

Diplomarbeit

**Die physiologische Keilwirbelbildung der unteren
Brustwirbelsäule
und der Lendenwirbelsäule im Kindes- und
Jugendalter**

eingereicht von

Andrzej Hecker

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie und Abteilung
für Kinderradiologie**

unter der Anleitung von

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Erich Sorantin

Graz, am 02.08.2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 02.08.2017

Andrzej Hecker eh.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich im Rahmen dieser Diplomarbeit begleitet haben. Ganz besonders möchte ich Herrn Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. Georg Singer danken, der meine Arbeit durch seine fachliche und persönliche Unterstützung begleitet hat. Auch in Bezug auf die ständige Präsenz und Erreichbarkeit möchte ich mich sehr bedanken, da aufgrund seines schnellen Feedbacks und seiner Bereitschaft, sich Fragen und Problemen zeitnah zu widmen, kaum Verzögerungen auftraten und ein kontinuierliches Arbeiten ermöglicht wurde. Darüber hinaus möchte ich mich bei meinen Eltern Hubert Hecker und Zofia Hecker bedanken, die mir durch ihre Unterstützung mein Studium ermöglicht haben. Meine Eltern haben mir über die Jahre hinweg ermöglicht, meinem Berufstraum nachzugehen und zu studieren. Durch die Unterstützung meiner Eltern wurde mir ein reibungsloser Abschluss des Studiums ermöglicht. Danke für diese Geduld und Motivation. Ein besonderer Dank gilt meinen Freunden Artur Unruh, Torben Folger, Sascha Friesen, Patrick Obser, Dr. Abakar Magomedov und meiner Freundin Lilli Schell, die mich mit viel Geduld moralisch unterstützt haben und immer an mich geglaubt haben.

Danke, ohne euch alle wäre ich niemals so weit gekommen.

Zusammenfassung

Hintergrund: Frakturen der Wirbelsäule sind seltene Verletzungen im Kindes- und Jugendalter. Meist sind diese Frakturen sogenannte Typ A Verletzungen mit einer Eintauchung der Vorderkante (=Kompressionfrakturen). Gemessen wird diese Eintauchung anhand des sagittalen Index (SI). Eine geringe vordere Keilwirbelbildung der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule wird häufig bei Kindern und Jugendlichen beobachtet, obwohl anamnestisch kein Hinweis auf ein Trauma vorliegt. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, ob diese leichte vordere Keilbildung der Brust- und Lendenwirbelkörper physiologisch ist. Derzeit gibt es noch keine Untersuchungen über die physiologische Keilwirbelbildung anhand von nativradiologischen Untersuchungen im Kindes- und Jugendalter.

Methoden: Laterale Röntgenbilder der Brustwirbel- sowie Lendenwirbelsäule von 100 PatientInnen zwischen 0 und 17 Jahren, die zwischen 2007 und 2014 untersucht worden sind, wurden bezüglich des SI analysiert. Die 100 PatientInnen wurden in fünf Altersgruppen kategorisiert (0 – 3, 4 – 7, 8 – 11, 12 – 14, 15 – 17 Jahre). PatientInnen, die an einer malignen Erkrankung litten, Steroide einnahmen oder ein erhöhtes Risiko für eine Fraktur hatten, wurden von der Datenerhebung ausgeschlossen. Während zwei SI-Messungen wurden von einer unabhängigen Untersucherin zu zwei verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen wurden, wurde eine SI-Messung vom Diplomanden durchgeführt.

Ergebnisse: Der SI Mittelwert aller Wirbel über alle Altersklassen lag bei 1,009 (Standardabweichung (SD) = 0,092 und Spannweite (SW) = 0,794 – 1,429). Keilwirbel konnten bei T11 (MW = 0,958, SD = 0,067, SW = 0,823 – 1,138), T12 (MW = 0,966, SD = 0,067, SW = 0,806 – 1,167), L1 (MW = 0,967, SD = 0,059, SW = 0,794 – 1,091) und L2 (MW = 0,982, SD = 0,056, SW = 0,846 – 1,105) gefunden werden. Die unterste 95%-Konfidenzintervallsgrenze der SI-Werte war 0,944. Signifikante Altersunterschiede fanden sich bei T12 ($p = 0,02$), L1 ($p = 0,01$) und L4 ($p = 0,001$). Es gab eine gute Intrarater-Reliabilität (einzelne Wirbel Cronbach Alpha 0,725 – 0,878; einzelne Altersgruppen Cronbach Alpha 0,740 – 0,964). Im Unterschied dazu war die Interrater-Reliabilität inakzeptabel (einzelne Wirbel Cronbach Alpha 0,138 – 0,366; einzelne Altersgruppen Cronbach Alpha 0,222 – 0,7).

Schlussfolgerung: In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass es an nativradiologischen Untersuchungen physiologische Keilwirbel der unteren Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule im Kindes- und Jugendalter gibt. SI-Werte größer als 0,944 sprechen für physiologische Keilwirbel.

Schlagworte: Kompressionsfraktur, thorakolumbale Wirbelsäule, Kinder und Jugendliche, Sagittaler Index, Keilwirbel

Abstract

Background: Fractures of the thoracolumbar spine are rarely encountered injuries in the pediatric population. The majority of fractures are type A compression injuries with a decrease of the anterior height of the vertebral body. The sagittal index (SI) is used to measure the anterior wedging of the fractured vertebrae. However, mild anterior wedging of thoracolumbar vertebral bodies is often seen in children and adolescents without an evidence for trauma. The purpose of the present study was to assess whether mild anterior wedging of pediatric thoracolumbar junction vertebral bodies (T11-L5) can be seen as a normal variant. Currently, there are no reports based on native radiological examinations in childhood and adolescence.

Methods: A retrospective review of the SI was performed of lateral radiographs of the thoracic and lumbar spine of 100 patients aged between 0 and 17 years. The radiologic examinations were performed between 2007 and 2014. The patients were categorized into five age groups (0 – 3, 4 – 7, 8 – 11, 12 – 14, 15 – 17 years). Children with a history of trauma, malignancy or steroid use were excluded. While two SI measurements were performed by an independent hospitable doctor, one SI measurement was done by the graduand.

Results: The mean SI of all vertebrae was 1.009 (standard deviation (SD) = 0.092; range 0.794 – 1.429). Mild anterior wedging was found for T11 (mean 0.958, SD = 0.067, range 0.823 – 1.138), T12 (mean 0.966, SD = 0.067, range 0.806 – 1.167), L1 (mean 0.967, SD = 0.059, range 0.794 – 1.091) and L2 (mean 0.982, SD = 0.056, range 0.846 – 1.105). The lowest 95%- confidence interval of the SI was 0.944. A significant difference comparing the age groups was found for T12 ($p = 0.02$), L1 ($p = 0.01$) und L4 ($p = 0.001$). There was a good intraobserver agreement (individual vertebrae had a cronbach alpha ranging from 0.725 to 0.878 and individual age groups had a cronbach alpha from 0.740 to 0.964). However, there was an unacceptable interobserver agreement (individual vertebrae had a cronbach alpha from 0.138 to 0.366 and individual age groups had a cronbach alpha from 0.222 to 0.7).

Conclusion: The results of the present study show that there is a certain amount of physiological wedging as assessed on native radiological examinations of the lower thoracic and the lumbar spine in childhood and adolescence. In patients with

SI values greater than 0.944 there is the possibility of physiological wedging of the thoracolumbar spine.

Keywords: compression fracture, thoracolumbar spine, pediatric population, adolescents, sagittal index, wedging

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen.....	2
Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	5
Glossar und Abkürzungen.....	10
Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	13
1 Einleitung.....	14
1.1 Die Wirbelsäule.....	14
1.1.1 Anatomie.....	14
1.1.1.1 Aufbau der Wirbel.....	16
1.1.1.2 Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales).....	18
1.1.1.3 Bänder.....	19
1.1.1.4 Gelenke.....	21
1.1.2 Bewegungen der Wirbelsäule.....	22
1.2 Wirbelkörperfrakturen.....	23
1.2.1 Frakturdefinition.....	23
1.2.2 Epidemiologie.....	23
1.2.3 Ätiologie.....	24
1.2.4 Lokalisation.....	25
1.2.5 Klassifikation traumatischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule.....	26
1.2.5.1 Denis Klassifikation.....	27
1.2.5.2 Magerl-AO-Klassifikation.....	28
1.2.5.2.1 Typ A Verletzungen: Kompressionsverletzungen.....	30
1.2.5.2.1.1 Typ A1: Impaktionsbrüche.....	31
1.2.5.2.1.1.1 Typ A1.1: Deckplattenimpression.....	31
1.2.5.2.1.1.2 Typ A1.2: Keilbruch.....	32
1.2.5.2.1.1.3 Typ A1.3: Wirbelkörperimpaktion.....	33
1.2.5.2.1.2 Typ A2: Spaltbrüche.....	33
1.2.5.2.1.2.1 Typ A2.1: Sagittaler Spaltbruch.....	34
1.2.5.2.1.2.2 Typ A2.2: Frontaler Spaltbruch.....	34
1.2.5.2.1.2.3 Typ A2.3: Kneifzangenfraktur.....	35
1.2.5.2.1.3 Typ A3 Verletzungen: Berstungsbrüche.....	35
1.2.5.2.1.3.1 Typ A3.1: inkompletter Berstungsbruch.....	36
1.2.5.2.1.3.2 Typ A3.2: Berstungsspaltbruch.....	37
1.2.5.2.1.3.3 Typ A3.3: kompletter Berstungsbruch.....	38

1.2.5.2.2	Typ B Verletzungen: Distraktionsverletzungen	39
1.2.5.2.2.1	Typ B1: Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ligamentäre Zerreißung	39
1.2.5.2.2.2	Typ B2: Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ossäre Zerreißung .	40
1.2.5.2.2.3	Typ B3: Hyperextensions-Scherverletzung mit ventraler Zerreißung	41
1.2.5.2.3	Typ C Verletzungen: Rotationsverletzungen.....	42
1.2.5.2.3.1	Typ C1: Typ A mit Rotation	43
1.2.5.2.3.2	Typ C2: Typ B mit Rotation	44
1.2.5.2.3.3	Typ C3: Rotationsscherbrüche	45
1.2.5.3	Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS).....	46
1.2.5.4	McCormack Load-Sharing Classification	46
1.2.6	Diagnostik	47
1.2.6.1	Anamnese	47
1.2.6.2	Bildgebung.....	49
1.2.6.2.1	Röntgen.....	49
1.2.6.2.2	Computertomographie (CT).....	50
1.2.6.2.3	Magnetresonanztomographie	51
1.2.6.3	Deskriptive Parameter	51
1.2.6.3.1	Sagittaler Index	52
1.2.7	Fragestellung.....	54
2	Material und Methoden	55
2.1	Studiendesign.....	55
2.2	Patienten	55
2.3	Methodik.....	56
2.4	Statistische Analyse	56
3	Ergebnisse.....	57
3.1	Patienten	57
3.2	Sagittaler-Index: Deskriptive Ergebnisse.....	57
3.2.1	Deskriptive Darstellung der SI-Werte aller Wirbel	58
3.2.1.1	Statistische Analyse des SI über einzelne Wirbelkategorien	63
3.2.2	Deskriptive Beschreibung und statistische Analyse des SI der verschiedenen Altersgruppen.....	63
3.2.3	Interrater-Reliabilität.....	67
3.2.3.1	Interrater-Reliabilität aller Wirbel	68
3.2.3.2	Interrater-Reliabilität einzelner Wirbel.....	71
3.2.3.3	Interrater-Reliabilität einzelner Altersgruppen	71

3.2.4 Intrarater-Reliabilität.....	72
3.2.4.1 Intrarater-Reliabilität aller Wirbel	72
3.2.4.2 Intrarater-Reliabilität einzelner Wirbel	75
3.2.4.3 Intrarater-Reliabilität einzelner Altersgruppen	76
4 Diskussion	77
Referenzen	80

Glossar und Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Ant.	anterior, anterior
Art.	Articulatio
ASIA-IMSOP	American Spinal Injury Association - International Medical Society of Paraplegia
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	Beziehungsweise
CT	Computertomographie
HWS	Halswirbelsäule
Inf.	inferior, inferior
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
PLC	posterior ligamentous complex
Proc.	Processus
Procc.	Processus (Plural)
Post.	posterior, posterior
SI	sagittaler Index
SD	Standardabweichung
Sup.	superior, superior
SW	Spannweite
TLICS	Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansicht Wirbelsäule von lateral (links) und ventral (rechts), übernommen aus (7).....	15
Abbildung 2: Grundform der Wirbel am Beispiel eines Brustwirbels (Ansicht von kranial), übernommen aus (8).....	17
Abbildung 3: Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule. Wirbelkörper, Dornfortsätze und Bandapparat, übernommen aus(1)	20
Abbildung 4: Einteilung der Wirbelsäule in eine vordere, mittlere und hintere Säule nach Denis, übernommen aus (10).....	28
Abbildung 5 Magerl Hauptgruppen von links nach rechts Typ A (Kompressionsverletzung), B (Distractionsverletzung) und C (Rotationsverletzung), übernommen aus (41)	29
Abbildung 6 Typ A1.1 Impaktionsbruch der Deckplatte, übernommen aus (39)	31
Abbildung 7 Typ A1.2.1 kranialer Keilbruch, übernommen aus (39).....	32
Abbildung 8 Typ A1.3 Wirbelkörperimpaktion, übernommen aus (39).....	33
Abbildung 9 Typ A2.2 frontaler Spaltbruch, übernommen aus (39)	34
Abbildung 10 Typ A2.3 Kneifzangenfraktur, entnommen aus (39).....	35
Abbildung 11 Typ A3.1.1 kranialer inkompletter Berstungsbruch, übernommen aus (39).36	
Abbildung 12 Typ A3.1.1 kranialer Berstungsspaltbruch von ventral, dorsal und lateral, übernommen aus (39).....	37
Abbildung 13 Typ A3.3.3 kompletter axialer Berstungsbruch von lateral und dorsal, übernommen aus (39).....	38
Abbildung 14 Typ B1.1.1 Flexions-Distractionsverletzung samt Flexionssubluxation, übernommen aus (41).....	40
Abbildung 15 Typ B2.1 Flexions-Distractionsverletzung mit horizontaler Zerreißung des Wirbels, übernommen aus (41).....	41
Abbildung 16 Typ B3.1.1 Hyperextensionssubluxation ohne Gelenksfortsatzbruch, übernommen aus (41).....	42
Abbildung 17 Typ C1.1 Typ A Fraktur mit Rotationskeilbruch von ventral, lateral und dorsal, übernommen aus (41)	43
Abbildung 18 Typ C2.1.1 Typ B Fraktur mit Rotations-Flexion-Subluxation von ventral und lateral, übernommen aus (41)	45
Abbildung 19 Typ C3.1 "slice fracture" von ventral und lateral, übernommen aus (41)....	45
Abbildung 20 Erfassungsbogen ASIA-IMSOP, übernommen aus (53)	48
Abbildung 21 Instabile Flexionsdistractionsverletzung auf Höhe BWK 12 mit Keilwirbelbildung. Links: sagittale multiplanare Rekonstruktion, rechts: 3D-Rekonstruktion der Wirbelsäule, übernommen aus (66)	51

Abbildung 22 Kompressionsfraktur, Quotient aus der Höhe der Wirbelkörpervorderwand (a) und der -hinterwand (b) ergibt Sagittaler Index, übernommen aus (69)	52
Abbildung 23 SI Häufigkeitsverteilung von T11	58
Abbildung 24 SI Häufigkeitsverteilung von T12	59
Abbildung 25 SI Häufigkeitsverteilung von L1	59
Abbildung 26 SI Häufigkeitsverteilung von L2	60
Abbildung 27 SI Häufigkeitsverteilung von L3	61
Abbildung 28 SI Häufigkeitsverteilung von L4	62
Abbildung 29 SI Häufigkeitsverteilung von L5	62
Abbildung 30 SI-Verteilung aller Wirbel für jede Altersgruppe	63
Abbildung 31 SI-Verteilung T11 Wirbel für jede Altersgruppe.....	64
Abbildung 32 SI-Verteilung T12 Wirbel für jede Altersgruppe.....	64
Abbildung 33 SI-Verteilung L1 Wirbel für jede Altersgruppe.....	65
Abbildung 34 SI-Verteilung L2 Wirbel für jede Altersgruppe.....	65
Abbildung 35 SI-Verteilung L3 Wirbel für jede Altersgruppe.....	66
Abbildung 36 SI-Verteilung L4 Wirbel für jede Altersgruppe.....	66
Abbildung 37 SI-Verteilung L5 Wirbel für jede Altersgruppe.....	67
Abbildung 38 Bland-Altman-Plot der Interrater-SI-Messungen	69
Abbildung 39 Histogramm Interrater-SI-Differenzen.....	69
Abbildung 40 Streudiagramm Interrater-SI-Messungen	70
Abbildung 41 Bland-Altman-Plot der Intrarater-SI-Messungen	73
Abbildung 42 Histogramm Intrarater-SI-Differenzen.....	74
Abbildung 43 Streudiagramm Intrarater-SI-Werte aller Wirbel.....	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Einteilung nach Frankel, übernommen aus (60)	49
Tabelle 2 Durchschnittlicher SI aller Wirbel aller Alterslassen	58
Tabelle 3 Interrater-Reliabilität einzelner Wirbel	71
Tabelle 4 Interrater-Reliabilität einzelner Altersgruppen	72
Tabelle 5 Intrarater-Reliabilität einzelner Wirbel	75
Tabelle 6 Intrarater-Reliabilität einzelner Altersgruppen	76

1 Einleitung

1.1 Die Wirbelsäule

Bei der Wirbelsäule, *Columna vertebralis*, handelt es sich um eine vielgliedrige Knochengelenkkette, welche eine passive Stabilisation durch Bänder erlangt. Durch Muskeln wird diese bewegt und auch aktiv stabilisiert (1,2). Als Achsenskelett ist sie mit Extremitäten sowie Rippen verbunden. Das Gewicht von Kopf, Hals, den oberen Extremitäten und dem größten Teil des Rumpfes wird über den Beckengürtel auf die Beine übertragen (3). Einerseits hat die Wirbelsäule eine statische Funktion indem sie als Stützorgan dient und ebenso bestimmte Körperhaltungen beibehalten kann. Andererseits zeigt sich durch die Beweglichkeit des Rumpfes sowie die Dämpfung axialer Stöße, die dynamische Funktion der Wirbelsäule. Somit wird größtmögliche Stabilität bei gleichzeitiger Mobilität gewährleistet (1–4). Als knöchernerne Schutzhülle umgibt sie das Rückenmark, *Medulla spinalis*, und die davon ausgehenden Nerven (1–3).

Der optimierte Kompromiss zwischen statischer Belastbarkeit und dynamischen Möglichkeiten hilft der Wirbelsäule, den alltäglichen Beanspruchungen und Belastungen entgegenzuwirken (1,5).

1.1.1 Anatomie

Die Wirbelsäule besteht aus 32 – 35 knöchernen Elementen. Sie setzt sich aus 24 freien bzw. präsakralen Wirbeln (*Vertebrae*) zusammen (1). Die Anzahl der Wirbel setzt sich wie folgt zusammen:

- 7 Halswirbel (*Vertebrae cervicales*, C1 – C7)
- 12 Brustwirbel (*Vertebrae thoracicae*, Th1 – Th12)
- 5 Lendenwirbel (*Vertebrae lumbales*, L1 – L5)
- 5 Kreuzwirbel (*Vertebrae sacrales*, S1 – S5)
- 3 bis 6 Steißwirbel (*Vertebrae coccygeae*)

(1)

Zu den echten Wirbeln gehören die Hals-, Brust- und Lendenwirbel. Die unechten Wirbel hingegen setzen sich aus Kreuz- und Steißwirbel zusammen (1).

Wie in Abbildung 1 ersichtlich zeigt die Wirbelsäule eine charakteristische doppelte S-förmige Krümmung in der Sagittalebene. Beim Erwachsenen zeigen sich zwei nach vorne konvexe und zwei nach hinten konvexe Krümmungen. Nach dorsal konvexe Krümmungen werden als Kyphosen und nach ventral konvexe Krümmungen als Lordosen bezeichnet. Die Halswirbelsäule sowie die Lendenwirbelsäule weisen Lordosen auf, die Brustwirbelsäule sowie das Kreuzbein zeigen als Gegenkrümmung Kyphosen auf. Hierdurch entsteht eine federnde mehrgliedrige Rückenversteifung, die der Wirbelsäule ihre elastische Eigenschaft verleiht (1,2,6).

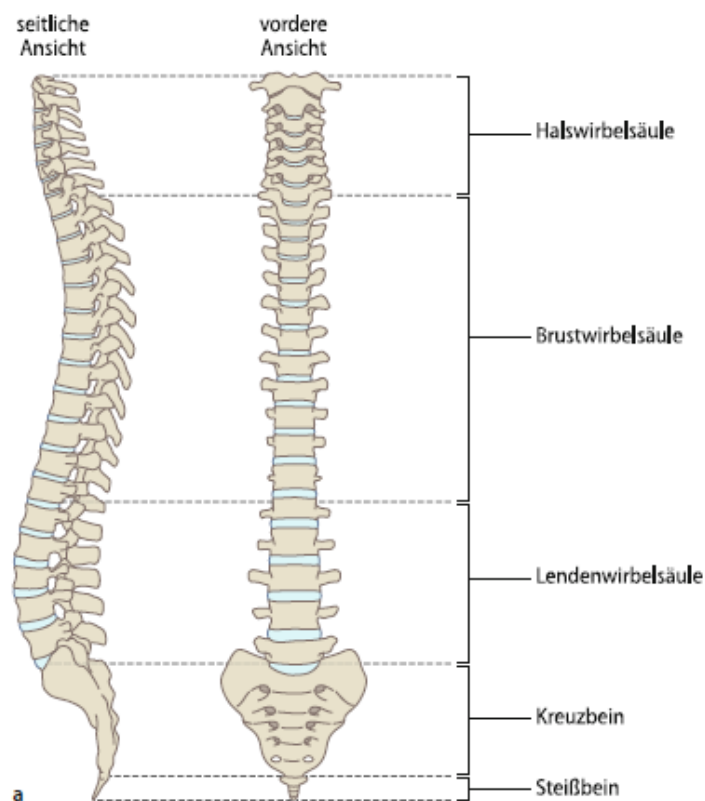


Abbildung 1: Ansicht Wirbelsäule von lateral (links) und ventral (rechts), übernommen aus (7)

Die Lendenlordose schafft Voraussetzungen für die Fortbewegungsweise und die aufrechte Haltung des Menschen, da das Schwerpunktslot des Körpers nahe an die Wirbelsäule heranrückt. Zusätzlich ist die Wirbelsäule des Erwachsenen asymmetrisch gering seitlich gebogen, dies wird als Skoliose

bezeichnet. Die seitlichen Ausbiegungen zeigen sich meistens im Lendenbereich nach links konvex und im Brustbereich nach rechts konkav (1,2).

Die funktionelle Einheit des Bewegungssegments nach Junghans setzt sich aus zwei benachbarten Wirbeln und der dazwischenliegenden Bandscheibe, Gelenke und Muskeln zusammen. Der durch das Foramen intervertebrale zwischen den benachbarten Wirbelkörpern austretende Spinalnerv gehört ebenso zum Bewegungssegment nach Junghans (1,5).

1.1.1.1 *Aufbau der Wirbel*

Je nach Wirbelsäulenabschnitt variieren die Wirbel in Größe und Form, aber der allgemeine Aufbau ist dennoch annähernd gleich. Ausnahmen bilden der 1. Halswirbel (Atlas) sowie der 2. Halswirbel (Axis). Der Atlas besitzt keinen Corpus und ist ringförmig. Der Axis weist mit seinem nach kranial reichenden Dens axis ebenso eine Besonderheit auf. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich nur auf die echten Wirbel, weshalb Kreuz- und Steißwirbel davon nicht betroffen sind (1,2).

Ein Wirbel besteht aus einem ventralen Wirbelkörper (Corpus vertebrae) und einem dorsal von ihm gelegenen Wirbelbogen (Arcus vertebrae). Der Wirbelkörper weist die Form eines kurzen Zylinders auf. An der dorsalen Fläche des Wirbelkörpers entspringt der Wirbelbogen mit zwei Wurzelanteilen (Pediculi arcus vertebrae). Die äußere Schicht des Wirbelkörpers, die Kortikalis, ist dünn und kompakt, der innere Anteil des Wirbelkörpers hingegen besteht aus einer dichten Spongiosa. Dadurch bekommt der Wirbelkörper seine mechanisch feste Belastbarkeit. Der zentrale poröse Teil der kranialen und kaudalen Wirbelkörperendflächen (Facies intervertebrales) ist von einer festeren knöchernen Randleiste (Epiphysis anularis) umgeben. Die Wirbelkörperendflächen sind von einer hyalinen Knorpelplatte bedeckt (1,2).

Am Wirbelbogen befinden sich mehrere Fortsätze, die zur Befestigung von Muskeln und Bändern dienen. Der Wirbelbogen trägt zwei seitliche Querfortsätze (Processus transversi), einen nach dorsal gelegenen, unpaaren Dornfortsatz (Processus spinosus) und je zwei obere und untere Gelenkfortsätze (Processus

articulares superiores et inferiores), welche eine überknorpelte Gelenkfläche tragen. Die Wirbelbogengelenke (Articulationes zygapophysiales) werden durch die benachbarten kranialen und kaudalen Wirbel mit den entsprechenden Processus gebildet. Je nach Wirbelsäulenabschnitt bestehen unterschiedliche räumliche Positionen der Artikulationsflächen, die je unterschiedliche Bewegungsmöglichkeiten aufweisen (1,2). In Abbildung 2 ist die Grundform eines Wirbels aus kranialer Ansicht am Beispiel eines Brustwirbels zu sehen.

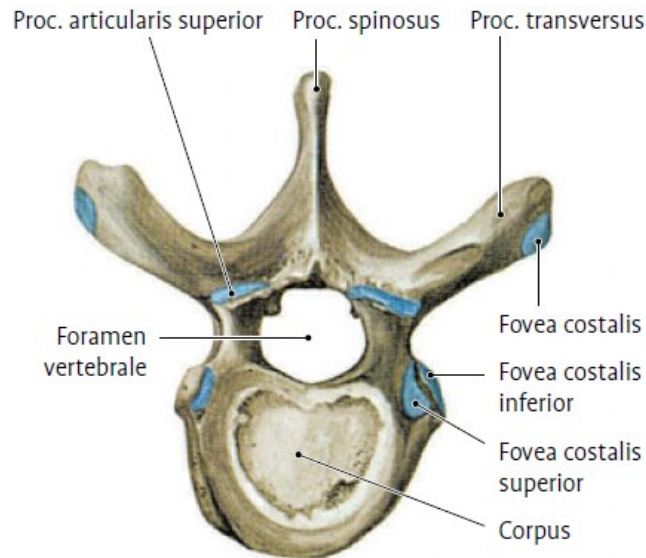


Abbildung 2: Grundform der Wirbel am Beispiel eines Brustwirbels (Ansicht von kranial), übernommen aus (8)

Die hintere Wirbelkörperfläche bildet mit dem Wirbelbogen das Wirbelloch (Foramen vertebrale). Der Wirbelkanal (Canalis vertebralis) setzt sich aus der Abfolge der Foramina vertebralia zusammen. Hier wird das Rückenmark mit seinen Hüllen aufgenommen. Am oberen und unteren Rand der Pediculi arcus vertebrae befinden sich Einkerbungen. Die seichte obere Einkerbung (Incisura vertebralis superior) und die tiefe untere Einkerbung (Incisura vertebralis inferior) bilden mit den zugekehrten nächst oberen und unteren Wirbeln die beidseitigen Zwischenwirbellöcher (Foramina intervertebralia). Somit besteht für jeden Wirbel eine vierfache gelenkige Verbindung zu seinem benachbarten Wirbel. Aus den Zwischenwirbellöchern erfolgt der Austritt der Spinalnerven. Je nach Wirbelsäulenabschnitt weisen die Zwischenwirbellöcher unterschiedliche Größen auf. Von kranial nach kaudal nimmt die Größe der Zwischenwirbellöcher zu (1,2).

1.1.1.2 *Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales)*

Die physiologische Krümmung der Wirbelsäule wird im Wesentlichen durch die schwach keilförmige Form der Zwischenwirbelscheiben bestimmt. In sagittaler Richtung weisen die Disci intervertebrales ihre keilförmige Form auf, die wiederum je nach Wirbelsäulenabschnitt unterschiedlich ist. Im Hals- und Lendenbereich sind sie vorne höher und hinten niedriger. Im Brustbereich verhält es sich umgekehrt. Zu dem nimmt die Dicke der Disci intervertebrales von kranial nach kaudal zu. Ein Viertel der Gesamtlänge der Wirbelsäule wird durch die Gesamtheit aller Zwischenwirbelscheiben bestimmt (1,2,6).

Der Discus intervertebralis besteht aus einem äußeren, straffen Faserring (Anulus fibrosus) und einem zentralen, weichen Gallertkern (Nucleus pulposus). Der Anulus fibrosus setzt sich aus 10 bis 15 konzentrisch angeordneten Lagen Faserbündel zusammen. Diese bestehen aus Kollagen Typ I und II sowie aus einem geringen Anteil elastischer Fasern (10%). Aufeinanderfolgende Lamellen von Fasern zeigen eine zueinander gekreuzte Faserrichtung auf. Über die Randleisten des Wirbelkörpers sind die Fasern verankert. Nach innen gehen die Kollagenfasern in die hyalinknorpelige Interzellulärsubstanz der Wirbelkörperendfläche über, wo sie ebenso fest verankert sind. Hierdurch entsteht eine synarthrotische Verbindung zwischen zwei benachbarten Wirbelkörpern, die sogenannte Symphysis intervertebralis (1,2).

Der Nucleus pulposus erhält seine wasserbindende Eigenschaft durch die im Gallertkern enthaltenden Glykosaminoglykane. Der hier vorhandene permanente Quellungsdruck wird auf die straffen, zugfesten Kollagenlamellen des Anulus fibrosus übertragen. Hierdurch wird der weiche Gallertkern in Spannung gehalten und kann so seiner Funktion als druckelastisches Polster nachgehen. Bei Belastung sind die Zwischenwirbelscheiben somit in der Lage sich zusammenzudrücken und bei Entlastung wieder in ihre ursprüngliche Form zu begeben (1,2).

1.1.1.3 Bänder

- Ligamentum longitudinale anterius:

Das vordere und breitere der beiden Längsbänder ist ventral an den Wirbelkörpern befestigt und überzieht die Zwischenwirbelscheiben. Kaudalwärts wird das Lig. longitudinale ant. breiter.

- Ligamentum longitudinale posterius:

Das schmalere hintere Längsband ist auf der dorsalen Wirbelkörperseite fest mit den Zwischenwirbelscheiben verbunden. Mit den Grund- und Endplatten der Wirbelkörper weist das hintere Längsband ebenso Verankerungen auf.

Die Disci intervertebrales üben einen inneren Druck auf die beiden Längsbänder aus, wodurch diese gespannt werden und somit die eigene Form der Wirbelsäule aufrechterhalten sowie festigen. Außerdem üben die Ligg. longitudinalia eine schützende Funktion auf die Disci intervertebrales aus.

- Ligamenta flava:

Die gelben Bänder sind zwischen den Arcus vertebrae der benachbarten Wirbel ausgespannt. Während des Ruhezustandes der Wirbelsäule weisen die Ligg. flava Spannung auf. Durch die stärkere Dehnung bei der Ventralflexion helfen sie der Wirbelsäule bei der Aufrichtung und unterstützen passiv die Rückenmuskulatur. Ihre gelbe Farbe entsteht durch die scherengitterartigen angeordneten, elastischen Fasern.

- Ligamenta interspinalia:

Die kurzen Bänder sind zwischen den Dornfortsätzen benachbarter Wirbel gespannt. Die Ligg. interspinalia weisen einen schräg nach dorsal ansteigenden Verlauf auf. Hierdurch wird eine Dorsalverschiebung der jeweiligen kranialen Wirbel verhindert.

- Ligamentum supraspinale:

Das Lig. supraspinale ist mit den Spitzen der Dornfortsätze verbunden und erstreckt sich über eine kontinuierliche Verbindung vom 7. Halswirbel bis zum Os sacrum.

In Abbildung 3 werden bisher alle genannten Bänder im Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule samt Wirbelkörper und Dornfortsätze gezeigt. Ausgenommen sind die Ligg. intertransversaria und das Lig. nuchae.

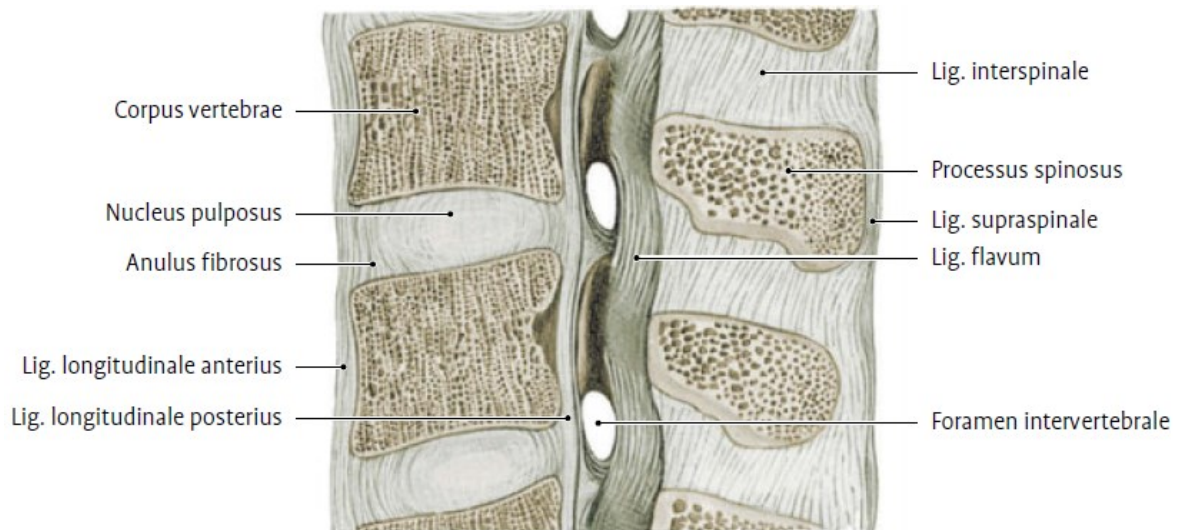


Abbildung 3: Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule. Wirbelkörper, Dornfortsätze und Bandapparat, übernommen aus(1)

- Ligamenta intertransversaria:

Die rundlichen, kurzen und dünnen Bänder sind zwischen den benachbarten Querfortsätzen gespannt.

- Ligamentum nuchae:

Das runde Nackenband stellt eine Verbindung zwischen der Protuberantia occipitalis externa und dem Dornfortsatz des 7. Halswirbels her. Das Band geht hier in die Ligg. interspinalia bzw. in das Lig. supraspinale über (1,2,6).

1.1.1.4 Gelenke

- Articulationes zygapophyseales:
Über die paarigen Procc. articulares sup. et inf. sind die benachbarten Wirbelbögen gelenkig miteinander verbunden. Klinisch spricht man hier von Wirbelbogengelenken. Je nach Wirbelsäulenabschnitt bestehen unterschiedliche Bewegungsmöglichkeiten wie Vor- und Rückwärtsbewegung, Rotation und Seitneigung.
- Articulatio atlantooccipitalis:
Beim „oberen Kopfgelenk“ handelt es sich um eine Gelenksverbindung zwischen Atlas und Hinterhauptsbein. Hier sind Vor- und Rückwärtsbewegungen sowie Seitwärtsneigungen möglich.
- Articulatio atlantoaxialis:
Das „untere Kopfgelenk“ besteht aus vier Teilgelenken. Zwei der vier Teilgelenke setzen sich aus der paarig angelegten Art. atlantoaxialis lateralis zusammen. Der Dens axis bildet nach ventral mit der Fovea dentis und nach dorsal mit dem Lig. transversum atlantis jeweils ein Teilgelenk. Hierdurch sind Drehbewegungen möglich.
- Articulatio lumbosacralis:
Die Art. lumbosacralis stellt die gelenkige Verbindung zwischen dem 5. Lendenwirbel und dem Os sacrum dar.
- Articulatio sacrococcygea:
Hierbei handelt es sich um ein echtes Gelenk, welches eine gelenkige Verbindung zwischen Os sacrum und Os coccygis (Steißbein) herstellt (1,6).

1.1.2 Bewegungen der Wirbelsäule

Die Bewegungen der Wirbelsäule umfassen Vorbeugung (Ventralflexion), Rückbeugung (Dorsalflexion), Seitwärtsneigung (Lateralflexion) sowie Drehung (Torsion). Je nach Wirbelsäulenabschnitt weisen die entsprechenden Gelenkfortsätze und Gelenkflächen unterschiedliche Stellungen bzw. Formen auf. Die Gelenkfortsätze der Halswirbelsäule (HWS) zeigen bezüglich der Transversalebene eine $30^\circ - 50^\circ$ Neigung von hinten unten nach vorne oben auf. Die Gelenkflächen sind hier plan und die Gelenkkapseln schlaff. Hierdurch wird die Halswirbelsäule der beweglichste Abschnitt der Wirbelsäule. Das komplette Bewegungsspektrum der Wirbelsäule ist hier möglich (1).

Die Gelenkfortsätze der Brustwirbelsäule (BWS) haben eine frontale Stellung und die Gelenkflächen weisen eine leicht konvexe Krümmung auf. Ebenso sind die Wirbel der BWS von straffen Gelenkkapseln umgeben. Hierdurch sind die Drehung sowie die Seitwärtsbewegung gut ausführbar. Die Rück- und Vorbeugung dagegen sind nur im geringen Maß ausführbar. Aufgrund der Einbindung der Rippen in den Thorax werden alle Bewegungen der BWS eingeschränkt (1–3).

Die Gelenkflächen der Lendenwirbelsäule (LWS) sind sagittal ausgerichtet. Somit sind hier keine Seitwärtsbewegungen oder Rotationen möglich. Vor- und Rückbeugung hingegen sind möglich (1).

Das Bewegungsausmaß zwischen den einzelnen Wirbeln ist gering, aber durch Aufsummierung der Teilbewegung aller 24 Glieder der Wirbelsäule ergibt sich ein großer Bewegungsumfang, der von Mensch zu Mensch variiert. Bei der Ventral- und Dorsalflexion sind Bewegungsumfänge von 110° bzw. $30 - 35^\circ$ möglich. Die Lateralflexion oder die Torsion der Wirbelsäule weisen Bewegungen im Ausmaß von $30^\circ - 40^\circ$ bzw. von 90° auf (1).

1.2 Wirbelkörperfrakturen

1.2.1 Frakturdefinition

Bei einer Fraktur handelt es sich um eine vollständige Kontinuitätsunterbrechung des Knochens. Eine unvollständige Kontinuitätsunterbrechung hingegen wird als Fissur bezeichnet (5). Die vollständige Kontinuitätsunterbrechung führt zu Bruchspalten mit mindestens zwei Fragmenten. Damit eine Fraktur entstehen kann, muss die indirekte oder direkte Gewalteinwirkung die Elastizität oder Festigkeit des Knochens übersteigen (9).

Je nach Frakturursache werden Frakturen in traumatische Frakturen, pathologische bzw. spontane Frakturen oder Ermüdungsfrakturen unterteilt. Traumatische Frakturen entstehen durch äußere direkte oder indirekte Gewalteinwirkung auf den gesunden Knochen. Pathologische Frakturen bzw. Spontanfrakturen entstehen hingegen ohne adäquate Gewalteinwirkung, da der Knochen aufgrund von Tumoren, Metastasen, Osteomyelitiden oder durch generalisierte Knochenerkrankungen wie z.B. Osteoporose krankhaft verändert ist. Ermüdungsfrakturen entstehen durch langanhaltende und repetitive lokale Überlastungen. Ohne Gewalteinwirkung kommt es aufgrund der wiederkehrenden Mikrotraumata zu einer Fraktur (10).

1.2.2 Epidemiologie

In der Gesamtbevölkerung beträgt die Inzidenz von Wirbelfrakturen 64 pro 100.000 Einwohner (11). In Deutschland liegen 10.000 relevante Verletzungen der Wirbelsäule pro Jahr vor (12). Mit 0,6% bis 5,4% aller Frakturen gehören Frakturen der Wirbelsäule im Kindes- und Jugendalter zu den seltenen Verletzungen (12–16). Das durchschnittliche Kindesalter bei Wirbelsäulenverletzungen liegt bei etwa 11 Jahren und der Altersgipfel liegt zwischen 14 und 16 Jahren, wobei Jungen häufiger betroffen sind (14, 17–20). Das männliche Geschlecht ist doppelt so häufig betroffen wie das weibliche (21). Kinder, die jünger als 8 Jahre alt sind, weisen weniger Wirbelfrakturen im thorakolumbalen Wirbelbereich auf als ältere Kinder und Jugendliche. Die Halswirbelsäule ist bei jüngeren Kindern häufiger betroffen. Dies

ist auf die ungünstige Relation zwischen der schwach ausgebildeten Nackenmuskulatur und dem großen, schweren Kopf zurückzuführen (18,22,23).

Aufgrund von Sommer- sowie Winterferien finden vermehrt freizeitleiche Aktivitäten bei Kindern und Jugendlichen statt. Deswegen kommt es zwischen Juni und September zu einer saisonalen erhöhten Inzidenzrate (24).

Die niedrige Inzidenz der Wirbelfrakturen im Wachstumsalter lässt sich durch verschiedene Gründe erklären. Die Wirbelsäule im Kindes- und Jugendalter weist eine höhere Beweglichkeit sowie eine effektivere Pufferwirkung der Zwischenwirbelscheiben, die durch einen höheren Knorpel- sowie Wasseranteil zu Stande kommt, auf (18,25). Die schwierige radiologische Interpretation der kindlichen Wirbelsäule sowie der Verzicht auf eine vollständige, radiologische Abklärung nach leichten Traumen erhöht die Anzahl der übersehenen Wirbelfrakturen (18).

1.2.3 Ätiologie

Die Hauptursachen der Wirbelfrakturen im Kindesalter sind Stürze aus großer Höhe sowie Verkehrsunfälle. Bei Verkehrsunfällen sind Kinder als Mitfahrer eines PKW oder als Fußgänger betroffen. Der Großteil der Stürze kommt bei sportlichen Aktivitäten wie Snowboarden und Rodeln vor. Ab einem Alter von 10 Jahren gewinnen Sportverletzungen und Freizeitverletzungen bei der Entstehung von Wirbelfrakturen an Bedeutung, da mit steigendem Alter eine erhöhte Mobilität und Aktivität bei Kindern vorliegt (11,21,26–30).

Wirbelverletzungen können während komplizierten Geburten entstehen, da in solchen Fällen der Gebrauch einer Zange oder die innere Wendung des Kindes nötig ist. Die hier entstehenden Läsionen befinden sich im zervicothorakalen oder hochthorakalen Wirbelbereich (18).

Bei Kindesmisshandlungen betreffen 2% bis 3% der Frakturen die Wirbelsäule und zeigen sich meist als thorakolumbale und lumbale Kompressionsfrakturen (18).

Generalisierte epileptische Anfälle sind bei 2,5% bis 3% der Wirbelfrakturen die alleinige Ursache. Die ausgeprägten tonisch-klonischen Muskelkrämpfe können durch maximale Kontraktion der Rumpfmuskeln zu Kompressionsfrakturen der Wirbelsäule führen. Auch der initiale Verlust des Bewusstseins während eines epileptischen Anfalls führt zu Stürzen, die Frakturen auslösen können (31,32).

1.2.4 Lokalisation

Unabhängig vom Alter finden sich die meisten Frakturen im Lendenwirbelbereich (50,4%), gefolgt vom Brustwirbelbereich (28,8%). Die wenigsten Frakturen zeigen sich mit 20,8% im Halswirbelbereich. Mit 28,5% aller Wirbelfrakturen ist der 1. Lendenwirbel am häufigsten von Frakturen betroffen. Der angrenzende 12. Brustwirbel sowie der 2. Lendenwirbel folgen mit 14,1% bis 17% bzw. 12,1% bis 14% aller Wirbelfrakturen. Mit ca. 62% zeigt sich, dass der thorakolumbale Übergang der Wirbelsäule die größte Frakturinzidenz aufweist (23,33).

Bei Kindern und Jugendlichen unter 15 Jahren zeigen sich mehr Frakturen im Brustwirbelbereich als im Lendenwirbelbereich. Insbesondere der mittlere Brustwirbelbereich (BWK 5 bis BWK 8) ist hier mit 47,1% aller frakturierten Wirbelkörper betroffen. Der thorakolumbale Übergang (BWK 11 bis LWK 2) zeigt mit 41,2% einen weiteren Wirbelfrakturenhochpunkt. Hier zeigt sich, dass sich 88,3% der BWS- und LWS-Frakturen im mittleren Brustwirbel- sowie im thorakolumbalen Bereich befinden. In Ausnahmefällen ist die Halswirbelsäule der Kinder und Jugendlichen betroffen. Lediglich der 2. Halswirbel zeigte vermehrte Fraktur Tendenzen (23,34,35).

Je nach Alter zeigen sich ebenso unterschiedliche Verteilungsmuster der Wirbelfrakturen. 31,3% der unter 10-jährigen Kinder zeigen Verletzungen im mittleren Brustwirbelbereich (BWK 5 bis BWK 8) auf. 7,1% dagegen im thorakolumbalen Bereich. 39,7% der über 10-jährigen Kinder weisen im mittleren Brustwirbelbereich (BWK 5 bis BWK 8) und 41,2% im thorakolumbalen Bereich Wirbelfrakturen auf. Dies lässt darauf schließen, dass jüngere Kinder eher dazu

neigen, Frakturen im Brustwirbelbereich als im thorakolumbalen Bereich zu erleiden (23).

1.2.5 Klassifikation traumatischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule

Klassifikationssysteme dienen dazu, Informationen über den Schweregrad der Verletzungen, der Pathogenese oder des Verletzungsmechanismus zu bekommen. Die Klassifikation von traumatischen Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule beruht je nach Klassifikationssystem auf der Beschreibung von anatomischen Strukturen, Verletzungsmechanismus oder biomechanischen Mechanismen. Daraus resultierend werden die klinischen, therapeutischen Entscheidungsfindungen sowie die Prognose erleichtert und verbessert (36).

Eine wesentliche Aufgabe der Klassifikation ist es, anhand von morphologischen Kriterien unterschiedliche Instabilitätsgrade zu beurteilen und zu differenzieren. Je nachdem ob eine stabile oder instabile Verletzung vorliegt, erfolgt bei Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule eine konservative oder operative Behandlung (36,37).

Eine genaue Definition von Stabilität bzw. Instabilität erweist sich als schwierig, da in der Literatur verschiedene Meinungen bezüglich der genauen Begriffsdifferenzierung vorliegen. Angelehnt an den Begriff der „klinischen Instabilität“ von White und Panjabi, modifizierten Blauth et al. die Stabilitätskriterien wie folgt (36–39):

„Stabil ist eine Verletzung, wenn keine weitere Veränderung der Stellung der Wirbelsäule in Ruhe oder bei Belastung zu erwarten ist.“

Geringgradig instabil sind Verletzungen, die bei funktioneller Behandlung ohne schwerwiegende Fehlstellung und zusätzliche neurologische Störungen ausheilen.

Hochgradig instabil bedeutet, dass bei funktioneller Behandlung schwere Fehlstellungen und neurologische Komplikationen erwartet werden müssen.“
(37,40)

1.2.5.1 Denis Klassifikation

Aufbauend auf das 2-Säulenkonzept von Whitesides, erarbeitete Francis Denis im Jahre 1983 die sogenannte „Dreisäulentheorie“. Hier wird die Wirbelsäule in die folgenden 3 Säulen eingeteilt: (38,41)

- Vordere Säule: die ventralen Zweidrittel des Wirbelkörperanteiles, der dazugehörige Bandscheibenabschnitt sowie das Lig. longitudinale anterius
- Mittlere Säule: das dorsale Drittel des Wirbelkörperanteils, der dazugehörige Bandscheibenabschnitt sowie das Lig. longitudinale posterius
- Hintere Säule: die Wirbelbögen, die Facettengelenke sowie der dorsale Bandapparat zwischen den Procc. spinosi, Ligg. flava, Ligg. interspinalia und Lig. supraspinale (42–44)

Je nach Säule wirken unterschiedliche Belastungen auf den jeweiligen Abschnitt. Die vordere Säule ist hauptsächlich druckbelastet und die hintere Säule zugbelastet (42,44). In Abbildung 4 wird die schemenhafte Einteilung der 3 Säulen dargestellt. Nach Denis wird eine Wirbelfraktur, die sich nur auf die vordere Säule bezieht, als stabil bezeichnet. Sobald die vordere sowie die mittlere Säule betroffen sind, liegt eine partiell instabile Fraktur vor. Sind die vordere, mittlere und hintere Säule betroffen liegt eine instabile Fraktur vor (36,42). In der „Dreisäulentheorie“ von Denis wird zwischen leichten und schweren Wirbelsäulenverletzungen unterschieden. Zu den leichten Verletzungen werden isolierte Frakturen der Procc. transversi, Procc. articulares, Procc. spinosi und Pars interarticularis gezählt. Schwere Verletzungen hingegen werden folgendermaßen in vier Kategorien eingeteilt:

- Kompressionsfrakturen
 - Berstungsfrakturen
 - Flexion – Distractionsverletzungen („Sitzgurt“-Verletzungen)
 - Fraktur – Dislokation
- (43,45)

Die vier schweren Verletzungskategorien werden nochmals in drei, vier oder fünf Gruppen unterteilt. Insgesamt gibt es bei der Denis-Klassifikation 16 Untergruppen. Die Denis-Klassifikation weist unter den vier schweren Frakturkategorien eine gute Reproduzierbarkeit auf. Die Untergruppen hingegen eine schlechte (39,46).

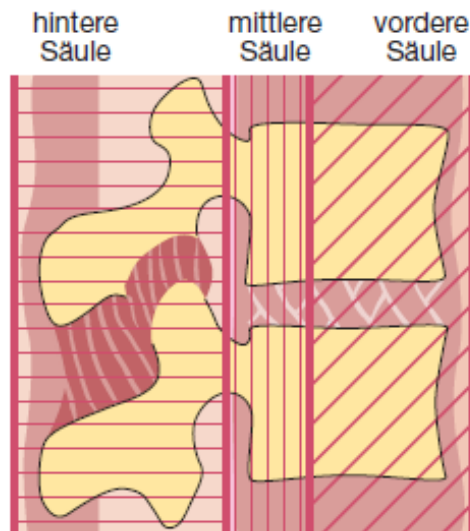


Abbildung 4: Einteilung der Wirbelsäule in eine vordere, mittlere und hintere Säule nach Denis, übernommen aus (10)

1.2.5.2 Magerl-AO-Klassifikation

1994 haben Magerl et al. auf der Grundlage einer statistischen sowie morphologischen Analyse von 1445 thorakolumbalen Verletzungen über einem Zeitraum von 10 Jahren eine neue Klassifikation für Wirbelfrakturen erstellt (41). Als Basis dieser neuen Klassifikation diente das „Zweisäulenkonzept“ von Whitesides (41,47). Die Klassifikation von Magerl beruht auf den Pathomechanismus sowie der anatomischen Verletzungsmorphologie der Wirbelfrakturen (41,48). Anlehnend an die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) langer Röhrenknochen wurde eine hierarchische Einteilung entwickelt. Diese basiert auf drei Hauptgruppen, welche sich auf den Unfallmechanismus beziehen. Die Hauptgruppen werden in Abbildung 5 dargestellt und wie folgt eingeteilt:

- **Typ A:** Kompressionsverletzungen
- **Typ B:** Distraktionsverletzungen
- **Typ C:** Rotationsverletzungen (41,49)

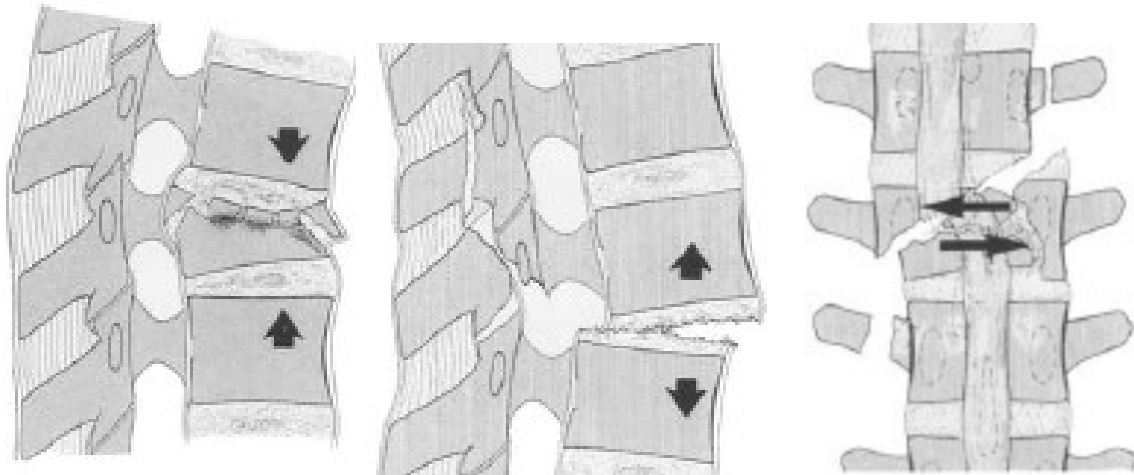


Abbildung 5 Magerl Hauptgruppen von links nach rechts Typ A (Kompressionsverletzung) ,B (Distraktionsverletzung) und C (Rotationsverletzung), übernommen aus (41)

Die drei Hauptgruppen werden über Nummerierungen in drei Nebengruppen eingeteilt. Die Nebengruppen werden ebenso über Nummerierungen jeweils in Untergruppen gegliedert. Die Schwere der Verletzungen sowie das Risiko einer neurologischen Schädigung nehmen vom Typ A bis Typ C und mit aufsteigender Nummerierung der Neben- und Untergruppen zu (41,46). Die Reproduzierbarkeit der Klassifikation zwischen verschiedenen Beobachter/Innen, die Interobserverreliabilität, hat bei den drei Frakturkategorien einen durchschnittlichen Cohen's Kappa-Wert von 0,475 und bei den Untergruppen einen durchschnittlichen Cohen's Kappa-Wert von 0,537. Liegt der Cohen's Kappa-Wert über 0,61, dann wird von einer guten Reproduzierbarkeit ausgegangen. Die Intraobserverreliabilität liegt bei den drei Hauptkategorien bei 82% und bei den Nebengruppen bei 79%. Die Intra- und Interobserverreliabilität zeigen nur moderate Ergebnisse und dementsprechend eine moderate Reproduzierbarkeit (46). Ab einem Alter von 12 Jahren entspricht die kindliche Wirbelsäule anatomisch und biomechanisch dem eines Erwachsenen. Daher findet diese Klassifikation auch Anwendung bei Kinder

und Jugendlichen ab 12 Jahren. Bis zum 12. Lebensjahr werden Wirbelfrakturen lediglich in stabile (gering oder nicht dislozierte) und instabile (dislozierte) Frakturen eingeteilt (21,50,51).

1.2.5.2.1 Typ A Verletzungen: Kompressionsverletzungen

Wirbelkörperkompressionsverletzungen entstehen aufgrund von axial wirkenden Kräften mit oder ohne Flexion auf die Wirbelsäule. Dies führt zu einem Höhenverlust des Wirbelkörpers. Die Kompression bezieht sich bei der Typ A Verletzung auf die ventrale Säule, denn die dorsale Säule samt dem dorsalen ligamentären Komplex bleibt intakt. Das nach vorne gerichtete Drehmoment führt zu einer keilförmigen Verformung des Wirbelkörpers sowie eine Zunahme des Kyphosewinkels (41,43,52). Kompressionsbrüche gehören zu den häufigsten Formen der thorakolumbalen Frakturen. Mit 65% bis 66% ist die Typ A Fraktur die häufigste Verletzung im thorakolumbalen Bereich. Die häufigsten Kompressionsfrakturen treten zwischen BWK 12 und LWK 2 auf, da hier der Übergang zwischen der stabilisierten Brustwirbelsäule und der besser beweglichen Lendenwirbelsäule liegt. Axiale Krafteinwirkungen werden besser von der natürlichen Kyphose der Brustwirbelsäule absorbiert als von der Lordose der Lendenwirbelsäule. Insbesondere im jungen sowie mittleren Erwachsenenalter sind hauptsächlich Verkehrsunfälle sowie Stürze aus großer Höhe für Kompressionsfrakturen verantwortlich. Osteoporotisch bedingte Kompressionsfrakturen gehören zu den häufigsten Gründen bei älteren Generationen (41,43,53).

Die Typ A Verletzung wird nochmals in drei Nebengruppen unterteilt:

- **A1:** Impaktionsbrüche
- **A2:** Spaltbrüche
- **A3:** Berstungsbrüche

Diese drei Nebengruppen werden nochmals in jeweils drei Untergruppen eingeteilt (41,43).

1.2.5.2.1.1 Typ A1: Impaktionsbrüche

Alle Impaktionsbrüche Typ A1 werden als stabil gesehen, da diese Frakturform nur zu einer Erniedrigung der vorderen Wirbelkante führt. Die hintere Wirbelkante samt dem dorsalen Bänderkomplex bleibt intakt. In den seltensten Fällen werden neurologische Ausfälle beobachtet, denn durch diese Art von Fraktur wird der Spinalkanal nicht eingeengt. Die Typ A1 Impaktionsbrüche werden nochmals in jeweils drei Untergruppen eingeteilt:

- **A1.1:** Deckplattenimpression
- **A1.2:** Keilbruch
- **A1.3:** Wirbelkörperimpaktion

(41,43)

1.2.5.2.1.1.1 Typ A1.1: Deckplattenimpression

Die Deckplattenimpression ähnelt der Form einer Sanduhr und wird durch die Impression der kranialen Endplatte verursacht. Eine geringe Keilwirbelbildung von 5° ist möglich. Die dorsale Wirbelkante bleibt im Gegensatz zur vorderen intakt. Die Bruchform wird häufiger bei Jugendlichen sowie osteoporotischen veränderten Wirbelsäulen gefunden. In Abbildung 6 ist ein Impaktionsbruch Typ A1.1 dargestellt (41,43).

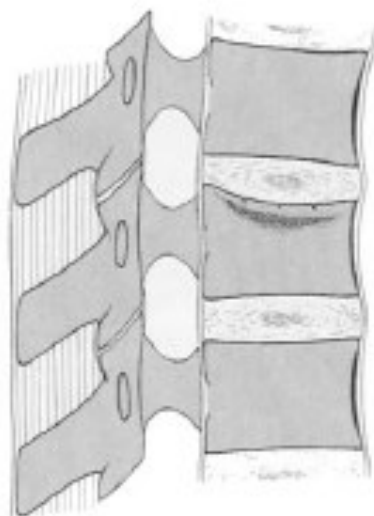


Abbildung 6 Typ A1.1 Impaktionsbruch der Deckplatte, übernommen aus (39)

1.2.5.2.1.1.2 **Typ A1.2: Keilbruch**

Bei Keilwirbelbrüchen zeigt sich eine Höhenminderung der ventralen Wirbelkante von mehr als 5°. Die hintere Wirbelkante bleibt intakt. In Abbildung 7 wird der Typ A1.2.1 kranialer Keilbruch dargestellt.



Abbildung 7 Typ A1.2.1 kranialer Keilbruch, übernommen aus (39)

Der Keilbruch wird nochmals je nach Lokalisation des Bruchs in folgende drei Untergruppen eingeteilt:

- **A1.2.1:** kranialer Keilbruch
- **A1.2.2:** seitlicher Keilbruch
- **A1.2.3:** kaudaler Keilbruch

(41,43)

1.2.5.2.1.1.3 Typ A1.3: Wirbelkörperimpaktion

Zu den typischen osteoporotischen Verletzungen der Wirbelsäule gehören die Wirbelkörperimpaktionen. Hier kommt es zu einem symmetrischen Höhenverlust aufgrund der Grund- sowie Deckplattenimpression. In Abbildung 8 ist die Wirbelkörperimpaktion ersichtlich. Die typische Wirbelform nach beiden Impressionen nennt man „Fischwirbel“ (41,43).

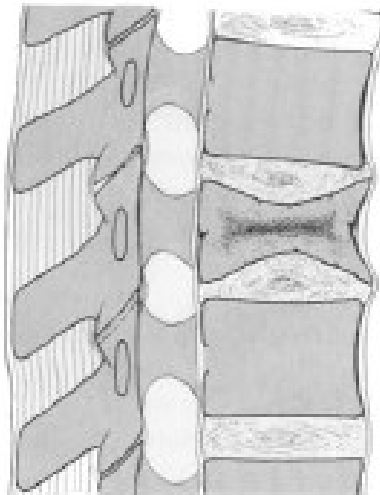


Abbildung 8 Typ A1.3 Wirbelkörperimpaktion, übernommen aus (39)

1.2.5.2.1.2 Typ A2: Spaltbrüche

Hierbei handelt es sich um Frakturen, die eine Spaltbildung samt möglicher Fragmentverschiebung in der Sagittal- oder Frontalebene hervorrufen. Die entstehende Lücke durch dislozierte Fragmente kann durch Zwischenwirbelscheiben gefüllt werden. Daraus resultiert eine Nichtvereinigung der Fraktarenden. Die dorsale Säule ist nicht betroffen und Spinalkanalbeteiligungen sind bei Typ A2 Verletzungen unüblich. Die Spaltbrüche werden in drei weitere Untergruppen eingeteilt:

- **A2.1:** sagittaler Spaltbruch
- **A2.2:** frontaler Spaltbruch
- **A3.3:** Kneifzangenfraktur bzw. dislozierter frontaler Spaltbruch

(41,43)

1.2.5.2.1.2.1 Typ A2.1: Sagittaler Spaltbruch

Im thorakolumbalen Wirbelbereich kommt es ganz selten zu Spaltbrüchen in der Sagittalebene. Häufig ist diese Art von Fraktur bei rotierenden Berstungsbrüchen als Begleitverletzung zu finden (41).

1.2.5.2.1.2.2 Typ A2.2: Frontaler Spaltbruch

Hierbei handelt sich um Spaltbrüche, die sich in der Frontalebene befinden. Die dorsale Säule ist nicht betroffen und der frontale Spaltbruch kann als stabil angesehen werden. Abbildung 9 zeigt einen frontalen Spaltbruch (41).

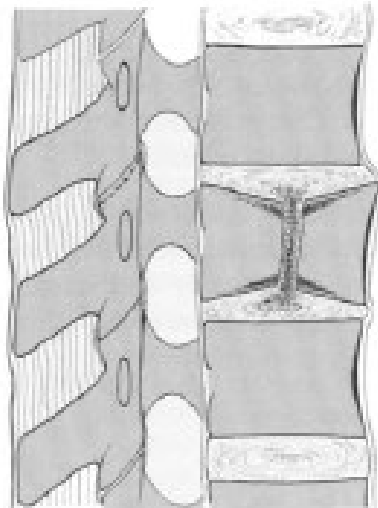


Abbildung 9 Typ A2.2 frontaler Spaltbruch, übernommen aus (39)

1.2.5.2.1.2.3 **Typ A2.3: Kneifzangenfraktur**

Bei der Kneifzangenfraktur, im englischen auch als „pincer fracture“ bezeichnet, ist der eingebrochene zentrale Wirbelkörperanteil mit einem Teil der anliegenden Zwischenwirbelscheiben gefüllt. An diesen Stellen kommt es gehäuft zu Pseudoarthrosen. In Abbildung 10 ist eine typische Kneifzangenfraktur dargestellt (41).



Abbildung 10 Typ A2.3 Kneifzangenfraktur, entnommen aus (39)

1.2.5.2.1.3 **Typ A3 Verletzungen: Berstungsbrüche**

Zu den schwerwiegendsten Frakturen der Typ A Frakturen gehören die Berstungsbrüche. Bei Berstungsbrüchen handelt es sich um Zertrümmerungen der Wirbelkörper durch axiale Kraftübertragung. Typisch für diese Art von Brüchen ist die Höhenminderung des Wirbelkörpers. Anders als bei Typ A1 und A2 Frakturen ist die dorsale Wirbelkante mitbeteiligt. Der dorsale Bandapparat bleibt hingegen intakt. Ebenso typisch ist ein vergrößerter interpedicularer Abstand. Aus der dorsalen Wirbelwand können Knochenfragmente nach dorsal dislozieren und somit eine Spinalkanaleinengung herbeiführen. Dies kann zu neurologischen Ausfällen bzw. Symptomen führen. Berstungsbrüche werden in drei Nebengruppen eingeteilt, die mit aufsteigender Nummerierung die Wahrscheinlichkeit für eine neurologische Beteiligung durch eine Spinalkanaleinengung erhöhen:

- **A3.1:** inkompletter Berstungsbruch
- **A3.2:** Berstungsspaltbruch
- **A3.3:** kompletter Berstungsbruch

(41,43)

1.2.5.2.1.3.1 Typ A3.1: inkompletter Berstungsbruch

Beim inkompletten Berstungsbruch ist die obere bzw. die untere Wirbelkörperhälfte gebrochen und die andere Hälfte hingegen nicht. In Ausnahmefällen kann es beim inkompletten Berstungsbruch zu einer Verschiebung der dorsalen Wirbelkörperwand in den Spinalkanal kommen. Ein kranialer inkompletter Berstungsbruch wird in Abbildung 11 dargestellt (41).

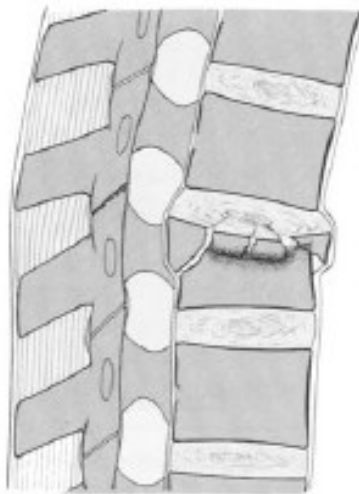


Abbildung 11 Typ A3.1.1 kranialer inkompletter Berstungsbruch, übernommen aus (39)

Je nach Lokalisation wird der Typ A3.1 nochmals in drei weitere Untergruppen eingeteilt:

- **A3.1.1:** Kranialer inkompletter Berstungsbruch
- **A3.1.2:** Seitlicher inkompletter Berstungsbruch
- **A3.1.3:** Kaudaler inkompletter Berstungsbruch

(41,54)

1.2.5.2.1.3.2 **Typ A3.2: Berstungsspaltbruch**

Bei einer Wirbelkörperhälfte, meistens der oberen Hälfte, findet sich ein Berstungsbruch während sich bei der anderen Wirbelkörperhälfte ein sagittaler Spaltbruch befindet. Die Lamina vertebralis oder der Proc. spinosus sind bei diesem Bruchtyp vertikal gespalten. Der Berstungsspaltbruch ist wesentlich instabiler als der inkomplette Berstungsbruch und die neurologische Beteiligung ist hier wahrscheinlicher. Abbildung 12 zeigt einen kranialen Berstungsspaltbruch von ventral, dorsal sowie lateral. Die Pfeile in der dorsalen Ansicht des kranialen Berstungsspaltbruchs deuten den verbreiterten interpedicularen Abstand an (41).

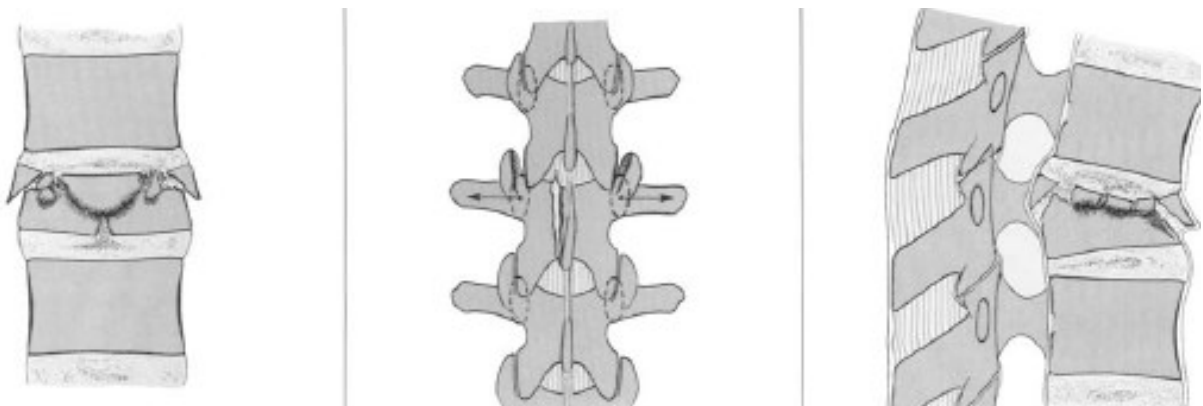


Abbildung 12 Typ A3.1.1 kranialer Berstungsspaltbruch von ventral, dorsal und lateral, übernommen aus (39)

Genauso wie beim Typ A3.1 werden hier die Nebengruppen in drei weitere Untergruppen eingeteilt, die die Lokalisation des Berstungsspaltbruchs angeben:

- **A3.1.1:** Kranialer Berstungsspaltbruch
- **A3.1.2:** Seitlicher Berstungsspaltbruch
- **A3.1.3:** Kaudaler Berstungsspaltbruch

(41,54)

1.2.5.2.1.3.3 Typ A3.3: kompletter Berstungsbruch

Beim kompletten Berstungsbruch ist der komplette Wirbelkörper zerbrochen. Durch eine Flexionsbewegung oder Kompression des Wirbelkörpers kann es zu einer Höhenminderung des gesamten Wirbelkörpers kommen. Bei diesem Typ von Bruch kommt es sehr häufig zu neurologischen Beteiligungen, da die Fragmente des zersplitterten Wirbelkörpers den Spinalkanal einengen. Abbildung 13 zeigt einen kompletten axialen Berstungsbruch von lateral und dorsal (41).

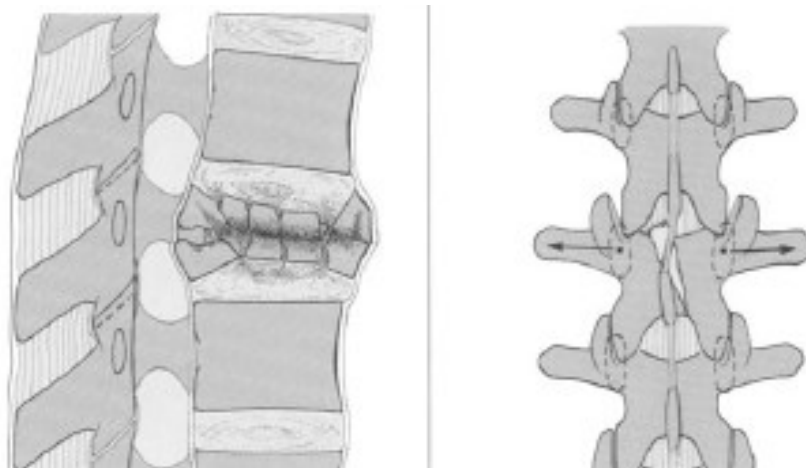


Abbildung 13 Typ A3.3.3 kompletter axialer Berstungsbruch von lateral und dorsal, übernommen aus (39)

Der komplette Berstungsbruch wird in drei weitere Untergruppen eingeteilt:

- **A3.3.1:** Kneifzangenberstungsbruch
- **A3.3.2:** Kompletter Flexionsberstungsbruch
- **A3.3.3:** Kompletter axialer Berstungsbruch

(41,54)

1.2.5.2.2 Typ B Verletzungen: Distraktionsverletzungen

Bei Distraktionsverletzungen handelt es sich um transversale Zerreißen, die nur eine oder beide Säulen betreffen kann. Meistens ist die dorsale Säule betroffen, wobei es zu Rupturen der dorsalen Bänder und somit auch zu Dislokationen kommen kann. Wie auch die Typ A Verletzungen, werden die Typ B Verletzungen ebenso in drei Nebengruppen unterteilt:

- **B1:** Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ligamentäre Zerreißen
- **B2:** Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ossäre Zerreißen
- **B3:** Hyperextensions-Scherverletzung mit ventraler Zerreißen

Flexions-Distraktionen (Typ B1 und B2) führen zu dorsale Rupturen, eine Hyperextension (Typ B3) dagegen zu Rupturen im ventralen Bereich. Da bei Typ B Verletzungen großteils beide Säulen horizontal zerrissen sind, kommt es in diesem Bereich zu einer chronischen Instabilität (41,43,54).

1.2.5.2.2.1 Typ B1: Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ligamentäre Zerreißen

Der Typ B1 stellt eine Flexions-Distraktionsverletzung der dorsalen Bänder ohne ossäre Beteiligung dar. In Abbildung 14 wird eine Flexions-Distraktionsverletzung samt Flexionssubluxation gezeigt (B1.1.1). Die B1 Verletzung wird in weitere Untergruppen eingeteilt:

- **B1.1:** Mit querer Zerreißung der Bandscheibe (rein diskoligamentär)
 - B1.1.1: Flexionssubluxation
 - B1.1.2: Vordere Luxation
 - B1.1.3: Flexionssubluxation oder vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze
- **B1.2:** Mit Wirbelkörperfraktur vom Typ A
 - B1.2.1: Flexionssubluxation
 - B1.2.2: Vordere Luxation
 - B1.2.3: Flexionssubluxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze (41,43,54)

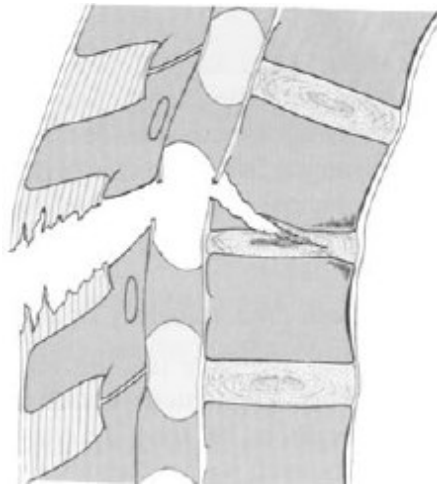


Abbildung 14 Typ B1.1.1 Flexions-Distraktionsverletzung samt Flexionssubluxation, übernommen aus (41)

1.2.5.2.2 Typ B2: Flexions-Distraktionsverletzung, überwiegend ossäre Zerreißung

Typisch für die B2 Verletzung ist eine quere Zerreißung der dorsalen Säule, welche durch die Lamina vertebralis und/oder die Pediculi arcus vertebrae geht. Die Ligg. interspinalia und/oder Ligg. supraspinosus sind ebenso durchtrennt. Eine typische B2 Verletzung, wobei der Wirbel horizontal zerrissen ist, ist in Abbildung 15 ersichtlich. Eine seltene und besondere Erscheinungsform der Typ B2 Verletzung stellt die sogenannte Chance-Fraktur dar. Hierbei handelt es sich um eine transversale Fraktur, die durch beide Säulen geht. Verursacht werden die B2

Verletzungen häufig durch Beckengurte bei Verkehrsunfällen. Die Typ B2 Verletzung wird in drei Untergruppen eingeteilt:

- **B2.1:** Horizontale Zerreißung des Wirbels
- **B2.2:** Flexionsspondylolyse mit Zerreißung der Bandscheibe
- **B2.3:** Flexionsspondylolyse mit Wirbelkörperfraktur

(41,43,54)

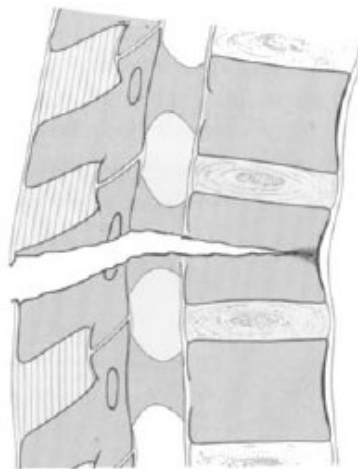


Abbildung 15 Typ B2.1 Flexions-Distraktionsverletzung mit horizontaler Zerreißung des Wirbels, übernommen aus (41)

1.2.5.2.2.3 Typ B3: Hyperextensions-Scherverletzung mit ventraler Zerreißung

Die seltene Typ B3 Verletzung entsteht im Gegensatz zum Typ B1 und B2 durch eine Hyperextension und Scherkraft anstatt einer Flexion-Distraktion. Dadurch kommt es nicht wie bei B1 und B2 zu einer Verletzung der dorsalen Säule, sondern zu einer Verletzung der vorderen Säule. Abbildung 16 stellt eine Hyperextensionssubluxation ohne Gelenkfortsatzbruch dar (Typ B3.1.1). Eine Unterteilung in weitere Untergruppen wird wie folgt vorgenommen:

- **B3.1:** Hyperextensionssubluxation
 - B3.1.1: Ohne Gelenkfortsatzbruch
 - B3.1.2: Mit Gelenkfortsatzbruch oder Fraktur der Bogenwurzel

- **B3.2:** Hyperextensionsspondylolyse
- **B3.3:** Hintere Luxation

(41,43,54)

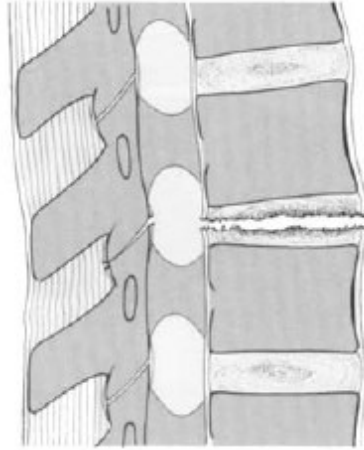


Abbildung 16 Typ B3.1.1 Hyperextensionssubluxation ohne Gelenksfortsatzbruch, übernommen aus (41)

1.2.5.2.3 Typ C Verletzungen: Rotationsverletzungen

Die Typ C Verletzungen entstehen durch Rotationen, wobei immer beide Säulen sowie die längsverlaufenden Bänder und auch oft die Zwischenwirbelscheiben betroffen sind. Der Typ C stellt die instabilste Verletzungsform da und weist verglichen mit den Typen A und B die häufigsten neurologischen Ausfälle und Komplikationen auf. Dieser Typ von Verletzungen kann in Kombination mit Typ A und B Verletzungen auftreten und wird dementsprechend in folgende Nebengruppen unterteilt:

- **C1:** Typ A mit Rotation
- **C2:** Typ B mit Rotation
- **C3:** Rotationsscherbruch

(41,43,54)

1.2.5.2.3.1 Typ C1: Typ A mit Rotation

Der C1 Typ ist eine Kombination aus der Typ A Verletzung und Rotation. Abbildung 17 zeigt eine Typ A Fraktur mit Rotationskeilbruch (Typ C1.1). Die Einteilung der C1 Verletzungen erfolgt in weitere Untergruppen:

- **C1.1:** Rotationskeilbruch
- **C1.2:** Rotationsspaltbruch
 - C1.2.1: Sagittal
 - C1.2.2: Frontal
 - C1.2.3: Rotationskneifzangenbruch
 - C1.2.4: Wirbelkörperperseparation
- **C1.3:** Rotationsberstungsbruch
 - C1.3.1: Inkomplett
 - C1.3.2: Rotationsberstungsbruch
 - C1.3.3: Komplet

(41,43,54)

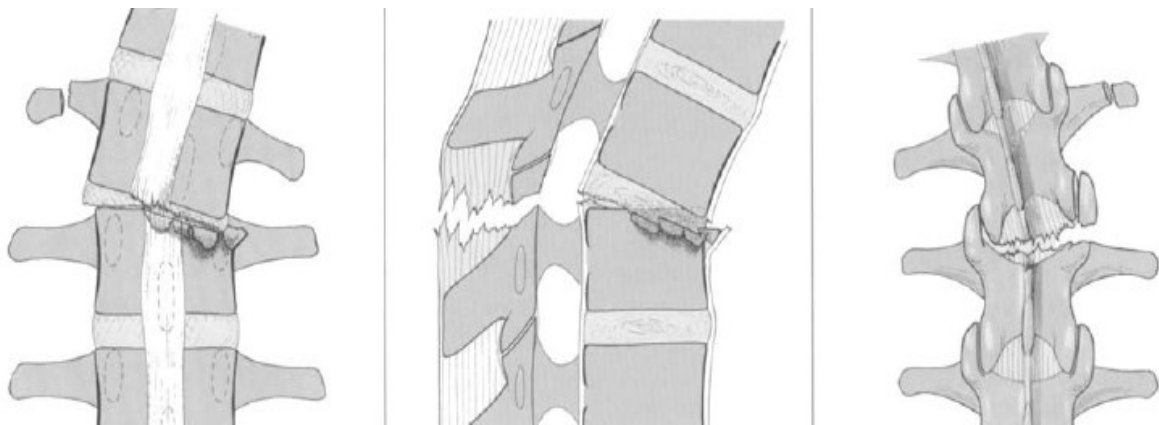


Abbildung 17 Typ C1.1 Typ A Fraktur mit Rotationskeilbruch von ventral, lateral und dorsal, übernommen aus (41)

1.2.5.2.3.2 Typ C2: Typ B mit Rotation

Beim C2 Typ handelt es sich um eine Kombinationsverletzung aus Typ B Verletzung und Rotation. In Abbildung 18 wird eine Typ B Fraktur mit Rotations-Flexion-Subluxation dargestellt (Typ C2.1.1). Eingeteilt werden die C2 Verletzungen in folgende Untergruppen:

- **C2.1:** Typ B1 mit Rotation
 - C2.1.1: Rotation-Flexion-Subluxation
 - C2.1.2: Rotation-Flexion-Subluxation mit Gelenkfortsatzfraktur
 - C2.1.3: Einseitige Luxation
 - C2.1.4: Vordere Rotationsluxation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur
 - C2.1.5: Rotations-Flexion-Subluxation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur mit Wirbelkörperbruch
 - C2.1.6: Einseitige Luxation mit Wirbelkörperbruch
 - C2.1.7: Vordere Rotationsluxation ohne / mit Gelenkfortsatzfraktur mit Wirbelkörperbruch
- **C2.2:** Typ B2 mit Rotation
 - C2.2.1: Horizontale Zerreißung des Wirbelkörpers mit Rotation
 - C2.2.2: Einseitige Rotations-Flexions-Spondylolyse mit Zerreißung der Bandscheibe
 - C2.2.3: Einseitige Rotations-Flexions-Spondylolyse mit Wirbelkörperfraktur
- **C2.3:** Typ B3 mit Rotation
 - C2.3.1: Hyperextensionssubluxation ohne/mit Gelenkfortsatz- oder Bogenwurzelfraktur
 - C2.3.2: Einseitige Hyperextensionsspondylolyse
 - C2.3.3: Hintere Rotationsluxation

(41,43,54)

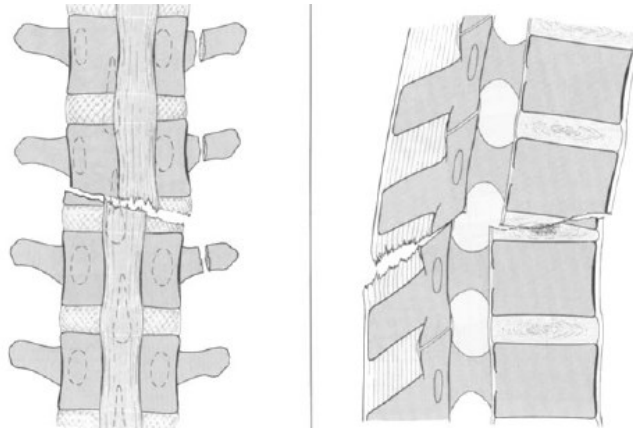


Abbildung 18 Typ C2.1.1 Typ B Fraktur mit Rotations-Flexion-Subluxation von ventral und lateral, übernommen aus (41)

1.2.5.2.3.3 Typ C3: Rotationsscherbrüche

Beim C3 Typ handelt es sich um Rotationsscherbrüche. Unter den C3 Typ findet sich nach Holdsworth einer der instabilsten Brüche der Wirbelsäule, die sogenannte „slice fracture“ (Typ C3.1), die eine quere Durchtrennung der Wirbelsäule aufweist. In Abbildung 19 ist die „slice fracture“ dargestellt. Der C3 Typ wird in 2 weitere Untergruppen eingeteilt:

- **C3.1:** Slice fracture (Holdsworth)
- **C3.2:** Rotationsschrägbruch

(41,43,54,55)

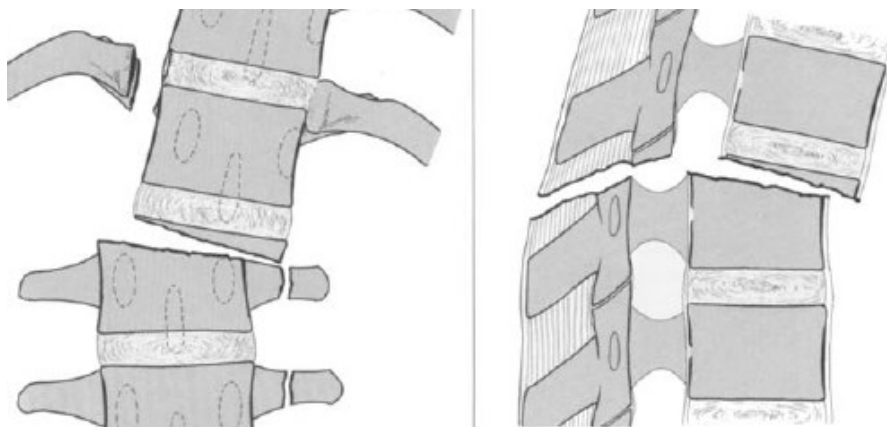


Abbildung 19 Typ C3.1 "slice fracture" von ventral und lateral, übernommen aus (41)

1.2.5.3 Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS)

2005 entwickelten Vaccaro et al. ein neues Klassifikationssystem, den Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score, kurz genannt TLICS. Diese Klassifikation beruht auf der anatomischen Verletzungsmorphologie der Wirbelfrakturen, den neurologischen Status und der Integrität des hinteren ligamentären Komplexes (posterior ligamentous complex, PLC). Je nach Schwere der Verletzung in den jeweiligen drei Bereichen, werden diesen drei Variablen mehr TLICS-Punkte vergeben. Abhängig vom TLICS-Score besteht die Indikation für eine konservative oder chirurgische Behandlung. Bei drei oder weniger Punkten wird eine konservative Behandlung empfohlen. Bei vier Punkten entscheidet der Arzt oder die Ärztin je nach Erfahrung, ob eine operative oder konservative Behandlung nötig ist. Bei fünf oder mehr Punkten ist eine operative Behandlung indiziert (56,57).

1.2.5.4 McCormack Load-Sharing Classification

McCormack et al. entwickelten 1994 die Load-Sharing Classification, die in Form eines Punktesystems das Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung in < 30%, 30% bis 60% und > 60% gliedert. Die Bewertung der Frakturen bzw. das Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung erfolgt über die Anzahl der zertrümmerten Wirbelkörperanteile, das Ausmaß der Knochenbruchstückverlagerung und die Höhe der korrigierten kyphotischen Deformität der zerstörten Wirbelkörper (58).

1.2.6 Diagnostik

1.2.6.1 Anamnese

Unerlässlich für die Diagnostik von Wirbelsäulenfrakturen ist die genaue Anamnese. Diese erfasst ältere Verletzungen, vorangegangene Wirbelsäulenoperationen, bestehende Wirbelsäulenverletzungen, Fragen zum Unfallhergang und Unfallumstände. Durch den Unfallhergang bzw. die Unfallumstände besteht die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die Rasanz des Traumas oder Sturzhöhe zu machen. Die Inspektion und Palpation des Körpers ist für eine vollständige Anamnese überaus wichtig. Durch die Inspektion und Palpation der kompletten Wirbelsäule können Hinweise einer Verletzung über Abschürfungen, Hämatome, Schwellungen oder lokale Schmerzen gewonnen werden. Druck- oder Klopfschmerz geben Informationen über die Lokalisation der Wirbelsäulenverletzung (59–62). Tastbare Mulden im Wirbelsäulenverlauf können hinweisend auf Frakturen mit einer dorsalen ligamentären Beteiligung sein. Fehlstellungen der Dornfortsätze sind bei der Palpation und Inspektion der Wirbelsäule erkennbar und geben ebenso Rückschlüsse auf die Verletzung im betroffenen Gebiet (61,63). Durch Verletzungen im knöchernen Wirbelsäulenbereich können Rückenmark und Spinalnerven beschädigt werden. Dies kann zu neurologischen Symptomen und Ausfallerscheinungen führen. Aus diesem Grund ist der neurologische Status obligat. Der neurologische Status umfasst die Prüfung der Sensibilität an den Dermatomen an Armen und Beinen, sowie deren Motorik und Muskeleigenreflexe. Für die strukturierte und standardisierte Dokumentation und Untersuchung des neurologischen Status kommt die ASIA-IMSOP-Klassifikation der American Spinal Injury Association in Frage (53,61–63). In Abbildung 20 ist der Erfassungsbogen der ASIA-IMSOP-Klassifikation ersichtlich.

ASIA
STANDARD NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY

	MOTOR	LIGHT TOUCH	PIN PRICK		SENSORY																																																																																																																																																																													
	KEY MUSCLES				KEY SENSORY POINTS																																																																																																																																																																													
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 50%;">R</td><td style="width: 50%;">L</td></tr> <tr><td>C2</td><td></td></tr> <tr><td>C3</td><td></td></tr> <tr><td>C4</td><td></td></tr> <tr><td>C5</td><td></td></tr> <tr><td>C6</td><td></td></tr> <tr><td>C7</td><td></td></tr> <tr><td>C8</td><td></td></tr> <tr><td>T1</td><td></td></tr> <tr><td>T2</td><td></td></tr> <tr><td>T3</td><td></td></tr> <tr><td>T4</td><td></td></tr> <tr><td>T5</td><td></td></tr> <tr><td>T6</td><td></td></tr> <tr><td>T7</td><td></td></tr> <tr><td>T8</td><td></td></tr> <tr><td>T9</td><td></td></tr> <tr><td>T10</td><td></td></tr> <tr><td>T11</td><td></td></tr> <tr><td>T12</td><td></td></tr> <tr><td>L1</td><td></td></tr> <tr><td>L2</td><td></td></tr> <tr><td>L3</td><td></td></tr> <tr><td>L4</td><td></td></tr> <tr><td>L5</td><td></td></tr> <tr><td>S1</td><td></td></tr> <tr><td>S2</td><td></td></tr> <tr><td>S3</td><td></td></tr> <tr><td>S4-5</td><td></td></tr> </table>	R	L	C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		T9		T10		T11		T12		L1		L2		L3		L4		L5		S1		S2		S3		S4-5		<p>Elbow flexors Wrist extensors Elbow extensors Finger flexors (distal phalanx of middle finger) Finger abductors (little finger)</p> <p>Hip flexors Knee extensors Ankle dorsiflexors Long toe extensors Ankle plantar flexors</p> <p>Voluntary anal contraction (Yes/No) <input type="checkbox"/></p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 50%;">R</td><td style="width: 50%;">L</td></tr> <tr><td>C2</td><td></td></tr> <tr><td>C3</td><td></td></tr> <tr><td>C4</td><td></td></tr> <tr><td>C5</td><td></td></tr> <tr><td>C6</td><td></td></tr> <tr><td>C7</td><td></td></tr> <tr><td>C8</td><td></td></tr> <tr><td>T1</td><td></td></tr> <tr><td>T2</td><td></td></tr> <tr><td>T3</td><td></td></tr> <tr><td>T4</td><td></td></tr> <tr><td>T5</td><td></td></tr> <tr><td>T6</td><td></td></tr> <tr><td>T7</td><td></td></tr> <tr><td>T8</td><td></td></tr> <tr><td>T9</td><td></td></tr> <tr><td>T10</td><td></td></tr> <tr><td>T11</td><td></td></tr> <tr><td>T12</td><td></td></tr> <tr><td>L1</td><td></td></tr> <tr><td>L2</td><td></td></tr> <tr><td>L3</td><td></td></tr> <tr><td>L4</td><td></td></tr> <tr><td>L5</td><td></td></tr> <tr><td>S1</td><td></td></tr> <tr><td>S2</td><td></td></tr> <tr><td>S3</td><td></td></tr> <tr><td>S4-5</td><td></td></tr> </table>	R	L	C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		T9		T10		T11		T12		L1		L2		L3		L4		L5		S1		S2		S3		S4-5		<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 50%;">R</td><td style="width: 50%;">L</td></tr> <tr><td>C2</td><td></td></tr> <tr><td>C3</td><td></td></tr> <tr><td>C4</td><td></td></tr> <tr><td>C5</td><td></td></tr> <tr><td>C6</td><td></td></tr> <tr><td>C7</td><td></td></tr> <tr><td>C8</td><td></td></tr> <tr><td>T1</td><td></td></tr> <tr><td>T2</td><td></td></tr> <tr><td>T3</td><td></td></tr> <tr><td>T4</td><td></td></tr> <tr><td>T5</td><td></td></tr> <tr><td>T6</td><td></td></tr> <tr><td>T7</td><td></td></tr> <tr><td>T8</td><td></td></tr> <tr><td>T9</td><td></td></tr> <tr><td>T10</td><td></td></tr> <tr><td>T11</td><td></td></tr> <tr><td>T12</td><td></td></tr> <tr><td>L1</td><td></td></tr> <tr><td>L2</td><td></td></tr> <tr><td>L3</td><td></td></tr> <tr><td>L4</td><td></td></tr> <tr><td>L5</td><td></td></tr> <tr><td>S1</td><td></td></tr> <tr><td>S2</td><td></td></tr> <tr><td>S3</td><td></td></tr> <tr><td>S4-5</td><td></td></tr> </table>	R	L	C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		T9		T10		T11		T12		L1		L2		L3		L4		L5		S1		S2		S3		S4-5		<p>0 = absent 1 = impaired 2 = normal NT = not testable</p> <p>Any anal sensation (Yes/No) <input type="checkbox"/></p>
R	L																																																																																																																																																																																	
C2																																																																																																																																																																																		
C3																																																																																																																																																																																		
C4																																																																																																																																																																																		
C5																																																																																																																																																																																		
C6																																																																																																																																																																																		
C7																																																																																																																																																																																		
C8																																																																																																																																																																																		
T1																																																																																																																																																																																		
T2																																																																																																																																																																																		
T3																																																																																																																																																																																		
T4																																																																																																																																																																																		
T5																																																																																																																																																																																		
T6																																																																																																																																																																																		
T7																																																																																																																																																																																		
T8																																																																																																																																																																																		
T9																																																																																																																																																																																		
T10																																																																																																																																																																																		
T11																																																																																																																																																																																		
T12																																																																																																																																																																																		
L1																																																																																																																																																																																		
L2																																																																																																																																																																																		
L3																																																																																																																																																																																		
L4																																																																																																																																																																																		
L5																																																																																																																																																																																		
S1																																																																																																																																																																																		
S2																																																																																																																																																																																		
S3																																																																																																																																																																																		
S4-5																																																																																																																																																																																		
R	L																																																																																																																																																																																	
C2																																																																																																																																																																																		
C3																																																																																																																																																																																		
C4																																																																																																																																																																																		
C5																																																																																																																																																																																		
C6																																																																																																																																																																																		
C7																																																																																																																																																																																		
C8																																																																																																																																																																																		
T1																																																																																																																																																																																		
T2																																																																																																																																																																																		
T3																																																																																																																																																																																		
T4																																																																																																																																																																																		
T5																																																																																																																																																																																		
T6																																																																																																																																																																																		
T7																																																																																																																																																																																		
T8																																																																																																																																																																																		
T9																																																																																																																																																																																		
T10																																																																																																																																																																																		
T11																																																																																																																																																																																		
T12																																																																																																																																																																																		
L1																																																																																																																																																																																		
L2																																																																																																																																																																																		
L3																																																																																																																																																																																		
L4																																																																																																																																																																																		
L5																																																																																																																																																																																		
S1																																																																																																																																																																																		
S2																																																																																																																																																																																		
S3																																																																																																																																																																																		
S4-5																																																																																																																																																																																		
R	L																																																																																																																																																																																	
C2																																																																																																																																																																																		
C3																																																																																																																																																																																		
C4																																																																																																																																																																																		
C5																																																																																																																																																																																		
C6																																																																																																																																																																																		
C7																																																																																																																																																																																		
C8																																																																																																																																																																																		
T1																																																																																																																																																																																		
T2																																																																																																																																																																																		
T3																																																																																																																																																																																		
T4																																																																																																																																																																																		
T5																																																																																																																																																																																		
T6																																																																																																																																																																																		
T7																																																																																																																																																																																		
T8																																																																																																																																																																																		
T9																																																																																																																																																																																		
T10																																																																																																																																																																																		
T11																																																																																																																																																																																		
T12																																																																																																																																																																																		
L1																																																																																																																																																																																		
L2																																																																																																																																																																																		
L3																																																																																																																																																																																		
L4																																																																																																																																																																																		
L5																																																																																																																																																																																		
S1																																																																																																																																																																																		
S2																																																																																																																																																																																		
S3																																																																																																																																																																																		
S4-5																																																																																																																																																																																		
<p>TOTALS <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> = <input type="checkbox"/> MOTOR SCORE (MAXIMUM) (50) (50) (100)</p>	<p>TOTALS <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> = <input type="checkbox"/> PIN PRICK SCORE (max: 112) (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)</p>	<p>TOTALS <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> = <input type="checkbox"/> LIGHT TOUCH SCORE (max: 112) (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">NEUROLOGICAL LEVEL <small>The most caudal segment with normal function</small></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">R</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">L</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">R</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">L</td> </tr> <tr> <td>SENSORY</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>MOTOR</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		NEUROLOGICAL LEVEL <small>The most caudal segment with normal function</small>		R	L		R	L	SENSORY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																									
NEUROLOGICAL LEVEL <small>The most caudal segment with normal function</small>		R	L		R	L																																																																																																																																																																												
SENSORY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																												
MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																												
<p>COMPLETE OR INCOMPLETE? <input type="checkbox"/> <small>Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5</small></p> <p>ASIA IMPAIRMENT SCALE <input type="checkbox"/></p>		<p>ZONE OF PARTIAL PRESERVATION <input type="checkbox"/> <small>Caudal extent of partially innervated segments</small></p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">R</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">L</td> </tr> <tr> <td>SENSORY</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>MOTOR</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				R	L	SENSORY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																	
		R	L																																																																																																																																																																															
SENSORY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																															
MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																															

Abbildung 20 Erfassungsbogen ASIA-IMSOP, übernommen aus (53)

Die Einteilung nach Frankel ist ein weiteres Klassifikationssystem für neurologische Defizite (60,64). In Tabelle 1 ist die Einteilung der neurologischen Störungen nach Frankel aufgezeigt.

Einteilung	
Frankel A	Komplett (keine sensible oder motorische Funktion in den sakralen Segmenten S4-S5)
Frankel B	Inkomplett (sensible, aber keine motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus; dehnt sich bis in die sakralen Segmente aus)
Frankel C	Inkomplett (motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus Kraftgrad kleiner 3)
Frankel D	Inkomplett (motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten, Kraftgrad kleiner gleich 3)
Frankel E	Normal (sensible und motorische Funktion normal)

Tabelle 1 Einteilung nach Frankel, übernommen aus (60)

1.2.6.2 Bildgebung

1.2.6.2.1 Röntgen

Für eine gute radiologische Diagnostik bedarf es einer radiologischen Aufnahme in zwei Ebenen des betroffenen Gebietes der BWS oder LWS. Bei Beteiligung der Halswirbelsäule wird zusätzlich noch eine transorale Densaufnahme angefertigt. Die zwei Ebenen beinhalten eine Aufnahme von lateral und eine a.p.-Aufnahme (anterior-posterior-Aufnahme). In der lateralen Aufnahme lassen sich die Form und Kontinuität der Deck- und Grundplatte der Wirbelkörper, die Höhe der Zwischenwirbelscheiben, Form und Lage der hinteren und vorderen Wirbelkörperkante, die Position der Gelenk- und Dornfortsätze sowie kyphotische und lordosierte Veränderungen darstellen (61,63). In der a.p.-Aufnahme hingegen lassen sich die Wirbelkörperhöhe und -breite, die Position der Pediculi arcus

vertebrae und Fehlstellungen der Dornfortsätze erschließen (61,63). Sind die Pedikelabstände gegenüber dem gesunden Nachbarwirbel im Röntgenbild verbreitert, ist dies ein Indiz für eine Kompressionsfraktur bzw. Typ A-Verletzung nach Magerl. Eine Typ B-Verletzung nach Magerl bzw. Distraktionsverletzung hingegen lässt sich durch einen vergrößerten Abstand der Dornfortsätze diagnostizieren. Der vergrößerte Abstand ist durch die Zerreißung des Lig. interspinosum hervorgerufen. Sind die Dornfortsätze ober- und unterhalb der frakturierten Stelle versetzt, ist von einer Typ C-Verletzung bzw. Rotationsverletzung auszugehen (63,65).

1.2.6.2.2 Computertomographie (CT)

Als Standard wird heute das konventionelle Röntgen mit einer gezielten CT-Abklärung gesehen. Durch die Computertomographie kann das Ausmaß der Verletzungen dargestellt werden. Ebenso ist die CT bei der Klassifizierung der Wirbelsäulenverletzungen hilfreich, die wiederum die Stellung einer Operationsindikation und somit die Planung des weiteren Vorgehens erleichtern kann. Wichtig für die Operationsplanung ist die Darstellung der benachbarten Wirbelkörper des beschädigten Wirbels. Diagnostisch komplexere Frakturen und Luxationen lassen sich durch die CT aufgrund der Hochkontrastauflösung für knöcherne Strukturen und die 3D-Rekonstruktion der Schnittbilder detaillierter darstellen. Abbildung 21 zeigt eine sagittale multiplanare Rekonstruktion sowie eine 3D-Rekonstruktion der Wirbelsäule aus einem CT-Rohdatensatz. In dieser Abbildung ist eine instabile Flexionsdistraktionsverletzung auf Höhe BWK 12 mit Keilwirbelbildung und Verlegung von Hinterkantenfragmenten in den Spinalkanal zu sehen. Die Hochkontrastauflösung und die 3D-Rekonstruktion führen zu einer genaueren und besseren Diagnostik und Einteilung der Wirbelsäulenverletzungen. Eine gute Darstellung von knöchernen Verletzungen sowie Dislokationen und die kurze Untersuchungszeit sprechen für die CT. Die limitierte Weichteildarstellung sowie die hohe Belastung durch ionisierende Strahlung sprechen gegen ein CT. Gerade bei Kindern und Jugendliche besteht deswegen eine strenge Indikationsstellung (61–63,65,66).



Abbildung 21 Instabile Flexionsdistraktionsverletzung auf Höhe BWK 12 mit Keilwirbelbildung. Links: sagittale multiplanare Rekonstruktion, rechts: 3D-Rekonstruktion der Wirbelsäule, übernommen aus (66)

1.2.6.2.3 Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie besitzt eine bessere Weichteilabbildung als das CT oder das konventionelle Röntgen. Bei neurologischen Defiziten ist eine MRT indiziert. Dadurch lassen sich Myelon, Spinalnerven, Nervenwurzeln, Bandscheiben, Knochenmark sowie die paravertebralen Weichgewebsanteile beurteilen. Auch Einblutungen in den Spinalkanal lassen sich dadurch aufzeigen. Durch Typ B oder Typ C Verletzungen hervorgerufene diskoligamentäre Verletzungen lassen sich durch die MRT präziser darstellen und somit besser diagnostizieren. Ferromagnetische Implantate oder Fremdkörper wie Herzschrittmacher, Kochleaimplantate, Insulinpumpen oder Neurostimulatoren stellen wie klaustrophobe Personen eine Kontraindikation für die MRT da (60–62,66,67).

1.2.6.3 Deskriptive Parameter

Für eine adäquate Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen auf Röntgenaufnahmen, CT- oder MRT-Bilder dienen deskriptive Parameter. Darunter zählen die Translationsverschiebung, Grund-Deckplatten-Winkel, Körper- oder

Keilwinkel, relative Wirbelhöhen ventral und dorsal und der sagittale Index. Da für diese Diplomarbeit nur der sagittale Index von Relevanz ist, wird nur auf diesen hier eingegangen (68).

1.2.6.3.1 Sagittaler Index

Mit dem sagittalen Index (SI) lässt sich das Ausmaß der keilwirbelförmigen Deformierung von verletzten Wirbelkörpern bestimmen. Gebildet wird der SI durch den Quotienten der Höhe der Wirbelkörpervorderwand und -hinterwand. Abbildung 22 zeigt eine Kompressionsfraktur eines Wirbelkörpers. Das „a“ in der Abbildung 22 steht für Wirbelkörpervorderwandhöhe und „b“ für die Wirbelkörperhinterwandhöhe. Ausgehend von Abbildung 22 berechnet man den SI wie folgt: $SI = a / b$. Im Normalfall geht der Quotient gegen den Wert 1, wenn beide Seiten „a“ und „b“ annähernd gleich groß sind (68–70).

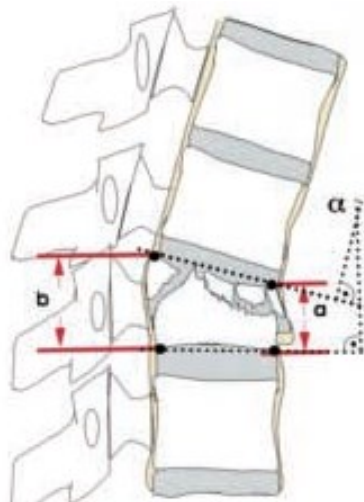


Abbildung 22 Kompressionsfraktur, Quotient aus der Höhe der Wirbelkörpervorderwand (a) und der -hinterwand (b) ergibt Sagittaler Index, übernommen aus (69)

Ein enorm eingedrückter Wirbelkörper, wobei Wirbelkörpervorderwand sowie -hinterwand gleichmäßig eingedrückt sind, weist ebenso einen SI von circa 1 auf. Kompressionsfrakturen betreffen oft die Vorderwand des Wirbelkörpers, wobei ein Keilwirbel entsteht. Dies ist ebenso in Abbildung 22 ersichtlich. Eine Höhenminderung der Vorderwand bei gleichbleibender Höhe der Hinterwand ergibt einen niedrigen SI-Wert. Je niedriger der SI-Wert, desto ausgeprägter ist die

vorliegende Wirbelkörperkeilform (43,68). Matsumoto et al. zeigen in einer MRT-Studie, dass bei gesunden Erwachsenen der SI-Wert zwischen 0,90 und 0,92 liegt. Diese Werte beziehen sich auf BWK 10 bis LWK 2. Je nach Wirbelbereich unterscheiden sich die Werte dezent. Von BWK 10 bis LWK 2 sinkt der SI minimal bis zu maximal 0,03. Aus den SI-Werten zwischen 0,90 und 0,92 lässt sich ableiten, dass bei gesunden Erwachsenen die Höhe der Wirbelkörpervorderwand allgemein kleiner ist als die der Wirbelkörperhinterwand und somit physiologische Keilwirbel vorhanden sind (71). Rauchende, männliche und dünnere Personen weisen ausgeprägtere physiologische Keilwirbel auf, also niedrigere SI-Werte, als nichtrauchende, weibliche und dickere Personen (71). In einer retrospektiven CT-Studie von Gaca et al. wurden bei 100 Kinder und Jugendlichen im Alter von 1 Tag bis 17 Jahren der SI von BWK 10 bis LWK 3 ermittelt. Kinder und Jugendliche, die an einer malignen Erkrankung litten, Steroide einnahmen oder ein erhöhtes Risiko für eine Fraktur hatten, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Bei 95% der Kinder und Jugendlichen betrug der SI über 0,893, welcher der untersten Konfidenzintervallgrenze entspricht und somit ab einem SI-Wert von 0,893 einem physiologischen Keilwirbel entspricht. Die Autoren schlossen aus ihrer Studie, dass Werte unter 0,893 verdächtig für eine Kompressionsfraktur am betreffenden Wirbelkörper sind. Über alle Altersklassen und Wirbelkörper hinweg lag der durchschnittliche SI-Wert zwischen 0,977 und 1,008. Hier zeigten sich wie bei Erwachsenen eine Tendenz für physiologische Keilwirbel im Bereich BWK 10 bis LWK 3 (72). Gaca et al. zeigten anhand von ausgewerteten CT-Bildern, dass SI-Werte unter 0,893 für eine Kompressionsfraktur und nicht für physiologische Keilwirbel sprechen. Dies ist ein wichtiger deskriptiver Faktor um Wirbelkörperkompressionsfrakturen zu diagnostizieren (72). In der Literatur werden MRT- sowie CT-Studien beschrieben, die sich mit physiologischen Keilwirbeln beschäftigen (71,72). MRT-Untersuchungen benötigen viel Zeit und sind sehr teuer. Durch CT-Untersuchungen lassen sich Frakturen an Wirbeln gut erkennen, aber die hohe Strahlenbelastung ist insbesondere für Kinder und Jugendliche ein großer Nachteil. Derzeit gibt es keine nativradiologischen Studien, die sich mit physiologischen Keilwirbeln und dem SI auseinandersetzen. Die Röntgenbildgebung hat gegenüber der MRT und der CT einige Vorteile, die die diagnostische Untersuchung gerade für Kinder und Jugendliche attraktiver macht.

Eine schnelle, kostengünstige Untersuchung sowie eine geringe Strahlenbelastung sprechen für die nativradiologische Bildgebung (66).

1.2.7 Fragestellung

Eine geringe vordere Keilwirbelbildung der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule wird häufig bei Kindern und Jugendlichen beobachtet, obwohl anamnestisch kein Hinweis auf ein Trauma vorliegt. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, ob diese leichte vordere Wirbelkeilung im Brust- und Lendenwirbelbereich physiologisch ist. Derzeit gibt es noch keine Untersuchungen über physiologische Keilwirbel an Hand von nativradiologischen Untersuchungen im Kindes- und Jugendalter. Daraus ableitend lässt sich folgende Fragestellung aufstellen:

Können nativradiologische erfasste Keilwirbel im thorakolumbalen Übergang im Kindes- und Jugendalter als physiologisch angesehen werden?

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Bei der Studie handelt es sich um eine monozentrische, retrospektive nativradiologische Studie an der Universitätsklinik für allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz. Es wurden laterale Röntgenbilder der Brustwirbel- sowie Lendenwirbelsäule von 100 PatientInnen zwischen 0 und 17 Jahren, die an der Klinischen Abteilung für allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie und der Abteilung für Kinderradiologie zwischen 2007 und 2014 untersucht worden sind, bezüglich des Sagittalen Index analysiert. Die Wirbelkörper T11 bis einschließlich L5 wurden in dieser Studie analysiert und gemessen. Analysen wurden zweimal im Abstand von einem Monat von einer Gastärztin der Abteilung für Kinderradiologie im Juni 2014 sowie im Juli 2014 durchgeführt. Zwischen Januar 2015 und April 2015 erfolgte eine weitere Analyse durch den Diplomanden.

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz bewilligt (EK Nr: 27-042 ex 14/15).

2.2 Patienten

Das PatientInnenkollektiv teilte sich in 50 männliche und 50 weibliche Personen auf. Das Alter lag zwischen 0 und 17 Jahren. Die 100 PatientInnen werden zu je 20 PatientInnen in fünf Altersgruppen eingeordnet:

- 0 – 3 Jahre
- 4 – 7 Jahre
- 8 – 11 Jahre
- 12 – 14 Jahre
- 15 – 17 Jahre

Pro Altersgruppe befanden sich jeweils 10 weibliche und 10 männliche PatientInnen des entsprechenden Alters. PatientInnen, die an einer malignen

Erkrankung litten, Steroide einnahmen oder ein erhöhtes Risiko für eine Fraktur hatten, werden von der Datenerhebung ausgeschlossen. Ebenso werden alle PatientInnen, bei denen die nativradiologische Untersuchung auf Grund einer Traumaanamnese durchgeführt wurde, von der Untersuchung exkludiert. Über MEDOCS wurden einzelne PatientInnendaten wie Alter, Geburtstag, Geschlecht, Röntgendatum, Diagnose und sowie die Röntgenindikation erfasst und in eine Excel-Tabelle (Version Excel 2010) eingetragen.

2.3 Methodik

Über PACS (Picture Archiving and Communication System) wurde die vordere sowie die hintere Wirbelkörperhöhe der Wirbelkörper T11 bis L5 manuell vermessen und daraus der sagittale Index berechnet. Die Höhe der Vorder- und Hinterkante des Wirbelkörpers sowie der errechnete SI wurden in eine Excel Tabelle (Version Excel 2010) eingetragen.

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mit SPSS (Version 22 Windows). Eine deskriptive Analyse aller Wirbel und Altersgruppen wurde mit einer explorativen Datenanalyse durchgeführt. Folgende Variablen wurden in diese Rechnung miteinbezogen: Wirbelarten, Altersgruppen und gemessener SI des Diplomanden. Für die Interrater- sowie Intrarater-Reliabilität wurde eine Reliabilitätsanalyse mit dem Alpha-Modell durchgeführt. Für die Interrater-Reliabilität wurden die SI-Messungen des Diplomanden und der Gastärztin verglichen. Für die Intrarater-Reliabilität hingegen wurden die zwei verschiedenen SI-Messwerte der Gastärztin, die zu zwei verschiedenen Zeitpunkten stattfanden, in die Rechnung miteinbezogen. Die benutzen Grafiken, Histogramme sowie Bland-Altman-Plots wurden mit SPSS (Version 22 Windows) erstellt.

3 *Ergebnisse*

3.1 *Patienten*

Von insgesamt 100 PatientInnen waren 50% weiblich (n=50) und 50% männlich (n=50). Dies ergibt ein Verhältnis von 1:1 (M:W). Das durchschnittliche Alter aller PatientInnen umfasste 9,13 Jahre. Das durchschnittliche Alter der männlichen Patienten beträgt 8,98 Jahre (Standardabweichung (SD) = 5,34 und Spannweite (SW) = 0 - 17) und das der weiblichen Patienten 9,28 Jahre (SD = 5,07 und SW = 0 - 17). Zum Zeitpunkt der nativradiologischen Untersuchung betrug das durchschnittliche Alter der Altersgruppe null bis drei 1,75 Jahre, der Altersgruppe vier bis sieben 5,5 Jahre, der Altersgruppe acht bis elf 9,4 Jahre, der Altersgruppe zwölf bis vierzehn 12,95 Jahre und der Altersgruppe fünfzehn bis siebzehn 16,05 Jahre.

3.2 *Sagittaler-Index: Deskriptive Ergebnisse*

Die SI Ergebnisse stammen aus den Messungen des Diplomanden. Von insgesamt 700 gemessenen Wirbeln wurden 686 gemessene Wirbel in die Berechnungen miteinbezogen. Eine vollständige Messung der Höhe von 14 Wirbeln war aufgrund einer inkompletten Darstellung auf den Röntgenbildern nicht möglich. Unter den 14 fehlenden Wirbeln gehörten zwölf T11-, ein T12- und ein L5-Wirbel. Der SI Mittelwert lag bei 1,009 (SD = 0,092 und SW = 0,794 – 1,429). Tabelle 2 präsentiert für jeden Wirbel (T11 bis L5) den durchschnittlichen SI-Wert, die jeweilige Standardabweichung, das zugehörige 95% Konfidenzintervall und die Spannweite. Wie in Tabelle 2 ersichtlich stieg der SI-Wert von T11 (0,958) bis L5 (1,158) an. T11 bis L2 wiesen einen SI-Wert unter 1 auf. Dies bedeutet, dass in diesem Bereich physiologische Keilwirbel aufzufinden sind. L3 hatte einen SI-Wert von 1, die Vorder- sowie Hinterkante waren gleich hoch. L4 (1,026) und L5 (1,158) zeigen hingegen SI-Werte über 1. Dies sagt aus, dass L4- und L5-Wirbel eine höhere Vorder- als Hinterkante aufzeigen. Insbesondere der 5. Lendenwirbel zeigte einen deutlichen Höhenunterschied zwischen Vorder- und Hinterkante zu Gunsten der Vorderkante auf. Die kleinste Untergrenze hatte in unserer Studie der T11-

Wirbel mit 0,944. Bis zu einem Wert von 0,944 kann man laut unserer Studie von physiologischen Keilwirbeln sprechen.

Wirbelkörper	SI	SD	SW	Konfidenzintervall (95%)
T11	0,958	0,067	0,823 – 1,138	0,944 – 0,972
T12	0,966	0,067	0,806 – 1,167	0,952 – 0,979
L1	0,967	0,059	0,794 – 1,091	0,955 – 0,970
L2	0,982	0,056	0,846 – 1,105	0,971 – 0,993
L3	1,000	0,050	0,857 – 1,116	0,990 – 1,010
L4	1,026	0,065	0,889 – 1,203	1,013 – 1,040
L5	1,158	0,080	0,974 – 1,429	1,139 – 1,176

Tabelle 2 Durchschnittlicher SI aller Wirbel aller Altersklassen

3.2.1 Deskriptive Darstellung der SI-Werte aller Wirbel

Im folgenden Abschnitt werden die Werte der einzelnen SI für jeden untersuchten Wirbel dargestellt. Dargestellt werden die einzelnen Grafiken mit einer blauen Normalverteilungskurve. Die annähernd normalverteilten Häufigkeiten des SI von T11 sind in Abbildung 23 dargestellt. Die Anzahl der untersuchten T11-Wirbeln betrug 88. Die meisten Wirbel wiesen einen SI-Wert von etwa 0,92 auf. Der durchschnittliche T11-Wirbel hatte einen SI von 0,958. Sowohl die Absolutwerte als auch der Durchschnittswert sprechen für physiologische Keilwirbel im T11-Bereich.

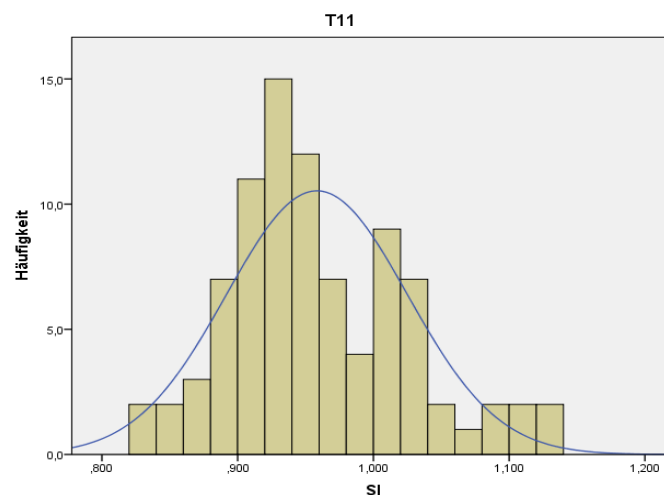


Abbildung 23 SI Häufigkeitsverteilung von T11

Die Häufigkeiten des SI von T12 sind in Abbildung 24 dargestellt und sind annähernd normalverteilt. Die Anzahl der untersuchten T12-Wirbeln betrug 99. Die meisten Wirbel wiesen einen SI-Wert von etwa 0,90 und 1,00 auf. Der durchschnittliche T12-Wirbel hatte einen SI von 0,966. Die Absolutwerte und der Durchschnittswert sprechen für physiologische Keilwirbel im T12-Bereich.

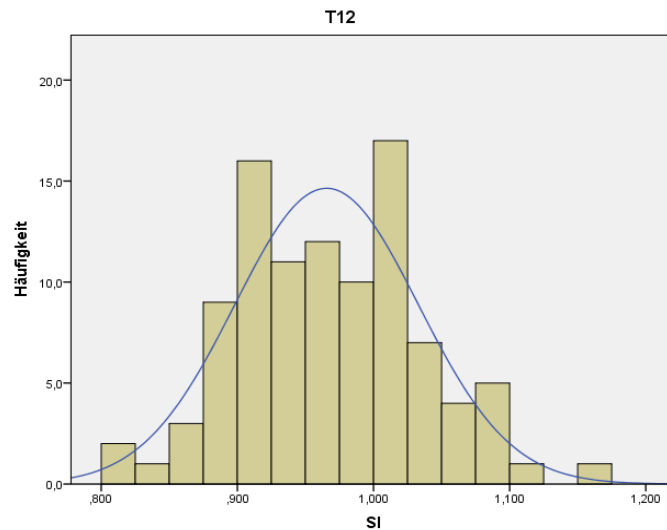


Abbildung 24 SI Häufigkeitsverteilung von T12

Die Häufigkeiten des SI von L1 sind in Abbildung 25 dargestellt und sind annähernd normalverteilt. Die Anzahl der untersuchten L1-Wirbeln betrug 100. Die meisten Wirbel wiesen einen SI-Wert von etwa 1,00 auf. Der durchschnittliche L1-Wirbel hatte einen SI von 0,967. Der Durchschnittswert spricht für Keilwirbel, der Absolutwert der häufigsten auftretenden SI-Werte spricht für keinen Keilwirbel.

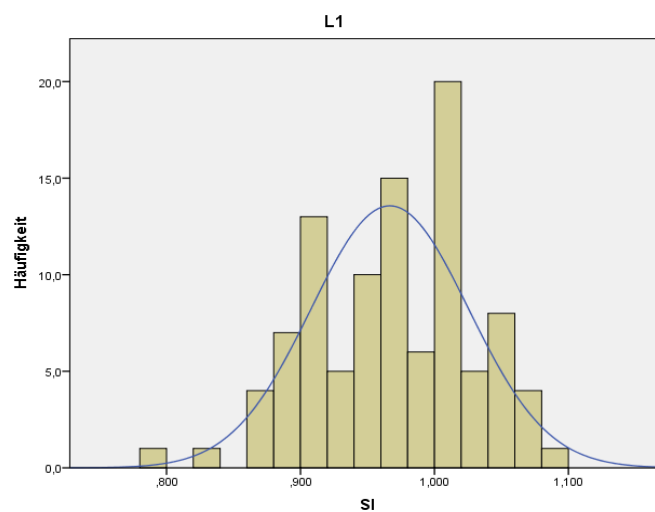


Abbildung 25 SI Häufigkeitsverteilung von L1

Die Häufigkeiten des SI von L2 sind in Abbildung 26 dargestellt und sind nahezu normalverteilt. Die Anzahl der untersuchten L2-Wirbeln betrug 100. Auffällig viele L2-Wirbel hatten einen SI-Wert von etwa 1,00. Der durchschnittliche L2-Wirbel hatte einen SI von 0,982. Dies spricht für Keilwirbel im L2-Bereich, aber die auffällig häufig auftretenden SI-Werte von 1,00 sprechen gegen Keilwirbel.

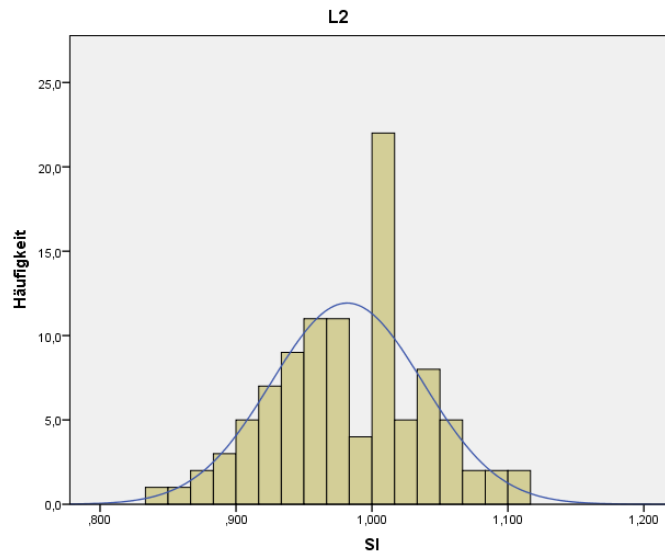


Abbildung 26 SI Häufigkeitsverteilung von L2

Die Häufigkeiten des SI von L3 sind in Abbildung 27 dargestellt und sind nahezu normalverteilt. Die Anzahl der untersuchten L2-Wirbeln betrug 100. Auffällig viele L3-Wirbel hatten einen SI-Wert von etwa 0,984. Der Großteil der untersuchten L3-Wirbel zeigte Keilwirbel obwohl der durchschnittliche L3-Wirbel einen SI von 1,00 hatte. Der durchschnittliche SI-Wert der L3-Wirbel spricht nicht für Keilwirbel im L3-Bereich, die absolute Anzahl der L3-Wirbel hingegen zeigen SI-Werte unter 1,00, was für Keilwirbel im L3-Bereich spricht.

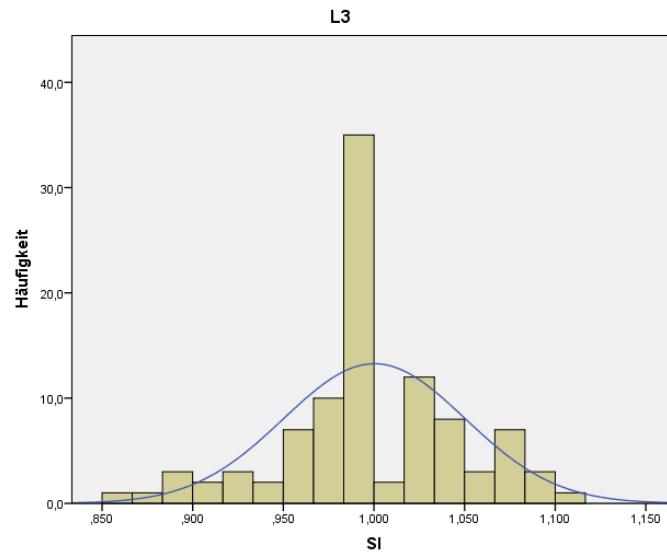


Abbildung 27 SI Häufigkeitsverteilung von L3

Die Häufigkeiten des SI von L4 sind in Abbildung 28 dargestellt und zeigen eine annähernde Normalverteilung. Die Anzahl der untersuchten L4-Wirbeln betrug 100. Die meisten L4-Wirbel hatten einen SI-Wert von etwa 1,00. Der durchschnittliche L4-Wirbel hatte einen SI von 1,026. Dies spricht nicht für Keilwirbel im L4-Bereich.

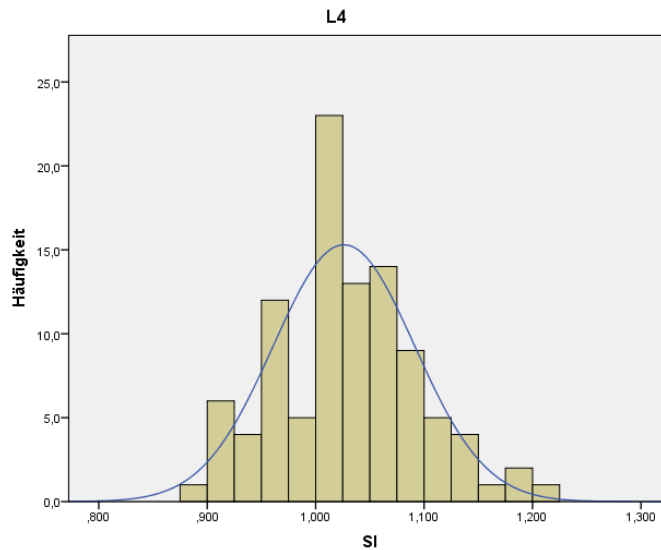


Abbildung 28 SI Häufigkeitsverteilung von L4

Die Häufigkeiten des SI von L5 sind in Abbildung 29 dargestellt und sind nahezu normalverteilt. Die Anzahl der untersuchten L5-Wirbeln betrug 99. Der SI-Peak der L5-Wirbel fand sich in etwa bei 1,133 und 1,166. Der durchschnittliche L5-Wirbel hatte einen SI von 1,158. Dies spricht für nicht für Keilwirbel im L5-Bereich.

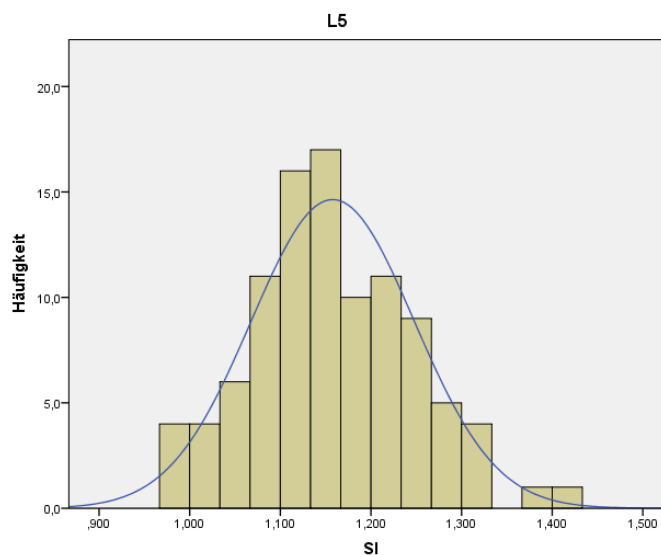


Abbildung 29 SI Häufigkeitsverteilung von L5

Zusammenfassend lässt sich aus diesen Analysen ableiten, dass die durchschnittlichen SI-Werte von T11 bis L2 über alle Altersgruppen hinweg Keilwirbel aufweisen. Die durchschnittlichen SI-Werte von L3 bis L5 hingegen

zeigen SI-Werte von bzw. über 1,00 und entsprechen somit gegen physiologische Keilwirbel.

3.2.1.1 Statistische Analyse des SI über einzelne Wirbelkategorien

Die Berechnung mit dem Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben ergab bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, dass sich die Verteilung des SI über die einzelnen Wirbelkategorien statistisch signifikant unterscheiden ($p=0,00$).

3.2.2 Deskriptive Beschreibung und statistische Analyse des SI der verschiedenen Altersgruppen

Im folgenden Abschnitt wird die Verteilung des SI der untersuchten Wirbel über die verschiedenen Altersgruppen dargestellt. Mit dem Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben und einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ wird für jeden Wirbel analysiert, ob sich der entsprechende durchschnittliche SI zwischen den verschiedenen Altersgruppen unterscheidet oder nicht.

Abbildung 30 stellt die SI-Verteilung aller Wirbel jeder Altersgruppe da. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung aller Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,00$).

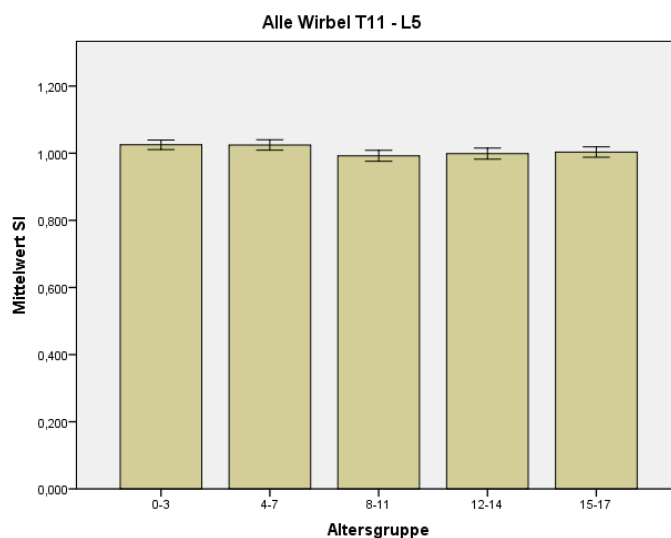


Abbildung 30 SI-Verteilung aller Wirbel für jede Altersgruppe

Abbildung 31 stellt die SI-Verteilung für T11-Wirbel jeder Altersgruppe da. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der T11-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen nicht statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,181$).

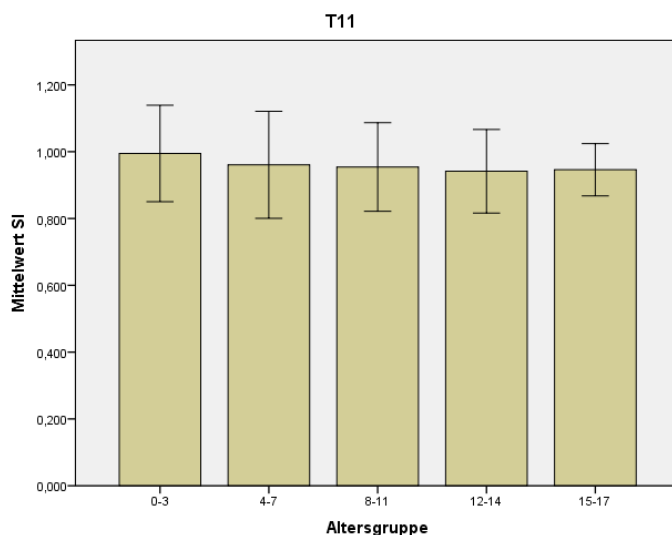


Abbildung 31 SI-Verteilung T11 Wirbel für jede Altersgruppe

Abbildung 32 zeigt die SI-Verteilung für T12-Wirbel jeder Altersgruppe. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der T12-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,02$).

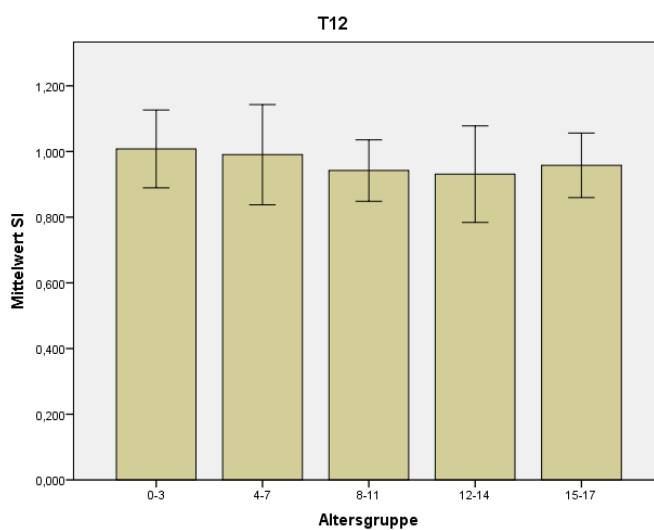


Abbildung 32 SI-Verteilung T12 Wirbel für jede Altersgruppe

Abbildung 33 stellt die SI-Verteilung für L1-Wirbel jeder Altersgruppe da. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der L1-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,01$).

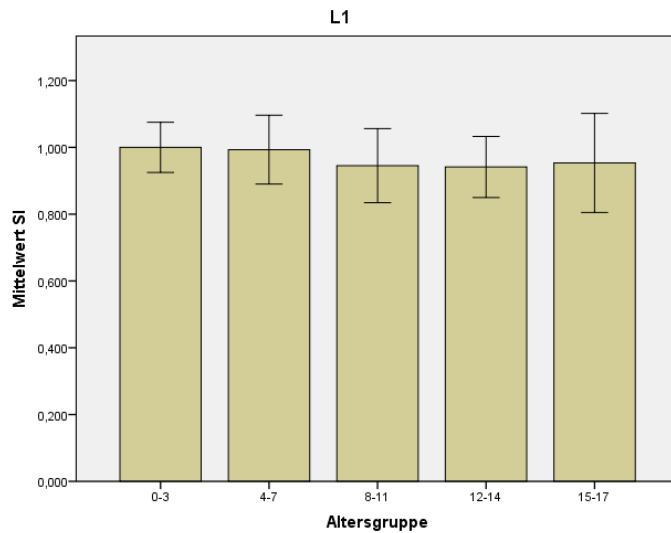


Abbildung 33 SI-Verteilung L1 Wirbel für jede Altersgruppe

In Abbildung 34 ist die SI-Verteilung für L2-Wirbel jeder Altersgruppe dargestellt. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der L2-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen nicht statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,662$).

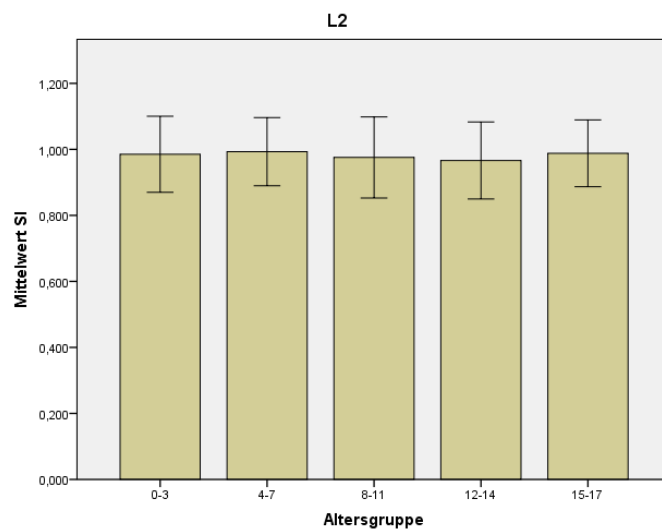


Abbildung 34 SI-Verteilung L2 Wirbel für jede Altersgruppe

Abbildung 35 zeigt die SI-Verteilung für L3-Wirbel jeder Altersgruppe. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der L3-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen nicht statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,116$).

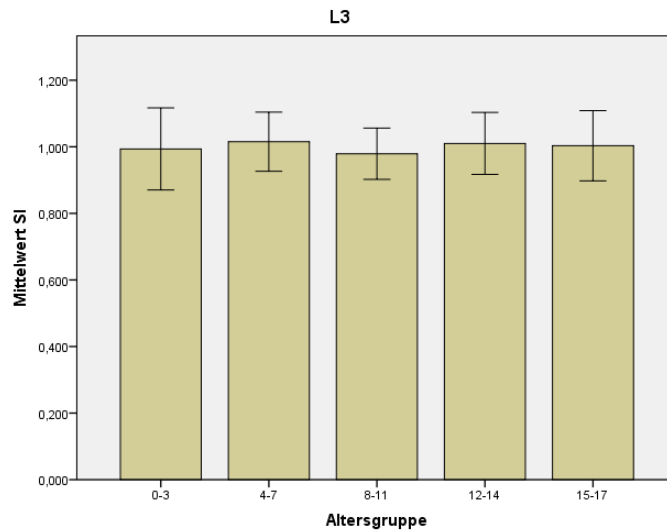


Abbildung 35 SI-Verteilung L3 Wirbel für jede Altersgruppe

In Abbildung 36 ist die SI-Verteilung für L4-Wirbel jeder Altersgruppe dargestellt. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der L4-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,001$).

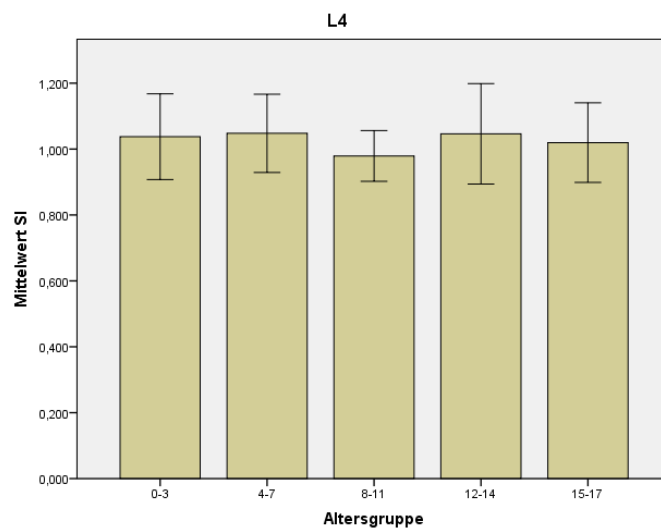


Abbildung 36 SI-Verteilung L4 Wirbel für jede Altersgruppe

In Abbildung 37 ist die SI-Verteilung für L5-Wirbel jeder Altersgruppe dargestellt. Die statistische Analyse ergab, dass sich die SI-Verteilung der L5-Wirbel unter den verschiedenen Altersgruppen nicht statistisch signifikant unterscheidet ($p = 0,973$).

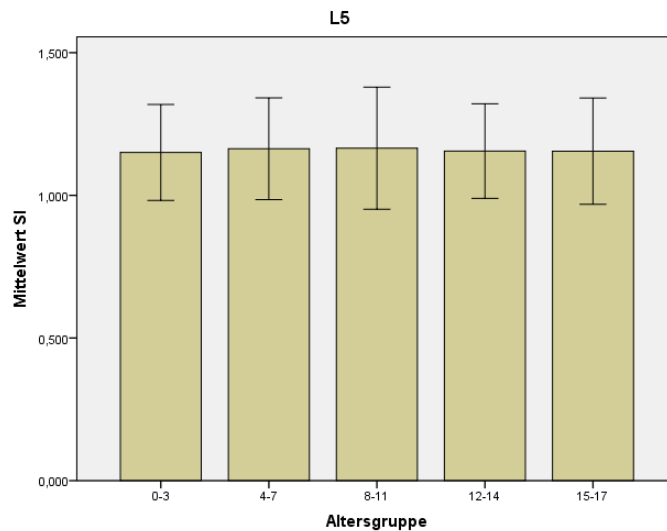


Abbildung 37 SI-Verteilung L5 Wirbel für jede Altersgruppe

Zusammenfassend lässt sich aus den SI Analysen dieser Studie ableiten, dass es unter den verschiedenen Altersgruppen lediglich SI-Unterschiede zwischen T12, L1 und L4 existieren. Der SI der T12 sowie L1 Wirbel nimmt vom 0. Lebensjahr bis einschließlich 14. Lebensjahr leicht ab und nimmt ab dem 15. bis zum 17. Lebensjahr wieder zu. Der SI vom L4 Wirbel hingegen nimmt von der 0-3 Altersgruppe zur 4-7 Altersgruppe zu und fällt zur 8-11 Altersgruppe wieder ab. Zur 12-14 Altersgruppe nimmt der SI wieder zu und fällt zur 15-17 Altersgruppe wieder ab. Je nach Altersgruppe schwankt die Ausprägung der Keilwirbel von T12, L1 und L4.

3.2.3 Interrater-Reliabilität

Mittels der Interrater-Reliabilität wurde in dieser Studie das Ausmaß der Übereinstimmungen der SI-Messungen unterschiedlicher Beobachtern (dem Diplomanden und der Gastärztin) errechnet.

3.2.3.1 Interrater-Reliabilität aller Wirbel

Von 700 Wirbeln wurden 684 Wirbel untersucht. 16 Wirbel wurden aufgrund fehlender Messungen aus den Rechnungen ausgeschlossen. Zwei Items, SI-Messungen von einer Gastärztin (MW = 0,932, SD = 0,028) und dem Diplomanden (MW = 1,008, SD = 0,092), wurden in die Interrater-Reliabilitätsrechnung miteinbezogen. Mit einem Cronbach-Alpha von 0,499 für die zwei Items ergaben sich inakzeptable bzw. schlechte Ergebnisse. Bei Werten kleiner als 0,5 wird die interne Konsistenz als inakzeptabel, bei Werten größer als 0,5 als schlecht interpretiert. Die interne Konsistenz der SI-Messungen über alle Wirbel an nativradiologischen Bildern zwischen zwei verschiedenen Beobachtern ist daher nicht gegeben.

Um die Ergebnisse der Interrater-Reliabilität unter den zwei testenden Personen grafisch darzustellen, wurde der Bland-Altman-Plot genutzt. Auf der X-Achse des Bland-Altman-Plot befinden sich die Mittelwerte aus den ermittelten entsprechenden SI-Messungen der Gastärztin und des Diplomanden. In der Y-Achse wurden die Differenzen der einzelnen entsprechenden SI-Werte der Gastärztin und des Diplomanden eingetragen. Ein T-Test der Differenzen der einzelnen Wertepaare gegen den T-Wert 0 ergab einen signifikanten Unterschied ($p = 0,00$) zwischen den beiden SI-Messungen der Gastärztin und des Diplomanden. Im Bland-Altman-Plot wird eine obere sowie untere Grenze für das 95%-Konfidenzintervall eingetragen. Die jeweiligen Werte wurden rechnerisch ermittelt, indem man den Mittelwert (-0,0766) der Differenzen der einzelnen Wertepaare mit dem Produkt aus 1,96 und der Standardabweichung (0,07908) der Differenzen der SI-Messungen addierte, um den Wert der oberen Grenze zu ermitteln. Für die untere Grenze wurden die Werte voneinander subtrahiert anstatt addiert (73,74). Für die obere Grenze ergab sich durch $-0,0766$ (MW) plus $1,96 \cdot 0,07908$ (SD) der Wert 0,0783968. Für die untere Grenze hingegen ergab sich durch $-0,0766$ (MW) minus $1,96 \cdot 0,07908$ (SD) der Wert -0,2315968. Der Bland-Altman-Plot der SI-Messungen samt oberer und untere Grenze (grüne Linien) des 95%-Konfidenzintervalls ist in Abbildung 38 ersichtlich. Ebenso zeigte sich hier, dass der Mittelwert (rote Linie) -0,0766 groß ist und um genau diesen Wert von Null abweicht. Hier zeigt sich eine systematische Abweichung der Messwerte beider

Untersuchenden. Auffällig ist hier, dass gehäuft SI-Werte ab etwa 1,05 außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls fallen.

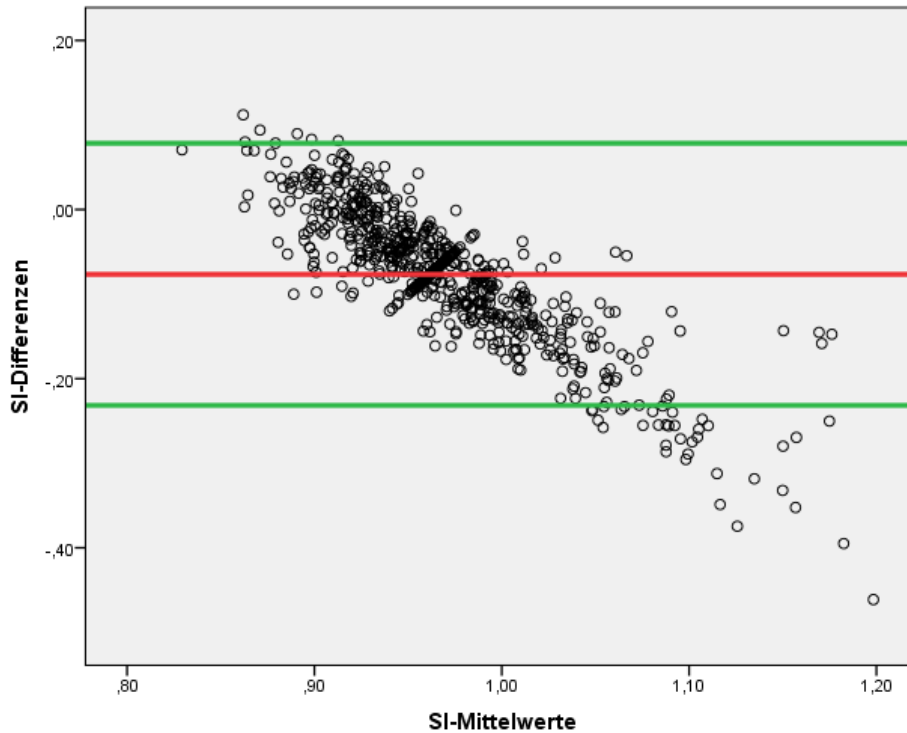


Abbildung 38 Bland-Altman-Plot der Interrater-SI-Messungen

Bei einem Mittelwert von -0,08 und einer Standardabweichung von 0,079 gibt Abbildung 39 einen Häufigkeitsüberblick der Differenzen der SI-Messwerte. Hier zeigt sich ein eindeutiger Peak bei einer SI-Differenz von ungefähr -0,07.

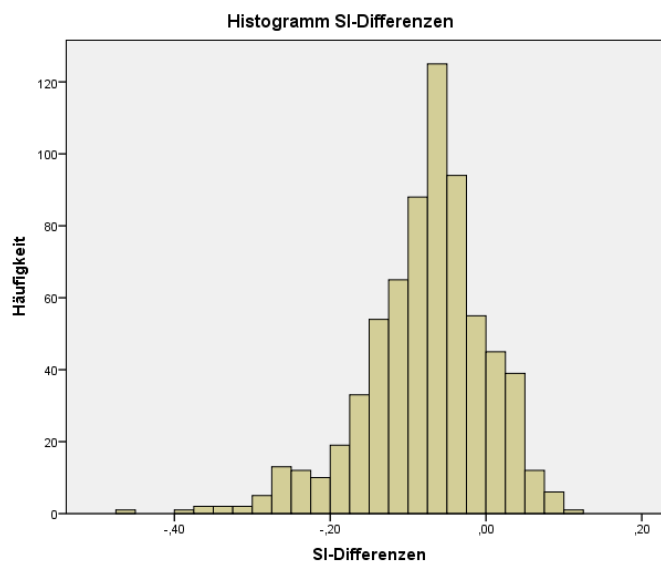


Abbildung 39 Histogramm Interrater-SI-Differenzen

Abbildung 40 zeigt die SI-Messungen der Gastärztin und die entsprechenden Messungen des Diplomanden, welche in einem Streudiagramm dargestellt sind.

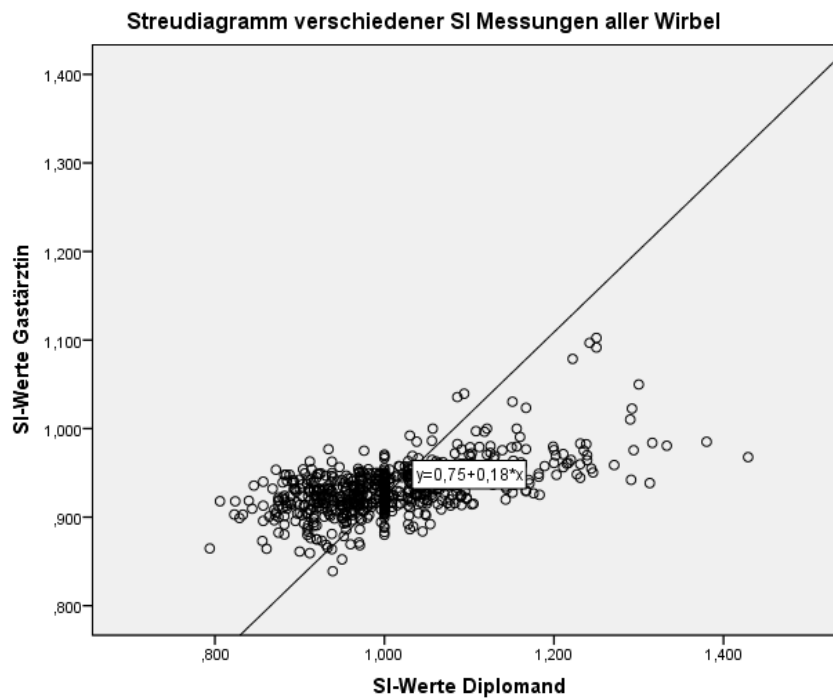


Abbildung 40 Streudiagramm Interrater-SI-Messungen

3.2.3.2 Interrater-Reliabilität einzelner Wirbel

Jeder einzelne Wirbel (T11 bis L5) wies ein inakzeptables Cronbach-Alpha auf. In Tabelle 3 werden die einzelnen Cronbach-Alpha-Werte, die Anzahl der eingeschlossen sowie ausgeschlossen Wirbel der einzelnen Wirbelarten und die Interpretation des Cronbach-Alpha-Werts dargestellt.

Wirbel	Cronbach-Alpha	Anzahl eingeschlossener Wirbel	Anzahl ausgeschlossener Wirbel	Interpretation
T11	0,366	86	14	inakzeptabel
T12	0,348	99	1	inakzeptabel
L1	0,332	100	0	inakzeptabel
L2	0,138	100	0	inakzeptabel
L3	0,204	100	0	inakzeptabel
L4	0,332	100	0	inakzeptabel
L5	0,361	99	1	inakzeptabel

Tabelle 3 Interrater-Reliabilität einzelner Wirbel

3.2.3.3 Interrater-Reliabilität einzelner Altersgruppen

Das Cronbach-Alpha der Altersgruppen 0 - 3, 4 – 7 und 8 – 11 Jahren ergab jeweils inakzeptable Werte. Die Altersgruppe 12 – 14 wies einen Cronbach-Alpha-Wert von 0,564 auf, welcher als schlecht interpretiert wird. Die Altersgruppe 15 – 17 Jahren wies ein Cronbach-Alpha von 0,7 auf. Dies ist akzeptabel. In Tabelle 4 werden die einzelnen Cronbach-Alpha-Werte, die Anzahl der eingeschlossen sowie ausgeschlossen Wirbel der einzelnen Altersgruppen und die Interpretation des Cronbach-Alpha-Werts dargestellt. Hier zeigt sich, dass lediglich die SI-Messungen in der Altersgruppe 15 bis 17 Jahren zwischen zwei verschiedenen Untersuchern akzeptabel vergleichbar sind.

Altersgruppe	Cronbach-Alpha	Anzahl eingeschlossener Wirbel	Anzahl ausgeschlossener Wirbel	Interpretation
0 – 3	0,222	134	6	inakzeptabel
4 – 7	0,382	137	3	inakzeptabel
8 – 11	0,445	137	3	inakzeptabel
12 – 14	0,564	140	0	schlecht
15 – 17	0,7	136	4	akzeptabel

Tabelle 4 Interrater-Reliabilität einzelner Altersgruppen

3.2.4 Intrarater-Reliabilität

Mittels der Intrarater-Reliabilität wurde in dieser Studie das Ausmaß der Übereinstimmungen der SI-Messungen, die durch die gleiche Beobachterin, in dem Fall die Gastärztin, mehrfach durchgeführt wurden, errechnet.

3.2.4.1 Intrarater-Reliabilität aller Wirbel

Von 700 Wirbeln wurden 694 Wirbel in die Intrarater-Reliabilitäts-Untersuchung miteinbezogen. 6 Wirbel wurden aufgrund fehlender Messungen nicht berücksichtigt. Zwei Items, SI-Messungen der Gastärztin zum Zeitpunkt eins (MW = 0,93198, SD = 0,028820) und zum späteren Zeitpunkt zwei (MW = 0,93356, SD = 0,028884), wurden in die Intrarater-Reliabilitätsrechnung miteinbezogen. Das Cronbach-Alpha für die zwei Items ist exzellent, mit einem Wert von 0,902. Die interne Konsistenz zweier SI-Messungen über alle Wirbel an nativradiologischen Bildern durch eine Beobachterin ist gegeben.

Um die Ergebnisse der Intrarater-Reliabilität aller Wirbel grafisch darzustellen wurde wie bei der Interrater-Reliabilität der Bland-Altman-Plot genutzt. Ein t-Test der Differenzen der einzelnen Wertepaare gegen den T-Wert 0 ergab einen signifikanten Unterschied ($p = 0,016$) zwischen den beiden SI-Messungen der

Gastärztin. Die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls ergab $-0,0016$ (MW) plus $1,96$ multipliziert mit $0,01726$ (SD) gleich $0,0322296$ und die untere Grenze ergab $-0,0016$ minus $1,96$ multipliziert mit $0,01726$ gleich $-0,0354296$. Abbildung 41 zeigt diesen Bland-Altman-Plot samt oberer und unterer 95%-Konfidenzintervallgrenzen. Der Mittelwert wich mit $-0,0016$ kaum von $0,00$ ab. Daher findet sich keine systematische Abweichung unter den beiden Messungen der Gastärztin.

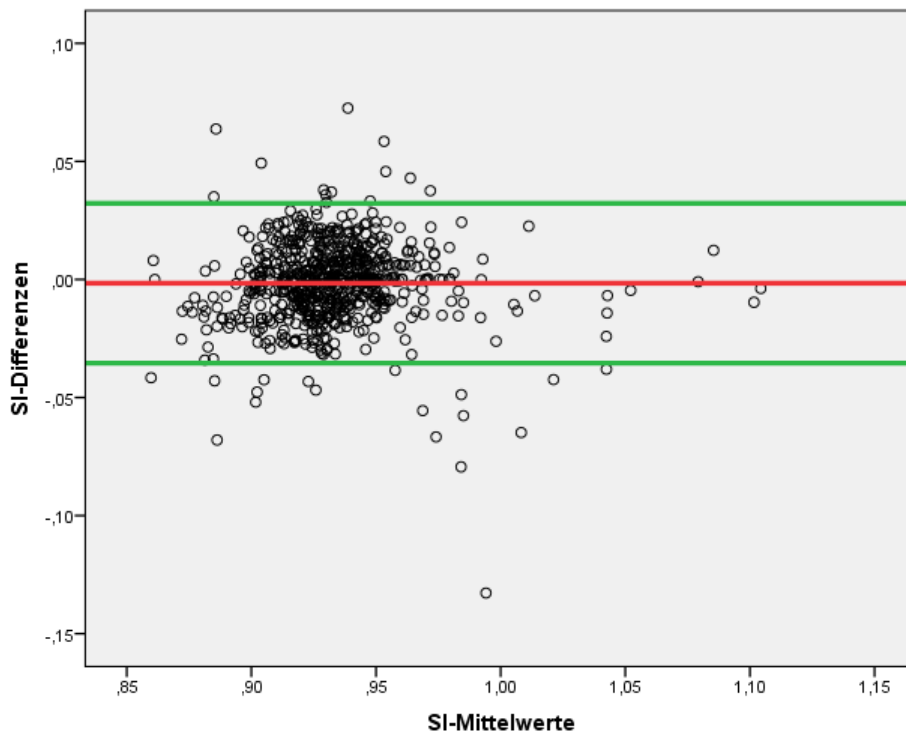


Abbildung 41 Bland-Altman-Plot der Intrarater-SI-Messungen

Bei einem Mittelwert von $0,00$ und einer Standardabweichung von $0,017$ gibt Abbildung 42 einen Häufigkeitsüberblick der Differenzen der SI-Messwerte. Hier zeigt sich ein eindeutiger Peak bei einer SI-Differenz von ungefähr $0,00$.

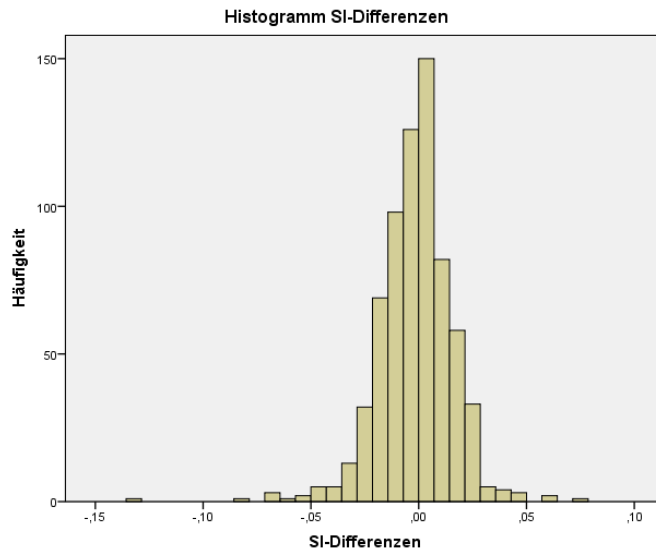


Abbildung 42 Histogramm Intrarater-SI-Differenzen

Abbildung 43 zeigt die zwei SI-Messungen der Gastärztin zu verschiedenen Zeitpunkten, welche in einem Streudiagramm dargestellt sind.

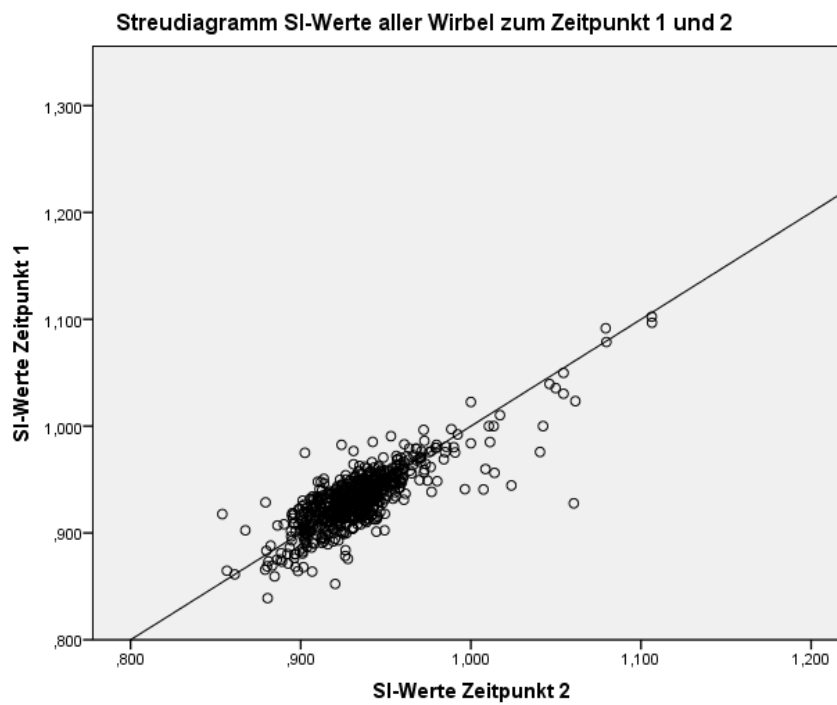


Abbildung 43 Streudiagramm Intrarater-SI-Werte aller Wirbel

3.2.4.2 Intrarater-Reliabilität einzelner Wirbel

Jede einzelne Wirbelart (T11 bis L5) wies ein akzeptables oder gutes Cronbach-Alpha auf. In Tabelle 5 werden die einzelnen Cronbach-Alpha-Werte, die Anzahl der eingeschlossen sowie ausgeschlossen Wirbel der einzelnen Wirbelarten und die Interpretation des Cronbach-Alpha-Werts dargestellt.

Wirbel	Cronbach-Alpha	Anzahl eingeschlossener Wirbel	Anzahl ausgeschlossener Wirbel	Interpretation
T11	0,768	94	6	akzeptabel
T12	0,819	100	0	gut
L1	0,806	100	0	gut
L2	0,796	100	0	akzeptabel
L3	0,725	100	0	akzeptabel
L4	0,869	100	0	gut
L5	0,878	100	0	gut

Tabelle 5 Intrarater-Reliabilität einzelner Wirbel

3.2.4.3 Intrarater-Reliabilität einzelner Altersgruppen

Jede einzelne Altersgruppe wies ein akzeptables, gutes und exzellentes Cronbach-Alpha auf. In Tabelle 6 werden die einzelnen Cronbach-Alpha-Werte, die Anzahl der eingeschlossen sowie ausgeschlossen Wirbel der einzelnen Altersgruppen und die Interpretation des Cronbach-Alpha-Werts dargestellt. Hier zeigt sich, dass sich mit steigendem Alter bessere Cronbach-Alpha-Werte ergeben. Die Altersgruppe 15 – 17 Jahren wies sogar ein exzellentes Cronbach-Alpha auf.

Altersgruppe	Cronbach-Alpha	Anzahl eingeschlossener Wirbel	Anzahl ausgeschlossener Wirbel	Interpretation
0 – 3	0,740	137	3	akzeptabel
4 – 7	0,887	139	1	gut
8 – 11	0,827	139	1	gut
12 – 14	0,896	140	0	gut
15 – 17	0,964	139	1	exzellent

Tabelle 6 Intrarater-Reliabilität einzelner Altersgruppen

4 Diskussion

In unserer Studie ging es darum, herauszufinden ob milde vordere Keilwirbel im Kindes- und Jugendalter in der unteren Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule als physiologisch angesehen werden können. In der Literatur wird angegeben, dass sowohl im Erwachsenenalter als auch im Kindes- und Jugendalter physiologische Keilwirbel im thorakolumbalen Wirbelbereich existieren (71,72,75). Die Untersuchungen der physiologischen Keilwirbel im Kindes- und Jugendalter wurden bisher durch CT-Bilder mit dem SI beurteilt (72). Berechnungen des SI anhand von nativradiologischen Bildgebungen wurden bisher nicht in der Literatur beschrieben und sind daher auch Gegenstand dieser Diplomarbeit.

Die Berechnungen unserer Studie ergaben, dass sich unter allen Altersgruppen die einzelnen Wirbelarten hinsichtlich des SI unterscheiden. Lediglich die Wirbel T11 bis einschließlich L2 wiesen durchschnittliche SI-Werte unter 1 auf, was für Keilwirbel spricht. L3 bis L5 hingegen wiesen Werte größer gleich 1 auf. Die CT-Studie von Gaca et al. untersuchte die Wirbel T10 bis L3 und fand in diesen Bereichen bis auf den L3-Wirbel physiologische Keilwirbel (72). Die SI-Ergebnisse von T11 bis L3 von Gaca et al. ähneln stark den SI-Ergebnissen unserer Studie. Die 95%-Konfidenzintervalle neigen in unserer Studie gegen 1,00 und die in der Studie von Gaca et al. eher gegen 0,9. Die kleinste Untergrenze hat in unserer Studie der T11-Wirbel mit 0,944. Der L2-Wirbel in der Studie von Gaca et al. wies einen Untergrenzwert von 0,893 auf (72). Bis zu einem Wert von 0,944 kann man laut unseren Ergebnissen von physiologischen Keilwirbeln sprechen und erst Werte unter 0,944 sollten weitere diagnostische Maßnahmen wie die CT-Bildgebung nach sich ziehen um eventuelle Frakturen zu diagnostizieren. Die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls der SI-Werte hat höhere Werte als die von Gaca et al., was bedeutet, dass die Grenze zwischen physiologischen Keilwirbel und einem Kompressionsbruch bei unserer Studie höhere SI-Werte aufweist. Die Beurteilung der Wirbel auf Kompressionsbrüche ist auf engere SI-Werte eingegrenzt. Für die Diplomarbeit wurden die SI-Messungen vom Diplomanden herangezogen. Daher besteht die Möglichkeit, dass aufgrund mangelnder Erfahrung des Diplomanden im radiologischen Bereich und der Vermessung von deskriptiven Parametern wie der SI an nativradiologischen Bildern die Ergebnisse nicht sehr genau sind. Ergänzend

dazu sind SI-Messungen an nativradiologischen Bildern nicht so präzise möglich wie bei MRT- oder CT-Bildern. In die Berechnungen wurden von 700 Wirbeln 686 Wirbel miteinbezogen. Da es sich hier um eine retrospektive Studie handelt, wurden nur nativradiologische Bilder untersucht die von 2007 bis 2014, also vor der Studie, aufgenommen wurden. Dementsprechend wurden einige Wirbel nicht komplett auf den nativradiologischen Bildern dargestellt.

Die Untersuchungen der SI-Messungen bezüglich der verschiedenen Altersgruppen ergaben, dass es unterschiedliche SI-Werte zwischen den verschiedenen Altersgruppen gibt. Dennoch wiesen diese Ergebnisse Unregelmäßigkeiten auf. Lediglich die SI-Werte von T12, L1 und L4 wiesen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen auf. Diese Unregelmäßigkeiten lassen sich wahrscheinlich auf die ungenauen Messungen zurückführen, die aufgrund der mangelnden Messerfahrung des Diplomanden zu Stande gekommen sind sowie die unpräzise SI-Messungen, die durch die nativradiologischen Bilder gegeben sind. Die schlechte bzw. inakzeptable Interrater-Reliabilität einzelner Wirbel oder Altersgruppen ist wahrscheinlich auch durch die genannten Gründe zu erklären. Nur die Altersgruppe 15 – 17 Jahren zeigt ein akzeptables Reliabilitäts-Ergebnis. Die Altersgruppe 12 – 14 Jahren hat im Gegensatz zu den anderen Altersgruppen anstatt ein inakzeptables ein schlechtes Reliabilitäts-Ergebnis. Hier lässt sich ein leichter Trend erkennen, der die Vermutung bestärkt, dass ältere Kinder und Jugendliche entsprechend größere Wirbelkörper haben, die einfacher zu bemessen sind und somit präzisere SI-Messungen hervorbringen.

Die Intrarater-Reliabilität der Altersgruppen 15 – 17 ist im Gegensatz zu den anderen Altersgruppen exzellent, dies untermauert wiederum die Aussage. Die Intrarater-Reliabilität, die durch zwei SI-Messungen der erfahrenen Gastärztin zu Stande kommt, lieferte durchwegs akzeptable bis gute Reliabilitäts-Ergebnisse. Zu zwei verschiedenen Zeitpunkten hat die Gastärztin die SI-Messungen durchgeführt und kam auf reliable Ergebnisse, die nur in der Altersgruppe 15 – 17 Jahren als exzellent reliabel gewertet wurden. Dies zeigt, dass auch erfahrene Ärzte und Ärztinnen keine perfekten, sondern nur gute oder akzeptablen SI-Messungen an nativradiologischen Bildern durchführen können. Die Schwierigkeit deskriptive Parameter wie den SI an nativradiologischen Bildern zu ermitteln bleibt bestehen.

In dieser Studie wurde eine Fallzahl von 100 erfasst, die jeweils zu 20 in entsprechende Altersgruppen aufgeteilt wurde. Somit repräsentieren 20 PatientInnen eine Altersgruppe. Diese Fallzahl für die jeweiligen Altersgruppen ist zu klein und daher könnte eine Studie mit einer höheren Fallzahl zu besseren und genaueren Ergebnissen führen. Eine Erweiterung der Fallzahl für jede einzelne Altersgruppe sowie die Miteinbeziehung weiterer UntersucherInnen würden die aktuellen Ergebnisse verbessern und inkonsistente Werte unter den Ergebnissen beseitigen.

Referenzen

1. Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Berlin, Boston: DE GRUYTER; 2012. 117-130 p.
2. Benninghof A, Drenckhahn D. Anatomie Band 1. 17. München, Jena: Elsevier Urban & Fischer; 2008. 412-442 p.
3. Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, et al. Anatomie. 2. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2010. 208-229 p.
4. Graichen H, Putz R. Anatomische und funktionelle Aspekte von Brust- und Lendenwirbelsäule. Man Medizin. 2006 Dec;44(6):479–86.
5. Niethard FU, Pfeil J. Orthopädie und Unfallchirurgie. 5. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005. 309-330 p.
6. Platzer W. Taschenatlas Anatomie - Bewegungsapparat. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013. 36-63 p.
7. Bühren V, Josten C. Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. Bühren V, Josten C, editors. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. 6 p.
8. Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Berlin, Boston: DE GRUYTER; 2012. 120 p.
9. Grifka J, Krämer J. Orthopädie Unfallchirurgie. 9. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. 28-210 p.
10. Bruch H-P, Trentz O. Berchtold Chirurgie. 6. München, Jena: Urban & Fischer; 2008. 330-391 p.
11. Hu R, Mustard C a, Burns C. Epidemiology of Incident Spinal Fracture in a Complete Population. Spine (Phila Pa 1976). 1996 Feb;21(4):492–9.
12. Schalamon J, Dampf S, Singer G, Ainoedhofer H, Petnehazy T, Hoellwarth ME, et al. Evaluation of Fractures in Children and Adolescents in a Level I Trauma Center in Austria. J Trauma Inj Infect Crit Care. 2011 Aug;71(2):E19–25.
13. Nau C, Rose S, Laurer H, Marzi I. Wirbelsäulenverletzungen im Kindesalter. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2010 Feb;5(1):23–38.
14. Parent S, Dimar J, Dekutoski M, Roy-Beaudry M. Unique Features of Pediatric Spinal Cord Injury. Spine (Phila Pa 1976). 2010 Oct;35(Supplement):S202–8.
15. Möllenhoff G, Walz M, Muhr G. Compensation behavior after fractures of the thoracic and lumbar spine in children and adolescents. Chirurg. 1993 Nov;64(11):948–52.
16. Hamilton MG, Mylks ST. Pediatric spinal injury: review of 174 hospital admissions. J Neurosurg. 1992 Nov;77(5):700–4.
17. Arbes S, Platzer P, Vecsei V. Frakturen des thorakolumbalen Übergangs im Kindes- und Jugendalter. Unfallchirurg. 2012;115(12):1070–5.

18. Hasler C, Jeanneret B. Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter. *Orthopade*. 2002 Jan;31(1):65–73.
19. Leucht P, Fischer K, Muhr G, Mueller EJ. Epidemiology of traumatic spine fractures. *Injury*. 2009 Feb;40(2):166–72.
20. Slotkin JR, Lu Y, Wood KB. Thoracolumbar Spinal Trauma in Children. *Neurosurg Clin N Am*. 2007 Oct;18(4):621–30.
21. Kathrein A, Huber B, Waldegger M, Freund MC, Daniaux H. Die Behandlung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule bei Kindern. *Orthopade*. 1999;28(5):441.
22. Daniels AH, Sobel AD, Ebersson CP. Pediatric Thoracolumbar Spine Trauma. *J Am Acad Orthop Surg*. 2013 Dec 1;21(12):707–16.
23. Kraus R, Stahl J-P, Heiss C, Horas U, Dongowski N, Schnettler R. Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule im Wachstumsalter. *Unfallchirurg*. 2013 May;116(5):435–41.
24. Srinivasan V, Jea A. Pediatric Thoracolumbar Spine Trauma. *Neurosurg Clin N Am*. Elsevier Inc; 2017 Jan;28(1):103–14.
25. D'Amato C. Pediatric spinal trauma: injuries in very young children. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;(432):34–40.
26. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurg*. 2009 Jan 21;112(1):33–45.
27. McPhee IB. Spinal fractures and dislocations in children and adolescents. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1981;6(6):533–7.
28. Cirak B, Ziegfeld S, Knight VM, Chang D, Avellino AM, Paidas CN. Spinal injuries in children. *J Pediatr Surg*. 2004 Apr;39(4):607–12.
29. Degreif J, Rommens PM. Verletzungen der Wirbelsäule bei Kindern. *Notfall & Rettungsmedizin*. 1999 Nov 24;2(8):492–5.
30. Ehsaei M, Bahadorkhan G, Samini F, Kheradmand H. Pediatric spine injuries after trauma: a review of 43 cases. *Med J Islam Repub Iran*. 2008;22(2):86–92.
31. Vernay D, Dubost JJ, Dordain G, Sauvezie B. Seizures and compression fracture. *Neurology*. 1990 Apr;40(4):725–6.
32. Ladurner A, Forster T, Külling FA. Wirbelkörperfrakturen im Rahmen eines generalisierten epileptischen Anfalls. *Unfallchirurg*. 2015 Dec;118(12):1067–9.
33. Daniaux H, Wagner M, Kathrein A, Lang T. Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Orthopade*. 1999;28(8):682.
34. Ruge JR, Sinson GP, Mclone DG. Pediatric spinal injury: the very young. 1988;25–30.
35. Mussler von C, Ruckstuhl J. Wirbelfrakturen im Kindes- und Jugendalter.

- Unfallchirurgie. Urban & Vogel; 1977;3(1):53–7.
36. Bühren V, Josten C. Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. Bühren V, Josten C, editors. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. 223-345 p.
 37. Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg. 2003 Jan 1;106(1):55–69.
 38. White A, Panjabi M. The problem of clinical instability in the human spine: a systematic approach. Clin Biomech. 1990;
 39. Blauth M, Bastian L, Knop C, Lange U, Tusch G. Interobserverreliabilität bei der Klassifikation von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. Orthopade. 1999;28(8):662.
 40. Blauth M, Knop C, Bastian L. Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M, editors. Tscherne Unfallchirurgie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1998. p. 241–372.
 41. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. Eur Spine J. 1994 Aug;3(4):184–201.
 42. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine (Phila Pa 1976). 1983;8(8):817–31.
 43. Aebi M. Classification of thoracolumbar fractures and dislocations. Eur Spine J. 2010 Mar 23;19(S1):2–7.
 44. Müller CW, Hübner T, Gösling T, Krettek C. Traumatologie der Wirbelsäule. Der Chir. 2008 Oct;79(10):918–26.
 45. Koh Y Do, Kim DJ, Koh YW. Reliability and Validity of Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS). Asian Spine J. 2010;4(2):109.
 46. Wood KB. Assessment of Two Thoracolumbar Fracture Classification Systems as Used by Multiple Surgeons. J Bone Jt Surg. 2005 Jul 1;87(7):1423.
 47. Whitesides TE. Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. Clin Orthop Relat Res. 1977;128:78–92.
 48. Grünhagen J, Egbers H-J, Heller M, Reuter M. Vergleichende computertomographische und kernspintomographische Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen der BWS und LWS anhand der Magerl-Klassifikation. RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgeb Verfahren. 2005 Jun;177(6):828–34.
 49. Kandziora F, Schleicher P, Schnake KJ, Reinhold M, Aarabi B, Bellabarba C, et al. Die AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. 2016;35–42.
 50. Schinkel C, Muhr G. Kindliche Wirbelfrakturen. Trauma und Berufskrankheit. 2005 Feb;7(1):42–6.
 51. Jarvers J-S, Spiegl U, von der Höh N, Josten C, Heyde C-E. Verletzungen

- der kindlichen thorakolumbalen Wirbelsäule. Orthopade. 2016 Jun 2;45(6):472–83.
52. Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, Öner FC, John Hulbert R, Hedlund R, et al. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. J Orthop Sci. 2005 Nov;10(6):671–5.
 53. VACCARO AR, KIM DH, BRODKE DS, HARRIS M, CHAPMAN J, SCHILDHAUER T, et al. DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF THORACOLUMBAR SPINE FRACTURES. J Bone Jt Surgery-American Vol. 2003 Dec;85(12):2456–70.
 54. Weigel B, Neumann C. Praxisbuch Chirurgie Wirbelsäule. In: 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 157–231.
 55. Holdsworth F. Review Article Fractures, Dislocations, and Fracture-dislocations of the Spine. J Bone & Joint Surgery. 1970;52(8):1534–51.
 56. Joaquim AF, Fernandes YB, Cavalcante RAC, Fragoso RM, Honorato DC, Patel AA. Evaluation of the Thoracolumbar Injury Classification System in Thoracic and Lumbar Spinal Trauma. Spine (Phila Pa 1976). 2011 Jan;36(1):33–6.
 57. Vaccaro AR, Lehman RA, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, et al. A New Classification of Thoracolumbar Injuries. Spine (Phila Pa 1976). 2005 Oct;30(20):2325–33.
 58. McCormack T, Karaikovic E, Gaines RW. The Load Sharing Classification of Spine Fractures. Spine (Phila Pa 1976). 1994 Aug;19(15):1741–4.
 59. Klimmer C, Kathrein A. Wirbelsäulenverletzungen im Kindesalter. OP-JOURNAL. 2010 Oct 15;26(2):108–14.
 60. Maier B, Ploss C, Marzi I. Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Orthopade. 2010 Mar;39(3):247–55.
 61. Bühren V, Trentz O. Checkliste Traumatologie. 6. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2005. 212-224 p.
 62. David S, Bauwens K, Ekkernkamp A. Frakturen der BWS und LWS. Trauma und Berufskrankheit. 2003 Sep 1;5(3):322–8.
 63. Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Der Chir. 2001 Jul;72(7):865–79.
 64. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. Paraplegia. 1969 Nov;7(3):179–92.
 65. Wawro W. BWS-/LWS-Verletzung. Trauma und Berufskrankheit. 2007;9(S02):S227–30.
 66. Baumert B, Blautzik J, Körner M, Reiser M, Linsenmaier U. Aktuelle bildgebende Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen. Der Chir. 2008 Oct

- 4;79(10):906–17.
67. Woltmann A, Bühren V. Schockraummanagement bei Verletzungen der Wirbelsäule im Rahmen eines Polytraumas. Eine systematische Literaturübersicht. *Unfallchirurg*. 2004;107(10):911–8.
 68. Günther K, Maier B, Marzi I, Pizanis A, Pohlemann T, Seifert J. Orthopädie und Unfallchirurgie. In: 1. München, Jena: Elsevier GmbH; 2009. p. 637–66.
 69. Knop C, Blauth M, Bühren V. Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. *Unfallchirurg*. 2000;103(12):1032–47.
 70. Shin T-S, Kim H-W, Park K-S, Kim J-M, Jung C-K. Short-segment Pedicle Instrumentation of Thoracolumbar Burst-compression Fractures; Short Term Follow-up Results. *J Korean Neurosurg Soc*. 2007;42(4):265.
 71. Matsumoto M, Okada E, Kaneko Y, Ichihara D, Watanabe K, Chiba K, et al. Wedging of vertebral bodies at the thoracolumbar junction in asymptomatic healthy subjects on magnetic resonance imaging. *Surg Radiol Anat*. 2011;33(3):223–8.
 72. Gaca AM, Barnhart HX, Bisset GS. Evaluation of Wedging of Lower Thoracic and Upper Lumbar Vertebral Bodies in the Pediatric Population. *Am J Roentgenol*. 2010 Feb;194(2):516–20.
 73. Kwiecien R, Kopp-Schneider A, Blettner M. Concordance Analysis. *DtschÄrztebl*. 2011;108(30):515–21.
 74. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Int J Nurs Stud*. Elsevier Ltd; 2010;47(8):931–6.
 75. Masharawi Y, Salame K, Mirovsky Y, Peleg S, Dar G, Steinberg N, et al. Vertebral body shape variation in the thoracic and lumbar spine: Characterization of its asymmetry and wedging. *Clin Anat*. 2008;21(1):46–54.