

Aus der Radiologischen Universitätsklinik (Department) Tübingen

Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. C. D. Claussen

**Funktionelle MRT der Lendenwirbelsäule bei Patienten mit
lumbalem Bandscheibenvorfall**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Marc-Andre Stark

aus

Ravensburg

2010

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter :

Professor Dr. S. Miller

2. Berichterstatter :

Professor Dr. Dipl.-Phys. T. Nägele

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	6
1.1. Einführung	6
1.2. Bandscheibenvorfall	7
1.2.1. Anatomie und Funktion der Bandscheibe	7
1.2.2. Pathophysiologie des Discus Prolaps	9
1.2.3. Symptome eines Bandscheibenvorfalls	10
1.2.4. Therapie eines Bandscheibenvorfalls	11
1.3. Magnetresonanztomographie.....	14
1.3.1. Technische Grundlage	15
1.3.2. Bilderzeugung.....	16
1.3.3. Artefakte in der MRT	17
1.3.4. Biologische Effekte und Risiken.....	17
1.4. Zielsetzung.....	18
2. MATERIAL UND METHODEN	19
2.1. Studiendesign.....	19
2.2. Studienpopulation	19
2.3. Studienablauf und Untersuchungsmethoden	21
2.4. Auswertung der Bilder	24
2.5. Statistische Methoden.....	27
3. ERGEBNISSE	29
3. 1. Maximal messbare Distanz des Prolaps.....	29
3.1.1. Sagittale Schicht.....	29
3.1.2. Transversale Schicht.....	32
3.2. ROI-Fläche.....	35
3.2.1. Sagittale Schicht.....	35
3.2.2. Transversale Schicht.....	38

3.3. Volumen-Messung	41
3.3.1. Sagittale Schicht.....	41
3.4. Zusammenfassung der Auswertungen	44
3.4.1. Maximal messbare Distanz des Prolaps.....	45
3.4.2. ROI-Fläche des Bandscheibenvorfalls	48
3.4.3. Volumetrie aller Patienten nach den Bewegungen.....	51
3.5. Tabellarische Zusammenfassung	53
3.5.1. Änderung des Prolaps unter funktionellen Bedingungen.....	53
3.5.2. Symptomatik zur Zeit der Untersuchung und Langzeitverlauf.....	54
3.5.3. Durchschnittswerte aller Messungen.....	55
4. DISKUSSION	58
Veränderung des prolabierte Bandscheibenmaterials bei den Bewegungen.	58
Messbarkeit im Tomographen	63
Physiotherapeutische Behandlung	64
<i>McKenzie Methode</i>	64
<i>Tübinger Konzept</i>	65
Schlussfolgerung	68
5. ZUSAMMENFASSUNG	69
6. ANHANG	71
6.1. Literaturverzeichnis	71
6.2. Verzeichnis der Abkürzungen	76
6.3. Tabellen	77
6.4. Danksagung	79

1. Einleitung

1.1. Einführung

In den Industrienationen sind fast 80–90 Prozent der Bevölkerung mindestens einmal in ihrem Leben von Rückenschmerzen betroffen. [1, 2] Rückenschmerzen nehmen mit steigendem Lebensalter zu und erreichen typischerweise ihre maximale Prävalenz im fünften und sechsten Lebensjahrzehnt. Die Zahl der unter 30-Jährigen nimmt jedoch besonders stark zu. Bei 65 Prozent der Jugendlichen unter 18 Jahren wurden bereits Haltungsschäden unterschiedlicher Ausprägung festgestellt. Rückenschmerzen können viele Entstehungsursachen haben, wie Tumore, Instabilität der Wirbelsäule, Entzündungen, Traumen oder Bandscheibenvorfälle.

Krankheiten von Wirbelsäule und Rücken verursachen jährlich 3,7 Millionen Krankschreibungen, die sich auf insgesamt 75,5 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage summieren. Im Jahr 2002 waren 18 Prozent aller Berufs- und Erwerbsunfähigkeitsrenten auf einen Bandscheibenvorfall zurückzuführen. Obwohl der Bandscheibenvorfall nur an 21. Stelle aller Diagnosen in den Arztpraxen steht, wurden nach der Krankheitskostenrechnung des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2002 für die Behandlung von Erkrankungen der Wirbelsäule und des Rückens (ICD-10: M45 bis M54) knapp 8,4 Milliarden Euro ausgegeben, das sind rund vier Prozent der direkten Kosten für alle Krankheiten. Die gesamten durch Rückenschmerzen verursachten Therapiekosten dürften allerdings noch höher liegen, da sie auch bei vielen anderen Diagnosen wie Wirbelsäulendeformitäten (ICD-10: M40 bis M43) oder Wirbelkörperfrakturen infolge Osteoporose (ICD-10: M80) im Spiel sind. Hieran lässt sich ein sehr großer Posten für die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten erkennen. Die Größenordnung der indirekten Kosten wird bei Betrachtung der Zahlen zur Arbeitsunfähigkeit deutlich. Erkrankungen der Wirbelsäule und des Rückens (ICD-10: M40 bis M54) verursachten im Jahr 2002 pro 10.000 Pflichtmitgliedern der AOK 33.785 Arbeitsunfähigkeitstage. Das sind im Schnitt mehr als drei Tage pro Mitglied und insgesamt fast 18 Prozent aller Arbeitsunfähigkeitstage.

Diese nüchternen Zahlen belegen die Bedeutung von Rückenschmerzen sowie Bandscheibenvorfälle degenerierter Wirbelsäulen in unserer Gesellschaft. Hier wird

erkennbar wie wichtig eine gute Prävention von Rückenschäden, sowie im Akutfall eine genaue Diagnostik mit effektiven Rehabilitationsmaßnahmen ist.

1.2. Bandscheibenvorfall

1.2.1. Anatomie und Funktion der Bandscheibe

Die größte Achse unseres Skeletts bildet die Wirbelsäule. Von der Seite betrachtet weist die Wirbelsäule vier charakteristische Krümmungen auf. Zwei von ihnen sind nach hinten gewölbt und zwei weisen eine Bogenkrümmung nach vorne auf [3]. Diese Krümmungen ermöglichen eine gleichmäßige Verteilung der Belastung, die bei verschiedenen Bewegungen auftritt.

Zwischen den einzelnen freien Wirbelkörpern liegen die Bandscheiben, die Disci intervertebrales. Wirbelkörper und Bandscheibe sind fest miteinander verwachsen. Durch die Bandscheiben ergibt sich die Beweglichkeit der Wirbelsäule.

Jede Bandscheibe besteht aus einem Außenring, dem Anulus fibrosus, der aus kollagenen Fasern und Faserknorpel besteht und einem Gallertkern, dem Nucleus pulposus [3, 4].

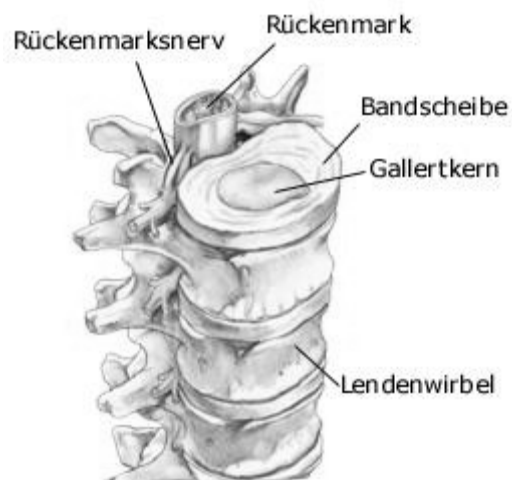


Abb. 1-1: Querschnitt der Wirbelsäule und des Rückenmarks [5]

Der Nucleus pulposus ist von besonderer Bedeutung, weil dieser Druckunterschiede zwischen zwei Wirbeln ausgleicht und den Druck verteilt. Je nach Beugung oder Streckung kann sich der Gallertkern geringfügig nach hinten oder vorne innerhalb einer Bandscheibe verschieben. [6]

Bei länger dauernder Entlastung nehmen sie wieder die ursprüngliche Form an. [7, 8]

Der Anulus fibrosus (Faserring) ist aus kollagenen Fasern bzw. Faserknorpel aufgebaut. Dadurch wird der Nucleus pulposus (Gallertkern) in Spannung gehalten.

Die Bandscheiben liegen jeweils zwischen den einzelnen Wirbelkörpern. Im Hals- und Lendenwirbelbereich sind sie vorne höher und hinten niedriger. Im Brustbereich verhält sich dies umgekehrt. Die Dicke der Bandscheiben nimmt von kranial zu kaudal zu. [7, 8]

Die Bandscheiben, auch Disci intervertebrales genannt, bestehen aus hyalinem Knorpel. Dies ist wichtig für ihre Funktion als Bewegungssegment.

Die Disci intervertebrales sind durch die Lig. Longitudinalia zusätzlich in ihrer Lage gesichert. Das Lig. Longitudinale posterius ist dabei flächenhaft mit den Bandscheiben verwachsen. Im anterioren Bereich der Disci ist das Lig. Longitudinale ant. nur durch eine lockere Verbindung angeheftet. [7, 8]

Die Bandscheiben bilden elastische Verbindungen der Wirbelkörper untereinander. Sie erhöhen die Beweglichkeit der Wirbelsäule, indem sie sich entsprechend mitverformen und fangen wie ein Stoßdämpfer Stauchungen der Wirbelsäule auf, z.B. wenn man von einem Stuhl springt. [3]

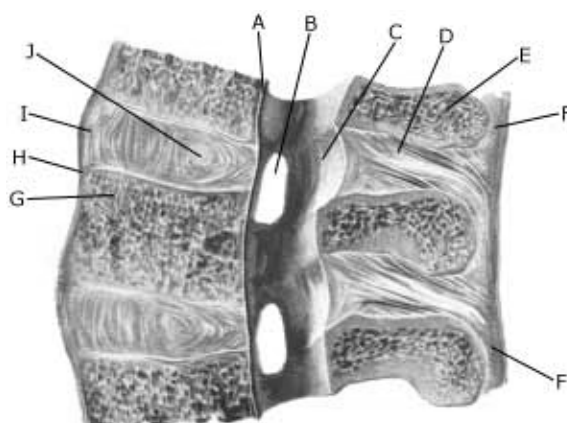


Abb. 1-2: Anatomie der Wirbelkörper [9]

- A. Ligamentum longitudinale posterius
- B. Foramen intervertebrale
- C. Ligamentum flavum
- D. Ligamentum interspinale
- E. Processus spinosus
- F. Ligamentum supraspinale
- G. Corpus vertebrae
- H. Ligamentum longitudinale anterius
- I. Discus intervertebralis
- J. Nucleus pulposus

1.2.2. Pathophysiologie des Discus Prolaps

Ursache vieler orthopädischer Erkrankungen ist die Degeneration des Binde- und Stützgewebes wie z.B. die Arthrose, Tendinose oder der weit verbreitete Bandscheibenvorfall. Verschiedene Faktoren begünstigen diese Erkrankungen.

Oftmals führen Traumen, Fehl- und Überbelastungen, Entzündungen sowie Fehlernährungen zu degenerativen Veränderungen der Bandscheiben. Weiterhin wirkt sich der Bewegungsmangel durch unsere immer bequemer werdende Gesellschaft nicht positiv auf einen Bandscheibenvorfall aus. [10, 11]

Degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule müssen nicht immer mit Schmerzen in Verbindung gebracht werden. Heutzutage sind Rückenschmerzen eine der häufigsten Schmerzzustände. [12]

Ab dem zwanzigsten Lebensjahr nimmt die Fähigkeit des Nucleus pulposus, Wasser zu binden, stetig ab. [12]

Durch Reduktion der Mukopolysaccharide sowie durch Abnahme des Wassergehalts in den Bandscheiben, verlieren sie ihre innere Spannkraft und neigen zu Gefügelockerungen sowie zu Sequesterbildungen, die die Grundlage für bandscheibenbedingte Beschwerden bilden. [13]

Oftmals kann sich unter dem Einfluss von mechanischen Kräften, wie z.B. das Heben von schweren Lasten, der zentrale Bandscheibenanteil, der Nucleus pulposus, nach dorsal in den Spinalkanal verschieben. Ist die Kontinuität des Anulus fibrosus dabei erhalten geblieben, wird der Vorgang als Protrusion bezeichnet. Falls dieser jedoch zerreißt, spricht man von einem Prolaps. [13,14]

Wenn dies in dorsaler Richtung, also zum Wirbelkanal hin geschieht oder gar das Lig. Longitudinale dorsale durchwandert wird, werden die Nervenstränge des Rückenmarks bzw. die Cauda equina komprimiert. [12]

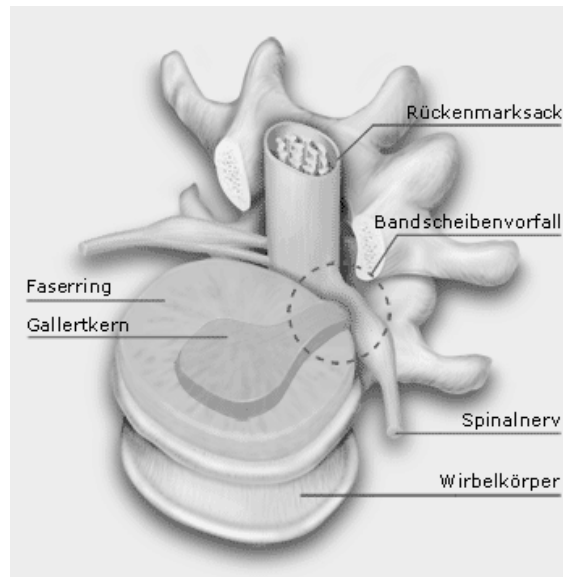


Abb. 1-3: Discus Prolaps [15]

Durch diese Kompression kommt es je nach Irritationsgrad zu Schmerzen oder auch sensiblen und motorischen Ausfällen. In seltenen Fällen dringen Anteile der Bandscheibe nach posteromedial in den Spinalkanal ein, was neben den Schmerzzuständen zu Störungen der Blasen- und Mastdarmfunktion führen kann. [13]

1.2.3. Symptome eines Bandscheibenvorfalles

Die beschriebenen Veränderungen der Morphologie der Bandscheiben können zu lokalen sowie zu ausstrahlenden oder pseudoradikulären Schmerzen führen.

Pseudoradikuläre Schmerzen sind Schmerzen, die nicht durch Wurzelirritationen bedingt sind. [16]

Klinisch kann man die Schmerzen ihren jeweiligen Entstehungsorten zuordnen.

- Halswirbelsäule
- Brustwirbelsäule
- Lendenwirbelsäule

Lokalsymptome bei einem lumbalen Bandscheibenvorfall sind meist mit Einschränkungen der Beweglichkeit, die skoliotische Fehlhaltung, die stark verspannte Muskulatur, die Steilstellung (Erectea) sowie das positive Dandysche

Zeichen. Beim Dandyschen Zeichen wird mit der Handkante in Höhe der irritierten Nervenwurzel ein Schlag durchgeführt, der zu ausstrahlenden Schmerzen führt. [16]

Bei Läsionen im Bereich, der von mir untersuchten Regionen, kommt es zu folgenden Symptomen:

Bei Läsionen der Wurzel L4, die doch sehr selten vorkommen, kommt es zur Abschwächung oder gar zum Ausfall des Patellarsehnenreflexes, sowie zu Sensibilitätsstörungen im Bereich der Oberschenkelvorderseite und im prätibialen Bereich. [13]

Im Bereich der Wurzel L5 kann es zur Abschwächung des Postikus-Reflexes, zu einer Parese des M. extensor hallucis longus sowie zu Sensibilitätsstörungen der Außenseite des Unterschenkels und der medialen Seite des Fußes und der Großzehe kommen. [13, 17]

Im Bereich des Sakralwirbels S1 kommt es oft zum Ausfall des Achillessehnenreflexes und zu Sensibilitätsstörungen an der Rückseite des Unterschenkels. [16] Oftmals wird auch eine motorische Schwäche bei Plantarreflexion des Fußes beobachtet. [13]

Sehr gravierend wirken sich mediale Bandscheibenvorfälle aus. Bei diesen wird die gesamte Cauda equina in Höhe des Vorfalles komprimiert. Dabei kommt es zu beidseitigen radikulären Schmerzen sowie zu wechselnd beidseitig neurologischen Ausfallsymptomen. Diese äußern sich in Form von Sphinkterlähmungen und Sensibilitätsstörungen im Dammgebiet. Da es hierbei zu irreversiblen Wurzelschädigungen kommen kann, ist die Abklärung bedeutender als bei Lumbalgien bzw. Ischialgien. [13]

1.2.4. Therapie eines Bandscheibenvorfalles

Bei der Therapie des Bandscheibenvorfalles kann man zwischen konservativen Behandlungen und chirurgischen Behandlungen unterscheiden.

In den meisten Fällen werden die Schmerzen durch physikalische sowie krankengymnastische Maßnahmen behandelt. [16]

Zum einen wird den Patienten beim Auftreten eines Vertebralesyndroms eine harte Lagerung, wie auch eine Stufenbettlagerung empfohlen. Als weitere Maßnahmen können Schmerzmittel, zur Unterbrechung des „Circulus vitiosus“ oder auch Muskelrelaxantien verabreicht werden. Lokalanästhetika, Wärmebestrahlungen als auch Kurzwellenbestrahlungen sind weitere Behandlungsmöglichkeiten der akuten Schmerzen. [16, 18, 19]

Bei chronischen Beschwerden wird meist zur Lockerung, Entspannung und Kräftigung der Rücken- und Bauchmuskulatur Krankengymnastik verordnet.

In sogenannten Rückenschulen wird dem Patienten die richtige Körperhaltung, sowie Verhaltenstraining zur Vermeidung von Rückenschäden beigebracht. [12]

Manualtherapeutische Maßnahmen können unter bestimmten Umständen Blockaden von Intervertebralgelenken auflösen, sind jedoch beim diagnostizierten Bandscheibenvorfall kontraindiziert. [12, 20]

Eine sehr effektive Form der physiotherapeutischen Behandlung wurde von dem neuseeländischen Physiotherapeuten McKenzie beschrieben. 1981 veröffentlichte er sein Konzept, das er selbst *Mechanical Diagnosis and Treatment (MDT)* nannte.

MDT nach McKenzie setzt primär aktiv-übende Bewegungen ein und reduziert passive Verfahren wie z.B. manuelle Techniken auf ein Minimum. Vielmehr wird der Patient angehalten, Übungen, die habituelle Fehlhaltungen aufheben können, regelmäßig durchzuführen. Im Nackenbereich handelt es sich im Allgemeinen um die Kopfvorhaltung, im Brust- und Lendenwirbelbereich um eine Neigung zur Kyphose.

Die dabei auftretenden klinischen Symptome wie Peripheralisierung und Zentralisierung interpretierte McKenzie als Hinweis auf einen Bandscheibenvorfall.

Die Zentralisierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich der ausstrahlende Schmerz in Richtung oder bis zur Mittellinie des Rückens zurückzieht. Als Peripheralisierung wird hingegen die entgegen gesetzte Richtung bezeichnet, also somit die Ausbreitung der Schmerzen weg vom Rücken. Dabei postulierte McKenzie diese Möglichkeit der Zentralisierung jedoch nur bei einem intakten Anulus Fibrosus.

Schmerz, der nur peripheralisiert, geht auch von der Bandscheibe aus, aber der Anulus ist funktionell nicht mehr intakt. [21, 22]

Diese Form der Therapie wird in der Phase von Beschwerden angewendet. Als Maßnahmen werden vom Patienten selbstständig Bewegungen durchgeführt, die nach einer akuten Phase um zusätzliche Bewegungen der Extremitäten ergänzt

werden. Immer mit dem Ziel die Beweglichkeit der Nervenwurzeln und Nerven zu erhalten, sowie zu verbessern. Ebenso wird ein Augenmerk auf die Stabilität der Wirbelsäule gesetzt, um die tonischen und stabilisierenden Muskeln zu aktivieren. Alle Therapiebewegungen sollten von den Patienten einfach durchzuführen sein. Wenn der Patient recht schnell Erfolge verzeichnet, wird er zusätzlich motiviert, was wiederum für eine schnelle Genesung sorgt. [23]

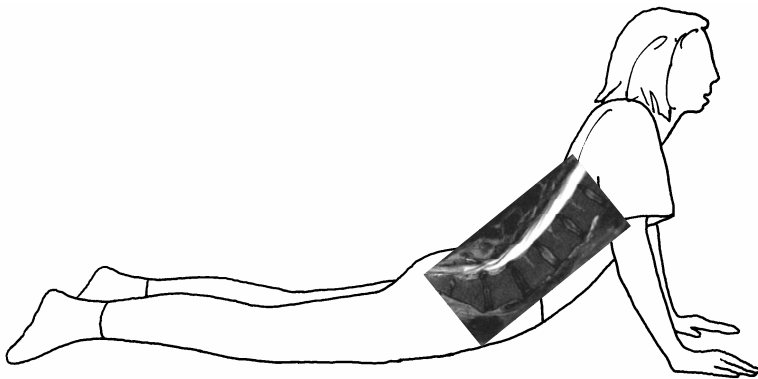


Abb. 1-4: Extensionsübung nach McKenzie

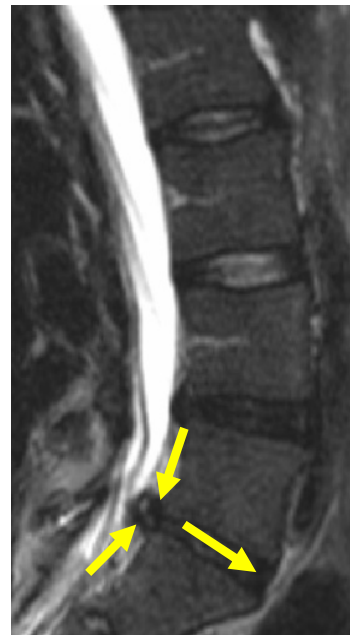


Abb. 1-5: posteriore Verlagerung des Prolaps durch Extensionsbewegung

Das Konzept von McKenzie wurde von Tübinger Neurologen sowie Physiotherapeuten im Laufe der Jahre verändert und ergänzt, woraus sich das Tübinger Konzept entwickelt hat. Nach diesem Konzept wurden auch alle Patienten, die an dieser Studie teilgenommen haben, behandelt.

Im Tübinger Konzept wurde die Reihenfolge der Testbewegungen geändert. Diese richtet sich nach der ersten Verdachtsdiagnose, der vermuteten Störung, die die Symptome lindert. Die Rotationsbewegung bekam sowohl als diagnostische Bewegung, wie auch als selbst durchgeführte Bewegung des Patienten, einen hohen Stellenwert. Zusätzlich zu den Wirbelsäulenbewegungen, sind Bewegungen der Extremitäten zur Vermeidung und Behandlung eingeschränkter Nervengleitfähigkeit und Übungen zur Stabilisierung der Wirbelsäule enthalten.

Das Tübinger Konzept soll Kräftigung, Koordinationsübungen sowie Konditionstraining mit einbeziehen, was den Patienten zu normaler Belastbarkeit und Arbeitsfähigkeit bringen soll. [23]

Die Indikationsstellung zur operativen Behandlung des lumbalen Bandscheibenvorfalles ist dann gegeben, wenn Paresen auftreten, die durch Wurzelkompressionen verursacht werden. Ebenfalls sollten konservative Maßnahmen vorausgegangen sein, die zu keiner Besserung des Leidens geführt haben.

Die Erfolgchancen von Bandscheibenoperationen liegt bei ca. 80 %. Ursachen sind hierbei oft ein Rezidivprolaps, postoperative Verwachsungen im Spinalkanal oder Instabilitäten im intersegmentalen Bereich. [12, 16]

1.3. Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie wird oft auch mit dem veralteten Namen Kernspintomographie bzw. Nuclear magnetic resonance (engl.: NMR) bezeichnet. Seit Anfang der 80er Jahre wird die MRT verstärkt zur Diagnostik eingesetzt. Der große Unterschied zur CT ist, dass bei einem MRT keine Röntgenstrahlung verwendet wird, sondern ein sehr starkes Magnetfeld und Hochfrequenzimpulse die Bildgebung ermöglichen. Aufgrund dieser Bilderzeugungsmaßnahmen können die verschiedenen Gewebe sehr gut dargestellt werden. Jedoch kann man keine Differenzierung zwischen benignen und malignen Veränderungen treffen.

Bei der MRT werden Schnittebenen in frei wählbaren Schichten angefertigt und können mittels Computerprogrammen in 3D-Datensätze umgewandelt werden. Somit können auch sehr komplexe Fragestellungen beantwortet werden. [24, 25]



Abb. 1-6: MRT Magnetom Espree (Siemens, Erlangen) an der Uniklinik für diagn. und intervent. Radiologie Tübingen

1.3.1. Technische Grundlage

Das MRT Gerät wird aus folgenden Komponenten zusammengesetzt.

- Magnet
- Gradienten- und Shim-Spulen
- Sende- und Empfangsspulen
- Hochleistungsrechner zur Bildberechnung

Der Magnet ist der wichtigste Teil eines MRT-Gerätes. Er ist als Ringmagnet aufgebaut, um den ganzen Patienten aufnehmen zu können. Wichtig für die Bildgebung ist dabei die sehr hohe Homogenität des Magnetfeldes. Somit kann man gezielt Protonen anregen und gezielte Areale zur Untersuchung definieren. Es gibt verschiedene Magnetsysteme:

- Permanentmagnete
- Widerstandsmagnete
- Supraleitende Magnete

Neben dem Magnet gibt es im Gerät noch Spulensysteme wie die Shim-Spulen. Diese Spulen dienen der Homogenisierung des Magnetfeldes, was sehr wichtig für die Bildgebung ist.

Zur Einstrahlung der hochfrequenten Signale, sowie für den Empfang der Signale kommen Hochfrequenzspulen zum Einsatz. Hierbei werden Sende- und Empfangsspulen unterschieden. Im Gerät selbst ist eine Körperspule eingebaut, die als Sende- und Empfangsspule dient. Außerdem gibt es noch sogenannte Oberflächenspulen, die direkt auf das zu untersuchende Organ gelegt werden. Diese dienen dazu, einzelne Organe mit höherer Auflösung darzustellen. Sie fungieren als eine Art Lupe. [24,25]

1.3.2. Bilderzeugung

Die Bilder entstehen durch die hochfrequenten Wellen, die von den unterschiedlichen Geweben mit unterschiedlichem Signalzeitverhalten abgegeben werden, nachdem sie angeregt worden sind.

Man unterscheidet verschiedene Signalintensitäten:

Weiß entspricht einer hohen Signalintensität, schwarz einer geringen.

Die Signalintensität in einem MRT-Bild wird von drei Faktoren bestimmt:

- Gewebeparameter (T1-, T2-Zeit)
- Sequenztyp (T1-, T2-gewichtete, fettgesättigte Sequenz)
- Parameterwahl (TR, TE, Flip-Winkel)

Die T2-Zeiten von Flüssigkeiten sind länger als die von Festkörpern. Die Parameter TR und TE sind grundlegend für die Interpretation von MRT-Bildern in Bezug auf ihre Gewichtung. TR steht für die Repetitionszeit. Gemeint ist der Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen. TE steht für die Echozeit. Hier ist der Abstand zwischen dem anregenden Impuls bis zur Mitte der Auslese des Echos. TR und TE müssen so gewählt werden, dass der für die Fragestellung optimale Kontrast erreicht wird.

Der Flip-Winkel ist der Grad der Auslenkung des Magnetisierungsvektors in Richtung der Transversalebene. [24, 25]

1.3.3. Artefakte in der MRT

Wie bei anderen bildgebenden Verfahren gibt es auch im MRT Artefakte. Diese können sich in Form von Bewegungsartefakte des Patienten äußern (patienten-abhängige Artefakte). Daneben gibt es noch MRT-spezifische Artefakte wie:

- Pulsationsartefakte
- Chemische Verschiebungsartefakte
- Magnetische Suszeptibilitätsartefakte
- Hochfrequenzartefakte [24]

1.3.4. Biologische Effekte und Risiken

Das Interesse der Bevölkerung an Sicherheitsaspekten in Zusammenhang mit Strahlen in der medizinischen Diagnostik wird immer größer. Ein großer Vorteil des MRT ist, dass keine ionisierende Strahlung zum Einsatz kommt. Bei sachgerechter Anwendung des MRT Gerätes konnten bis jetzt keine schädigenden Wirkungen für den Patienten beobachtet werden. Ob es einen schädigenden Einfluss auf den Organismus gibt, bleibt jedoch weiterhin offen.

Durch den hohen Lärmpegel, der durch die Gradientenspulen entsteht, sollten Gehörschutzmaßnahmen zur Anwendung kommen. [24]

1.4. Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Untersuchung der Lumbalwirbelsäule in Flexion, Extension und Neutralstellung bei Patienten mit Bandscheibenvorfall mittels MR-tomographischer Diagnostik. Diese Methode der Bildgebung ist bis zum heutigen Tag der Goldstandard in der klinisch-radiologischen Diagnostik von Bandscheibenvorfällen. Dabei soll beobachtet werden, ob es einen Zusammenhang mit der Größe und Position des Bandscheibenvorfalles und der angewandten Physiotherapie gibt. Als konservatives Verfahren wurde bei dieser Studie eine besondere Form der McKenzie Methode angewendet, die sogenannte Tübinger Methode. Nach diesem speziellen Konzept wurden zwanzig Patienten behandelt. Hierdurch erhofft man sich neue Erkenntnisse über diese spezielle Form der McKenzie Methode.

Die zu beantwortenden Fragestellungen der Arbeit lauteten im Einzelnen:

- 1.) Inwieweit verändert sich das Bandscheibenmaterial bei einzelnen Bewegungen und sind diese Veränderungen MR-tomographisch messbar?

- 2.) Erklärt sich aus diesen Untersuchungen der therapeutische Effekt, den das Tübinger Konzept bei Bandscheibenvorfällen der LWS in der Vergangenheit bereits nachgewiesenermaßen zeigen konnte?

2. Material und Methoden

2.1. Studiendesign

Es handelte sich um eine prospektive, nicht randomisierte, klinisch diagnostische Studie. Untersucht wurden Patienten und symptomfreie Probanden, welche der Abteilung für Allgemeine Neurologie, Neurologische Klinik Tübingen, zur Diagnostik eines Bandscheibenvorfalles zugewiesen waren und bei denen aus klinischer Indikation eine physiotherapeutische Therapie durchgeführt wurde.

Hierbei hat man eine MR-tomographische Untersuchung der Wirbelsäule in Neutralstellung, Flexion und Extension in der Radiologischen Diagnostik, am 1,5 Tesla Magneten der Uniklinik Tübingen (Magnetom Espree, Siemens, Erlangen) durchgeführt und die Auswertung erfolgte nach einem standardisierten Protokoll.

Ein Antrag auf Beurteilung ethischer und rechtlicher Fragen eines medizinischen Forschungsvorhabens am Menschen wurde an die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen gestellt. Der Antrag wurde geprüft und genehmigt. Die Nummer des Projekts lautet 34/2008BO1.

2.2. Studienpopulation

Die Rekrutierung erfolgte über den behandelnden Arzt und die behandelnde Physiotherapeutin, die den Patienten über die Existenz der Studie und die Möglichkeit seiner Teilnahme informierte. Für alle Patienten musste eine konservative, physiotherapeutische Behandlung lumbaler Bandscheibenvorfälle nach dem Tübinger Konzept vorgesehen sein. In einem ausführlichen Aufklärungsgespräch wurde der Patient über die Ziele und den Ablauf der Studie durch den behandelnden Arzt oder einen an der Prüfung beteiligten Arzt aus der Abteilung Radiologische Diagnostik informiert und ihm die Aufklärungsschrift ausgehändigt.

Einschlusskriterien waren:

- Alter: 18-80 Jahre
- Lumboischialgie mit und ohne neurologischem Defizit, klinische Hinweise auf ein lumbales Bandscheibenleiden
- konservative Therapiestrategie
- schriftliches Einverständnis des Patienten
- Zentralisierung, Reduktion oder Eliminierung der Schmerzen unter Wirbelsäulenbewegung
- Patient/in toleriert Flexion / Extension des Wirbelsäule

Ausschlusskriterien waren:

- Kontraindikationen gegen die MRT
- Schwangerschaft und stillende Frauen
- frühere Operationen wegen Bandscheibenvorfall
- frühere traumatische Wirbelsäulenverletzung
- Einnahme von Corticoiden
- Blasen- oder Mastdarmlähmungen
- innerhalb von 24h aufgetretene hochgradige Parese (Kraftgrad 1) oder Plegie
- Herzschrittmacher, intrakranielle Metallimplantate
- Klaustrophobie
- je nach Bauart ferromagnetische Implantate (z.B. Hüft- oder Kniegelenksprothesen älter als 20 Jahre) außer Zahnersatz
- fehlende schriftliche Einverständniserklärung

2.3. Studienablauf und Untersuchungsmethoden

Aufnahmeuntersuchung

Diese entsprach dem standardisierten Prozedere zur Diagnostik eines Bandscheibenvorfalles der Abteilung Allgemeine Neurologie der Neurologischen Klinik. Patient(inn)en, die stationär oder ambulant mit der klinischen Verdachtsdiagnose "lumbaler Bandscheibenvorfall" aufgenommen wurden, wurden zusätzlich zur ärztlichen Diagnostik von einer Physiotherapeutin (D. Brötz, S. Burkard) untersucht. In diesen Untersuchungen wurde festgestellt, ob die Symptome des Patienten voraussichtlich von einem aktuellen Bandscheibenvorfall herrühren. Die Ursache der Beschwerden hat man als diskogen eingestuft, wenn:

- eine seitliche Verschiebung der Wirbelsäule und oder eine Entlordosierung der Lendenwirbelsäule sichtbar ist.
- das Nervendehnungszeichen positiv ist.
- Schmerzen oder Sensibilitätsstörungen angegeben oder Paresen gefunden werden, die sich (in der Regel) einer Wurzel zuordnen lassen.
- Peripheralisierung oder Zentralisierung der ausstrahlenden Schmerzen während und nach den Bewegungstests eintritt.

Bei dieser Konstellation wurde eine Bildgebung der lumbalen Wirbelsäule durchgeführt, um die Verdachtsdiagnose des lumbalen Bandscheibenvorfalles zu bestätigen. Es erfolgten keine zusätzlichen Untersuchungen außer der MR-Tomographie.

Studienbedingte Untersuchung:

	sagittale Schicht	transversale Schicht
FoV	270 mm	160 mm
SD	3,0 mm	4,0 mm
Schichten	20	14
Distancefactor	10%	10%
TR	4340 ms	3850 ms
TE	149 ms	101 ms
Bandweite	150 Hz/Px	100 Hz/Px
Resolution	320/75	320/80

Tab. 2-1: Protokoll der Sequenzparameter

Alle Untersuchungen, des hier zugrunde liegenden Projektes, wurden an einem 1,5 Tesla Kernspintomographen (Magnetom Espree, Siemens AG, Erlangen) mit einer Gradientenstärke von 40 mT/m durchgeführt. Die Patienten wurden in Rückenlage untersucht, zur Signalakquisition wurde eine phased-array Körperspule verwendet.

Es waren folgende Abschnitte des Untersuchungsablaufes vorgesehen:

1. Im Voraus zeitgerechte, ausführliche Aufklärung.
2. Einverständnis des Patienten.
3. Anfertigung von Topogrammen und Festlegung der Untersuchungsregion.
4. Erfassung der Spinalkanalmorphologie durch schichtweise Darstellung der Wirbelsäule in sagittaler und axialer Schnitfführung über dem betroffenen Bandscheibenfach mittels T2w SE Technik in Neutrallage des Patienten. Erfragung von Beschwerden und Charakterisierung der klinischen Symptomatik.
5. Positionierung des Patienten in Flexion der LWS mittels Lagerungshilfen bei Rückenlage. Erfassung der Spinalkanalmorphologie durch schichtweise Darstellung der Wirbelsäule in sagittaler und axialer Schnitfführung über dem betroffenen Bandscheibenfach mittels T2w SE Technik. Erfragung von Beschwerden und Charakterisierung der klinischen Symptomatik.
6. Positionierung des Patienten in Extension der LWS mittels Lagerungshilfen bei Rückenlage. Erfassung der Spinalkanalmorphologie durch schichtweise Darstellung der Wirbelsäule in sagittaler und axialer Schnitfführung über dem betroffenen Bandscheibenfach mittels T2w SE Technik. Erfragung von Beschwerden und Charakterisierung der klinischen Symptomatik.
7. Kontrolluntersuchung in Neutrallage.
8. Kurze klinische Nachuntersuchung. Bei Angabe von Beschwerden ausführliche klinische Nachuntersuchung. Waren während der Untersuchung klaustrophobische Angst oder eine Zunahme der initialen klinischen Symptomatik aufgetreten, so wäre abgebrochen worden.
9. Qualitative und quantitative Auswertung von Morphologie, Planimetrie des Bandscheibenvorfalles und Lokalisation der Nervenfasern.

Die Untersuchungsdauer betrug ca. 45 Minuten.



Abb. 2-1: Patienten-Lagerung in Neutralstellung

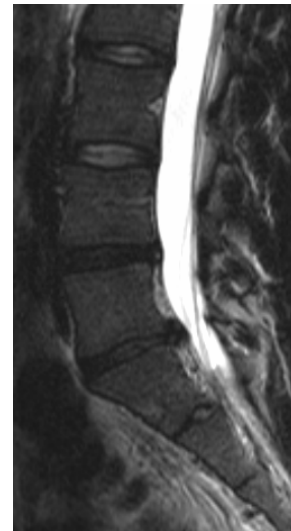


Abb. 2-2: MRT-Bild –
in Neutralstellung



Abb. 2-3: Patienten-Lagerung in Flexion

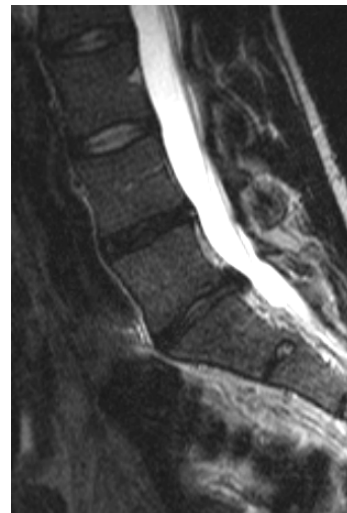


Abb. 2-4: MRT-Bild - Flexion



Abb. 2-5: Patienten-Lagerung in Extension



Abb. 2-6: MRT-Bild –
Extension

2.4. Auswertung der Bilder

Für die semi-quantitative Bestimmung der Größe des Bandscheibenvorfalls erfolgte eine planimetrische Ausmessung des vorgefallenen Bandscheibenanteils.

Die Auswertung der Bilder erfolgte im Anschluss an die Untersuchung. Dabei wurde die Leonardo Workstation[®] (Siemens, Erlangen) verwendet.

Zunächst wurde die maximal messbare Distanz des prolabierten Anteils der Bandscheibe in den verschiedenen Lagen Ruhelage, Flexion, Extension und Ruhelage post., die bei der Untersuchung durchgeführt wurden, in der sagittalen Schicht gemessen. Danach erfolgte die gleiche Messung in der transversalen Schicht. Weiterhin wurde in den sagittalen Bildern die Fläche (ROI) der in den Spinalkanal prolabierten Bandscheibe gemessen.

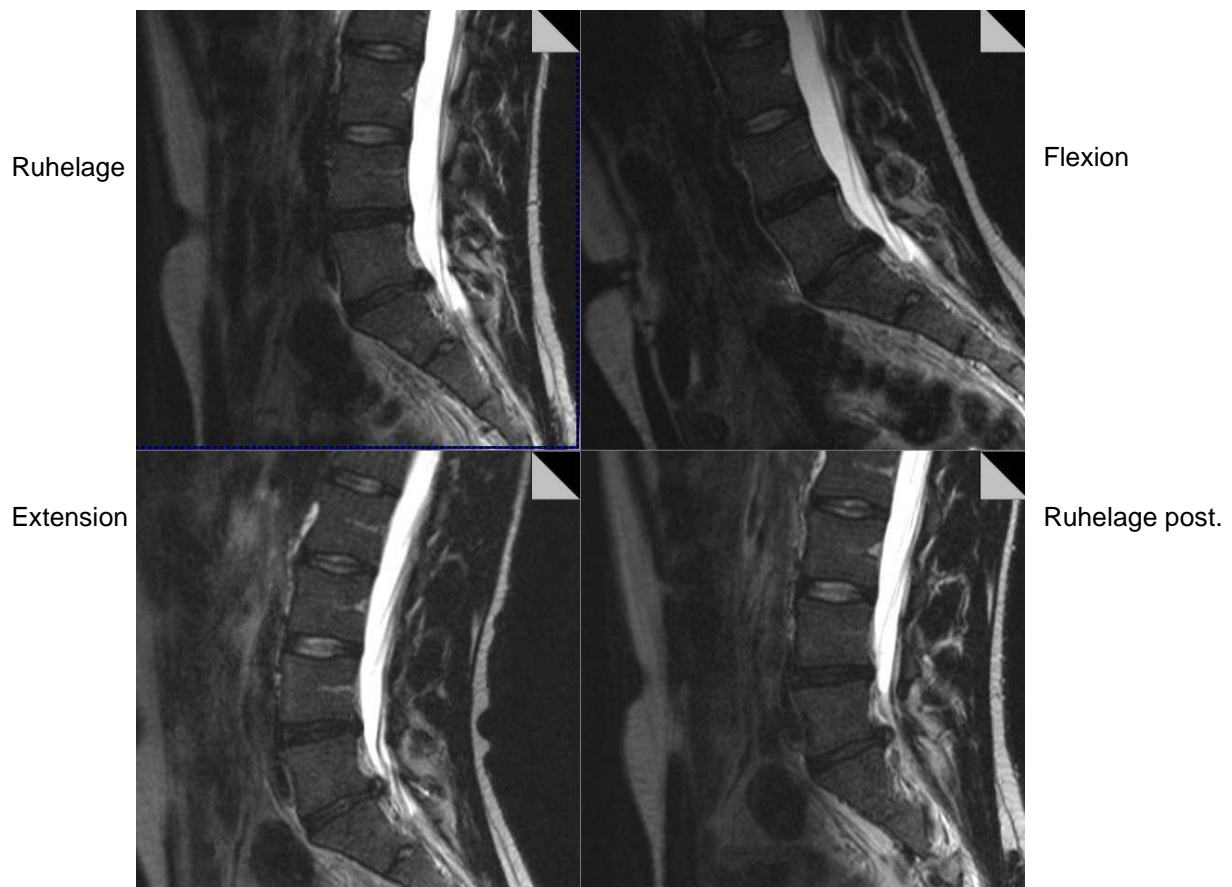


Abb. 2-7: Positionen der Messung im MRT

In einer zweiten Messung wurde in den sagittalen Bildern das Volumen der prolabierten Bandscheibe errechnet. Dabei wurde die durch die MRT Untersuchung vorgegebene Schichtdicke in der Formel mit berücksichtigt. Es erfolgte die Volumetrie in Ruhelage, Flexion, Extension sowie Ruhelage post..



Abb. 2-8: maximal messbare Distanz des Prolaps in den Spinalkanal – sagittale Schicht.

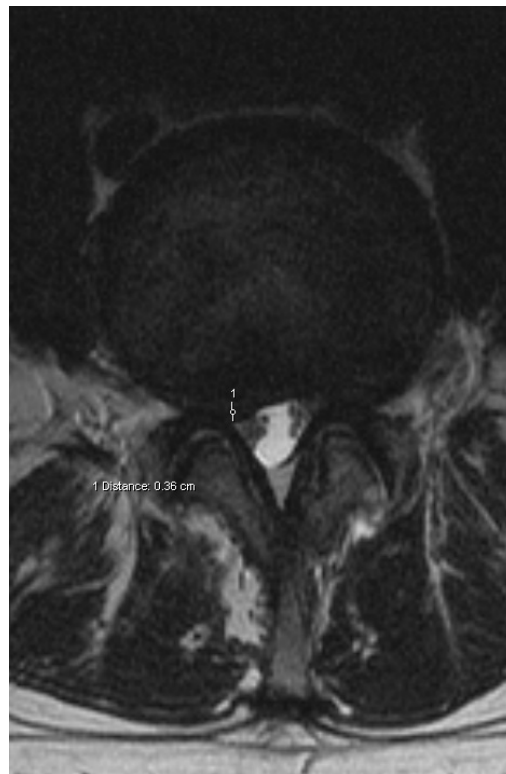


Abb. 2-9: maximal messbare Distanz des Prolaps –
transversale Schicht

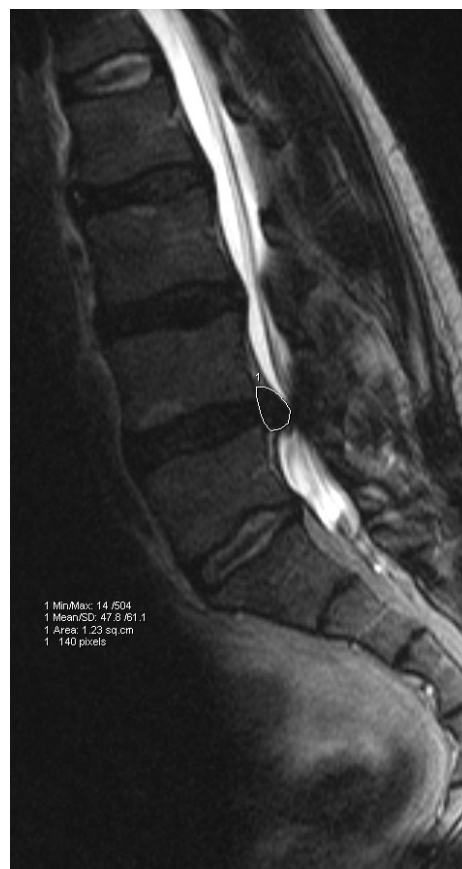


Abb. 2-10: markierte Fläche der prolabierten
Bandscheibe – sagittale Schicht

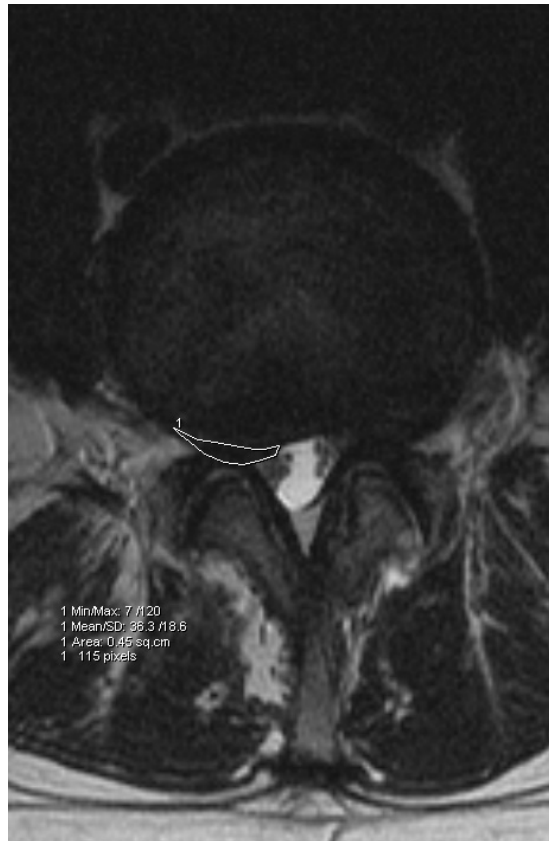


Abb. 2-11: Markierte Fläche des Prolaps – transversale Schicht

2.5. Statistische Methoden

Sowohl für die maximal messbare sagittale und transversale Distanz, die sagittale und transversale ROI Fläche und die Volumetrie wurden für alle Patienten und Probanden anhand von Mittelwert, Maximum und Minimum, Standardabweichung sowie dem Median beschreibend dargestellt und in den zu vergleichenden Gruppen mit dem *Shapiro-Wilk-Test* auf Normalverteilung geprüft.

Bei signifikanter Abweichung von einer Normalverteilung wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren statistischen Analyse eingesetzt, anderenfalls wurde parametrisch getestet. So wurde im nicht-parametrischen Fall, um die Probanden mit den Patienten zu vergleichen, der *U-Test* nach *Mann und Whitney* eingesetzt, sowie der *Wilcoxon-Test* für Paardifferenzen für den Vergleich verbundener Beobachtungen wie Ruhelage mit Ruhelage post. oder Flexion mit Extension. Konnte keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung festgestellt werden, wurde

zum einen, um die Patienten mit den Probanden hinsichtlich der untersuchten Parameter zu vergleichen, der *t-Test* für unabhängige Stichproben benutzt, zum anderen der *t-Test* für verbundene Stichproben, für den Vergleich der Ruhelage mit der Ruhelage post. oder den Vergleich zwischen Flexion gegenüber der Extension. Die Varianzhomogenität zwischen der Patienten- und Probanden-Gruppe wurde mit dem *Levene-Test* durchgeführt.

Es wurde ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt und zweiseitig getestet. Die Datenerfassung erfolgte mit MS Excel für Windows, Version 2002 (Microsoft Corporation, Redmond, WA), die statistischen Berechnungen wurden mit PASW für Windows, Version 17 (SPSS Inc., Chicago, IL) durchgeführt.

3. Ergebnisse

Sowohl die Messung aller Werte als auch die Berechnung der volumetrischen Parameter war bei allen Patienten und Probanden möglich.

Die quantitative Auswertung erfolgte für alle Patienten und Probanden mittels MS Excel für Windows, Version 2002 (Microsoft Corporation, Redmond, WA). Die graphischen Darstellungen wurden mit Graph Pad Prism, Version 4 (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA) erstellt.

Es wurden bei den Patienten und Probanden Folgendes gemessen:

3. 1. Maximal messbare Distanz des Prolaps

3.1.1. Sagittale Schicht

Maximal messbare Distanz des Prolaps - Ruhelage zu Ruhelage post.

Patienten

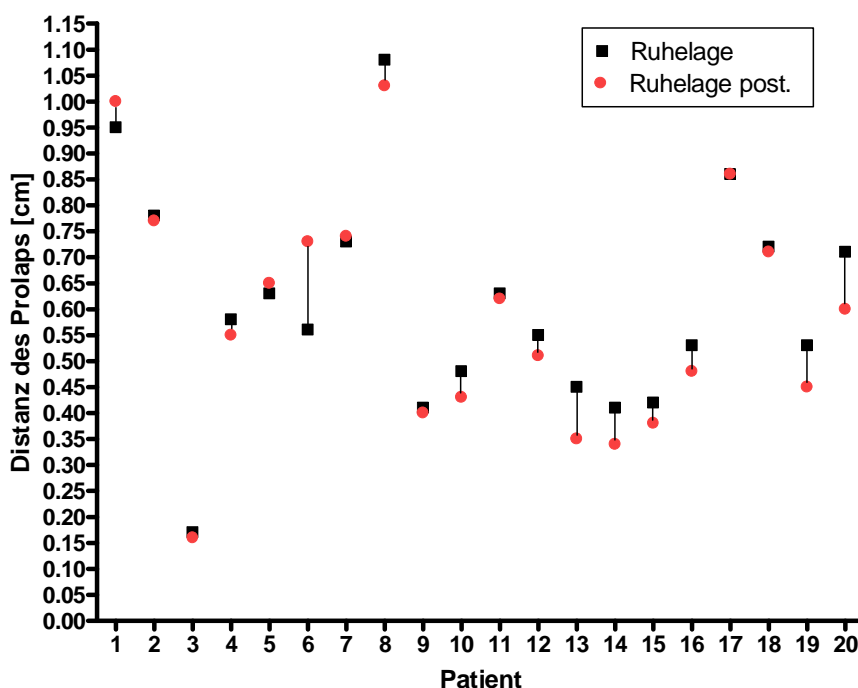


Diagramm 3-1: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Probanden

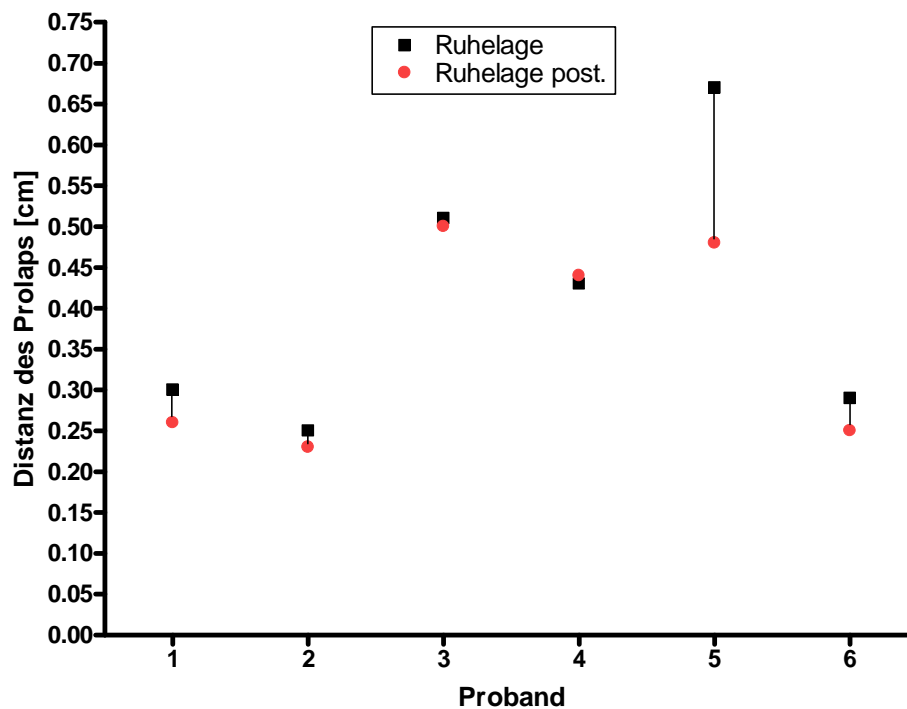


Diagramm 3-2: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Zunächst wurde untersucht, wie sich die Vorwölbung der Bandscheibe aus der Ruhelage über die Bewegungen der Flexion zur Extension zur anschließenden Ruhelage verändert. Dabei wurde die maximal messbare Distanz in sagittaler Schichtung gemessen. Hier lässt sich erkennen, dass in 80 % der Patientenfälle die maximal messbare Distanz kleiner geworden ist. Dies äußerte sich in einer Reduktion des Prolaps im Schnitt von $-4,44\% \pm 10,90\%$. In der Gruppe der Probanden ist der Prolaps bei 83,3 % kleiner geworden, was eine durchschnittliche Reduktion von $-10,52\% \pm 10,78\%$ bedeutet.

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der maximal messbaren Distanz des prolabierte Anteils der Bandscheibe in Ruhelage (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,042$). Ebenso besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in Bezug zur Ruhelage post. (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,028$).

Maximal messbare Distanz des Prolaps - Flexion zu Extension

Patienten

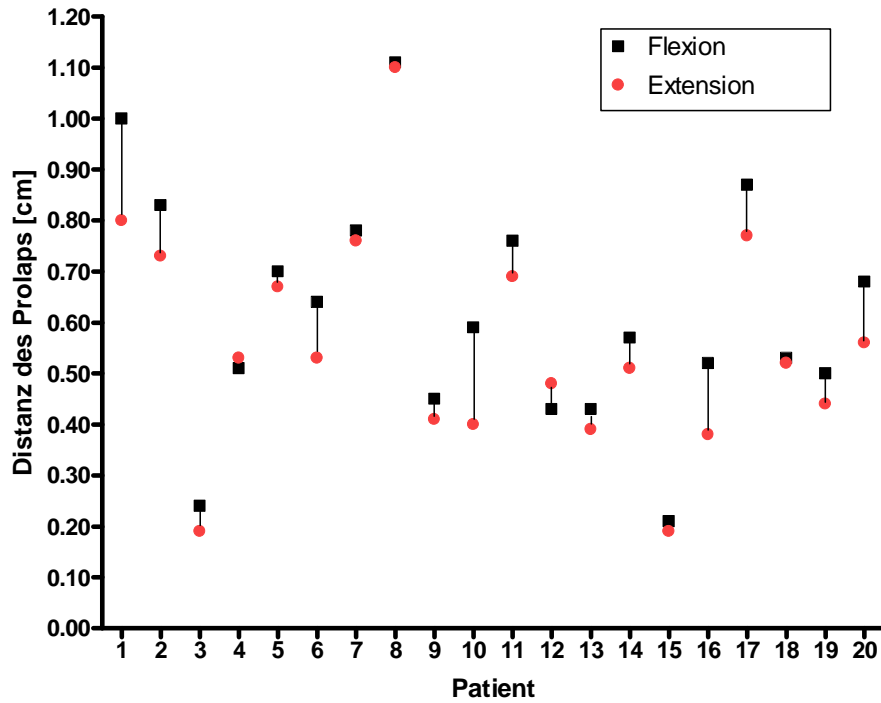


Diagramm. 3-3: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension

Probanden

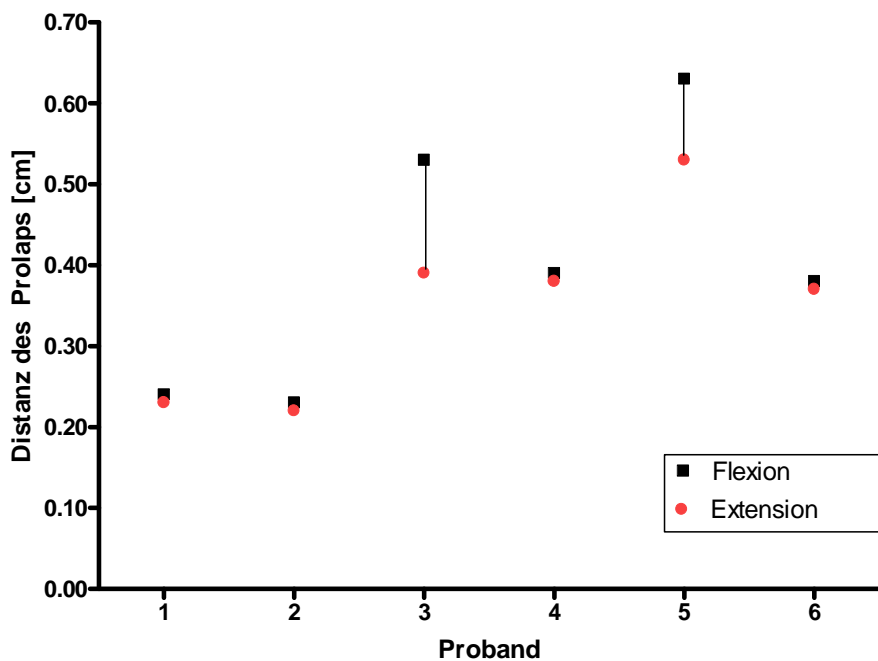


Diagramm 3-4: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension

In einer zweiten Messung wurde verglichen, wie sich die maximal messbare Distanz des Prolaps bei Flexion zur Extension in der sagittalen Ebene verhält. Hierbei lässt sich wiederum eine Abnahme von der Flexion zur Extension beobachten. Bei 90 % der Patienten nahm der Prolaps im Vergleich Flexion zu Extension ab. Dies äußerte sich in einer Reduktion des Prolaps um durchschnittlich $-10,59\% \pm 10,29\%$, bei den Probanden waren es 100%, was eine Reduktion von durchschnittlich $-9,33\% \pm 9,77\%$ ergab.

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der maximal messbaren Distanz des prolabierte Anteils der Bandscheibe in Flexion (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,042$). Ebenso besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in Bezug zur Extension (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,043$).

3.1.2 Transversale Schicht

Maximal messbare Distanz des Prolaps - Ruhelage zu Ruhelage post.

Patienten

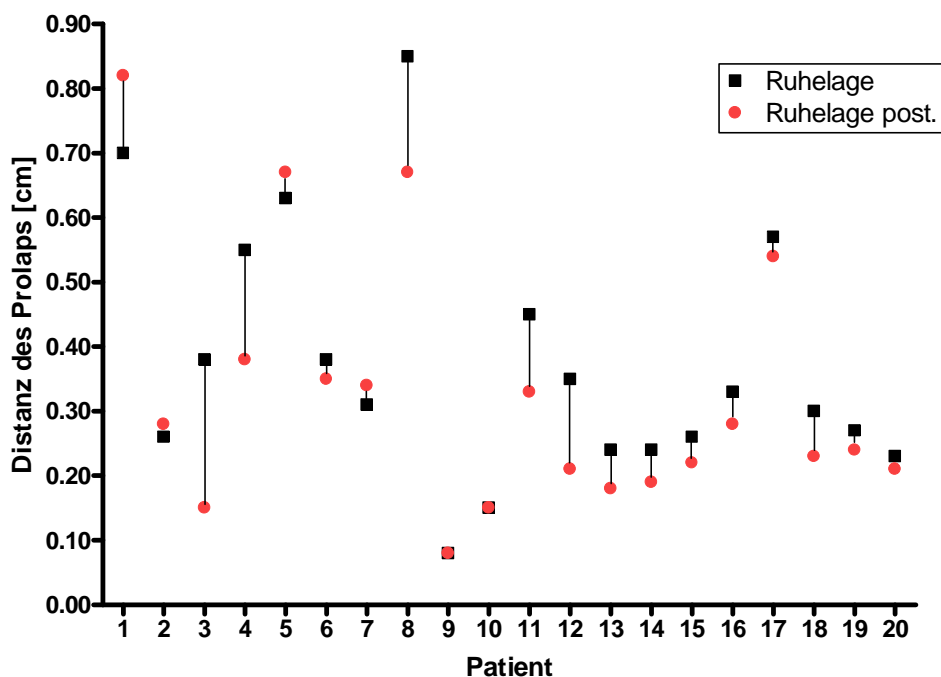


Diagramm 3-5: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Probanden

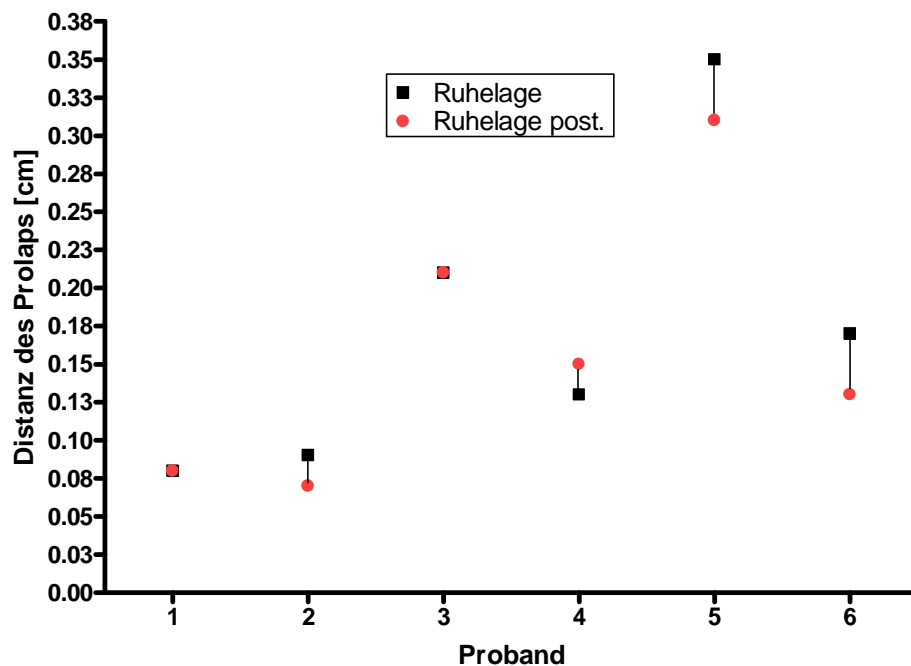


Diagramm 3-6: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Bei dieser Messung wurde untersucht, in wie weit sich der Prolaps der Bandscheibe in der transversalen Schicht in den Spinalkanal vorwölbt. Hierbei wurden wieder die Lagen Ruhelage zu Ruhelage post., also nach den Bewegungen erfasst. Dabei sank die maximal messbare Distanz bei 80 % der Patienten, was durchschnittlich einer Reduktion von $-13,55\% \pm 18,57\%$ entsprach; gleichfalls bei 83,3 % der Probanden, was einer Reduktion von $-6,97\% \pm 14,99\%$ entsprach.

Es ließ sich ein signifikanter Unterschied in den beiden Gruppen erkennen. Dieser liegt in der maximal messbaren Distanz bei Ruhelage bei U-Test $p=0,007$ und Ruhelage post. bei U-Test $p=0,013$.

Maximal messbare Distanz des Prolaps – Flexion zu Extension

Patienten

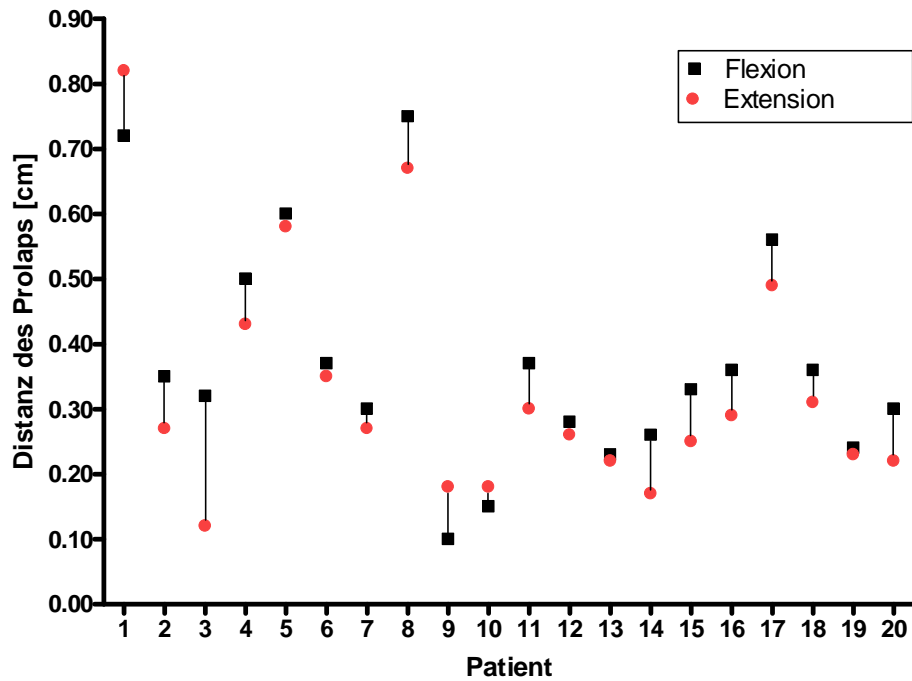


Diagramm 3-7: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Probanden

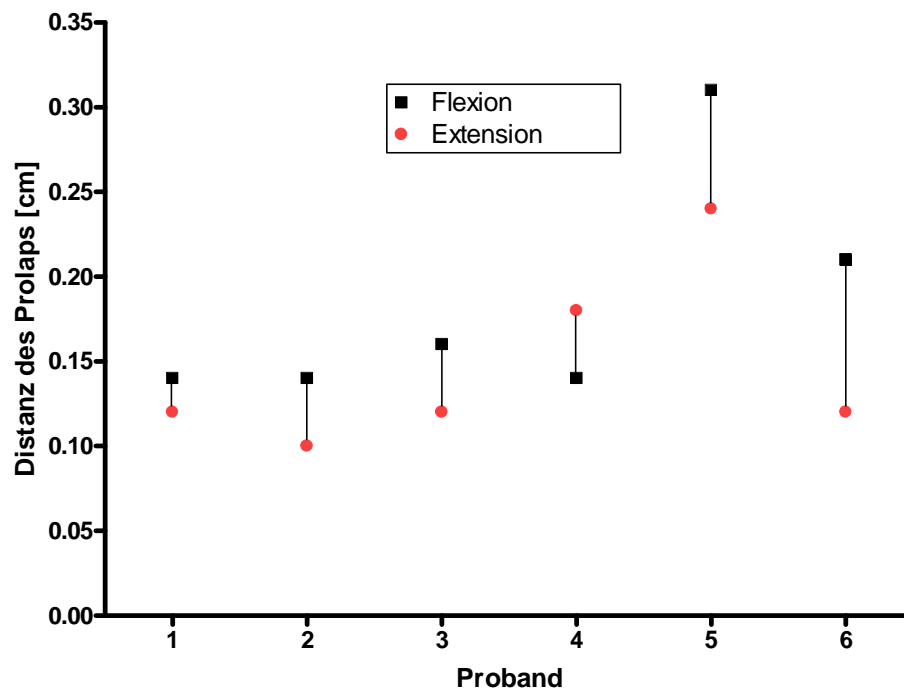


Diagramm 3-8: max. Distanz des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Bei der Flexion zur Extension sank die prolabierte Distanz bei 85 % der Patienten was einer Reduktion von durchschnittlich $-9,04\% \pm 27,05\%$ entsprach. Bei den Probanden kam es bei 83,3 % zu einer messbaren Reduktion was im Schnitt einer Reduktion von $-17,45\% \pm 24,42\%$ entsprach.

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Bei Flexion ergibt sich (U-Test $p=0,04$) und bei Extension (U-Test $p=0,01$).

3.2. ROI-Fläche

Die nächste Messung sollte zeigen, inwieweit der prolabierte Anteil der Bandscheibe in den Spinalkanal hineinreicht. Dieser Prolaps wurde anhand der ROI-Fläche in der sagittalen und transversalen Schicht nach den einzelnen Bewegungen bestimmt.

3.2.1. Sagittale Schicht

ROI des prolabierten Anteils der Bandscheibe – Ruhelage zu Ruhelage post.

Patienten

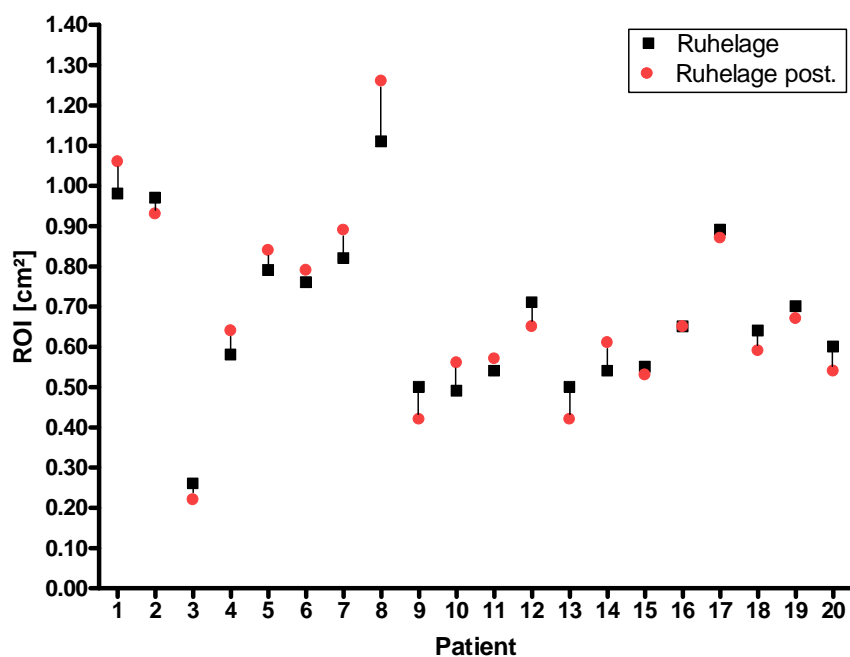


Diagramm 3-9: ROI des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Probanden

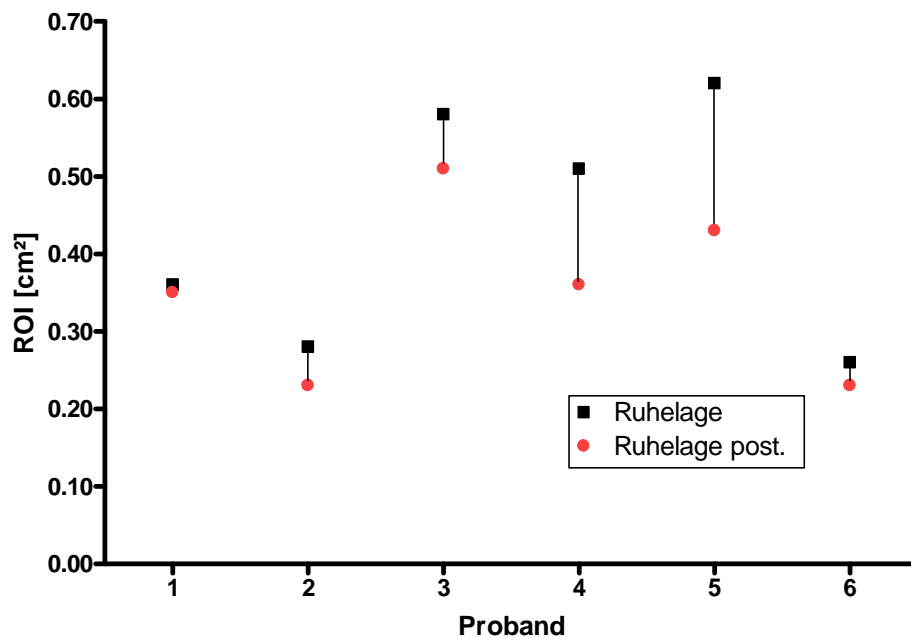
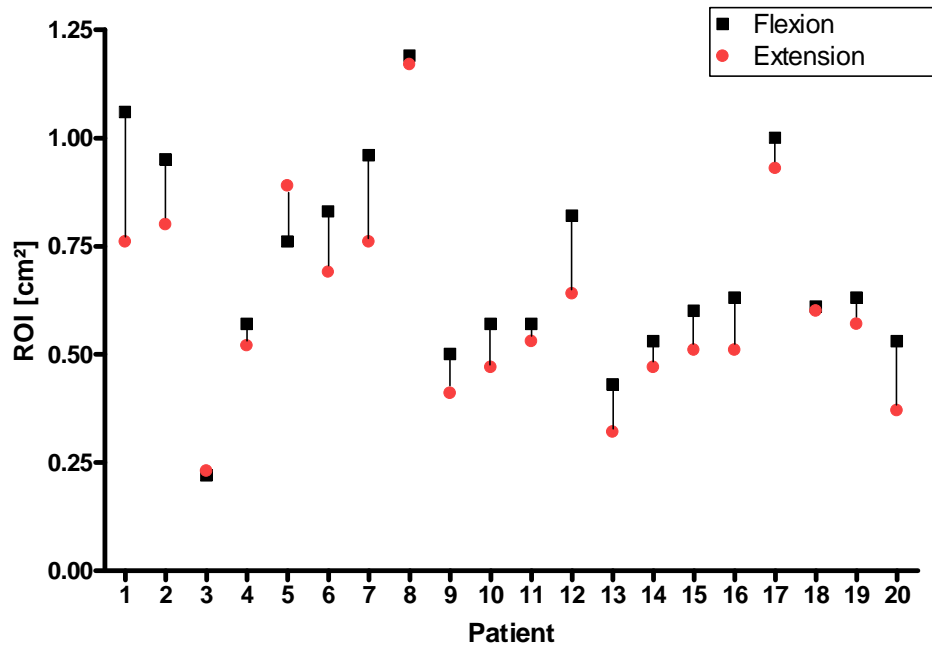


Diagramm 3-10: ROI des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

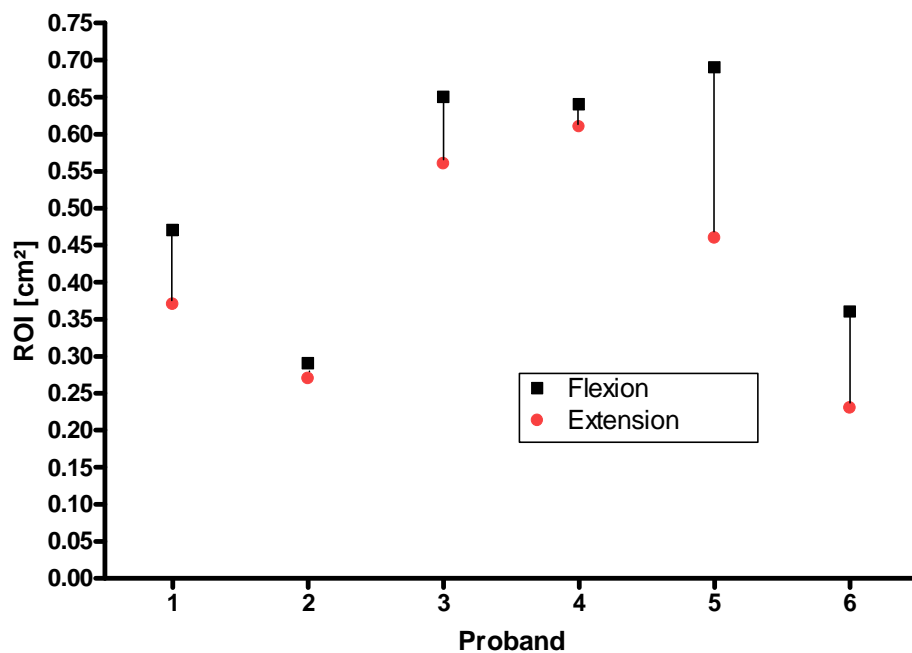
In der sagittalen Schicht wurden wieder die Lagen Ruhelage zu Ruhelage post., also nach den Bewegungen, erfasst. Hierbei sank die maximal messbare Fläche des Prolaps bei 45 % der Patienten, was einer durchschnittlichen Reduktion des Prolaps von $-0,22\% \pm 10,06\%$ entsprach. In der Probanden Gruppe sank sie bei 100 % der Untersuchten, was sich im Durchschnitt auf eine Reduktion von $-17,38\% \pm 10,92\%$ belief. Hier lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Ruhelage (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,013$) und hinsichtlich Ruhelage post. (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,003$) erkennen.

ROI des prolabierte[n] Anteils der Bandscheibe – Flexion zu Extension

Patienten

*Diagramm 3-11: ROI des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.*

Probanden

*Diagramm 3-12: ROI des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.*

Bei der Flexion zur Extension sank die prolabierte Fläche bei 90 % der Patienten, was einer durchschnittlichen Reduktion von $-12,72\% \pm 11,50\%$ entsprach. Bei 100% der Probanden ergab sich eine Reduktion, die sich im Durchschnitt auf $-19,36\% \pm 13,27\%$ belief.

Auch hier lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Flexion (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,100$) und der Extension (t-Test für unabhängige Stichproben $p=0,68$) erkennen.

3.2.2. Transversale Schicht

ROI des prolabierten Anteils der Bandscheibe – Ruhelage zu Ruhelage post.

Patienten

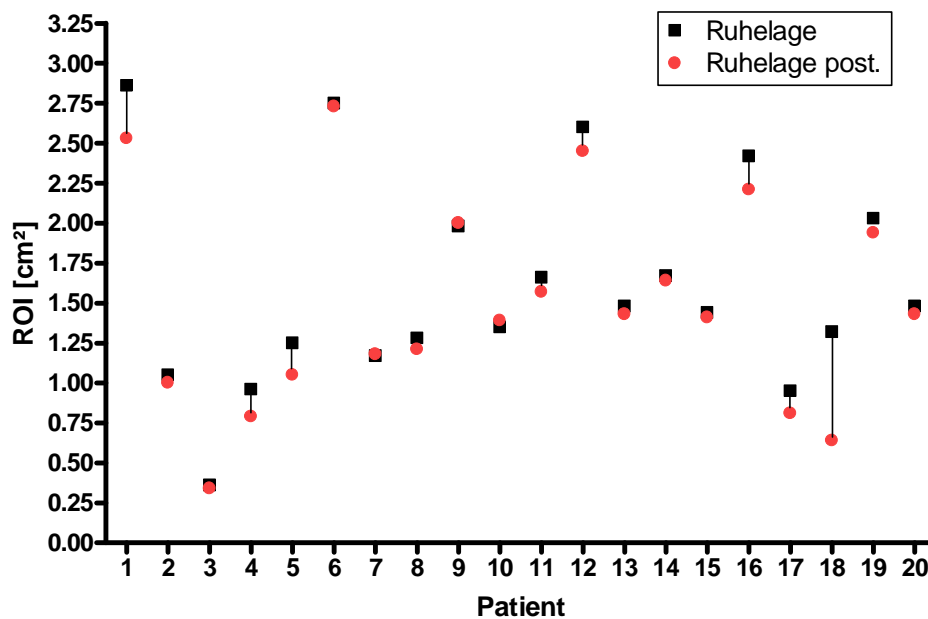


Diagramm 3-13: ROI des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Probanden

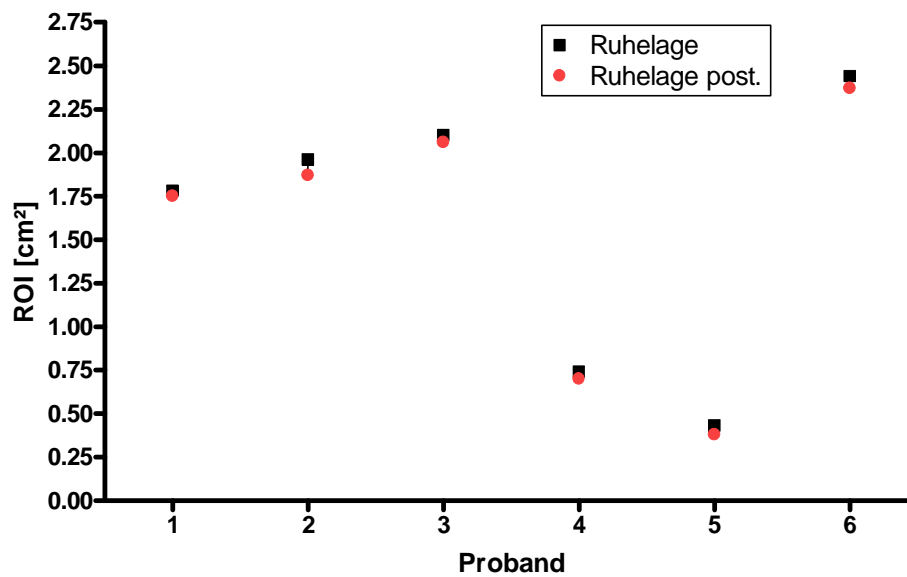


Diagramm 3-14: ROI des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

In der transversalen Schicht wurde wieder Ruhelage zu Ruhelage post. erfasst. Hierbei sank die maximal messbare Fläche des Prolaps bei 85 % der Patienten, was einer durchschnittlichen Reduktion von -13,55% +/- 18,57% entspricht. Bei 100 % der Probanden ergab sich eine durchschnittliche Reduktion von -6,97% +/- 14,99% des Prolaps.

Es ließen sich keine Gruppenunterschiede nachweisen (t-Test für unabhängige Stichproben $p > 0,05$).

ROI des prolabierte[n] Anteils der Bandscheibe – Flexion zu Extension

Patienten

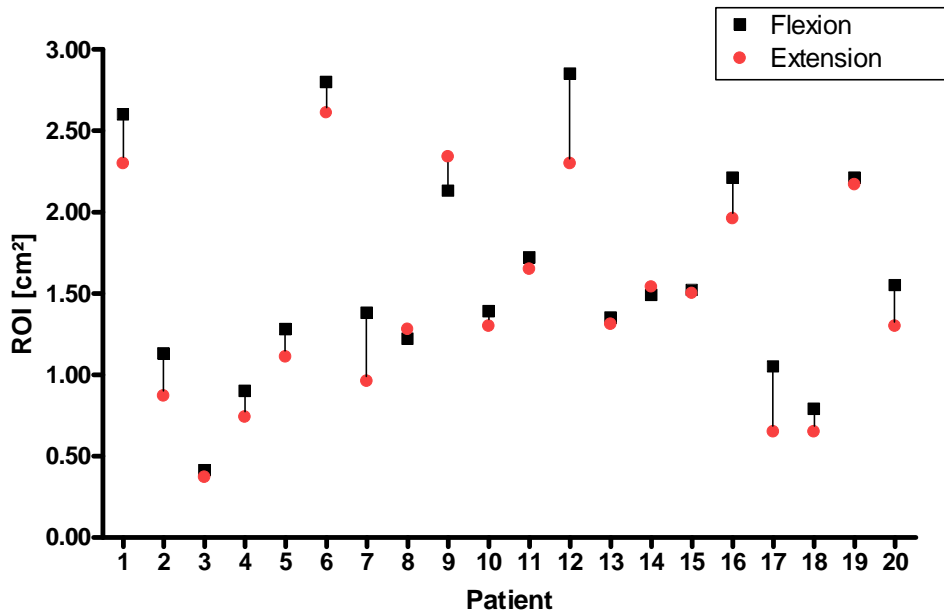


Diagramm 3-15: ROI des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Probanden

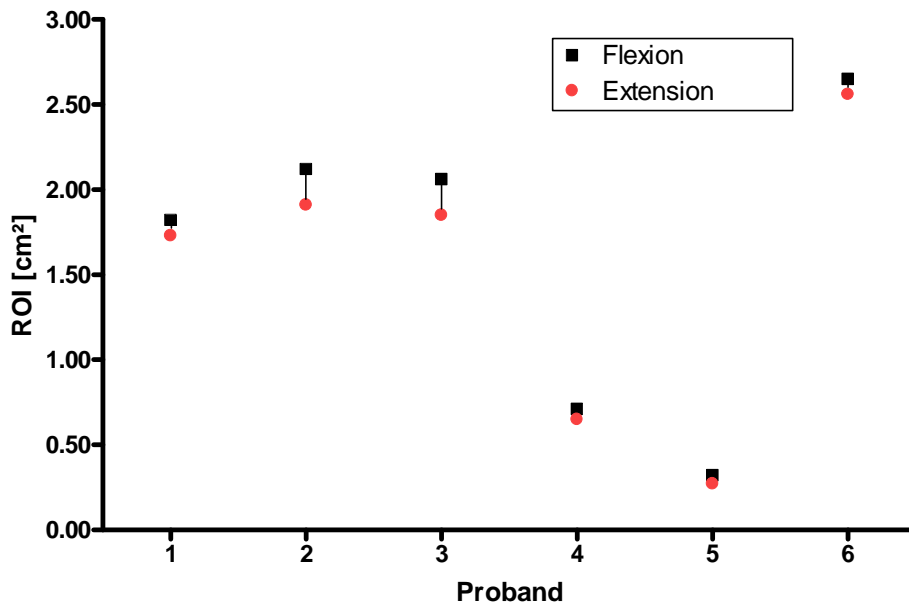


Diagramm 3-16: ROI des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Bei der Flexion zur Extension sank die prolabierte Fläche bei 85 % der Patienten und wiederum bei 100% der Probanden. Dies äußerte sich in einer durchschnittlichen Reduktion des Prolaps bei den Patienten um -9,04% +/- 27,05% und um -8,75% +/- 4,33% bei den Probanden.

Auch hier ließen sich keine Gruppenunterschiede nachweisen (t-Test für unabhängige Stichproben $p > 0,05$).

3.3. Volumen-Messung

Die letzte Messung sollte zeigen, wie groß das Volumen des prolabierten Anteils der Bandscheibe, die in den Spinalkanal hineinreicht, ist. Dies wurde anhand der ROI-Fläche und einer speziellen Formel, in die die Schichtdicke der MRT Untersuchung mit einbezogen wurde, berechnet. Aus Gründen der Genauigkeit der Messung wurde dies nur in der sagittalen Schicht der Bilder durchgeführt.

3.3.1. Sagittale Schicht

Volumen der Bandscheibe – Ruhelage zu Ruhelage post.

Patienten

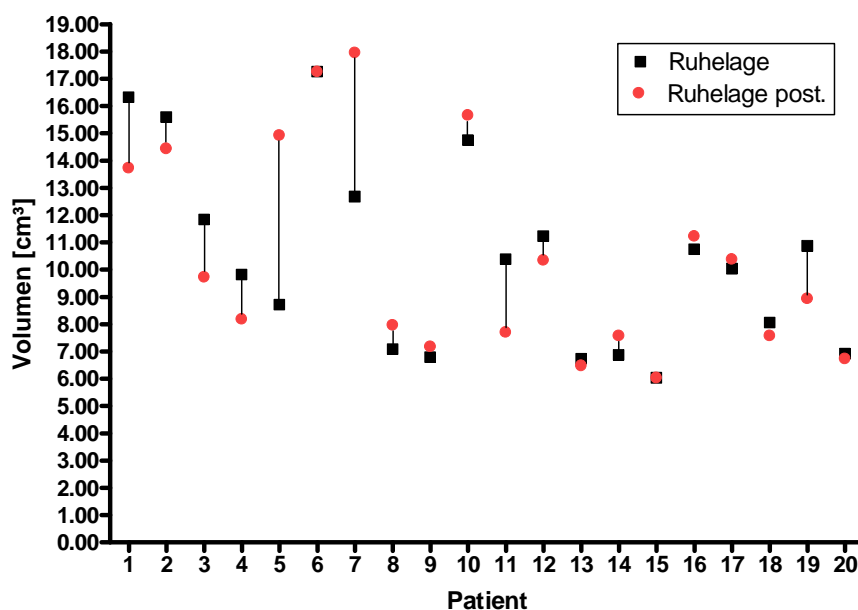


Diagramm 3-17: Volumen des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Probanden

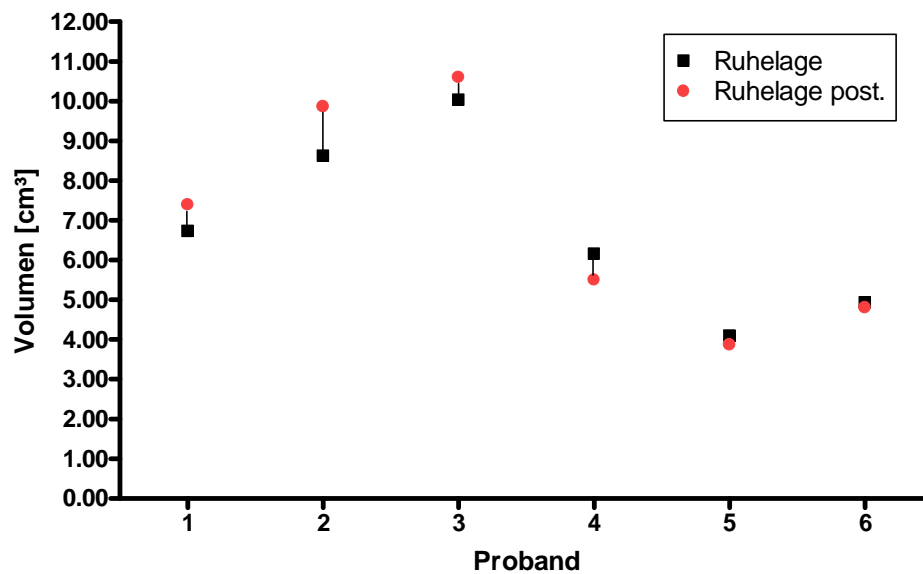


Diagramm 3-18: Volumen des Prolaps im Vgl. Ruhelage zu Ruhelage post.

Hier wurde wieder Ruhelage zu Ruhelage post. erfasst. Dabei konnte gemessen werden, dass bei 50 % der Patienten und bei 50 % der Probanden das Volumen nach der Bewegung abgenommen hat. Man konnte eine Veränderung von +1,83% +/- 21,86% der prolabierte Fläche in der Patienten Gruppe und von +2,81% +/- 9,63% in der Probanden Gruppe messen.

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gab es hinsichtlich der Ruhelage (U-Test $p=0,011$) und Ruhelage post. (U-Test $p=0,054$).

Volumen der Bandscheibe – Flexion zu Extension

Patienten

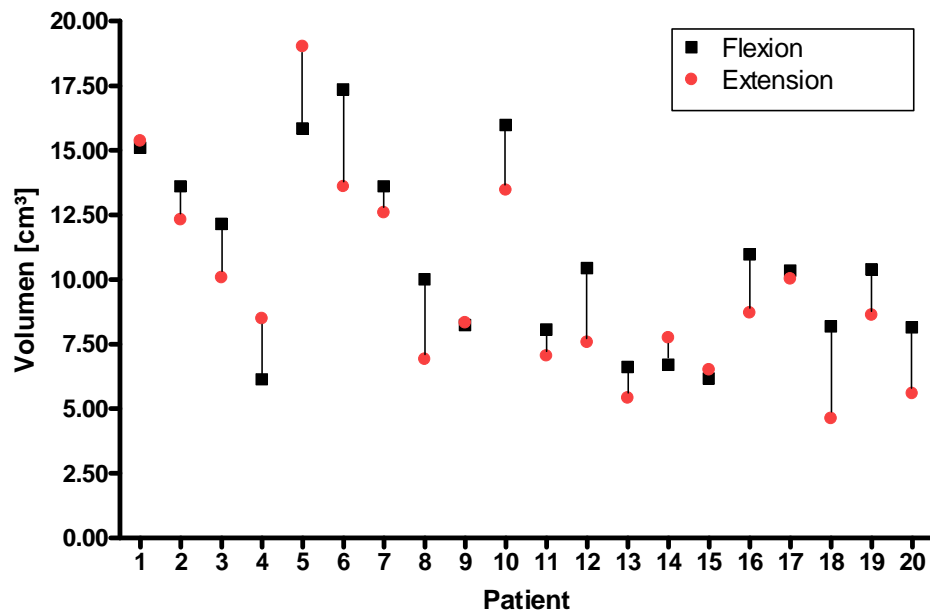


Diagramm 3-19: Volumen des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Probanden

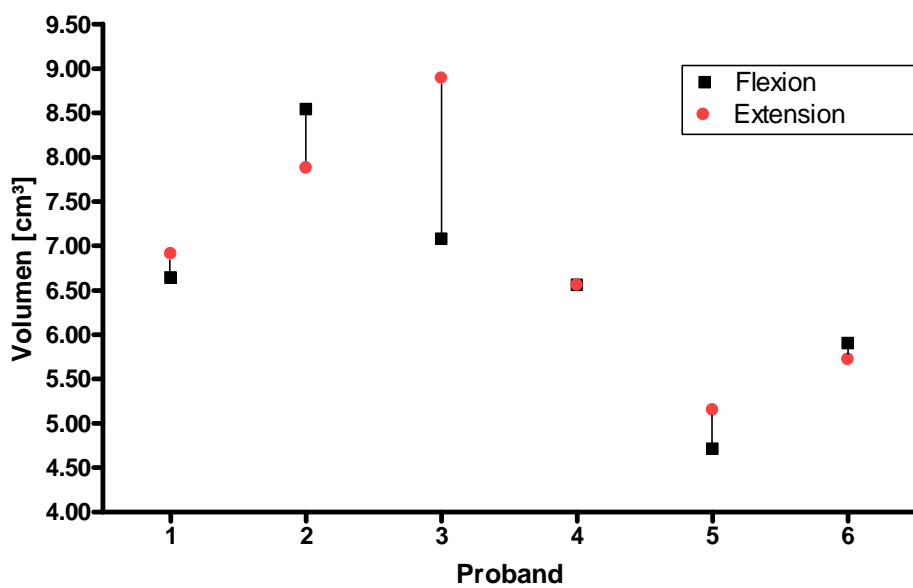


Diagramm 3-20: Volumen des Prolaps im Vgl. Flexion zu Extension.

Bei der Flexion zur Extension sank das prolabierte Volumen bei 70 % der Patienten und bei 33,3% der Probanden. Dabei konnte man eine durchschnittliche Veränderung des prolabierten Volumens von -8,46% +/- 19,57% bei den Patienten und von +4,68% +/- 11,74% bei den Probanden erkennen.

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Bei Flexion (U-Test $p=0,007$) und bei Extension (U-Test $p=0,095$).

3.4. Zusammenfassung der Auswertungen

In den Diagrammen wurde die maximal messbare Distanz des Prolaps, die ROI-Fläche des Bandscheibenvorfalls, sowie die Volumetrie des prolabierten Bandscheibenmaterials aller Patienten und Probanden berücksichtigt. Dabei wurde jede Messung eines Patienten sowie Probanden bei den vier verschiedenen Bewegungen aufgetragen und der Mittelwert aller Teilnehmer gebildet.

3.4.1. Maximal messbare Distanz des Prolaps

3.4.1.1. Sagittale Schicht

Patienten

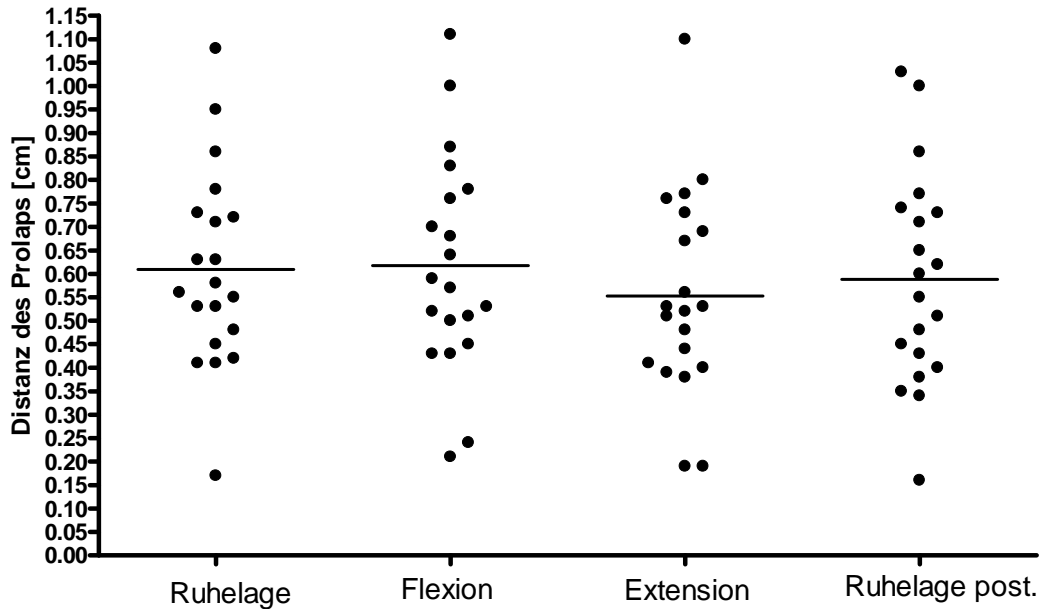


Diagramm 3-21: max. Distanz des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Patienten bei den einzelnen Bewegungen

Probanden

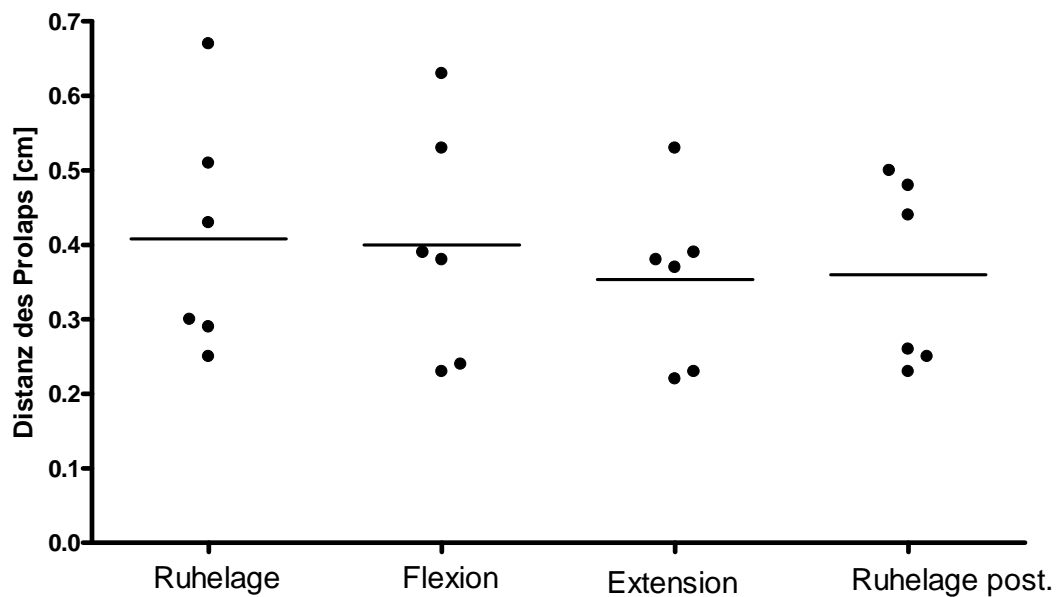


Diagramm 3-22: max. Distanz des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Probanden bei den einzelnen Bewegungen

Aus diesen Diagrammen lässt sich eindeutig ablesen, dass sich die maximal messbare Distanz des prolabierte Bandscheibenmaterials im Zuge der Bewegungen verringert. Die prolabierte Distanz sinkt in der Patienten Gruppe im Mittel von der Ruhelage zur Ruhelage post. von 0,61 cm auf 0,59 cm. Bei den Probanden sinkt die Distanz im Durchschnitt von 0,41 cm auf 0,36 cm. Nach der Bewegung von der Flexion zur Extension ist die Senkung der Distanz ebenfalls ausgeprägt, in der Patienten Gruppe von durchschnittlich 0,62 cm auf 0,55 cm, bei den Probanden von 0,40 cm auf 0,35 cm.

Hierbei lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich aller Größen erkennen ($p < 0,05$).

Gut zu sehen ist der Rückgang bei der Extensionsbewegung sowie auch der Rückgang von der Ruhelage zur Ruhelage nach den Bewegungen.

3.4.1.2. Transversale Schicht

Patienten

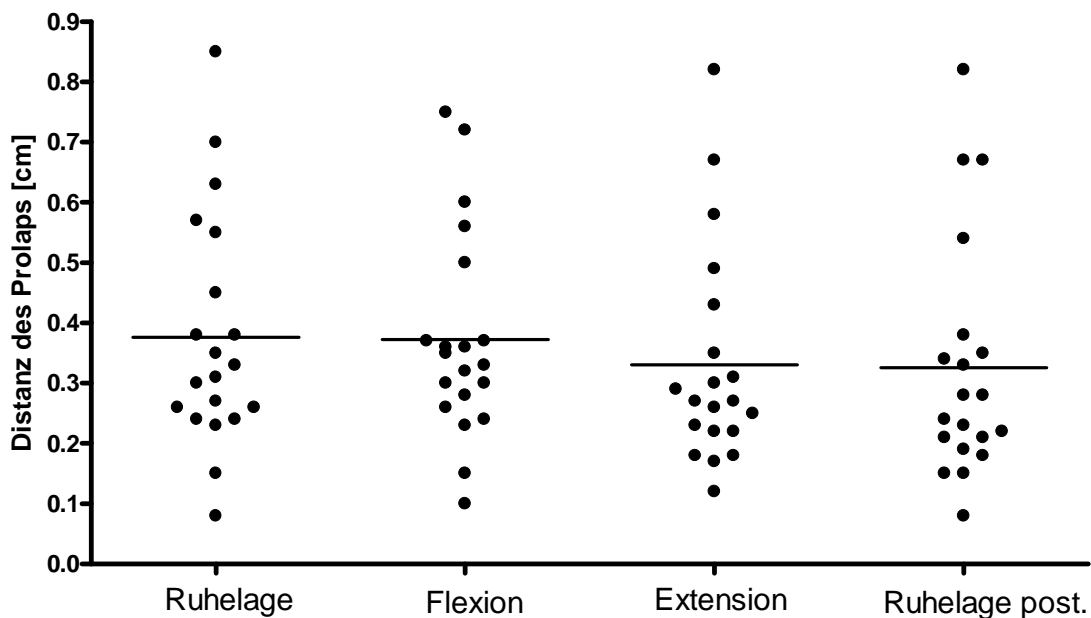


Diagramm 3-23: max. Distanz des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Patienten bei den einzelnen Bewegungen

Probanden

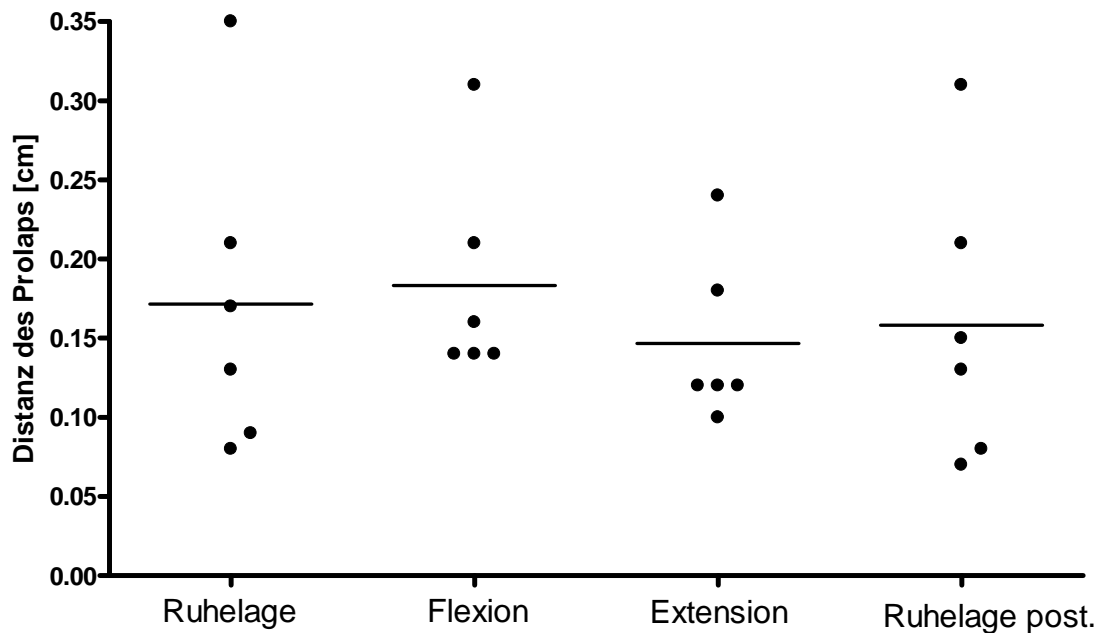


Diagramm 3-24: max. Distanz des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Probanden bei den einzelnen Bewegungen

In der transversalen Schicht kommt man zu einem ähnlichen Ergebnis wie in der sagittalen Schicht. Hierbei senkt sich in der Patienten Gruppe die maximal prolabierte Distanz von 0,38 cm auf 0,33 cm im Vergleich von der Ruhelage zur Ruhelage post., bei der Flexion zur Extension von 0,62 cm auf 0,55 cm.

Bei den Probanden kommt es bei der Ruhelage post. zu einer Senkung von 0,41 cm auf 0,36 cm, von der Flexion zur Extension von 0,18 cm auf 0,15 cm.

Hier ist ein signifikanter Gruppenunterschied in allen Größen zu erkennen ($p < 0,05$).

3.4.2. ROI-Fläche des Bandscheibenvorfalls

3.4.2.1. Sagittale Schicht

Patienten

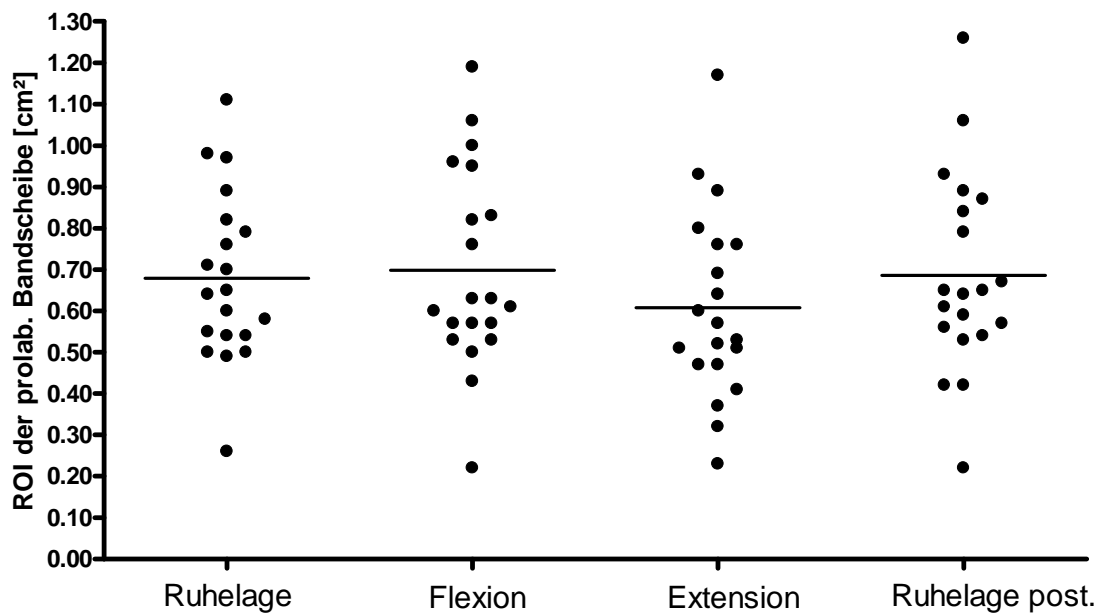


Diagramm 3-25: max. ROI des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Patienten bei den einzelnen Bewegungen

Probanden

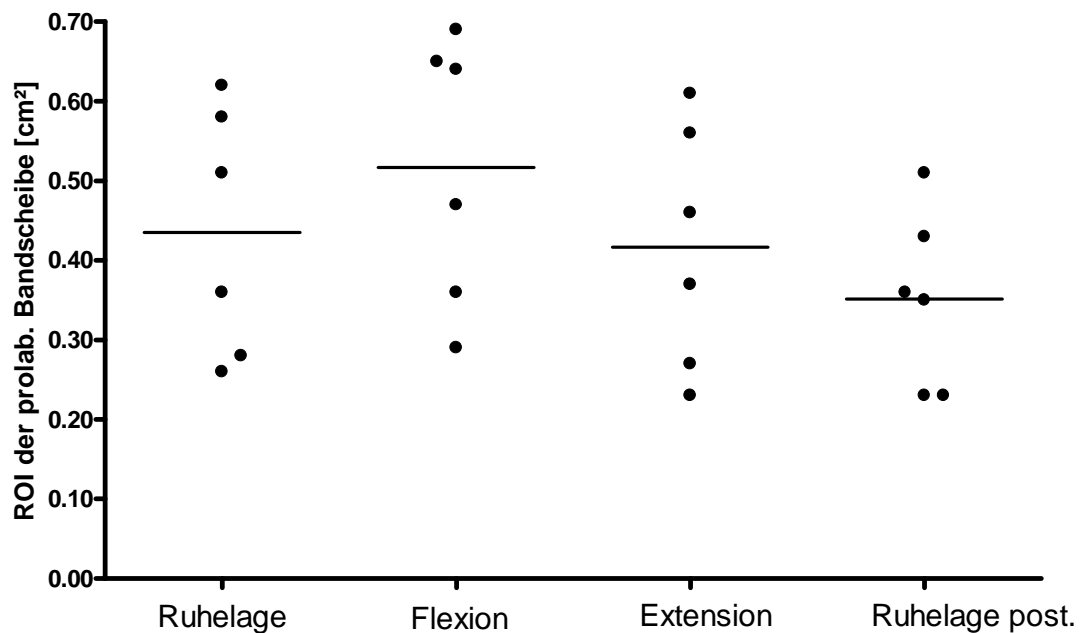


Diagramm 3-26: max. ROI des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Probanden bei den einzelnen Bewegungen

Bei der Berechnung der ROI-Flächen des prolabierten Anteils ist, wie auch bei der maximal messbaren Distanz, eine eindeutige Abnahme von der Flexion zur Extension in der Patienten Gruppe von 0,70 cm² auf 0,61 cm² zu beobachten. Bei den Probanden kommt es zu einer Senkung von 0,52 cm² auf 0,42 cm². In der Probanden Gruppe lässt sich außerdem ein eindeutiger Rückgang von der Ruhelage zur Ruhelage post, also nach den Bewegungen von 0,44 cm² auf 0,35 cm² erkennen. Bei der Patienten Gruppe gibt es hier einen minimalen Anstieg zu verzeichnen, der Wert steigt leicht von 0,68 cm² auf 0,69 cm².

Es ist ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Ruhelage ($p=0,013$) und Ruhelage post. ($p=0,003$) zu erkennen.

3.4.2.2. Transversale Schicht

Patienten

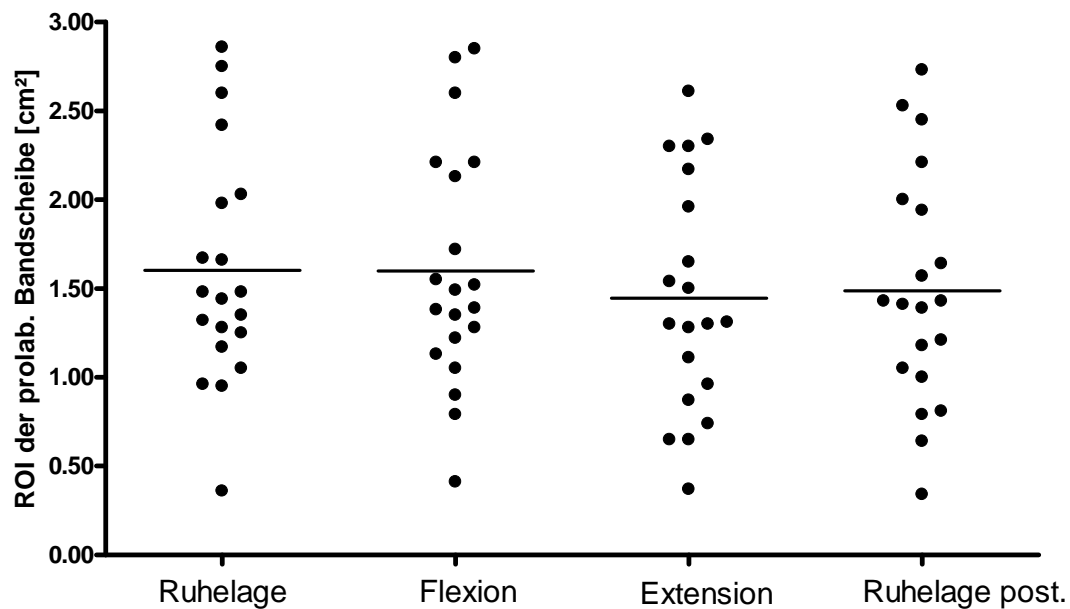


Diagramm 3-27: max. ROI des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Patienten bei den einzelnen Bewegungen

Probanden

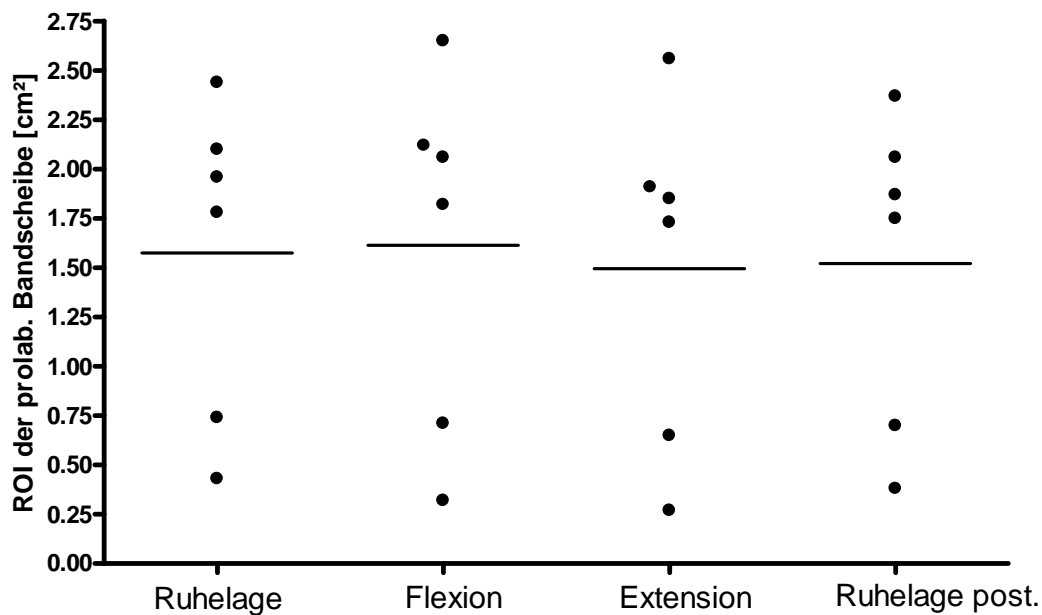


Diagramm 3-28: max. ROI des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Probanden bei den einzelnen Bewegungen

In der transversalen Schicht lässt sich ebenfalls ein starker Rückgang des prolabierten Anteils der Bandscheibe von der Flexion zur Extension beobachten, bei den Patienten von 1,60 cm² zu 1,45 cm², in der Probanden Gruppe von 1,61 cm² auf 1,50 cm². Von der Anfangsposition der Ruhelage zur Ruhelage post. kommt es bei der Patienten Gruppe zu einer Senkung von 1,60 cm² auf 1,49 cm² und in der Probanden Gruppe von 1,58 cm² auf 1,52 cm².

Hier lassen sich keine Gruppenunterschiede nachweisen ($p > 0,05$).

3.4.3. Volumetrie aller Patienten nach den Bewegungen

3.4.3.1. Sagittale Schicht

Patienten

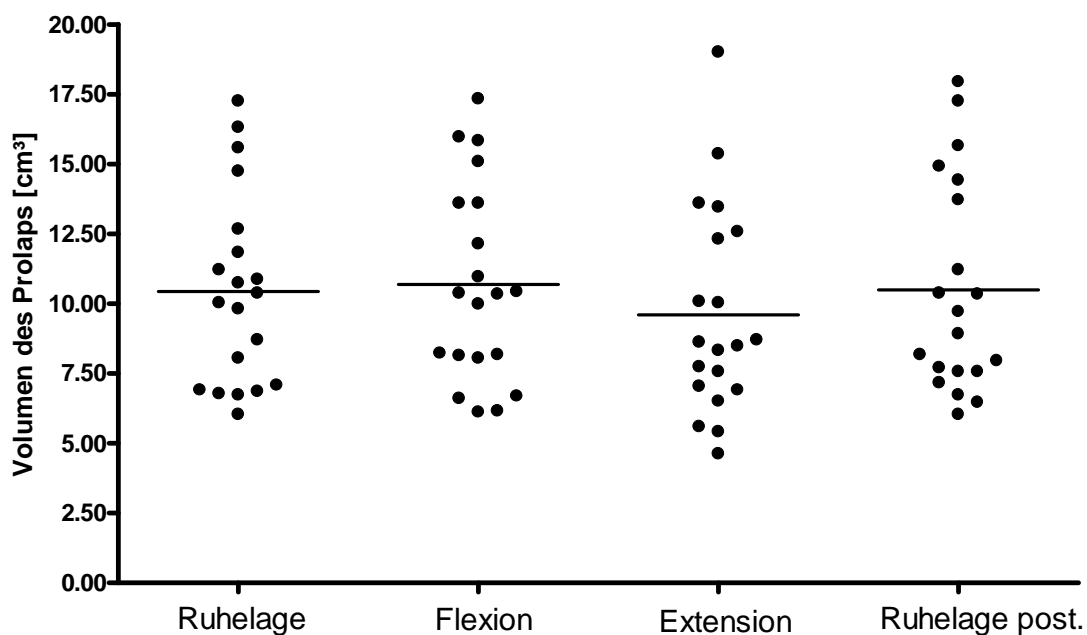


Diagramm 3-29: max. Volumen des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Patienten bei den einzelnen Bewegungen

Probanden

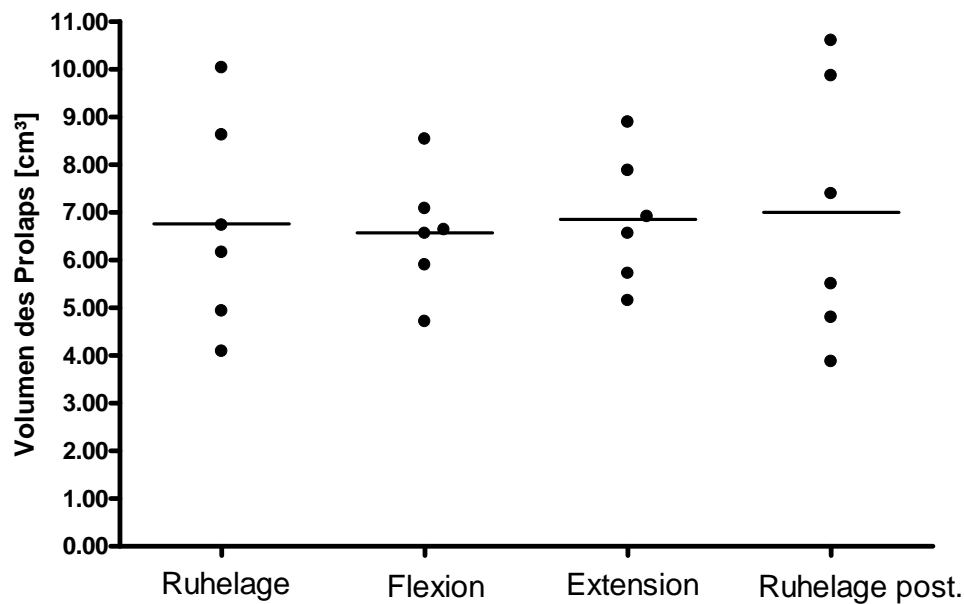


Diagramm 3-30: max. Volumen des Prolaps, sowie gemittelte Werte aller Probanden bei den einzelnen Bewegungen

Bei der Volumen-Berechnung gibt es ein zwiespältiges Ergebnis zwischen der Patienten und der Probanden Gruppe. In der Patienten Gruppe nimmt das Volumen von der Flexion zur Extension im Schnitt um $1,09 \text{ cm}^3$ ab, bei den Probanden ist hier eine leichte Zunahme um $0,28 \text{ cm}^3$ zu verzeichnen.

Das Volumen nach den Bewegungen bleibt bei beiden Gruppen annähernd gleich.

Ein signifikanter Unterschied lässt sich zwischen den Gruppen hinsichtlich der Ruhelage

(U-Test, $p=0,011$) und der Flexion ($p=0,007$) erkennen. Keine Unterschiede lassen sich zwischen Extension ($p=0,095$) und der Ruhelage post. ($p=0,054$) nachweisen.

Diese Paradoxität lässt sich anhand von Messschwierigkeiten bei der Volumetrie erklären. Bei jeder Messung kommt es nie zu einer hundertprozentig gleichen Lagerung des Patienten im Tomographen. Deshalb erhält man unterschiedliche Schichtdicken während der Messung, die diese Unterschiede bzw. Fehler bei der nachträglichen Volumetrie mit sich bringen.

Auf die Volumenberechnung sollte in dieser Studie nicht das Hauptaugenmerk gelegt werden, da diese Werte zu ungenau sind, aber der Korrektheit wegen hier trotzdem Erwähnung finden sollen.

3.5. Tabellarische Zusammenfassung

3.5.1. Änderung des Prolaps unter funktionellen Bedingungen

Diese Tabellen zeigen auf, bei wie vielen Patienten es zu einer Reduktion des Prolaps in der max. messbaren Distanz, der ROI-Fläche und im Volumen nach den Bewegungen gekommen ist. Dazu wurden die sagittalen und transversalen Bilder gemessen. Einmal in Ruhelage über die Bewegung der Extension und Flexion zur Ruhelage post. und einmal nach der Bewegung der Flexion zur Extension.

Max. messbare Distanz des Prolaps

	Patienten	Probanden
Ruhelage zu Ruhelage post.		
sagittal	80%	83,30%
transversal	80%	83,30%
Flexion zur Extension		
sagittal	90%	100%
transversal	85%	83,30%

Tab. 3-1: Reduktion des Prolaps bei Patienten und Probanden

ROI-Fläche

	Patienten	Probanden
Ruhelage zu Ruhelage post.		
sagittal	45%	100%
transversal	85%	100%
Flexion zur Extension		
sagittal	90%	100%
transversal	85%	100%

Tab. 3-2: Reduktion der prolapierten ROI-Fläche bei Patienten und Probanden

Volumen

	Patienten	Probanden
Ruhelag zu Ruhelage post.		
sagittal	50%	50%
Flexion zur Extension		
sagittal	70%	33,30%

Tab. 3-3: Reduktion des prolapierten Volumens bei Patienten und Probanden

3.5.2. Symptomatik zur Zeit der Untersuchung und Langzeitverlauf

Patient	McKenzie- Verfahren Tü-Konzept	Besserung / beschwerdefrei	Zentralisation nach Physiotherapie mit Tü-Konzept	Verlauf
1	ja	nein	Schmerz zentralisiert mit Extension	OP
2	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
3	ja	ja	keine Zentralisierung	
4	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
5	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
6	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
7	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Flexion	
8	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
9	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
10	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
11	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
12	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Rotation	
13	ja	nein	keine Zentralisierung	weiter Beschw.
14	ja	ja	keine Zentralisierung	
15	ja	ja	Schmerz zentralisiert mit Extension	
16	ja	nein	Schmerz zentralisiert mit Extension	OP weiter Beschw.
17	ja	nein	keine Zentralisierung Schmerz zentralisiert mit Extension	
18	ja	ja	keine Zentralisierung	
19	ja	nein	keine Zentralisierung	OP
20	ja	nein	keine Zentralisierung	OP

Gesamt	100%	70%	70%
---------------	-------------	------------	------------

Tab. 3-4: Daten der Physiotherapie

Diese Daten wurden in der physiotherapeutischen Praxis von Frau D. Brötz erhoben. Sie therapierte alle Patienten nach dem Tübinger Konzept. Es lässt sich erkennen, dass die Beschwerden bei 70 % der Patienten nachgelassen haben und es bei ebenfalls 70 % zu einer Zentralisation des Schmerzes gekommen ist.

Bei vier Patienten gab es keine Besserung. Sie ließen sich operieren. Bei einem Patienten kam es nicht zur Besserung und keiner Zentralisation. Es bestehen bei diesem Patienten im Verlauf weiter Beschwerden.

3.5.3. Durchschnittswerte aller Messungen

Durchschnittliche max. messbare Distanz des Prolaps

	1) Ruhelage [cm]	2) Ruhelage post. [cm]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	0,61 +/- 0,21	0,59 +/- 0,23	-4,44 +/- 10,90
transversal	0,38 +/- 0,19	0,33 +/- 0,20	-13,55 +/- 18,57
	Probanden	Probanden	
sagittal	0,41 +/- 0,16	0,36 +/- 0,13	-10,52 +/- 10,78
transversal	0,21 +/- 0,10	0,16 +/- 0,09	-6,97 +/- 14,99

	1) Flexion [cm]	2) Extension [cm]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	0,62 +/- 0,23	0,55 +/- 0,22	-10,59 +/- 10,29
transversal	0,37 +/- 0,17	0,33 +/- 0,18	-9,04 +/- 27,05
	Probanden	Probanden	
sagittal	0,4 +/- 0,16	0,35 +/- 0,12	-9,33 +/- 9,77
transversal	0,18 +/- 0,07	0,15 +/- 0,05	-17,45 +/- 24,42

Tab. 3-5: Überblick über die Durchschnittswerte der max. messbaren Distanz des Prolaps

Diese Tabelle zeigt die Durchschnittswerte aller Patienten und Probanden bei der max. messbaren Distanz des Prolaps an. Bei jedem Wert wurde die Standardabweichung mit angegeben. Bei der Veränderung in Spalte 3 wurde errechnet, inwieweit sich der Prolaps nach den Bewegungen verkleinert oder vergrößert hat. Hier konnte festgestellt werden, dass es in den meisten Fällen zu einer Verkleinerung gekommen ist. Es wurden jeweils Ruhelage zu Ruhelage post. sowie die Flexion mit der Extension in der sagittalen wie auch transversalen Schicht gemessen.

Durchschnittliche ROI-Fläche des Prolaps

	1) Ruhelage [cm ²]	2) Ruhelage post. [cm ²]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	0,68 +/- 0,20	0,69 +/- 0,24	-0,22 +/- 10,06
transversal	1,60 +/- 0,66	1,49 +/- 0,66	-7,91 +/- 11,71
	Probanden	Probanden	
sagittal	0,44 +/- 0,16	0,35 +/- 0,11	-17,38 +/- 10,92
transversal	1,58 +/- 0,80	1,52 +/- 0,80	-4,68 +/- 3,71

	1) Flexion [cm ²]	2) Extension [cm ²]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	0,70 +/- 0,24	0,61 +/- 0,23	-12,72 +/- 11,50
transversal	1,60 +/- 0,67	1,45 +/- 0,65	-10,68 +/- 11,86
	Probanden	Probanden	
sagittal	0,52 +/- 0,17	0,42 +/- 0,15	-19,36 +/- 13,27
transversal	1,61 +/- 0,90	1,50 +/- 0,86	-8,75 +/- 4,33

Tab. 3-6: Überblick über die Durchschnittswerte der ROI-Fläche des Prolaps

In dieser Tabelle werden die durchschnittliche ROI-Fläche des Prolaps aller Patienten und Probanden nach den gleichen Kriterien wie bei der max. messbaren Distanz des Prolaps zusammengefasst.

Durchschnittliches Volumen des Prolaps

	1) Ruhelage [cm ³]	2) Ruhelage post. [cm ³]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	10,43 +/- 3,45	10,52 +/- 3,83	+1,83 +/- 21,86
	Probanden	Probanden	
sagittal	6,76 +/- 2,24	7,00 +/- 2,76	+2,81 +/- 9,63

	1) Flexion [cm ³]	2) Extension [cm ³]	Veränderung 1-2 [%]
	Patienten	Patienten	
sagittal	10,69 +/- 3,54	9,60 +/- 3,72	-8,46 +/- 19,57
	Probanden	Probanden	
sagittal	6,57 +/- 1,27	6,85 +/- 1,38	+4,68 +/- 11,74

Tab. 3-7: Überblick über die Durchschnittswerte des Volumen des Prolaps

Bei der Interpretation aller Ausmessungen des durchschnittlichen Volumens zeigte sich, dass bei den Patienten und auch Probanden paradoxe Ergebnisse hinsichtlich der Veränderung, im Vergleich zu den anderen Messungen, zustande gekommen sind. Diese Ergebnisse lassen sich durch Messungenauigkeiten erklären, auf die in der Diskussion näher eingegangen werden soll. Auf die Volumetrie sollte hier nicht das Hauptaugenmerk gelegt werden und wird nur der Vollständigkeit wegen hier aufgeführt.

4. Diskussion

Veränderung des prolabierte Bandscheibenmaterials bei den Bewegungen

Eine der zentralen Fragestellungen der Arbeit war, inwieweit sich das prolabierte Bandscheibenmaterial während einer Flexion, Extension und der Neutralstellung verändert. Diese Bewegungen wurden mittels der Magnetresonanztomographie bei Patienten mit lumbalem Bandscheibenvorfall simuliert und vermessen.

Es ist bereits bekannt, dass Bandscheibenvorfälle im Verlauf von mehreren Monaten an Größe verlieren können [26, 27, 28, 29, 30, 31]. Dabei wurde beobachtet, dass die Schrumpfung mit einer klinischen Verbesserung korrelierte. Nun wurde untersucht, ob ein direkter Zusammenhang des Bandscheibenvorfalles sowie der Größe und Position in direkten Zusammenhang mit einer Umlagerung in einer Physiotherapie zu bringen ist. Dabei wurde die native Darstellung des vorgefallenen Discus intervertebralis und der Lokalisation der Spinalnerven unter den verschiedenen Lagerungen der Wirbelsäule beobachtet. Diese Veränderung des Prolaps wollte man tomographisch nachweisen und somit eine Prognose zum Therapieverlauf, speziell für das Tübinger Konzept, zulassen. [32]

Als physiotherapeutische Methode wurde bei allen Patienten eine abgewandelte Form der McKenzie-Methode angewandt. Diese Form wird als Tübinger-Konzept bezeichnet. Diese Methode wurde von Tübinger Neurologen und Physiotherapeuten entwickelt. Dabei ist die zentrale Maßnahme eine wiederholte Streckung der Wirbelsäule bis zum Bewegungsende. Dadurch kann eine weitere Verlagerung der Bandscheibe oder sogar eine Rückverlagerung bewirkt werden.

Hierzu wurden 15 Männer und 5 Frauen mit einem durchschnittlichen Alter von 41,1 Jahren (Bandbreite von 25-65 Jahre) als Patienten gemessen. Das Probanden Alter betrug durchschnittlich 47,3 Jahre und bestand aus 3 Männern und 3 Frauen.

In den letzten Jahren wurden vielerorts Studien, die sich mit einer ähnlichen Fragestellung beschäftigten, ob sich ein Rückgang des prolabierte Bandscheibenmaterials nach Extensionsbewegungen messen lässt, erhoben. [33]

In der hier durchgeführten Studie sollte untersucht werden, ob sich der Prolaps von der Ausgangsposition über die Bewegungen der Flexion zur Extension und dann wieder zur Ausgangsposition, verändert. Es wurden die MRT Bilder in der sagittalen wie auch in der transversalen Schichtung auf Höhe des Vorfalls ausgewertet. In der sagittalen Schicht konnte bei 80% aller Patienten nachgewiesen werden, dass die maximal messbare Strecke, die der Prolaps in den Spinalkanal hineinreichte, kleiner wurde. Bei der transversalen Schicht war es gleich. Dies äußerte sich im sagittalen Bild durchschnittlich mit einer Reduktion des Prolaps von $-4,44\% \pm 10,90\%$. Im transversalen Bild waren es im Schnitt $-13,55\% \pm 18,57\%$.

Weiterhin wurde gemessen, wie sich die Flexion zur Extension verhält. Hierbei konnte man bei den sagittalen Bildern ebenfalls bei 90% der Patienten feststellen, dass sich der Prolaps verringerte. Was sich dann mit einer Reduktion des Prolaps von durchschnittlich $-10,59\% \pm 10,29\%$ äußerte. Bei den transversalen Bildern sank die Fläche bei 85 % der Patienten. Dabei kam es zu einer Reduktion von im Schnitt $-9,04\% \pm 27,05\%$.

Diese Unterschiede, im Vergleich von den sagittalen zu den transversalen Messungen, lassen sich durch die nicht ganz eindeutig abzugrenzenden Flächen in der transversalen Schichtung erklären. Die Genauigkeit im sagittalen Bild ist somit höher.

Bei der Probanden Gruppe zeigten sich die Veränderungen in ähnlichem Maße. Es kam wieder bei beiden Bewegungen zur Reduktion des Prolaps.

Somit kann man sagen, dass die maximale Strecke des prolabierte Bandscheibenmaterials, das den Spinalkanal einengt, sich durch die Bewegungen verringerte. Diese Messungen korrespondieren mit den Daten aus der Physiotherapie. Hier hatten 70%, der nach dem Tübinger Konzept behandelten Patienten, nach Abschluss der Physiotherapie keine Schmerzen mehr. Bei vier Patienten konnte letztlich nur noch eine Operation und somit eine Entfernung des prolabierte Bandscheibenmaterials Besserung bringen. Bei einem Patienten kam es nicht zur Besserung der Beschwerden. [34]

Bei der Flexionsbewegung der Wirbelsäule lässt sich sehr gut eine Druckkomponente der Bandscheibe nach ventral in den Spinalkanal beobachten.

Hierdurch lässt sich sagen, dass eine häufige Extension der Wirbelsäule sehr förderlich für die Bandscheiben ist und den Discus intervertebralis nach posterior bringen kann.

Als praktisches Beispiel sei hier ein Lesekeil erwähnt, der von vielen Menschen, die lange am Schreibtisch sitzen und dadurch unter lumbalen Schmerzen leiden, eine Erleichterung verschaffen kann, indem sie ihre Position von der sitzenden zur liegenden verändern. [23]

Druckbelastung in Bezug zur Bandscheibe:

Viele Menschen nehmen oftmals sehr einseitig eingenommene Positionen ein. Dies kann durch eine schlechte Haltemuskulatur hervorgerufen werden, die sich bedingt durch vieles Sitzen am Schreibtisch und wenig Ausgleichssport zurückgebildet hat. Ebenso schweres Heben oder Gartenarbeit können für untrainierte Menschen zu einem Bandscheibenvorfall führen. Dabei weicht der Gallertkern, durch die unter Belastung eingenommene Flexionsbewegung der Wirbelsäule, dem einseitigen Druck aus und wandert in die Gegenrichtung. Dadurch entsteht ventral ein dauerhafter Druck auf die Bandscheiben. Der Gallertkern weicht nach hinten aus und drückt auf den empfindlichen Faserring, der somit überdehnt wird. Es kommt zur Einengung des Spinalkanals und die Nerven werden gereizt. Die Folge sind oftmals Rückenschmerzen. [35,36]

Nach wiederholter Fehlbelastung können die Faserringe Risse bekommen und der Gallertkern kann zwischen den Hinterkanten der Wirbelkörper eingeklemmt werden. Durch wiederholtes Beugen kann der Gallertkern auch reißen. [35] Dieser Riss verursacht den Bandscheibenvorfall und je nach Lokalisation und Größe die Kompression von benachbarten Nervenwurzeln.

Eine weitere Messung dieser Studie war die ROI-Flächenmessung. Hier wurde bei den sagittalen sowie transversalen Bildern die Fläche der Bandscheibe bestimmt, die in den Spinalkanal hineingerutscht ist. Einmal nach den Bewegungen der Flexion und Extension, also in den Ruhelagen und einmal direkt nach der Flexion zur Extension. In den Ruhelagen sank in der sagittalen Schicht bei 45% der Patienten

die maximal messbare Fläche. In der Probandengruppe sank sie bei 100%. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei den Patienten der Faserring der Bandscheibe oftmals gerissen ist und sich der Gallertkern nicht mehr ohne weiteres zurückdrängen lässt. [35] Somit konnte man bei den Patienten eine Reduktion der Fläche von $-0,22\% \pm 10,06\%$ in der sagittalen Schicht, sowie von $-7,91\% \pm 11,71\%$ in der transversalen Schicht messen.

Bei der Messung von der Flexion zur Extension verkleinerte sich die maximal messbare Fläche bei 90% der Patienten und wiederum bei 100% der Probanden. Was sich wiederum in einer Reduktion im sagittalen Bild der Patienten von $-12,72\% \pm 11,50\%$ äußerte. Im sagittalen Bild der Probanden Gruppe kam es zu einer durchschnittlichen Reduktion von $-19,36\% \pm 13,27\%$.

Diese Reduktion ließ sich auch in den transversalen Bildern bei beiden Gruppen beobachten.

Fenell et al. stellte dies 1996 ebenfalls fest. In dieser Studie wurde nachgewiesen, dass bei einer Flexion der Wirbelsäule, der Nucleus pulposus einer Bandscheibe meist nach hinten wanderte. Bei einer Extension war es genau umgekehrt, er wanderte nach vorne. So erklärt sich auch die Abnahme der Fläche zwischen den einzelnen Bewegungen erklären. Wir kommen hier zum gleichen Ergebnis wie Fenell et al.. [36]

Bedingt durch häufige Extensionsbewegungen kann es auch zu dauerhaften Haltungsverbesserungen des Patienten kommen, die sich in einer Besserung des Prolaps äußern können und somit in manchen Fällen zu einer Regression führen. [37]

In einer weiteren Studie wurde, am Anatomischen Institut der Universität Bristol /UK. von Adams et al. ebenfalls herausgefunden, dass durch eine derartige Bewegungsform der Wirbelsäule, der Druck auf den Spinalkanal genommen wird. Dies wiesen die Wissenschaftler sowohl bei erkrankten als auch bei gesunden Teilnehmern der Studie nach. [38]

In einer dritten Messung versuchte man das Volumen des Prolaps zu bestimmen. Dabei wurde die Fläche, von jedem prolabierte Anteil der Bandscheibe in allen sagittalen Bildern, in denen der Vorfall zu erkennen war, gemessen. Das Volumen

wurde, unter Berücksichtigung der Schichtdicke, die vor der Auswertung am Tomographen eingestellt wurde, mit Hilfe einer Formel berechnet.

Von der Ruhelage über die Bewegungen wieder zur Ruhelage verkleinerte sich das Volumen bei 50% der Patienten sowie bei gleich vielen Probanden.

Bei der Bewegung von der Flexion zur Extension verringerte sich das Volumen bei 70% der Patienten und bei 33,3% der Probanden.

Die Volumenberechnung bereitete insofern Schwierigkeiten, da die Flächen zwar bei den einzelnen Bewegungen gut zu messen waren, aber es zwischen den Lagerungen zu Verschiebungen kam. Der Patient konnte zwischen den einzelnen Bewegungen nie hundertprozentig gleich gelagert werden. Dadurch traten immer Ungenauigkeiten bei der Messung auf und somit kann auf diese Form des Ergebnisses nicht das Augenmerk gelegt werden.

Eine Messung der fehlenden Fläche des Spinalkanals und der anschließenden Volumetrie dieser Fläche wurde zu Anfang durchgeführt. Diese Form wurde jedoch nicht mit in diese Arbeit gebracht, da die Fehler der Messung zu groß waren. Fehler ergaben sich aus der letztendlichen Schätzung der ehemaligen Fläche des Spinalkanals.

Man kann trotz der Schwierigkeiten, bei der Volumenberechnung der prolabierte Bandscheibe und der nicht so ganz eindeutigen Ergebnisse im Vergleich zur maximal messbaren Distanz oder der Flächenberechnung wieder gut erkennen, dass das Volumen kleiner geworden ist und dies auch MR-tomographisch nachweisbar war.

Der Unterschied zwischen der Patienten- zur Probanden-Gruppe lässt sich ebenfalls durch die nicht mehr gegebene Beweglichkeit und somit auch der Zurückdrängbarkeit der Bandscheibe durch die Schädigung des Faserrings erklären.

Eine vorgeschädigte Bandscheibe lässt sich deshalb nicht mehr so schnell durch Extensionsübungen verkleinern wie eine gesunde Bandscheibe. Aber dennoch lässt sich trotz Schädigung eine Verbesserung bei den meisten beobachten, was für die Therapie einen wichtigen Punkt darstellt.

Somit kann man abschließend zu dem Ergebnis kommen, dass es in allen Untersuchungen zu einer Veränderung und in den meisten Fällen sogar zu einer

Reduktion des prolabierte Bandscheibenmaterials, bei Durchführung der einzelnen Bewegungen, kommt. Dies konnte vor allem sehr gut bei den Extensionsbewegungen, die der Patient durchgeführt hat, beobachtet werden. Ebenso ließ sich, eine Veränderung im Verlauf der Bewegungen feststellen. Nach den Extensionsbewegungen im anschließenden Ruhezustand kam es ebenfalls zu einer Veränderung des Prolaps. Dies ist für die physiotherapeutische Behandlung ein äußerst wichtiger Hinweis.

Messbarkeit im Tomographen

Ein weiterer Aspekt dieser Arbeit war, ob sich diese Veränderungen auch tomographisch messen lassen. Auch dies kann man eindeutig bestätigen. Dank der modernen und hochauflösenden MR-Tomographen konnten die Veränderungen der prolabierte Bandscheiben in allen Patienten-, wie auch Probandenfällen gemessen werden. Es war hier zum ersten Mal möglich funktionelle Bewegungen in einem MRT durchzuführen, da die bisherigen Geräte eine Flexion des Patienten im Tomographen unmöglich machten.

Hierbei kann man die Messung der maximal messbaren Distanz des Prolaps, wie auch die Flächenmessung der prolabierte Bandscheibe, der Volumetrie klar vorziehen. Diese beiden Messungen waren sehr genau durchzuführen und eindeutig reproduzierbar. Eine Änderung der Lagerung konnte hier das Ergebnis auch nicht derart beeinflussen wie es bei der Volumetrie, bedingt durch die Veränderung der Schicht bei den einzelnen Lagerungen, der Fall gewesen ist.

Wenn man diese Messungen miteinander vergleicht, korrelieren sie doch recht eindeutig mit den Ergebnissen aus der Physiotherapie.

Eine weitere Fragestellung für eine Folgestudie wäre nun, wie sich die Ausmessungen nach Beendigung bzw. bei Schmerzfreiheit des Patienten ändern würden. Wäre hier eine dauerhafte Reduktion des Prolaps zu beobachten? Dies würde eine weitere MRT Untersuchung des rehabilitierten Patienten nach sich ziehen.

Physiotherapeutische Behandlung

McKenzie Methode

Die Ergebnisse, die durch die MRT Untersuchung erzielt wurden und die nachgewiesene Messbarkeit der Prolaps-Veränderung, dienen für eine weitere Reflektion bei der physiotherapeutischen Behandlung der Patienten. Hier hat sich seit Anfang der 80er Jahre das McKenzie Konzept bewährt.

Ein spezieller Zugang zu dieser Frage wurde von dem neuseeländischen Physiotherapeuten McKenzie beschrieben. Dieser fand heraus, dass man wiederholt endgradige Bewegungen der Wirbelsäule auch als diagnostische Strategie einsetzen konnte. Durch seine langjährigen Studien der Anatomie, Gewebeverletzungen sowie Heilung und Kenntnis typischer Symptome bei bestimmten Erkrankungen entwickelte er seine Hypothese über die Ursache einiger Rückenschmerzsymptome. Die typischen Symptome der Zentralisierung und Peripheralisierung interpretierte McKenzie als Hinweis auf einen Bandscheibenschaden. [39, 40]

In diesem Zusammenhang bedeutet Zentralisierung, dass sich die Ausdehnung des ausstrahlenden Schmerzes bis zur Mittellinie des Rückens zurückziehen kann und somit nicht die typischen, in ein Bein ausstrahlenden, Schmerzen auftreten.

Als Peripheralisierung wird hingegen die entgegengesetzte Ausdehnung des Schmerzes bezeichnet. Die Schmerzausstrahlung geht somit weg vom Rücken zur Peripherie bzw. nach distal in ein Bein.

Auf diese Art und Weise kann man einen Bandscheibenschaden diagnostizieren, auch wenn die nichtinvasiven bildgebenden Methoden wie MRT oder CT keine Schädigung erkennen lassen. Diese Methode kann im Falle eines nicht bildgebend diagnostizierten Bandscheibenvorfalles sehr hilfreich sein, wenn ein Patient unter nicht diagnostizierbaren Rücken- bzw. Nackenschmerzen leidet. [41, 42, 43]

Bei Patienten mit neuroradiologisch nachgewiesenem Bandscheibenprolaps lässt sich mit dieser Methode der endgradigen Bewegung ebenfalls sehr gut abschätzen inwieweit sie von einer konservativen Therapie profitieren können. [44, 45, 46]

Durch eine physiotherapeutisch betreute Therapie, sowie ein anhand festgelegter Zielpunkte und Übungen für den Patienten erarbeiteter Trainingsplan, kann in einer akuten Phase die Symptome der Peripheralisierung und Schmerzen verbessern.

Nach Linderung der akuten Schmerzen werden zusätzlich Bewegungen der Extremitäten ergänzt, mit denen man die Beweglichkeit der Nervenwurzeln bzw. Nerven verbessern und erhalten soll. [47]

Alle therapeutischen Übungen sollen durch den Patienten einfach durchzuführen sein, da eine sehr gute Mitarbeit für die Genesung von äußerster Wichtigkeit ist.

Nach Besserung der Beschwerden ist ein weiteres Ziel, dass die Beweglichkeit der Wirbelsäule verbessert wird und dass durch Konditionstraining die Belastbarkeit des Patienten verbessert wird. Ziel ist es, dass unter normaler Belastung keine Schmerzen auftreten und die Arbeitsfähigkeit wieder hergestellt wird.

Ein wichtiger Punkt ist eine ausführliche Information des Patienten über die Pathogenese eines Bandscheibenvorfalles und die Mitverantwortung, die er bei der Therapie trägt. [23]

Auf diese Art und Weise werden viele Patienten nach der McKenzie Methode therapiert und eine Bandscheibenoperation kann so vermieden werden.

Dass die McKenzie Methode für die meisten Patienten eine Linderung ihres Leidens hervorbringt, wurde bereits in vielen Studien nachgewiesen.

In einer Studie des Medical College in Sarajevo wurde nachgewiesen, dass selbst durch Physiotherapeuten, die noch nicht sehr erfahren sind, sehr gute Therapieerfolge zu erzielen sind. Ganz wichtig ist jedoch immer die Mitarbeit der Patienten, die mindestens fünfmal am Tag ihre Übungen machen sollen. [48]

Tübinger Konzept

Eine weitere Frage dieser Studie war auch, inwieweit sich der therapeutische Effekt des Tübinger Konzepts aus diesen Untersuchungen erklären lässt und somit eine Besserung bzw. Schmerzfreiheit für den Patienten hinsichtlich der Therapie mit sich bringt.

Das Tübinger Konzept ist eine weiterentwickelte Art der McKenzie Methode. Es wurde von Tübinger Physiotherapeuten in Zusammenarbeit mit der neurologischen Universitätsklinik Tübingen entwickelt und seit 1997 immer weiter verbessert.

Dieses Konzept ist speziell für Patienten mit lumbalem Bandscheibenvorfall mit Schmerzen geeignet.

Die Patienten dieser Studie werden durch die physiotherapeutische Praxis Doris Brötz und Kollegen, die eine spezielle Weiterbildung in der McKenzie Methode absolviert haben, betreut.

Beim Tübinger-Konzept wurde hauptsächlich die Reihenfolge der Testbewegungen verändert und richtet sich danach, welche Bewegung voraussichtlich bei der Verdachtsdiagnose die Symptome lindert. Einen hohen Stellenwert bekam zusätzlich die Rotationsbewegung der Wirbelsäule, die in der McKenzie Methode gänzlich fehlt. Einen sehr großen Stellenwert nehmen zusätzlich die Bewegung der Extremitäten sowie die Behandlung eingeschränkter Nervengleitfähigkeit ein.

Das Konzept soll den Patienten eine dauerhafte Kräftigung sowie Schmerzfreiheit bringen und somit die baldige Eingliederung ins Arbeitsleben ermöglichen. [23]

Alle Patienten, die an der hier vorliegenden Studie teilgenommen haben wurden nach dem Tübinger Konzept therapiert und befinden sich nach wie vor in der Behandlung bzw. Präventionstherapie. Die Patienten haben einen speziell für sie erarbeiteten Trainingsplan bekommen, den sie zusammen mit den Therapeuten, sowie in Eigenarbeit zu Hause, wie auch in akuten Schmerzsituationen durchführen konnten. Eine regelmäßige Durchführung war für den Erfolg und die Schmerzfreiheit unerlässlich für jeden einzelnen.

Bezüglich dieser Arbeit lässt sich sagen, dass es hier auch möglich war eine MR-tomographische Flächen bzw. Volumen-Abnahme der prolabierte Bandscheiben zu messen und somit diese auch in Korrespondenz mit den Patienten Angaben zu bringen. 70% der Patienten hatten nach Abschluss der Physiotherapie keine Schmerzen mehr. Vier Patienten haben sich auf Grund immer noch andauernder Schmerzen einer Bandscheibenoperation unterzogen. Langzeitergebnisse der operierten Patienten lagen bis zum heutigen Tag nicht vor.

Ebenfalls lässt sich ein Zusammenhang zwischen dieser Art der Physiotherapie und der MR-tomographischen Untersuchung feststellen. Hierbei ließ sich nachweisen, dass man mittels der aufgenommenen MRT Bilder zeigen kann, dass sich die Position des Bandscheibenprolapses durch endgradige Bewegungen verändert, und somit auch die Schmerzen reduziert werden können.

Es ist nie eindeutig zu bestimmen, ab welcher Größe des Prolaps Schmerzen auftreten. Bei manchen Patienten wurde nur eine sehr kleine Einengung des Spinalkanals erkannt, wodurch es schon zu Schmerzen kam. In anderen Fällen stellte man stark prolabierte Bandscheiben fest, die jedoch kaum Schmerzen verursachten.

In einer Studie von 2008 wurden 11 Patienten mit einem Bandscheibenvorfall MR-tomographisch während einer Therapie nach McKenzie untersucht. In dieser Studie kam heraus, dass es bei allen Patienten zu einer Reduktion der Schmerzen, sowie zur Reduktion der durch den Prolaps hervorgerufenen Zeichen, kam. Jedoch konnte man keine Veränderungen der hervorgetretenen Bandscheibe in den MRT Bildern messen. So kam man, bei dieser Studie, zu keinem messbaren Ergebnis. Es wurden Alternative Möglichkeiten der Besserung der Schmerzen in Betracht gezogen. [49]

In der hier erarbeiteten Studie wurden 20 Patienten untersucht, wobei es bei 14 Patienten, die durch die McKenzie Methode nach dem Tübinger Konzept therapiert wurden zu einer Zentralisation ihrer Beschwerden kam und zudem zu einer Reduktion der Schmerzen.

Bei zwei Patienten kam es zu einer Besserung, jedoch zu keiner Zentralisation. Sechs Patienten erzielten keine Besserung. Ein Patient ließ sich sofort operieren, da er sehr stark Schmerzen hatte.

Ein sehr wichtiger Aspekt, der natürlich entscheidend für die Erfolgsquote der Therapie gewesen ist, war laut Frau Brötz das täglich mehrfache Üben der Patienten. Bei Patienten, bei denen weiterhin Schmerzen bestehen, war oftmals die Nachlässigkeit ihrerseits ein Hindernis für eine Rehabilitation und einer somit herbeigeführten Schmerzfreiheit.

Hieraus lässt sich nun erkennen, dass bei dieser Studie das Tübinger Konzept sehr erfolgreich eingesetzt wurde und eine Besserung der Beschwerden für den Patienten mit sich gebracht hat.

Somit kann als Resümee gesagt werden, dass das Tübinger Konzept nach McKenzie hinsichtlich der Therapie von Bandscheibenvorfällen eine sehr erfolgreiche Methode ist, was durch die Ausmessungen der MRT Bilder zusätzlich bestätigt wurde.

Schlussfolgerung

Die Therapie der endgradigen Bewegung, die häufige Extension der Wirbelsäule, sowie die typische Rotation der Wirbelsäule, die das Tübinger Konzept ausmacht, konnte sehr gut zeigen, dass dieses Konzept die hervorgetretenen Bandscheibenvorfälle bzw. ihr Symptomverhalten verbessert. Es konnte nachgewiesen werden, dass es zu einer Reduktion des durchgebrochenen Bandscheibenmaterials nach den Bewegungen des Tübinger Konzepts kommt.

Die MR-tomographischen Messungen korrespondieren mit den klinischen Befunden, die erhoben wurden. Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass es möglich ist die Veränderungen des Prolaps tomographisch zu messen und dass sich die Erfolge der Physiotherapie nach dem Tübinger Konzept auch in der Bildgebung auswirken bzw. messen lassen.

5. Zusammenfassung

Der Bandscheibenvorfall ist eine Erkrankung, die jeden treffen kann. Ausgelöst durch schwere körperliche Arbeit oder durch jahrelange falsche Körperhaltung kann es zur Degeneration der Bandscheiben kommen und somit zu dieser sehr schmerzhaften Erkrankung. Für den einzelnen kommt es im schlimmsten Fall zur Arbeitsunfähigkeit oder Einschränkung, für die Allgemeinheit bzw. für unser Gesundheitssystem zu sehr hohen Kosten für Behandlung und Rehabilitation.

Die vorliegende Studie beschäftigte sich mit der Frage, inwiefern man eine morphologische Veränderung eines Bandscheibenprolaps bei unterschiedlichen Bewegungen mittels der Magnetresonanztomographie messen kann und in welcher Weise die Physiotherapie auf den Vorfall Einfluss nehmen kann.

An einem 1,5 Tesla Magnetresonanztomographen (MRT) wurden 20 Patienten mit einem diagnostizierten Bandscheibenvorfall sowie ein Referenzkollektiv von 6 Probanden hinsichtlich des Bandscheibenprolaps untersucht.

Es zeigt sich, dass es durch die durchgeführten endgradigen Bewegungen in der physiotherapeutischen Behandlung zu einer Besserung der Symptome bzw. Schmerzen kam. Diese Lagerungen ließen sich MR-tomographisch sehr gut simulieren und nachmessen.

Hierbei ließ sich beobachten, dass das prolabierte Material der Bandscheibe in den meisten Fällen kleiner wurde. Sowohl nach den Bewegungen ließ sich ein Rückgang des Prolaps messen als auch besonders auffallend bei der Bewegung der Extension. Die Veränderung bzw. der Rückgang des Prolaps war bei den Probanden in noch größerem Maße zu messen. Dies kann auf Grund der noch stärker vorhandenen Beweglichkeit der Bandscheibe erklärt werden. Trotz allem ist selbst bei den Patienten die Verkleinerung deutlich messbar gewesen. Ein wichtiger Punkt ist zudem, dass man nie vom Volumen bzw. vom Ausmaß eines Prolaps auf die klinischen Beschwerden schließen kann. Dies gestaltet sich Patienten individuell. Nicht immer bedeutet ein großer Prolaps auch starke Schmerzen.

Die Extensionsbewegung ist ein Hauptmerkmal der McKenzie Methode und findet sich natürlich im Tübinger Konzept wieder. Diese Haltung sollte auch von gesunden

Menschen, die lange am Schreibtisch sitzen und sich somit in Flexionshaltung der Wirbelsäule befinden, als Ausgleich eingenommen werden. Gerade bei dieser Bewegung wurde beobachtet, dass die Spinalkanaleinengung geringer wurde und somit die Schmerzen nachließen.

Ein Hauptaugenmerk in dieser Studie wurde der Messbarkeit im MR-Tomographen geschenkt. Es war hier, auf Grund der neuen Geräte Generation, möglich die Bewegung der Flexion und Extension MR-tomographisch zu messen und somit die physiotherapeutische Behandlung im Tomographen zu simulieren, auszumessen und somit deren Wirkungsgrad besser zu verstehen.

Auf Grund der guten Bildgebung, der geringen Belastung für den untersuchten Patienten und die sehr gute Auswertbarkeit der Bilder erweist sich das MRT als Goldstandart für die Bandscheiben Diagnostik.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Methode nach McKenzie bzw. die weiterentwickelte Form, das Tübinger Konzept, sehr gut für die Behandlung eines Patienten mit Bandscheibenprolaps eignen. Hierdurch lassen sich invasivere Eingriffe vermeiden, schonen somit den Patienten und die Ausgaben des Gesundheitssystems. Die Veränderungen der Bandscheibe, die durch die Bewegungen zustande kamen, ließen sich dank des modernen MRT sehr gut nachmessen. Somit kann die Wirkungsweise dieser Therapie Konzepte besser verstanden werden und Patienten mit Schmerzen helfen.

6. Anhang

6.1. Literaturverzeichnis

- [1] Loeser JD, Volinn E. Epidemiology of low back pain. *Neurosurgery Clinics of North America*. 1991; 2:713-718
- [2] Waddell G. *The Back Pain Revolution*. London: Churchill Livingstone; 1998
- [3] Dr. med. Arne Schäffler, Dr. med. Sabine Schmidt; „Lehrbuch und Atlas des menschlichen Körpers“; Komet MA-Service und Verlagsgesellschaft mbH
- [4] Fritz U, Niethard M, Michael Weber, Karl-Dieter Heller, „Orthopädie compact“; Thieme Verlag
- [5] http://www.wirbel-gelenktherapie.ch/mediac/400_0/media/DIR_123/bandscheiben.jpg
- [6] Antje Hüter-Becker, Mechthild Dölken, Martin Hoffmann, „Physiotherapie in der Orthopädie“, Thieme Verlag
- [7] Werner Platzer, „Taschenatlas der Anatomie“, 7. Auflage, Thieme Verlag
- [8] Bogduk N, Twomey LT. *Clinical anatomy of the lumbar spine*. London Churchill Livingstone 1987
- [9] www.sportnetdoc.com/injury/10-02.htm
- [10] Krämer, Grifka „Orthopädie“, 7. Auflage, Springer Verlag
- [11] Komori H, Okawa A, Haro H, Shimomiya-Ki K, Yushima B. Factors predicting the prognosis of lumbar radiculopathy due to disc herniation. *J Orthop Sci* 2002;7:56-61

- [12] Rössler, Rüter, „Orthopädie“, 17. Auflage, Urban & Schwarzenberg Verlag
- [13] Frank H. Netter, „Netters Orthopädie“, Thieme Verlag
- [14] Adams MA, Hutton WC. Prolapsed intervertebral disc-a hyperflexion injury. Spine 1982;7:184-191
- [15] <http://www.neurochirurgie-northeim.de/image/zeichnung-bandscheibe.gif>
- [16] Achim Reichelt, „Orthopädie“, Enke Reihe zur AO
- [17] Wadell G, McCulloch JA, Kummel E, Venner RM. Nonorganic physical signs in low-back-pain. Spine.1980;5:117-125
- [18] Maitland G. Manipulation der Wirbelsäule. Berlin: Springer-Verlag, 1994
- [19] Pope MH, Magnusson M, Wilder DG. Kappa Delta Award. Low back pain and whole body vibration. Clin Orthop 1998;354:241-248
- [20] Weber H. The natural history of disc herniation and the influence of intervention. Spine 1994;19:2234-2238
- [21] Butler D.S. Mobilisation des Nervensystems. Springer Berlin, 1995
- [22] Donelson R, Aprill C, Medcalf R, Grant W. A prospective study of centralisation of lumbar and referred pain. Spine 1997;22:1115-1122
- [23] Brötz D, Weller M. Diagnostik und Therapie bei Bandscheibenschäden. Neurologie, Physiotherapie und das McKenzie-Konzept. Thieme Stuttgart 2004
- [24] Kauffmann, Moser, Sauer „Radiologie“, 2. Auflage, Urban & Fischer Verlag
- [25] Kauffmann, Moser, Sauer „Radiologie – Grundlagen der Radiodiagnostik, Radiotherapie und Nuklearmedizin“, Urban & Schwarzenberg Verlag

-
- [26] Bush K, Cowan N, Katz DE, Gishen P. The natural history of sciatica associated with disc pathology. A prospective study with clinical and independent radiologic follow-up. *Spine* 1992;17:1205-1212
- [27] Henmi T, Sairo K, Nakano S, Kanematsu Y, Kajikawa T, Kato S, Goel VK. Natural history of extruded lumbar intervertebral disc herniation. *J Med Invest* 2002;49:40-43
- [28] Maigne JY, Deligne B. Computed tomographic follow-up study of twenty-one cases of nonoperatively treated cervical intervertebral disc herniation. *Spine* 1994;19:189-191
- [29] Maigne JY, Rime B, Deligne B. Computed tomographic follow-up study of forty-eight cases of nonoperatively treated lumbar intervertebral soft disc herniation. *Spine* 1992;17:1071-1074
- [30] Reyentovich A, Abdu WA. Multiple independent, sequential, and spontaneously resolving lumbar intervertebral disc herniations. *Spine* 2002;27:549-553
- [31] Slavin KV, Raja A, Thornton J, Wagner FC. Spontaneous regression of a large lumbar disc herniation: report of an illustrative case. *Surg Neurol* 2001;56:333-336
- [32] Jinkins JR, Dworkin JS, Damadian RV. Upright, weight-bearing, dynamic-kinetic MRI of the spine: initial results. *Eur Radiol.* 2005 Sep;15(9):1815-25. Epub 2005 May 20th.
- [33] Scannell JP, McGill SM. Disc prolapse: evidence of reversal with repeated extension. *Spine.* 2009 Feb 15;34(4):344-50.
- [34] Kuwazawa Y, Bashir W, Pope MH, Takahashi K, Smith FW. Biomechanical aspects of the cervical cord: effects of postural changes in healthy volunteers using positional magnetic resonance imaging. *J Spinal Disord Tech.* 2006 Jul;19(5):348-52.

-
- [35] Adams MA, Hutton WC. Gradual disc prolapse Spine. 1985;10:524-542.
- [36] Fenell AJ, Jones PJ, Hukins DWL. Migration of the nucleus pulposus within the intervertebral disc during flexion and extension of the spine. Spine 1996, Dec 1; 21(23): 2753-2757
- [37] Ikeda T, Nakamura T, Kikuchi T, Umeda S, Senda H, Takagi K.
Pathomechanism of spontaneous regression of the herniated lumbar disc:
histologic and immunohistochemical study. J Spin Disorders 1996;9:136-140
- [38] Adams MA, May S, Freeman BJ, Morrison HP, Dolan P. Effects of backward bending on lumbar intervertebral discs. Relevance to physical therapy treatments for low back pain. Spine. 2000 Feb 15;25(4):431-7; discussion 438
Department of Anatomy, University of Bristol, United Kingdom.
M.A.Adams@Bristol.ac.uk
- [39] Donelson R, Grant W, Kamps C, Medcalf R. Pain response to sagittal end-range spinal motion. A prospective, randomized, multicentered trial.
Spine 1990;16:206-211
- [40] McKenzie R, May S. The Lumbar Spine: Mechanical Diagnosis and Therapy.
New Zealand: Spinal Publications Waikanae, 2003
- [41] Kilpikoski S, Airaksinen O, Kankaanpää M, Leminen P, Videman T, Alen M.
Interexaminer reliability of low back pain assessment using the McKenzie method. Spine. 2002 Apr 15;27(8):E207-14.
- [42] Stankovic R, Johnell O, Maly P, Willner S. Use of lumbar extension, slump test, physical and neurological examination in the evaluation of patients with suspected herniated nucleus pulposus. A prospective clinical study. Man Ther. 1999 Feb;4(1):25-32. Department of Orthopaedics, Malmö University Hospital, Lund University, Sweden.

-
- [43] Rapała A, Rapała K, Lukawski S. Correlation between centralization or peripheralization of symptoms in low back pain and the results of magnetic resonance imaging. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2006 Oct 31;8(5):531-6. *Klinika Ortopedii CMKP, Otwock.*
- [44] Brötz D, Weller M, Küker W, Dichgans J, Götz A. Mechanische physiotherapeutische Diagnostik und Therapie bei Patienten mit lumbalen Bandscheibenvorfällen. *Aktuelle Neurologie* 2001;28:74-81
- [45] Brötz D, Küker W, Maschke E, Wick W, Dichgans J, Weller M. A prospective trial of mechanical physiotherapy for lumbar disk prolapse. *Journal of Neurology* 2003;250:746-749
- [46] Lee RR, Abrahnam AA, Quinn CB. Dynamic physiologic changes in lumbar CSF volume quantitatively measured by three-dimensional fast spin-echo MRI. *Spine* 2001 May; 26(10) 1172-1178
- [47] Aina A, May S, Clare H. The centralization phenomenon of spinal symptoms a systematic review. *Man Ther.* 2004 Aug;9(3):134-43.
- [48] Skikić EM, Suad T. Interexaminer reliability of low back pain assessment using the McKenzie method . The effects of McKenzie exercises for patients with low back pain, our experience . *Bosn J Basic Med Sci.* 2003 Nov;3(4):70-5.
- [49] Broetz D, Hahn U, Maschke E, Wick W, Kueker W, Weller M Lumbar disk prolapse: response to mechanical physiotherapy in the absence of changes in magnetic resonance imaging. Report of 11 cases. *Neuro Rehabilitation* 2008 im Druck

6.2. Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
CT	Computertomographie
Diagr.	Diagramm
FoV	Field of view (Gesichtsfeld)
LWS	Lumbal-Wirbel-Säule
MRT	Magnetresonanztomographie oder auch Kernspintomographie
MDT	Mechanical Diagnosis and Treatment
NMR	Nuclear magnetic resonance
ROI	Region of interest
SD	Schichtdicke
Tab.	Tabelle
TE	Echozeit
TR	Repetitionzeit

6.3. Tabellen

Patient / Proband	max. messbare Distanz in cm				ROI des Prolaps (sag.) in cm ²			
	Ruhelage Flexion	Extension	Ruhelage post.	Ruhelage	Flexion	Extension	Ruhelage post.	Ruhelage
1 sagittal	0,95	1	1	0,98	1,06	0,76	1,06	1,06
2 sagittal	0,78	0,83	0,77	0,97	0,95	0,8	0,93	0,93
3 sagittal	0,17	0,24	0,16	0,26	0,22	0,23	0,22	0,22
4 sagittal	0,58	0,51	0,55	0,58	0,57	0,52	0,64	0,64
5 sagittal	0,63	0,7	0,65	0,79	0,76	0,89	0,84	0,84
6 sagittal	0,56	0,64	0,73	0,76	0,83	0,69	0,79	0,79
7 sagittal	0,73	0,78	0,74	0,82	0,96	0,76	0,89	0,89
8 sagittal	1,08	1,11	1,03	1,11	1,19	1,17	1,26	1,26
9 sagittal	0,41	0,45	0,4	0,5	0,5	0,41	0,42	0,42
10 sagittal	0,48	0,59	0,43	0,49	0,57	0,47	0,56	0,56
11 sagittal	0,63	0,76	0,62	0,54	0,57	0,53	0,57	0,57
12 sagittal	0,55	0,43	0,51	0,71	0,82	0,64	0,65	0,65
13 sagittal	0,45	0,43	0,35	0,5	0,43	0,32	0,42	0,42
14 sagittal	0,41	0,57	0,34	0,54	0,53	0,47	0,61	0,61
15 sagittal	0,42	0,21	0,38	0,55	0,6	0,51	0,53	0,53
16 sagittal	0,53	0,52	0,48	0,65	0,63	0,51	0,65	0,65
17 sagittal	0,86	0,87	0,86	0,89	1	0,93	0,87	0,87
18 sagittal	0,72	0,53	0,71	0,64	0,61	0,6	0,59	0,59
19 sagittal	0,53	0,5	0,45	0,7	0,63	0,57	0,67	0,67
20 sagittal	0,71	0,68	0,6	0,6	0,53	0,37	0,54	0,54
1 sagittal	0,3	0,24	0,26	0,36	0,47	0,37	0,35	0,35
2 sagittal	0,25	0,23	0,23	0,28	0,29	0,27	0,23	0,23
3 sagittal	0,51	0,53	0,5	0,58	0,65	0,56	0,51	0,51
4 sagittal	0,43	0,39	0,44	0,51	0,64	0,61	0,36	0,36
5 sagittal	0,67	0,63	0,48	0,62	0,69	0,46	0,43	0,43
6 sagittal	0,29	0,38	0,25	0,26	0,36	0,23	0,23	0,23

Tab. 6-1: Daten der Messungen

Patient / Proband	max. messbare Distanz des Prolaps in cm				ROI des Prolaps (trans.) in cm ²				Volumen des Prolaps in cm ³					
	Ruhelage	Flexion	Extension	Ruhelage post.	Ruhelage	Flexion	Extension	Ruhelage post.	Ruhelage	Flexion	Extension	Ruhelage post.		
1	transversal	0,7	0,72	0,82	0,82	2,86	2,6	2,3	2,53	sagittal	16,32	15,09	15,36	13,73
2	transversal	0,7	0,72	0,82	0,82	2,86	2,6	2,3	2,53	sagittal	15,58	13,6	12,32	14,83
3	transversal	0,38	0,32	0,12	0,15	0,36	0,41	0,37	0,34	sagittal	11,84	12,14	10,08	9,72
4	transversal	0,55	0,5	0,43	0,38	0,96	0,9	0,74	0,79	sagittal	9,81	6,12	8,49	8,18
5	transversal	0,63	0,6	0,58	0,67	1,25	1,28	1,11	1,05	sagittal	8,71	15,84	19,01	14,92
6	transversal	0,38	0,37	0,35	0,35	2,75	2,8	2,61	2,73	sagittal	17,25	17,34	13,6	17,25
7	transversal	0,31	0,3	0,27	0,34	1,17	1,38	0,96	1,18	sagittal	12,67	13,6	12,58	17,95
8	transversal	0,85	0,75	0,67	0,67	1,28	1,22	1,28	1,21	sagittal	14,74	15,97	13,46	15,66
9	transversal	0,08	0,1	0,18	0,08	1,98	2,13	2,34	2	sagittal	7,08	9,99	6,91	7,96
10	transversal	0,15	0,15	0,18	0,15	1,35	1,39	1,3	1,39	sagittal	6,78	8,23	8,32	7,17
11	transversal	0,45	0,37	0,3	0,33	1,66	1,72	1,65	1,57	sagittal	10,38	8,05	7,04	7,7
12	transversal	0,35	0,28	0,26	0,21	2,6	2,85	2,3	2,45	sagittal	11,22	10,43	7,57	10,34
13	transversal	0,24	0,23	0,22	0,18	1,48	1,35	1,31	1,43	sagittal	6,73	6,6	5,41	6,47
14	transversal	0,24	0,26	0,17	0,19	1,67	1,49	1,54	1,64	sagittal	6,86	6,69	7,74	7,57
15	transversal	0,26	0,33	0,25	0,22	1,44	1,52	1,5	1,41	sagittal	6,03	6,16	6,51	6,03
16	transversal	0,33	0,36	0,29	0,28	2,42	2,21	1,96	2,21	sagittal	10,74	10,96	8,71	11,22
17	transversal	0,57	0,56	0,49	0,54	0,95	1,05	0,65	0,81	sagittal	10,03	10,34	10,03	10,38
18	transversal	0,3	0,36	0,31	0,23	1,32	0,79	0,65	0,64	sagittal	8,05	8,18	4,62	7,57
19	transversal	0,27	0,24	0,23	0,24	2,03	2,21	2,17	1,94	sagittal	10,87	10,38	8,62	8,93
20	transversal	0,23	0,3	0,22	0,21	1,48	1,55	1,3	1,43	sagittal	6,91	8,14	5,59	6,73
1	transversal	0,08	0,14	0,12	0,08	1,78	1,82	1,73	1,75	sagittal	6,16	6,56	6,56	5,5
2	transversal	0,09	0,14	0,1	0,07	1,96	2,12	1,91	1,87	sagittal	4,09	4,71	5,15	3,87
3	transversal	0,21	0,16	0,12	0,21	2,1	2,06	1,85	2,06	sagittal	6,73	6,64	6,91	7,39
4	transversal	0,13	0,14	0,18	0,15	0,74	0,71	0,65	0,7	sagittal	8,62	8,54	7,88	9,86
5	transversal	0,35	0,31	0,24	0,31	0,43	0,32	0,27	0,38	sagittal	10,03	7,08	8,89	10,6
6	transversal	0,17	0,21	0,12	0,13	2,44	2,65	2,56	2,37	sagittal	4,93	5,9	5,72	4,8

Tab. 6-2: Daten der Messungen

6.4. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Stephan Miller, der mir durch die Aufnahme in seine Arbeitsgruppe die Durchführung meiner Doktorarbeit ermöglichte und mit seiner Erfahrung, seiner Fähigkeit, ein angenehmes Arbeitsklima zu schaffen und seiner Hilfsbereitschaft, stets zum Gelingen der Arbeit beitrug.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Jörg Döring für die persönliche Einarbeitung, durch die meine Begeisterung für diese Untersuchungsmethode geweckt wurde, seine hervorragende Betreuung, Geduld und dafür, dass er immer für mich da war.

Ich danke Herrn Dr. Achim Seeger für seine wertvollen Anregungen und seine Hilfsbereitschaft während der gesamten Zeit.

Weiterhin möchte ich Frau Dr. Christiane Bretschneider für ihre Kooperation und ihr persönliches Interesse, die Untersuchungen und Auswertungen voranzutreiben danken.

Danken möchte ich auch den Physiotherapeuten Frau Doris Brötz und Susanne Burkhard für die Diagnostik aller Patienten und für ihre vielen wertvollen Anregungen und Ideen.

Außerdem möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der kernspintomographischen Abteilung für die Unterstützung und Kooperation bei meiner Arbeit bedanken.

Vielen Dank auch meiner lieben Frau Anja, für ihre immer sehr guten Ratschläge und Hilfestellungen, sowie ihrer immer wieder lieben Aufheiterungen. Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern danken, die mir dieses Studium und die Zeit für diese Promotion eingeräumt haben und mir mit Rat und Tat beiseite standen.