

Aus dem Zentrum der Radiologie
des Klinikums der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Direktor Prof. Dr. med. Thomas J. Vogl

**Untersuchung zum Auftreten von Zementleckagen und
intravertebrale Zementverteilung bei CT-gesteuerter
Perkutaner Vertebroplastie in Abhängigkeit von
der Kanülenlage**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereiches Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von

Christian Fiebig

aus Leipzig

Frankfurt am Main, 2009

Dekan: Prof. Dr. Josef M. Pfeilschifter

Erster Gutachter: Prof. Dr. med. Martin Mack

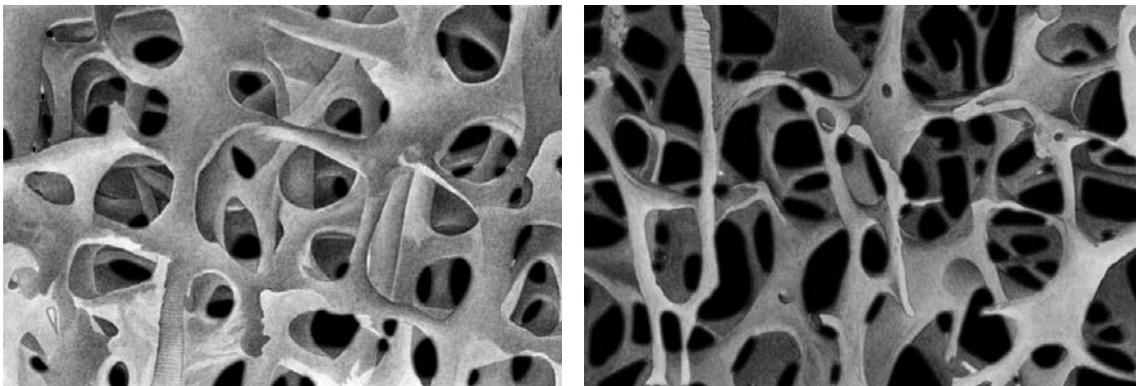
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. med. Ingo Marzi

| | |
|--|------------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Osteoporose..... | 1 |
| 1.2 Vertebrale Metastasen..... | 3 |
| 1.3 Entwicklungsgeschichte der Perkutanen Vertebroplastie..... | 4 |
| 2. Anatomische Vorbetrachtung | 7 |
| 2.1 Die Wirbelsäule..... | 7 |
| 2.2 Der Wirbelkörper..... | 9 |
| 2.3 Gefäßversorgung..... | 11 |
| 2.3.1 Die arterielle Versorgung..... | 11 |
| 2.3.2 Die venöse Versorgung..... | 12 |
| 2.4 Fraktur-Grundlagen..... | 13 |
| 2.4.1 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen..... | 13 |
| 2.4.2 Traumatische Wirbelkörperfrakturen..... | 15 |
| 2.4.3 Klassifikationen..... | 15 |
| 2.4.3.1 Typ-A Frakturen..... | 16 |
| 2.4.3.2 Typ-B Frakturen..... | 18 |
| 2.4.3.3 Typ-C Frakturen..... | 20 |
| 2.5 Das Säulenmodell der Wirbelsäule..... | 22 |
| 3. Diagnosik | 22 |
| 3.1 Körperliche Untersuchung..... | 23 |
| 3.2 Konventionelle radiologische Diagnostik..... | 23 |
| 3.3 Computertomografie..... | 25 |
| 3.4 Kernspintomografie..... | 26 |
| 4. Fragestellung | 28 |
| 5. Indikationen | 28 |
| 5.1 Relative Kontraindikationen..... | 29 |
| 5.2 Absolute Kontraindikationen..... | 30 |
| 6. Operationstechnik Perkutane Vertebroplastie | 30 |
| 6.1 Zugangsarten - Unilateraler versus bilateraler Zugang..... | 30 |
| 6.2 Positionierung der Vertebroplastiekanülen und intravertebrale Verteilung des Zementbolus..... | 31 |
| 6.3 Komplikation Zementleckage | 35 |
| 6.3.1 Typ B-Leckage | 38 |
| 6.3.2 Typ S-Leckage..... | 39 |
| 6.3.3 Typ C-Leckage..... | 39 |
| 6.4 Vor- und Nachteile der Perkutanen Vertebroplastie..... | 40 |
| 6.4.1 Vorteile der Vertebroplastie..... | 40 |
| 6.4.2 Nachteile der Vertebroplastie..... | 40 |
| 6.5 Perkutane Vertebroplastie..... | 41 |
| 6.5.1 Material und Methoden..... | 41 |
| 6.5.1.1 Computertomograph..... | 41 |
| 6.5.1.2 Fluoroskopie..... | 41 |
| 6.5.1.3 Vertebroplastie-Materialien..... | 42 |
| 6.5.2 Präoperatives Management..... | 43 |
| 6.5.3 Durchführung..... | 44 |
| 6.5.3.1 Vorbereitungsphase..... | 44 |
| 6.5.3.2 Punktionsphase..... | 46 |
| 6.5.3.3 Applikationsphase..... | 49 |
| 6.5.3.4 Rückzugsphase..... | 51 |
| 6.5.3.5 Nachbereitungsphase..... | 51 |
| 7. Auswertung | 52 |
| 8. Diskussion | 87 |
| 9. Zusammenfassung | 93 |
| 10. Abbildungsverzeichnis | 95 |
| 11. Literaturverzeichnis | 98 |
| 12. Danksagung | 107 |
| 13. Lebenslauf | 108 |
| 14. Ehrenwörtliche Erklärung | 109 |
| 15. Abstract | 110 |

1. Einleitung

1.1 Osteoporose

Die Wirbelkörperfraktur stellt die häufigste und zugleich schwerste Frakturvariante bei Osteoporose [1] dar. Sie gehört laut Definition der WHO zu den Merkmalen einer manifesten Osteoporose. Diese ist eine systemische Skeletterkrankung, welche durch erniedrigte Knochenmasse, sowie die Verschlechterung der ossären Mikroarchitektur gekennzeichnet ist. Die höchste Ausprägung der Erkrankung ist im fortgeschrittenen Alter zu beobachten und die Prävalenz in Deutschland liegt bei 4.0-6.0 Millionen im Jahr. Umgerechnet auf die weibliche Population nimmt das Risiko einer vertebrealen Kompressionsfraktur zwischen dem 60. und 90. Lebensjahr etwa um das Zwanzigfache zu, während bei Männern vor allem die Population im mittleren Erwachsenenalter, vermutlich traumatisch bedingt, das Inzidenzmaximum dieses Frakturtyps aufweist [8,66].



Normale spongiöse Knochenstruktur

Osteoporotisch veränderte Knochenstruktur

Abbildung 1: Nach Orion Pharma GmbH Espoo, Finnland

Durch die progrediente Überalterung der Bevölkerung der Industrienationen ist ein Anstieg der Wirbelkörperfrakturen auf den vierfachen Wert in den nächsten 50 Jahren zu erwarten [2,4]. Die Wirbelkörperfraktur bei Osteoporose tritt meist ohne adäquates Trauma auf, es handelt sich somit um Spontanfrakturen. Diese können als Mikrofrakturen in Erscheinung treten, welche keine sichtbaren Wirbelkörperveränderungen aufweisen. Die röntgenologisch nachweisbare Makrofraktur tritt meist in Form eines Keilbruches / Kompressionsbruch auf.

Schon heute ist diese Art der Kompressionsfraktur doppelt so häufig anzutreffen, wie osteoporotisch bedingte Frakturen der proximalen Femora [5,6,7], wobei das allgemeine Risiko einer Wirbelkörperfraktur bei manifester Osteoporose bei 50% [9] liegt. Unabhängig von der Art der Fraktur sind beide Ausprägungen schmerzhaft und schränken die Lebensqualität des Betroffenen deutlich ein. Die reduzierte Mobilität kann bis zur Bettlägerigkeit des Patienten führen, was wiederum verschiedenen Folgekomplikationen nach sich ziehen kann. Die Mortalität ist in den Reihen der Betroffenen im Gegensatz zur gleichaltrigen gesunden Bevölkerung, aufgrund begleitender Einschränkungen, sogar um 23-35% erhöht [3]. Die daraus resultierenden Kosten der Osteoporose für Nachbehandlungen und medikamentöse Therapien werden sich in Deutschland auf über 5,4 Mrd. Euro (BoneEVA-Studie, Gmündener Ersatzkasse 2003) belaufen. Die Behandlung der Osteoporose wird immer dann besonders kostenintensiv, wenn Frakturen vorliegen. Dies ist zwar nur bei 4,3% aller Patienten der Fall, jedoch verursachen diese Fälle 61% der Gesamtkosten der Erkrankung. Die Kosten im Einzelfall ohne begleitende Fraktur betragen jährlich 281 Euro. Die Anwendungen für Patienten mit osteoporotisch bedingten Frakturen liegen hingegen bei jährlich 9.962 Euro.

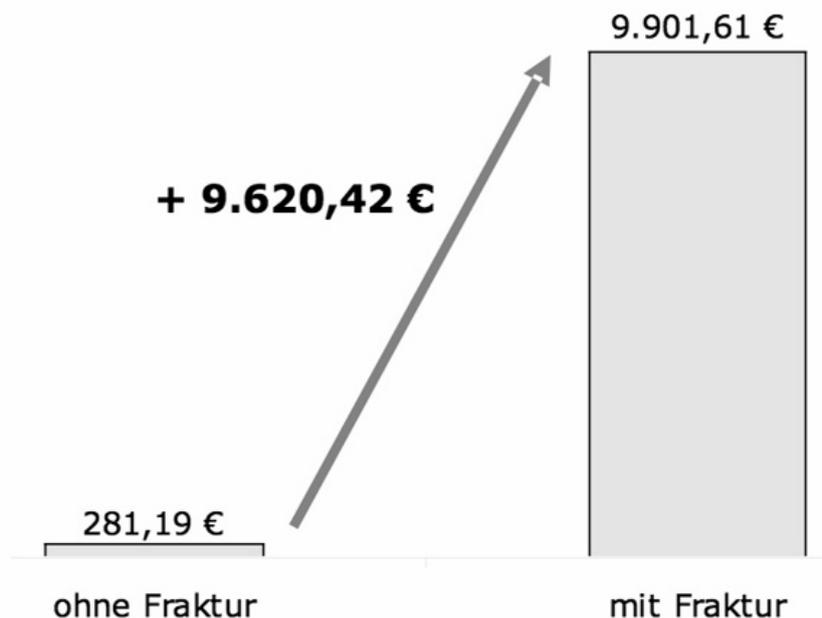


Abbildung 2: Kosten der Osteoporose mit und ohne Fraktur, BoneEVA-Studie, Gmündener Ersatzkasse

Eine frühe Behandlung, bevor statikverändernde Prozesse die Behandlung erschweren, kann die Kosten deutlich verringern. Nach der vertebroplastischen Versorgung einer osteoporotisch bedingten Wirbelkörperfraktur kann in 85-100% der Fälle eine deutliche Reduktion der Schmerzsymptomatik nachgewiesen werden [16,67,68,73,75,76,79,94,95,96]. Es steht außer Frage, dass die Perkutane Vertebroplastie ein effektives Behandlungsverfahren zur Schmerzreduktion nach osteoporotisch bedingter Wirbelkörperfraktur darstellt.

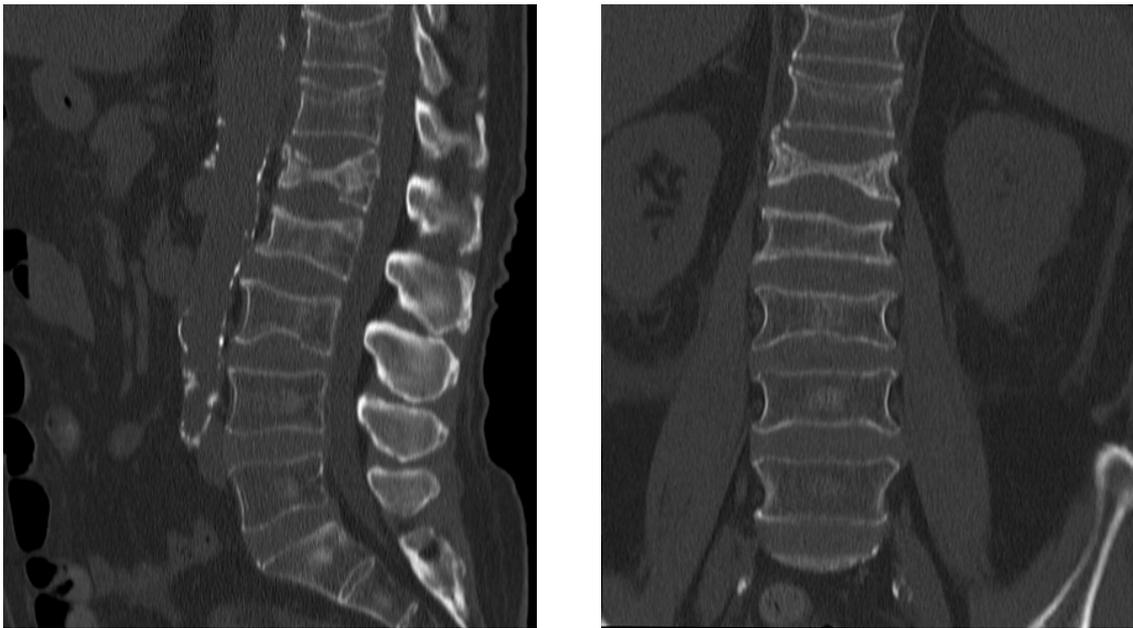


Abbildung 3: Computertomografische Rekonstruktion osteoporosebedingter Wirbelkörperfrakturen. Eigener Patient.

1.2 Vertebrale Metastasen

Die Wirbelkörper stellen die häufigste Lokalisation von Skelettmetastasen dar. Unabhängig von ihrem Auftreten verlaufen sie in den meisten Fällen asymptomatisch und werden erst im Rahmen von Knochenszintigrafien oder im Diagnoseprozess bei stattgehabter Wirbelkörperfraktur erkannt. In den 80er Jahren wurde erstmals die vertebroplastische Versorgung von Skelettmetastasen im Bereich der Wirbelsäule durchgeführt. In mehreren Studien wurden eine schnell einsetzende Schmerzreduktion, sowie ein lang anhaltender Effekt auf die Schmerzsymptomatik dargestellt. Auch wurde die, durch die vertebroplastische Therapie erreichte Stabilisierung der betroffenen Wirbel-

körper untersucht. Es wurden hier gute bis sehr gute Ergebnisse gefunden [10,11,12,13,80,85,87,89,91]. Der ausreichende analgetische Effekt der Vertebroplastie im Rahmen der Versorgung von osteolytischen Wirbelkörperveränderungen ist am ehesten auf die stabilisierende Wirkung und die zytotoxischen Effekte des Methylmetacrylates zurückzuführen.

Die Kompression des Rückenmarks, sowie die Einengung der Foramina intervertebralia können durch die vertebroplastische Behandlung nicht beeinflusst werden. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn der Wirbelkörper nicht mehr als $\frac{3}{4}$ seiner ursprünglichen Höhe verloren hat. Studien zeigen, dass bei 90-100% aller Patienten mit osteolytischen Wirbelkörperveränderungen eine deutliche Schmerzreduktion nachgewiesen werden kann [10,12,89].

1.3 Entwicklungsgeschichte der Perkutanen Vertebroplastie

Eine Wirbelkörperfraktur kann mittels unterschiedlicher Verfahren behandelt werden. Lange Zeit stellte die konservative Therapie in Kombination mit physiotherapeutischen Maßnahmen und adäquater Schmerztherapie das Mittel der Wahl. Jedoch zeigte sich, dass eine ausreichende Ruhigstellung des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes zur Einheilung nicht erreicht werden kann. Die Patienten klagten oft noch Monate nach Behandlungsbeginn über Schmerzsymptomaten, wie sie kurz nach dem Frakturereignis auftraten. Es musste ein Weg gefunden werden die auftretenden axialen Kräfte um die Fraktur herum zu leiten, da eine komplette Ausschaltung dieser Kräfte eine komplette Immobilisierung des Patienten bedeutete. Dies war keine Option, da die Folgekomplikationen, wie Involutionstrophie der Muskulatur und des Skelettsystems, orthostatische Dysregulationen des Kreislaufsystems, sowie Lagerungs- und Liegeschäden die Patienten in hohem Maße belastet hätten. Es folgte die Einführung des Fixateur interne. Hier wurden zwei parallel zur Wirbelsäule verlaufenden Metallstangen in die Loge der autochtonen Rückenmuskulatur implantiert. Diese wurde mittels transpedikulärer Verschraubungen in die nicht frakturierten Wirbelkörper kranial und kaudal des zu überbrückenden Wirbelkörpers eingebracht. Dazu war eine großflächige Eröffnung des OP-Gebietes notwendig. Außerdem wurden die angrenzenden

gesunden Wirbelkörper ebenfalls einbezogen. Im Anschluß an die Wundheilung war eine umfassende Rehabilitationszeit angedacht. Dies war hauptsächlich notwendig, da die Anlage eines Fixateur interne eine deutliche Mobilitäts-einschränkung des Patienten mit sich brachte.

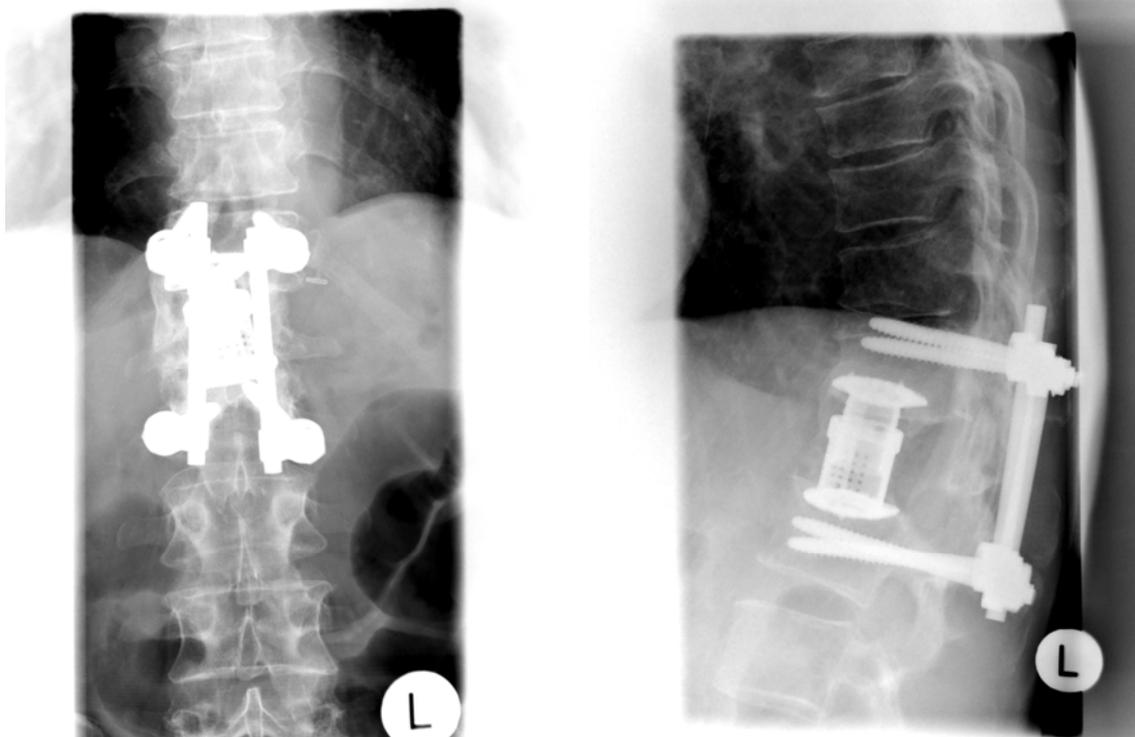


Abbildung 4: Mittels eines Fixateur interne und Cage versorgte Wirbelkörperfraktur mit kranialer Auswanderung der Pedikelschrauben. Eigene Patienten.

Bei osteoporotischer Stoffwechsellage war die ossäre Rarefizierung jedoch nicht auf einen Wirbelkörper beschränkt. So zeigten sich Probleme, die Pedikelschrauben mit entsprechender Festigkeit einzubringen. Die erste Vertebroplastie wurde von Galibert und Deramond et al. [46] 1987 in Frankreich durchgeführt. Ursprünglich sollten durch die Zementapplikation in den Wirbelkörper eine stabile Umgebung zur Einschraubung der transpedikulären Schrauben bei Fixateur interne-Anlage geschaffen werden. Es folgte die Anwendung als minimal invasive Methode zur Behandlung von vertebrale Hämangiomen, um die durch das intraossär verdrängende Gefäßwachstum entstandenen Hohlräume aufzufüllen. Gleichzeitig sollte eine Embolisierung der Gefäßveränderungen stattfinden. Hierzu wurde ebenfalls über einen Trokar eine großlumige Biopsienadel in den Wirbelkörper von dorsal eingebracht. Über diese erfolgte die Applikation einer bestimmten Menge Knochenzement. Der

Wirbelkörper wurde durch die Behandlung stabilisiert und es zeigte sich eine deutliche Schmerzreduktion. Im Verlauf der letzten Jahre wurde die Indikation zur Vertebroplastie erweitert. Osteolytische Metastasen, frische Wirbelkörperfrakturen [17], Myelome [11] und osteoporotische Wirbelkörperfrakturen werden derzeit erfolgreich behandelt. Im Bereich der osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen steht die Schmerzreduktion bei Therapieresistenz im Vordergrund. Eine Zementaugmentation noch unfrakturierter Wirbelkörper zur prophylaktischen Stabilisierung zeigte in den meisten Publikationen keine positiven Ergebnisse [18,19,20]. Jedoch nahm im Gegenzug die Anzahl der Frakturen im Bereich der benachbarten Wirbelkörper, die sogenannten Anschlußfrakturen, zu. Aktuelle Arbeiten zeigen eine Häufigkeit der Anschlußfrakturen von 51% aller Fälle nach 6-12 Monaten [14]. Sehr wenige Autoren, u.a. Kobayashi et al. [55] konnten eine signifikant geringere Anschlussfrakturnrate bei der prophylaktischen Augmentation nachweisen.

2. Anatomische Vorbetrachtung

2.1 Die Wirbelsäule

Die Wirbelsäule ist der zentrale Stützpfiler des Skeletts. Die spezielle Struktur, anatomisch bestehend aus ossärem, disco-ligamentärem und muskulärem System ist die Voraussetzung für ihre besonderen statischen und dynamischen Eigenschaften. In der Regel besteht die Wirbelsäule aus 7 Hals-, 12 Thorakal- und 5 Lendenwirbeln. Zusätzlich besteht das kaudal anschließende Os sacrum aus 4-5 miteinander verschmolzenen Sakralwirbeln. Den kaudalen Abschluß bildet das Os coccygeum, welches ebenfalls aus 4-5 Wirbelkörpern besteht.

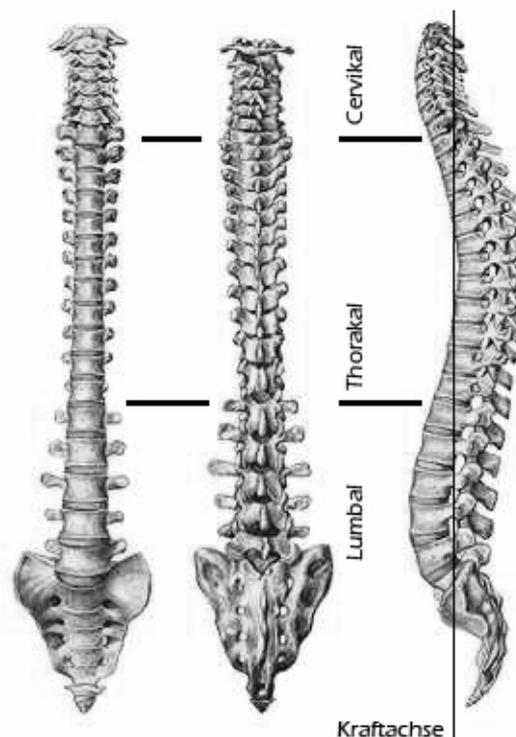


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Wirbelsäule. Modifiziert.

Die axial auf den Körper wirkenden Kräfte werden hauptsächlich über den Cervikal-, Thorakal- und Lumbalabschnitt der Wirbelsäule aufgenommen und abgeleitet. Die notwendige Dynamik und Beweglichkeit erhält die Wirbelsäule über die zwischen den Wirbelkörpern gelegenen Bandscheiben. Diese bestehen aus einem gallertartigen Kern, dem Nukleus pulposus, welcher von festen Kollagenfasern, dem Annulus fibrosus, zirkulär umschlossen wird. Diese

ringförmigen Faserstrukturen, stabilisieren den Nucleus pulposus und geben ihm die notwendige Stabilität, um die axialen Kräfte entlang der Wirbelsäule abzufangen. Eine Verletzung des Annulus fibrosus ermöglicht dem Gallertkern durch diese Pforte herauszutreten und angrenzende Weichteilstrukturen, wie Nerven oder Gefäße zu komprimieren, bzw. zu irritieren. Eine reine Vorwölbung eines degenerativ veränderten Annulus fibrosus wird als Protrusio bezeichnet. Die Beteiligung des Nucleus pulposus resultiert in einem manifesten Prolapsus. Die Bandscheibe ist nach ventral mit dem Ligamentum longitudinale anterius fest verbunden. Nach dorsal liegt sie dem Ligamentum longitudinale posterius nur locker an. Aus diesem Grund werden im Vergleich häufiger dorsale Bandscheibenvorfälle registriert. Hier werden vor allem die nach dorsolateral austretenden segmentalen Nervenwurzeln in Mitleidenschaft gezogen. Ebenfalls ist eine Vorwölbung in den ventralen Anteil des Spinalkanals möglich. Hier werden in erster Linie die intraspinal ventral liegenden Nervenfasern irritiert. Ein solcher Vorfall resultiert in einer Par- und Dysaesthesie der entsprechenden Versorgungsgebiete. Weitere wichtige stabilisierende Strukturen der Wirbelsäule sind die in axialer Richtung verlaufenden, nicht elastischen Bänder. Die längsten Bänder im Bereich der Wirbelsäule sind das Ligamentum longitudinale anterius und posterius. Diese verlaufen entweder ventral oder dorsal entlang der Wirbelkörper. Die Hauptaufgabe dieser beiden Bänder ist die Vermeidung eines Verschiebens der Wirbelkörper gegeneinander. Weitere wichtige Bänder zur Stabilisierung sind das Ligamentum interspinale und Ligamentum supraspinale. Diese Bänder verbinden die Processus spinosi und verhindern ein ventrales Abkippen der Wirbelsäule. Weiterhin sorgen kleinere Bandstrukturen zwischen benachbarten Wirbelkörpern für eine erhöhte Stabilität. Hierzu zählen die zwischen den Wirbelbögen verlaufenden Ligamenta flava und die zwischen den Querfortsätzen gelegenen Ligamenta intertransversalia. Die die Wirbelsäule stabilisierende Muskulatur liegt der Wirbelsäule von dorsal an. Sie liegt beidseits in einem Kanal, welcher aus Processus spinosi und transversi gebildet wird. Sie gliedert sich in zwei funktionelle Gruppen, die tiefe und die oberflächliche Rückenmuskulatur. Während die tiefen Muskulaturanteile hauptsächlich statische, stabilisierende Funktionen erfüllen sind die oberflächlich gelegenen Muskelanteile für die Motorik und Beweglichkeit zuständig.

2.2 Der Wirbelkörper

Der Aufbau aller Wirbelkörper, unabhängig von ihrer vertebralen Zuordnung (HWS, BWS, LWS), folgt einem einheitlichen Schema. Ausnahmen bilden hier nur der erste und zweite Halswirbel, welche aufgrund ihrer speziellen Funktion eine gesonderte anatomische Form haben. Die Hauptachse der Wirbelsäule wird aus den Corpus vertebrae gebildet. Dieser hat eine aufrecht zylindrische Form und besteht aus einer kranialen Deckplatte der Vorder-, Hinter- und Seitenkanten, sowie der kaudalen Grundplatte. Die Binnenstruktur besteht aus spongiösem Knochen, welcher die den Wirbelkörper versorgenden Gefäße aufnimmt. Der dorsal des Corpus gelegene Spinalkanal wird nach lateral und dorsal durch den Wirbelbogen begrenzt. Die corpusnahen Bogenabschnitte werden als Bogenwurzel bezeichnet. Die Bogenwurzel ist der kaliberstärkste Abschnitt des Arcus vertebrae. Dies ist ausschlaggebend zur erfolgreichen Planung eines vertebroplastischen Eingriffs. Auf Höhe des lateralen Zenits schließen sich beidseits die Processus transversi an. Sie verbinden die benachbarten Wirbelkörper über die Transversalgelenke, auch Facettengelenke genannt.

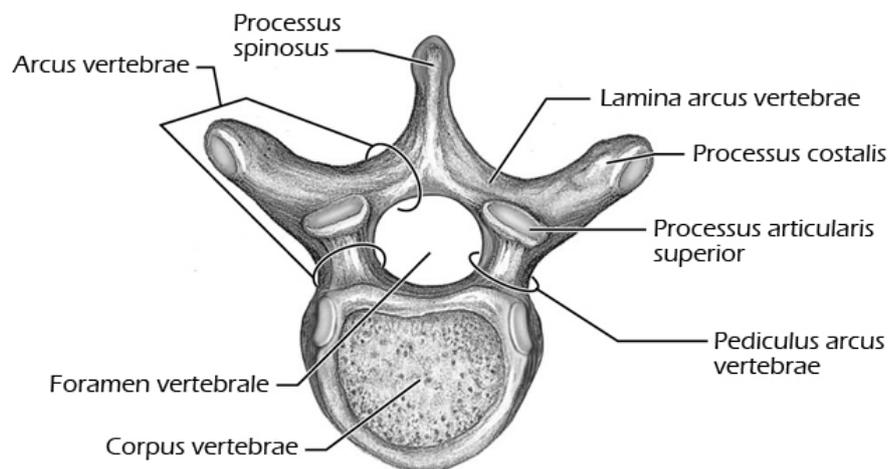


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines thorakalen Wirbelkörpers. Modifiziert nach Pearson Education, Inc. 2004.

Zwischen benachbarten Processus transversi treten die Spinalnervenwurzeln segmental ausgehend vom Rückenmark durch die Foramina intervertebralia aus. Der dorsale Bogenschluss findet im Processus spinosus statt. Dieser ist

bei normaler Körperkonfiguration des Patienten transkutan über der Wirbelsäule tastbar. Unterschiede zwischen den Wirbelkörpern der verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte bestehen hinsichtlich ihrer Funktion. Die Halswirbelkörper sind eher flach, die Gelenkfacetten sind horizontal angeordnet, um Rotations- und Beugebewegungen durchzuführen. Die Brustwirbelkörper sind kräftig konfiguriert. Sie tragen die Rippen und stabilisieren den gesamten Brustkorb. Ihre Aufgabe besteht hauptsächlich darin, einen zentralen Stützpfeiler zu bieten, damit der Atmungskomplex flexibel arbeiten kann. Ihre Beweglichkeit ist am ehesten auf Beuge- und weniger auf Rotationsbewegungen ausgelegt. Die Lendenwirbelkörper sind verhältnismäßig groß, da ihre Hauptaufgabe das Tragen des gesamten Torsos ist.

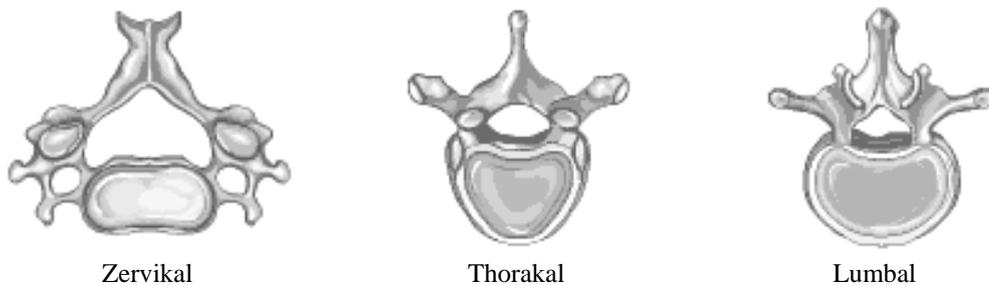


Abbildung 7: Unterschiedliche Morphologie der Hals-, Brust- und Lendenwirbelkörper.

Aus diesem Grund treten im Bereich der Lendenwirbelsäule die häufigsten höhergradigen Verschleißerscheinungen der kleinen Zwischenwirbelgelenke und Bandscheibenkomplexe mit Protrusionen und Prolapsus auf. Aufgrund ihrer Funktion ist die Beweglichkeit in der Lendenwirbelsäule deutlich eingeschränkt. Beuge- und Rotationsbewegungen sind nur in einem geringen Umfang möglich. Abgesehen von der Halswirbelsäule, welche eine ausgeprägte Mobilität aufweist werden Beuge- und Rotationsbewegungen im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule als Summeneffekt der einzelnen Wirbelkörperbandscheibenkomplexe durchgeführt, wobei jeder einzelne Wirbelkörper im Zusammenspiel mit den angrenzenden Bandscheibenkomplexen eine Teilbewegung ausführt. Um die Bewegungen der Wirbelsäule besser beschreiben zu können wurde der Begriff des Bewegungssegmentes eingeführt. Hierbei handelt es sich um jeweils zwei kommunizierende Wirbelkörperflächen

(Deckplatte, Grundplatte) einschließlich der dazwischen liegenden Bandscheibe, der zugehörigen Wirbelgelenke, Bänder und Muskeln.

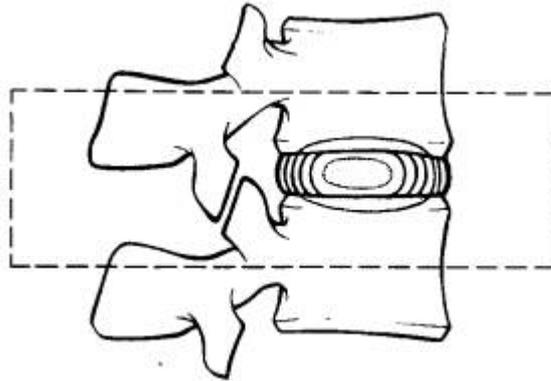


Abbildung 8: Bewegungssegment. Nach ENV Etmans & Vingerhoed GbR 2007.

2.3 Gefäßversorgung

2.3.1 Die arterielle Versorgung

Die arterielle Versorgung des Wirbelkörpers erfolgt über die Aa. intercostales, sowie lumbales, welche direkt der Aorta, beziehungsweise der A. subclavia entspringen. Im Bereich der Halswirbelsäule erfolgt die arterielle Versorgung aus den beidseits verlaufenden Aa. vertebrales. Die Aa. Intercostales und lumbales teilen sich im Verlauf in den Ramus ventralis und dorsalis auf. Der Ramus ventralis tritt paarig unmittelbar in den Wirbelkörper von ventrolateral ein und gibt weiterhin im Verlauf kleine Äste in den Wirbelkörper ab. Der Ramus dorsalis verläuft entlang der Wirbelkörperseite nach dorsal und gibt einen Ast, den Ramus spinalis ab, welcher durch das Foramen intervertebrale zur dorsalen Wirbelkörperwand zieht. Unter Abgabe verschiedener kleiner Gefäße, welche unter anderem das Rückenmark arteriell versorgen, tritt die Arterie nun von dorsal in den Wirbelkörper ein. Die arterielle Versorgung aus den beidseitigen Aa. Intercostales, bzw. lumbales bildet einen arteriellen Gefäßring um den einzelnen Wirbelkörper. Dieser Gefäßring wird somit anastomosierend aus beiden Arterien versorgt. Dies ist wichtig, da ein einseitiger Verschluss nicht zur arteriellen Unterversorgung des Wirbelkörpers führt.

2.3.2 Die venöse Versorgung

Die venöse Versorgung des Wirbelkörpers erfolgt über die Vv. basivertebrales, welche nach ventrolateral verlaufen und mit den Vv. Intercostales anastomosieren. Diese münden beidseits in die V. azygos und hemiazygos, welche sich wiederum an die V. cava superior anschließt. Die dorsale venöse Versorgung verläuft über die V. dorsalis und speist den Plexus spinalis, welcher im Spinalkanal der knöchernen Wirbelkörperhinterwand direkt anliegt. Dieses Venengeflecht erstreckt sich entlang der gesamten Wirbelsäule und mündet ebenfalls in die V. azygos und V. hemiazygos. Die dorsalen Anteile des Plexus spinalis speisen die V. vertebralis. Im weiteren Verlauf mündet diese über die V. anonyma in die V. cava superior.

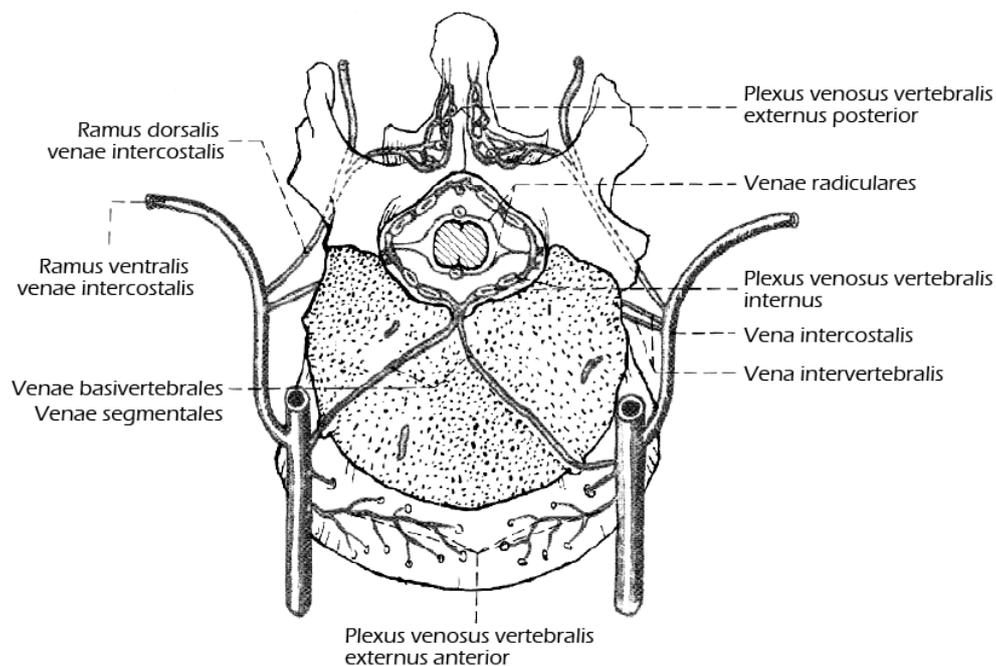


Abbildung 9: Venöse Versorgung des Wirbelkörpers. Modifiziert nach Rauschmann 2003.

2.4 Fraktur-Grundlagen

Unter einer Fraktur wird die akute Kontinuitätsunterbrechung von Knochengewebe verstanden. Dabei liegt ein definierbares Trauma vor, welches von den Betroffenen als akutes Ereignis erlebt wurde. In den meisten Fällen kann dieses Ereignis anamnestisch nachvollzogen werden und der Frakturhergang eruiert werden. Aufgrund der in der Anamnese erhaltenen Informationen kann die Qualität der Fraktur näher bestimmt werden.

2.4.1 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

In höherem Lebensalter treten gehäuft spontane atraumatische Frakturen auf, denen kein eindeutiges Frakturereignis oder adäquates Trauma zuzuordnen ist. In diesen Fällen unterscheidet man die pathologischen Frakturen, welche aufgrund einer Schwächung der Knochenstruktur durch maligne osteolytische Prozesse (ossäre Primärtumore, Knochenmetastasen) oder zystische Knochenveränderungen (benigne Knochenzysten) hervorgerufen werden, sowie die Spontanfraktur von diffus osteoporotischen oder osteomalazischen Knochen. Die osteoporotische Fraktur entsteht, wenn der substanzgeminderte Knochen aufgrund der rarefizierten Trabekelstruktur den axialen Krafteinwirkungen nicht mehr standhält. Diese Frakturen sind meist als Kompressionsfrakturen abgrenzbar. Der Wirbelkörper ist im Bereich der Vorderkante höhengemindert. Die Hinterkante ist in den meisten Fällen intakt. Bei fortschreitenden osteoporotischen Prozessen sintert der Wirbelkörper weiter ein und tritt im Endstadium als Vertebra plana (Plattwirbel) in Erscheinung. Der osteoporotische Wirbelkörper hat seine Stabilität verloren und die sagittale Balance und Haltung ist deutlich gestört. Es kann bei schweren Verläufen zu Spinalkanalstenosen kommen, welche mit neurologischen Defiziten einhergehen.



Abbildung 10: Osteoporotische Wirbelkörperfraktur LWK 3.



Abbildung 11: Sagittale CT-Rekonstruktion eines Vertebra plana LWK 3.

2.4.2 Traumatische Wirbelkörperfrakturen

Die traumatischen Wirbelkörperfrakturen zeigen hinsichtlich ihrer Entstehung, Klassifikation und Behandlung wesentliche Unterschiede zu den angeführten osteoporotischen Frakturtypen. Im Falle einer traumatischen Wirbelkörperfraktur lag den wenigsten Ereignissen eine vorbestehende Schwächung der Knochenstruktur vor. Anamnestisch kann dagegen ein nachvollziehbares echtes Trauma gegen die gesunde Wirbelsäule erhoben werden. Die Kraftwirkung im Zuge dieses Traumas war quantitativ größer als die kraftableitende Eigenschaft der Knochentrabekel oder wirkte im Winkel zur Kraftachse.

2.4.3 Klassifikationen

Klassifikationen zur Einteilung von Wirbelkörperfrakturen wurden unter anderem von Magerl et al., Louis sowie Dall und Stauffer vorgeschlagen. Aktuell werden die Einteilungen nach Magerl et al. angewendet. Magerl et al. teilen die Wirbelsäulenverletzungen nach pathogenetischen Kriterien ein. Sie unterscheiden zwischen Typ-A Verletzungen (Wirbelkörperkompression), Typ-B Verletzungen (Flexions-Distraktionsverletzung) und Typ-C Verletzungen (Rotationsverletzungen). Die Instabilität der Fraktur mit der Gefahr neurologischer Begleitverletzungen nimmt von Typ-A nach Typ-C zu. Diese Hauptgruppen werden in weitere Untergruppen gegliedert. Die Untergruppen charakterisieren die Fraktur hinsichtlich Verlauf, Ausdehnung und Intensität näher und bestimmen somit das Risiko für eine Beteiligung des Rückenmarkes.

2.4.3.1 Typ-A Frakturen

Die Frakturen betreffen hauptsächlich den Wirbelkörper (vordere Säule) und entstehen durch die axiale Kompression, bzw. Krafteinwirkung mit oder ohne Flexion. Die hintere Säule ist in den meisten Fällen intakt oder nur gering verletzt, aber niemals als instabil einzustufen. Alle dorsalen Bänder, besonders der sogenannte dorsale Bandkomplex sind unversehrt. Da die Kompression der Knochenstrukturen für den Patienten schmerzhaft ist, besteht eine begleitende Bewegungseinschränkung.

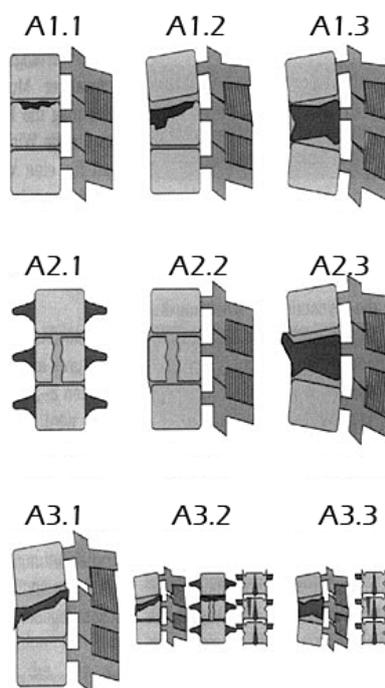


Abbildung 12: Schema der Typ-A Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.

A1-Frakturen: Es handelt sich um eine stabile Wirbelkörperkompressionsfraktur ohne Dislokation der Fragmente oder Rotationsfehler. Die Wirbelkörperhinterkante ist intakt, der Spinalkanal ist nicht verlegt.

A2-Frakturen: In diese Klasse fallen alle Wirbelkörperspaltfrakturen mit Dislokation der Hauptfragmente. Es liegt kein Rotationsfehler vor, die angrenzenden Bandscheiben können aber beteiligt sein.

A3-Frakturen: Man spricht von dieser Klassifikation, wenn der Wirbelkörper eine partielle oder komplette Berstung mit Beteiligung der Hinterkante aufweist. Mögliche Fragmente können in den Spinalkanal verlagert sein und neurolo-

gische Defizite auslösen. Bei Wirbelbogenbeteiligung weist dieser eine Längsspaltung auf, ist jedoch nicht instabil.

- A1. Wirbelkörperimpaktion
 - A1.1 Deckplattenfraktur
 - A1.2 Keilfraktur
 - .1 Kranialer Frakturverlauf
 - .2 Lateraler Frakturverlauf
 - .3 Kaudaler Frakturverlauf
 - A1.3 Kompletter Wirbelkörperkollaps
- A2. Spaltfraktur
 - A2.1 Sagittale Spaltfraktur
 - A2.2 Koronare Spaltfraktur
 - A2.3 Kneifzangenfraktur
- A3. Berstungsfrakturen
 - A3.1 Inkomplette Berstungsfraktur
 - .1 Kraniale inkomplette Berstungsfraktur
 - .2 Laterale inkomplette Berstungsfraktur
 - .3 Kaudale inkomplette Berstungsfraktur
 - A3.2 Berstungsspaltfraktur
 - .1 Kraniale Berstungsspaltfraktur
 - .2 Laterale Berstungsspaltfraktur
 - .3 Kaudale Berstungsspaltfraktur
 - A3.3 Komplette Berstungsfraktur
 - .1 Pinzer-Berstungsfraktur
 - .2 Komplette Flexionsberstungsfraktur
 - .3 Komplette axiale Berstungsfraktur

Abbildung 13: Nach Rieger et al. 2006

2.4.3.2 Typ-B Frakturen

Diese Frakturklasse weist eine horizontale Zerreissung der vorderen und/oder hinteren Säule auf. Die Flexions-Distraktionsfraktur geht mit hinterer Zerreissung und Distanzierung, die Hyperextensionsfraktur mit vorderer Zerreissung und Aufweitung einher. In vielen Fällen kommen sagittale Fragmentverschiebungen vor, welche den Spinalkanal betreffen können. Neurologische Defizite sind in den meisten Fällen vorhanden.

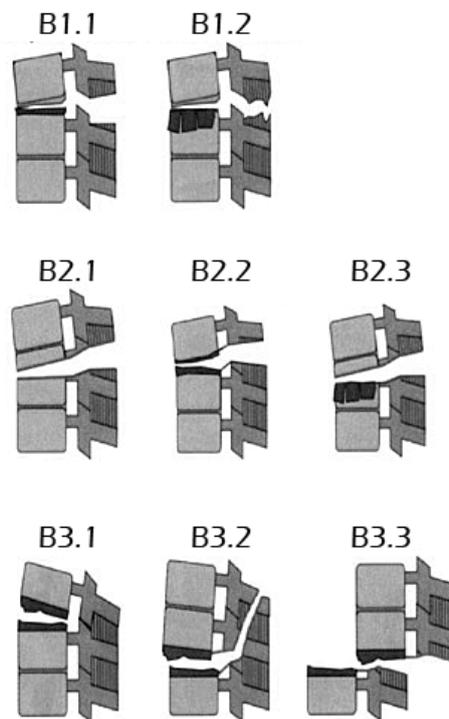


Abbildung 14: Schema der Typ-B Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.

| | | |
|---|------|---|
| B1. Hintere, hauptsächlich ligamentäre Zerreissung (Flexions-Distraktionsfraktur) | B1.1 | Mit transversaler Zerreissung der Bandscheibe |
| | .1 | Flexion-Subluxation |
| | .2 | Vordere Luxation |
| | .3 | Flexion-Subluxation/ vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze |
| | B1.2 | Mit Typ-A Fraktur der Wirbelkörper |
| | .1 | Flexion-Subluxation mit Typ-A Fraktur |
| | .2 | Vordere Luxation mit Typ-A Fraktur |
| | .3 | Flexion-Subluxation/ vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze und Typ-A Fraktur |

| | | |
|--|------|--|
| B1. Hintere, hauptsächlich ligamentäre Zerreißung (Flexions-Distraktionsfraktur) | B1.1 | Mit transversaler Zerreißung der Bandscheibe |
| | .1 | Flexion-Subluxation |
| | .2 | Vordere Luxation |
| B2. Hintere, hauptsächlich ossäre Zerreißung (Flexions-Distraktionsfraktur) | B2.1 | Transversale 2-Säulenfraktur |
| | B2.2 | Mit transversaler Zerreißung der Bandscheibe |
| | .1 | Zerreißung durch Pedikel und Bandscheibe |
| | .2 | Zerreißung durch Pars interartikularis und Bandscheibe (Flexionsspondylose) |
| | B2.3 | Mit Typ-A Fraktur des Wirbelkörpers |
| | .1 | Fraktur durch Pedikel und Typ-A Fraktur |
| | .2 | Fraktur durch Pars interartikularis und Bandscheibe (Flexionsspondylose) und Typ-A Fraktur |
| B3. Vordere Zerreißung durch die Bandscheiben (Hyperextensions-Scherfraktur) | B3.1 | Hyperextension-Subluxation |
| | .1 | Ohne Verletzung der hinteren Säule |
| | .2 | Mit Verletzung der hinteren Säule |
| | B3.2 | Hyperextensionsspondylolyse |
| | B3.3 | Hintere Luxation |

Abbildung 15: Nach Rieger et al. 2006

2.4.3.3 Typ-C Frakturen

Zusätzlich zu den Verletzungen der vorderen und hinteren Säule treten bei dieser Klassifikation Rotationsfehlstellungen auf. Dabei weisen diese Frakturklassen die höchste Rate an neurologischen Begleiterscheinungen auf. Die Dislokation der Wirbelkörperfragmente ist in alle Raumebenen möglich. Die Bandscheiben und Ligamenta longitudinalia sind in den meisten Fällen in Mitleidenschaft gezogen.

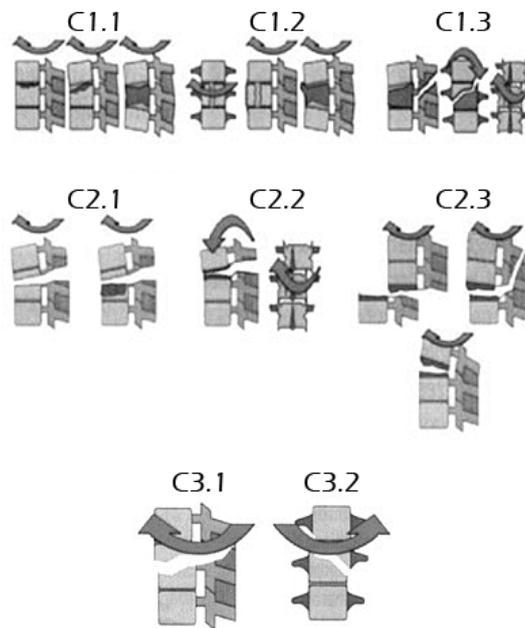


Abbildung 16: Schema der Typ-C Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.

| | | |
|--|--------------------------------|--|
| C1. Typ-A Fraktur mit Rotationsfehlstellung (Kompressionsfraktur mit Rotation) | C1.1 | Rotationskeilfraktur |
| | C1.2 | Rotationsspaltfraktur |
| | .1 | Sagittale Spaltfraktur mit Rotation |
| | .2 | Koronare Spaltfraktur mit Rotation |
| | .3 | Pinzerfraktur mit Rotation |
| | C1.3 | Rotationsberstungsfraktur |
| | .1 | Inkomplette Berstungsfraktur mit Rotation |
| | .2 | Berstungsspaltfraktur mit Rotation |
| | .3 | Komplette Berstungsspaltfraktur mit Rotation |
| | C2. Typ-B Fraktur mit Rotation | C2.1 |

| | | |
|--|--|---|
| C1. Typ-A Fraktur mit Rotationsfehlstellung (Kompressionsfraktur mit Rotation) | C1.1 | Rotationskeilfraktur |
| | C1.2 | Rotationsspaltfraktur |
| | .1 | Sagittale Spaltfraktur mit Rotation |
| | .1 | Flexion-Subluxation mit Rotation |
| | .2 | Flexion-Subluxation mit Rotation und einseitiger Gelenkfortsatzfraktur |
| | .3 | Einseitige Dislokation |
| | .4 | Vordere Dislokation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur |
| | .5 | Flexion-Subluxation mit Rotation ohne/mit einseitiger Gelenkfortsatzfraktur und Typ-A Fraktur |
| | .6 | Einseitige Dislokation mit Typ-A Fraktur |
| | .7 | Vordere Dislokation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur und Typ-A Fraktur |
| | C2.2 | Typ-B.2 Fraktur mit Rotation (Flexions-Distraktionsfraktur mit Rotation) |
| | .1 | Transversale 2-Säulenfraktur mit Rotation |
| | .2 | Einseitige Flexionsspondylolyse und Bandscheibenzerreissung |
| .3 | Einseitige Flexionsspondylolyse und Typ-A Fraktur | |
| C2.3 | Typ-B.3 Fraktur mit Rotation (Hyperextensions-Scherfraktur mit Rotation) | |
| .1 | Hyperextension-Subluxation mit Rotation ohne/mit Fraktur der dorsalen Wirbelkörperelemente | |
| .2 | Einseitige Hyperextensionsspondylolyse | |
| .3 | Hintere Dislokation mit Rotation | |
| C3. Rotation-Scherfrakturen | C3.1 | Querfraktur |
| | C3.2 | Schrägfraktur |

Abbildung 17: Nach Rieger et al. 2006

2.5 Das Säulenmodell der Wirbelsäule

Das noch oft zitierte 3-Säulenmodell nach Denis ist veraltet und wurde durch das 2-Säulenmodell ersetzt. Hierbei wird die vordere Säule durch die Wirbelkörper, Bogenwurzeln, Bandscheiben, sowie die Ligamenta longitudinalia, die hintere Säule durch die Wirbelbögen, die paarigen Facettengelenke, die Processus spinosi, sowie den dorsalen Bandapparat gebildet. Der dorsale Bandapparat setzt sich aus den Ligamenta flava, interspinosi und supraspinale zusammen.

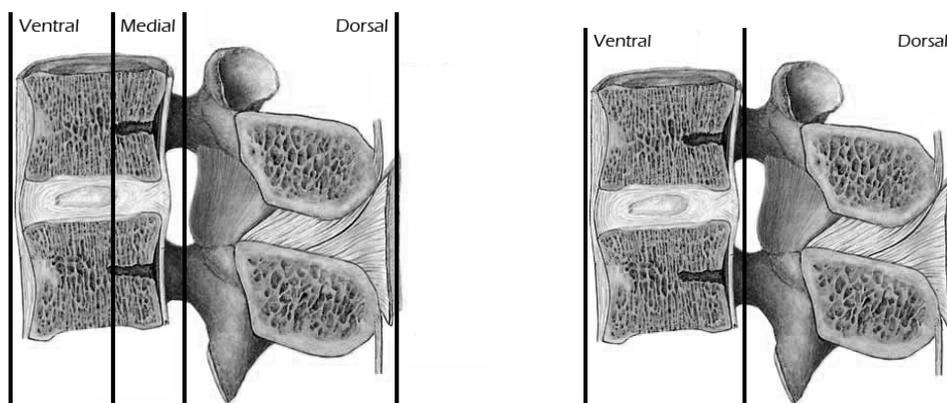


Abbildung 18: 3-Säulenmodell der Wirbelsäule nach Denis vs. 2-Säulenmodell der Wirbelsäule.

3. Diagnostik

Vor dem operativen Eingriff erfolgen die ausreichende Diagnostik der Frakturen und deren klinische Begleiterscheinungen. Das diagnostische Spektrum erstreckt sich hierbei über die körperliche Untersuchung, welche die Beurteilung des psychischen Leidensdrucks der Erkrankung mit einbezieht. Darauf folgt die klinische Bildgebung. Hierbei sollte nur soviel apparative Diagnostik betrieben werden, bis die Umstände der Fraktur ausreichend beurteilt werden können, bzw. die Indikationen und Kontraindikationen aussagekräftig eruiert werden können. Zum einen werden die Belastungen des Patienten durch Röntgenstrahlung, sowie die Kosten der Untersuchungen niedrig gehalten. Jedoch sollte auf eine ausreichende Informationsmenge geachtet werden.

3.1 Körperliche Untersuchung

Die primäre Untersuchung erfolgt anhand der klinischen Leiden des Patienten, sowie der Beurteilung der Leiden durch den behandelnden Arzt. Im Falle einer Wirbelkörperfraktur klagt der Patient über Schmerzen im entsprechenden Wirbelsäulenabschnitt, welche sich in den meisten Fällen nach paravertebral und gürtelförmig nach ventral erstrecken. Die Mobilität des Patienten ist schmerzbedingt eingeschränkt. Nach einem akuten Ereignis klagt der Patient auch über Schmerzereignisse in Ruhestellung [34]. Der Patient wird im Verlaufe der Erkrankung eine Adaption seiner Bewegungsmuster an die gegebenen Umstände erfahren. Jedoch exazerbieren die Schmerzen nach einem erneuten Wirbelkörperbruch oder im Verlaufe einer progredienten Sinterung des frakturierten Wirbelkörpers [35]. Begründet werden die Schmerzen mit einer anhaltenden Irritation des Periosts, welches eine hohe Dichte an nozizeptiven Fasern und daher eine hohe Sensibilität besitzt. Mikrobewegungen der Frakturfragmente werden somit als Schmerzreiz weitergeleitet [36]. Im Falle einer stattgehabten Wirbelkörperfraktur, welche symptomatisch ist, klagt der Patient über einen axialen Stauchungsschmerz entlang der Wirbelsäule. Hinzu kommen Klopf- und Druckbeschwerden über den segmententsprechenden Processus spinosi. Es ist zu beachten, dass nicht jede Wirbelkörperfraktur symptomatisch ist. Ungefähr 16% aller Wirbelkörperfrakturen zeigen keine ausgeprägten, immobilisierenden Begleiterscheinungen oder Schmerzereignisse [37]. Die Bildgebung wird jedoch auch in diesen Fällen die Frakturen nachweisen. Besonders im Kernspintomographen kann das begleitende Knochenödem dargestellt werden. Postoperativ kann aber auch in den Fällen mit geringer präoperativer Schmerzhaftigkeit eine Besserung der Beschwerden festgestellt werden [38].

3.2 Konventionelle radiologische Diagnostik

Die Grundlage der bildgebenden Diagnostik bildet eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes. Im Zuge dieser Untersuchung werden die Frakturlokalisierung und das Ausmaß der Wirbel-

körperhöhenminderung beurteilt. Ebenfalls kann eine erste Aussage über eine eventuell vorhandene Hinterkantenbeteiligung getroffen werden. Die Untersuchung wird in der Regel am aufrecht stehenden Patienten durchgeführt. Eine zusätzliche Aufnahme in Flexion und Extension zum Ausschluß einer „Non-union“ Fraktur [39] ist im Regelfall nicht notwendig. Besteht der Verdacht auf eine intravertebrale Pseudarthrose kann die Untersuchung im Liegen erfolgen. Hier werden diese in 64% aller Fälle erkannt [40]. Die angrenzenden Wirbelkörper sollten immer mit abgebildet sein, um spätere Anschlußfrakturen nachweisen zu können.



Abbildung 19: Nativröntgen einer Wirbelkörperfraktur LWK 3 in 2 Ebenen.

3.3 Computertomografie

Im zweiten Schritt wird eine native Computertomografie (CT) des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes angefertigt. Da diese Untersuchungstechnik den größten Vorteil in der Erkennung knöcherner Strukturen hat, kann hier der Frakturverlauf, Wirbelkörperdeformationen und Stabilitätsverhältnisse, sowie die genaue Klassifikation der Fraktur beurteilt werden. Für die Planung des Eingriffes ist es notwendig festzustellen, ob eine solitäre Deckplattenimpressionsfraktur vorliegt oder die Grundplatte ebenfalls beteiligt ist. Durch die axiale Schichtführung und sagittale, sowie koronare Rekonstruktionsverfahren kann eine eventuelle Spinalkanalbeteiligung ausgeschlossen werden [41]. In den meisten Fällen reicht die Bildgebung aus Röntgen und Computertomografie aus, um eine aussagekräftige Beurteilung der Frakturverhältnisse zu ermöglichen.

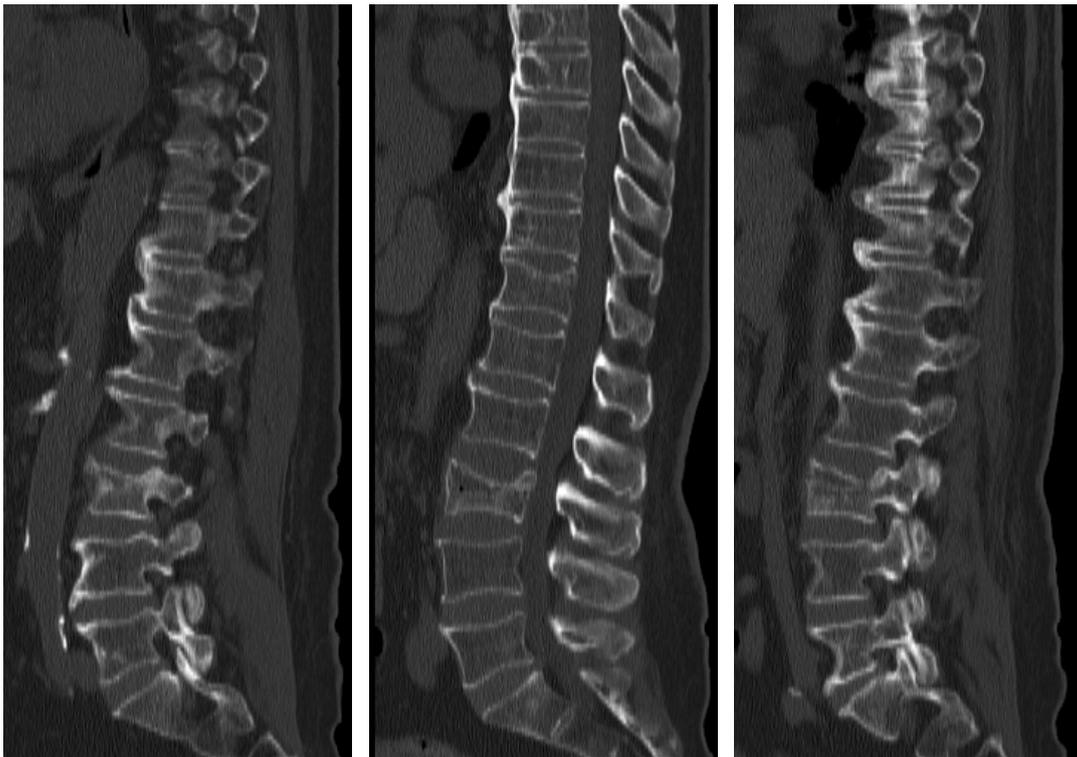


Abbildung 20: Computertomografie einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur mit Lumbaldegeneration. Sagittale Rekonstruktion.



Abbildung 21: Computertomografie einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur mit Lumbaldegeneration. Coronare Rekonstruktion.

3.4 Kernspintomografie

Den größten Vorteil der Kernspintomografie (Magnetresonanztomografie, MRT) stellt die Abbildung von pathologischen Weichteilprozessen dar. Hierzu zählt auch das typische Knochenmarksödem (Bone-Bruise) in T2-gewichteten MRT-Sequenzen, welches die frische Fraktur kennzeichnet. Ältere Frakturen werden in T2-gewichteten MRT-Sequenzen signalarm dargestellt. Da die alte Fraktur jedoch nicht zwangsläufig schmerz- und reizlos ist, wird eine MRT hauptsächlich dann eingesetzt, wenn der Wirbelkörper in der CT keine sichtbaren Frakturen aufweist, aber der hochgradige Verdacht auf eine ossäre Läsion besteht. Diese „okkulten“ osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen lassen sich mittels der MRT in Ausmaß und Lokalisation sehr gut beurteilen [42].



Abbildung 22: MRT: T2-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur.



Abbildung 23: MRT: T1-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur.



Abbildung 24: MRT: T2-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur zur Beurteilung der spinalen Enge.

4. Fragestellung

In dieser Arbeit wurde das Auftreten von Zementleckagen, sowie die intra-vertebrale Zementverteilung in Abhängigkeit von der Vertebroplastiekanülenlage bei computertomografisch unterstützter perkutaner Vertebroplastie untersucht und mit dem aktuellen Stand der klinischen Literatur verglichen.

5. Indikationen

Das Ziel der perkutanen Vertebroplastie ist die Besserung der akuten oder chronischen Schmerzsymptomatik [65] des Patienten. Weiterhin ist es das Ziel des Eingriffes, den Knochen zu stabilisiert und somit eine progrediente Sinterung zu verhindern. Indikationen zur perkutanen Vertebroplastie sind die schmerzhaften osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen, welche nicht adäquat auf konservativem Wege behandelt werden können [47,48,49,70]. Ein Versagen der konservativen Therapie lag vor, wenn die Schmerzsymptomatik

des Patienten nach 3-6 Wochen keine signifikanten Erfolge zeigte oder die Nebenwirkungen der medikamentösen Therapie den Patienten progredient belasten. Medikamentöse Nebenwirkungen können Verwirrtheit bei anhaltender Sedierung, sowie begleitende vegetative Störungen bei hochdosierter Analgesie durch morphinähnliche Analgetika sein [36,70]. Ebenfalls stellt die progrediente Sinterung und die zu erwartenden klinischen Symptome die Indikation zur Intervention.

5.1 Relative Kontraindikationen

Die häufigste Kontraindikation ist ein Missverhältnis zwischen der vom Patienten angegebenen Schmerzlokalisierung und der Lokalisation der radiologisch nachgewiesenen Läsion. Hier muss die klinische Diagnose mit der radiologischen Bildgebung korrelieren, um unnötige, zusätzliche Interventionen zu vermeiden. Patienten mit einem Alter unter 60 Jahren sollten primär chirurgisch behandelt werden, da Langzeitstudien über die Verträglichkeit des verwendeten Knochenzementes noch nicht vorliegen [50]. Damit ist die Beachtung der Altersgrenze eine Empfehlung an den interventionell tätigen Radiologen, welcher jedoch die Notwendigkeit des Eingriffes individuell vom Verletzungsmuster des Patienten beurteilen muss. Im Falle einer neurologischen Symptomatik, welche über den Schmerzreiz im Frakturgebiet hinausgeht, sollte ebenfalls von einem vertebroplastischen Eingriff abgesehen werden. Zu diesen Symptomatiken zählen unter anderem die radikulären Beschwerden bei begleitenden Kompressionserscheinungen der Nervenwurzeln. Hier kann der Eingriff nur vertreten werden, wenn gleichzeitig dekomprimierende Maßnahmen ergriffen werden [51]. Sollte eine Wirbelkörperhinterkantenbeteiligung vorliegen ist ebenfalls die kritische Beurteilung der Indikation gegeben. Ein eindeutiger Ausschluß von intraspinalen Knochenfragmenten sollte erfolgen. Auch muss ein vertebraler Tumor ausgeschlossen werden, welcher unter Umständen durch sein Wachstum das dorsal angrenzende Rückenmark komprimiert. Weitere relative Kontraindikationen sind die geistige und körperliche Bereitschaft des Patienten. Da der Eingriff in

Lokalanästhesie erfolgt, sollte es dem Patienten möglich sein, die gesamte Prozedur in Bauchlage zu verbringen.

5.2 Absolute Kontraindikationen

Rückenschmerzen, welche auf degenerativen Prozessen beruhen und einen spondylophytären Umbau als Ursache haben oder stabile asymptomatische Frakturen mit einem Alter von mehr als 2 Jahren sollten nicht vertebroplastisch versorgt werden. Berstungsfrakturen und dislozierte Mehrfragmentfrakturen sind ebenfalls absolute Kontraindikationen. Neueste Studien, u.a Gao et al. [56] weisen hier jedoch auf eine mögliche Vertebroplastie bei Berstungsfrakturen hin. Die Behandlung dieser Frakturen muß weiterhin in Studien beobachtet werden, denn hier kann der eingebrachte Zement in den meisten Fällen, aufgrund des fehlenden knöchernen Abschlusses, nicht fokal platziert werden. Zementleckagen durch die Frakturspalte werden somit provoziert und eine Stabilisierung in diesen Wirbelkörperabschnitten ist nicht möglich. Ebenfalls als absolute Kontraindikation gilt die prophylaktische Anwendung am intakten Wirbelkörper. Beim Vorliegen einer floriden lokalen, den zu behandelnden Wirbelkörper betreffenden Entzündung (Spondylodiszitis), sowie systemischer Bakteriämien ist vom Eingriff strikt abzuraten [45,52].

6. Operationstechnik der Perkutanen Vertebroplastie

6.1 Zugangsarten - Unilateraler versus bilateraler Zugang

Welche Zugangsart (uni- versus bilateraler Zugang) im Grund signifikant besser ist, ist bislang nicht eindeutig geklärt. So berichtet Muto et al. [58] von einer besseren Steuerbarkeit der intravertebralen Zementverteilung während der Applikationsphase beim bipedikulären Zugang. Im Gegensatz zum bipedikulären Zugang weist die unilaterale Zementapplikation nach Walz et al. keine signifikanten Vor- oder Nachteile auf [45].

6.2 Positionierung der Vertebroplastiekanülen unter CT-Kontrolle und intravertebrale Verteilung des Zementbolus

Zur korrekten Positionierung der Vertebroplastiekanülen vor der Applikation des Zementes existieren nur wenige Studien. Die jüngsten Arbeiten weisen hauptsächlich auf den Zusammenhang zwischen Quantität und Qualität von intraoperativ aufgetretenen Zementleckagen und der Positionierung der Kanülenspitze hin. Hier zeigt sich, dass bei einer Positionierung der Kanülenspitzen im ventralen Wirbelkörperdrittel die gefürchteten Zementleckagen in deutlich geringerer Zahl auftraten [47,51]. Ebenso zeigen sich eine Abnahme der Leckagerate, sowie eine nachweisbare stabilisierende Komponente, wenn der Zement bei unipedikulärer Applikation konsequent ins mediale Drittel des Wirbelkörpers injiziert wird [52]. Durch den weiteren Applikationsvorgang füllt sich der Wirbelkörper im Idealfall nach ventral auf, sodass der Zementbolus nach Abschluß der Applikation die ventrale Hälfte des Wirbelkörpers auffüllt [45,48,49]. Hier zeigt sich auch eine deutliche Schmerzreduktion nach dem Eingriff, da in den meisten Fällen eine Wirbelkörpervorderkantenläsion vorliegt [50]. Im Rahmen der hier durchgeführten Studie war es das Bestreben, die Kanülenspitzen im Schnittpunkt des lateralen Drittels mit dem ventralen Drittel des Wirbelkörpers zu platzieren. Somit entsprach die Endlage der Vertebroplastiekanülen den aktuellen wissenschaftlichen Ergebnissen. Eine korrekte Platzierung sollte unter CT-Kontrolle mit begleitender Fluoroskopie möglich sein.



Abbildung 25: Aufteilung des Wirbelkörpers in ein ventrales, mediales und dorsales Drittel. Die Schnittpunkte mit den parasagittalen Linien unterteilen den Wirbelkörper weiterhin in zwei laterale und ein mediales Drittel. Die Ringe symbolisieren die erwünschte Kantilenendlage.

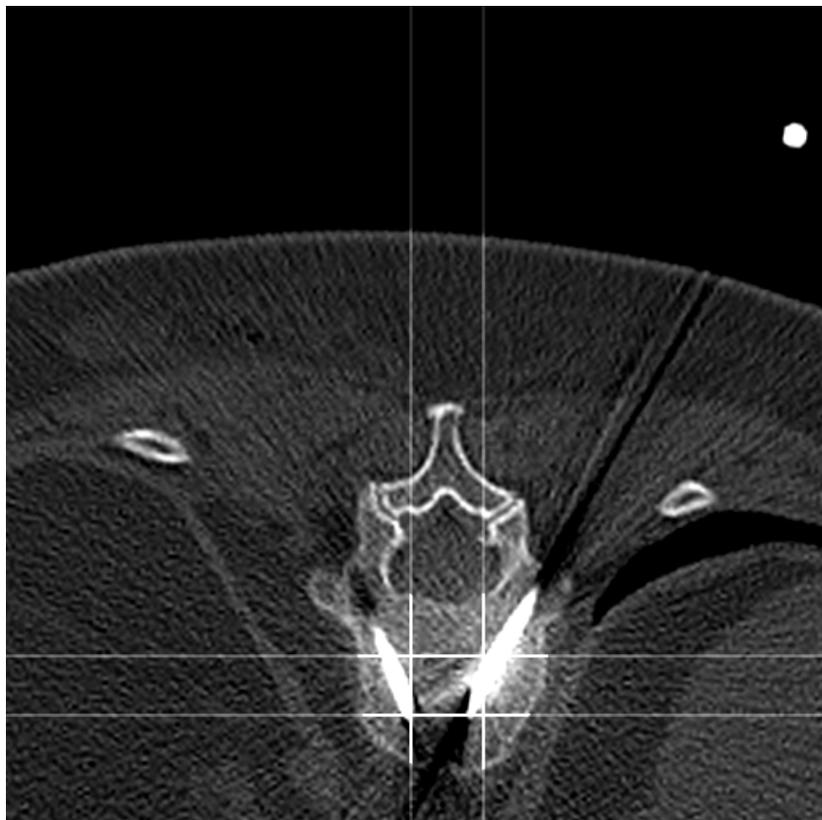


Abbildung 26: Optimale Zielendlage der Vertebroplastiekannülen.

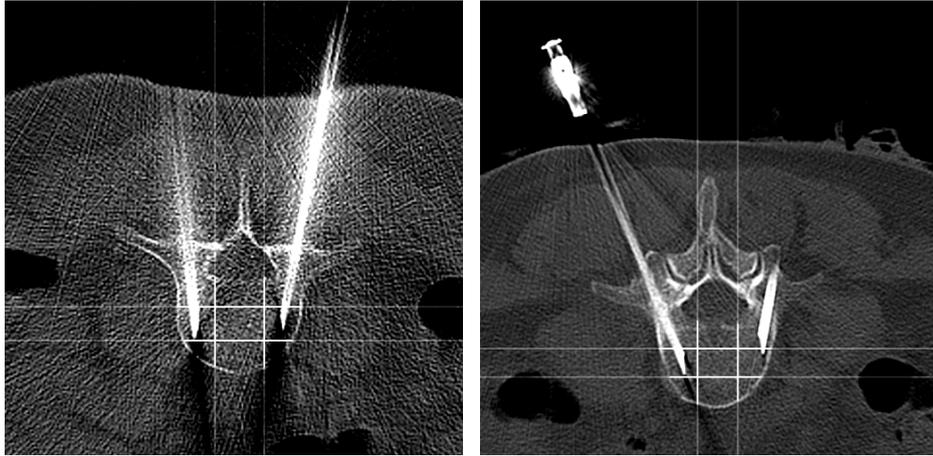


Abbildung 27: Abweichende Endlage der Vertebroplastiekannülen im lateralen Drittel.

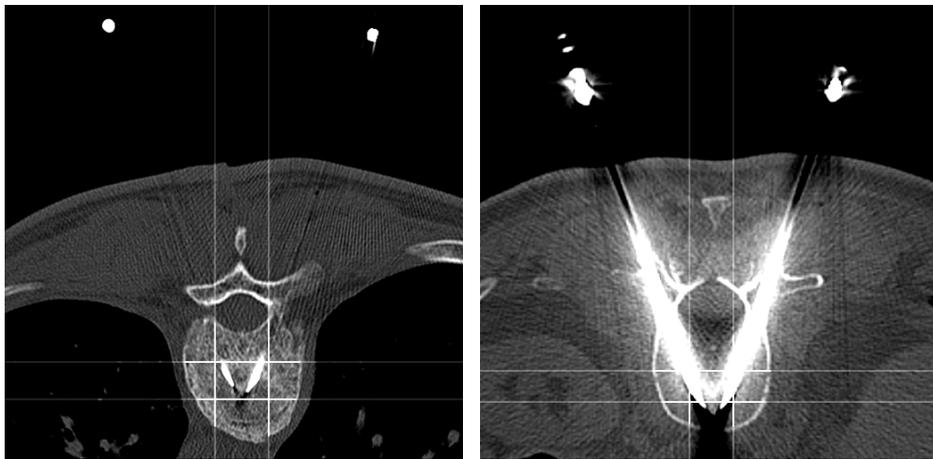


Abbildung 28: Abweichende Endlage der Vertebroplastiekannülen im medialen Drittel.

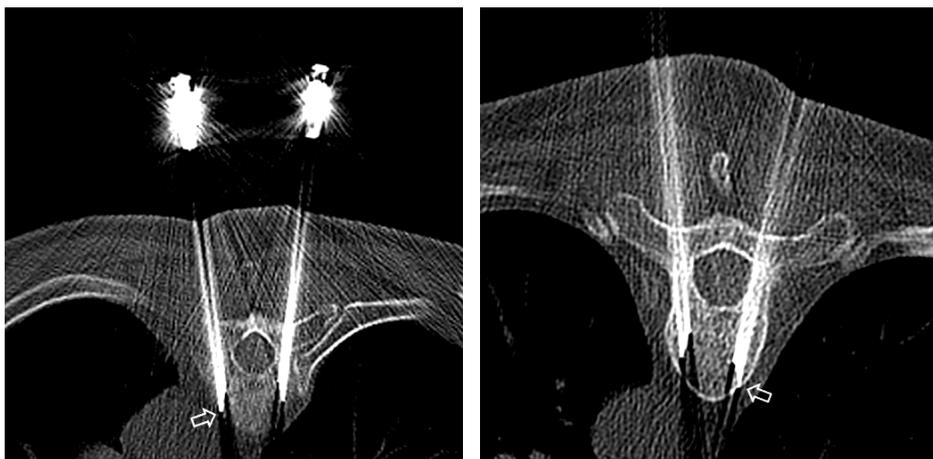


Abbildung 29: Perforationen (Pfeil) der ventralen und lateralen Wirbelkörperwand im Zuge der ct-gesteuerten Platzierung der Vertebroplastiekannülen.

Der Zementbolus sollte nach Abschluß des Injektionsvorganges das ventrale Wirbelkörperdrittel seitengleich ausfüllen. Eine weitere Ausdehnung nach dorsal über die Grenze zum mittleren Wirbelkörperdrittel stellt keine Komplikation dar, sondern fördert die stabilisierende Wirkung. Eine hinterkantennahe Zementapplikation unter Aussparung des ventralen Wirbelkörperdrittels ist nur bedingt zu empfehlen, da in diesen Fällen die axiale Krafteinwirkung auf die frakturierte Vorderkante nicht adäquat abgefangen werden kann.

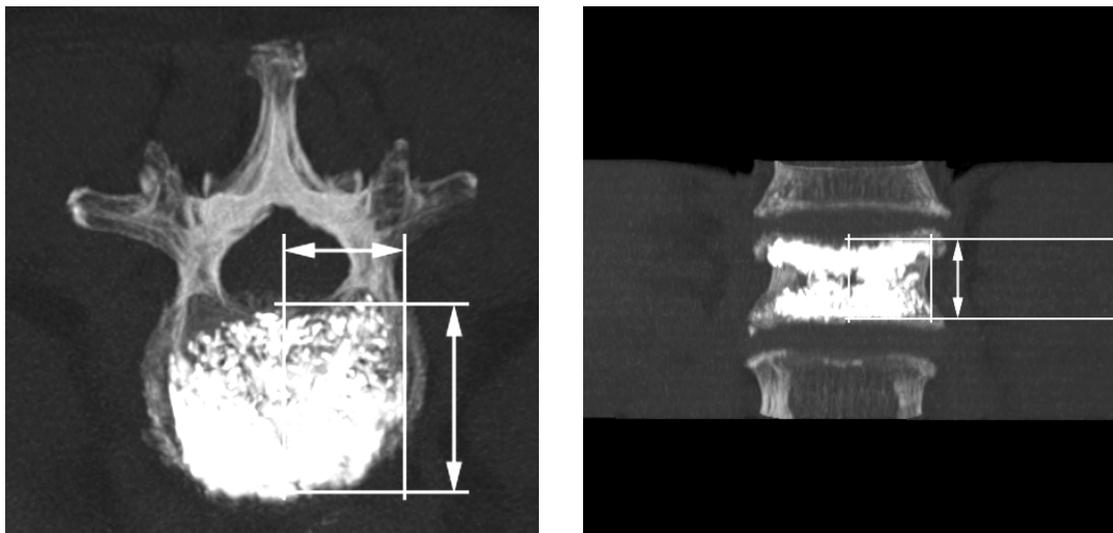


Abbildung 30: Schema zur Beurteilung der intravertebralen Zementbolusverteilung.

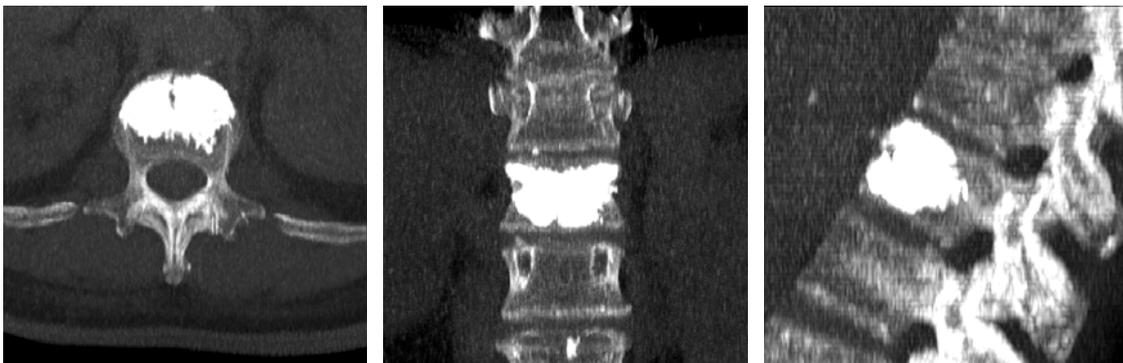


Abbildung 31: Optimale, seitengleiche Verteilung im Verhältnis 50:50 des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation.

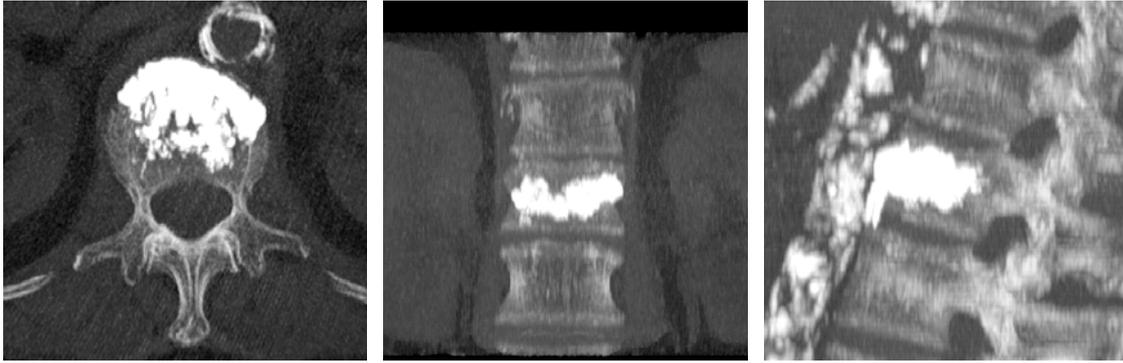


Abbildung 32: Verteilung des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation im Verhältnis 60:40 zugunsten der linken Wirbelkörperseite.



Abbildung 33: Verteilung des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation im Verhältnis 70:30 zugunsten der linken Wirbelkörperseite.

6.3 Komplikation Zementleckage

Eine gefürchtete Komplikation der perkutanen Vertebroplastie ist das Auftreten eines Zementexsudats aus dem behandelten Wirbelkörper. Diese Zementleckage tritt während der Füllungsphase mit dem noch flüssigen Zement auf. Zementverschleppungen nach intraossärer Aushärtung wurden noch nicht beobachtet oder beschrieben. Das Auftreten einer Zementleckage hängt von verschiedenen Faktoren ab und ist nur begrenzt vorhersehbar. Eine wichtige Rolle spielen hierbei die Knochenpermeabilität und Knochenporengröße. Diese beiden Faktoren sind im Falle einer osteoporotisch bedingten Wirbelkörperfraktur erhöht, da die Knochenstruktur hier rarefiziert ist und intraossäre Resorptionsvorgänge den Raum zwischen den Knochenbälkchen vergrößern. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Hohlräumen wird erleichtert und eine kontinuierliche Ausbreitung des Zements in seiner flüssigen Phase unterstützt. Ebenfalls ausschlaggebend ist die Größe des Extrudatweges.

Dehiszente Frakturspalte, welche sich langstreckig über die Wirbelkörperoberfläche ausdehnen, bieten eine optimale Voraussetzung zur unkontrollierten Zementverteilung im extraossären Raum. Die beschriebenen anatomischen Veränderungen lassen sich vom Operateur nicht beeinflussen. Sie können nur im Vorfeld des Eingriffes eruiert werden und die Gefahr einer Zementleckage und -verschleppung abgeschätzt werden. Ein weiterer Faktor, welcher vollkommen unabhängig vom anatomischen Status des zu behandelnden Wirbelkörpers ist, ist die Zementviskosität. Diese wird vom Operateur direkt beeinflusst. Nur hier hat er die Möglichkeit aktiv in die Leckageentstehung einzugreifen. Je höher die Viskosität des verwendeten Zementes ist, desto niedriger ist die Wahrscheinlichkeit einer Komplikation. Eine Möglichkeit zur Viskositätserhöhung ist die Erhöhung der Zeit zwischen Anrühren des Zement und der Applikation in den Wirbelkörper. Da die Aushärtung des Zements einen festen Zeitbetrag hat, verschiebt sich in diesem Fall nur der Zeitpunkt der Applikation. Das bedeutet, je länger die extrakorporale Anbindungszeit des Zementes ist, desto geringer ist die Zeit, welche von der Applikation zum endgültigen Aushärten des Zements zur Verfügung steht. Eine weitere Methode zur Erhöhung der Zementviskosität ist die Erhöhung des „Pulver-zu-Monomer-Verhältnisses“. Nachteil hierbei ist, dass die Zementmasse inhomogen wird und sich nicht kontrolliert applizieren lässt. Inhomogene Zementmengen haben außerdem ein erhöhtes Risiko Luftbläschen während der Umfüllungsphase aus dem Mixer in das Applikationssystem zu binden. Diese Blasen können nach ihrem Auftreten nicht mehr aus der Zementmasse entfernt werden und werden somit unweigerlich „mitappliziert“. Sollte die Viskosität zu stark erhöht werden, kann es außerdem zum Verdrängen der Spongiosabälkchen während der Applikationsphase kommen. Hierbei ist der Betrag der Verzahnung des Zements in der physiologischen Knochenstruktur herabgesetzt und die adäquate mechanische Abstützfunktion ist erniedrigt [24,25]. Außerdem werden die Komponenten, welche zur Herstellung des endgültigen Zements benötigt werden herstellerseitig in einem festen Verhältnis geliefert. Eine Veränderung des Verhältnisses kann nur durch das intraoperative Abmessen, beziehungsweise Abwiegen der vorgefertigten Komponentenmengen erreicht werden. Da die stabilisierende Wirkung des Zementes jedoch ein bestimmtes Verhältnis aller Komponenten erfordert, kommt die individuelle Kombination der

Ausgangsmaterialien im operativen Alltag nicht in Frage. Das Auftreten einer Zementleckage wird in vielen Fällen als ein kosmetischer Fehler angesehen. Hier wird jedoch die Fernwirkung im Falle einer Zementverschleppung unterschätzt. In zahlreichen Studien wurden die Komplikationen, welche mit der Ausspülung des noch flüssigen Zementes in den Körper einhergehen können untersucht.

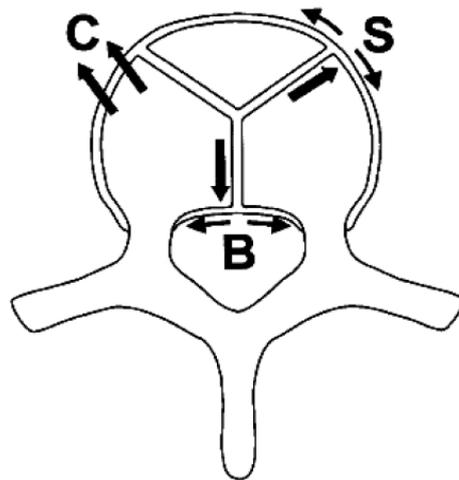


Abbildung 34: Typisierung der Leckagen. Typ-C über einen Kortikalisdefekt, Typ-S über die Segmentvenen, Typ-B über die Vv. basovertebrales. Nach Yeom et al. 2003.

Lungenembolien [25], Embolisate in die Vena cava und Pulmonalarterien [26], extrakorporaler Zementabfluss mit Auffüllung des extraduralen Venenplexus bis in die Vena cava [27], paradoxe cerebrale Arterienembolie bei persistierendem Foramen ovale [28] und renale Embolisierung [29] durch das Extrudat wurden beschrieben. Auch können die nervalen Strukturen betroffen sein. Hier wurden Neuritiden, Radikulopathien und sogar Paraplegien [30,33] beobachtet. Bei intaktem Ligamentum longitudinale posterius sind neurologische Komplikationen bei Zementaustritten in den Spinalkanal trotz der beschriebenen Fälle eine Rarität. Insgesamt liegt die Komplikationsrate der Zementleckage bei perkutaner Vertebroplastie bei 11-76 % [31,59]. Jedoch zeigen andere Studien ein Risiko der Leckage von annähernd 100 % [32]. Hier wurden postoperative CT-Kontrollen durchgeführt, wobei eine Leckage pro behandeltem Wirbelkörper nachgewiesen wurde. Die Zementleckagen werden nach ihrer Lokalisation, beziehungsweise der Durchtrittsstellen am Wirbelkörper klassifiziert. Hierbei spielen die anatomischen Voraussetzungen, sowie die Frakturverläufe eine wichtige Rolle [32].

6.3.1 Typ B-Leckage

Bei dieser Variante erfolgt der Zementaustritt über die Vv. basovertebrales des behandelten Wirbelkörpers. Das unter Hochdruck applizierte Polymethylmethacrylat tritt nach dorsal in den spinalen Venenplexus aus. Je nach Umfang des Extrudats kann es zu Kompressionen des Rückenmarks und der Cauda equina kommen. Auch die Verschleppung von Zementanteilen nach kranial, entlang des venösen Plexus wurde beschrieben. Oft bleiben diese Leckagen asymptomatisch, besonders wenn es sich um die Behandlung eines Lendenwirbelkörpers handelt. Die Flexibilität der Fasern der Cauda equina stellt sich hier als Vorteil heraus.

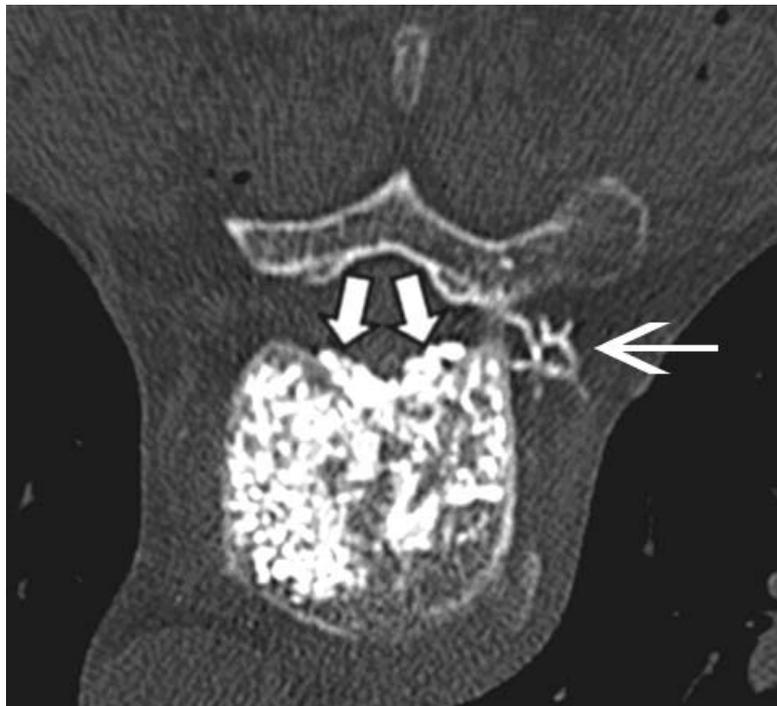


Abbildung 35: Typ-B Leckage mit Austritt des PMMA nach dorsal mit Auffüllen des dorsalen Venenplexus (breite Pfeile) und paravertebral links (schmaler Pfeil).

6.4.1.3 Typ S-Leckage

Hierbei tritt der noch flüssige Knochenzement durch die Segmentalvenen des behandelten Wirbelkörpers nach paravertebral aus. Je nach Viskosität, Menge und Applikationsdruck des Zements kann es zu lokalen Komplikationen oder weitreichenden Zementverschleppungen kommen. Diese sind im Falle dieses Leckage-Typs besonders problematisch, da das Segmentvenensystem über die Vena azygos direkten Anschluss an die Vena cava inferior hat und somit die Gefahr der intrakardialen oder intrapulmonalen Zementleckage besteht.

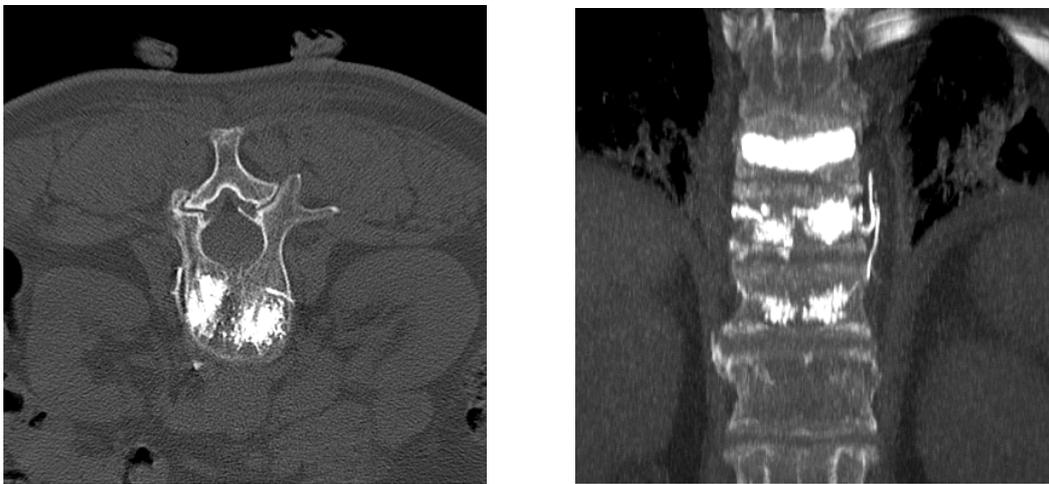


Abbildung 36: Typ-S Leckage mit Austritt des PMMA über die Segmentvenen.

6.4.1.4 Typ C-Leckage

Tritt der noch flüssige Zement über einen frakturbedingten Kortikalisdefekt aus, spricht man von dieser Leckagevariante. In den meisten Fällen tritt diese Form als intradiskale Leckage auf.

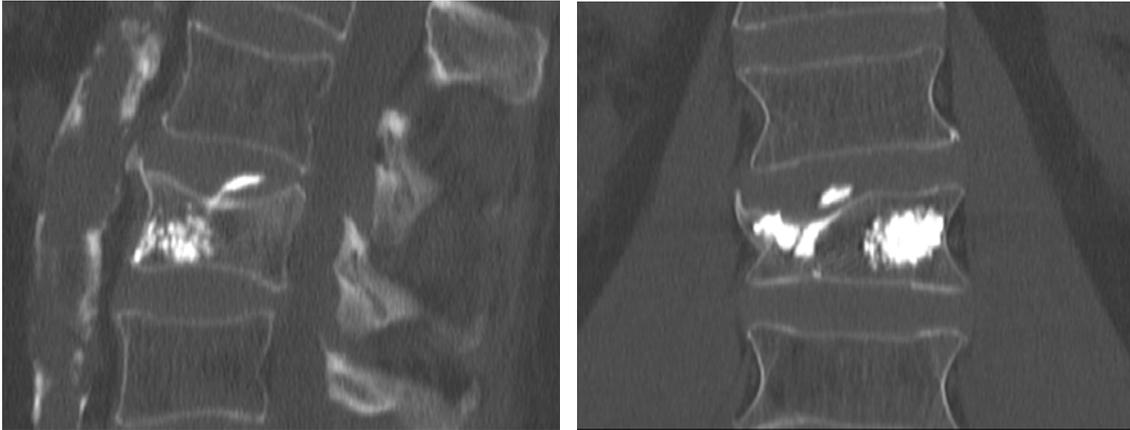


Abbildung 37: Typ-C Leckage mit Austritt des PMMA in das kranial gelegene Bandscheibenfach über einen frakturbedingten Kortikalisdefekt.

6.4 Vor- und Nachteile der Perkutanen Vertebroplastie

6.4.1 Vorteile der Vertebroplastie

- Eingriff kann als ambulante Behandlung erfolgen
- Kurze Eingriffszeiten in Lokalanästhesie ohne großflächige Wundöffnung
- Schnelle postinterventionelle Mobilisierung des Patienten nach Zementaushärtung möglich
- Ausschließliche Behandlung der betroffenen Wirbelkörper
- Wiederholbarkeit des Eingriffes an weiteren Wirbelkörpern in kurzen Zeitabständen

6.4.2 Nachteile der Vertebroplastie

- Keine Aufrichtung des Wirbelkörpers nach Sinterung möglich
- Gefahr der Zementverschleppung mit Bildung von peripheren Embolien und intraspinaler Beteiligung

6.5 Perkutane Vertebroplastie

6.5.1 Material und Methoden

6.5.1.1 Computertomograph

Alle vertebroplastischen Prozeduren wurden am SIEMENS SOMATOM PLUS4 Volume Zoom durchgeführt. Die verwendete Software entsprach der werkseitig installierten Version Syngo Somaris/5.



Abbildung 38: SIEMENS SOMATOM PLUS4.

6.5.1.2 Fluoroskopie

Übliches analoges C-Bogen-Fluoroskopiergerät mit angeschlossenem Drucker zur Dokumentation des Behandlungsverlaufes.

6.5.1.3 Vertebroplastie-Materialien

Verwendet wurden das Vertebroplastie-Set „complete“ der Firma SOMATEX.

2x Vertebroplastie-Kanülen mit entsprechenden Mandrins

1x Cement-Injection-System (CIS) 4 ml

1x Mixing-Device

1x Nadelhalter

Zusätzlich wurde ein einzelnes Cement-Injection-System aus einer Einzelpackung benötigt.

Die Sets lagen in verschiedenen Größen vor, welche sich aufgrund der Kanülengröße unterschieden.

| Kanüledurchmesser (in mm/G) | Kanülenlänge (in mm) | Innenvolumina (in ml) |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 3,00 / 11 | 100 | 0,45 |
| 3,00 / 11 | 125 | 0,55 |
| 3,00 / 11 | 150 | 0,65 |
| 2,50 / 13 | 125 | 0,30 |

Abbildung 39: Daten verschiedener Vertebroplastiekanülen.

Der verwendete Zement SOMATEX-CEMENT entsprach einem Polymethylmethacrylat (PMMA)-Polymerisat, welcher aus einer pulverförmigen und flüssigen Komponente bestand. Die Komponenten wurden in einem geschlossenen Mix-System am Interventionstisch verarbeitet.

| Pulver-Komponente (21 g) | % | Flüssigkeitskomponente (9,2 g) | % |
|---------------------------------|------|---------------------------------------|--------|
| Methylpolymethacrylat | 64,4 | Methylmethacrylat | 97,6 |
| Benzoylperoxid | 0,6 | N-N Dimethyl-p-Toluidin | 2,4 |
| Bariumsulfat | 25,0 | Hydrochinon | 20 ppm |
| Hydroxylapatit | 10,0 | | |

Abbildung 40: Inhaltsstoffe der PMMA-Komponenten.

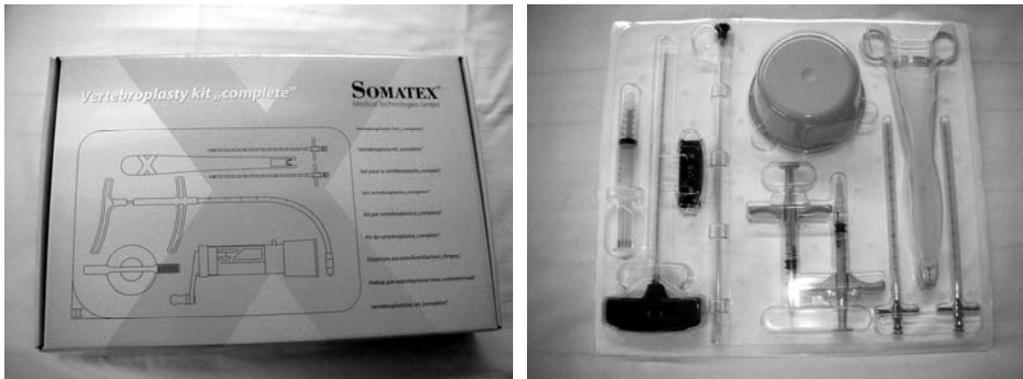


Abbildung 41: Vertebroplastie-Set „complete“ der Firma SOMATEX.

6.5.2 Präoperatives Management

Der Patient gibt nach einer ausführlichen ärztlichen Aufklärung über den Eingriff, sowie über alternative Behandlungsmethoden und mögliche Komplikationen sein schriftliches Einverständnis. Der Eingriff erfolgt in Lokalanästhesie. Der Patient sollte in der Lage sein, ca 60 min ohne Probleme in Bauchlage zu liegen. Zur Vorbereitung des Patienten auf den Eingriff gehört die Anlage eines peripher-venösen Zuganges, um im Falle einer Komplikation unverzüglich medikamentös behandeln zu können. Eine zusätzliche Gabe eines systemisch wirkenden, sedierenden Medikamentes ist nur in Einzelfällen notwendig [43]. Die Lagerung erfolgt in Bauchlage, wobei darauf zu achten ist, dass der Patient unter den Beckenschaufeln und im Brustbereich, sowie an allen prominenten knöchernen Strukturen, welche Kontakt zur Liegefläche haben, eine ausreichende Unterfütterung mittels Kissen und Lagerungsmaterialien erhält. So können lagerungsbedingte Druckstellen vermieden werden. Die Polsterung des Patienten sollte individuell erfolgen und auf die körperliche Statur ausgerichtet sein. Über den peripher-venösen Zugang wird eine 500 ml NaCl-Infusion angehängt und langsam appliziert. Bei Bedarf kann über die Infusion ein analgetisches Medikament verabreicht werden. Eine präoperative Single-Shot-Antibiose kann erfolgen [44], ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

6.5.3 Durchführung

6.5.3.1 Vorbereitungsphase

Nach der ausführlichen Aufklärung des Patienten über die Art und Vorgehensweise des Eingriffes, sowie die Erläuterung der möglichen Komplikationen wird ein peripher venöser Zugang gelegt. Dieser soll sicherstellen, dass bei unvorhersehbaren Komplikationen, in deren Verlauf es zu einem Kreislaufversagen kommen kann, die Möglichkeit der umgehenden intravenösen Medikation gegeben ist. Der Patient wird nun in Bauchlage auf dem CT-Tisch positioniert und mit ausreichend Polstermaterial unterfüttert. Hierbei ist darauf zu achten, dass exponierte Körperpartien eine zusätzliche Polsterung benötigen (Ellenbögen, ventrale Beckenschaufeln, Knie, Füße). Im Verlauf des Eingriffes wird es schwierig die Positionierung des Patienten zu optimieren ohne die sterile Abdeckung zu verletzen. Ebenfalls erfolgt die Positionierung des CT-Tisches im Gerät anhand einer Längenskala und orientiert sich an der Schichtnummer, welche im nativen Pre-Scan fixiert wurde. Nachdem der Patient seine endgültige Lage eingenommen hat, wird eine 500 ml NaCl-Infusion angehängt. Der erste Schritt zur Bildgebung ist die Anfertigung eines nativen CT-Scans über der zu behandelnden Wirbelkörperhöhe.

| CT-Pre-Scan | | | | |
|---------------|-------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Spannung (kV) | Stromstärke (mAs) | Kollimation | Schichtdicke | Recon Increment |
| 120 | 150 | 2.5 | 3.0 | 1.5 |

Abbildung 42: CT-Pre-Scan.

Es sollten die angrenzenden Wirbelkörper mit abgebildet sein, um deren Qualität zu beurteilen und eventuelle Anschlußfrakturen auszuschließen. Dieser erste Scan wird nun in die 3D-Software eingeladen und der zu behandelnde Wirbelkörper in transversaler, sagittaler und frontaler Ansicht dargestellt. Im sagittalen Bild wird nun eine Hilfslinie durch den jeweiligen Pedikel gelegt und diese mit dem Drehpunkt im Pedikel auf die fronto-kaudale Wirbelkörperkante ausgerichtet. Auf der Hautgrenze ergibt sich somit eine kraniale Abweichung

von der Transversalebene (Kraniallinie), welche ausgemessen wird. Der CT-Tisch wird anschließend auf die Schicht des Pedikelzentrums gefahren.

| Biopsie-Scan | | | | |
|---------------|-------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Spannung (kV) | Stromstärke (mAs) | Kollimation | Schichtdicke | Recon Increment |
| 120 | 40 | 1.0 | 4.0 | - |

Abbildung 43: CT-Biopsie-Scan

Mit Hilfe des Laser-Shields am CT (transversale Zielvorrichtung) wird nun auf der Haut eine transversale Linie (Grundlinie) skizziert. Hierzu benötigt man einen dermatografischen Stift, welcher auch nach Desinfektion der Haut ausreichend sichtbar bleibt. Es folgt die Anzeichnung einer parallel verlaufenden Linie kranial der Grundlinie in einem Abstand entsprechend der gemessenen kranialen Abweichung. Somit ist die transversale Punktionshöhe festgelegt und es folgt die Bestimmung der definitiven Punktionsstellen durch die Ausmessung des paravertebralen Abstandes. Diese Bestimmung wird nun am CT durchgeführt und bedarf keiner 3D-Software mehr. Zu diesem Zweck wird ein röntgendichter Markierungsdraht parallel zur Wirbelsäule auf die paravertebrale Muskulatur gelegt und ein Einzelbild auf Höhe der Grundlinie angefertigt. Hier ergibt sich nach Lagekorrektur des Drahtes unter Einzelbildanfertigung eine gedachte Linie, ausgehend vom Markierungsdraht, durch den Pedikel bis in das ventrolaterale Drittel des Wirbelkörpers. Bei vorgesehener bipedikulärer Punktion wird dieser Schritt für die kontralaterale Seite wiederholt. Der Schnittpunkt der paravertebralen Linien mit der Kraniallinie ergibt die definitiven Punktionsstellen. Es folgt die lokale Desinfektion und sterile Abdeckung des Operationsgebietes, sowie der bereitstehenden Geräte (CT-Folie, Fluoroskopie-Hauben, Materialtisch). Im Anschluß erfolgt die Justierung der Fluoroskopie, wobei darauf zu achten ist, dass sowohl der zu behandelnde Wirbelkörper, wie auch die dorsale Hautgrenze gut einzusehen sind.

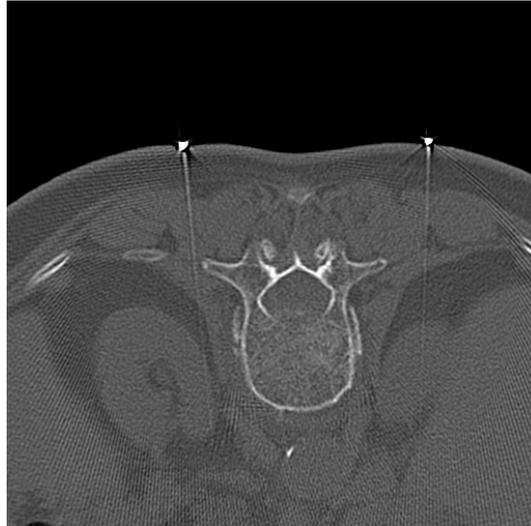


Abbildung 44: CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Auf der Hautgrenze sind Markierungsdrähte zu sehen, welche die geplanten Eintrittsstellen der Vertebroplastiekanülen anzeigen.

6.5.3.2 Punktionsphase

Ausgehend von der angezeichneten Einstichstelle wird nun der zu erwartende Punktionsweg mittels eines Lokalanästhetikums betäubt. Wir verwenden dazu Scandicain 1% und eine 20G Kanüle. Beidseits werden ca. 7-10 ml appliziert. Wichtig ist der knochen nahe Bolus, um das Periost ausreichend zu desensibilisieren. Nach Entfernung der Spritzen verbleiben die Kanülen im Patienten. Diese geben jetzt den Eintrittswinkel an, welcher unter CT-Kontrolle in Einzelbildtechnik korrigiert wird. Auf Höhe der Punktion erfolgt nun eine Stichinzision. Unter CT-Kontrolle wird anschließend die erste Biopsienadel entsprechend dem vorgegebenen Winkel eingebracht. Eine zusätzliche Kontrolle unter Fluoroskopie sichert den korrekten Verlauf. Die optimale Endposition der Biopsienadel ist erreicht, wenn die Kanülenspitze im ventrolateralen Wirbelkörperdrittel zu liegen kommt. Nach erfolgreicher Platzierung der ersten Biopsienadel wird die zweite Nadel durch den kontralateralen Pedikel eingebracht. Haben beide Nadeln ihre Endposition erreicht, werden die abgeschrägten Nadelspitzenöffnungen nach medial gedreht, um eine zentrale Zementverteilung im Wirbelkörper zu gewährleisten.

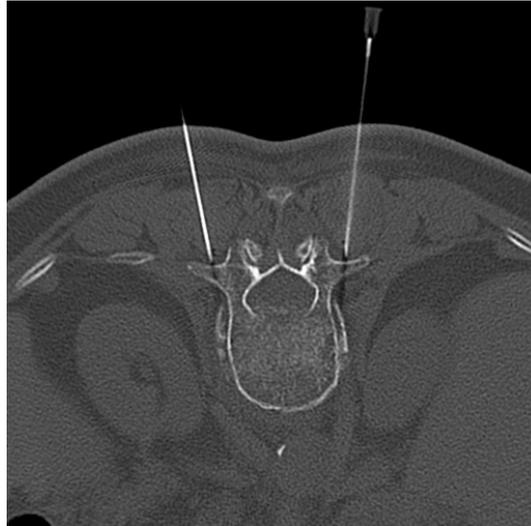


Abbildung 45: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Die Kanülen der Lokalanästhesie zeigen den geplanten Zugangsweg zum Wirbelkörper an.



Abbildung 46: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entlang der geplanten Zugangsstrecke wird die erste Vertebroplastiekannüle eingeführt.



Abbildung 47: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entlang der geplanten Zugangsstrecke wird die Vertebroplastiekannüle in die gewünschte Endposition gebracht.

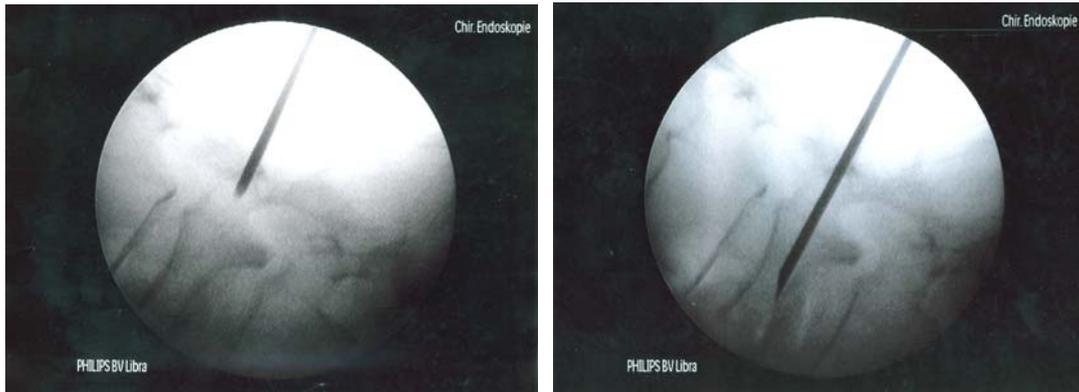


Abbildung 48: Kontrolle der Kanülenlage mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang.

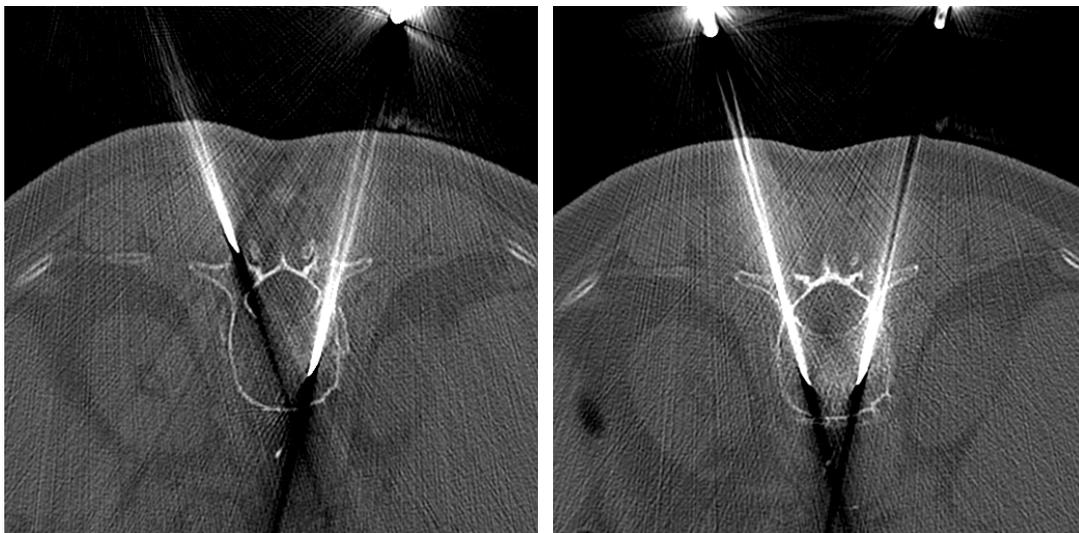


Abbildung 49: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entsprechend dem Verlauf der ersten Vertebroplastiekannüle wird die kontralaterale Kanüle eingebracht.

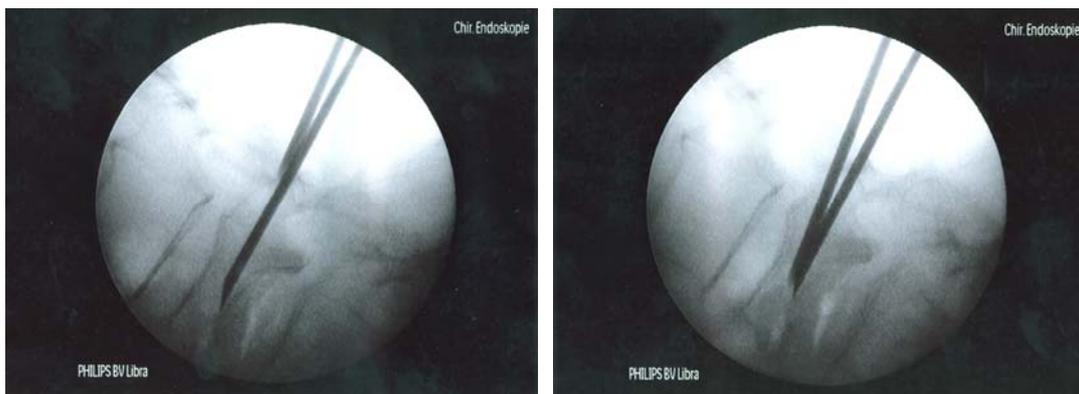


Abbildung 50: Kontrolle der Kanülenlage mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang.

6.5.3.3 Applikationsphase

Nach erfolgreicher Platzierung der Vertebroplastiekanülen erfolgt das Vorbereiten des Augmentationszementes mittels eines geschlossenen Mix-System. Hierbei ist auf darauf zu achten, dass die werkseitigen Angaben zur Mix-Zeit und Temperatur befolgt werden, um die homogene Textur des Zements zu gewährleisten. Es erfolgt nun das Befüllen der Injektionssysteme. Zusätzlich wird eine, für diesen Zweck vorgesehene Einwegspritze gefüllt. Über diese kann die aktuelle Konsistenz des Zements überprüft werden. Nachdem der Zement die erforderliche Viskosität erreicht hat, werden die gefüllten Applikationssysteme zeitgleich an die Vertebroplastiekanülen angeschlossen. Unter wechselnder CT- und Durchleuchtungskontrolle wird nun der Zement zügig appliziert. Hierbei ist auf eine annähernd seitengleiche Füllmenge zu achten. Im Falle eines beginnenden Zementaustrittes wird die Applikation kurz unterbrochen. Somit kann der ausgetretene Zement anbinden und als Okklusionsmaterial dienen. Im Anschluß sollte die Applikation zügig fortgesetzt werden. Ist der Wirbelkörper zentral aufgefüllt kann die Zementapplikation beendet werden.

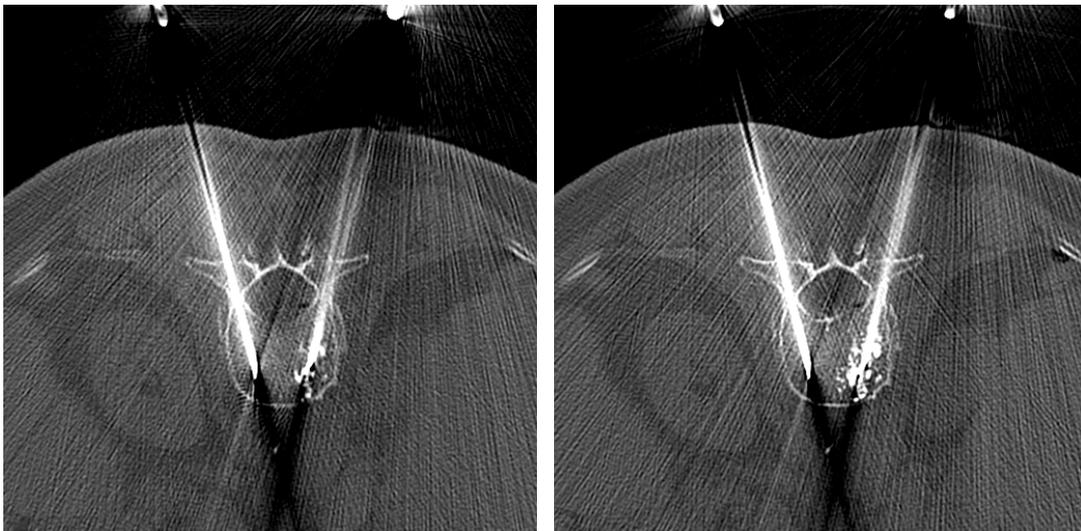




Abbildung 51: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Beginn der einseitigen Zementapplikation. Die Kanülenöffnungen sind nach medial gedreht.

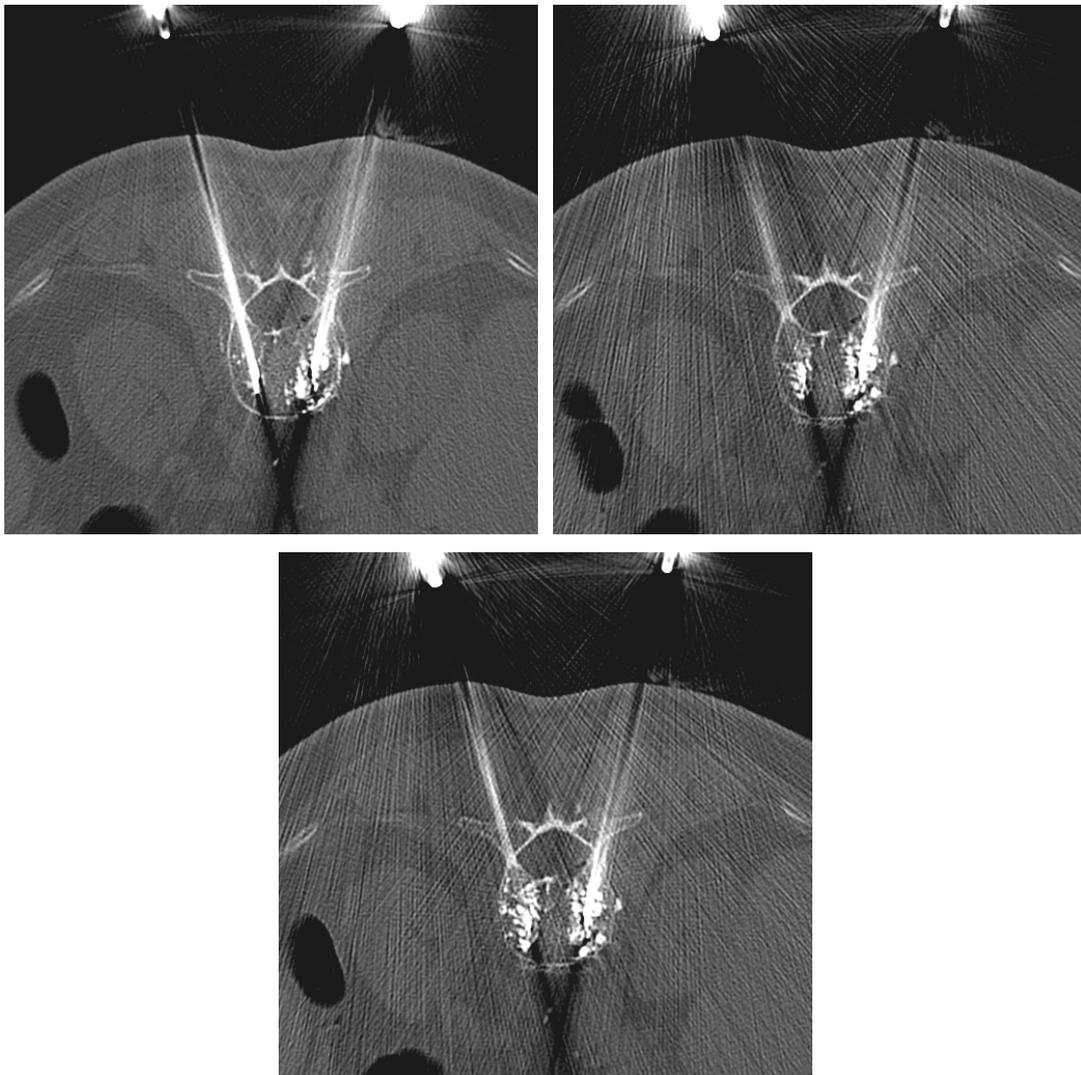


Abbildung 52: CT-Einzelbildacquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Nachfolgende Zementapplikation auf der kontralateralen Seite.

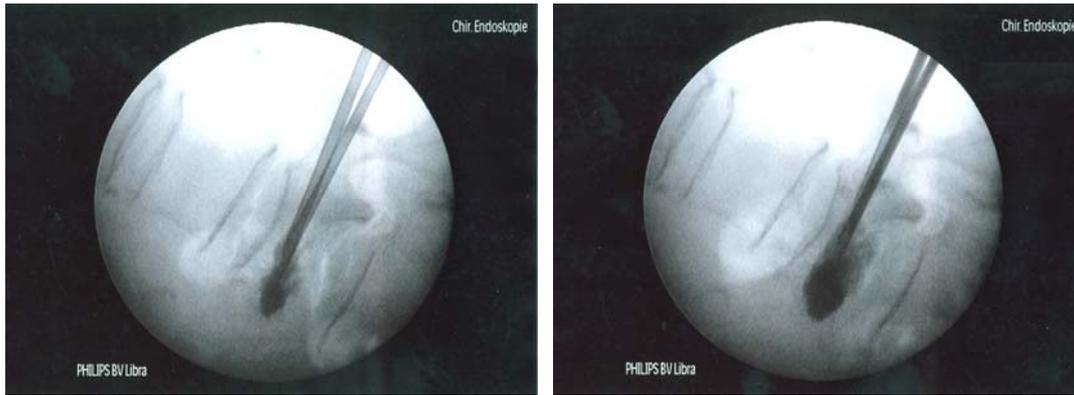


Abbildung 53: Kontrolle der Zementapplikation mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang.

6.5.3.4 Rückzugsphase

Nach Beendigung der Zementeinspritzung werden die Applikationssysteme zügig von den Vertebroplastiekanülen entfernt und die entsprechenden Mandrins eingeführt. Hierbei ist es von Vorteil, wenn diese im Vorfeld mit einer Jodlösung befeuchtet wurden. Der in den Vertebroplastiekanülen verbliebene Zement wird nun mittels der Mandrins zügig in den Wirbelkörper nachgepresst. Im Idealfall verbleibt kein Zementrest in den Kanülen. Es folgt eine Latenz von 1-2 Minuten, um den Zement anbinden zu lassen. Während dieser Zeit sollten die Kanülen wiederholt rotiert werden, um sie vom intravertebralen Zementbolus zu lösen. Anschließend können die Kanülen entfernt werden.

6.5.3.5 Nachbereitungsphase

Die Punktionsstellen werden desinfiziert und einzeln mittels steriler Pflaster abgedeckt. Die Einzelabdeckung verhindert die reaktive Spannungsblasenbildung während der anschließenden Ruheperiode des Patienten. Die Vitalwerte des Patienten wurden kontrolliert und eine grob orientierende neurologische Kontrolle durchgeführt. Der Patient darf sich nun aus eigener Kraft bewegen, sollte aber eine Zementaushärtungszeit von zwei Stunden einhalten. Im Anschluß sollte eine Röntgenthoraxaufnahme in zwei Ebenen angefertigt werden um eine pulmonale Zementverschleppung auszuschließen.

7. Auswertung

Patientenkollektiv

Im Rahmen der Studie wurde ein primär unselektiertes Patientengut analysiert, welches im Zeitraum vom 01.01.2004 bis zum 01.08.2008 mit einer oder mehreren Frakturen im der BWS und / oder LWS in unserem Institut mittels einer perkutanen Vertebroplastie unter CT-Unterstützung behandelt wurde. Es handelte sich dabei um insgesamt 92 Patienten (60 Frauen, 32 Männer) mit insgesamt 117 Frakturen im Bereich der BWS und LWS. Die Patienten wurden einerseits aus dem stationären Klinikbereich rekrutiert, andererseits handelte es sich um ambulante Eingriffe. Alle Eingriffe waren selektiv. Es wurde keine präventive Behandlung durchgeführt. Anhand eines zuvor erstellten Datenerhebungsbogens wurden die uns vorliegenden Patientendaten ausgewertet.

The screenshot shows a Microsoft Access 2003 window titled "Microsoft Access - [Stammdaten_Patienten_CT_Osteo]". The form is titled "Vertebroplastie" and contains the following fields and options:

- Wirbelkörper: AO: Hinterkante: ja nein
- Höhe VK (mm) vor Therapie: Höhe VK (mm) nach Therapie:
- Höhe HK (mm) vor Therapie: Höhe HK (mm) nach Therapie:
- Pedikel (mm):
- Zugang 1: transpedikulär parapedikulär
- Zugang 2: unipedikulär bipedikulär
- Zement: Vertebroplastic Kyphonzement
- Zement (ml): 0
- Höhenminderung: normale Höhe bis 10% bis 25% bis 50% bis 75% vertebra plana
- bone bruise: ja nein
- Zementaustritt: nein ja
- Austritt Spinalkanal: nein diskret mittelgradig deutlich
- Austritt paravertebral: nein diskret mittelgradig deutlich
- Austritt Bandscheibe: nein diskret mittelgradig deutlich
- Änschluss-Fx darunter: nein ja
- Änschluss-Fx darüber: nein ja
- Datum Anschlussfraktur:
- BSP WK kraniale BS:
- BSP WK kaudale BS:
- Höhe + SI kraniale BS:
- Höhe + SI kaudale BS:
- Bemerkung:

At the bottom, there are navigation controls for the data set, showing "Datensatz: 1 von 1" and "Datensatz: 94 von 94". A legend at the very bottom states: "1=HWS, 2=BWS, 3=LWS, 4=Sonstiges, also 31 = LWK 1, 32 = LWK 2".

Abbildung 54: Maske zur Erfassung der relevanten Patienten- und Untersuchungsdaten. Microsoft Access 2003.

Zusätzlich wurde in einem anschließenden Schritt das Bildmaterial der Behandlung gesichtet und die Lage der Vertebroplastiekanülen, sowie die quantitative Verteilung der Zementleckagen und deren Qualität ausgewertet.

Allgemeine Angaben

92 Patienten wurden im Auswertungszeitraum mittels einer perkutanen Vertebroplastie behandelt. Insgesamt wurden 60 weibliche und 32 männliche Patienten behandelt. Am häufigsten waren Patienten der Altersgruppe 80-89 Jahre (n=32) von Frakturen betroffen, gefolgt von der Altersgruppe 70-79 Jahre (n=28). Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 74 Jahre, wobei die jüngste Patientin 40 Jahre und der älteste Patient 92 Jahre alt waren. Bezugnehmend auf das Mindestalter von Vertebroplastiepatienten schlägt die Arbeitsgemeinschaft in ihrem interdisziplinären Konsensuspapier zur Vertebroplastie [97] vor, den Eingriff von der individuellen Situation des Patienten abhängig zu machen. In der Regel werden Patienten mit einem Alter von unter 60 Jahren einer konservativen oder, je nach Schwerefall operativen Therapie zugeführt. Die in der Untersuchung angeführte 40-jährige Patientin litt unter schweren schmerzhaften Bewegungseinschränkungen, welche chronifizierten. Multiple Begleiterkrankungen erschwerten die konservativen Behandlungsansätze, sodass eine vertebroplastische Intervention von der Patientin gewünscht wurde.

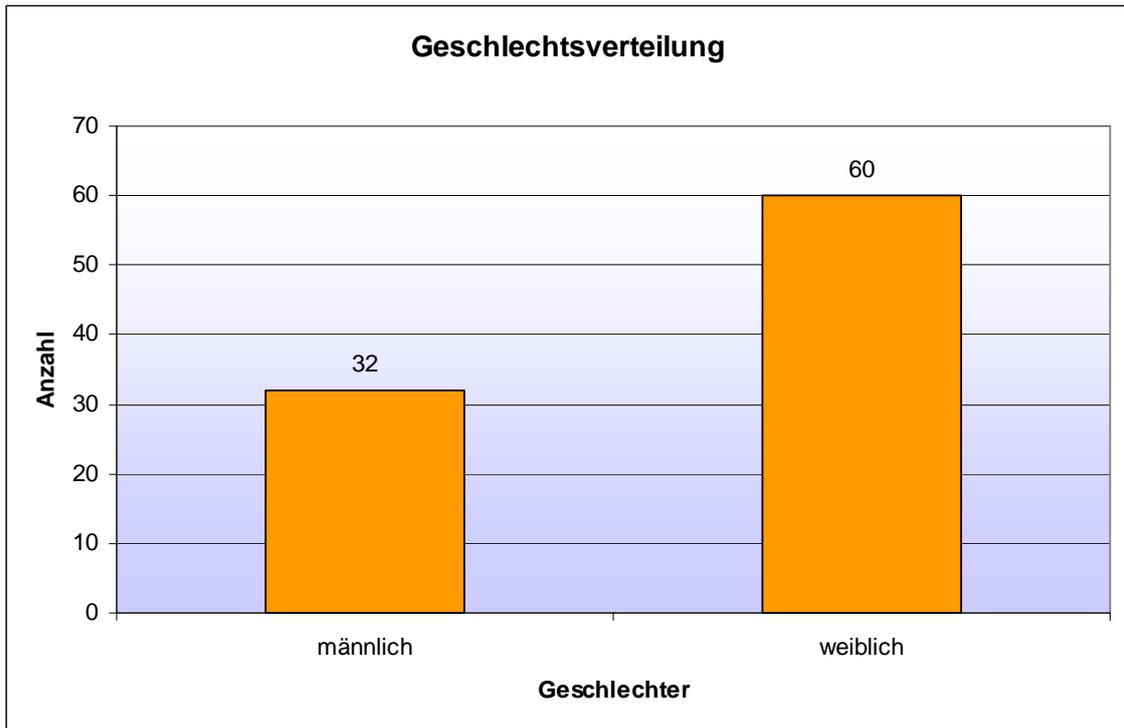


Abbildung 55: Geschlechtsverteilung der Patienten.

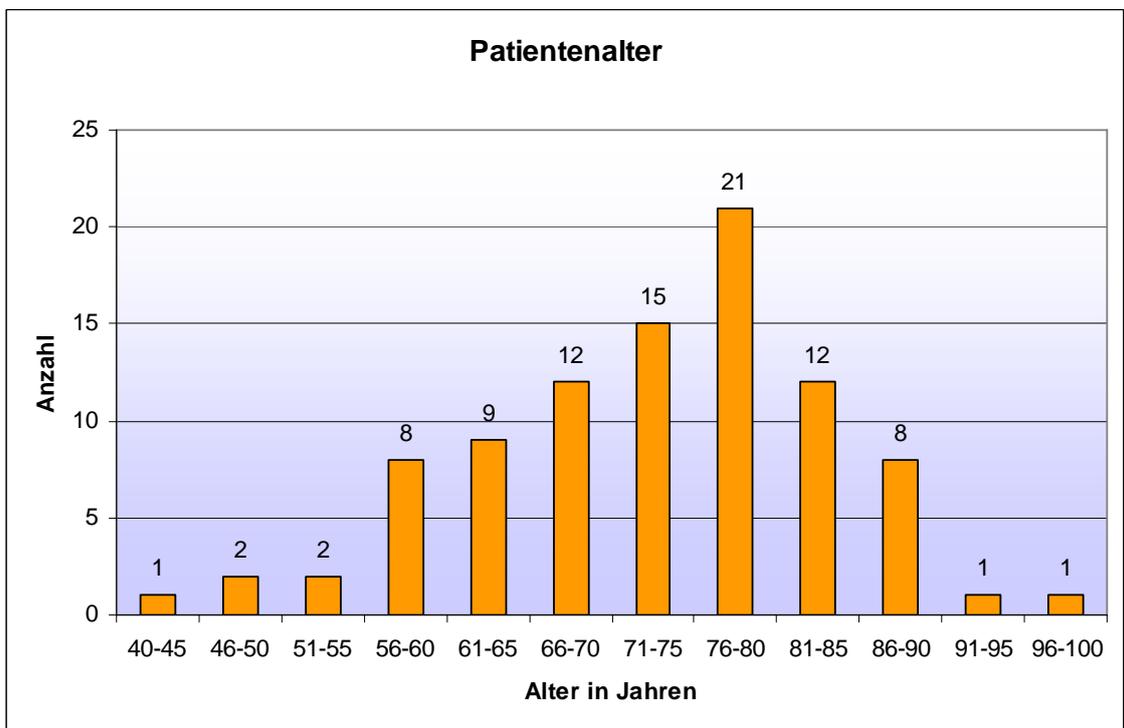


Abbildung 56: Patientenalter.

Frakturursachen

Die häufigste Verletzungsursache war die spontane Wirbelkörperfraktur (n=50) bei Osteoporose. Den restlichen 42 Wirbelkörperfrakturen ging ein adäquates Trauma, im Sinne eines Sturzes voraus. Die Umstände und Krafteinwirkungen der Stürze wurden nicht näher untersucht.

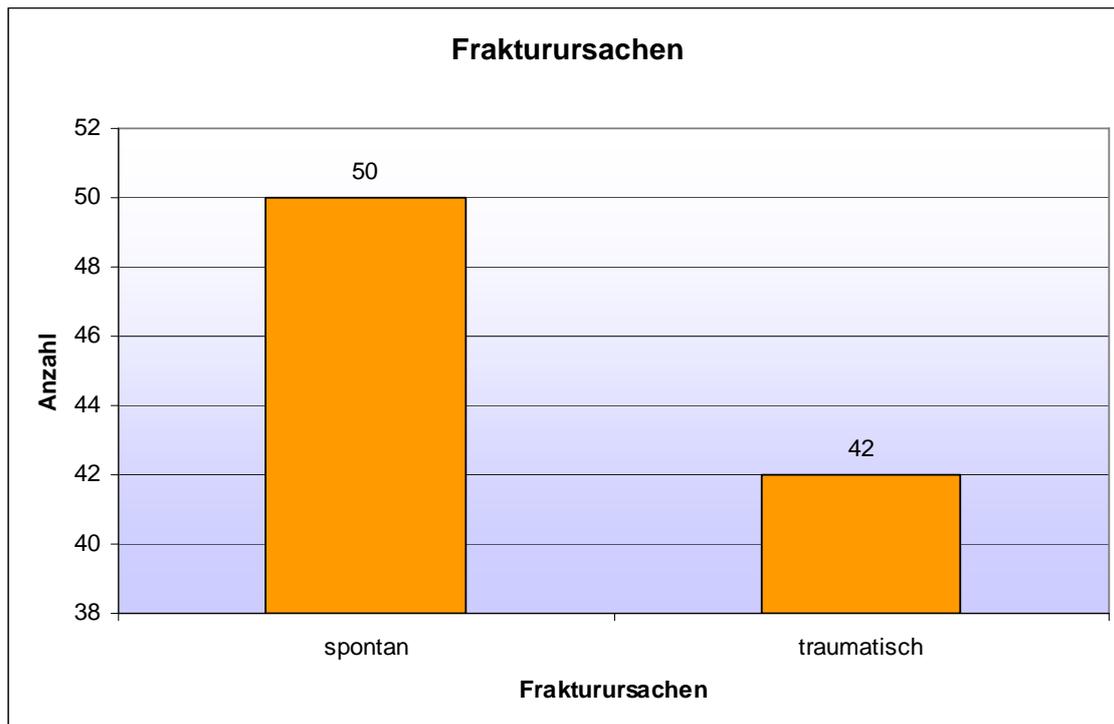


Abbildung 57: Unterscheidung der Frakturursachen in spontane und traumatische Fraktur.

Häufigkeit und Lokalisation der Wirbelkörperfrakturen

Im Gesamtkollektiv n=92 lagen insgesamt 117 Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule vor. Die am häufigsten betroffenen Regionen der Brustwirbelsäule waren BWK 11 (n=7) und BWK 12 (n=15). Im Bereich der Lendenwirbelsäule war LWK 1 (n=39) führend. An zweiter Stelle stand LWK 3 (n=17).

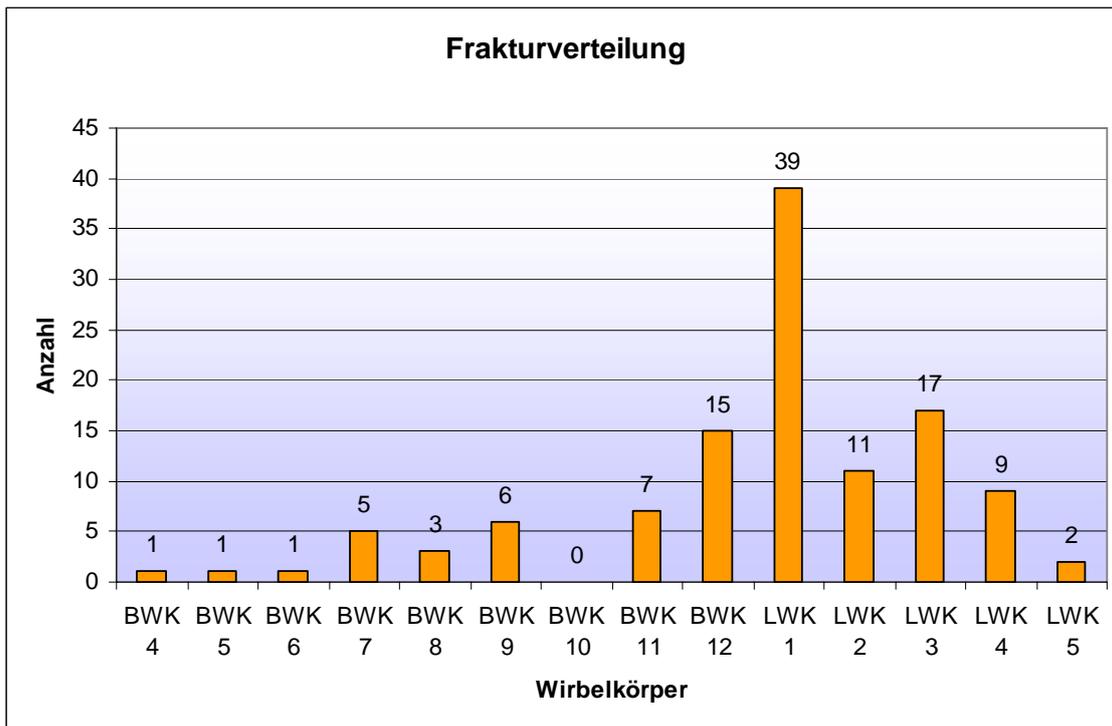


Abbildung 58: Verteilung der Frakturen bezüglich der Wirbelkörperhöhe.

Bei 75 Patienten wurde jeweils 1 Wirbelkörper, bei 12 Patienten wurden 2 Wirbelkörper, bei 3 Patienten wurden 3 Wirbelkörper und bei jeweils 1 Patienten 4 und 5 Wirbelkörper zeitgleich behandelt.

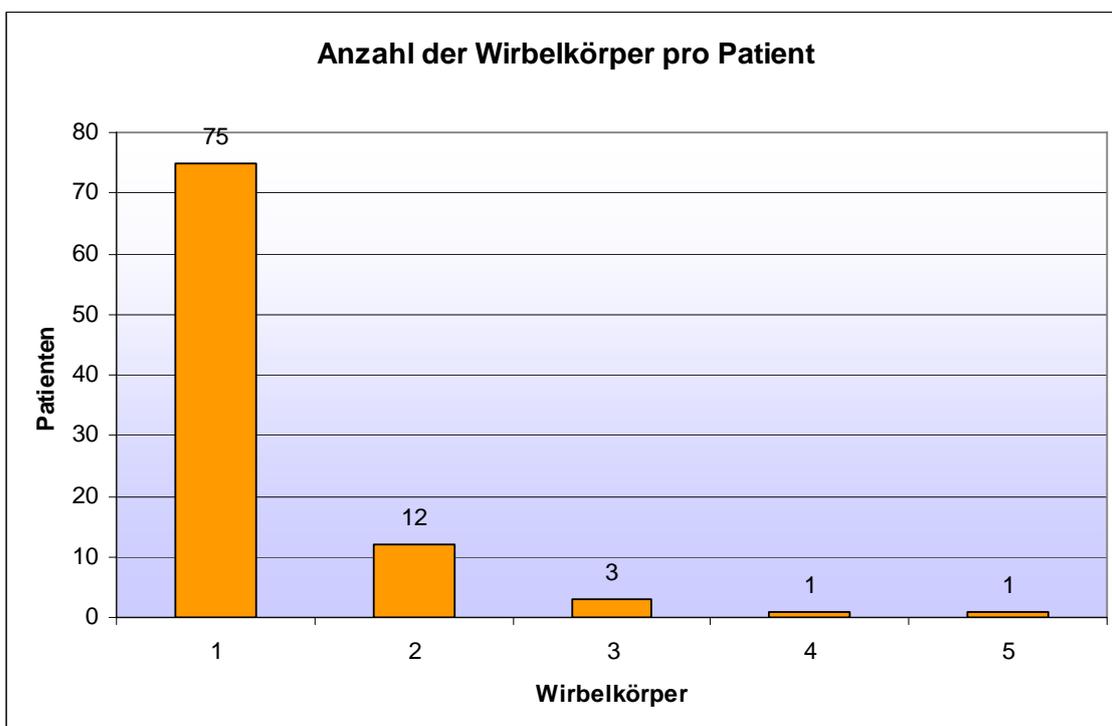


Abbildung 59: Anzahl der behandelten Wirbelkörper pro Patient.

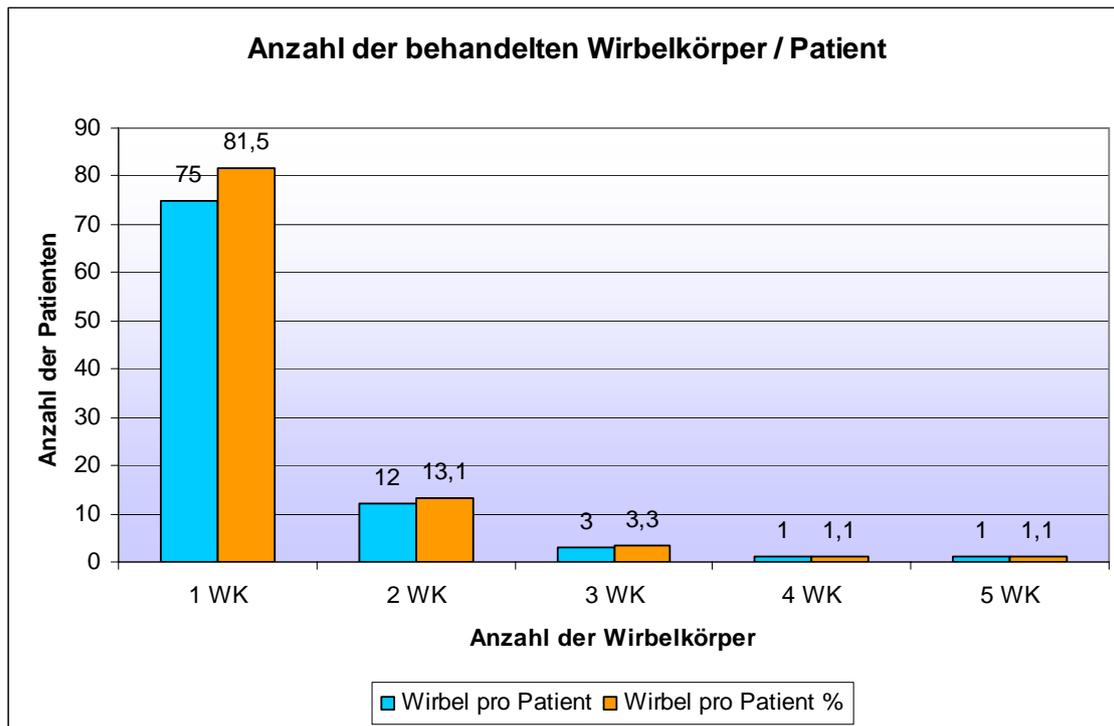


Abbildung 60: Anzahl der behandelten Wirbelkörper pro Patient.

Präinterventionelle Morphologie der frakturierten Wirbelkörper

Frakturalter

Die traumatisch bedingten Wirbelkörperfrakturen wurden nach Abklingen der akuten klinischen Symptomatik behandelt. Hier entschied der behandelnde Arzt der überweisenden Station / Einrichtung in Absprache mit den befundenden Radiologen über die Operationsfähigkeit des Patienten und den Zeitpunkt des Eingriffs. In einigen Fällen musste eine Latenz von mehreren Wochen in Anspruch genommen werden, um die Operationsfähigkeit des Patienten gewährleisten zu können. Im Gegensatz dazu wurden die meisten osteoporosebedingten Frakturen nach dem Einsetzen der Schmerzsymptomatik und nach Anfertigung adäquater Bildgebung behandelt. Hier vergingen in den meisten Fällen nur wenige Tage. Jedoch wurden auch ältere symptomatische osteoporosebedingte Frakturen behandelt. Im Durchschnitt betrug das Frakturalter 10 Tage, wobei die osteoporotischen Spontanfrakturen ein Durchschnittsalter von 12 Tagen und die traumatisch bedingten Frakturen 8 Tagen auf-

wiesen. Die ältesten symptomatischen Frakturen wurden 54 Tage nach Diagnosestellung behandelt. Es handelte sich um jeweils eine spontane, sowie eine traumatisch bedingte Wirbelkörperfraktur.

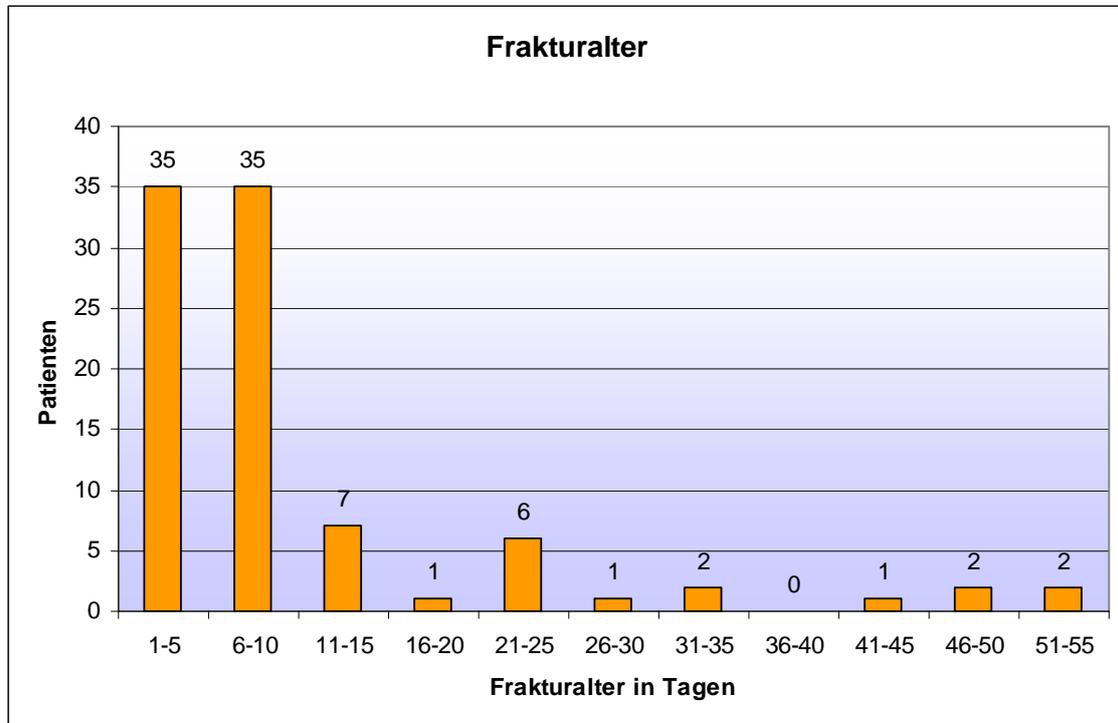


Abbildung 61: Darstellung des Frakturalters in Tagen.

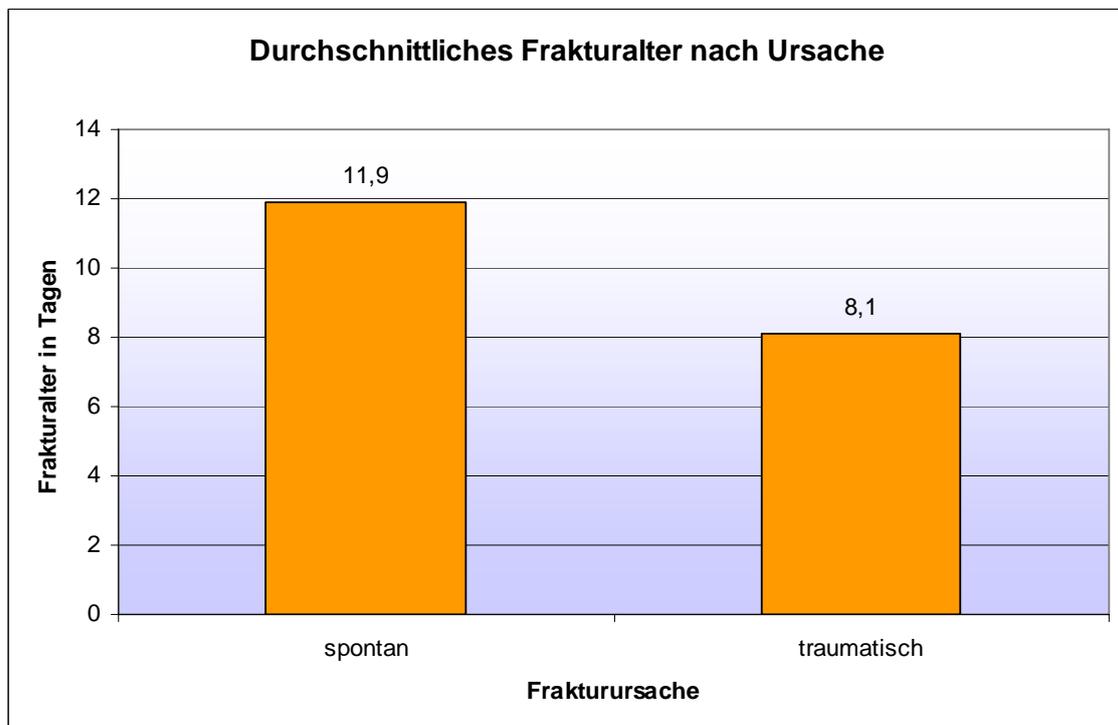


Abbildung 62: Darstellung des durchschnittlichen Frakturalters bezüglich der Ursache.

Frakturen nach der AO-Klassifikation / Hinterkantenbeteiligung

Von den 117 behandelten Wirbelkörperfrakturen entsprachen 107 einer A1-Fraktur und 10 Wirbelkörperfrakturen einer A2-Fraktur. Eine Rotationsfehlstellung wurde in keinem der Fälle nachgewiesen.

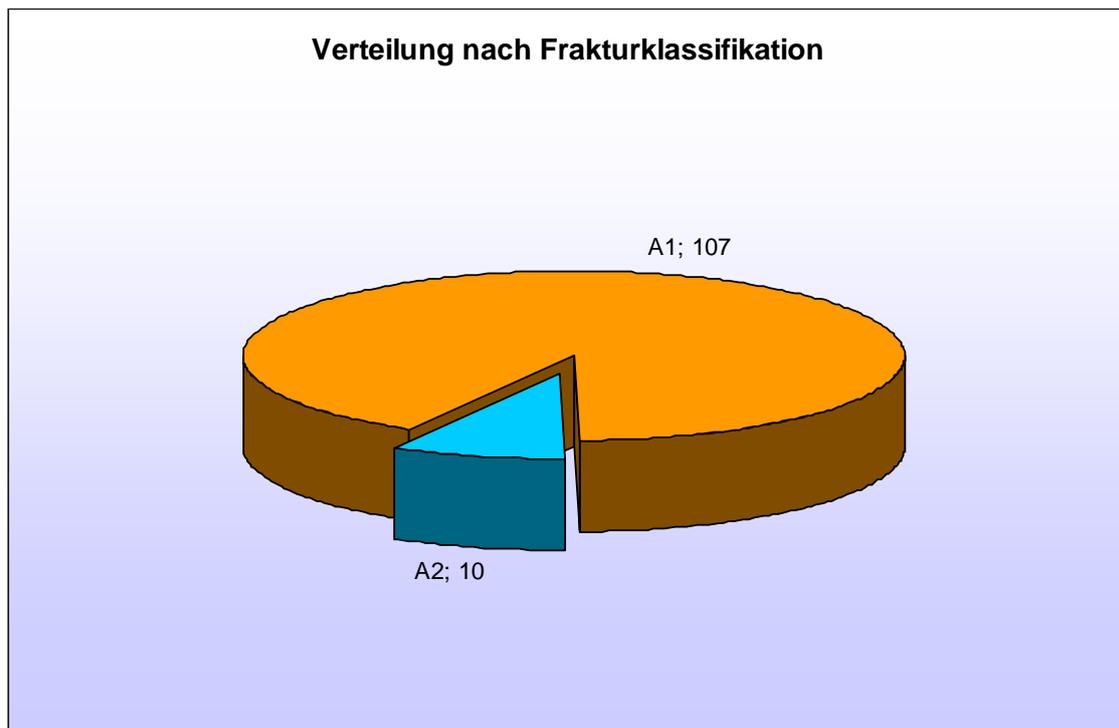


Abbildung 63: Verteilung der Patienten nach Frakturklassifikation.

Hinterkantenbeteiligung

Die Hinterkante war in 11,1 % (n=13) der Frakturen frakturiert. Es lag keine relevante Spinalkanalstenose (>10 %) vor.

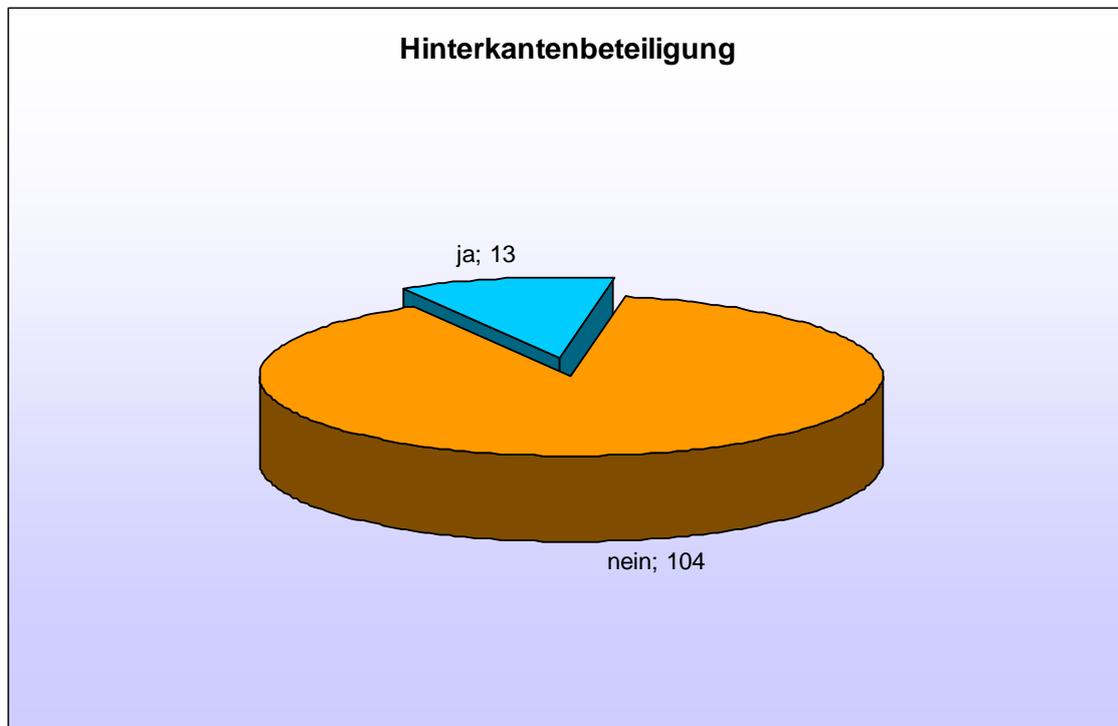


Abbildung 64: Darstellung der Hinterkantenbeteiligung.

Frakturbedingter, präinterventioneller Wirbelkörperhöhenverlust

In 41,9% der Frakturen betrug der präinterventionelle Höhenverlust bis zu 10% der ursprünglichen Wirbelkörperhöhe, verglichen mit den unauffälligen angrenzenden Wirbelkörpern. Eine Höhenminderung bis zu 25% der ursprünglichen Wirbelkörperhöhe konnte in 18,8% aller Frakturen nachgewiesen werden. Die restlichen 39,3% der behandelten Frakturen verteilten sich gleichmäßig auf 50% Höhenverlust (16,2%), 75% Höhenverlust (10,3%) und Frakturen ohne Höhenminderung (12,8%). In keinem Fall zeigte sich eine postinterventionell Änderung der erfassten Parameter. Abweichungen lagen im Millimeterbereich und waren am ehesten Ausdruck von Meßungenauigkeiten im CT.

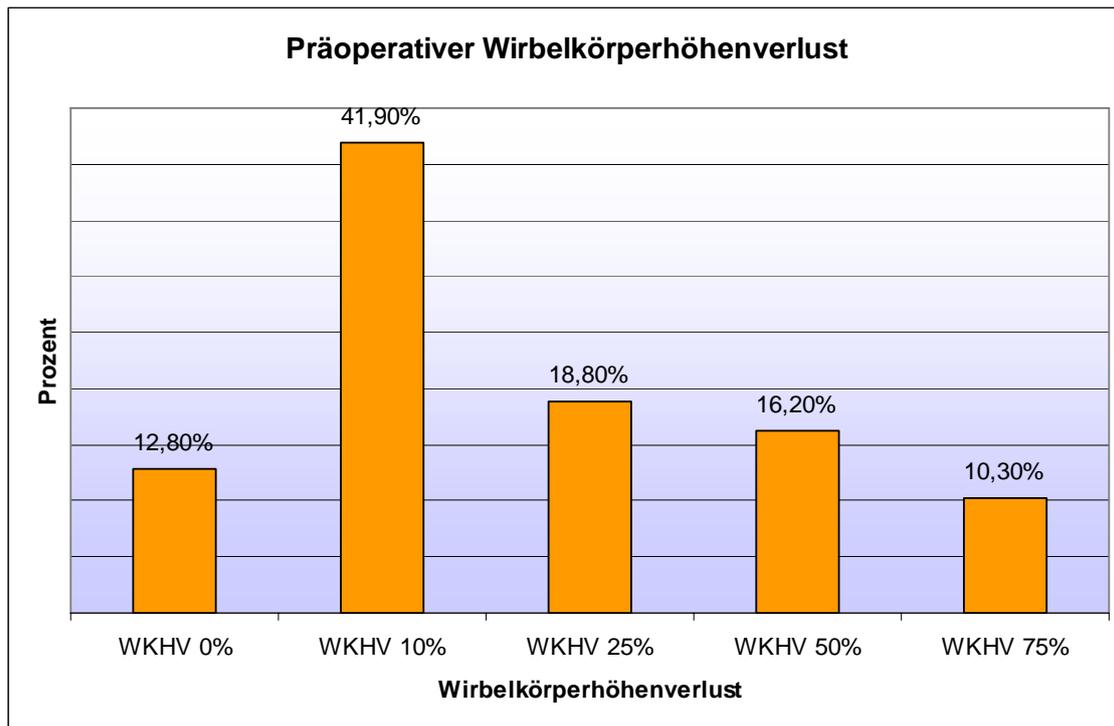


Abbildung 65: Gemessener präoperativer Wirbelkörperhöhenverlust.

Pedikeldurchmesser

Der Durchmesser der jeweiligen Pedikel (proximaler Wirbelbogen) bestimmt den operativen Zugangsweg. Der gemessene Pedikeldurchmesser entspricht der kürzesten Strecke zwischen den Kortikalisinnenflächen des entsprechenden Wirbelkörpers. Der Standardzugang, welcher transpedikulär unter Nutzung beider Seiten (bipedikulär) gewählt wird, benötigt eine Mindestbreite des proximalen Wirbelbogens von >2 mm, hier abhängig vom verwendeten Kanülensystem der Firma SOMATEX[®]. In 82,9 % (n=97) aller behandelten Wirbelkörper betrug der Pedikeldurchmesser 5 mm (+/- 2 mm). Ein Pedikeldurchmesser von 10 mm (+/- 3 mm) wurde in 13,7 % (n=16) aller behandelten Wirbelkörper gemessen. Der größte Durchmesser betrug 16 mm. Es handelte sich um eine LWK 5-Fraktur bei einem männlichen Patienten. Eine Pedikelbreite von ≤ 2 mm wurde in 4 Fällen gemessen. Hier handelte es sich um jeweils um weibliche Patientinnen mit einer LWK 1-Fraktur.

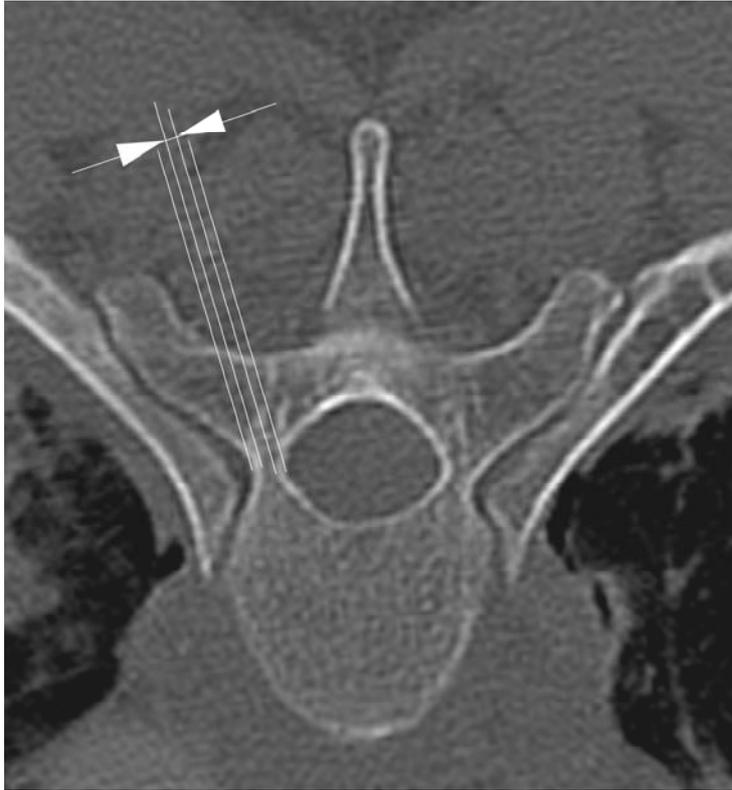


Abbildung 66: Schematische Darstellung des Meßbereiches zur Erfassung des Pedikellendurchmessers.

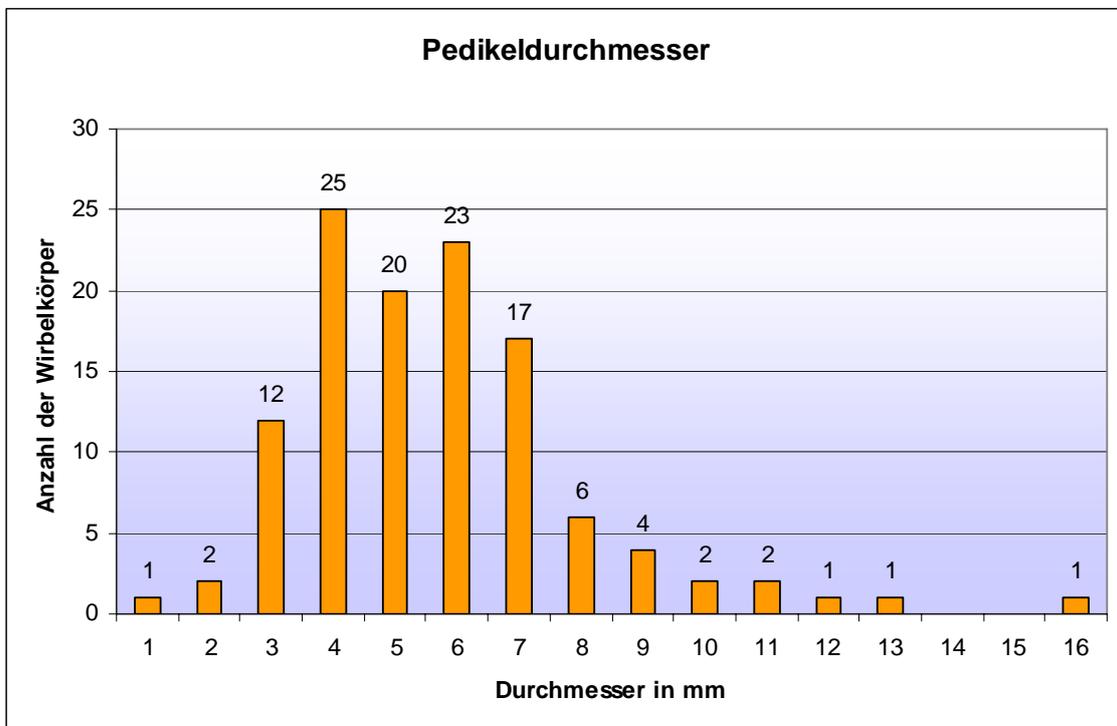


Abbildung 67: Anzahl der einzelnen Pedikeldurchmesser.

Vorbereitung und Intervention

Die präinterventionelle Planungsphase am CT betrug im Durchschnitt 3,2 min pro Patient. Die Interventionszeit betrug durchschnittlich 34,9 min pro Patient, wobei die durchschnittliche Interventionszeit pro Wirbelkörper 27,5 min betrug.

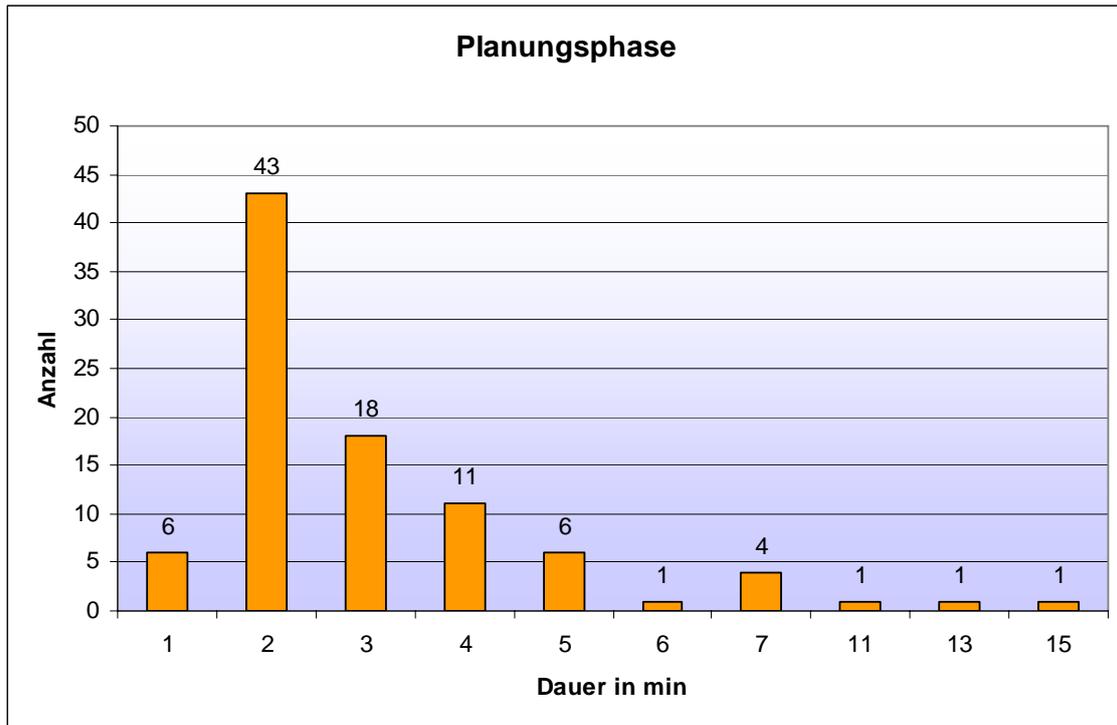


Abbildung 68: Dauer der Planungsphase.

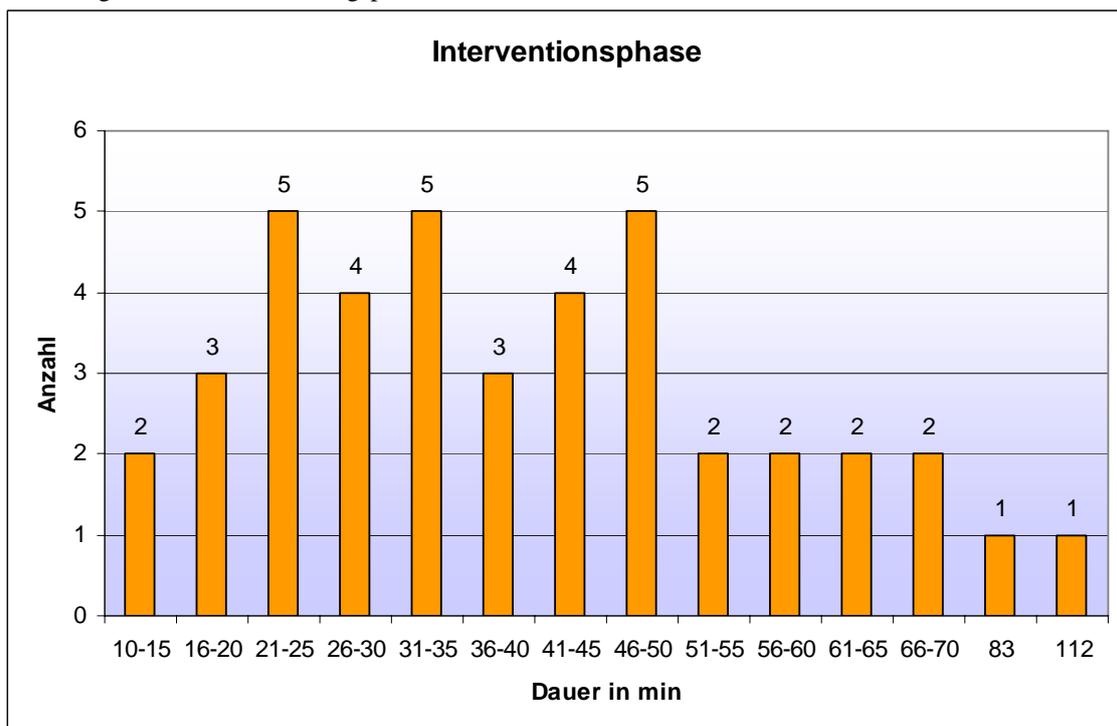


Abbildung 69: Dauer der Interventionsphase (Schnitt-Naht-Zeit).

Operativer Zugang

Der am wenigsten traumatische Zugang zur Zementaugmentation ist das Einführen der Vertebroplastiekanüle durch die Pedikel des frakturierten Wirbelkörpers. Um eine gleichmäßige Verteilung des Zements zu erreichen sollte primär der bipedikuläre Zugang gewählt werden. Dieser wird durch die anatomischen Gegebenheiten, wie den Pedikeldurchmesser limitiert. Sollte der transpedikuläre Zugang nicht möglich sein, kann ein parapedikulärer Zugang gewählt werden. Hier wird die Punktionskanüle ca. 5-10 mm proximal der Wirbelbogenwurzel in den Wirbelkörper eingebracht. Das Risiko einer Verletzung von paravertebral gelegenen Weichteilstrukturen ist bei dieser Zugangsart ungleich höher, besonders wenn anatomische Varianten auftreten (u.a. dorsale Lage des Truncus sympathicus). Von den im Institut behandelten 117 Wirbelkörpern wurden 113 mittels des transpedikulären, bipedikulären Zugang versorgt. In 4 Fällen wurde der extrapedikuläre, bipedikuläre Zugang gewählt. In allen 4 Fällen wiesen die Patienten einen maximalen Pedikeldurchmesser von nur 2 mm auf.

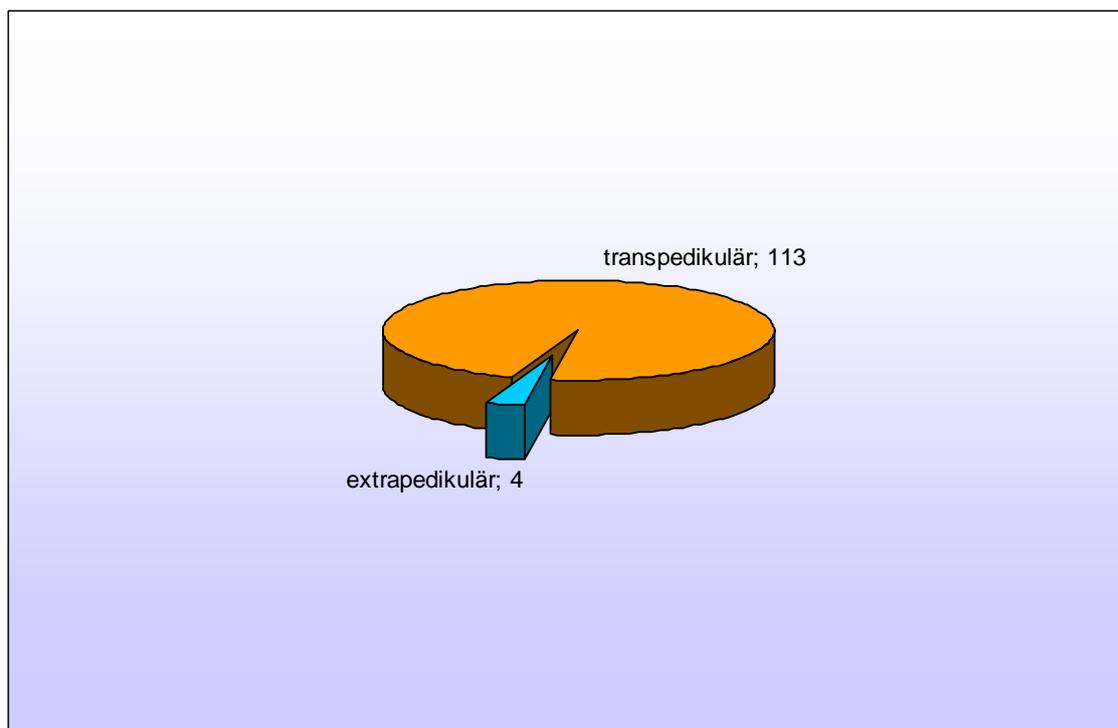


Abbildung 70: Darstellung der Verteilung der Zugangswege.

Verwendete Zementmenge pro Wirbelkörper

Durchschnittlich wurden 4,9 ml Zement pro behandeltem Wirbelkörper verwendet. Die Zementmenge wurde bei bipedikulärem Zugang weitestgehend seitengleich appliziert, um eine homogene Verteilung im Wirbelkörper zu erreichen. Die höchste einmalig applizierte Zementmenge betrug 7 ml und betraf den BWK 11. Hier wurden 3 ml über eine Kanüle linksseitig und 4 ml über die kontralaterale Kanüle eingebracht. Eine unmittelbare Leckage wurde mittels Computertomografie ausgeschlossen. Im Bereich der Wirbelkörper BWK 4 bis BWK 12 wurden durchschnittlich 4,9 ml Zement, im Bereich LWK 1 bis LWK 5 durchschnittlich 5,0 ml Zement appliziert. Bei Betrachtung der Zementapplikation pro individuellem Wirbelkörper konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Obwohl die Lendenwirbelkörper ein größeres Volumen aufwiesen, wurde durchschnittlich nur unwesentlich mehr Zement zur Augmentation benötigt (+ 0.1 ml). Die verwendete Zementmenge entspricht der durchschnittlichen Zementmenge, welche von anderen Autoren zur vertebroplastischen Versorgung benötigt wurde [58,65,74,83].

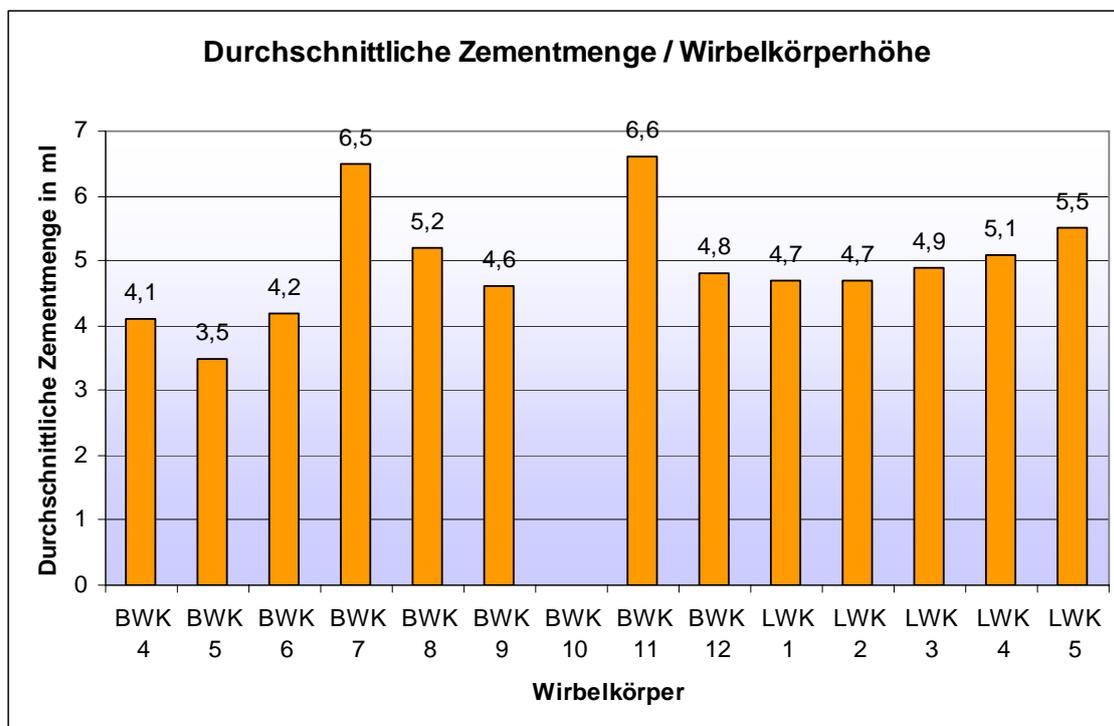


Abbildung 71: Darstellung der durchschnittlichen Zementmenge pro Wirbelkörperhöhe.

Zementleckagen und Paravasate

In der vorliegenden Untersuchung wurde die, in der computertomografischen Kontrolluntersuchung sichtbare Zementprotrusion über das Kortikalisniveau als diskrete Leckage gewertet. In diesen Fällen kann sich der Zement noch unter dem Periost, bzw. bis zu maximal einem Millimeter in ein abführendes Gefäß erstrecken. Zementleckagen diskreter Ausprägung sind in den meisten Fällen nur im CT nachvollziehbar. Eine Leckage mittelgradiger Ausprägung lag vor, wenn der Zement in den sagittalen und coronaren CT-Rekonstruktionen nicht über die Deck- und/oder Grundplattenhöhe des behandelten Wirbelkörpers hinaus ragte. Eine deutliche Zementleckage lag vor, wenn die Ausmaße der Leckage das Grund- und/oder Deckplattenniveau des behandelten Wirbelkörpers überschritten. Mittelgradige und deutliche Zementleckagen konnten ebenso im Nativröntgen nachgewiesen werden.

Bei 73 Wirbelkörpern konnte in der Kontroll-CT-Untersuchung keine Leckage nachgewiesen werden. Insgesamt wurden bei 117 behandelten Wirbelkörpern 44 Zementaustritte nachgewiesen. 6 Leckagen betrafen den Spinalkanal (Typ B), wobei 5 computertomografisch als diskret und eine als deutlich klassifiziert wurde. Ebenfalls wurden 26 paravertebrale Zementaustritte über die Segmentvenen (Typ S) nachgewiesen. Hier stellten sich 20 diskret und 6 mittelgradig dar. Durch einen frakturbedingten Kortikalisdefekt (Typ C) trat in 12 Fällen Zement aus. Davon waren 10 diskreter und 2 mittelgradiger Ausprägung. Insgesamt zeigte sich eine Leckagerate von 37,6 %.

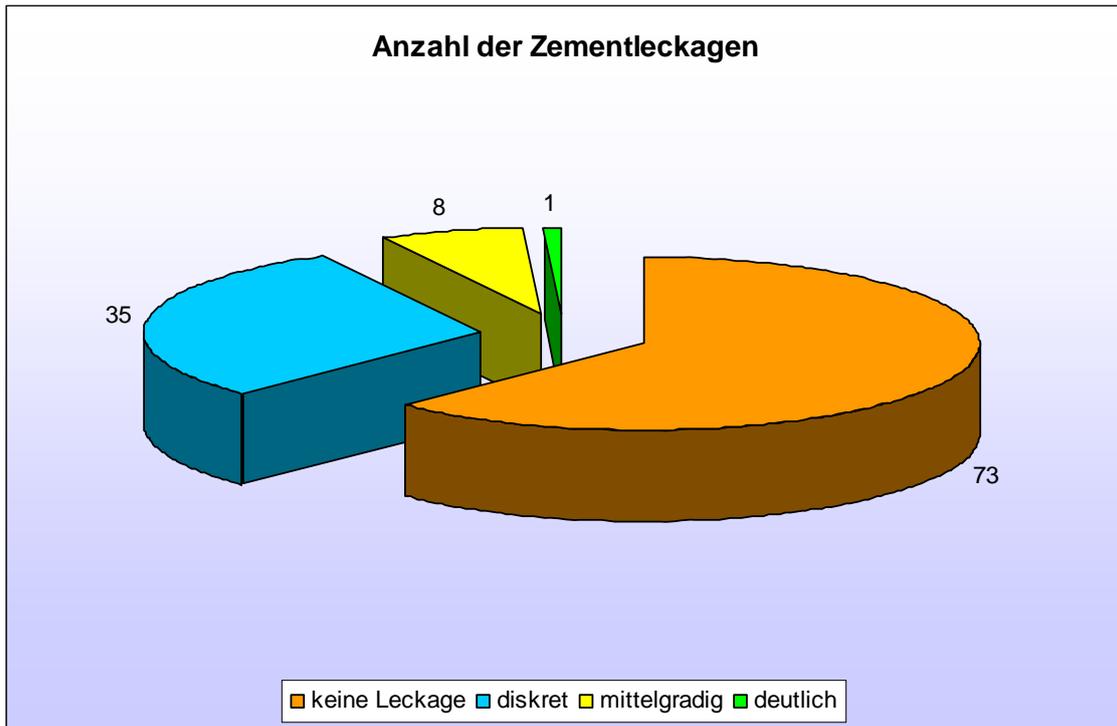


Abbildung 72: Anzahl der Zementleckagen.

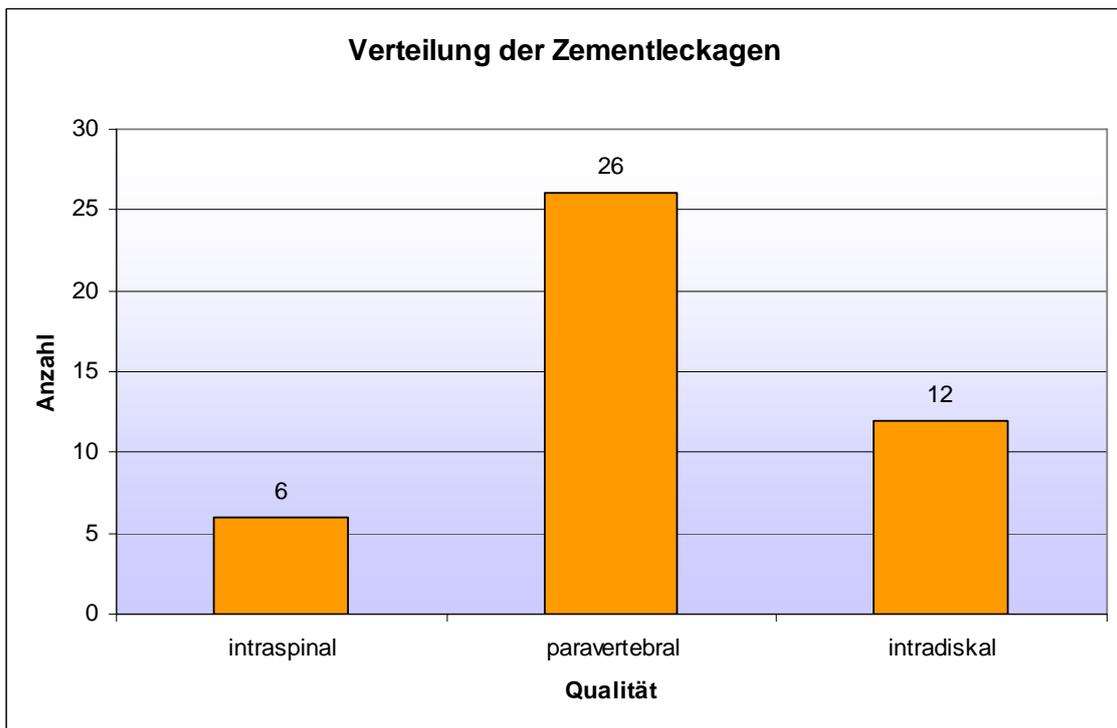


Abbildung 73: Verteilung der Zementleckagen nach Leckagequalität.

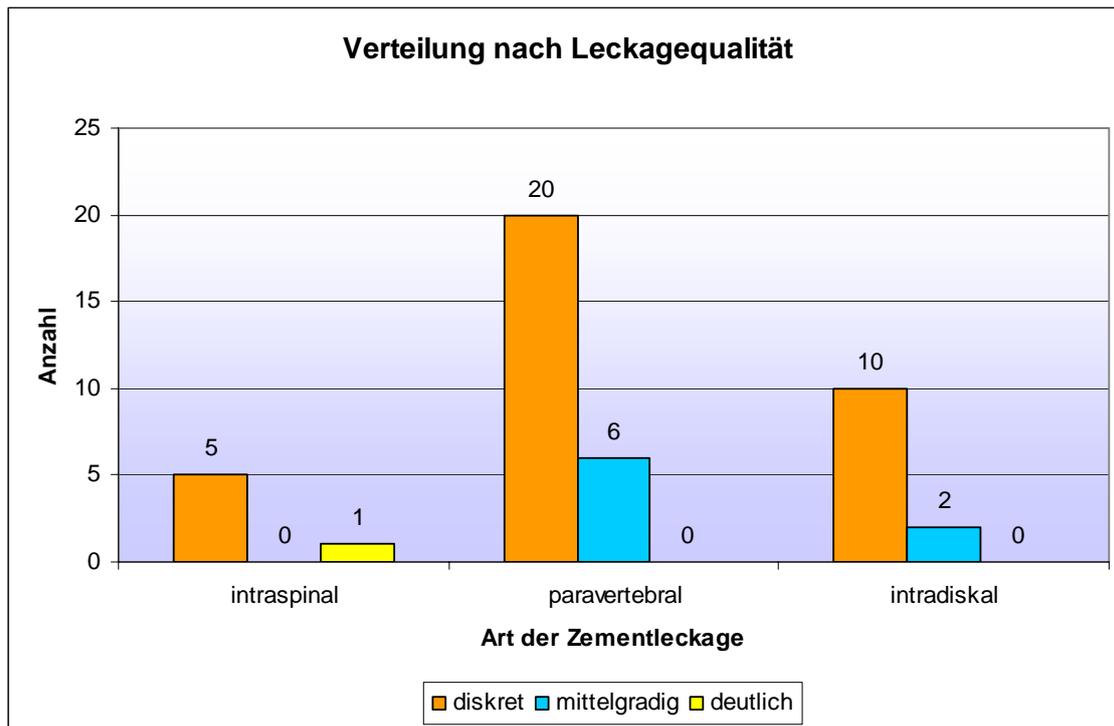


Abbildung 74: Verteilung der Leckagequalität nach Ausprägung der Leckageart.

Im Bereich BWK 4 bis BWK 9 wurden in der Kontroll-CT-Untersuchung in durchschnittlich 49,4 % aller Fälle Zementleckagen (n=10) nachgewiesen. Am häufigsten traten hier die paravertebralen Leckagen Typ S (n=5). Weiterhin wurden 3 Leckagen Typ B und 2 Leckagen Typ C beobachtet. Bei jeweils einem behandelten Wirbelkörper im Bereich BWK 4 – BWK 6 trat in einem Fall (BWK 5) eine Zementleckage auf. Im Bereich BWK 7 – BWK 9 zeigten sich bei n=9 Wirbelkörpern eine Leckage. Jedoch wurden in diesem Wirbelsäulenabschnitt die wenigsten Eingriffe (n=17) durchgeführt.

Im Bereich BWK 11 bis LWK 5 waren Zementleckagen in 34,0 % aller Fälle (n=34) zu beobachten. Am häufigsten zeigten sich hier die paravertebralen Leckagen Typ S (n=21). In den Kontroll-CT-Untersuchungen wurden davon 15 Leckagen als diskret klassifiziert. 6 Leckagen zeigten eine mittelgradige Ausprägung und konnten auch im nativen Röntgen nachvollzogen werden. In 10 Fällen konnte eine Zementleckage Typ C durch eine Kortikalisläsion nachgewiesen werden. Hier zeigten 7 Leckagen eine diskrete und 3 Leckagen eine mittelgradige Ausprägung. Eine Zementleckage Typ B trat in diesem Wirbelsäulenabschnitt in 3 Fällen auf. Hier konnten ebenfalls in den Kontroll-CT-

Untersuchungen 3 diskrete Zementleckagen nachgewiesen werden. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zu der Arbeit von Ryu et al. [82]. Typ-B-Leckagen traten in deren Arbeiten zum größten Teil höher BWK 7 auf. Vergleichend mit der Anzahl der behandelten Wirbelkörper (BWK 11=7; BWK 12=15; LWK 1=39; LWK 2=11; LWK 3=17; LWK 4=9; LWK 5=2) zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung des Risikos einer Zementleckage. Einzige Ausnahme stellt LWK 3 dar, welcher mit einem prozentualen Anteil von 11,8 % eine Leckage aufwies.

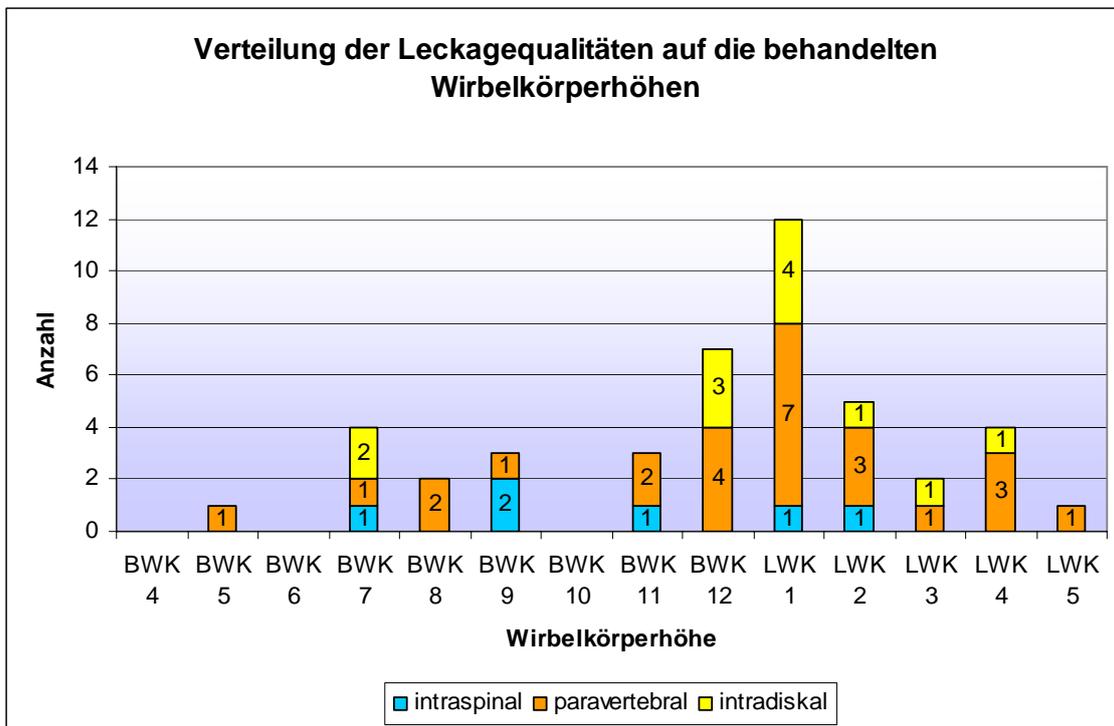


Abbildung 75: Verteilung der Leckagequalität bezüglich der behandelten Wirbelkörperhöhen.

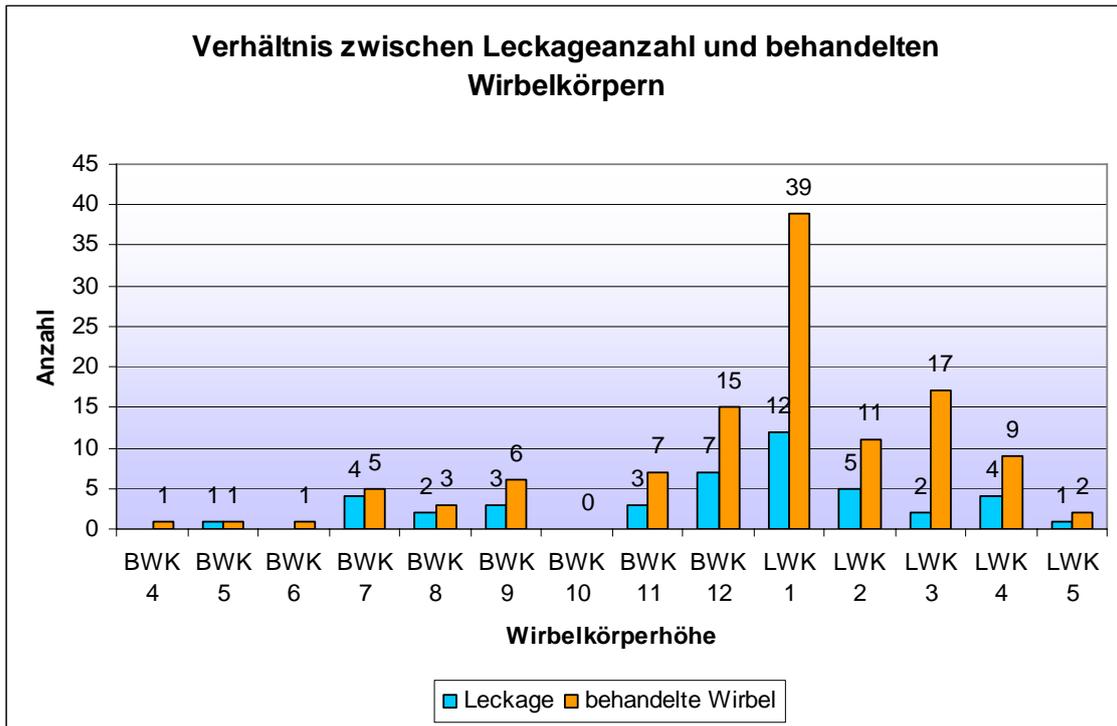


Abbildung 76: Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckageanzahl und behandeltem Wirbelkörper.

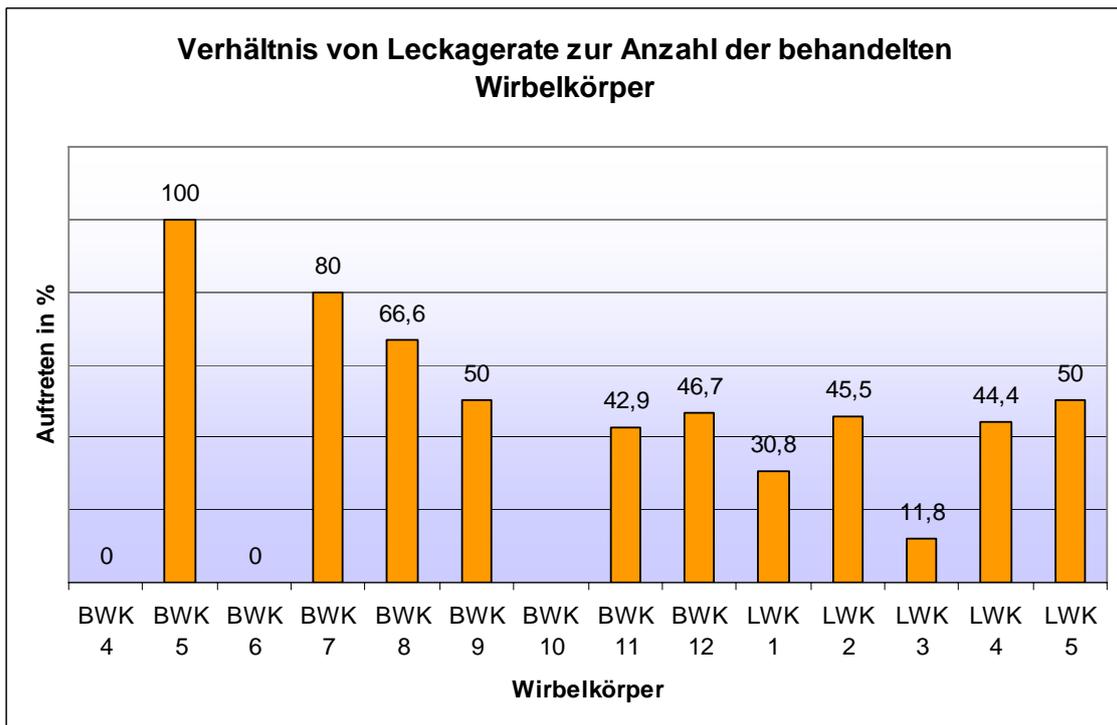


Abbildung 77: Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckagerate und Anzahl der behandelten Wirbelkörper.

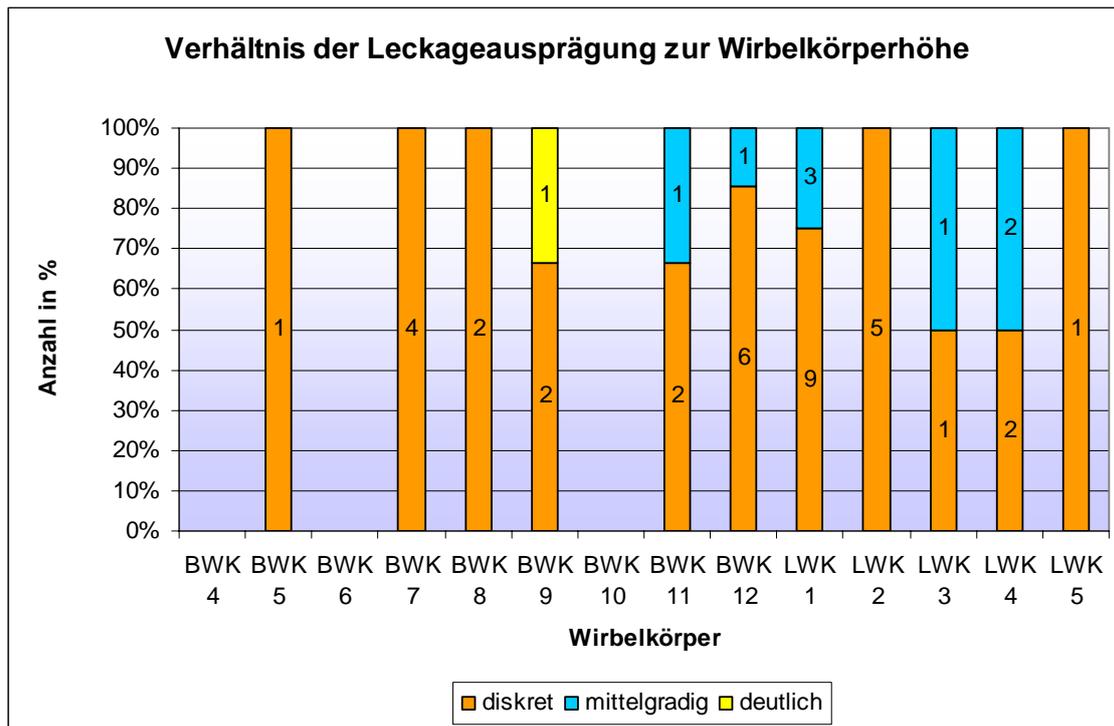


Abbildung 78: Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckageausprägung und behandelter Wirbelkörperhöhe.

Zementleckage bei Hinterkantenbeteiligung

Eine präinterventionelle Fraktur der Hinterkante wurde in 13 Fällen festgestellt. Davon traten in 8 Fällen Zementleckagen auf. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 61,5 %. Hier zeigte sich eine qualitative Verteilung der Leckagequalitäten zugunsten der paravertebralen Zementleckage (n=5). An zweiter Stelle folgt die Zementleckage nach intradiskal (n=3). Eine zu erwartende Zementleckage nach intraspinal wurde im Fall der Hinterkantenbeteiligung nicht nachgewiesen.

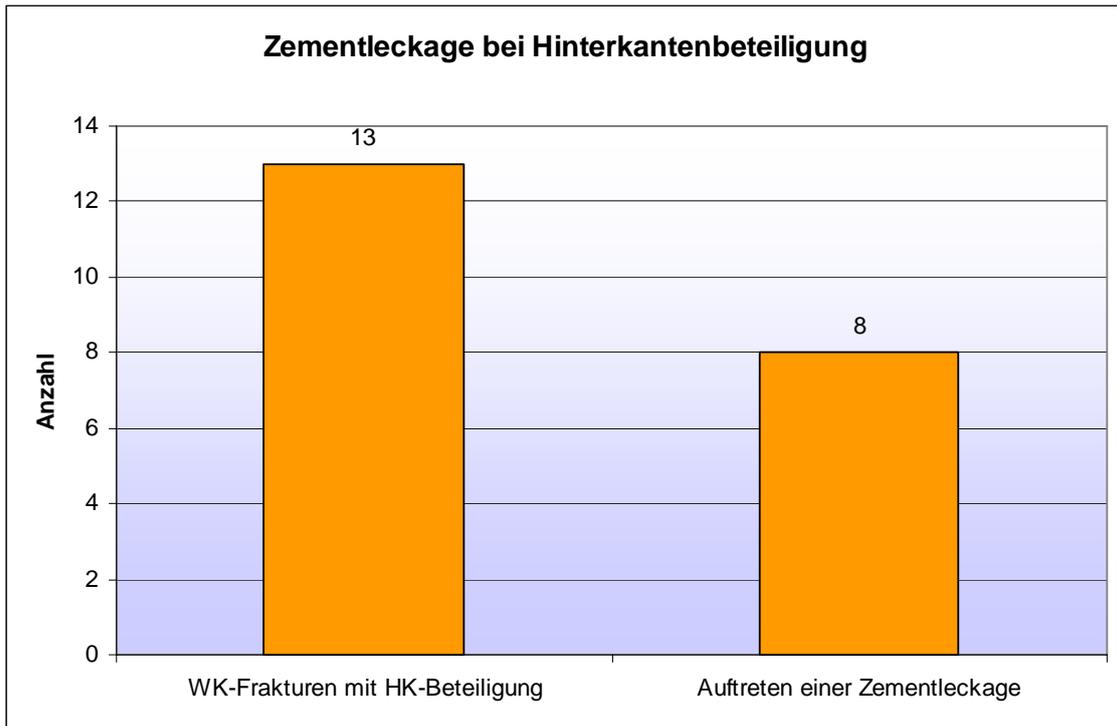


Abbildung 79: Auftreten von Zementleckagen bei Hinterkantenbeteiligung.



Abbildung 80: Verhältnis zwischen Hinterkantenbeteiligung und Zementleckage.

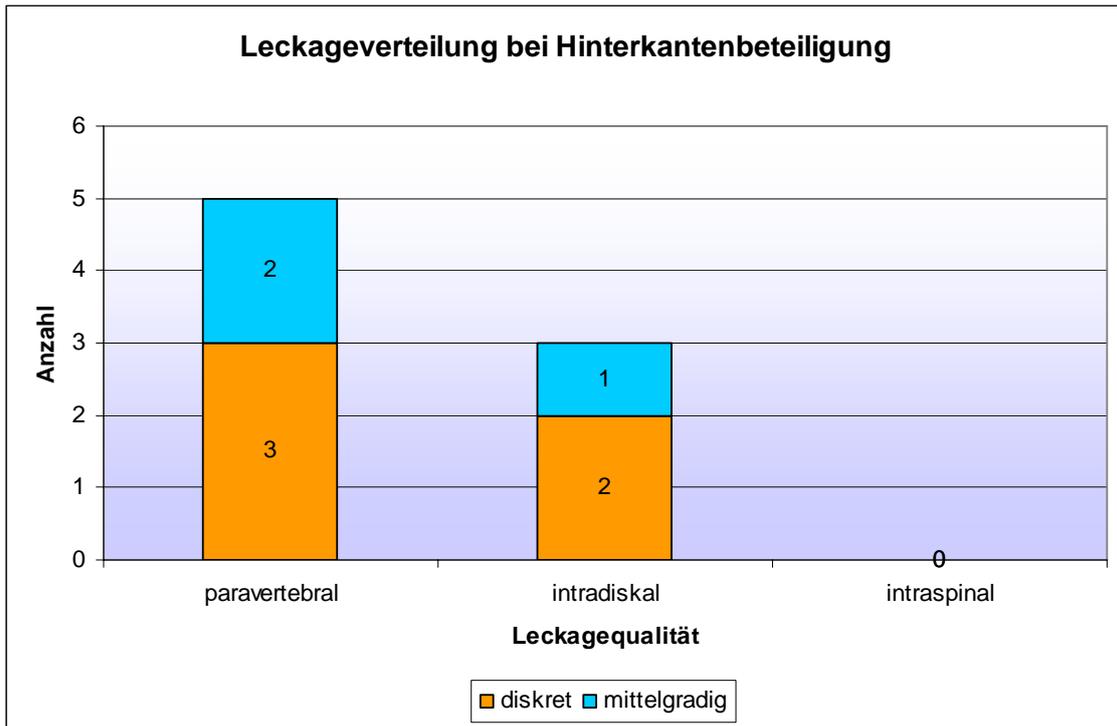


Abbildung 81: Verteilung der Leckagen bei Hinterkantenbeteiligung.

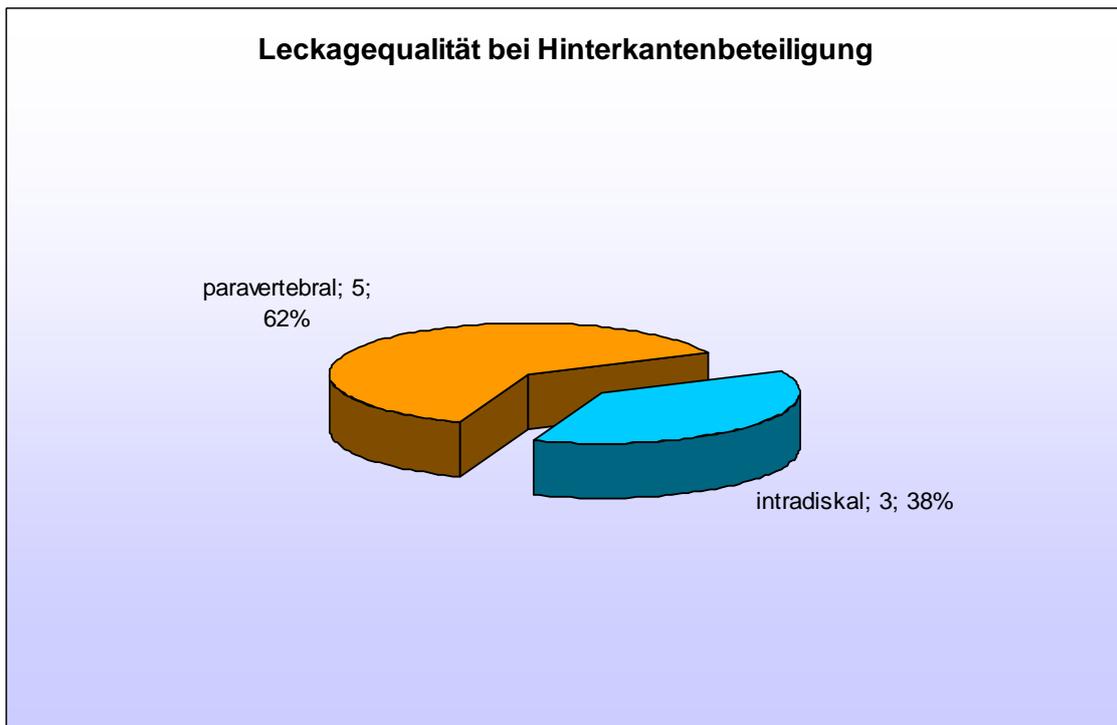


Abbildung 82: Verteilung Leckagen nach Qualität bei Hinterkantenbeteiligung.

Positionierung der Vertebroplastiekanülen

Bei 117 behandelten Wirbelkörperfrakturen wurden insgesamt 234 Vertebroplastiekanülen eingebracht (In 4 Fällen wurde ein unilateraler Zugang gewählt). 194 (83 %) davon zeigten eine korrekte Endplatzierung der Kanülenspitze auf den Übergang zwischen ventralem und mittlerem Wirbelkörperdrittel. In 37 Fällen (16 %) kam die Kanülenspitze im mittleren Wirbelkörperdrittel zu liegen. In einem Fall wurde die ventrale Wirbelkörperwand und in 2 Fällen die laterale Wirbelkörperwand perforiert.

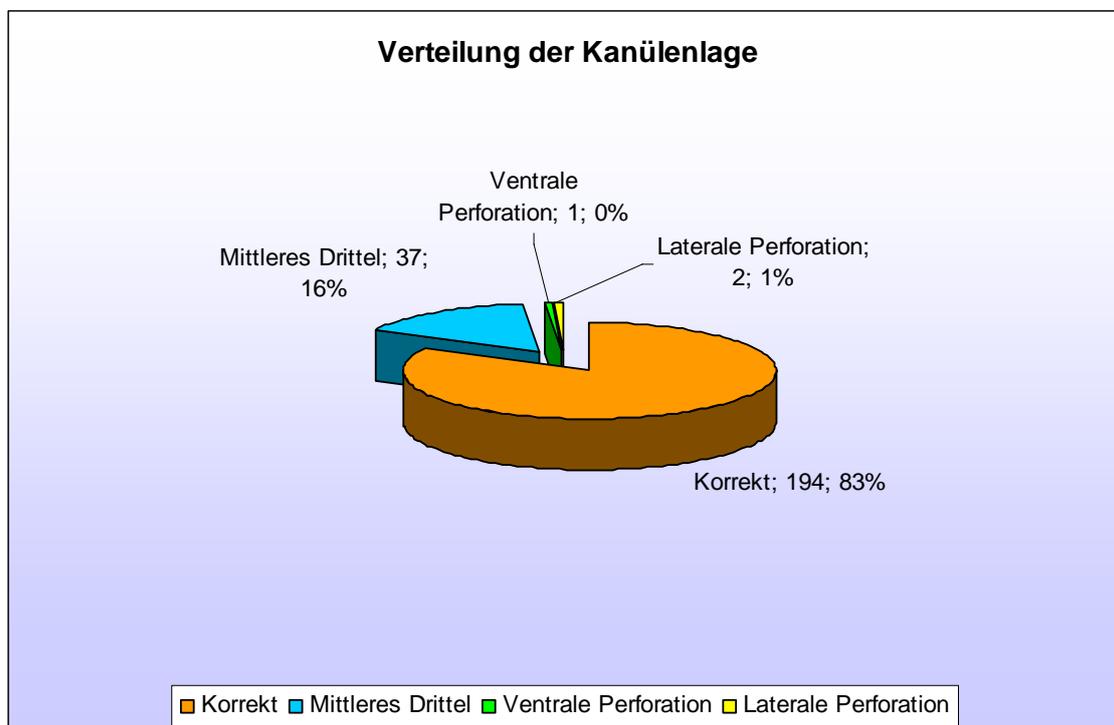


Abbildung 83: Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage.

Die Idealverteilung der Kanülenspitzen bei korrekter Endlage wird im Diagramm (Abb.83) dargestellt. Ausgehend von einer idealen Wirbelkörpermorphologie wird hier eine identische Distanz zur ventralen und lateralen Wirbelkörperwand beschrieben. Je nach Wirbelkörpergröße verteilen sich somit die Werte linear proportional auf einer Geraden. Die allgemeine Verteilung der Vertebroplastiekanülen-Endlage im Bereich der BWS/LWS zeigt eine weite Streuung im Wirbelkörper, welche sich entlang des Vektors der Idealverteilung orientiert. Abhängig von Morphologie (Größe, Form) und posttraumatischer Veränderung des Wirbelkörpers kommt es zu Abweichungen von dieser Idealverteilung. Um

die morphologischen Unterschiede so gering wie möglich zu halten, wurde die Auswertung der Eingriffe auf die BWS, bzw. LWS bezogen. Je größer die gemessenen Werte sind, umso zentraler kamen die Vertebroplastiekanülen im Wirbelkörper zu liegen.

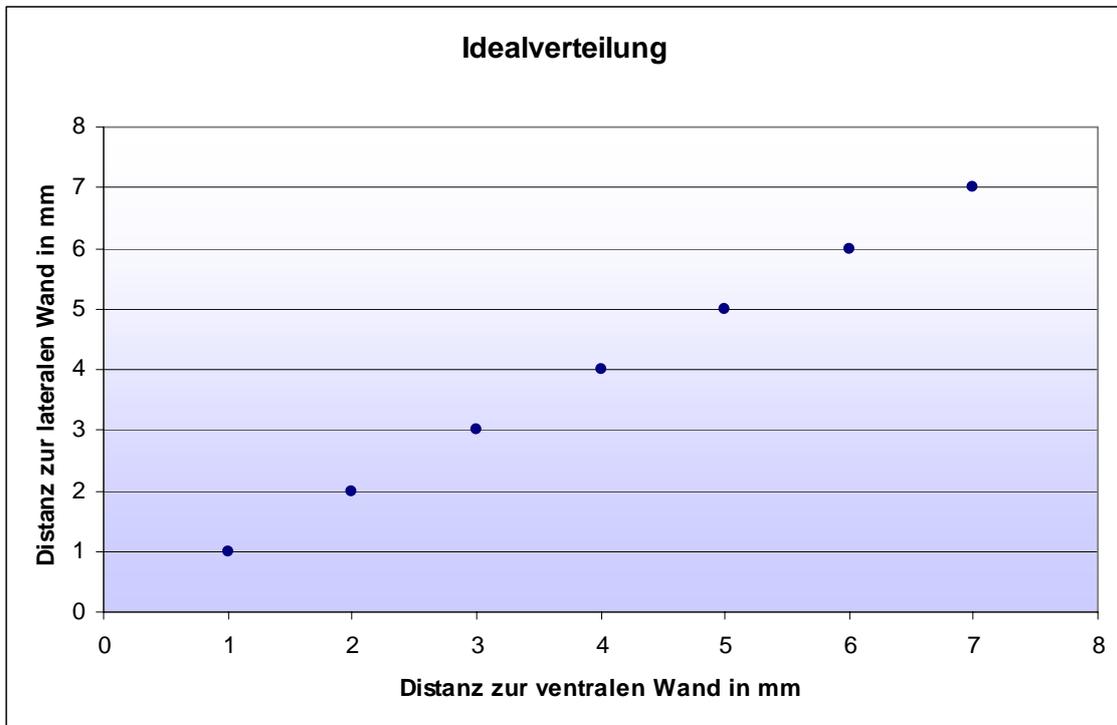


Abbildung 84: Idealverteilung der Kanülenendlage bei gleichmäßigen Abständen zur ventralen und lateralen Wirbelkörperwand.

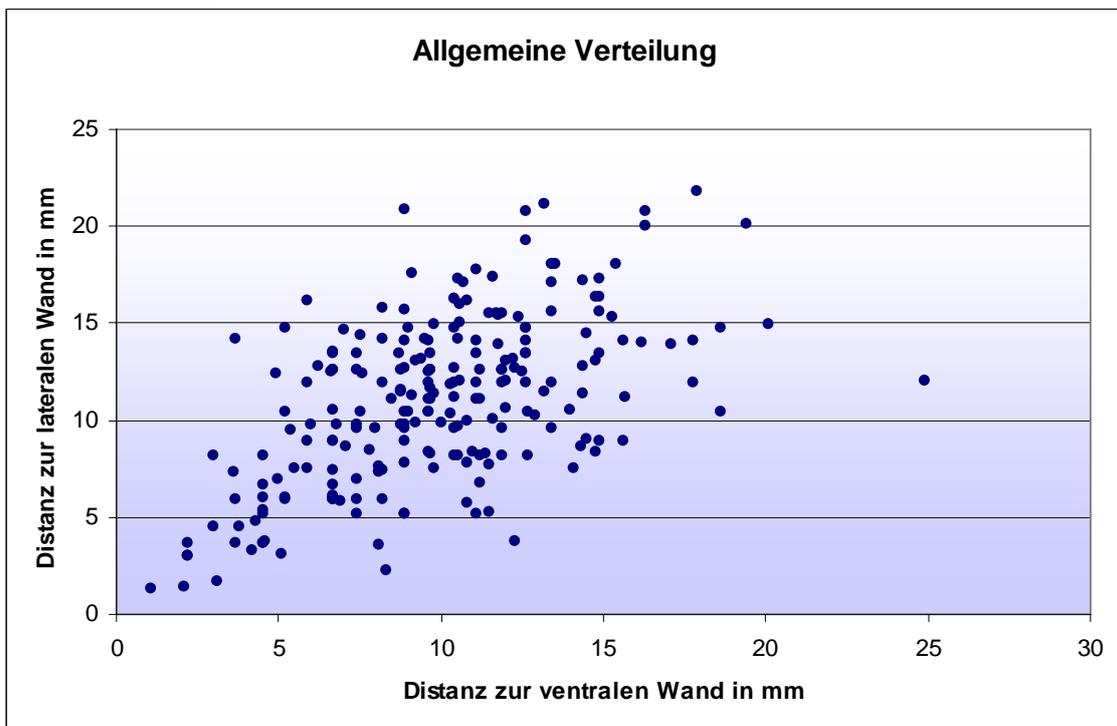


Abbildung 85: Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekanülen.

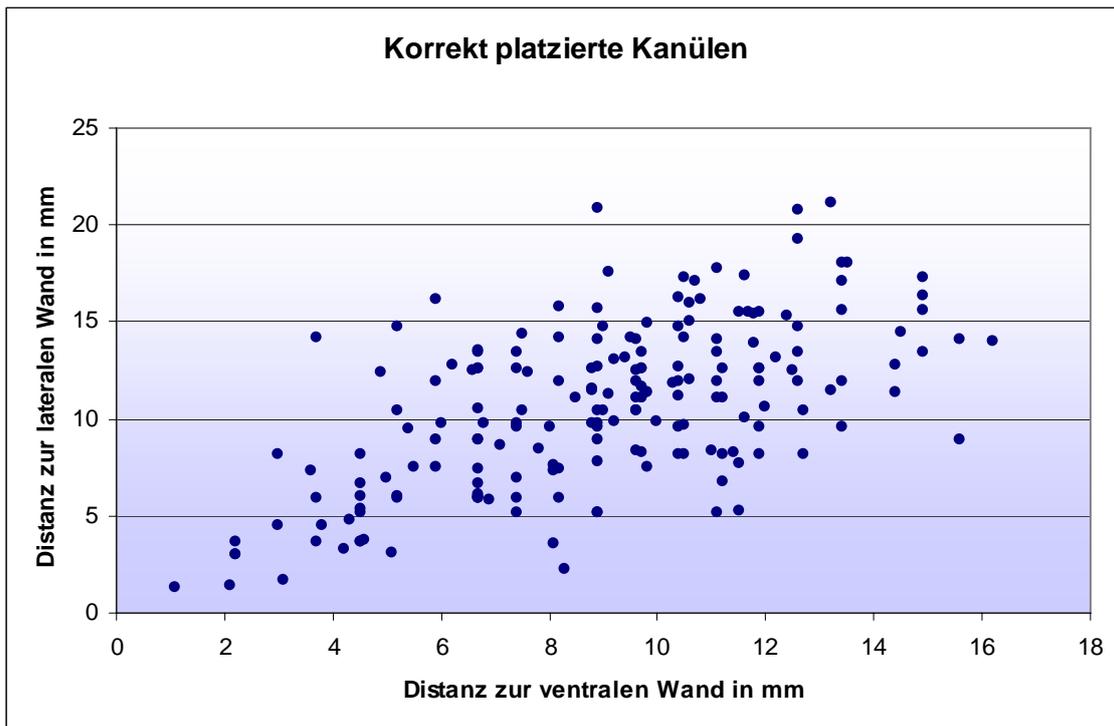


Abbildung 86: Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS und LWS.

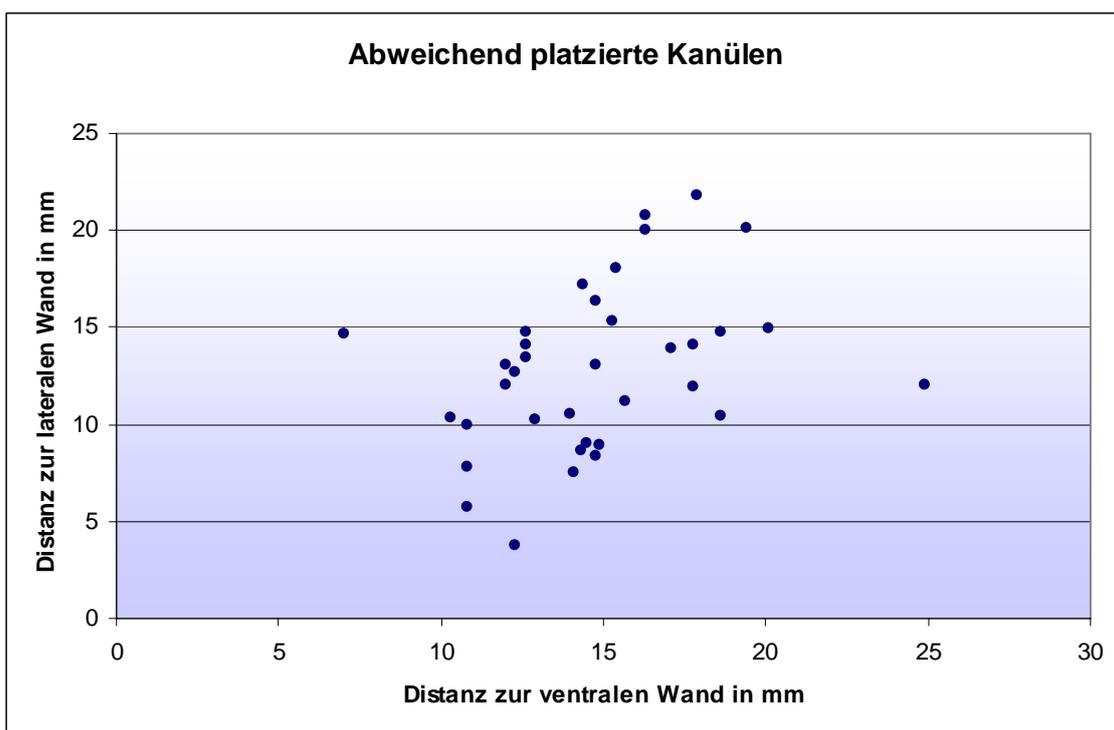


Abbildung 87: Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS und LWS.

Insgesamt wurden 77 Vertebroplastiekanülen im Bereich der Brustwirbelsäule eingebracht. Davon wurden 71 (92 %) korrekt am Übergang zwischen dem

ventralen und mittleren Wirbelkörperdrittel platziert. In 6 Fällen (8 %) wurden die Kanülen abweichend im mittleren Wirbelkörperdrittel platziert.

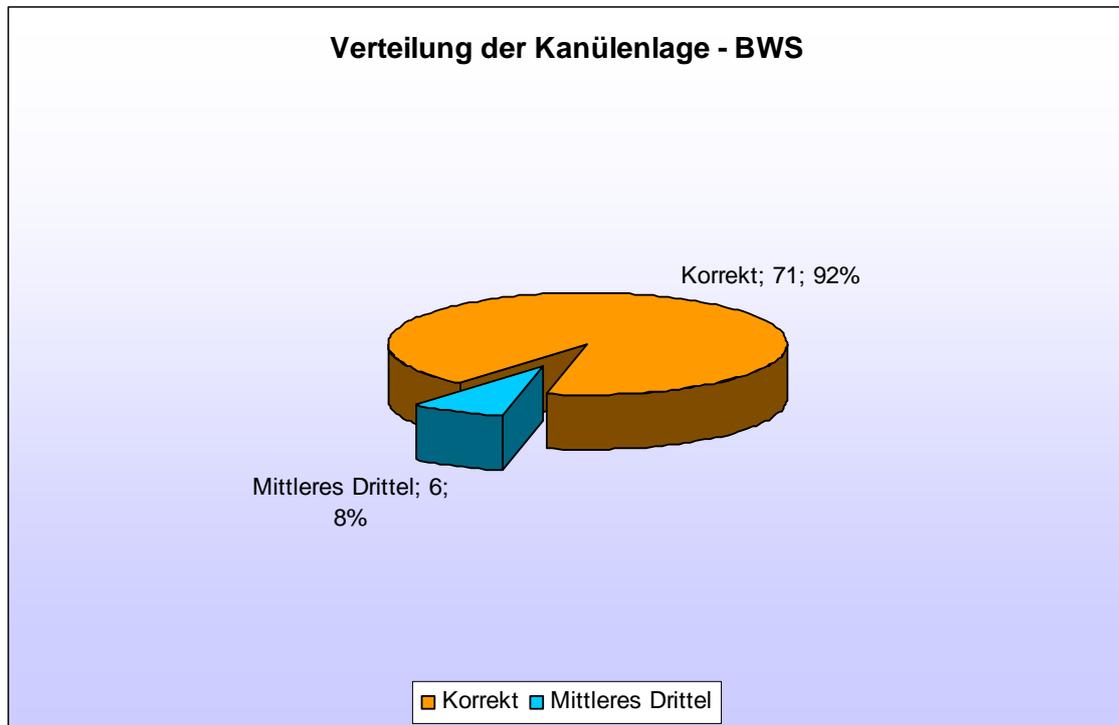


Abbildung 88: Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage im Bereich der BWS.

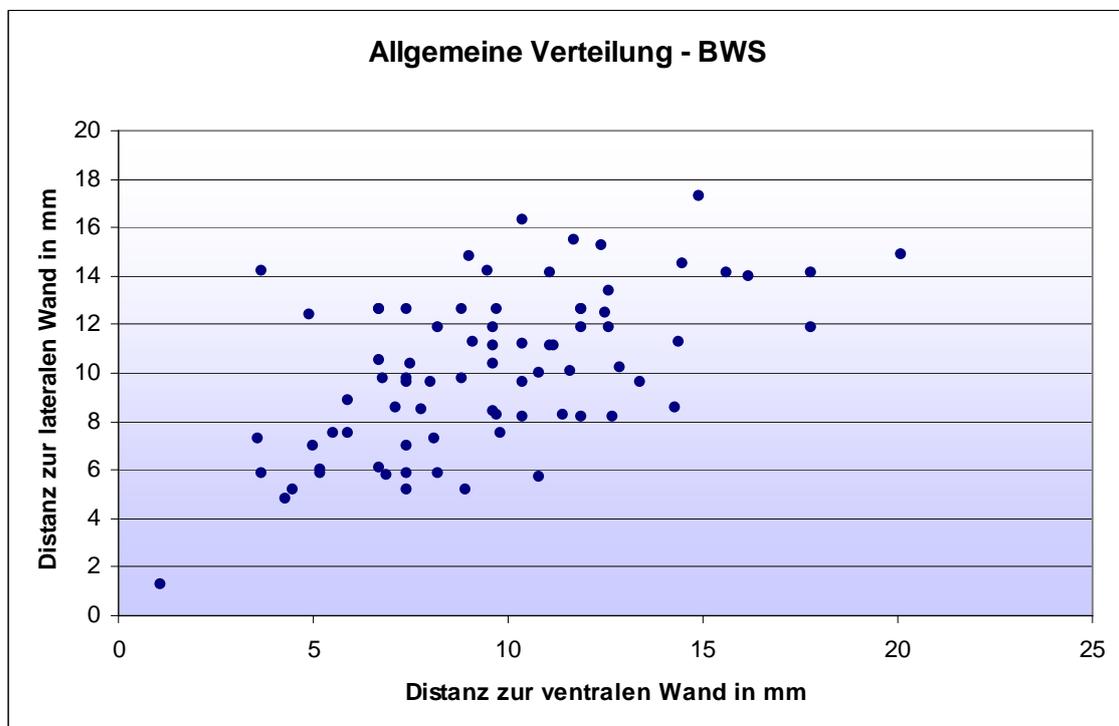


Abbildung 89: Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

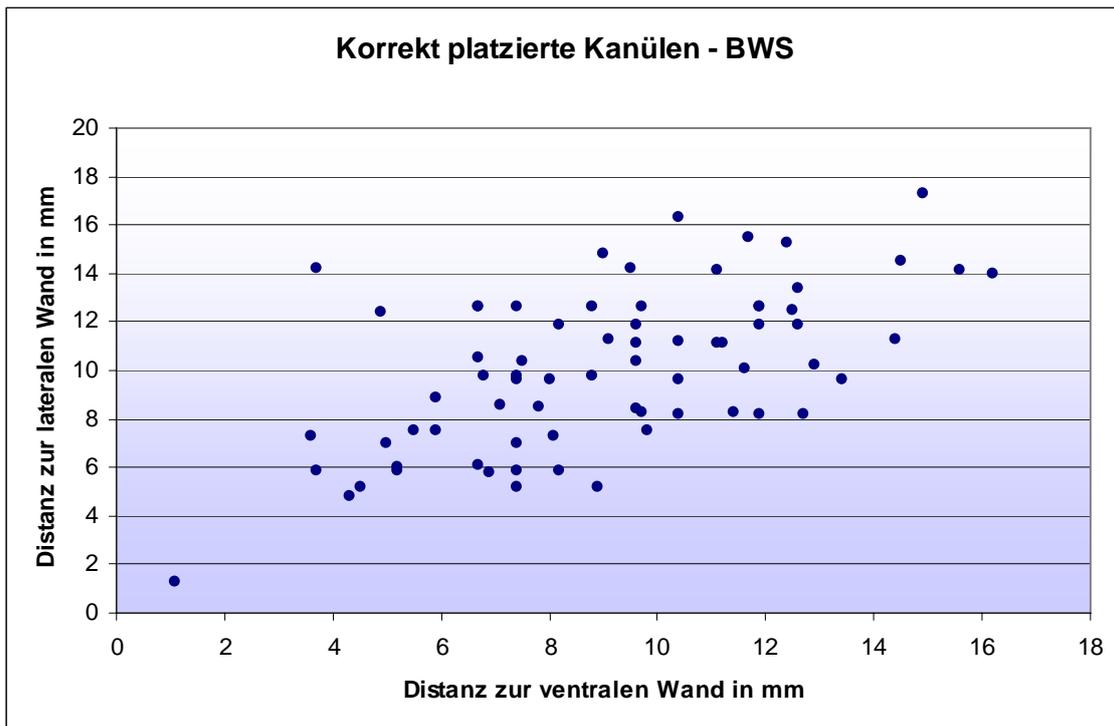


Abbildung 90: Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

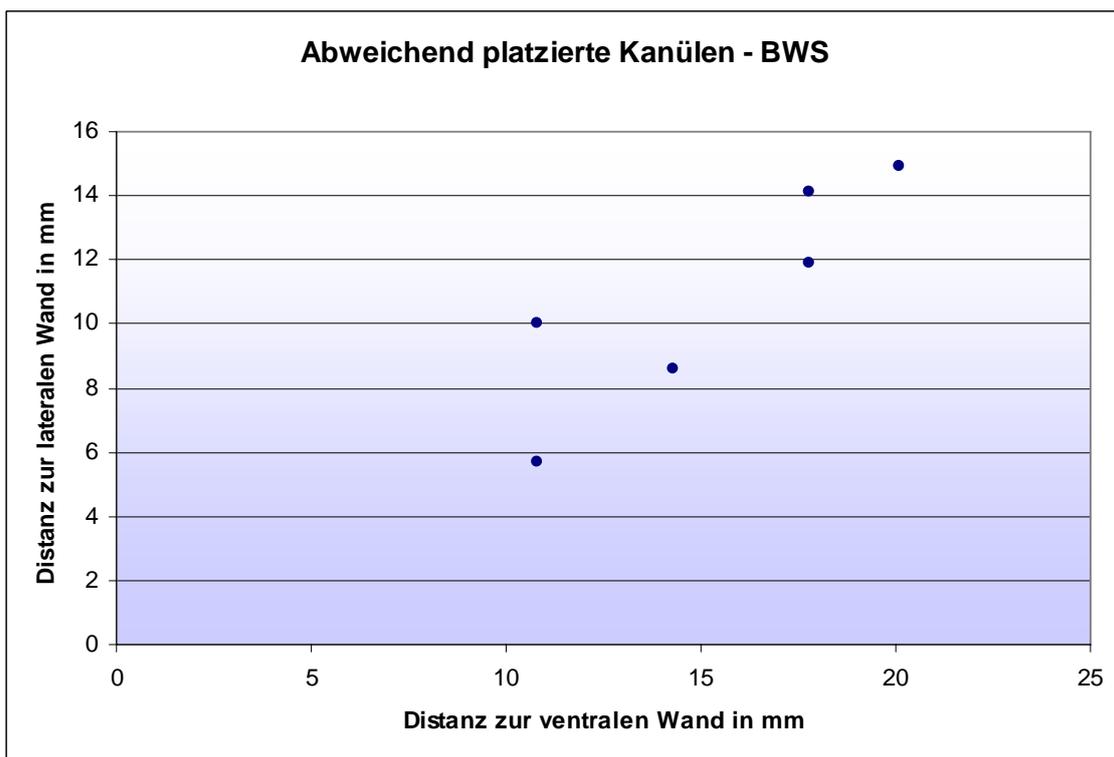


Abbildung 91: Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

Insgesamt wurden 151 Vertebroplastiekannülen im Bereich der Lendenwirbelsäule eingebracht. Davon wurden 121 (80 %) korrekt am Übergang zwischen dem ventralen und mittleren Wirbelkörperdrittel platziert. In 30 Fällen

(20 %) wurden die Kanülen abweichend im mittleren Wirbelkörperdrittel platziert.

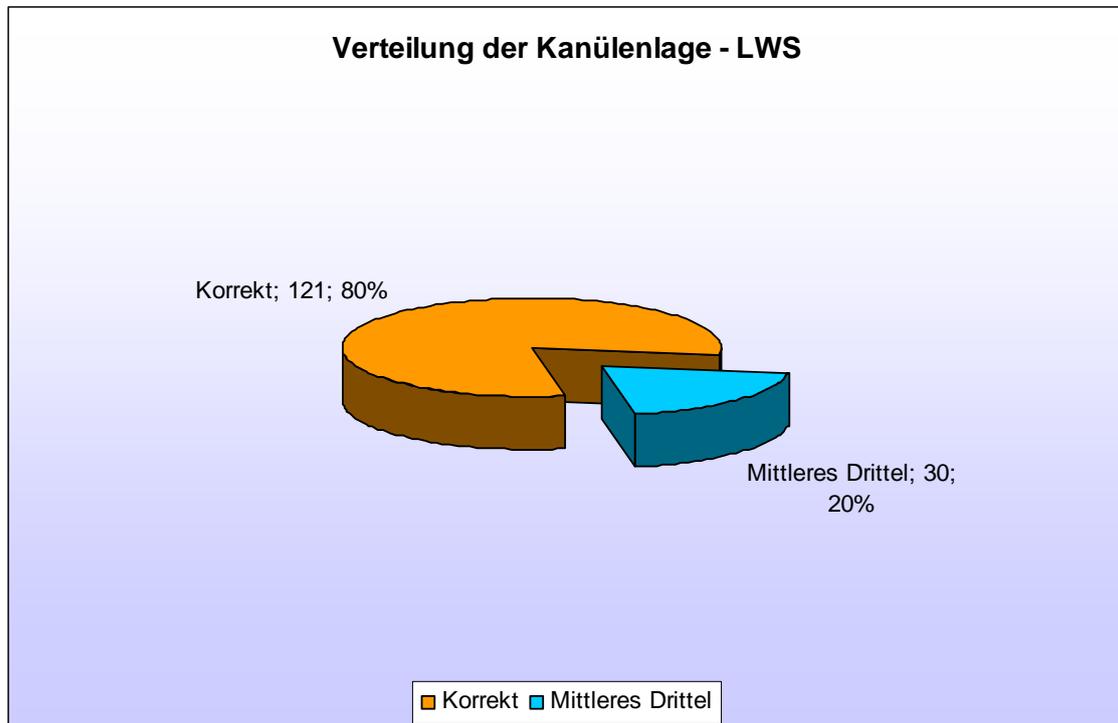


Abbildung 92: Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage im Bereich der LWS.

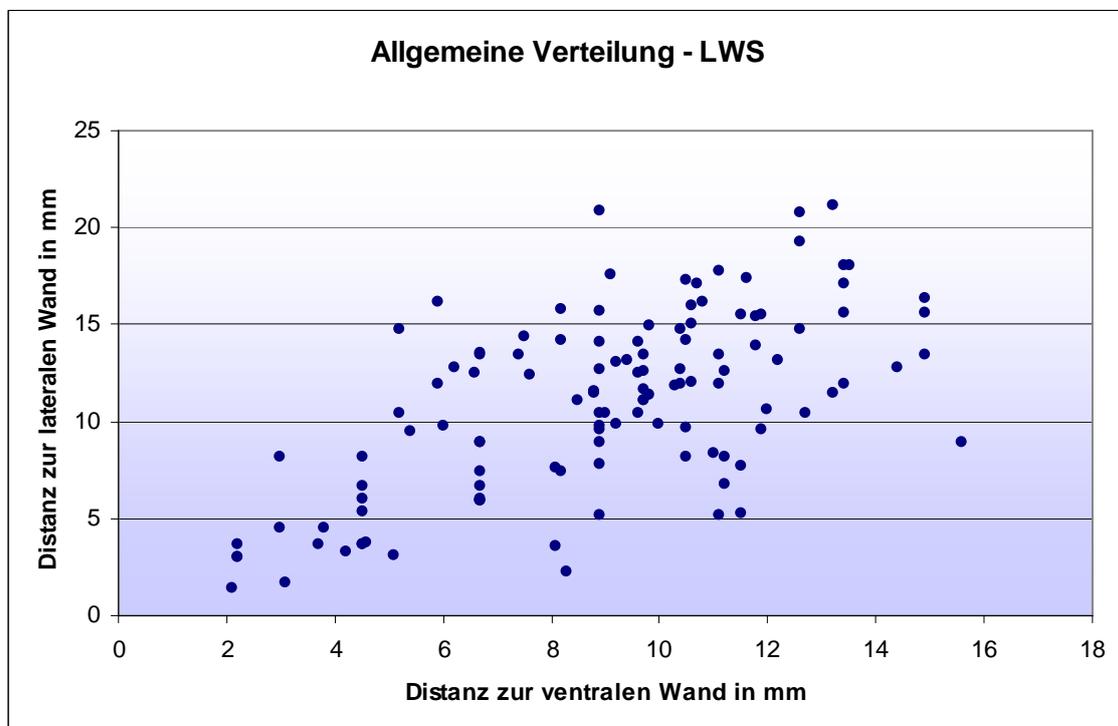


Abbildung 93: Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

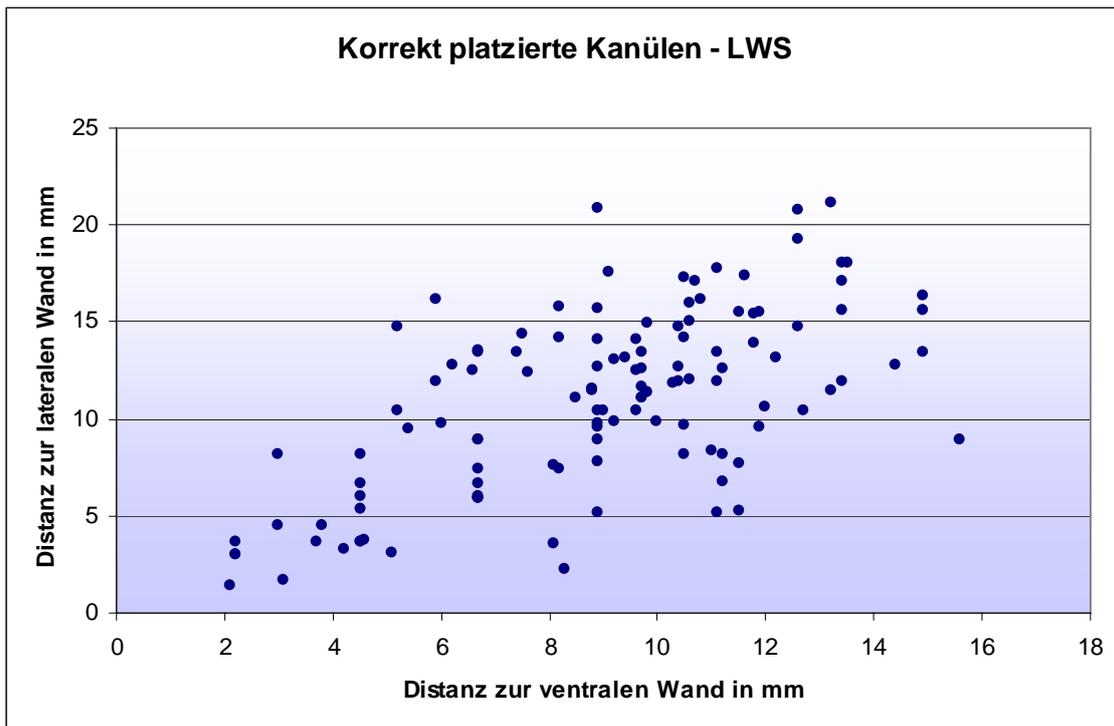


Abbildung 94: Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

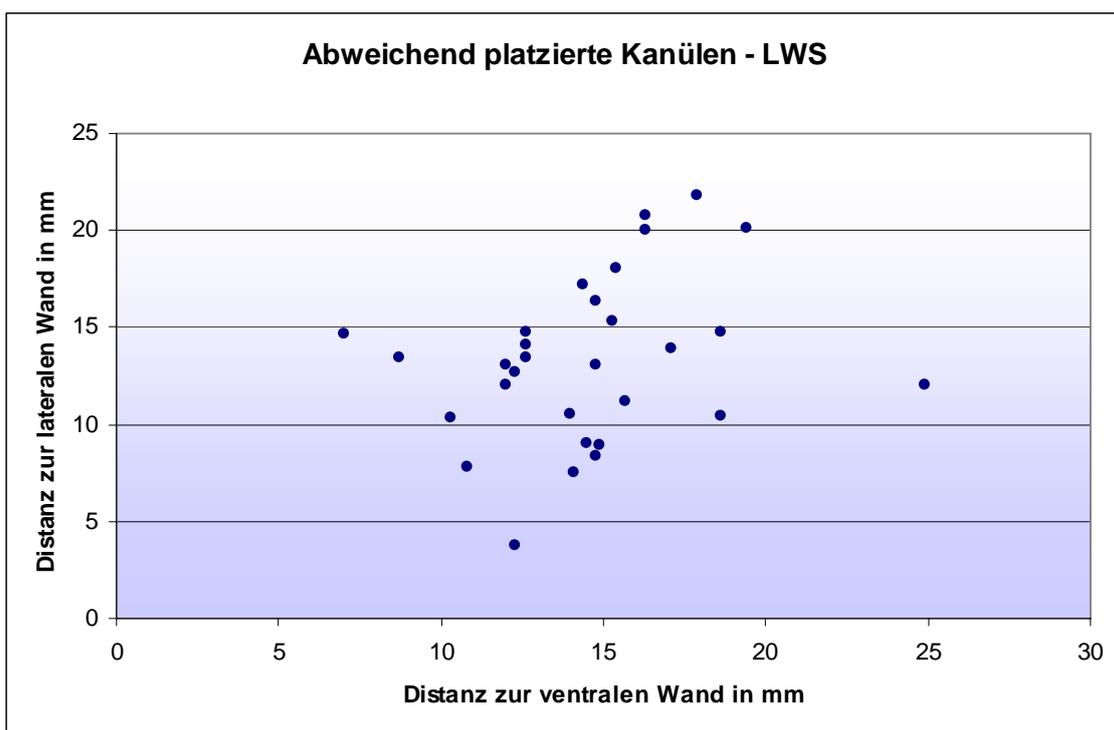


Abbildung 95: Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekannülen im Bereich der BWS.

Zementleckagen

Insgesamt traten bei 190 korrekt platzierten Vertebroplastiekannülen in 38 Fällen Zementleckagen auf. Dies entspricht einem Anteil von 20 %. Bei abweichender

Kanülenendlage traten in 6 von 34 Fällen Zementleckagen auf, entsprechend einem Anteil von 15 %.

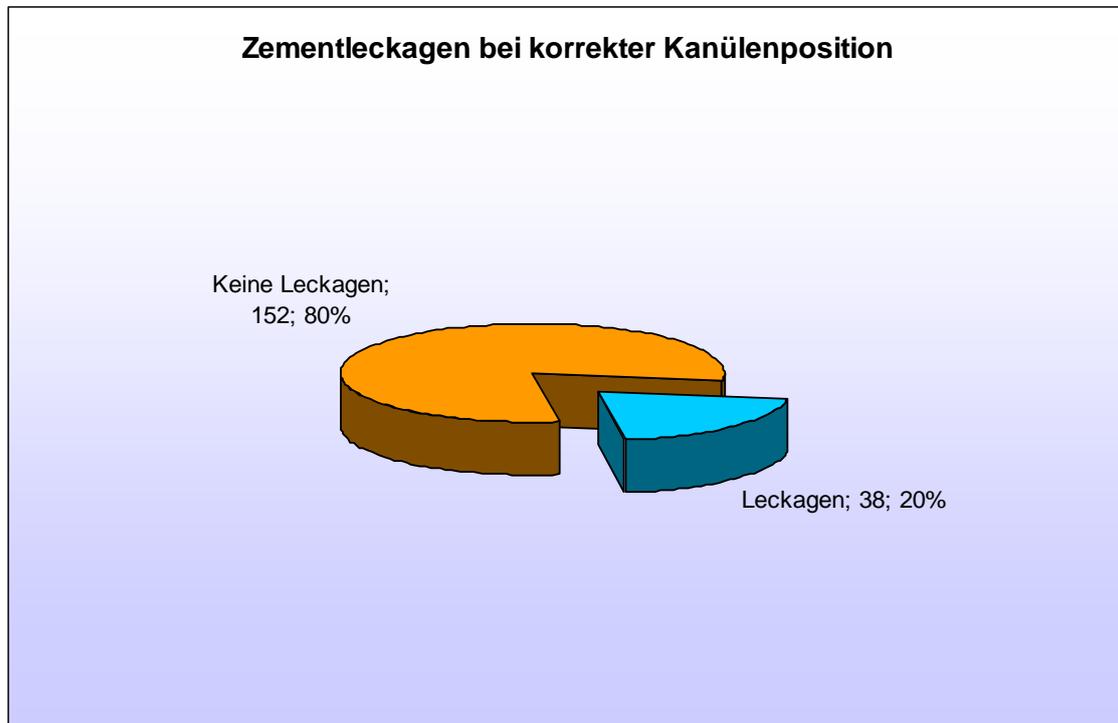


Abbildung 96: Anzahl der Zementleckagen bei korrekter Kanülenendlage.

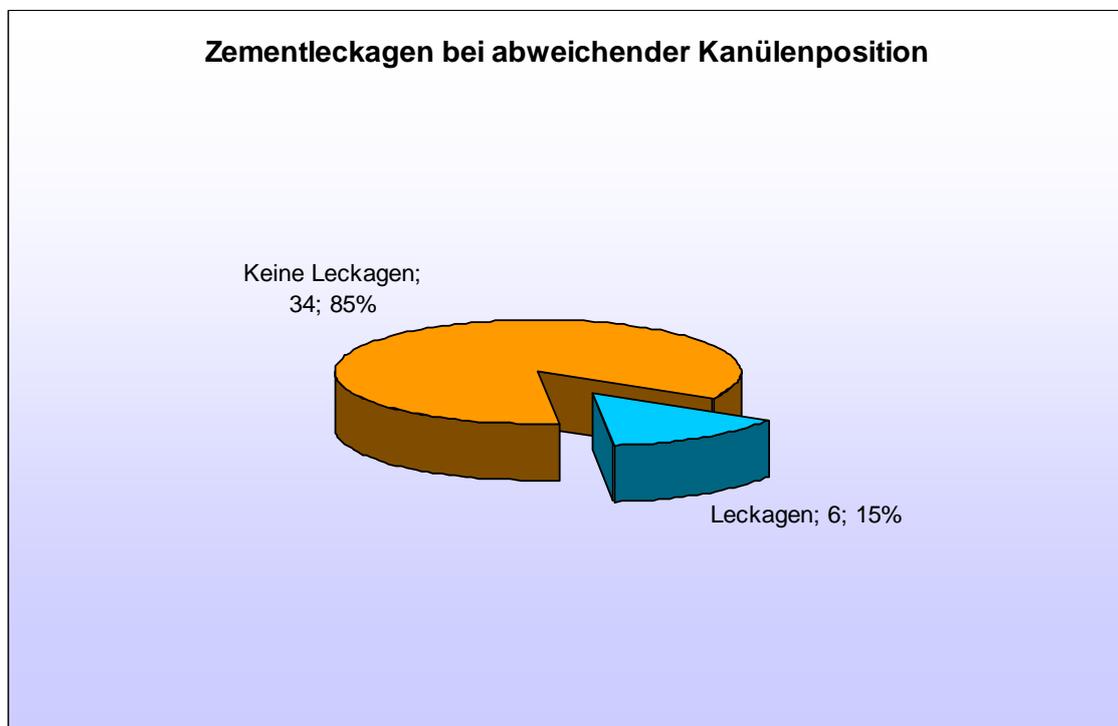


Abbildung 97: Anzahl der Zementleckagen bei abweichender Kanülenendlage.

Bei korrekter Endlage der Vertebroplastiekanülen traten in 20 von 38 Fällen einer Zementleckage die paravertebrale Leckage Typ-S auf. In 13 Fällen konnte eine Leckage über einen Kortikalisdefekt nach intradiskal (Typ-C) nachgewiesen werden. Eine Typ-B Leckage in den Intraspinalraum wurde in 5 Fällen festgestellt. Im Gegensatz dazu konnten bei abweichender Kanülenendlage keine Typ-C Leckagen nach intradiskal nachgewiesen werden. In 5 Fällen wurde hier eine Zementleckage in den paravertebralen Raum (Typ-S) dargestellt. In nur einem Fall wurde eine intraspinale Leckage Typ-B nachgewiesen.

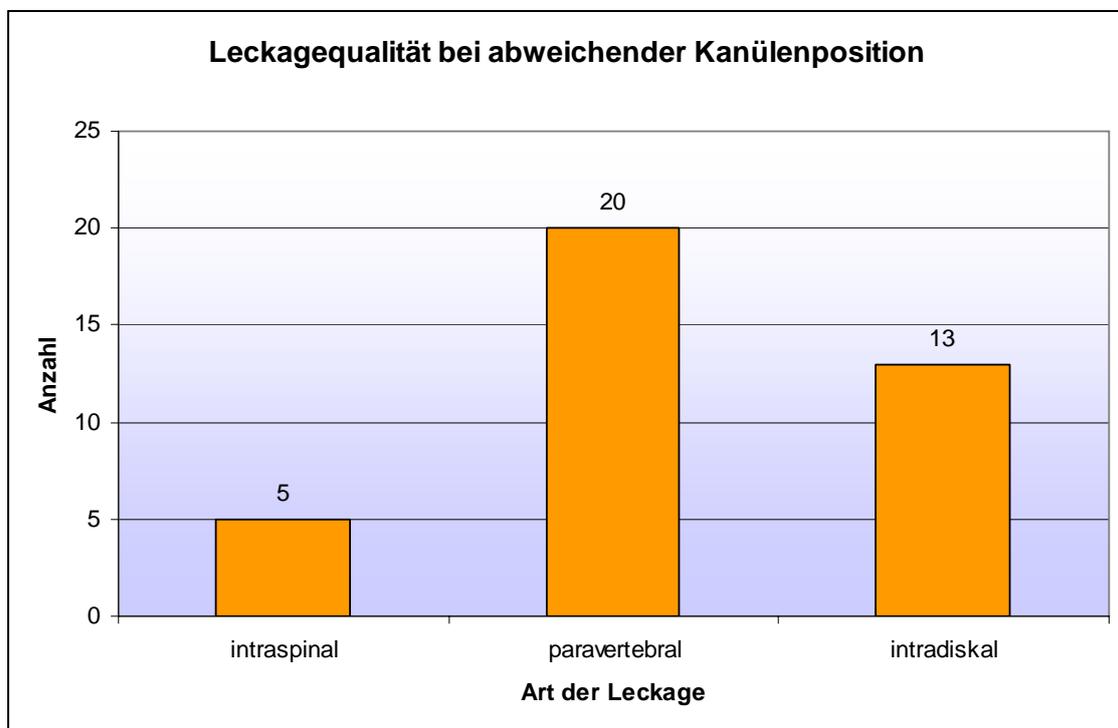


Abbildung 98: Verteilung der Leckagequalität bei korrekter Kanülenendlage.

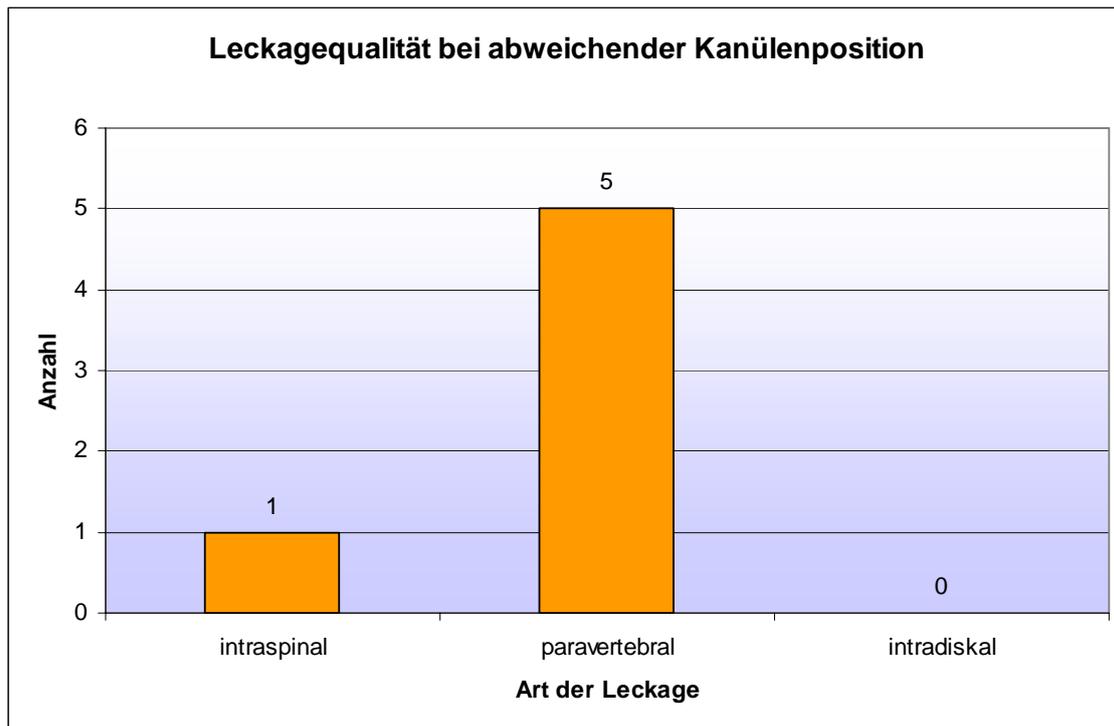


Abbildung 99: Verteilung der Leckagequalität bei abweichender Kanülenendlage.

Intravertebrale Zementverteilung

Von insgesamt 117 behandelten Wirbelkörpern war in 98 Fällen eine gleichmäßige intravertebrale Zementverteilung im Verhältnis 50:50 nachzuweisen. In 10 Fällen wurde eine Zementverteilung im Verhältnis 60:40, in 6 Fällen eine Verteilung im Verhältnis 70:30 nachgewiesen. In nur 3 Fällen kam es zu einer Zementverteilung im Verhältnis 80:20. Es wurde nicht angegeben, zugunsten welcher Seite ein Missverhältnis vorlag. Bezogen auf die Zementverteilung konnten keine Unterschiede zwischen korrekter und abweichender Lage festgestellt werden.

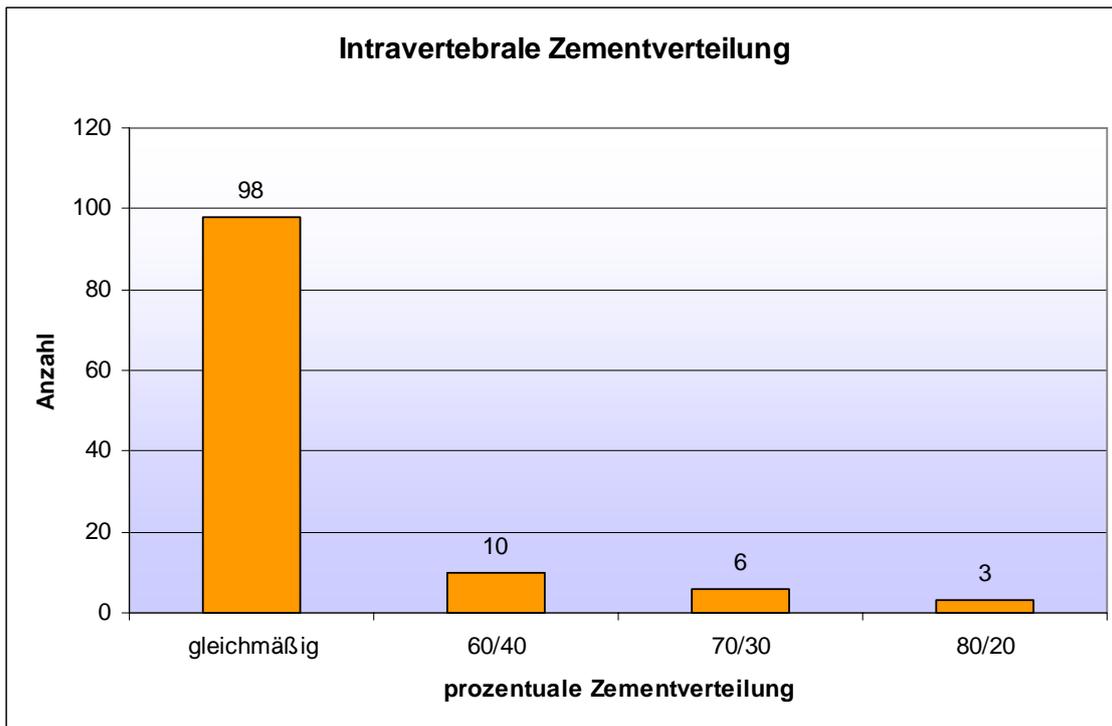


Abbildung 100: Darstellung der allgemeinen Verteilung der intravertebralen Zementverteilung.

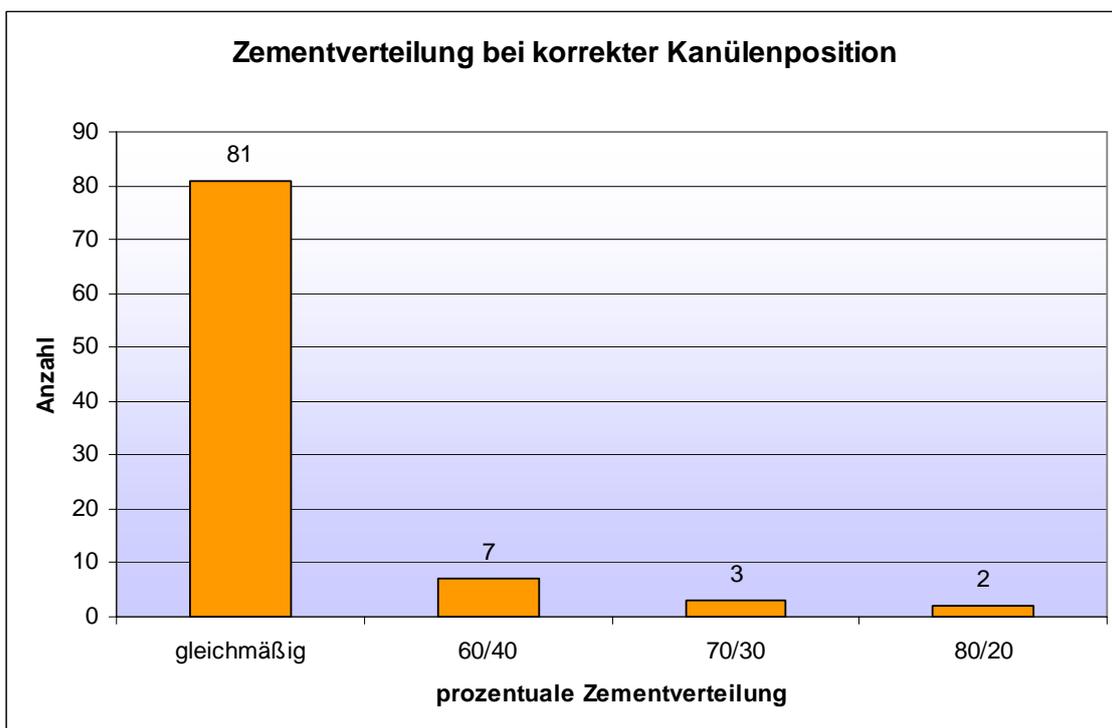


Abbildung 101: Zementverteilung bei korrekter Kanülenendlage.

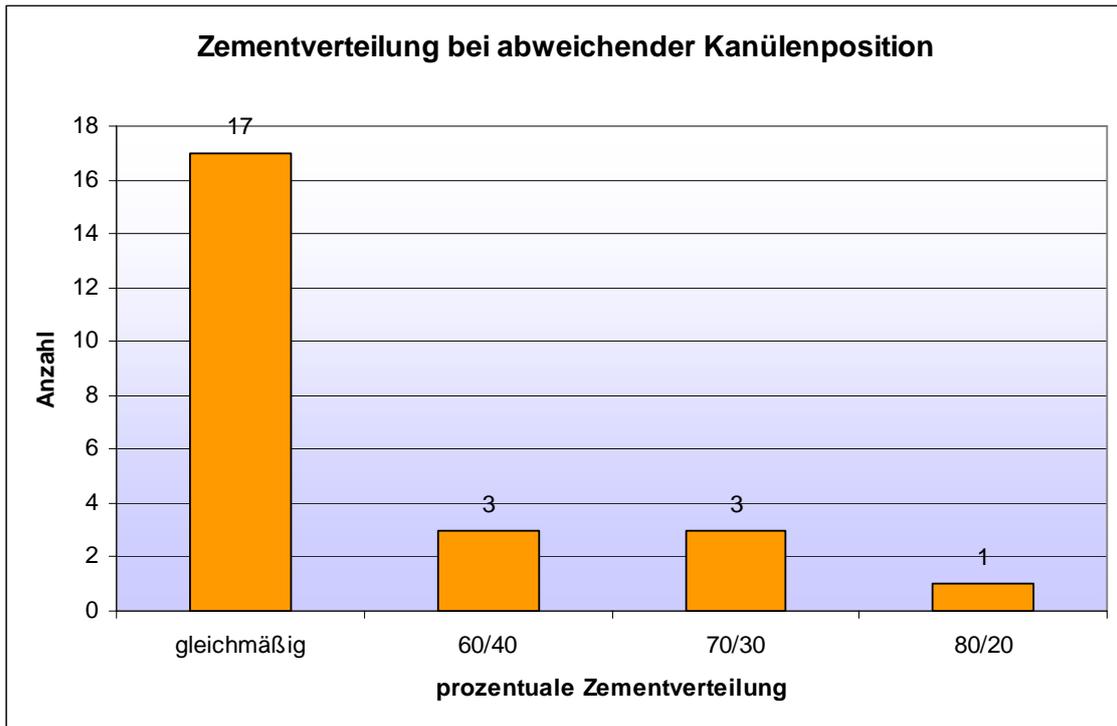


Abbildung 102: Zementverteilung bei abweichender Kanülenendlage.

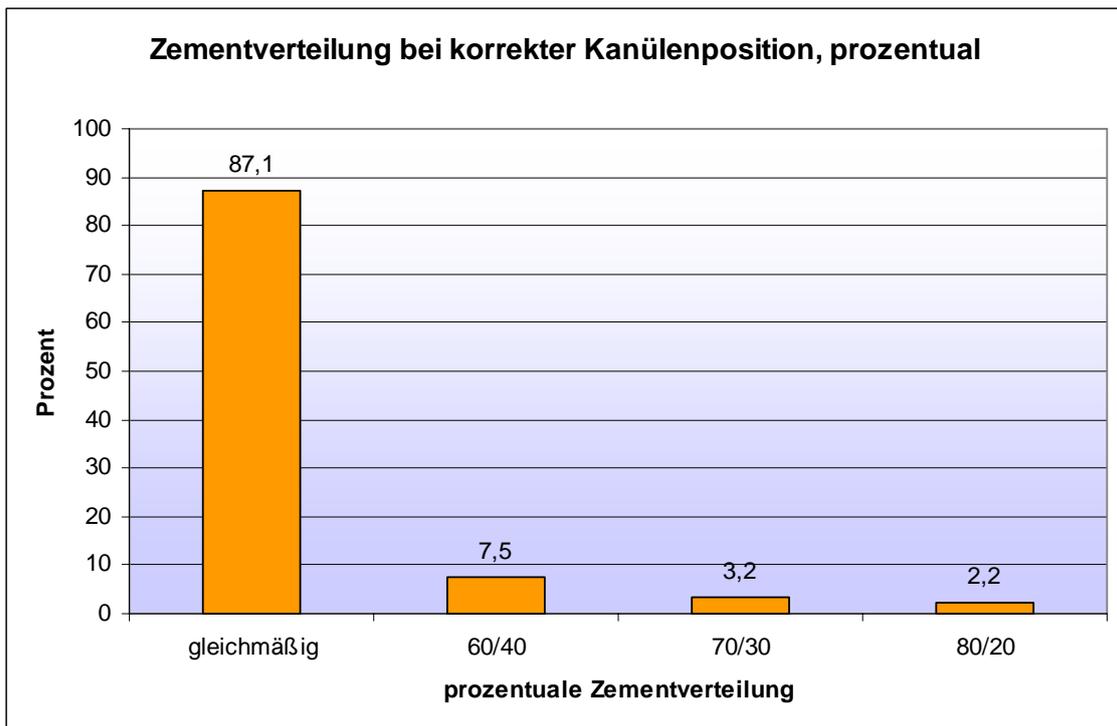


Abbildung 103: Prozentuale Verteilung der Zementverteilung bei korrekter Kanülenendlage.

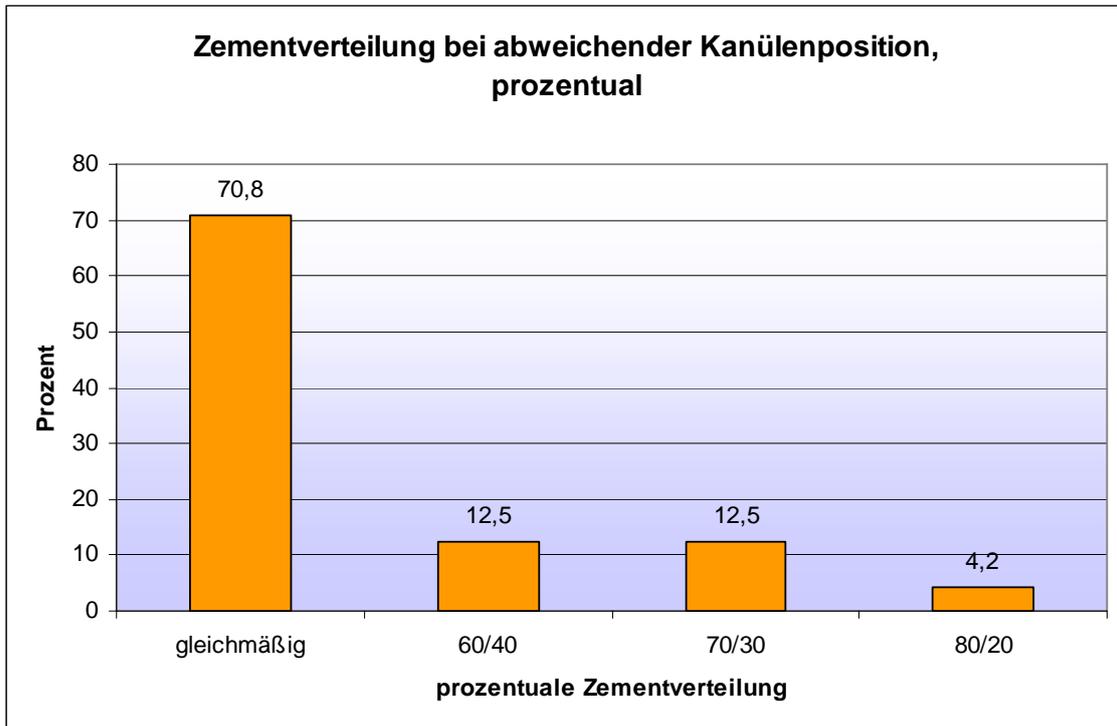


Abbildung 104: Prozentuale Verteilung der Zementverteilung bei abweichender Kanülenendlage

8. Diskussion

Im Zeitraum vom 01.01.2004 bis zum 01.08.2008 wurden an unserem Institut 92 Patienten mittels Perkutaner Vertebroplastie unter CT-Unterstützung behandelt. Es handelte sich um primär unselektierte Patienten, welche eine oder mehrere Wirbelkörperfrakturen unterschiedlichen Alters aufwiesen. Die Patienten wurden einerseits aus dem ambulanten, andererseits aus dem stationären Bereich rekrutiert. Alle durchgeführten Eingriffe waren elektiv und erfolgten mit dem schriftlichen Einverständnis der Patienten. Insgesamt wurden 60 Frauen und 32 Männer behandelt. Die Altersspanne erstreckte sich von 40 bis zu 92 Jahren. Patienten der Altersgruppe 80-89 Jahre war am häufigsten vertreten. Das durchschnittliche Alter betrug 74 Jahre. Die Indikation zum vertebroplastischen Eingriff wurde in allen Fällen korrekt gestellt.

Insgesamt lagen bei 92 Patienten 117 Wirbelkörperfrakturen vor, welche sich auf die Brust- und Lendenwirbelsäule verteilten. Eine Wirbelkörperfraktur im Bereich der Halswirbelsäule lag nicht vor. In 50 Fällen lag eine spontane Wirbelkörperfraktur bei bekannter Osteoporose [62] vor. Hier konnte anamnestisch kein vorangegangenes, adäquates Trauma belegt werden. In 42 Fällen wurde ein Trauma angegeben, welches bei normaler ossärer Stoffwechsellage zur Fraktur führte. In den meisten Fällen handelte es sich um einen Sturz.

Die Brustwirbelsäule war in 39 Fällen, die Lendenwirbelsäule in 78 Fällen betroffen. Die häufigste Frakturrate zeigte LWK 1 mit 39 Frakturen. An zweiter Stelle stand LWK 3 mit 17 Frakturen, gefolgt von BWK 12 mit 15 Frakturen. Das durchschnittliche Frakturalter betrug 10 Tage, wobei die osteoporotischen Spontanfrakturen ein Durchschnittsalter von 12 Tagen und die traumatisch bedingten Frakturen ein Durchschnittsalter von 8 Tagen aufwiesen.

Die Frakturen wurden nach Magerl klassifiziert. Insgesamt lagen 107 Frakturen entsprechend einer A1-Fraktur und 10 Frakturen entsprechend einer A2-Fraktur vor. Wichtig zur Durchführung der Vertebroplastie war, dass keine Rotationsfehlstellung entsprechend einer A3-Fraktur vorlag.

Die Hinterkante war in 11,1 % frakturiert. Es handelte sich hier um 13 Fälle. Jedoch lag in keinem Fälle eine relevante, neurologisch symptomatische Spinalkanalstenose von >10 % vor. Pitton et al. [71] zeigten in ihrer Untersuchung, dass auch eine Spinalkanalbeteiligung mit einer Verengung von 30 % aktuell keine Kontraindikation darstellen.

Der präinterventionelle Höhenverlust der frakturierten Wirbelkörper betrug in 41,9 % der Frakturen bis zu 10 % der ursprünglichen Wirbelkörperhöhe. Diese Wirbelkörperhöhe wurde anhand der Höhe der angrenzenden Wirbelkörper berechnet. In 18,8 % der Fälle betrug der Höhenverlust bis zu 25,0 %. Einen Wirbelkörperhöhenverlust von 50 %, bzw. 75 % wiesen wir in 16,2 %, bzw. 10,3 % der Fälle nach. Lediglich in 12,8 % aller behandelten Frakturen lag kein präinterventioneller Wirbelkörperhöhenverlust vor. Postinterventionell konnte jedoch keine Änderung der Wirbelkörperhöhe nachgewiesen werden, obwohl Hiwatashi et al. [54] und McKiernan et al. [93] zeigten, dass die Perkutane Vertebroplastie eine vergleichbare Wirbelkörperhöhenrestaurierung aufweist wie die Ballonkyphoplastie, bzw. eine partielle Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe erreicht werden kann.

Während einer Intervention wurden 75 Patienten an jeweils einem Wirbelkörper behandelt. 2 Wirbelkörper wurden bei 12 Patienten und 3 Wirbelkörper bei 3 Patienten behandelt. In nur 2 Fällen wurden 4, bzw. 5 Wirbelkörper zeitgleich in einer Behandlung augmentiert.

In 113 von 117 Fällen wurde der transpedikuläre Zugang zum Wirbelkörper gewählt. Dieser Zugang erfolgte bipedikulär. In nur 4 Fällen wurde der parapedikuläre Zugang gewählt. Dies begründete sich mit einem Innendurchmesser der Pedikel, welcher nur maximal 2 mm betrug. Jedoch wurde auch der parapedikuläre Zugang in allen aufgetretenen Fällen bipedikulär gewählt. Jedoch wurden auch positive Ergebnisse, u.a. von Knavel et al. [53,74], bei strikt unilateralem Zugang beschrieben.

Im Durchschnitt betrug die präinterventionelle Planungsphase am Computertomographen 3,2 min pro Patient. Die durchschnittliche Interventionszeit betrug 34,9 min pro Patient. Pro behandeltem Wirbelkörper wurde eine durchschnittliche Interventionszeit von 27,5 min gemessen. Im Vergleich mit anderen Studien zur Perkutanen Vertebroplastie, welche ohne Unterstützung der Computertomografie durchgeführt wurden, zeigte sich hier eine deutlich kürzere Behandlungszeit [57,68,72].

Im Durchschnitt wurden 4,9 ml Zement pro behandeltem Wirbelkörper verwendet. Die höchste einmalig applizierte Zementmenge betrug 7 ml. In diesem Fall wurde ein BWK 11 bipedikulär punktiert und augmentiert. Im Bereich BWK 4-BWK 12 wurden durchschnittlich 4,9 ml Zement pro Wirbelkörper verwendet. Im Bereich LWK 1-LWK 5 wurden 5,0 ml pro behandeltem Wirbelkörper verwendet. Unsere Daten entsprechen hier den meisten Paralleluntersuchungen mit nur geringen Abweichungen. Han et al. [84] zeigten, dass die erfolgreiche Vertebroplastie auch mit geringeren Zementmengen, bis zu 3,8 ml gelingen kann.

Die Hinterkante war in 13 Fällen frakturiert. In 8 Fällen traten hier Zementleckagen auf. Dies entspricht einer Leckagerate bei Hinterkantenbeteiligung von 61,5 %. Insgesamt sind 18,0 % aller nachgewiesenen Leckagen bei Hinterkantenfraktur aufgetreten. Hier zeigte sich eine qualitative Verteilung der Leckagequalitäten zugunsten der paravertebralen Zementleckage (n=6). An zweiter Stelle folgt die Zementleckage nach intradiskal (n=2). Eine vermutete Häufung einer Zementleckage über den dorsalen Kortikalisdefekt in Kombination mit der nach dorsal verlaufenden V. basovertebralis, in den Spinalkanal konnte nicht nachgewiesen werden.

Insgesamt wurden bei 117 behandelten Wirbelkörpern 234 Vertebroplastiekanülen verwendet. Ziel war es, die Kanülen unter CT-Kontrolle in der Art zu platzieren, dass alle eine einheitliche Endposition einnehmen. Als Ziel wurde der Schnittpunkt der parasagittalen und ventralen coronaren Drittelstrecke gewählt. Dies entsprach den Ergebnissen, welche u.a von Kasó et al. [51] beschrieben wurden. In der vorliegenden Untersuchung wurden 77 Kanülen im

Bereich der BWS und 151 Kanülen im Bereich der LWS eingebracht. Insgesamt konnten 194 Kanülen, entsprechend 83 % in Ideallage platziert werden. In 34 Fällen kam die Vertebroplastiekanüle abweichend im Wirbelkörper zu liegen. Dies entspricht 16 %. In einem Fall wurde die ventrale Wirbelkörperwand und in 2 Fällen die laterale Wirbelkörperwand perforiert. Es ergaben sich hier jedoch keine Komplikationen für den Patienten. Von den 77 eingebrachten Kanülen im Bereich der BWS konnten 71, entsprechend 92 % korrekt platziert werden. In nur 6 Fällen, entsprechend 8 % wurden die Kanülen abweichend platziert. Im Bereich der LWS wurden 151 Vertebroplastiekanülen eingebracht. Davon wurden 121 Kanülen, entsprechend 80 % korrekt platziert. In 30 Fällen, entsprechend 20 % wurde eine abweichende Position erreicht.

Insgesamt traten bei 117 behandelten Wirbelkörperfrakturen in der Kontroll-CT-Untersuchung 44 nachweisbare Zementleckagen auf. Es wurden n=35 Leckagen als diskret, n=8 als mittelgradig und n=1 als deutlich klassifiziert. Dies entspricht einer allgemeinen Leckagerate von 37,6 %. Damit liegen die Ergebnisse dieser Studie, das Auftreten von Zementleckagen betreffend am unteren Ende der durch Studien belegten Spanne [31,32,77,81]. Pitton et al. [59,90] geben u.a. ein Leckagerisiko von 55,4 %, bzw. 55,6 % an, Caudana et al. [64] von 43,9 % und Trumm et al. [60] gaben hingegen ein Leckagerisiko von nur 31,3 % an. Weitere Autoren können noch geringere Leckagerisiken in ihren Arbeiten belegen [61,63,86,88]. U.a. zeigten Eck et al. [92] eine Leckagerate von nur 19,7 %. Weiterhin zeigten Untersuchungen ohne CT-Unterstützung ein Leckagerisiko von 63,0 % [83]. Die in der vorliegenden Untersuchung aufgetretenen Leckagen wurden in drei Kategorien eingeteilt, um die im CT nachweisbaren Leckagezeichen zu interpretieren. Als diskrete Leckage wurde die sichtbare Zementprotrusion über das Kortikalisniveau gewertet. In diesen Fällen kann sich der Zement noch unter dem Periost, bzw. bis zu maximal einem Millimeter in ein abführendes Gefäß erstrecken. Der Nachweis gelang ausschließlich im Kontroll-CT. Eine mittelgradige Leckage lag vor, wenn der Zement in den sagittalen und coronaren Rekonstruktionen nicht über die Deck- und/oder Grundplattenhöhe des behandelten Wirbelkörpers hinaus ragte. Eine deutliche Zementleckage lag vor, wenn die Ausmaße der Leckage das Grund- und/oder Deckplattenniveau des behandelten Wirbelkörpers überschritten.

Mittelgradige und deutliche Zementleckagen waren auch im nativen Kontroll-Röntgen nachzuweisen. Am häufigsten wurden die paravertebrale Zementleckage des Typ-S über die Segmentvenen nachgewiesen. Diese trat in insgesamt 25 Fällen auf, wovon in 20 Fällen eine diskrete und in den restlichen 5 Fällen eine mittelgradige Ausprägung nachgewiesen werden konnte. An zweiter Stelle trat die Zementleckage Typ-C mit 13 nachgewiesenen Fällen auf. Dies entspricht einem Leckagerisiko von 11,1 %. Pitton et al. [90] gaben das Leckagerisiko für die Typ-C Leckage in ihrer Arbeit mit 27,6 % an. Hierbei zeigte sich eine diskrete Ausprägung in 11 und eine mittelgradige Ausprägung in 2 Fällen. An dritter Stelle folgt die Zementleckage Typ-B mit 6 nachgewiesenen Fällen. 5 davon wurden als diskret, 1 als deutlich eingestuft. Die Typ-S und Typ-C Leckagen folgen in ihrer Anzahl weitgehend der Anzahl der behandelten Wirbelkörper. Die Typ-B Leckage tritt hingegen in unserer Untersuchung ohne Bezug zur Anzahl der behandelten Wirbelkörper auf.

Bei 194 korrekt platzierten Vertebroplastiekanülen traten in 38 Fällen, entsprechend 20 % Zementleckagen auf. Bei abweichender Kanülenendlage traten in 6 von 34 Fällen, entsprechend 15 % Zementleckagen auf.

Die Verteilung der Leckagequalitäten zeigt, dass bei korrekter Kanülenendlage 20 von 38 aufgetretenen Leckagen vom Typ-S vorkamen. In 13 Fällen trat eine Leckage Typ-C auf und in 5 Fällen eine Leckage Typ-B. Bei abweichender Kanülenendlage traten in 5 Fällen Leckagen des Typ-S und in 1 Fall eine Leckage des Typ-B auf. Bei abweichender Kanülenendlage konnte keine Leckage des Typ-C nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse spiegeln die Ergebnisse der Untersuchung von Lee et al. [78] wider. Deren Arbeitsgruppe verzichtete auf eine CT-Unterstützung, gab jedoch mit 60,4 % mehrere Fälle der intraspinalen Zementleckage an. Diese Leckageart trat in der vorliegenden Untersuchung mit 5,1 % deutlich seltener auf.

Um eine gleichmäßige Abstützfunktion der Vertebroplastie zu erreichen wurde die seitengleiche Verteilung des PMMA-Bolus angestrebt. Dazu wurde der Zementbolus nach dem Aushärten vermessen und die intravertebrale Verteilung dargestellt. Insgesamt wurden 98 Zementapplikationen im seitengleichen

Verhältnis von 50:50 (83,8 %) nachgewiesen. Ein Verhältnis von 60:40 zeigte sich in 10 Fällen (8,5 %) und von 70:30 in 6 Fällen (5,1 %). Nur 3 Fälle (2,6 %) wurden mit einem Verteilungsverhältnis von 80:20 nachgewiesen. Es traten keine neurologischen oder statischen Probleme im Zusammenhang mit der intravertebralen Zementverteilung auf, unabhängig in welchem Seitenverhältnis der Zementbolus eingebracht wurde. Bei korrekter Kanülenlage konnte eine gleichseitige Zementverteilung, entsprechend einer 50:50 Verteilung in 87,1 % aller Fälle nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei abweichender Kanülenlage in nur 70,8 % eine seitengleiche Zementverteilung. Eine Verteilung von 60:40 kann in 7,5 % der Fälle bei korrekter Kanülenposition und in 12,5 % der Fälle bei abweichender Kanülenposition nachgewiesen werden. Eine Verteilung von 70:30 kann in 3,2 % der Fälle bei korrekter Kanülenposition und in 12,5 % der Fälle bei abweichender Kanülenposition nachgewiesen werden. Somit zeigt sich bei Positionierung der Vertebroplastiekanülen nach dem in der Untersuchung angeführten Schema eine um 16,3 % verbesserte, gleichseitige Positionierung des intravertebralen Zementbolus.

9. Zusammenfassung

Die Wirbelkörperfraktur stellt eine der Hauptkomplikationen bei Osteoporose dar, welche die Kosten der Erkrankung um ein Vielfaches steigen lassen. Hinzukommen neurologische Defizite, sowie akute und chronische Schmerzen bei Belastung und in Ruhe, welche die Mobilität des Patienten deutlich einschränken und eine fortführende, bewegungsfördernde Behandlung erschweren. Die Perkutane Vertebroplastie stellt hier eine kostengünstige Behandlungsform dar, betroffene Wirbelkörper in minimal invasiver Technik zu versorgen. Über einen para- oder transpedikulären Zugang wird der frakturierte Wirbelkörper mit PMMA-Zement aufgefüllt, sodass ein intravertebraler Zementbolus den Wirbelkörper gleichmäßig stützt. Der Zugang zum intravertebralen Raum wird entweder ein- oder beidseitig mittels zweier Hohlnadeln gewählt, welche von dorsal transpedikulär eingebracht werden. Die Position der Vertebroplastiekanülen wurde während der gesamten Intervention mittels Computertomografie und Fluoroskopie kontrolliert. Die angestrebte Endposition der Kanülen wurde entsprechend den aktuellen Untersuchungen angestrebt. Ausgewertet wurden das Auftreten von Zementleckagen, sowie die intravertebrale Verteilung des applizierten Zementes. Im Zeitraum vom 01.01.2004 bis zum 01.08.2008 wurden dazu 92 Patienten an insgesamt 117 Wirbelkörpern behandelt. In insgesamt 44 Fällen traten Zementleckagen auf, welche klinisch asymptomatisch blieben und keine weitere Intervention erforderten. In den Kontrolluntersuchungen wurden davon 35 Leckagen als diskret, 8 Leckagen als mittelgradig und eine Leckage als deutlich klassifiziert. Die allgemeine Zementleckagerate betrug 37,6 %. Es zeigte sich jedoch, dass bei erfolgreicher Platzierung der Vertebroplastiekanülen entsprechend der angestrebten Lage, die Leckagerate um bis zu 5 % zunimmt. Unabhängig von Hinterkantenbeteiligung, Ausgangshöhe des frakturierten Wirbelkörpers oder Positionierung der Vertebroplastiekanülen zeigte sich eine Häufung der Typ-S-Zementleckagen über die Segmentvenen. An zweiter Stelle trat die Typ-C-Zementleckage in Erscheinung. Eine Typ-B-Zementleckage konnte nur in wenigen Einzelfällen nachgewiesen werden. Die angestrebte gleichmäßige intravertebrale Verteilung des Zementbolus wiederum zeigte eine Abhängigkeit von der

Platzierung der Vertebroplastiekanülen. Bei korrekter Positionierung der Vertebroplastiekanülen konnte in 87,1 % der Fälle eine seitengleiche Verteilung des Zementbolus erreicht werden. Im Gegensatz dazu konnte in nur 70,8 % der Fälle bei abweichender Kanülenlage eine entsprechende seitengleiche Zementapplikation nachgewiesen werden.

Die Perkutane Vertebroplastie ist ein sicheres Verfahren, um die osteoporotisch bedingte, sowie die pathologische Wirbelkörperfraktur minimal invasiv zu versorgen. Bei Platzierung der Vertebroplastiekanülen am Kreuzungspunkt zwischen ventralem und medialem, sowie lateralem und medialem Wirbelkörperdrittel wird eine seitengleiche Verteilung des intravertebralen Zementbolus erreicht. Die Abstützfunktion des Zementbolus im frakturierten Wirbelkörper kann auf diese Weise verbessert werden. Im Gegensatz dazu hat sich die Leckagerate bei korrekter Kanülenpositionierung um 5 % erhöht. Bezugnehmend auf die Abstützfunktion sollte nun überprüft werden, ob das Auftreten von Anschlußfrakturen durch die konsequente genaue Platzierung der Vertebroplastiekanülen unter computertomografischer Kontrolle gemindert werden kann.

10. Abbildungsverzeichnis

- 1 *Darstellung der normalen und osteoporotisch veränderten Spongiosastruktur. Nach Orion Pharma GmbH Espoo, Finnland.*
- 2 *Kosten der Osteoporose mit und ohne Fraktur. BoneEVA-Studie, Gmündener Ersatzkasse.*
- 3 *Computertomografische Rekonstruktion osteoporosebedingter Wirbelkörperfrakturen. Eigener Patient.*
- 4 *Mittels eines Fixateur interne und Cage versorgte Wirbelkörperfraktur mit kranialer Auswanderung der Pedikelschrauben. Eigene Patienten.*
- 5 *Schematische Darstellung der Wirbelsäule. Modifiziert.*
- 6 *Schematische Darstellung eines thorakalen Wirbelkörpers. Modifiziert nach Pearson Education, Inc. 2004.*
- 7 *Unterschiedliche Morphologie der Hals-, Brust- und Lendenwirbelkörper. Bewegungssegment. Nach ENV Etmans & Vingerhoed GbR 2007.*
- 9 *Venöse Versorgung des Wirbelkörpers. Modifiziert nach Rauschmann 2003.*
- 10 *Osteoporotische Wirbelkörperfraktur LWK 3. Eigener Patient.*
- 11 *Sagittale CT-Rekonstruktion eines Vertebra plana LWK 3. Eigener Patient.*
- 12 *Schema der Typ-A Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.*
- 13 *Frakturklassifikation der A-Frakturen. Nach Rieger et al. 2006.*
- 14 *Schema der Typ-B Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.*
- 15 *Frakturklassifikation der B-Frakturen. Nach Rieger et al. 2006.*
- 16 *Schema der Typ-C Frakturen mit Subtypen. Modifiziert.*
- 17 *Frakturklassifikation der C-Frakturen. Nach Rieger et al. 2006.*
- 18 *3-Säulenmodell der Wirbelsäule nach Denis vs. 2-Säulenmodell der Wirbelsäule.*
- 19 *Nativröntgen einer Wirbelkörperfraktur LWK 3 in 2 Ebenen. Eigener Patient.*
- 20 *Computertomografie einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur mit Lumbaldegeneration. Sagittale Rekonstruktion. Eigener Patient.*
- 21 *Computertomografie einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur mit Lumbaldegeneration. Coronare Rekonstruktion. Eigener Patient.*
- 22 *MRT: T2-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur. Eigener Patient.*
- 23 *MRT: T1-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur. Eigener Patient.*
- 24 *MRT: T2-gewichtete Sequenz einer LWK 3-Wirbelkörperfraktur zur Beurteilung der spinalen Enge. Eigener Patient.*
- 25 *Aufteilung des Wirbelkörpers in ein ventrales, mediales und dorsales Drittel. Die Schnittpunkte mit den parasagittalen Linien unterteilen den Wirbelkörper weiterhin in zwei laterale und ein mediales Drittel. Die Ringe symbolisieren die erwünschte Kanülenendlage. Eigener Patient.*
- 26 *Optimale Zielendlage der Vertebroplastiekanülen. Eigener Patient.*
- 27 *Abweichende Endlage der Vertebroplastiekanülen im lateralen Drittel. Eigener Patient.*
- 28 *Abweichende Endlage der Vertebroplastiekanülen im medialen Drittel. Eigener Patient.*
- 29 *Perforationen (Pfeil) der ventralen und lateralen Wirbelkörperwand im Zuge der ct-gesteuerten Platzierung der Vertebroplastiekanülen. Eigener Patient.*
- 30 *Schema zur Beurteilung der intravertebralen Zementbolusverteilung.*
- 31 *Optimale, seitengleiche Verteilung im Verhältnis 50:50 des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation. Eigener Patient.*
- 32 *Verteilung des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation im Verhältnis 60:40 zugunsten der linken Wirbelkörperseite. Eigener Patient.*
- 33 *Verteilung des PMMA-Bolus nach bilateraler Applikation im Verhältnis 70:30 zugunsten der linken Wirbelkörperseite. Eigener Patient.*
- 34 *Typisierung der Leckagen. Typ-C über einen Kortikalisdefekt, Typ-S über die Segmentvenen, Typ-B über die Vv. basovertebrales. Nach Yeom et al. 2003.*
- 35 *Typ-B Leakage mit Austritt des PMMA nach dorsal mit Auffüllen des dorsalen Venenplexus und Austritt aus dem Neuroforamen links. Eigener Patient.*
- 36 *Typ-S Leakage mit Austritt des PMMA über die Segmentvenen. Eigener Patient.*

-
- 37 *Typ-C Leckage mit Austritt des PMMA in das kranial gelegene Bandscheibenfach über einen frakturbedingten Kortikalisdefekt. Eigener Patient.*
- 38 *SIEMENS SOMATOM PLUS4.*
- 39 *Daten verschiedener Vertebroplastiekanülen.*
- 40 *Inhaltsstoffe der PMMA-Komponenten.*
- 41 *Vertebroplastie-Set „complete“ der Firma SOMATEX.*
- 42 *CT-Pre-Scan Protokoll.*
- 43 *CT-Biopsie-Scan Protokoll.*
- 44 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Auf der Hautgrenze sind Markierungsdrähte zu sehen, welche die geplanten Eintrittsstellen der Vertebroplastiekanülen anzeigen. Eigener Patient.*
- 45 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Die Kanülen der Lokalanästhesie zeigen den geplanten Zugangsweg zum Wirbelkörper an. Eigener Patient.*
- 46 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entlang der geplanten Zugangsstrecke wird die erste Vertebroplastiekanüle eingeführt. Eigener Patient.*
- 47 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entlang der geplanten Zugangsstrecke wird die Vertebroplastiekanüle in die gewünschte Endposition gebracht. Eigener Patient.*
- 48 *Kontrolle der Kanülenlage mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang. Eigener Patient.*
- 49 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Entsprechend dem Verlauf der ersten Vertebroplastiekanüle wird die kontralaterale Kanüle eingebracht. Eigener Patient.*
- 50 *Kontrolle der Kanülenlage mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang. Eigener Patient.*
- 51 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Beginn der einseitigen Zementapplikation. Die Kanülenöffnungen sind nach medial gedreht. Eigener Patient.*
- 52 *CT-Einzelbildaquisition des frakturierten Wirbelkörpers. Nachfolgende Zementapplikation auf der kontralateralen Seite. Eigener Patient.*
- 53 *Kontrolle der Zementapplikation mittels Fluoroskopie im sagittalen Strahlengang. Eigener Patient.*
- 54 *Maske zur Erfassung der relevanten Patienten- und Untersuchungsdaten.*
- 55 *Geschlechtsverteilung der Patienten.*
- 56 *Patientenalter.*
- 57 *Unterscheidung der Frakturursachen in spontane und traumatische Fraktur.*
- 58 *Verteilung der Frakturen bezüglich der Wirbelkörperhöhe.*
- 59 *Anzahl der behandelten Wirbelkörper pro Patient.*
- 60 *Anzahl der behandelten Wirbelkörper pro Patient.*
- 61 *Darstellung des Frakturalters in Tagen.*
- 62 *Darstellung des durchschnittlichen Frakturalters bezüglich der Ursache.*
- 63 *Verteilung der Patienten nach Frakturklassifikation.*
- 64 *Darstellung der Hinterkantenbeteiligung.*
- 65 *Gemessener präoperativer Wirbelkörperhöhenverlust.*
- 66 *Schematische Darstellung des Meßbereiches zur Erfassung des Pedikellinnendurchmessers.*
- 67 *Anzahl der einzelnen Pedikeldurchmesser.*
- 68 *Dauer der Planungsphase.*
- 69 *Dauer der Interventionsphase (Schnitt-Naht-Zeit).*
- 70 *Darstellung der Verteilung der Zugangswege.*
- 71 *Darstellung der durchschnittlichen Zementmenge pro Wirbelkörperhöhe.*
- 72 *Anzahl der Zementleckagen.*
- 73 *Verteilung der Zementleckagen nach Leckagequalität.*
- 74 *Verteilung der Leckagequalität nach Ausprägung der Leckageart.*
- 75 *Verteilung der Leckagequalität bezüglich der behandelten Wirbelkörperhöhen.*
- 76 *Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckageanzahl und behandeltem Wirbelkörper.*
- 77 *Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckagerate und Anzahl der behandelten Wirbelkörper.*

-
- 78 *Darstellung des Verhältnisses zwischen Leckageausprägung und behandelter Wirbelkörperhöhe.*
- 79 *Auftreten von Zementleckagen bei Hinterkantenbeteiligung.*
- 80 *Verhältnis zwischen Hinterkantenbeteiligung und Zementleckage.*
- 81 *Verteilung der Leckagen bei Hinterkantenbeteiligung.*
- 82 *Verteilung Leckagen nach Qualität bei Hinterkantenbeteiligung.*
- 83 *Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage.*
- 84 *Idealverteilung der Kanülenendlage bei gleichmäßigen Abständen zur ventralen und lateralen Wirbelkörperwand.*
- 85 *Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekanülen.*
- 86 *Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS und LWS.*
- 87 *Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS und LWS.*
- 88 *Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage im Bereich der BWS.*
- 89 *Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 90 *Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 91 *Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 92 *Darstellung der Verteilung der Kanülenendlage im Bereich der LWS.*
- 93 *Verteilung der Endlagen aller applizierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 94 *Darstellung der korrekt platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 95 *Darstellung der abweichend platzierten Vertebroplastiekanülen im Bereich der BWS.*
- 96 *Anzahl der Zementleckagen bei korrekter Kanülenendlage.*
- 97 *Anzahl der Zementleckagen bei abweichender Kanülenendlage.*
- 98 *Verteilung der Leckagequalität bei korrekter Kanülenendlage.*
- 99 *Zementverteilung bei abweichender Kanülenendlage.*
- 100 *Verteilung der Leckagequalität bei abweichender Kanülenendlage.*
- 101 *Darstellung der allgemeinen Verteilung der intravertebralen Zementverteilung.*
- 102 *Zementverteilung bei korrekter Kanülenendlage.*
- 103 *Prozentuale Verteilung der Zementverteilung bei korrekter Kanülenendlage.*
- 104 *Prozentuale Verteilung der Zementverteilung bei abweichender Kanülenendlage.*

11. Literaturverzeichnis

- 1 **Dennison E.**, Cooper C. (2000) Epidemiology of osteoporotic fractures. *Horm Res*; 54 (Suppl) 1: 58-63
- 2 **Walker-Bone K.**, Walter G., Cooper C. (2002) Recent developments in the epidemiology of osteoporosis. *Curr Opin Rheumatol*; 14: 411-5
- 3 **Kado DM.**, Browner WS., Palermo L., Nevitt MC., Genant HK., Cummings SR. (1999) Vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Arch Intern Med*; 159: 1215-20
- 4 **Riggs BL.**, Melton LJ., III. (1995) The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone*; 17: 505S-511S
- 5 **Mathis JM.**, Barr JD., Belkoff SM., Barr MS., Jensen ME., Deramond H. (2001) Percutaneous vertebroplasty; a developing standard of care for vertebral compression fractures. *AJNR Am.J.Neuroradiol.*;22:373-381
- 6 **Mathis JM.**, Petri M., Naff N. (1998) percutaneous Vertebroplasty treatment of steroid-induced osteoporotic compression fractures. *Arthritis & Rheumatism*;41:171-175
- 7 **Maynard AS.**, Jensen ME., Schweickert PA., Marx WF., Short JG., Kallmes DF. (2000) Value of bone scan imaging in predicting pain relief from percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures. *AJNR Am.J.Neuroradiol.*;21:1807-1812
- 8 **Kanis JA.**, McCloskey EV. (1992) Epidemiology of vertebral osteoporosis. *Bone*;13 Suppl 2:S1-10
- 9 **Einhorn TA.** (2000) Vertebroplasty: an opportunity to do something really good for patients. *Spine*;25:1051-1052
- 10 **Gangi A.**, Dietemann JL., Schultz A., Mortaavi R., Jeung MY., Roy C. (1996) Interventional radiologic procedures with CT guidance in cancer pain management. *Radiographics* 16:1289-1304
- 11 **Cotton A.**, Dewatre F., Cortet B. et al. (1996) Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastasis and myeloma: effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methyl-methacrylate at clinical follow-up. *Radiology* 200:525-530
- 12 **Cortet B.**, Cotton A., Boutry N., Dewatre F., Flipo RM., Duquesnoy B., Chastnat P., Delcambre B. (1997) Percutaneous vertebroplasty in

patients with osteolytic metastasis or multiple myeloma. Res Rhum Engl Ed 64:177-183

- 13 **Jensen ME.**, Evands AJ., Mathis JM. (1997) Percutaneous polymethylmetacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures:technical aspects. AJNR Am J Neuroradiol 18:1897-1904
- 14 **Hierholzer J.**, Fuchs H., Westphalen K., Baumann C., Slotosch C., Schulz R. (2008) Cardiovasc Intervent Radiol.
- 15 **Zapalowicz K.**, Radek A., Blaszczyk B., Kozinski T., Zelechowski J. (2003) Percutaneous vertebroplasty with bone cement in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. Ortop Traumatol Rehabil 5:34-39
- 16 **McKiernan F.**, Faciszewski T., Jensen R. (2004) Quality of life following vertebroplasty. J Bone Joint Surg Am 86:2600-6
- 17 **Lapras C.**, Mottolese C., Deruty R., Lapras C. Jr., Remond J., Duquesnel J. (1989) Percutaneous injection of methyl-metacrylate in osteoporosis and severe vertebral osteolysis (Galibert`s technic). Ann Chir 43:371-376
- 18 **Barr JD.**, Barr MS., Lemley TJ., McCann RM. (2000) Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. Spine 25:923-928
- 19 **Berlemann U.**, Ferguson SJ., Nolte LP., Heini PF. (2002) Adjacent vertebral failure after vertebroplasty. A biomechanical investigation. J.Bone Joint Surg.Br 84:748-752
- 20 **Grados F.**, Depriester C., Cayrolle G., Hardy N., Deramond H., Fardellone P. (2000) Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. Rheumatology (Oxford) 39:1410-1414
- 21 **Amar AP.**, Larsen DW., Esnaashari N., Albuquerque FC., Lavine SD., Teitelbaum GP. (2001) Percutaneous transpedicular polymethylmetacrylate vertebroplasty for the treatment of spinal compression fractures. Neurosurgery 49:1105-1114
- 22 **Levine SA.**, Perin LA., Hayes D., Hayes WS. (2000) An evidence-based evaluation of percutaneous vertebroplasty. Manag.Care 9:56-60,63
- 23 **Bohner M.**, Gasser B., Baroud G., Heini P. (2003) Theoretical and experimental model to describe the injection of polymethylmethacrylate cement into a porous structure. Biomaterials. 24: 2721-2730

-
- 24 **Berlemann U.**, Heini P.F. (2002) Percutaneous cementing techniques in treatment of spinal sintering. *Unfallchirurg Jan*: 105: 2-8
- 25 **Berlemann U.**, Müller C.W., Krettek C. (2004) Perkutane Augmentierungstechniken der Wirbelsäule. Möglichkeiten und Grenzen. *Der Orthopäde Jan*: 33: 6-12
- 26 **Baumann A.**, Tauss J., Baumann G., Tomka M., Hessinger M., Tiesenhausen K. (2006) Cement embolization into the vena cava and pulmonal arteries after vertebroplasty: interdisciplinary management. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 31: 558-561
- 27 **Prymka M.**, Pühler T., Hirt S., Ulrich H.-W. (2003) Extrakorporaler Zementabfluss mit Füllung des extraduralen Venenplexus bis in die V. Cava nach Vertebroplastie. Fallbericht und Aufarbeitung des Schrifttums. *Der Unfallchirurg Oct*: 106:860-864
- 28 **Scroop R.**, Eskridge., Britz G.W. (2002) Paradoxical cerebral arterial embolization of cement during intraoperative vertebroplasty: case report. *AJNR Am J Neuroradiol.* 23:868-870
- 29 **Seung-Eun C.**, Sang-Ho L., Tae-Hong K., Kwang Hyun Y., Byung-June J. (2005) Renal cement embolism during percutaneous vertebroplasty. *Eur Spine J.* 16:856-859
- 30 **Lee B.**, Lee S., Yoo T. (2002) Paraplegia as a complication of percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate: a case report. *Spine Oct.* 27:E419-E422
- 31 **Armsen N.**, Boszczyk B. (2005) Vertebro-/ Kyphoplasty: History, Development, Results. *Eur J Trauma.* 31:433-441
- 32 **Yeom J.S.**, Kim W.J., Choy W.S., Lee C.K. (2003) Leakage of cement in percutaneous transpedicular vertebroplasty for painful osteoporotic compression fractures. *J Bone Joint Surg.* 85-B:83-89
- 33 **Harrington K.D.** (2001) Major neurological complications following percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. *J Bone Joint Surg.* 83-A:1070-1073
- 34 **Da Fonseca K.**, Baier M., Grafe I., Libicher M., Noeldge G., Kasperk C., Meeder P. (2006) Ballon-Kyphoplastie in der Therapie von Wirbelkörperfrakturen. *Unfallchirurg.* 109:391-400
- 35 **Heini P.F.** (2005) The current treatment -a survey of osteoporotic fracture treatment. *Osteoporotic spine fractures: the spine surgeon`s perspective.* *Osteoporosis Int.* Mar. 16 Suppl 2:S85-92

-
- 36 **Hoffmann R.T.**, Jakobs T.F., Wallnhöfer A., Reiser M.F., Helmberger T. (2003) Perkutane Vertebroplastie: Indikation, Kontraindikationen und Technik. *Radiologe*. 43:709-717
- 37 **Heini P.F.**, Wälchli B., Berlemann U. (2000) Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: operative technique and early results. *Eur Spine J*. 9:445-450
- 38 **Gaughen J.R.**, Jensen M., Schweickert P., Kaufmann T., Marx W., Kallmes D. (2002) Lack of preoperative spinous process tenderness does not affect clinical success of percutaneous vertebroplasty. *J Vasc Intern Radial*. 13:1135-1138
- 39 **Bierschneider M.**, Boszczyk B., Schmid K., Robert B., Jaksche H. (2005) Minimally invasive vertebral augmentation techniques in osteoporotic fractures. *Eur J Trauma*. Oct;31(5):442-452
- 40 **Hadjipavlou A.G.**, Tzermiadianos M.N., Katonis P.G., Szpalski M. (2005) Percutaneous vertebroplasty and ballon kyphoplasty for treatment of osteoporotic vertebral fractures and osteolytic tumors. *J Bone Joint Surg (Br)*. 87-B:1595-1604
- 41 **Spivak J.**, Johnson M. (2005) Percutaneous treatment of vertebral body pathology. *J Am Acad Orthop Surg*. 13:6-17
- 42 **Pham T.**, Azulay-Parrado J., Champsaur P., Chagnaud C. (2005) „Occult“ osteoporotic vertebral fractures: vertebral body fractures without radiologic collaps. *Spine*. Nov 1;30(21):2430-2435
- 43 **Luginbühl M.** (2008) Percutaneous vertebroplasty, kyphoplasty and lordoplasty: implications for the anesthesiologist. *Curr Opin Anaesthesiol*. Aug;21(4):504-13
- 44 **Hillmeier J.**, Meeder P.J., Noldge G., Kasperk C. (2003) Minimal invasive Reposition und innere Stabilisierung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen. *Operat Orthop Traumatol*. 4:343-362
- 45 **Walz M.**, Esmer E., Kolbow B. (2006) CT-based analysis of cement distribution in unipedicular vertebroplasty. *Unfallchirurg*. 11:932-939
- 46 **Galibert P.**, Deramond H., Rosat P., Le Gars D. (1987) Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie*. 33:166-168
- 47 **Kasó G.**, Horváth Z., Szenohradzky K., Sándor J., Dóczi T. (2008) Comparison of CT characteristics of extravertebral cement leakages after vertebroplasty performed by different navigation and injection techniques. *Acta Neurochir*. Jul;150(7):677-83

-
- 48 **Wang J.**, Zhang N., Liu J., Tian H., Chen C. (2009) Clinical study on one side approach percutaneous kyphoplasty treatment of severe osteoporotic vertebral compression fractures. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* Jan;23(1):68-71
- 49 **Knave EM.**, Thielen KR., Kallmes DF. (2008) Vertebroplasty for the Treatment of Traumatic Nonosteoporotic Compression Fractures. *AJNR Am J Neuroradiol.* Nov 27
- 50 **Caudana R.**, Renzi Brivio L., Ventura L., Aitini E., Rozzanigo U., Barai G. (2008) CT-guided percutaneous vertebroplasty: personal experience in the treatment of osteoporotic fractures and dorsolumbar metastases. *Radiol Med.* Feb;113(1):114-33.
- 51 **Hard JM.**, Gonda RL., Kadakia SR. (2008) A novel approach to treatment of unexpected vertebroplasty complication. *Cardiovasc Intervent Radiol.* Nov-Dec;31(6):1249-51
- 52 **Shin JH.**, Ha KY., Kim KW., Lee JS., Joo MW. (2008) Surgical treatment for delayed pyogenic spondylitis after percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty. Report of 4 cases. *J Neurosurg Spine.* Sep;9(3):265-72
- 53 **Knave EM.**, Rad AE., Thielen KR., Kallmes DF. (2009) Clinical Outcomes with Hemivertebral Filling during Percutaneous Vertebroplasty. *Am J Neuroradiol.* Jan 15
- 54 **Hiwatashi A.**, Westesson PL., Yoshiura T., Noguchi T., Togao O., Yamashita K., Kamano H., Honda H. (2009) Kyphoplasty and Vertebroplasty Produce the Same Degree of Height Restoration. *Am J Neuroradiol.* Jan 8.
- 55 **Kobayashi N.**, Numaguchi Y., Fuwa S., Uemura A., Matsusako M., Okajima Y., Ishiyama M., Takahashi O. (2009) Prophylactic vertebroplasty: cement injection into non-fractured vertebral bodies during percutaneous vertebroplasty. *Acad Radiol.* Feb;16(2):136-43
- 56 **Gao JC.**, Mi SJ., Liu CL. (2008) Percutaneous vertebroplasty for the treatment of acute burst thoracolumbar fractures. *Zhongguo Gu Shang.* Jan;21(1):7-9
- 57 **Reinhold M.**, Knop C., Beisse R., Audigé L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren V., Blauth M. (2009) Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine : Part II: surgical treatment and radiological findings. *Unfallchirurg.* Jan 28.
- 58 **Muto M.**, Perrotta V., Guarnieri G., Lavanga A., Vassallo P., Reginelli R., Rotondo A. (2008) Vertebroplasty and kyphoplasty: friends or foes? *Radiol Med.* Dec;113(8):1171-1184.

-
- 59 **Pitton MB.**, Herber S., Koch U., Oberholzer K., Drees P., Düber C. (2008) CT-guided vertebroplasty: analysis of technical results, extraosseous cement leakages, and complications in 500 procedures. *Eur Radiol.* Nov;18(11):2568-78
- 60 **Trumm CG.**, Jakobs TF., Zech CJ., Helmberger TK., Reiser MF., Hoffmann RT. (2008) CT fluoroscopy-guided percutaneous vertebroplasty for the treatment of osteolytic breast cancer metastases: results in 62 sessions with 86 vertebrae treated. *J Vasc Interv Radiol.* Nov;19(11):1596-606
- 61 **Tseng YY.**, Yang ST., Tu PH., Yang TC., Lo YL. (2008) Minimally invasive vertebroplasty in the treatment of pain induced by spinal metastatic tumor. *Minim Invasive Neurosurg.* Oct;51(5):280-4
- 62 **Fenoglio L.**, Cena P., Migliore E., Bracco C., Ferrigno D., Silvestri A., Lingua G., Gollè G., Brignone C., Serraino C., Gallarato G., Pomero F., Grosso M. (2008) Vertebroplasty in the treatment of osteoporosis vertebral fractures: report on 52 cases. *J Endocrinol Invest.* Sep;31(9):795-8
- 63 **Kim JH.**, Park KS., Yi S., Shin HC., Yoon DH., Kim KN. (2005) Real-time CT fluoroscopy (CTF)-guided vertebroplasty in osteoporotic spine fractures. *Yonsei Med J.* Oct 31;46(5):635-42
- 64 **Caudana R.**, Renzi Brivio L., Ventura L., Aitini E., Rozzanigo U., Barai G. (2008) CT-guided percutaneous vertebroplasty: personal experience in the treatment of osteoporotic fractures and dorsolumbar metastases. *Radiol Med.* Feb;113(1):114-33
- 65 **Cheung G.**, Chow E., Holden L., Vidmar M., Danjoux C., Yee AJ., Connolly R., Finkelstein J. (2006) Percutaneous vertebroplasty in patients with intractable pain from osteoporotic or metastatic fractures: A prospective study using quality-of-life assessment. *Can Assoc Radiol J.* Feb;57(1):13-21
- 66 **Afzal S.**, Dhar S., Vasavada NB., Akbar S. (2007) Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic fractures. *Pain Physician.* Jul;10(4):559-63
- 67 **Aslam E.**, Muhammad T., Sharif S. (2008) Percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral compression fractures: our initial experience. *J Pak Med Assoc.* Sep;58(9):498-501
- 68 **Zeng M.**, Zhao XJ., Zhang JP., Tan JS. (2006) Different approaches of vertebroplasty for management of severe osteoporotic vertebral compression fractures. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao.* May;26(5):640-3

-
- 69 **Fournol M.**, Amoretti N., Novellas S., Caramella T., Chevallier P., Bruneton JN. (2007) Percutaneous vertebroplasty in symptomatic osteoporotic vertebral compression fractures: review of 50 patients. *J Radiol.* Jun;88(6):877-80.
- 70 **Liang B.**, Xiao EH., Zhou SK., Wu YZ., Luo JG., Liu J. (2006) Preliminary clinical application of percutaneous vertebroplasty. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* Feb;31(1):114-9
- 71 **Pitton MB.**, Drees P., Schneider J., Brecher B., Herber S., Mohr W., Eckardt A., Heine J., Thelen M. (2004) Evaluation of percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures using a combination of CT fluoroscopy and conventional lateral fluoroscopy. *Rofo.* Jul;176(7):1005-12
- 72 **Koyama M.**, Takizawa K., Kobayashi K., Sasaka K., Hoshikawa Y., Nakaji S., Okamoto K., Kanai N., Okamoto E., Nakajima Y., Sasao Y. (2005) Initial experience of percutaneous vertebroplasty using single-plane C-arm fluoroscopy for guidance. *Radiat Med.* Jun;23(4):256-60
- 73 **Chen JF.**, Lee ST., Lui TN., Wu CT., Liao CC. (2002) Percutaneous vertebroplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: a preliminary report. *Chang Gung Med J.* May;25(5):306-14
- 74 **Chang WS.**, Lee SH., Choi WG., Choi G., Jo BJ. (2007) Unipedicular vertebroplasty for osteoporotic compression fracture using an individualized needle insertion angle. *Clin J Pain.* Nov-Dec;23(9):767-73
- 75 **Barbero S.**, Casorzo I., Durando M., Mattone G., Tappero C., Venturi C., Gandini G. (2008) Percutaneous vertebroplasty: the follow-up. *Radiol Med.* Feb;113(1):101-13
- 76 **Chiras J.**, Barragán-Campos HM., Cormier E., Jean B., Rose M., LeJean L. (2007) Vertebroplasty: state of the art. *J Radiol.* Sep;88(9 Pt 2):1255-60
- 77 **Anselmetti GC.**, Corgnier A., Debernardi F., Regge D. (2005) Treatment of painful compression vertebral fractures with vertebroplasty: results and complications. *Radiol Med.* Sep;110(3):262-72
- 78 **Lee CW.**, Wang YH., Liu HM., Chen YF., Hsieh HJ. (2008) Vertebroplasty using real-time, fluoroscopy-controlled, catheter-assisted, low-viscosity cement injection. *Spine.* Apr 15;33(8):919-24
- 79 **Hochmuth K.**, Proschek D., Schwarz W., Mack M., Kurth AA., Vogl TJ. (2006) Percutaneous vertebroplasty in the therapy of osteoporotic vertebral compression fractures: a critical review. *Eur Radiol.* May;16(5):998-1004

-
- 80 **Serra L.**, Kermani FM., Panagiotopoulos K., De Rosa V., Vizioli L. (2007) Vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: results and functional outcome in a series of 175 consecutive patients. *Minim Invasive Neurosurg.* Feb;50(1):12-7
- 81 **Voormolen MH.**, Lohle PN., Fransen H., Juttmann JR., de Waal Malefijt J., Lampmann LE. (2003) Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: first short term results. *Ned Tijdschr Geneeskd.* Aug 9;147(32):1549-53
- 82 **Ryu KS.**, Park CK., Kim MC., Kang JK. (2002) Dose-dependent epidural leakage of polymethylmethacrylate after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures. *J Neurosurg.* Jan;96(1 Suppl):56-61
- 83 **Lin WC.**, Lee YC., Lee CH., Kuo YL., Cheng YF., Lui CC., Cheng TT. (2008) Refractures in cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty: a retrospective analysis. *Eur Spine J.* Apr;17(4):592-9
- 84 **Han KR.**, Kim C., Eun JS., Chung YS. (2005) Extrapedicular approach of percutaneous vertebroplasty in the treatment of upper and mid-thoracic vertebral compression fracture. *Acta Radiol.* May;46(3):280-7
- 85 **McGraw JK.**, Lippert JA., Minkus KD., Rami PM., Davis TM., Budzik RF. (2002) Prospective evaluation of pain relief in 100 patients undergoing percutaneous vertebroplasty: results and follow-up. *J Vasc Interv Radiol.* Sep;13(9 Pt 1):883-6
- 86 **Frankel BM.**, Monroe T., Wang C. (2007) Percutaneous vertebral augmentation: an elevation in adjacent-level fracture risk in kyphoplasty as compared with vertebroplasty. *Spine J.* Sep-Oct;7(5):575-82
- 87 **Zoarski GH.**, Snow P., Olan WJ., Stallmeyer MJ., Dick BW., Hebel JR., De Deyne M. (2002) Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: quantitative prospective evaluation of long-term outcomes. *J Vasc Interv Radiol.* Feb;13(2 Pt 1):139-48
- 88 **Heini PF.**, Wälchli B., Berlemann U. (2000) Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: operative technique and early results. A prospective study for the treatment of osteoporotic compression fractures. *Eur Spine J.* Oct;9(5):445-50
- 89 **Ryska P.**, Reháč S., Odráka K., Maisnar V., Raupach J., Málek V., Renc O., Kaltöfen K. (2006) Role of percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty in the treatment of oncology disorders of the spine. *Cas Lek Cesk.*;145(10):804-9; discussion 809-10

-
- 90 **Pitton MB.**, Herber S., Bletz C., Drees P., Morgen N., Koch U., Böhm B., Eckardt A., Düber C. (2008) CT-guided vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures: incidence of secondary fractures and impact of intradiscal cement leakages during follow-up. *Eur Radiol.* Jan;18(1):43-50
- 91 **Voormolen MH.**, Lohle PN., Lampmann LE., van den Wildenberg W., Juttman JR., Diekerhof CH., de Waal Malefijt J. (2006) Prospective clinical follow-up after percutaneous vertebroplasty in patients with painful osteoporotic vertebral compression fractures. *J Vasc Interv Radiol.* Aug;17(8):1313-20
- 92 **Eck JC.**, Nachtigall D., Humphreys SC., Hodges SD. (2008) Comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis of the literature. *Spine J.* May-Jun;8(3):488-97
- 93 **McKiernan F.**, Faciszewski T., Jensen R. (2005) Does vertebral height restoration achieved at vertebroplasty matter? *J Vasc Interv Radiol.* Jul;16(7):973-9
- 94 **Eyheremendy EP.**, De Luca SE., Sanabria E. (2004) Percutaneous pediculoplasty in osteoporotic compression fractures. *J Vasc Interv Radiol.* Aug;15(8):869-74
- 95 **Layton KF.**, Thielen KR., Koch CA., Luetmer PH., Lane JL., Wald JT., Kallmes DF. (2007) Vertebroplasty, first 1000 levels of a single center: evaluation of the outcomes and complications. *AJNR Am J Neuroradiol.* Apr;28(4):683-9
- 96 **Astacio GS.**, Marchiori E., Gasparetto EL., Azevedo F. (2007) Percutaneous vertebroplasty for vertebral osteoporotic fractures: long term analysis. *Arq Neuropsiquiatr.* Jun;65(2B):482-7

12. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Martin Mack für die Annahme des Themas und seine kompetente Betreuung, sowie die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Ebenso danke ich ihm für die Anleitung und Hilfestellung im Zuge der interventionellen Tätigkeit.

Herrn Prof. Dr. med. T. Vogl für die Möglichkeit der interventionellen Tätigkeit auf diesem Gebiet.

Meiner Frau Beate und meinen Kindern Linus und Marla für ihre Geduld und unerschöpfliche Aufmunterung.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Medizinstudium erst ermöglicht haben, sowohl für ihr Vertrauen als auch ihre Unterstützung.

13. Lebenslauf

Persönliche Daten

| | |
|---------------------|---|
| Name | Fiebig |
| Vorname | Christian |
| Wohnort | Falkstrasse 90 60487 Frankfurt am Main |
| Geburtsdatum | 17.April 1973 |
| Geburtsort | Leipzig |
| Familienstand | verheiratet |
| Staatsangehörigkeit | deutsch |

Schulbildung

| | |
|-----------|--|
| 1979-1989 | Polytechnische Oberschule Hoyerswerda |
| 1989-1992 | Gymnasium der Christophorusschule Berchtesgaden |
| 1992 | Abitur |

Zivildienst

Johanniter-Unfallhilfe Schweinfurt e.V.

Hochschulausbildung

| | |
|------------|--|
| 1998 | Studium an der Justus-Liebig-Universität |
| April 2000 | Ärztliche Vorprüfung |
| 2003 | Praktisches Jahr an den Lehrhäusern der Justus-Liebig-Universität Giessen |
| 2004 | Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (ÄAppO 2002) |
| 01.10.2004 | Approbation |
| 2004-2006 | Assistenzarzt Rhön-Saale-Klinik gGmbH Fachbereich Unfallchirurgie |
| seit 2006 | Assistenzarzt Johann Wolfgang Goethe- Universität Frankfurt am Main Fachbereich Radiologie |

14. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die, dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

**Untersuchung zum Auftreten von Zementleckagen und
intravertebrale Zementverteilung bei CT-gesteuerter Perkutaner
Vertebroplastie in Abhängigkeit von der Kanülenlage**

im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie unter Leitung von Herrn Professor Dr. med. M. Mack ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen medizinischen Fakultät bzw. Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

15. Abstract

Osteoporosis, vertebral tumors and trauma are the most common reasons for a vertebral fracture. Beside the conservative therapy there are a lot of invasive therapies to stabilize a fractured vertebra. One of the less invasive procedures is the percutaneous vertebroplasty. During this procedure the fractured vertebra will be filled with bone-cement (usually based on PMMA) and stabilized. A hollow canula is used to applicate the bone-cement in transpedikulär technique. The most common complication during this intervention is the leakage of bone-cement into the intervertebral disc or the vertebral venes. Those complications can initiate cardiac embolism or central and peripherally thrombosis. To reach a sufficient axial stabilization the cementbolus should be placed in the midline of the vertebra.

During the interventions the canulas are placed with the needletip pointing at the crossline between the middle and lateral vertebral third and the ventral and middle vertebral third.

In this study we compare the positioning of the vertebral canulas with the rate of the extravertebral cementleakage and the intravertebral cementplacement using a ct- and fluoroscopy-guided technique. The results were compared with results of the current literature.

From 2004/01/01 to 2008/08/01 92 patients underwent a percutaneous vertebroplasty. Alltogether 117 vertebrae were treated using 234 canulas. The results showed an increase of the cement-leakage-rate about 5 % in comparison to other studies. Meanwhile the intravertebral cementplacement showed a positive dependency from the canulaposition. In 87,1 % of all treated cases the cementbolus was placed in the midline of the vertebral body.

The percutaneous vertebroplasty is a safe treatment procedure to stabilize the vertebral body after a traumatic or pathologic fracture.