

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel
aus dem Schwerpunkt Unfall-, Hand- und Ellenbogenchirurgie
Leiter: Universitätsprofessor Dr. med. L.-P. Müller

**Traumatische Wirbelkörperfrakturen bei
Morbus Bechterew:
Eine retrospektive Analyse von 52 Patienten
mit Spondylitis ankylosans und Vorstellung
einer neuen Fraktureinteilung in Cluster**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
René Bruns
aus Willich

promoviert am 28. April 2023

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln
Druckjahr 2023

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachterin: Privatdozentin Dr. med. C. Meyer

2. Gutachter: Professor Dr. med. Th. Ch. Koslowsky

Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Herr Priv.-Doz. Dr. med. Christian Ries

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegenden Datensatz wurden durch mich in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu Köln ermittelt.

Die verwendete Fallberichte wurden von mir selbst ausgewertet.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Frakturklassifikationen sind nach vorhergehender Anleitung von Frau Priv.-Doz. Dr. med. C. Meyer von mir selbst ausgeführt worden.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Hamburg, den 21.11.2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Zur', written in a cursive style with a long horizontal stroke extending to the right.

Unterschrift:

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir mein Studium und die Vollendung meiner Promotion ermöglicht habe.

Frau Priv.-Doz. Dr. med. C. Meyer danke ich für die Freiheit bei der Themenänderung und die gute Betreuung sowie stetige Unterstützung über viele Jahre.

Ich danke Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Christian Ries für das intraoperative Angebot, in der Abteilung für Unfallchirurgie und Orthopädie promovieren zu können und die Lehre über den Kern der Wissenschaft.

Frau Dr. med. Sabine Kelka danke ich für ihre stets motivierenden und antreibenden Worte, uneingeschränkte und vollumfängliche Unterstützung, ständige Hilfestellungen, fachliche Gespräche, viel Verständnis, viel Nachsicht und die gnadenlose Durchsicht dieser Arbeit.

Meinem Vater in tiefer Dankbarkeit

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	10
1 ZUSAMMENFASSUNG.....	12
2 EINLEITUNG	15
2.1 Wirbelsäule	15
2.1.1 Anatomie	15
2.1.2 Biomechanik.....	17
2.1.3 Wirbelkörperfrakturen	18
2.1.4 Operative Behandlungsmöglichkeiten von Wirbelkörperfrakturen	21
2.2 Spondylitis ankylosans (SA)	27
2.2.1 Definition	27
2.2.2 Epidemiologie	27
2.2.3 Ätiologie.....	27
2.2.4 Pathologie/Pathophysiologie.....	28
2.2.5 Symptome/Klinik.....	29
2.2.6 Diagnostik.....	30
2.2.7 Therapie	30
2.2.8 Traumatische Wirbelkörperfrakturen bei SA und deren Therapie.....	31
2.3 Zielsetzung.....	35

3 MATERIAL UND METHODEN.....	36
3.1 Auswahl des Patientenkollektivs.....	36
3.2 Retrospektive Datenerhebung aus den Patientenakten.....	36
3.3 Erfassung der Auswertungsvariablen	37
3.4 Auswertung der erhobenen Variablen	38
3.5 Cluster.....	38
3.5.1 Clusterdefinition.....	39
4 ERGEBNISSE	40
4.1 Patientenkollektiv	40
4.2 Epidemiologische Daten.....	41
4.2.1 Übersicht epidemiologische Daten.....	41
4.2.2 Geschlechterverteilung	43
4.2.3 Altersverteilung	43
4.2.4 Körpergröße und Body-Mass-Index	44
4.2.5 Mobilität vor Unfall	46
4.2.6 Vorerkrankungen	47
4.2.7 Metabolisches Äquivalent	49
4.2.8 ASA-Klassifikation	50
4.3 Unfallbezogene Daten.....	51
4.3.1 Übersicht unfallbezogene Daten	51
4.3.2 Unfallmechanismus	53
4.3.3 Begleitverletzungen	54
4.3.4 Neurologischer Status	55
4.3.5 Diagnosezeitpunkt	56
4.3.6 Frakturmerkmale	58
4.4 Versorgungsbezogene Daten.....	62

4.4.1	Übersicht versorgungsbezogene Daten	62
4.4.2	Ergebnis der Clustereinteilung	64
4.4.3	Frakturen im ZT-Cluster	66
4.4.4	Frakturen im TL-Cluster	78
4.5	Mortalität	90
5	DISKUSSION	93
5.1	Diskussion des Patientenkollektivs	93
5.2	Diskussion der epidemiologischen Daten	94
5.2.1	Geschlechterverteilung	94
5.2.2	Altersverteilung	95
5.2.3	Körpergröße und Body-Mass-Index	96
5.2.4	Mobilität vor Unfall	97
5.2.5	Vorerkrankungen	98
5.2.6	Metabolisches Äquivalent	99
5.2.7	ASA-Klassifikation	100
5.3	Diskussion der unfallbezogenen Daten	101
5.3.1	Unfallmechanismus	101
5.3.2	Begleitverletzungen	104
5.3.3	Neurologischer Status	104
5.3.4	Diagnosezeitpunkt	107
5.3.5	Frakturmerkmale	109
5.4	Diskussion der versorgungsbezogenen Daten	113
5.4.1	Clustereinteilung	113
5.4.2	OP-Technik.....	115
5.4.3	OP-Dauer	118
5.4.4	Fusionierte Segmente.....	122

5.4.5	Intraoperativer Blutverlust	124
5.4.6	Intraoperative Transfusion	128
5.4.7	Komplikationen	129
5.4.8	Intensivaufenthalt	133
5.4.9	Krankenhausverweildauer	136
5.5	Diskussion der Mortalität	139
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	141
7	ANHANG.....	166
7.1	Tabellenverzeichnis.....	166
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	166
8	VORABVERÖFFENTLICHUNG VON ERGEBNISSEN	168

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
AG	Arbeitsgemeinschaft
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASA	American Society of Anaesthesiology
BMI	Body-Mass-Index
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
C	Spinalnervenwurzel an der Halswirbelsäule
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computertomographie
DISH	Diffuse idiopathische skelettale Hyperostose (Morbus Forestier-Ott)
DMARD	Disease-modifying antirheumatic drugs
HLA	Human leukocyte antigen
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
KHK	Koronare Herzkrankheit
LAE	Lungenarterienembolie
Lig.	Ligament
Ligg.	Ligamenti
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MET	Metabolisches Äquivalent
MHC	Major histocompatibility complex
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
n.a.	Nicht anwendbar
Nn.	Nervi

Nr.	Nummer
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
OP	Operation
Proc.	Processus
Procc.	Processi
R.	Ramus
Rr.	Rami
SA	Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew)
SpA	Spondyloarthritis
TEP	Totale Endoprothese
TIA	Transischämische Attacke
TL-Cluster	Thorakolumbales Cluster
TNF	Tumornekrosefaktor
V.	Vena
VAC	Vacuum assisted closure
Vv.	Venae
WS	Wirbelsäule
ZT-Cluster	Zervikothorakales Cluster

1 ZUSAMMENFASSUNG

Spondylitis ankylosans (SA) ist eine entzündlich-rheumatische Erkrankung, die vorwiegend die Wirbelsäule betrifft. Wirbelkörperfrakturen bei dieser Population sind Verletzungen, die Ärzten nur selten begegnen. Sie sind meist hoch instabil und anspruchsvoll sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie. Informationen in der Literatur zu Epidemiologie, Verletzungsmorphologie, Details der Versorgungsstrategie und Outcome sind für diese Patientengruppe eine Rarität.

Im Rahmen dieser Studie wurden retrospektiv Krankenakten von insgesamt 52 SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen gesichtet, welche am Universitätsklinikum Köln im Zeitraum vom 01.01.2006 bis zum 31.12.2016 operativ versorgt worden sind. Die aus den Krankenakten gewonnenen Daten wurden mit Fokus auf die Epidemiologie sowie auf die unfall- und versorgungsbezogenen Daten des untersuchten Patientenkollektivs ausgewertet. Für die Auswertung der versorgungsbezogenen Daten erfolgte eine neuartige Frakturhöhenabhängige Gruppierung der Patienten in ein ZT-(zervikothorakales)-Cluster und ein TL-(thorakolumbales)-Cluster. Um Unterschiede in der Versorgung zwischen den Clustern zu prüfen, wurde der t-Test für unabhängige Variablen angewendet. Darüber hinaus wurden Meldeämter kontaktiert um eine Kaplan-Meier-Überlebenszeitanalyse durchzuführen.

Das Gesamtkollektiv bestand zu 90 % aus Männern, war durchschnittlich 72 Jahre alt und 1,71 m groß. 84 % der Patienten des multimorbiden Gesamtkollektivs mit einer durchschnittlichen ASA-Risikoklasse von 2,9 waren vor dem Unfall noch gehmobil und entsprechend eines dokumentierten metabolischen Äquivalents (MET) ≥ 5 moderat physisch belastbar. 71 Wirbelkörperfrakturen wurden bei 52 Patienten detektiert, ein Bagatelltrauma war die häufigste Frakturursache. 34 Frakturen betrafen die Halswirbelsäule, 34 die Brustwirbelsäule und drei die Lendenwirbelsäule. Ein Großteil der Frakturen entsprach einer B3-Verletzung nach AO Spine. In 88 % der Fälle gab es keine Begleitverletzungen und 73 % der Patienten hatten bei Erstkonsultation keinerlei neurologische Symptome. Aufgrund des niedrig-energetischen Traumamechanismus wurde nur bei 18/51 Patienten initial eine CT-Diagnostik durchgeführt. Fast die Hälfte der Frakturen wurde nicht innerhalb der ersten 24 Stunden diagnostiziert.

71 % des ZT-Clusters und 84 % des TL-Clusters wurden einzeitig dorsal versorgt, die übrigen Fälle kombiniert dorso-ventral. Die OP-Zeit des dorsalen Eingriffs war im ZT-Cluster mit 203 Minuten signifikant länger als im TL-Cluster mit 164 Minuten ($p < 0,05$). Die OP-Zeiten der ventralen Eingriffe und die Anzahl der fusionierten Segmente unterschieden sich nur leicht und nicht signifikant zwischen den beiden Clustern. Blutverluste beim dorsalen Eingriff waren im ZT-Cluster mit 1090 ml signifikant höher als im TL-Cluster mit 797 ml, entsprechend wurden im ZT-Cluster durchschnittlich 280 ml mehr Blutprodukte transfundiert als im TL-Cluster. Beim ventralen Eingriff war der mittlere Blutverlust im ZT-Cluster mit 433 ml deutlich niedriger als im TL-Cluster mit 1790 ml. Jedoch war hier keine Signifikanz nachweisbar. Transfusionsraten und Transfusionsmengen unterschieden sich hier nur marginal. Perioperative Komplikationen traten im ZT-Cluster in 22 % und im TL-Cluster in 42 % der Fälle auf. Bezüglich der Dauer des Intensiv- (2,27 vs. 1,75 Tage) sowie des gesamten Krankenhausaufenthalts (15 vs. 20 Tage) ergaben sich Unterschiede zwischen den Clustern, welche aber nicht signifikant waren. Die Überlebenszeitanalyse konnte 26 Patienten einschließen und eine mediane Überlebenszeit von 8,5 Jahren nach Operation ermitteln.

Mit der dezidierten Auswertung von 52 SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen ist diese Arbeit eine der größten monozentrischen Studien zu diesem Thema. Beobachtungen und Ergebnisse stehen im Einklang mit der aktuellen Literatur. Ein Bagateltrauma ist oft ausreichend, um bei SA-Patienten schwere Wirbelkörperfrakturen zu verursachen. Zu oft wird das Verletzungsausmaß aufgrund fehlender neurologischer Auffälligkeiten unterschätzt und eine CT-Diagnostik findet zu selten bzw. verspätet Anwendung. Dies führt zu einer hohen Zahl von vermeidbaren Diagnoseverzögerungen und möglicherweise zu iatrogenen sekundären Frakturdislokationen. Neu aufgetretene Schmerzen, auch nach minimalstem Trauma, müssen bei SA-Patienten sehr ernst genommen werden und die Indikation zur initialen CT-Diagnostik der gesamten Wirbelsäule muss niederschwellig gestellt werden.

Die Differenzierung nach Frakturhöhen-Clustern offenbart deutliche, zum Teil signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Versorgungsstrategie und einhergehende Risiken. Im ZT-Cluster ist bei einzeitig dorsal Eingriffen sowohl mit signifikant längeren OP-Zeiten als auch signifikant höheren Blutverlusten als im TL-Cluster zu rechnen. Einfach anzuwenden bietet die Clustereinteilung eine sinnvolle Vergleichbarkeit dieser seltenen Patientengruppe und sollte in zukünftigen Studien Anwendung finden.

Obwohl diese Arbeit eine der größten monozentrischen Studien ist, ist sie durch die insgesamt geringe Fallzahl limitiert. Trotz vieler, deutlich erkennbarer Cluster-Unterschiede in den versorgungsbezogenen Daten konnte nur für wenige Variablen tatsächlich eine Signifikanz nachgewiesen werden. Hier wäre eine Multi-Center-Studie wünschenswert, welche sich an der Cluster-Differenzierung orientiert und eine ausreichende Fallzahl generiert. Eine weitere Limitation der vorliegenden Arbeit ist das retrospektive Studiendesign. Einige Ursachen für Merkmalsausprägungen (bspw. Gründe für Diagnoseverzögerung) konnten nicht abschließend geklärt werden. Zudem konnte aufgrund des retrospektiven Studiendesigns und der uneinheitlich durchgeführten und dokumentierten Nachuntersuchungen keine Analyse der postoperativen mittel- bis langfristigen Ergebnisse erfolgen. Dennoch ist die durchgeführte Überlebenszeitanalyse mit Beobachtungszeiträumen von über 10 Jahren für SA-Patienten mit erfolgter operativer Versorgung nach Wirbelkörperfrakturen einzigartig. Weitere Studien mit prospektiver, mittel- bis langfristiger Erfassung der Patienten wären wünschenswert.

2 EINLEITUNG

2.1 Wirbelsäule

2.1.1 Anatomie

Die Wirbelsäule ist das zentrale Element des menschlichen Achsskelettes. Sie besteht insgesamt aus 24 knöchernen Wirbeln mit 23 dazwischenliegenden Zwischenwirbelscheiben und gliedert sich von kranial nach kaudal in fünf Abschnitte. Sie setzt sich zusammen aus der Halswirbelsäule (HWS) bestehend aus sieben Halswirbelkörpern (HWK), der Brustwirbelsäule (BWS) bestehend aus zwölf Brustwirbelkörpern (BWK), der Lendenwirbelsäule (LWS) bestehend aus fünf Lendenwirbelkörpern (LWK), dem Kreuzbein (Os sacrum) bestehend aus fünf verschmolzenen Wirbelkörpern und dem Steißbein (Os coccygis) bestehend aus drei bis fünf verschmolzenen Wirbelrudimenten.¹ Mit Ausnahme des ersten und zweiten Halswirbels sind die Wirbel stets gleich aufgebaut. Jeder Wirbel besteht aus einem Wirbelkörper (Corpus vertebrae) und einem sich dorsal anschließenden Wirbelbogen (Arcus vertebrae) mit seinen Fortsätzen. Er setzt sich aus zwei Pedikeln (Pediculi arcus vertebrae), welche den Ansatz bilden und einem platten posterioren Teil (Lamina arcus vertebrae) zusammen. Der Wirbelbogen bildet zusammen mit der Rückseite des Wirbelkörpers das Wirbelloch (Foramen vertebrale), in welchem das Rückenmark verläuft. Die Gesamtheit aller Wirbellöcher bildet den Wirbelkanal (Canalis vertebralis).² Der im Median liegende Dornfortsatz und die beiden Querfortsätze bilden die Ansatzpunkte für verschiedene Muskeln und Bänder, während die oberen Gelenkfortsätze (Processus (Proc.) articularis superior) eines Wirbels mit den unteren Gelenkfortsätzen (Proc. articularis inferior) des darüberliegenden Wirbels die Wirbelbogengelenke bilden.³ Diese sorgen für Stabilität und ermöglichen zusammen mit einer Vielzahl an Gelenken Bewegungen in Form von Rotation, Inklination und Reklination. Ein Großteil der Stabilisationsarbeit wird durch die anliegende Rückenmuskulatur gewährleistet. Die autochthone Rückenmuskulatur beinhaltet alle Muskeln, welche durch die Rami (Rr.) dorsales der Spinalnerven innerviert werden. Sie setzen sich u.a. zusammen aus dem Musculus (M.) erector spinae, den Musculi (Mm.) spinotransversales, den Mm. interspinales, den Mm. intertransversarii und den Mm. transversospinales und werden in einen medialen und einen lateralen Trakt unterteilt.⁴ Die für die Stabilität der Wirbelsäule wichtigsten Bänder sind das vordere (Ligamentum (Lig.) longitudinale anterius) und das hintere Längsband (Lig. longitudinale posterius). Sie verlaufen jeweils vor bzw. hinter den Wirbelkörpern über die gesamte Länge der Wirbelsäule. Das vordere Längsband beginnt am vorderen Atlashöcker (Tuberculum anterius atlantis) des ersten Halswirbelkörpers, verläuft breitflächig entlang der Wirbelkörpervorderflächen nach kaudal und reicht bis zum Kreuzbein. Die tiefen Anteile des

Bandes verbinden die Wirbelkörper fest untereinander, während einzelne Fasern locker in die Zwischenwirbelscheiben einstrahlen. Der oberflächliche Teil des vorderen Längsbandes zieht über mehrere Segmente hinweg.^{5,6} Das vordere Längsband begrenzt die Dorsalextension bzw. Reklination der Wirbelsäule. Das hintere Längsband verläuft vom Klivus an der Schädelbasis entlang der Wirbelkörperhinterfläche bis zur Rückseite des Kreuzbeins. Es ist fest mit der Deck- und Grundplatte des Wirbelkörpers sowie der Zwischenwirbelscheibe verbunden. Im Vergleich zum vorderen ist das hintere Längsband schmaler, verbreitert sich aber jeweils auf Höhe der Zwischenwirbelscheibe und strahlt in den Faserring der Zwischenwirbelscheibe ein.⁵ Ein Spaltraum zwischen Wirbelkörper und tiefer Schicht des Bandes ermöglicht den Austritt von Venen aus dem Wirbelkörper.⁷ Das hintere Längsband begrenzt die Ventralflexion bzw. Inkliniation der Wirbelsäule.⁶ Darüber hinaus gibt es noch weitere Bänder, welche sich den Wirbelbögen zuordnen lassen. Zu diesen Wirbelbogenbändern zählen das Lig. flavum, das Lig. interspinale, das Lig. supraspinale und das Lig. intertransversarium.⁶ Das Lig. flavum verläuft zwischen den Laminae benachbarter Wirbelbögen und unterstützt die Rückenmuskulatur bei der Aufrechterhaltung und beim Abbremsen der Ventralflexion. Das Lig. interspinale verläuft zwischen den Dornfortsätzen benachbarter Wirbel und begrenzt die Ventralflexion der Wirbelsäule sowie zusammen mit den Disci intervertebrales Gleitbewegungen der Wirbel gegeneinander. Das Lig. supraspinale verbindet die Spitzen der Dornfortsätze miteinander und trägt zur Begrenzung der Ventralflexion bei. Das Ligg. intertransversarium verläuft zwischen den Querfortsätzen und begrenzt die Wirbelsäule in ihrer Lateralflexion und Rotation.⁶ Die Komplexität und Fülle der Wirbelkörper- und Wirbelbogenbänder wird in Abb. 2-1 Wirbelkörper- und Wirbelbogenbänder⁸ verdeutlicht.

Im Längsschnitt der Wirbelsäule erkennt man zwei aufeinander folgende Krümmungen. Diese Krümmungen entstehen durch eine Lordose in der Hals- und Lendenwirbelsäule sowie eine Kyphose in der Brust- und Sakralwirbelsäule. Die daraus entstehende sogenannte Doppel-S-Krümmung stützt den Körper, verteilt die Energie gleichmäßig auf die gesamte Wirbelsäule und federt Stöße ab, sodass der Kopf vor Erschütterungen geschützt ist.

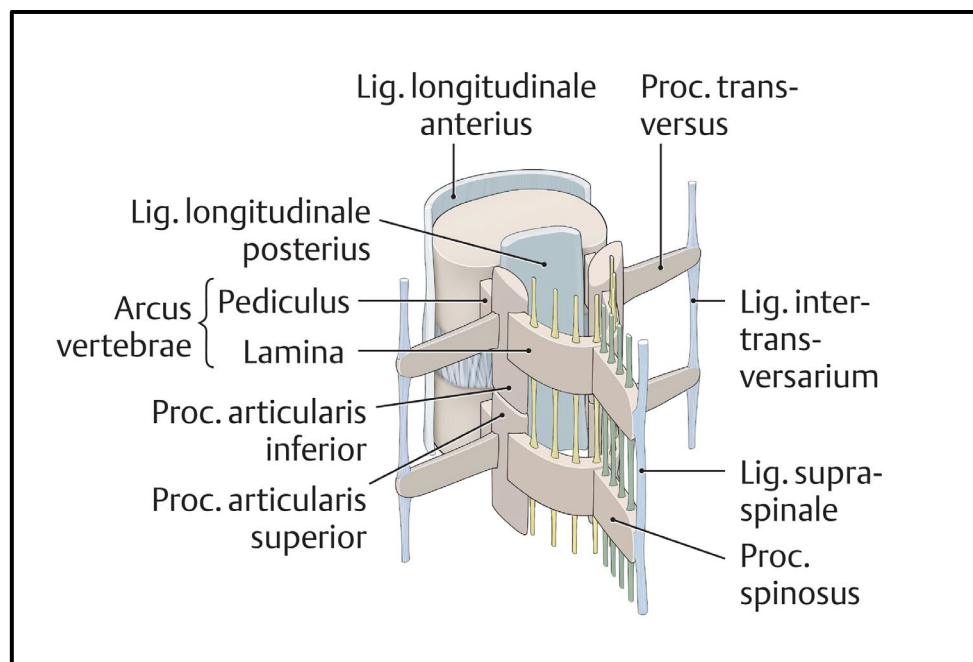


Abb. 2-1 Wirbelkörper- und Wirbelbogenbänder⁸

2.1.2 Biomechanik

Eine der Aufgaben der Wirbelsäule ist es, Lasten des gesamten Rumpfes auf das Becken und die unteren Extremitäten weiterzuleiten. Diese Belastung nimmt, bedingt durch die Zunahme der effektiv wirkenden Körperlast von kranial nach kaudal zu.⁹ Dies spiegelt sich in der nach kaudal zunehmenden Größe und Masse der Wirbelkörper wider. Der Bewegungsumfang von Inklinaton, Reklination und Seitneigung ist am größten im Bereich der Halswirbelsäule. Inklinaton und Reklination nehmen im Verlauf im Bereich der Brustwirbelsäule zunächst ab, um dann im Bereich der Lendenwirbelsäule wieder leicht zuzunehmen. Das Seitneigungsausmaß nimmt unterhalb des Halswirbelbereiches direkt ab und bleibt gleich.¹⁰ Die beiden Längsbänder beeinflussen die Inklinaton und Reklination der Wirbelsäule entscheidend. Beide Längsbänder haben einen deutlichen Einfluss auf den Ablauf der Inklinaton und Reklination. Kurz vor Erreichen der jeweiligen Endstellung, verzögern die Bänder die Bewegung und halten dadurch das Risiko einer Gewebeschädigung gering.¹¹ Ein Teil der Bewegungsenergie wird in der Dehnung der elastischen Komponenten, ähnlich einem Gummiband für die entsprechende Rückstellbewegung gespeichert.¹² Diese Vorspannung bzw. Zuggurtung der Wirbelsäule wird vom Lig. flavum und den kräftigen Kapselbändern der dorsalen Wirbelgelenke vermittelt.¹³ Dieser Mechanismus ist insbesondere für gegen die Schwerkraft gerichtete Bewegungen sinnvoll, weswegen ein Großteil der elastischen Fasern auf der dorsalen Seite der Wirbelsäule zu finden ist.¹² Bei der Reklinationsbewegung wird das

vordere Längsband doppelt so stark beansprucht wie das hintere Längsband während der Inklinationsbewegung.¹⁴ Das vordere Längsband besteht überwiegend aus Kollagen Typ-II-Fasern und ist kaum dehnbar.¹⁵

2.1.3 Wirbelkörperfrakturen

Wirbelkörperfrakturen können bei verringerter Knochensubstanz als pathologische Frakturen auftreten. Ursachen hierfür können Osteoporose, ossäre Tumoren und Metastasen sein. Diese pathologischen, zumeist osteoporotischen Frakturen erleiden zu zwei Dritteln Frauen in einem Durchschnittsalter von 72 Jahren.¹⁶ Die Mehrheit dieser Frakturen wird als „stabil“ gewertet und kann erfolgreich konservativ behandelt werden.¹⁷ Die operative Therapie findet hier nur bei Instabilität Anwendung. Frakturen der Wirbelsäule können auch in Folge eines traumatischen Ereignisses entstehen. Die Wirbelsäule reagiert auf eine mechanische Belastung zunächst mit einer Dehnung der elastischen Strukturen. Erst wenn dieser Kompensationsmechanismus, beispielsweise durch ein schweres Trauma, an seine Belastungsgrenze gerät, kommt es zum Versagen einer der beteiligten Strukturen. Bei langsam zunehmenden Inklinations- und Reklinationsbewegungen sowie Seitneigungen oder einem Stauchungstrauma, kommt es zunächst zu einer Fraktur der Wirbelkörperendplatten, bevor die Bandstrukturen versagen.¹⁸ Bei plötzlich auftretenden Kräften hingegen reißen aufgrund ihrer Viskoelastizität häufiger die Ligamente zuerst, bevor es im Anschluss zu einer Wirbelkörperfraktur kommt.¹⁰ 70-80 % aller Frakturen befinden sich im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule. Von diesen Frakturen entfallen etwa 70 % auf den thorakolumbalen Übergang, welcher sich vom elften Brustwirbelkörper bis zum zweiten Lendenwirbelkörper erstreckt.^{19,20} Die Häufung in dieser Region ist durch den Übergang der Brustwirbelkyphose, die zusätzlich durch den Brustkorb stabilisiert wird zur freistehenden Lendenwirbellordose zu erklären.²¹ Deswegen ist am häufigsten auch der erste Lendenwirbelkörper betroffen, dicht gefolgt vom zwölften Brustwirbelkörper und dem zweiten Lendenwirbelkörper. Die restliche Brust- und Lendenwirbelsäule ist jeweils nur zu etwa 18 % betroffen.

Zu etwa zwei Dritteln erleiden Männer in einem Durchschnittsalter von etwa 40 Jahren eine traumatische Fraktur der Wirbelsäule. Diese Frakturen werden fast ausschließlich operativ versorgt. Eine konservative Therapie wird nur in etwa sechs Prozent der Fälle angewandt.²⁰ Frakturen der Halswirbelsäule finden sich in etwa 20 % der Fälle.²²

Zur Klassifikation von Wirbelkörperfrakturen gibt es verschiedene Klassifikationssysteme. In diesen wird die Wirbelsäulenverletzung nach dem Unfallmechanismus,²³⁻²⁵ der anatomischen Verletzungsmorphologie,^{23,25-28} Stabilitätskriterien^{23,25,29} und dem neurologischen Status unterschieden.^{25,26,28} Für ein Grundverständnis der Frakturen und die

Anwendung der Klassifikationen auf Patienten mit Spondylitis ankylosans, sind drei Klassifikations-Modelle essentiell. Das Drei-Säulen-Modell nach Denis, die Magerl-Klassifikation und die heute in Europa größtenteils angewendete Klassifikation der AOSpine.

Drei-Säulen-Modell nach Denis

Denis unterteilt die Wirbelsäule in drei Säulen.²⁶ Die vordere, mittlere und hintere Säule. Die vordere Säule setzt sich aus dem vorderen Längsband, den vorderen zwei Dritteln des Wirbelkörpers und der Bandscheibe zusammen. Das mittlere Drittel besteht aus dem hinteren Drittel des Wirbelkörpers und der Bandscheibe sowie dem hinteren Längsband. Die hintere Säule schließt die Wirbelbögen mit den Facettengelenken und den Dornfortsätzen sowie die Ligg. interspinalia, supraspinalia und flava mit ein. Diese 3-Säulen-Einteilung kann man in Abb. 2-2 3-Säulen-Modell nach Denis⁵ verbildlicht sehen. Eine Fraktur wird als stabil gewertet, wenn nur eine dieser drei Säulen betroffen ist. Die mittlere Säule kann nie isoliert betroffen sein, weswegen eine Beteiligung dieser als Instabilitätsfaktor anzusehen ist. Die Stabilität ist somit abhängig von der Integrität der mittleren Säule. Mit der Summe der verletzten Säulen steigt der Grad der Instabilität.²⁶

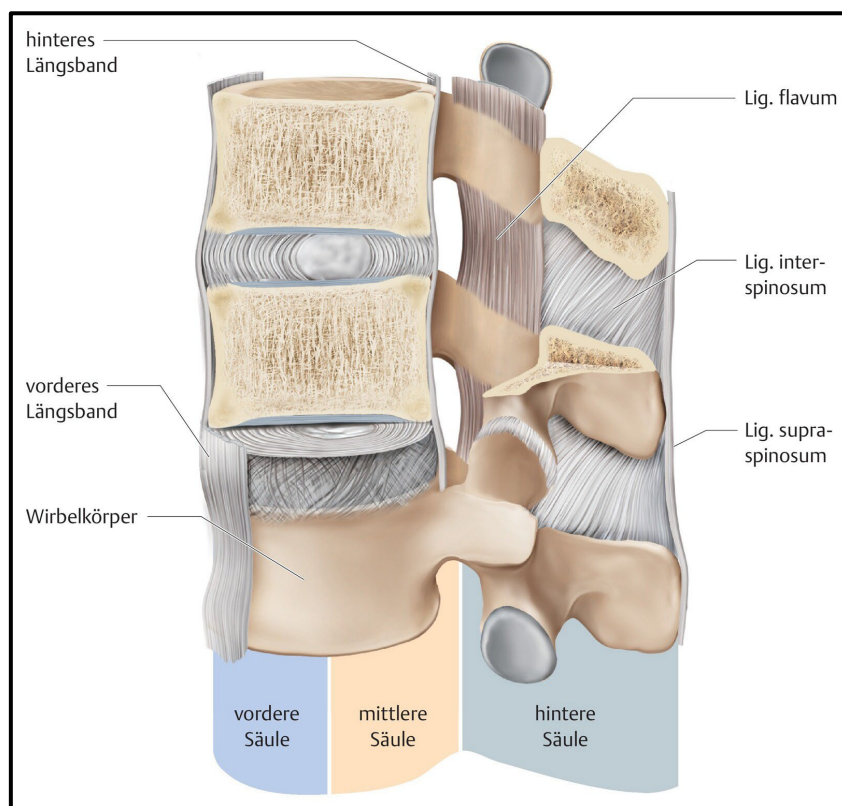


Abb. 2-2 3-Säulen-Modell nach Denis⁵

Magerl-Klassifikation

Bis vor kurzem noch gebräuchlich und in Europa weit verbreitet war die angepasste Einteilung der Verletzungen an Brust- und Lendenwirbelsäule nach Magerl aus dem Jahr 1994.²⁸ Sie klassifiziert thorakolumbale Wirbelkörperfrakturen anhand des Verletzungsmechanismus und der Frakturmorphologie. Typ-A-Verletzungen sind Kompressionsverletzungen und betreffen die ventralen Anteile der Wirbelsäule, Typ-B-Verletzungen sind Distraktionsverletzungen und betreffen alle drei Säulen der Wirbelsäule und Typ-C-Verletzungen sind Rotationsverletzungen mit hochkomplexen Verletzungen aller drei Säulen. Mit zunehmender Verletzungsschwere steigt auch der Grad der Instabilität und somit das Risiko für neurologische Komplikationen.

AOSpine-Klassifikation

Seit 2016 wird die neue AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen angewendet.³⁰ Sie klassifiziert nach Frakturmorphologie, neurologischer Schädigung und bestimmten klinischen Faktoren. Die Einteilung erfolgt nicht wie in der Magerl-Klassifikation nach Unfallmechanismus, sondern nach dem Grad der Instabilität. Typ-A-Verletzungen sind Kompressionsverletzungen und beinhalten zum einen Verletzungen des ventralen Wirbelsäulenanteils (Wirbelkörper und Bandscheibe) zum anderen die Stabilität nicht beeinträchtigende, geringe Verletzungen der Dorn- und Querfortsätze. Inkomplette und komplette Berstungsbrüche zählen auch zu den Typ-A-Verletzungen. Bei allen Typ-A-Verletzungen muss die dorsale Zuggurtung intakt sein und eine translatorische Verschiebung der Wirbelkörper gegeneinander darf nicht stattgefunden haben. Es gibt fünf verschiedene Subtypen A0-A4, die nach der Art der Fraktur unterscheiden.

Typ-B-Verletzungen sind charakterisiert durch die Zerstörung des vorderen oder des hinteren Längsbandes bzw. des Zuggurtungsmechanismus. Es gibt drei verschiedene Subtypen B1- B3. Subtyp-B1-Verletzungen sind monosegmentale, rein knöcherne dorsale Distraktionsverletzungen, Subtyp-B2-Verletzungen weisen eine Zerreißung des hinteren Längsbandes auf und betreffen ein intervertebrales Segment und Subtyp-B3-Verletzungen sind Hyperextensionsverletzungen, die eine Zerreißung des vorderen Längsbandes zur Folge haben. Subtyp-B3 ist häufig bei einer ankylosierten Wirbelsäule zu finden.

Typ-C-Verletzungen sind schwere Dislokations- bzw. Translationsverletzungen und sind durch eine komplette Zerreißung der Wirbelsäule mit einhergehender Fehlstellung charakterisiert. Die Translation kann dabei in alle Richtungen stattfinden.

In der AOSpine-Klassifikation wird der neurologische Status (keine neurologische Einschränkung bis hin zur kompletten Querschnittslähmung) sowie klinische Modifikatoren mit Einfluss auf die Behandlung (z.B. Osteoporose, Erkrankungen aus dem rheumatoiden Formenkreis) miterfasst.³⁰ Die AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulen-

verletzungen wurde im selben Jahr noch um das AOSpine-Klassifikationssystem für subaxiale Halswirbelsäulenverletzungen erweitert. Die Einteilung der Frakturen erfolgt hier nahezu analog zum o.g. Modell, wurde aber noch um die Subtypen F1 und F2 erweitert welche Frakturen der Facettengelenke miteinschließen.³¹

2.1.4 Operative Behandlungsmöglichkeiten von Wirbelkörperfrakturen

Operative Behandlungsmöglichkeiten von Wirbelkörperfrakturen müssen für Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule und für Frakturen im Brust- und Lendenwirbelbereich, differenziert betrachtet werden. Neben der anatomischen und biomechanischen Unterschiede, variiert die Art der operativen Versorgung auch abhängig von der jeweiligen Operationshöhe.

Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule steht in sehr enger topographischer Beziehung zu umgebenen Leitungsbahnen, Halseingeweiden sowie Gefäßen und ist der Tragpfeiler des Kopfes.^{32,33} Halswirbelkörperfrakturen werden in obere und untere Halswirbelsäulenverletzungen unterteilt. Verletzungen der oberen Halswirbelsäule beinhalten Verletzungen des atlantoaxialen Komplexes mit dem ersten Halswirbelkörper (Atlas), dem zweiten Halswirbelkörper (Axis) sowie deren angrenzenden Gelenke.³² Im Bereich der Zwischenwirbelscheibe zwischen dem zweiten und dritten Halswirbelkörper verlässt der Spinalnerv das Rückenmark durch das Foramen intervertebrale und geht in die dritte Spinalnervenwurzel (C3) über.³⁴ Deswegen findet sich in der Literatur häufig die Höhenangabe C0-C3 für Verletzungen der oberen Halswirbelsäule, welche in etwa in 42 % der Fälle betroffen ist.¹³ Diese Verletzungen der oberen Halswirbelsäule spielen für die vorliegende Arbeit keine Rolle und werden deswegen nicht näher beschrieben. Verletzungen der unteren Halswirbelsäule sind mit 55 % häufiger als die der oberen Halswirbelsäule. Sie werden auch als Verletzungen der subaxialen Halswirbelsäule beschrieben und beinhalten Verletzungen unterhalb der Zwischenwirbelscheibe HWK 2/HWK 3 (C3) bis zum zervikothorakalen Übergang HWK 7/BWK 1. Grund für die Unterteilung in Verletzungen der oberen Halswirbelsäule und solche der subaxialen Halswirbelsäule ist der einheitliche anatomische Aufbau des Wirbelkörpers unterhalb von HWK 2 mit hieraus gleich wirkenden biomechanischen Grundprinzipien für einzelne Bewegungssegmente. Entsprechend ergeben sich für alle Wirbelkörperverletzungen unterhalb von HWK 2 ähnlich anzuwendende Therapieoptionen.³⁵

Brustwirbelsäule/Lendenwirbelsäule

Die Brust- und Lendenwirbelsäule, verläuft durch beide großen Körperhöhlen und steht in ihrem Verlauf in enger Beziehung zu begleitenden großen Gefäßen und Leitungsbahnen. Im Bereich des thorakolumbalen Überganges findet der Übergang der Brustwirbelkyphose zur Lendenlordose statt. Weil hier, bedingt durch die Rigidität des Brustkorbes eine hohe Hebelwirkung und Stoßkraft der Brustwirbelsäule auf die flexible Lendenwirbelsäule trifft, ist diese Region häufig von Frakturen betroffen.^{36,37} Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule finden sich wesentlich häufiger als Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule.³⁸ Liegt eine Wirbelkörperfraktur vor, kann diese operativ entweder mittels einer Osteosynthese oder einer Spondylodese versorgt werden. Der Unterschied ist, dass die Osteosynthese auf eine temporäre und die Spondylodese auf eine dauerhafte Versteifung der Wirbelsäule ausgelegt ist. In der Traumatologie kommt am häufigsten die Osteosynthese und in der degenerativen Wirbelsäulenchirurgie die Spondylodese zur Anwendung.³⁹ Die Ruhigstellung von Frakturen der Wirbelsäule durch das Einbringen von Fremdmaterialien hat eine lange Tradition und entwickelt sich stetig weiter. Durch eine Drahtcerclage der Dornfortsätze, führte Hadra 1891 die erste dokumentierte operative Stabilisierung einer Wirbelkörperfraktur durch.⁴⁰ Die ersten Überlegungen für eine operative ventrale Stabilisierung der Spondylolisthesis dokumentierte Capener 1932 und die erste posterolaterale Fusion von zwei Wirbelkörpern wurde 1954 durch Watkins durchgeführt.^{41,42} Seitdem entwickelten sich operative Techniken und Materialien stetig weiter. Beispielhaft seien hier der dorsal einzubringende Fixateur interne und die anteriore, winkelstabile Plattenosteosynthese genannt.⁴³ Indikationen für eine operative Versorgung sind bei allen Wirbelkörperfrakturen neurologische Symptome, Instabilität oder Fehlstellung. Ziel der Therapie ist die Reposition der Fehlstellung, die Dekompression des Nervengewebes und die Erhaltung der mechanischen Stabilität. Neurologische Schäden sollen vermieden oder limitiert werden und eine Vollbelastbarkeit des Patienten soll zeitnah wiederhergestellt werden. Operative Fusionen der Halswirbelsäule erfolgen bevorzugt von ventral und die Fusion der Brust- und Lendenwirbelsäule bevorzugt von dorsal. Es gibt aber ausreichend Indikationen für einen operativen Zugang von der jeweils anderen Seite oder zur Kombination beider Eingriffe. Im Folgenden wird auf die jeweiligen Details der verschiedenen operativen Versorgungsmöglichkeiten eingegangen. Hier liegt der Schwerpunkt in der Beschreibung der jeweiligen Spondylodesen, da dieses Verfahren für die untersuchte Patientengruppe die größte Relevanz hat.

2.1.4.1 Dorsale Spondylodese

Halswirbelsäule

Die Indikation zur dorsalen Spondylodese ergibt sich meist aus verhakten und nicht reponierbaren Luxationsfrakturen und aus dislozierten Frakturen mit neurologischen Komplikationen. Für den dorsalen Zugang befindet sich der Patient in Bauchlage, der Kopf wird meist in einer Drei-Punkt-Schädel-Klemme nach F. H. Mayfield fixiert. Im Anschluss erfolgt die dorsale Spondylodese. Die größte Sicherheit bietet die mehrsegmentale dorsale Instrumentierung mit Massa-lateralis-Schrauben beidseits. Ist eine größtmögliche Sicherheit für den Halt der Schrauben von Nöten, bietet sich als weitere Möglichkeit eine transpedikuläre Schraubenverankerung an. Diese Technik ist jedoch, aufgrund der unmittelbaren Lagebeziehung der Schrauben zwischen A. vertebralis und dem Myelon, sehr anspruchsvoll weswegen zur Lagekontrolle eine intraoperative dreidimensionale Darstellungsmöglichkeit bzw. ein Navigationssystem zur Verfügung stehen sollte.^{44,45} Die Schrauben werden mit einem Platten- oder Stabsystem verbunden und erreichen darüber Rotations- und Winkelstabilität. Die dorsalen Platten bzw. die Schrauben-Stab-Systeme ersetzen bei Instabilität zum Teil das dorsale Zuggurtungssystem. Abschließend erfolgt eine autologe Spongiosaplastik an die deperiostierten Wirbelbögen. Wesentlicher Nachteil des dorsalen Zugangs ist die erforderliche tiefe Ablösung der Nackenmuskulatur.⁴⁴ Hinzu kommen häufig Blutungen aus dem venösen Plexus sowie nicht selten Wundheilungsstörungen im Verlauf der Therapie.^{46,47}

Brustwirbelsäule/Lendenwirbelsäule

Die dorsale Spondylodese ist indiziert u.a. bei posttraumatischer segmentaler Instabilität, Spondylolyse, Spondylolisthesis, Spondylodiszitis und bei Bandscheibendegenerationen.⁴⁸ Der Patient wird in Bauchlage mit ventralem Durchhang gelagert. Hierdurch wird bei frischen Frakturen häufig schon eine geschlossene Reposition der Fraktur erreicht, welche durch Zug an Schultern und/oder Beinen feiner justiert werden kann. Je früher eine Reposition erfolgt, umso wahrscheinlicher gelingt sie.⁴⁹ Der operative Zugang erfolgt in der Medianlinie mit langstreckiger Lösung der paravertebralen Muskeln. Weniger komplexe Frakturen können minimal-invasiv perkutan operiert werden.⁵⁰ Über eine Laminektomie kann eine direkte Dekompression des Spinalkanals durchgeführt werden.⁵¹ Die Retention wird durch das Einbringen eines Fixateur interne gewährleistet. Bei diesem werden Pedikelschrauben in die Wirbelkörper ober- und unterhalb der Fraktur verankert und mit einem Stab als Längsträger miteinander verbunden. Der Abstand ist frei wählbar wodurch auch bi- oder multisegmentale Instrumentierungen möglich sind. Beim Einbringen des Materials können zusätzlich, mithilfe der längeren Hebelarme des Instrumentariums, dislozierte Frakturen feinreponiert werden.⁴³

Um beim Einbringen des Materials das Risiko einer Pedikelperforation zu verringern, erfolgt die Prozedur idealerweise computer-navigiert und unter intraoperativer Röntgenkontrolle.⁵² Computer-navigierte Operationsverfahren führen zudem zu einer genaueren Schraubenplatzierung.⁵³ Abschließend erfolgt beim offenen Verfahren eine autologe Spongiosaplastik an die deperiostierten Wirbelbögen.

2.1.4.2 Ventrale Spondylodese

Halswirbelsäule

Indikationen zur chirurgischen Versorgung ergeben sich ab Berstungsbrüchen des Typ-A3, weil diese aufgrund der Hinterkantenbeteiligung als instabil anzusehen sind.⁵⁴ Für den ventralen Zugang befindet sich der Patient in Rückenlage, der Zugang kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Ist die untere Halswirbelsäule betroffen so erfolgt meist ein rechtsseitiger, ventrolateraler Zugang nach Smith-Robinson oder nach Cloward.^{55,56} Um Teile des zervikothorakalen Übergangs darstellen und versorgen zu können ist eine Zervikosternotomie nötig. Bei mono- oder bisegmentaler Versorgung erfolgt der Zugang über eine Querinzision vor dem M. sternocleidomastoideus. Bei einer langstreckigen Versorgung verläuft die Schnittführung entlang des Vorderrands des M. sternocleidomastoideus nach median über das Sternum.⁵⁷ Bei Berstungsfrakturen hat sich die ventrale Spondylodese als Therapie der Wahl etabliert. Es wird ventral eine winkelstabile Platte angebracht und der Defekt monosegmental durch Cage bzw. autologer Spongiosaplastik (bspw. Kortikalisspan) oder bisegmental durch Cage aufgefüllt.⁵⁴ Bei bestehender dorsaler Instabilität bietet das Plattensystem allein jedoch keinen ausreichenden Schutz für die Einheilung eines Kortikalisspans.⁴⁴ Risiken des ventralen Zugangs sind die Verletzungen des N. laryngeus recurrens und des N. hypoglossus, die Verletzung des sympathischen Grenzstrangs und die mögliche Kompromittierung der Atemwege durch Hakenzug.⁵⁸

Brustwirbelsäule/Lendenwirbelsäule

Inkomplette Berstungsbrüche des Typ-A3 sowie komplette und Berstungsspaltbrüche des Typs-A4 stellen eine Indikation für eine ventrale Spondylodese dar.⁵⁹ Für eine alleinige ventrale Versorgung der Wirbelsäule muss jedoch die Integrität der hinteren Säule sowohl ossär als auch ligamentär gewährleistet sein.⁶⁰ Der Patient befindet sich für die ventrale Stabilisierung in Seitenlage. Je nach Segmenthöhe gibt es verschiedene operative Zugangswege, welche sich durch die umgebenden anatomischen Strukturen ergeben. Der Zugang zu hohen Frakturen der Brustwirbelsäule (BWK 4-8) erfolgt durch eine rechtsseitige Thorakotomie im fünften oder sechsten Interkostalraum. Dadurch erhält man Abstand zur

linksseitig verlaufenden Aorta. Bei Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs (BWK 9 - LWK 2) dient eine linkslaterale Thorakotomie im zehnten und elften Interkostalraum als Zugang. Bei lumbalen Frakturen (LWK 2-4) ist es eine linksseitige Lumbotomie. Diese Seite wird gewählt, weil linksseitig das Zwerchfell tiefer liegt und zusätzlich sowohl die rechtsliegende Leber als auch die V. cava inferior geschont werden. Durch die Nähe der Zugangswege zu lebenswichtigen Gefäßen und Organen, ist die ventrale Versorgung sehr anspruchsvoll für den Operateur.⁶¹ Durch die Entwicklung minimalinvasiver Operationstechniken konnte die peri- und postoperative Morbidität deutlich reduziert werden.^{62,63} Die Frakturposition von ventral ist deutlich schwieriger als von dorsal, jedoch lässt sich die ventrale Säule effektiver stabilisieren und die Reposition besser halten als bei alleiniger dorsaler Stabilisierung. Zusätzlich ist eine direkte Dekompression des Spinalkanals möglich.⁶⁴ Wird nur ein Segment versorgt so wird der Spinalkanal ggf. dekomprimiert und ein Cage und/oder eine autologe Spongiosaplastik in das zuvor ausgeräumte Bandscheibenfach eingelegt. Bei bisegmentaler Versorgung wird neben der Bandscheibe auch der betroffene Wirbelkörper entfernt. Der entstandene Defekt wird mit einem Wirbelkörperersatzimplantat und Spongiosaplastik aufgefüllt. Zur Sicherung der Fusionsstrecke kann zusätzlich eine Plattenosteosynthese durchgeführt werden.⁶⁵ Risiken der ventralen Spondylodese sind Verletzungen der großen Gefäße sowie Komplikationen welche mit dem jeweiligen Höhlen-Eingriff einhergehen. Insbesondere das Risiko für pulmonale Komplikationen nach Eingriffen in der Brusthöhle sind hier erwähnenswert.

2.1.4.3 Kombiniert dorso-ventrale Spondylodese

Halswirbelsäule

Die Indikation zur kombiniert dorso-ventralen Spondylodese ergibt sich aus verhakten, nicht reponierbaren Luxationsfrakturen und hoch-instabilen Frakturen.⁶⁶ Die Technik und Durchführung ist eine Kombination aus der bereits oben beschriebenen dorsalen und ventralen Spondylodese. Meist wird zunächst die dorsale Operation durchgeführt, um die Fraktur zu reponieren und um ggf. direkt eine Laminektomie zur Dekompression des Spinalkanals durchzuführen. Abschließend erfolgt eine autologe Spongiosaplastik an die deperiostierten Wirbelbögen und der Wundverschluss. Die ventrale Versorgung in Seitenlage findet dann entweder direkt im Anschluss oder einige Tage später elektiv statt. Hier wird die betroffene Bandscheibe entfernt, Grund- und Deckplatte entknorpelt und ein kortikospongiöser Block oder ein entsprechendes Implantat eingefalzt. Im Anschluss erfolgt die ventrale Plattenspondylodese.⁶⁶

Brustwirbelsäule/Lendenwirbelsäule

Im thorakolumbalen Bereich ist bei einer Destruktion des traumatisierten Wirbelkörpers, beispielsweise bei kompletten und inkompletten Berstungsbrüchen nur noch eine mangelhafte Abstützung der ventralen Säule gegeben. Eine Fraktur gilt somit als instabil. Eine hochgradige Instabilität, Typ B- oder C- nach AO-Klassifikation, ist generell eine Indikation zur kombinierten dorso-ventralen Spondylodese. Auch eine bereits stattgehabte, isoliert ventrale bzw. dorsale Versorgung mit mangelhafter Stabilisierung, ist eine Indikation zur zusätzlichen operativen Versorgung der jeweiligen Gegenseite. Es gilt sowohl die lasttragende ventrale Säule als auch die dorsale Zuggurtung zu rekonstruieren. Die kombinierte Operation kann einzeitig, d.h. direkt nacheinander, oder zweizeitig mit einigen Tagen Abstand durchgeführt werden. Der dorsale Zugang in Bauchlage bietet dabei die Möglichkeit der notfallmäßigen Reposition und der spinalen Dekompression mit anschließender Retention. Der ventrale Zugang in Rückenlage erlaubt ein ggf. notwendiges zusätzliches Débridement des Spinalkanals und die effektive rekonstruktive Abstützung und Fusion auf kürzester Strecke.⁶⁷ Die kombinierte dorso-ventrale Instrumentierung gewährleistet eine hohe Sofortstabilität und ist hinsichtlich des Korrekturverlustes gegenüber den einseitigen Verfahren überlegen.⁶⁸ Nachteile dieses Verfahrens sind ein erhöhtes Risiko durch die Kombination der jeweiligen Operationsrisiken sowie die Summierung der Morbidität der einzelnen Zugangswege.⁶⁸ Ein dauerhafter Verbleib des eingebrachten Materials in situ ist möglich.⁶⁹

2.2 Spondylitis ankylosans (SA)

2.2.1 Definition

Spondylitis ankylosans, auch bekannt als Morbus Bechterew ist eine unheilbare, chronisch-entzündliche Erkrankung, die zu einer vollständigen Versteifung der Wirbelsäule führen kann. Seit 2009 zählt Spondylitis ankylosans zur Krankheitsfamilie der Axialen Spondyloarthritis (axSpA).⁷⁰ Durch ihre Assoziation zum Humanen Leukozyten-Antigen (HLA) B27 hat die Erkrankung eine erbliche Komponente. Der Krankheitsverlauf ist langsam fortschreitend, mit einem schubweisen Verlauf und betrifft meist das Iliosakralgelenk und die Wirbelsäule sowie die peripheren Gelenke.^{71,72} Im Verlauf der Erkrankung können auch extraskeletale Manifestationen im Bereich von Aorta, Uvea, Herz und Lunge auftreten.

2.2.2 Epidemiologie

In Mitteleuropa ist die Lebenszeitprävalenz für Spondylitis ankylosans 0,3 -0,5 %, die Inzidenz liegt bei 0,5-14/100.000 Einwohnern.⁷² Die Geschlechterverteilung beträgt 2:1 (Männer : Frauen) und die Patienten werden meist um das 26. Lebensjahr erstmalig beim Arzt vorstellig. 80 % der Patienten zeigen die ersten Symptome bereits bevor sie das 30. Lebensjahr erreicht haben, nur 5 % zeigen Erstmanifestationen nach dem 45. Lebensjahr.⁷³ Es gibt eine starke Korrelation zwischen dem Vorliegen des Gens HLA B27 und dem Auftreten der Erkrankung.⁷⁴ Dieses Gen findet seine höchste Prävalenz in nördlichen Ländern. Ein früher Krankheitsbeginn ist meist mit einem schlechteren funktionellen Outcome verbunden.⁷⁵ Bei einer Erkrankungsdauer von mehr als 20 Jahren finden sich funktionelle Einschränkungen durch die Erkrankung häufiger bei Patienten mit körperlich belastenden Tätigkeiten, multiplen Begleiterkrankungen und bei Rauchern.⁷⁶ Männliche Patienten leiden im Vergleich zur weiblichen Patientinnen vermehrt unter strukturellen Veränderungen wie zum Beispiel der Bambusstabwirbelsäule.⁷²

2.2.3 Ätiologie

Sowohl die Ätiologie als auch die Pathogenese der Spondylitis ankylosans ist bis heute nicht vollständig geklärt. Bei Erkrankten lässt sich jedoch in etwa 95 % der Fälle HLA B27 nachweisen.⁷⁷ Zwillingsstudien zeigten jedoch, dass HLA B27 nur einen Beitrag von 20-30 % zum totalen genetischen Risiko leistet, während der Beitrag des Haupthistokompatibilitätskomplex (MHC) bis zu 40-50 % beiträgt.⁷⁸ Genträger mit einem

Verwandten ersten Grades, der unter SA leidet, haben ein sechs bis 16-fach erhöhtes Risiko gegenüber Genträgern ohne familiäre Vorbelastung.⁷⁹ Ohne familiäre Prädisposition erkranken Genträger in weniger als fünf Prozent der Fälle an der Erkrankung.⁸⁰ Dies deutet darauf hin, dass familiäre Faktoren, unabhängig vom HLA B27 eine wesentliche Rolle bei der Krankheitsentstehung spielen. In tierexperimentellen Versuchen wurden HLA-B27-positive Ratten in unterschiedlichen Umgebungen gehalten. Die Gruppe, welche in keimfreier Umgebung gehalten wurde entwickelte im Gegensatz zur Vergleichsgruppe keine SA-ähnliche Erkrankung.⁸¹ Dies weist auf einen Einfluss von exogenen Faktoren bei der Pathogenese der Erkrankung hin.

2.2.4 Pathologie/Pathophysiologie

Der Spondylitis ankylosans liegen sowohl autoimmune Faktoren als auch chronisch rezidivierende Entzündungsprozesse zugrunde. Autoimmun kommt es im Bereich der Sehnenansätze zu einer subchondralen Entzündung mit Knochenödem. Es kommt zu einer Zerstörung u.a. von Kollagenfasern und Proteoglykanen.⁸² Es entsteht ein erosiv entzündliches Infiltrat, welches sich aus Lymphplasmazysten und zum Teil aus neutrophilen Granulozyten zusammensetzt. Diese Entzündung ruft eine fibröse Gewebeproliferation hervor, die zunächst zu einer knorpeligen Umstrukturierung und dann zu einer Ossifikation der betroffenen Zone führt.⁸³ Es entstehen sogenannte Syndesmophyten. Am häufigsten sind von der Ossifikation der Faserring der Bandscheibe sowie das vordere Längsband, insbesondere im Bereich der Brustwirbelsäule betroffen.⁸⁴ Die fortschreitende Entzündung und Ossifikation dieser Bereiche führt zu einer Verkürzung und Versteifung des vorderen Längsbandes. Dadurch nehmen die kyphotische Verformung der Wirbelsäule, die funktionelle Einschränkung und die Beschwerden immer weiter zu.⁸⁵ Ein Beispiel für die kyphotisch veränderte Wirbelsäule mit ihrer Auswirkung auf die Körperhaltung des Patienten kann man in Abb. 2-3 Erscheinungsbild der Kyphose bei SA⁹⁰ sehen. Die entstehende Ankylose verändert die Biomechanik der Wirbelsäule immens. Das Achsenorgan verliert an Elastizität, Flexibilität und Mobilität und wird zu einem starren Stab.⁸⁶ Als Endstrecke der chronischen Entzündung und der Inaktivitätsatrophie kommt es zur fortschreitenden Osteoporose.^{85,87} Im Röntgenbild hat die Wirbelsäule nun eine bambusähnliche Struktur, weswegen man sie auch als „Bambusstabwirbelsäule“ bezeichnet. Die Fähigkeit, auf äußere Reize und Gewalteinwirkungen adäquat zu reagieren geht nach und nach verloren. Vergleichsweise normale Belastungen können durch den Band- und Knochenapparat nicht mehr angemessen kompensiert und toleriert werden.⁸⁸ Bei weit vorangeschrittener Erkrankung verlagert die bogenförmige Kyphose der Wirbelsäule das Schwerelot des Körpers nach ventral, vor die

Hüftgelenkquerachse. Um dies zu kompensieren beugen die Patienten ihre Knie leicht an.⁸⁹ Diese veränderte, eher instabile Grundhaltung kann einen Sturz der Patienten begünstigen.

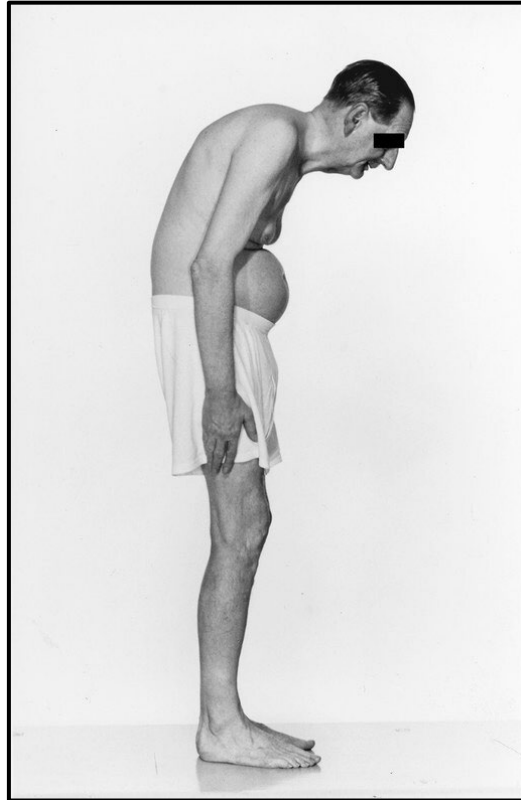


Abb. 2-3 Erscheinungsbild der Kyphose bei SA⁹⁰

2.2.5 Symptome/Klinik

Das Leitsymptom ist der schleichend einsetzende, entzündliche und dumpfe Rückenschmerz. Die Beschwerden sind lageunabhängig, beginnen meist mit Morgensteifigkeit und bessern sich im Tagesverlauf durch Bewegung. Eine zunehmende Steifheit der Wirbelsäule mit Verlust an Mobilität in selbiger ist charakteristisch. 68 % der Patienten haben lebenslange Rückenprobleme, jedoch hat auch ein Drittel der Betroffenen gar keine Schmerzen.⁹¹ Typischerweise beginnt die Krankheit im unteren Rücken und verläuft mit der Zeit stetig nach kranial.⁹² Neben der Wirbelsäule können die Muskelansätze am kostosternalen Übergang, dem Beckenkamm, den Dornfortsätzen, dem Trochanter major oder der Achillessehne von entzündlichen Enthesiopathien betroffen sein. Weiterhin spezifisch für SA kann eine stamnahe Arthritis in Hüft-, Schulter- und Kniegelenken auftreten. Diese peripheren Arthritiden treten fast immer asymmetrisch auf. Es finden sich auch extraartikuläre Manifestationen der Erkrankung. Häufig sind entzündliche Veränderungen des Ileums oder

des Kolons und eine einseitige akute Uveitis anterior.^{93,94} Seltener sind Lunge, Nieren oder Herz betroffen.⁹⁵ Dennoch kann sich der Verlauf der Erkrankung auch über viele Jahre als insgesamt benigne zeigen.⁹¹

2.2.6 Diagnostik

Anamnese und klinische Untersuchung sind bei der Diagnostik der SA richtungsweisend. Ein Druck- oder Kompressionsschmerz des Iliosakralgelenks, das sogenannte Menell-Zeichen ist für SA typisch.^{96,97} Auch ein vermindertes Schober-Maß (Beweglichkeit Lendenwirbelsäule), ein reduziertes Ott-Maß (Beweglichkeit Brustwirbelsäule) oder ein erhöhtes Flèche-Maß (Beweglichkeit Halswirbelsäule) können Hinweise auf das Vorliegen der Erkrankung sein.^{96,98} Bei der Blutuntersuchung zeigen sich eine Erhöhung des C-reaktiven Proteins (CRP) und eine erhöhte Blutsenkungsgeschwindigkeit (BSG) sowie häufig der Nachweis des Antigen HLA B27.^{72,99} Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist der Goldstandard der Diagnosestellung. Sie ist dazu in der Lage, entzündlich-ödematöse Prozesse in den Iliosakralgelenken bereits früh zu erkennen, wenn konventionelle Verfahren diese noch nicht nachweisen können.¹⁰⁰ Nach Diagnosestellung können Patienten anhand der ASAS-(Assessment of Spondylarthritis international Society)-Klassifikationskriterien gruppiert werden um in Studien eingeordnet zu werden. Die ASAS-Klassifikationskriterien für die axiale SpA enthalten keine klinische Bewertung des Krankheitsbildes und sind deswegen nicht zur Diagnosestellung geeignet.¹⁰¹ Im Rahmen anderer Untersuchungen können sich Hinweise auf SA nebenbefundlich zeigen. Fast die Hälfte der Menschen die unter SA leiden, zeigen bereits in frühen Stadien radiologische Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule.¹⁰² Bei Erkrankungszeiträumen über 20 Jahren findet man diese sogar in 70 % der Fälle.¹⁰³

2.2.7 Therapie

Die Therapie von SA ist multimodal. Sie setzt sich aus Schulungsmaßnahmen, nicht-pharmakologischen und pharmakologischen Maßnahmen zusammen. Professionell angeleitete Bewegungsübungen müssen regelmäßig durchgeführt werden. Im weiteren Krankheitsverlauf können Operationen oder Rehabilitationsmaßnahmen notwendig sein.¹⁰¹ Therapieziele sind die Schmerzreduktion, der Erhalt der körperlichen Funktionsfähigkeit sowie eine Reduktion der inflammatorischen Prozesse. Jede Entzündung im Gewebe führt zu einer Reizung, auf die der Körper bzw. das Gewebe mit einer Ausschüttung von Entzündungsmediatoren, u.a. Prostaglandinen reagiert. Eine zentrale Rolle spielen deswegen nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR) in der medikamentösen Therapie der SA. Diese sind

dazu in der Lage, die Prostaglandinsynthese, durch Hemmung des Leitenzyms Cyclooxygenase zu unterdrücken.¹⁰⁴ Sie lindern sowohl bei kurzfristiger als auch bei längerer Behandlungsdauer Schmerzen und Steifigkeit an der Wirbelsäule und an peripheren Gelenken.¹⁰⁵ Außerdem kann die regelmäßige Einnahme von NSAR, zum Beispiel Celecoxib, die radiologische Progression der Erkrankung im Vergleich zur bedarfsweisen NSAR-Einnahme verzögern.¹⁰⁶ Die Gabe von NSAR ist die erste Stufe der pharmakologischen Therapie und sollte der Therapie mit Biologika vorausgehen.¹⁰⁷ Die Anwendung von DMARDs (Disease-modifying-anti-rheumatic-drug), wie zum Beispiel Mesalazin oder Sulfasalazin, kommt insbesondere beim Vorliegen einer peripheren Arthritis zum Einsatz. Bei alleiniger Erkrankungsmanifestation im Achsenskelett haben diese Medikamente keinen Stellenwert. Biologika wie Tumornekrosefaktor-(TNF)-Blocker sind eine wichtige pharmakologische Therapieoption für Patienten mit einer hohen Krankheitsintensivität. Der Hintergrund für die Anwendung von TNF-Blockern ist, dass in Biopsien von Iliosakralgelenken Betroffener, TNF-alpha nachgewiesen werden konnte.¹⁰⁸ Die klinische Wirksamkeit beginnt meist relativ schnell und hält unter fortlaufender Therapie mehrere Jahre an.¹⁰⁷ Die Beschwerden sind rückläufig, die radiologisch nachweisbare Entzündungsreaktion nimmt ab und die Lebensqualität der Patienten steigt unter der TNF-Blocker-Therapie an.¹⁰⁹ Mithilfe der Biologika lässt sich der Krankheitsverlauf der SA in den meisten Fällen positiv beeinflussen. Bei frühzeitigem Therapiebeginn können schwere Krankheitsformen verhindert oder zumindest deutlich verzögert werden. Bei operativen Therapien steht, aufgrund der häufigen Beteiligung der Hüftgelenke, der endoprothetische Ersatz dieser im Vordergrund. Osteoporotische Frakturen von Wirbelkörpern erfordern nicht selten Stabilisierungsmaßnahmen. Außerdem kann es durch die zunehmende Kyphosierung zu so starken Einschränkungen für den Patienten kommen, dass die Indikation für eine Aufrichtungsspondylodese gestellt wird.¹¹⁰

2.2.8 Traumatische Wirbelkörperfrakturen bei SA und deren Therapie

Während ihres Lebens haben SA-Patienten ein vierfach erhöhtes Risiko, eine Wirbelkörperfraktur zu erleiden.^{111,112} Durch die Pathoanatomie verändert sich die Biomechanik der Wirbelsäule erheblich. Die Positionen der Scheitelpunkte der natürlichen Wirbelsäulenkrümmungen verlagern sich und ihre Flexibilität reduziert sich dadurch immens. Die Wirbelsäule reagiert aufgrund der Veränderungen vollkommen anders auf eine mechanische Belastung. Durch die verminderten Kompensationsmechanismen und die Versteifung der Wirbelsäule kommt es häufig schon bei sehr geringen äußeren Gewalteinwirkungen, zu langen Hebelarmen und dadurch zu Frakturen. Durch die Ossifikation aller beteiligten Bandstrukturen verlaufen Frakturen in diesen Bereichen meist tangential durch

den Knochen und die ossifizierten Bänder hindurch. Die Wirbelsäule verhält sich bei fortgeschrittener Erkrankung eher wie ein langer Röhrenknochen bei Gewalteinwirkung. Durch die häufig komplette Zerreißung aller Strukturen entstehen meist hochinstabile Frakturen mit neurologischer Begleitsymptomatik.¹¹³ Im vergangenen Jahrhundert wurden diese Frakturen zu einem großen Teil konservativ behandelt. Bei nicht dislozierten Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule, ohne neurologische Ausfälle, wurden Halsorthesen über sechs bis acht Wochen genutzt. Bei Frakturdislokation fand eine Traktionstherapie für drei Wochen mit anschließender Orthesenversorgung bis zur Konsolidierung oder für vier Monate statt.¹¹⁴ Die Hauptgründe für das konservative Vorgehen waren das hohe operative Risiko der damaligen Operationsmethoden, die Multimorbidität der Patienten sowie die Ablehnung der Operation durch den Patienten.¹¹⁵ Jedoch besteht während der konservativen Therapie weiterhin eine Instabilität mit einem erhöhten Risiko für sekundäre Dislokationen der Fraktur und einem erhöhten Risiko für das Auftreten von neurologischen Defiziten sowie für die Bildung von Pseudarthrosen.^{114,116-120} Sehr häufig werden primär konservativ behandelte Patienten aufgrund von ungenügender Reposition, erneuter Dislokation, ausbleibender Konsolidierung, Instabilität oder Pseudarthrosenbildung sekundär operiert.¹¹⁷ Durch Weiterentwicklung der Operationsverfahren, Zunahme der minimalinvasiven Chirurgie und einem besseren perioperativen Patientenmanagement nimmt die Anzahl der primär operativ versorgten Frakturen deutlich zu. Die Morbidität und Mortalität kann dadurch geringgehalten werden,¹²¹ weswegen viele Autoren zur operativen Stabilisierung raten,^{117,120,122-126} diese generell präferieren^{86,113,127,128} oder sogar für unverzichtbar halten.¹²⁹ Die operative Versorgung stellt besondere Anforderungen an den Operateur und das gesamte Patientenmanagement. Hohe Morbiditäts- und Mortalitätsraten sollten alle Beteiligten zur höchsten Vorsicht ermahnen.¹¹⁵ Bei vorbestehender ausgeprägter Kyphosierung ist es bereits extrem riskant, den Patienten „normal“ auf dem Rücken zu lagern. Dadurch öffnet sich die Fraktur und das Rückenmark kann erheblich verletzt werden.¹³⁰ Durch die pathoanatomische Rigidität der Wirbelsäule ist eine intraoperative Mobilisation bzw. Beweglichkeit der Wirbelsäule deutlich erschwert.¹²⁰ Generell können Wirbelkörperfrakturen bei SA, abhängig vom Grad der Instabilität, mit denselben Spondylodeseverfahren versorgt werden wie eine gesunde Wirbelsäule. Aufgrund der geringen Fallzahl an SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen gibt es keine Studien, welche ein spezielles operatives Vorgehen bei einer speziellen Verletzung definieren. Es ist die fachliche Expertise einiger Spezialisten auf diesem Gebiet, welche in Empfehlungen hinsichtlich des operativen Verfahrens münden.

Dorsale Spondylodese

Eine dorsale Instrumentierung wird bei Frakturinstabilität in Kombination mit einer Translationstendenz,^{113,124} sowie bei guter Achsenstellung und fehlenden neurologischen Auffälligkeiten empfohlen.¹¹⁸ Bei ausreichender Stabilität und Belastbarkeit der ventralen Säule kann dieses Verfahren ausreichend sein.¹²⁸ Eine sichere Stabilisierung kann am besten über eine langstreckige Verschraubung erzielt werden. Der Bereich der Fusion sollte nicht im Scheitelpunkt der Kyphose und auch nicht im Bereich des Bandscheibenfaches enden, weil dies mit einem erhöhten Risiko für Ermüdungsbrüche einhergeht.^{87,131}

Ventrale Spondylodese

Bei exakt reponierten Brüchen, weitgehend achsengerechter Stellung des Kopfes über dem Rumpf und ausreichender Knochenqualität kann ein ventrales Operationsverfahren angewendet werden.¹¹³ Diese Konstellation ist aber eine Seltenheit. Zudem ist in einigen Fällen aufgrund der ausgeprägten Kyphose und der Wirbelsäulenversteifung ein anteriorer Zugang schlicht nicht möglich.¹¹⁷ Einige Autoren sehen eine alleinige anteriore Frakturversorgung bei SA aus biomechanischer Sicht als unzureichend an.^{117,126} Das Ausmaß der Fraktur wird häufig unterschätzt. Durch fehlende radiologische Darstellung der posterioren Bandstrukturen wird fälschlicherweise von einer Stabilität der hinteren Säule ausgegangen. Diese Fehlannahme kann nach alleiniger ventraler Versorgung zu einer Implantatlockerung und somit zum Implantatversagen in der Hälfte der Fälle führen.¹²⁶ Aus diesem Grund findet die alleinig ventrale Versorgung von Wirbelkörperfrakturen bei SA nur noch sehr selten statt.

Kombiniert dorso-ventrale Spondylodese

Eine dorso-ventrale Spondylodese wird bei zusätzlicher Bandscheibenverletzung,¹²⁴ signifikanten Strukturdefekten der Wirbelsäule mit einer schweren Instabilität,¹¹⁸ Kyphosierung im Frakturbereich,^{127,128} Substanzdefekten und einer unzureichenden Knochenqualität vorgenommen.¹¹³ Nach Meinung einiger Autoren sollte aufgrund der allgemein hohen Instabilität bei SA die dorso-ventrale Stabilisierung primär erfolgen.¹¹⁷ Besonders zervikale Frakturen sind durch ein kombiniertes Verfahren besser zu stabilisieren.⁸⁸ Mit welchem Zugang begonnen wird entscheidet die Lagerung, in der sich die Fraktur am besten reponieren lässt.⁸⁶ Eine kombinierte, dorso-ventrale Vorgehensweise ist häufig unumgänglich, erzielt aber auch durch die zirkumferente Stabilisierung die besten Ergebnisse.¹¹³

Laminektomie

In einigen Arbeiten wurde bei Frakturen zusätzlich ein epidurales Hämatom beschrieben.^{132,133} Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass dieses Hämatom eine Rückenmarkskompression bedingen kann. Bei begleitendem neurologischen Defizit wurden deswegen eine chirurgische Dekompression mithilfe der dorsalen Laminektomie durchgeführt,¹¹⁸ jedoch mit nur geringen Erfolgsergebnissen.¹³³ Zusätzlich führt eine dorsale Laminektomie zur Zunahme der Frakturinstabilität und muss eine dorsale operative Stabilisierung nach sich ziehen.¹¹⁷ Einige Autoren legen nahe, dass die Dekompression des Rückenmarks viel eher durch die zeitnahe Reposition der verschobenen Elemente und nicht durch die Laminektomie erreicht wird.^{130,131}

2.3 Zielsetzung

Spondylitis ankylosans ist eine seltene Erkrankung. Wirbelkörperfrakturen bei dieser Population sind Verletzungen, die klinisch tätigen Ärzten nur relativ selten begegnen. Detaillierte Informationen zur Epidemiologie, Verletzungsdetails mit möglicher Therapieableitung und Outcome sind für diese Patientengruppe eine Rarität.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Erfahrungen mit Wirbelkörperfrakturen bei Spondylitis ankylosans an der Universität zu Köln, in einem Zeitraum von zehn Jahren, zu untersuchen, zu präsentieren und zu vergleichen, inwieweit sie denen anderer Arbeiten entsprechen. Mit den demonstrierten Daten soll eine neu konstruierte, praktikable Fraktуреinteilung in zwei Cluster-Gruppen vorgestellt werden. Darüber hinaus soll gezeigt werden, wie diese neuerdachte Clustereinteilung einer differenzierteren Betrachtung dieses seltenen Patientenkollektivs dienlich sein kann und ob eine Anwendung dieser Einteilung für künftige Arbeiten auf diesem Gebiet sinnvoll ist.

Insgesamt soll diese Arbeit, medizinischem Personal ein besseres Verständnis dieser Verletzungen und derer Therapie vermitteln. Dadurch soll eine höhere Aufmerksamkeit auf die Besonderheiten des perioperativen Managements gelegt werden, um die Morbidität und Mortalität dieser Patienten weiter zu senken.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Auswahl des Patientenkollektivs

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine monozentrische, retrospektive Kohortenstudie. Untersucht wurden sämtliche am Universitätsklinikum Köln im Zeitraum vom 01.01.2006 bis zum 31.12.2016 per langstreckiger Spondylodese versorgten Wirbelkörperfrakturen an Hals-, Brust- und/oder Lendenwirbelsäule bei Patienten mit diagnostizierter Spondylitis ankylosans.

Hierfür wurden alle Akten von Patienten, die im o.g. Zeitraum eine operative, langstreckige Spondylodese am Universitätsklinikum Köln erhalten hatten, hinsichtlich des Vorliegens einer Spondylitis ankylosans analysiert. Anhand der Fallnummern wurde eine Recherche im ORBIS Krankenhausinformationssystem der Firma AGFA HealthCare® durchgeführt. Jeder Fall, bei dem eine langstreckige dorsale Spondylodese durchgeführt worden war (OPs 5-836.32, 5-836.33, 5-836.42, 5-836.43, 5-836.52 oder 5-836.53), wurde einzeln gesichtet. Fand sich ein Hinweis auf die Grunderkrankung, wurden die Patienten in einer Liste erfasst. Diese Fälle wurden detailliert hinsichtlich des Vorliegens einer Fraktur geprüft. Alle Patienten, bei denen eine operative langstreckige Spondylodese entsprechend der oben genannten OPs-Codes nicht aufgrund einer Fraktur bei gleichzeitigem Vorliegen einer Spondylitis ankylosans durchgeführt wurde, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

3.2 Retrospektive Datenerhebung aus den Patientenakten

Bei allen eingeschlossenen Fällen wurden anhand der digitalen Patientenakten retrospektiv weitere Variablen tabellarisch erfasst. Soweit vorhanden, wurden dazu folgende Dokumente gesichtet und geprüft:

Protokoll Notaufnahme, OP-Bericht, OP-Dokumentation, Anästhesieprotokoll, Konsile, intensivmedizinische Dokumentation, Pflegedokumentation, Verlaufsdokumentation, Verlegungsbrief bzw. Entlassbrief.

3.3 Erfassung der Auswertungsvariablen

Es erfolgte eine Einteilung in drei Datengruppen. Für jede Datengruppe erfolgte die Erfassung weiterer Variablen. Dazu wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel® 2017 der Firma Microsoft genutzt.

1. Epidemiologische Daten:

Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Vorerkrankungen (Prävalenz), Mobilität vor Fraktur, metabolisches Äquivalent des Patienten, ASA-Klassifikation

2. Unfallbezogene Daten:

Unfallmechanismus, Begleitverletzungen, Frakturmerkmale (Anzahl der Frakturen, Höhe der Fraktur(en), Frakturklassifikation), neurologischer Status, Dauer bis zur Diagnosestellung, initiale Bildgebung bei einfachem Sturzgeschehen

3. Versorgungsbezogene Daten:

OP-Technik (dorsal oder dorso-ventral), OP-Dauer, Anzahl der fusionierten Segmente, intraoperativer Blutverlust, intraoperative Transfusionen (ja oder nein) und Transfusionsmenge, Komplikationen (ja oder nein, Art der Komplikationen), Intensivaufenthalt (ja oder nein, Anzahl der Tage), Krankenhausverweildauer (Anzahl der Tage)

Darüber hinaus wurden die Meldeämter kontaktiert, bei denen die jeweiligen Patienten zum Zeitpunkt der Entlassung gemeldet waren. Es wurde um Auskunft darüber gebeten, ob die jeweiligen Patienten noch lebten und falls nicht, wann sie verstorben waren.

Die erfassten Daten wurden an einem geschützten Computer am Universitätsklinikum Köln aufgenommen und dort anonymisiert. Dazu wurden in einem digitalen Dokument alle personenbezogenen Daten (Name, Geburtsdatum, Fallnummer) einer studieneigenen Fallnummer zugewiesen. Um den Datenschutz der Patienten zu gewährleisten, verblieb dieses Dokument dauerhaft im geschützten Netzwerk des Universitätsklinikums Köln. Die personenbezogenen Daten (Name, Geburtsdatum, Fallnummer) wurden zeitgleich aus der Tabelle der erfassten Daten entfernt. Somit erfolgte die weitere Zuordnung und Auswertung der Daten nur noch anhand der studieneigenen Fallnummern. Erst danach wurden die anonymisierten Daten zur weiteren Bearbeitung aus dem Netzwerk des Universitätsklinikums exportiert.

3.4 Auswertung der erhobenen Variablen

Alle Variablen wurden retrospektiv nach deskriptiven Gesichtspunkten anhand der unter 2.2. aufgelisteten Dokumente aus der digitalen Patientenakte analysiert. Dazu wurden die Daten zunächst in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel der Firma Microsoft und später in die Statistiksoftware SPSS Statistics Version 26 der Firma IBM eingepflegt und ausgewertet. Fokus dieser retrospektiven Arbeit ist die Häufigkeitsverteilung bestimmter Variablen sowie die Mittelwertanalyse und die Bestimmung der Standardabweichungen.

Alle versorgungsbezogenen Daten wurden nach dem jeweiligen Cluster differenziert erfasst. Für die versorgungsbezogenen, metrischen Daten wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet. Zunächst wurden die Mittelwertunterschiede zwischen den Clustern verglichen. Im Anschluss wurden innerhalb der Cluster die Mittelwertunterschiede zwischen den gewählten OP-Verfahren verglichen. Hierfür wurde beide Male ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ gewählt. Die Häufigkeitsverteilung der dichotomen Daten wurde mithilfe von Kreuztabellen ermittelt.

Die Daten der Meldeämter wurden dazu genutzt, die Zeitspanne zwischen dem durch die Fraktur bedingten ersten operativen Eingriff und dem Tod zu bestimmen. Mit diesen gewonnenen Daten und der Statistiksoftware SPSS Statistics Version 26 der Firma IBM wurden Kaplan-Meier-Schätzer erstellt und eine Überlebenszeitanalyse durchgeführt. Des Weiteren wurde die Überlebenszeitverteilung der verschiedenen Cluster mithilfe des Log Rank Tests auf Gleichheit untersucht.

3.5 Cluster

Je nach Frakturlokalisierung unterscheiden sich der operative Ansatz und der Aufwand deutlich. Damit verbunden ändert sich auch das perioperative Management eines Patienten und in Folge dessen die erfassten versorgungsbezogenen Daten. Um eine homogenere Darstellung der versorgungsbezogenen Daten zu ermöglichen, wurden die Frakturen in Cluster aufgeteilt.

3.5.1 Clusterdefinition

Anhand der Frakturhöhe und -verteilung aller Frakturen fand eine Einteilung in ein zervikothorakales (ZT) Cluster und ein thorakolumbales (TL) Cluster statt. Das ZT-Cluster schließt Verletzungen von HWK 3 bis einschließlich BWK 2 ein. Verletzungen zwischen BWK 3 und LWK 5 wurden dem TL-Cluster zugeordnet. Eine Verbirdlichung der genannten Clusterdefinitionen zeigt Abb. 3-1 Cluster¹³⁴.

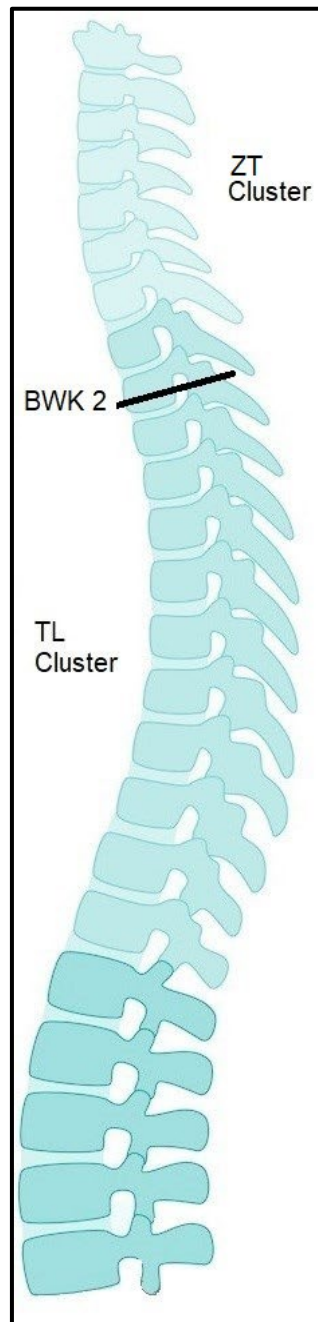


Abb. 3-1 Cluster¹³⁴

4 ERGEBNISSE

4.1 Patientenkollektiv

Von 60 Fällen, in denen sowohl eine langstreckige Spondylodese als auch eine Spondylitis ankylosans vorlagen handelte es sich in vier Fällen um eine Aufrichtungsspondylodese. In vier weiteren Fällen wurde die Spondylodese aufgrund einer Anschlussinstabilität nach Spondylodese durchgeführt. Diese acht Fälle wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Insgesamt fanden sich 52 Fälle, die die Einschlusskriterien gemäß Kapitel 3.1 erfüllt haben.

Auswahl des Patientenkollektivs

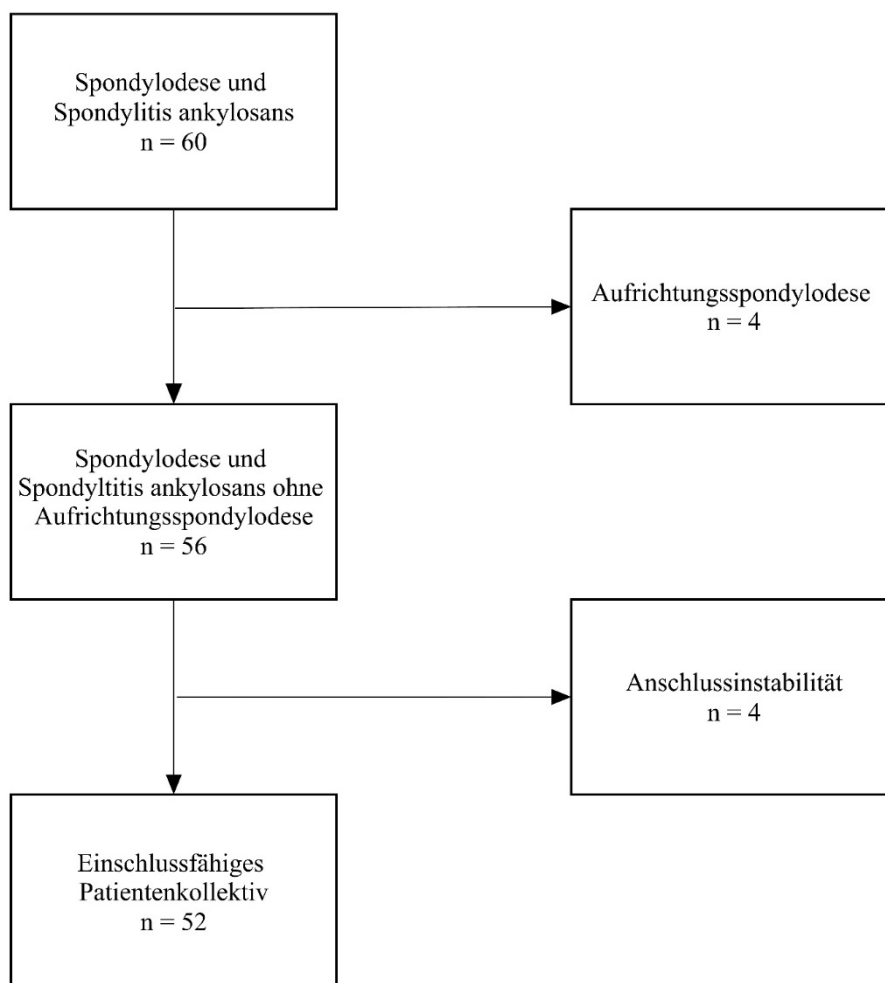


Abb. 4-1 Auswahl des Patientenkollektivs

4.2 Epidemiologische Daten

4.2.1 Übersicht epidemiologische Daten

Es wurden folgende Daten erfasst und analysiert:

Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Vorerkrankungen, Mobilität vor Fraktur, metabolisches Äquivalent des Patienten, ASA-Klassifikation

Tabelle 4-1 zeigt eine Übersicht aller erfassten epidemiologischen Variablen.

Tabelle 4-1 Übersicht epidemiologische Daten

Variable	Fallzahl	Ausprägung
Geschlechterverteilung (%)	52	
▪ Männer		47 (90)
▪ Frauen		5 (10)
Alter in Jahren (SD)	52	72 (13,7)
Körpergröße in Metern (SD)	49	1,71 (0,09)
BMI in kg/m ² (SD)	49	27,58 (4,27)
Mobilität vor Unfall (%)	51	
▪ gehmobil		43 (84)
▪ mit Hilfe gehfähig		4 (8)
▪ Rollstuhl		2 (4)
▪ bettlägerig		2 (4)
Vorerkrankungen* (%)	52	
▪ keine		10 (19)
▪ eine		15 (29)
▪ zwei		9 (17)
▪ drei		12 (23)
▪ ≥ vier		6 (12)
Prävalenz Vorerkrankungen* (%)	52	
▪ KHK		17 (33)
▪ Arterielle Hypertonie		35 (67)
▪ Vorhofflimmern		10 (19)
▪ Herzinsuffizienz		7 (14)
▪ Diabetes mellitus Typ II		14 (27)
▪ Malignom		9 (17)
▪ Niereninsuffizienz		1 (2)
▪ COPD		1 (2)
MET (%)	51	
▪ >10		1 (2)
▪ 5-10		22 (43)
▪ 1-4		21 (41)
▪ <1		7(14)
ASA-Klassifikation (%)	51	
▪ I		2 (4)
▪ II		11 (21)
▪ III		28 (55)
▪ IV		10 (20)

Anmerkung. Bei metrischen Variablen handelt es sich um Mittelwerte, bei nominalen Variablen um die Häufigkeitsverteilung.*neben Spondylitis ankylosans. SD = Standardabweichung; MET = Metabolisches Äquivalent; ASA = American Society of Anaesthesiologists; KHK = Koronare Herzkrankheit COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung.

4.2.2 Geschlechterverteilung

Das in der Arbeit untersuchte Kollektiv von Patienten mit Spondylitis ankylosans und Wirbelkörperfrakturen (n = 52) besteht aus 47 Männern (90 %) und fünf Frauen (10 %).

4.2.3 Altersverteilung

Das Gesamtkollektiv ist im Durchschnitt $72 \pm 13,68$ und im Median 75 Jahre alt. Die Männer hatten zum Zeitpunkt der Wirbelfraktur ein Durchschnittsalter von $71 \pm 13,8$ Jahren und die Frauen von $81,8 \pm 8,6$ Jahren. Der jüngste Mann war 43 Jahre und der älteste Mann 97 Jahre alt. Die jüngste Frau war 71 Jahre und die älteste Frau 92 Jahre alt.

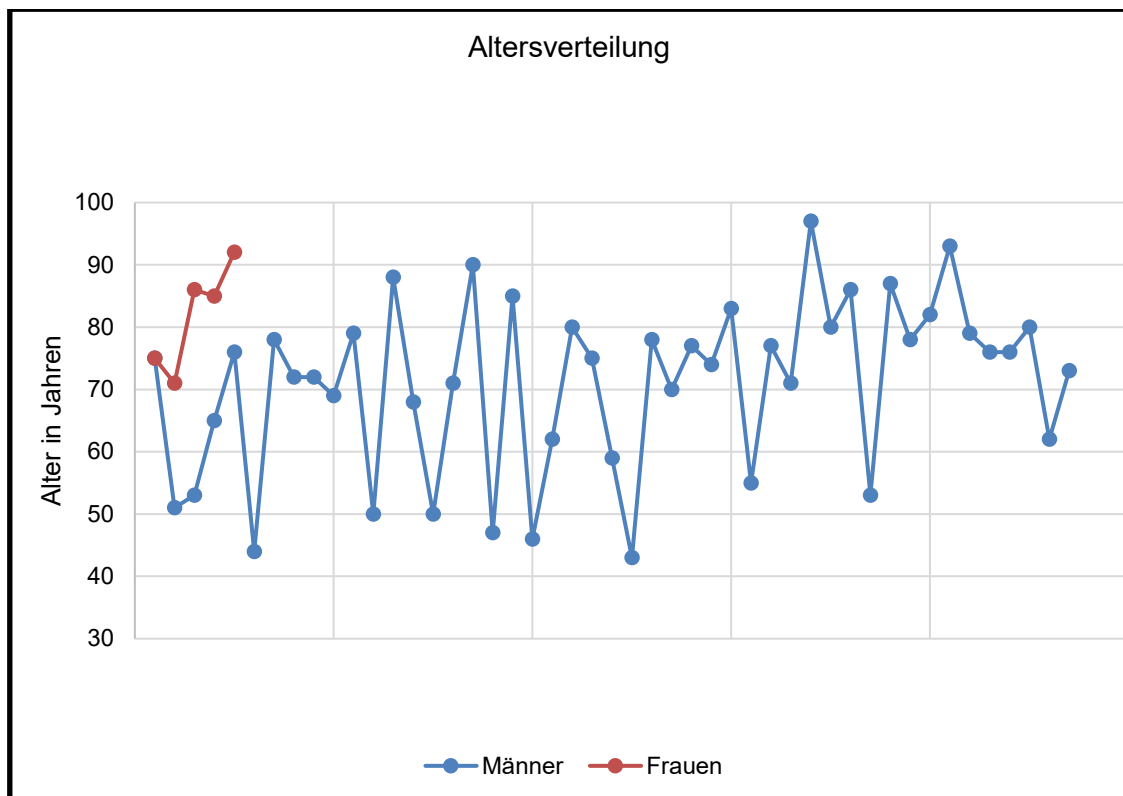


Abb. 4-2 Altersverteilung Gesamtkollektiv (n = 52)

4.2.4 Körpergröße und Body-Mass-Index

Körpergröße

Im Gesamtkollektiv betrug die Durchschnittskörpergröße $1,71 \pm 0,09$ m. Die Männer hatten eine durchschnittliche Körpergröße von $1,72 \pm 0,08$ m und die Frauen von $1,62 \pm 0,08$ m. Der kleinste Mann war 1,56 m und der größte Mann 1,88 m groß. Bei den Frauen war die kleinste Patientin 1,50 m und die Größte 1,70 m groß. Bei drei Männern war aus den vorliegenden Akten keine Körpergröße zu ermitteln.

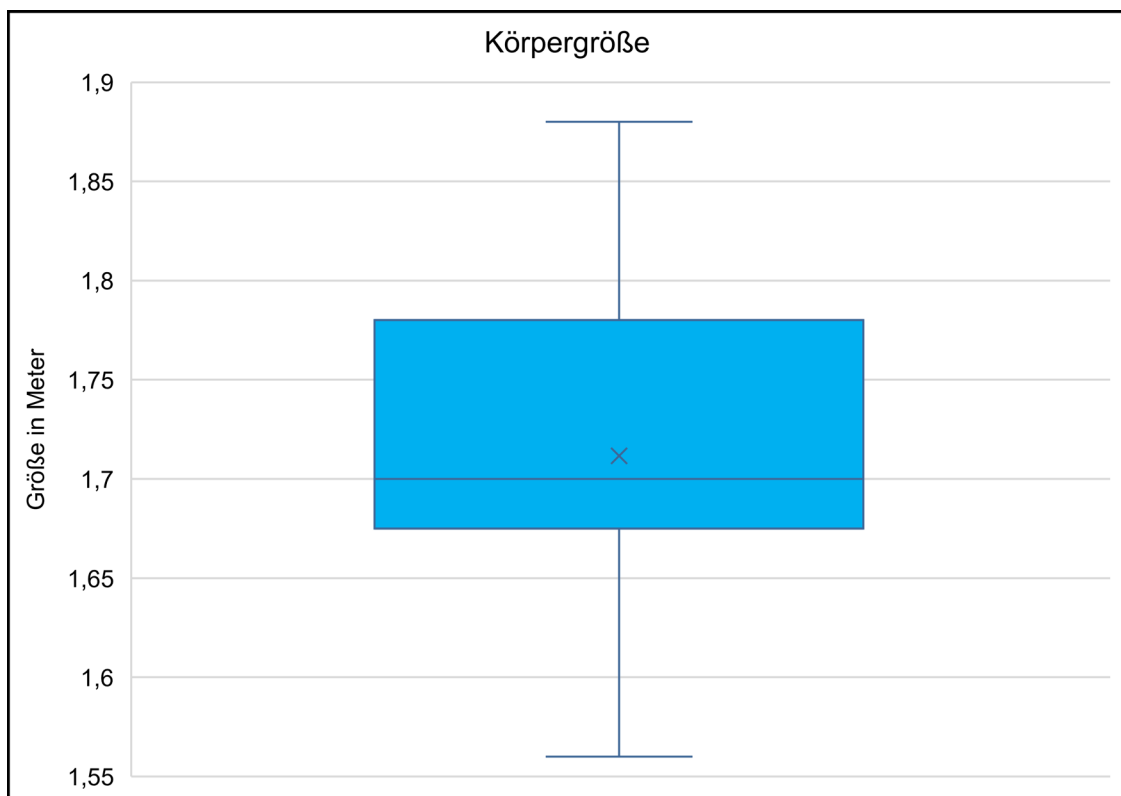


Abb. 4-3 Körpergröße Gesamtkollektiv (n = 49)

Body-Mass-Index

Im Gesamtkollektiv betrug der Durchschnitts-BMI $27,58 \pm 4,27 \text{ kg/m}^2$. Die betroffenen Männer hatten einen durchschnittlichen BMI von $27,54 \pm 4,27 \text{ kg/m}^2$ und die Frauen von $27,86 \pm 4,78 \text{ kg/m}^2$. Der niedrigste BMI bei den Männern betrug $19,92 \text{ kg/m}^2$ und der Höchste $38,81 \text{ kg/m}^2$. Bei den Frauen war der niedrigste BMI $23,44 \text{ kg/m}^2$ und der Höchste $35,43 \text{ kg/m}^2$. Bei drei Männern war aus den vorliegenden Akten keine Körpergröße zu ermitteln, weswegen eine Bestimmung des BMI nicht möglich war.

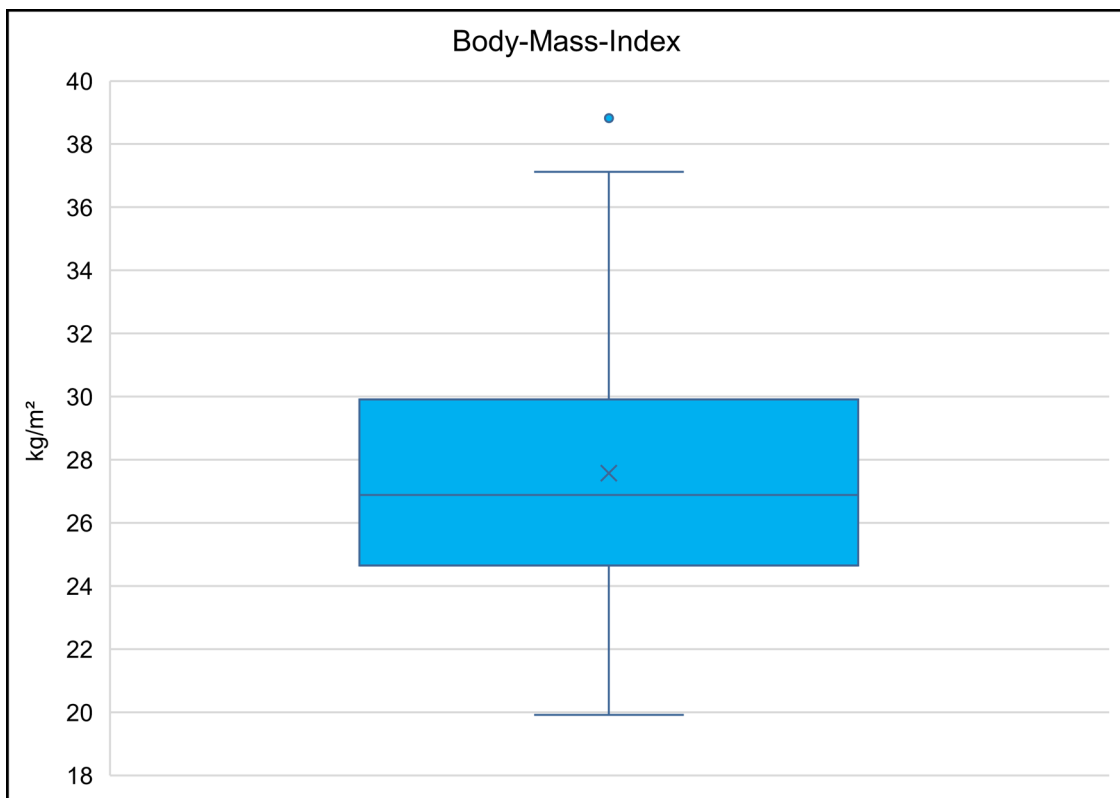


Abb. 4-4 BMI Gesamtkollektiv (n = 49)

4.2.5 Mobilität vor Unfall

Die Mobilität der Patienten wurde in vier Gruppen erfasst. 43/51 (84 %) waren vor dem Unfall noch frei gehfähig. 4/51 (8 %) konnten sich mit einem Hilfsmittel (Rollator, Gehstock) frei bewegen. 2/51 (4 %) konnten nur im Rollstuhl sitzend ihren Alltag bewältigen und 2/51 (4 %) waren bettlägerig. In einem Fall war keine Angabe zur Mobilität vor dem Unfall zu finden.

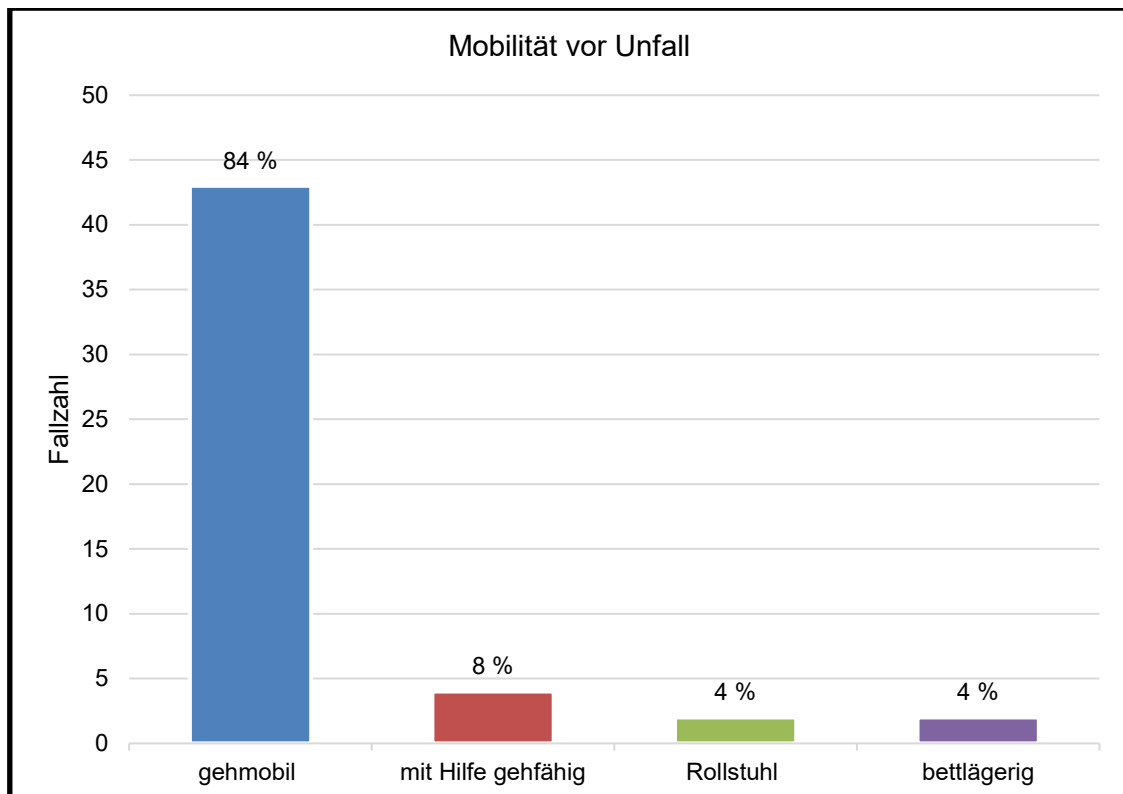


Abb. 4-5 Mobilität vor Unfall (n = 51)

4.2.6 Vorerkrankungen

Vorerkrankungen neben Spondylitis ankylosans

Folgende Vorerkrankungen der Patienten wurden erfasst: Koronare Herzkrankheit, arterielle Hypertonie, Vorhofflimmern, Herzinsuffizienz, Diabetes mellitus Typ II, Malignomleiden, Niereninsuffizienz und COPD.

10/52 (19 %) Patienten hatten keine, 15/52 (29 %) Patienten hatten eine, 9/52 (17 %) hatten zwei und 12/52 (23 %) hatten drei der o.g. Diagnosen. Vier oder mehr dieser Erkrankungen hatten 6/52 (12 %) der Patienten im Gesamtkollektiv.

Im Durchschnitt hatten die Patienten drei (Mittelwert: 3,1) der o.g. Vorerkrankungen.

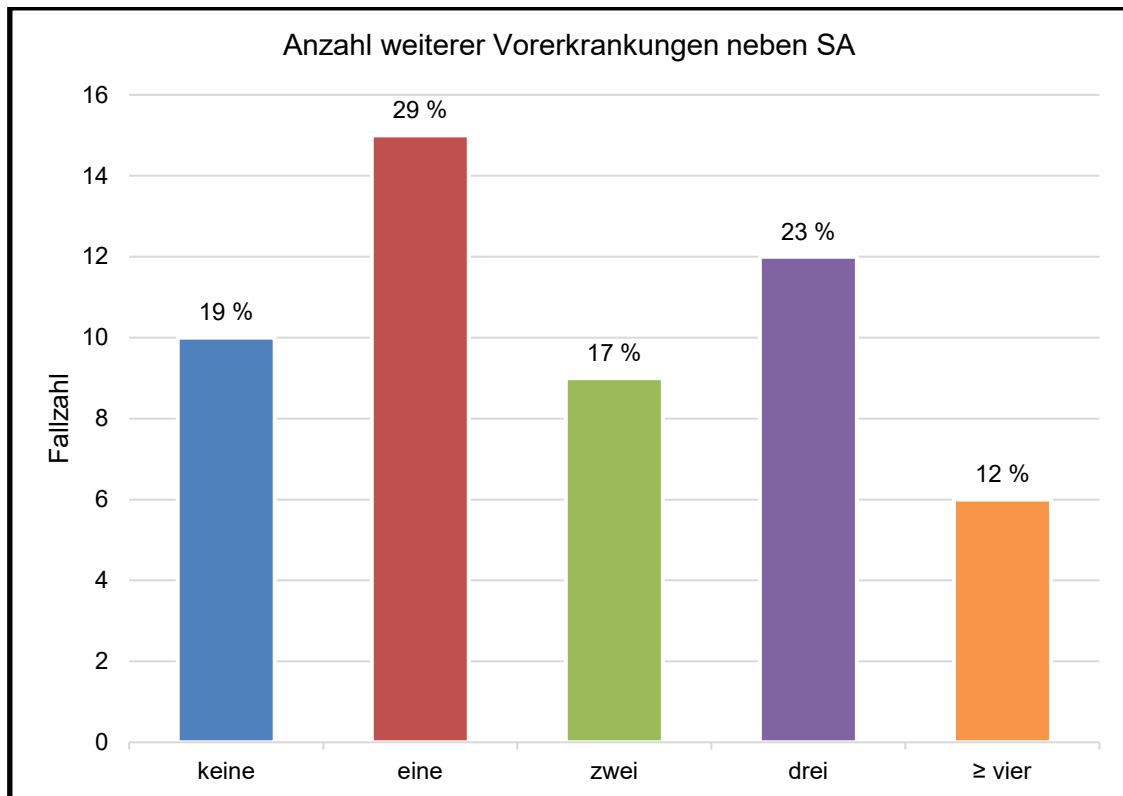


Abb. 4-6 Anzahl Vorerkrankungen (n = 52)

Prävalenz Vorerkrankungen neben Spondylitis ankylosans

Die Häufigkeit der o.g. Erkrankungen wurde im Gesamtkollektiv untersucht.

17/52 (33 %) Patienten hatten eine KHK. Die häufigste Vorerkrankung war die arterielle Hypertonie, welche bei 35/52 (67 %) Patienten zu finden war. Ein diagnostiziertes Vorhofflimmern fand sich in 10/52 (19 %) Fällen. 7/52 (14 %) Patienten litten unter einer Herzinsuffizienz. Ein Diabetes mellitus Typ II war bei 14/52 (27 %) diagnostiziert worden und 9/52 (17 %) hatten ein aktives Malignomleiden oder eines in der Vorgeschichte. 1/52 (2 %) Patient war niereninsuffizient und 1/52 (2 %) Patient litt an einer COPD.

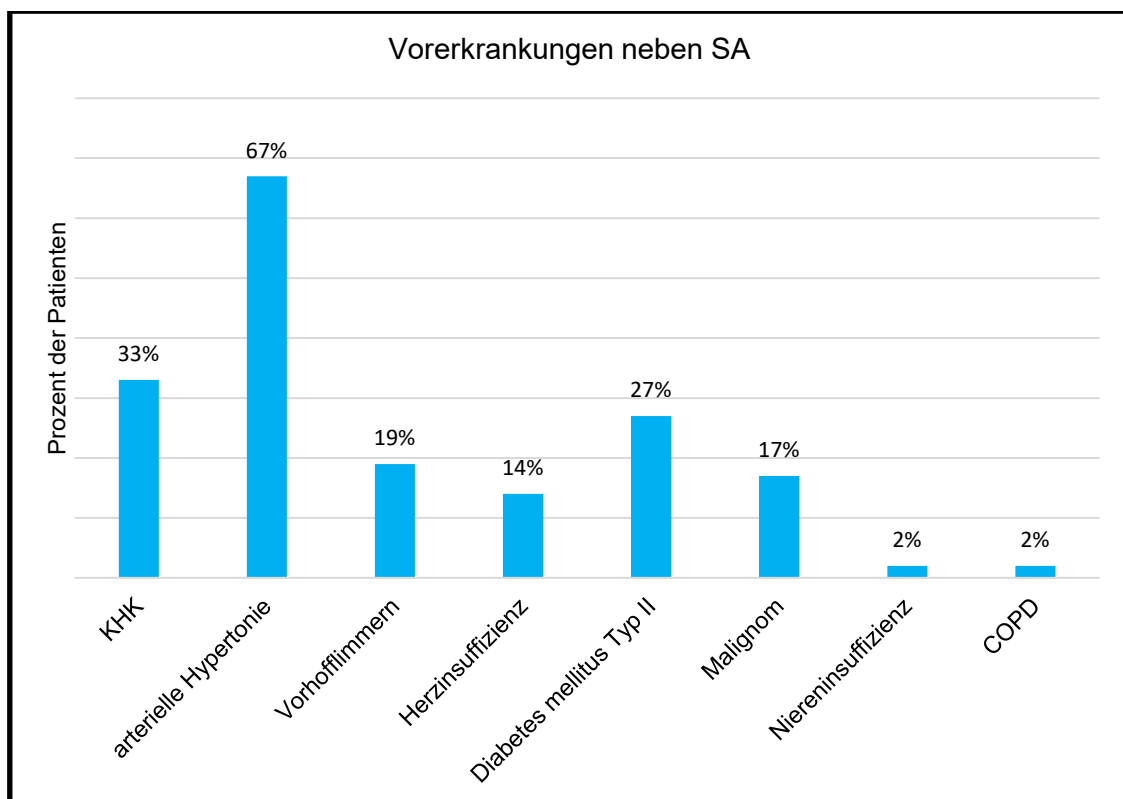


Abb. 4-7 Prävalenz Vorerkrankungen (n = 52)

4.2.7 Metabolisches Äquivalent

Bei 7/51 (14 %) wurde ein MET von < 1 angegeben. 21/51 (41 %) wurden mit einem MET von 1 bis 4 klassifiziert. 22/51 (43 %) bekamen ein MET 5 bis 10 zugewiesen. In einem Fall 1/51 (2 %) wurde ein MET von > 10 angegeben. In einer Akte fand sich keine Angabe zum metabolischen Äquivalent.

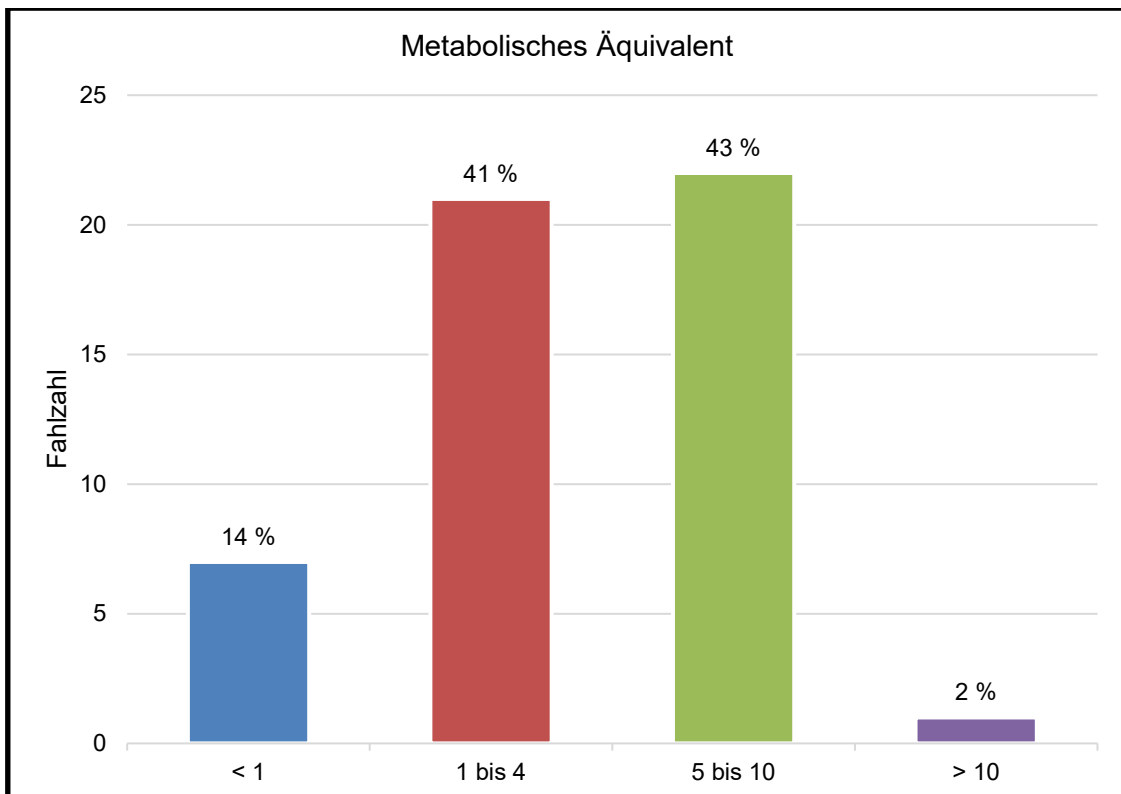


Abb. 4-8 Metabolisches Äquivalent (n = 51)

4.2.8 ASA-Klassifikation

Die Kategorie ASA I wurde bei 2/52 (4 %) vergeben. In 11/51 (21 %) Fällen wurde die Kategorie ASA II vergeben. Der Großteil des Gesamtkollektivs, bestehend aus 28/52 (55 %) Patienten, wurde in die Kategorie ASA III eingeteilt. 10/52 (20 %) Patienten wurden mit ASA IV klassifiziert. In einem Fall fand sich in den Unterlagen keine ASA-Klassifizierung. Der Durchschnittliche ASA-Wert betrug 2,9 je Patient.

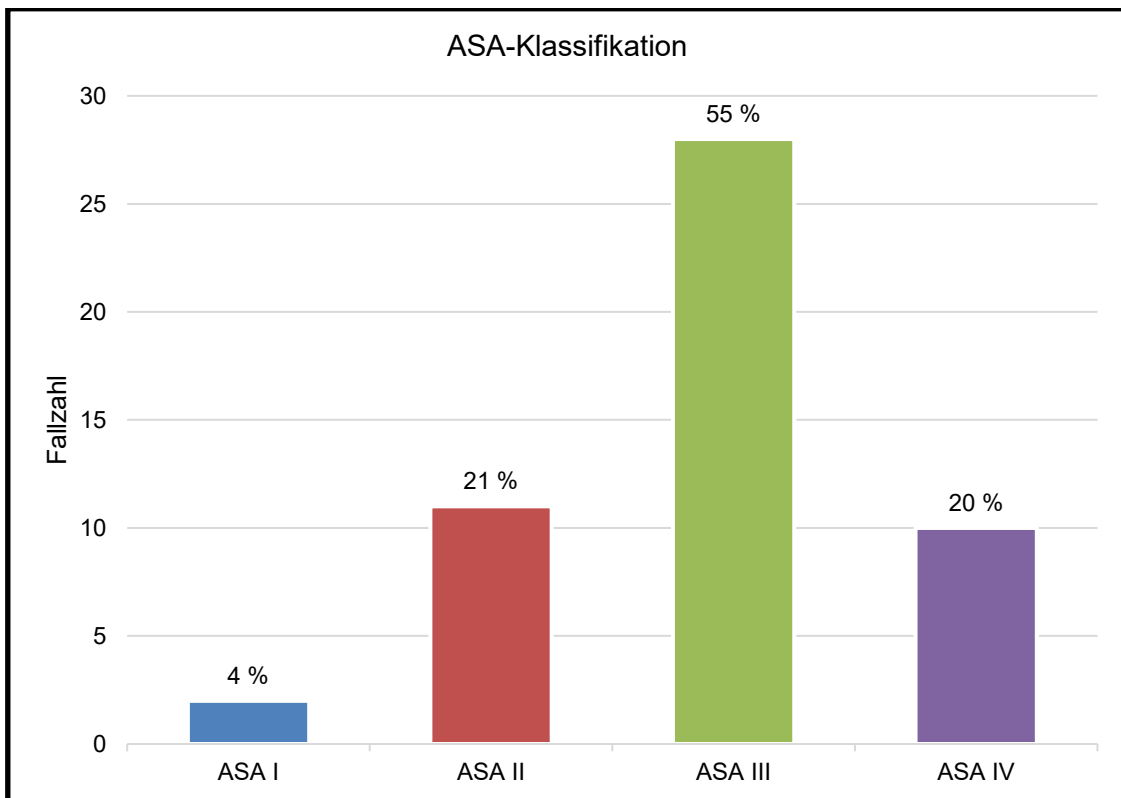


Abb. 4-9 ASA-Klassifikation (n = 51)

4.3 Unfallbezogene Daten

4.3.1 Übersicht unfallbezogene Daten

Es wurden folgende Daten erfasst und analysiert:

Unfallmechanismus, Begleitverletzungen, Anzahl der Frakturen, Höhe der Fraktur(en),
Neurologisches Defizit, Dauer bis zur Diagnosestellung

Eine Übersicht aller erfassten unfallbezogenen Variablen zeigt
Tabelle 4-2 Übersicht unfallbezogene Daten.

Tabelle 4-2 Übersicht unfallbezogene Daten

Variable	Fallzahl	Ausprägung
Unfallmechanismus (%)	51	
▪ kein Trauma erinnerlich		5 (9,8)
▪ einfacher Sturz		33 (64,7)
▪ Treppensturz		4 (7,8)
▪ Polytrauma		6 (11,8)
▪ sonstige		3 (5,9)
Begleitverletzungen (%)	52	
▪ nein		45 (88)
▪ ja		6 (12)
Neurologischer Status* (%)	52	
▪ N0		38 (73)
▪ N2		6 (11)
▪ N3		5 (10)
▪ NX		3 (6)
Diagnosezeitpunkt (%)	52	
▪ sofort**		31 (60)
▪ innerhalb einer Woche		6 (11)
▪ innerhalb eines Monats		9 (17)
▪ > 1 Monat		3 (6)
▪ kein Trauma erinnerlich		3 (6)
Initiale Bildgebung (%)	51	
▪ Röntgen		33 (65)
▪ CT		18 (35)
Frakturanzahl (%)	52	
▪ eine		35 (67)
▪ zwei		16 (31)
▪ vier		1 (2)
Frakturhöhe	71	Siehe Abb. 4-15 Frakturverteilung aller Frakturen (n = 71)
Frakturklassifikation*** (%)	71	
▪ A0		2 (3)
▪ A3		5 (7)
▪ B1		4 (6)
▪ B2		3 (4)
▪ B3		49 (69)
▪ C		8 (11)

Anmerkung. Bei nominalen Variablen handelt es sich um die Häufigkeitsverteilung.*N0 = keine neurologischen Ausfälle, N2 = radikuläres Defizit, N3 = inkomplette Querschnittslähmung, NX = unklarer neurologischer Status; **innerhalb von 24 Stunden; ***nach AOSpine.
CT = Computertomographie.

4.3.2 Unfallmechanismus

Bei 33/51 (64,7 %) und somit den meisten Patienten lag als Unfallmechanismus ein einfacher Sturz vor. In 6/51 Fällen (11,8 %) war der Unfallmechanismus ein hochenergetisches Trauma. Dreimal handelte es sich dabei um Verkehrsunfälle (1x PKW-Fahrer, 1x PKW-Beifahrer, 1x Fahrradfahrer), zweimal um einen Leitersturz und einmal um einen Sturz aus mehr als drei Metern Höhe von einem Trampolin. 4/51 (7,8 %) verletzten sich im Rahmen eines Treppensturzes. Bei weiteren 5/51 (9,8 %) konnten sich die Betroffenen nicht an ein adäquates Trauma erinnern. In 3/51 Fällen (5,9 %) waren sonstige Gründe für die Fraktur verantwortlich. Ein Patient erlitt eine Wirbelkörperfraktur während er im Pflegeheim umgelagert wurde. Eine weitere Fraktur entstand beim Aufstehen, vermutlich aufgrund einer Osteolyse bei Plasmozytom. In einem Fall kam es durch die Atemwegssicherung der Anästhesiologie zu einer Fraktur. Bei Narkoseeinleitung und frustraner Atemwegssicherung kam es zu einer Hypoxie-bedingten Reanimation des Patienten. Die unter diesen Bedingungen forciert durchgeführte Atemwegssicherung wurde als Frakturursache dokumentiert. In einem Fall konnte aus den Unterlagen kein Unfallmechanismus eruiert werden.

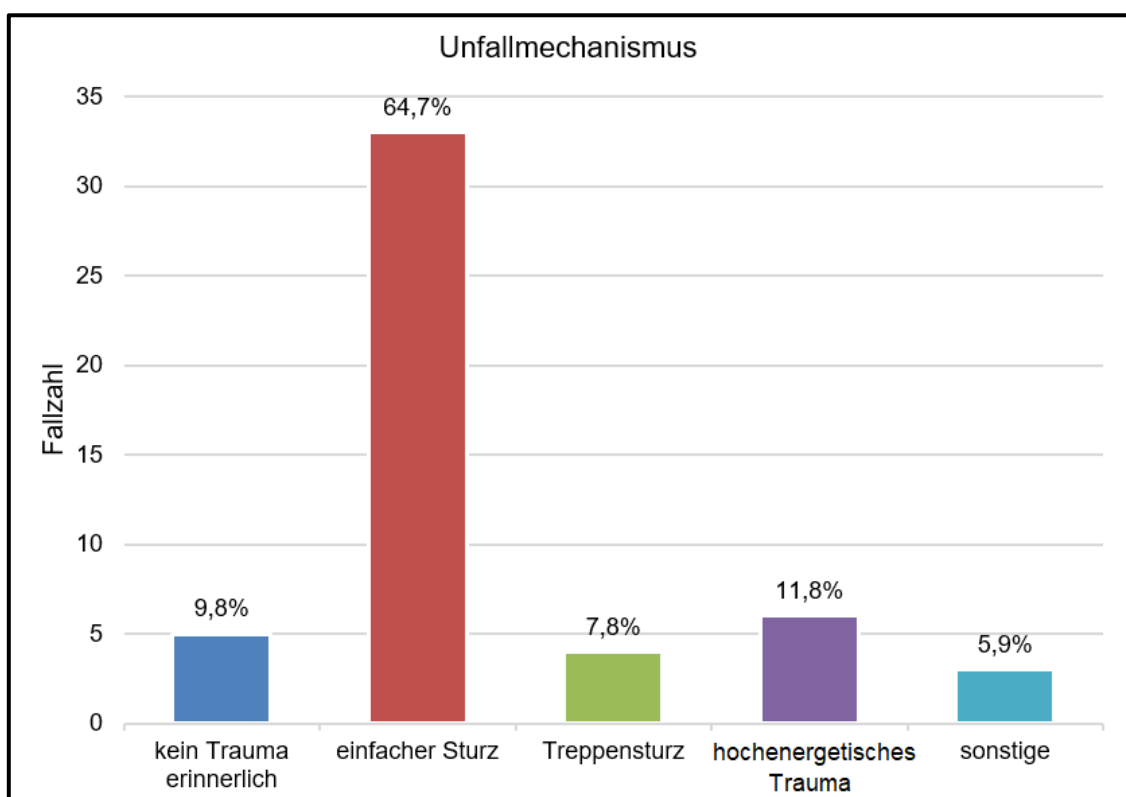


Abb. 4-10 Unfallmechanismus (n = 51)

4.3.3 Begleitverletzungen

Der größte Teil der Patienten hatte neben der Wirbelkörperfraktur keine weiteren Verletzungen. Dies war bei 45/51 Patienten (88 %) der Fall. Bei 6/51 Patienten (12 %) fanden sich Begleitverletzungen. Die Art der Verletzungen sind der Tabelle 4-3 Begleitverletzung zu entnehmen.

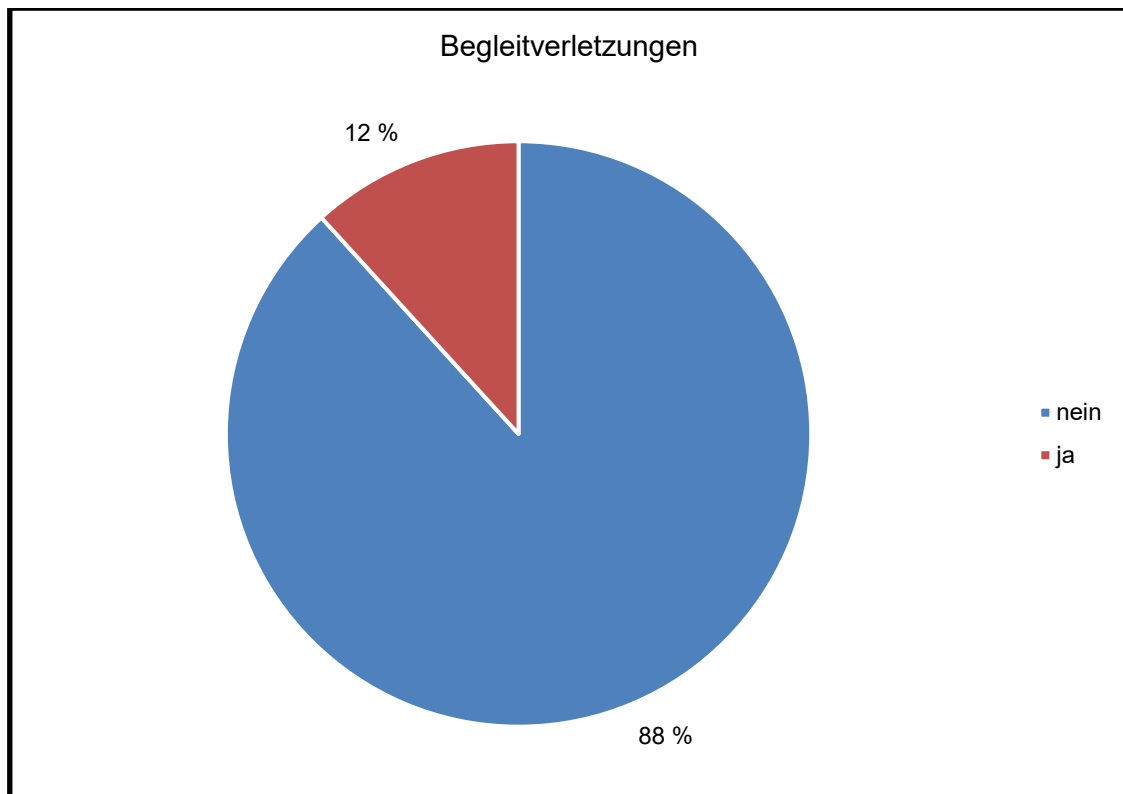


Abb. 4-11 Begleitverletzungen (n = 52)

Tabelle 4-3 Begleitverletzungen

Fallnummer	Unfallmechanismus	Begleitverletzungen
7	Verkehrsunfall (PKW-Fahrer)	Sternum- und Rippenserienfraktur
8	Verkehrsunfall (PKW-Beifahrer)	Femurfraktur, Humerusfraktur
19	Leitersturz	Galeahämatom, Rissquetschwunde Kopf
38	Treppensturz	Claviculafraktur
41	Sturz	Thoraxtrauma mit Hämatothorax
46	Treppensturz	Rissquetschwunde okzipital, singuläre Rippenfraktur, Os triquetrum-Fraktur

4.3.4 Neurologischer Status

Ein Großteil des Gesamtkollektivs hatte bei ärztlicher Konsultation keine neurologischen Ausfälle. Dies traf bei 38/52 Patienten (73 %) zu, welche deswegen in die Kategorie N0 eingeteilt wurden. Bei 6/52 Patienten (11 %) war ein radikuläres Defizit, entsprechend N2 präsent. 5/52 (10 %) zeigten bei Aufnahme eine inkomplette Querschnittsläsion, entsprechend N3. Kein Patient hatte eine komplette Querschnittsläsion nach N4. Bei 3/52 Patienten (6 %) war bei Aufnahme kein sicherer neurologischer Status zu erheben. Zwei dieser Patienten kamen durch den Notarzt intubiert und beatmet in die Notaufnahme und eine weitere Patientin hatte vor dem Sturzereignis bereits eine ausgeprägte Hemiparese. Diese Patienten wurde in NX eingeteilt. Eine Einteilung in N1 (vorübergehendes neurologisches Defizit) wurde nicht vorgenommen. Eine Übersicht über die verschiedenen neurologischen Defizite zeigt Tabelle 4-4 Neurologische Auffälligkeiten.

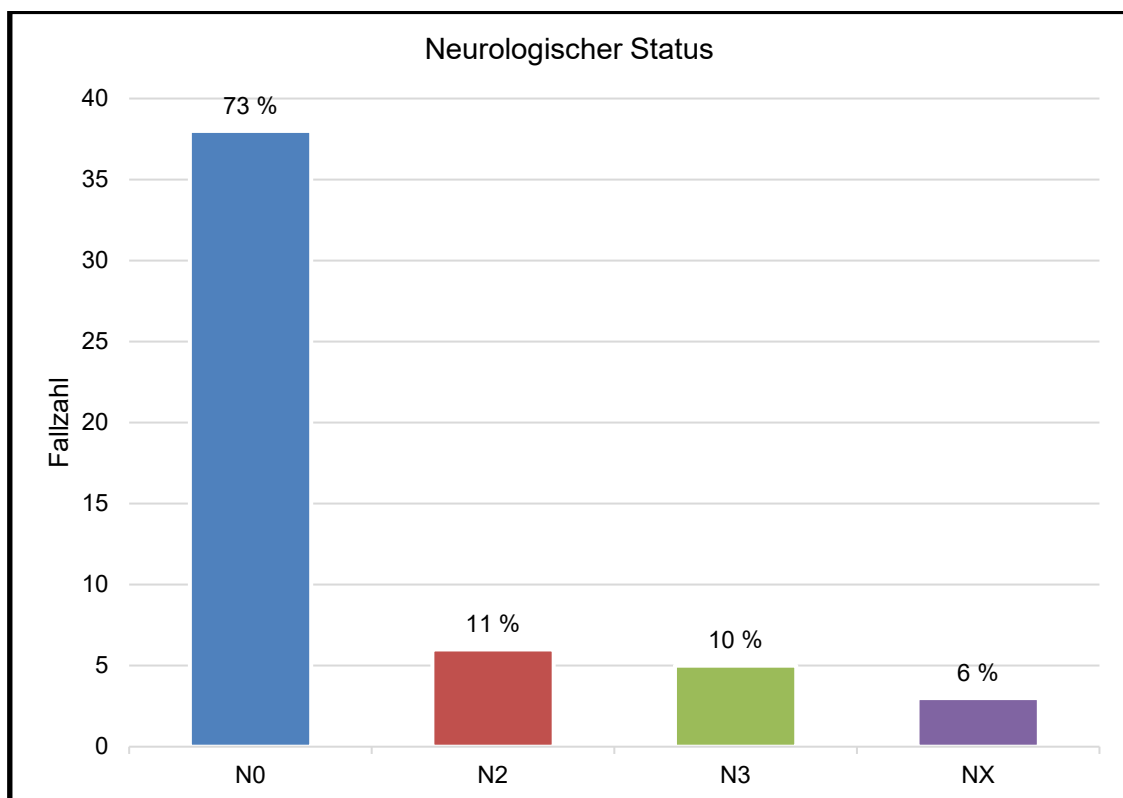


Abb. 4-12 Neurologischer Status (n = 52)

Tabelle 4-4 Neurologische Auffälligkeiten

Fallnr.	Frakturhöhe	Status*	Neurologische Auffälligkeiten
3	HWK 6	N2	Hypästhesie Finger und Füße bds., Pallanästhesie
5	HWK 6	N2	Kurzzeitig Schmerzen mit Ausstrahlung in den linken Arm, BSR links < rechts, RPR links < rechts
6	HWK 7	N2	Schmerzausstrahlung linker Unterarm, Taubheitsgefühl linke Fingerspitzen II-V
16	BWK 7	N3	Sensibler Querschnitt
17	BWK 5	N3	Inkompletter Querschnitt ab Th 6 mit geringer sensibler Restfunktion an der rechten Wade, keine Willkürmotorik, bei Schmerzreiz enthemmte Fluchtreflexe, Babinski bds. positiv, Tonus schlaff, MER bds. nicht erhältlich
20	BWK 10/11	N2	Schmerzen, die in das linke Bein ausstrahlten
27	BWK 7/8	N3	Strumpfförmige Hypästhesie an beiden Beinen, keine motorische Funktion unterhalb der Frakturebene
42	HWK 6	N3	Hypersensibilität der Füße bds.
43	HWK 6	N2	Einseitige, distal betonte Armparese
47	BWK 3/4	N3	Vollständige Paraparese der Beine
48	HWK 3/4	N2	Faustschluss rechtsseitig kraftgemindert, diffuse Kribbelparästhesien der oberen Extremitäten

Anmerkung. Fallnr. = Fallnummer; * = neurologischer Status; HWK = Halswirbelkörper; BWK = Brustwirbelkörper, N2 = radikuläres Defizit; N3 = inkompletter Querschnitt; bds. = beidseits; BSR = Bizepssehnenreflex; RPR = Radiusperiostreflex, Th = thorakale Nervenwurzel des Rückenmarks; MER = Muskeleigenreflex.

4.3.5 Diagnosezeitpunkt

Festgehalten wurde die Zeit zwischen Trauma und Diagnosestellung. Bei einem Großteil der Fälle kam es zu einer sofortigen, taggleichen Diagnose. Dies war bei 31/52 Patienten (60 %) der Fall. 6/12 Patienten (11 %) erhielten innerhalb einer Woche nach Trauma die korrekte Diagnose. Zu einer Diagnosestellung innerhalb eines Monats kam es bei 9/52 Patienten (17 %). Mehr als einen Monat bis zur Diagnosestellung dauerte es bei 3/52 Patienten (6 %). 3/52 Patienten (6 %) war kein adäquates Trauma erinnerlich. Insgesamt gab es bei 18/52 Patienten (34 %) eine Verzögerung der Diagnosestellung. Im Durchschnitt betrug die Verzögerung $23,2 \pm 24$ Tage. Die kürzeste Verzögerung betrug drei Tage und die längste 90 Tage. Ob die Patienten durch auftretende Schmerzen oder neurologische Ausfälle auffällig geworden sind, konnte aus den Akten nicht sicher eruiert werden.

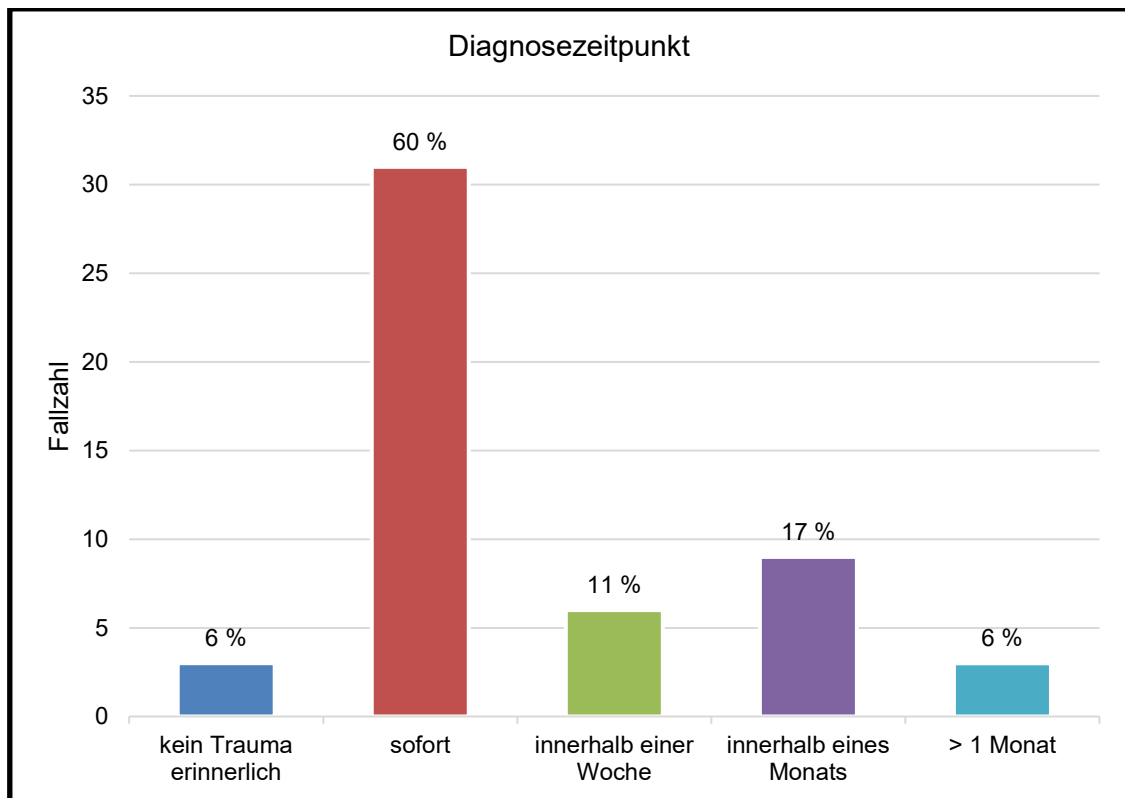


Abb. 4-13 Diagnosezeitpunkt (n = 52)

Initiale Bildgebung

33/51 Patienten (65 %) erhielten initial eine Röntgendiagnostik, 18/51 Patienten (35 %) erhielten direkt eine Computertomographie-(CT)-Diagnostik um den Frakturverdacht zu bestätigen. In sechs Fällen schloss sich der initialen Röntgendiagnostik noch eine CT-Bildgebung an. In einem Fall erfolgte die Bildgebung in einem externen Krankenhaus. Aus den vorliegenden Akten konnte die initiale Bildgebung nicht sicher evaluiert werden.

4.3.6 Frakturmerkmale

Frakturanzahl

Insgesamt wurden 71 Wirbelkörperfrakturen bei 52 Patienten mit Spondylitis ankylosans diagnostiziert. Somit entfielen im Durchschnitt $1,37 \pm 0,6$ Frakturen auf jeden Patienten. 35 Patienten (67 %) hatten eine einzige Fraktur. 16 Patienten (31 %) hatten jeweils zwei Wirbelkörperfrakturen und ein einzelner Patient (2 %) hatte vier Frakturen.

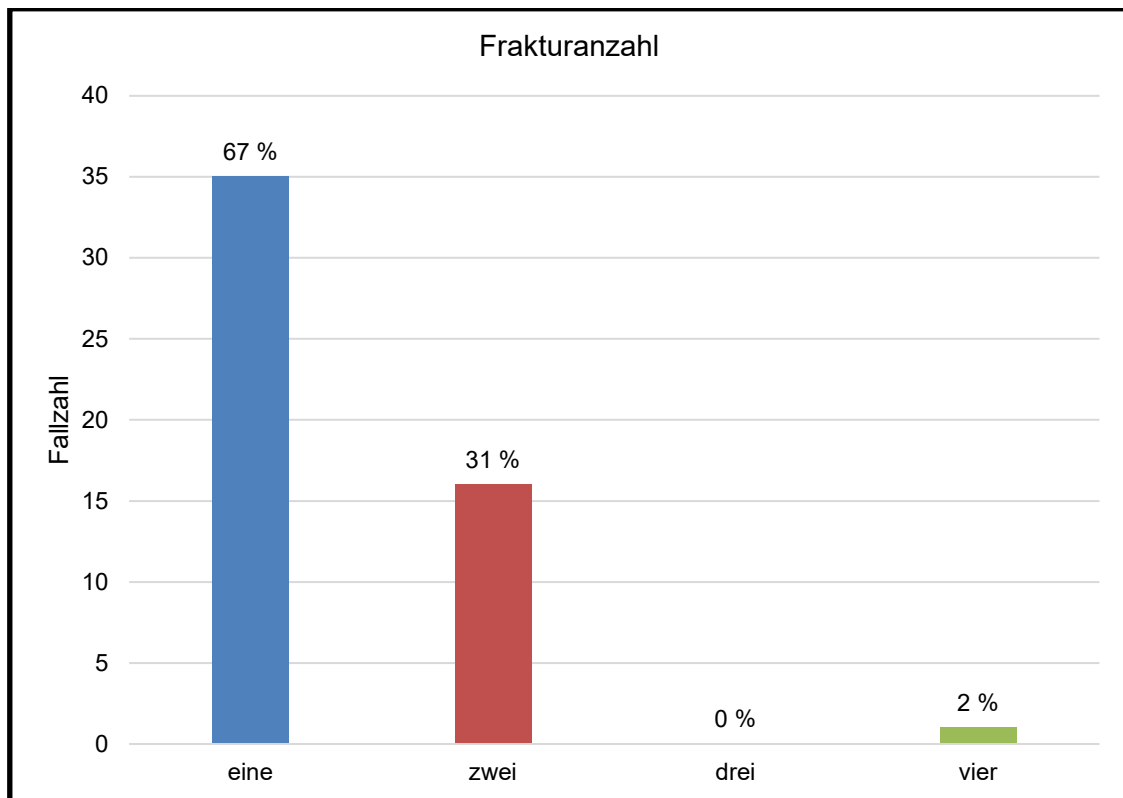


Abb. 4-14 Frakturanzahl Gesamtkollektiv (n = 52)

Mehrfachfrakturen

In 17 Fällen (33 %) kam es unfallbedingt zu Mehrfachfrakturen. In Tabelle 4-5 Frakturverteilung bei Mehrfachfrakturen sind diese Frakturen mit Frakturhöhe und Unfallmechanismus angegeben. Es fällt auf, dass bei den Zweifachfrakturen fast ausschließlich benachbarte Wirbelkörper betroffen sind. Eine Ausnahme davon ist in Fall 38 zu sehen. Fall 15 zeigt die einzige Vierfachfraktur. Auch hier sind jeweils zwei benachbarte Wirbelkörper betroffen.

Tabelle 4-5 Frakturverteilung bei Mehrfachfrakturen

Fallnummer	Unfallmechanismus	Frakturanzahl	Frakturhöhe
4	einfacher Sturz	2	BWK 7, BWK 8
8	Verkehrsunfall (PKW-Beifahrer)	2	HWK 5, HWK 6
15	Verkehrsunfall (Fahrradfahrer)	4	HWK 6, HWK 7, BWK 8, BWK 9
19	Leitersturz	2	HWK 7, BWK 1
20	einfacher Sturz	2	BWK 10, BWK 11
25	einfacher Sturz	2	HWK 5, HWK 6
26	Treppensturz	2	BWK 3, BWK 4
27	einfacher Sturz	2	BWK 7, BWK 8
28	kein Trauma erinnerlich	2	BWK 11, BWK 12
32	einfacher Sturz	2	HWK 6, HWK 7
37	einfacher Sturz	2	BWK 10, BWK 11
38	Treppensturz	2	HWK 6, BWK 7
46	Treppensturz	2	HWK 5, HWK 6
47	kein Trauma erinnerlich	2	BWK 3, BWK 4
48	einfacher Sturz	2	HWK 3, HWK 4
49	Keine Angabe	2	HWK 5, HWK 6
51	einfacher Sturz	2	BWK 4, BWK 5

Anmerkung. BWK = Brustwirbelkörper; HWK = Halswirbelkörper.

Frakturhöhe und -verteilung

Mit 19/71 Fällen (26,8 %) war HWK 6 am häufigsten frakturiert. Der Wirbelkörper HWK 7 war in 8/71 Fällen (11,3 %) betroffen. 6/71 Frakturen (8,5 %) entfielen auf BWK 11. Jeweils 5/71 Frakturen (7 %) waren auf Höhe HWK 5 und BWK 8 zu finden. Auf die Höhen BWK 7 und BWK 12 entfielen jeweils 4/71 Frakturen (5,6 %). Jeweils 3/71 Frakturen (4,2 %) befanden sich auf den Höhen BWK 4 und BWK 10. Die Wirbelkörper BWK 3, BWK 5, BWK 6, und BWK 9 waren jeweils in 2/71 Fällen (2,8 %) frakturiert. Auf den Höhen HWK 3, HWK 4, BWK 1, LWK 1, LWK 2 und LWK 3 fand sich jeweils nur eine Fraktur (1/71|1,4 %). Nicht betroffen waren die Wirbelkörper HWK 1, HWK 2, BWK 2, LWK 4 und LWK 5.

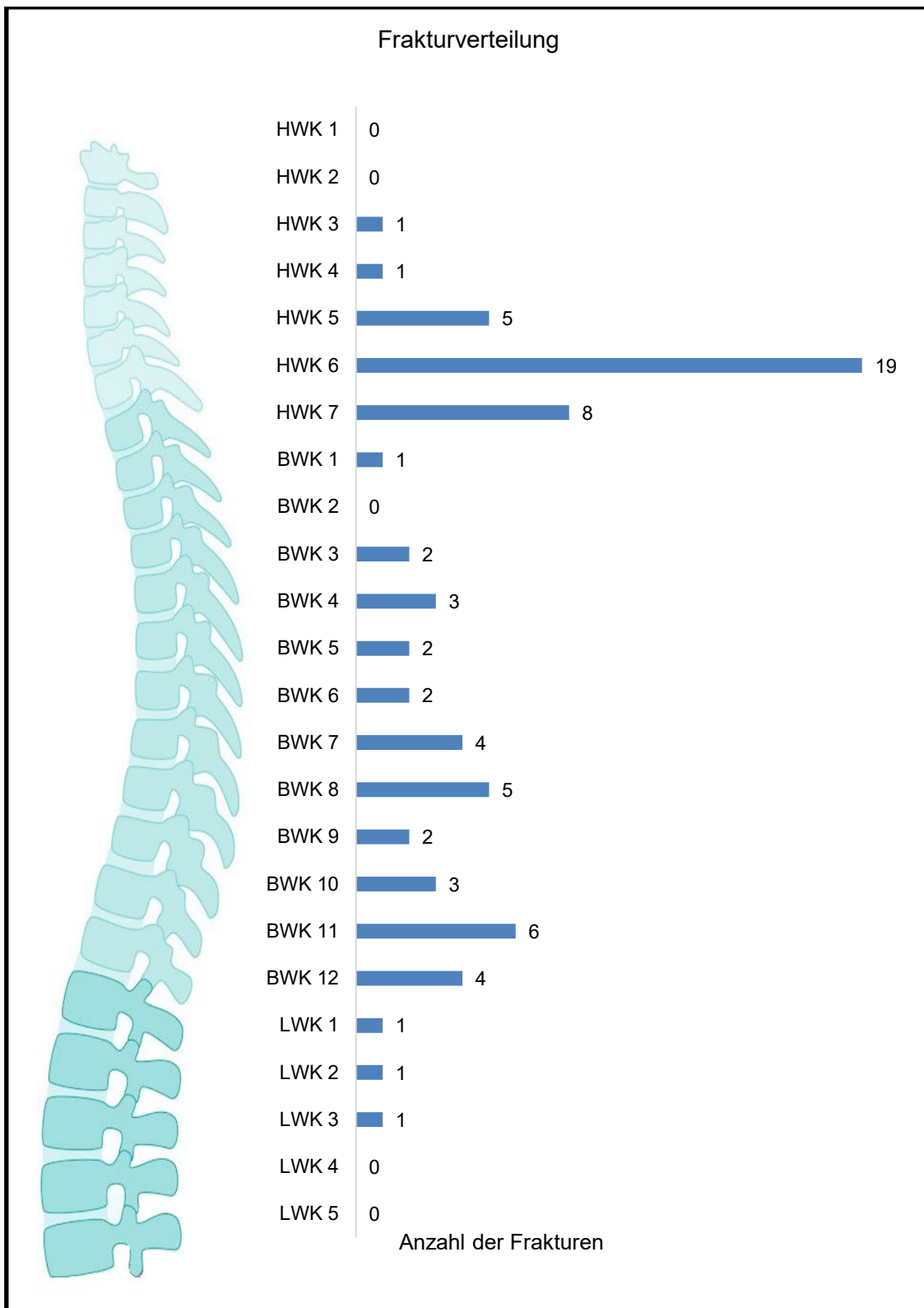


Abb. 4-15 Frakturverteilung aller Frakturen (n = 71)¹³⁴

Frakturklassifikation

49/71 Frakturen (69 %) konnten der Kategorie B3 nach AO Spine zugeordnet werden. Die zweithäufigste Gruppe bildeten C-Frakturen mit 8/71 Frakturen (11 %). Der Kategorie A3 konnten 5/71 (7 %), der Kategorie B1 4/71 (6 %), der Kategorie B2 3/71 (4 %) und der Kategorie A0 konnten 2/71 (3 %) Frakturen zugewiesen werden.

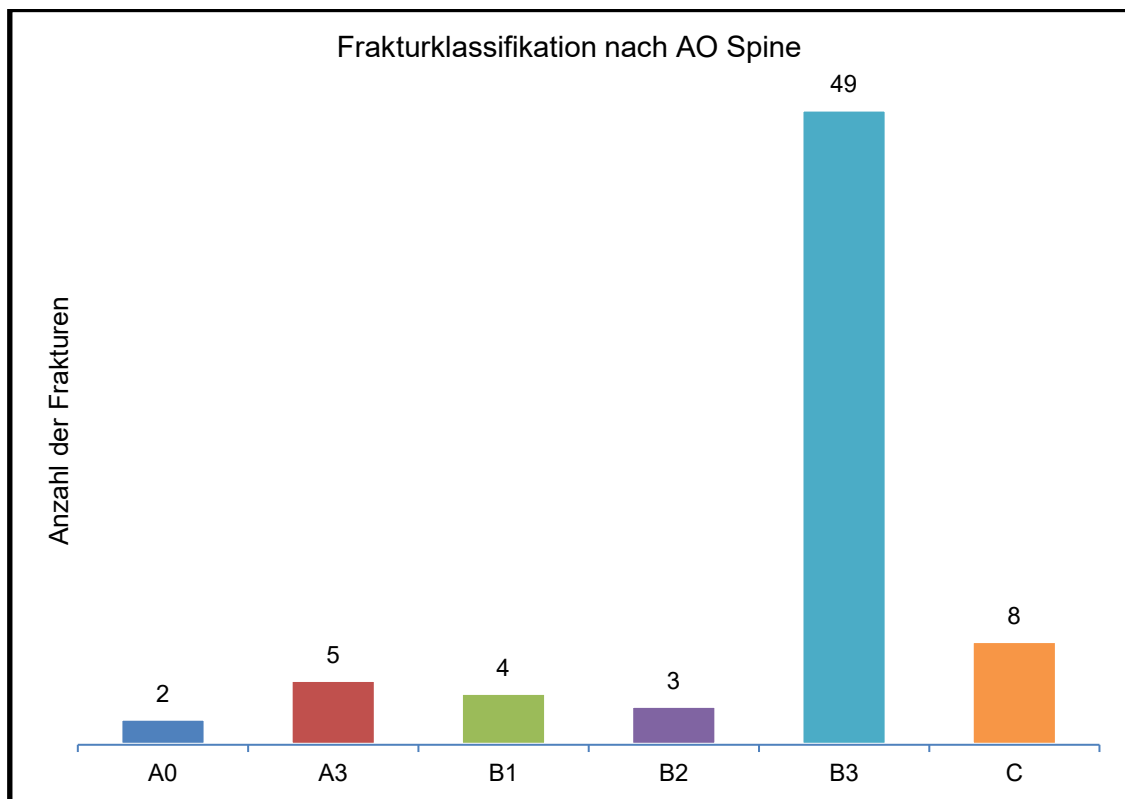


Abb. 4-16 Frakturklassifikation nach AO Spine (n = 71)

4.4 Versorgungsbezogene Daten

4.4.1 Übersicht versorgungsbezogene Daten

Es wurden folgende Variablen erfasst und analysiert:

OP-Technik, OP-Dauer, Anzahl der fusionierten Segmente, intraoperativer Blutverlust, Transfusionen und Transfusionsmenge, Komplikationen, Intensivaufnahme und Intensivaufenthaltsdauer, Krankenhausverweildauer

Eine Übersicht aller erfassten versorgungsbezogenen Variablen ist der Tabelle 4-6 Übersicht versorgungsbezogene Daten zu entnehmen.

Tabelle 4-6 Übersicht versorgungsbezogene Daten

Variable	Fallzahl	Ausprägung
OP-Technik (%)	51	
▪ dorsal		39 (76,5)
▪ dorso-ventral		12 (23,5)
OP-Dauer dorsal in Minuten (SD)	50	192,18 (85,5)
OP-Dauer ventral in Minuten (SD)	12	125,83 (53,04)
Segmente* dorsal (SD)	51	5,69 (1,44)
Segmente* ventral (SD)	13	2,69 (1,18)
Blutverlust dorsal in ml (SD)	41	1025,61 (731,19)
Blutverlust ventral in ml (SD)	11	842,73 (1262,81)
Transfusion gesamt (%)	51	
• nein		39 (76,5)
• ja		12 (23,5)
Transfusion dorsal (%)	50	
▪ nein		38 (76)
▪ ja		12 (24)
Transfusionsmenge dorsal in ml (SD)	12	733,33 (473,54)
Transfusion ventral (%)	13	
▪ nein		10 (76,9)
▪ ja		3 (23,1)
Transfusionsmenge ventral in ml (SD)	3	800 (346,41)
Komplikationen gesamt (%)	50	
▪ nein		33 (66)
▪ ja		17 (34)
Komplikationen dorsal (%)	48	
▪ nein		34 (71)
▪ ja		14 (29)
Komplikationen ventral (%)	13	
▪ nein		8 (61,5)
▪ ja		5 (38,5)
Intensivaufenthalt dorsal in Tagen (SD)	48	2 (4,94)
Intensivaufenthalt ventral in Tagen (SD)	11	2,64 (4,93)
Verweildauer in Tagen (SD)	52	17,75 (12,01)

Anmerkung. Bei metrischen Variablen handelt es sich um Mittelwerte, bei nominalen Variablen um die Häufigkeitsverteilung. SD = Standardabweichung; * = fusionierte Segmente.

4.4.2 Ergebnis der Clustereinteilung

Das Gesamtkollektiv enthielt 52 Patienten. Davon konnten zwei Fälle weder dem zervikothorakalen noch dem thorakolumbalen Cluster eindeutig zugeordnet werden. Grund hierfür waren in beiden Fällen clusterübergreifende Mehrfachfrakturen (Fallnummer 15 und 38). Diese beiden Fälle wurden in der weiteren Auswertung exkludiert. Von den übrigen 50 Fällen mit Cluster-spezifischen Frakturen wurde ein weiterer Fall exkludiert. Grund hierfür war eine ausschließlich ventrale Versorgung der Fraktur (Fallnummer 13).

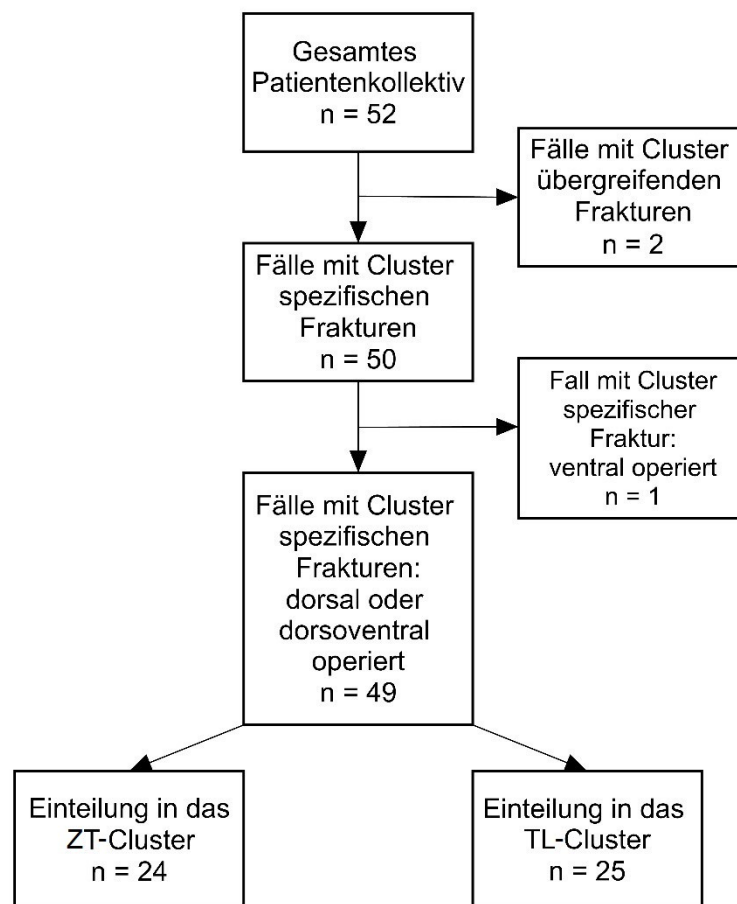


Abb. 4-17 Clustereinteilung

49 der insgesamt 52 Fälle mit Cluster-spezifischen Frakturen wurden operativ dorsal oder kombiniert dorso-ventral versorgt. Diese 49 Fälle wurden in die beiden vordefinierten Cluster aufgeteilt. Dem zervikothorakalen Cluster konnten 24 Fälle und dem thorakolumbalen Cluster konnten 25 Fälle zugeordnet werden.

Alle versorgungsbezogenen Daten wurden nach dem jeweiligen Cluster differenziert erfasst. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4-7 Versorgungsbezogene Daten differenziert nach Cluster dargestellt.

Tabelle 4-7 Versorgungsbezogene Daten differenziert nach Cluster

Variable	Fallzahl ZT/TL	ZT-Cluster	TL-Cluster	p-Wert
OP-Technik (%)	24/25			n.a.
▪ dorsal		17 (71)	21 (84)	
▪ dorso-ventral		7 (29)	4 (16)	
OP-Dauer dorsal in Minuten (SD)	23/25	203,04 (54,12)	164,24 (60,29)	0,012
OP-Dauer ventral in Minuten (SD)	6/4	124,17 (73,03)	117,50 (21,76)	0,420
Segmente* dorsal (SD)	24/25	5,67 (1,55)	5,56 (1,23)	0,396
Segmente* ventral (SD)	7/4	2,86 (1,07)	2,5 (1,732)	0,363
Blutverlust dorsal in ml (SD)	21/19	1090,48 (603,25)	797,37 (482,03)	0,048
Blutverlust ventral in ml (SD)	6/3	433,33 (422,69)	1790 (2361,84)	0,212
Transfusion dorsal (%)	23/25			n.a.
▪ nein		18 (78)	20 (80)	
▪ ja		5 (22)	5 (20)	
Transfusionsmenge dorsal in ml (SD)	5/5	780 (402,49)	500 (308,22)	0,127
Transfusion ventral (%)	7/4			n.a.
▪ nein		6 (86)	3 (75)	
▪ ja		1 (14)	1 (25)	
Transfusionsmenge ventral in ml (SD)	1/1	600	1200	n.a.
Komplikationen gesamt (%)	23/24			n.a.
▪ nein 32 (68)		18 (78)	14 (58)	
▪ ja 15 (32)		5 (22)	10 (42)	
Komplikationen dorsal (%)	22/24			n.a.
▪ nein		19 (86)	15 (62,5)	
▪ ja		3 (14)	9 (37,5)	
Komplikationen ventral (%)	7/4			n.a.
▪ nein		4 (57)	3 (75)	
▪ ja		3 (43)	1 (25)	
Intensivaufenthalt dorsal in Tagen (SD)	22/24	2,27 (6,83)	1,75 (2,61)	0,369
Intensivaufenthalt ventral in Tagen (SD)	6/3	0,83 (1,33)	2,67 (3,79)	0,246
Verweildauer in Tagen (SD)	24/25	15,21 (11,13)	20,4 (13,06)	0,070

Anmerkung. Bei metrischen Variablen handelt es sich um Mittelwerte, bei nominalen Variablen um die Häufigkeitsverteilung. ZT = zervikothorakal; TL = thorakolumbal; SD = Standardabweichung; n.a. = nicht anwendbar
* = fusionierte Segmente; p < 0,05; signifikante Werte sind fettgedruckt.

4.4.3 Frakturen im ZT-Cluster

Bei 24 Fällen, die dem ZT-Cluster zugeordnet wurden, fanden sich 31 Frakturen. 17 Patienten hatten eine einzelne Wirbelkörperfraktur, sieben Patienten hatten jeweils zwei Wirbelkörper frakturiert. Es entfallen somit im Durchschnitt $1,29 \pm 0,46$ Wirbelkörperfrakturen auf jeden Patienten des ZT-Clusters. Am häufigsten war der Wirbelkörper HWK 6 betroffen. Auf diesen entfielen 17/31 Frakturen (54,8 %). 7/31 Frakturen (22,6 %) befanden sich auf Höhe HWK 7. 4/31 Frakturen (12,9 %) betrafen den Wirbelkörper HWK 5. Jeweils 1/31 Fraktur (3,2 %) befand sich auf den Höhen HWK 3, HWK 4 und BWK 1. Nicht betroffen waren die Wirbelkörper HWK 1 und HWK 2.

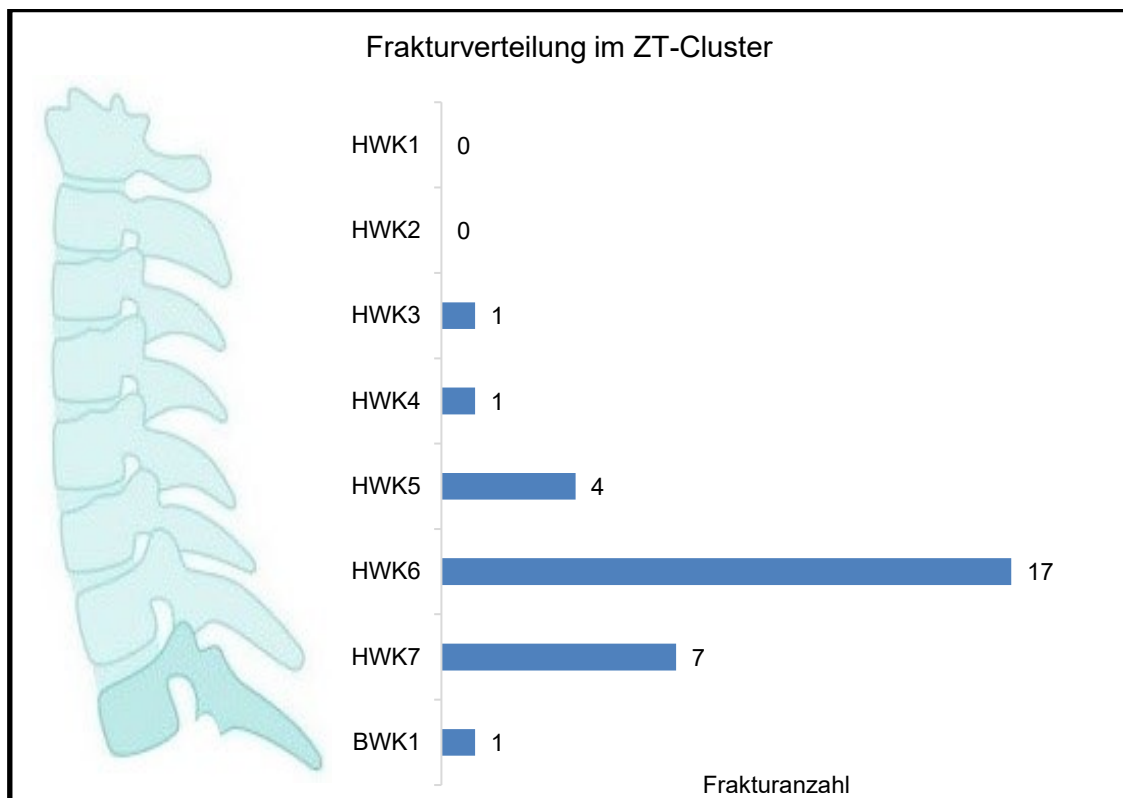


Abb. 4-18 Frakturverteilung ZT-Cluster (n = 31)¹³⁴

4.4.3.1 Übersicht versorgungsbezogene Daten ZT-Cluster

Die versorgungsbezogenen Daten des ZT-Clusters wurden weiter nach OP-Verfahren differenziert. Zur Übersicht wurden diese in der Tabelle 4-8 Versorgungsbezogene Daten ZT-Cluster differenziert nach OP-Verfahren dargestellt.

Tabelle 4-8 Versorgungsbezogene Daten ZT-Cluster differenziert nach OP-Verfahren

Variable	Fallzahl d/dv	dorsal	dorso-ventral	p-Wert
OP-Dauer dorsal in Minuten (SD)	17/6	196,82 (55,19)	220,67 (51,34)	0,181
OP-Dauer ventral in Minuten (SD)	-/6	-	124,17 (73,03)	-
Segmente* dorsal (SD)	17/7	6,06 (1,6)	4,71 (0,95)	0,010
Segmente* ventral (SD)	-/7	-	2,86 (1,07)	-
Blutverlust dorsal in ml (SD)	15/6	1153,33 (643,50)	933,33 (504,65)	0,211
Blutverlust ventral in ml (SD)	-/6	-	433,33 (422,69)	-
Transfusion dorsal (%)	16/7			n.a.
▪ nein		13 (81)	5 (71)	
▪ ja		3 (19)	2 (29)	
Transfusionsmenge dorsal in ml (SD)	3/2	800 (346,41)	750 (636,40)	0,466
Transfusion ventral (%)	-/7	-		-
▪ nein			6 (86)	
▪ ja			1 (14)	
Transfusionsmenge ventral in ml (SD)	-/1	-	600	-
Komplikationen gesamt (%)	16/7			n.a.
▪ nein		14 (87,5)	4 (57)	
▪ ja		2 (12,5)	3 (43)	
Komplikationen dorsal (%)	16/6			n.a.
▪ nein		14 (87,5)	5 (83)	
▪ ja		2 (12,5)	1 (17)	
Komplikationen ventral (%)	-/7	-		-
▪ nein			4 (57)	
▪ ja			3 (43)	
Intensivaufenthalt dorsal in Tagen (SD)	17/5	2,76 (7,72)	0,6 (1,34)	0,142
Intensivaufenthalt ventral in Tagen (SD)	-/6	-	0,83 (1,33)	-
Verweildauer in Tagen (SD)	17/7	12,94 (7,26)	20,71 (16,87)	0,061

Anmerkung. Bei metrischen Variablen handelt es sich um Mittelwerte, bei nominalen Variablen um die Häufigkeitsverteilung. d = dorsale Operation; dv = dorso-ventrale Operation; SD = Standardabweichung; n.a. = nicht anwendbar. * = fusionierte Segmente; p < 0,05; signifikante Werte sind fettgedruckt.

4.4.3.2 OP-Technik

Die Frakturen wurden auf zwei unterschiedliche Weisen operativ versorgt. Entweder wurde eine einzeitige dorsale (17/24|71 %) oder eine zweizeitige dorso-ventrale (7/24|29 %) OP-Technik gewählt.

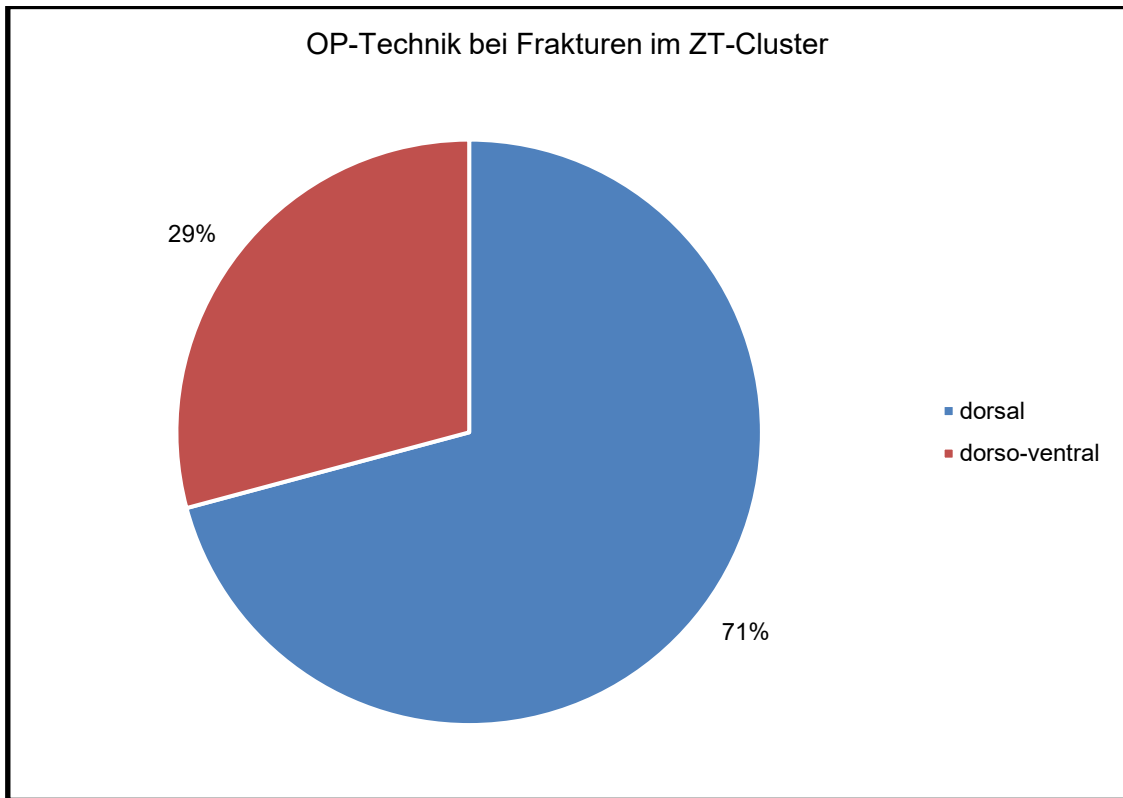


Abb. 4-19 OP-Technik ZT-Cluster (n = 24)

4.4.3.3 OP-Dauer

Die OP-Dauer bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug im Durchschnitt $196,82 \pm 55,19$ Minuten. Bei den zweizeitigen Eingriffen dauerte die dorsale Operation im Durchschnitt $220,67 \pm 51,34$ und die ventrale Operation im Durchschnitt $124,17 \pm 73,03$ Minuten.

In zwei Fällen kam es zu einer dorso-ventralen Versorgung während einer einzelnen Operation. In einem dieser beiden Fälle konnten die jeweiligen OP-Zeiten voneinander abgegrenzt werden, im anderen Fall nicht. Bei Letzterem wurde die OP-Zeit für die Durchschnittsberechnung der Einzeleingriffe nicht berücksichtigt.

Die durchschnittliche Gesamtoperationszeit für kombinierte dorso-ventrale Eingriffe betrug $365,57 \pm 111,22$ Minuten.

Legt man die Operationszeiten der dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, so hat die dorsale Versorgung durchschnittlich $203,04 \pm 54,12$ Minuten gedauert.

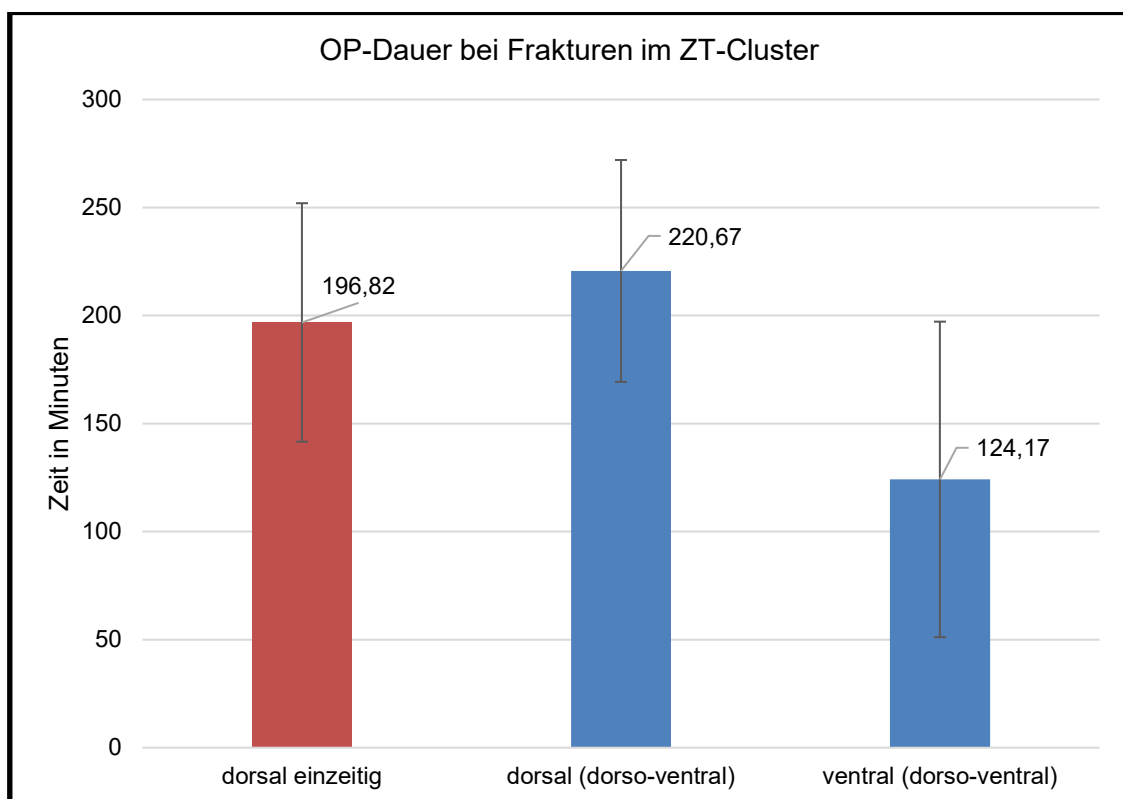


Abb. 4-20 OP-Dauer ZT-Cluster

4.4.3.4 Fusionierte Segmente

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug die Anzahl der durchschnittlich fusionierten Wirbelkörpersegmente $6,06 \pm 1,6$. Bei den zweizeitigen Eingriffen wurden durchschnittlich dorsal $4,71 \pm 0,95$ und ventral $2,86 \pm 1,07$ Segmente fusioniert.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, so wurden von dorsal durchschnittlich $5,67 \pm 1,55$ Segmente fusioniert.

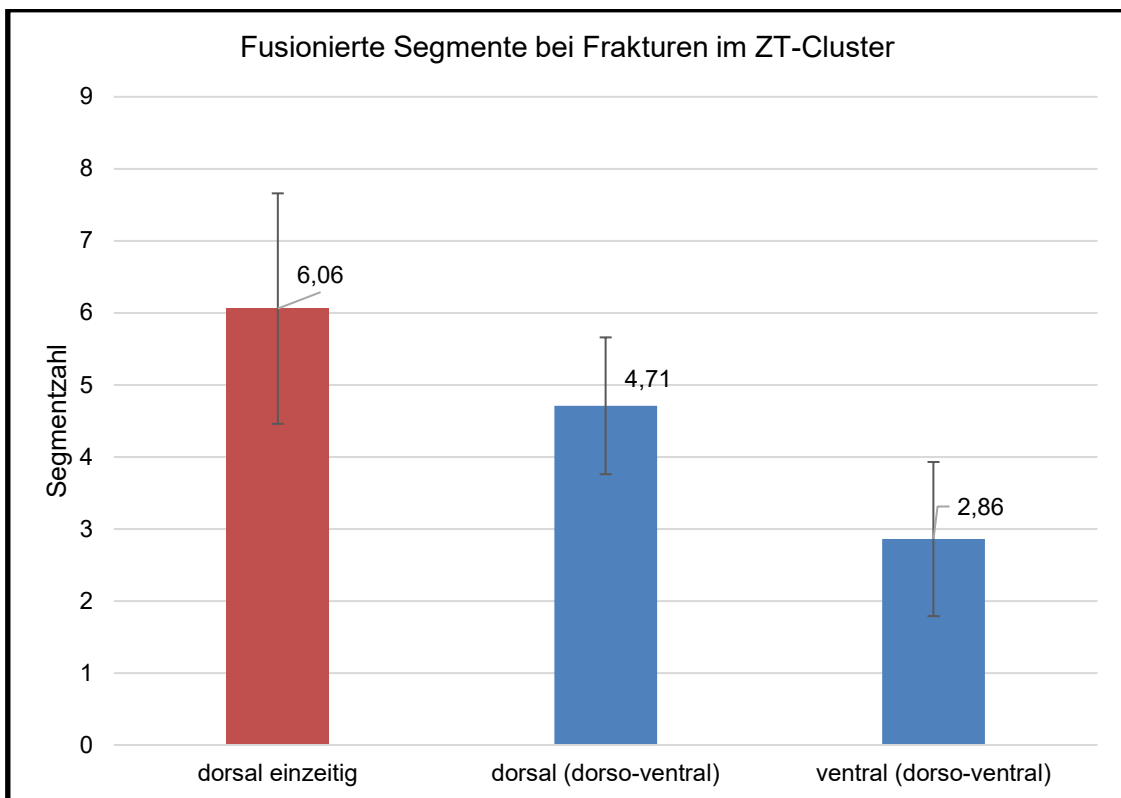


Abb. 4-21 Fusionierte Segmente ZT-Cluster

4.4.3.5 Intraoperativer Blutverlust

Der intraoperative Blutverlust betrug bei einzeitigen dorsalen Eingriffen im Durchschnitt $1153,33 \pm 643,5$ ml und im Median 900 ml. In zwei Fällen gab es keine Angabe zum Blutverlust.

Bei den zweizeitigen Eingriffen betrug der durchschnittliche Blutverlust bei dorsaler Operation $933,33 \pm 504,65$ ml und im Median 900 ml. Der durchschnittliche Blutverlust bei ventraler Operation betrug $433,33 \pm 422,69$ ml und im Median 350 ml. In einem Fall gab es für beide Operationen diesbezüglich keine Angaben. Der durchschnittliche Blutverlust für das kombinierte Verfahren beträgt somit insgesamt $1366,67 \pm 725,72$ ml.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, beträgt der durchschnittliche Blutverlust bei dorsaler Versorgung $1090,48$ ml \pm 603,25 ml.

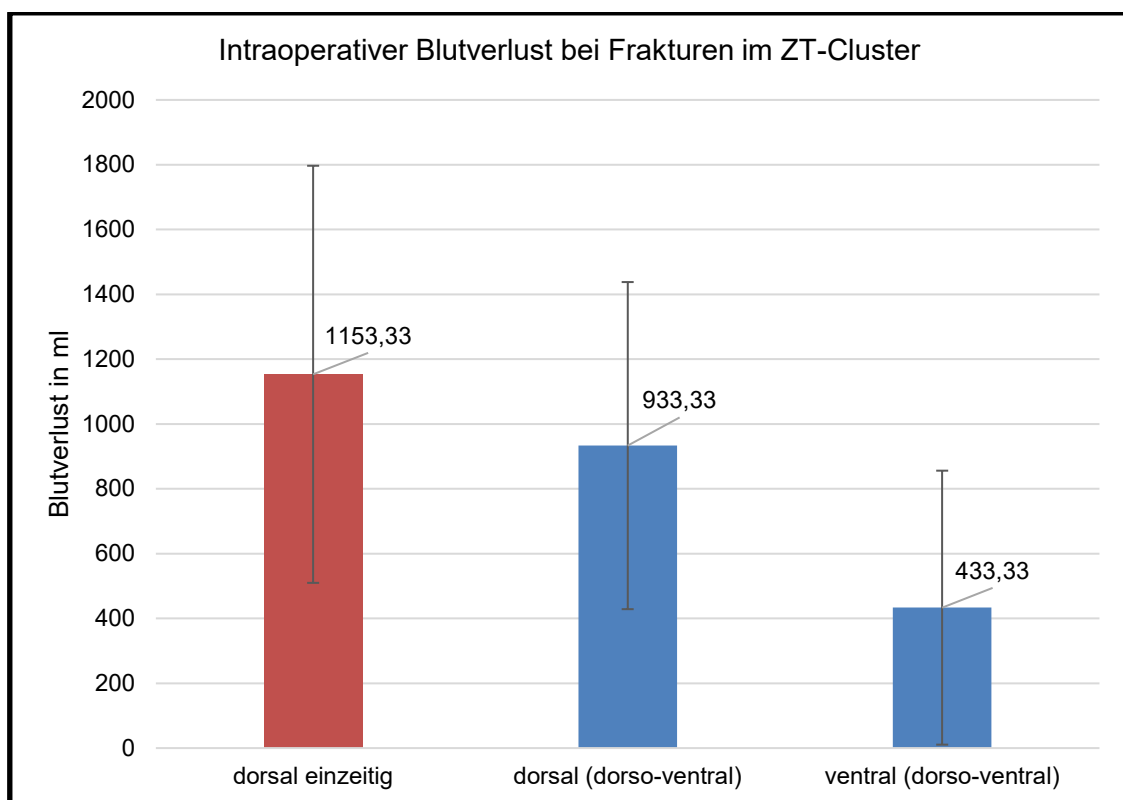


Abb. 4-22 Intraoperativer Blutverlust ZT-Cluster

4.4.3.6 Intraoperative Transfusion

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen wurde in 3/17 (18 %) Fällen eine intraoperative Transfusion durchgeführt. Bei den zweizeitigen Eingriffen wurde bei dorsaler Operation 2/7-mal (29 %) und bei ventraler Operation 1/7-mal (14 %) intraoperativ transfundiert. In den übrigen Fällen fand intraoperativ keine Transfusion statt. Somit wurde bei kombinierter Versorgung 3/14-mal (21 %) transfundiert.

Betrachtet man die dorsalen Operationen beider Verfahren zusammen, so wurde in 5/23 (22 %) Fällen eine intraoperative Transfusion durchgeführt. In 18/23 (78 %) Fällen war keine Transfusion notwendig.

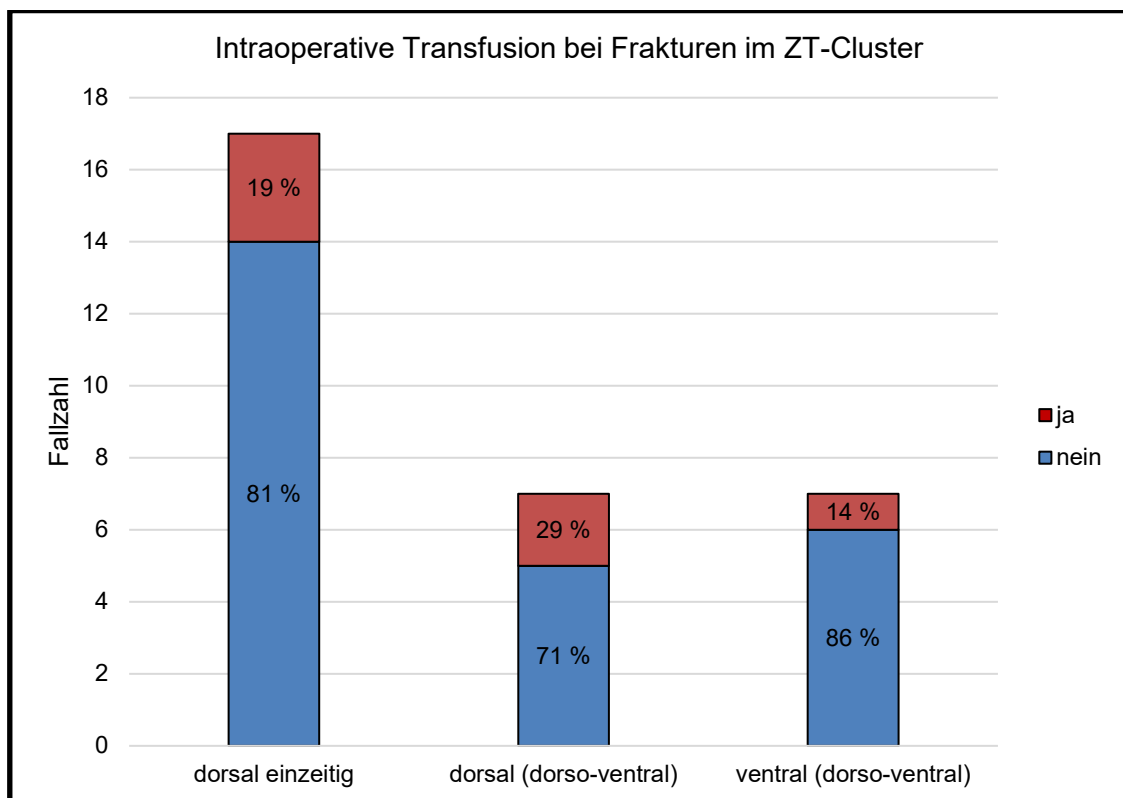


Abb. 4-23 Transfusion ZT-Cluster

Transfusionsmenge

Bei stattgefundener intraoperativer Transfusion wurden bei einzeitigen dorsalen Eingriffen durchschnittlich $800 \pm 346,41$ ml Erythrozytenkonzentrat transfundiert.

Bei zweizeitigem Eingriff betrug die durchschnittlich transfundierte Menge beim dorsalen Eingriff $750 \pm 636,37$ ml. Bei den ventralen Eingriffen wurde nur in einem Fall transfundiert. Die in diesem Fall applizierte Menge betrug 600 ml. Somit wurden bei kombinierter Versorgung und stattgefundener Transfusion durchschnittlich $1050 \pm 1060,66$ ml je Fall transfundiert.

Betrachtet man von beiden Verfahren die dorsalen Operationen zusammen, so wurden durchschnittlich $780 \pm 402,49$ ml transfundiert.

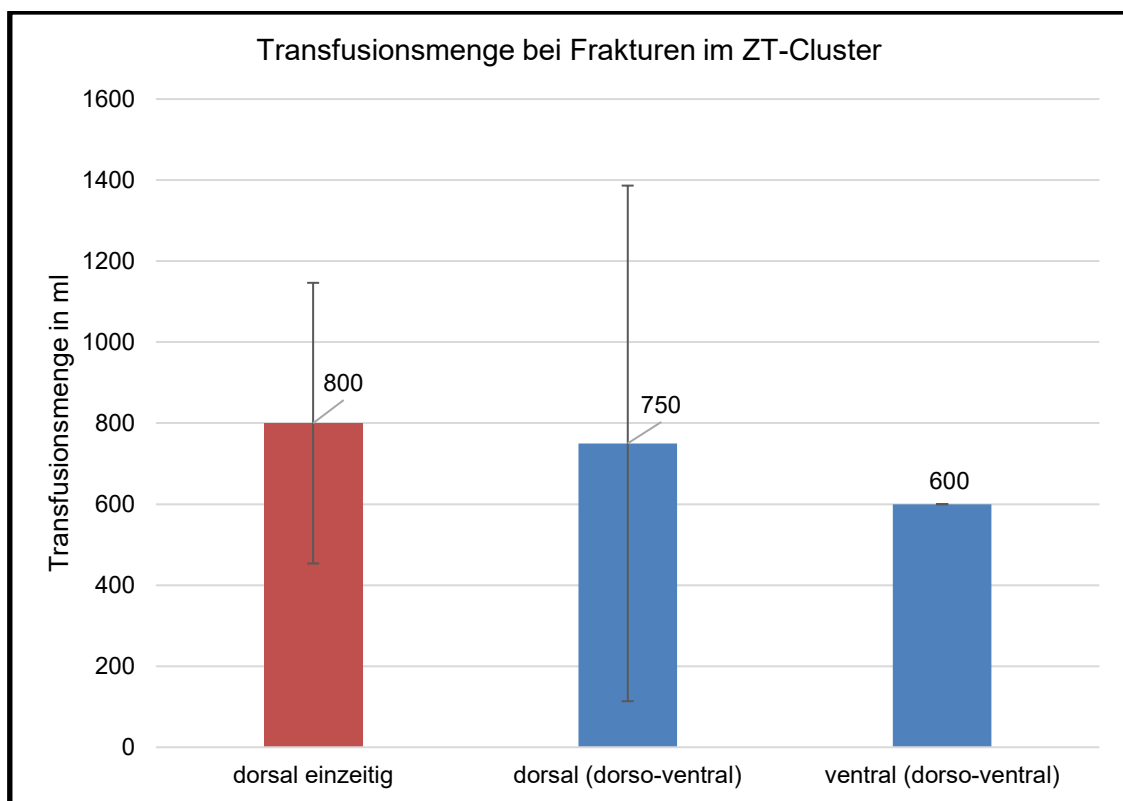


Abb. 4-24 Transfusionsmenge ZT-Cluster

4.4.3.7 Komplikationen

Insgesamt wurden in 5/23 Fällen (22 %) des ZT-Clusters perioperative Komplikationen beschrieben. Dies entspricht auch der Gesamtkomplikationsrate der dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen kam es in 4/17 Fällen (24 %) zu perioperativen Komplikationen. In einem Fall kam es im postoperativen Verlauf zu einer Sepsis, welche zum Tod des Patienten führte. Im anderen Fall wurde intraoperativ die linksseitige Arteria vertebralis verletzt, was zu einem generalisierten Krampfanfall führte. In einem Fall wurde eine postoperative Blutungsanämie festgestellt und einmal wurden postoperativ eine Bronchitis sowie Pleuraergüsse diagnostiziert. Keine der Komplikationen führte zu einem erneuten operativen Eingriff.

Bei zweizeitigen Eingriffen kam es beim ventralen Eingriff in 3/7 Fällen (43 %) und beim dorsalen Eingriff in 1/6 Fall (17 %) zu einer perioperativen Komplikation. In einem Fall kam es zu einer Wundheilungsstörung und im weiteren Verlauf dadurch zum Tod des Patienten. In einem Fall kam es zu einer Aspirationspneumonie. Bei einem weiteren zunächst ventral operierten Fall kam es zu einem Schraubenausriss mit Luxation und Verhakung der Facettengelenke. In der anschließenden dorsalen Operation erlitt der Patient intraoperativ eine fulminante Lungenarterienembolie, welche zum Tod führte. Bei den zweizeitigen Eingriffen führte somit nur der Schraubenausriss indirekt zu einem erneuten operativen Eingriff.

Eine genaue Auflistung der verschiedenen Komplikationen ist in der Tabelle 4-9 Komplikationen ZT-Cluster dargestellt.

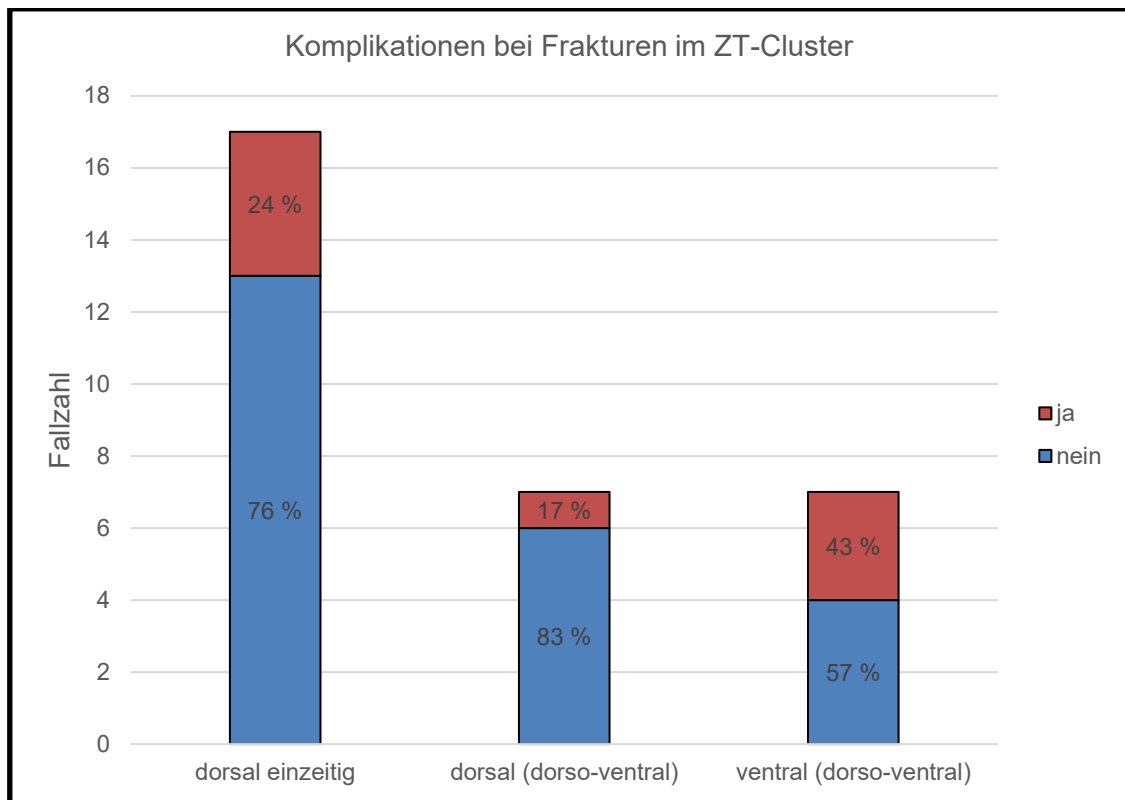


Abb. 4-25 Komplikationen ZT-Cluster

Tabelle 4-9 Komplikationen ZT-Cluster

Fallnr.	OP-Technik*	Komplikation dorsal	Komplikation ventral
7	1	Sepsis, Tod	n.a.
24	1	iatrogene Verletzung der A. vertebralis links, generalisierter Krampfanfall	n.a.
43	1	Postoperative Blutungsanämie	n.a.
48	1	Bronchitis, Pleuraergüsse	n.a.
8	2	Keine Angabe	Wundheilungsstörung, Tod
19	2	LAE, Tod	Schraubenausriss, Luxation, Verhakung der Facettengelenke
41	2	Keine	Aspirationspneumonie

Anmerkung. Fallnr. = Fallnummer; OP = Operation; LAE = Lungenarterienembolie; n.a. = nicht anwendbar; A. = Arteria.
 *1 = dorsal einseitig; 2 = kombiniert dorso-ventral.

4.4.3.8 Intensivaufenthalt

Nach Eingriffen im ZT-Cluster mussten 11/24 Patienten (46 %) postoperativ auf die Intensivstation aufgenommen werden. In diesen Fällen wurde ein durchschnittlicher Aufenthalt von $5 \pm 9,21$ Tagen dokumentiert.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen war in 9/17 Fällen (53 %) eine postoperative Aufnahme auf die Intensivstation notwendig. Der längste Aufenthalt wurde mit 32 Tagen angegeben und der Kürzeste in 6/17 Fällen (35 %) mit nur einem Tag. Durchschnittlich betrug die Verweildauer auf der Intensivstation $2,8 \pm 7,72$ Tage.

Bei kombinierter dorso-ventraler Versorgung war in 1/5 (20 %) Fällen nach dorsaler Operation eine intensivmedizinische Versorgung für drei Tage indiziert. Dies entspricht durchschnittlich $0,6 \pm 1,34$ Tagen. In zwei Fällen konnte aus den vorliegenden Akten nicht sicher eruiert werden, ob es zu einer Aufnahme auf die Intensivstation kam. In 2/6 (33,3 %) Fällen wurde nach der ventralen Versorgung eine Aufnahme auf die Intensivstation für drei bzw. zwei Tage angegeben. Dies entspricht durchschnittlich $0,83 \pm 1,33$ Tagen. Ein Patient verstarb während des Eingriffes.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, beträgt die durchschnittliche Zeit auf der Intensivstation $2,27 \pm 6,83$ Tage.

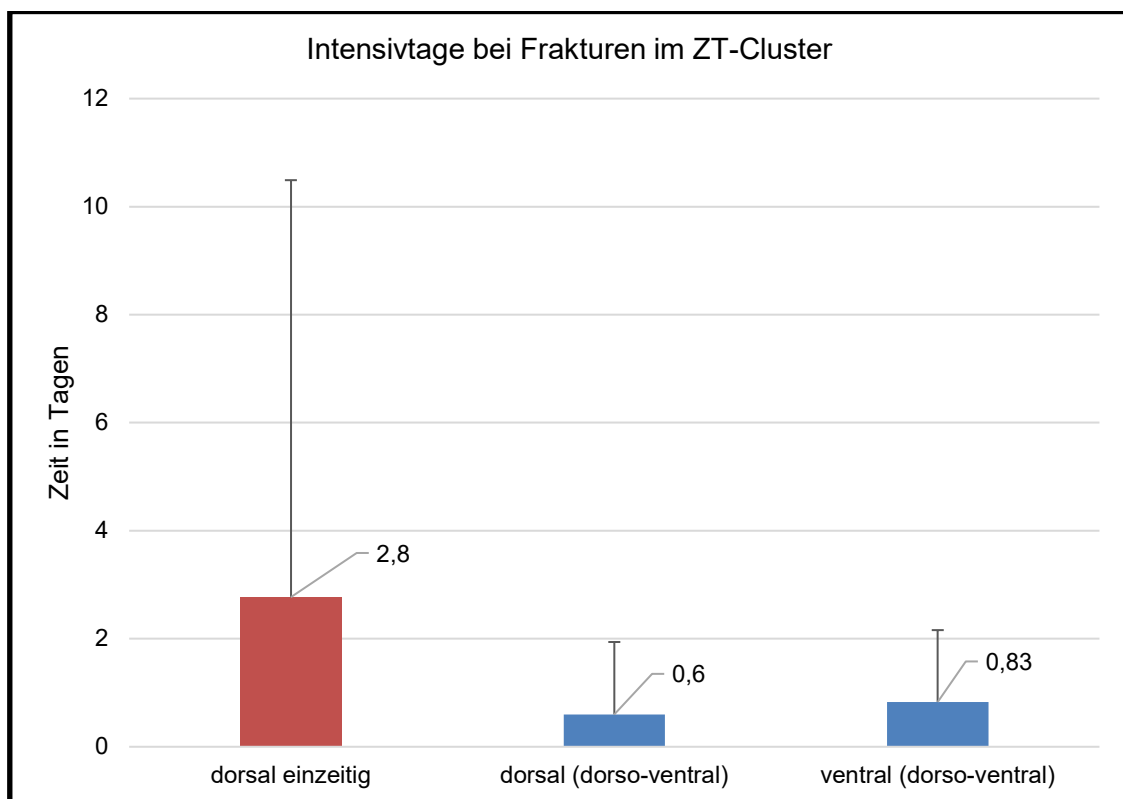


Abb. 4-26 Intensivtage ZT-Cluster

4.4.3.9 Krankenhausverweildauer

Nach einer operativen Versorgung verbrachten Patienten des ZT-Clusters durchschnittlich $15,21 \pm 11,13$ Tage im Krankenhaus.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug die durchschnittliche Krankenhausverweildauer $12,94 \pm 7,26$ Tage. Die kürzeste Verweildauer betrug fünf und die längste 33 Tage.

Bei dorso-ventralen Eingriffen betrug die Verweildauer im Durchschnitt $20,71 \pm 16,87$ Tage. Hier betrug die kürzeste Verweildauer vier und die Längste 55 Tage.

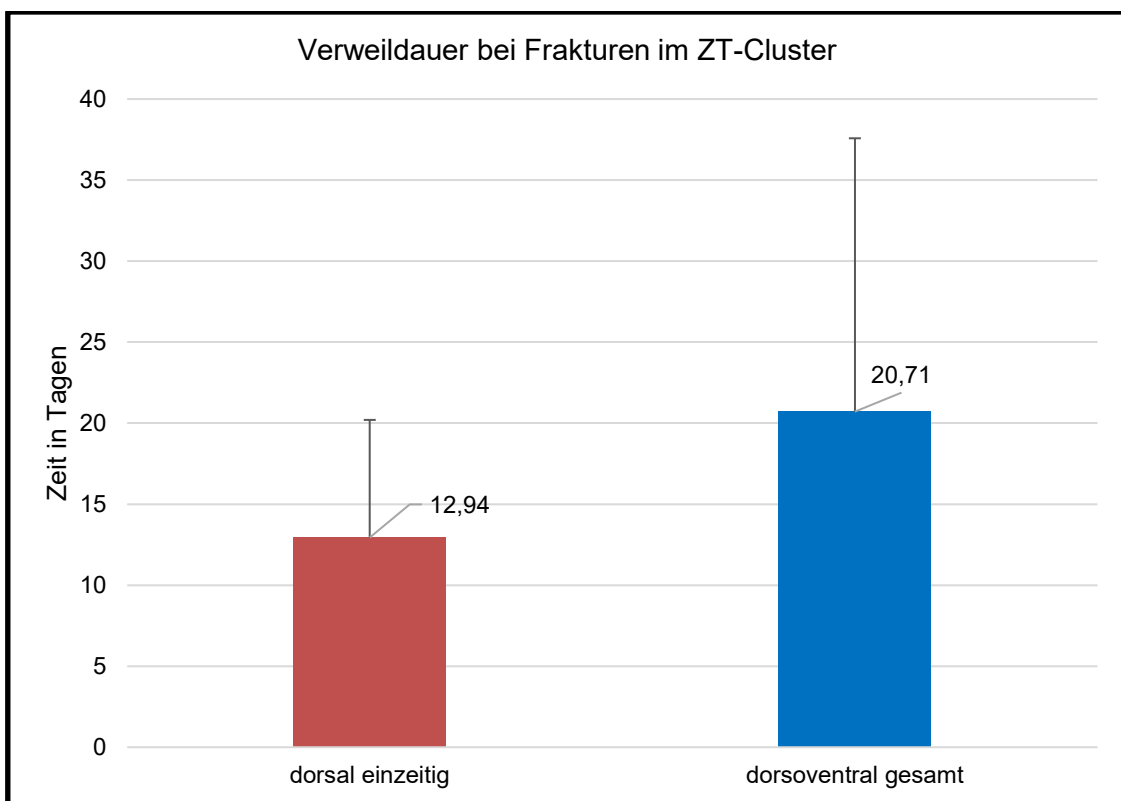


Abb. 4-27 Verweildauer ZT-Cluster

4.4.4 Frakturen im TL-Cluster

Bei 25 Fällen, die dem TL-Cluster zugeordnet wurden, fanden sich 33 Frakturen. 17 Patienten hatten eine einzelne Wirbelkörperfraktur, acht Patienten hatten jeweils zwei Wirbelkörper frakturiert. Es entfallen somit durchschnittlich $1,32 \pm 0,48$ Wirbelkörperfrakturen auf jeden Patienten des TL-Clusters. Am häufigsten war der Wirbelkörper BWK 11 betroffen. Auf diesen entfielen 6/33 Frakturen (18,2 %). 4/33 Frakturen (12,1 %) befanden sich sowohl auf den Höhen von BWK 8 als auch von BWK 12. Jeweils 3/33 Frakturen (9,1 %) entfielen auf die Wirbelkörper BWK 4, BWK 7 und BWK 10. 2/33 Frakturen (6,1 %) befanden sich auf den Höhen BWK 3, BWK 5 und BWK 6. Jeweils 1/33 Fraktur (3 %) befand sich auf den Höhen BWK 9, LWK 1, LWK 2 und LWK 3. Nicht betroffen waren die Wirbelkörper LWK 4 und LWK 5.

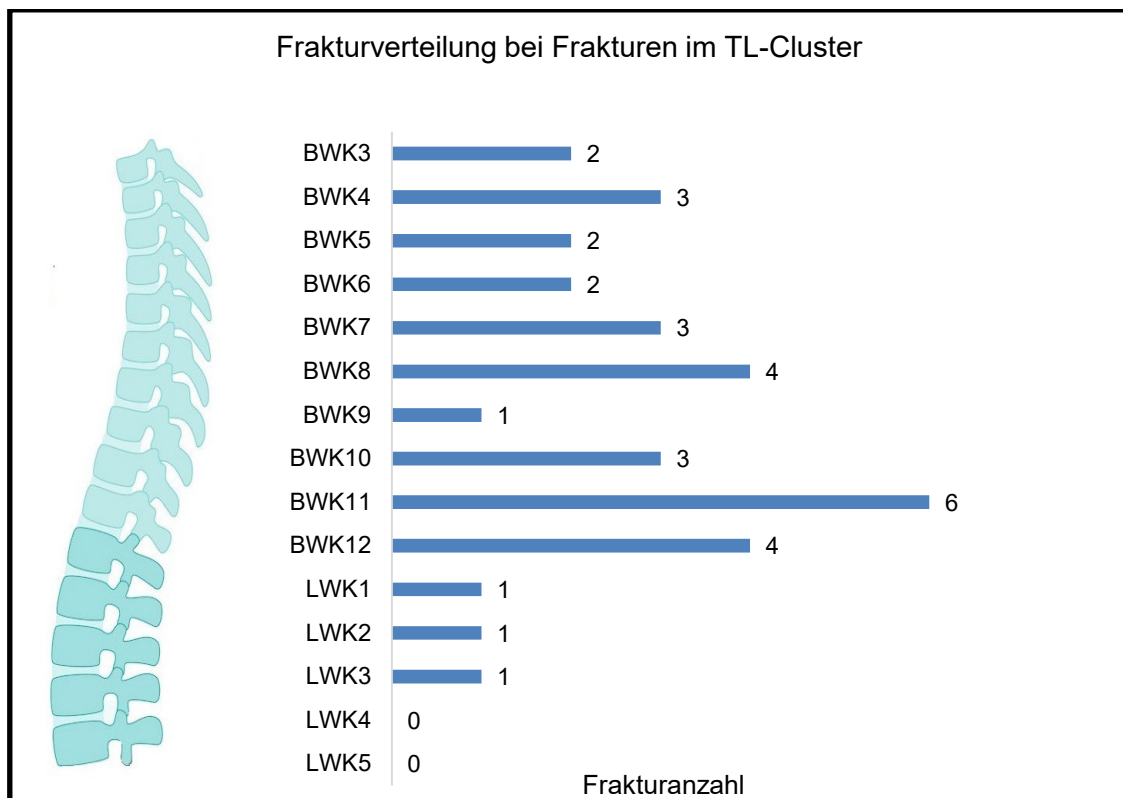


Abb. 4-28 Frakturverteilung TL-Cluster (n = 33)¹³⁴

4.4.4.1 Übersicht versorgungsbezogene Daten TL-Cluster

Die versorgungsbezogenen Daten des TL-Clusters wurden weiter nach OP-Verfahren differenziert. Zur Übersicht wurden diese in der Tabelle 4-10 Versorgungsbezogene Daten TL-Cluster differenziert nach OP-Verfahren dargestellt.

Tabelle 4-10 Versorgungsbezogene Daten TL-Cluster differenziert nach OP-Verfahren

Variable	Fallzahl d/dv	dorsal	dorso-ventral	p-Wert
OP-Dauer dorsal in Minuten (SD)	21/4	160,1 (63,82)	186 (34,30)	0,138
OP-Dauer ventral in Minuten (SD)	-/4	-	117,50 (21,76)	-
Segmente* dorsal (SD)	21/4	5,52 (1,33)	5,75 (0,5)	0,282
Segmente* ventral (SD)	-/4	-	2,5 (1,73)	-
Blutverlust dorsal in ml (SD)	15/4	730 (517,48)	1050 (191,49)	0,036
Blutverlust ventral in ml (SD)	-/3	-	1790 (2361,84)	-
Transfusion dorsal (%)	21/4			n.a.
▪ nein		18 (86)	2 (50)	
▪ ja		3 (14)	2 (50)	
Transfusionsmenge dorsal in ml (SD)	3/2	500 (173,71)	500 (565,69)	0,50
Transfusion ventral (%)	-/4	-		-
▪ nein			3 (75)	
▪ ja			1 (25)	
Transfusionsmenge ventral in ml (SD)	-/1	-	1200	-
Komplikationen gesamt (%)	20/4			n.a.
▪ nein		11 (55)	3 (75)	
▪ ja		9 (45)	1 (25)	
Komplikationen dorsal (%)	20/4			n.a.
▪ nein		11 (55)	4 (100)	
▪ ja		9 (45)	0 (0)	
Komplikationen ventral (%)	-/4	-		-
▪ nein			3 (75)	
▪ ja			1 (25)	
Intensivaufenthalt dorsal in Tagen (SD)	21/3	1,9 (2,76)	0,67 (0,58)	0,044
Intensivaufenthalt ventral in Tagen (SD)	-/3	-	2,67 (3,79)	-
Verweildauer in Tagen (SD)	21/4	18,1 (11,69)	32,5 (14,89)	0,073

Anmerkung. Bei metrischen Variablen handelt es sich um Mittelwerte, bei nominalen Variablen um die Häufigkeitsverteilung. d = dorsale Operation; dv = dorso-ventrale Operation; SD = Standardabweichung; n.a. = nicht anwendbar.* = versteifte Segmente; p < 0,05; signifikante Werte sind fettgedruckt.

4.4.4.2 OP-Technik

Die Frakturen wurden auf zwei unterschiedliche Weisen operativ versorgt. Entweder wurde eine einzeitige dorsale (21/25|84 %) oder eine zweizeitige dorso-ventrale (4/25|16 %) OP-Technik gewählt.

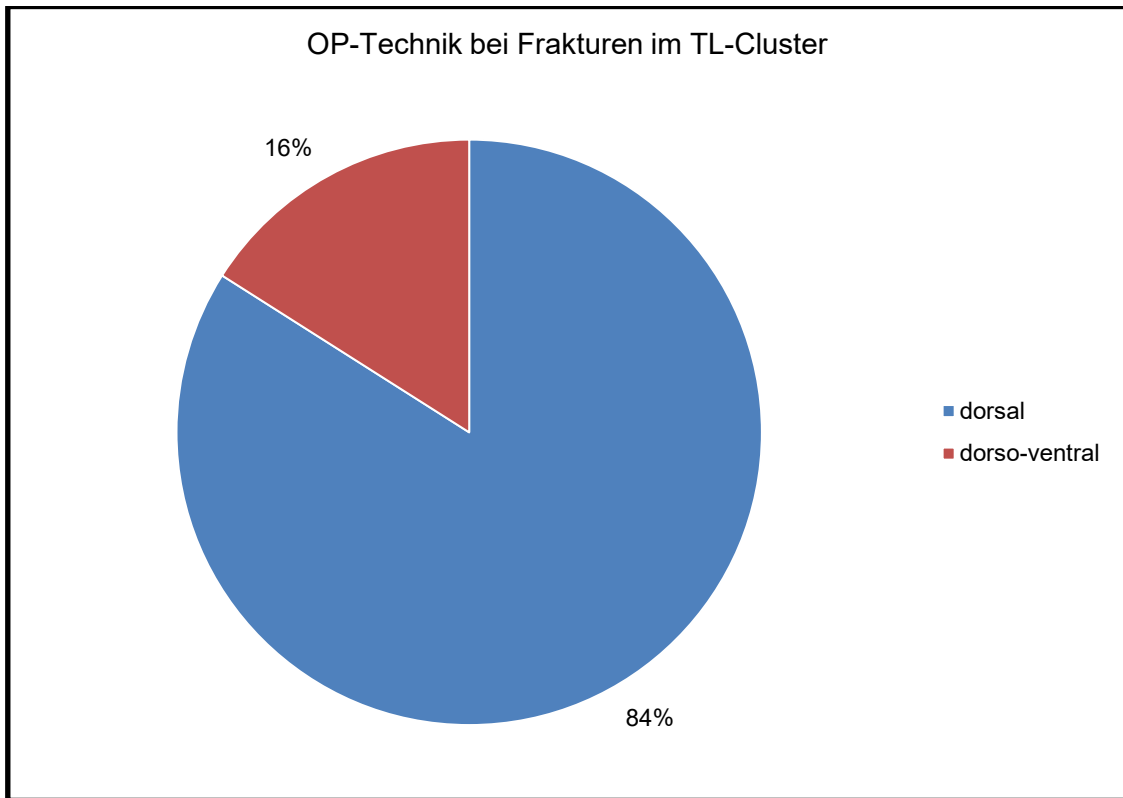


Abb. 4-29 OP-Technik TL-Cluster (n = 25)

4.4.4.3 OP-Dauer

Die OP-Dauer bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug im Durchschnitt $160,1 \pm 63,82$ Minuten. Bei den zweizeitigen Eingriffen dauerte die dorsale Operation im Durchschnitt $186 \pm 34,30$ und die ventrale Operation im Durchschnitt $117,5 \pm 21,76$ Minuten. Die durchschnittliche Gesamtoperationszeit bei kombiniertem Eingriff betrug $303,5 \pm 19,3$ Minuten.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, so hat die dorsale Versorgung durchschnittlich $164,24 \pm 60,29$ Minuten gedauert.

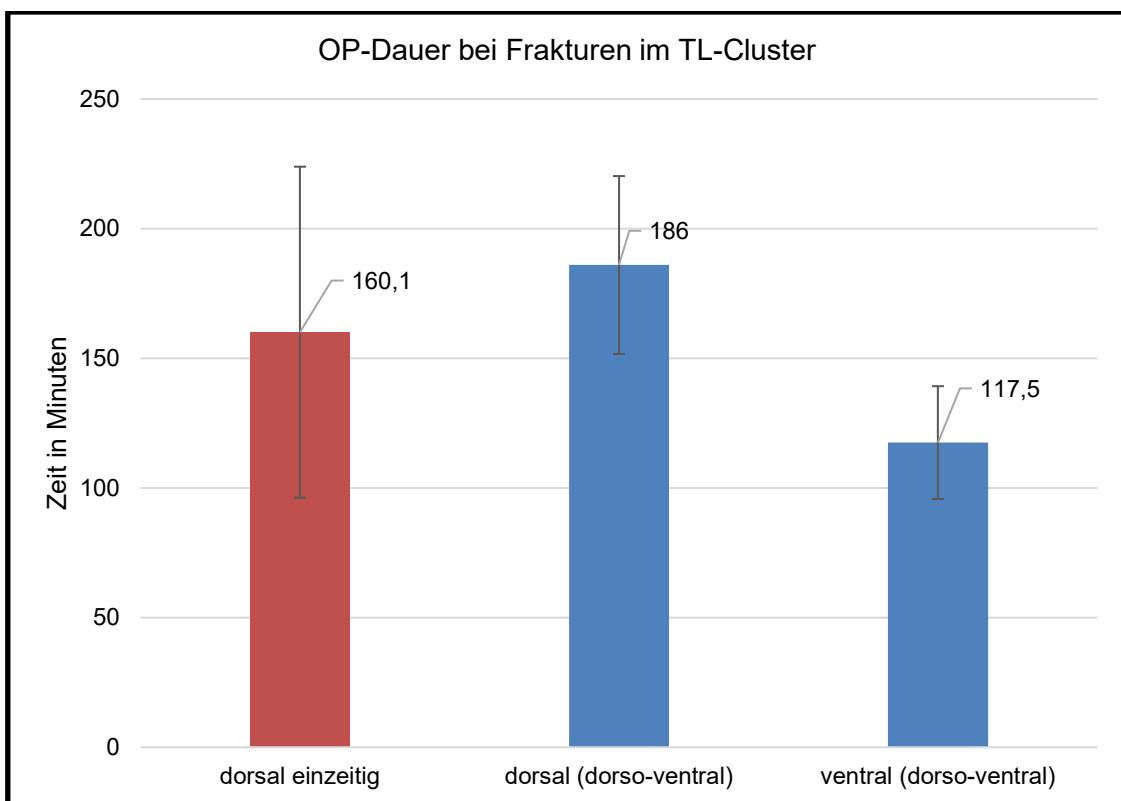


Abb. 4-30 OP-Dauer TL-Cluster

4.4.4.4 Fusionierte Segmente

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug die Anzahl der durchschnittlich fusionierten Wirbelkörpersegmente $5,52 \pm 1,33$. Bei den zweizeitigen Eingriffen wurden durchschnittlich dorsal $5,75 \pm 0,5$ und ventral $2,5 \pm 1,73$ Segmente fusioniert.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, so wurden dorsal durchschnittlich $5,56 \pm 1,23$ Segmente fusioniert.

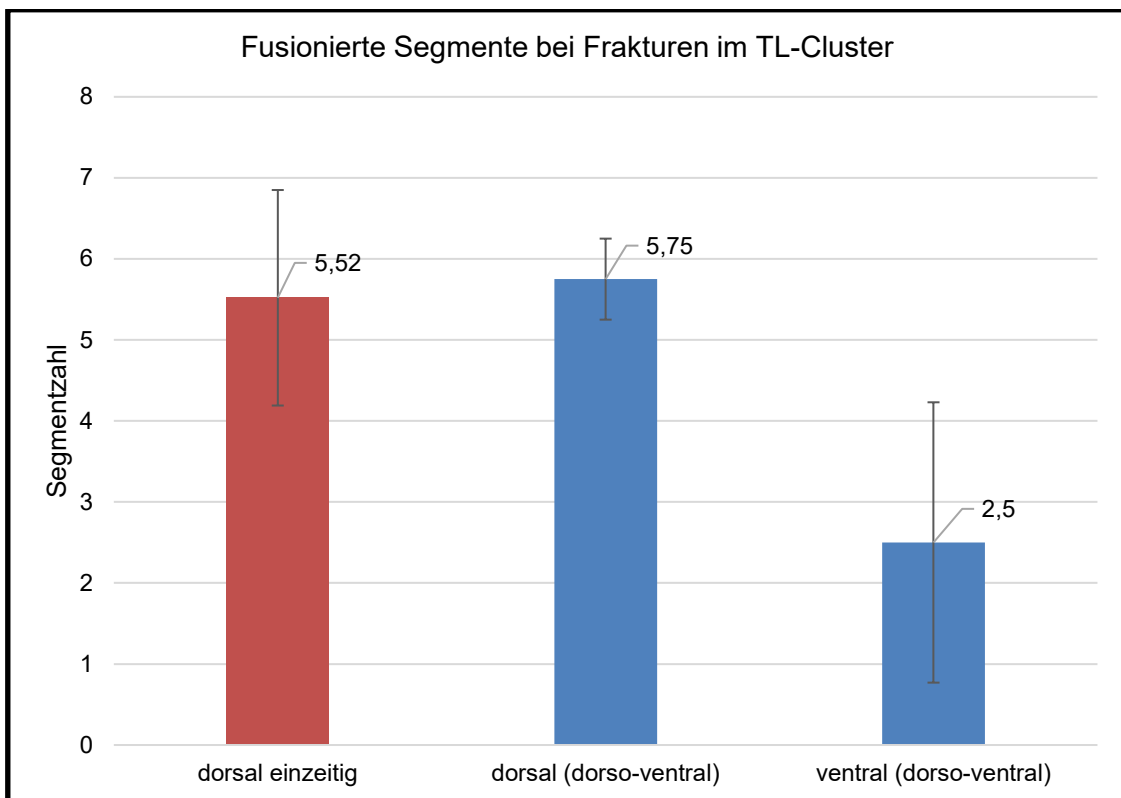


Abb. 4-31 Fusionierte Segmente TL-Cluster

4.4.4.5 Intraoperativer Blutverlust

Der intraoperative Blutverlust betrug bei einzeitigen dorsalen Eingriffen im Durchschnitt $730 \pm 517,48$ ml. Sechs mal gab es keine Angabe zum Blutverlust.

Bei zweizeitigem Eingriff betrug der durchschnittliche Blutverlust bei dorsaler Operation $1050 \pm 191,49$ ml und bei ventraler Operation $1790 \pm 2361,84$ ml. In einem Fall gab es beim ventralen Eingriff keine Angabe zum Blutverlust. Zusammen ergibt dies für die dorso-ventrale Versorgung einen durchschnittlichen Blutverlust von $2392,5 \pm 2192,31$ ml.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, beträgt der durchschnittliche Blutverlust bei dorsaler Versorgung $797,37 \pm 482,03$ ml.

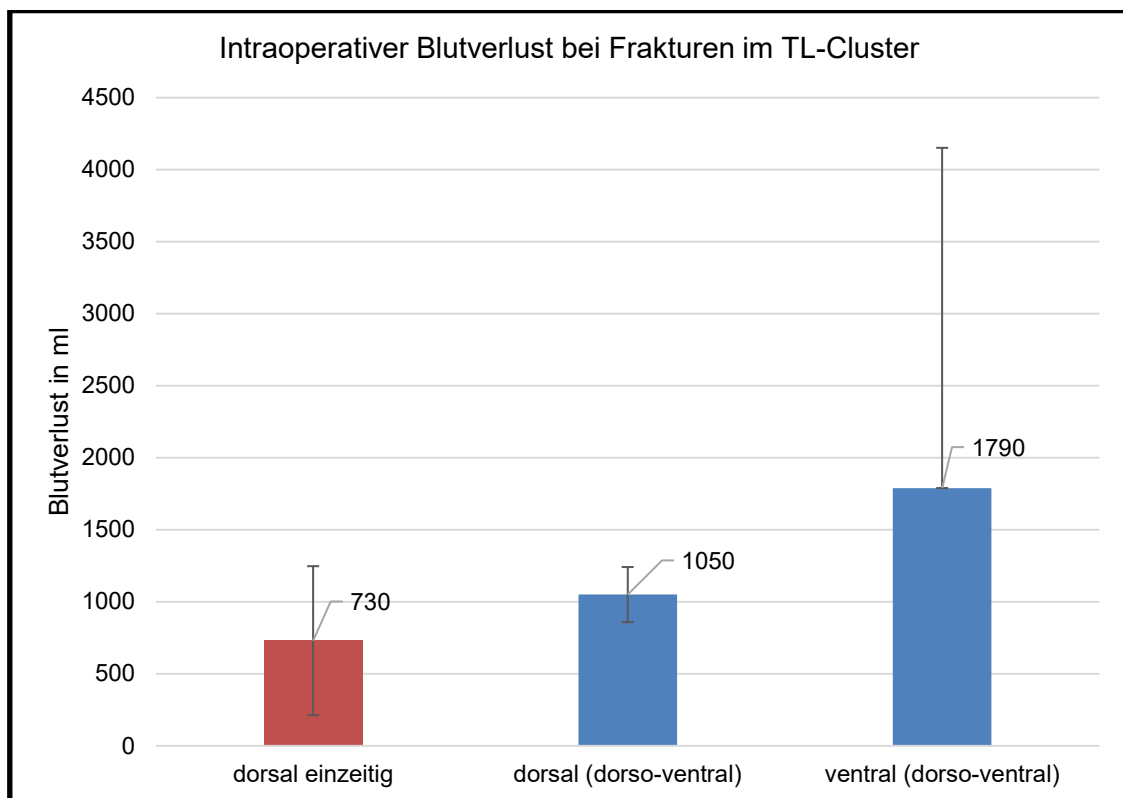


Abb. 4-32 Intraoperativer Blutverlust TL-Cluster

4.4.4.6 Intraoperative Transfusion

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen wurde in 3/21 (14 %) Fällen eine intraoperative Transfusion durchgeführt. Bei den zweizeitigen Eingriffen wurde bei dorsaler Operation 2/4-mal (50 %) und bei ventraler Operation 1/4-mal (25 %) intraoperativ transfundiert. In den übrigen Fällen fand intraoperativ keine Transfusion statt. Somit wurde bei kombinierter Versorgung eine Transfusion in 3/8 (37,5 %) Fällen durchgeführt.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, kam es in 5/25 (20 %) der dorsalen Operation zu einer Transfusion.

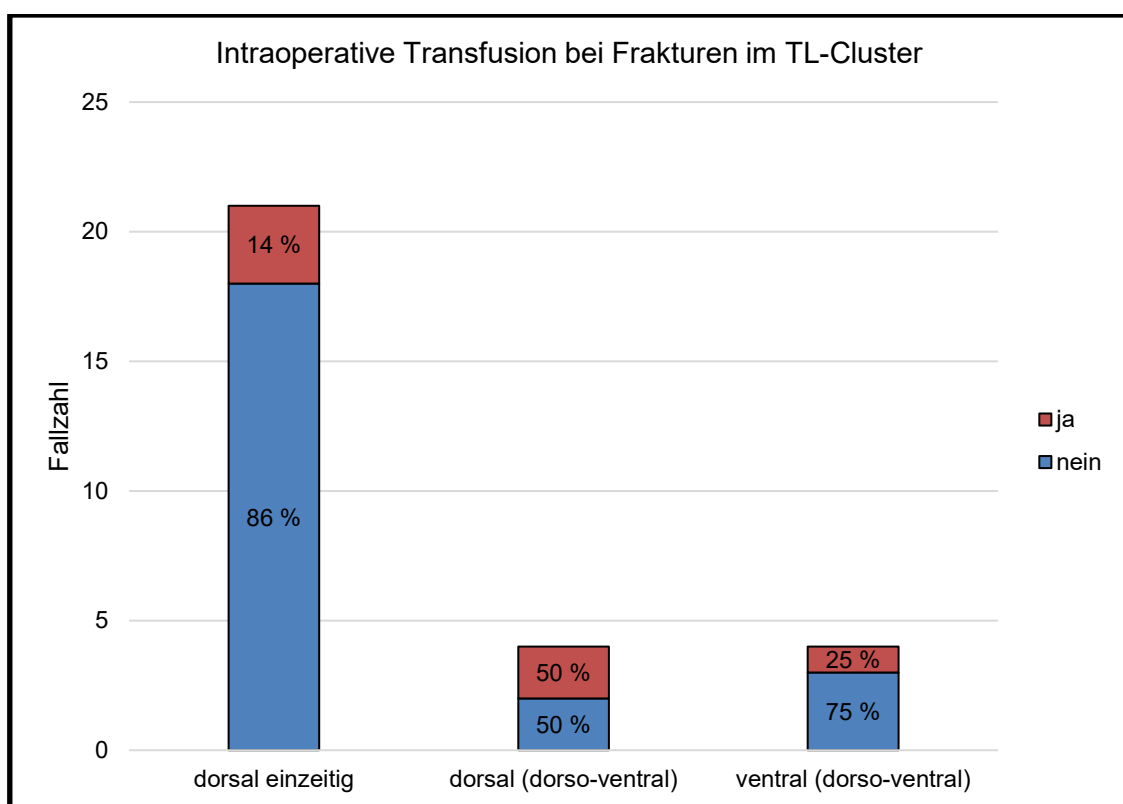


Abb. 4-33 Transfusion TL-Cluster

Transfusionsmenge

Bei stattgehabter intraoperativer Transfusion wurden bei einzeitigen dorsalen Eingriffen durchschnittlich $500 \pm 173,21$ ml Erythrozytenkonzentrat transfundiert. Bei den zweizeitigen Eingriffen betrug die durchschnittlich transfundierte Menge Erythrozytenkonzentrat beim dorsalen Eingriff $500 \pm 565,69$ ml. Bei den ventralen Eingriffen wurde nur in einem Fall transfundiert. Die in diesem Fall applizierte Menge betrug 1200 ml. Durchschnittlich wurde bei kombiniertem Verfahren und stattgefunder Transfusion eine Menge von $1100 \pm 1414,21$ ml je Fall transfundiert.

Betrachtet man von beiden Verfahren die dorsalen Operationen zusammen, so wurden durchschnittlich $500 \pm 308,22$ ml transfundiert.

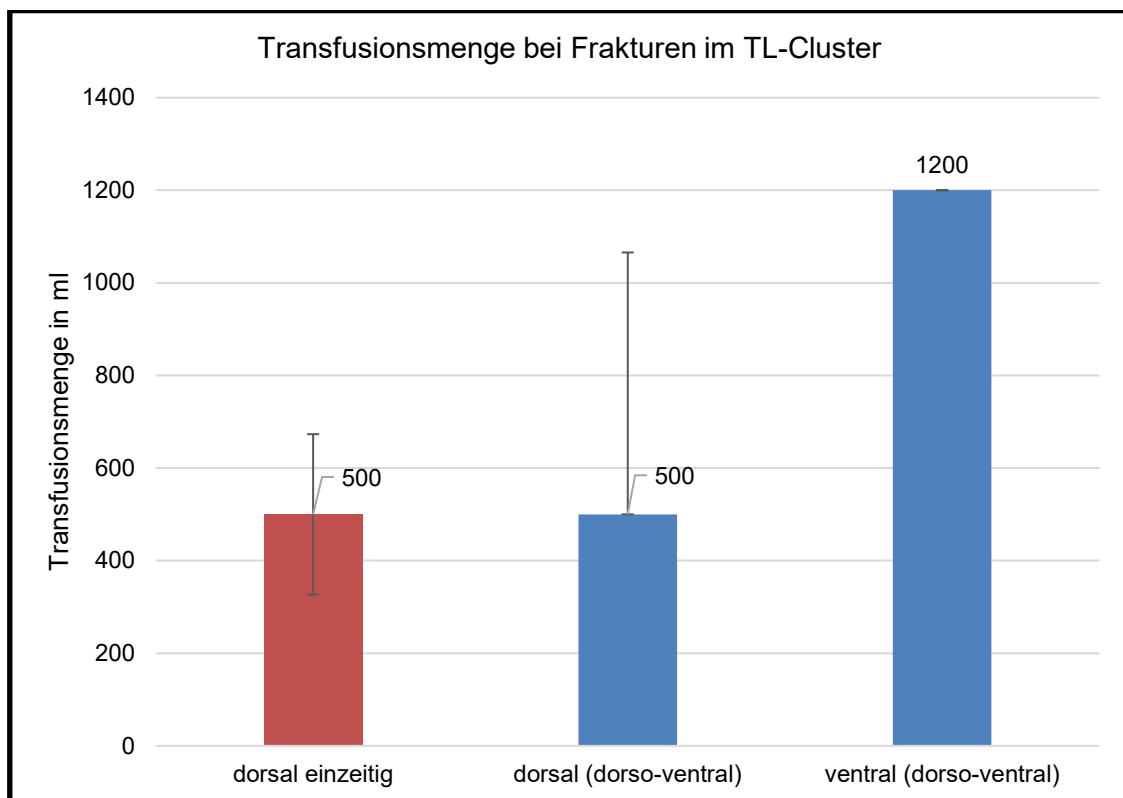


Abb. 4-34 Transfusionsmenge TL-Cluster

4.4.4.7 Komplikationen

Insgesamt wurden in 10/24 Fällen (42 %) des TL-Clusters perioperative Komplikationen beschrieben. Bei den dorsalen Eingriffen beider Verfahren trat in 9/24 (38 %) Fällen eine Komplikation auf.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen kam es in 8/21 Fällen (38 %) zu perioperativen Komplikationen. In drei Fällen (9, 16, 33) führte die Komplikation zu einem notwendigen operativen Zweiteingriff.

Bei zweizeitigen Eingriffen kam es beim dorsalen Eingriff in keinem Fall zu einer Komplikation. Beim ventralen Eingriff gab es bei 1/4 Fällen (25 %) eine perioperative Komplikation.

Eine genaue Auflistung der Komplikationsarten ist in der Tabelle 4-11 Komplikationen TL-Cluster zu finden.

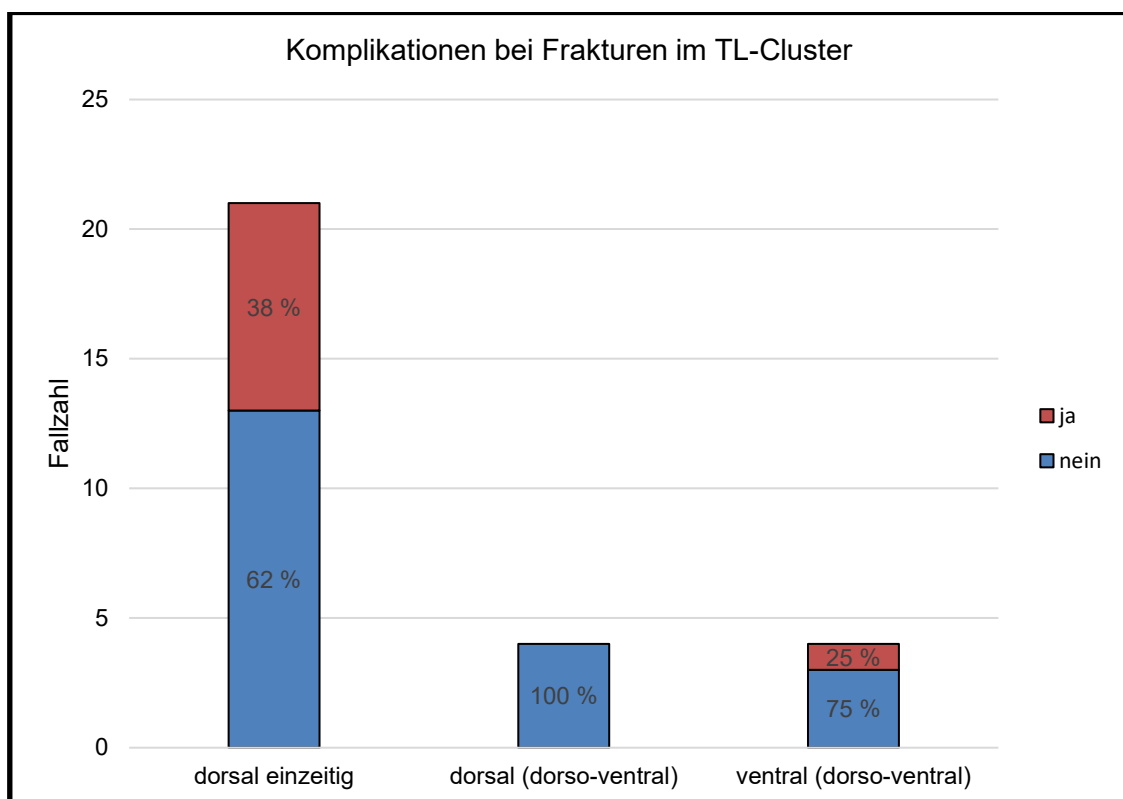


Abb. 4-35 Komplikationen TL-Cluster

Tabelle 4-11 Komplikationen TL-Cluster

Fallnr.	OP- Technik*	Komplikationen dorsal	Komplikationen ventral
1	1	Zweimaliger generalisierter Krampfanfall	n.a.
4	1	TIA	n.a.
9	1	Progrediente Wunddehiszenz mit mehrfacher VAC Anlage	n.a.
16	1	Schraubenfehlage: Aufsteigender sensibler Querschnitt mit beginnender Ataxie der unteren Extremitäten	n.a.
17	1	Pneumonie	n.a.
33	1	Abgerutschte Madenschraube	n.a.
39	1	Akutes Nierenversagen	n.a.
51	1	Transfusionswürdige Blutungsanämie	n.a.
31	2	Keine	Hämatoserothorax

Anmerkung. Fallnr. = Fallnummer; TIA = Transischämische Attacke; VAC = vacuum assisted closure; n.a. = nicht anwendbar.

*1 = dorsal einzeitig; 2 = kombiniert dorso-ventral.

4.4.4.8 Intensivaufenthalt

Nach Eingriffen im TL-Cluster mussten 19/25 Patienten (76 %) postoperativ auf die Intensivstation aufgenommen werden. In diesen Fällen wurde eine durchschnittliche Verweildauer von $2,63 \pm 3,02$ Tagen dokumentiert.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen war in 17/21 Fällen (81 %) eine postoperative Aufnahme auf die Intensivstation notwendig. Der längste Aufenthalt war mit 12 Tagen angegeben und der Kürzeste in 11/21 Fällen (52 %) mit nur einem Tag. Durchschnittlich betrug die Verweildauer der auf der Intensivstation $1,82 \pm 2,72$ Tage.

Bei kombiniertem Verfahren war in 2/3 (66,7 %) Fällen nach einem der Eingriffe eine Aufnahme für durchschnittlich $3,3 \pm 4,16$ Tage auf die Intensivstation notwendig. Der längste Aufenthalt war mit sieben Tagen und der Kürzeste mit einem Tag angegeben. Nach dorsaler Versorgung betrug die durchschnittliche Verweildauer auf der Intensivstation $1,5 \pm 1,73$ Tage und nach ventraler Versorgung $2,67 \pm 3,79$ Tage. In einem Fall konnte aus den vorliegenden Akten nicht sicher eruiert werden, ob es zu einer Intensivaufnahme gekommen ist.

Betrachtet man die dorsalen Eingriffe beider Verfahren zusammen, beträgt die durchschnittliche Verweildauer auf der Intensivstation $1,75 \pm 2,61$ Tage.

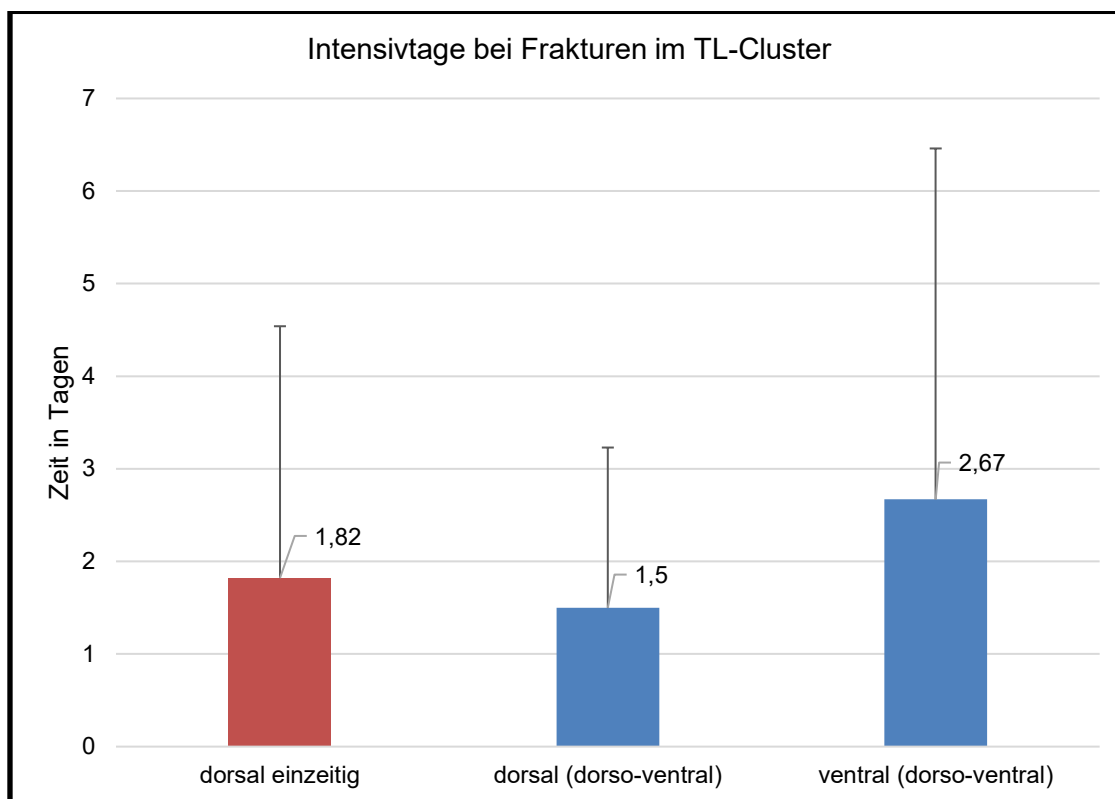


Abb. 4-36 Intensivtage TL-Cluster

4.4.4.9 Krankenhausverweildauer

Bei einer operativen Versorgung im TL-Cluster verbrachten die Patienten durchschnittlich $20,4 \pm 13,06$ Tage im Krankenhaus.

Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen betrug die durchschnittliche Krankenhausverweildauer $18,1 \pm 11,69$ Tage. Die kürzeste Verweildauer betrug neun und die Längste 66 Tage.

Bei dorso-ventralen Eingriffen betrug die Verweildauer im Durchschnitt $32,5 \pm 14,89$ Tage. Hier betrug die kürzeste Verweildauer 16 und die Längste 52 Tage.

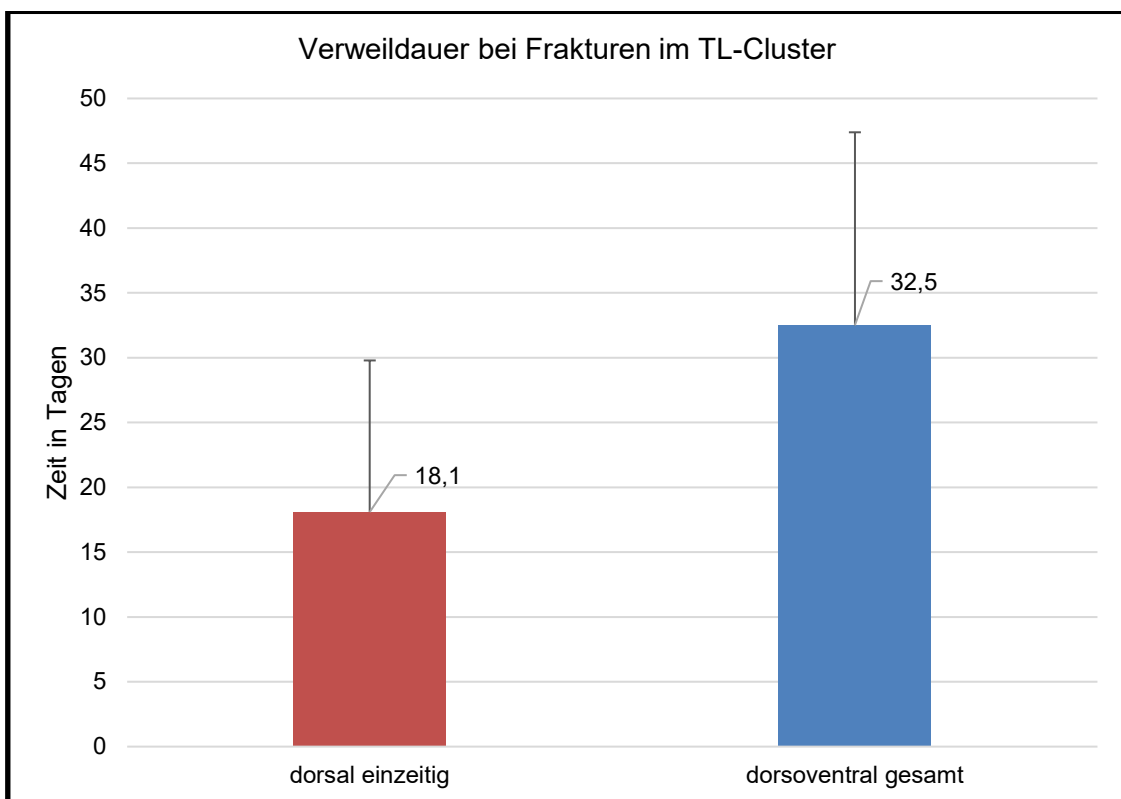


Abb. 4-37 Verweildauer TL-Cluster

4.5 Mortalität

Intrahospitale Mortalität

Insgesamt verstarben 3/52 Patienten während ihres Krankenhausaufenthaltes. Die intrahospitale Mortalität beträgt somit 5,8 %. Es sind ausschließlich Patienten des ZT-Clusters während ihres stationären Aufenthaltes verstorben.

Überlebensrate

Es wurden 49 Anfragen an die zuständigen Meldeämter gesendet. In 17 Fällen gab es auch auf mehrfache Anfrage keine Rückmeldung. In 32 Fällen haben die Meldeämter geantwortet, wovon 6 Antworten nicht verwertbar sind. Demnach liegen in 26 Fällen verwertbare Daten hinsichtlich der Überlebenszeit vor. Der Beobachtungszeitraum beginnt jeweils mit dem Tag der ersten operativen Versorgung nach Trauma. Endpunkt des Beobachtungszeitraums ist entweder der Tod des Patienten oder das Datum der Meldeamtsauskunft, aus der hervorgeht, dass der Patient noch lebt. Der längste Beobachtungszeitraum bis zum Tod eines Patienten ist 14,89 Jahre. Der längste Beobachtungszeitraum ohne Tod des Patienten beträgt 14,02 Jahre. Im Mittelwert betrug die Überlebenszeit 9,07 Jahre (Standardfehler 1,16 Jahre). Im Median überlebten die Patienten 8,51 Jahre (Standardfehler 2,93 Jahre).

Innerhalb des ersten Jahres ist keiner der Patienten verstorben. Die 2-Jahres-Überlebensrate beträgt 96 % und entspricht einer 2-Jahres Mortalität von 4 %. Die 5-Jahres-Überlebensrate beträgt 69 % und entspricht einer 5-Jahres-Mortalität von 31 %. Die 10-Jahres-Überlebensrate beträgt 48 % und entspricht einer 10-Jahres-Mortalität von 52 %. Die 14-Jahres-Überlebensrate beträgt 40 % und entspricht einer 14-Jahres-Mortalität von 60 %.

Die detaillierten Daten sind der Tabelle 4-12 Überleben seit operativer Versorgung zu entnehmen.

Tabelle 4-12 Überleben seit operativer Versorgung

Ereignisnr.	Zeit*	Ereignis**	Kumulierter Anteil Überlebender zum Zeitpunkt		Anzahl der kumulativen Ereignisse	Anzahl der verbliebenen Fälle
			Schätzer	Standardfehler		
1	1,919	1	,962	,038	1	25
2	2,138	1	,923	,052	2	24
3	2,324	1	,885	,063	3	23
4	2,483	1	,846	,071	4	22
5	2,587	1	,808	,077	5	21
6	2,787	1	,769	,083	6	20
7	4,096	1	,731	,087	7	19
8	4,233	0	.	.	7	18
9	4,372	1	,690	,091	8	17
10	5,040	0	.	.	8	16
11	5,164	0	.	.	8	15
12	5,196	0	.	.	8	14
13	5,311	1	,641	,097	9	13
14	5,708	1	,592	,101	10	12
15	6,078	0	.	.	10	11
16	6,223	1	,538	,105	11	10
17	7,806	0	.	.	11	9
18	8,512	1	,478	,109	12	8
19	9,697	0	.	.	12	7
20	10,609	0	.	.	12	6
21	10,883	1	,398	,117	13	5
22	11,674	0	.	.	13	4
23	11,923	0	.	.	13	3
24	12,003	0	.	.	13	2
25	14,023	0	.	.	13	1
26	14,891	1	,000	,000	14	0

Anmerkung. Ereignisnr. = Ereignisnummer. * Zeit in Jahren. ** 0 = Ende des Beobachtungszeitraumes durch Auskunft des Meldeamtes (Patient lebt noch), 1 = Ende des Beobachtungszeitraumes durch Tod des Patienten.

Es wurde eine Kaplan-Meier-Kurve für das gesamte Kollektiv erstellt, um die Überlebensrate bildlich darzustellen. Darüber hinaus wurden die Überlebensraten nach den eingeteilten Clustern aufgeschlüsselt, um mögliche Unterschiede erkennen und darstellen zu können. Der Unterschied der Überlebensverteilung der Cluster ist nicht signifikant.

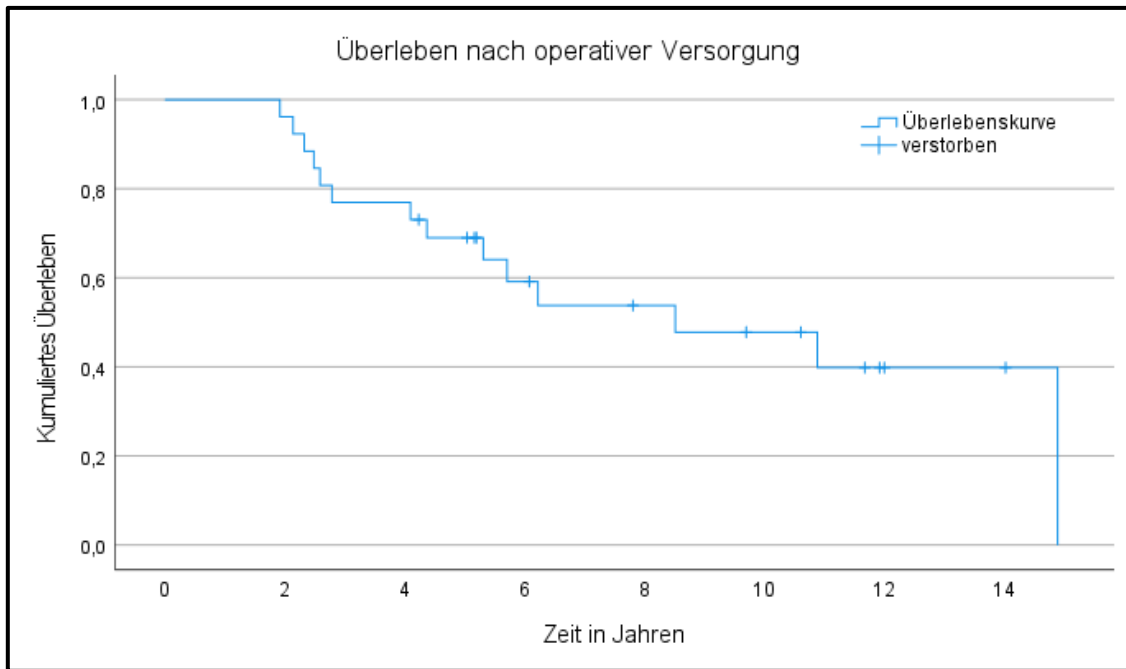


Abb. 4-38 Überleben nach operativer Versorgung

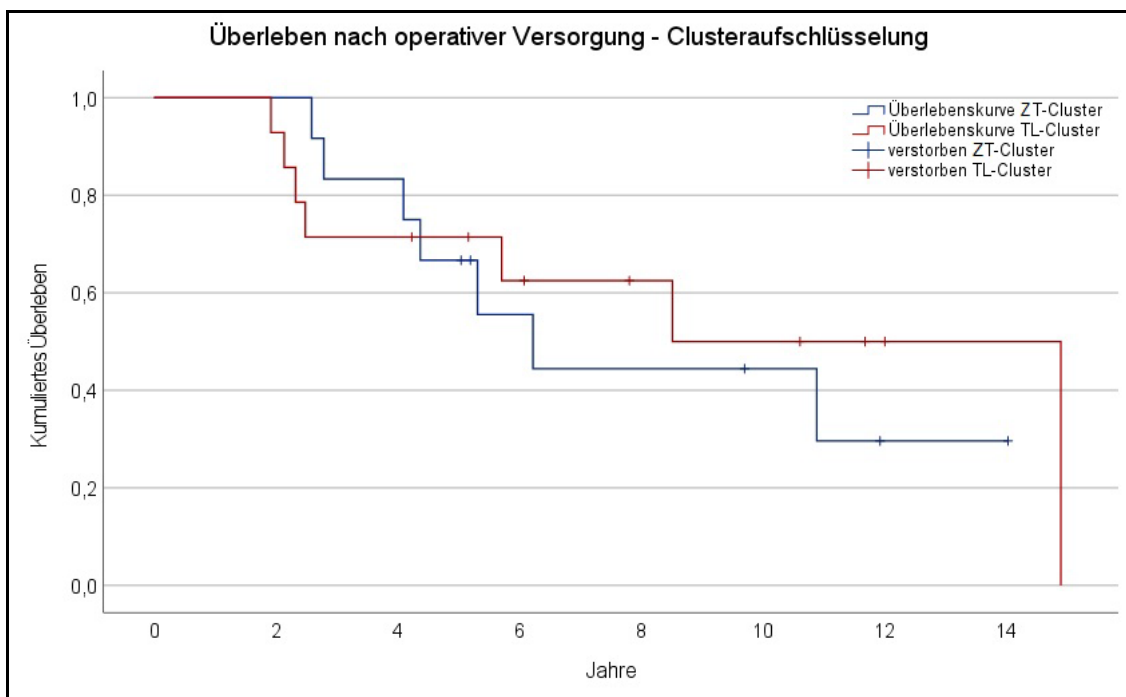


Abb. 4-39 Überleben nach operativer Versorgung – Clusteraufschlüsselung

5 DISKUSSION

Die durchgeführte Studie umfasst eine Gesamtzahl von 52 SA-Patienten mit insgesamt 71 Wirbelkörperfrakturen. Eine retrospektive Kohortenstudie zu Wirbelsäulenfrakturen bei SA von Backhaus et al. mit 126 Patienten ist die einzige monozentrische Studie in der aktuellen Literatur, die mehr SA-Patienten untersuchte.¹²⁹ Diese Arbeit befasste sich ebenfalls im Schwerpunkt mit der Epidemiologie der betroffenen SA-Patienten und den Verletzungs- sowie Behandlungsdetails. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Arbeiten mit Kollektivgrößen zwischen sechs und 37 Patienten.^{85,88,113,114,116-119,125,126,128,130,135-141} Schiefer et al. untersuchte retrospektiv den Verlauf des neurologischen Status von SA-Patienten mit Wirbelkörperfraktur bei insgesamt 92 Patienten,¹⁴² Caron et al. untersuchte retrospektiv 75 Patienten nach Wirbelkörperfrakturen,¹²¹ Moussallem et al. verglichen retrospektiv verschiedene OP-Verfahren in 41 Fällen mit Wirbelfrakturen¹⁴³ und Vazan et al. untersuchte retrospektiv die Diagnostik und Therapie von 41 Fällen mit Wirbelkörperfrakturen.¹⁴⁴ Alle diese Studien haben jedoch gemein, dass sie auch Patienten mit einer diffusen idiopathischen skelettalen Hyperostose (DISH) in die Studie inkludiert haben. Diese Studien hatten in ihren Populationen einen DISH-Anteil von mindestens 41 %. Es finden sich in der Literatur noch eine Literaturübersichtsarbeit von Westerveld et al. zu Wirbelkörperfrakturen mit 345 SA-Patienten und eine Auswertung einer US-amerikanischen Patientendatenbank von Lukasiewicz et al. zu Wirbelfrakturen bei SA mit 939 Patienten.^{115,145} Alle größeren Vergleichsstudien waren ebenfalls retrospektiv konzipiert. Ein längerer Beobachtungszeitraum als bis zur Rehabilitation fand nicht statt und Nachuntersuchungen sind in der Literatur eine Rarität.¹³⁷ Hinsichtlich der Detailliertheit bzw. der Menge der untersuchten Variablen sind nur einige Arbeiten mit der vorliegenden Arbeit vergleichbar.^{115,121,129,137,142-144} Die vorliegende Arbeit gehört somit zu den größten und differenziertesten monozentrischen Arbeiten, welche ausschließlich Patienten mit SA beschreibt.

5.1 Diskussion des Patientenkollektivs

Die vorliegenden Daten wurden im Laufe des Jahres 2017 aus dem Krankenhausinformationssystem des Universitätsklinikums Köln ausgelesen. Aufgrund dessen gibt es in dieser Arbeit keine Fälle, die nach dem 31.12.2016 behandelt worden sind. Ein Beobachtungszeitraum von zehn Jahren wurde gewählt, um einer zu kleinen Kohorte vorzubeugen. Spondylitis ankylosans ist insgesamt eine seltene Erkrankung. Die Exklusion der vier Aufrichtungsspondylodesen erfolgte, weil die operativen Voraussetzungen hierfür andere sind und perioperativ mehr Zeit zur Verfügung steht, um einen Patienten optimal

vorzubereiten. Vier weitere Fälle mit Anschlussinstabilität wurden ausgeschlossen, weil diese Patienten voroperiert waren und somit andere Ausgangsbedingungen herrschten. Traumatische Wirbelkörperfrakturen bei Spondylitis ankylosans sind in der überwiegenden Mehrzahl hochinstabile 3-Säulen-Verletzungen und müssen deswegen schnellstmöglich operativ versorgt werden.¹⁴⁶ Insgesamt wurden somit acht Fälle exkludiert, um das Patientenkollektiv zu homogenisieren und vergleichbar zu machen.

5.2 Diskussion der epidemiologischen Daten

5.2.1 Geschlechterverteilung

Generell wird bei Spondylitis ankylosans das Geschlechterverhältnis von Männern zu Frauen in etwa mit 2:1 beschrieben.⁷³ Bei einer Auswertung einer Patientendatenbank durch Kang et al. mit Fokus auf Nebenerkrankungsprofile von 11701 SA-Patienten zeigte sich ein Geschlechterverhältnis von 79 % Männern zu 21 % Frauen.¹⁴⁷

Das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Kollektiv von SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen bestand zu 90 % aus Männern. Dies entspricht genau der Verteilung, die in der Literaturübersichtsarbeit von Westerveld et al. zu Wirbelkörperfrakturen bei SA beschrieben worden ist.¹¹⁵ Neuere bzw. in der o.g. Arbeit nicht inkludierte Studien zeigten einen Männeranteil von 79 bis 94 % mit Wirbelkörperfrakturen bei SA-Patienten.^{88,117,126,129,143} Somit zeigt sich ein deutlich häufigeres Auftreten von Frakturen bei Männern, als es die eigentliche Geschlechterverteilung bei SA erwarten ließe.

Auch in Arbeiten, welche ein Kollektiv ohne SA beschreiben, findet sich ein häufigeres Auftreten von Wirbelkörperfrakturen bei Männern. Diese Arbeiten zeigen einen Männeranteil zwischen 60 und 70 %.^{20,148-150} Dennoch liegt der beobachtete Männeranteil über der durchschnittlichen Geschlechterverteilung einer Normalpopulation.

Frauen, die unter SA leiden, verspüren insgesamt einen höheren Leidensdruck und ihre funktionelle Einschränkung ist bei gleichem radiologischen Befund höher als bei Männern.^{151,152} Dies lässt die Vermutung zu, dass Frauen mit SA sich ihrer Erkrankung bewusster sind und dadurch ein höheres Krankheits- und Risikobewusstsein besitzen, was wiederum zur Frakturvermeidung beiträgt. Darüber hinaus haben männliche Patienten mit SA insgesamt ausgeprägtere radiologisch nachweisbare Veränderungen der Wirbelsäule¹⁵² und es gibt für alle Spondylarthropathien einen Zusammenhang zwischen dem männlichen Geschlecht und einer geringeren Knochendichte.¹⁵³ Beide Faktoren begünstigen das frühzeitige Auftreten von Frakturen bei Männern.

5.2.2 Altersverteilung

Die Literaturübersichtsarbeit von Westerveld et al. und die Auswertung einer Patientendatenbank von Lukasiewicz et al. beschrieben Durchschnittsalter von 59 bis 68 Jahren bei Frakturfeststellung.^{115,145} Weitere Arbeiten zu dem Thema führten Durchschnittsalter von 55 bis 67 Jahren auf.^{85,88,116,117,129} Moussallem et al. beobachtete ein Kollektiv, welches durchschnittlich 75 Jahre alt war, aber nur zu 42 % aus Patienten mit SA bestand.¹⁴³

Das Durchschnittsalter des vorliegenden Gesamtkollektivs betrug 72 Jahre. Der Median lag bei 75 Jahren. Eine Ablenkung des Durchschnitts durch statistische Ausreißer nach oben ist dadurch als gering einzustufen. Nur Bredin et al. konnten, in einer Studie mit 31 SA-Patienten und thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen, ein älteres Kollektiv mit einem Durchschnittsalter von 75 Jahren beschreiben.¹³⁸

Ein Grund für das beobachtete hohe Durchschnittsalter ist möglicherweise das höhere Lebensalter der weiblichen Patienten. Diese wiesen zum Zeitpunkt der Wirbelkörperfraktur ein Durchschnittsalter von 82 Jahren auf, wohingegen die Männer im Durchschnitt 71 Jahre alt waren. Bereits in frühen Krankheitsstadien aller Spondylarthropathien zeigt sich ein Zusammenhang zwischen dem männlichen Geschlecht und einer geringeren Knochendichte, welche Frakturen begünstigt.¹⁵³ Dies erklärt zum Teil das frühere Auftreten von Wirbelkörperfrakturen beim Mann. Eine weitere mögliche Erklärung ist, dass die Spondylitis ankylosans bei Frauen, zumindest hinsichtlich radiologisch erfassbarer Kriterien, erheblich langsamer voranschreitet und die Versteifung weniger vollständig ist.¹⁵⁴

Auch in einem sonst gesunden Kollektiv zeigt sich ein im Mittel um fünf Jahre früheres Auftreten einer Wirbelkörperfraktur bei Männern.²⁰ Ursächlich ist vermutlich ein risikoreicheres Verhalten bei der Wahl der Fortbewegungsmittel und der häufigere Konsum von Alkohol.¹⁵⁵

Das Durchschnittsalter für Wirbelkörperfrakturen in der Normalpopulation beträgt 44 Jahre und liegt somit deutlich unter dem von SA-Patienten,²⁰ wo die Wirbelkörperfraktur eine Verletzung des älteren Menschen darstellt. Das untersuchte Kollektiv ist eines der ältesten, das ausschließlich Patienten mit SA beschreibt.

5.2.3 Körpergröße und Body-Mass-Index

Körpergröße

Im Gesamtkollektiv betrug die Durchschnittskörpergröße 1,71 Meter. Eine Studie von Maksymowych et al., welche sich mit Mobilitätsmaßen bei SA beschäftigte, hat u.a. die Körpergröße miterfasst. Sie ermittelten eine durchschnittliche Größe von 1,72 Metern.¹⁵⁶ Die Durchschnittsgröße einer entsprechenden Altersgruppe in Deutschland beträgt 1,70 m.¹⁵⁷ Somit liegt der in dieser Arbeit beobachtete Wert zwischen beiden Angaben. Dies ist überraschend, da man aufgrund der Pathologie der Krankheit davon ausgeht, dass es zu einer Abnahme der Körpergröße kommt.¹⁵⁸

Body-Mass-Index

Im Gesamtkollektiv betrug der durchschnittliche BMI $27,58 \text{ kg/m}^2$. Er liegt oberhalb des Altersgruppendurchschnitts von $26,9 \text{ kg/m}^2$ der übrigen deutschen Bevölkerung.¹⁵⁹ Fettleibigkeit ist bei Patienten mit SA häufiger zu finden als in der Durchschnittsbevölkerung und ist mit einem insgesamt schlechteren klinischen Outcome assoziiert.¹⁶⁰ Außerdem ist beschrieben, dass SA-Patienten mit einem erhöhten BMI subjektiv eine stärkere Krankheitsintensität und eine größere funktionelle Einschränkung vorweisen.¹⁶¹ BMI-Werte sind in der Literatur für SA-Patienten zwar häufig, aber meistens für ein wesentlich jüngeres Patientenkollektiv erfasst worden. Deswegen lassen sich diese Werte nur beschränkt vergleichen. Moussallem et al. beschrieben ein ähnlich altes Kollektiv mit Wirbelkörperfrakturen. Sie dokumentierten einen Durchschnitts-BMI von $29,97 \text{ kg/m}^2$ in ihrem Kollektiv, welches aber nur 42 % SA-Patienten beinhaltete.¹⁴³

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die erhobenen Daten durch Selbstauskunft der Patienten gewonnen wurden oder geschätzt worden sind. Schätzungen des Körpergewichts durch Krankenhauspersonal stimmen nur zu etwa einem Drittel mit dem tatsächlichen Gewicht überein.¹⁶² Die Erfahrung im klinischen Alltag zeigt, dass Patienten nur selten tatsächlich vermessen und gewogen werden. Werte werden häufig geschätzt oder erfragt. Ausschließlich anamnestisch erhobene Daten sollten stets kritisch hinterfragt und im Idealfall nachgemessen werden. Männer neigen eher dazu, ihre Körpergröße höher anzugeben und Frauen geben häufig ihr Gewicht niedriger an.¹⁶³ Mit höherem Alter weichen die Daten der Selbstauskunft noch wesentlich stärker von den tatsächlichen Werten ab.¹⁶⁴ Bei SA-Patienten ist auch die zunehmende Kyphose zu berücksichtigen. Diese wirkt sich deutlich auf die tatsächliche Gesamtkörpergröße aus und wird vermutlich durch den Patienten nicht bedacht, wenn er nach seiner Körpergröße gefragt wird. Es ist zu vermuten, dass Patienten anamnestisch eine Körpergröße aus einer vergangenen, beschwerdefreien Zeit angeben. Ein Hinweis dafür ist, dass die vorliegende durchschnittliche Körpergröße der der Gesamtbevölkerung aus

derselben Altersklasse entspricht. Es ist davon auszugehen, dass die Körpergröße insgesamt als zu groß dokumentiert und somit der BMI als zu niedrig ermittelt wurde. Genaue Angaben der Körpergröße und des Gewichts können aber für die Behandlung relevant sein. So kann beispielsweise die Auswahl eines geeigneten Implantats von der Körpergröße abhängig sein. Ebenso ist eine korrekte körperrgewichtsadaptierte Medikamentengabe im Rahmen der Narkoseführung bei diesem meist multimorbiden Patientenkollektiv essentiell.

Für zukünftige Studien in diesem Themengebiet wäre es wünschenswert, wenn eine tatsächliche Messung dieser Werte durchgeführt würde. Durch validere Angaben könnte überprüft werden, inwiefern anamnestisch erfasste Daten tatsächlich der Wahrheit entsprechen.

5.2.4 Mobilität vor Unfall

84 % des in dieser Arbeit untersuchten Kollektivs waren vor dem Unfall noch uneingeschränkt gehfähig. Acht Prozent konnten sich mit einem Hilfsmittel, beispielsweise einem Rollator oder Gehstock, frei bewegen. Somit waren 92 % der hier untersuchten Patienten nur leicht in ihrer Mobilität eingeschränkt. Dies entspricht der Beobachtung einer Studie von Carette et al. aus dem Jahr 1983, welche sich mit dem natürlichen Krankheitsverlauf von SA befasste. Hier wurden 150, im Durchschnitt 62 Jahre alte Patienten mit SA untersucht. In dieser Studie konnten ebenfalls 92 % der Patienten ihren Alltag ohne bzw. mit nur leichten Einschränkungen bestreiten.⁹¹ Trotz des um zehn Jahre höheren Durchschnittsalters zeigt sich das vorliegende Kollektiv in seiner Mobilität nicht eingeschränkter. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die seit Mitte 2000 in Europa zugelassene Anti-TNF-Alpha-Therapie. Es ist anzunehmen, dass ein Großteil der Patienten mit dieser therapiert worden sind. Unter Anti-TNF-Alpha-Therapie zeigen SA-Patienten eine deutliche Symptomlinderung und Zunahme der körperlichen Aktivität.¹⁶⁵ Schiefer et al. beschrieben 2015 nur 65 % eines US-amerikanischen SA-Kollektivs als gehfähig.¹⁴² Der Grund dafür ist vermutlich der vergleichsweise hohe Anteil an nicht versicherten US-Amerikanern, welche nur eingeschränkt Zugang zu einer effizienten Therapie haben.¹⁶⁶ Diese Ergebnisse lassen augenscheinlich einen geringen Leidensdruck vermuten. Jedoch haben fragebogengestützte Untersuchungen hinsichtlich Mobilität und Selbstversorgung gezeigt, dass sich mehr als 50 % der über 48-jährigen SA-Patienten bereits eingeschränkt fühlen.¹⁶⁷

5.2.5 Vorerkrankungen

19 % der Patienten der vorliegenden Arbeit haben neben Spondylitis ankylosans keine weiteren Vorerkrankungen. Betrachtet man einen Patienten mit zwei oder mehr Vorerkrankungen als multimorbide und zählt die rheumatoide Grunderkrankung als solche dazu, so handelt es sich bei der untersuchten Gruppe zu 81 % um ein multimorbides Patientenkollektiv.¹⁶⁸ Die Durchschnittsbevölkerung in Deutschland zeigt in derselben Altersgruppe eine Multimorbidität von etwa 69 %.¹⁶⁹ Somit sind die beobachteten Patienten als insgesamt kränker einzustufen als der deutsche Durchschnitt, was sich mit der Annahme deckt, dass SA-Patienten generell als morbider gelten. Die Auswertung einer Patientendatenbank von Kang et al., die sich mit den Nebenerkrankungsprofil von 11701 SA-Patienten beschäftigt hat, zeigte bereits bei einem Kollektiv, in dem 77 % der untersuchten Patienten jünger als 45 Jahre waren eine höhere Wahrscheinlichkeit für behandlungspflichtige Nebenerkrankungen.¹⁴⁷

Die Literatur zeigt, dass bei SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen die Nebenerkrankungen zwar häufig, aber nicht einheitlich erfasst werden. Dies führt zu unterschiedlichen Angaben hinsichtlich der Morbidität. In der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt acht verschiedene Nebenerkrankungen erfasst. Einsiedel et al. dokumentierten für 37 SA-Patienten mit Halswirbelkörperfrakturen vier mögliche Nebenerkrankungen und hatten demnach zu 49 % Patienten mit einer oder mehreren Begleiterkrankungen.¹²⁶ Backhaus et al. erfassten Nebendiagnosen in vier Gruppen und beschrieben für 60 % ihres Kollektivs behandlungspflichtige Nebendiagnosen.¹²⁹ Caron et al. listeten sechs verschiedene Nebenerkrankungen auf,¹²¹ wovon 81 % der Patienten mindestens eine vorwiesen und Lukasiewicz et al. beschrieben die fünf häufigsten Nebendiagnosen, welche in mindestens 57 % der Fälle zutrafen.¹⁴⁵

Die in der vorliegenden Arbeit beobachtete Morbidität entspricht der Literatur, liegt aber mit 81 % am oberen Ende. Ursächlich dafür ist wahrscheinlich, dass das beobachtete Patientenkollektiv im Durchschnitt älter war als in den Vergleichsarbeiten. Der durchschnittliche Altersunterschied beträgt ca. fünf und in einigen Fällen sogar zehn Jahre.^{121,129,145,170}

Mit einer zunehmenden Anzahl an erfassten Diagnosen wird ein Kollektiv präziser beschrieben. Das gewählte System mit acht Vorerkrankungen ist gut anwendbar und gibt einen guten Überblick über die Morbidität der Patienten.

Hinsichtlich der Art der Vorerkrankungen entsprechen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit größtenteils denen der Literatur. Am aussagekräftigsten ist hier die Studie von Lukasiewicz et al., welche im Rahmen einer Patientendatenbankauswertung retrospektiv 939 Patienten mit

SA und Wirbelfrakturen untersuchte. Hier wurden die arterielle Hypertonie in 58 %, Diabetes mellitus in 21 % und chronische Lungenerkrankungen in 17 % der Fälle beschrieben.¹⁴⁵ Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten lag eine arterielle Hypertonie in 58 %, ein Diabetes mellitus in 27 % und eine COPD in 2 % der Fälle vor. Zuletzt genannte Inzidenz ist im Vergleich niedriger, weil in der vorliegenden Arbeit nur die COPD und keine weitere Lungenerkrankung miterfasst wurde. Malignomleiden wurden von Lukasiewicz et al. nicht aufgeschlüsselt, fanden sich aber bei Caron et al. in 8 % der Fälle.¹²¹ Malignomleiden konnten in der vorliegenden Arbeit bei 17 % der Patienten beobachtet werden. Die höhere Zahl erklärt sich durch das um zehn Jahre höhere Durchschnittsalter, welches mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für ein Krebsleiden einhergeht.

5.2.6 Metabolisches Äquivalent

Das metabolische Äquivalent wurde in der Literatur bis heute noch nicht in Zusammenhang mit SA erhoben. Somit sind die Angaben dieser Auswertung einzigartig.

Um Aussagen über die körperliche Belastbarkeit der Patienten machen zu können, wird deren Lebensqualität üblicherweise sehr umständlich mithilfe von Fragebögen festgestellt.¹⁷¹ Dies ist in einer Notfallsituation nicht zweckmäßig. Das MET wird routinemäßig durch den prämedizierenden Anästhesisten erfragt und ist einfach zu erheben. Seine Schwächen liegen darin, dass er im klinischen Alltag oft subjektiv und dadurch inadäquat bestimmt wird sowie anamnestisch die körperliche Belastbarkeit des Patienten im Vergleich zur Belastungsmessung häufig als zu niedrig eingeschätzt wird.^{172,173} Die Patienten des untersuchten Kollektivs konnten aufgrund der Frakturinstabilität sehr wahrscheinlich keine Belastungstests über sich ergehen lassen. Somit ist die Bestimmung des MET mit hoher Wahrscheinlichkeit anamnestisch erfolgt und konnte nicht durch eine Testung validiert werden. 45 % der beobachteten Patienten wiesen ein MET von fünf oder größer auf. Dies deckt sich mit der Beobachtung von Carette et al., wonach Patienten mit SA zu 42 % dazu in der Lage sind, ihren alltäglichen Aktivitäten nachzugehen.⁹¹

Ein korrekt erhobenes MET ist ein guter Prädiktor für perioperative Komplikationen bei älteren Patienten und ein MET ≤ 4 ist mit einem längeren Krankenhausaufenthalt assoziiert.^{174,175} Diese Tatsachen sind von interdisziplinärem Interesse hinsichtlich der gesamten perioperativen Planung, weswegen das MET auch von der operativen Abteilung berücksichtigt werden sollte. Aufgrund der geringen Fallzahl konnten in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Zusammenhänge zwischen MET und dem Patientenoutcome nachgewiesen werden. Es wäre wünschenswert, dass dieser Parameter bei zukünftigen Studien mit erhoben wird, um dessen Validität für dieses Patientenkollektiv überprüfen zu können.

5.2.7 ASA-Klassifikation

Die ASA-Klassifikation wurde bis dato in der Literatur nur selten im Zusammenhang mit SA erhoben. Patienten mit SA sind oft multimorbide. Anhand eines ASA-Durchschnittswertes kann die Morbidität eines gesamten Kollektivs mit einem einzigen Wert beschrieben werden. Hiermit ist eine direkte Vergleichbarkeit mit anderen Kollektiven möglich. Der durchschnittliche ASA-Wert im untersuchten Kollektiv betrug 2,9 bei einem Durchschnittsalter von 72 Jahren.

Zu SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen sind nur in drei weiteren Arbeiten ASA-Werte miterfasst worden. Olerud et al. beschrieben einen Wert von 1,95 bei einem Durchschnittsalter von 60 Jahren,⁸⁵ Vazan et al. einen Wert von 2,7 bei einem Durchschnittsalter von 73 Jahren¹⁴⁴ und Bredin et al. einen Wert von 2,66 bei einem Durchschnittsalter von 75 Jahren.¹³⁸ Daraus ergibt sich, dass das vorliegende Kollektiv, gemessen am höheren ASA-Wert, deutlich morbider ist als das Kollektiv von Olerud et al. und ähnlich morbide wie das Kollektiv von Bredin und Vazan et al.. Der ASA-Wert korreliert in allen Fällen vermutlich mit dem Patientenalter.

Neben dem Nutzen für die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Arbeiten, kann der ASA-Wert individuell genutzt werden, um innerhalb eines Kollektivs eine Graduierung vorzunehmen. Bei der Fülle an möglichen Vorerkrankungen hilft die Einfachheit des individuellen ASA-Wertes, den Überblick zu behalten und die potentiell risikoreicheren Fälle zu erkennen. 75 % der beobachteten Patienten hatten einen ASA-Wert von drei oder höher. Bei sonst gesunden Patienten korreliert ein hoher ASA-Wert mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität im Falle einer Wirbelsäulenoperation¹⁷⁶ sowie mit einer erhöhten 30-Tage-Wiederaufnahmerate bei operativ versorgten Frakturen.¹⁷⁷ Insgesamt haben Patienten mit einem höheren ASA-Wert längere Liegezeiten auf der Intensivstation, eine längere Krankenhausverweildauer,^{178,179} wesentlich höhere Raten an postoperativen Komplikationen und eine höhere Mortalität gegenüber Patienten mit niedrigeren ASA-Werten.¹⁸⁰

In einer anderen Studie von Olerud et al. zum Thema Halswirbelfrakturen bei älteren Menschen, die 20 % Patienten mit SA beinhaltete, wurde ein klarer Zusammenhang zwischen einem hohen ASA-Wert und der Wahrscheinlichkeit, an einer Halswirbelkörperfraktur zu versterben, festgestellt.¹⁸¹ Er ist generell ein valides Messinstrument, um perioperative Risiken abzuschätzen und dient als Prädiktor für das postoperative Outcome.^{180,182}

Der ASA-Wert wird bei jedem Patienten routinemäßig durch den Anästhesisten erhoben und erfordert keine weiteren Arbeitsschritte. Er ist ein universell vorliegender, einfach zu bestimmender Parameter, welcher zur präziseren Planung der Behandlung herangezogen werden kann. Potentielle Risikopatienten können somit leichter identifiziert werden und zielgerichtet therapiert werden. Deswegen sollte er auch unbedingt zur Planung des perioperativen Managements von SA-Patienten herangezogen werden. Darüber hinaus kann er genutzt werden, um verschiedene Patientenkollektive vergleichbar zu machen.

Aufgrund der geringen Fallzahl konnten in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Zusammenhänge zwischen ASA-Wert und Patientenoutcome nachgewiesen werden. Es wäre wünschenswert, diesen Parameter in zukünftigen Studien mitzuerheben, um dessen Validität für dieses Patientenkollektiv überprüfen zu können.

5.3 Diskussion der unfallbezogenen Daten

5.3.1 Unfallmechanismus

Die gesamte Literatur zu Wirbelkörperfrakturen bei SA beschreibt Bagateltraumata als die häufigste Ursache für eine Fraktur. Zum größten Teil handelt es sich dabei um einen einfachen Sturz aus dem Stand oder aus dem Sitzen. In 66 % der Fälle konnte in der vorliegenden Arbeit ein einfacher Sturz als Unfallursache bestimmt werden. Zusammen mit zwei weiteren Ereignissen aus der Kategorie „Sonstige Frakturursachen“ (Lagerungsmaßnahme, Atemwegssicherung) kann in 70 % der vorliegenden Fälle ein Bagateltrauma als Ursache beschrieben werden. Westerveld et al. beschrieben in einer Literaturübersichtsarbeit eine Häufigkeit von 66 %.¹¹⁵ Andere Arbeiten schildern ebenfalls in 44–90 % der Fälle eine hohe Inzidenz von banalen Traumamechanismen.^{85,88,116,121,126,129,142} Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen den Angaben der Literatur und zeigen, dass bei SA-Patienten eine geringe Krafteinwirkung genügt, um eine Fraktur zu verursachen. Eine vergleichbare Krafteinwirkung hätte bei wirbelsäulengesunden Personen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht zu einer Wirbelkörperfraktur geführt. Der Hauptgrund dafür sind die pathoanatomischen Veränderungen der Wirbelsäule, die auf einen äußeren Reiz nicht mehr adäquat reagieren kann. Durch die Ossifikation der Bandstrukturen entlang der Wirbelsäule kann diese nur noch sehr eingeschränkt dynamisch reagieren. Die Bewegung ist so schnell an ihrem Maximum angelangt woraufhin die Wirbelsäule nur noch statisch reagieren kann. Diese statische Reaktion führt dann, auch bedingt durch das hohe Alter und die meist begleitende Osteoporose, schnell zur Fraktur. Das beobachtete Patientenkollektiv ist durchschnittlich 72 Jahre alt. Im hohen Alter neigen Menschen im Alltag häufiger zu Stürzen. Durch die mit dem Alter zunehmenden degenerativen Prozesse kann das neuromuskuläre System nicht mehr ausreichend auf Störimpulse wie beispielsweise das Stolpern reagieren. Eine vergleichbare Altersgruppe aus der Normalbevölkerung hat hingegen bei Verletzungen der Halswirbelsäule meist einen Verkehrsunfall als Ursache.¹⁸³

Neben dem Alter müssen weitere Faktoren für die erhöhte Zahl an Stürzen als Frakturursache bei SA-Patienten beteiligt sein. Die Wirbelsäule ist wesentlich vulnerabler gegenüber einem Trauma als die einer wirbelsäulengesunden Normalpopulation. Zudem ist der Patient nicht

mehr dazu in der Lage, adäquat auf ein Ereignis wie das Stolpern zu reagieren. Durch die Spinalkyphose verlagert sich der Körperschwerpunkt biomechanisch in der Sagittalebene nach vorne und unten. Diese Verlagerung wird durch den Patienten durch eine Hüft- und Kniebeugung kompensiert.^{89,184} Dies verringert den nötigen Bewegungsumfang, um sich selbst bei einem drohenden Sturz abzufangen. Zusätzlich ist die posturale Stabilität bei SA-Patienten insbesondere in der Frontalebene wesentlich verändert, was mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert sein kann.¹⁸⁵ Da die Hüftgelenke nicht mehr entscheidend zum reaktiven Gleichgewichtsprozess beitragen,⁸⁹ ist anzunehmen, dass die ebenfalls pathoanatomische Versteifung der Hüftgelenke an den häufigen Stürzen mitbeteiligt ist.¹²³ Außerdem ist durch die starke Kyphosierung der Wirbelsäule das Sichtfeld des Patienten deutlich eingeschränkt. Die Sicht ist auf den Bereich unterhalb der horizontalen Sichtlinie beschränkt und die Wahrnehmung des Bodens ist herabgesetzt.^{118,120} All diese Gründe tragen im Wesentlichen dazu bei, dass SA-Patienten anfälliger für einen banalen Sturz sind.

In 20 % der in der vorliegenden Arbeit beobachteten Fälle wurde ein adäquates Trauma als Unfallursache beschrieben. Die Literaturübersichtsarbeit von Westerveld et al. beschreibt selbiges in 31 % der Fälle,¹¹⁵ weitere Studien variieren in ihren Angaben von 10–50 %.^{85,88,117,129,143} Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit befinden sich demnach am unteren Ende der Literaturangaben. Ein möglicher Grund dafür ist das hohe Durchschnittsalter des vorliegenden Patientenkollektivs. Mit fortschreitendem Alter nimmt die körperliche Aktivität und damit auch das Risiko, sich einem adäquaten Trauma auszusetzen, ab. Dafür spricht auch der geringe Anteil an Verkehrsunfällen von nur sechs Prozent. Dies liegt im Vergleich zur Literatur deutlich unterhalb des sonst beschriebenen Anteils von 25–29 % und erklärt ebenfalls die Ursache für den niedrigeren Anteil an adäquaten Traumamechanismen.^{116,117} Die Beobachtung von 14 % Stürzen aus großer Höhe (4x Treppensturz, 2x Leitersturz, 1x Trampolinsturz) als Frakturursache gehen grob mit der Angabe von 21 % aus einer Arbeit von Zdichavsky et al. einher.¹¹⁷ Die Abweichung erklärt sich möglicherweise durch die geringere Stichprobengröße der Vergleichsarbeit von 32, welche diese anfälliger für Abweichungen der relativen Angaben macht.

In 10 % der vorliegenden Fälle konnten sich die Patienten an kein adäquates Trauma erinnern. Die Literatur zeigt hier ebenfalls viele Fälle von Frakturen bei SA ohne Trauma. So konnten Feldtkeller et al. in 25 %¹⁸⁶ und Fox et al. sogar in 57 % der Fälle anamnestisch kein Trauma nachvollziehen.¹¹⁸ Backhaus et al., mit dem bis dato größten Patientenkollektiv, konnten in 11 % der Fälle keine Aussage über den Unfallmechanismus treffen.¹²⁹ Es ist wahrscheinlich, dass viele Patienten den Moment der Fraktur, höchstwahrscheinlich aufgrund seiner Banalität, nicht bewusst wahrnehmen und sich deswegen nicht daran erinnern können. In der Literatur werden vereinzelt Frakturen beschrieben, welche durch sehr geringe Krafteinwirkung oder

normale Alltagsbewegungen ausgelöst werden. Aussteigen aus dem Auto, das Drehen des Kopfes, der Sturz aus dem eigenen Bett,¹²⁶ schweres Heben^{118,135} oder eine einfache Kopfbeugung reichen aufgrund der pathologischen Veränderungen an der Wirbelsäule aus, um eine Fraktur zu verursachen.¹¹⁷ Bei diesen Banalitäten ist es nicht weiter verwunderlich, dass ein großer Teil der Patienten sich nicht an ein adäquates Trauma erinnern kann. Hier wäre eine detaillierte, präventive Aufklärung aller SA-Patienten durch die betreuenden Hausärzte wünschenswert.

Besonderes Augenmerk muss auf iatrogene bzw. behandlungsassoziierte Unfallmechanismen gelegt werden. In einem vorliegenden Fall führte eine Lagerungsmaßnahme zur Fraktur. In einem weiteren Fall kam es durch die Atemwegssicherung zur Fraktur. Im Rahmen der Narkoseeinleitung und frustraner initialer Atemwegssicherung kam es zu einer Hypoxiebedingten Reanimation des Patienten. Die unter diesen Bedingungen forciert durchgeführte Atemwegssicherung wurde als Frakturursache dokumentiert. Die Kraft, die zur konventionellen bzw. direkten Laryngoskopie aufgebracht werden muss, reicht in Zusammenspiel mit der notwendigen Reklination der Halswirbelsäule aus, um bei SA-Patienten eine Fraktur der Halswirbelsäule zu verursachen. Auch hierzu sind bereits ähnliche Fälle in der Literatur beschrieben worden. In einer Studie führte die kardiopulmonale Reanimation zur Fraktur,¹²³ wobei aber nicht genau beschrieben wurde, ob die Thoraxkompression oder die Atemwegssicherung ursächlich war. In einer weiteren Studie wurden drei Fälle beschrieben, in denen die Intubation als Frakturursache definiert wurde.¹¹⁸ Die endotracheale Intubation wird durch die rigide Wirbelsäule und die Versteifung des kranio-mandibulären Gelenkes deutlich erschwert.^{187,188} Sie hat unter höchster Vorsicht und ohne exzessive Reklination der Halswirbelsäule zu erfolgen.^{118,136} Die direkte Laryngoskopie kann durch diese Einschränkungen erheblich erschwert sein. Schwierigkeiten beim Atemwegsmanagement bei einem bereits narkotisierten Patienten bergen, aufgrund der oben genannten pathoanatomischen Unterschiede der SA-Patienten, ein sehr hohes Risiko für eine akute Hypoxämie und einen damit verbundenen Herzkreislaufstillstand. Eine Wach-Intubation ist die sicherste Variante der Atemwegssicherung und kann fiberoptisch oder mittels Videolaryngoskopie durchgeführt werden.^{86,189,190} Sie sollte bei allen SA-Patienten, unabhängig für den Grund der Operation, als Standardverfahren genutzt werden. Sprechen Gründe wie zum Beispiel die Ablehnung des Patienten gegen eine Wach-Intubation, so hat die Atemwegssicherung in Narkose mithilfe eines Videolaryngoskops und idealerweise mit einem nasalen Endotrachealtubus zu erfolgen.¹⁹¹

5.3.2 Begleitverletzungen

In der vorliegenden Arbeit wurde in 12 % der Fälle eine Begleitverletzung registriert. In der Normalbevölkerung sind bei Wirbelkörperfrakturen Begleitverletzungen in fast der Hälfte der Fälle vorzufinden. Allerdings ist dort auch die Unfallursache in mehr als 70 % ein Sturz aus großer Höhe oder ein Verkehrsunfall.²⁰ Einsiedel et al. weisen zwar in ihrer Studie darauf hin, dass zusätzliche Verletzungen bei SA-Patienten häufig sind, meinen damit aber im Schwerpunkt weitere Frakturen der Wirbelsäule.¹²⁶ In einer Studie von Moussallem et al., die zum Teil SA-Patienten enthält, wurden zusätzliche Verletzungen in 23 % der Fälle dokumentiert.¹⁴³ Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liegen unterhalb dieser Angabe. Dies lässt sich durch den geringeren Anteil von Verkehrsunfällen (6 % vs. 23 %) als Unfallmechanismus erklären. Für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten sind die Begleitverletzungen der Tabelle 4-3 Begleitverletzung zu entnehmen. Aus dieser geht hervor, dass nur in einem einzigen Fall ein einfacher Sturz zu einer Begleitverletzung geführt hat. Alle weiteren dokumentierten Begleitverletzungen waren Folge eines energiereicheren Traumas. Bei entsprechend hoher Kinematik ist ein Auftreten von Begleitverletzungen nicht verwunderlich. Entsprechend der geringeren Energie beim Unfallmechanismus ist auch von einer geringeren Wahrscheinlichkeit für eine Begleitverletzung auszugehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Begleitverletzungen sind somit plausibel.

5.3.3 Neurologischer Status

73 % der beobachteten Patienten zeigten bei Aufnahme keine neurologischen Auffälligkeiten. Wirbelkörperfrakturen bei SA gelten als hochinstabil und werden in der Literatur immer mit einem hohen Risiko für neurologische Komplikationen assoziiert. Die häufige Zerreißung aller drei Säulen der Wirbelsäule geht mit einer Instabilität einher. Eine daraus resultierende Fehlstellung der Frakturrenden kann Rückenmarksverletzungen bzw. -kompressionen verursachen. Auch können Teile der ossifizierten Weichteilstrukturen, wie zum Beispiel das Ligamentum flavum, ausbrechen und nach Luxation das Rückenmark verletzen.¹²⁰ Man würde folglich erwarten, eine entsprechend hohe Anzahl an neurologischen Symptomen bei Erstvorstellung dieser Patienten zu finden. Die gemachten Beobachtungen widersprechen dieser Annahme. Die Angaben zur Häufigkeit von neurologischen Symptomen variiert in der Literatur immens. Eine Übersicht ist Tabelle 5-1 zu entnehmen. Der Hauptgrund für die große Variabilität in den Angaben ist häufig der geringe Stichprobenumfang. Eine Literaturübersichtsarbeit zu Wirbelkörperfrakturen bei SA beschreibt einen unauffälligen neurologischen Status in 32 % der Fälle.¹¹⁵ Auch weitere Studien zeigten neurologisch

beschwerdefreie Patienten in 24–57 % der Fälle.^{88,116,118,120,129} Allerdings zeigen andere Studien, vergleichbar mit der vorliegenden Arbeit, mit 71–80 % ähnlich hohe Raten an Patienten ohne neurologische Auffälligkeiten.^{113,142,143} Hervorzuheben ist eine Arbeit von Lukasiewicz et al., welche mit einer Fallzahl von 939 die bis dato größte Arbeit zum Thema ist. Diese retrospektive Kohortenstudie über SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen zeigte in 79 % der Fälle keine neurologischen Auffälligkeiten.¹⁴⁵ Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liegen am oberen Ende eines Großteils der Literaturangaben und sehr nah an den Angaben von Lukasiewicz et al.. Daraus lässt sich ableiten, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit schlüssig sind. Sie zeigen, dass die naheliegende Assoziation von instabiler Fraktur und auffälligem neurologischen Status falsch sein und den Behandler in die Irre führen kann. Eine bei Erstvorstellung fehlende Neurologie wiegt den Behandler in falscher Sicherheit. Bei einem SA-Patienten sollte nach einer äußeren Gewalteinwirkung unabhängig vom neurologischen Erstbefund stets von einer instabilen Fraktur ausgegangen werden. Erst der Frakturausschluss durch ein CT darf Entwarnung geben.

Die vorliegende Arbeit ist die erste monozentrische Studie, die den neurologischen Status in Abhängigkeit von der Frakturlokalisierung untersucht hat. Überhaupt wurde dieser Zusammenhang bis dato nur in der Arbeit von Lukasiewicz et al. direkt untersucht, welche Zugriff auf das nationale Patientenregister der USA hatten. Betrachtet man die neurologischen Symptome in Abhängigkeit von der Frakturhöhe, so zeigen 71 % der Frakturen im ZT-Cluster und 76 % der Frakturen im TL-Cluster keine neurologischen Auffälligkeiten. Diese Angaben entsprechen nahezu den Beobachtungen von Lukasiewicz et al., wonach 72 % der zervikalen und 84 % der thorakalen Frakturen ohne neurologische Veränderungen einhergingen.¹⁴⁵ Die in dieser Arbeit dokumentierten Ergebnisse zeigen, dass Frakturen im zervikalen Bereich häufiger mit neurologischen Auffälligkeiten einhergehen, als weiter kaudal gelegene Verletzungen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen sogar fast den Angaben der Literatur für wirbelsäulengesunde Patienten. Hier wurden keine neurologische Auffälligkeiten in 60–65 % bei zervikalen^{181,183} und in 77 % bei thorakolumbalen Frakturen festgestellt.²⁰ Dennoch dürfen die verschiedenen Gruppen keineswegs gleichgesetzt werden. Wertet man bei einer Wirbelkörperfraktur eine Beteiligung von mehr als zwei Säulen als instabil, so haben 90 % des untersuchten Kollektivs eine instabile Fraktur, wohingegen der Wert bei einer wirbelsäulengesunden Population mit 63 % angegeben wird.¹⁸³ SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen zeigen seltener neurologische Symptome, haben aber einen höheren Anteil an instabilen Frakturen als die Normalbevölkerung und somit ein höheres Risiko für neurologische Komplikationen. Diese Instabilität birgt ein hohes Risiko für eine sekundäre Frakturdislokation. Besonders tragisch ist es, wenn diese sekundäre Dislokation durch die medizinische Behandlung erfolgt. In einem Fall der vorliegenden Arbeit erfolgte die

Primärdiagnostik in einem auswärtigen Krankenhaus. Dort kam es im Rahmen der radiologischen Bildgebung zu einer Umlagerung des Patienten und zu einem plötzlich auftretenden sensiblen Querschnitt. Die Literatur beschreibt häufig ähnliche Fälle, in denen SA-Patienten durch Umlagerungsmaßnahmen oder das Anlegen von Halskrausen eine Verschlechterung ihres neurologischen Status bis hin zur Quadriplegie erlitten^{120,135,192-195} oder sogar verstarben.^{133,196} Oft haben die Patienten bis zu einer akut auftretenden Verschlechterung des neurologischen Status zunächst keine neurologischen Auffälligkeiten. Einsiedel et al. beschrieben dieses symptomlose Intervall als „fatale Pause“.¹⁷⁰ Westerveld et al. konnten dieses verzögerte Auftreten von neurologischen Symptomen in ihrer Literaturübersichtsarbeit in 14 % der Fälle beobachten.¹¹⁵ Weitere Studien zu Wirbelkörperfrakturen bei SA zeigten eine sekundäre Verschlechterung des neurologischen Status sogar in 19–33 % der Fälle.^{85,88,116} In einer Normalpopulation finden sich solche Verzögerungen der Symptomatik nur in 0,08 % der Fälle.¹⁴⁸ Diese große Differenz unterstreicht erneut den Fakt, dass Wirbelkörperfrakturen bei SA stets als hochinstabil einzustufen sind. Lagerungsmaßnahmen können bei mangelhafter Durchführung dramatische Folgen haben. Das Risiko für eine Verschlechterung des neurologischen Status ist erheblich und in vielen Fällen bedingt durch eine fortschreitende Dislokation der Fraktur. Wenn der Patient in Rückenlage liegt, neigt eine Halswirbelkörperfraktur zur Hyperextension,⁸⁵ wodurch mehr Druck auf dem Frakturbereich lastet.¹³⁰ In dieser Konstellation können schnell neurologische Schäden entstehen, da Nerven oder das Rückenmark pathologisch überdehnt werden und die Frakturrenden direkten Schaden auf das Rückenmark ausüben können.¹⁹⁷ Es ist wichtig, dass die Halswirbelsäule in einer für den Patienten normalen Inklination gelagert wird, sodass das Sichtfeld des Patienten in Rückenlage dem üblichen entspricht.¹⁹² Die Fraktur muss stets stabilisiert und der neurologische Status regelmäßig kontrolliert werden, bis eine definitive operative Versorgung stattgefunden hat. Jede Art der Traktion ist kontraindiziert.¹⁹⁸ Auch intraoperativ dürfen alle Manöver erst nach sorgfältiger Planung und in enger Absprache mit allen Beteiligten stattfinden.⁸⁶ Durch eine hohe Awareness hinsichtlich des Risikos für einen sekundären neurologischen Schaden, beispielsweise im Rahmen der Patientenübergabe, kann ein Aggravieren des Patientenzustandes vermieden werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen den Angaben in der Literatur. Die Ergebnisse mahnen zur Vorsicht im Umgang mit einem entsprechenden Patientenkollektiv. Alle an der Behandlung beteiligten Personen müssen sich darüber im Klaren sein, dass bei SA-Patienten hochinstabile Wirbelkörperfrakturen gepaart mit einem unauffälligen neurologischen Status auftreten.

Tabelle 5-1 Literaturvergleich neurologisch unauffälliger Status bei SA und Wirbelkörperfraktur

Studie	n	HWS	BWS/LWS	k.U.
Backhaus ¹²⁹	126	39 %		52 %
Fox ¹¹⁸	33	22 %		43 %
Lukasiewicz ¹⁴⁵	939	72 %	84 %	79 %
Metz-Stavenhagen ¹¹³	17	71 %		
Moussallem ¹⁴³	41		80 %	
Rowed ¹¹⁶	21	24 %		
Sapkas ⁸⁸	20	57 %	44 %	
Schiefer ¹⁴²	81			79 %
Weinstein ¹²⁰	13			56 %
Westerveld ¹¹⁵	232			32 %
Zdichavsky ¹¹⁷	32			56 %
Vorliegende Arbeit	52	71 %	76 %	73 %

Anmerkung. SA = Spondylitis ankylosans; n = Fallzahl; HWS = Halswirbelsäule; BWS = Brustwirbelsäule; LWS = Lendenwirbelsäule; k.U. = keine Unterteilung bezüglich Frakturhöhe.

5.3.4 Diagnosezeitpunkt

Im untersuchten Kollektiv erfolgte bei 34 % der Patienten eine verzögerte Diagnose, d.h. es wurde keine Diagnose innerhalb der ersten 24 Stunden gestellt. Die Verzögerung betrug durchschnittlich 23 Tage. In drei Fällen dauerte die Diagnosestellung sogar länger als einen Monat (45, 70 bzw. 90 Tage), was zu einer statistischen Verzerrung des Mittelwertes nach oben führte. Der Median liegt bei 14,5 Tagen. Verzögerungen in der Diagnosestellung von Wirbelkörperfrakturen bei SA sind häufig. Westerfeld et al. beschrieben in einer Literaturübersichtsarbeit, dass in 17 % der Fälle keine Diagnose innerhalb der ersten 24 Stunden nach Trauma erfolgte.¹¹⁵ Des Weiteren wurden oft lange Zeiten zwischen dem Unfallgeschehen und der definitiven Frakturversorgung angegeben. Grund dafür waren oft primär konservative Therapieansätze, welche in der Vergangenheit keine Seltenheit waren und bei Versagen zu einer verzögerten, definitiven Frakturversorgung führten. Zdichavsky et al. beschrieben in ihrer Studie zu Therapie und Komplikationen von 34 Wirbelfrakturen bei SA eine durchschnittliche Zeit zwischen Unfall und operativer Versorgung von etwa 68 Tagen.¹¹⁷ Im vorliegenden Kollektiv gab es keine primär konservativen Therapieversuche. Die genauen Gründe für die Diagnoseverzögerung konnten aus den Patientenakten nicht sicher eruiert werden, können aber u.a. durch Fehlverhalten des Patienten erklärt werden. Hunter et al. berichteten, dass es sechs von sieben Patienten versäumt hatten, nach dem Trauma einen Arzt zu konsultieren. Dies führte in den beschriebenen Fällen zu einer durchschnittlichen

Verzögerung zwischen Trauma und Diagnose von 47 Wochen.¹²³ Vermutlich ist der tatsächliche Traumamechanismus in seiner Schwere auch für den Patienten zu banal, um als adäquate Frakturursache erachtet zu werden. Wie bereits bei der Diskussion des Unfallmechanismus erwähnt, wäre hier eine detaillierte, präventive Aufklärung aller SA-Patienten beispielsweise durch den behandelnden Hausarzt wünschenswert. Eine weitere Erklärung für die Verzögerung der Diagnosestellung sind Fehler in der Diagnostik und der Therapie. Die Literatur zeigt, dass in 11–15 %^{118,129} und teilweise in bis zu 86 % der Fälle Frakturen in der Erstuntersuchung übersehen werden.¹³⁰ Im Gegensatz zur Normalbevölkerung müssen bei SA-Patienten veränderte Rückenbeschwerden zu einer völlig anderen klinischen Einschätzung und einer erweiterten Diagnostik führen. Bewegungsabhängiger Rückenschmerz, der in Ruhe nachlässt und generell neu aufgetretener Rückenschmerz sind deutliche Hinweise auf eine Fraktur bei SA-Patienten.^{122,199} Leider werden Rücken- bzw. Nackenschmerzen nach banalem Trauma durch den Untersucher oft unterschätzt, da die Patienten ohnehin unter chronischen Schmerzen in diesen Regionen leiden. Neben dem Schmerz fehlen häufig klinisch eindeutige Manifestationen, vergleichbar mit den gemachten Beobachtungen hinsichtlich des neurologischen Status.

Deswegen ist die niederschwellig angeordnete und korrekt gewählte Bildgebung bei der Frakturdiagnostik von SA-Patienten immens wichtig. Im vorliegenden Kollektiv wurde bei 65 % die konventionelle Röntgendiagnostik und in 35 % der Fälle das CT als erstes bildgebendes Verfahren gewählt. Die Aussagekraft der konventionellen Röntgendiagnostik gestaltet sich im Bereich der unteren Halswirbelsäule durch pathologische Veränderungen der Wirbelsäulen-anatomie und das Überlagern der Halswirbelsäule durch die Schultern als schwierig.^{114,125} Deswegen ist die konventionelle Röntgendiagnostik dort kein adäquates Diagnostikum, um die meist komplexen Frakturen zu diagnostizieren und vollumfassend zu evaluieren.⁸⁸ Die pathoanatomischen Veränderungen entlang der gesamten Wirbelsäule erschweren die radiologische Diagnostik deutlich. So berichten Sapkas et al., dass die initiale radiologische Untersuchung bei einer Frakturverteilung über die gesamte Wirbelsäule in 60 % der Fälle keine Fraktur erkannte.⁸⁸ In diesen Fällen wurde bei fortbestehendem klinischen Verdacht die Fraktur durch ein CT oder MRT nachgewiesen.

Zudem werden die durch konventionelle Röntgendiagnostik festgestellten Frakturen zum Teil falsch eingeschätzt. Bei Erstvorstellung in auswärtigen Krankenhäusern stellten Backhaus et al. fest, dass in 13 % der Fälle fälschlicherweise eine stabile Fraktur diagnostiziert wurde, welche in der weiteren Diagnostik Instabilitätskriterien bzw. eine auffällige Neurologie aufwies.¹²⁹

Der beobachtete Anteil von initial durchgeführten Wirbelsäulen-CTs zeigt, dass viele Untersucher an der Universität zu Köln bereits für dieses Thema sensibilisiert sind. Dennoch

gilt es, diesen Anteil noch weiter zu erhöhen. Die CT ist eine schnelle und sichere Methode zum Frakturachweis und bei Patienten mit SA der Goldstandard.¹²⁹ Sie gibt neben dem sicheren Frakturachweis zusätzliche detailliertere Informationen. Die Darstellung von verknöcherten Stützstrukturen und deren Beziehung zum Duralsack helfen bei der Bestimmung des Frakturtyps. Zudem werden knöcherne Begleitverletzungen sicher dargestellt.^{118,135,200} Um die bei SA-Patienten häufig auftretenden okkulten und Mehretagenfrakturen nachzuweisen,^{114,118,120,121,129,130,135,201} ist es empfehlenswert, eine CT-Untersuchung der gesamten Wirbelsäule auch schon in der akuten Phase durchzuführen.^{117,170,202} Dies ist wichtig, um eine adäquate Therapie wählen und um sich auf entsprechende Komplikationen einstellen zu können.⁸⁸ Bei nachgewiesener Fraktur kann zur Ergänzung auch in der Anfangsphase eine Kernspintomographie durchgeführt werden.^{117,200} Eine sichere, schnelle und richtige Diagnostik ist wegweisend für den Behandler und entscheidend für das Wohl des Patienten.

Bei einem wirbelsäulengesunden Kollektiv zeigt sich bei einer durchschnittlich verzögerten operativen Stabilisierung von 71 Stunden eine höhere Inzidenz von Komplikationen.²⁰³ Bei Verzögerungen über diesen Zeitraum hinaus haben die betroffenen Patienten einen längeren Krankenhausaufenthalt und mehr Intensivtage.^{204,205} Es ist anzunehmen, dass diese negativen Effekte mindestens gleichwertig auf SA-Patienten anzuwenden sind. Bei diesen zeigten Einsiedel et al. bereits, dass bei Patienten mit verzögerter Diagnosestellung schwerere neurologische Ausfälle auftraten und eine postoperative Besserung dieser Ausfälle weniger ausgeprägt war.¹²⁶ Eine zeitnahe Operation ist somit unbedingt anzustreben. Um dies gewährleisten zu können, müssen Schmerzen, auch nach minimalem Trauma, bei SA-Patienten sehr ernst genommen werden und es sollte ein CT der gesamten Wirbelsäule als initiales bildgebendes Verfahren gewählt werden.

5.3.5 Frakturmerkmale

Frakturanzahl

Insgesamt wurden 71 Wirbelkörperfrakturen bei 52 Patienten diagnostiziert, im Durchschnitt also 1,37 Frakturen je Patient. 35 Patienten hatten eine einzelne Fraktur. 16 Patienten hatten zwei Wirbelkörperfrakturen und ein einzelner Patient hatte vier Frakturen. Die Literatur zu Wirbelkörperfrakturen bei SA beschreibt im Durchschnitt 1,33 Frakturen je Patient mit einer Spannweite von 1,08 bis 1,8 Frakturen.^{85,88,116-118,126,129,130} Diese Werte liegen nah an den in der vorliegenden Arbeit beobachteten Werten. In der Literatur werden zum Teil auch ältere, vorher nicht diagnostizierte Frakturen der Wirbelsäule als Zufallsbefund gefunden,^{114,120,130,135}

welche dann in die Frakturanzahl mit eingeflossen sind. In der vorliegenden Arbeit war dies nicht der Fall.

Mehrfachfrakturen sind in fast allen Studien auf zwei direkt benachbarte Segmente bezogen.^{88,114,117,123,128,130,135,201} Im untersuchten Kollektiv ist dies, mit Ausnahme der zwei Fälle mit Mehretagenfrakturen, ebenfalls für die Mehrfachfrakturen zutreffend. Mehrfachfrakturen der Wirbelsäule bei SA-Patienten werden in der Literatur insgesamt häufig beschrieben, was sich auch mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit deckt.

Mehretagenverletzungen bei SA-Patienten werden in der Literatur eher selten beschrieben. Fast ausschließlich ist eine hohe Unfallkinematik ursächlich.^{85,201} Alternativ handelt es sich um bereits an der Wirbelsäule voroperierte Patienten, bei denen es an den Enden der eingebrachten Instrumentierungen zur Fraktur kommt.²⁰² Dies begünstigt das Auftreten von Mehretagenverletzungen, d.h. es liegen unverletzte Segmente zwischen den betroffenen Wirbelkörpern. Mehretagenfrakturen fanden sich nur in zwei untersuchten Fällen. Dies entspricht etwa 3,8 % des gesamten Kollektivs. In einem Fall war der Unfallmechanismus ein Treppensturz und in einem anderen Fall handelte es sich um einen verunfallten Fahrradfahrer. In beiden Fällen lag somit eine hohe Unfallkinematik vor. Backhaus et al. beschrieben in ihrem Kollektiv Mehretagenfrakturen in 8 % der Fälle, gaben aber nicht an, ob diese voroperiert waren.¹²⁹ An der Wirbelsäule voroperierte Patienten wurden in der vorliegende Arbeit bewusst exkludiert.

Ursächlich für die Mehrfachfrakturen ist vermutlich die insgesamt rigide Wirbelsäule bei Spondylitis ankylosans. Eine normale Wirbelsäule würde auf ein Trauma zunächst dynamisch reagieren und erst bei Überschreiten der maximalen Stauchung eine Fraktur eines Wirbelkörpers zeigen. SA-Wirbelsäulen können aufgrund der Ossifikation der Bandstrukturen nur sehr eingeschränkt dynamisch reagieren. Die Ossifikation über lange Strecken führt zur Versteifung und die Wirbelsäule verhält sich ähnlich eines langen Röhrenknochens. Die SA-Wirbelsäule reagiert auf eine übermäßige Ablenkung mit einer tangentialen Fraktur bzw. Zerreißung durch alle drei Säulen. Bei dieser tangentialen Bruchlinie ist die Wahrscheinlichkeit recht hoch, dass mehrere benachbarte Segmente der Wirbelsäule betroffen sind. In 33 % der vorliegenden Fälle lagen Mehrfachfrakturen vor. Ein Kollektiv mit traumatischen Wirbelkörperfrakturen ohne SA zeigt zwar mit 31 % eine ähnlich hohe Anzahl an Mehrfachfrakturen,²⁰ diesen liegt aber eine deutlich stärkere Unfallkinematik zugrunde. Die recht hohe Anzahl an Mehrfachfrakturen bei insgesamt wenig imponierendem Unfallhergang unterstreicht erneut die Wichtigkeit einer initialen CT-Untersuchung der gesamten Wirbelsäule bei Frakturverdacht.

Frakturhöhe und -verteilung

Im untersuchten Patientenkollektiv befanden sich 48 % aller Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule, davon 80 % auf den Höhen HWK 6 und HWK 7. Diese Beobachtungen entsprechen denen der Literatur, wonach Frakturen der Halswirbelsäule im Schwerpunkt die untere Halswirbelsäule und somit den Bereich des zervikothorakalen Überganges betreffen.^{88,115-117,119,126,128,130,141,201} Weitere 48 % der beobachteten Frakturen verteilen sich über die gesamte Brustwirbelsäule mit einer Häufung im Bereich BWK 11. Dies entspricht den Angaben weiterer Autoren, welche ebenfalls einen verstärkt betroffenen thorakolumbalen Bereich beschrieben.^{85,88} In den Bereichen des zervikothorakalen und des thorakolumbalen Überganges befinden sich die Wendepunkte der Wirbelsäulenkrümmung. Dies sind die Übergänge von Lordose zu Kyphose und umgekehrt. Bei SA trifft dies zumindest für den zervikothorakalen Übergang noch zu. Dieser bildet hier den Drehpunkt zwischen zwei starren Hebelarmen. Hier wirkt die untere Wirbelsäule, welche in ihrer bambusartigen Konfiguration in Verbindung mit dem Thorax steht, als langer Hebelarm gegen die ebenfalls ossifizierte Halswirbelsäule. Dadurch wirken verhältnismäßig große Kräfte auf den Bereich des Wendepunktes, weswegen es nicht verwunderlich ist, dass ein Großteil der Frakturen in diesem Bereich zu finden sind. Der Wendepunkt im zervikothorakalen Übergang ist hier gut definierbar, wodurch sich eine scharfe Abgrenzung der Frakturhöhe ergibt. Anders verhält es sich im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule. Mit Fortschreiten der Erkrankung schreitet auch die Ossifikation der Wirbelsäule und der begleitenden Bandstrukturen voran. Es kommt zu einer fortschreitenden Aufhebung der physiologischen Lendenlordose.²⁰⁶ Dadurch kommt es unterhalb von BWK 6 zu einer fast durchgehenden, leichten Kyphose der thorakolumbalen Wirbelsäule. Der thorakolumbale Wendepunkt existiert quasi nicht mehr. Die bambusartige Wirbelsäule ist durch die leichte Kyphose vorgebogen und zeigt ein Frakturverhalten ähnlich dem eines langen Röhrenknochens.¹⁷⁰ Man erwartet demnach eine Fraktur im Verlauf der Rundung, bei dem am weitesten dorsal gelegenen Punkt, dem Scheitelpunkt des thorakolumbalen Bereiches. Zudem hat der obere Thorax bei SA eine höhere Rigidität als in einer Normalpopulation.²⁰⁷ Es ist anzunehmen, dass die echten Rippen mit der oberen Brustwirbelsäule eine über das physiologische Maß hinausgehende Verbindung eingehen. Demnach bilden die echten Rippen zusammen mit dem ersten sechs Brustwirbelkörpern eine festere Einheit, in dessen Bereich eine Fraktur weniger wahrscheinlich ist. Darauf deutet die Beobachtung hin, dass in der vorliegenden Arbeit die Frakturanzahl unterhalb von BWK 6 zunimmt.

Frakturverteilung

Die Frakturen sind in der vorliegenden Arbeit mit Ausnahme der endständigen Wirbelpaare und BWK 2 über die gesamte Wirbelsäule verteilt. Solche Ergebnisse bilden in der Literatur eher eine Minderheit, da im Schwerpunkt Studien über ausschließlich zervikale Frakturen existieren. Dies ist beispielsweise an der Übersichtsarbeit von Westerveld et al. zu erkennen, in der 81 % der in der Literatur beschriebenen Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule angesiedelt sind.¹¹⁵ Lukasiewicz et al. haben im Rahmen einer US-amerikanischen Patientendatenbankauswertung zu Wirbelkörperfrakturen bei SA-Patienten 53 % der Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule und 60 % thorakolumbal nachweisen können.¹⁴⁵ In der vorliegenden Arbeit konnten zu gleichen Anteilen (jeweils 48 %) Frakturen in den Bereichen der Halswirbelsäule und der Brustwirbelsäule nachgewiesen werden. Dies entspricht im groben den Angaben entsprechender Literatur, wobei dort die Frakturen im Bereich der Brustwirbelsäule häufig leicht überwiegen.^{85,88,118,129,145} Es fand sich mit 4 % ein vergleichsweise geringerer Anteil an Frakturen im Bereich der Lendenwirbelsäule. In der Literatur werden diese in 5-18 % der Fälle beschrieben.^{88,118,129,145} Ursächlich dafür ist möglicherweise, dass bereits voroperierte Patienten in die vorliegende Studie nicht mit einbezogen wurden. Bei diesen wirkt die bereits eingebrachte Spondylodese als langer Hebelarm, wodurch es zu Frakturen an den Enden der Instrumentierung kommen kann,²⁰² welche sich häufig im Bereich der Lendenwirbelsäule befinden.

Frakturklassifikation

In 90 % der vorliegenden beobachteten Fälle wurde eine Fraktur mit Beteiligung aller drei Säulen der Wirbelsäule beobachtet. Dies entspricht den Beschreibungen vieler Autoren, welche in 90–100 % der Fälle eine ebensolche Fraktur vorfanden.^{116,135,143} In der vorliegenden Arbeit wurde nach AO Spine klassifiziert. 79 % der vorliegenden Frakturen wurden in die Kategorie B, 11 % in die Kategorie C und 10 % in die Kategorie A eingeklassifiziert.

In der Vergangenheit wurde fast ausschließlich nach morphologischen Kriterien der Frakturentstehung (Hyperextension, Flexion, Kompression, Rotation) unterschieden und klassifiziert.^{115,121,126} Ohne vorliegende bildgebende Diagnostik kann eine Übertragung in die AO Spine-Klassifikation nicht durchgeführt werden. Deswegen ist ein direkter Vergleich mit der Literatur nur eingeschränkt möglich. Subaxiale Halswirbelkörperfrakturen werden erst seit 2018 und thorakolumbale Frakturen erst seit 2016 routinemäßig nach AO Spine klassifiziert.^{30,208} Eine Arbeit von Vazan et al. zur Diagnostik und Therapie von Wirbelkörperfrakturen bei SA mit 41 Patienten ist die einzige Vergleichsarbeit, in der sicher entsprechend klassifiziert worden ist. Hier fanden sich in 60 % der beobachteten Fälle

Frakturen der Kategorie B.¹⁴⁴ Frakturen der Kategorie B liegt häufig ein Hyperextensionstrauma als Ursache zugrunde. Westerveld et al., konnten in ihrer Literaturübersichtsarbeit in 74 % der Wirbelkörperfrakturen bei SA ein Hyperextensionstrauma als Ursache ausmachen.¹¹⁵ Einfache Stürze sind der häufigste Unfallmechanismus für Frakturen bei SA. Sowohl bei einem Sturz nach vorne als auch nach hinten ist ein Hyperextensionstrauma sehr wahrscheinlich. Der Sturz nach vorne, beispielsweise auf die Stirn, führt bei pathologisch veränderter Halswirbelsäule zwangsläufig zu einer Hyperextension. Beim Sturz auf den Rücken wird der Kopf peitschenartig nach hinten geworfen, wobei die versteifte Halswirbelsäule darauf nicht adäquat reagieren kann und es ebenfalls zur Hyperextension kommt. Die hohe Anzahl an beobachteten B-Frakturen stimmt mit den Angaben in der Literatur überein. Der beobachtete geringere Anteil an B-Frakturen gegenüber der Vergleichsarbeit von Vazan et al. erklärt sich durch den hohen Anteil an C-Frakturen in besagter Arbeit. In der vorliegenden Arbeit beträgt die Anzahl an beobachteten Frakturen der Klassifikation C 11 %. Vazan et al. beobachtete diesen Frakturtyp in 37 % der Fälle, hatte aber mit 74 % wesentlich mehr zervikale Frakturen in seinem Kollektiv, welche wiederum eher zur Dislokation neigen.¹⁴⁴ Viele Autoren älterer Studien beschreiben dislozierten Frakturen in 62–84 % der Fälle.^{116,120,126,136} Neuere Studien zeigen hingegen nur noch Dislokationen in 3–15 % der Fälle.^{88,143} Der Rückgang an Frakturdislokationen erklärt sich u.a. durch die Veränderungen in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich des präklinischen, rettungsdienstlichen Umgangs mit potentiellen Wirbelsäulenverletzungen. So wird vermehrt auf eine achsengerechte Immobilisation und die Sicherung der Halswirbelsäule geachtet,²⁰⁹ wodurch möglicherweise behandlungs- bzw. versorgungsassoziierte sekundäre Dislokationen vermieden werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Frakturklassifikation sind insgesamt plausibel.

5.4 Diskussion der versorgungsbezogenen Daten

5.4.1 Clustereinteilung

In der Literatur werden für SA im Schwerpunkt Frakturen der Halswirbelsäule beschrieben. In den Studien, in denen auch Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule beschrieben werden, werden diese in der Regel gemeinsam mit denen der Halswirbelsäule ausgewertet. Das bedeutet, dass versorgungsbezogene Merkmale wie zum Beispiel die verwendete OP-Technik, die OP-Dauer, Komplikationen oder die Krankenhausverweildauer in den meisten Fällen gleichwertig betrachtet werden.

Je nachdem, auf welcher Höhe sich die Fraktur befindet, unterscheiden sich viele dieser Merkmale deutlich voneinander. So ist beispielsweise die Versorgung einer Fraktur eines Brustwirbelkörpers von ventral mit anderen Eigenarten hinsichtlich des operativen Zugangsweges und derer Komplikationen assoziiert, als die einer von ventral versorgten Fraktur eines Halswirbelkörpers. Deswegen ist eine Unterscheidung der Frakturhöhen zwingend notwendig. Die sonst übliche Unterteilung nach Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule ist bei Patienten mit SA nicht sinnvoll. Am häufigsten betreffen Wirbelkörperfrakturen bei SA-Patienten den zervikothorakalen Übergang,¹¹⁵ welcher jedoch nicht streng in Hals- oder Brustwirbelsäule eingeteilt werden kann. Es braucht deswegen eine andere Art der Einteilung.

Nach Erfassung der Frakturhöhe für das gesamte Kollektiv, (vgl. Abb. 3-15) konnte man zwei Verteilungscluster erkennen. Diese beiden Cluster wurden als zervikothorakales (ZT-) Cluster und als thorakolumbales (TL-) Cluster definiert. Das ZT-Cluster beinhaltet alle Frakturen von HWK 3 bis einschließlich BWK 2 und schließt sicher den zervikothorakalen Übergang mit ein. Das TL-Cluster beginnt mit BWK 3 und endet mit LWK 5 und deckt den gesamten Rest der Wirbelsäule inkl. des thorakolumbalen Übergangs ab. Frakturen der Lendenwirbelsäule unterscheiden sich zwar auch von Frakturen der Brustwirbelsäule hinsichtlich der versorgungsbezogenen Merkmale, bilden aber insgesamt eher die Ausnahme. Die Idee einer Einteilung der Frakturen außerhalb der üblichen Hals-/Brust-/Lendenwirbelsäulen-Einteilung ist nicht neu. Zdichavsky et al. führten Frakturen des zervikothorakalen und des thorakolumbalen Übergangs getrennt von den restlichen Bereichen auf und auch Sapkas et al. führten den thorakolumbalen Übergang separat auf.^{88,117} Diese feinere Unterteilung führt zwar zu einer besseren Vergleichbarkeit der Merkmale untereinander, erschafft aber viele Untergruppen und schmälert dadurch die jeweiligen Gruppengrößen. Dies ist aufgrund der insgesamt geringen Fallzahlen von beschriebenen Wirbelkörperfrakturen bei SA nicht sinnvoll und erschwert statistische Vergleiche. Außerdem sind die bekannten Unterteilungen nicht einheitlich, was eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Studien miteinander deutlich beeinträchtigt. Um nicht zu viele Unterkategorien zu erschaffen, erfolgte die Einteilung in zwei Cluster für die gesamte Wirbelsäule. In zwei Fällen des Kollektivs handelte es sich um Mehretagenfrakturen, welche in beide Cluster hätten eingeteilt werden müssen. Dadurch wären die beiden Gruppen in sich weniger homogen gewesen, weswegen diese beiden Fälle exkludiert wurden. Ein weiterer Fall einer ZT-Cluster-Fraktur wurde ausschließlich operativ von ventral versorgt und bildete damit eine Ausnahme im Patientenkollektiv. Dieser Fall wurde auch im Sinne der Uniformität und der besseren Vergleichbarkeit innerhalb des Clusters exkludiert. Die Clustereinteilung ermöglicht sowohl eine einfach durchzuführende Differenzierung als auch eine ausreichend hohe Fallzahl für das jeweilige Cluster. Trotz der

insgesamt geringen Fallzahl konnten zwischen einigen Variablen signifikante Unterschiede zwischen den Clustern festgestellt werden. Durch eine Einteilung in die genannten Cluster und das Wissen über Cluster-spezifische Besonderheiten können die Behandelnden potentielle Komplikationen abwenden und das Outcome für den Patienten verbessern. Eine bessere perioperative Planung kann zur Optimierung der Transfusions- und OP-Kapazitäten beitragen. Die Einteilung in nur zwei Kategorien ist für die Beschreibung von Wirbelkörperfrakturen einmalig. Es wäre wünschenswert, dass zukünftige Studien zu diesem Thema die in dieser Arbeit vorgestellte Clustereinteilung übernehmen würden. Dadurch könnte für das jeweilige Cluster eine ausreichende Fallzahl generiert werden um bspw. verschiedene Therapieansätze hinsichtlich des Outcomes besser miteinander vergleichen zu können.

5.4.2 OP-Technik

Um Unterschiede der OP-Techniken zu vergleichen, wurden die versorgungsbezogenen Daten innerhalb der Cluster nach dem gewählten OP-Verfahren weiter differenziert. Es ist nur sehr eingeschränkt möglich, Daten eines einzeitigen mit denen eines zweizeitigen Verfahrens zu vergleichen. Beispielsweise ist die gesamte Operationsdauer bei zwei Eingriffen logischerweise länger als bei einem. Deswegen wurden im Schwerpunkt die Daten der dorsalen Eingriffe gegenübergestellt. Dieser Eingriff findet bei beiden Verfahren statt und ermöglicht somit eine Vergleichbarkeit.

ZT-Cluster

71 % der beobachteten Frakturen im ZT-Cluster wurden dorsal und 29 % der Frakturen wurden kombiniert dorso-ventral versorgt. Eine alleinige ventrale Versorgung einer HWK 5-Fraktur wurde im Rahmen der Clustereinteilung exkludiert. In der Literatur ist eine ventrale Versorgung einer zervikalen Fraktur bei SA aber keine Seltenheit. Einige Studien beschreiben die Häufigkeit dieser operativen Versorgungsart in 27–60 % der Fälle.^{113,126,129} Dies ist nicht verwunderlich, weil bei wirbelsäulengesunden Patienten die ventrale Versorgung einer Halswirbelkörperfraktur gegenüber der dorsalen klinisch einige Vorteile aufweist und deswegen bevorzugt wird.²¹⁰ So gibt es im Vergleich zur alleinigen dorsalen Versorgung keine Unterschiede hinsichtlich der Fusionsrate, des Alignments und der neurologischen Erholung bei einer geringeren Komplikationsrate der ventralen Versorgung.^{122,211} Operateure wählen demnach die ihnen bekannteste und bewährteste Variante der operativen Versorgung, auch für SA-Patienten. Allerdings zeigen biomechanische Versuche, dass die alleinige ventrale Versorgung insbesondere bei für SA-Patienten typischen Flexions- und Distraktionsverletzungen, eine schlechtere Stabilisierung gegenüber der dorsalen Versorgung

aufzeigt.²¹² Eine ausschließlich ventrale Stabilisierung erfolgt nur, wenn von einer intakten hinteren Säule ausgegangen wird. Durch die pathoanatomischen Veränderungen bei SA ist dies bei einem Trauma aber sehr unwahrscheinlich. Die fälschliche Annahme einer intakten hinteren Säule führt im weiteren Verlauf zu einem Implantatversagen, welches Einsiedel et al. in ihrer Studie bei ventraler Frakturversorgung in 50 % der Fälle beschrieben.¹²⁶ Daraus resultiert, dass eine ventrale Frakturversorgung bei SA nur im Ausnahmefall und nach Darstellung einer unbeeinträchtigten Stabilität der hinteren Säule indiziert ist.

Die einzeitig dorsale Versorgung von Wirbelkörperfrakturen bei Patienten mit SA wird für den Bereich der Halswirbelsäule zunehmend Gegenstand der Literatur. Diese Versorgungsart ist möglich, wenn die vordere lasttragende Säule intakt ist. Wirbelkörperfrakturen bei SA gelten zumeist als hochinstabil und gehen in der Regel mit einer Instabilität aller drei Säulen einher. Auch bei einer Beteiligung der vorderen Säule ist jedoch eine einzeitige dorsale Versorgung möglich, wenn die Fraktur sich linear in der Transversalebene befindet.¹²⁸ In der Literatur finden sich sowohl Arbeiten, in denen entsprechende Frakturen in 70-85 % der Fälle einzeitig dorsal stabilisiert worden sind,^{88,135,137} als auch Arbeiten in denen ausschließlich dieses Verfahren genutzt wurde.^{128,143} Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen denen der Literatur und sind plausibel.

Die einzeitig dorsale Versorgung hat einige, insbesondere für SA-Patienten relevante Vorteile. Der eingebrachte Fixateur interne zeichnet sich durch sehr gute Repositionsmöglichkeiten bei niedrigen Komplikationsraten und kurzer Operationszeit aus.²¹³ Zudem kann über das eingebrachte Stabsystem eine ausreichende Stabilität gewährleistet werden, um Patienten schon früh zu mobilisieren und um atemphysiotherapeutische Maßnahmen durchzuführen. Dies senkt das Risiko der, bei SA-Patienten häufig auftretenden pulmonalen Komplikationen. Hinsichtlich des Patientenoutcomes zeigen sich in der Literatur zufriedenstellende Ergebnisse für das einzeitig dorsale Verfahren.^{128,214} Studien zu Beginn des letzten Jahrzehnts zeigten eine knöcherne Konsolidierung bei diesem Verfahren in bis zu 100 % der Fälle.^{88,121,198} Wichtig ist eine langstreckige Spondylodese, um sicher den zervikothorakalen Übergang miteinzuschließen. Andernfalls würde es durch die Pathoanatomie und den eingebrachten Fixateur interne zu starken mechanischen Hebelkräften in diesem Bereich kommen. Ein Implantatversagen oder eine erneute Fraktur wären in diesem Fall sehr wahrscheinlich.

29 % der vorliegenden Fälle wurden kombiniert dorso-ventral versorgt. Einige Autoren bevorzugen eine langstreckige dorso-ventrale Instrumentierung aufgrund der Frakturdislokationsgefahr und weil sie vorteilhafter und wesentlich sicherer hinsichtlich der Stabilität gegenüber einer einseitigen ist.^{85,117} Sie ist insbesondere bei instabilen Verletzungen mit Translation indiziert und in einigen Fällen unumgänglich,⁸⁶ vor allem wenn die strukturelle

Integrität des Wirbelkörpers signifikant beeinträchtigt oder eine kyphotische Deformität im Bereich der Fraktur vorhanden ist.¹²⁸ Die gefürchtete Implantatlockerung ist bei einigen Autoren ausschließlich bei einseitigen, kurzstreckigen Versorgungen beschrieben worden.⁸⁵ Diese scheint bei kurzstreckiger Instrumentierung den starken biomechanischen Beanspruchungen nicht ausreichend gewachsen zu sein, weswegen in der Vergangenheit die kombinierte Versorgung favorisiert wurde.¹⁷⁰ Jedoch geht die kombinierte Versorgung mit längeren OP-Zeiten und einer höheren Morbidität und Mortalität einher,²¹⁵ ein entscheidender Faktor bei dem ohnehin schon multimorbiden Patientenkollektiv. Durch die Kombination der beiden OP-Verfahren steigt auch das Komplikationsrisiko bezüglich der Zugangswege. Zudem ist bei einem zweizeitigen Vorgehen eine weitere Allgemeinnarkose mit den dazugehörigen Risiken erforderlich. Die Abwägung dieser Risiken in Anbetracht des Allgemeinzustandes und der Begleiterkrankungen des Patienten führt zu der häufiger durchgeführten einzeitig dorsalen Frakturversorgung bei SA-Patienten im Bereich der Halswirbelsäule.

TL-Cluster

Vier Frakturen im TL-Cluster wurden kombiniert dorso-ventral versorgt. Eine davon aufgrund einer ebenfalls durchgeführten Laminektomie, in einem weiteren Fall handelte es sich um eine grob dislozierte C-Fraktur. In den zwei weiteren Fällen handelte es sich um B3-Frakturen mit Instabilität der vorderen Säule. Bei der fehlenden Integrität der vorderen Säule ist die Entscheidung zum kombinierten Verfahren plausibel. Dieses ist biomechanisch einer einzeitigen dorsalen Versorgung zumindest hinsichtlich der Stabilität überlegen.²¹⁶ Viele Autoren empfehlen aus Gründen der höheren Stabilität die dorso-ventrale Instrumentierung der Wirbelkörperfrakturen,^{85,86,117,126} haben dies aber stets im Schwerpunkt für Frakturen im zervikothorakalen Bereich postuliert. In der Literatur wurde diese Aussage häufig für alle Wirbelkörperfrakturen bei SA angewendet. Eine Übertragung auf den thorakolumbalen Bereich ist aber nur sehr eingeschränkt möglich. Durch die fortschreitende Aufhebung der physiologischen Lendenlordose kommt es zu einer fast durchgehenden, leichten Kyphose der thorakolumbalen Wirbelsäule. Zum einen herrschen hier andere biomechanische Grundvoraussetzungen, zum anderen wirken hier andere Hebelkräfte als im Bereich der Halswirbelsäule. Darüber hinaus gehen mit dem Zweiteingriff auch weitere operative Risiken einher. Die Thorakotomie birgt beispielsweise ein großes, zugangsassoziiertes Risiko bei ventraler Versorgung, welches durch einen einzeitig dorsalen Eingriff umgangen wird. SA-Patienten sind oft multimorbide und respiratorisch ohnehin durch die pathoanatomischen Veränderungen erheblich kompromittiert. Ein erhöhtes Risiko für kardiopulmonale Komplikationen durch die längere Operationszeit von zwei Eingriffen sowie zwei

Allgemeinanästhesien ist nicht zu vernachlässigen, zumal der Allgemeinzustand einiger Patienten einen Zweiteingriff überhaupt nicht zulässt.

Die einzeitig dorsale Versorgung ist im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule in vielen Studien das am häufigsten gewählte OP-Verfahren.⁸⁵ Dieses Verfahren wird je nach Literaturangabe für 93–100 % der Fälle genutzt.^{88,129,143} Dies entspricht den Daten in der vorliegenden Untersuchung, nach denen 84 % der Frakturen im TL-Cluster einzeitig dorsal versorgt worden sind. Bei dieser Versorgung erreicht der eingebrachte Fixateur interne eine Reposition, welche in über 90 % der Fälle gleichzeitig eine effektive Dekompression des Spinalkanals bewirkt.²¹⁷ Diese OP-Technik bietet, perkutan angewendet, bei SA-Patienten ein anatomisches Realignment und eine stabile Fixierung bei insgesamt gutem bis exzellentem Outcome der Patienten.¹⁴⁰ Soweit möglich sollte eine perkutane dorsale Stabilisierung einer offenen vorgezogen werden. Diese zeigt im Vergleich zur offenen Versorgung eine signifikante Reduktion der Operationszeit sowie des Blutverlustes¹⁴³ und ermöglicht eine frühzeitige postoperative Mobilisation bei niedriger Komplikationsrate.¹³⁸

Die vorliegenden Daten zeigen, dass die einzeitig dorsale Versorgung bei SA-Patienten gut anwendbar ist. Langzeit-Follow-up-Daten, um eine Aussage über die langfristige Frakturretention treffen zu können, liegen leider nicht vor.

5.4.3 OP-Dauer

ZT-Cluster

Die durchschnittliche OP-Dauer beträgt in der vorliegenden Arbeit für einzeitig dorsale Eingriffe 197 Minuten. Es gibt in der Literatur generell nur wenige Angaben zu den Operationszeiten für Wirbelkörperfrakturen bei SA. Olerud et al. beschrieben 1996 eine durchschnittliche Operationszeit von vier Stunden für die Versorgung von Frakturen bei SA. Untersucht man dessen Daten unter Berücksichtigung der Clustereinteilung und des gewählten OP-Verfahrens, so beträgt die OP-Dauer bei einzeitig dorsaler Versorgung durchschnittlich 160,5 Minuten.⁸⁵ Luksanapruksa beobachtete für einzeitig dorsale Versorgungen eine OP-Dauer von durchschnittlich 161 Minuten.¹³⁷ Alle Arbeiten haben eine geringe Fallzahl gemeinsam. Für die hier untersuchte Versorgungshöhe (ZT-Cluster) beschrieben Olerud et al. 19 und Luksanapruksa et al. 24 Patienten. Die vorliegende Arbeit enthält ebenfalls nur 24 beschriebene Fälle mit Wirbelkörperfrakturen in der entsprechenden Versorgungshöhe. Im Vergleich wird die dorsale Versorgung einer zervikalen Wirbelkörperfraktur bei wirbelsäulengesunden Patienten mit durchschnittlich 210 Minuten angegeben.²¹⁸ Die

registrierten Werte der vorliegenden Arbeit für die einzeitig dorsale Versorgung liegen zwar oberhalb der für SA-Patienten beschriebenen OP-Zeit, aber unterhalb derer eines wirbelsäulengesunden Kollektivs. Das ist zunächst überraschend, da man bei SA-Patienten längere OP-Zeiten erwarten würde. Wirbelkörperfrakturen bei SA-Patienten werden berechtigterweise als sehr anspruchsvoll eingeschätzt, weswegen solche Fälle meist von der erfahrensten Operateuren versorgt werden. Außerdem ist es möglich, dass aufgrund der Multimorbidität der Patienten und der groben Dislozierung vieler Frakturen auf eine zeitaufwendige intraoperative Navigation verzichtet wird. Dies wären mögliche Erklärungen für schnellere OP-Zeiten bei SA-Patienten, jedoch lässt sich diese Sachverhalt mit den vorhandenen Daten nicht sicher beantworten. Dennoch entsprechen die Beobachtungen der vorliegenden Arbeit denen, die für Wirbelkörperfrakturen bei SA-Patienten in der Literatur zu finden sind. Hier gilt es für zukünftige Studien zu diesem Themenbereich, die OP-Zeit idealerweise nach den hier vorgestellten Clustern zu registrieren, um einen gültigen Referenzwert etablieren zu können. Ebenfalls benötigt es deutlich größere Stichproben, um einen gültigen Maßstab für die OP-Dauer setzen zu können.

Bei den kombinierten dorso-ventralen Eingriffen im ZT-Cluster dauerte die dorsale Operation im Durchschnitt 221 und die ventrale Operation 124 Minuten. Die durchschnittliche Gesamtoperationszeit bei kombiniertem Eingriff betrug in der vorliegenden Arbeit 366 Minuten. Für die kombiniert dorso-ventrale Versorgung finden sich in der Literatur Angaben von durchschnittlich 258 Minuten^{85,219} und 284 Minuten Gesamtzeit.¹³⁷ Die dokumentierten Werte der vorliegenden Arbeit für die Gesamtoperationszeit liegen oberhalb der Angaben der Literatur. Ursächlich dafür ist die im vorliegenden Kollektiv länger dauernde ventrale Versorgung. Nur eine der oben genannten Studien enthält eine Aufschlüsselung bezüglich der Operationsdauer der beiden Teileingriffe – entsprechend der vorliegenden Arbeit. Aus dieser einen Arbeit geht hervor, dass die dorsale Versorgung durchschnittlich mit 213 und die ventrale mit 70 Minuten angegeben wird.¹³⁷ Diese Angabe für die Operationszeit von dorsal entspricht nahezu der der vorliegenden Arbeit, jedoch ist die ventrale Operationsdauer mit durchschnittlich 70 Minuten deutlich kürzer. In einem in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fälle wurde eine ventrale Operationsdauer von 266 Minuten angegeben. Ursächlich hierfür waren ein intraoperativer Schraubenausriss mit daraus resultierender Luxation und Verhakung der Facettengelenke. Zudem behandelte die Vergleichsstudie nur singuläre Wirbelkörperfrakturen.¹³⁷ Im oben beschriebenen Fall und in einem weiteren Fall handelte es sich jedoch um Mehrfachfrakturen zweier benachbarter Segmente. Die operative Versorgung dieser ist wesentlich anspruchsvoller und erfordert einen größeren zeitlichen Aufwand. Aufgrund der geringen Stichprobengröße von sieben in dieser Untergruppe, wirken sich solche

statistischen Ausreißer deutlich auf den Mittelwert aus. Streicht man die Operationszeiten dieser beiden Fälle (266 und 131 Minuten) aus der Mittelwertberechnung heraus, so erhält man eine durchschnittliche ventrale Operationszeit von 87 Minuten für singuläre Wirbelkörperfrakturen. Diese Angabe ist durchaus vergleichbar mit den angegebenen 70 Minuten der Vergleichsstudie.¹³⁷

Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass die dorsale Versorgung bei kombiniertem zweizeitigem Verfahren länger dauerte als die alleinige dorsale Versorgung. Ein signifikanter Unterschied konnte aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht nachgewiesen werden. Dennoch werden die Angaben von Luksanapruxsa et al. diesbezüglich bestätigt. Ein Grund dafür ist vermutlich, dass kompliziertere und dislozierte Frakturen durch den Operateur eher einem kombinierten Verfahren zugeführt werden. Die somit komplexeren Ausgangsbedingungen führen zu aufwendigeren Repositionsmaßnahmen und wirken sich auch auf die jeweiligen Operationszeiten aus.

TL-Cluster

Für einzeitig dorsale Eingriffe wurde in der vorliegenden Arbeit eine durchschnittliche OP-Dauer von 160 Minuten errechnet. Für Frakturen im Bereich des TL-Clusters sind Literaturangaben für Operationszeiten bei SA-Patienten selten.

Untersucht man die Daten von Olerud et. al. wieder unter Berücksichtigung der Clustereinteilung und des gewählten OP-Verfahrens, beträgt die durchschnittliche Versorgungszeit für einzeitig dorsale Eingriffe 268 Minuten.⁸⁵ Moussallem et al. beschreibt eine durchschnittliche Operationszeit von 285 Minuten, wobei in dieser Studie nur zu 42 % SA-Patienten beschrieben wurden.¹⁴³ Für sonst wirbelsäulengesunde Patienten werden durchschnittliche Operationszeiten von 152-202 Minuten angegeben.^{68,148} Hier sind die Stichprobengrößen groß genug, sodass man von Referenzwerten sprechen kann. Die in dieser Arbeit registrierten Operationszeiten liegen deutlich unterhalb der für SA-Patienten beschriebenen Versorgungszeiten in der Literatur. Im Vergleich zu sonst wirbelsäulengesunden Patienten befinden sich Beobachtungen der vorliegenden Arbeit im unteren Bereich. Dies liegt vermutlich daran, dass das Universitätsklinikum Köln als überregionales Traumazentrum ein hohes Maß an Erfahrung in der Versorgung von traumatischen, thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen besitzt und diese auch auf SA-Patienten übertragen kann.

Für die kombinierte dorso-ventrale Versorgung im TL-Cluster betrug die beobachtete Gesamtzeit in der vorliegenden Studie 303,5 Minuten. Die Literatur beschreibt einen Fall mit einer Operationsdauer von 360 Minuten.⁸⁵ Diese alleinstehende Angabe ist nicht repräsentativ. In der vorliegenden Arbeit konnten vier Fälle beobachtet werden, die bei entsprechender

Frakturhöhe kombiniert versorgt wurden. Die kombinierte Versorgung von wirbelsäulengesunden Patienten wird in der Literatur mit durchschnittlich 298-412 Minuten angegeben.^{68,148} Hier sind die Stichprobengrößen repräsentativ.

Die in der vorliegenden Arbeit registrierte Gesamtzeit liegt unterhalb der von Olerud et al. beschriebenen Zeit und befindet sich im Vergleich zu einem wirbelsäulengesunden Kollektiv am unteren Ende der Versorgungsdauer. Eine Aufschlüsselung der Operationszeiten für jeden Teileingriff bei SA-Patienten gibt es aktuell in der Literatur nicht. Die vorliegenden Angaben diesbezüglich sind somit einzigartig.

Auch hier zeigt sich, dass die dorsale Versorgung bei kombiniertem zweizeitigem Verfahren länger dauerte als die alleinige einzeitige dorsale Versorgung. Jedoch war die Stichprobengröße nicht groß genug, damit man für diesen Unterschied der OP-Dauer eine Signifikanz nachweisen konnte. Ursächlich ist hier vermutlich, dass kompliziertere und dislozierte Frakturen, analog zur Beobachtung im ZT-Cluster, eher dem kombinierten Verfahren zugeführt werden. Die vergleichsweise schnellen Versorgungszeiten im Vergleich zu einem wirbelsäulengesunden Kollektiv lassen sich auch hier, analog zum ZT-Cluster, durch eine Versorgung vorwiegend durch erfahrene Operateure erklären. Insgesamt zeigt sich, dass die Versorgung von Wirbelkörperfrakturen bei SA nicht wesentlich länger dauert als bei einem vergleichbaren wirbelsäulengesunden Kollektiv. Diese Erkenntnis trifft jedoch nur zu, wenn das versorgende Krankenhaus mit der Versorgung von traumatischen Wirbelkörperfrakturen vertraut ist. Dies ist für die meisten Zentren der Fall, welche zu Wirbelkörperfrakturen bei SA Arbeiten veröffentlicht haben. Die Versorgung einer Fraktur bei SA ist technisch hochanspruchsvoll und erfordert ein Höchstmaß an Erfahrung im Umgang mit hochinstabilen, traumatischen Wirbelkörperfrakturen.

Die gemachten Beobachtungen zeigen, dass eine Betrachtung der OP-Zeiten abhängig von der Frakturhöhe und abhängig vom gewählten operativen Verfahren gemacht werden muss. Alle Ergebnisse undifferenziert zusammenzufügen führt dazu, dass eine zweckmäßige Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Insbesondere bei einem speziellen und seltenen Patientenkollektiv wie dem hier untersuchten führt eine Pauschalisierung bzw. Gleichsetzung von Merkmalen schnell zu statistischen Fehlschlüssen und unter Umständen zu daraus resultierenden Fehlbehandlungen. Es ist eine differenzierte Betrachtung bei dennoch ausreichend großer Fallzahl notwendig. Hierzu ist eine Unterteilung, beispielsweise in Cluster, sehr hilfreich und sinnvoll.

5.4.4 Fusionierte Segmente

ZT-Cluster

Die Anzahl der durchschnittlich fusionierten Wirbelkörpersegmente war bei einzeitig dorsaler Versorgung (6,06) signifikant größer als bei kombiniert dorso-ventraler Versorgung (4,71). Viele Autoren bevorzugen im Bereich der Halswirbelsäule aufgrund der pathoanatomischen und biomechanischen Veränderungen der Wirbelsäule eine langstreckige dorsale Spondylodese.^{85,88,122} In der Literatur gibt es Empfehlungen, mindestens ein Segment,¹⁷⁰ mindestens zwei Segmente¹²⁴ oder mindestens zwei bis vier Segmente kranial wie auch kaudal der Fraktur miteinzuschließen.¹⁴⁶ Dies soll Re-Frakturen und Materialbrüche, bedingt durch Materialversagen bei starker Hebelarmwirkung, vermeiden. Eine Angabe über die Anzahl der tatsächlich fusionierten Segmente bei SA findet sich in der Literatur nur in den Arbeiten von Sapkas et al. und Luksanapruksa et al. Betrachtet man Sapkas et al. Beobachtungen unter Berücksichtigung der Frakturhöhe – entsprechend der hier vorgestellten Clustereinteilung – und der gewählten OP-Technik, so wurden bei dorsaler Versorgung durchschnittlich fünf Segmente und bei dorso-ventraler Versorgung durchschnittlich sechs Segmente fusioniert.⁸⁸ Bei letzterem lässt sich aber nicht sicher differenzieren, ob hier die Anzahl der fusionierten Segmente beider Verfahren addiert worden sind oder ob es sich nur um die fusionierten Segmente des dorsalen Teileingriffes handelt. Eine separate Aufführung der ventral fusionierten Segmente findet sich hier nicht. In der Arbeit von Luksanapruksa et al. wurden bei alleiniger dorsaler Versorgung durchschnittlich fünf Segmente fusioniert. Beim dorsalen Teileingriff wurden sechs und beim ventralen Teileingriff jeweils durchschnittlich ein Segment fusioniert.¹³⁷ Im hier vorliegenden Kollektiv wurde durchschnittlich einzeitig dorsal ein Segment mehr und kombiniert dorso-ventral ein Segment weniger als in den beiden Vergleichsarbeiten fusioniert. Einzeitig dorsal erfolgte vermutlich eine bewusste, lange Fusion der Wirbelsäule, um den zervikothorakalen Übergang sicher miteinzuschließen und das Re-Frakturrisiko zu senken. Bei kombinierter Versorgung geht die hohe Versorgungsstabilität aufgrund der dorso-ventralen Fusion der jeweiligen Segmente zu gleichen Teilen auf Kosten der In- und Reklination.²²⁰ Vor diesem Hintergrund der beidseitigen Abstützung ist es durchaus vertretbar, die Gesamtstrecke der Spondylodese kürzer zu halten um dadurch postoperativ eine höhere Restbeweglichkeit zu erhalten. Insgesamt entsprechen die in dieser Arbeit gemachten Beobachtungen den Empfehlungen der Literatur zu einer langstreckigen dorsalen Spondylodese.

Ventral wurden in der vorliegenden Studie durchschnittlich ca. drei Segmente beim kombinierten dorso-ventralen Eingriff fusioniert. In vier von sieben Fällen wurden jeweils zwei Segmente und in drei Fällen jeweils vier Segmente fusioniert. Bei zuletzt genannten Fällen handelte es sich nur einmal um eine Mehrfachfraktur. Im direkten Vergleich mit der Studie von

Luksanapruksa et al., in welcher ventral jeweils immer nur ein Segment fusioniert wurde,¹³⁷ ist die in der vorliegenden Arbeit beobachtete Anzahl fusionierter Segmente pro Eingriff höher. Luksanapruksa et al. verwendeten vermutlich einen monosegmentalen Cage, allerdings ist das gewählte OP-System aus den Angaben der Studie nicht erkennbar. Wie Luksanapruksa et al. die Anzahl der fusionierten Segmente gezählt bzw. bestimmt haben ist ebenfalls nicht ersichtlich. In der vorliegenden Arbeit wurde im ZT-Cluster vier Mal eine Plattenosteosynthese und einmal eine Stabosteosynthese durchgeführt, zwei Mal wurden bisegmentale Cages implantiert. Bei der Platten- und bei der Stabosteosynthese kommt es zwangsläufig zur Fusion von mindestens zwei Segmenten. Bei den bisegmentalen Cages handelte es sich beide Male um benachbarte Mehrfachfrakturen. Hier wurden sowohl die ersetzten Wirbelkörper als auch die beiden anliegenden, unverletzten Wirbelkörper als Teil der Fusionsstrecke gezählt. Eine möglicher Erklärung für die abweichenden Angaben hinsichtlich der durchschnittlich fusionierten Segmente wäre somit eine unterschiedliche Zählweise der Segmente. Außerdem sind insgesamt unterschiedliche Ausgangsbefunde wahrscheinlich, können aber aufgrund fehlender Informationen nicht mit Sicherheit bestätigt werden. Zudem ist eine Vergleichbarkeit aufgrund der nur sehr geringen Stichprobengröße sowohl in der vorliegenden, als auch in allen vergleichbaren Arbeiten erschwert.

TL-Cluster

Es wurden bei einzeitiger dorsaler Versorgung durchschnittlich ca. sechs Segmente fusioniert. Bei wirbelsäulengesunden Patienten mit instabilen Frakturen im thorakolumbalen Bereich ist eine Fusionierung von vier Segmenten biomechanisch einer Fusionierung von zwei Segmenten überlegen.²²¹ Auch das Outcome hinsichtlich des sagittalen Index und der anterioren Wirbelkörperkompression ist bei langstreckigen Instrumentierungen besser als bei Kurzstreckigen.²²² Diese Erkenntnisse haben auch für SA-Patienten ihre Gültigkeit. Durch die pathoanatomische Steifheit der Wirbelsäule wirken Hebelarme stärker als bei einer gesunden Wirbelsäule. Im Vergleich zu gesunden Patienten muss bei SA-Patienten die Instrumentierung entsprechend länger sein, um diesen Kräften entgegenzuwirken. Bredin et al. führten in über 77 % ihrer Fälle eine Fixierung von fünf oder mehr Segmenten durch¹³⁸ und auch Trent et al. favorisierten eine Fusionierung von drei Segmenten ober- wie auch unterhalb der Fraktur. Zudem wurde die Indikation zur Erweiterung der Fusionsstrecke um ein bis zwei Segmente zur Überbrückung frakturanfälliger Bereiche wie den Scheitelpunkten der Kyphose, großzügig gestellt.¹³⁰ Sapkas et al. beschrieben für einen Bereich entsprechend dem TL-Cluster durchschnittlich sechs fusionierte Segmente⁸⁸ und Backhaus et al. instrumentierten im Rahmen der dorsalen Versorgung bei thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen zwei

Wirbelkörper kranial und zwei kaudal der Fraktur.¹²⁹ Das Vorgehen in der vorliegenden Arbeit entspricht demnach dieser Vorgehensweise und den Angaben in der Literatur.

Kombinierte dorso-ventrale Versorgungen bei SA-Patienten mit Frakturen im thorakolumbalen Bereich sind in der Literatur eher die Ausnahme. Beim kombinierten Eingriff wurden im vorliegenden Patientenkollektiv ventral ca. drei und dorsal ca. sechs Segmente fusioniert. Vergleichswerte für SA-Patienten in der Literatur waren nicht zu finden. Die kombinierte dorso-ventrale Versorgung entspricht aber in der Anzahl der fusionierten Segmente weitestgehend den Ergebnissen der einzeitig dorsalen Versorgung. Ventral wird bei traumatischen Wirbelkörperfrakturen eines ansonsten wirbelsäulengesunden Kollektivs üblicherweise ein Wirbel kranial sowie ein Wirbel kaudal der Verletzung in die Fusionierung miteingeschlossen.²²³ Dies entspricht der gemachten Beobachtung von ca. drei fusionierten Segmenten. Allerdings wurden im vorliegenden Kollektiv insgesamt nur vier Patienten des Clusters kombiniert dorso-ventral versorgt was die statistische Aussagekraft schmälert.

5.4.5 Intraoperativer Blutverlust

ZT-Cluster

Bei wirbelsäulengesunden Patienten mit einer Fraktur der Halswirbelsäule ist intraoperativ mit nur geringen Blutverlusten zu rechnen. Eine Studie über 33 Patienten mit instabilen subaxialen Halswirbelfrakturen beschrieb einen durchschnittlichen Blutverlust von 0,08 Litern bei ventralen und 0,2 Litern bei dorsalen Eingriffen.²¹⁸ Eine Angabe zum Blutverlust bei kombiniertem dorso-ventralen Verfahren im Bereich der Halswirbelsäule ohne SA konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

SA-Patienten haben ein deutlich höheres Blutungsrisiko. Gefäßverletzungen bei zervikalen Eingriffen sind ein ernstzunehmendes Risiko. Durch die pathologischen Veränderungen kann es dazu kommen, dass Weichgewebe verknöchern²²⁴ und Gefäße dort zum Teil fixiert werden können. Es sind insbesondere perforierende Venen und segmentale Gefäße im Verlauf des M. longus colli gefährdet.²²⁵ Bei vielen SA-Patienten mit Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule finden sich intraoperativ Einblutungen in diesen Muskel oder er ist sogar rupturiert.¹¹⁶ Bei einer Ruptur des Muskels ist mit einer Verletzung der begleitenden Gefäße zu rechnen. Wird nun die Fraktur intraoperativ reponiert, kann es erneut zu Blutungen im Bereich des besagten Muskels kommen. Generell haben SA-Patienten auch eine höhere Tendenz, aus den betroffenen Frakturen selbst zu bluten.^{139,226}

In der vorliegenden Arbeit konnte während des einzeitigen dorsalen Eingriffes ein durchschnittlicher Blutverlust von 1,15 Litern beobachtet werden, wobei es einen Ausreißer

mit 3 Litern gab. Bei den zweizeitigen Eingriffen betrug der durchschnittliche Blutverlust insgesamt 1,37 Liter. Olerud et al. beschrieben im Jahr 1995 für 31 Fälle den Blutverlust sowohl unabhängig von der Operationshöhe als auch von der OP-Technik. Auf die gesamte Wirbelsäule bezogen wurden durchschnittlich 3,5 Liter Blutverlust beschrieben, wobei es sich in zwei Fällen sogar um mehr als 10 Liter handelte.⁸⁵ Betrachtet man die Ergebnisse von Olerud et al. unter Berücksichtigung der Clustereinteilung, so ergeben sich für die einzeitig dorsale Versorgung ca. 3 Liter (Mittelwert 2,95, Median 2) und für das kombinierte Verfahren 2 Liter (Mittelwert 2, Median 1,4) Blutverlust.⁸⁵ Cornefjord et al. differenzierten im Jahr 2005 bei 19 Patienten mit Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule nicht nach der OP-Technik und beschrieben einen durchschnittlichen Blutverlust von 2,12 Litern.¹³⁹ Neuere Studien aus den Jahren 2017 und 2019 zeigen hingegen deutlich geringere Blutverluste. Im Rahmen der einzeitig dorsalen Versorgung wurden hier Blutverluste von durchschnittlich 0,3 Litern und im Rahmen eines kombinierten Verfahrens Blutverluste von durchschnittlich 0,37-0,58 Litern beschrieben.^{137,219} Die vorliegenden Beobachtungen liegen deutlich unterhalb der Angaben von Olerud et al. sowie Cornefjord et al. aber etwas oberhalb der Angaben der beiden neueren Arbeiten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden zwischen 2006 und 2016 gesammelt. Somit entstanden diese Beobachtungen genau zwischen den o.g. älteren und den neueren Studien. Ab dem Jahr 2012 begann die Fachliteratur sich zunehmend mit Patient-Blood-Management und der daraus resultierenden Optimierung hinsichtlich des perioperativen Blutungs- und Gerinnungsmanagements auseinanderzusetzen.²²⁷ Die in neueren Studien tendenziell sinkenden intraoperativen Blutverluste erklären sich darüber hinaus durch den fortwährenden technologischen Fortschritt auf dem Gebiet der minimalinvasiven Chirurgie, welche auch in der Wirbelsäulenchirurgie zunehmend an Bedeutung gewinnt und mit geringeren intraoperativen Blutverlusten einhergeht.²²⁸ Zusätzlich können moderne Navigationssysteme, fortgeschrittene Lagerungstechniken und eine bessere prä- und intraoperative Bildgebung zu einer schonenderen und effizienteren Reposition der Fraktur beitragen. Durch diese Maßnahmen können im verknöcherten Weichgewebe fixierte Gefäße geschont werden. In älteren Arbeiten wurde ein epidurales Hämatom entlang der Wirbelsäule in bis zu 50 % der Fälle beschrieben.^{133,226,229,230} In der vorliegenden und auch anderen, neueren Arbeiten ist dieses nicht mehr beschrieben worden.

TL-Cluster

Der verzeichnete intraoperative Blutverlust betrug bei einzeitigen dorsalen Eingriffen im Durchschnitt 0,73 Liter. In der Studie von Moussallem et al. betrug der durchschnittliche Blutverlust 0,55 Liter bei einzeitig dorsaler Instrumentierung. Allerdings beinhaltete diese Studie zum größeren Teil Patienten mit DISH und nur zu 42 % Patienten mit SA.¹⁴³ Bei

wirbelsäulengesunden Patienten findet sich in der Literatur ein durchschnittlicher Blutverlust von 0,65 Litern bei einzeitig dorsaler Vorgehensweise.⁶⁸ Somit unterscheidet sich der Blutverlust bei alleiniger dorsaler Spondylodese trotz der Grunderkrankung nicht allzu sehr vom Blutverlust im vergleichbaren wirbelsäulengesunden Kollektiv. Dennoch kann der Eingriff von dorsal bei SA-Patienten sehr blutreich verlaufen.⁸⁶

Beim kombiniert dorso-ventralen Verfahren wurde in der vorliegenden Arbeit insgesamt ein durchschnittlicher Blutverlust von 2,39 Liter erfasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur vier Patienten kombiniert dorso-ventral versorgt wurden und es sich in einem dieser Fälle um einen statistischen Ausreißer mit 4,5 Liter handelt. Der Blutverlust beim alleinigen dorsalen Eingriff der kombinierten Versorgung war signifikant höher als bei einer einzeitigen dorsalen Versorgung.

Angaben zu intraoperativen Blutverlusten bei SA-Patienten mit entsprechender Versorgungsart und -höhe konnten in der Literatur nicht gefunden werden. Deswegen kann nur ein Vergleich mit einem sonst gesunden Kollektiv gezogen werden. Hier wurde bei selbigem operativen Verfahren ein durchschnittlicher Blutverlust von 0,96 Litern registriert.⁶⁸ Dieser liegt deutlich unter dem in dieser Arbeit beobachteten Wert. Es stellt sich die Frage, wie dieser Unterschied zustande kommt. Die epi- und periduralen Venen sind bei SA im verknöcherten Weichteilgewebe fest fixiert und können deshalb bei Bewegungen leicht zerreißen.¹³⁶ Es ist davon auszugehen, dass auch weitere Gefäße durch die Pathologie mit verknöcherten Bandstrukturen verbunden sein können. Dies betrifft u.a. das gesamte horizontal sowie vertikal verlaufende Gefäßsystem des Rückenmarks. Frakturen, die einer beidseitigen Fusionierung bedürfen, sind als deutlich instabiler zu werten als solche, die einzeitig von dorsal versorgt werden können. Manipulationen, die im Frakturbereich beispielsweise im Rahmen einer notwendigen Reposition durchgeführt werden, sind bei den bestehenden pathoanatomischen Veränderungen womöglich schon ausreichend, um vaskuläre Verletzungen mit konsekutiven Blutungen zu verursachen. Vergleichbar ist diese Konstellation mit der Arteria meningea media, welche in ihrem Verlauf direkt an der Wand der Schädelkalotte verläuft und deswegen bei einem Trauma vulnerabler ist. Bei Aufrichtungsosteotomien von SA-Patienten wurden in der Literatur vaskuläre Komplikationen beschrieben. Durch die operative Lordosierung war beispielsweise die Elongation der vorderen Bandstruktur ausreichend, um eine Laceration der Aorta zu verursachen. In einem weiteren Fall kam es durch die operative Manipulation zu einem radikulären Gefäßausriss.²³¹ Es ist deswegen anzunehmen, dass eine anspruchsvolle/aufwendige Reposition einer Fraktur auch zu Verletzungen von Gefäßen führen kann, welche einen klinisch relevanten Blutverlust zur Folge haben können. Der o.g. signifikant höhere Blutverlust beim kombinierten dorso-ventralen Verfahren untermauert diese Annahme. Ein älteres Patientenkollektiv, welches

zusätzlich zur Pathoanatomie des Morbus Bechterew auch eine geringere Elastizität der Gefäße aufgrund einer Arteriosklerose aufzeigt, ist sehr vulnerabel für Gefäßverletzungen. Beides sind Faktoren, welche für den Großteil des hier beobachteten Kollektivs zutreffen.

Generell

Im Rahmen anderer operativer Eingriffe bei SA-Patienten wurden bereits auffällige Blutungskonstellationen festgestellt. Das Implantieren von Totalendoprothesen der Hüfte (Hüft-TEP-Operationen) bei Patienten mit stärkerer SA-Krankheitsausprägung zeigte in der Literatur einen erhöhten intraoperativen Blutverlust im Vergleich zu Patienten ohne SA, welche dieselbe Operation erhielten. Als Hauptursache wurde hier die Knochenhyperplasie gesehen, welche zu einer vermehrten Blutung der Knochenoberflächen führte.²³² Auch bei Laminektomien wurden starke Blutungen aus dem Knochen registriert. Vermutet wird eine übermäßig starke Blutung im Bereich der Spongiosa des pathologisch veränderten Knochens. Im verknöcherten Weichgewebe fixierte, nicht-kontraktile Blutgefäße sowie eine eher spröde Knochenstruktur begünstigen die erhöhte Blutungsneigung zusätzlich.²²⁶

NSAR gehören zur Erstlinientherapie der Spondylitis ankylosans. Durch die nichtselektive COX1/2-Hemmung kommt es zu einer verminderten Vasokonstriktion, einer gehemmten Plättchenaggregation und somit zu einer Erhöhung der Blutungszeit.²³³ Die beobachteten Fälle wurden größtenteils notfallmäßig operiert. Ein Absetzen, Ausschleichen oder eine Dosisanpassung der Dauermedikation war zuvor in der Regel nicht möglich. Deswegen sollten Patienten mit SA unbedingt auch von den übrigen Entwicklungen und Untersuchungen auf dem Gebiet des Blutmanagements profitieren. Die präoperative Gabe von Tranexamsäure kann bei mehrstufigen Wirbelsäulenoperation den intraoperativen Blutverlust und die Transfusionsrate reduzieren²³⁴ und wurde auch bei SA-Patienten bereits hinsichtlich des intraoperativen Blutverlustes bei bilateraler Hüft-TEP als protektiver Faktor identifiziert.²³⁵ Bei dem Risiko von großen Blutverlusten muss planerisch auch der mögliche versteckte Blutverlust bedacht werden. Bei dorsaler Spondylodese von Patienten ohne rheumatoide Grunderkrankung wurde dieser mit 39 % der Gesamtmenge beziffert.²³⁶

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass bei einer Operation eines SA-Patienten mit einem höheren Blutverlust als üblich zu rechnen ist. Patienten mit SA und traumatischer Wirbelsäulenverletzung sind selten und mit dem Patientenkiel vertraute Operateure und Anästhesisten eher die Ausnahme. Deswegen ist anzunehmen, dass die behandelnden Ärzte von einem solch starken Blutverlust intraoperativ überrascht werden. Dem Wissen um dieses Risiko muss im Rahmen des perioperativen Managements Rechnung getragen werden.

Der Vergleich mit der bestehenden Literatur zeigt, dass Blutungsmengen häufig unabhängig von der Frakturhöhe und dem gewählten OP-Verfahren angegeben werden. Die

Blutungsmengen variieren je nach Höhe der Verletzung allerdings deutlich. Eine Einteilung und Beurteilung einer Fraktur entsprechend der Cluster kann bei der Planung des perioperativen Managements hilfreich sein und sollte angestrebt werden. Geeignete Blutprodukte sollten in ausreichender Anzahl vorgehalten werden und die Nutzung eines autologen Blutrückgewinnungssystems sollte bedacht werden. Des Weiteren sollte die präoperative Gabe von Tranexamsäure niederschwellig erfolgen, um den möglichen Blutverlust für betroffene Patienten zu reduzieren.

5.4.6 Intraoperative Transfusion

ZT-Cluster

Mit dem recht hohen Blutverlust geht auch die Transfusionsrate und -menge einher. Bei einzeitigen dorsalen Eingriffen wurde in 19 % der Fälle eine intraoperative Transfusion durchgeführt, bei der im Durchschnitt 0,8 Liter eines Erythrozytenkonzentrates verabreicht wurde. Beim zweizeitigen Verfahren wurde insgesamt in 21 % der Fälle mindestens in einem der beiden Eingriffe durchschnittlich 1,05 Liter transfundiert. Zu beachten ist, dass beim ventralen Verfahren nur ein einziges Mal überhaupt transfundiert werden musste, was die Aussagekraft dieses Wertes deutlich schmälert. In der Literatur gibt es weder für SA-Patienten noch für sonstige Patienten Angaben zu intraoperativen Transfusionsraten und -mengen bei traumatischen Halswirbelkörperfrakturen. Somit sind diese Angaben einzigartig und können nicht verglichen werden. Jedoch decken sich die transfundierten Mengen grob mit den zuvor benannten Blutverlusten.

TL-Cluster

In den beobachteten Fällen wurde bei dorsal einzeitigen Eingriffen in 14 % der Fälle eine intraoperative Transfusion durchgeführt. In diesen Fällen wurde durchschnittlich 0,5 Liter eines Erythrozytenkonzentrates transfundiert. Moussallem et al. beschreibt für seine Studie eine Transfusionsrate von 56 % mit einer durchschnittlichen Transfusionsmenge von 0,44 Liter.¹⁴³ Die dort erfasste höhere Transfusionsrate ist dahingehend zu erklären, dass perioperative Transfusionen miterfasst wurden, wohingegen in der vorliegenden Arbeit ausschließlich intraoperative Transfusionen berücksichtigt wurden. Zudem umfasst das Kollektiv von Moussallem et al. nicht ausschließlich Patienten mit SA sondern zum Großteil Patienten mit DISH. Ob bei dieser Grunderkrankung andere Blutungsneigungen bestehen und somit abweichende Transfusionsraten entstehen, kann man nicht mit Sicherheit sagen.

Bei den zweizeitigen Eingriffen wurde insgesamt in 37,5 % der Fälle transfundiert, wobei beim ventralen Eingriff nur einmal transfundiert werden musste. Bei den zweizeitigen Eingriffen

betrug die insgesamt durchschnittlich transfundierte Menge 1,1 Liter. Angaben zu intraoperativen Transfusionen bei Patienten mit SA und kombinierter dorso-ventraler Versorgung einer Wirbelkörperfraktur auf entsprechender Frakturhöhe sind nicht bekannt. Diese Angaben sind somit einzigartig und können nicht verglichen werden.

5.4.7 Komplikationen

In 32 % aller in dieser Arbeit beobachteten Fälle kam es zu perioperativen Komplikationen. Die Rate an Komplikationen bei SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen ist generell hoch und wird in der Literatur mit 29–51 % angegeben.^{115,145} Die hier gemachten Beobachtungen liegen somit am Unterrand der Angaben der Literatur.

Viele Arbeiten stellen die perioperativen Komplikationen und die Komplikationsrate unabhängig von der Verletzungshöhe dar.^{85,88,115,117,145} Als Komplikationen werden häufig Komplikationen wie Wundinfektion, Harnwegsinfekte, akute Niereninsuffizienz, tiefe Beinvenenthrombosen, Pneumonie und respiratorische Insuffizienz beschrieben.^{115,145} Durch das fortgeschrittene Alter und das Vorhandensein verschiedener behandlungsbedürftiger Nebenerkrankungen steigt das Risiko für perioperative Komplikationen. Zudem spielt die Pathoanatomie der Grunderkrankung eine wesentliche Rolle. Der durch die versteiften Rippengelenke und die ausgeprägte Kyphose immobile Thorax schränkt die Brustwand- und die Zwerchfellatmung deutlich ein. Nach invasiver Beatmung ist dadurch die Inzidenz von Bronchopneumonien und respiratorischen Insuffizienzen im postoperativen Verlauf hoch. Eine Kombination mit Verletzungen des zervikalen Rückenmarks aggraviert diese Situation noch weiter.¹¹⁶ Eine frühzeitige postoperative Mobilisierung des Patienten verringert das Risiko für solche Komplikationen.¹¹⁸

Insbesondere beim Blick auf die Komplikationen ist die Unterscheidung nach Frakturhöhe fachlich sowohl interessant als auch relevant, da unterschiedliche Komplikationen mit den operativen Zugangswegen assoziiert sind. Die beobachteten Komplikationsraten abhängig von der Versorgungshöhe von 22 % gegenüber 42 % (ZT-Cluster vs. TL-Cluster), sind ein Indiz dafür, dass in der Literatur eine differenziertere Betrachtung der perioperativen Komplikationen in Abhängigkeit von der Frakturhöhe notwendig ist. Zudem können durch die Unterscheidung nach Frakturhöhe genauere Vergleiche zu anderen Arbeiten durchgeführt werden. Die so gewonnenen Informationen helfen bei der perioperativen Planung und der Risikostratifizierung für dieses ohnehin schon fragile Patientenkollektiv.

ZT-Cluster

Insgesamt erlitten 22 % der Patienten mit einer Fraktur im ZT-Cluster eine perioperative Komplikation. Dies liegt unterhalb der Angaben der Literatur von 27 - 68 % bei vergleichbarer Frakturhöhe.^{85,137} Insgesamt erscheint die Komplikationsrate hoch, jedoch ist zu berücksichtigen, dass bei SA-Patienten die Spondylodese stets langstreckiger durchgeführt wird als bei einem wirbelsäulengesunden Vergleichskollektiv. Die Rate an Komplikationen bei einem Kollektiv ohne SA für langstreckige dorsale Spondylodesen wird mit 37,5 % ähnlich hoch angegeben.²³⁷ Einige Arbeiten differenzieren zwischen intraoperativen und postoperativen Komplikationen. In der vorliegenden Arbeit wurde auf Komplikationen im Allgemeinen geprüft und keine Unterscheidung durchgeführt.

Bei einzeitiger dorsaler Versorgung wurden Komplikationen in 24 % der Fälle verschlüsselt. Die Literatur unterscheidet nach intraoperativen Komplikationen in 15 %, post-operativen Komplikationen in 26 % sowie Komplikationen allgemein in 17,4 % der Fälle.^{137,238} Die hier vorliegenden Beobachtungen liegen zwischen den Angaben der Literatur. Generell ist zu beachten, dass die Fallzahlen bei allen Arbeiten vergleichsweise gering sind, weswegen es schnell zu Schwankungen der relativen Zahlen kommen kann.

Bei kombinierter dorso-ventraler Versorgung wurden Komplikationen in 43 % der Fälle verschlüsselt. Die Literatur unterscheidet nach intraoperativen Komplikationen in 18 %, post-operativen Komplikationen in 16 % sowie Komplikationen allgemein in 50 % der Fälle.^{137,238} Die vorliegenden Beobachtungen befinden sich zwischen denen der Literatur. Auch hier zeigen sich insgesamt große Unterschiede, welche am ehesten auf die oben bereits erwähnten geringen Fallzahlen zurückzuführen sind. Mit 43 % wurden die meisten Komplikationen beim ventralen Eingriff der kombinierten Versorgung beobachtet. Hier war das Auftreten von Komplikationen wesentlich häufiger als im Vergleich zu 17 % beim dorsalen Eingriff der kombinierten Versorgung. Ein Vergleich zur Literatur ist hier nicht möglich, da keine Arbeit gefunden werden konnte, welche die kombinierte Versorgung in ihren Einzelschritten ähnlich detailliert betrachtet hat. Die Reihenfolge der Eingriffe spielt für die hier beobachtete Komplikationsrate vermutlich nur nachrangig eine Rolle, da in vier Fällen zunächst ventral und in drei Fällen zunächst dorsal versorgt worden ist. Allerdings deutet diese hohe Komplikationsrate bei ventraler Versorgung auf die besonderen operativen Herausforderungen durch die pathoanatomischen Veränderungen der Halswirbelsäule und ihrer Begleitstrukturen bei SA-Patienten hin.

Die Komplikationsarten entsprechen den Angaben der Literatur. Wundheilungsstörungen bzw. Wundinfekte konnten in einem Fall beobachtet werden. Diese werden in der Literatur häufig beschrieben^{88,129} und sind teilweise auch revisionsbedürftig.^{113,126} Auch Implantatlockerungen bzw. unzureichende Stabilisierungen, welche vorliegend in einem Fall beobachtet wurden,

werden in weiteren Arbeiten oft beschrieben.^{113,117,126,129} Die im selbigen Fall aufgetretene Lungenarterienembolie bei Zweiteingriff kann dem Komplikationsspektrum der Thrombosen zugeschrieben werden. Einige Autoren berichten von thrombembolischen Ereignissen,^{113,126,137} welche sich auch in Form von intraoperativer Kreislaufinstabilität manifestierten.¹¹⁷ Auch in einem Kollektiv ohne SA werden Lungenarterienembolien bei Eingriffen im Halswirbelbereich beschrieben.²³⁷ In einem vorliegenden Fall kam es intraoperativ zu einer einseitigen Verletzung der Arteria vertebralis. Diese Komplikation wurde für ein entsprechendes Kollektiv mit SA bereits in einer weiteren Arbeit beschrieben.¹²⁶ Die insgesamt häufig beschriebenen Pneumonien,^{113,115,117} insbesondere bei kombiniertem dorso-ventralen Verfahren,¹³⁷ konnten in der vorliegenden Arbeit in einem Fall in Form einer Aspirationspneumonie beobachtet werden. Wie genau es zu dieser Aspiration gekommen ist, konnte aus den Unterlagen nicht sicher eruiert werden. Es ist anzunehmen, dass durch fortschrittliches perioperatives Management mit kürzeren Beatmungszeiten und frühzeitigem Atemtraining diese Komplikation insgesamt rückläufig ist. Diese Tendenz zeigt sich auch in einer vergleichsweise jüngeren Literaturübersichtsarbeit, in der eine Pneumonie nur noch in 6,3 % der Fälle beschrieben worden ist.¹⁴⁵ Eine pulmonale Komplikation bei einzeitig dorsaler Versorgung konnte in Form einer Bronchitis mit Pleuraergüssen beobachtet werden. Diese ist in einem Vergleichskollektiv ohne SA nur vorzufinden, wenn auch ein ventrales Verfahren genutzt wurde.²³⁷ Der pathologisch immobile Brustkorb ist hier am ehesten ursächlich. Die beobachtete postoperative Blutungsanämie, welche aufgrund ihrer Transfusionspflichtigkeit aufgeführt wurde, fand sich in keiner weiteren Literaturarbeit.

TL-Cluster

Insgesamt erlitten 42 % der beobachteten Patienten mit einer Fraktur im TL-Cluster eine perioperative Komplikation. In der Literatur gibt es nur wenige Arbeiten, welche sich gezielt mit thorakolumbalen Frakturen bei SA befassen. Moussallem et al. beschrieben eine Komplikationsrate von 67 %, ¹⁴³ inkludierten in ihrer Studie aber nur zu 42 % Patienten mit SA. Bredin et al. beschrieben für ihr Kollektiv postoperativ nur eine transfusionspflichtige Anämie und sonst keine signifikanten medizinischen Komplikationen, ¹³⁸ geben aber nicht an, ab wann eine Komplikation als dokumentationswürdig gewertet worden ist. Backhaus et al. beschrieben eine operative Revisionsrate von 28 % und eine Mortalität von 23 % während des stationären Aufenthaltes, ¹²⁹ geben aber keine Rate für Komplikationen im Allgemeinen an.

Die Komplikationsrate bei einem Kollektiv ohne SA wird mit 9–14 % angegeben.^{68,148} In Anbetracht der geringen Anzahl an Vergleichsarbeiten sowie der großen Schwankungen zwischen diesen ist die beobachtete Komplikationsrate für das TL-Cluster als angemessen anzunehmen. Die Grundlage hierfür bildet die insgesamt hohe Komplikationsrate von 29–51 %

für SA-Patienten, unabhängig von der Versorgungshöhe.^{115,145} Hier wäre es wünschenswert, wenn zukünftige Arbeiten zu diesem Thema die Versorgungshöhe und Versorgungsart differenzierter betrachten würden.

Bei einzeitiger dorsaler Versorgung wurden Komplikationen in 45 % und bei kombiniertem dorso-ventralen Verfahren in 25 % der Fälle beschrieben. Eine Aufschlüsselung der Komplikationen nach Art des operativen Verfahrens findet sich in der Literatur nicht. Die in der vorliegenden Arbeit registrierten diesbezüglichen Ergebnisse sind für ein Kollektiv mit SA somit einzigartig. Ein Vergleich mit anderen Arbeiten ist somit nicht möglich.

Im Vergleich zum ZT-Cluster (22 %) ist im TL-Cluster die Komplikationsrate höher (42 %). Dies ist ein Hinweis auf die komplexeren Lagerungsbedingungen bei einer Fraktur im TL-Cluster. Überraschend ist hier jedoch, dass beim dorsalen Teileingriff der kombinierten Versorgung in keinem Fall eine Komplikation dokumentiert worden ist. Alle vier Fälle wurden zuerst von dorsal versorgt. Da eine kombinierte dorso-ventralen Versorgung insbesondere bei einer nicht-intakten vorderen Säule indiziert ist, wissen vermutlich alle an der Operation beteiligten Personen, dass es sich bei der zu versorgenden Fraktur um eine hochinstabile Fraktur handelt, welche mit extremer Vorsicht gelagert und behandelt werden muss. Klinisch behandelt man solche Patienten „wie ein rohes Ei“. Diese besondere Vorsicht beim Umgang mit dem Patienten ist eine mögliche Erklärung für die fehlenden Komplikationen. Aufgrund der niedrigen Fallzahl ist jedoch das Risiko einer statistischen Verzerrung nicht zu unterschätzen. Dies ist vermutlich auch der Grund, weswegen die Komplikationsrate des kombinierten Verfahrens (25 %) niedriger ist, als die der einzeitigen Versorgung (45 %). Man würde hier aufgrund des zusätzlichen Eingriffes eine höhere Komplikationsrate erwarten. Es ist anzunehmen, dass mit höherer Fallzahl auch die Komplikationsrate des kombinierten Verfahrens höher liegen wird. Richtungsweisend sind hier Arbeiten, welche thorakolumbale Frakturen bei einem Kollektiv ohne SA untersucht haben. Hier zeigte sich beispielhaft bei einer Arbeit, dass die relative Häufigkeit von Komplikationen nach kombinierter Behandlung mit 16,6 % größer war als mit 12,8 % nach isoliert dorsaler Operation.⁶⁸

Die Komplikationsarten entsprechen den Angaben aus der Literatur. Wundheilungsstörungen konnten in einem Fall (4 %) registriert werden. Postoperative Wundinfekte werden in bis zu 14 % der Fälle beschrieben.¹²⁹ Schraubenfehlagen bzw. eine unzureichende Stabilisierung werden in der Literatur in 15 % der Fälle beschrieben und wurden vorliegend in zwei Fällen (8 %) dokumentiert.¹²⁹ Dabei auftretende neurologische Begleitsymptome sind ebenfalls in der Literatur vorbeschrieben.¹³⁵ Auch die transfusionspflichtige Blutungsanämie wurde einmalig (4 %) beobachtet, welche in der Literatur mit etwa 3 % ähnlich häufig vorzufinden ist.¹³⁸ Mit einem Hämatoserotherax konnte eine Zugangshöhen-spezifische Komplikation beobachtet werden, welche im ZT-Cluster nicht vorzufinden war. Insgesamt entsprechen die

Komplikationsarten des untersuchten Kollektivs auch denen eines wirbelsäulengesunden Kollektivs mit traumatischen thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen. Allerdings sind die Raten an Komplikationen bei SA wesentlich höher. Beispielsweise treten Wundheilungsstörungen mit 8 % wesentlich häufiger auf als bei einem Kollektiv ohne SA (1,9 %).⁶⁸ Ursächlich ist hier die mit dem höheren Alter von SA-Patienten einhergehende Anzahl an behandlungspflichtigen Nebenerkrankungen. So zählen der häufig verzeichnete arterielle Hypertonus und auch der Diabetes mellitus zu ätiologischen Faktoren für Wundheilungsstörungen bei älteren Patienten.²³⁹

5.4.8 Intensivaufenthalt

Unabhängig von der Versorgungshöhe und der Versorgungsart wurde eine Aufnahmequote von 61 % und eine durchschnittliche Liegedauer von 2,4 Tagen auf der Intensivstation dokumentiert. Angaben zur postoperativen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation sind in der Literatur nur in wenigen Arbeiten zu finden; differenziert nach Versorgungshöhe oder Versorgungsart wurde in keiner Arbeit. Angaben, welche sich spezifisch auf einen Bereich beziehen, sind nur entstanden, weil Frakturen aus anderen Versorgungshöhen nicht betrachtet worden sind.¹⁴³ Die Angaben der Literatur zu einer postoperativen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation variieren zwischen 8,9 Tagen in der Arbeit von Caron et al.¹²¹ und 11,7 Tagen in der Arbeit von Vazan et al.¹⁴⁴ Die Angaben der Literatur liegen deutlich über denen der vorliegenden Arbeit. Caron et al. inkludierten zu ca. 15 % auch konservativ behandelte Frakturen, welche mit einem höheren Komplikationsrisiko assoziiert sind¹¹⁵ und deswegen mit längeren Liegedauern auf der Intensivstation einhergehen können. In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Fälle berücksichtigt, in denen primär eine operative Versorgung der Fraktur stattgefunden hat. Vazan et al. beschrieben mit 36,6 % eine deutlich höhere Anzahl an Frakturen, welche nach AO Klassifikation in Typ C klassifiziert worden sind.¹⁴⁴ Diese sind aufgrund der Schwere der Verletzung vermutlich mit einer erhöhten Komplikationsrate und damit einhergehend einer längeren Liegedauer auf der Intensivstation assoziiert. Außerdem zeigte sich in der Vergleichsarbeit ein Fall mit einer Liegedauer von 63 Tagen,¹⁴⁴ welcher den Mittelwert deutlich nach oben abweichen lässt. Im vorliegenden Kollektiv fanden sich Typ C-Frakturen nur in 11 % der Fälle und die längste Liegedauer betrug 32 Tage. Dies erklärt die unterschiedlichen Liegedauern bei den beiden Vergleichsarbeiten zumindest zum Teil. Backhaus et al. beschreiben einen postoperativen Aufenthalt auf der Intensivstation von zwei Tagen im Median.¹²⁹ Der Median aller Fälle der vorliegenden Arbeit liegt bei einem Tag. Unsere Beobachtungen sind diesen Angaben sehr ähnlich, sind aber insgesamt niedriger als in der Literatur. In 76 % der beobachteten Fälle war der Aufenthalt auf der Intensivstation

höchstens zwei Tage lang. Das Wissen um das multimorbide Patientenklientel und die häufig beschriebene hohe Mortalität hat vermutlich eine niederschwellige Indikation zur postoperativen intensivmedizinischen Versorgung zur Folge gehabt. Spezifische Informationen über eine Aufnahmezeit und die Liegedauer auf der Intensivstation sind relevant, um beispielsweise als Outcome-Parameter genutzt zu werden. Falls ein erweitertes perioperatives Management als Standardverfahren etabliert wird, können bessere Aussagen über die Effektivität und die mögliche Kostenreduktion des neuen Verfahrens getroffen werden. Arbeiten zu Kollektiven ohne SA haben dies bereits für große wirbelsäulenchirurgische Eingriffe etabliert.²⁴⁰ Dies sollte in zukünftigen Studien auch für SA-Patienten miteingefasst werden.

ZT-Cluster - Aufnahmezeit Intensivstation

Nach Eingriffen im ZT-Cluster konnte eine Aufnahme auf die Intensivstation in 46 % der Fälle beobachtet werden. Vergleichbare Angaben für ein Kollektiv mit SA und traumatischer Wirbelkörperfraktur im Bereich des zervikothorakalen Übergangs konnten in der aktuellen Literatur nicht gefunden werden. Ein bedingt möglicher Vergleich ist somit nur mit einem Kollektiv ohne SA möglich. In einer passenden Vergleichsarbeit wurde ein Kollektiv bestehend aus 506 Patienten beschrieben, in dem 7 % der Patienten unter einer rheumatoiden Grunderkrankung litten. Die Aufnahmezeit auf die Intensivstation nach Operationen im Halswirbelsäulenbereich betrug hier 37 %.²⁴¹ Das in dieser Arbeit untersuchte Patientenkollektiv hatte jedoch mit 57 Jahren ein deutlich jüngeres Durchschnittsalter. Außerdem ist dieses Vergleichskollektiv, gemessen an der ASA-Klassifikation, weniger morbid als das hier Vorliegende.²⁴¹ Dennoch ist der Unterschied der Aufnahmezeiten nicht allzu groß. Untersucht man die Aufnahmezeiten der vorliegenden Arbeit in Abhängigkeit vom gewählten OP-Verfahren, so zeigt sich beim kombinierten dorso-ventralen Verfahren mit 20 % eine geringere Aufnahmezeit auf die Intensivstation als bei einseitig dorsaler Versorgung mit 53 %. Weil aber jede Operationshöhe mit spezifischen Komplikationen einhergehen kann, erfordert es in der Zukunft eine differenziertere Betrachtung der Intensivaufenthaltsdauer in Abhängigkeit von Frakturhöhe und Versorgungsart.

ZT-Cluster - Intensivaufenthaltsdauer

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Intensivaufenthaltsdauer nach Art des durchgeführten operativen Verfahrens ist in der aktuellen Literatur nicht zu finden. Diesbezüglich sind die in der vorliegenden Arbeit dokumentierten Daten einmalig. Ein Vergleich mit der Literatur ist deswegen nicht möglich. Die vergleichsweise lang wirkende Intensivliegedauer mit durchschnittlich 2,76 Tagen bei einseitig dorsaler Versorgung ist durch einen Ausreißer mit

einer Liegedauer von 32 Tagen zu erklären. Dieser Ausreißer erklärt zum Teil auch die im Vergleich zur kombinierten dorso-ventralen Versorgung längere Intensivaufenthaltsdauer. Streicht man diesen Fall aus der Mittelwertberechnung heraus, so erhält man eine durchschnittliche Liegedauer von 0,94 Tagen auf der Intensivstation bei einzeitig dorsaler Versorgung. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der beschriebenen Liegedauern bei anderen Arbeiten zu SA und auch unterhalb der Angabe von 3,1 Tagen für ein Kollektiv ohne SA.²⁴⁰ Bei kombinierter dorso-ventraler Versorgung entspricht die durchschnittliche Liegezeit auf der Intensivstation 0,6 Tage und ist im direkten Vergleich kürzer als die der einzeitigen Operation. Auf den ventralen Eingriff entfallen durchschnittlich 0,83 Tage und auf den dorsalen Eingriff einmalig 3 Tage.

Die insgesamt kurzen Liegezeiten auf der Intensivstation lassen sich zum Teil vermutlich durch ein hohes Maß an Erfahrung des Universitätsklinikums Köln sowohl operativ als auch intensivmedizinisch erklären. Zum anderen sind Wirbelkörperfrakturen bei wirbelsäulengesunden Menschen eine Verletzung, welche häufig durch hochenergetische Traumata entsteht. Hier ist ein hohes Risiko für Begleitverletzungen (bspw. schwere Schädelhirntraumata) gegeben und die Wahrscheinlichkeit für längere Liegezeiten auf der Intensivstation ist entsprechend höher.

TL-Cluster - Aufnahmezeit Intensivstation

Nach Eingriffen im TL-Cluster kam es zu einer Aufnahme auf die Intensivstation in 76 % der Fälle. Vergleichbare Angaben für ein Kollektiv mit SA und traumatischer Wirbelkörperfraktur im thorakolumbalen Bereich konnten in der aktuellen Literatur nicht gefunden werden. Auch sind keine Angaben für ein Kollektiv ohne SA hinsichtlich intensivstationärer Aufnahmezeiten bekannt. Erneut zeigt sich, dass die Aufnahmezeit für einzeitig dorsale Eingriffe mit 81 % höher ist als für kombinierte Eingriffe mit 66,7 %. Im Bereich des TL-Clusters ist dies überraschend, da man hier durch den ventralen Eingriff mehr zugangsspezifische Komplikationen und dadurch eine häufigere postoperative Aufnahme auf die Intensivstation erwarten würde. Selbst bei minimalinvasiven thorakalen Eingriffen ist eine Einlungenventilation notwendig. Vielerorts ist die postoperative Aufnahme auf die Intensivstation nach thorakaler dorso-ventraler Stabilisierung ein anästhesiologischer Standard. Auch hier ist die geringe Stichprobengröße zu berücksichtigen, welche relative Angaben schnell verzerren kann.

TL-Cluster - Intensivaufenthaltsdauer

Arbeiten über eine ähnliche Population, in welcher nach Frakturhöhe und operativem Verfahren differenziert wurde, existieren in der Literatur nicht. Der mit 3,3 Tagen durchschnittlich längere Aufenthalt auf der Intensivstation nach dorso-ventralen Verfahren

gegenüber der einzeitig dorsalen Versorgung mit 1,82 Tagen wirkt zunächst schlüssig. Der ventrale Eingriff des kombinierten Verfahrens im TL-Cluster geht mindestens mit einem Höhleneingriff einher, welcher wahrscheinlicher mit einer anschließenden intensivmedizinischen Betreuung assoziiert ist. Eine Liegedauer von 2,67 Tagen wurde durchschnittlich nach dem ventralen Eingriff beobachtet. Der dorsale Teileingriff der kombinierten Versorgung ging mit einem signifikant kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation einher als der einzeitig dorsale. Dies ist überraschend. Wird die Indikation für eine kombinierte Versorgung gestellt, so geht man von einer insgesamt hochinstabilen Fraktur und eher schlechteren Ausgangsbedingungen aus. Alle zweizeitigen Eingriffe im TL-Cluster wurden primär von dorsal versorgt. Bei gleichem operativen Verfahren würde man aufgrund der schlechteren Ausgangsbedingungen nach dorsalem Teileingriff beim kombinierten dorso-ventralen Verfahren eher Komplikationen und einen längeren Intensivaufenthalt erwarten. Die Komplikationsrate war in diesen Fällen beim dorsalen Eingriff der zweizeitigen Versorgung aber geringer. Fehlende oder wenige Komplikationen haben auch eine geringe Intensivaufnahmequote zur Folge. Die Patienten entsprachen hinsichtlich ASA-Klassifikation, Vorerkrankungen, Unfallmechanismus und Diagnosezeit dem Durchschnitt des Kollektivs. Jedoch waren sie mit durchschnittlich 58 Jahren wesentlich jünger als die meisten anderen Patienten. Dies ist eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung. Zudem ist auch hier die geringe Stichprobengröße problematisch. Dennoch liegt die Vermutung nah, dass die im Kapitel 5.4.7 Komplikationen (TL-Cluster) bereits erwähnte höhere Vorsicht (Handhabung wie ein rohes Ei) beim Umgang mit hochinstabilen Frakturen einen entscheidenden Einfluss haben kann. Die klinische Erfahrung zeigt, dass bei hochinstabilen Frakturen (kombinierte Versorgung) meistens der erfahrenste Operateur bereits bei den ersten Schritten der Patientenlagerung anwesend ist, diese federführend durchführt und somit eine hohe Qualität dieser garantiert. Dies ist bei einer rein einzeitigen Versorgung und einer mutmaßlichen stabilen vorderen Säule nicht immer der Fall. Unabhängig vom gewählten operativen Verfahren sollten SA-Patienten immer mit höchster Güte und Vorsicht behandelt werden. Insbesondere Lagerungsmaßnahmen sollten stets in Anwesenheit und unter Anleitung eines erfahrenen Operateurs stattfinden, um behandlungsassoziierte Verletzungen zu minimieren.

5.4.9 Krankenhausverweildauer

Die Krankenhausverweildauer von SA-Patienten nach traumatischer Wirbelkörperfraktur wird in vielen Arbeiten beschrieben.^{136-138,143,145} Nur in wenigen Arbeiten wird die Verweildauer nach Frakturhöhe oder nach Versorgungsart differenziert dargestellt.^{137,145} Angaben, welche sich

spezifisch auf ein Cluster beziehen, sind nur entstanden, weil Frakturen aus anderen Frakturhöhen nicht betrachtet worden sind.^{137,138,143}

Ohne weitere Differenzierung konnte in der vorliegenden Arbeit eine Krankenhausverweildauer von 17,86 Tagen registriert werden. Die entsprechende Krankenhausverweildauer wird in der Literatur mit 9 - 22,6 Tagen angegeben.^{122,137,144,145} Eine weitere Arbeit beschreibt eine Dauer von 27 Tagen im Median.¹²⁹ Die vorliegenden Werte liegen somit innerhalb der Literaturangaben. Die Streuung dieser Daten zeigt, dass eine differenzierte Betrachtung für den klinischen Alltag sinnvoll ist, da man zum einen den stationären Verlauf eines Patienten besser vorausplanen kann und zum anderen im Nachhinein eine spezifischere Angabe der Krankenhausverweildauer zur Qualitätskontrolle besitzt.

ZT-Cluster

Nach einzeitig dorsaler Versorgung war die durchschnittliche Krankenhausverweildauer 12,94 Tage. Diese Angabe entspricht annähernd der Angabe von 13,1 Tagen aus der Literatur.¹³⁷ Für die kombinierte dorso-ventrale Versorgung sind die registrierten 20,71 Tage des untersuchten Kollektivs deutlich länger als 16,6 Tage aus der Vergleichsarbeit.¹³⁷ Der Grund dafür ist die im Vergleich deutlich längere Verweildauer eines einzelnen Falles, welche mit 55 Tagen angegeben wurde. In diesem Fall kam es zu einer schwerwiegenden Wundheilungsstörung und im Verlauf zum Tod des Patienten. Wenn man diese Verweildauer bei der Berechnung des Mittelwertes ausschließt, ergibt sich eine durchschnittliche Verweildauer von 15 Tagen. Diese Angabe deckt sich sehr gut mit der Angabe aus der Vergleichsarbeit. Dieser Fall zeigt erneut, wie empfindlich die Mittelwertbestimmung für Ausreißer ist, insbesondere bei geringen Stichprobengrößen.

TL-Cluster

Unabhängig vom operativen Verfahren verbrachten die Patienten des TL-Clusters durchschnittlich 20,4 Tage im Krankenhaus. Die beobachtete durchschnittliche Krankenhausverweildauer von 18,1 Tagen nach einzeitig dorsaler Operation im TL-Cluster wirkt im direkten Vergleich mit der Literatur zunächst lang. So beschrieben Moussallem et al. 12,33 Tage¹⁴³ und Bredin et al. nur 5,96 Tage im Durchschnitt.¹³⁸ Beide Vergleichsarbeiten beschrieben ausschließlich die einzeitige dorsale Instrumentierung. In einem Fall der vorliegenden Arbeit kam es zu einem 66-tägigen stationären Aufenthalt, was durch eine progrediente Wunddehiszenz bedingt war. Wenn man diesen Fall aus der Mittelwertberechnung ausschließt, erhält man eine durchschnittliche Krankenhausverweildauer von 15,7 Tagen bei einzeitig dorsaler Versorgung. Dennoch ist

diese Verweildauer länger als in der Literatur beschrieben. Erklärbar ist dieser Unterschied dadurch, dass in beiden Vergleichsarbeiten im Schwerpunkt die untere thorakale Wirbelsäule und der thorakolumbale Übergang operativ versorgt wurden. Das in der vorliegenden Arbeit beobachtete Kollektiv hatte in 18 % der Fälle einen Eingriff im Bereich des thorakolumbalen Übergangs, wohingegen Moussallem et al. diese Region in 65 % der Fälle beschrieben.¹⁴³ Bredin et al. Beobachteten nur 16 % der Eingriffe auf der Höhe von BWK 8 oder höher, wohingegen in der vorliegenden Arbeit fast 50 % der Verfahren in diesem Bereich stattgefunden haben.¹³⁸ Eine operative Versorgung im Bereich der unteren thorakalen Wirbelsäule bzw. kaudal davon geht überwiegend mit einem geringeren operativen Aufwand sowie weniger Komplikationen einher. In Folge dessen ist die gesamte Krankenhausverweildauer ebenfalls als kürzer anzunehmen. Außerdem wurde in der Arbeit von Bredin et al. ausschließlich minimal-invasiv operiert,¹³⁸ was per se mit einer verkürzten Krankenhausverweildauer einhergeht.²⁴² Interessant ist bezüglich der Verweildauer der Vergleich mit der zweiten multizentrischen Studie (MCS II) der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule (AG WS) von Reinhold et al., welche dieses Merkmal für ein Kollektiv von 865 Patienten, mutmaßlich ohne SA und mit traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule untersucht hat.⁶⁸ Dort betrug die stationäre Behandlungsdauer, unabhängig von der Versorgungsart, 19 Tage für operativ versorgte Patienten.⁶⁸ Dies liegt nahe an den vorliegend beobachteten 20,4 Tagen, ebenfalls unabhängig von der Versorgungsart.

Bei einzeitig dorsaler Versorgung wurden 18,1 bzw. 15,7 Tage (nach Entfernung des Ausreißers) dokumentiert. Der letztere Wert ist mit der Angabe von 14 Tagen in der Arbeit von Reinhold et al. vergleichbar. Hinsichtlich der kombinierten dorso-ventralen Versorgung liegt die Beobachtung mit 32,5 Tagen über der Angabe aus der Vergleichsarbeit von 24 Tagen.⁶⁸ Hier spielt erneut die geringe Fallzahl von nur vier kombiniert versorgten Fällen dieser Untergruppe eine Rolle. In einem dieser Fälle gab es einen längeren Gesamtaufenthalt von 52 Tagen. Wenn man diesen Ausreißer bei der Mittelwertberechnung vernachlässigt, so erhält man eine durchschnittliche Krankenhausverweildauer von 26 Tagen. Dies entspricht nahezu der o.g. Angabe von 24 Tagen. Die vorliegenden Ergebnisse zur Verweildauer liegen somit zwar oberhalb derer für ein vergleichbares Kollektiv mit SA aber durchaus im Bereich derer der MCS II der AG WS.

Studien zu SA-Patienten enthalten aufgrund der Seltenheit der Grunderkrankung stets nur eine geringe Fallzahl. Ein Vergleich mit einer großen, multizentrischen Studie wäre erstrebenswert, ist aber aufgrund der seltenen Konstellation aus SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen unwahrscheinlich. Die hier durchgeführten Gegenüberstellungen mit der MCS II zeigen, dass ein Vergleich mit einem sonst wirbelsäulengesunden Kollektiv mit

ähnlichen Verletzungen durchaus durchgeführt werden kann. Voraussetzung dafür ist, dass eine einheitliche Differenzierung nach Versorgungshöhe und Versorgungsart erfolgt, damit wissenschaftlich fundierte Vergleiche durchgeführt und entsprechende Hypothesen geschlussfolgert werden können.

5.5 Diskussion der Mortalität

Intrahospitale Mortalität

In der vorliegenden Studie verstarben 5,8 % der Patienten während ihres Krankenhausaufenthaltes. Die Literatur beschreibt eine hohe intraoperative Sterblichkeit für SA-Patienten. Hier variieren die Angaben zwischen 23 und 26 %.^{115,129} Jedoch handelt es sich bei diesen Arbeiten häufig um Studien, bei denen die operative Versorgung zum großen Teil noch vor oder um die Jahrtausendwende stattgefunden hat. Sowohl in der präklinischen als auch in der innerklinischen Versorgung von Wirbelkörperfrakturen hat es in den vergangenen Jahrzehnten viele Veränderungen gegeben,^{209,228} welche ein besseres Outcome für die betroffenen Patienten versprechen. Diese Veränderungen zeigen ihre Wirkung auch in neueren Arbeiten, welche deutlich geringere intrahospitale Mortalitätsraten beschrieben. Diese Studien, welche erst nach 2015 erschienen sind, berichteten von intrahospitalen Mortalitätsraten zwischen 4,7 und 7,6 %.^{137,142,145} Die in dieser Arbeit gemachten Beobachtungen entsprechen somit den Angaben aus der neueren Literatur. Angaben zur intrahospitalen Mortalität bei Patienten ohne SA mit Wirbelkörperfrakturen werden mit 0,28 % deutlich niedriger angegeben, beschreiben aber auch zu über 70 % ein Patientenkollektiv mit einem durchschnittlichen Alter von unter 65 Jahren.²⁴³ Generell geht ein chirurgischer Eingriff bei älteren Patienten aufgrund der vorhandenen Begleiterkrankungen mit einer höheren Mortalitätsrate einher.^{244,245} Dennoch ist der Unterschied zu wirbelsäulengesunden Patienten groß, erklärt sich aber mit durch die generell höhere kardiovaskuläre Morbidität und dadurch bedingte Mortalität von SA-Patienten^{246,247} und durch das hohe Durchschnittsalter des untersuchten Kollektivs. Auffällig war, dass ausschließlich Patienten des ZT-Clusters während ihres Krankenhausaufenthaltes verstarben. Auch diese Beobachtung deckt sich mit der Arbeit von Lukasiewicz et al., wonach Patienten mit thorakalen Verletzungen im Vergleich zu Patienten mit zervikalen Verletzungen ein insgesamt geringeres Mortalitätsrisiko haben.¹⁴⁵

Überlebensrate

Es gibt nur wenige Studien zu SA-Patienten, welche die Überlebensrate nach operativer Versorgung einer Wirbelkörperfraktur untersucht haben. Die Beobachtungszeiträume dieser Arbeiten übersteigen jedoch selten einen Zeitraum von zwei Jahren. Die Patienten werden

zumeist im Rahmen von Follow-Up-Untersuchungen begleitet, weswegen längere Beobachtungszeiträume schwer zu bewerkstelligen sind.

Die längste in dieser Arbeit beschriebene Überlebensdauer betrug fast 15 Jahre. Ein so langer Beobachtungszeitraum wie in der vorliegenden Arbeit ist eine Rarität.

Die ermittelten Mortalitätsraten sind wesentlich geringer als die der Literatur. Longo et al. verzeichneten eine Mortalität von 13,6 % innerhalb von zwei Monaten nach Operation von Halswirbelkörperfrakturen,²³⁸ Robinson et al. eine Drei-Monats-Mortalität von 17 %²⁴⁸ und Schiefer et al. beobachteten eine Mortalität von 23 % ein Jahr nach initialer Vorstellung.¹⁴² Die beiden zuletzt genannten Studien untersuchten SA-Patienten mit Wirbelkörperfrakturen der gesamten Wirbelsäule.

Ein Grund für die geringere Mortalitätsrate in der vorliegenden Arbeit ist, dass bei der Berechnung bereits intrahospital verstorbenen Patienten exkludiert wurden. Ziel war die Berechnung der Überlebensrate der Patienten, die regulär aus dem Krankenhaus entlassen worden sind. Bei Inklusion der intrahospital verstorbenen Fälle beträgt die 1-Jahres-Mortalität in etwa 10 %. Weiterhin ist zu bemerken, dass die Literatur meist nur kleine Fallzahlen vorweisen konnte. Sie unterliegen somit einem höheren Risiko für verzerrte Ergebnisse hinsichtlich relativer Prozentangaben.

Hinsichtlich der Überlebensrate untersuchte Patienten waren im Durchschnitt 70 Jahre alt. Die Arbeit von Schiefer et al. untersuchte ein Kollektiv, welches im Durchschnitt 5 Jahre älter war und zusätzlich noch einen DISH-Anteil von 42 % verzeichnete. Longo et al. beschrieben ausschließlich Frakturen im zervikalen Bereich. Darüber hinaus setzt sich der Großteil der Literatur aus Arbeiten zusammen, die Ende der 90er Jahre bzw. in den frühen 2000ern entstanden sind. Zu dieser Zeit waren Biologika zur Therapie der SA gerade erst zugelassen und waren noch nicht weit verbreitet. Es ist anzunehmen, dass die in dieser Arbeit beobachteten Patienten größtenteils mit Biologika therapiert worden sind. Dadurch würde sich ein milderer Verlauf der Erkrankung und somit ein Leben mit weniger Einschränkungen erklären. Ein längeres Überleben ist somit anzunehmen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Wurzinger LJ. Bauprinzip der Wirbelsäule. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, et al., eds. Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
2. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. 1.4 Aufbau eines Wirbels. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, eds. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5., vollständig überarbeitete Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2018.
3. Wurzinger LJ. Grundform der Wirbel. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, et al., eds. Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
4. Platzer W, Shiozawa T. Autochthone Rückenmuskulatur. In: Platzer W, Shiozawa T, eds. Taschenatlas Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat. 12., aktualisierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
5. Meyer C, Lehmann HC. Chirurgische Anatomie. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
6. Wurzinger LJ. Bänder der Wirbelsäule. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, et al., eds. Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
7. Platzer W, Shiozawa T. Bänder der Wirbelsäule (A–D). In: Platzer W, Shiozawa T, eds. Taschenatlas Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat. 12., aktualisierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
8. Wurzinger LJ. Wirbelsäule (WS). In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, et al., eds. Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
9. Augat P. Biomechanik der Wirbelsäule. In: Bühren V, Josten C, eds. Chirurgie der verletzten Wirbelsäule: Frakturen, Instabilitäten, Deformitäten. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013: 5-18.

10. White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine. Philadelphia: J. B. Lippincott; 1990.
11. Graichen H, Putz R. Anatomical and functional aspects of the thoracic and lumbar spine. *Orthopade* 1999; **28**(5): 424-31.
12. Filler TJ, Peuker ET. Wirbelsäule im Sport: Aspekte der klinischen Anatomie der Wirbelsäule unter besonderer Berücksichtigung der Lendenwirbelsäule und sportlicher Belastungen. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie* 2004; **20**(1): 13-8.
13. Bühren V. Frakturen und Instabilitäten der Halswirbelsäule. *Der Unfallchirurg* 2002; **105**(11): 1049-66.
14. Schendel MJ, Wood KB, Buttermann GR, Lewis JJ, Ogilvie JW. Experimental measurement of ligament force, facet force, and segment motion in the human lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 1993; **26**(4): 427-38.
15. Putz R. The detailed functional anatomy of the ligaments of the vertebral column. *Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft* 1992; **174**(1): 40-7.
16. Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, Berlemann U. Vertebroplasty and Kyphoplasty: A Systematic Review of 69 Clinical Studies. *Spine* 2006; **31**(17).
17. Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O, et al. Nichtoperative und operative Behandlung der osteoporotischen Wirbelkörperfraktur. *Der Orthopäde* 2019; **48**(1): 84- 91.
18. Roaf R. A study of the mechanics of spinal injuries. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 1960; **42-B**(4): 810-23.
19. Wood KB, Li W, Lebl DS, Ploumis A. Management of thoracolumbar spine fractures. *The Spine Journal* 2014; **14**(1): 145-64.
20. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule - Teil I: Epidemiologie. *Der Unfallchirurg* 2009; **112**(1): 33-45.

21. Gonschorek O, Bühren V. Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2006; **1**(03): 195-219.
22. Müller CW, Hüfner T, Gösling T, Krettek C. Traumatologie der Wirbelsäule. *Der Chirurg* 2008; **79**(10): 918-26.
23. McCormack T, Karaikovic E, Gaines RW. The load sharing classification of spine fractures. *Spine* 1994; **19**(15): 1741-4.
24. Holdsworth F. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J Bone Joint Surg Am* 1970; **52**(8): 1534-51.
25. Vaccaro AR, Lehman RA, Jr., Hurlbert RJ, et al. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. *Spine* 2005; **30**(20): 2325-33.
26. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine* 1983; **8**(8): 817-31.
27. Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine* 2013; **38**(23): 2028-37.
28. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European Spine Journal* 1994; **3**(4): 184- 201.
29. McAfee PC, Yuan HA, Fredrickson BE, Lubicky JP. The value of computed tomography in thoracolumbar fractures. An analysis of one hundred consecutive cases and a new classification. *J Bone Joint Surg Am* 1983; **65**(4): 461-73.
30. Kandziora F, Schleicher P, Schnake KJ, et al. Die AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. *Z Orthop Unfall* 2016; **154**(01): 35-42.
31. Vaccaro AR, Koerner JD, Radcliff KE, et al. AOSpine subaxial cervical spine injury classification system. *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* 2016; **25**(7): 2173-84.

32. Stein GM. Halswirbelsäule. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
33. Pitzen T, Meinig H, Drumm J. Herausforderungen und Besonderheiten der Spondylodiszitiden der Halswirbelsäule. *Der Orthopäde* 2012; **41**(9): 759-63.
34. Lehmann HC. Spinalnerven. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
35. Matschke S, Krämer P, Wendl K, Grützner PA. Verletzungen der subaxialen Halswirbelsäule. *Trauma und Berufskrankheit* 2015; **17**(2): 307-14.
36. Scholz M, Kandziora F. Thorakolumbale Frakturen. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2017; **12**: 608-13.
37. Yildiz U, Schleicher P, Castein J, Kandziora F. Konservative Behandlung von Wirbelfrakturen in BWS und LWS – was geht wie? *Die Wirbelsäule* 2019; **03**(04): 313- 35.
38. den Ouden LP, Smits AJ, Stadhouders A, Feller R, Deunk J, Bloemers FW. Epidemiology of Spinal Fractures in a Level One Trauma Center in the Netherlands: A 10 Years Review. *Spine* 2019; **44**(10): 732-9.
39. Stein GM, Zwolak P, Mader K, Osterhoff G. Fusionsverfahren. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
40. Hadra BE. Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fracture and Potts' disease. *Clinical orthopaedics and related research* 1975; (112): 4-8.
41. Capener N. Spondylolisthesis. *The British Journal of Surgery* 1932.
42. Watkins MB. Posterolateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine. *JBJS* 1953; **35**(4).

43. Dick W. The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery. *Spine* 1987; **12**(9): 882-900.
44. Matschke S, Wagner C, Wentzensen A. Stabilisierungsverfahren an der HWS. *Trauma und Berufskrankheit* 2008; **10**(3): 391-8.
45. Kraus M, Schultheiß M, Gebhard F. Wirbelsäulenverletzungen und Unfallfolgezustände. *Trauma und Berufskrankheit* 2010; **12**(2): 78-87.
46. Hubbe U. Minimalinvasive Spondylodese über perkutanen Zugang mit tubulären Retraktoren. In: Jerosch J, ed. Minimalinvasive Wirbelsäulenintervention. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2019: 227-36.
47. Matschke S, Wendl K, Gruetzner PA, Kreinest M, Vetter S. Spondylodesetechniken dorsal. *OP-JOURNAL* 2018; **34**(02): 152-60.
48. Zwolak P, Mader K. Offene dorsale mono-, bi- oder mehrsegmentale Fusion der Brust- und Lendenwirbelsäule mit und ohne Instrumentierung - Indikationen. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
49. Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 2001; **72**(7): 865-78; quiz 78-9.
50. Dreimann M, Stangenberg M, Eicker SO, Frosch KH, Viezens L. Minimalinvasive dorsale und ventrale Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule bei traumatischen Verletzungen. *Der Unfallchirurg* 2020; **123**(10): 752-63.
51. Ringel F, Keric N. Lumbale Dekompression – Timing, Techniken, Ergebnisse. *Die Wirbelsäule* 2017; **01**(02): 95-100.
52. Shin BJ, James AR, Njoku IU, Härtl R. Pedicle screw navigation: a systematic review and meta-analysis of perforation risk for computer-navigated versus freehand insertion: A review. *Journal of Neurosurgery: Spine SPI* 2012; **17**(2): 113-22.
53. Gebhard F, Weidner A, Liener UC, Stöckle U, Arand M. Navigation at the spine. *Injury* 2004; **35 Suppl 1**: S-A35-45.

54. Stein GM. Kompressionsverletzungen - Typ A: Therapie. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
55. Aronson N, Filtzer DL, Bagan M. Anterior Cervical Fusion by the Smith-Robinson Approach. *Journal of Neurosurgery* 1968; **29**(4): 397-404.
56. Cloward RB. The anterior approach for removal of ruptured cervical disks. *J Neurosurg* 1958; **15**(6): 602-17.
57. Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S, Kandziora F, Wirth CJ. Wirbelsäule, vordere Zugänge. In: Kerschbaumer F, Weise K, Wirth CJ, eds. Operative Zugangswege in Orthopädie und Traumatologie. 5., unveränderte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
58. Nothwang J, Ulrich C. Operative Versorgung von HWS-Verletzungen. *Trauma und Berufskrankheit* 2005; **7**(2): S263-S70.
59. Gonschorek O, Hauck S, Neufang J, Weiß T, Bühren V. Ventrale thorakoskopische Spondylodese zur Behandlung von Frakturen im thorakolumbalen Übergang. 2015.
60. Gradinger R, Töpfer A, Gollwitzer H. Wirbelkörperprothesen. In: Gradinger R, Gollwitzer H, eds. Ossäre Integration. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2006: S. 88 - 93.
61. Kossmann T, Ertel W, Platz A, Trentz O. The combined operation for fractures of the thoracolumbar junction with the inlay span technique. *Orthopade* 1999; **28**(5): 432-40.
62. Bühren V, Beisse R, Potulski M. Minimally invasive ventral spondylodesis in injuries to the thoracic and lumbar spine. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 1997; **68**(11): 1076-84.
63. Heider FC, Mayer H-M. Minimalinvasive Techniken. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.

64. Kaneda K, Taneichi H, Abumi K, Hashimoto T, Satoh S, Fujiya M. Anterior decompression and stabilization with the Kaneda device for thoracolumbar burst fractures associated with neurological deficits. *J Bone Joint Surg Am* 1997; **79**(1): 69- 83.
65. Harrasser N, Salzmann M, Berger N, Ringel F, Buchmann N, Biberthaler P. Traumatologische Erkrankungen. Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2016: S. 681 - 7.
66. Kortmann HR, Wolter D, Schultz JH. Indication and Technique of the Combined Stabilization of the Spine from Dorsal and Ventral. In: Gall FP, Ungeheuer E, editors. Fortschritte in der Chirurgie im letzten Jahrzehnt; 1992 1992//; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1992. p. 297-303.
67. Feil J, Wörsdörfer O. Ventral stabilization in the area of the thoracic and lumbar spine. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 1992; **63**(11): 856-65.
68. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil II: Operation und röntgenologische Befunde. *Der Unfallchirurg* 2009; **112**(2): 149-67.
69. David S, Grundentaler R, Müller-Mai CM. Wirbelsäule. In: Müller-Mai CM, Ekkernkamp A, eds. Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoptionen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010: 233-94.
70. Rudwaleit M, van der Heijde D, Landewé R, et al. The development of Assessment of SpondyloArthritis international Society classification criteria for axial spondyloarthritis (part II): validation and final selection. *Annals of the rheumatic diseases* 2009; **68**(6): 777.
71. Ball J. Enthesopathy of rheumatoid and ankylosing spondylitis. *Annals of the rheumatic diseases* 1971; **30**(3): 213-23.
72. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis. *The Lancet* 2007; **369**(9570): 1379-90.

73. Feldtkeller E, Khan M, van der Heijde D, van der Linden S, Braun J. Age at disease onset and diagnosis delay in HLA-B27 negative vs. positive patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatology international* 2003; **23**(2): 61-6.
74. Khan MA. Epidemiology of HLA-B27 and Arthritis. *Clinical rheumatology* 1996; **15 Suppl 1**: 10-2.
75. Stone M, Warren RW, Bruckel J, Cooper D, Cortinovis D, Inman RD. Juvenile-onset ankylosing spondylitis is associated with worse functional outcomes than adult-onset ankylosing spondylitis. *Arthritis and rheumatism* 2005; **53**(3): 445-51.
76. Ward MM, Weisman MH, Davis JC, Jr., Reveille JD. Risk factors for functional limitations in patients with long-standing ankylosing spondylitis. *Arthritis and rheumatism* 2005; **53**(5): 710-7.
77. Ahearn JM, Hochberg MC. Epidemiology and genetics of ankylosing spondylitis. *The Journal of rheumatology Supplement* 1988; **16**: 22-8.
78. Brown MA, Kennedy LG, Macgregor AJ, et al. Susceptibility to ankylosing spondylitis in twins the role of genes, HLA, and the environment. *Arthritis & Rheumatism* 1997; **40**(10): 1823-8.
79. van der Linden S, Valkenburg H, Cats A. The risk of developing ankylosing spondylitis in HLA-B27 positive individuals: a family and population study. *Rheumatology* 1983; **22**(Suppl 2): 18-9.
80. Smith JA, Märker-Hermann E, Colbert RA. Pathogenesis of ankylosing spondylitis: Current concepts. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology* 2006; **20**(3): 571-91.
81. Taurog JD, Richardson JA, Croft J, et al. The germfree state prevents development of gut and joint inflammatory disease in HLA-B27 transgenic rats. *Journal of Experimental Medicine* 1994; **180**(6): 2359-64.
82. Hušáková M, Bay-Jensen A-C, Forejtová Š, et al. Metabolites of type I, II, III, and IV collagen may serve as markers of disease activity in axial spondyloarthritis. *Scientific Reports* 2019; **9**(1): 11218.

83. Ghasemi-Rad M, Attaya H, Lasha E, et al. Ankylosing spondylitis: A state of the art factual backbone. *World J Radiol* 2015; **7**(9): 236-52.
84. Song R, Choi J-Y, Lee Y-A, Hong S-J, Yang H-I, Lee S-H. Frequencies of Ligament Ossification in Patients with Ankylosing Spondylitis According to Several Ligaments Around Spine By Whole Spine CT Scan. *Arthritis & Rheumatology*; 2017: Wiley 111 River St, Hoboken 07030-5774, NJ USA; 2017.
85. Olerud C, Frost A, Bring J. Spinal fractures in patients with ankylosing spondylitis. *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* 1996; **5**(1): 51-5.
86. Blauth M, Schmidt U. Frakturen bei ankylosierender Spondylitis. In: Tscherne H, Blauth M, eds. *Tscherne Unfallchirurgie: Wirbelsäule*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1998: 373-81.
87. Kanefield DG, Mullins BP, Freehafer AA, Furey JG, Horenstein S, Chamberlin WB. Destructive Lesions of the Spine in Rheumatoid Ankylosing Spondylitis. *JBJS* 1969; **51**(7).
88. Sapkas G, Kateros K, Papadakis S, et al. Surgical outcome after spinal fractures in patients with ankylosing spondylitis. *BMC Musculoskelet Disord* 2009; **10**: 96-.
89. Bot SD, Caspers M, Van Royen BJ, Toussaint HM, Kingma I. Biomechanical analysis of posture in patients with spinal kyphosis due to ankylosing spondylitis: a pilot study. *Rheumatology* 1999; **38**(5): 441-3.
90. Spinal Deformity in Adults. In: Dickson RA, Harms J, eds. *Modern Management of Spinal Deformities: A Theoretical, Practical, and Evidence-based Text*. 1st Edition ed: Georg Thieme Verlag KG; 2017.
91. Carette S, Graham D, Little H, Rubenstein J, Rosen P. The natural disease course of ankylosing spondylitis. *Arthritis & Rheumatism* 1983; **26**(2): 186-90.
92. Archer JR, Keat AC. Ankylosing spondylitis: time to focus on ankylosis. *J Rheumatol* 1999; **26**(4): 761-4.

93. De Vos M, Cuvelier C, Mielants H, Veys E, Barbier F, Elewaut A. Ileocolonoscopy in seronegative spondylarthropathy. *Gastroenterology* 1989; **96**(2 Pt 1): 339-44.
94. Martin TM, Smith JR, Rosenbaum JT. Anterior uveitis: current concepts of pathogenesis and interactions with the spondyloarthropathies. *Current Opinion in Rheumatology* 2002; **14**(4).
95. Lautermann D, Braun J. Ankylosing spondylitis--cardiac manifestations. *Clinical and experimental rheumatology* 2002; **20**(6 Suppl 28): S11-5.
96. Sengebusch J, Herzog M. Wie viel Bewegung ist möglich? - Beweglichkeitstest der Wirbelsäule bei Morbus Bechterew. *Deutsche Heilpraktiker-Zeitschrift* 2016; **11**(01): 43-4.
97. Linke R, Imhoff A. Untersuchung des Ileosakralgelenks (ISG). In: Imhoff A, Linke R, Baumgartner R, eds. Checkliste Orthopädie. 4., unveränderte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2021.
98. Neurath MF, Lohse AW, Akat K, et al. Untersuchung der Wirbelsäule. In: Neurath MF, Lohse AW, eds. Checkliste Anamnese und klinische Untersuchung. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2010.
99. Calin A. Ankylosing Spondylitis. *Medicine* 2002; **30**(9): 54-7.
100. Poddubnyy D. Axiale Spondyloarthritis (Morbus Bechterew) – Update 2021. *dmw* 2021; **146**(03): 185-90.
101. Kiltz U, Braun J, Becker A, et al. Langfassung zur S3-Leitlinie Axiale Spondyloarthritis inklusive Morbus Bechterew und Frühformen, Update 2019. *Zeitschrift für Rheumatologie* 2019; **78**(1): 3-64.
102. Lee HS, Kim TH, Yun HR, et al. Radiologic changes of cervical spine in ankylosing spondylitis. *Clinical rheumatology* 2001; **20**(4): 262-6.
103. Jang JH, Ward MM, Rucker AN, et al. Ankylosing spondylitis: patterns of radiographic involvement--a re-examination of accepted principles in a cohort of 769 patients. *Radiology* 2011; **258**(1): 192-8.

104. Strohmeier M. Saure antiphlogistische antipyretische Analgetika. In: Bischoff H-P, Heisel J, Locher H-A, eds. Praxis der konservativen Orthopädie. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2007.
105. van der Heijde D, Baraf HS, Ramos-Remus C, et al. Evaluation of the efficacy of etoricoxib in ankylosing spondylitis: results of a fifty-two-week, randomized, controlled study. *Arthritis and rheumatism* 2005; **52**(4): 1205-15.
106. Wanders A, Heijde Dvd, Landewé R, et al. Nonsteroidal antiinflammatory drugs reduce radiographic progression in patients with ankylosing spondylitis: a randomized clinical trial. *Arthritis & Rheumatism* 2005; **52**(6): 1756-65.
107. Kiltz U, Sieper J, Kellner H, et al. DGRh-S3-Leitlinie Axiale Spondyloarthritis inklusive Morbus Bechterew und Frühformen. *Zeitschrift für Rheumatologie* 2014; **73**(2): 78-96.
108. Braun J, Bollow M, Neure L, et al. Use of immunohistologic and in situ hybridization techniques in the examination of sacroiliac joint biopsy specimens from patients with ankylosing spondylitis. *Arthritis and rheumatism* 1995; **38**(4): 499-505.
109. Baraliakos X, Davis J, Tsuji W, Braun J. Magnetic resonance imaging examinations of the spine in patients with ankylosing spondylitis before and after therapy with the tumor necrosis factor alpha receptor fusion protein etanercept. *Arthritis and rheumatism* 2005; **52**(4): 1216-23.
110. Rubbert-Roth A. Therapie der Spondylitis ankylosans. In: Stein GM, Eysel P, Scheyerer MJ, eds. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Wirbelsäule. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
111. Finkelstein JA, Chapman JR, Mirza S. Occult vertebral fractures in ankylosing spondylitis. *Spinal cord* 1999; **37**(6): 444-7.
112. Cooper C, Carbone L, Michet CJ, Atkinson EJ, O'Fallon WM, Melton LJ, 3rd. Fracture risk in patients with ankylosing spondylitis: a population based study. *J Rheumatol* 1994; **21**(10): 1877-82.

113. Metz-Stavenhagen P, Krebs S, Meier O. Zervikale Frakturen bei der Spondylitis ankylosans. *Der Orthopäde* 2001; **30**: 925-31.
114. Grisolia A, Bell RL, Peltier LF. Fractures and Dislocations of the Spine Complicating Ankylosing Spondylitis: A REPORT OF SIX CASES. *JBJS* 2004; **49**(2): 339-86.
115. Westerveld LA, Verlaan JJ, Oner FC. Spinal fractures in patients with ankylosing spinal disorders: a systematic review of the literature on treatment, neurological status and complications. *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* 2009; **18**(2): 145-56.
116. Rowed DW. Management of cervical spinal cord injury in ankylosing spondylitis: the intervertebral disc as a cause of cord compression. *Journal of Neurosurgery* 1992; **77**(2): 241-6.
117. Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, Lange U, Krettek C, Bastian L. Ankylosing spondylitis. Therapy and complications of 34 spine fractures. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen* 2005; **76**(10): 967-75.
118. Fox MW, Onofrio BM, Kilgore JE. Neurological complications of ankylosing spondylitis. *Journal of Neurosurgery* 1993; **78**(6): 871.
119. Murray GC, Persellin RH. Cervical fracture complicating ankylosing spondylitis: A report of eight cases and review of the literature. *The American Journal of Medicine* 1981; **70**(5): 1033-41.
120. Weinstein PR, Karpman RR, Gall EP, Pitt M. Spinal cord injury, spinal fracture and spinal stenosis in ankylosing spondylitis. *Journal of Neurosurgery* 1982; **57**(5): 609-16.
121. Caron T, Bransford R, Nguyen Q, Agel J, Chapman J, Bellabarba C. Spine fractures in patients with ankylosing spinal disorders. *Spine* 2010; **35**(11): E458-64.

122. Graham JJ. Complications of Cervical Spine Surgery: A Five-Year Report on a Survey of the Membership of the Cervical Spine Research Society by the Morbidity and Mortality Committee. *Spine* 1989; **14**(10).
123. Hunter T, Dubo HIC. Spinal Fractures Complicating Ankylosing Spondylitis. *Arthritis & Rheumatism* 1983; **26**(6): 751-9.
124. May PJ, Raunest J, Herdmann J, Jonas M. Behandlung der Wirbelsäulenfraktur bei ankylosierender Spondylitis. *Der Unfallchirurg* 2002; **105**(2): 165-9.
125. Nakstad PH, Server A, Josefsen R. Traumatic cervical injuries in ankylosing spondylitis. *Acta Radiologica* 2004; **45**(2): 222-6.
126. Einsiedel T, Schmelz A, Arand M, et al. Injuries of the cervical spine in patients with ankylosing spondylitis: experience at two trauma centers. *Journal of Neurosurgery: Spine SPI* 2006; **5**(1): 33.
127. Lange U, Pape HC, Bastian L, Krettek C. Management operativer Stabilisierungen von Halswirbelsäulenverletzungen bei Morbus Bechterew. *Der Unfallchirurg* 2005; **108**(1): 63-8.
128. Taggard DA, Traynelis VC. Management of Cervical Spinal Fractures in Ankylosing Spondylitis With Posterior Fixation. *Spine* 2000; **25**(16).
129. Backhaus M, Citak M, Kälicke T, et al. Wirbelsäulenfraktur bei ankylosierender Spondylitis. *Der Orthopäde* 2011; **40**(10): 917.
130. Trent G, Armstrong GW, O'Neil J. Thoracolumbar fractures in ankylosing spondylitis. High-risk injuries. *Clinical orthopaedics and related research* 1988; **227**: 61-6.
131. Hansen ST, Jr., Taylor TK, Honet JC, Lewis FR. Fracture-dislocations of the ankylosed thoracic spine in rheumatoid spondylitis. Ankylosing spondylitis, Marie-Strümpell disease. *The Journal of trauma* 1967; **7**(6): 827-37.
132. Broom MJ, Raycroft JF. Complications of Fractures of the Cervical Spine in Ankylosing Spondylitis. *Spine* 1988; **13**(7).

133. Bohlman H. Acute fractures and dislocations of the cervical spine. An analysis of three hundred hospitalized patients and review of the literature. *JBJS* 1979; **61**(8): 1119-42.
134. modified from: Wirbelsaeule_Anatomie_Grafik. <https://deutsches-zentrum-fuer-orthopaedie.de/wirbelsaeule/anatomie>. (accessed 09.08.2022)
135. Hitchon PW, From AM, Brenton MD, Glaser JA, Torner JC. Fractures of the thoracolumbar spine complicating ankylosing spondylitis. *Journal of Neurosurgery* 2002; **97**(2 Suppl): 218-22.
136. Bernd L, Bläsius K, Lukoschek M. Spinal fractures in ankylosing spondylitis. *Zeitschrift fur Orthopadie und ihre Grenzgebiete* 1992; **130**(1): 59-63.
137. Luksanapruksa P, Millhouse PW, Carlson V, Ariyawatkul T, Heller J, Kepler CK. Comparison of Surgical Outcomes of the Posterior and Combined Approaches for Repair of Cervical Fractures in Ankylosing Spondylitis. *Asian Spine J* 2019; **13**(3): 432- 40.
138. Bredin S, Fabre-Aubrespy M, Blondel B, et al. Percutaneous surgery for thoraco-lumbar fractures in ankylosing spondylitis: Study of 31 patients. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2017; **103**(8): 1235-9.
139. Cornefjord M, Alemany M, Olerud C. Posterior fixation of subaxial cervical spine fractures in patients with ankylosing spondylitis. *European Spine Journal* 2005; **14**(4): 401-8.
140. Krüger A, Frink M, Oberkircher L, El-Zayat BF, Ruchholtz S, Lechler P. Percutaneous dorsal instrumentation for thoracolumbar extension-distraction fractures in patients with ankylosing spinal disorders: a case series. *The Spine Journal* 2014; **14**(12): 2897-904.
141. Surin VV. Fractures of the Cervical Spine in Patients with Ankylosing Spondylitis. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1980; **51**(1-6): 79-84.

142. Schiefer TK, Milligan BD, Bracken CD, et al. In-Hospital Neurologic Deterioration Following Fractures of the Ankylosed Spine: A Single-Institution Experience. *World Neurosurgery* 2015; **83**(5): 775-83.
143. Moussallem C, McCutcheon B, Clarke M, et al. Perioperative complications in open versus percutaneous treatment of spinal fractures in patients with an ankylosed spine. *Journal of Clinical Neuroscience* 2016; **30**: 88-92.
144. Vazan M, Ryang Y-M, Barz M, Török E, Gempt J, Meyer B. Ankylosing Spinal Disease—Diagnosis and Treatment of Spine Fractures. *World Neurosurgery* 2019; **123**: e162-e70.
145. Lukasiewicz A, Bohl D, Varthi A, et al. Spinal Fracture in Patients With Ankylosing Spondylitis: Cohort Definition, Distribution of Injuries, and Hospital Outcomes. *Spine* 2016; **41**(3): 191-6.
146. Pingel A, Scholz M, Kandziora F. Frakturen der Halswirbelsäule bei Spondylitis ankylosans. *Trauma und Berufskrankheit* 2016; **18**(4): 289-95.
147. Kang JH, Chen YH, Lin HC. Comorbidity profiles among patients with ankylosing spondylitis: a nationwide population-based study. *Annals of the rheumatic diseases* 2010; **69**(6): 1165-8.
148. Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, et al. Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature on techniques, complications, and outcome. *Spine* 2004; **29**(7): 803-14.
149. Gertzbein SD. Scoliosis Research Society. Multicenter spine fracture study. *Spine* 1992; **17**(5): 528-40.
150. Knop C, Blauth M, Bühren V, et al. Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. *Der Unfallchirurg* 1999; **102**(12): 924-35.
151. van der Horst-Bruinsma IE, Zack DJ, Szumski A, Koenig AS. Female patients with ankylosing spondylitis: analysis of the impact of gender across treatment studies. *Annals of the rheumatic diseases* 2013; **72**(7): 1221-4.

152. Lee W, Reveille JD, Davis JC, Learch TJ, Ward MM, Weisman MH. Are there gender differences in severity of ankylosing spondylitis? Results from the PSOAS cohort. *Annals of the rheumatic diseases* 2007; **66**(5): 633-8.
153. van der Weijden MAC, van Denderen JC, Lems WF, Heymans MW, Dijkmans BAC, van der Horst-Bruinsma IE. Low bone mineral density is related to male gender and decreased functional capacity in early spondylarthropathies. *Clinical rheumatology* 2011; **30**(4): 497-503.
154. Feldtkeller E. Unterschiede im Krankheitsverlauf männlicher und weiblicher Spondylarthritis-Patienten. *Aktuelle Rheumatologie* 1998; **23**(05): 145-53.
155. Lecky FE, Bouamra O, Woodford M, Alexandrescu R, O'Brien SJ. Epidemiology of Polytrauma. In: Pape H-C, Peitzman A, Schwab CW, Giannoudis PV, eds. *Damage Control Management in the Polytrauma Patient*. New York, NY: Springer New York; 2010: 13-24.
156. Maksymowych WP, Mallon C, Richardson R, Conner-Spady B, Chung C, Russell AS. Does height influence the assessment of spinal and hip mobility measures used in ankylosing spondylitis? *The Journal of Rheumatology* 2006; **33**(10): 2035.
157. Bundesamt S. Körpermaße der Bevölkerung. 2017. https://www.gbe-bund.de/gbe/pkg_isgbe5.prc_menu_olap?p_uid=gastd&p_aid=34752293&p_sprache=D&p_help=3&p_indnr=223&p_indsp=&p_ityp=H&p_fid= (accessed 06.01.2021)
158. Wolf J, Fasching P. Ankylosing spondylitis. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 2010; **160**(9): 211-4.
159. Bundesamt S. Body-Mass-Index der Bevölkerung. 2017. https://www.gbe-bund.de/gbe/pkg_isgbe5.prc_menu_olap?p_uid=gastd&p_aid=34752293&p_sprache=D&p_help=0&p_indnr=434&p_indsp=4057&p_ityp=H&p_fid= (accessed 06.01.2021)
160. Maas F, Arends S, van der Veer E, et al. Obesity Is Common in Axial Spondyloarthritis and Is Associated with Poor Clinical Outcome. *The Journal of Rheumatology* 2016; **43**(2): 383.

161. Durcan L, Wilson F, Conway R, Cunnane G, O'Shea FD. Increased Body Mass Index in Ankylosing Spondylitis Is Associated with Greater Burden of Symptoms and Poor Perceptions of the Benefits of Exercise. *The Journal of Rheumatology* 2012; **39**(12): 2310-4.
162. Kahn CA, Oman JA, Rudkin SE, Anderson CL, Sultani D. Can ED staff accurately estimate the weight of adult patients? *The American Journal of Emergency Medicine* 2007; **25**(3): 307-12.
163. Krul AJ, Daanen HAM, Choi H. Self-reported and measured weight, height and body mass index (BMI) in Italy, the Netherlands and North America. *European Journal of Public Health* 2011; **21**(4): 414-9.
164. Kuczmarski MF, Kuczmarski RJ, Najjar M. Effects of Age on Validity of Self-Reported Height, Weight, and Body Mass Index: Findings from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988–1994. *Journal of the American Dietetic Association* 2001; **101**(1): 28-34.
165. Prince DS, McGuigan LE, McGirr EE. Working life and physical activity in ankylosing spondylitis pre and post anti-tumor necrosis factor-alpha therapy. *International Journal of Rheumatic Diseases* 2014; **17**(2): 165-72.
166. Hoffman C, Paradise J. Health Insurance and Access to Health Care in the United States. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2008; **1136**(1): 149-60.
167. van Echteld I, Cieza A, Boonen A, et al. Identification of the most common problems by patients with ankylosing spondylitis using the international classification of functioning, disability and health. *The Journal of Rheumatology* 2006; **33**(12): 2475.
168. Johnston MC, Crilly M, Black C, Prescott GJ, Mercer SW. Defining and measuring multimorbidity: a systematic review of systematic reviews. *European Journal of Public Health* 2019; **29**(1): 182-9.
169. Fuchs J, Busch M, Lange C, Scheidt-Nave C. Prevalence and patterns of morbidity among adults in Germany. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 2012; **55**(4): 576-86.

170. Einsiedel T, Kleimann M, Nothofer W, Neugebauer R. Besonderheiten der Therapie von Verletzungen der Hals-wirbelsäule bei Spondylitis ankylosans (M. Bechterew). *Der Unfallchirurg* 2001; **104**(12): 1129-33.
171. Arends S, Hofman M, Kamsma YPT, et al. Daily physical activity in ankylosing spondylitis: validity and reliability of the IPAQ and SQUASH and the relation with clinical assessments. *Arthritis Research & Therapy* 2013; **15**(4): R99.
172. Peloquin L, Archie C, Leger R, Fanning M, Rakita V, McComb JE. Provider Reliability Of Metabolic Equivalent Evaluations In Perioperative Assessment Of Patients. 2020. <http://www.asaabstracts.com/strands/asaabstracts/abstract.htm?year=2020&index=17&absnum=7381> (accessed 02.01.2021).
173. Weinstein AS, Sigurdsson MI, Bader AM. Comparison of Preoperative Assessment of Patient's Metabolic Equivalents (METs) Estimated from History versus Measured by Exercise Cardiac Stress Testing. *Anesthesiology research and practice* 2018; **2018**: 5912726.
174. Saraiva MD, Karnakis T, Gil-Junior LA, Oliveira JC, Suemoto CK, Jacob-Filho W. Functional Status is a Predictor of Postoperative Complications After Cancer Surgery in the Very Old. *Annals of surgical oncology* 2017; **24**(5): 1159-64.
175. Susano MJ, Grasfield RH, Friese M, et al. Brief Preoperative Screening for Frailty and Cognitive Impairment Predicts Delirium after Spine Surgery. *Anesthesiology* 2020; **133**(6): 1184-91.
176. Fu K-MG, Smith JS, Polly DW, et al. Correlation of higher preoperative American Society of Anesthesiology grade and increased morbidity and mortality rates in patients undergoing spine surgery. *Journal of Neurosurgery* 2011; **14**(4): 470.
177. Sathiyakumar V, Molina CS, Thakore RV, Obremskey WT, Sethi MK. ASA Score as a Predictor of 30-Day Perioperative Readmission in Patients With Orthopaedic Trauma Injuries: An NSQIP Analysis. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2015; **29**(3): e127-e32.
178. Menke H, Klein A, John KD, Junginger T. Predictive value of ASA classification for the assessment of the perioperative risk. *International surgery* 1993; **78**(3): 266-70.

179. Lupei MI, Chipman JG, Beilman GJ, Oancea SC, Konia MR. The Association Between ASA Status and Other Risk Stratification Models on Postoperative Intensive Care Unit Outcomes. *Anesthesia & Analgesia* 2014; **118**(5).
180. Hackett NJ, De Oliveira GS, Jain UK, Kim JYS. ASA class is a reliable independent predictor of medical complications and mortality following surgery. *International Journal of Surgery* 2015; **18**: 184-90.
181. Olerud C, Andersson S, Svensson B, Bring J. Cervical spine fractures in the elderly: Factors influencing survival in 65 cases. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1999; **70**(5): 509-13.
182. Wolters U, Wolf T, Stützer H, Schröder T. ASA classification and perioperative variables as predictors of postoperative outcome. *BJA: British Journal of Anaesthesia* 1996; **77**(2): 217-22.
183. Lomoschitz FM, Blackmore CC, Mirza SK, Mann FA. Cervical Spine Injuries in Patients 65 Years Old and Older. *American Journal of Roentgenology* 2002; **178**(3): 573-7.
184. Pompeu JE, Romano R, Pompeu S, Lima S. Static and dynamic balance in subjects with ankylosing spondylitis: literature review. *Rev Bras Reumatol* 2012; **52**(3): 409-16.
185. Vergara ME, O'Shea FD, Inman RD, Gage WH. Postural control is altered in patients with ankylosing spondylitis. *Clinical Biomechanics* 2012; **27**(4): 334-40.
186. Feldtkeller E, Vosse D, Geusens P, van der Linden S. Prevalence and annual incidence of vertebral fractures in patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatology international* 2006; **26**(3): 234-9.
187. Locher MC, Felder M, Sailer HF. Involvement of the temporomandibular joints in ankylosing spondylitis (Bechterew's disease). *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 1996; **24**(4): 205-13.

188. Maghraoui AE, Bensabbah R, Bahiri R, Bezza A, Guedira N, Hajjaj-Hassouni N. Cervical spine involvement in ankylosing spondylitis. *Clinical rheumatology* 2003; **22**(2): 94-8.
189. Uslu B, Nielsen RD, Kristensen BB. McGrath® videolaryngoscope for awake tracheal intubation in a patient with severe ankylosing spondylitis. *BJA: British Journal of Anaesthesia* 2010; **104**(1): 118-9.
190. Sinclair JR, Mason RA. Ankylosing spondylitis - The case for awake intubation. *Anaesthesia* 1984; **39**(1): 3-11.
191. Lai HY, Chen IH, Chen A, Hwang FY, Lee Y. The use of the GlideScope® for tracheal intubation in patients with ankylosing spondylitis. *BJA: British Journal of Anaesthesia* 2006; **97**(3): 419-22.
192. Thumbikat P, Hariharan RP, Ravichandran G, McClelland MR, Mathew KM. Spinal Cord Injury in Patients With Ankylosing Spondylitis: A 10-Year Review. *Spine* 2007; **32**(26).
193. Lifshutz J, Lidar Z, Maiman D. Thoracic aortic pseudoaneurysm after spine trauma in ankylosing spondylitis. *Journal of Neurosurgery: Spine* 2005; **2**(2): 218-21.
194. Papadopoulos MC, Chakraborty A, Waldron G, Bell BA. Lesson of the week: exacerbating cervical spine injury by applying a hard collar. *BMJ* 1999; **319**(7203): 171- 2.
195. Upadhyay SS, Ho EK, Hsu LC. Positioning for plain spinal radiography producing paraplegia in a patient with ankylosing spondylitis. *The British journal of radiology* 1991; **64**(762): 549-51.
196. Lemmen LJ, Laing PG. Fracture of the Cervical Spine in Patients with Rheumatoid Arthritis. *Journal of Neurosurgery* 1959; **16**(5): 542-50.
197. McMaster MJ. Osteotomy of the cervical spine in ankylosing spondylitis. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 1997; **79**(2): 197-203.
198. Whang PG, Goldberg G, Lawrence JP, et al. The Management of Spinal Injuries in Patients With Ankylosing Spondylitis or Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis: A

Comparison of Treatment Methods and Clinical Outcomes. *Clinical Spine Surgery* 2009; **22**(2).

199. Hunter T, Forster B, Dvorak M. Ankylosed spines are prone to fracture. *Can Fam Physician* 1995; **41**: 1213-6.

200. Harrop JS, Sharan A, Anderson G, et al. Failure of Standard Imaging to Detect a Cervical Fracture in a Patient With Ankylosing Spondylitis. *Spine* 2005; **30**(14).

201. Osgood CP, Abbasy M, Mathews T. Multiple spine fractures in ankylosing spondylitis. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1975; **15**(2).

202. Samartzis D, Anderson DG, Shen FH. Multiple and Simultaneous Spine Fractures in Ankylosing Spondylitis: Case Report. *Spine* 2005; **30**(23).

203. Pakzad H, Roffey DM, Knight H, Dagenais S, Yelle J-D, Wai EK. Delay in operative stabilization of spine fractures in multitrauma patients without neurologic injuries: effects on outcomes. *Can J Surg* 2011; **54**(4): 270-6.

204. Croce MA, Bee TK, Pritchard E, Miller PR, Fabian TC. Does optimal timing for spine fracture fixation exist? *Annals of surgery* 2001; **233**(6): 851-8.

205. Chipman JG, Deuser WE, Beilman GJ. Early Surgery for Thoracolumbar Spine Injuries Decreases Complications. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2004; **56**(1).

206. Falkenbach A. Morbus Bechterew : Beratung, Betreuung, Behandlung. Vienna: Springer Vienna; 2005. p. 3.

207. Ragnarsdottir M, Geirsson AJ, Gudbjornsson B. Rib cage motion in ankylosing spondylitis patients: a pilot study. *The Spine Journal* 2008; **8**(3): 505-9.

208. Schopper C, Schultheiss M. Klassifikation subaxialer Halswirbelsäulenverletzungen. *OP-JOURNAL* 2018; **34**(02): 112-6.

209. Ali J, Adam RU, Gana TJ, Bedaysie H, Williams JI. Effect of the Prehospital Trauma Life Support Program (PHTLS) on Prehospital Trauma Care. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1997; **42**(5).

210. O'Dowd JK. Basic principles of management for cervical spine trauma. *European Spine Journal* 2010; **19**(1): 18-22.
211. Brodke DS, Anderson PA, Newell DW, Grady MS, Chapman JR. Comparison of Anterior and Posterior Approaches in Cervical Spinal Cord Injuries. *Clinical Spine Surgery* 2003; **16**(3).
212. Do Koh Y, Lim T-H, Won You J, Eck J, An HS. A Biomechanical Comparison of Modern Anterior and Posterior Plate Fixation of the Cervical Spine. *Spine* 2001; **26**(1).
213. Knop C, Schmid R, Reinhold M, Blauth M. Fixateur interne und Wirbelkörperersatz. *Trauma und Berufskrankheit* 2005; **7**(2): S346-S53.
214. Shen FH, Samartzis D. Surgical Management of Lower Cervical Spine Fracture in Ankylosing Spondylitis. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2006; **61**(4).
215. Chaudhary SB, Hullinger H, Vives MJ. Management of acute spinal fractures in ankylosing spondylitis. *ISRN Rheumatol* 2011; **2011**: 150484-.
216. Wilke HJ, Kemmerich V, Claes LE, Arand M. Combined anteroposterior spinal fixation provides superior stabilisation to a single anterior or posterior procedure. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2001; **83-B**(4): 609-17.
217. Bühren V. Minimalinvasive Techniken in der Wirbelsäulen Chirurgie. *Trauma und Berufskrankheit* 2004; **6**(4): S464-S7.
218. Belirgen M, Dlouhy BJ, Grossbach AJ, Torner JC, Hitchon PW. Surgical options in the treatment of subaxial cervical fractures: A retrospective cohort study. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 2013; **115**(8): 1420-8.
219. He A, Xie D, Cai X, et al. One-stage surgical treatment of cervical spine fracture-dislocation in patients with ankylosing spondylitis via the combined anterior–posterior approach. *Medicine* 2017; **96**(27).
220. Bozkus H, Ames CP, Chamberlain RH, et al. Biomechanical Analysis of Rigid Stabilization Techniques for Three-Column Injury in the Lower Cervical Spine. *Spine* 2005; **30**(8).

221. Serin E, Karakurt L, Yilmaz E, Belhan O, Varol T. Effects of two-levels, four-levels, and four-levels plus offset-hook posterior fixation techniques on protecting the surgical correction of unstable thoracolumbar vertebral fractures: a clinical study. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 2004; **14**(1): 1-6.
222. Tezeren G, Kuru I. Posterior Fixation of Thoracolumbar Burst Fracture: Short-Segment Pedicle Fixation Versus Long-Segment Instrumentation. *Clinical Spine Surgery* 2005; **18**(6).
223. Mariotti AJ, Diwan AD. Current concepts in anterior surgery for thoracolumbar trauma. *Orthopedic Clinics* 2002; **33**(2): 403-12.
224. Yu T, Zhang J, Zhu W, et al. Chondrogenesis mediates progression of ankylosing spondylitis through heterotopic ossification. *Bone Research* 2021; **9**(1): 19.
225. Ruger M, Mutschler W-E. 30 Komplikationen bei der Behandlung von Wirbelsaulenverletzungen. Komplikationen in Orthopadie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2010.
226. Farhat SM, Schneider RC, Gray JM. Traumatic spinal extradural hematoma associated with cervical fractures in rheumatoid spondylitis. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1973; **13**(7): 591-9.
227. Goodnough Lawrence T, Shander A, Riou B. Patient Blood Management. *Anesthesiology* 2012; **116**(6): 1367-76.
228. Jeffrey HO, Igor D, Dennis EM. Minimally invasive spine technology and minimally invasive spine surgery: a historical review. *Neurosurgical Focus FOC* 2009; **27**(3): E9.
229. Foo D, Rossier AB. Post-traumatic spinal epidural hematoma. *Neurosurgery* 1982; **11**(1 Pt 1): 25-32.
230. Hissa E, Boumphrey F, Bay J. Spinal epidural hematoma and ankylosing spondylitis. *Clinical orthopaedics and related research* 1986; (208): 225-7.
231. Weatherley C, Jaffray D, Terry A. Vascular Complications Associated with Osteotomy in Ankylosing Spondylitis: A Report of Two Cases. *Spine* 1988; **13**(1): 43- 6.

232. Li J, Zhao J, He C, Tong W, Zou Y, Xu W. Comparison of Blood Loss After Total Hip Arthroplasty Between Ankylosing Spondylitis and Osteoarthritis. *The Journal of Arthroplasty* 2016; **31**(7): 1504-9.
233. Zakaryan A, Ginosyan K. Perioperative Management of Patients With Ankylosing Spondylitis Undergoing Spine Surgery. *Front Pharmacol* 2020; **11**: 1017-.
234. Zhang Y, Liu H, He F, Chen A, Yang H, Pi B. Does Tranexamic Acid Improve Bleeding, Transfusion, and Hemoglobin Level in Patients Undergoing Multilevel Spine Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery* 2019; **127**: 289-301.
235. Li L, Fu J, Xu C, et al. Factors associated with blood loss in ankylosing spondylitis patients with hip involvement undergoing primary total hip arthroplasty: a cross-sectional retrospective study of 243 patients. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2020; **15**(1): 541.
236. Smorgick Y, Baker KC, Bachison CC, Herkowitz HN, Montgomery DM, Fischgrund JS. Hidden blood loss during posterior spine fusion surgery. *The Spine Journal* 2013; **13**(8): 877-81.
237. Leckie S, Yoon ST, Isaacs R, et al. Perioperative Complications of Cervical Spine Surgery: Analysis of a Prospectively Gathered Database through the Association for Collaborative Spinal Research. *Global Spine Journal* 2015; **6**(7): 640- 9.
238. Longo UG, Loppini M, Petrillo S, Berton A, Maffulli N, Denaro V. Management of cervical fractures in ankylosing spondylitis: anterior, posterior or combined approach? *British medical bulletin* 2015; **115**(1): 57-66.
239. Makrantonaki E, Wlaschek M, Scharffetter-Kochanek K. Pathogenese von Wundheilungsstörungen bei älteren Patienten. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft* 2017; **15**(3): 255-78.
240. Dagal A, Bellabarba C, Bransford R, et al. Enhanced Perioperative Care for Major Spine Surgery. *Spine* 2019; **44**(13).

241. Raksakietisak M, Keawsai T, Sirivanasandha B. Factors Related to Delayed Extubation in Cervical Spine Surgery in an Academic Hospital: A Retrospective Study of 506 Patients. *Asian journal of anesthesiology* 2019; **57**(4): 111-6.
242. Tinelli M, Töpfer F, Kreinest M, Matschke S, Grützner PA, Suda AJ. Minimally invasive reduction and percutaneous posterior fixation of one-level traumatic thoracolumbar and lumbar spine fractures. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 2018; **28**(8): 1581-7.
243. Ma Y, Passias P, Gaber-Baylis LK, Girardi FP, Memtsoudis SG. Comparative in-hospital morbidity and mortality after revision versus primary thoracic and lumbar spine fusion. *The Spine Journal* 2010; **10**(10): 881-9.
244. Hornick TR. Surgical Innovations: Impact on the Quality of Life of the Older Patient. *Clinics in Geriatric Medicine* 2006; **22**(3): 499-513.
245. Pofahl WE, Pories WJ. Current Status and Future Directions of Geriatric General Surgery. *Journal of the American Geriatrics Society* 2003; **51**(7s): S351-S4.
246. Han C, Robinson DW, Hackett MV, Paramore LC, Fraeman KH, Bala MV. Cardiovascular disease and risk factors in patients with rheumatoid arthritis, psoriatic arthritis, and ankylosing spondylitis. *The Journal of Rheumatology* 2006; **33**(11): 2167.
247. Peters MJ, van der Horst-Bruinsma IE, Dijkmans BA, Nurmohamed MT. Cardiovascular risk profile of patients with spondylarthropathies, particularly ankylosing spondylitis and psoriatic arthritis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* 2004; **34**(3): 585-92.
248. Robinson Y, Willander J, Olerud C. Surgical Stabilization Improves Survival of Spinal Fractures Related to Ankylosing Spondylitis. *Spine* 2015; **40**(21): 1697-702.

7 ANHANG

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1 Übersicht epidemiologische Daten.....	42
Tabelle 4-2 Übersicht unfallbezogene Daten.....	52
Tabelle 4-3 Begleitverletzungen.....	54
Tabelle 4-4 Neurologische Auffälligkeiten.....	56
Tabelle 4-5 Frakturverteilung bei Mehrfachfrakturen.....	59
Tabelle 4-6 Übersicht versorgungsbezogene Daten.....	63
Tabelle 4-7 Versorgungsbezogene Daten differenziert nach Cluster.....	65
Tabelle 4-8 Versorgungsbezogene Daten ZT-Cluster differenziert nach OP-Verfahren.....	67
Tabelle 4-9 Komplikationen ZT-Cluster.....	75
Tabelle 4-10 Versorgungsbezogene Daten TL-Cluster differenziert nach OP-Verfahren.....	79
Tabelle 4-11 Komplikationen TL-Cluster.....	87
Tabelle 4-12 Überleben seit operativer Versorgung.....	91
Tabelle 5-1 Literaturvergleich neurologisch unauffälliger Status bei SA und Wirbelkörperfraktur.....	107

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1 Wirbelkörper- und Wirbelbogenbänder ⁸	17
Abb. 2-2 3-Säulen-Modell nach Denis ⁵	19
Abb. 2-3 Erscheinungsbild der Kyphose bei SA ⁹⁰	29
Abb. 3-1 Cluster ¹³⁴	39
Abb. 4-1 Auswahl des Patientenkollektivs.....	40
Abb. 4-2 Altersverteilung Gesamtkollektiv (n = 52).....	43
Abb. 4-3 Körpergröße Gesamtkollektiv (n = 49).....	44
Abb. 4-4 BMI Gesamtkollektiv (n = 49).....	45
Abb. 4-5 Mobilität vor Unfall (n = 51).....	46
Abb. 4-6 Anzahl Vorerkrankungen (n = 52).....	47
Abb. 4-7 Prävalenz Vorerkrankungen (n = 52).....	48
Abb. 4-8 Metabolisches Äquivalent (n = 51).....	49
Abb. 4-9 ASA-Klassifikation (n = 51).....	50
Abb. 4-10 Unfallmechanismus (n = 51).....	53
Abb. 4-11 Begleitverletzungen (n = 52).....	54

Abb. 4-12 Neurologischer Status (n = 52).....	55
Abb. 4-13 Diagnosezeitpunkt (n = 52)	57
Abb. 4-14 Frakturanzahl Gesamtkollektiv (n = 52).....	58
Abb. 4-15 Frakturverteilung aller Frakturen (n = 71) ¹³⁴	60
Abb. 4-16 Frakturklassifikation nach AO Spine (n = 71)	61
Abb. 4-17 Clustereinteilung	64
Abb. 4-18 Frakturverteilung ZT-Cluster (n = 31) ¹³⁴	66
Abb. 4-19 OP-Technik ZT-Cluster (n = 24)	68
Abb. 4-20 OP-Dauer ZT-Cluster	69
Abb. 4-21 Fusionierte Segmente ZT-Cluster	70
Abb. 4-22 Intraoperativer Blutverlust ZT-Cluster.....	71
Abb. 4-23 Transfusion ZT-Cluster.....	72
Abb. 4-24 Transfusionsmenge ZT-Cluster.....	73
Abb. 4-25 Komplikationen ZT-Cluster.....	75
Abb. 4-26 Intensivtage ZT-Cluster.....	76
Abb. 4-27 Verweildauer ZT-Cluster	77
Abb. 4-28 Frakturverteilung TL-Cluster (n = 33) ¹³⁴	78
Abb. 4-29 OP-Technik TL-Cluster (n = 25)	80
Abb. 4-30 OP-Dauer TL-Cluster	81
Abb. 4-31 Fusionierte Segmente TL-Cluster.....	82
Abb. 4-32 Intraoperativer Blutverlust TL-Cluster.....	83
Abb. 4-33 Transfusion TL-Cluster.....	84
Abb. 4-34 Transfusionsmenge TL-Cluster	85
Abb. 4-35 Komplikationen TL-Cluster	86
Abb. 4-36 Intensivtage TL-Cluster	88
Abb. 4-37 Verweildauer TL-Cluster.....	89
Abb. 4-38 Überleben nach operativer Versorgung.....	92
Abb. 4-39 Überleben nach operativer Versorgung – Clusteraufschlüsselung	92

8 VORABVERÖFFENTLICHUNG VON ERGEBNISSEN

Keine