

# UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Zentrum für Radiologie und Endoskopie  
Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Direktor  
Prof. Dr. med. Gerhard Adam

## **Frakturen der thorakalen Wirbelsäule – Stellenwert von Röntgenaufnahmen im Vergleich zur Computertomographie in Hinblick auf diagnostische Genauigkeit und Strahlenbelastung**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Amelie Kristina Hoffmann  
aus Wildeshausen

Hamburg 2016

**Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 16.08.2017**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

**Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: PD Dr. Jin Yamamura**

**Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter: Prof. Dr. Johannes M. Rueger**

**Prüfungsausschuss, dritter Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Rüther**

Auszüge dieser Dissertation sind vorab veröffentlicht worden:

1. Karul M, Bannas P, Schoennagel BP, Hoffmann A, Wedegaertner U, Adam G, Yamamura J (2013) Fractures of the thoracic spine in patients with minor trauma: comparison of diagnostic accuracy and dose of biplane radiography and MDCT. *Eur J Radiol.* 82 (8): 1273 -7.
2. Karul M, Bannas P, Schoennagel BP, Hoffmann A, Wedegaertner U, Adam G, Yamamura J (2013) Fractures of the thoracic spine in patients with minor trauma: comparison of diagnostic accuracy and dose of biplane radiography and MDCT. ECR C-0102.
3. Karul M, Hoffmann A, Adam G, Yamamura J (2015) Diagnostic value of CT in patients with suspected thoracic spine fractures due to minor trauma. RSNA VSER21-06.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
1.1	<i>Anatomie der Wirbelsäule mit Fokus auf die Brustwirbelsäule</i> .....	6
1.2	<i>Prozedere bei Traumapatienten mit Verdacht auf Wirbelfraktur</i> .....	9
1.3	<i>Projektionsradiographie</i> .....	10
1.3.1	<i>Technische Grundlagen</i> .....	10
1.3.2	<i>Frakturzeichen in der Projektionsradiographie</i> .....	11
1.4	<i>Computertomographie</i> .....	12
1.4.1	<i>Technische Grundlagen</i> .....	12
1.4.2	<i>Frakturzeichen in der Computertomographie</i> .....	13
1.5	<i>Strahlenexposition</i> .....	16
1.5.1	<i>Relevante Dosiskenngrößen</i> .....	16
1.5.2	<i>Strahlenbelastung durch Projektionsradiographie und CT</i> .....	18
1.5.3	<i>Strahlenschutz</i> .....	21
1.6	<i>Zielsetzung und Fragestellung</i> .....	22
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>23</b>
2.1	<i>Diagnostische Bildgebung</i> .....	23
2.1.1	<i>Projektionsradiographie in zwei Ebenen</i> .....	23
2.1.2	<i>Multidetektor-Computertomographie (MDCT)</i> .....	24
2.1.3	<i>Auswertung der Aufnahmen</i> .....	24
2.2	<i>Retrospektive Datenerhebung und Statistik</i> .....	25
2.3	<i>Erhebung der Dosiswerte</i> .....	28
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>29</b>
3.1	<i>Patientenkollektiv</i> .....	29
3.2	<i>Auswertung der Röntgen- und MDCT-Befunde</i> .....	30
3.3	<i>Auswertung der Dosis</i> .....	40
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Summary</b> .....	<b>55</b>

<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>65</b>
<b>12</b>	<b>Lebenslauf..... Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
<b>13</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>68</b>

# 1 Einleitung

## ***1.1 Anatomie der Wirbelsäule mit Fokus auf die Brustwirbelsäule***

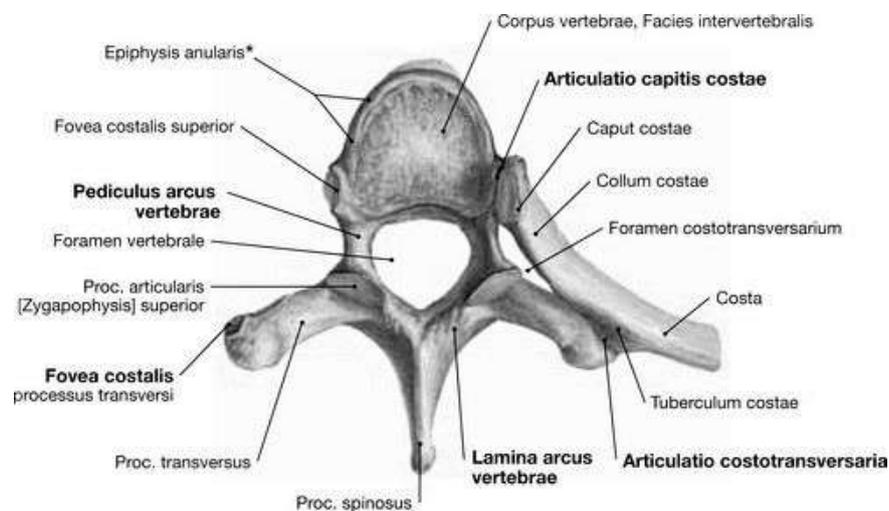
Die menschliche Wirbelsäule besteht normalerweise aus 24 einzelnen Wirbelkörpern mit Dornfortsätzen und Facettengelenken, Bandscheiben zwischen den Wirbelkörpern mit Stoßdämpfer-Funktion sowie ligamentären und muskulären Strukturen. Man unterteilt die Wirbelsäule in einen zervikalen Anteil mit sieben Wirbeln (C1 bis C7), einen thorakalen Anteil mit 12 Wirbeln (Th1 bis Th12), einen lumbalen Anteil mit fünf Wirbeln (L1 bis L5) und einen sakralen Anteil mit drei bis sechs Wirbeln (S1 bis S3/6), die zum Os sacrum verwachsen sind (Bühren und Josten, 2013).

Die Wirbelkörper werden von kranial nach kaudal hin breiter und tiefer und auch die Wirbelkörperhöhe nimmt zu, um der mechanischen Belastung des Körpergewichts beim aufrechten Gang gewachsen zu sein. Das Rumpfskelett überträgt dabei die Kraft auf die unteren Extremitäten. Die Wirbelsäule ist in der frontalen Ebene gerade und symmetrisch. In der sagittalen Ebene weist die Wirbelsäule in anteriorer Richtung im zervikalen und lumbalen Anteil eine Lordose und im thorakalen und sakralen Anteil eine Kyphose auf. Den Übergang der thorakalen Kyphose in die Lordose bezeichnet man auch als thorakolumbalen Übergang (Th11 bis L2). Die Bänder der Wirbelsäule dienen der Stabilität und limitieren das physiologische Bewegungsausmaß. Die beiden stärksten Bänder sind das vordere bzw. hintere Längsband (Bühren und Josten, 2013).

## Einleitung

Die Wirbelsäule soll neben einem stabilen Achsenskelett zur Übertragung von Kräften und zum Schutz von Organen auch eine bestmögliche Beweglichkeit schaffen (Stäbler, 2005).

Die thorakale Wirbelsäule ist im Vergleich zu den anderen Wirbelsäulenabschnitten relativ starr. Grund hierfür ist die Rippen-Sternum-Verbindung und die sich überlappenden Dornfortsätze in diesem Wirbelsäulenabschnitt (Bühren und Josten, 2013).



\*auch Randleiste

### Abbildung 1: Anatomischer Aufbau eines thorakalen Wirbels

Axialer Schnitt, beispielhaft hier der fünfte thorakale Wirbel in kranialer Ansicht.

Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier. Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München (Paulsen und Waschke, 2010).

Ein Wirbel besteht mit Ausnahme des ersten und zweiten zervikalen Wirbels und den verwachsenen Wirbeln des Os sacrum im Wesentlichen aus einem Wirbelkörper, dem Corpus vertebrae, einem Wirbelbogen, dem Arcus vertebrae, einem Dornfortsatz, dem Processus spinosus, zwei Querfortsätzen, den Processi transversi und aus mehreren Gelenkfortsätzen, den Processi articulares und den Foveae costales (s. Abb. 1, S.7). Die Fortsätze sind Ansatzpunkte für Muskeln und Bänder

## Einleitung

---

und im Bereich der thorakalen Wirbelsäule bilden sie die Rippen-Wirbel-Gelenke. Die Wirbelkörperhinterkante und der Wirbelbogen begrenzen das Foramen vertebrale (Schünke, 2005).

Die Foramina vertebralia aller Wirbelkörper bilden zusammen den Spinalkanal, in dem geschützt das Rückenmark und die Nervenwurzeln verlaufen. Die Foraminae des Spinalkanals sind besonders im mittleren Bereich der thorakalen Wirbelsäule fast rund und sehr schmal im Vergleich zum zervikalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitt. Daher ist das Rückenmark auf Höhe der thorakalen Wirbelsäule durch Wirbelfrakturen, die den Spinalkanal noch weiter einengen, gefährdet (Bühren und Josten, 2013). Die Dornfortsätze der thorakalen Wirbelsäule sind länger als in den anderen Wirbelsäulenabschnitten und nach kaudal abgeknickt, sodass sie dachziegelartig übereinander liegen. Die Gelenkflächen der Facettengelenke sind mehr oder weniger in der Frontalebene ausgerichtet und die Querfortsätze sind nach dorsal gekippt. Im Bereich C7 bis Th9 bilden zwei übereinanderliegende Wirbel zusammen eine überknorpelte Gelenkpfanne für die Rippen, wobei sowohl am Wirbelkörper als auch an den Querfortsätzen Gelenkflächen zu finden sind. Die Wirbel Th11 und Th12 haben jeweils eine komplette Gelenkpfanne ohne Gelenkfläche an den Querfortsätzen (Schünke, 2005).

Häufigste Frakturlokalisation nach einem Trauma im Bereich der Wirbelsäule ist der thorakolumbale Übergang mit 75 bis 90% der Frakturen (Bühren und Josten, 2013).

Dabei sind besonders die Wirbel von Th10 bis L2 betroffen. Dies liegt zum einen daran, dass der Übergang von der Kyphose in die Lordose einen anatomischen Stabilitätsschwachpunkt darstellt und zum anderen daran, dass die thorakale Wirbelsäule durch den knöchernen Thorax und die überlappenden Dornfortsätze deutlich weniger Bewegungsspielraum zulässt als die lumbale Wirbelsäule. Letztere

ist außerdem der Hauptbelastung ausgesetzt. Frakturen im zervikothorakalen Übergang sind am zweithäufigsten anzutreffen. Die Wirbel der oberen und mittleren thorakalen Wirbelsäule sind seltener verletzt, da sie vom knöchernen Thorax geschützt werden (Bühren und Josten, 2013).

### ***1.2 Prozedere bei Traumapatienten mit Verdacht auf Wirbelfraktur***

Ein Patient mit Zustand nach Hochrasanztrauma, wie zum Beispiel nach einem Sturz aus mehr als drei Metern Höhe oder nach einem Verkehrsunfall, sollte laut der Eastern Association for the Surgery of Trauma primär von einem qualifizierten Arzt, zum Beispiel von einem erfahrenen Unfall- oder Wirbelsäulenchirurgen untersucht werden (Diaz et al., 2007). Bei der körperlichen Untersuchung ist bei Palpation einer Deformität, einem neurologischen Defizit oder bei äußerlich sichtbaren Hämatomen die Wahrscheinlichkeit einer Wirbelkörperfraktur erhöht. Sodann sollte unverzüglich eine diagnostische Bildgebung erfolgen, bei Hochrasanztraumata in der Regel eine Multidetektor Computertomographie (MDCT) (Como et al., 2009).

Zur Verfügung stehen aber auch die Projektionsradiographie und die Magnetresonanztomographie (MRT). Da MDCT und Projektionsradiographie in der Notfallsituation aufgrund der hohen regionalen Verfügbarkeit und schnellen Durchführbarkeit einen besonderen Stellenwert einnehmen, werden diese Verfahren im Folgenden ausführlich erläutert.

### **1.3 Projektionsradiographie**

#### **1.3.1 Technische Grundlagen**

Für die konventionelle Projektionsradiographie werden ein Generator mit einem Schalttisch und ein Röntgenstrahler benötigt. Letzterer umfasst die Röntgenröhre und Zubehör wie ein Rasterwandstativ für Stehendaufnahmen oder einen Bucky-Tisch für Liegendaufnahmen. Außerdem wird ein Bildauffangsystem, eine so genannte Film-Folien-Kombination benötigt. Um die Bildqualität zu erhöhen wird bei Erwachsenen ein Streustrahlenraster verwendet. Heutzutage werden digitale Bildaufnahme- und Verarbeitungssysteme verwendet (Reiser et al., 2011).

Die Röntgenstrahlung, die in der medizinischen Diagnostik zur Erzeugung eines Röntgenbildes genutzt wird, heißt Röntgenbremsstrahlung und ist eine ionisierende Strahlung. Die Röntgenbremsstrahlung wird mit Hilfe zweier Elektroden im Vakuum in der oben genannten Röntgenröhre erzeugt. Zunächst wird die Kathode, die aus einer Glühwendel besteht, bei angelegter Spannung erhitzt und die Elektronen im Kathodenmaterial wandern Richtung Anode. Durch eine angelegte Hochspannung werden die Elektronen dabei beschleunigt und im Anodenmaterial abgebremst. Dabei wird die kinetische Energie der Elektronen in Form von Photonen als elektromagnetische Strahlung abgegeben (Reiser et al., 2011).

Je nach Spannung unterscheidet man zwischen weicher Strahlung (<100 keV), harter Strahlung (100 keV-1MeV) und ultraharter Strahlung (>1MeV). Je höher die Röhrenspannung, desto schneller werden die Elektronen beschleunigt und desto härter wird die Röntgenstrahlung. Hieraus und aus der Schaltzeit bzw. der Heizstromstärke ergibt sich wiederum die entsprechende Dosisleistung, also die aufgenommene Dosis je Masse- und Zeiteinheit (Reiser et al., 2011).

Röntgengeräte haben mittlerweile weltweit eine sehr hohe Verfügbarkeit bei vergleichsweise geringen Gesamtkosten (Bundesamt für Strahlenschutz, o.J.<sup>1</sup>).

### **1.3.2 Frakturzeichen in der Projektionsradiographie**

Die Wirbelsäule wird sowohl in der antero-posterioren Darstellung (a.p.-Projektion) als auch in der lateralen Ansicht begutachtet. Besonders die laterale Darstellung dient zur Beurteilung des Wirbelkörperalignments, einer gedachten Linie der Wirbelkörperhinterkanten. Ein gestörtes Alignment kann zu einer Verschmälerung des Spinalkanals führen. Außerdem wird überprüft, ob die Grund- und Deckplatten sowie die kleinen Wirbelgelenkflächen intakt sind. Die Konfiguration der Querfortsätze kann bei liegendem Patienten in der a.p.-Projektion beurteilt werden (Reiser et al., 2011).

Bei konventionellen Röntgenaufnahmen werden direkte und indirekte Frakturzeichen unterschieden. Zu den direkten Frakturzeichen zählen eine scharfe Kortikalisunterbrechung, eine Stufenbildung und der Nachweis von Frakturfragmenten. Weitere direkte Zeichen sind neu im Vergleich zu eventuell vorliegenden Voruntersuchungen aufgetretene Wirbelkörperverformungen und der Nachweis einer Impaktionszone bei Kompressionsfrakturen (Verdichtungszone der Spongiosa). Indirekte Frakturzeichen sind prä- oder paravertebrale Weichteilschatten, die auf ein Ödem oder eine Einblutung aufgrund einer Wirbelkörperfraktur hinweisen können (Wiesmann, 2014).

---

<sup>1</sup> URL: <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grundsaeetze/grundsaeetze.html>

[Stand: 25.10.2015, 16:20]

### **1.4 Computertomographie**

#### **1.4.1 Technische Grundlagen**

Das CT-Gerät besteht aus einer Gantry, einem Patientenlagerungstisch, einem Bedienpult und einem Computer. Die Gantry beinhaltet den Hochspannungsgenerator, die Röntgenröhre, das Blenden- und Detektorsystem und die Kühlung. Die Detektoren messen die Differenz zwischen der eingestellten Ausgangsintensität der Röntgenstrahlung und der abgeschwächten Intensität nach Durchtritt durch den Körper des Patienten. Diese Schwächung wird in elektrische Signale umgewandelt, digitalisiert und rekonstruiert. Bei der Multidetektor-Computertomographie (MDCT) ermöglichen mehrzeilige Detektoren mehrere Aufnahmeschichten pro Rotation (Reiser et al., 2011). MDCT-Geräte weisen zwei oder mehr parallel angeordnete Detektorzeilen auf und verwenden eine Technologie der so genannten dritten Generation, bei der das Rotieren der Röhre mit der Rotation der Detektorzeilen synchron geschaltet ist (Prokop, 2003).

Wichtige Parameter sind die Schichtdicke, der Tischvorschub je Rotation und der Pitchfaktor (Prokop, 2003), der als dimensionsloser Parameter das Verhältnis vom Tischvorschub je kompletter Umdrehung der Röntgenröhre zur Zahl der gleichzeitig erfassten Detektorzeilen und der gewählten Schichtdicke beschreibt (Kalender, 2000).

Das gängigste Verfahren der Bildrekonstruktion beruht zurzeit auf der gefalteten Rückprojektion. Dabei wird die gemessene Schwächung der Strahlung logarithmiert, je nach gewähltem Faltungskern bearbeitet und als Linienintegral rückprojiziert. Das eigentliche Schichtbild ergibt sich dann durch die Überlagerung aller Projektionen. Ein Volumenelement (Voxel) ist dabei das Produkt aus dem Flächenelement des zweidimensionalen Bildes und den jeweiligen Schichtdicken (Reiser et al., 2011).

## **Einleitung**

---

Die Schwächung der Strahlung in einem Voxel hängt von dem durchstrahlten Gewebe und der Strahlungsenergie ab. Bei CT-Untersuchungen nutzt man die so genannte Hounsfield-Einheit (HE) um die gewebespezifische Absorption besser vergleichen zu können. Hierbei dienen Wasser (0 HE) und Luft (-1000 HE) als Bezugsgrößen. Kompakte Gewebe wie bspw. Knochen haben über 1000 HE. Die HE ist ein Maß für die Dichte des durchstrahlten Gewebes. Die Graustufen einer CT-Aufnahme spiegeln diese unterschiedlichen Dichtewerte wider (Reiser et al., 2011).

Theoretisch sind unendlich viele Graustufen möglich, wobei das menschliche Auge nur etwa 20 davon unterscheiden kann. Daher hat man mehrere gewebespezifische Fenster entwickelt. Das Knochenfenster umfasst z.B. die Dichtewerte von -600 HE bis 1400 HE (Reiser et al., 2011).

Nach der ersten Rekonstruktion liegen primär axiale Schichten vor. Eine Multiplanare Rekonstruktion (MPR) mit sagittalen und koronaren Bildern kann aus einem dünn-schichtigen überlappenden axialen Datensatz berechnet werden (Prokop, 2003).

### **1.4.2 Frakturzeichen in der Computertomographie**

Bildmorphologisch besteht der Verdacht auf eine Wirbelfraktur bei einer scharfen Unterbrechung der Kortikalis, bei einer Stufenbildung oder einer Fragmentierung des Wirbels. Außerdem können auch feine Unterbrechungen oder eine irreguläre Struktur der Trabekel mit Hilfe der CT erkannt werden. Bei einer Kompressionsfraktur liefert besonders die sagittale Rekonstruktion eine Aussage über das Ausmaß der Wirbelkörperhöhenminderung (Hosten, 2000).

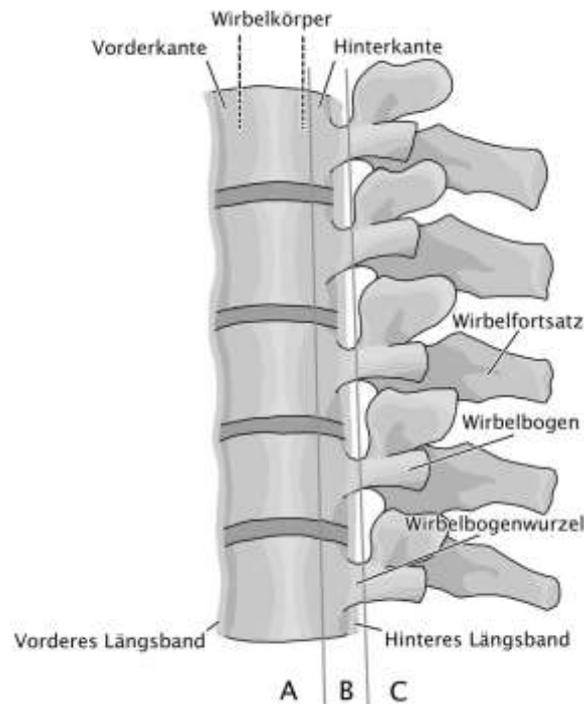
## **Einleitung**

---

Liegt die Kompressionsfraktur im Bereich der oberen oder mittleren Wirbelsäule ist die Wirbelkörperhöhenminderung häufig gering ausgeprägt, sie kann jedoch durch deckplattennahe Sklerosierung oder Wulstbildung erkannt werden (Stäbler, 2005).

Verletzungen der umgebenden Weichteile und paravertebrale oder intraspinale Hämatome können einen indirekten Hinweis auf eine Fraktur liefern (Hosten, 2000).

Mit Hilfe der CT-Aufnahmen wird die Fraktur z.B. nach dem „Drei-Säulen-Modell“ nach Denis klassifiziert (Denis, 1983). Diese Klassifikation wird herangezogen, um den Grad der Instabilität und eine mögliche neurologische Schädigung einzuschätzen (s. Abb. 2, S.15). Die vordere Säule umfasst den vorderen Anteil des Wirbelkörpers, den vorderen Anteil der Bandscheibe und das vordere Längsband. Die mittlere Säule umfasst das hintere Längsband, die hintere Wirbelkörperwand und den hinteren Anteil der Bandscheibe. Die hintere Säule beinhaltet den Wirbelbogen mit knöchernen Anhängen und den dort verlaufenden Bändern (Denis, 1983).



**Abbildung 2: Drei-Säulen-Modell nach Denis**

Hier vereinfacht dargestellt. A = Vordere Säule (Denis Typ A); B = Mittlere Säule (Denis Typ B); C = Hintere Säule (Denis Typ C). Die Grenzen der Vorder- bzw. Hinterkante der Wirbelkörper werden durch die gestrichelten Linien angedeutet. Die Grenzen der drei Säulen nach Denis werden durch die senkrechten Linien rechts und links von B dargestellt.

Mit freundlicher Genehmigung von Miamed. Miamed. Amboss. Lernkarte: Wirbelkörperfraktur. Klassifikation. [Online im Internet] URL: <https://amboss.miamed.de/library#xid=M30MQf> [Stand 15. April 2016, 09:00]. (Miamed, o.J.).

Sind der hintere Bandkomplex und die mittlere Säule verletzt, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine akute Instabilität vor (Denis, 1983). Klinisch wird eine Wirbelfraktur dann als instabil bezeichnet, wenn sie zu einer erhöhten unphysiologischen Beweglichkeit der Wirbelsäulengelenke führt, da der Bandapparat zu sehr geschädigt wurde (Wiesmann, 2014).

Dementsprechend wird eine Wirbelverletzung als stabil bezeichnet, wenn voraussichtlich keine weitere Dislokation bei normaler Alltagsbelastung erfolgt. Hierbei kann durchaus eine gewisse Formveränderung vorliegen, aber die

umliegenden Strukturen stützen die Verletzung ausreichend ab (Bühren und Josten, 2013).

## **1.5 Strahlenexposition**

### **1.5.1 Relevante Dosiskenngrößen**

Die wichtigsten Dosiskenngrößen des Strahlenschutzes für den Patienten sind die effektive Dosis und die Organdosis. Sie sind masseabhängig und werden in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Es handelt sich um berechnete stochastische Dosisbegriffe. Sie dienen der Risikoeinschätzung für die Auswirkung der Strahlung auf den Körper des Patienten, wie z. B. die potentiell kanzerogene Auswirkung. Die Berechnung basiert auf der nicht stochastischen, also messbaren, Energiedosis mit der Einheit Joule pro Kilogramm (J/kg) oder der Einheit Gray (Gy). Die Energiedosis ist die zu erwartende absorbierte Strahlenenergie eines bestimmten Gewebes dividiert durch die Masse des bestrahlten Volumens. Es gilt also:

$$\text{Energiedosis (Gy)} = \text{Strahlenenergie (J)} / \text{Masse (kg)}$$

Multipliziert man die mittlere Energiedosis des jeweiligen Gewebes bzw. Organs mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor, der für Röntgenstrahlung gleich 1 ist, erhält man die Organdosis. In einer Formel ausgedrückt:

$$\text{Organdosis (Sv)} = \text{Energiedosis (Gy)} \times \text{Strahlungs-Wichtungsfaktor}$$

Die mittlere Energiedosis hat also bei Untersuchungen mit Röntgenstrahlung den gleichen Wert wie die Organdosis. Addiert man die Produkte aus jeweiliger Organdosis und zugehörigem Gewebe-Wichtungsfaktor erhält man die effektive Dosis (Krieger, 2013). Die Tabelle der Gewebe-Wichtungsfaktoren wurde 2007 von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) publiziert (Valentin, 2007).

Tabelle 1: Gewebe-Wichtungsfaktoren nach ICRP 103

Gewebe	Gewebe-Wichtungsfaktor wT	$\Sigma wT$
Knochenmark (rot), Colon, Lunge, Magen, Brust, übriges Gewebe(*)	0,12	0,72
Gonaden	0,08	0,08
Harnblase, Ösophagus, Leber, Schilddrüse	0,04	0,16
Knochen, Gehirn, Speicheldrüsen, Haut	0,01	0,04
	gesamt	1,00

(\*) übriges Gewebe: Nebennieren, extrathorakale Region, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskel, orale Mukosa, Pankreas, Prostata (♂), Dünndarm, Milz, Thymus, Uterus/Zervix (♀)

Die Tabelle zeigt die Wichtungsfaktoren für das entsprechende Gewebe aus der Publikation 103 der ICRP, hier aus einem Artikel der Europäischen Kommission SCENIHR (SCENIHR (2012), S.24<sup>2</sup>)

Außerdem sollten bei der Berechnung der effektiven Dosis risikorelevante Faktoren mitgewichtet werden, wie zum Beispiel das Alter oder das Geschlecht des Patienten (Dougeni et al., 2012; Krieger, 2012).

In der radiologischen Diagnostik macht man sich für Dosisabschätzungen v.a. integrale Dosisgrößen wie das Dosisflächenprodukt (DFP) bei der Röntgenuntersuchung und das Dosislängenprodukt (DLP) bei der CT-Untersuchung zunutze (Krieger, 2013). Das DFP wird in der Einheit mGy x cm<sup>2</sup> und das DLP in der Einheit mGy x cm angegeben. Diese Dosisgrößen werden im Patientenprotokoll

---

<sup>2</sup> URL: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_o\\_036.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_036.pdf)

[Stand: 06. März 2016, 13:30]

gespeichert und aus ihnen kann die effektive Dosis berechnet werden (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 1987<sup>3</sup>).

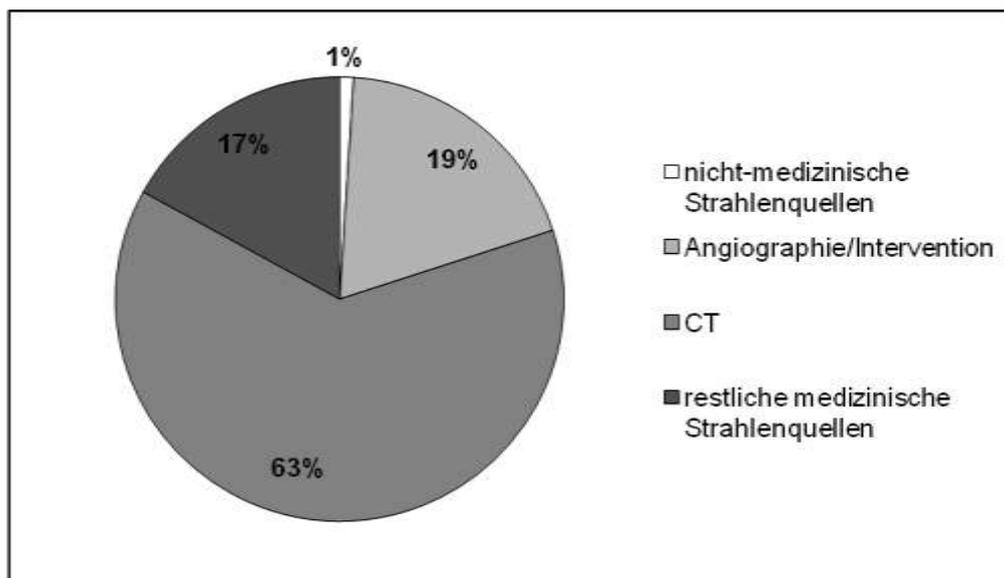
### **1.5.2 Strahlenbelastung durch Projektionsradiographie und CT**

Die Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland wird in terrestrisch bedingte und zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition eingeteilt. Nach Erhebungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Jahr 2012 lagen die natürliche und die zivilisatorische Strahlenexposition für erwachsene Einwohner Deutschlands rechnerisch bei etwa 4 Millisievert (mSv) effektiver Dosis pro Jahr. Der Anteil der zivilisatorischen Strahlenexposition mit 1,9 mSv pro Einwohner Deutschlands pro Jahr ist fast nur auf medizinische Anwendungen zurückzuführen (Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2012<sup>4</sup>).

---

<sup>3</sup> URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/r\\_v\\_1987/](http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/) [Stand: 18. November 2014, 18:40]

<sup>4</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]



**Abbildung 3: Kollektive effektive Dosis**

Das Kreisdiagramm zeigt den prozentualen Anteil von medizinischen und nicht-medizinischen Strahlenquellen an der kollektiven effektiven Dosis im Jahr 2011. Unter „restliche medizinische Strahlenquellen“ fallen noch Untersuchungen der Zahnmedizin und Untersuchungen von Thorax, Skelett, Verdauungs- und Urogenitaltrakt und die Mammographie. Dieses Diagramm ist eine Zusammenfassung der Abbildung IV 1-4 aus der Unterrichtung durch die Bundesregierung „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012“ (2012), S.53<sup>5</sup>.

Den größten Anteil der kollektiven effektiven Dosis nahmen, wie in Abbildung 3 zu sehen, CT- und angiographische Untersuchungen mit gerundet 82% ein. Die anderen medizinischen Untersuchungen hatten einen deutlich geringeren Anteil an der kollektiven effektiven Dosis, sonstige, nicht medizinische Strahlenquellen sogar nur gerundet 1% (Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2012<sup>6</sup>).

Die effektive Dosis für eine konventionelle Röntgenaufnahme der thorakalen Wirbelsäule lag für Deutschland durchschnittlich bei 0,54 mSv. Der Durchschnitt der 36 europäischen Staaten lag bei 0,64 mSv. Bei der CT der gesamten Wirbelsäule lag die effektive Dosis bei einem Wert von ca. 6,3 mSv in Deutschland. Im europäischen

---

<sup>5</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]

<sup>6</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]

## Einleitung

---

Vergleich lag die effektive Dosis bei 7,7 mSv (Dose Datamed 2 project, 2013<sup>7</sup>). Seit 1996 stieg die Anzahl der CT-Untersuchungen um etwa 130% an (Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2012<sup>8</sup>).

Für das Risiko genetischer Strahlenfolgen wie DNS-Schäden oder eine Kanzerogenese durch ionisierende Strahlung können keine expliziten Dosisschwellenwerte festgelegt werden, sondern die Strahlenschäden treten zufällig auf. Es besteht jedoch ein proportionaler Zusammenhang zwischen Dosis und Auftreten von Strahlenschäden (Reiser et al., 2011).

Es gibt jedoch auch Strahlenfolgen, die nach Erreichen einer bestimmten Schwellendosis auftreten. Um dieses Risiko einzuschätzen orientiert man sich an der Organdosis. Je höher die Organdosis ist, desto stärker ist die Ausprägung der Strahlenfolgen wie z.B. das Auftreten eines Erythems oder einer Strahlennekrose (Reiser et al., 2011).

Insgesamt muss das Risiko durch ionisierende Strahlung individuell bestimmt werden, wobei das Hinterfragen des Nutzens der Untersuchung stets im Vordergrund stehen sollte (Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung, 2012<sup>9</sup>).

---

<sup>7</sup> URL: [http://www.ddmed.eu/\\_media/news/ddm2\\_project\\_report\\_population\\_dose\\_estimation\\_final\\_draft\\_for\\_web\\_page\\_28\\_jan\\_2013.pdf](http://www.ddmed.eu/_media/news/ddm2_project_report_population_dose_estimation_final_draft_for_web_page_28_jan_2013.pdf) [Stand: 10. März 2014, 20:00]

<sup>8</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]

<sup>9</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]

### 1.5.3 Strahlenschutz

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Strahlenbelastung des Patienten so gering wie möglich zu halten. Dies muss mit der bestmöglichen Qualität der Bildgebung in Einklang gebracht werden (Bundesärztekammer, 2007<sup>10</sup>).

Generell gilt, dass die rechtfertigende Indikation für die Röntgenuntersuchung von einem im Strahlenschutz fachkundigen Arzt in jedem Einzelfall nach §23 der Röntgenverordnung (RöV) kritisch gestellt werden muss (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 1987<sup>11</sup>).

Durch Einstellung der technischen Parameter: Kilovolt-Wert (kV-Wert), das Milliamperesekunden-Produkt (mAs-Produkt) und das Dosisflächenprodukt (DFP), bzw. bei der CT das Dosislängenprodukt (DLP) kann die Strahlenexposition und somit die effektive Dosis beeinflusst werden. Bei der Strahlenqualität strebt man eine Aufhärtung der Strahlung durch Filter an, da weiche Strahlung stärker absorbiert wird. Blenden sorgen dafür, dass nur der zu untersuchende Bereich bestrahlt wird, also die Feldgröße möglichst klein gehalten wird. Der Fokus-Haut-Abstand wird möglichst groß gewählt, da die Abschwächung der Strahlung dann ebenfalls größer ist, während die Expositionsdauer so klein wie möglich gehalten wird. Die Wahl der Film-Folien-Kombination und die digitale Bildaufnahme und –verarbeitung spielen ebenfalls eine Rolle (Reiser et al., 2011).

---

<sup>10</sup> URL: <http://www.bundesaerztekammer.de/downloads/LeitCT2007Korr-1.pdf>  
[Stand: 18 November 2014, 17:30]

<sup>11</sup> URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/r\\_v\\_1987/](http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/) [Stand: 18. November 2014, 18:40]

### **1.6 Zielsetzung und Fragestellung**

Für die Diagnose von thorakalen Wirbelkörperfrakturen ist nicht zuletzt aufgrund der möglichen Komplikationen eine exakte und zügige Bildgebung erforderlich (Bühren and Josten, 2013). Bei Patienten mit einem Majortrauma (Hochrasanz- bzw. Polytrauma) wird in der Regel unverzüglich eine CT-Untersuchung durchgeführt (Reiser et al., 2011). Kontrovers diskutiert wird jedoch, wie ein Diagnosealgorithmus aussehen könnte, wenn es sich um einen Patienten mit Minortrauma handelt. So ist es in einigen Kliniken üblich, bei Verdacht auf eine Wirbelkörperfraktur in der körperlichen Untersuchung sofort eine CT-Untersuchung durchzuführen, in anderen Kliniken wird zunächst eine Röntgendiagnostik vorangestellt und nur bei dadurch erhärtetem Verdacht erfolgt im Anschluss eine CT-Untersuchung (Karul et al., 2013).

Diese Arbeit hat daher das Ziel, die diagnostische Genauigkeit der Projektionsradiographie bei der Detektion von thorakalen Wirbelkörperfrakturen bei Patienten mit Minortrauma zu ermitteln. Der Vergleich mit der MDCT unter besonderer Berücksichtigung der Strahlenbelastung ermöglicht eine Bestimmung des klinischen Stellenwertes im Rahmen des Diagnosealgorithmus.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Diagnostische Bildgebung

#### 2.1.1 Projektionsradiographie in zwei Ebenen

Aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie und aus Gründen der Übersichtlichkeit, werden Patienten-individuelle Abänderungen nicht benannt. Die folgende Beschreibung orientiert sich an der üblichen Durchführung der Röntgenuntersuchung, gleiches gilt im folgenden Unterkapitel für die MDCT-Untersuchung. Die Projektionsradiographie in zwei Ebenen wurde am Universitätsklinikum Eppendorf mit einem Flachdetektor Digitalsystem (Digital Diagnost, Philips, Best, Niederlande) durchgeführt. Die Stehendaufnahme wurde bevorzugt, da die Wirbelsäule so mit physiologischer Belastung abgebildet wird. Ließ der Zustand des Patienten eine Stehendaufnahme jedoch nicht zu, wurde sie im Liegen durchgeführt. Die Abbildung der thorakalen Wirbelkörper (Th1 bis Th12) erfolgte im a.p.-Strahlengang und im lateralen Strahlengang. Der Strahlenfokus wurde auf Th7 zentriert und die Aufnahme so eingestellt, dass C7 bis L1 abgebildet wurden. Die Einstellung der Röntgenparameter erfolgte mit 20 mAs Röhrenstrom, 100 cm Fokus-Film-Abstand und 81 kV Röhrenspannung für die a.p.- Projektion und 85 kV für die laterale Projektion. In der a.p.- Projektion befand sich der Patient entweder stehend mit dem Rücken zum Stativ, Arme locker hängend und die Knie durchgestreckt, oder in Rückenlage mit dem Gesicht zur Röntgenröhre auf dem Buckytisch<sup>12</sup>, wobei die Arme seitlich am Körper positioniert und die Knie des Patienten in Flexionsstellung aufgestellt waren, sodass die Füße flach auf dem Tisch

---

<sup>12</sup> verstellbarer Röntgentisch nach Gustav Peter Bucky

standen. Dies reduziert die Wölbung der unteren Wirbelsäule um eine bessere Darstellung zu ermöglichen. In der lateralen Position stand der Patient mit der Seite zum Stativ und wurde angehalten flach zu atmen und die Arme nach vorn zu halten. Bei der Liegendaufnahme war die Wirbelsäule in einer parallelen Position zum Buckytisch und die Arme wurden ebenfalls nach vorne genommen.

Es wurden Positionsmarker und Bleischutz im Bereich der Gonaden verwendet. Um die Streustrahlung zu reduzieren wurde zudem ein Streustrahlenraster auf dem Tisch platziert (Bernau und Bohndorf, 2010; Karul et al., 2013).

### **2.1.2 Multidetektor-Computertomographie (MDCT)**

Die MDCT-Untersuchung wurde mit einem 256-Detektorzeilen Gerät durchgeführt (Brilliance iCT; Philips Healthcare, Best, Niederlande). Die Bildakquisition erfolgte in der Atemanhaltephase. Es wurde ein sagittales Topogramm von C6 bis L1 erstellt, wobei der Patient mit dem Rücken auf dem Tisch lag.

Die Parameter der Bildgebung waren: 250 mAs pro Schicht Röhrenstrom, 120 kV Röhrenspannung, ein Pitchfaktor von 0,985 und eine Kollimation von 2 x 128 x 0,625 mm. Aus den axialen 1mm Datensätzen erfolgte die multiplanare Rekonstruktion mit einer Schichtdicke von 3 mm. Die Bilder wurden im Knochenfenster mit 1000 HE und einer Breite von 2500 HE betrachtet.

### **2.1.3 Auswertung der Aufnahmen**

Die Befundung der Röntgen- und MDCT-Bilder der thorakalen Wirbelsäule erfolgte als Teil des klinischen Alltags durch jeweils einen radiologischen Assistenzarzt. Alle Befunde wurden von einem klinisch erfahrenen Facharzt für Radiologie überprüft und validiert. Als Interpretationsgrundlage diente die Klassifikation nach Denis (Denis, 1983).

## **2.2 Retrospektive Datenerhebung und Statistik**

Das Patientenkollektiv dieser retrospektiven Studie setzte sich aus Patienten zusammen, die im Zeitraum vom 01. Oktober 2008 bis zum 01. Oktober 2012 in der Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf untersucht wurden. In diese Studie wurden diejenigen Erwachsenen eingeschlossen, die bei Verdacht auf eine traumatisch bedingte thorakale Wirbelfraktur primär mittels konventioneller Projektionsradiographie in zwei Ebenen untersucht wurden. Anschließend, nicht mehr als vier Tage später, wurden diese Patienten aufgrund eines auffälligen Röntgenbefunds oder einer aggravierenden Klinik einer MDCT zugeführt. Die Sichtung der Befunde erfolgte in den elektronischen Patientenakten im radiologischen Informationssystem (Centricity RIS-i. Version 4.2 Plus. GE Healthcare). Es konnten 137 Patienten identifiziert und in die Studie eingeschlossen werden. Davon wurden sieben Patienten nachträglich von der Auswertung ausgeschlossen, da statt eines primären Röntgenbefundes nur ein Verweis auf den nachträglich erhobenen MDCT-Befund vorlag. Letztlich wurden die Daten von 130 Patienten anonymisiert ausgewertet.

Neben den Befunden wurden auch das Geschlecht und das Alter der Patienten sowie der zeitliche Abstand in Tagen zwischen den beiden Untersuchungen ausgewertet. Alle Daten wurden hierfür in eine Excel-Tabelle (Microsoft Office Excel, Microsoft, USA, 2003) übertragen.

Für die Auswertung der Röntgenbefunde wurde der MDCT-Befund als Goldstandard vorausgesetzt. Die statistischen Ergebnisse bezüglich der Röntgenbefunde beziehen sich daher jeweils auf den MDCT-Befund. Die diagnostische Genauigkeit der

Projektionsradiographie wurde in verschiedenen Schritten erfasst, die im Folgenden näher erläutert werden.

### **1. Summe der Wirbelfrakturen je Patient**

Es wurde ausgewertet, bei wie vielen Patienten des Kollektivs gar keine und bei wie vielen mindestens eine Wirbelfraktur mit Hilfe der MDCT-Untersuchung diagnostiziert wurde. Zusätzlich wurde die genaue Anzahl der von einer Fraktur betroffenen Wirbelkörper je Patient ermittelt und mit den Ergebnissen des Röntgenbefunds verglichen. Für die vom Röntgenbefund nicht genannten Frakturen wurde außerdem ermittelt, ob diese stabil oder instabil waren.

### **2. Summe der diskontinuierlichen Wirbelfrakturen je Patient**

Es wurde außerdem die absolute und die relative Häufigkeit bestimmt und verglichen, mit der basierend auf dem Röntgen- und MDCT-Befund diskontinuierliche Wirbelfrakturen in dem Patientenkollektiv vorlagen.

### **3. Vergleich Röntgen- und MDCT-Befund bzgl. der Beurteilung der BWS**

Im nächsten Schritt wurde ausgewertet, wie häufig die Beurteilung des Röntgenbefunds mit der des MDCT-Befunds identisch war und wie häufig zusätzliche oder zu wenige Frakturen im Röntgenbefund benannt wurden. Dies konnte dann in eine Vierfeldertafel als „richtig positiv“, „falsch positiv“, „richtig negativ“ und „falsch negativ“ als absolute Häufigkeit eingetragen und die relative Häufigkeit errechnet werden.

Es wurden Genauigkeit, Sensitivität, Spezifität, Positiv Prädiktiver Wert (PPV) und Negativ Prädiktiver Wert (NPV) berechnet. Mit dem Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstest wurden die Ergebnisse nach einem signifikanten Unterschied überprüft, wobei ein Konfidenzintervall von 95% und ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  festgelegt wurde. Die relativen Häufigkeiten wurden auf eine Dezimalstelle gerundet.

Als „richtig positiv“ wurden die Röntgenbefunde bezeichnet, die alle Frakturen eines Patienten korrekt benennen konnten.

Unter „falsch positiv“ wurden zwei Möglichkeiten zusammengefasst: Entweder der MDCT-Befund benannte gar keine Wirbelfraktur, der Röntgenbefund jedoch mindestens eine, oder aber der MDCT-Befund benannte mindestens eine Fraktur, der Röntgenbefund aber mindestens noch eine weitere. Aus diesem Grund erfolgte zusätzlich eine weitere Aufschlüsselung wie häufig welche der beiden Möglichkeiten von „falsch positiv“ vorlagen (s. Ergebnisse Abb.6, S.33).

Als „richtig negativ“ wurden die Röntgenbefunde bezeichnet, die korrekterweise gar keine Frakturen beschrieben.

Unter „falsch negativ“ wurden drei Möglichkeiten zusammengefasst: Entweder es lag mindestens eine Fraktur laut MDCT vor, der Röntgenbefund benannte jedoch gar keine oder es lag laut MDCT-Befund mindestens eine weitere Fraktur vor, die im Röntgenbefund nicht erwähnt wurde. Die dritte Möglichkeit lag vor, wenn im Röntgenbefund die Fraktur an einer anderen Lokalisation als der eigentlich vorliegenden vermutet wurde. Wegen dieser Zusammenfassung mehrerer Möglichkeiten erfolgte auch hier eine weitere Aufschlüsselung der falsch negativen Befunde (s. Ergebnisse Abb.7, S.33).

#### **4. Vergleich der Befunde bzgl. der Beurteilung der BWS-Abschnitte**

Der allgemeinere Vergleich in Schritt 3 wurde außerdem detaillierter betrachtet. Hierzu wurde die thorakale Wirbelsäule in drei Bereiche zu je vier Wirbeln eingeteilt (1. Abschnitt Th1 bis Th4, 2. Abschnitt Th5 bis Th8 und 3. Abschnitt Th9 bis Th12; s. Ergebnisse Abb. 8, S.35). Für die einzelnen Abschnitte wurden jeweils Genauigkeit, Sensitivität, Spezifität, Positiv Prädiktiver Wert (PPV) und Negativ Prädiktiver Wert

(NPV) berechnet (s. Ergebnisse Tabelle 3, S.36). Die relativen Häufigkeiten wurden auf eine Dezimalstelle gerundet.

## **5. Vergleich Röntgen- und MDCT-Befund bzgl. der Beurteilung der BWK**

Im nächsten Schritt wurde den Befunden die genaue Lokalisation der thorakalen Wirbelfrakturen (Th1 bis Th12) laut Röntgenbefund und im Vergleich dazu laut MDCT-Befund entnommen und die Gesamthäufigkeiten des Frakturauftretens bezogen auf einen bestimmten BWK ausgewertet (s. Ergebnisse Abb. 9, S.37). Beispiel: Der thorakale Wirbelkörper 6 war laut Röntgenbefund fünfmal von einer Fraktur betroffen, es lagen jedoch tatsächlich nur zweimal Frakturen in diesem Bereich vor. Hieraus lässt sich jedoch nicht schließen, dass vier Frakturen falsch positiv waren, da ebenfalls falsch negative Angaben des Röntgenbefundes denkbar sind.

Es wurden Genauigkeit, Sensitivität, Spezifität, Positiv Prädiktiver Wert (PPV) und Negativ Prädiktiver Wert (NPV) berechnet und die relativen Häufigkeiten auf eine Dezimalstelle gerundet.

### **2.3 Erhebung der Dosiswerte**

Das Dosis-Flächen-Produkt (DFP, in mGy x cm<sup>2</sup>) für die Röntgenaufnahme und das Dosis-Längen-Produkt (DLP, in mGy x cm) für die MDCT-Aufnahme wurden dem Protokoll der elektronischen Patientenakte entnommen. Mit Hilfe des Programms „EDCalc1.1“ der Medizinischen Hochschule Hannover konnte aus diesen Dosisgrößen eine grobe Annäherung an die effektive Dosis berechnet werden (Medizinische Hochschule Hannover, o.J.<sup>13</sup>).

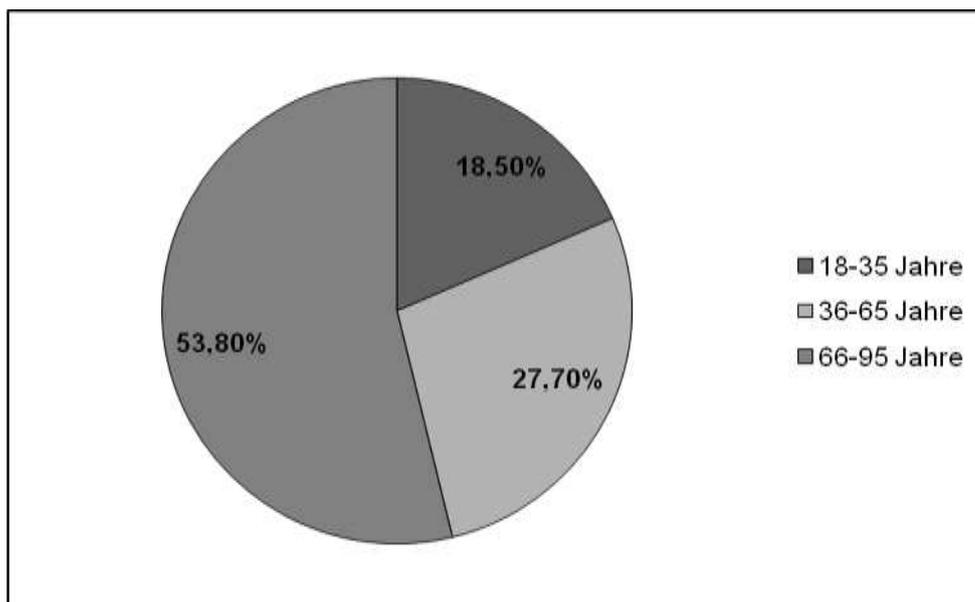
---

<sup>13</sup> URL: <http://www.mh-hannover.de/1604.html> [Stand 07.November 2014, 17:15].

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Patientenkollektiv

In dieser retrospektiven Studie wurden 130 Patientenakten ausgewertet. Davon waren 71 Patienten männlich (54,6%) und 59 Patienten weiblich (45,4%). Das mittlere Patientenalter ( $\pm$ SD) lag bei 62 Jahren ( $\pm$ 22,7 Jahre). Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt der Untersuchung 18 Jahre alt, der älteste 95 Jahre alt, wobei die Mehrzahl (53,8%) der Patienten zwischen 66 und 95 Jahre alt war (70 von 130 Patienten). Abbildung 4 zeigt die Altersverteilung zum Zeitpunkt der Untersuchung für drei verschiedene Altersgruppen.



**Abbildung 4: Relative Altersverteilung zum Zeitpunkt der Untersuchung**

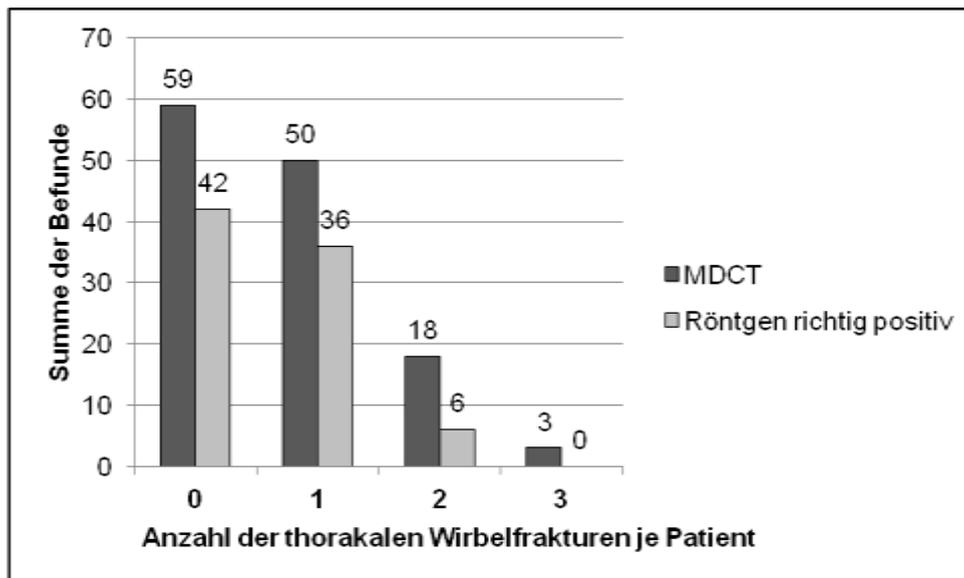
Der Abstand zwischen Röntgen- und MDCT-Untersuchung betrug in der Mehrzahl der Fälle null Tage (117 von 130 Fällen), in acht Fällen einen Tag, in jeweils zwei Fällen zwei, beziehungsweise drei Tage und in einem Fall vier Tage.

## **3.2 Auswertung der Röntgen- und MDCT-Befunde**

### **1. Summe der Wirbelfrakturen je Patient**

Insgesamt konnte mit Hilfe der MDCT-Untersuchung bei 59 von 130 Patienten (45,4%) das Vorliegen einer thorakalen Wirbelfraktur ausgeschlossen werden und bei 71 von 130 Patienten (54,6%) mindestens eine und maximal drei Wirbelfrakturen diagnostiziert werden.

Abbildung 5 (s. S.31) zeigt eine detaillierte Gegenüberstellung von Röntgen- und MDCT-Befund bezogen auf die Frakturanzahl je Patient. Im Vergleich zu den oben genannten 59 von 130 Patienten, bei denen gar keine Fraktur vorlag, wurde im Röntgenbefund nur bei 42 von 130 Patienten (32,3%) korrekterweise keine Wirbelfraktur benannt. Bei 50 von 130 Patienten (38,5%) wurde genau eine thorakale Wirbelfraktur mit Hilfe der MDCT-Untersuchung diagnostiziert, der Röntgenbefund erkannte dies richtig bei 36 von 130 Patienten (27,7%). Zwei Wirbelfrakturen wurden bei 18 von 130 Patienten (13,8%) aufgedeckt, wobei der Röntgenbefund in sechs von 130 Befunden (4,6%) beide korrekt benannt hat. Bei drei von 130 Patienten (2,3%) lagen drei thorakale Wirbelfrakturen vor, der Röntgenbefund erkannte jedoch in keinem Fall alle drei Wirbelfrakturen korrekt. Bis auf eine Ausnahme waren alle vom Röntgenbefund nicht benannten Frakturen stabil. Die einzige nicht benannte instabile Fraktur stellt jedoch einen Sonderfall dar, da hier aus retrospektiv nicht mehr eruierbaren Gründen die Instabilität erst in einer Konferenz festgestellt wurde und nicht sofort im MDCT-Befund erwähnt wurde.



**Abbildung 5: Anzahl der thorakalen Wirbelfrakturen je Patient**

Das Säulendiagramm zeigt die absolute Häufigkeit der thorakalen Wirbelfrakturen je Patient (von 0 = keine Fraktur bis 3 = drei Frakturen) und im Vergleich dazu, wie viele vom Röntgenbefund richtig diagnostiziert wurden.

## 2. Summe der diskontinuierlichen Wirbelfrakturen je Patient

Bei 21 Patienten des Kollektivs lag mehr als eine thorakale Wirbelfraktur vor (16,2%, 21/130). Dabei traten diese Frakturen bei 11 von diesen 21 Patienten (52,4%, 11/21) diskontinuierlich auf.

## 3. Vergleich Röntgen- und MDCT-Befund bzgl. der Beurteilung der BWS

Die Auswertung erfolgte je Patient, also ohne auf die Anzahl oder die Lokalisation der Frakturen einzugehen. Aus den jeweiligen Summen wurde eine Vierfeldertafel erstellt (s. Tabelle 2, S.32). Wie in Tabelle 2 illustriert, wurde im Vergleich zwischen dem Röntgen-Befund mit dem MDCT-Befund bei 42 Patienten (32,3%, 42/130) korrekterweise keine Fraktur diagnostiziert (richtig negativ). Bei 20 Patienten (15,4%, 20/130) wurden im Röntgenbefund fälschlicherweise zusätzliche Frakturen (falsch positiv) beschrieben. In den Röntgenbefunden wurden bei ebenfalls 42 Patienten alle Wirbelfrakturen korrekt diagnostiziert (32,3%, 42/130) (richtig positiv).

Bei 26 Fällen (20%, 26/130) wurden im Röntgenbefund jedoch nicht alle Frakturen der thorakalen Wirbelsäule aufgedeckt (falsch negativ).

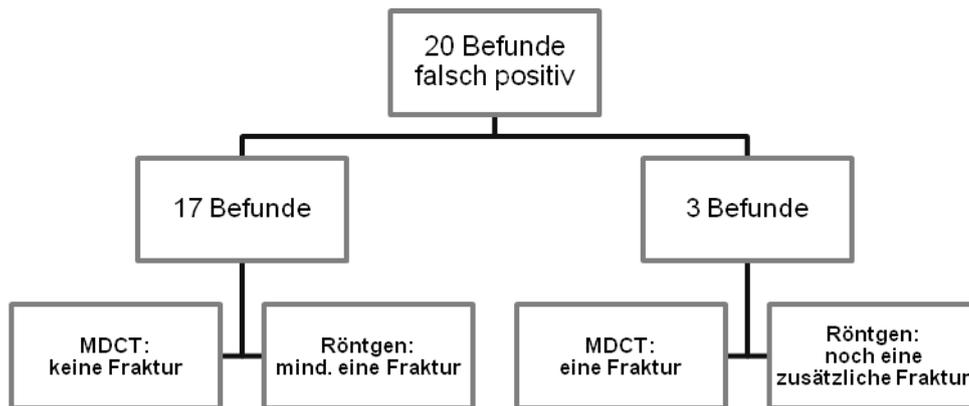
**Tabelle 2: Vierfeldertafel**

		MDCT		Summe
		0	1	
R	0	42	26	68
	1	20	42	62
Summe		62	68	130

Die Vierfeldertafel zeigt die Korrelation zwischen Röntgenbefund (R) und MDCT-Befund (MDCT). Dabei steht die Kombination 0 - 0 für „richtig negativ“ und die Kombination 1 - 1 für „richtig positiv“, bezogen auf mindestens eine Fraktur. Die Kombination R 1 - MDCT 0 steht für „falsch positiv“ und die Kombination R 0 - MDCT 1 für „falsch negativ“.

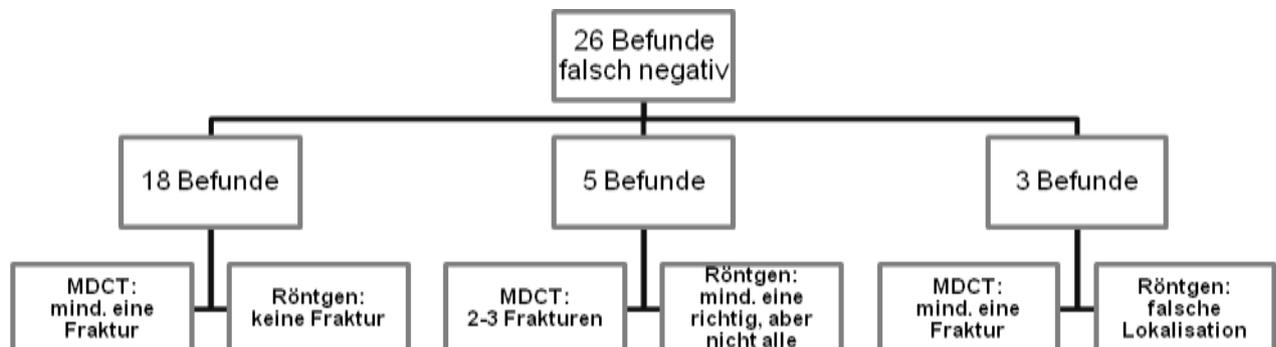
Das Organigramm in Abbildung 6 (s. S.33) zeigt, dass bei 17 von den insgesamt 20 falsch positiven Röntgenbefunden laut MDCT-Befund gar keine thorakalen Wirbelfrakturen vorlagen. Bei den übrigen drei Befunden lag laut MDCT-Befund eine thorakale Wirbelfraktur vor, jedoch nannte der Röntgenbefund zu dieser noch eine weitere.

Von den insgesamt 26 falsch negativen Röntgenbefunden wurden in 18 Fällen keine der vorliegenden thorakalen Wirbelfrakturen korrekt benannt, in fünf Fällen wurde nur eine von mehreren Wirbelfrakturen erkannt und in drei Fällen wurde die Lokalisation der Wirbelfraktur falsch benannt (s. Abb. 7, S.33).



**Abbildung 6: Erläuterung der falsch positiven Befunde der Röntgenuntersuchung**

Das Organigramm zeigt, dass von den 20 falsch positiven Röntgenbefunden 17 laut MDCT-Befund keine thorakalen Wirbelfrakturen hätten nennen dürfen und 3 Mal lag laut MDCT-Befund eine thorakale Wirbelfraktur vor, jedoch nannte der Röntgenbefund zu dieser noch eine weitere.



**Abbildung 7: Erläuterung der falsch negativen Befunde der Röntgenuntersuchung**

Das Organigramm zeigt, dass von den 26 falsch negativen Röntgenbefunden 18 keine Fraktur benannt haben, laut MDCT-Befunden jedoch mindestens eine thorakale Wirbelfraktur vorlag. Außerdem wurde in 5 Röntgenbefunden eine thorakale Wirbelfraktur korrekt beschrieben, aber nicht alle Frakturen und 3 Mal nannte der Röntgenbefund zusätzlich zu der im MDCT-Befund beschriebenen thorakalen Wirbelfraktur eine weitere.

Die Genauigkeit des Röntgenbefundes gemessen an dem MDCT-Befund betrug 64,6%. Die Sensitivität des Befundes der Röntgenuntersuchung lag bei 61,8% und die Spezifität bei 67,7%. Der Positiv Prädiktive Wert (PPV) des Röntgenbefundes ergab 67,7% und der Negativ Prädiktive Wert (NPV) 61,8%.

Der Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Wert, sodass eine stochastische Unabhängigkeit zwischen dem Befund des Röntgen in zwei Ebenen und dem MDCT-Befund bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  abgelehnt werden konnte ( $\chi^2 \approx 11,3$ ;  $p \approx 0,00077$ ).

#### **4. Vergleich der Befunde bzgl. der Beurteilung der BWS-Abschnitte**

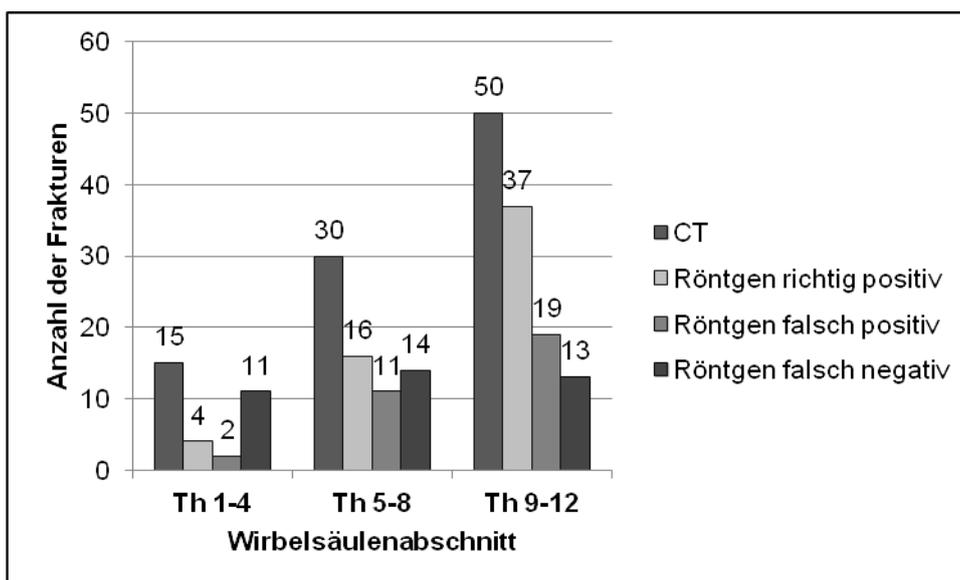
Abbildung 8 (s. S.35) zeigt die laut MDCT-Befund korrekten absoluten Häufigkeiten der thorakalen Wirbelfrakturen für den jeweiligen Wirbelsäulenabschnitt und im Vergleich dazu die absoluten Häufigkeiten der Wirbelfrakturen laut Röntgenbefund, unterteilt in richtig positiv, falsch positiv und falsch negativ. Tabelle 3 fasst die nun folgenden Ergebnisse für die einzelnen Wirbelsäulenabschnitte zusammen.

Wie in Abbildung 8 zu sehen, befanden sich 15 der 95 Frakturen (15,8%) im Bereich Th1 bis Th4, wobei vier von diesen 15 Frakturen (26,7%) im Röntgenbefund korrekt beschrieben wurden. Nicht erkannt wurden 11 von 15 Wirbelfrakturen (73,3%) (falsch negativ). Zudem wurden im Röntgenbefund fälschlicherweise zwei Frakturen im Bereich Th1 bis Th4 beschrieben. In diesem obersten Abschnitt der thorakalen Wirbelsäule lag die Sensitivität bei 26,7%, die Spezifität bei 99,6%, der PPV bei 66,7% und der NPV bei 97,9%. Die diagnostische Genauigkeit betrug 97,5%.

Im Bereich Th5 bis Th8 fanden sich 30 thorakale Wirbelfrakturen (31,6%, 30/95). Im Röntgenbefund wurden 16 von diesen 30 Frakturen (53,3%) richtig genannt (richtig positiv). Nicht erkannt wurden 14 von 30 Frakturen (46,7%) (falsch negativ). Außerdem wurden fälschlicherweise 11 zusätzliche Wirbelfrakturen im Bereich Th5

bis Th8 beschrieben (falsch positiv). In diesem mittleren Abschnitt der thorakalen Wirbelsäule ergaben sich eine Sensitivität von 53,3%, eine Spezifität von 97,8%, ein PPV von 59,3% und ein NPV von 97,2%. Die diagnostische Genauigkeit betrug 95,2%.

Im untersten Abschnitt der thorakalen Wirbelsäule von Th9 bis Th12 wurden 50 Frakturen (52,6%, n=95) aufgedeckt. Der Röntgenbefund erkannte 37 von 50 Frakturen (74%) (richtig positiv). Es wurden 13 von 50 Frakturen (26%) übersehen (falsch negativ) und 19 Wirbelfrakturen fälschlicherweise zusätzlich zu den 50 angenommen (falsch positiv). Im Bereich Th9 bis Th12 ergaben sich eine Sensitivität von 74%, eine Spezifität von 96%, ein PPV von 66,1%, ein NPV von 97,2% und eine diagnostische Genauigkeit von 93,8%.



**Abbildung 8: Anzahl der thorakalen Wirbelfrakturen innerhalb eines Wirbelsäulenabschnitts**

Das Säulendiagramm zeigt die Anzahl der thorakalen Wirbelfrakturen je Wirbelsäulenabschnitt in absoluten Häufigkeiten. Die Wirbelsäule wurde in drei Abschnitte untergliedert, die jeweils vier thorakale Wirbel umfassen. Der MDCT-Befund wurde dem Röntgenbefund gegenübergestellt, dessen Ergebnisse wiederum in richtig positiv, falsch positiv und falsch negativ unterteilt wurden.

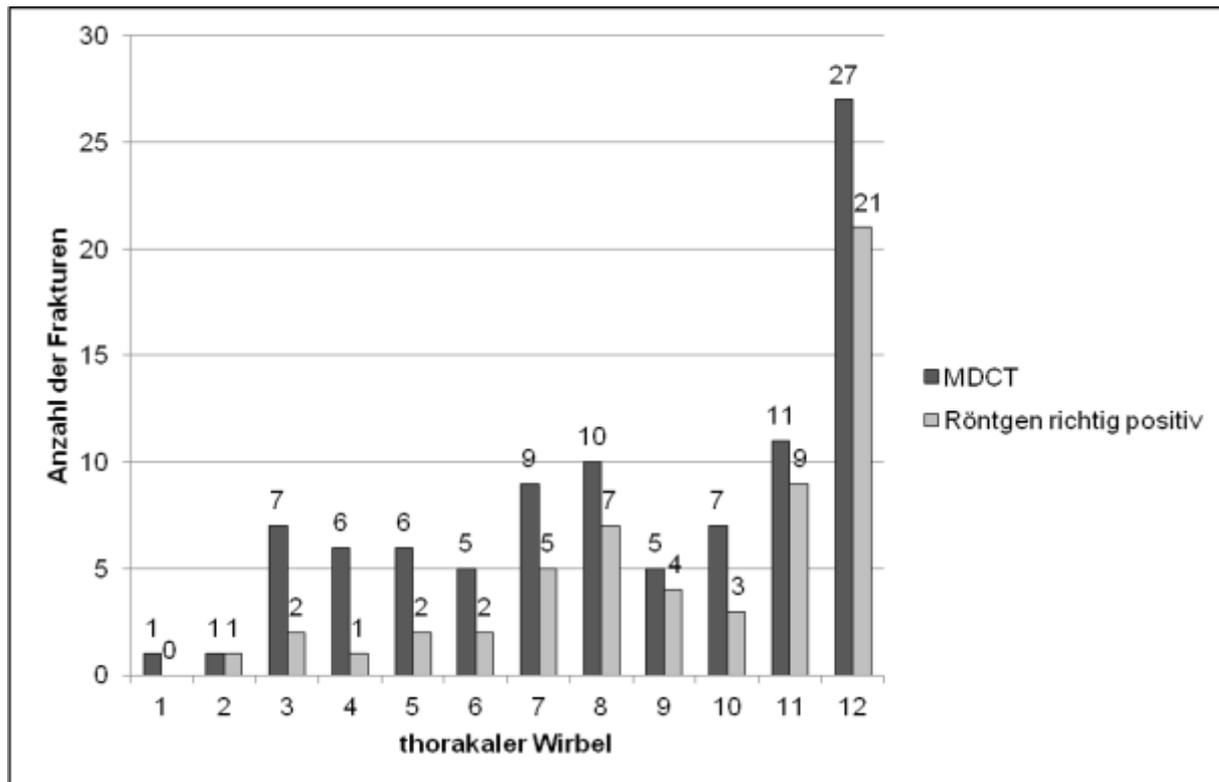
**Tabelle 3: Ergebnisse für die Wirbelsäulenabschnitte**

WS-Abschnitt	Relative Häufigkeit	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV	Diagnostische Genauigkeit
Th 1 – Th 4	15,8%	26,7%	99,6%	66,7%	97,9%	97,5%
Th 5 – Th 8	31,6%	53,3%	97,8%	59,3%	97,2%	95,2%
Th 9 – Th 12	52,6%	74%	96%	66,1%	97,2%	93,8%

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Wirbelsäulenabschnitte (WS-Abschnitt) an. Die relative Häufigkeit bezieht sich auf die thorakalen Wirbelfrakturen in dem jeweiligen Abschnitt.

### 5. Vergleich Röntgen- und MDCT-Befund bzgl. der Beurteilung der BWK

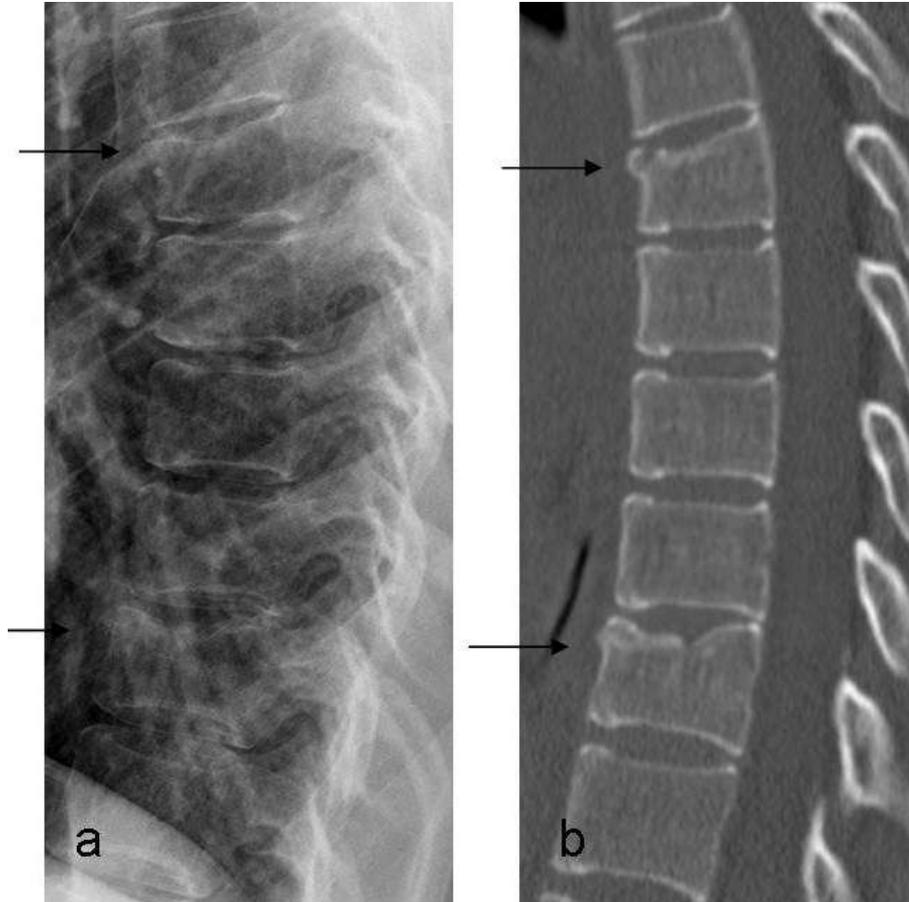
Als nächstes wurden die Lokalisation und die jeweilige Häufigkeit der thorakalen Wirbelfrakturen mit dem MDCT-Befund als Referenz herausgearbeitet. Bei 130 Patienten mit jeweils 12 Wirbeln (insgesamt 1560 thorakale Wirbel), waren 95 Wirbel von einer Fraktur betroffen (6,1%, 95/1560). Welche thorakalen Wirbel im Einzelnen von einer Fraktur betroffen waren, zeigt Abbildung 9 (s. S.37) im Vergleich zwischen Röntgen- und MDCT-Befund. Die wenigsten Frakturen, mit nur jeweils einer Fraktur, lagen im Bereich von Th1 und Th2 vor und die mit Abstand meisten Frakturen betrafen Th12 mit 27 Frakturen. Es ergaben sich für die Röntgenuntersuchung eine Sensitivität von 60%, eine Spezifität von 97,8%, ein PPV von 64% und ein NPV von 97,4%. Die Genauigkeit lag bei 95,5%.



**Abbildung 9: Anzahl der einzelnen Wirbelfrakturen von Th1 - Th12**

Das Säulendiagramm zeigt die absoluten Häufigkeiten der thorakalen Wirbelfrakturen von Th1 bis Th12 im Patientenkollektiv. Die Summe n der Frakturen beträgt 95, wobei der Röntgenbefund 57 davon richtig erkannte (richtig positiv).

Die Abbildungen 10 bis 12 zeigen ein richtig positives (Abb. 10), ein falsch negatives (Abb. 11) und ein falsch positives (Abb. 12) Fallbeispiel dieser Arbeit.



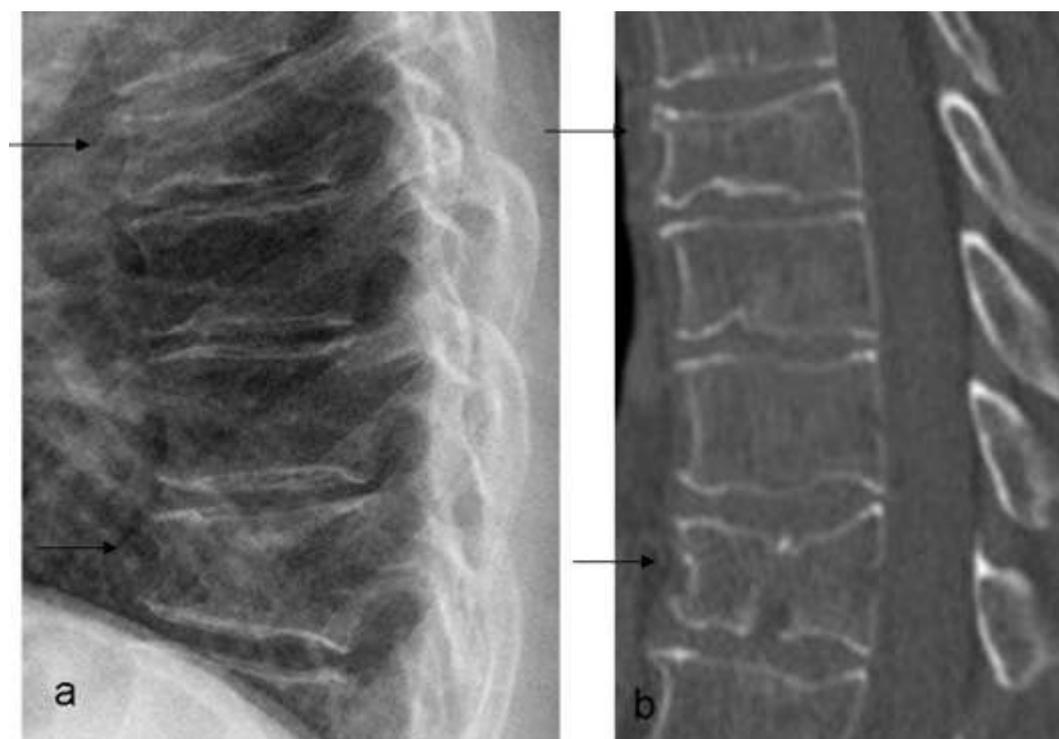
**Abbildung 10: Fallbeispiel mit richtig-positivem Röntgenbefund**

Die laterale Röntgenaufnahme (a) zeigt die Impressionsfrakturen von Th6 und Th10 bei einer 25-Jährigen Patientin, die darauffolgende MDCT-Aufnahme bestätigt diesen Befund.



**Abbildung 11: Fallbeispiel mit falsch-negativem Röntgenbefund**

Die laterale Röntgenaufnahme eines 50-Jährigen Patienten wurde als unauffällig befundet, die darauffolgende MDCT-Aufnahme deckt eine Fraktur von Th7 auf.



**Abbildung 12: Fallbeispiel mit falsch-positivem Röntgenbefund**

Laut Befund der lateralen Röntgenaufnahme (a) der thorakalen Wirbelsäule eines 54-Jährigen Patienten zeigen sich Frakturen von Th8 und Th11, wobei sich in der MDCT-Aufnahme (b) nur die Fraktur von Th8 als frische Fraktur herausstellt.

### **3.3 Auswertung der Dosis**

Der Mittelwert des DFP für die Röntgenaufnahme in zwei Ebenen lag bei 19,7 mGy x cm<sup>2</sup> mit einem Wertebereich von 2 bis 238 mGy x cm<sup>2</sup>. Der Median betrug 12,5 mGy x cm<sup>2</sup>.

Das DLP für die MDCT-Aufnahme betrug 359,7 mGy x cm, mit einem Wertebereich von 69 bis 1611 mGy x cm, mit einem Median von 283 mGy x cm.

Die Annäherung an die effektive Dosis der Röntgenuntersuchung lag durchschnittlich bei etwa 5,4 mSv (Median 3,4 mSv, SD±7,2) und für die MDCT-Untersuchung durchschnittlich bei etwa 20,9 mSv (Median 16,3 mSv, SD±15,6).

## 4 Diskussion

Seit der ersten Beschreibung der Röntgenstrahlen 1895 durch W.C. Röntgen (Röntgen, 1896) und der Einführung in die Medizin, ist die Bildgebung mittels ionisierender Strahlung als diagnostisches Werkzeug in der Traumatologie nicht mehr wegzudenken. Besonders bei Wirbelfrakturen ist für die Bildgebung eine hohe Genauigkeit und Effizienz zu fordern (Bühren und Josten, 2013). Werden instabile Frakturen übersehen, so kann es zu einer höheren Morbidität durch neurologische Folgestörungen kommen (Bernstein, 2010).

In der vorliegenden Arbeit sollte anhand von retrospektiv erhobenen Daten der diagnostische Stellenwert der Projektionsradiographie in zwei Ebenen für die Diagnose bzw. den Ausschluss traumatischer thorakaler Wirbelfrakturen herausgearbeitet werden. Als Goldstandard diente die MDCT-Untersuchung.

In dieser Studie ergab sich für die Projektionsradiographie im Vergleich zur MDCT-Untersuchung, ohne Frakturanzahl und Lokalisation mit einzubeziehen, eine relativ geringe diagnostische Genauigkeit von 64,6% und auch die Sensitivität mit 61,8% und die Spezifität mit 67,7% waren eher gering. Eine höhere Sensitivität und Spezifität ergab sich unter anderem in einer Studie zur Diagnostik von zervikalen Wirbelfrakturen von Besman et al. 2003. In der Studie wurden 649 Patienten mit qualitativ guten Röntgenaufnahmen in 3 Ebenen untersucht: Im lateralen und a.p.-Strahlengang und zudem mittels einer Dens-Zielaufnahme. Drei Patienten hatten einen negativen Befund, obwohl später herauskam, dass eine signifikante zervikale Wirbelerletzung vorlag. Die Sensitivität betrug 90,3% und die Spezifität 96,3% (Besman et al., 2003). Trotz der hohen Sensitivität und Spezifität ist zu überlegen, ob die höhere Strahlenbelastung der CT zu tolerieren wäre, um relevante falsch

negative Befunde zu vermeiden, auch wenn es sich in dieser Studie nur um drei Fälle handelte.

Eine höhere diagnostische Genauigkeit von etwa 87% ergab sich im Vergleich zu unserer Studie aus den Daten der prospektiven Studie von Hauser et al. 2003. In der Studie erhielten 215 Patienten mit Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs nach schwerem Trauma eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen sowie CT-Aufnahmen von Thorax, Abdomen und Becken. Dabei wurden 36 akute thorakolumbale Wirbelfrakturen diagnostiziert (Hauser et al., 2003). Calendine et al. untersuchten in ihrer Studie wie in der hier vorliegenden Arbeit die Darstellung der thorakalen Wirbelsäule mittels Projektionsradiographie, jedoch im Vergleich zu CT-Thorax-Aufnahmen bei Traumapatienten. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass zusätzliche Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule nicht notwendig seien (Calendine et al., 2002<sup>14</sup>).

In der Studie dieser Arbeit zeigte der Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstest ein hoch signifikantes Ergebnis mit einem p von < 0,001. Somit kann die Hypothese abgelehnt werden, dass der Befund der Projektionsradiographie zufällig häufig mit dem Befund der MDCT übereinstimmt. Dies spricht dafür, dass die Projektionsradiographie als Screeningmodalität nicht völlig ungeeignet ist.

Bei der weiteren Aufteilung der falsch negativen und falsch positiven Befunde (s. Ergebnisse Abb. 6 und 7, S.33) sind für die Fragestellung dieser Arbeit v.a. die falsch negativen Befunde von Interesse, da hier potentiell Wirbelfrakturen übersehen werden könnten. Die im Röntgenbefund nicht genannten Wirbelfrakturen waren bis auf einen Sonderfall alle stabil. In 18 von 26 falsch negativen Röntgenbefunden wurden gar keine Fraktur benannt. Aufgrund des retrospektiven Charakters kann nur

---

<sup>14</sup> URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15290549> [Stand: 5. November 2013, 20:30]

vermutet werden, dass die Klinik dennoch auf eine Fraktur hingewiesen hatte und deshalb trotzdem eine MDCT-Untersuchung durchgeführt wurde, die dann die Frakturen aufdeckte. Da in dieser Studie nur Patientendaten ausgewertet wurden, bei denen sowohl eine Röntgen- als auch eine MDCT-Untersuchung gemacht wurde, kann hier nur vermutet werden, dass bei einigen Patienten Wirbelfrakturen übersehen werden, wenn der Röntgenbefund keine Pathologie erkennt und keine weitere bildgebende Diagnostik erfolgt. Die übrigen 8 der 26 falsch negativen Befunde zeigten, dass die Projektionsradiographie nicht immer eine eindeutige Lokalisation erlaubt, was dann zu übersehenen Wirbelfrakturen führen könnte, wenn das MDCT-Bild auf einen zu kleinen Bereich eingestellt wird und die eigentliche Lokalisation nicht mit abgebildet wird.

Die Projektionsradiographie und die MDCT wurden in fast allen Fällen am selben Tag durchgeführt, wobei bei 71 von 130 Patienten tatsächlich mindestens eine Fraktur vorlag. Dies deutet im Umkehrschluss darauf hin, dass auch zum sicheren Ausschluss einer Wirbelfraktur eine MDCT-Untersuchung indiziert sein kann, da dies mit Hilfe der Projektionsradiographie nicht immer gelingt.

Betrachtet man im Befund der Röntgenuntersuchung die korrekte Nennung auf jeden einzelnen Wirbel bezogen (s. Schritt 4 in Kapitel 2.2), zeigt sich eine Sensitivität von 60% und eine Spezifität von 97,8% sowie eine diagnostische Genauigkeit von 95,5%. Andererseits lag bei 45,4% der 130 Patienten des Kollektivs gar keine Fraktur vor. Bei 50 Patienten lag nur genau eine Fraktur vor und bei 21 zwei oder drei Wirbelfrakturen. Somit wird sowohl das Ergebnis für die Genauigkeit als auch für die Spezifität durch die geringe Prävalenz der Frakturen auf die 12 Wirbel der Wirbelsäule bezogen verfälscht hoch dargestellt. Aussagekräftig ist also v.a. die Sensitivität. Das gleiche gilt auch für die Ergebnisse bezogen auf die verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte, sodass v.a. die Sensitivität diskutiert wird. Die Sensitivität für

den Abschnitt Th1 bis Th4 lag bei 26,7% mit einer relativen Häufigkeit von 15,8%, für den Abschnitt Th5 bis Th8 lag die Sensitivität bei 53,3% bei einer relativen Häufigkeit von 31,6% und für den Abschnitt Th9 bis Th12 eine Sensitivität von 74% bei einer relativen Häufigkeit von 52,6%. Dies deckt sich mit aktueller Literatur, bei der der obere und mittlere Teil der thorakalen Wirbelsäule als in der Röntgenaufnahme schwieriger beurteilbar gilt (Stäbler, 2005; Samelson et al., 2011; Bühren und Josten, 2013).

Außerdem zeigte sich in dieser Studie, dass der kaudalste Abschnitt der thorakalen Wirbelsäule mit einer relativen Häufigkeit von 52,6% besonders häufig von Frakturen betroffen ist. Wirbelfrakturen des 11. Wirbels traten elfmal auf, Frakturen des 12. Wirbels machten 27 von insgesamt 95 Frakturen aus. Unterstützt wird dieses Ergebnis durch verschiedene Studien, aus denen hervorgeht, dass der thorakolumbale Übergang eine Prädilektionsstelle für Wirbelfrakturen darstellt (Bühren und Josten, 2013; Daffner, 2011; Kaji und Hockberger, 2012<sup>15</sup>).

Insgesamt waren in der vorliegenden Studie 21 Patienten von mehr als einer thorakalen Wirbelfraktur betroffen, wobei in elf Fällen diskontinuierliche Wirbelfrakturen vorlagen. Somit lag eine Inzidenz von 8,5% in dem gesamten Patientenkollektiv vor. Dies ist eine deutlich geringere Inzidenz als diejenige einer Publikation von Nelson et al. im Jahr 2013 basierend auf Patientendaten aus der Nationalen Trauma Datenbank der USA. Dort traten bei 20% der insgesamt 654.052 Patienten diskontinuierliche Wirbelfrakturen auf, besonders nach schwerem Trauma (Nelson et al., 2013). Dies lässt sich jedoch dadurch erklären, dass zum einen die Fallzahl in der Studie von Nelson et al. deutlich höher war und zudem schwere

---

<sup>15</sup> URL: <http://www.uptodate.com/contents/evaluation-of-thoracic-and-lumbar-spinal-column-injury> [Stand: 08. November 2014, 19:00]

Hochrasanztraumata aus unserer Studie ausgeschlossen wurden und bei gering kinetischen Traumata seltener diskontinuierliche Frakturen auftreten. Dennoch zeigt dies eine weitere Schwäche der Projektionsradiographie als Screeningmodalität auf. Zwar kann die Röntgenuntersuchung Hinweise dafür liefern, welcher Bereich der Wirbelsäule von einer MDCT abgebildet werden sollte, da ein Scan der gesamten Wirbelsäule mittels MDCT noch höhere effektive Dosen zur Folge hätte. Zumindest bei diskontinuierlichen Wirbelfrakturen könnten dadurch jedoch einzelne Frakturen übersehen werden, wenn der zu untersuchende Bereich aufgrund der unzureichenden Einschätzung mit Hilfe der Röntgenaufnahmen zu klein eingestellt wird.

Andererseits ist gerade bei medizinischen Screeningmodalitäten nicht immer eine hohe Sensitivität und Spezifität zu erreichen wie auch eine Studie von Maxim et al. zeigt, in der allgemein mehrere Screeningmodalitäten verglichen werden (Maxim et al., 2014). Die Frage ist also, ob es derzeit an Stelle der Projektionsradiographie in zwei Ebenen eine bessere Screeningmodalität für die Detektion von thorakalen Wirbelfrakturen gibt. In der Beurteilung ob eine MDCT-Untersuchung auch bei niederenergetischen Traumata der thorakalen Wirbelsäule die erste Bildgebung sein sollte, muss auch die höhere Strahlenbelastung mit einbezogen werden. Für Patienten gibt es zwar keine Grenzen der Strahlenbelastung, da der medizinische Nutzen für sie überwiegt, jedoch muss dieser Nutzen bei jeder Untersuchung individuell hinterfragt werden (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 1987<sup>16</sup>).

In der vorliegenden Studie lag das mittlere DFP für die Röntgenaufnahme in zwei Ebenen bei 19,7 mGy x cm<sup>2</sup> mit einem Wertebereich von 2 bis 238 mGy x cm<sup>2</sup>. Der

---

<sup>16</sup> URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/r\\_v\\_1987/](http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/) [Stand: 18. November 2014, 18:40]

Median war 12,5 mGy x cm<sup>2</sup>. Das DLP für die MDCT-Aufnahme betrug 359,7 mGy x cm, mit einem Wertebereich von 69 bis 1611 mGy x cm, wobei der Median bei 283 mGy x cm lag. Der relativ große Wertebereich lässt sich durch den eingestellten Bildbereich und den unterschiedlichen Body-Mass-Index der Patienten erklären. Dies sollte meiner Meinung nach in zukünftigen Studien ebenfalls in die Auswertung der Daten mit einbezogen werden, da die Dosis abhängig von der Größe des abgebildeten Bereichs ist und der BMI des Patienten auch einen Einfluss auf die Bildqualität der Projektionsradiographie in zwei Ebenen hat (Como et al., 2009). Um eine bessere Aussage über die Strahlenbelastung für den Patienten zu treffen wurde annähernd die effektive Dosis berechnet. Für die Röntgenuntersuchung betrug die effektive Dosis durchschnittlich 5,4 mSv und für die MDCT-Untersuchung 20,9 mSv. Diese Berechnung ist jedoch nur eine sehr grobe Annäherung, da aufgrund der Voreinstellungen des Programms zum Beispiel für die MDCT-Untersuchung nur eine CT-Thorax-Untersuchung eingestellt werden konnte (Medizinische Hochschule Hannover, o.J.<sup>17</sup>). In folgenden Studien sollte also eine andere Methode zur Berechnung der effektiven Dosis genutzt werden. Dennoch unterstreicht dieses Ergebnis die Notwendigkeit, die Strahlenbelastung nicht zu unterschätzen, da die meisten Patienten mehrmals in ihrem Leben mit Hilfe von ionisierender Strahlung untersucht werden. In der Studie von Mettler et al. hatten über 50% mehr als eine CT-Untersuchung pro Tag, 36% hatten Folgescans. Dies erklärt sich auch dadurch, dass die Untersuchung nicht nur zur Diagnosefindung in verschiedenen Körperregionen genutzt wird, sondern auch zum Follow-up für Therapieerfolg und Komplikationen (Mettler et al., 2000).

---

<sup>17</sup> URL: <http://www.mh-hannover.de/1604.html> [Stand 07.November 2014, 17:15].

Zieht man in Betracht, dass die effektive Dosis in Deutschland laut einer aktuellen Studie der Europäischen Kommission bei einer Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule in zwei Ebenen bei etwa 2,2 mSv liegt und bei einer CT-Untersuchung der Wirbelsäule bei etwa 6,3 mSv (Dose Datamed 2 project, 2013<sup>18</sup>) könnte man zunächst schlussfolgern, dass die MDCT so restriktiv wie möglich eingesetzt werden sollte. Da aber ohne die MDCT eine exakte Klassifikation und somit eine Therapieentscheidung nicht möglich ist, sollte ganz im Gegenteil überlegt werden ob nicht Patienten, bei denen aufgrund der körperlichen Untersuchung der dringende Verdacht auf eine Fraktur besteht, direkt eine MDCT-Untersuchung erhalten sollten, um somit die zusätzliche Strahlenbelastung durch die vorangehende Röntgenaufnahme zu vermeiden. Dies sollte auch für Traumata mit geringerer Kinetik gelten, wenn die körperliche Untersuchung einen starken Verdacht zulässt und die Eingrenzung auf eine bestimmte Lokalisation der Wirbelsäule in der CT durch die Röntgenuntersuchung nicht sinnvoll erscheint.

Bei der Beurteilung der Strahlenbelastung muss allerdings auch das Alter des Patienten eine Rolle spielen. Das Patientenkollektiv dieser vorliegenden Arbeit hatte ein mittleres Patientenalter von 62 Jahren ( $\pm 22,7$  Jahre SD) und war zu 53,8% zwischen 66 und 95 Jahre alt. Ältere Patienten werden häufiger mittels ionisierender Strahlung untersucht. Im Jahr 2002 wurden zum Beispiel in deutschen Krankenhäusern etwa 60% der Röntgenuntersuchungen bei Patienten durchgeführt, die 60 Jahre alt oder älter waren. Die Wahrscheinlichkeit von kanzerogenen Folgen durch diese Strahlenexposition ist aber deutlich geringer als für jüngere Patienten

---

<sup>18</sup> URL: [http://www.ddmed.eu/\\_media/news/ddm2\\_project\\_report\\_population\\_dose\\_estimation\\_final\\_draft\\_for\\_web\\_page\\_28\\_jan\\_2013.pdf](http://www.ddmed.eu/_media/news/ddm2_project_report_population_dose_estimation_final_draft_for_web_page_28_jan_2013.pdf) [Stand: 10. März 2014, 20:00]

(Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung 2012<sup>19</sup>; Mettler et al., 2000). Ein Grund für die häufigere Untersuchung mit ionisierender Strahlung ist, dass bei älteren Patienten oft schon ein geringeres Trauma zu einer Wirbelfraktur führen kann, was vermutlich auf eine altersbedingt verminderte Dichte der Knochenstruktur zurückzuführen ist (Bensch et al., 2004). Außerdem können die Symptome bei geriatrischen Patienten milde oder nicht vorhanden sein, obwohl eine Wirbelfraktur vorliegt. Dies zeigte sich in der Studie von Ong et al. im Jahr 2006, in der die Daten von 274 Patienten im Alter von 65 Jahren und älter nach stumpfem Trauma untersucht wurden (Ong et al., 2006). Die Indikation für eine Bildgebung kann daher weniger restriktiv als für junge Patienten gestellt werden. Andererseits muss jedoch auch bedacht werden, dass die Folgeschäden bei einer nicht erkannten Wirbelfraktur für jüngere Patienten bedeutsamer für ihren Lebensalltag sein könnten, sodass individuell in jedem Fall abgewogen werden sollte.

Die relativ geringe Sensitivität aus dieser Studie könnte verschiedene Ursachen haben. Alle Röntgenaufnahmen, deren Befunde in dieser Studie ausgewertet wurden, wiesen eine ausreichende Qualität bezüglich der Vollständigkeit der Abbildung des zu untersuchenden Bereichs, der Auflösung und des Kontrasts auf. Dennoch stellt die Erfahrung des befundenden Arztes ebenfalls einen wichtigen Faktor dar. Zwar wurden die konventionellen Befunde der Assistenzärzte in der vorliegenden Studie von einem Facharzt der Radiologie überprüft, jedoch kann hier ein Fehlerpotential im klinischen Alltag nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die Eastern Association for the Surgery of Trauma stellte im Rahmen einer Metaanalyse eine Richtlinie zum Screeningmanagement von thorakolumbalen Frakturen auf. Demnach sollten Traumapatienten nach Hochrasanztrauma von

---

<sup>19</sup> URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]

einem speziell qualifizierten Arzt körperlich untersucht werden, z.B. durch einen Unfallchirurgen, einen Notfallarzt oder einen Wirbelsäulenchirurgen (Diaz et al., 2007; Como et al., 2009). Dies ist auch bei geringerer Kinetik des Traumas zu fordern, um bei einem Verdacht auf eine Wirbelfraktur umgehend eine adäquate Bildgebung einleiten zu können.

Einerseits ist also eine qualitativ hochwertige körperliche Untersuchung zu fordern, andererseits legen Studien aber nahe, dass mit Hilfe der körperlichen Untersuchung eine Wirbelfraktur nicht sicher ausgeschlossen werden kann (Murphey et al., 1989; Duane et al., 2007; Gonzalez et al., 1999).

Eine Studie von Hsu et al. sieht eine Bildgebung als indiziert, wenn ein stumpfes Trauma im Bereich der Wirbelsäule in Kombination mit einer entsprechenden Klinik vorliegt (Hsu JM, 2003).

Es erfolgt jedoch zum Teil auch bei einem geringen klinischen Verdacht eine radiologische Bildgebung. Neben den medizinischen Folgen einer übersehenen Fraktur für den Patienten und den finanziellen Folgen für das Gesundheitssystem, spielt dabei auch die Sorge des behandelnden Arztes vor einer potentiellen juristischen Klage eine Rolle, wie in einer Studie von Van Goethem et al. thematisiert wird (Van Goethem et al., 2005).

Die zuvor erwähnte Metaanalyse von Diaz et al. bzw. die aktuellere von Como et al. zeigte eindrücklich, dass es keine klar definierten, allgemein anerkannten Diagnosealgorithmen bei Patienten mit Verdacht auf Fraktur im Bereich der Wirbelsäule gibt, insbesondere wenn kein Hochrasanz- oder Polytrauma vorliegt (Diaz et al., 2007; Como et al., 2009). Für die Bildgebung potentieller Verletzungen der Wirbelsäule gibt es also wenige und wenn dann in erster Linie retrospektive Studien, die das Aufstellen einer Richtlinie ermöglichen könnten, wie sich in der

Uptodate-Recherche zeigt (Kaji und Hockberger, 2012<sup>20</sup>). Es fehlen prospektive randomisierte Studien, die neben der Bildgebung auch eine standardisierte körperliche Untersuchung mit einbeziehen und das nicht nur für die häufig betroffenen Bereiche der Wirbelsäule, sondern auch für die gesamte thorakale Wirbelsäule.

Heinemann und Freund fassten 2006 aus ihrer Literaturrecherche zusammen, dass die meisten Autoren zu dem Schluss kommen, dass bei einem normalen oder hohen Verdachtsindex auf eine Wirbelfraktur direkt eine CT-Untersuchung durchgeführt werden sollte (Heinemann und Freund, 2006; Pinto et al., 2006). Bei schweren und multiplen Verletzungen ist es in vielen Krankenhäusern bereits üblich statt der konventionellen Projektionsradiographie die CT im Schockraum zu nutzen, da die CT u.a. bei der Beurteilung einer Spinalkanalstenose der Projektionsradiographie deutlich überlegen ist (Bensch et al., 2004; Dai et al., 2004; Dai et al., 2008). Die Projektionsradiographie wird in einigen Fällen jedoch noch als Screeningmodalität genutzt (Heinemann und Freund, 2006; Pinto et al., 2006). 2002 beschrieben Daffner et al. noch, dass die CT zwar mehr und mehr für die Beurteilung von zervikalen Wirbelfrakturen genutzt würde, eine Röntgenaufnahme der gesamten Wirbelsäule jedoch noch immer Standard sei (Daffner und Daffner, 2002). Einheitlich gehandhabt wird nur, dass die weitere Klassifikation der Wirbelfrakturen dann je nach Patient und zusätzlichen Fragestellungen mittels CT oder MRT erfolgt (Heinemann und Freund, 2006).

Brenner et al. geben in ihrer Studie 2007 zu bedenken, dass das Risiko für kanzerogene Strahlenfolgen für den Einzelnen vermutlich noch als gering

---

<sup>20</sup> URL: <http://www.uptodate.com/contents/evaluation-of-thoracic-and-lumbar-spinal-column-injury> [Stand: 08. November 2014, 19:00]

einzuschätzen sei, sich dies aber aufgrund der steigenden Anzahl von CT-Untersuchungen in der Zukunft zu einem Problem entwickeln könnte. Die CT sei jedoch diagnostisch hoch wertvoll, sodass bei fehlenden Alternativen in erster Linie eine kritische Indikationsstellung und die Vermeidung von Doppeluntersuchungen indiziert wäre (Brenner und Hall, 2007; Mettler et al., 2008). Außerdem gibt es verschiedene Ansätze zur Dosisreduktion der MDCT-Untersuchung.

Mittlerweile können die CT-Protokolle durch automatische Modulationssysteme eine Dosisreduktion bei gleichbleibend guter Bildqualität erzielen (Kubo et al., 2008; Pontana et al., 2011; Ohno et al., 2012).

Einige Studien zeigen, dass dadurch eine Dosisoptimierung von bis zu 70% bei diagnostisch passender Bildqualität erzielt werden kann (Dougeni et al., 2012).

Ein weiterer sehr interessanter diagnostischer Ansatz ohne zusätzliche Strahlenbelastung bietet sich bei Patienten an, die bereits aufgrund einer anderen Fragestellung ein CT erhalten haben. Mehrere Studien konnten zeigen, dass die Diagnose mit dem lateralen Topogramm möglich ist, wenn gezielt nach Wirbelfrakturen gesucht wird (Gestring et al., 2002; Bazzocchi et al., 2012a; Samelson et al., 2011; Chan et al., 2012<sup>21</sup>). In der Studie von Inaba et al. wurde untersucht, inwiefern die reformatierten CT-Scans von Thorax und Abdomen einschließlich Becken z.B. zum Ausschluss zusätzlicher Verletzungen gleichzeitig zur Diagnostik von Wirbelfrakturen geeignet wären. Es zeigte sich auch hier, dass die sagittalen CT-Topogramme als Diagnosewerkzeug für Wirbelfrakturen genutzt werden können. Weitere prospektive Studien könnten untersuchen inwiefern die CT-Protokolle angepasst werden könnten, um sowohl viszerale als auch knöcherne Strukturen optimal abzubilden (Inaba et al., 2004). Wenn ein sehr leichtes oder

---

<sup>21</sup> URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22382256> [Stand: 5. November 2013, 17:00]

inadäquates Trauma vorlag und die Klinik trotzdem für eine Wirbelfraktur spricht, kann laut einer Studie von Bazzocchi et al. ein DXA-Scan zur Diagnostik genutzt werden. So können eine Knochendichteminderung und z.B. osteoporotisch bedingte Wirbelfrakturen aufgedeckt werden (Bazzocchi et al., 2012b).

Eine relative neue Variante der Dosisreduktion ist die Nutzung des iterativen Rekonstruktionsalgorithmus. Mehrere Studien konnten belegen, dass eine Dosisreduktion von etwa 50% erzielt werden kann (Gervaise et al., 2012; Kalmar et al., 2014; Rampado et al., 2012). Seit September 2012 verwendet das Universitätsklinikum Eppendorf diesen Rekonstruktionsalgorithmus für sämtliche CT-Untersuchungen.

Die Limitation der Studie kann darin gesehen werden, dass bei einer im Röntgen übersehenen oberen thorakalen Fraktur keine Schwimmer- oder Fehteraufnahme durchgeführt wurde. Frakturen im zervikothorakalen Übergang werden in der Lateralansicht der thorakalen Wirbelsäule oft nicht entdeckt, da die radiographische Darstellung durch überdeckende Strukturen unübersichtlich sein kann. Die Schwimmer- oder Fehteraufnahme bietet jedoch heutzutage andererseits häufig keinen zusätzlichen diagnostischen Informationsgewinn (Bühren und Josten, 2013).

Die Projektionsradiographie sollte meiner Meinung nach zum jetzigen Zeitpunkt noch immer einen festen Platz als Screeningmodalität bei dem Verdacht auf thorakale Wirbelfrakturen nach niederenergetischen Traumata haben.

Durch die Daten dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass eine nicht unerhebliche Zahl von thorakalen Wirbelfrakturen in der Projektionsradiographie falsch negativ oder falsch positiv beurteilt wurden und die diagnostische Genauigkeit und v.a. die Sensitivität verglichen mit dem gewählten Goldstandard, der MDCT, wie erwartet deutlich geringer war. Dennoch liefert die Projektionsradiographie in

Zusammenschau mit den klinischen Befunden eine ausreichende Aussagekraft mit verhältnismäßig geringer Strahlenbelastung, die den abzubildenden Bereich in der MDCT eingrenzen kann. Alle in der Projektionsradiographie übersehenen Frakturen waren zudem stabil, bis auf einen Sonderfall.

In Zukunft wird jedoch die Bedeutung der Projektionsradiographie tendenziell weiter abnehmen, da die Strahlenbelastung durch die qualitativ hochwertigere MDCT-Untersuchung durch den technischen Fortschritt bereits stark gesenkt werden konnte und sich sowohl Qualität als auch Reduktion der Strahlenbelastung noch weiter verbessern werden.

## 5 Zusammenfassung

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, den Stellenwert der Projektionsradiographie in der Diagnostik von thorakalen Wirbelfrakturen nach geringkinetischen Traumata in Hinblick auf diagnostische Genauigkeit und Dosis herauszuarbeiten. Verglichen wurde mit der Computertomographie als Goldstandard.

Hierzu wurden 130 elektronische Patientenakten ausgewertet. Insgesamt lag bei 59 Patienten gar keine thorakale Wirbelfraktur vor und bei 71 Patienten mindestens eine. Bei 21 Patienten traten mehr als eine Wirbelfraktur auf. Bei der Beurteilung der gesamten BWS lag die diagnostische Genauigkeit des Röntgenbefundes bei 64,6%. Die Beurteilung bezogen auf drei Wirbelsäulenabschnitte ergab, dass der Röntgenbefund im oberen Wirbelsäulenabschnitt eine diagnostische Genauigkeit von 97,5% erreichte, im mittleren 95,2% und im unteren 93,8%. Bei der Beurteilung der einzelnen thorakalen Wirbel ergab sich eine diagnostische Genauigkeit von 95,5%. Bis auf einen Sonderfall waren alle übersehenen Frakturen stabil. Der Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstest war mit einem  $p < 0,001$  hoch signifikant. Eine annähernde Berechnung ergab für die Projektionsradiographie eine durchschnittliche effektive Dosis von etwa 5,4 mSv und für die Computertomographie von etwa 20,9 mSv.

Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die Projektionsradiographie derzeit eine ausreichend gute Screeningmodalität mit geringem Strahlenrisiko bei der Frage nach thorakalen Wirbelfrakturen nach niederkinetischem Trauma darstellt.

## 6 Summary

The intention of this retrospective study was to find out whether X-ray-studies are still an important screening tool in diagnosis of thoracic vertebral fractures after low-kinetic trauma. Diagnostic accuracy and dose were compared to MDCT, which was determined as gold standard.

130 electronic medical records were analyzed. There was no thoracic vertebral fracture in 59 patients and in 71 patients there was at least one. More than one thoracic vertebral fracture occurred in 21 cases. In the assessment of the whole thoracic vertebral column, X-ray-examination reached a diagnostic accuracy of 64.6%. The assessment of the thoracic vertebral column subdivided into three parts revealed a diagnostic accuracy of 97.5% in the upper part, 95.2% in the middle part and 93.8% in the lower part. In the assessment of every single thoracic vertebra there was a diagnostic accuracy of 95.5%. Apart from one special case, all missed fractures were stable. The Chi-square test was highly significant ( $p < 0,001$ ). An approximate calculation revealed an effective dose of about 5.4 mSv for X-ray-examination and of about 20.9 mSv for MDCT-scan.

As a result, for today's standards X-ray-examination is still an important screening tool with low risk of radiation in diagnosis of thoracic vertebral fractures after low-kinetic trauma.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

<	kleiner als
>	größer als
±SD	Standardabweichung addiert oder subtrahiert
Abb.	Abbildung
a.p.	antero-posterior
bspw.	beispielsweise
BWK	Brustwirbelkörper (Synonym: thorakaler Wirbelkörper)
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C 1, C 6, C 7	zervikaler Wirbelkörper Nummer 1, Nummer 6, Nummer 7
ca.	circa
Chi <sup>2</sup>	Chi-Quadrat
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DFP	Dosis-Flächen-Produkt
DLP	Dosis-Längen-Produkt
DNS	Desoxyribonukleinsäure
et al.	und andere
Gy	Gray
HE	Hounsfield-Einheit(en)
ICRP	International Commission on Radiological Protection = Internationale Strahlenschutzkommission
J/kg	Joule pro Kilogramm
kV	Kilovolt
keV	Kiloelektronenvolt
L 1, L 2, L 5	lumbaler Wirbelkörper Nummer 1, Nummer 2, Nummer 5
mAs	Milliamperesekunde(n)
MDCT	Multidetektor-Computertomographie
MeV	Megaelektronenvolt
mm	Millimeter
MPR	Multiplanare Rekonstruktion
MRT	Magnetresonanztomographie

mGy	Milligray
mGy x cm	Milligray mal Zentimeter
mGy x cm <sup>2</sup>	Milligray mal Quadratzentimeter
mSv	Millisievert
NPV	Negativer Prädiktiver Wert
o.J.	ohne Jahresangabe
PPV	Positiver Prädiktiver Wert
RöV	Röntgenverordnung
s.	siehe
S 1	sakraler Wirbelkörper Nummer 1
S 3/6	sakraler Wirbelkörper 3 oder 6
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks = Wissenschaftlicher Ausschuss „Neu auftretende und identifizierte Gesundheitsrisiken“
neu	identifizierte Gesundheitsrisiken“
SD	Standardabweichung, s. ± in diesem Verzeichnis
Sv	Sievert
Th 1 bis 12	thorakaler Wirbelkörper Nummer 1 bis Nummer 12
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
WS-Abschnitt	Wirbelsäulenabschnitt
x	Mal (Multiplikation)
z.B.	zum Beispiel

## 8 Literaturverzeichnis

1. Bazzocchi A, Spinnato P, Albisinni U, Battista G, Rossi C, Guglielmi G (2012a) A careful evaluation of scout CT lateral radiograph may prevent unreported vertebral fractures. *Eur J Radiol.* 81 (9): 2353–2357.
2. Bazzocchi A, Spinnato P, Fuzzi F, Diano D, Morselli-Labate AM, Sassi C, Salizzoni E, Battista G, Guglielmi G (2012b) Vertebral fracture assessment by new dual-energy X-ray absorptiometry. *Bone.* 50 (4): 836–841.
3. Bensch FV, Kiuru MJ, Koivikko MP, Koskinen SK (2004) Spine fractures in falling accidents: analysis of multidetector CT findings. *Eur Radiol.* 14 (4): 618–624.
4. Bernau A, Bohndorf K (2010) Röntgendiagnostik in Orthopädie und Traumatologie: Einstelltechnik und Röntgenanatomie, 5. Aufl., Elsevier, Urban & Fischer, München, 46-56.
5. Bernstein M (2010) Easily missed thoracolumbar spine fractures. *Eur J Radiol.* 74 (1): 6–15.
6. Besman A, Kaban J, Jacobs L, Jacobs LM (2003) False-negative plain cervical spine x-rays in blunt trauma. *Am J Surg.* 69 (11): 1010–1014.
7. Brandt MM, Wahl WL, Yeom K, Kazerooni E, Wang SC (2004) Computed tomographic scanning reduces cost and time of complete spine evaluation. *J Trauma.* 56(5): 1026-8.
8. Brenner DJ, Hall EJ (2007) Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 357 (22): 2277–2284.
9. Bühren V, Josten C (2013) Chirurgie der verletzten Wirbelsäule: Frakturen, Instabilitäten, Deformitäten, Springer, Berlin, 6-225.
10. Bundesärztekammer (2007) Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. [Online im Internet] URL: <http://www.bundesaerztekammer.de/downloads/LeitCT2007Korr-1.pdf> [Stand: 18 November 2014, 17:30].
11. Bundesamt für Strahlenschutz. Ionisierende Strahlung. Anwendungen in der Medizin. [Online im Internet] URL: <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grundsaeetze/grundsaeetze.html> [Stand: 25.10.2015, 16:20].
12. Bundesamt für Strahlenschutz, Unterrichtung durch die Bundesregierung (2012) Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012. pdf:6. [Online im Internet] URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014040311384> [Stand: 29. August 2014, 20:00]
13. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (1987) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen, §23. [Online im Internet] URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/r\\_v\\_1987/](http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/) [Stand: 18. November 2014, 18:40].
14. Calendine CL, Fajman WA, Hanna SL, Tigges S (2002) Is there need for thoracic spine radiographs following a negative chest CT in trauma patients? [Online im Internet] URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15290549> [Stand: 5. November 2013, 20:30].
15. Cassar-Pullicino VN (2002) Spinal injury: optimising the imaging options. *Eur J Radiol.* 42 (2): 85–91.

16. Chan PL, Reddy T, Milne D, Bolland MJ (2012) Incidental vertebral fractures on computed tomography. [Online im Internet] URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22382256> [Stand: 5. November 2013, 17:00].
17. Chew BG, Swartz C, Quigley MR, Altman DT, Daffner RH, Wilberger JE (2013) Cervical spine clearance in the traumatically injured patient: is multidetector CT scanning sufficient alone? *J Neurosurg Spine*. 19 (5): 576–581.
18. Como JJM, Diaz JJM, Dunham CMM, Chiu WCM, Duane TMM, Capella JMM, Holevar MRM, Khwaja KAM, Mayglothling JAM, Shapiro MBM, Winston ESM (2009) Practice Management Guidelines for Identification of Cervical Spine Injuries Following Trauma: Update From the Eastern Association for the Surgery of Trauma Practice Management Guidelines Committee. *J Trauma*. 67 (3): 651–659.
19. Daffner RH (2011) *Imaging of vertebral trauma*, 3. Aufl., Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York: 224.
20. Daffner RH, Daffner SD (2002) Vertebral injuries: detection and implications. *Eur J Radiol*. 42 (2): 100–116.
21. Dai LY, Wang XY, Jiang LS (2008) Evaluation of traumatic spinal canal stenosis in thoracolumbar burst fractures. A comparison of three methods for measuring the percent canal occlusion. *Eur J Radiol*. 67 (3): 526–530.
22. Dai LY, Yao WF, Cui YM, Zhou Q (2004) Thoracolumbar fractures in patients with multiple injuries: diagnosis and treatment—a review of 147 cases. *J Trauma*. 56 (2): 348–355.
23. Denis F (1983) The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *J Spine (Phila Pa 1976)*. (8): 817–831.
24. Diaz JJ, Cullinane DC, Altman DT, Bokhari F, Cheng JS, Como J, Gunter O, Holevar M, Jerome R, Kurek SJ, Lorenzo M, Mejia V, Miglietta M, O'Neill PJ, Rhee P, Sing R, Streib E, Vaslef S (2007) Practice Management Guidelines for the Screening of Thoracolumbar Spine Fracture. *J Trauma*. 63 (3): 709–718.
25. Dose Datamed 2 project (2013) DDM2 Project Report on European Population Dose Estimation. Study on European Population Doses from Medical Exposure (Dose Datamed 2). [Online im Internet] URL: [http://www.ddmed.eu/\\_media/news:ddm2\\_project\\_report\\_population\\_dose\\_estimation\\_final\\_draft\\_for\\_web\\_page\\_28\\_jan\\_2013.pdf](http://www.ddmed.eu/_media/news:ddm2_project_report_population_dose_estimation_final_draft_for_web_page_28_jan_2013.pdf) [Stand: 10. März 2014, 20:00].
26. Dougeni E, Faulkner K, Panayiotakis G (2012) A review of patient dose and optimisation methods in adult and paediatric CT scanning. *Eur J Radiol*. 81 (4): e665-83.
27. Duane TM, Dechert T, Wolfe LG, Aboutanos MB, Malhotra AK, Ivatury RR (2007) Clinical examination and its reliability in identifying cervical spine fractures. *J Trauma*. 62 (6): 1405-8.
28. Gervaise A, Osemont B, Lecocq S, Noel A, Micard E, Felblinger J, Blum A (2012) CT image quality improvement using adaptive iterative dose reduction with wide-volume acquisition on 320-detector CT. *Eur Radiol*. 22 (2): 295–301.
29. Gestring ML, Gracias VH, Feliciano MA, Reilly PM, Shapiro MB, Johnson JW, Klein W, Kauder DR, Schwab CW (2002) Evaluation of the lower spine after blunt trauma using abdominal computed tomographic scanning supplemented with lateral scanograms. *J Trauma*. 53 (1): 9–14.

30. Gonzalez RP, Fried PO, Bukhalo M, Holevar MR, Falimirski ME (1999) Role of clinical examination in screening for blunt cervical spine injury. *J Am Coll Surg.* 189 (2): 152–157.
31. Hauser CJ, Visvikis G, Hinrichs C, Eber CD, Cho K, Lavery RF, Livingston DH (2003) Prospective Validation of Computed Tomographic Screening of the Thoracolumbar Spine in Trauma. *J Trauma.* 55 (2): 228–235.
32. Heinemann U, Freund M (2006) Diagnostic strategies in spinal trauma. *Eur J Radiol.* 58 (1): 76–88.
33. Hosten N (2000) Computertomographie von Kopf und Wirbelsäule, Thieme, Stuttgart, 312.
34. Hsu JM, Joseph T, Ellis AM (2003) Thoracolumbar fracture in blunt trauma patients: guidelines for diagnosis and imaging. *Injury.* 34(6): 426-33.
35. Inaba K, Munera F, McKenney M, Schulman C, de Moya M, Rivas L, Pearce A, Cohn S (2006) Visceral Torso Computed Tomography for Clearance of the Thoracolumbar Spine in Trauma: A Review of the Literature. *J Trauma.: Injury, Infection, and Critical Care.* 60(4): 915-20.
36. Izzo R, Guarnieri G, Guglielmi G, Muto M (2013) Biomechanics of the spine. Part II: spinal instability. *Eur J Radiol.* 82 (1): 127–138.
37. Kaji A, Hockberger R (2012) Evaluation of thoracic and lumbar spinal column injury. [Online im Internet] URL: <http://www.uptodate.com/contents/evaluation-of-thoracic-and-lumbar-spinal-column-injury> [Stand: 08. November 2014, 19:00].
38. Kalender WA (2000) Computertomographie: Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen, Publicis MCD Verl., München, 68-69.
39. Kalmar PI, Quehenberger F, Steiner J, Lutfi A, Bohlsen D, Talakic E, Hassler EM, Schöllnast H (2014) The impact of iterative reconstruction on image quality and radiation dose in thoracic and abdominal CT. *Eur J Radiol.* 83 (8): 1416–1420.
40. Karul M, Bannas P, Schoennagel BP, Hoffmann A, Wedegaertner U, Adam G, Yamamura J (2013) Fractures of the thoracic spine in patients with minor trauma: Comparison of diagnostic accuracy and dose of biplane radiography and MDCT. *Eur J Radiol.* 82 (8): 1273–1277.
41. Krieger H (2012) Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes, 4. Aufl., Springer Spektrum, Wiesbaden, 306-323.
42. Krieger H (2013) Strahlungsmessung und Dosimetrie, 2. Aufl., Springer Spektrum, Wiesbaden, 195-350.
43. Kubo T, Lin PJP, Stiller W, Takahashi M, Kauczor HU, Ohno Y, Hatabu H (2008) Radiation Dose Reduction in Chest CT: A Review. *AJR Am J Roentgenol.* 190 (2): 335–343.
44. Maxim LD, Niebo R, Utell MJ (2014) Screening tests: a review with examples. *Inhal Toxicol.* 26 (13): 811–828.
45. Medizinische Hochschule Hannover. Hannover. [Online im Internet] URL: <http://www.mh-hannover.de/1604.html> [Stand 07.November 2014, 17:15].
46. Mettler FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M (2008) Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology.* 248 (1): 254–263.
47. Mettler FA, Wiest PW, Locken JA, Kelsey CA (2000) CT scanning: patterns of use and dose. *J Radiol Prot.* 20 (4): 353–359.
48. Miamed. Amboss. Lernkarte: Wirbelkörperfraktur. Klassifikation. [Online im Internet] URL: <https://amboss.miamed.de/library#xid=M30MQf> [Stand 15. April 2016, 09:00].

49. Murphey MD, Batnitzky S, Bramble JM (1989) Diagnostic imaging of spinal trauma. *Radiol Clin North Am.* 27(5): 855-72.
50. Nelson DW, Martin MJ, Martin ND, Beekley A (2013) Evaluation of the risk of noncontiguous fractures of the spine in blunt trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* 75(1): 135-9.
51. Ohno Y, Takenaka D, Kanda T, Yoshikawa T, Matsumoto S, Sugihara N, Sugimura K (2012) Adaptive iterative dose reduction using 3D processing for reduced- and low-dose pulmonary CT: comparison with standard-dose CT for image noise reduction and radiological findings. *AJR Am J Roentgenol.* 199 (4): W477-85.
52. Ong AW, Rodriguez A, Kelly R, Cortes V, Protetch J, Daffner RH (2006) Detection of cervical spine injuries in alert, asymptomatic geriatric blunt trauma patients: who benefits from radiologic imaging? *Am J Surg.* 72 (9): 773-6.
53. Paulsen, Waschke (2010) *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen*, 23. Aufl., Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München, 53.
54. Petersilge CA, Pathria MN, Emery SE, Masaryk TJ (1995) Thoracolumbar burst fractures: evaluation with MR imaging. *Radiology.* 194 (1): 49–54.
55. Pinto F, Bode PJ, Tonerini M, Orsitto E (2006) The role of the radiologist in the management of polytrauma patients. *Eur J Radiol.* 59 (3): 315–316.
56. Pontana F, Duhamel A, Pagniez J, Flohr T, Faivre JB, Hachulla AL, Remy J, Remy-Jardin M (2011) Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 2): image quality of low-dose CT examinations in 80 patients. *Eur Radiol.* 21 (3): 636–643.
57. Prokop M (2003) General principles of MDCT. *Eur J Radiol.* 45 (1): 4-10.
58. Rampado O, Bossi L, Garabello D, Davini O, Ropolo R (2012) Characterization of a computed tomography iterative reconstruction algorithm by image quality evaluations with an anthropomorphic phantom. *Eur J Radiol.* 81 (11): 3172–3177.
59. Reiser M, Kuhn FP, Debus J (2011) *Radiologie*, 3. Aufl., Thieme, Stuttgart, 1-640.
60. Röntgen WC (1896) Eine neue Art von Strahlen. [Aus den „Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft“, 1895], Würzburg: Stahel, 1-9.
61. Samelson EJ, Christiansen BA, Demissie S, Broe KE, Zhou Y, Meng CA, Yu W, Cheng X, O'Donnell CJ, Hoffmann U, Genant HK, Kiel DP, Bouxsein ML (2011) Reliability of vertebral fracture assessment using multidetector CT lateral scout views: the Framingham Osteoporosis Study. *Osteoporos Int.* 22 (4): 1123–1131.
62. SCENIR: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2012), Health effects of security scanners for passenger screening (based on X-ray technology). 24. [Online im Internet] URL: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_o\\_036.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_036.pdf) [Stand: 06. März 2016, 13:30]
63. Schünke M (2005) *Prometheus: LernAtlas der Anatomie*, Thieme, Stuttgart, 99-108.
64. Stäbler A (2005) *Handbuch diagnostische Radiologie: Muskuloskelettales System 1.*, Springer, Berlin, 149-181.
65. Valentin J (2007) *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* Published for the International Commission on Radiological Protection by Elsevier, Oxford, England.

66. Valentini MC, Busch R, Ferraris MM, Venturi F (2006) The role of imaging in the choice of correct treatment of unstable thoraco-lumbar fractures. *Eur J Radiol.* 59 (3): 331–335.
67. Van Goethem JW, Maes M, Ozsarlak O, van den Hauwe L, Parizel PM (2005) Imaging in spinal trauma. *Eur Radiol.* 15 (3): 582–590.
68. Wiesmann M (2014) *Atlas Klinische Neuroradiologie: Wirbelsäule und Spinalkanal*, Springer, Berlin, Heidelberg, 76.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anatomischer Aufbau eines thorakalen Wirbels

Abb. 2: Drei-Säulen-Modell nach Denis

Abb. 3: Kollektive effektive Dosis

Abb. 4: Relative Altersverteilung zum Zeitpunkt der Untersuchung

Abb. 5: Anzahl der thorakalen Wirbelfrakturen je Patient

Abb. 6: Erläuterung der falsch positiven Befunde der Röntgenuntersuchung

Abb. 7: Erläuterung der falsch negativen Befunde der Röntgenuntersuchung

Abb. 8: Anzahl der thorakalen Wirbelfrakturen innerhalb

eines Wirbelsäulenabschnitts

Abb. 9: Anzahl der einzelnen Wirbelfrakturen von Th1 - Th12

Abb. 10: Fallbeispiel mit richtig-positivem Röntgenbefund

Abb. 11: Fallbeispiel mit falsch-negativem Röntgenbefund

Abb. 12: Fallbeispiel mit falsch-positivem Röntgenbefund

## **10 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Gewebe-Wichtungsfaktoren nach ICRP 103

Tabelle 2: Vierfeldertafel

Tabelle 3: Ergebnisse für die Wirbelsäulenabschnitte

## 11 Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. G. Adam, Direktor des Zentrums für Radiologie und Endoskopie und der Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf für die Zustimmung zur Durchführung der vorliegenden Arbeit in seiner Klinik.

Außerdem danke ich meinem Doktorvater Herrn Priv.-Doz. Dr. med. J. Yamamura für die Überlassung des Themas und seine hilfreiche Kritik.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. med. M. Karul, der jederzeit als Ansprechpartner für mich da war und viele wertvolle Ratschläge für mich hatte.

Ich danke auch Frau Dipl.-Math. oec. S. Sehner und meiner Freundin Anika für die statistische Beratung.

Ein großes Dankeschön auch an meine liebe Familie, einschließlich Sebastian! Ihr seid immer für mich da, wenn ich euch brauche. Außerdem meiner Mutter, meiner Schwester und meinem Freund Markus für das geduldige Korrekturlesen und die Unterstützung!

---

**12**

**entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen**

---

**entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen**

## **13 Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift:.....