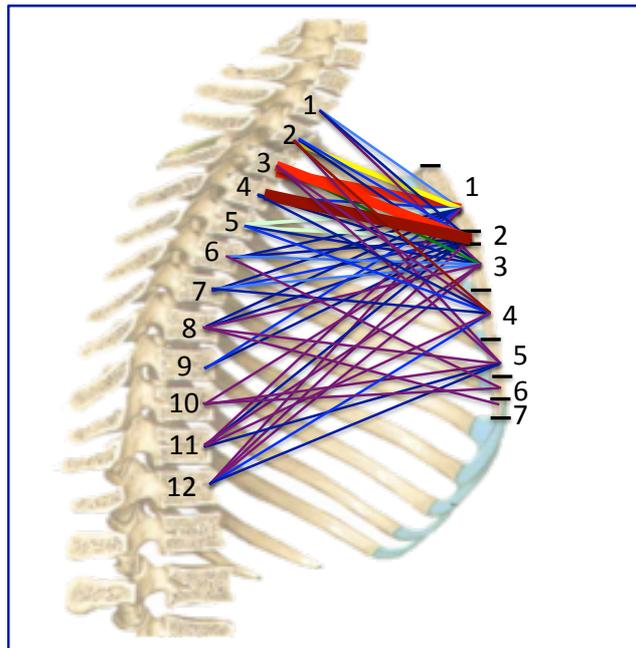


Abbildung 14: Die schwerste Fraktur der BWS in Verbindung mit einer Sternumfraktur
10 Pat = dunkelrot, 9 Pat = rot, 8 Pat = orange, 7 Pat = gelb, 6 Pat = hellgrün, 5 Pat = dunkelgrün, 4 Pat = hellblau, 3 Pat = mittelblau, 2 Pat = dunkelblau, 1 Pat = lila

Untersuchungsgruppe 2:

Die Lungenkontusionen und Rippenfrakturen traten bei den isolierten Brustwirbelsäulenfrakturen im Gegensatz zu der kombinierten Verletzung nur in 22,2% der Fälle auf. Monolaterale Rippenfrakturen zeigten sich bei 27 Patienten (11,5%), bilaterale Rippenfrakturen zeigten sich in 25 Fällen (10,7%). 33 (14,1%) Patienten erlitten einen bedeutsamen Pneumo- bzw. Hämatothorax, der eine Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich machte. Die durchschnittliche Beatmungszeit auf der Intensivstation betrug 4,3 Stunden.

Bei 27 Patienten wurden Frakturen des Schultergürtels diagnostiziert, 11 Claviculafrakturen und 16 Scapulafrakturen.

Die Brustwirbelsäulenfraktur ohne begleitende Sternumfraktur war in 26 Fällen (11,1%) mit einer Querschnittslähmung vergesellschaftet, bei 10 Fällen (4,2%) wurde ein schwerer bleibender neurologischer Schaden (ASIA A/B) festgestellt.

Bei allen Patienten mit einer Thoracic Cage Injury wurden alle BWK- Frakturen vom Typ C (rotationsinstabile Frakturen), vom Typ B (Frakturen mit Begleitung des posterioren Längsbandes), vom Typ A4 (komplette Trümmerfraktur) sowie 80% der A3-Frakturen (inkomplette Trümmerfrakturen) chirurgisch stabilisiert.

Frakturen der Brustwirbelsäule bei Patienten ohne eine begleitende Sternumfraktur wurden in 53% der Fälle (124 von 234) gesehen. Insgesamt wurden 457 Frakturen der Brustwirbelsäule festgestellt (1,95/Patient). Knapp die Hälfte (218 von 457) der Frakturen betrafen die obere Hälfte der Brustwirbelsäule (Th1 – Th6).

Patienten ohne eine begleitenden Sternumfraktur erlitten in 22,2% (52 von 234) eine hoch instabile Fraktur der Brustwirbelsäule: Verletzung des posterioren Längsbandes (Typ B) 5,6% (n=13), rotationsinstabile Frakturen (TypC) 14,1% (n=33). Trümmerfrakturen zeigten sich in 17,5% (n=41).

Die Verteilung der jeweils schwersten Brustwirbelsäulenfraktur bei jedem der 234 Patienten verdeutlicht die folgende Abbildung:

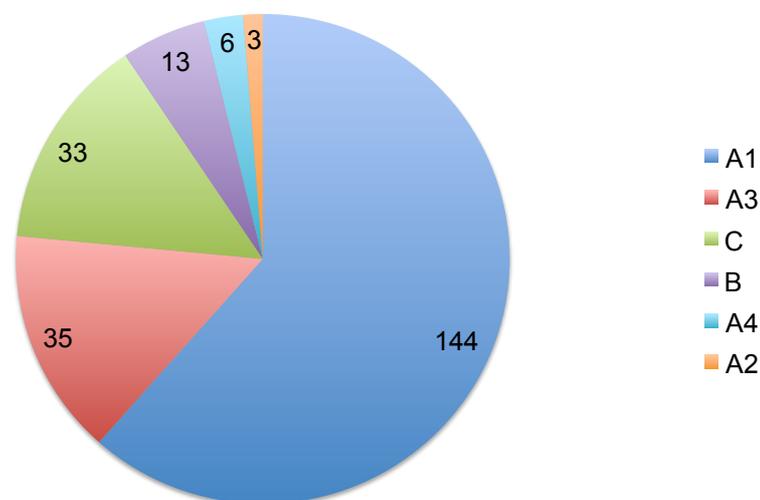


Abbildung 15: Kreisdiagramm der jeweils schwersten Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen sowie in Prozentzahlen verdeutlicht folgende Tabelle:

Höhe der Fraktur	Anzahl der Frakturen
BWK 1	19 (4,2%)
BWK 2	22 (4,8%)
BWK 3	39 (8,5%)
BWK 4	47 (10,3%)
BWK 5	46 (10,1%)
BWK 6	45 (9,8%)
BWK 7	45 (9,8%)
BWK 8	38 (8,3%)
BWK 9	23 (5,0%)
BWK 10	22 (4,8%)
BWK 11	38 (8,3%)
BWK 12	73 (16,0%)

Tabelle 4: Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen und in Prozentzahlen

3.1.1.3 Begleitverletzungen und klinischer Verlauf

Untersuchungsgruppe 1:

Insgesamt erlitten 44 Patienten eine Verletzung des Rückenmarks. Die Verteilung des Schweregrades nach ASIA-Einteilung in absoluten Zahlen zeigt die folgende Abbildung:

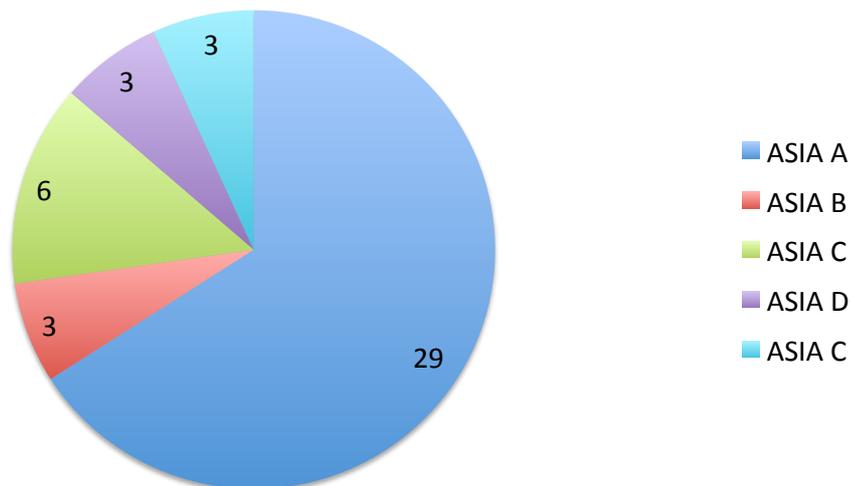


Abbildung 16: Kreisdiagramm der Patienten mit neurologischem Schaden nach ASIA

Es wurde bei 54 Patienten (41,5%) eine Thoraxdrainage gelegt und die durchschnittliche Beatmungsdauer auf der Intensivstation betrug 7,6 Tage.

Untersuchungsgruppe 2

Insgesamt erlitten 26 Patienten einen neurologischen Schaden, die Verteilung dieser Patientengruppe in absoluten Zahlen zeigt die folgende Abbildung:

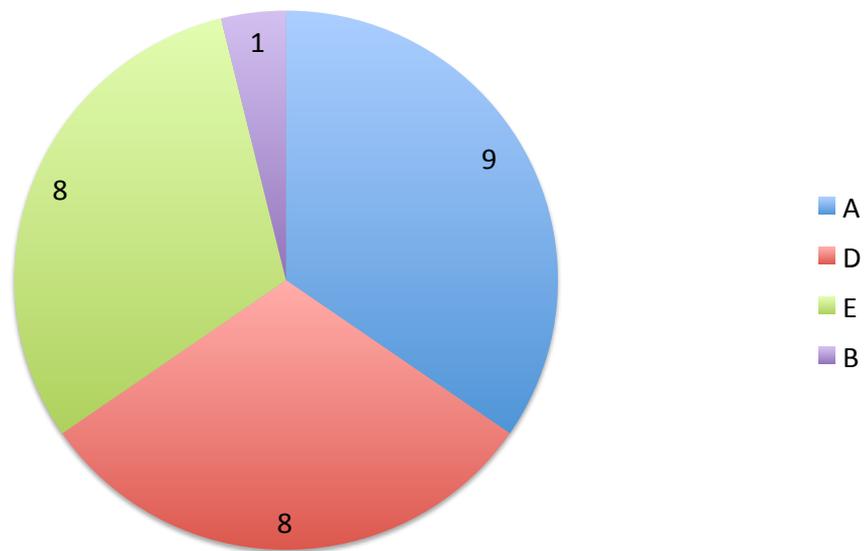


Abbildung 17: Kreisdiagramm der Patienten mit neurologischem Schaden nach ASIA

Es wurde bei 34 Patienten (14,5%) eine Thoraxdrainage gelegt und die durchschnittliche Beatmungsdauer auf der Intensivstation betrug 0,18 Tage.

3.1.2 Subgruppen

Es wurden zwei Subgruppen gebildet:

Subgruppe 1 hatte folgende Einschlusskriterien:

- Unfall zwischen 2003 und 2012

- Fraktur der Brustwirbelsäule
- Fraktur des Sternums
- ISS ≥ 16
- Alter ≤ 50
- Aufnahme in die Unfallklinik Murnau spätestens 12 Stunden nach dem Unfallereignis

Subgruppe 2 hatte folgende Einschlusskriterien:

- Unfall zwischen 2003 und 2012
- Fraktur der Brustwirbelsäule
- ISS ≥ 16
- Alter ≤ 50
- Aufnahme in die Unfallklinik Murnau spätestens 12 Stunden nach dem Unfallereignis

3.1.2.1 Demographische Daten

Subgruppe 1:

In der Subgruppe 1 wurden 64 Patienten eingeschlossen. Sie waren überwiegend männlich (81,3%) und das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 37,5 (13- 49) Jahre. Der durchschnittliche ISS betrug 33,0. Das high velocity Trauma war mit 82,8% überrepräsentiert, der führende Unfallmechanismus waren Stürze aus großer Höhe.

Drei Patienten erlagen ihren Verletzungen und damit lag die Mortalität bei 4,7%.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die prozentuale Verteilung der Unfallursachen der Subgruppe 1 in einem Kreisdiagramm.

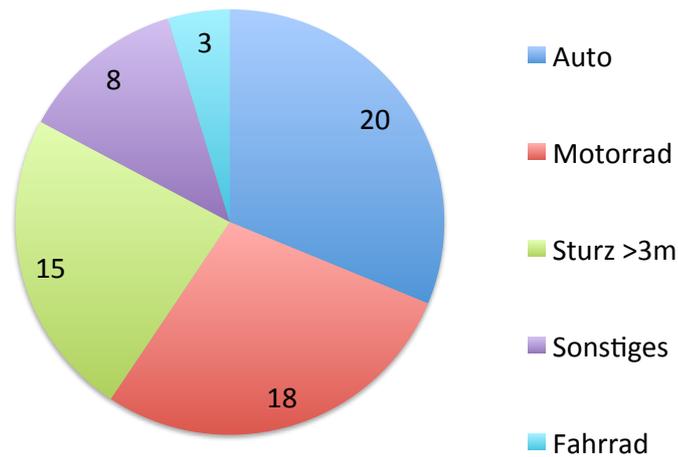


Abbildung 18: Kreisdiagramm der Unfallursachen in absoluten Zahlen

Subgruppe 2

In der Subgruppe 2 wurden 122 Patienten eingeschlossen. Sie waren überwiegend männlich (82,8%) und das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 34,6 (16- 49) Jahre. Der durchschnittliche ISS betrug 29,8. Das „high velocity Trauma“ war mit 84,4% überrepräsentiert, der führende Unfallmechanismus waren Motorradunfälle.

Sieben Patienten erlagen ihren Verletzungen und damit lag die Mortalität bei 5,7%.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Verteilung der Unfallursachen der Subgruppe 2 in absoluten Zahlen in einem Kreisdiagramm.

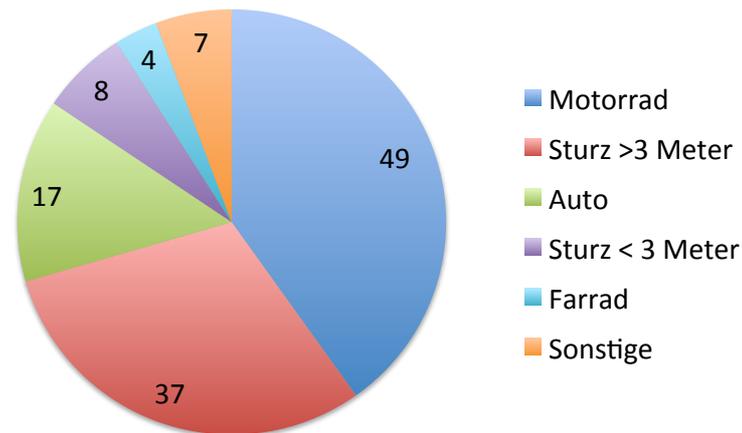


Abbildung 19: Kreisdiagramm der Unfallursachen in absoluten Zahlen

3.1.2.2 Radiologische Auswertung

Subgruppe 1:

Die am häufigsten diagnostizierte Begleitverletzung der „thoracic cage injury“ sind Lungenkontusionen und Rippenfrakturen (64,0%). Monolaterale Rippenfrakturen zeigten sich bei 28 Patienten (43,8%), bilaterale Rippenfrakturen zeigten sich in 15 Fällen (23,4%). 54 (41,5%) Patienten erlitten einen bedeutsamen Pneumo- bzw. Hämatothorax, der eine Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich machte. Die durchschnittliche Beatmungszeit auf der Intensivstation betrug 306 Stunden.

Bei 21,9 Patienten wurden zudem Frakturen des Schultergürtels diagnostiziert.

Die „thoracic cage injury“ war in 29 (45,3%) Fällen mit einem neurologischen Schaden vergesellschaftet, bei 24 Patienten (37,5%) wurde ein schwerer bleibender neurologischer Schaden (ASIA A/B) festgestellt.

Alle Patienten mit einer begleitenden Sternumfraktur, bei denen eine rotationsinstabile Fraktur (Typ C), eine Beteiligung des posterioren Längsbandes (Typ B), eine komplette Trümmerfraktur (Typ A4) sowie jede zweite unvollständige Trümmerfraktur (Typ A3) festgestellt wurde, wurden notfallmäßig chirurgisch stabilisiert.

85,9% (55 von 64) der Patienten mit einer begleitenden Sternumfraktur erlitten mehrere Frakturen der Brustwirbelsäule. Insgesamt wurden 149 Frakturen der Brustwirbelsäule festgestellt (2,3/Patient). Zwei Drittel (99 von 149) der Frakturen betrafen die obere Hälfte der Brustwirbelsäule (Th1 – Th6).

Patienten mit einer begleitenden Sternumfraktur erlitten in 62,5% der Fälle (40 von 64) eine hoch instabile Fraktur der Brustwirbelsäule: Verletzung des posterioren Längsbandes (Typ B) 18,8% (n=12), rotationsinstabile Frakturen (Typ C) 43,8% (n=28). Trümmerfrakturen zeigten sich in 18,8% (n=12) der Fälle.

Die radiologische Analyse der Sternumfrakturen ergab, dass 83,3% der Frakturen die kraniale Hälfte des Sternums betrafen. 12,5% (8 von 64) der Patienten erlitten multiple Sternumfrakturen. 50% der Frakturen des Sternums zeigten keine Dislokation, 37,5% der Frakturen zeigten eine moderate Dislokation und 12,5% waren über eine halbe Schaftbreite des Sternums disloziert.

Die Verteilung der jeweils schwersten Brustwirbelsäulenfraktur bei jedem der 64 Patienten verdeutlicht die folgende Abbildung:

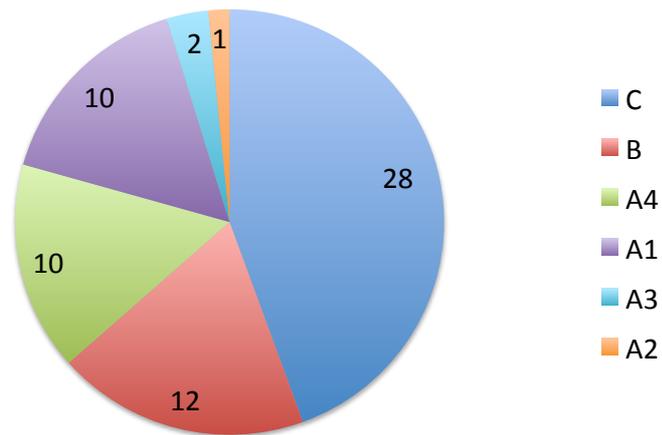
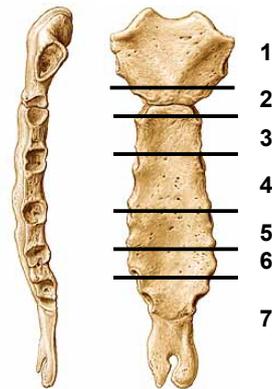


Abbildung 20: Kreisdiagramm der jeweils schwersten Fraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhe der Sternumfrakturen und den Grad der Dislokation verdeutlicht folgende Tabellen:

Höhe der Sternumfraktur	Anzahl der Frakturen
7	0 (0%)
6	2 (2,7%)
5	2 (2,7%)
4	8 (11,1%)
3	18 (25%)
2	27 (37,5%)
1	15 (20,8%)



Einteilung der Dislokation der Sternumfraktur	Anzahl der Frakturen
I: keine Dislokation der Sternumfraktur	36 (50%)
II: <1/2 Schaftbreite der Sternumfraktur	27 (37,5%)
III: >1/2 Schaftbreite der Sternumfraktur	9 (12,5%)

Tabelle 5: Verteilung der Höhe der Sternumfraktur in absoluten Zahlen

Tabelle 6: Grad der Dislokation der Sternumfraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen sowie in Prozentzahlen verdeutlicht folgende Tabelle:

Höhe der Fraktur	Anzahl der Frakturen
BWK 1	11 (7,4%)
BWK 2	11 (7,4%)
BWK 3	14 (9,4%)
BWK 4	18 (12,1%)
BWK 5	21 (14,1%)
BWK 6	24 (16,1%)
BWK 7	16 (10,7%)
BWK 8	11 (7,4%)
BWK 9	7 (4,7%)
BWK 10	6 (4,0%)
BWK 11	4 (2,7%)
BWK 12	6 (4,0%)

Tabelle 7: Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen und in Prozentzahlen

Subgruppe 2:

Die Lungenkontusionen und Rippenfrakturen traten bei den isolierten Brustwirbelsäulenfrakturen im Gegensatz zu der kombinierten Verletzung nur in 47,5% der Fälle auf. Einzelne Rippenfrakturen zeigten sich bei 23 Patienten (18,8%), Rippenserienfrakturen zeigten sich bei 35 Fällen (28,7%). 40 (32,8%) Patienten erlitten einen bedeutsamen Pneumo- bzw. Hämatothorax, der eine Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich machte, die durchschnittliche Beatmungszeit auf der Intensivstation betrug 22,3 Stunden.

Bei 35 Patienten wurden Frakturen des Schultergürtels diagnostiziert, 21 Patienten zeigten Claviculafrakturen und 14 Scapulafrakturen.

Die Brustwirbelsäulenfraktur ohne begleitende Sternumfraktur war bei 34 (29,9%) Fällen mit einer Verletzung des Rückenmarks vergesellschaftet, bei 18 Personen (14,8%) wurde ein schwerer, bleibender neurologischer Schaden (ASIA A/B) festgestellt.

Alle Patienten ohne eine begleitende Sternumfraktur, bei denen eine Rotationsinstabilität (Typ C), eine Beteiligung des posterioren Längsbandes (Typ B), eine komplette Trümmerfraktur (Typ A4) sowie bei 80% der Patienten eine unvollständige Trümmerfraktur (Typ A3) diagnostiziert wurde, wurden notfallmäßig chirurgisch stabilisiert.

34,4% (42 von 122) der Patienten ohne eine begleitende Sternumfraktur erlitten mehrere Frakturen der Brustwirbelsäule. Insgesamt wurden 220 Frakturen der Brustwirbelsäule festgestellt (1,8/Patient). 118 von 220 der Frakturen betrafen die obere Hälfte der Brustwirbelsäule (Th1 – Th6).

Patienten ohne eine begleitenden Sternumfraktur erlitten in 41,0% der Fälle (50 von 122) eine hoch instabile Fraktur der Brustwirbelsäule: Verletzung des posterioren Längsbandes (Typ B) 8,2% (n=10), rotationsinstabile Frakturen (TypC) 27,9% (n=34). Trümmerfrakturen zeigten sich in 13,1% der Fälle (n=16).

Die Verteilung der jeweils schwersten Brustwirbelsäulenfraktur bei jedem der 122 Patienten verdeutlicht die folgende Abbildung:

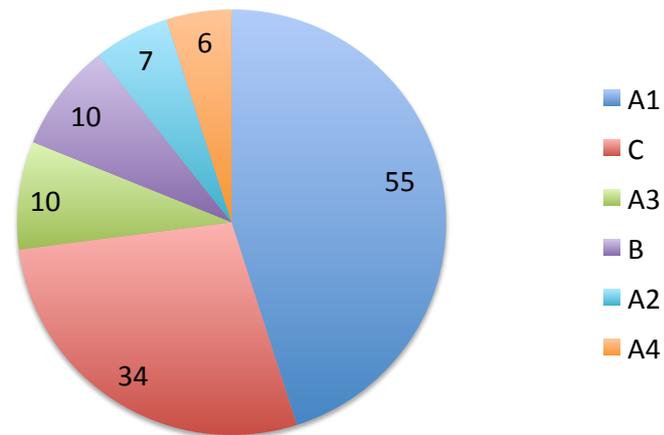


Abbildung 21: Kreisdiagramm der jeweils schwersten Fraktur in absoluten Zahlen

Die Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen sowie in Prozentzahlen verdeutlicht folgende Tabelle:

Höhe der Fraktur	Anzahl der Frakturen
BWK 1	10 (4,5%)
BWK 2	8 (3,6%)
BWK 3	21 (9,5%)
BWK 4	30 (13,6%)
BWK 5	25 (11,3%)
BWK 6	24 (10,9%)
BWK 7	24 (10,9%)
BWK 8	23 (10,5%)
BWK 9	7 (4,8%)
BWK 10	11 (5%)
BWK 11	14 (6,4%)
BWK 12	23 (10,5%)

Tabelle 8: Verteilung der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur in absoluten Zahlen und in Prozentzahlen

3.1.2.3 Begleitverletzungen und Klinischer Verlauf

Subgruppe 1:

Insgesamt erlitten 29 Patienten eine Verletzung des Rückenmarks, die Verteilung dieser Patientengruppe in absoluten Zahlen zeigt die folgende Abbildung:

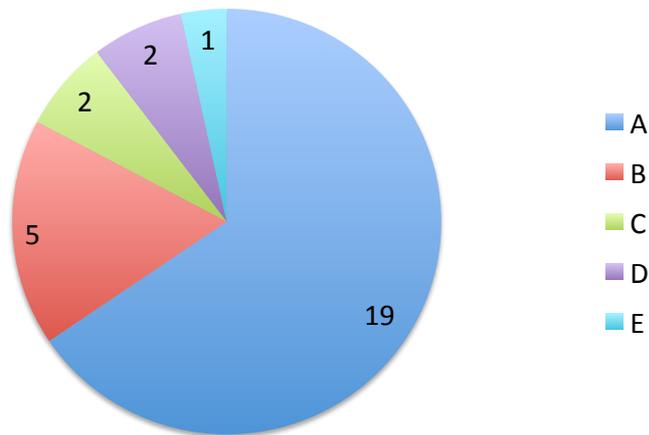


Abbildung 22: Kreisdiagramm der Patienten mit neurologischem Schaden nach ASIA

Es wurde bei 21 Patienten (41%) eine Thoraxdrainage gelegt und die durchschnittliche Beatmungsdauer auf der Intensivstation betrug 10,3 Tage.

Subgruppe 2:

Insgesamt erlitten 34 Patienten eine Verletzung des Rückenmarks. Die Verteilung dieser Patientengruppe in absoluten Zahlen zeigt die folgende Abbildung:

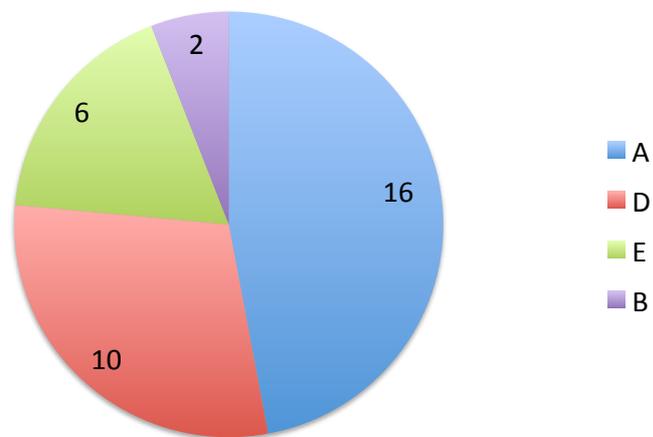


Abbildung 23: Kreisdiagramm der Patienten mit neurologischem Schaden nach ASIA

Es wurde bei 40 Patienten (32,7%) eine Thoraxdrainage gelegt und die durchschnittliche Beatmungsdauer auf der Intensivstation betrug 22,3 Stunden.

3.2 Ergebnisse der Hypothesen

Im Folgenden werden die aufgestellten Hypothesen geprüft.

3.2.1 Die Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile BWS- Fraktur

Um diese Frage zu beantworten, stellten wir die Gruppen 1 und 2 sowie die Subgruppen 1 und 2 gegenüber und verglichen die Anzahl der instabilen Frakturen. Wir definierten als instabile Frakturen Typ B- bzw. Typ C- Frakturen sowie komplette Berstungsfrakturen Typ A4 nach AO.

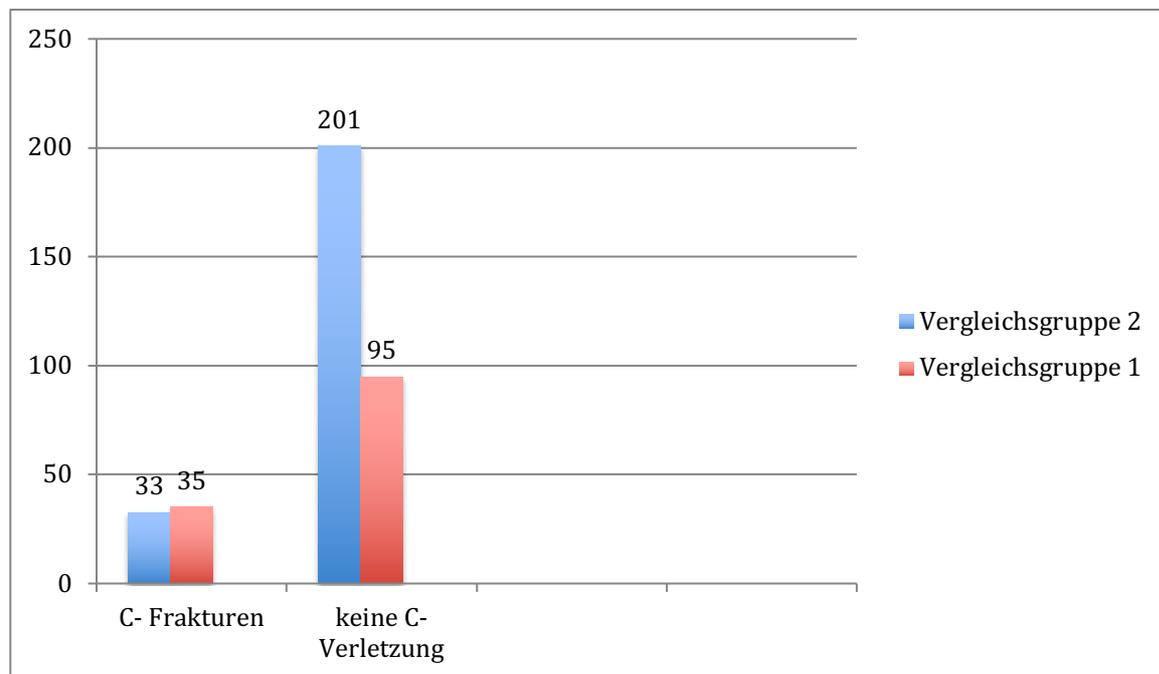


Abbildung 24: Säulendiagramm der instabilen Frakturen (Typ C) und nicht Typ C-Frakturen: Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=9,042$ $p>0,01$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Die Vergleichsgruppe 1 weist hoch signifikant mehr rotationsinstabile C-Frakturen der Brustwirbelsäule auf als Vergleichsgruppe 2.

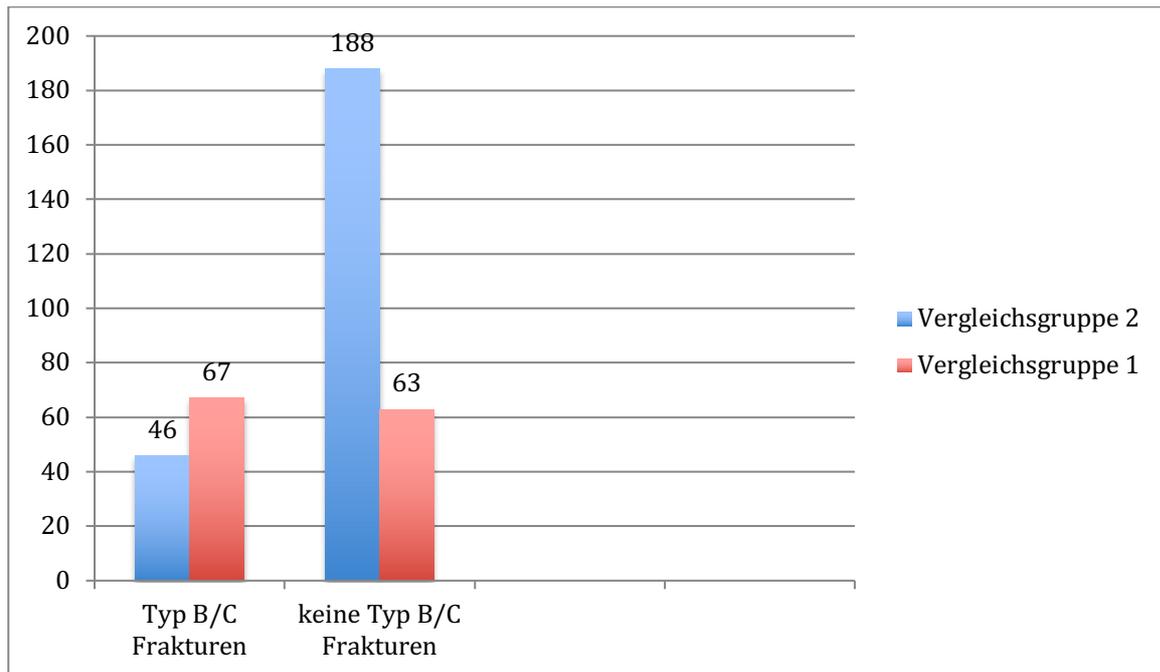


Abbildung 25: Säulendiagramm der instabilen Frakturen (Typ B/C) und der nicht Typ B/C Frakturen: Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=39,678$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Die Vergleichsgruppe 1 weist höchst signifikant mehr instabile Typ B/C-Frakturen der Brustwirbelsäule auf als Vergleichsgruppe 2.

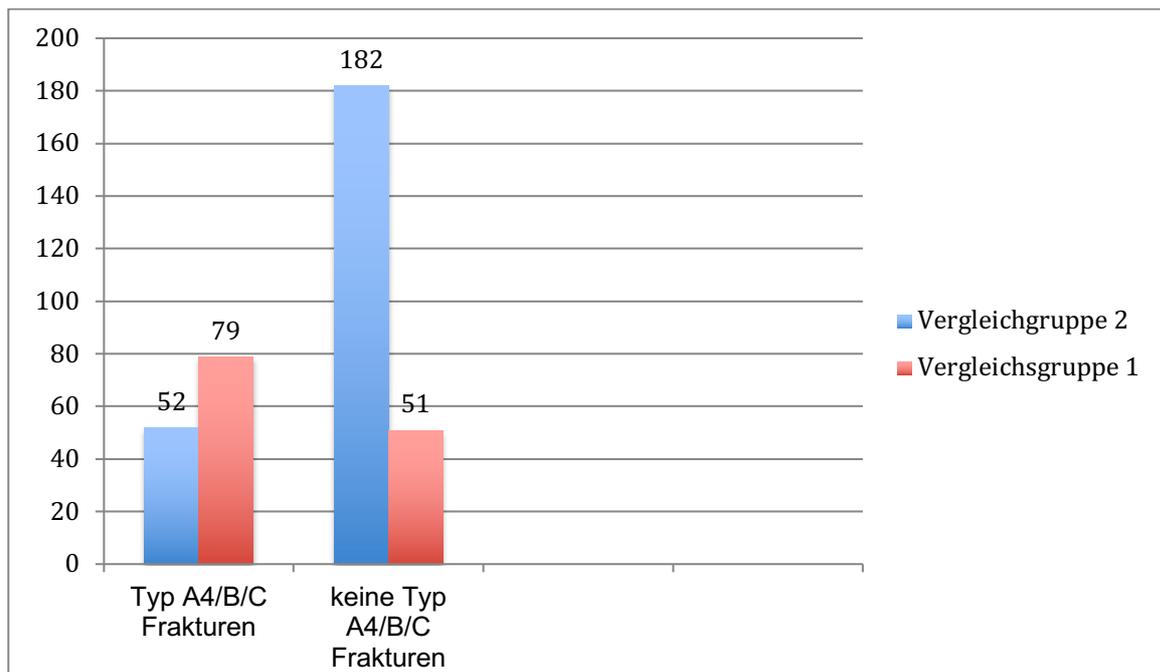


Abbildung 26: Säulendiagramm der instabilen Frakturen (A4/B/C) und der stabilen Frakturen:
Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=53,903$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Die Vergleichsgruppe 1 weist höchst signifikant mehr instabile Typ A4/B/C-Frakturen der Brustwirbelsäule auf als Vergleichsgruppe 2.

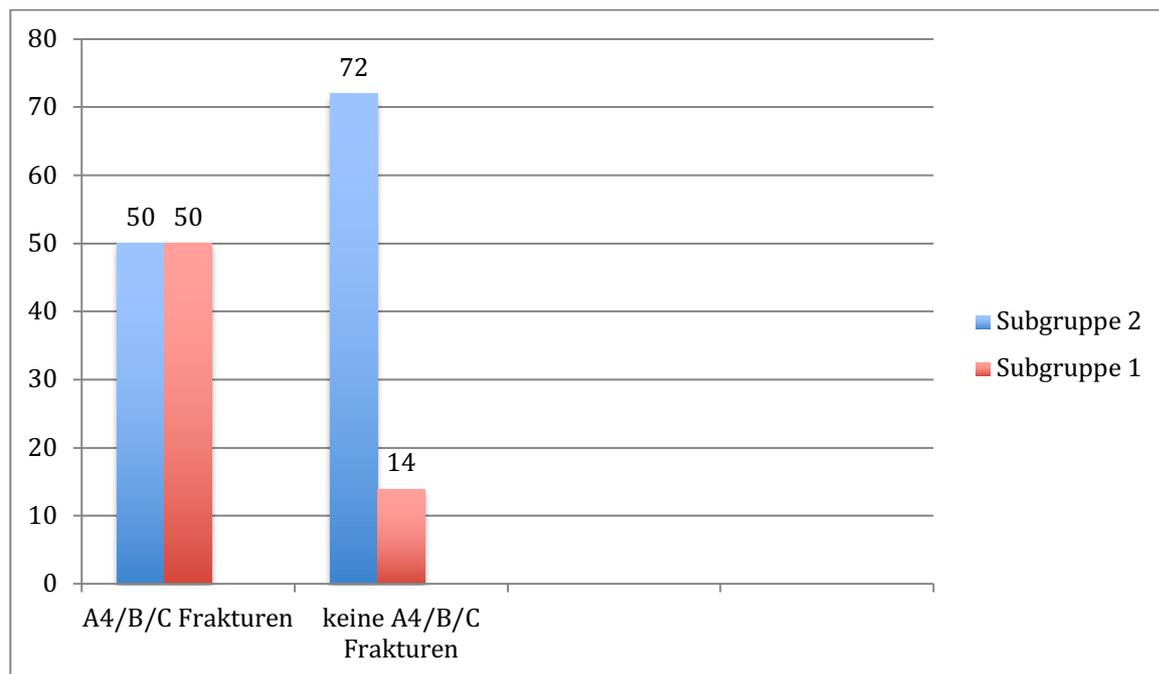


Abbildung 27: Säulendiagramm der instabilen Frakturen (A4/B/C) und der stabilen Frakturen:
Vergleich der Subgruppe 1 vs. Subgruppe 2

$\chi^2=23,295$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Die Subgruppe 1 weist höchst signifikant mehr instabile Typ A4/B/C- Frakturen der Brustwirbelsäule auf als Subgruppe 2.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man die Frage 1 wie folgt beantworten:

Die Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule.

Dies gilt sowohl für die Gruppe der Patienten mit Polytraumatisierung (ISS >16) als auch für die Gruppe ohne Ausschlusskriterium ISS<16.

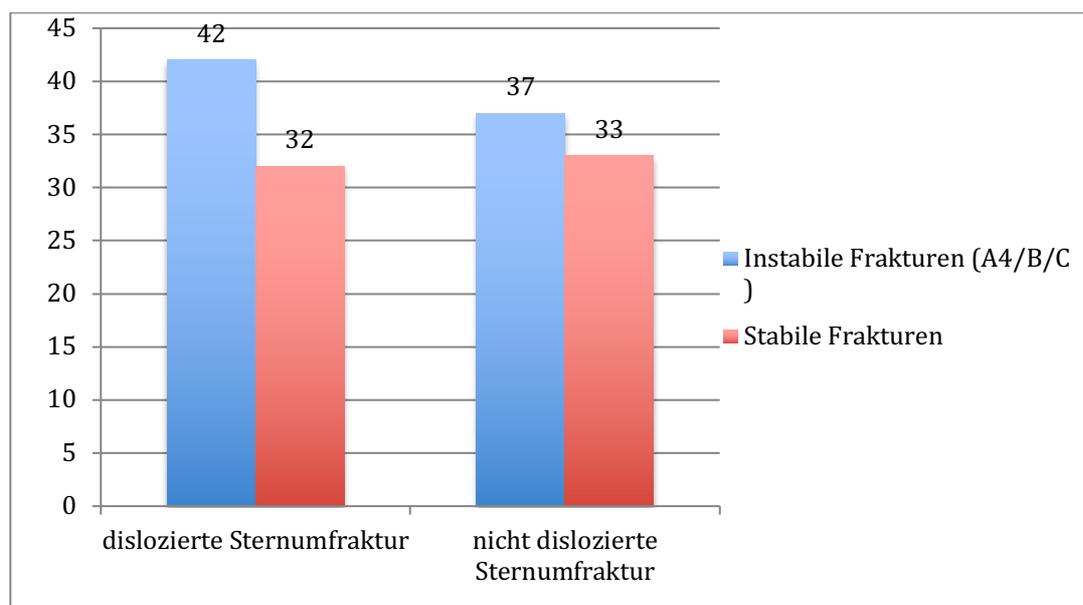
Die Frakturklassifikation ergab, dass die „thoracic cage injury“ signifikant häufiger mit instabilen Typ B/C-Frakturen der Brustwirbelsäule assoziiert ist, im Vergleich zur Kontrollgruppe. Typ B-Frakturen (18,8%) und Typ C-Frakturen (43,8%) zeigten sich in der Subgruppe 1 in 63,5% und nur in 49,2% in der Kontrollgruppe ($p < 0,001$).

Auch die kompletten Trümmerfrakturen (Typ A4) zeigten sich häufiger in der Subgruppe 1 (15,6%) im Vergleich zur Kontrollgruppe (4,9%) ($p = 0,013$).

Da sich in der Gruppe der Patienten mit „thoracic cage injury“ signifikant häufiger instabile Frakturen der Brustwirbelsäule zeigten, traten in dieser Gruppe auch signifikant höhere Raten an schweren Rückenmarksläsionen auf (37,5% in Subgruppe 1) im Vergleich zur Kontrollgruppe (14,7% in Subgruppe 2) ($p < 0,01$). So ergibt sich auch ein signifikant höherer TLICS-Score ($p < 0,001$).

3.2.2 Die Dislokation der Sternumfraktur korreliert mit der Instabilität der BWS-Fraktur

Um diese Frage zu beantworten, untersuchten wir die Untersuchungsgruppe 1. Wir bildeten zwei Untergruppen; Eine Untergruppe zeigte keine Dislokation der Sternumfraktur und in der anderen Untergruppe waren die Sternumfrakturen disloziert. In diesen beiden Untergruppen verglichen wir dann die Instabilität der Brustwirbelsäulenfraktur.



Ergebnisse

Abbildung 28: Säulendiagramm dislozierte Sternumfraktur und nicht dislozierte Sternumfraktur:
Vergleich der instabilen Frakturen (Typ A4/B/C) vs. stabile Frakturen in der
Vergleichsgruppe 1

$\chi^2=0,221$ $p>0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Vergleichsgruppe 1 treten bei einer dislozierten Sternumfraktur nicht signifikant mehr instabile Typ- A4/B/C Frakturen der Brustwirbelsäule auf als bei einer nicht dislozierten Sternumfraktur.

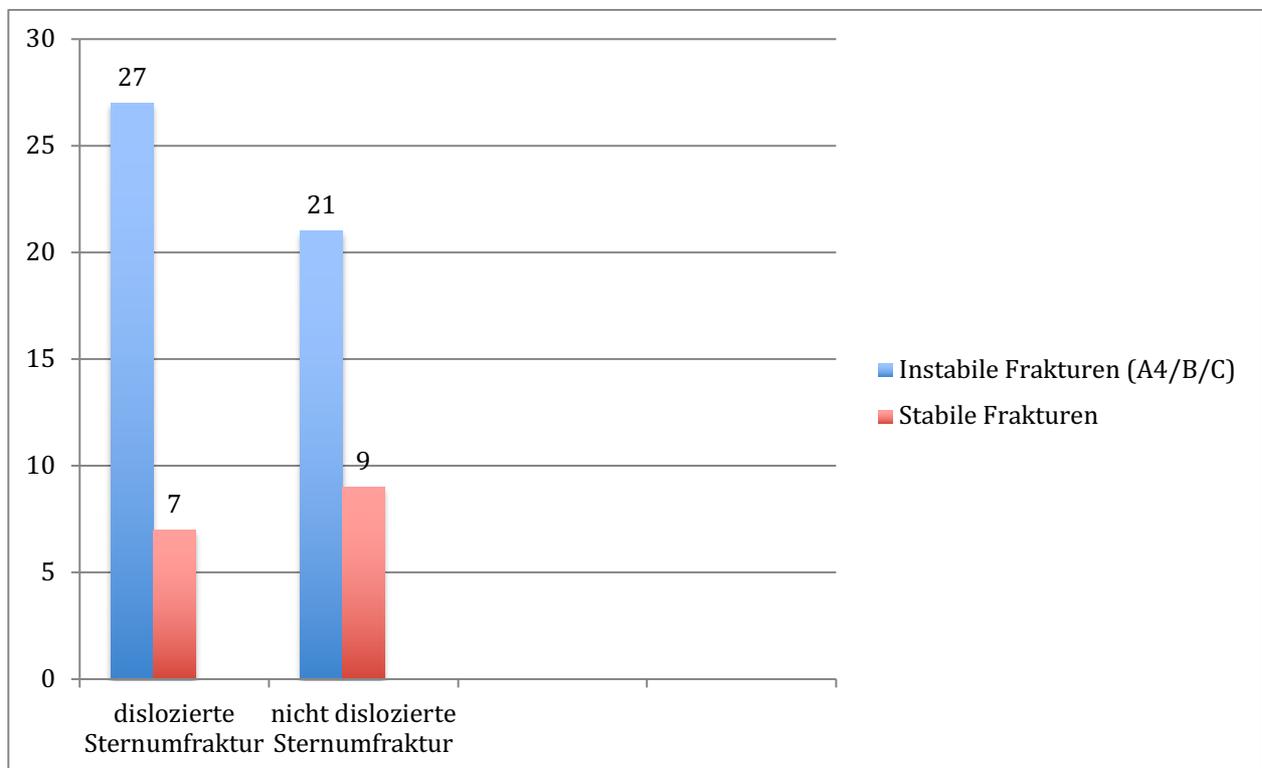


Abbildung 29: Säulendiagramm dislozierte Sternumfraktur und nicht dislozierte Sternumfraktur:
Vergleich der instabilen Frakturen (Typ A4/B/C) vs. stabile Frakturen in der
Subgruppe 1

$\chi^2=0,753$ $p>0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Subgruppe 1 treten bei einer dislozierten Sternumfraktur nicht signifikant häufiger instabile Typ A4/B/C- Frakturen der Brustwirbelsäule auf als bei einer nicht dislozierten Sternumfraktur.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man die Frage 2 wie folgt beantworten:

Die Dislokation der Sternumfraktur korreliert nicht mit der Instabilität der Brustwirbelsäulenfraktur und kann folglich nicht als Indikator für eine Instabilität der Brustwirbelsäulenfraktur herangezogen werden.

Insgesamt 34 Patienten mit einer „thoracic cage injury“ (Subgruppe 1) zeigten eine dislozierte Sternumfraktur, 8 Patienten wiesen zusätzlich multiple Frakturen des Sternums auf. Von den Patienten mit einer dislozierten Sternumfraktur erlitten 16 (47,1%) Patienten eine Typ C Fraktur, 7 (20,6%) Patienten eine Typ B-Fraktur und 4 (11,8%) Patienten eine Typ A4 Fraktur der Brustwirbelsäule. In der Gruppe der Patienten ohne dislozierte Sternumfraktur (Subgruppe 1) zeigten sich bei 12 (40,0%) Patienten eine Typ C- Fraktur, bei 5 (16,7%) Patienten eine Typ B- Fraktur und in 8 (26,7%) der Fälle eine Typ A4- Fraktur der Brustwirbelsäule.

Die statistische Analyse zeigte, dass eine dislozierte Sternumfraktur nicht häufiger mit einer instabilen Fraktur der Brustwirbelsäule einhergeht ($p=0,69$).

3.2.3 Korreliert die Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der BWS-Fraktur, so liegt gehäuft eine Instabilität dieser Fraktur vor

Zur Beantwortung dieser Frage bildeten wir drei Untergruppen:

1. Untergruppe: keine Korrelation der Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur
2. Untergruppe: Korrelation der Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur durch eine fehlende Stabilität der Rippen infolge einer Rippenserienfraktur.
3. Untergruppe: Korrelation der Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur.

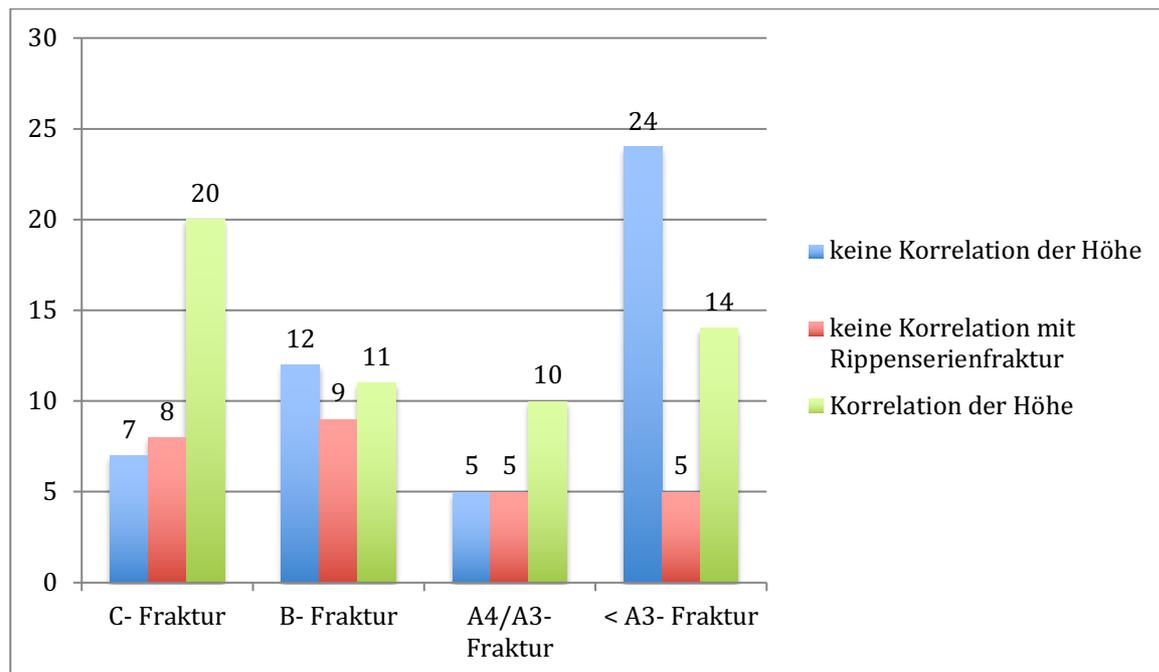


Abbildung 30: Säulendiagramm Typ C-Fraktur, Typ B-Fraktur, Typ A4/A3-Fraktur und < A3-Fraktur: Vergleich der Patientengruppe mit keiner korrespondierende Höhe der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur vs. Patientengruppe mit einer korrelierenden Höhe durch eine Rippenserienfraktur zwischen der Höhe der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur vs. Patientengruppe mit einer korrespondierenden Höhe der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur in der Vergleichsgruppe 1

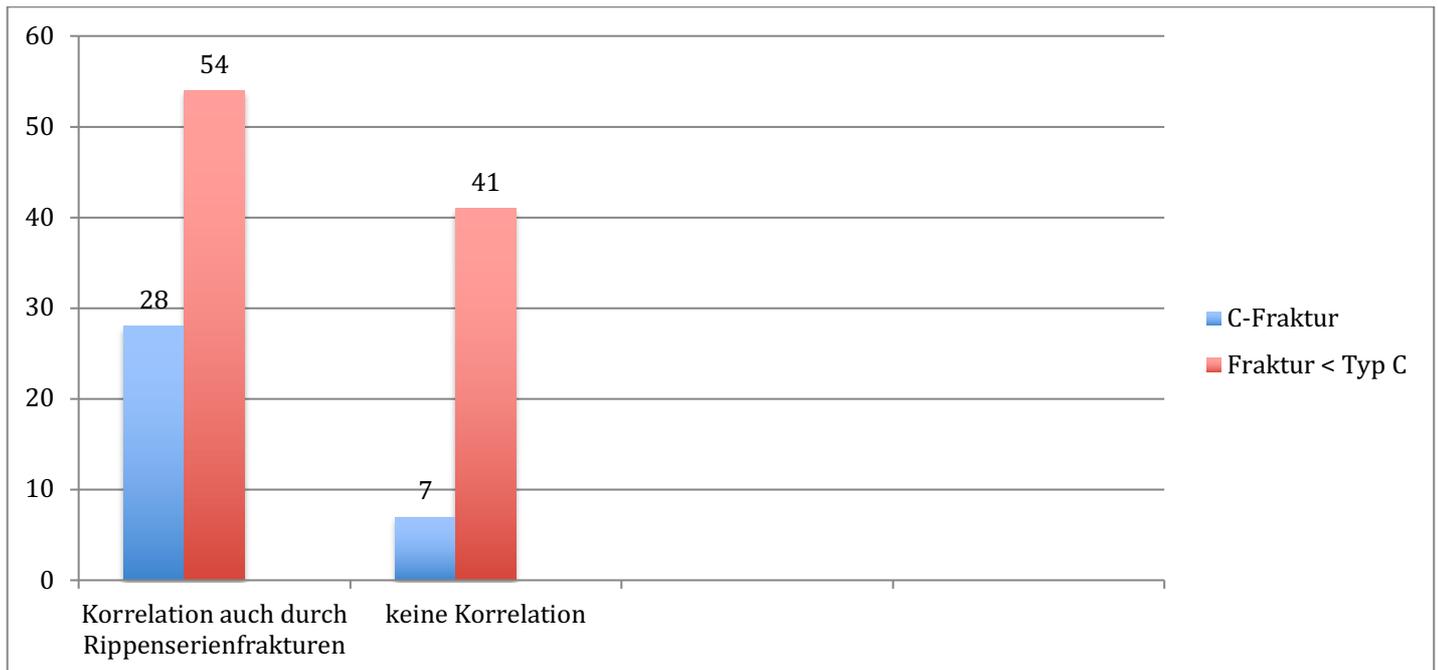


Abbildung 31: Säulendiagramm korrelierende Höhe (auch durch Rippenserienfraktur) der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur und keine Korrelation: Typ C-Fraktur vs. keine Typ C-Fraktur in der Vergleichsgruppe 1

$\chi^2= 5,889$ $p<0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Korreliert die Höhe der Sternumfraktur (Korrelation durch Rippenserienfrakturen eingeschlossen) mit der Höhe der BWK-Fraktur in der Vergleichsgruppe 1, so liegt signifikant häufiger eine C- Fraktur in der Brustwirbelsäule vor.

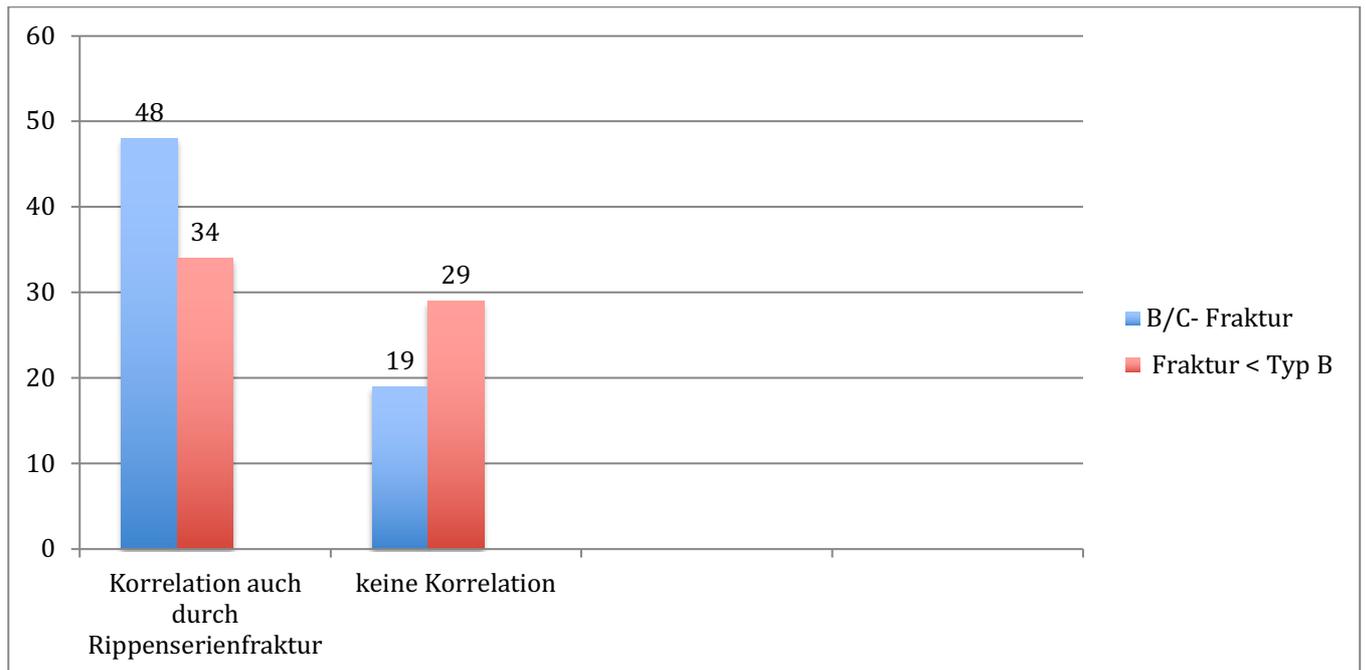


Abbildung 32: Säulendiagramm korrelierende Höhe (auch durch Rippenserienfraktur) der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur und keine Korrelation: Typ B/C-Fraktur vs. keine Typ B/C-Fraktur in der Vergleichsgruppe 1

$\chi^2= 4,355$ $p<0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Korreliert die Höhe der Sternumfraktur (Korrelation durch Rippenserienfrakturen eingeschlossen) mit der Höhe der BWK-Fraktur in der Vergleichsgruppe 1, so liegt signifikant häufiger eine B- oder C- Fraktur in der Brustwirbelsäule vor.

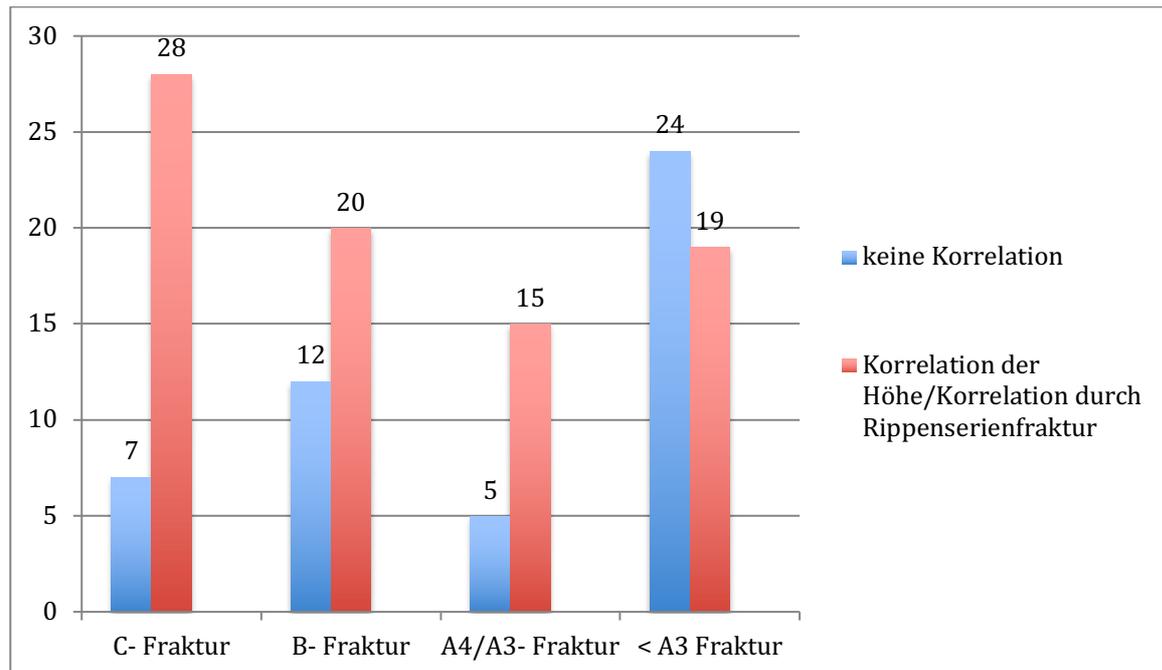


Abbildung 33: Säulendiagramm Typ C-Fraktur, Typ B-Fraktur, Typ A4/A3-Fraktur, <A3-Fraktur: Vergleich: Keine Korrelation der Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur vs. korrelierende Höhe (auch durch Rippenserienfraktur)

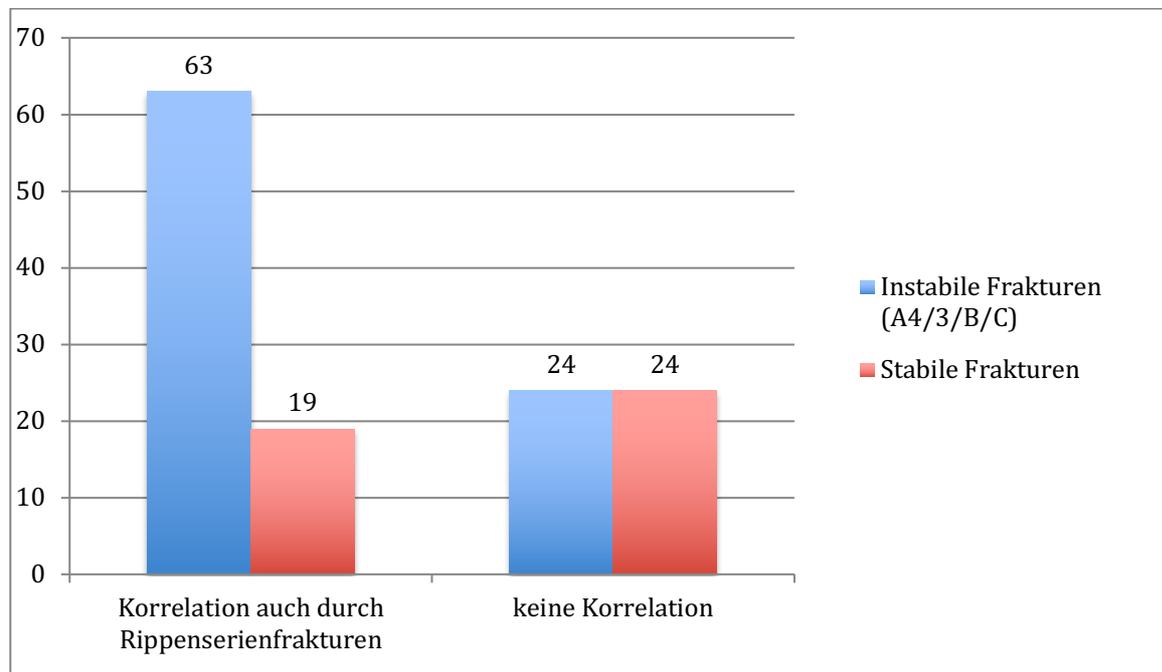


Abbildung 34: Säulendiagramm korrelierende Höhe (auch durch Rippenserienfraktur) der Sternumfraktur und der Brustwirbelsäulenfraktur und keine Korrelation: Typ A4/B/C-Fraktur vs. keine Typ A4/B/C-Fraktur in der Vergleichsgruppe 1

$\chi^2 = 9,845$ $p < 0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Korreliert die Höhe der Sternumfraktur (Korrelation durch Rippenserienfrakturen eingeschlossen) mit der Höhe der BWK- Fraktur in der Vergleichsgruppe 1, so liegt signifikant häufiger eine instabile Typ A4/3/ B- oder C- Fraktur in der Brustwirbelsäule vor.

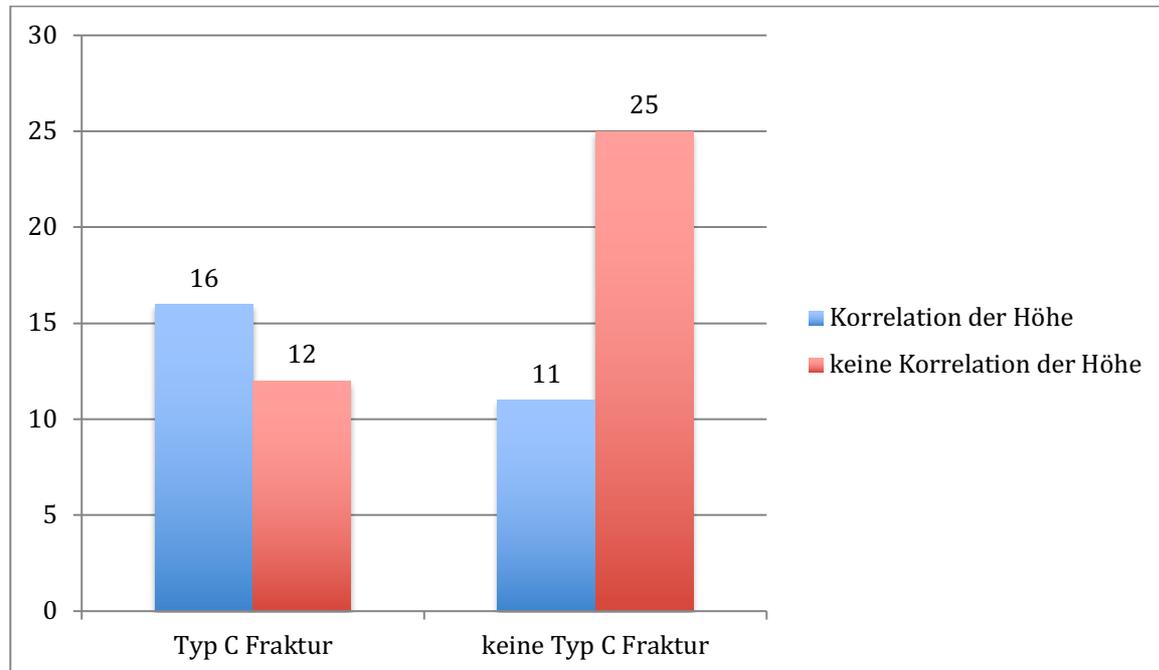


Abbildung 35: Säulendiagramm Typ C-Fraktur, keine Typ C-Fraktur: Vergleich: Keine Korrelation der Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur vs. korrelierende Höhe

$\chi^2 = 4,565$ $p < 0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Korreliert die Höhe der Sternumfraktur (Korrelation durch Rippenserienfrakturen eingeschlossen) mit der Höhe der BWK- Fraktur in der Subgruppe 1, so liegt hoch signifikant häufiger eine instabile Typ C- Fraktur in der Brustwirbelsäule vor.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man die Frage wie folgt beantworten:

Wenn die Höhe der Sternumfraktur mit der Höhe der Brustwirbelsäulenfraktur korreliert, so liegt häufiger eine Instabilität der Brustwirbelfraktur vor. Dies gilt nur, wenn man die Korrelation so definiert, dass die fehlende Stabilität durch eine Rippenserienfraktur auch als Korrelation gewertet wird.

In 27 Fällen wurden bei der „thoracic cage injury“ (Subgruppe 1) die Frakturen der Brustwirbelsäulen und die Frakturen des Sternums in demselben Segment gesehen. Diese Frakturen der Brustwirbelsäule waren in 59,3% (n=13) rotationsinstabil (Typ C). Wenn die Sternumfrakturen und die Brustwirbelsäulenfrakturen nicht in dem selben Segment lagen (n= 37, 57,8%), waren die Frakturen in der Brustwirbelsäule signifikant seltener rotationsinstabil (Typ C) (n= 12, 32,4%) (p= 0,033).

3.3 Vergleich des klinischen Verlaufs von Vergleichsgruppe und Studiengruppe

Ist eine höhere Mortalität zu verzeichnen bei der Kombinationsverletzung aus BWS- und Sternumfraktur im Vergleich zu einer isolierten BWS-Verletzung?

Um diese Frage zu beantworten, verglichen wir die Mortalität der Vergleichsgruppe 1 mit der Mortalität der Vergleichsgruppe 2 sowie die Mortalität der beiden Subgruppen untereinander.

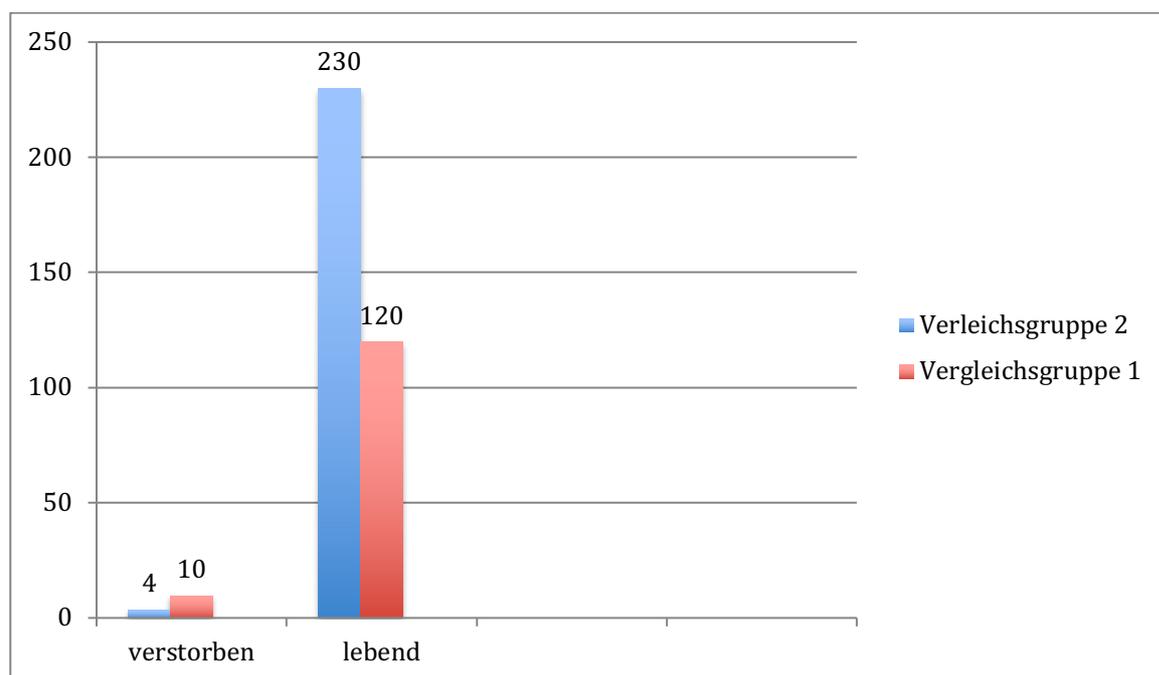


Abbildung 36: Säulendiagramm: Im Krankenhaus verstorben und lebend aus dem Krankenhaus entlassen: Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=8,089$ $p<0,01$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Vergleichsgruppe 2 konnte eine hoch signifikant erhöhte Mortalität im Vergleich zu der Vergleichsgruppe 1 gezeigt werden. Aufgrund der geringen Fallzahl ist der „Chi-Quadrat-Test“ aber nicht exakt.

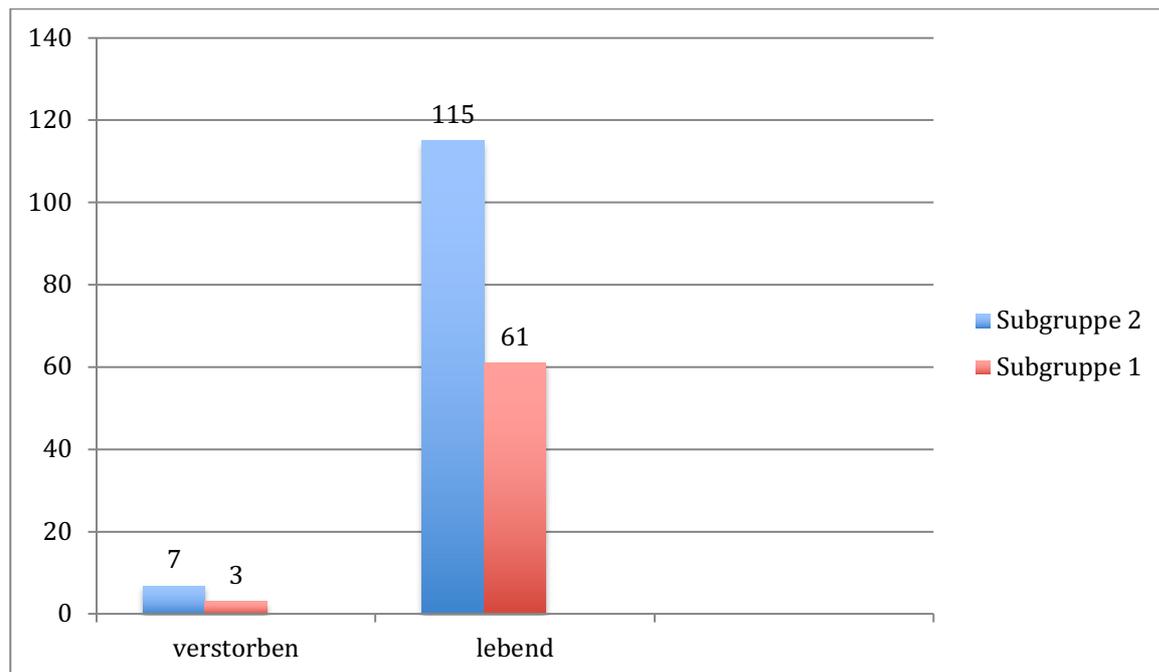


Abbildung 37: Säulendiagramm: „Im Krankenhaus verstorben“ und „lebend aus dem Krankenhaus entlassen“: Vergleich der Subgruppe 1 vs. Subgruppe 2

$\chi^2=0,091$ $p < 0,5$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Subgruppe 1 konnte keine signifikant erhöhte Mortalität im Vergleich zur Subgruppe 2 gezeigt werden. Aufgrund der geringen Fallzahl ist der „Chi-Quadrat-Test“ aber nicht exakt.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man diese Frage wie folgt beantworten:

Die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur zeigt eine höhere Mortalität als die isolierte Brustwirbelsäulenfraktur. Diese Aussage kann man nur bedingt treffen, da die Fallzahl für einen „Chi-Quadrat-Test“ nicht ausreicht. Diese Aussage gilt nicht für den Vergleich der Subgruppen untereinander.

Treten in der Untersuchungsgruppe der Kombinationsverletzungen häufiger Querschnittslähmungen bzw. neurologische Ausfälle auf als in der Vergleichsgruppe mit einer isolierten BWS-Verletzung?

Um diese Frage zu beantworten, verglichen wir die Vergleichsgruppe 1 mit der Vergleichsgruppe 2 sowie die Subgruppen untereinander, anhand der neurologischen Ausfälle, welche die Patienten durch den Unfall erlitten hatten.

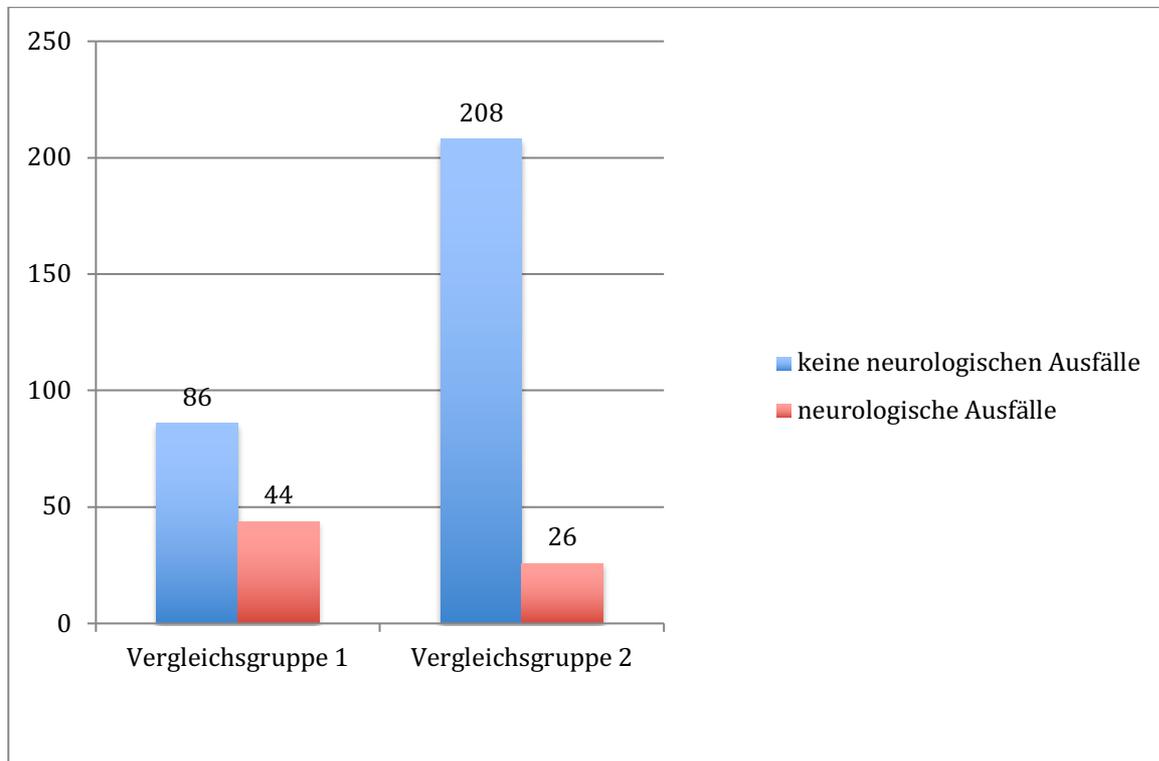


Abbildung 38: Säulendiagramm: Vergleichsgruppe 1 und Vergleichsgruppe 2: Keine neurologischen Ausfälle vs. neurologische Ausfälle

$\chi^2=27,810$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Vergleichsgruppe 1 zeigten sich höchst signifikant häufiger neurologische Ausfälle als in der Vergleichsgruppe 2.

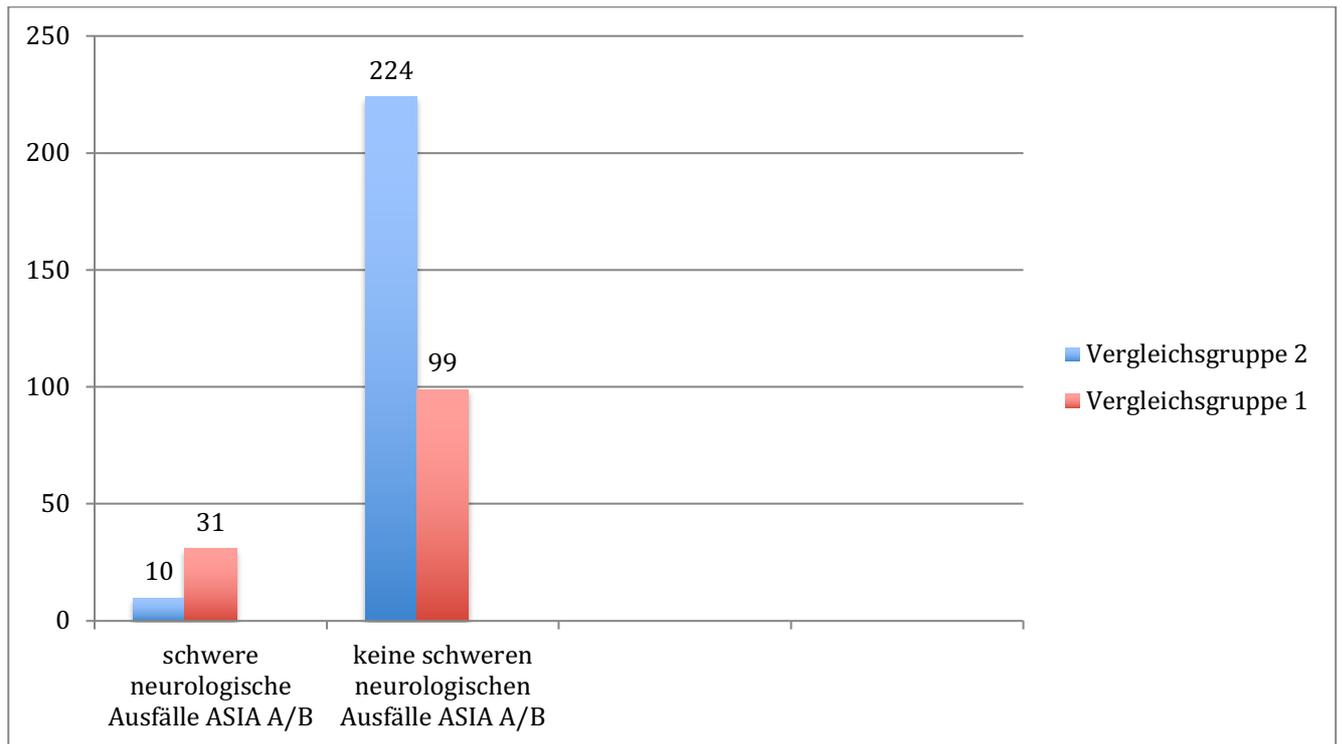


Abbildung 39: Säulendiagramm: Schwere neurologische Ausfälle (ASIA A/B), keine schweren neurologischen Ausfälle (ASIA A/B): Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=32,031$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Vergleichsgruppe 1 zeigten sich höchst signifikant häufiger schwere neurologische Ausfälle als in der Vergleichsgruppe 2.

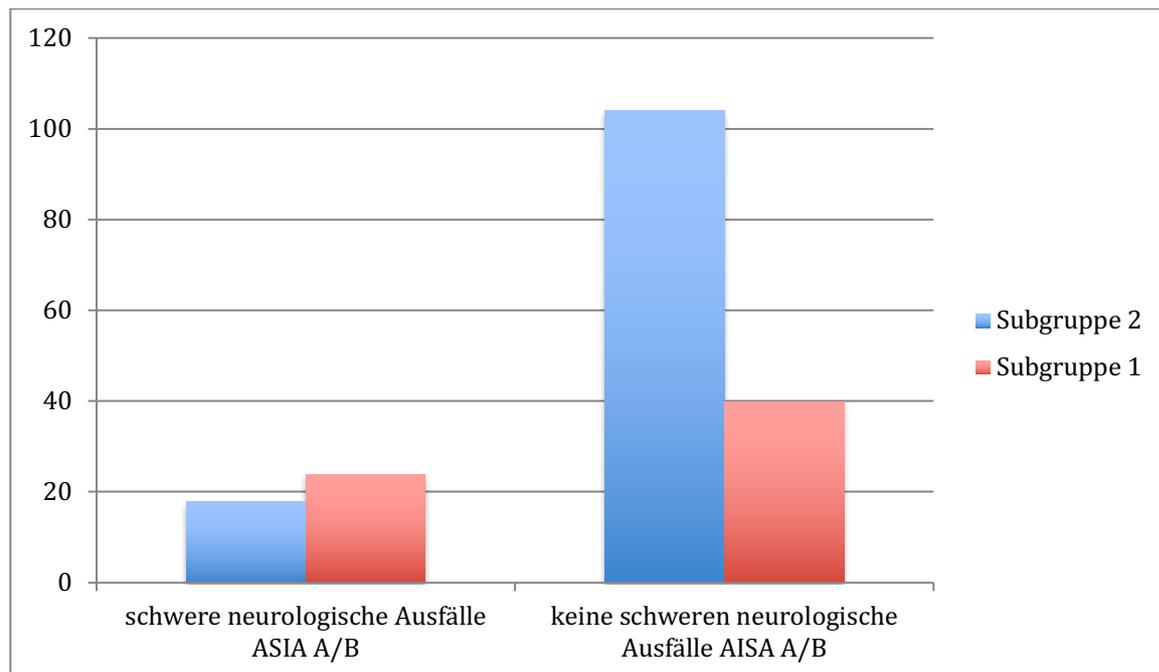


Abbildung 40: Säulendiagramm: Schwere neurologische Ausfälle (ASIA A/B), keine schweren neurologischen Ausfälle (AIS A/B): Vergleich der Subgruppe 1 vs. Subgruppe 2

$\chi^2 = 12,424$ $p < 0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Subgruppe 1 zeigten sich höchst signifikant häufiger schwere neurologische Ausfälle als in der Subgruppe 2.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man die Frage 7 wie folgt beantworten:

In der Untersuchungsgruppe der Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur treten häufiger Querschnittsverletzungen bzw. neurologische Ausfälle auf als in der Vergleichsgruppe mit einer isolierten BWS-Verletzung.

Treten vermehrte Beatmungsprobleme, gemessen an Beatmungsstunden, nach der Kombinationsverletzung auf?

Um diese Frage zu beantworten, verglichen wir die Vergleichsgruppe 1 mit der Vergleichsgruppe 2 in Bezug auf die Stunden, die die Patienten beatmet werden mussten. Des Weiteren verglichen wir die Anzahl der Thoraxdrainagen, die gelegt werden mussten. Die Subgruppen wurden ebenfalls miteinander verglichen.

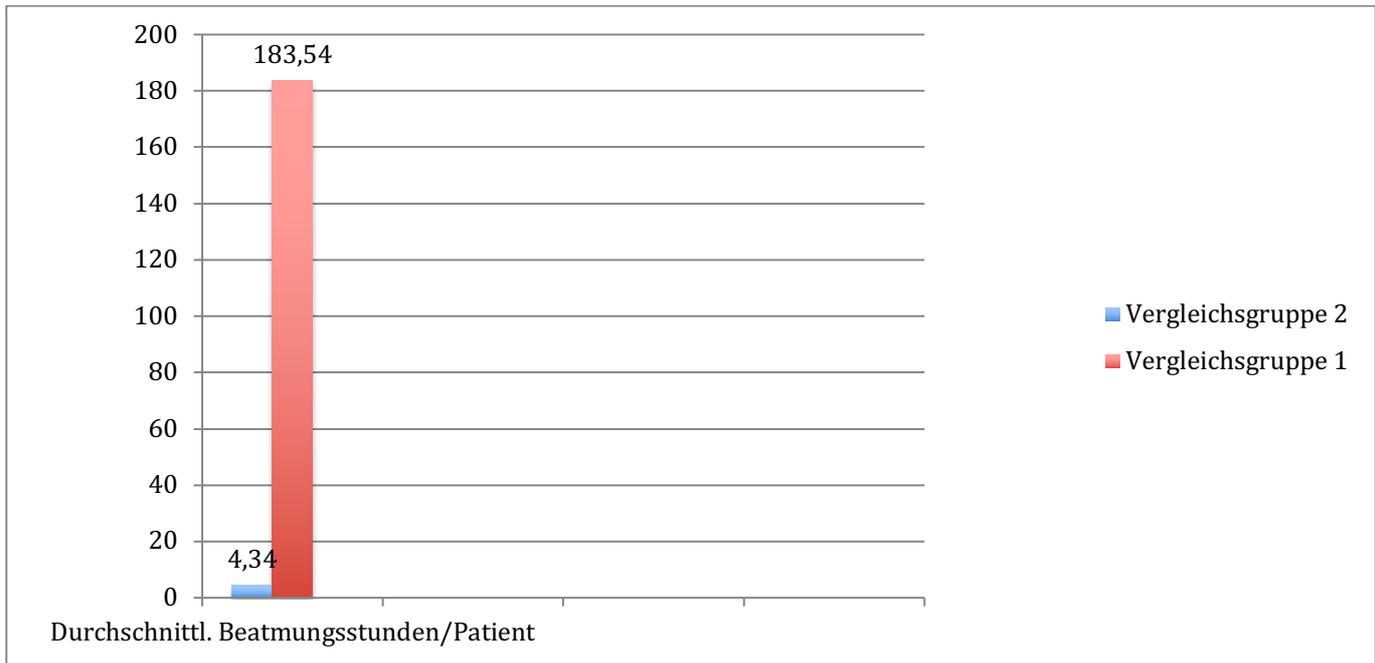


Abbildung 41: Säulendiagramm der durchschnittlichen Beatmungsstunden: Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$t(6,19)=129,47 \Rightarrow t(129,47)=6,19$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

Die Vergleichsgruppe 1 weist höchst signifikant mehr Beatmungsstunden auf als die Vergleichsgruppe 2.

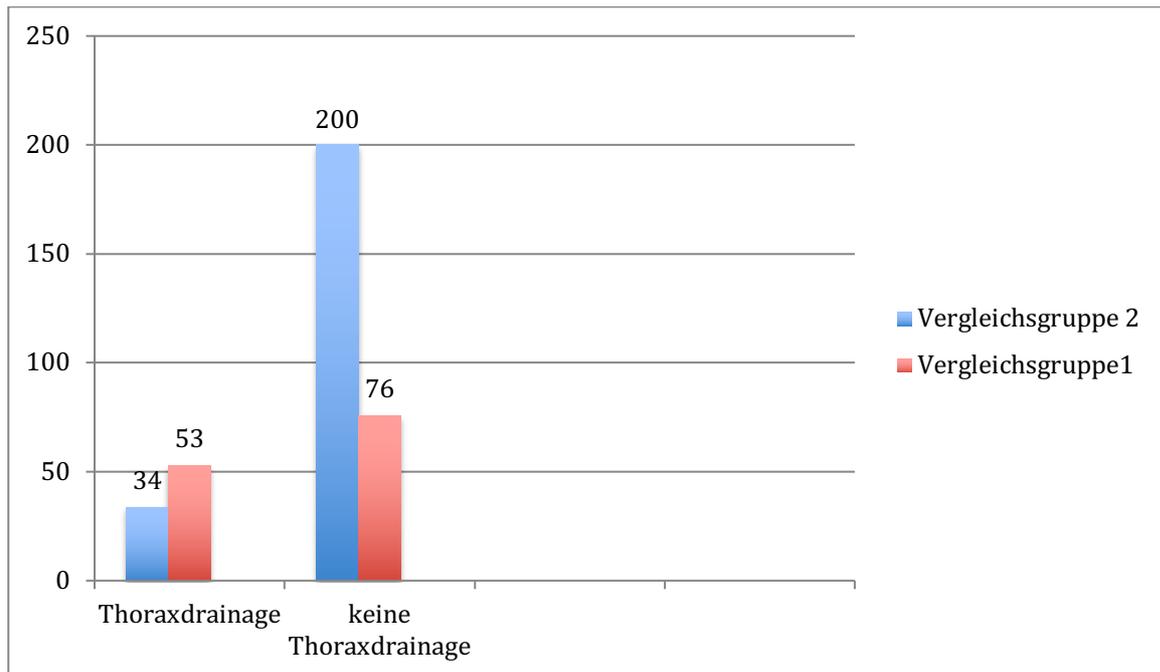


Abbildung 42: Säulendiagramm Anlage einer Thoraxdrainage und keine Anlage einer Thoraxdrainage: Vergleich der Vergleichsgruppe 1 vs. Vergleichsgruppe 2

$\chi^2=33,256$ $p<0,001$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Vergleichsgruppe 1 wurden höchst signifikant mehr Thoraxdrainagen gelegt als in der Vergleichsgruppe 2.

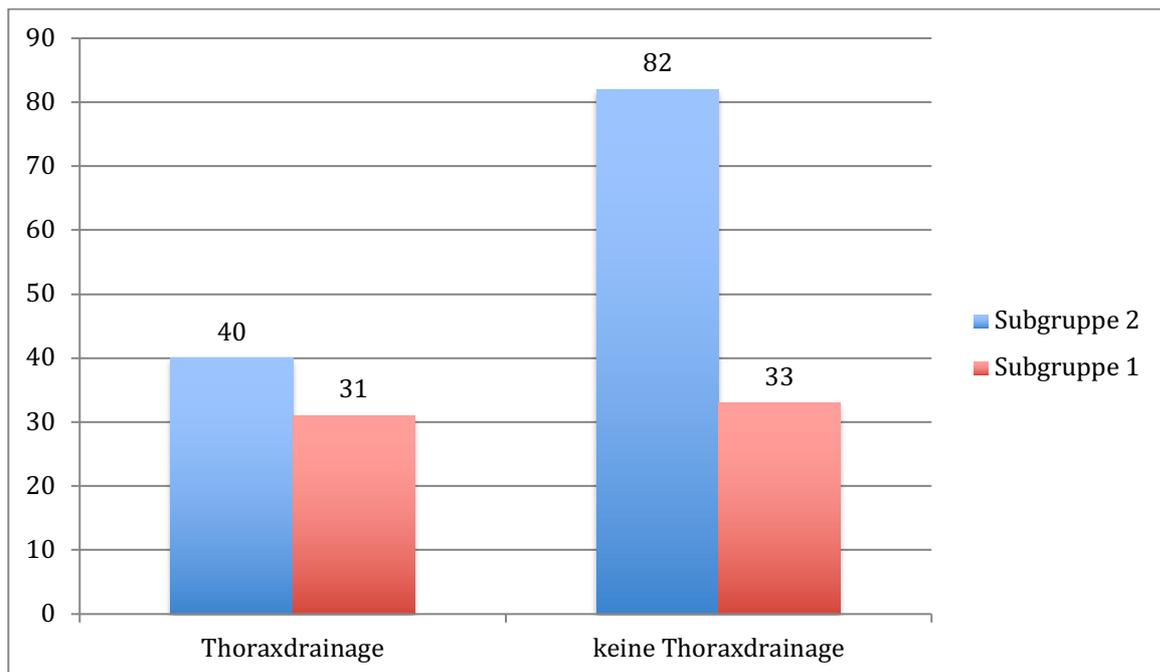


Abbildung 43: Säulendiagramm Anlage einer Thoraxdrainage und keine Anlage einer Thoraxdrainage: Vergleich der Subgruppe 1 vs. Subgruppe 2

$\chi^2 = 4,357$ $p < 0,05$ und so ergibt sich aus dem Säulendiagramm folgende Aussage:

In der Subgruppe 1 wurden signifikant mehr Thoraxdrainagen gelegt als in der Subgruppe 2.

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man die Frage: „Treten vermehrte Beatmungsprobleme, gemessen an Beatmungstunden, nach der Kombinationsverletzung auf?“ wie folgt beantworten:

Bei der Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur treten signifikant vermehrt Beatmungsprobleme auf.

4 Diskussion

Thoracic cage injury

Die Sternumfraktur, welche seit 1860 in der Literatur beschrieben wird, ist eine seltene Verletzung, die oft mit schweren Begleitverletzungen einhergeht wie beispielsweise dem Schädelhirntrauma (57). Sternumfrakturen sind häufig mit einer Polytraumatisierung vergesellschaftet, welche überwiegend durch Hochrasanzunfälle verursacht werden (58). Eine gefährliche, aber auch häufig übersehene Verletzung ist die begleitende Sternumfraktur bei einer Wirbelkörperfraktur (22). In der Literatur finden sich nur wenige Studien, welche die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Wirbelsäulenfraktur untersuchen. So wurde das Verletzungsmuster von Otz et al. zu Beginn des 20. Jahrhunderts in einer experimentellen Analyse und durch zwei klinischen Studien, eine von Fowler in den 1950er Jahren und eine weitere von Park et al. in den 1980er Jahren, untersucht (59),(60),(61). Der Großteil der Sternumfrakturen kann konservativ behandelt werden (58, 62). Es wird allgemein angenommen, dass die Sternumfraktur häufig in Kombination mit einer Verletzung der oberen Wirbelsäule auftritt (15). Die Rippen und das Sternum schützen die Wirbelsäule gegen Rotationskräfte durch eine Erhöhung des Trägheitsmoments. Das Sternum, der Brustkorb und die starken Rippenwirbelbänder sorgen für eine Stabilität (63, 64). Deshalb benötigt es eine große kinetische Kraft, um das Sternum und die Wirbelsäule zu frakturieren. Aus diesem Grunde entstehen diese Verletzungen meist im Rahmen eines Hochrasanzunfalls.

Die Verletzung der dorsalen Säule der Wirbelsäule mit einer diskoligamentären Läsion (einschließlich der Wirbelkörperfrakturen) ist eine komplexe Verletzung, die eine Kombination aus mehreren Bewegungen, die entweder gleichzeitig oder hintereinander geschehen, voraussetzt. Wirbelsäulenfrakturen stellen das Endergebnis der sequentiellen oder simultanen Flexion, der axialen Kompression, der Rotation bzw. der nach ventral gerichteten Scherkraft dar (15, 41). Wenn man das *Drei-Säulen-Modell* nach Denis et al. für Wirbelkörperfrakturen zugrunde legt (41), kann eine gleichzeitige Brustbeinfraktur wie der Verlust einer vierten Säule bezeichnet werden (17, 20). Da es bekannt ist, dass eine Sternumfraktur ein Zeichen für eine hohe Unfallkinetik ist, sollte diese als eine unabhängige Variable in die Diagnostik und folglich auch in die Behandlung mit eingehen (17, 41). Die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur wurde von Labbe et al. in einer Fallstudie als „Verletzung des oberen Brustkorbs“ bezeichnet (1). Den Autoren

zufolge wird eine CT-Untersuchung des Thorax in Kombination mit einer systematischen, klinischen Untersuchung benötigt, um diese Kombinationsverletzung zu diagnostizieren.

Die oben genannte Literatur beschreibt die Sternumfraktur als ein Indikator für eine Fraktur der Brustwirbelsäule, welche die Folge eines adäquaten Traumas darstellt (65). Eine aktuelle Studie von Homagk et al. klassifiziert die Kombinationsverletzung systematisch in vier Untergruppen:

Typ 1: Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Halswirbelsäulenfraktur,

Typ 2: Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur,

Typ 3: Kombination aus Sternumfraktur und Lendenwirbelsäulenfraktur,

Typ 4: dissoziativ, um eine einheitliche Behandlung zu erreichen (66).

Die Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule

Das zentrale Ziel dieser Arbeit war es, festzustellen, ob eine Sternumfraktur nicht nur als Indikator für eine Fraktur der Brustwirbelsäule anzusehen ist, sondern darüberhinaus einen Prädiktor für eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule mit Unterbrechung der drei Säulen der Wirbelsäule darstellt. Deshalb formulierten wir die erste Hypothese: Die Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile BWS-Fraktur. In unserer Untersuchung anhand einer großen Kohorte konnten wir zeigen, dass die Thoraxringverletzung, bestehend aus Sternumfraktur und begleitender Brustwirbelsäulenfraktur, mit 51,5% signifikant häufiger eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule des Typ-B oder -C nach AO-Klassifizierung aufwies. Im Vergleich hierzu wies die Kontrollgruppe mit isolierter Brustwirbelsäulenfraktur nur 19,7% instabile Frakturen auf.

Wir konnten in unserer Untersuchung zudem zeigen, dass in dem Fall, in dem die Sternumfraktur und die Brustwirbelsäulenfraktur im selben Segment lagen, signifikant gehäuft rotationsinstabile Typ C-Frakturen festgestellt werden können.

Folglich kann man eine Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur, die sich in dem selben Segment befindet, als einen Indikator für eine rotationsinstabile Typ C-Fraktur der Brustwirbelsäule bezeichnen (67).

Die Hypothese, dass die Dislokation der Sternumfraktur mit der Instabilität der BWS-Fraktur korreliert, konnten wir nicht verifizieren. Die bei der Krankenaufnahme durchgeführte Bildgebung ermöglichte nur eine Momentaufnahme und nicht die wahren Feststellungen der

Verschiebung, die sich aufgrund der zum Zeitpunkt des Unfalls auf das Sternum wirkenden Kraft, ergeben hat. Die Rückstellkräfte des elastischen Brustkorbs können insbesondere bei jungen Patienten zu einer Frakturposition geführt haben.

Dies könnte auch erklären, warum wir in unserer Untersuchung keine erhöhte Mortalität feststellen konnten, wenn die Sternumfraktur grob disloziert war.

Untersuchungen zur Behandlung der Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur sind in der Literatur noch selten zu finden. Eine neuere Studie von Garrel et al. konnte zeigen, dass eine Dislokation der Corpus Sterni- Fraktur gehäuft mit Herz- und weiteren Organverletzungen im Thorax einhergeht. Wenn Frakturen oder Diskontinuitäten der Synchondrosis manubriosternalis in Kombination mit Brustwirbelsäulenfrakturen auftreten, so entstehen deutlich schwerere Wirbelkörperfrakturen (12). Unsere Studie bestätigt diese Ergebnisse.

Thoracic cage injury – Begleitverletzungen

Die Komplexität und Schwere der Thoraxringverletzungen zeigt sich auch in der hohen Zahl der Querschnittslähmungen, sodass die Autoren empfehlen, bei nicht sicherer Frakturklassifizierung und korrespondierender Höhe der Frakturen weitere Diagnostiken, wie zum Beispiel eine MRT- Untersuchung, anzuschließen.

Die hohe Anzahl der Beatmungstunden lassen sich durch die Langzeitbeatmung der tetraplegischen Patienten erklären. Auf der anderen Seite zeigt sich auch, dass die Patienten mit einem Thoraxtrauma engmaschig überwacht werden sollten, um einen Pneumothorax und die Entwicklung eines akuten Atemnotsyndroms (ARDS) rechtzeitig diagnostizieren und behandeln zu können.

Die Aussagen der Studie von Knobloch et al., dass die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur häufig mit Hochrasanztraumata des PKW's vergesellschaftet ist, konnten wir mit unserer Studie bestätigen (58).

Die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelsäulenfraktur (Thorax-Ring- Verletzung) ist eine schwere Verletzung mit schwerwiegenden Begleitverletzungen. Dies zeigt sich in mehreren Studien (22).

So konnten wir anhand unserer Daten auch eine höhere Mortalität bei einer Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und begleitender Brustwirbelsäulenfraktur im Vergleich zu einer isolierten BWS-Verletzung feststellen.

Thoracic cage injury des älteren Menschen

Da sich in der Auswertung der Letalitätsrate zwischen jüngeren und älteren Patienten ein Unterschied herausstellte, wollten wir diesen anhand weiterer Hypothesen näher untersuchen. Ziel der Untersuchung war es, ein Kollektiv von älteren Patienten mit einem Kollektiv jüngerer Menschen hinsichtlich des Verletzungsmusters und des klinischen Verlaufs zu vergleichen.

Zu diesem Thema konnten wir in der Literatur keine Studie finden.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass die Thorax- Ring- Verletzung beim älteren Menschen eine signifikant höhere Letalitätsrate aufweist.

Außerdem ergibt sich, dass Kombinationsverletzungen beim älteren Menschen aufgrund des rigideren Thorax sowie der geminderten Knochendichte schon bei relativ niedriger Unfallkinetik auftreten. Dies erklärt auch die signifikant selteneren instabilen Frakturen der Brustwirbelsäule in dieser Kohorte.

Zudem zeigt die Studie, dass die älteren Patienten vermehrt unter pulmonalen Folgekomplikationen leiden, wodurch die höhere Letalitätsrate verstehbar wird. So können wir mit Hilfe der durchgeführten Studie bestätigen, dass die Thorax-Ring-Verletzung bei älteren Menschen einen deutlich schwereren klinischen Verlauf aufweist. In dem Patientenkollektiv der über 65- Jährigen, bei denen die Sternumfraktur und die Brustwirbelsäulenfraktur in demselben Segment lagen, konnten wir vermehrt instabile Frakturen der Brustwirbelsäule feststellen.

Wir konnten anhand unserer Daten nicht feststellen, dass im Patientenkollektiv der über 65- Jährigen die Höhe der Sternumfraktur öfter mit der der BWK-Fraktur korreliert als in der Patientengruppe unter 65 Jahren. Dieses Ergebnis könnte man dadurch erklären, dass es bei dem rigideren Thorax des älteren Menschen keine gerichtete Kraft braucht, um die Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Brustwirbelfraktur zu verursachen. Zudem könnte es sich bei den Frakturen aufgrund der osteoporotischen Begleiterkrankungen um pathologische Frakturen handeln, die ohne ein adäquates Trauma entstanden sind.

Da, wie oben erwähnt, der Thorax des älteren Menschen rigider und die Knochendichte häufig gemindert ist, braucht es zur Entstehung der Kombinationsverletzung nicht dieselbe Kraft wie bei jüngeren Patienten. Dies könnte auch erklären, warum die Patientengruppe, die zum Zeitpunkt des Unfalls älter als 65 Jahre war, weniger bleibende neurologische Ausfälle

erlitt (24%) als das Patientenkollektiv, welches zum Zeitpunkt des Unfalls jünger als 65 Jahre war (35%).

Dieses Ergebnis blieb jedoch ohne Signifikanzniveau.

Studienlimitationen

Folgende Einschränkungen sind bei unserer vorliegenden Studie zu beachten: Der Fokus dieser Untersuchung lag auf der detaillierten Beschreibung des Schweregrades des Verletzungsmusters. Daher haben die Autoren den chirurgischen Eingriff und das klinische Ergebnis absichtlich nicht analysiert und ein retrospektives Studiendesign gewählt.

Wir entschieden uns dafür, verschiedene Untergruppen zu bilden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. So konnten wir, je nach Fragestellung, Bias des Alters ausschließen oder Patientengruppen untereinander vergleichen, die polytraumatisiert waren und somit einen ähnlichen ISS-Score aufwiesen. Des Weiteren wurden die Frakturen nach der AO/OTA Einteilung klassifiziert und in A, B oder C- Frakturen eingeteilt, um den Grad der Stabilität der Fraktur unterscheiden zu können. Weitere detaillierte Unterteilungen wie A1.3 nahmen wir nicht vor, da die Zahl der Patienten dadurch zu klein und eine Signifikanz in der Untersuchung nicht möglich gewesen wäre.

5 Zusammenfassung

Der Brustkorb ist eine anatomische Einheit, die sich aus oberer Brustwirbelsäule, den Rippen und dem Sternum zusammensetzt. Sternumfrakturen sind seltene Verletzungen. Sie sind aber oft mit Thoraxtraumata einschließlich Lungenquetschung und Rippenfrakturen sowie mit Frakturen der Wirbelsäule vergesellschaftet. Das primäre Ziel dieser Studie war es, das Verletzungsmuster des Thoraxtraumas zu analysieren und die damit verbundenen Verletzungen und den Traumamechanismus zu untersuchen. Wir nahmen an, dass die Sternumfraktur häufig in Kombination mit einer instabilen Fraktur der Brustwirbelsäule auftritt und somit als Indikator für eine Instabilität des Brustkorbs dienen kann.

Einschlusskriterien für die Studie waren:

- (a) Sternumfraktur und die gleichzeitige Brustwirbelsäulenfraktur,
- (b) Vorhandensein einer Ganzkörper-Computertomographie (CT-Scan), die bei der Aufnahme des Patienten in die Klinik durchgeführt wurde. Daten und CT-Scans wurden untersucht, um die Frakturen zu klassifizieren und die damit verbundenen Verletzungen, den Traumamechanismus und das klinische Outcome zu bewerten.
- (c) Unfallzeitpunkt zwischen 2003 und 2012,
- (d) Erstversorgung und Erstaufnahme in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau.

Einschlusskriterien für die Kontrollgruppe waren wie folgt:

- (a) Brustwirbelsäulenfraktur ohne gleichzeitige Sternumfraktur,
- (b)- (d) siehe Studienkohorte.

Wir untersuchten in unserem *Level I Trauma Center* über einen Zeitraum von zehn Jahren 1980 Patienten mit 3562 Brustwirbelfrakturen und 396 Patienten mit Sternumfrakturen. In 206 Fällen konnte eine Kombinationsverletzung aus Sternumfraktur und Wirbelsäulenfraktur diagnostiziert werden. Eine Thoraxverletzung mit einer Sternumfraktur sowie einer Fraktur der Brustwirbelsäule konnte bei 130 Patienten festgestellt werden. Damit erfüllten insgesamt 130 Patienten die Einschlusskriterien der Untersuchungsgruppe, während 234 Patienten in die Kontrollkohorte eingeschlossen wurden. In der Untersuchungsgruppe erlitten 62,5% der Patienten signifikant häufiger Patienten eine instabile Typ A3, B oder C-Fraktur als die Patienten der Kontrollgruppe. Traten Brustwirbelfrakturen in demselben Segment wie die

Sternumfrakturen auf, so konnten signifikant vermehrt rotationsinstabile Typ C- Verletzungen diagnostiziert werden. Die Dislokation der Brustbeinfraktur beeinflusste nicht den Schweregrad der Brustwirbelfraktur.

Die gleichzeitige Sternumfraktur ist ein Indikator für eine instabile Typ A3, B oder C- Fraktur der Brustwirbelsäule, die eine operative Stabilisierung benötigt. Wenn die Sternumfraktur und die Brustwirbelsäulenfraktur sich im gleichen Segment befinden, können instabile Typ C- Frakturen erwartet werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Sternumfraktur eine seltene aber schwerwiegende Verletzung des Thorax ist. Sie geht gehäuft mit schweren Begleitverletzungen, wie eine instabile Fraktur der Brustwirbelsäule, einher. Um keine schwerwiegenden Begleitverletzungen zu übersehen, sollte bei jedem Patienten mit einem adäquaten Unfallmechanismus und einer Sternumfraktur eine Polytraumaspirale durchgeführt werden.

6 Anhang

Injury, Int. J. Care Injured 47 (2016) 2465–2472



Contents lists available at ScienceDirect

Injury

journal homepage: www.elsevier.com/locate/injury

The unstable thoracic cage injury: The concomitant sternal fracture indicates a severe thoracic spine fracture



Mario Morgenstern, M.D.^{a,b,c,*}, Christian von Rueden^{a,c}, Hauke Callsen^a, Jan Friederichs^a, Sven Hungerer^{a,c}, Volker Bühren^a, Alexander Woltmann^a, Christian Hierholzer^d

^a Department of Trauma Surgery, Trauma Center Murnau, Murnau, Germany

^b Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Basel, Switzerland

^c Institute of Biomechanics, Paracelsus Medical University Salzburg, Austria

^d Department of Trauma Surgery, University Hospital Zürich, Switzerland

ARTICLE INFO

Keywords:

Sternal fracture
Thoracic spine fracture
Thoracic cage injury
Polytrauma

ABSTRACT

Introduction: The thoracic cage is an anatomical entity composed of the upper thoracic spine, the ribs and the sternum. The aims of this study were primarily to analyse the combined injury pattern of thoracic cage injuries and secondarily to evaluate associated injuries, trauma mechanism, and clinical outcome. We hypothesized that the sternal fracture is frequently associated with an unstable fracture of the thoracic spine and that it may be an indicator for unstable thoracic cage injuries.

Patients and methods: Inclusion criteria for the study were (a) sternal fracture and concomitant thoracic spine fracture, (b) ISS ≥ 16 , (c) age under 50 years, (d) presence of a whole body computed-tomography performed at admission of the patient to the hospital. Inclusion criteria for the control group were as follows: (a) thoracic spine fracture without concomitant sternal fracture, (b)–(d) same as study cohort. **Results:** In a 10-year-period, 64 patients treated with a thoracic cage injury met inclusion criteria. 122 patients were included into the control cohort. In patients with a concomitant sternal fracture, a highly unstable fracture (AO/OTA type B or C) of the thoracic spine was detected in 62.5% and therefore, it was significantly more frequent compared to the control group (36.1%). If in patients with a thoracic cage injury sternal fracture and T1–T12 fracture were located in the same segment, a rotationally unstable type C fracture was observed more frequently. The displacement of the sternal fracture did not influence the severity of the concomitant T1–T12 fracture.

Conclusions: The concomitant sternal fracture is an indicator for an unstable burst fracture, type B or C fracture of the thoracic spine, which requires surgical stabilization. If sternal and thoracic spine fractures are located in the same segment, a highly rotationally unstable type C fracture has to be expected.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Introduction

The thoracic cage is an anatomical entity composed of the upper thoracic spine, the ribs and the sternum [1]. Sternal fractures are rare injuries often associated with thoracic trauma including lung contusion and rib fractures followed by spinal fractures [2–4]. The most common mechanism of injury is a high deceleration trauma caused by motor vehicle collision. In addition to bowel injuries and spinal fractures, sternal fractures are considered seat belt-associated injuries [5–7]. Recent research showed that among the most frequent injury patterns in polytraumatized patients,

combined lesions of chest and spinal cord were observed [8,9]. Previous studies stated that sternal fractures can be regarded as an indicator for thoracic spine (T1–T12) fractures and described the combined injury pattern of thoracic spine fracture and sternal fracture as “upper thoracic cage injury” [1,10]. To our best knowledge literature is lacking data that in patients with a thoracic cage injury a highly unstable thoracic spine fracture can be expected.

The aims of this study were primarily to analyse the injury pattern of thoracic cage injuries and secondarily to evaluate associated injuries, trauma mechanism, and clinical course.

The following hypotheses were tested:

- (1) The concomitant sternal fracture is an indicator for an unstable T1–T12 fracture: In patients with a thoracic cage injury, more frequently an unstable T1–T12 fracture is

* Corresponding author at: Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Basel, Spitalstr. 21, 4031 Basel, Switzerland.
E-mail address: morgenstern.mario@gmail.com (M. Morgenstern).

observed compared to patients who suffered a thoracic spine fracture without an associated sternal fracture.

- (II) The displacement of the sternal fracture is an indicator for a more unstable and severe T1–T12 fracture in patients with a thoracic cage injury.
- (III) A translational unstable type C fracture can be diagnosed more frequently if the sternal and T1–T12 fracture are located in the same segment, compared to cases in which the sternal and T1–T12 fracture are located in different segments.

Patients and methods

In the period between 2003 and 2012, in a Level-I Trauma Centre a large series of patients with the combined injury pattern of sternal fracture and concomitant thoracic spine fracture was analysed. Inclusion criteria for the study were: (a) sternal fracture and concomitant thoracic spine fracture, (b) Injury Severity Score (ISS) ≥ 16, (c) age under 50 years, (d) presence of a whole body computed-tomography (CT-scan) performed at admission of the patient to the hospital. The inclusion criteria for the control group were: (a) Thoracic spine fracture without concomitant sternal fracture, (b)–(d) same as study cohort (see above). By excluding patients aged 50 and more the authors intended to exclude osteoporotic compression fractures in the cohort groups and therefore to obtain a consistent patient collective. The patient data were analysed for the following parameters: Demographic data, mechanism of injury, polytraumatization with corresponding ISS, duration of mechanical ventilation therapy, surgical treatment, and survival. Associated injuries were documented especially with focus on thoracic trauma fractures around the shoulder girdle, and spinal cord injuries. Spinal cord injuries were documented and

graded according to the American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS) [11]. Cases with incomplete documentation, incomplete radiographic findings and missing data were excluded from the study.

The analysis of CT-scans was performed by at least three independent investigators including a radiologist, the treating trauma surgeon and one of the authors of the study to detect and grade the extent of the thoracic cage injury and concomitant injury patterns. In case of disagreement on the classification, these cases were discussed until agreement was reached. The investigators analysed injury morphology by screening the CT-scans for existence of the following injury patterns: Displacement or dislocation, integrity of the posterior ligamentous complex (PLC), morphology of vertebral body fracture [12–14]. Based on these the thoracic spine fractures were classified according to the AO/OTA classification by Magerl et al. [14] and the thoracolumbar injury classification and severity score (TLICS) [12]. Burst fractures (AO/OTA type A3 and A4) fractures are unstable fractures. Injuries of the PLC (AO/OTA type B) and displaced fractures (AO/OTA type C) are considered as highly unstable injuries. In addition to the above mentioned injury characteristics the TLICS scoring is based on patients' neurologic status. The affected levels were documented and in case of multi-segmental thoracic spine fractures the fracture with the highest degree of instability (due to AO/OTA classification [13,14]) was selected for statistical analysis.

Sternal fracture was diagnosed when cortical disruption was detected with or without displacement. For the topographic analysis we divided the sternum according to the costo-sternal articulations in seven zones, whereas the manubrium sterni is represented by zone I, respectively the sternal angle (synchondrosis manubriosternalis) by zone II, and the corpus stemi including xiphoid process by zone III–VII (Fig. 1) [15]. Fracture displacement

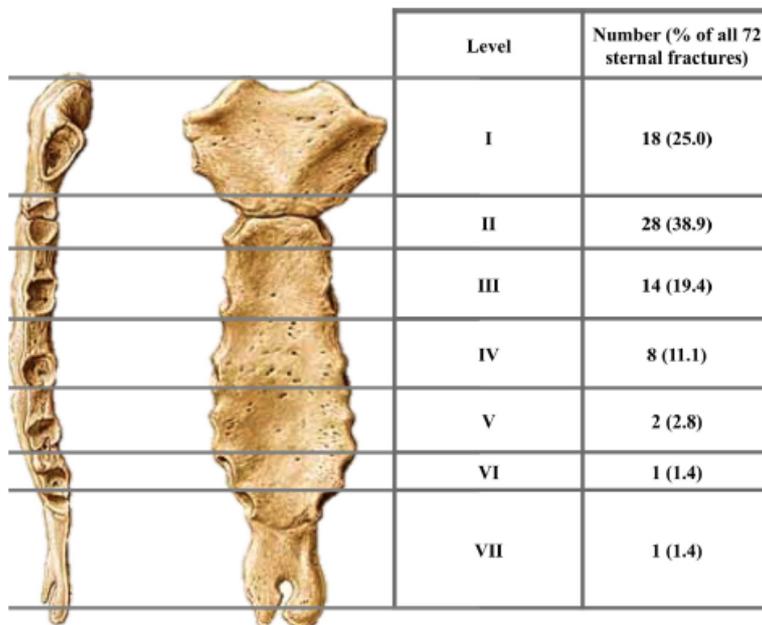


Fig. 1. Topographic division of the sternum into seven zones, from proximally to distally: I. Manubrium sterni; II. Sternal angle; III–VII. Corpus sterni: division in zones according to articulation with corresponding ribs. Right column: affected zone and prevalence of all 72 sternal fractures in 64 patients with thoracic cage injury (eight patients with two sternal fractures). (From: Putz R, Papst R, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 2. München: Urban & Fischer; 2000).

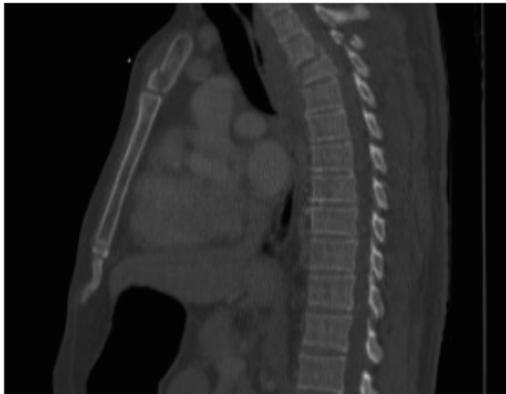


Fig. 2. Thoracic cage injury in the same segment: Fracture of manubrium sterni affecting the sternal angle with corresponding rotational unstable type C injury of T3 and T4.

was classified morphologically in non-displaced fractures (1), fracture displacement up to half cortical diameter (2) (moderate), and greater dislocation (3) (severe).

We defined corresponding fracture height, when the sternal fracture was located in the zone above or below the costo-sternal articulation of the rib allocated to the affected vertebra (Fig. 2).

Statistical analysis was performed using SPSS® Statistics for Windows 19.0 (IBM Corp., Armonk, New York, U.S.A.). Results in this study are presented as mean values with standard deviation (SD). Significance for categorical data was calculated using the Pearson's chi-squared test. Analysis of variance was used to detect differences between the groups. Numeric data were tested for normal distribution with the Kolmogorov Smirnov Test. Assuming parametric data, statistical differences were tested using the

paired T-test for independent variables. A result was considered to be statistically significant with p-value <0.05.

Written informed consent was obtained from the patients for publication of this study and any accompanying images. This trial was approved by the hospital's Institutional Review Board and it was registered with ClinicalTrials.gov.

Results

Overview

In the stated time period, we treated 1980 patients with thoracic spine fractures and 396 patients with sternal fractures, whereas in 206 cases the combined injury pattern of sternal fracture and concomitant spinal fracture (including cervical, thoracic, and lumbar spine) could be observed. In total 130 patients suffered a thoracic cage injury, the combined injury pattern of sternal and thoracic spine fracture. 64 patients met the inclusion criteria (thoracic spine fracture, sternal fracture, ISS ≥ 16; age < 50 years), whereas 122 patients were included in the control group (thoracic spine fracture, no sternal fracture, ISS ≥ 16; age < 50 years). The selection process of patients to the study and the control group is visualized in Fig. 3.

Thoracic cage injury—patient data and clinical course

Included patients with a thoracic cage injury were predominantly male (81.3%), and mean age was 37.5 (range: 13–49). The mean ISS was 33.0 and high velocity trauma was in 82.8% the underlying trauma mechanism. The overall mortality documented at discharge from hospital care was 4.7%. The associated thoracic trauma included predominantly lung contusion and rib fractures (64.0%) with mono-lateral and bi-lateral serial rib fracture in 28 (43.8%) and 15 (23.4%) patients, respectively. In 54 patients (41.5%) a significant pneumo-thorax or hemato-thorax required a chest-drain and mean mechanical ventilation time on ICU was 306 h. Fractures around the shoulder girdle affecting the clavicle and

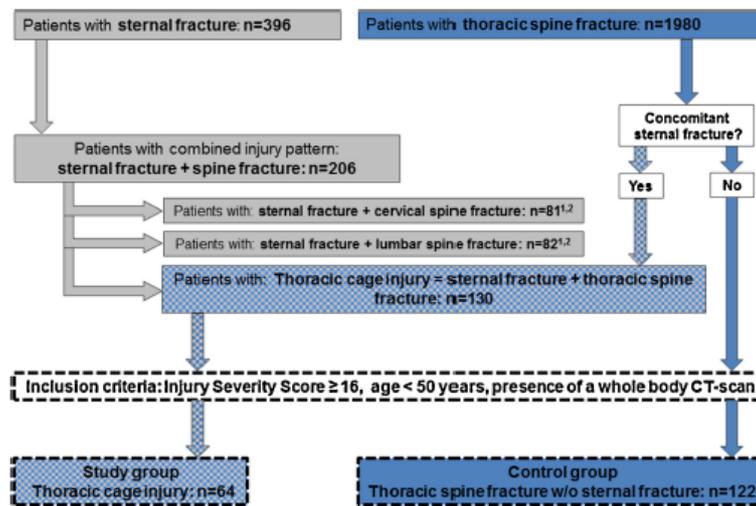


Fig. 3. Graphic delineation on patient selection process. ¹Sum of cervical, thoracic and lumbar spine fractures exceed 206, since multiple injured levels occurred; ²Patients with cervical or lumbar spine fracture, but missing thoracic spine fracture were excluded.

Table 1 (Continued)

	Polytraumatized patients (ISS \geq 16 and age < 50 years)		Control group
	Thoracic cage injury		
	- thoracic spine fracture		- thoracic spine fracture
	- sternal fracture		- no sternal fracture
Severe displacement, n (%)	8 (12.5)	-	-
Localization of sternal fracture (fractures total: n=72) ^b			
Multilevel-sternal fracture, n (%)	8 (12.5)	-	-
Manubrium sterni, n (%)	18 (28.1)	-	-
Synchondrosis manubriosternalis, n (%)	28 (43.8)	-	-
Corpus sterni, n (%)	26 (40.6)	-	-
Fracture of the thoracic spine (AO/OTA-Classification) ^c			
A1, n (%)	10 (15.6)	<0.001	55 (45.1)
A2, n (%)	2 (3.1)	0.96	7 (5.7)
A3 (Incomplete burst fracture), n (%)	2 (3.1)	0.24	10 (8.2)
A4 (Complete burst fracture), n (%)	10 (15.6)	0.013	6 (4.9)
B (Posterior ligamentous complex injury), n (%)	12 (18.8)	0.034	10 (8.2)
C (Displacement, dislocation), n (%)	28 (43.8)	0.029	34 (27.9)
Unstable thoracic spine fracture (A3/4, B and C), n (%)	52 (81.3)	<0.001	60 (49.2)
Three column thoracic spine fracture (B and C), n (%)	40 (62.5)	<0.001	44 (36.1)
TLICS Scoring ^d , median (95% Confidence Interval)	6.50 (4.64;6.18)	<0.001	2.00 (2.94;4.00)
Neurology (AISA Impairment Scale; AIS)			
Spinal cord injury, n (%)	29 (45.3)	0.017	34 (27.9)
Severe injury (AIS A or B), n (%)	24 (37.5)	<0.01	18 (14.7)
Ventilation			
Duration of invasive ventilation in hours (mean, sd)	305.5 (375.8)	<0.001	22.3 (33.8)

^a In patients with multilevel sternal fracture the greatest displacement was taken into account.

^b In 8 patients a multi-level sternal fracture was diagnosed.

^c For statistical analysis the worst classified fracture was taken into account.

^d Thoracolumbar injury classification and severity score (TLICS).

were observed in 62.5% of the study cohort and only in 49.2% of the control group ($p < 0.001$). Correspondingly complete burst fractures (type A4) were diagnosed significantly more frequently in patients with a concomitant sternal fracture (15.6%) compared to the control cohort (4.9%) ($p = 0.013$).

In patients with a thoracic cage injury the high rate of unstable T1–T12 fractures is represented by a significantly higher rate of severe spinal cord lesions (37.5%) compared to the control group (T1–T12 fractures and lacking sternal fractures: 14.7%) ($p < 0.01$).

Correspondingly, in patients with a thoracic cage injury a significantly higher TLICS scoring was determined ($p < 0.001$) (Table 1).

Dislocation of sternal fracture and instability of spinal fracture

In 53.1% of the patients ($n = 34$) with a thoracic cage injury, a displaced sternal fracture was diagnosed, whereas eight of them suffered a multilevel sternal fracture. In patients with a displaced

sternal fracture, a type CT1–T12 fracture was seen in 16 (47.1%), a type B fracture in 7 (20.6%) and a burst fracture in 4 (11.8%) cases (Fig. 5). In patients with a non-displaced sternal fracture, a type C fracture was seen in 12 (40.0%) a type B fracture in 5 (16.7%), and a burst fracture in 8 (26.7%) cases (Fig. 5). Statistical analysis revealed that a dislocated sternal fracture (moderate and severe displacement) is not more frequently associated with an unstable T1–T12 fracture (burst fracture, B and C) ($p = 0.69$) or even a three column thoracic spine fracture [16] (type B and C) ($p = 0.37$) (Fig. 5).

Segmental thoracic cage injury—predictor for a rotationally unstable type C fracture

In 27 patients (42.2%) with a thoracic cage injury, the sternal and a concomitant thoracic spine fracture were located in the same segmental level. In these patients, in 59.3% ($n = 16$) a rotationally unstable type C fracture was diagnosed (Fig. 2). If sternal fracture and T1–T12 fracture were not located in the same segment (in 37

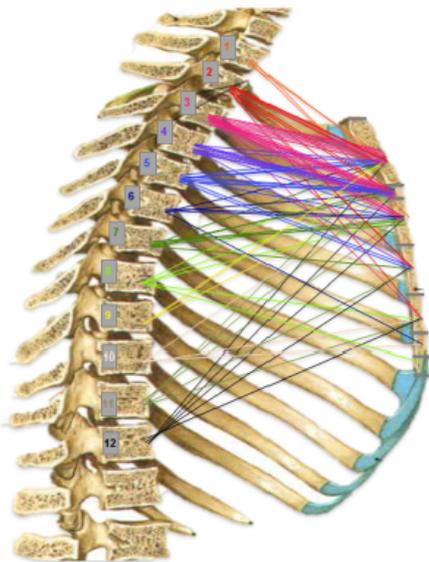


Fig. 4. Thoracic cage injury: Thoracic spine fracture and corresponding sternal fracture. In patients with multi-level thoracic spine fractures the worst fracture with highest ranking in AO/OTA classification was taken into account. (Image modified from Putz R, Papst R, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 2. München: Urban & Fischer; 2000).

patients; 57.8%), significantly less frequent a rotational unstable type C fracture was observed (32.4%; 12 out of 37) ($p=0.033$).

Discussion

Thoracic cage injury

Sternal fractures are frequent in polytraumatized patients following high-energy trauma [6,8]. Assessment of patients with sternal trauma requires precise evaluation of diagnostic studies to detect associated injuries [1,5]. An important but frequently overlooked combination is that of sternal and spinal fractures [17].

Ribs and sternum protect the spine against rotational forces and provide stability in the setting of thoracic vertebral fractures and dislocations [18,19]. Due to the three-column model for spinal fractures [16], a concomitant sternal fracture can be considered as loss of the fourth column [20,21]. It is common consensus that a sternal fracture is a reliable marker of the magnitude of the forces applied to the patient, and therefore, it should be recognized as an independent variable in the assessment and treatment [16,21]. The injury pattern of thoracic spine fracture in combination with sternal fracture was described by Labbe et al. in a case series as “upper thoracic cage injury” [1] and Lund et al. stated that a sternal fracture is an indicator for thoracic spine fractures following adequate trauma [10]. A recent study by Homagk et al. classified sternovertebral injury systematically into four types in order to acquire consistent treatment recommendations [22]. Based on these findings, the central aim of this investigation was to clarify if a sternal fracture may not only be considered an indicator for a thoracic spine fracture, but also furthermore, a predictor of an unstable thoracic spine fracture with disruption of all three spinal columns.

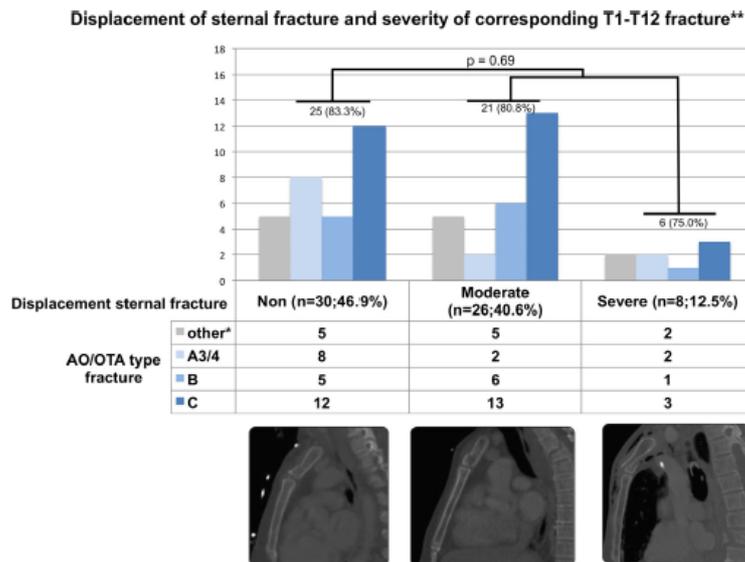


Fig. 5. Thoracic cage injury: displacement of sternal fracture and severity of corresponding T1–T12 fracture (according to AO/OTA classification): Displacement of sternal fracture is not correlating with severity of thoracic spine fracture. CT-scans are visualizing non-displaced, moderate displaced and severe displaced sternal fractures. *) “Other” fractures of T1–T12 are: AO/OTA type A2 and A1 fractures and process fractures. **) In multilevel sternal fracture, the fracture with the worst displacement was taken into account. In multilevel T1–T12 fracture, the fracture with the highest severity was taken into account.



Fig. 6. Displaced and locked fracture of the sternal angle with corresponding unstable fracture of T5 and T6 resulting in a spinal cord lesion and severe lung trauma. This fracture pattern requires multi-segmental stabilization of the thoracic spine fracture, decompression of the spinal cord, and surgical stabilization of the sternal fracture.

Sternal fracture is an indicator for an unstable spinal fracture

Investigation on a large cohort revealed that in patients with thoracic cage injury a highly unstable type B or C thoracic spine fracture occurred in 62.5%, which was significantly more frequent compared to the control group. Therefore, the concomitant sternal fracture (fracture of the fourth column) may be an indicator for a highly unstable thoracic spine fracture.

If in patients with a thoracic cage injury sternal and T1–T12 fracture were located in the same segment significantly more frequently a rotationally unstable type C fracture was observed. Consequently, a sternal fracture in the same segment may be an indicator for a rotationally unstable type C fracture, which may require specific surgical treatment interventions [23].

In patients with a thoracic cage injury, the displacement of the sternal fracture did not influence the severity of the concomitant T1–T12 fracture. The displacement of the sternal fracture was diagnosed in the CT-scan upon hospital admission. The imaging allowed a snapshot and does not demonstrate the true dislocation during the application of the forces. Especially in young patients, the restoring forces of the elastic thoracic cage may lead to a fracture reduction during resuscitation [24].

Von Garrel et al. showed that in displaced fractures of the sternal corpus, thoracic and cardiac injuries were observed frequently. In fractures or disruptions of the sternal angle, concurrence of spinal fractures clearly increased [15]. Our study confirmed these findings.

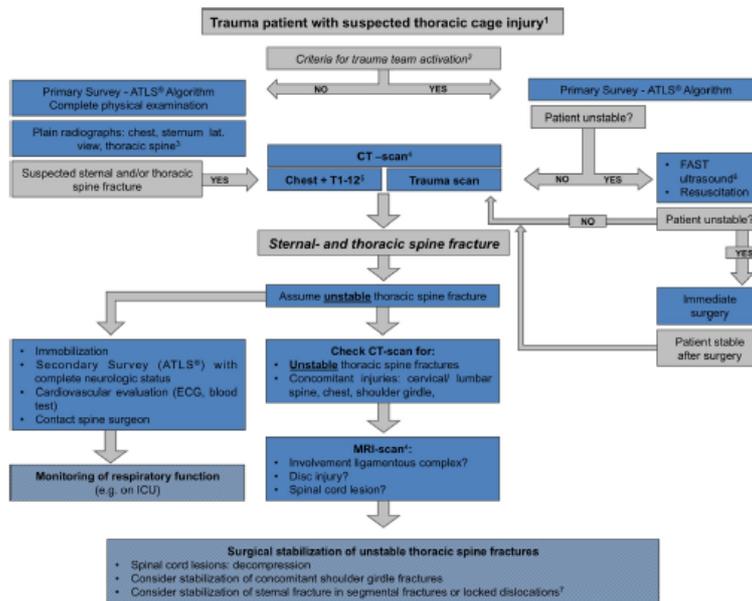


Fig. 7. Diagnostic algorithm in patients with a suspected thoracic cage injury. ¹⁾ A thoracic cage injury should be suspected in patients with: disturbance of consciousness, neurologic deficit, back pain with myogelosis, intoxication, severe limb trauma, chest pain, dyspnoea, emphysema, unstable chest. ²⁾ Consensus criteria for full trauma team activation are listed in the American College of Surgeons *Resources for Optimal Care of the Injured Patient 2014* [25] or the S3 guidelines of the German Society of Trauma Surgery (DGU) [26]. ³⁾ Additional radiographs of cervical and lumbar spine are recommended and examinations of other affected body regions should be performed according to clinical routine. ⁴⁾ If not available consider transfer to trauma center. ⁵⁾ Additional CT scan of cervical and lumbar spine should be considered. ⁶⁾ FAST ultrasound (Focused Assessment with Sonography in Trauma). ⁷⁾ The thoracic cage injury requires particular attention when sternal fracture and thoracic spine fractures are treated by different surgical teams.

Thoracic cage injury—associated injuries

The complexity and severity of thoracic cage injuries is also represented in our cohort by the high rate of spinal cord lesions (Fig. 6) and therefore, the authors recommend performing a diagnostic MRI-scan in order to assess a possible spinal cord lesion.

In our cohort the high rate of ventilation hours in patients with a thoracic cage injury may be explained by the comparatively high rate of concomitant chest trauma. Patients with a thoracic cage injury therefore should be monitored closely to detect a pneumothorax and to prevent the development of respiratory distress syndrome.

Study cohort—characteristics

In the study group and the control group, patients were included who suffered polytrauma injuries and aged less than 50 years and therefore, represent two comparable patient cohorts to allow significant statistical analysis. By including only polytraumatized patients in both groups a comparable trauma load was assumed and therefore, both cohorts demonstrated comparable injury severity as indicated by a similar mean ISS and mortality rate. By excluding patients aged 50 and more the authors intended to exclude osteoporotic compression fractures in the cohort groups and therefore to obtain a consistent patient collective.

Study limitations

We acknowledge a few limitations of the present study: The focus of this investigation was the detailed description of the severity of the injury pattern and therefore the authors intentionally did not analyse the surgical procedure and clinical outcome, and chose a retrospective study design. For the future, a subsequent clinical and radiological follow-up study of our cohort groups is scheduled.

Conclusions

In conclusion, the unstable sternal fracture is a rare but severe lesion of the thoracic cage due to high rate of concomitant injuries, including severe thoracic spine injuries. Therefore, in all patients with high-energy trauma and suspicion of sternal fracture, a whole body CT-scan is recommended in order to detect frequently associated spinal injuries. Fig. 7 provides a diagnostic pathway in patients with a suspected thoracic cage injury.

For the first time we could show that the sternal fracture may be an indicator for an unstable type A3/A4, B or C fracture of the thoracic spine, which requires surgical stabilization and is associated with a high rate of neurologic impairment. MRI diagnostics is recommended in thoracic cage injuries to detect spinal cord lesions and to assess involvement of the ligamentous complex and the vertebral disc. In cases where sternal and thoracic spine fractures are located in the same segment, a highly unstable type C fracture can be expected.

The dislocation of the sternum may not be considered a predictor for unstable thoracic spine fractures.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

- [1] Labbe JL, Peres O, Leclair O, Goulon R, Scemama P, Jourdel F. Fractures of the upper transthoracic cage. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91:91–6.
- [2] Athanassiadi K, Gerazounis M, Moustakas M, Metaxas E. Sternal fractures: retrospective analysis of 100 cases. *World J Surg* 2002;26:1243–6.
- [3] Celik B, Sahin E, Nadir A, Kaptanoglu M. Sternal fractures and effects of associated injuries. *Thorac Cardiovasc Surg* 2009;57:468–71.
- [4] Scheyerer MJ, Zimmermann SM, Bouaicha S, Simmen HP, Wanner GA, Werner CM. Location of sternal fractures as a possible marker for associated injuries. *Emerg Med Int* 2013;2013:407589.
- [5] Oyetunji TA, Jackson HT, Obinze AC, Moore D, Branche MJ, Greene WR, et al. Associated injuries in traumatic sternal fractures: a review of the National Trauma Data Bank. *Am Surg* 2013;79:702–5.
- [6] Recinos G, Inaba K, Dubose J, Barmparas G, Teixeira PG, Talving P, et al. Epidemiology of sternal fractures. *Am Surg* 2009;75:401–4.
- [7] Greingor JL, Lazarus S. Chest and abdominal injuries caused by seat belt wearing. *South Med J* 2006;99:534–5.
- [8] Knobloch K, Wagner S, Haasper C, Probst C, Krettek C, Vogt PM, et al. Sternal fractures are frequent among polytraumatized patients following high deceleration velocities in a severe vehicle crash. *Injury* 2008;39:36–43.
- [9] von Ruden C, Woltmann A, Rose M, Wurm S, Ruger M, Hierholzer C, et al. Outcome after severe multiple trauma: a retrospective analysis. *J Trauma Manag Outcomes* 2013;7:4.
- [10] Lund JM, Chojnowski A, Crawford R. Multiple thoracic spine wedge fractures with associated sternal fracture: an unstable combination. *Injury* 2001;32:254–5.
- [11] Marino RJ, Barros T, Biering-Sorensen F, Burns SP, Donovan WH, Graves DE, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2003;26(Suppl. 1):S50–6.
- [12] Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, Oner FC, Hulbert RJ, Hedlund R, et al. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *J Orthop Sci* 2005;10:671–5.
- [13] Reinhold M, Audige L, Schnake KJ, Bellarbarba C, Dai LY, Oner FC. AO spine injury classification system: a revision proposal for the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J* 2013;22:2184–201.
- [14] Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 1994;3:184–201.
- [15] von Garrel T, Ince A, Junge A, Schnabel M, Bahr C. The sternal fracture: radiographic analysis of 200 fractures with special reference to concomitant injuries. *J Trauma* 2004;57:837–44.
- [16] Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine (Phila. PA 1976)* 1983;8:817–31.
- [17] Jones HK, McBride GG, Mumby RC. Sternal fractures associated with spinal injury. *J Trauma* 1989;29:360–4.
- [18] Dorr LD, Harvey Jr. JP, Nickel VL. Clinical review of the early stability of spine injuries. *Spine (Phila. PA 1976)* 1982;7:545–50.
- [19] Watkins Rt, Watkins 3rd. R, Williams L, Ahlbrand S, Garcia R, Karamanian A, et al. Stability provided by the sternum and rib cage in the thoracic spine. *Spine (Phila. PA 1976)* 2005;30:1283–6.
- [20] Berg EE. The sternal-rib complex. A possible fourth column in thoracic spine fractures. *Spine (Phila. PA 1976)* 1993;18:1916–9.
- [21] Vioreanu MH, Quinlan JF, Robertson I, O'Byrne JM. Vertebral fractures and concomitant fractures of the sternum. *Int Orthop* 2005;29:339–42.
- [22] Homagk L, Siekmann H, Schmidt J, Schmidt J. The sterno-vertebral instability—a new classification and therapeutic options. *Z Orthop Unfall* 2014;152:343–50.
- [23] Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audige L, Kandziora F, Pizanis A, et al. Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine. Part II: surgical treatment and radiological findings. *Unfallchirurg* 2009;112:149–67.
- [24] Vialle LR, Vialle E. Thoracic spine fractures. *Injury* 2005;36(Suppl. 2):B65–72.
- [25] American College of Surgeons Committee on Trauma. *Resources for Optimal Care of the Injured Patient*. Chicago: American College of Surgeons; 2014. <https://www.facs.org/quality-programs/trauma/vrc>.
- [26] Lendemans S, Ruchholtz S. S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. *Trauma room care. Unfallchirurg* 2012;115(1):14–21.

Die instabile Thorax-Ring-Verletzung des älteren Menschen

Callsen, H.; Morgenstern, M.; Friederichs, J.; Hierholzer, C.; Wolmann, A.; Hungerer, S.; Bühnen, V.



Zielsetzung

Der Brustkorb beschreibt eine anatomische Einheit, die sich aus dem Sternum, den Rippen und der kranialen Brustwirbelsäule (BWS) zusammensetzt. Die Sternumfraktur ist oft im Rahmen einer Polytraumatisierung mit einem Thorax-Trauma und Frakturen der Wirbelsäule vergesellschaftet¹. Sie ist eine seltene Verletzung². Ältere Menschen sind besonders prädisponiert für derartige Frakturen des Thorax-Ringes, da sie einen rigideren Thorax und eine geminderte Knochendichte aufweisen. Das Ziel dieser Studie ist es, das Verletzungsmuster sowie den Unfallmechanismus der Thorax-Ring-Verletzung beim älteren Patienten zu analysieren und mit einem Kollektiv junger Patienten zu vergleichen.



Methodik

Es wurde eine retrospektive Computer-Tomographie-Bildmaterial- und Daten-Analyse von Patienten ab dem 65. Lebensjahr, die eine Thorax-Ring-Verletzung erlitten haben, durchgeführt. Die BWS-Frakturen wurden gemäß der AO Frakturklassifikation eingeteilt, und die Dislokation sowie die Höhe der Sternumfraktur wurden analysiert.

Patienten (aufgenommen in der BGU-Murnau zwischen 2003 und 2013)

- **Brustwirbelfrakturen:** 2408 Patienten mit 4266 Frakturen der Brustwirbelsäule (1,8 Frakturen pro Patient)
- **Sternumfraktur:** 396 Patienten
- **Kombinationsverletzung (Wirbelsäulenfraktur und Sternumfraktur):** 206 Patienten
 - **Fraktur der Brustwirbelsäule: 130 Patienten (Untersuchungskollektiv) → Thorax-Ring Verletzung**
 - ✦ **Alter ≥ 65 Jahre: 29 Patienten**
 - ✦ **Alter < 65 Jahre: 101 Patienten**

Auswertung

Patienten ≥ 65 Jahre

• Durchschnittsalter	72,2 J.
• High velocity trauma	42,9%
• Letalität	20,7%
• Querschnittslähmung nach ASIA	27,6%
• ISS Durchschnitt	34,1
• Polytraumatisierte Patienten:	69%
• Durchschnittliche Beatmungstunden:	504,4 Std

Patienten < 65 Jahre

• Durchschnittsalter	41,2 J.
• High velocity trauma	75,0%
• Letalität	3,0%
• Querschnittslähmung nach ASIA	35,6%
• ISS Durchschnitt	27,6
• Polytraumatisierte Patienten	77,2%
• Durchschnittliche Beatmungstunden	241,7 Std

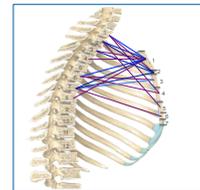


Bild 7: Frakturverläufe der Kombinationsverletzung der Patientengruppe ≥ 65 Jahre³

Frakturen der Brustwirbelsäule Patienten ≥ 65 Jahre

AO- Klassifikation	Anzahl der Patienten in %
C	3,4%
B	31,0%
A3	13,8%
A2	3,4%
A1.3	3,4%
A1.2	10,3%
A1.1	17,2%
Quer/Dornfortsatz	17,2%

Frakturen der Brustwirbelsäule Patienten < 65 Jahre

AO- Klassifikation	Anzahl der Patienten in %
C	33,7%
B	22,8%
A3	15,8%
A2	3,0%
A1.3	3,0%
A1.2	5,0%
A1.1	12,9%
Quer/Dornfortsatz	4,0%



Ergebnis

Die Patientengruppe < 65 Jahre weisen mehr instabile Frakturen auf als die Patientengruppe ≥ 65 Jahre

	≥ 65J.	< 65J.
B/C Fraktur	10	57
Keine B/C Fraktur	19	44
	29	101

p < 0,05

Die Patientengruppe ≥ 65 Jahre weisen eine höhere Mortalität auf als die Patientengruppe < 65 Jahre

	≥ 65 J.	< 65 J.
Verstorben	6	3
Nicht verstorben	23	98
	29	101

p < 0,005

Schlussfolgerung

- Die Kombinationsverletzung aus Sternum- und BWK-Fraktur bei älteren Patienten stellt eine schwere Verletzung mit hoher Mortalität dar.
- Die Kombinationsverletzung aus Sternum und BWK- Verletzung wird beim älteren Menschen bereits durch eine niedrigere Unfallkinetik ausgelöst und führt zu signifikant geringeren Anzahl instabiler Frakturen in der Brustwirbelsäule.
- Da die Letalität des älteren Patienten durch das pulmonale Trauma mit nachfolgendem Lungenversagen bestimmt wird, stellt die Thorax-Ring-Verletzung hierfür einen Indikator dar.

¹: Garrel T et al. The sternal fracture: radiographic analysis of 200 fractures with special reference to concomitant injuries. J Trauma 2004; 54: 837-844.

²: Labbel JL et al. Fractures of the upper thoracic cage. J Bone Joint Surg [Br]. 2009; 91-B 91-6

³: Bild 1: Modifiziertes Bild: Putz R, Papst R, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen. München: Urban & Fischer; 2000

Auflistung der ICD Kodierungen zur Datenerhebung:

S22.0- Fraktur eines Brustwirbels

S22.00 Höhe nicht näher bezeichnet

S22.01 T1 und T2

S22.02 T3 und T4

S22.03 T5 und T6

S22.04 T7 und T8

S22.05 T9 und T10

S22.06 T11 und T12

S22.1 Multiple Frakturen der Brustwirbelsäule

Exkl.: Multiple Frakturen der Brustwirbelsäule bei Angabe der Höhe (S22.0-). Kodiere jede Fraktur einzeln.

S22.2 Fraktur des Sternums

S22.3- Rippenfraktur

S22.31 Fraktur der ersten Rippe

Exkl.: Beteiligung der ersten Rippe bei Rippenserienfraktur (S22.41)

S22.32 Fraktur einer sonstigen Rippe

Rippenfraktur o.n.A.

S22.4- Rippenserienfraktur

S22.40 Nicht näher bezeichnet

S22.41 Mit Beteiligung der ersten Rippe

Jede Fraktur multipler Rippen mit Beteiligung der ersten Rippe

S22.42 Mit Beteiligung von zwei Rippen

Exkl.: Fraktur multipler Rippen mit Beteiligung der ersten Rippe (S22.41)

S22.43 Mit Beteiligung von drei Rippen

Exkl.: Fraktur multipler Rippen mit Beteiligung der ersten Rippe (S22.41)

S22.44 Mit Beteiligung von vier und mehr Rippen

Exkl.: Fraktur multipler Rippen mit Beteiligung der ersten Rippe
(S22.41)

S22.5 Instabiler Thorax

S22.8 Fraktur sonstiger Teile des knöchernen Thorax

S22.9 Fraktur des knöchernen Thorax, Teil nicht näher bezeichnet

S24.- Verletzung der Nerven und des Rückenmarkes in Thoraxhöhe

Exkl.: Verletzung des Plexus brachialis (S14.3)

S25.- Verletzung von Blutgefäßen des Thorax

S42.0 Fraktur der Clavicula

S42.1 Fraktur der Scapula

S12.0 Fraktur des 1. Halswirbels

Atlas

S12.1 Fraktur des 2. Halswirbels

Axis

S12.2- Fraktur eines sonstigen näher bezeichneten Halswirbels

S12.21 Fraktur des 3. Halswirbels

S12.22 Fraktur des 4. Halswirbels

S12.23 Fraktur des 5. Halswirbels

S12.24 Fraktur des 6. Halswirbels

S12.25 Fraktur des 7. Halswirbels

S12.7 Multiple Frakturen der Halswirbelsäule

Exkl.: Multiple Frakturen der Halswirbelsäule bei Angabe der Höhe
(S12.0, S12.1, S12.2-). Kodiere jede Fraktur einzeln.

S32.- Fraktur der Lendenwirbelsäule und des Beckens

Inkl.: Lumbosakral:

Dornfortsatz

Querfortsatz

Wirbel

Wirbelbogen

Exkl.: Fraktur der Hüfte o.n.A. (S72.08)

S32.0- Fraktur eines Lendenwirbels

S32.00 Höhe nicht näher bezeichnet

Lendenwirbelsäule o.n.A.

S32.01 L1

S32.02 L2

S32.03 L3

S32.04 L4

S32.05 L5 (68)

7 Literaturverzeichnis

1. Labbe JL, Peres O, Leclair O, Goulon R, Scemama P, Jourdel F. Fractures of the upper transthoracic cage. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2009 Jan;91(1):91-6. PubMed PMID: 19092011. Epub 2008/12/19. eng.
2. Athanassiadi K, Gerazounis M, Moustardas M, Metaxas E. Sternal fractures: retrospective analysis of 100 cases. *World journal of surgery*. 2002 Oct;26(10):1243-6. PubMed PMID: 12181604. Epub 2002/08/16. eng.
3. Celik B, Sahin E, Nadir A, Kaptanoglu M. Sternum fractures and effects of associated injuries. *The Thoracic and cardiovascular surgeon*. 2009 Dec;57(8):468-71. PubMed PMID: 20013620. Epub 2009/12/17. eng.
4. Scheyerer MJ, Zimmermann SM, Bouaicha S, Simmen HP, Wanner GA, Werner CM. Location of sternal fractures as a possible marker for associated injuries. *Emergency medicine international*. 2013;2013:407589. PubMed PMID: 24324890. Pubmed Central PMCID: PMC3845240. Epub 2013/12/11. eng.
5. von Ruden C, Woltmann A, Rose M, Wurm S, Ruger M, Hierholzer C, Buhren V. Outcome after severe multiple trauma: a retrospective analysis. *Journal of trauma management & outcomes*. 2013;7(1):4. PubMed PMID: 23675931. Pubmed Central PMCID: PMC3698044. Epub 2013/05/17. eng.
6. Recinos G, Inaba K, Dubose J, Barmparas G, Teixeira PG, Talving P, Plurad D, Green : , Demetriades D. Epidemiology of sternal fractures. *The American surgeon*. 2009 May;75(5):401-4. PubMed PMID: 19445291. Epub 2009/05/19. eng.
7. Oyetunji TA, Jackson HT, Obirize AC, Moore D, Branche MJ, Greene WR, Cornwell EE, 3rd, Siram SM. Associated injuries in traumatic sternal fractures: a review of the National Trauma Data Bank. *The American surgeon*. 2013 Jul;79(7):702-5. PubMed PMID: 23816003. Epub 2013/07/03. eng.
8. Kühne BBSFC, Siebert SLSRH. Weißbuch Schwerverletztenversorgung. 2012:7.
9. BGU TR. Jahresbericht 2012. 2012:17.
10. Singh R, Mc DTD, D'Souza D, Gorelik A, Page P, Phal P. Injuries significantly associated with thoracic spine fractures: a case-control study. *Emergency medicine Australasia : EMA*. 2009 Oct;21(5):419-23. PubMed PMID: 19694786. Epub 2009/08/22. eng.
11. Knobloch K, Wagner S, Haasper C, Probst C, Krettek C, Otte D, Richter M. Sternal fractures occur most often in old cars to seat-belted drivers without any airbag often with concomitant spinal injuries: clinical findings and technical collision variables among 42,055 crash victims. *The Annals of thoracic surgery*. 2006 Aug;82(2):444-50. PubMed PMID: 16863741. Epub 2006/07/26. eng.
12. von Garrel T, Ince A, Junge A, Schnabel M, Bahrs C. The sternal fracture: radiographic analysis of 200 fractures with special reference to concomitant injuries. *The Journal of trauma*. 2004 Oct;57(4):837-44. PubMed PMID: 15514539.
13. Hills MW, Delprado AM, Deane SA. Sternal fractures: associated injuries and management. *The Journal of trauma*. 1993 Jul;35(1):55-60. PubMed PMID: 8331713. Epub 1993/07/01. eng.
14. Brookes JG, Dunn RJ, Rogers IR. Sternal fractures: a retrospective analysis of 272 cases. *The Journal of trauma*. 1993 Jul;35(1):46-54. PubMed PMID: 8331712. Epub 1993/07/01. eng.
15. Gopalakrishnan KC, el Masri WS. Fractures of the sternum associated with spinal injury. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1986 Mar;68(2):178-81. PubMed PMID: 3957997. Epub 1986/03/01. eng.

16. Metaxas EK, Condilis N, Tzatzadakis N, Dervisoglou A, Gerazounis MI, Athanasas G. Sternal fracture with or without associated injuries. Assessment of the difference in the diagnosis, management and complications. Eighteen years of experience. *Annali italiani di chirurgia*. 2006 Sep-Oct;77(5):379-83. PubMed PMID: 17345984. Epub 2007/03/10. eng.
17. Vioreanu MH, Quinlan JF, Robertson I, O'Byrne JM. Vertebral fractures and concomitant fractures of the sternum. *International orthopaedics*. 2005 Dec;29(6):339-42. PubMed PMID: 16082544. Pubmed Central PMCID: PMC2231573. Epub 2005/08/06. eng.
18. Gouldman JW, Miller RS. Sternal fracture: a benign entity? *The American surgeon*. 1997 Jan;63(1):17-9. PubMed PMID: 8985065.
19. Stahlman GC, Wyrsh RB, McNamara MJ. Late-onset sternomanubrial dislocation with progressive kyphotic deformity after a thoracic burst fracture. *Journal of orthopaedic trauma*. 1995;9(4):350-3. PubMed PMID: 7562160. Epub 1995/01/01. eng.
20. Berg EE. The sternal-rib complex. A possible fourth column in thoracic spine fractures. *Spine*. 1993 Oct 1;18(13):1916-9. PubMed PMID: 8235883. Epub 1993/10/01. eng.
21. Savolaine ER, Ebraheim NA, Coon T. Radiographic imaging in assessment of combined manubriosternal and spinal fracture. *Clinical imaging*. 1991 Jul-Sep;15(3):206-9. PubMed PMID: 1933651. Epub 1991/07/01. eng.
22. Jones HK, McBride GG, Mumby RC. Sternal fractures associated with spinal injury. *The Journal of trauma*. 1989 Mar;29(3):360-4. PubMed PMID: 2926850. Epub 1989/03/01. eng.
23. Breederveld RS, Patka P, van Mourik JC. Fractures of the sternum. *The Netherlands journal of surgery*. 1988 Oct;40(5):133-5. PubMed PMID: 3068582. Epub 1988/10/01. eng.
24. Scher AT. Associated sternal and spinal fractures. Case reports. *South African medical journal = Suid-Afrikaanse tydskrif vir geneeskunde*. 1983 Jul 16;64(3):98-100. PubMed PMID: 6867885. Epub 1983/07/16. eng.
25. Ulrike Bommas-Ebert PT, Reiner Voss. *Kurzlehrbuch Anatomie und Embriologie*: Thieme; 2006.
26. Gerhard Aumüller GA. *Duale Reihe Anatomie*: Thieme; 2007.
27. Detlev Drenckhahn JW. *Taschenbuch Anatomie*: Urban&Fischer; 2008.
28. Michael Schünke ES, Udo Schumacher et al. *Prometheus Lern Atlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*: Thieme; 2007.
29. Odell DD, Peleg K, Givon A, Radomislensky I, Makey I, Decamp MM, Whyte R, Gangadharan SP, Berger RL. Sternal fracture: isolated lesion versus polytrauma from associated extrasternal injuries--analysis of 1,867 cases. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013 Sep;75(3):448-52. PubMed PMID: 24089115. Epub 2013/10/04. eng.
30. Styner JK. The birth of Advanced Trauma Life Support (ATLS). *The surgeon : journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*. 2006 Jun;4(3):163-5. PubMed PMID: 16764202. Epub 2006/06/13. eng.
31. Lange U, Bastian L, Muller CW, Busche M, Krettek C. How to prevent overlooking cervical spine injuries: pitfalls in spinal diagnostics. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2007 Dec;127(10):953-8. PubMed PMID: 17579876. Epub 2007/06/21. eng.
32. Schilling AM, Heidenreich JO, Wolf KJ. [Pitfalls and special features of modern imaging diagnostics of the upper cervical spine]. *Der Orthopade*. 2006 Mar;35(3):237-43. PubMed PMID: 16408170. Epub 2006/01/13. *Fallgruben und Besonderheiten der modernen bildgebenden Diagnostik der oberen Halswirbelsäule*. ger.
33. Bohler J. [Diagnostics and therapy of fractures and fracture-dislocations of the vertebral column (author's transl)]. *Zentralblatt für Chirurgie*. 1981;106(6):345-54. PubMed PMID: 7282152. Epub 1981/01/01. *Diagnostik und Therapie von Wirbelsäulenverletzungen*. ger.
34. Becker H. New aspects in spinal diagnostics with 3-D computed tomography. *Neurosurgical review*. 1993;16(3):179-82. PubMed PMID: 8272205. Epub 1993/01/01. eng.

35. Dongel I, Coskun A, Ozbay S, Bayram M, Atli B. Management of thoracic trauma in emergency service: Analysis of 1139 cases. *Pakistan journal of medical sciences*. 2013 Jan;29(1):58-63. PubMed PMID: 24353508. Pubmed Central PMCID: PMC3809198. Epub 2013/12/20. eng.
36. Spahn DR, Cerny V, Coats TJ, Duranteau J, Fernandez-Mondejar E, Gordini G, Stahel PF, Hunt BJ, Komadina R, Neugebauer E, Ozier Y, Riddez L, Schultz A, Vincent JL, Rossaint R. Management of bleeding following major trauma: a European guideline. *Critical care (London, England)*. 2007;11(1):R17. PubMed PMID: 17298665. Pubmed Central PMCID: PMC2151863. Epub 2007/02/15. eng.
37. Morgenstern M, von Ruden C, Callsen H, Friederichs J, Hungerer S, Buhren V, Woltmann A, Hierholzer C. The unstable thoracic cage injury: The concomitant sternal fracture indicates a severe thoracic spine fracture. *Injury*. 2016 Nov;47(11):2465-72. PubMed PMID: 27592182. Epub 2016/11/05. eng.
38. Resources of Optimal Care of the injured Patient. *American College of Surgeons*. 214:<https://http://www.facs.org/quality-programs/trauma/vrc/resources>.
39. Lendemans S, Ruchholtz S. [S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. Trauma room care]. *Der Unfallchirurg*. 2012 Jan;115(1):14-21. PubMed PMID: 22274599. Epub 2012/01/26. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. Schockraumversorgung. ger.
40. Bühren V, Keel M, Marzi I. Checkliste Traumatologie 76 Tabellen. 7., komplett überarb. und erw. Aufl. ed. Stuttgart: Thieme; 2012. XIV, 625 S. p.
41. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983 Nov-Dec;8(8):817-31. PubMed PMID: 6670016. Epub 1983/11/01. eng.
42. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 1994;3(4):184-201. PubMed PMID: 7866834. Epub 1994/01/01. eng.
43. Reinhold M, Audige L, Schnake KJ, Bellabarba C, Dai LY, Oner FC. AO spine injury classification system: a revision proposal for the thoracic and lumbar spine. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2013 Oct;22(10):2184-201. PubMed PMID: 23508335. Pubmed Central PMCID: PMC3804719. Epub 2013/03/20. eng.
44. Vaccaro AR, Zeiller SC, Hulbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, Harrop J, Dvorak M, Wood K, Fehlings MG, Fisher C, Lehman RA, Jr., Anderson DG, Bono CM, Kuklo T, Oner FC. The thoracolumbar injury severity score: a proposed treatment algorithm. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2005 Jun;18(3):209-15. PubMed PMID: 15905761. Epub 2005/05/21. eng.
45. Kandziora F, Schleicher P, Schnake KJ, Reinhold M, Aarabi B, Bellabarba C, Chapman J, Dvorak M, Fehlings M, Grossman R, Kepler CK, Oner C, Shanmuganathan R, Vialle LR, Vaccaro AR. [The AOSpine Classification of Thoraco-Lumbar Spine Injuries]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2016 Feb;154(1):35-42. PubMed PMID: 27340713. Epub 2016/06/25. Die AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. ger.
46. Vaccaro AR, Lehman RA, Jr., Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, Harrop J, Dvorak M, Wood K, Fehlings MG, Fisher C, Zeiller SC, Anderson DG, Bono CM, Stock GH, Brown AK, Kuklo T, Oner FC. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and

- neurologic status. *Spine*. 2005 Oct 15;30(20):2325-33. PubMed PMID: 16227897. Epub 2005/10/18. eng.
47. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Jr., Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *The Journal of trauma*. 1974 Mar;14(3):187-96. PubMed PMID: 4814394. Epub 1974/03/01. eng.
48. Copes WS, Champion HR, Sacco WJ, Lawnick MM, Keast SL, Bain LW. The Injury Severity Score revisited. *The Journal of trauma*. 1988 Jan;28(1):69-77. PubMed PMID: 3123707. Epub 1988/01/01. eng.
49. Civil ID, Schwab CW. The Abbreviated Injury Scale, 1985 revision: a condensed chart for clinical use. *The Journal of trauma*. 1988 Jan;28(1):87-90. PubMed PMID: 3339667. Epub 1988/01/01. eng.
50. Reith W, Harsch N, Kraus C. [Trauma of the lumbar spine and the thoracolumbar junction]. *Der Radiologe*. 2016 Aug;56(8):673-83. PubMed PMID: 27488620. Epub 2016/08/05. Trauma der Lendenwirbelsäule und des thorakolumbalen Übergangs. ger.
51. al. DMMe. *Chirurgie für Studium und Praxis*. 2011:429 ff. german.
52. Klazen CA, Lohle PN, de Vries J, Jansen FH, Tielbeek AV, Blonk MC, Venmans A, van Rooij WJ, Schoemaker MC, Juttman JR, Lo TH, Verhaar HJ, van der Graaf Y, van Everdingen KJ, Muller AF, Elgersma OE, Halkema DR, Fransen H, Janssens X, Buskens E, Mali WP. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): an open-label randomised trial. *Lancet (London, England)*. 2010 Sep 25;376(9746):1085-92. PubMed PMID: 20701962. Epub 2010/08/13. eng.
53. Wardlaw D, Cummings SR, Van Meirhaeghe J, Bastian L, Tillman JB, Ranstam J, Eastell R, Shabe P, Talmadge K, Boonen S. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE): a randomised controlled trial. *Lancet (London, England)*. 2009 Mar 21;373(9668):1016-24. PubMed PMID: 19246088. Epub 2009/02/28. eng.
54. Gonschorek O, Spiegl U, Weiss T, Patzold R, Hauck S, Bühren V. [Reconstruction after spinal fractures in the thoracolumbar region]. *Der Unfallchirurg*. 2011 Jan;114(1):26-34. PubMed PMID: 21243483. Epub 2011/01/19. Rekonstruktion der ventralen Säule nach thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. ger.
55. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, Vernon JD, Walsh JJ. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia. 1969 Nov;7(3):179-92. PubMed PMID: 5360915. Epub 1969/11/01. eng.
56. Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, Oner FC, Hulbert RJ, Hedlund R, Fehlings MG, Arnold P, Harrop J, Bono CM, Anderson PA, Anderson DG, Harris MB, Brown AK, Stock GH, Baron EM. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*. 2005 Nov;10(6):671-5. PubMed PMID: 16307197. Pubmed Central PMCID: PMC2779435. Epub 2005/11/25. eng.
57. Johnson I, Branfoot T. Sternal fracture--a modern review. *Archives of emergency medicine*. 1993 Mar;10(1):24-8. PubMed PMID: 8452609. Pubmed Central PMCID: PMC1285920. Epub 1993/03/01. eng.
58. Knobloch K, Wagner S, Haasper C, Probst C, Krettek C, Vogt PM, Otte D, Richter M. Sternal fractures are frequent among polytraumatised patients following high deceleration velocities in a severe vehicle crash. *Injury*. 2008 Jan;39(1):36-43. PubMed PMID: 18001736. Epub 2007/11/16. eng.
59. Fowler AW. Flexion-compression injury of the sternum. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1957 Aug;39-B(3):487-97. PubMed PMID: 13463036. Epub 1957/08/01. eng.

60. Park WM, McCall IW, McSweeney T, Jones BF. Cervicodorsal injury presenting as sternal fracture. *Clinical radiology*. 1980 Jan;31(1):49-53. PubMed PMID: 7357826. Epub 1980/01/01. eng.
61. V O. Experimentelle Untersuchungen zur Genese der Sternumfraktur bei Wirbelfrakturen. *Deutsche Zeitschrift für Chirurgie*. 1904;72: 387-95.
62. Hossain M, Ramavath A, Kulangara J, Andrew JG. Current management of isolated sternal fractures in the UK: time for evidence based practice? A cross-sectional survey and review of literature. *Injury*. 2010 May;41(5):495-8. PubMed PMID: 19682680. Epub 2009/08/18. eng.
63. Dorr LD, Harvey JP, Jr., Nickel VL. Clinical review of the early stability of spine injuries. *Spine*. 1982 Nov-Dec;7(6):545-50. PubMed PMID: 7167826. Epub 1982/11/01. eng.
64. Watkins Rt, Watkins R, 3rd, Williams L, Ahlbrand S, Garcia R, Karamanian A, Sharp L, Vo C, Hedman T. Stability provided by the sternum and rib cage in the thoracic spine. *Spine*. 2005 Jun 1;30(11):1283-6. PubMed PMID: 15928553. Epub 2005/06/02. eng.
65. Lund JM, Chojnowski A, Crawford R. Multiple thoracic spine wedge fractures with associated sternal fracture; an unstable combination. *Injury*. 2001 Apr;32(3):254-5. PubMed PMID: 11240305. Epub 2001/03/10. eng.
66. Homagk L SH, Schmidt I, Schmidt J. The sterno-vertebral instability - a new classification and therapeutic options. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2014;57(4): 837-44.
67. Reinhold M KC, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine. Part II: surgical treatment and radiological findings. *Der Unfallchirurg*. 2009;112(2):49-67. doi: 10.1007/s00113-008-1538-1.
68. DIMDI. ICD-10-GM Version 2012. 2012.