

**Aus der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. Ralf-Ingo Ernestus**

**Retrospektive Analyse zur Bedeutung der Myelographie für die
Indikationsstellung zur Dekompressionsoperation bei zervikalen
degenerativen Spinalkanalstenosen**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von
Christina Dörr
aus Darmstadt**

Würzburg, April 2015

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Thomas Westermaier

Korreferent: Prof. Dr. med. László Solymosi

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 04.04.2016

Die Promovendin ist Ärztin

Meinen Lieben.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Thema der Arbeit | 1 |
| 1.2 Anatomie der zervikalen Wirbelsäule und des Wirbelkanals | 2 |
| 1.3 Pathologische Veränderungen der degenerativen Spinalkanalstenose | 3 |
| 1.4 Einteilung der Spinalkanalstenose | 4 |
| 1.5 Klinisches Erscheinungsbild der Spinalkanalstenose | 6 |
| 1.6 Diagnostik der Spinalkanalstenose | 8 |
| 1.6.1 Klinische Untersuchung | 8 |
| 1.6.2 Elektrophysiologische Untersuchungen | 8 |
| 1.6.3 Radiologische Untersuchungen | 9 |
| 1.7 Differentialdiagnosen der Spinalkanalstenose | 12 |
| 1.8 Therapie der Spinalkanalstenose | 12 |
| 1.8.1 Konservative Therapie | 13 |
| 1.8.2 Operative Therapie | 14 |
| 2. Material und Methoden | 18 |
| 2.1 Fälle | 18 |
| 2.2 Begutachter | 18 |
| 2.3 Erhebungsbögen | 19 |
| 2.4 Begutachterbögen | 19 |
| 2.5 Software zur Darstellung radiologischer Bilddateien: OsiriX | 20 |
| 2.6 Ablauf der einzelnen Begutachterdurchgänge | 20 |
| 2.7 Datenanalyse | 21 |
| 2.7.1 Primärer Endpunkt | 21 |
| 2.7.2 Sekundäre Endpunkte | 21 |
| 2.7.3 Statistische Auswertung | 21 |

| | |
|---|----|
| 3. Ergebnisse | 22 |
| 3.1 Studienablauf | 22 |
| 3.2 Demographische Daten | 22 |
| 3.2.1 Geschlecht | 22 |
| 3.2.2 Alter | 22 |
| 3.2.3 Indikation zur Myelographie | 23 |
| 3.3 Primärer Endpunkt: Intraobserver-Variabilität | 24 |
| 3.3.1 Unterschiede in der Indikationsstellung | 24 |
| 3.3.2 Intraobserver-Variabilität in Abhängigkeit der Myelographieindikation | 26 |
| 3.4 Sekundärer Endpunkt: Interobserver-Variabilität | 27 |
| 3.4.1 Interobserver-Variabilität in der Magnetresonanztomographie im Vergleich zur Myelographie | 27 |
| 3.4.2 Interobserver-Variabilität in Abhängigkeit der Myelographieindikation | 28 |
| 3.5 Änderung der Therapiestrategie durch die Myelographieuntersuchung | 29 |
| 3.6 Bedeutung von Nativ-Röntgen und Nativ-CT Diagnostik | 32 |
| 4. Diskussion | 34 |
| 4.1 Die Intraobserver-Variabilität | 39 |
| 4.2 Die Auswirkungen der nativen CT- und Röntgenbilder | 39 |
| 4.3 Die Interobserver-Variabilität | 41 |
| 5. Zusammenfassung | 45 |
| 6. Anhang | 46 |
| 6.1 Abbildungsverzeichnis | 46 |
| 6.2 Tabellenverzeichnis | 47 |
| 7. Literaturverzeichnis | 50 |
| 8. Danksagung | |
| 9. Lebenslauf | |

1. Einleitung

1.1 Thema der Arbeit

Mit zunehmender Lebenserwartung steigt die Prävalenz degenerativer Erkrankungen der Wirbelsäule mit wachsender Bedeutung in der täglichen Praxis (1; 2). Circa 75% der über 70-Jährigen leiden unter degenerativen Veränderungen der Halswirbelsäule (HWS) (3). Daraus kann eine Verengung des zervikalen Spinalkanals mit Kompression des zervikalen Rückenmarks oder der abgehenden Nervenwurzeln resultieren.

Wesentlich für die Therapieentscheidung ist die Übereinstimmung von klinischem und bildgebendem Befund. Zur bildgebenden Darstellung stehen verschiedene radiologische Untersuchungsverfahren zur Verfügung. Die Standarduntersuchung ist heute die Magnetresonanztomographie (MRT). Bei Diskrepanz zwischen der klinischen Symptomatik und dem MRT-Befund wird nach den aktuellen Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der zervikalen spondylothischen Myelopathie die Durchführung einer Myelographie empfohlen (4). Die Myelographie war bis zur Einführung der Magnetresonanztomographie die Standarduntersuchung bei zervikalen Spinalkanalstenosen. Da sich die Qualität dieser in den letzten Jahren verbessert hat, ist die Rolle der Myelographie im heutigen diagnostischen Setup unklar (5-7). Als zusätzliche Untersuchungsmodalität bringt sie einen Zugewinn an Informationen, insbesondere über die Lagebeziehung des Rückenmarks und der abgehenden Nervenwurzeln und –faszikel zu raumfordernden Prozessen. Es ist allerdings bislang nicht untersucht worden, ob dieser Zugewinn an Informationen das therapeutische Procedere beeinflusst. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, ob die zusätzliche Durchführung einer Myelographie und eines postmyelographischen CT (MCT) die Indikation zur Operation und das Ausmaß der Operation bei zervikalen Spinalkanalstenosen verändert.

1.2 Anatomie der zervikalen Wirbelsäule und des Wirbelkanals

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Segmenten, wobei sich die ersten beiden, Atlas und Axis, von den restlichen fünf Wirbeln in ihrem Aussehen und ihrer Funktion unterscheiden.

Der 3. bis 6. Halswirbel sind von ähnlichem Aussehen, sie besitzen im seitlichen Fortsatz das Foramen transversale für die Arteria vertebralis. Das durch den Wirbelbogen gebildete Foramen vertebrale, in dem das Rückenmark verläuft, ist dreieckig geformt. Die Processus spinosi, die hinteren Fortsätze, sind kurz, am Ende gespalten und nach kaudal ausgerichtet. Der Processus spinosus des 7. Halswirbelkörpers, Vertebra prominens, ist relativ lang und dadurch leicht zu tasten (8). Er dient als Orientierungspunkt bei der körperlichen Untersuchung.

Die Wirbelkörper werden durch die Zwischenwirbelscheiben, Disci articulares, miteinander verbunden. Diese dienen der optimalen Gewichts- und Druckverteilung. Der Nucleus pulposus, ein Relikt der Chorda dorsalis, die in der embryologischen Entwicklung als Leitschiene für die Wirbelsäulenentwicklung fungiert, besteht aus Kollagen und Proteoglykanen, die durch Osmose sehr viel Wasser speichern können. Der osmotische Gradient wirkt der Kompression durch den aufrechten Gang entgegen, ein ständiges Wassereinströmen und Wasserausströmen ist die Folge (9). Gehalten wird der Nucleus pulposus durch einen bindegewebehaltigen Faserring, den Anulus fibrosus, eine zugfeste Hülle, welche hauptsächlich aus konzentrisch angeordneten Kollagenfibrillen besteht.

Die Zwischenwirbelscheiben sind sowohl über die Wirbelkörperdeckplatten mit dem Wirbelkörper selbst als auch mit dem hinteren Längsband, Ligamentum longitudinale posterior fest verbunden und hemmen somit die Beugung der Wirbelsäule. Das anteriore Längsband verbindet die Wirbelkörper miteinander

und hemmt die Wirbelsäulenstreckung. Die Wirbelbögen werden durch die Ligamenta flava miteinander verbunden, sie lassen das Foramen intervertebrale frei, durch das Gefäße und die Spinalnerven durchtreten. Dadurch hemmen sie die übermäßige Ventralflexion.

1.3 Pathologische Veränderungen der degenerativen Spinalkanalstenose

Die Wirbelsäule bietet Stabilität bei gleichzeitig großer Beweglichkeit. Der Beginn degenerativer Prozesse findet sich meist an den Bandscheiben, die durch Wassermangel (Dehydratation) in ihrer Höhe reduziert sind, wodurch unter Umständen die physiologische Halslordose (Vorwärtskrümmung der Halswirbelsäule) aufgehoben werden kann (10; 11). Die Abnahme der Bandscheibenhöhe führt in erster Linie zu einer Höhenminderung der Neuroforamina, unter Umständen auch zu einem Einfalten von dorsalen Bandkomponenten, insbesondere des Ligamentum flavum. Abnutzungsbedingte arthrotische Veränderungen der Wirbelgelenke können zu einem reaktiven Anbau von Knochen führen, mit zusätzlicher Einengung des Spinalkanals. Eine möglicherweise daraus resultierende Mindermobilität in den Gelenkkomplexen kann zu einem beschleunigten Verschleiß angrenzender Gelenke, degenerativer Lockerung der Gelenkkapsel und zu einer Instabilität mit Wirbelgleiten führen (12; 13). Die wichtigsten degenerativen Prozesse sind in Abbildung 1.1 dargestellt.

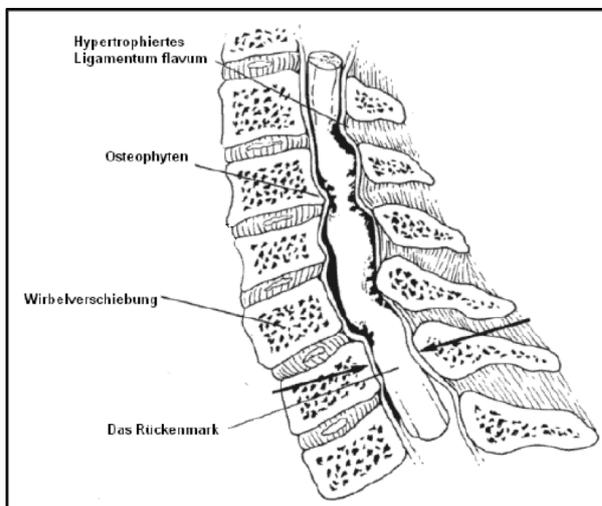


Abb.1.1: Schematische Darstellung der wichtigsten degenerativen Prozesse der zervikalen Wirbelsäule. Hypertrophierte Ligamenta flava, osteophytäre Randanbauten, sowie Wirbelverschiebung (Spondylolisthese) führen zu einer Einengung des Rückenmarkkanals (→) (14)

Bandscheibenvorfälle oder –vorwölbungen und das hintere Längsband können durch degenerative Prozesse verknöchern und so den Zervikalkanal einengen. Eine Sonderform ist die Ossifikation des hinteren Längsbands (OPLL), die sowohl genetische als auch ethnische Komponenten hat. Kalzifikationen der spinalen Weichteilstrukturen werden durch wiederholten mechanischen Stress wahrscheinlich begünstigt (15). Fibrotisch veränderte Gefäße führen zu Kalzifizierung und knorpeliger Proliferation des posterioren Längsbandes und anschließend zu dessen Verknöcherung (16).

Die genannten degenerativen Veränderungen oder deren Kombination sind in der Lage den Durchmesser des Spinalkanals einzuengen und Druck auf das Rückenmark oder die abgehenden Nervenwurzeln auszuüben (17). Eine zusätzliche Reduktion des Durchmessers des Wirbelkanals kann bei der Extension (Streckung) des Nackens entstehen, da sich dabei die weichen Ligamenta flava von dorsal in den Spinalkanal einfallen, hier ist die Entstehung von myelopathischen Symptomen häufig (18; 19). Am häufigsten tritt eine Einengung des Spinalkanals zwischen dem Fünften und Sechsten, am zweithäufigsten zwischen dem sechsten und siebten Halswirbel auf (3; 20).

1.4 Einteilung der Spinalkanalstenose

Die Spinalkanalstenose kann nach Ätiologie, nach ihrer Lokalisation oder nach ihrer Ausdehnung eingeteilt werden.

Ätiologisch wird zwischen einer primären oder auch kongenitalen, bei Geburt bereits bestehende, und einer sekundären, erworbene Stenose unterschieden. Die sekundären Stenosen werden nochmals in degenerative (durch Abnutzung), kombiniert degenerativ mit kongenitalen prädisponierenden Faktoren, spondylolisthetisch bedingte, posttraumatische (nach Unfallereignis), metabolische (stoffwechselbedingt) und iatrogene (durch ärztliches Handeln hervorgerufen) unterteilt (12).

Am häufigsten sind erworbene degenerative Spinalkanalstenosen, die Gegenstand dieser Studie sind.

Des Weiteren kann die Spinalkanalstenose auch nach ihrer Lokalisation eingeteilt werden, zentrale Einengung des Rückenmarkkanals oder laterale Einengung der Foramina intervertebralia, durch die die Spinalnerven austreten (12).

Eine zentrale Stenose kann sowohl durch knöcherne Strukturen, als auch durch Weichteilvorwölbung bedingt sein. Nach Ausnutzung der subepiduralen und subarachnoidalen Reserveräume wird zentral das Myelon mit den zuführenden Gefäßen komprimiert (siehe Abb.1.2) (21). Der physiologische Durchmesser des zervikalen Wirbelkanals beträgt 17,6 mm bis 18,8 mm, gemessen in der Höhe des 3. bis 7. Halswirbelkörpers. Durchmesser, die einen kleineren Durchmesser als 12 mm haben, begünstigen das Auftreten einer Myelopathie (22). Individuelle konstitutionelle Merkmale, wie z.B. Geschlecht, müssen bei der Begutachtung der Kanalweite berücksichtigt werden (23).



Abb.1.2: Zentrale Stenose durch hypertrophiertes Knochenwachstum. Das Rückenmark wird zentral komprimiert. Ursachen könnten auch ein verknöchertes posteriores Längsband oder ein medialer Bandscheibenvorfall sein (24).

Weiter lateral können die austretenden Nervenwurzeln in den Foramina intervertebralia durch meist arthrotisch veränderte Facettengelenke komprimiert werden (siehe Abb.1.3). Dies führt meist einseitig zu einer radikulären dermatombezogenen Symptomatik.

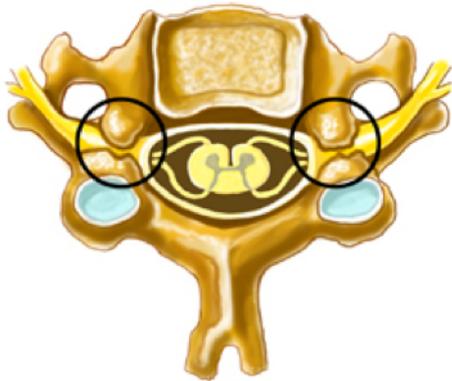


Abb.1.3: Laterale Stenose durch degenerativ bedingte hypertrophierte Facettengelenke. Die austretenden Spinalnerven werden komprimiert. Ursachen könnten auch ein lateraler Bandscheibenvorfall oder verkalkte Ligamenta flava sein (24).

Kombinationen von degenerativ bedingten zentralen und lateralen Stenosen sind möglich. Ebenso muss eine Stenose nicht auf ein Segment beschränkt sein, sie kann sich auch über mehrere Segmente erstrecken, so genannte multisegmentale Stenosen (12; 25).

1.5 Klinisches Erscheinungsbild der Spinalkanalstenose

Degenerativ bedingte Stenosen treten ab dem 50. Lebensjahr auf (26; 27), wohingegen sich kongenitale Stenosen meist bis zum 40. Lebensjahr manifestieren (12). Die Inzidenz von akuten Bandscheibenvorfällen hat ihren Höhepunkt um die 4. Dekade (9).

Myelopathie – Beschwerden und Symptome bedingt durch Rückenmarkschädigung (28; 29):

Das Erscheinungsbild und der Spontanverlauf der Myelopathie sind sehr unterschiedlich. In den meisten Fällen werden als Erstmanifestationen Sensibilitätsstörungen und Feinmotorikstörungen der Hände oder eine

Gangataxie als Ausdruck einer Kompression der Hinterstränge des Rückenmarks diagnostiziert. Im weiteren Verlauf kann es zu motorischen Ausfällen, Paresen und Atrophien der Handmuskeln mit Verlust der Feinmotorik als Spätfolge zu Paraspastik (Steigerung des Muskeltonus), Reflexsteigerungen und Pyramidenbahnzeichen (pathologische Reflexe), spastischer Gangstörung sowie Störung der Mastdarm- und Blasenfunktion kommen.

Die Operationsindikation bemisst sich sowohl am Ausmaß der neurologischen Störungen, den Alltagsbeeinträchtigungen sowie des morphologisch bildgebenden Befundes (30). Es besteht aber keine unbedingte Korrelation zwischen dem Grad der Stenose und der Ausprägung der Beschwerden (12).

Radikulopathie – Schmerzen und Symptome im Bereich einer betroffenen Nervenwurzel:

Häufig bestehen Schmerzen im Nacken und Schulterbereich, die auch in Richtung Hinterkopf ausstrahlen können. Bewegung kann den Schmerz sowohl auslösen als auch verstärken. Hinzu kommt eine reflektorisch verspannte Halsmuskulatur oder in den Arm ausstrahlende Schmerzen (Zervikobrachialgie). Für die zervikale Radikulopathie ist die typischerweise dermatombezogene Symptomatik richtungsweisend. Durch das klinische Erscheinungsbild der Schmerzen, der sensiblen oder motorischen Ausfälle, kann in der Regel die betroffene Spinalwurzel identifiziert werden. Sensibilitätsstörungen, die in diesem Rahmen auftreten, sind in den meisten Fällen eine Hypästhesie oder Parästhesie, seltener auch eine Überempfindlichkeit (Hyperästhesie) des betroffenen Hautareals.

Das Ausmaß der nervenwurzelbezogenen Minderung der Kraft kann mit Hilfe der Kraftgrade objektiviert werden (31):

- | | |
|--------|--|
| Grad 0 | Völlige Lähmung (Paralyse ohne jede Kraftentfaltung) |
| Grad 1 | Sichtbare Kontraktion ohne motorischen Effekt |
| Grad 2 | Bewegung bei Ausschaltung der Schwerkraft möglich |
| Grad 3 | Bewegung gegen die Schwerkraft möglich |
| Grad 4 | Bewegung gegen Widerstand kraftgemindert möglich |
| Grad 5 | Normale Kraftentfaltung |

1.6 Diagnostik der Spinalkanalstenose

1.6.1 Klinische Untersuchung

Bei der Anamneseerhebung stehen die subjektiven Beschwerden, Probleme und der konkrete Anlass des Arztbesuches im Mittelpunkt. Zur Diagnostik der Spinalkanalstenose müssen insbesondere folgende Punkte abgeklärt werden: Vor- sowie Begleiterkrankungen, Voroperationen, mögliche Triggerereignisse wie z.B. Traumata, Beginn und Verlauf der Symptomatik sowie eine möglichst exakte Höhenlokalisierung des Krankheitsprozesses.

Im Rahmen der neurologischen Untersuchung werden die Hirnnerven, die Sensibilität mit den unterschiedlichen Qualitäten wie z.B. Schmerz, Vibration, Kälte- oder Wärmeempfinden, Willkürmotorik, Muskelatrophien und Veränderungen der Muskelspannung (Spastik, Lähmung oder Rigor) beurteilt, durch Untersuchung der Muskelkraft durch Halteversuche oder die erbrachte Kraftentfaltung im Seitenvergleich.

Es folgt die Beurteilung der Muskeleigenreflexe (z.B. Bicepsreflex, Quadrizepsreflex und Achillessehnenreflex), pathologischer Reflexe (z.B. Babinski-Zeichen), sowie die Koordinationsprüfung und die Erhebung eines orientierenden neuropsychologischen Befundes.

1.6.2 Elektrophysiologische Untersuchungen

Bei spezifischen Fragestellungen und Verdacht auf eine radikuläre Läsion kann der Untersucher eine Elektromyographie (EMG) durchführen. Hierbei wird die Zweipunkt-Differenz des elektronischen Potentials an einem Muskel in Ruhe sowie bei Willkürinnervation beurteilt (32). Mit Hilfe der EMG kann zwischen neurogenen und muskulären Paresen unterschieden werden (31). Bei der Elektroneurographie werden die motorischen und sensiblen Nervenleitgeschwindigkeiten (NLG) des peripheren Nervens gemessen (33). Zur weiteren Objektivierung der Beschwerden bei zervikalen Myelopathien wird die Durchführung von evozierten Potentialen empfohlen (4). Es wird ein elektrischer Impuls an sensiblen Nerven, meist am Nervus medianus oder dem Nervus tibialis, gesetzt und deren kortikale Antwort aufgezeichnet. Diese

somatosensiblen evozierten Potentiale (SSEP) erfassen Störungen in der sensiblen neuronalen Impulsverarbeitung und bilden die Hinterstrangfunktionen ab (31). Ebenfalls kann der motorische Kortex durch transkranielle Magnetstimulation erregt und die Antwort an Hand- bzw. Beinmuskeln in Form von motorisch evozierten Potenzialen (MEP) registriert werden. Durch pathologische Veränderungen, wie zum Beispiel Verlängerung der Leitungszeit oder Amplitudenminderung können Störungen im pyramidal-motorischen System diagnostiziert werden (31).

1.6.3 Radiologische Untersuchungen

Zur Diagnostik bei spinalen Beschwerden stehen dem Untersucher unterschiedliche radiologische Bildverfahren mit unterschiedlichen Indikationen, Kontraindikationen und unterschiedlicher Durchführung zur Verfügung. Die jeweiligen Vor- und Nachteile sind im Folgenden beschrieben. Meist findet man bei Patienten auch ohne klinische Beschwerden degenerative Prozesse (14% bei unter 40-Jährigen und 28% bei über 40-Jährigen) (34; 35). Daher sollten nur dann radiologische Bildverfahren angewandt werden, wenn klinische Beschwerden vorliegen.

Röntgen

Die Röntgenuntersuchung ist in der Medizin eine weit verbreitete Methode zur Basisdiagnostik. Es wird mittels Röntgenstrahlung eine Summendarstellung sich überlagernder Objekte zweidimensional auf einem Röntgenschirm abgebildet. Es gibt jeweils untersuchungsspezifische Standardtechniken, in denen eine definierte Ebene abgebildet wird. Sie gibt Informationen über die Segmentierung der Wirbelsäule und deren Stellung. Knöcherne Prozesse, Osteolysen und Spontanfusionen können durch eine native Röntgendiagnostik dargestellt werden. Zur weiteren Diagnostik können Funktionsaufnahmen in Inklination und Reklination durchgeführt werden, um die Beweglichkeit der Wirbelsäule darzustellen, insbesondere eine mögliche Hypermobilität.

Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie ist das Standardverfahren bei der Diagnostik von degenerativen Spinalkanalstenosen (4; 36). Trotz der kostspieligen Untersuchung wird sie vor allem bei lumbalen und zervikalen Bandscheibenvorfällen, bei Verlaufskontrollen von juvenilen Spondylolisthesen sowie bei der Beurteilung von Tumoren und intraduralen Prozessen zu Diagnosezwecken oder Therapieverlaufskontrollen eingesetzt. Es gibt eine Reihe von Kontraindikationen wie z.B. Patienten mit Herzschrittmacher.

Während der MRT-Untersuchung liegt der Patient in einem starken Magnetfeld. Die Atomkerne, Wasserstoffkerne (Protonen), werden hierbei in einem definierten magnetischen Gleichfeld ausgerichtet. Durch einen elektromagnetischen Impuls werden die einzelnen Atomkerne aus ihrer natürlichen Anordnung ausgelenkt. Wenn dieser wieder abgeschaltet wird, kehren sie in ihre vorherige Position zurück. Die dabei frei werdende Energie wird als Signal detektiert. Jede Körperregion gibt aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung andere Energie ab. So wird eine Gewebeszusammensetzung dargestellt. Das MRT-Bild kann durch Kontrastmittel noch verstärkt werden.

Es gibt unterschiedliche Untersuchungsmodalitäten in der Magnetresonanztomographie. Die geläufigsten sind die T1- und die T2-Wichtung. Bei T1-gewichteten Bildern erscheinen Substanzen mit kurzer T1-Relaxationszeit hell (z.B. Fett), Substanzen mit langer Relaxationszeit werden dunkel abgebildet (z.B. Wasser). Die chemischen Eigenschaften von Fett und Wasser unterscheiden sich dahingehend, dass die Atomkerne von Fett schneller in ihr Ausgangsenergielevel zurückspringen als die von Wasser. Wählt man einen späten Zeitpunkt der Signaldetektion nach Applikation des Auslenkimpulses spricht man von T2-gewichteten Sequenzen. In der Regel beträgt diese Zeitspanne hierbei >50 Millisekunden, wohingegen sie bei T1-gewichteten Sequenzen eher kürzer gewählt wird (>20 Millisekunden). Fett imponiert sowohl bei T1 als auch bei T2 hell. Im Gegensatz zu den Aufnahmen

in T1-Sequenzen werden Flüssigkeiten hell dargestellt, da die Wasserstoffprotonen in Wasser zum Zeitpunkt der Messung noch ausgelenkt sind. Mit der Magnetresonanztomographie ist eine Schichtrekonstruktion des untersuchten Körpers in allen Ebenen möglich (32).

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie wurden von den damals gültigen AWMF-Leitlinien (Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.) zur zervikalen spondyloischen Myelopathie von 2008 T1 und T2 sagittal und T2 axial gewichtete Bilder gefordert (4), in der aktualisierten Leitlinie von 2012 sind noch weitere Untersuchungen vorgesehen (37).

Computertomographie

Das Prinzip der Computertomographie (CT) ist eine computergestützte Bildkonstruktion von Röntgenschichtaufnahmen. Sie ist nach der Leitlinie der AWMF für die zervikale spondyloische Myelopathie ein ergänzendes Verfahren, insbesondere zur Abklärung knöcherner Veränderungen (4; 38). Daher ergibt sich ähnlich wie bei der Magnetresonanztomographie die Indikation bei zervikalem oder lumbalem Bandscheibenvorfall, sowie zur Abklärung eines tumorverdächtigen Befundes. Generiert werden die Röntgenschichtbilder in einer um den Patienten kreisförmig rotierenden Röntgenröhre.

Myelographie & postmyelographisches CT

Bei der Myelographie handelt es sich um eine kontrastmittelunterstützte Darstellung der Liquorräume des Subarachnoidalraums. Hierbei wird mittels einer Lumbalpunktion, in Einzelfällen auch durch eine suboccipitale Punktion, ein wasserlösliches jodhaltiges Kontrastmittel injiziert (39). Das Kontrastmittel wird anschließend mittels Kipptisch an den gewünschten Bereich gebracht. Anschließend werden in den gewünschten Ebenen Röntgenbilder angefertigt.

Diese Untersuchung hat ein definitives Risikospektrum. Hierzu zählen z.B. postpunktionelle Kopfschmerzen im Sinne eines Liquorverlustsyndroms, meningeale Reizung durch das Kontrastmittel, Allgemeinreaktionen und allergische Reaktionen auf das injizierte Kontrastmittel sowie Infektionen am Punktionsort und im Liquorraum (Meningitis), sowie das Auftreten von Krampfanfällen (40). Patienten mit bekannter Kontrastmittelallergie benötigen eine Vorbehandlung unter anderem mit Prednisolon. Daher wird eine Myelographieuntersuchung erst bei unklarem Befund in der Magnetresonanztomographie oder im CT durchgeführt (32). Im Anschluss wird mit dem bereits intraspinal injizierten Kontrastmittel ein CT durchgeführt.

1.7 Differentialdiagnosen der Spinalkanalstenose

Schwierig ist die Diagnose der Spinalkanalstenose vor allem bei Koexistenz von peripheren Nervenkompressionen, wie z.B. Karpal- oder Kubitaltunnelsyndromen oder peripheren Neuropathien bei z.B. Diabetes mellitus oder entzündlichen Vorgängen. Auch Traumata, Tumore, spinale Ischämien und neurodegenerative Erkrankungen müssen differentialdiagnostisch in Erwägung gezogen werden (4; 37). Bei Auftreten von Muskelatrophien, Muskelschmerzen oder neurologischen Ausfällen muss vor allem die Diagnose der subkortikalen vaskulären Enzephalopathie (SVE), der funikulären Myelose und chronische Myelitiden ausgeschlossen werden (37).

1.8 Therapie der Spinalkanalstenose

Das langfristige Behandlungsziel bei symptomatischen Spinalkanalstenosen ist einerseits eine Schmerzreduktion, andererseits die Rückkehr des Patienten in seine gewohnten Alltagsaktivitäten (41). Bei einer Beschwerdesymptomatik ohne neurologische Ausfälle wird zunächst eine nicht-chirurgische Therapie mit Medikamenten zur Schmerzkontrolle, Physiotherapie und Lifestyle-Veränderungen angestrebt. Erst nach Ausschöpfen der konservativen Maßnahmen und Persistenz der Beschwerden wird bei diesen

Patienten eine chirurgische Behandlung empfohlen. Wenn neurologische Defizite vorhanden sind, besteht grundsätzlich die Indikation zu einer operativen Behandlung. In die Entscheidung zur Operation und zur Art des operativen Vorgehens fließen schließlich noch weitere Kriterien ein, insbesondere die Narkosefähigkeit und die Vorerkrankungen des Patienten, die in einigen Fällen auch bei bestehender Operationsindikation einen operativen Eingriff unmöglich machen oder nicht gewinnbringend erscheinen lassen.

1.8.1 Konservative Therapie

Sie ist vor allem eine Therapie des „watchfull waiting“, des beobachtenden Abwartens und verschiedener Techniken, um die Muskulatur der Wirbelsäule zu stärken (42).

- Zur Immobilisation eignen sich weiche Halskrausen, die entweder tagsüber (43) oder nur nachts (44) getragen werden. Ein dauerhaftes Tragen ist allerdings auch mit der Gefahr verbunden, dass es zu einer Gewöhnung mit Atrophie der Halsmuskulatur kommen kann (4; 44; 45).
- Traktionsbehandlungen werden unter der Vorstellung durchgeführt, dass es zu einer Erweiterung der foraminale Öffnungen und damit zu einer Entlastung der abgehenden Nervenwurzeln kommt (44; 46).
- Bei Auftreten von Schmerzen finden zunächst Nicht-Opioid-Analgetika, wie z.B. nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR), aufgrund ihrer schmerzreduzierenden und anti-inflammatorischen Wirkung Verwendung (47; 48). Bei nicht adäquater Schmerzlinderung können analog zum Stufenmodell der World Health Organization (WHO) der Schmerzbehandlung niedrig-potente und auch betäubungsmittelpflichtige Opioide eingesetzt werden (49). Das WHO-Stufenschema wurde zur Behandlung von Tumorschmerzen aufgestellt, kann aber auch bei Schmerzen anderer Ursachen angewendet werden (siehe Abb.1.4). Als Co-Medikation können Antidepressiva (50; 51), oder zur kurzzeitigen Linderung, aufgrund des Nebenwirkungsprofils, auch Steroide eingesetzt

werden (51; 52). Seltener sollten Muskelrelaxanzien bei sekundären Muskelverspannungen verordnet werden (4; 48).

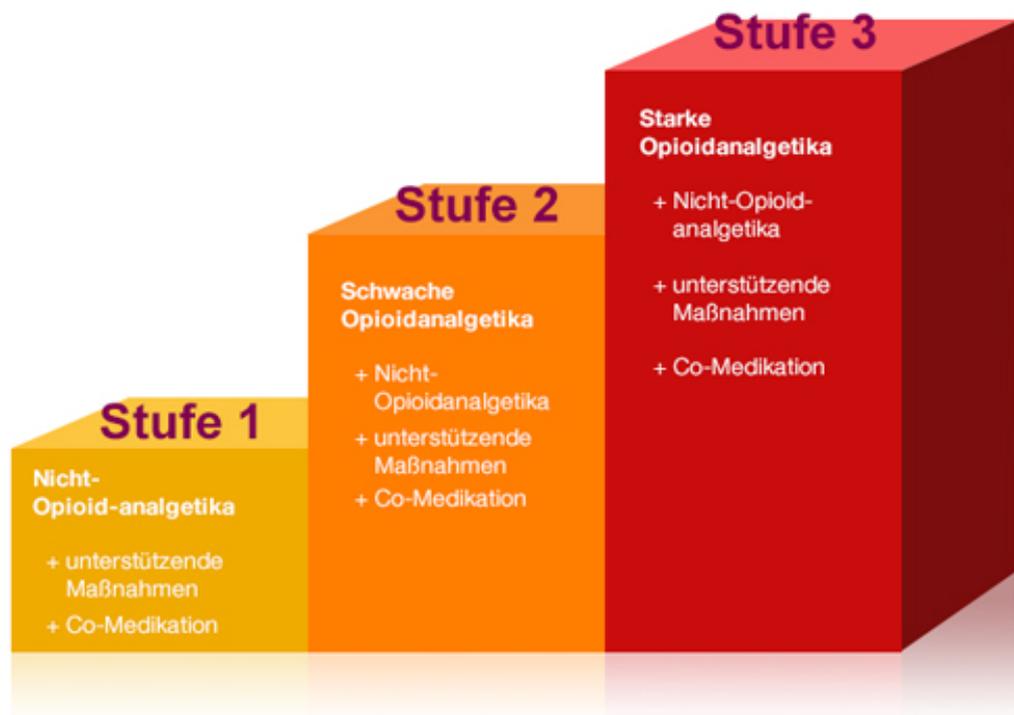


Abb.1.4: WHO Stufenschema der Schmerzbehandlung (53)

1.8.2 Operative Therapie

Die Indikation zur Operation und zur jeweiligen Art und Weise der operativen Dekompression wird nach ausgiebiger Evaluation der Anamnese, des klinisch-neurologischen Befunds, inklusive Allgemeinzustand und Begleiterkrankungen des Patienten, der bildgebenden Untersuchungen und des bisherigen individuellen Therapieverlaufs gestellt (4; 33).

Im Folgenden werden die verwendeten Verfahren der operativen Dekompression kurz dargestellt.

Anteriore Verfahren

Der Zugang erfolgt hierbei über einen paramedianen Schnitt mit Zugang von vorne durch die Halsweichteile. Indikationen sind hier zum Beispiel mediane Bandscheibenvorfälle, ventrale Osteophyten, breitbasige Bandscheibenvorfälle mit beidseitigen Radikulopathien oder bei zervikalen Instabilitäten.

- Bei der ventralen Diskektomie wird die Bandscheibe über einen ventralen Zugang entfernt um an den Vorfall zu gelangen. Der Vorfall wird entfernt und anschließend erfolgt ein Bandscheibenersatz durch körpereigenen Knochen, Knochenzement (Polymethylmethacrylat PMMA) oder einen industriell gefertigten Platzhalter (Cage) aus Titan oder Hartkunststoff (54).
- Über eine Teilentfernung eines oder mehrerer Wirbelkörper, mediane ventrale Korporektomie, kann das Rückenmark über längere Strecken dekomprimiert werden. Anschließend wird die Stabilität durch einen knochengefüllten Platzhalter aus Titan oder PEEK (Poly-ether-ether-Keton) oder durch körpereigenen Knochen, der meist aus dem Beckenkamm, alternativ aus der Fibula oder einer Rippe, entnommen wird sowie einer zusätzlichen ventralen Platten-Schrauben-Osteosynthese (PSO) wiederhergestellt (4). In den letzten Jahren wurden von der Medizintechnikindustrie distrahierbare Platzhalter auf den Markt gebracht, die ohne ventrale PSO eingebracht und fixiert werden.
- Bei der ventralen Uncoforaminotomie wird über einen ventralen Zugang der laterale Teil des Wirbelkörpers abgefräst um einen Zugang zum ventralen Anteil des Neuroforamens zu erhalten. Die Nervenwurzelkompression (Bandscheibenvorfall, Osteophyt) wird

anschließend über diesen ventralen Zugang entfernt. Eine anschließende Spondylodese ist nicht nötig. Diese Methode bietet sich vor allem bei Foramenstenosen an, die durch eine ventrale knöcherne Einengung verursacht werden.

Dorsale Verfahren

Der Zugang erfolgt hierbei über einen dorsalen Zugang durch die Nackenmuskulatur über einen medianen Schnitt.

- Bei der dorsalen Foraminotomie (Frykholm-Methode) erfolgt der Zugang zum Neuroforamen über eine mediale Teilentfernung des Facettengelenks, dies ermöglicht das Entfernen eines Bandscheibenvorfalles ohne die komplette Bandscheibe herausnehmen zu müssen (54). Diese Methode ist vor allem bei akuten, „weichen“ Bandscheibenvorfällen indiziert, die vorwiegend intraforaminal lokalisiert sind und eine radikuläre Symptomatik verursachen. Eine Entfernung von Osteophyten oder von medianen Bandscheibenvorfällen ist wegen der Gefahr einer manipulationsbedingten Schädigung der Nervenwurzel oder des Rückenmarks nicht möglich.
- Bei der Laminektomie wird über einen dorsalen Zugang der Wirbelbogen eines oder mehrerer Wirbel entfernt, um das Rückenmark zu dekomprimieren. Laminektomien werden vor allem bei mehrsegmentalen Stenosen durchgeführt oder wenn die raumfordernde Wirkung vor allem von dorsal kommt. Weitere Indikationen sind, auch bei vorwiegend ventraler Pathologie, die Dekompression von mehrsegmentalen Stenosen im Rahmen einer Ossifikation des posterioren Längsbandes, da hier die ventrale Dura Mater nicht mehr vorhanden ist und die Komplikationsrate (Liquorfistel, Meningitis) höher ist, sowie die Dekompression bei internistisch stark vorbelasteten Patienten, da das Operationsverfahren wesentlich schneller ist, als die ventrale Dekompression langstreckiger Spinalkanalstenosen über einen ventralen

Zugang. Es besteht durch Entfernung der dorsalen Zuggurtung das Risiko der postoperativen Instabilität, sodass individuell beurteilt werden muss, ob eine gleichzeitige Spondylodese mit einer dorsalen Schrauben-Stab-Osteosynthese durchgeführt werden muss.

- Die Teilkorporektomie ist auch von dorsal möglich. Auch hier muss anschließend eine Stabilisierung in Form von einer Schrauben-Stab-Osteosynthese und Auffüllen oder Anlagern von Eigenknochen hergestellt werden (54).

2. Material und Methoden

Die Studie wurde in Übereinstimmung mit den Richtlinien der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg durchgeführt.

2.1 Fälle

In die Studie wurden 105 Fälle retrospektiv eingeschlossen, welche in der Zeit von Januar 2009 bis einschließlich Februar 2011 stationär in der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik Würzburg behandelt wurden. In allen Fällen wurde im Rahmen ihres Krankenhausaufenthaltes unter anderem eine Myelographie-Untersuchung und ein MCT durchgeführt.

Die klinischen und radiologischen Daten der 105 Fälle wurden anonymisiert, indem ihnen eine Studiennummer zugeteilt wurde. Unter diesen fortlaufenden Nummern wurden sowohl die Erhebungsbögen als auch die Begutachterbögen geführt und in der Software zur Darstellung von radiologischen Bilddateien, OsiriX DICOM Viewer, die durchgeführten Bildgebungen abgelegt.

2.2 Begutachter

Als Begutachter wirkten an dieser Arbeit 3 Ärzte mit Facharztqualifikation und mehrjähriger Erfahrung im Bereich der konservativen und operativen Versorgung von Wirbelsäulenerkrankungen mit.

Hieraus ergaben sich für jeden Fall maximal drei verschiedene Therapieentscheidungen ohne Myelographieuntersuchung und drei Therapieentscheidungen mit Myelographieuntersuchung.

2.3 Erhebungsbögen

Die anonymisierten Erhebungsbögen gaben die Fallnummer und eine Kurzvorstellung des Falls wieder mit Informationen zu Alter, Geschlecht und einem bekannten Tumorleiden. Des Weiteren umfasste er Informationen nach Aktenlage über die stationären Aufenthalte. Diese beinhalteten die Dauer des Schmerzes, die Ausprägung und Beeinträchtigung des Patienten durch die Symptomatik, die exakte Lokalisation und gegebenenfalls eine Ausstrahlung des Schmerzes bzw. der Symptomatik. Ebenfalls fanden sich darin Angaben zu durchgeführten rügenspezifischen Voroperationen, sowie die aktuelle relevante Medikation und weitere relevante Zusatzdiagnosen.

Weiter wurde auf den klinischen Untersuchungsbefund bei Aufnahme eingegangen, dieser umfasst Nervendehnungszeichen, Paresen, Sensibilitätsstörungen, Reflexstatus und Einschränkungen in den vegetativen Funktionen. Ebenfalls wurden weitere Untersuchungsbefunde, die eine Relevanz zur Therapieentscheidung besaßen, mit aufgenommen z.B. das Vorhandensein eines Wirbelsäulenklumpfschmerzes, eines pathologischen Gangbildes, durchgeführte elektrophysiologische Untersuchungen oder essentiell wichtige Laborbefunde.

2.4 Begutachterbögen

Der Kopf der ebenfalls anonymisierten Begutachterbögen bestand zunächst aus den Grunddaten (Fallnummer, sowie Alter und Geschlecht) des Falls, um eine eindeutige Zuordnung zu den Erhebungsbögen zu gewährleisten.

Zunächst hatte der Begutachter zwischen konservativer oder operativer Therapie zu entscheiden. Falls der Begutachter die Indikation zu einer operativen Therapie sah, musste er weitere Angaben zur Art und zum Ausmaß der nach seiner Meinung indizierten Operation machen. Hier konnte zwischen

den unterschiedlichen Zugangsmethoden gewählt werden (Laminektomie, Hemilaminektomie, erweiterte intralaminäre Fensterung, Foraminotomie, ventrale Diskektomie, Korporektomie). Die exakte Lokalisation der Segmente, an denen die Operation durchgeführt werden soll, sowie die Anzahl der geplanten Operationshöhen waren vom Begutachter ebenfalls anzugeben. Ebenfalls war die Notwendigkeit einer Spondylodese anzugeben.

2.5 Software zur Darstellung radiologischer Bilddateien: OsiriX

Aufgrund der Anonymisierbarkeit der Begutachtung des röntgenologischen Bildmaterials wurden die vorhandenen Untersuchungen in den OsiriX DICOM Viewer (Version 2.7.5, 32-bit) auf einer Apple PowerMac G5 (Mac OS X, Version 10.4.11) geladen und unter der jeweiligen Fallnummer anonymisiert angelegt.

2.6 Ablauf der einzelnen Begutachterdurchgänge

In der Studie wurden durch unabhängige Analyse der Datensätze durch drei Begutachter jedem Patienten jeweils zwei Therapieentscheidungen zugeordnet.

Im ersten Durchgang standen den Begutachtern der Erhebungsbogen und an röntgenologischem Bildmaterial die durchgeführte Magnetresonanztomographie und falls vorhanden Röntgen- und CT-Untersuchungen zur Verfügung.

Im zweiten Durchgang wurden die selben Patienten erneut begutachtet, wobei nun zur Therapieentscheidung zusätzlich die Myelographieuntersuchung und das MCT zur Verfügung stand.

2.7 Datenanalyse

2.7.1 Primärer Endpunkt

Der primäre Zielparameter (Endpunkt) war die Intraobserver-Variabilität, der Unterschied der Therapieempfehlung des einzelnen Begutachters ohne und mit Myelographieuntersuchung.

Zur weiteren Analyse wurde unterschieden zwischen:

- der generellen Indikationsstellung zur Operation,
- der Anzahl der operierten Segmente, sowie
- Zugangsweg von ventral oder dorsal

und zwischen geringen Unterschieden:

- zum Beispiel zwei Höhen-Diskektomie versus 1-Höhen Korporektomie.

2.7.2 Sekundäre Endpunkte

Sekundäre Zielparameter der vorliegenden Arbeit waren:

- die Interobserver-Variabilität, der Unterschied der Therapieempfehlung zwischen den einzelnen Begutachtern, und
- die Gewichtung von Nativ-CT und nativer Röntgendiagnostik.

2.7.3 Statistische Auswertung

Da es sich bei der Zahl der unterschiedlichen Begutachtungen (Intra- und Interobserver-Variabilität) um Inzidenzen handelt, wurde zur Untersuchung der Ergebnisse ein χ^2 -Test angewendet. Ein p-Wert < 0,05 wurde als statistisch signifikant erachtet. Für die statistische Analyse wurde GraphPad Prism (Version 4.03, GraphPad Software Inc., La Jolla, CA, USA) verwendet.

3. Ergebnisse

3.1 Studienablauf

Die retrospektive Studie wurde anhand von 105 Fällen der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Würzburg durchgeführt. Sie erfolgte nach den Richtlinien der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg durch eine retrospektive Analyse von Bilddateien. Eingeschlossen wurden Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2009 bis zum 28.02.2011 stationär aufgenommen worden waren, bei denen sowohl eine Myelographieuntersuchung als auch ein MCT durchgeführt worden waren und von denen diese Bilder, ebenso wie die Bilder der MRT-, CT- und Röntgenuntersuchungen in elektronischer Form vorlagen. Die Myelographie mit anschließendem MCT wurde in allen Fällen zur Unterstützung der Therapieentscheidung durchgeführt. Ein Vergleich mit der aus der Myelographie im klinischen Zusammenhang tatsächlich gezogenen Konsequenz war nicht Zweck der Studie und wurde nicht durchgeführt.

Die Bilddateien wurden anonymisiert und in beiden Begutachtungsgängen in randomisierter Reihenfolge begutachtet und ausgewertet. Patienten mit Verletzungen, Tumoren, Osteomyelitis oder angeborenen Erkrankungen der Wirbelsäule wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

3.2 Demographische Daten

3.2.1 Geschlecht

37 der in die Untersuchung eingeschlossenen Patienten waren weiblich, 68 der Patienten männlich.

3.2.2 Alter

Die Altersverteilung der Patienten ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Das Alter der Patienten betrug im Mittel 56 ± 10.6 Jahre.

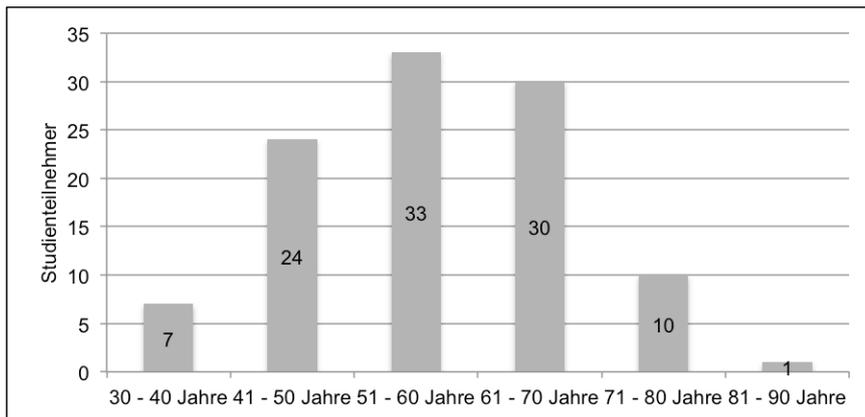


Abb.3.1: Altersverteilung der Patienten

3.2.3 Indikation zur Myelographie

Die Indikation zur Myelographie und MCT ergab sich aus einem der drei folgenden Gründe (siehe Abb.3.2):

1. Unzureichende Erklärung der klinischen Beschwerdesymptomatik im Magnetresonanztomographie (22 von 105 Fälle).
2. Rezidivsituation: Wiederauftreten von Beschwerden nach bereits erfolgter Operation an der HWS (15 von 105 Fälle).
3. Mehrhöhenbefund: Klinische Symptomatik und in der Magnetresonanztomographie nachgewiesene Auffälligkeiten, die sich in ihrer Ausprägung über mehrere Segmente erstreckt (68 von 105 Fälle).

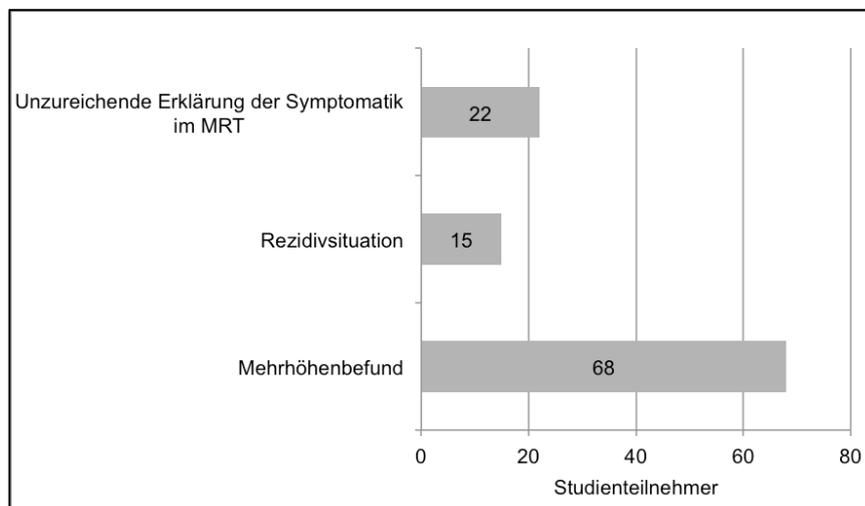


Abb.3.2: Indikation zur Myelographie

3.3 Primärer Endpunkt: Intraobserver-Variabilität

Insgesamt wurden 105 Patienten in die Analyse eingeschlossen. Dies ergibt bei 3 Begutachtern 315 Begutachtungen, die jeweils in zwei Durchgängen – mit und ohne Myelographie und MCT – durchgeführt wurden.

3.3.1 Unterschiede in der Indikationsstellung

Zwischen den beiden Begutachterdurchgängen zeigte sich eine Intraobserver-Variabilität von 25,4%. Dies bedeutet, dass in 80 von 315 Begutachtungen der gleiche Begutachter bei zusätzlicher Analyse der Myelographie mit MCT eine andere Therapie indizierte als ohne Myelographie. Die Unterschiede in der Indikationsstellung sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

| Tab.3.1: Unterschiede in der Indikationsstellung der 80 unterschiedlichen Begutachtungen | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• 3/80 Korporektomie vs. Laminektomie• 36/80 Indikation zur Operation<ul style="list-style-type: none">○ 9x Indikation durch Vorhandensein der Myelographieuntersuchung○ 27x Indikation ohne Vorhandensein der Myelographieuntersuchung• 8/80 ventral vs. dorsal• 33/80 Änderung der Anzahl der operierten Segmente<ul style="list-style-type: none">○ 22x weniger Segmente mit Myelographie○ 11x mehr Segmente mit Myelographie | |

Hierbei gab es Unterschiede zwischen den einzelnen Begutachtern. Die Intraobserver-Variabilität der einzelnen Begutachter und die Unterschiede zwischen den Begutachtern sind in Tabelle 3.2 dargestellt.

| Tab.3.2: Intraobserver-Variabilitäten differierten teils signifikant zwischen den verschiedenen Begutachtern (χ^2-Test) | | |
|---|-----------------------------------|--|
| | Intraobserver-Variabilität | p-Wert (χ^2-Test) |
| Begutachter 1 | 43/105 (41%) | |
| Begutachter 2 | 21/105 (20%) | |
| Begutachter 3 | 16/105 (15%) | |
| Begutachter 1 und 2 | | p=0,0010 |
| Begutachter 1 und 3 | | p< 0,0001 |
| Begutachter 2 und 3 | | p=0,37 |
| Begutachter 1, 2 und 3 | | p<0,0001 |

Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der Änderung der Therapiestrategie der 3 Begutachter. Bei Begutachter 1 war die Intraobserver-Variabilität signifikant größer als bei den Begutachtern 2 und 3.

3.3.2 Intraobserver-Variabilität in Abhängigkeit der Myelographieindikation

Die Begutachtungsfälle wurden drei Gruppen zugeordnet:

- unzureichende Erklärung der Symptomatik in der Magnetresonanztomographie (22 Fälle),
- Vorliegen einer Rezidivsituation (15 Fälle) und
- Vorliegen eines Mehrhöhenbefundes (68 Fälle).

Die Intraobserver-Variabilität war im Falle einer mehrsegmentalen Stenose am höchsten und am niedrigsten, wenn die Myelographie aufgrund einer unzureichenden Erklärung in der Magnetresonanztomographie durchgeführt wurde.

| Tab.3.3: Unterschiede der Begutachtungsdurchgänge bezogen auf die Indikation zur Myelographie | | |
|--|-----------------------------------|---|
| Indikation zur Myelographie | Anzahl der Fälle (n = 105) | Intraobserver-Variabilität (n = 315) |
| Unzureichende Erklärung der Symptomatik im MRT | 22/105 (21%) | 8/66 (12%) |
| Rezidivsituation | 15/105 (14%) | 8/45 (18%) |
| Mehrhöhenbefund | 68/105 (65%) | 64/204 (31%) |

Tabelle 3.3 zeigt die Unterschiede der Begutachtungsdurchgänge, in Bezug auf die verschiedenen Indikationen zur Myelographie. Hierbei ergaben sich in 22 Fällen bei unzureichender Erklärung der Symptomatik in der Magnetresonanztomographie bei drei Begutachtern 66 Fälle. Die Begutachter entschieden sich in 8 von 66 Fällen (12%) für eine andere Therapiestrategie. Entsprechend ergaben sich bei einer Rezidivsituation 45 Fälle, hier gab es in 8 Fällen Unterschiede in der Indikationsstellung (18%). Bei Mehrhöhenbefund ergab sich in 64 von 204 Fällen eine Änderung der Therapiestrategie (31%).

3.4 Sekundärer Endpunkt: Interobserver-Variabilität

3.4.1 Interobserver-Variabilität in der Magnetresonanztomographie im Vergleich zur Myelographie

Zwischen den einzelnen Begutachtungsdurchgängen gab es zwischen den drei beteiligten Begutachtern deutlich interindividuelle Unterschiede. Die Interobserver-Variabilität zwischen den 3 Begutachtern ist in Tabelle 3.4 dargestellt. Die zusätzliche Bewertung der Myelographie und des MCT verringerte die Interobserver-Variabilität nur unwesentlich.

| Tab.3.4: Interindividuelle Unterschiede in der Variabilität mit MRT Untersuchung im Vergleich zu der Variabilität mit Myelographieuntersuchung | | |
|---|----------------------------|---|
| | Variabilität im MRT | Variabilität in der Myelographie |
| Begutachter 1 und 2: | 54/105 (51%) | 46/105 (44%) |
| Begutachter 2 und 3: | 54/105 (51%) | 45/105 (43%) |
| Begutachter 1 und 3: | 49/105 (47%) | 48/105 (46%) |
| Begutachter 1, 2 und 3: | 68/105 (65%) | 60/105 (57%) |

Zwischen Begutachter 1 und 2 zeigte sich bei Begutachtung ohne Myelographie eine unterschiedliche Indikation zur operativen Indikation bei 54 von 105 Fällen (51%). Im zweiten Begutachtungsdurchgang mit zusätzlichem Vorliegen von Myelographie und MCT ergab sich eine unterschiedliche Indikation in 46 von 105 Fällen (44%). Zwischen Begutachter 2 und 3 zeigte sich analog hierzu ohne Myelographieuntersuchung eine Variabilität in 54 von 105 Fällen (51%). Mit Myelographie ergab sich ein Unterschied in der Indikationsstellung in 45 von 105 Fällen (43%). Zwischen Begutachter 1 und 3 zeigte sich ohne Myelographie ein Unterschied bei 49 von 105 Fällen (47%), mit Myelographie in 48 von 105 Fällen (46%).

Zwischen allen drei Begutachtern zeigte sich ohne Myelographie eine Variabilität in der Indikationsstellung bei 68 von 105 Fällen (65%). Mit Myelographie ergab sich eine unterschiedliche Indikation in 60 von 105 Fällen (57%) (siehe Tabelle 3.4).

3.4.2 Interobserver-Variabilität in Abhängigkeit der Myelographieindikation

Die 105 Begutachtungsfälle wurden entsprechend der Indikation zur Myelographie erneut den drei Gruppen zugeordnet.

Die Interobserver-Variabilität war auch hier bei mehrsegmentalen Stenosen am höchsten und wenn die Myelographie aufgrund einer unzureichenden Erklärung in der Magnetresonanztomographie durchgeführt wurde am niedrigsten.

Bei unzureichender Erklärung der Symptomatik in der Magnetresonanztomographie zeigte sich bei Begutachtung ohne Myelographieuntersuchung eine Interobserver-Variabilität von 7 von 22 Fällen (32%), bei zusätzlichem Vorliegen von Myelographie und MCT eine Interobserver-Variabilität in 3 von 22 Fällen (14%).

Bei Rezidivsituationen zeigte sich ohne Myelographieuntersuchung eine Interobserver-Variabilität von 8 von 15 Fällen (53%), mit Myelographieuntersuchung von 5 von 15 Fällen (33%).

Bei 68 von 105 Fällen lagen Mehrhöhenbefunde vor. Hier zeigte sich bei alleiniger Beurteilung durch die Magnetresonanztomographie eine

Interobserver-Variabilität von 53 von 68 Fällen (78%), bei der Beurteilung mit zusätzlicher Myelographie von 52 von 68 Fällen (76%) (siehe Tabelle 3.5).

Tab.3.5: Interindividuelle Unterschiede der Begutachtungsdurchgänge gruppiert nach Myelographieindikation

| Indikation zur Myelographie | Anzahl der Fälle (n = 105) | Interobserver-Variabilität MRT (n = 105) | Interobserver-Variabilität Myelographie (n = 105) |
|---|-----------------------------------|---|--|
| Unzureichende Erklärung der Symptomatik im MRT | 22/105 (21%) | 7/22 (32%) | 3/22 (14%) |
| Rezidivsituation | 15/105 (14%) | 8/15 (53%) | 5/15 (33%) |
| Mehrhöhenbefund | 68/105 (65%) | 53/68 (78%) | 52/68 (76%) |

3.5 Änderung der Therapiestrategie durch die Myelographieuntersuchung

Die Begutachtung von Myelographie und MCT änderte in 25,4% die Behandlungsstrategie. Bei unzureichender Erklärung der Symptomatik bei alleiniger MRT-Befundung änderte sie sich in 12%, bei Rezidivsituationen in 18% und bei Mehrhöhenbefunden in 31%. In Abbildung 3.3 wird den unterschiedlichen Myelographieindikationen die Änderungen der

Therapiestrategien zugeordnet in Begrenzung der Behandlung, gleichbleibende Behandlung und Ausweitung der Behandlung unterschieden.

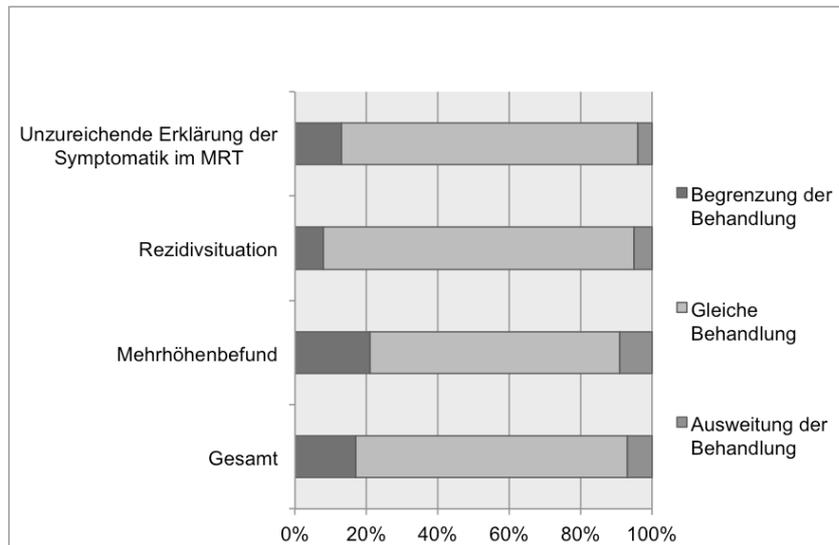


Abb.3.3: Änderung der Therapiestrategie, bezogen auf die Indikation zur Myelographie

Insgesamt wurde bei 315 Fällen in 235 Fällen nach Vorliegen einer Myelographieuntersuchung und MCT keine Änderung der Therapiestrategie vorgenommen (74,6%).

Tabelle 3.6 veranschaulicht, inwieweit die zusätzliche Begutachtung von Myelographie und MCT eine Ausweitung oder Begrenzung der Therapiestrategie bewirkte. In 8 Fällen wurde bei unzureichender Erklärung der Symptomatik in der Magnetresonanztomographie die Therapiestrategie geändert. In 6 Fällen (75%) entschieden sich die Begutachter für eine Begrenzung der Therapie und in 2 Fällen (25%) für eine Ausweitung der Behandlung. In 8 Fällen wurde bei dem Vorliegen von Rezidivsituationen die Therapiestrategie geändert. Sie wurde in 5 von 8 Fällen (63%) begrenzt und in 3 von 8 Fällen (37%) ausgeweitet.

| Tab.3.6 Änderung der Therapiestrategie durch die zusätzliche Myelographieuntersuchung in Beziehung zu den absoluten Änderungen | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Begrenzung der Behandlung | Ausweitung der Behandlung |
| Unzureichende Erklärung der Symptomatik im MRT | 6/8 (75%) | 2/8 (25%) |
| Rezidivsituation | 5/8 (63%) | 3/8 (37%) |
| Mehrhöhenbefund | 43/64 (67%) | 18/64 (28%) |
| Gesamt | 54/80 (68%) | 23/80 (29%) |

In 64 Fällen wurde bei Mehrhöhenbefunden die Therapiestrategie geändert. In 43 von 64 Fällen (67%) wurde die Therapie begrenzt und in 18 von 64 Fällen (28%) die Behandlung ausgeweitet. In 3 von 64 Fällen (5%) wurde eine andere Therapiestrategie gewählt, die in der hier vorliegenden Arbeit als gleichwertig betrachtet wurde.

Insgesamt entschieden sich die Begutachter in 54 von 80 Fällen (68%) durch das zusätzliche Vorliegen einer Myelographieuntersuchung mit MCT zu einer Begrenzung der Behandlung, in 23 von 80 Fällen (29%) zu einer Ausweitung der Behandlung (siehe Tabelle 3.6).

3.6 Bedeutung von Nativ-Röntgen und Nativ-CT Diagnostik

Wenn in der ersten Begutachtung (ohne Myelographie und MCT) konventionelle Röntgenbilder zusätzlich zu MRT-Bildern vorlagen, verringerte sich die Intraobserver-Variabilität im Vergleich zur zweiten Begutachtung (mit Myelographie und MCT) auf 22,5%, bei Vorliegen eines Nativ-CTs auf 21,9%. Wenn bei dem ersten Begutachtungsdurchgang sowohl konventionelle Röntgenaufnahmen und Nativ-CT zusätzlich zu MRT-Bildern vorlagen, ergab sich im Vergleich zum zweiten Begutachtungsdurchgang die geringste Intraobserver-Variabilität (10,3%).

Tabelle 3.7 zeigt die Intraobserver-Variabilität (primärer Endpunkt) in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von nativer Röntgen- und CT-Diagnostik zusätzlich zur Magnetresonanztomographie in der ersten Begutachtungsrunde. Die Intraobserver-Variabilität zwischen den beiden Begutachtungsrunden war am geringsten, wenn in der ersten Begutachtungsrunde neben der obligatorischen Magnetresonanztomographie sowohl native Röntgenaufnahmen als auch ein natives CT der HWS zur Verfügung standen. Die Reduktion der Intraobserver-Variabilität durch native Röntgenaufnahmen war nicht signifikant. Bei Vorliegen einer nativen CT-Untersuchung war die Intraobserver-Variabilität signifikant reduziert, ebenso wenn sowohl native Röntgen- also auch CT-Untersuchungen vorlagen ($p < 0,05$, χ^2 -Test).

| Tab.3.7: Einfluss von Röntgenbildern und Nativ-CT | | | |
|--|-------------------------------|--|--|
| | Keine Therapieänderung | Therapieänderung (Intraobserver-Variabilität) | p-Wert (χ^2-Test) |
| Röntgen vorhanden (40 Fälle, n=120) | 93/120 (77,5%) | 27/120 (22,5%) | 0,13 |
| Kein Röntgen vorhanden (65 Fälle, n=195) | 136/195 (69,7%) | 59/195 (30,3%) | |
| Nativ-CT vorhanden (35 Fälle, n= 105) | 82/105 (78,1%) | 23/105 (21,9%) | 0,01 |
| Kein Nativ-CT vorhanden (70 Fälle, n= 210) | 134/210 (63,8%) | 76/210 (36,2%) | |
| Röntgen und Nativ-CT vorhanden (13 Fälle, n=39) | 35/39 (89,7%) | 4/39 (10,3%) | 0,001 |
| Weder Röntgen noch Nativ-CT vorhanden (92 Fälle, n=276) | 197/276 (71,4%) | 79/276 (28,6%) | |

4. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen einerseits, dass eine Myelographie und ein MCT, zusätzlich zur Magnetresonanztomographie, der Standarduntersuchung in der Wirbelsäulendiagnostik, durchgeführt in einem nicht geringen Teil der komplexen degenerativen HWS-Erkrankungen offensichtlich zusätzliche Informationen liefert und das therapeutische Procedere bei diesem Patientenkollektiv verändern kann.

Andererseits legen die Ergebnisse dieser Studie aber auch nahe, dass die Komplettierung der nicht-invasiven Diagnostik mittels konventionellem Röntgen und Nativ-CT offenbar einige der Fragen, die an eine Myelographie und ein MCT gestellt werden, beantworten kann.

Bereits im Jahre 1919 wurde durch Dandy die Myelographie mittels Luftinsufflation in den Subarachnoidalraum beschrieben (55). Die Resultate waren, bedingt durch die schlechte Röntgentechnik, unbefriedigend, ebenfalls wurden die großen Mengen an insufflierter Luft nicht gut toleriert (56). In den 1970er Jahren fand man zu dem heute gebräuchlichen wasserlöslichen nichtionischen Kontrastmittel, es zeigten sich deutlich weniger meningeale Reizreaktionen sowie weniger neurotoxische Schäden als nach Gebrauch der zuvor verwendeten ölhaltigen Kontrastmittel (57). Mit der Erfindung der Computertomographie Ende der 60er Jahre durch Hounsfield und ihrer Einführung in die Klinik erfuhr die Myelographie mit anschließend durchgeführter Myelographie-CT noch mehr an diagnostischem Wert. Das Hinzufügen von intrathekalem Kontrastmittel lieferte entscheidende Informationen über intraspinale Pathologien und verbesserte die Aussagekraft der Röntgen- und CT-Untersuchungen enorm (58; 59). Die Myelographie liefert detaillierte Informationen über intraspinale Raumforderungen, Verengungen des Wirbelkanals, die Morphologie des Rückenmarks und der Nervenwurzeln (60; 61). Folglich entwickelten sich in den 1970er Jahren die Myelographie und das MCT zur Standarddiagnostik von Wirbelsäulenerkrankungen (62). In den letzten 30 Jahren jedoch hat sich die Magnetresonanztomographie in der medizinischen Diagnostik etabliert. Als nicht-invasive und strahlungsfreie

Bildgebungsmethode ist sie heutzutage die Standarduntersuchung in der Wirbelsäulendiagnostik (4; 5). Die Myelographie und das MCT sind heute Zusatzuntersuchungen, die bei Kontraindikationen für eine Magnetresonanztomographie, z.B. Tragen eines Herzschrittmachers, oder bei unklaren MRT-Befunden, welche die klinische Symptomatik nicht eindeutig erklären können, durchgeführt werden. Die Anwendung und Durchführung einer Magnetresonanztomographie ist nach den heute gängigen Leitlinien zum Standard der Primärdiagnostik von Wirbelsäulenerkrankungen geworden. Die aktuelle S1-Leitlinie der AWMF schlägt neben einer klinisch-neurologischen Untersuchung mit Anamneseerhebung für die Diagnostik der zervikalen spondylothischen Myelopathie folgende Untersuchungen vor:

- MRT: sagittale T1- und T2-gewichtete Sequenzen, transaxiale T2-Sequenzen mit Schrägaufnahmen der Neuroforamina, sagittale T1-gewichtete STIR-Sequenzen zur optimierten Darstellung von spondylothischen Wirbelkörperveränderungen sowie fakultativ sagittale T1- und transaxiale T1-gewichtete Sequenzen mit Gadolinium.

Bei spezifischen Patientengruppen werden noch zusätzliche Untersuchungen empfohlen:

- Elektromyographie und Nervenleitungsmessungen bei Verdacht auf radikuläre Läsionen
- Somatosensibel evozierte Potentiale (SSEP) zur Verlaufskontrolle und zur Objektivierung der Beschwerden
- Urologische Untersuchungen (Bsp. Restharnuntersuchung) bei Inkontinenz oder imperativen Harndrang
- Kraniale Magnetresonanztomographie zum Ausschluss subkortikaler vaskulärer Enzephalopathie bei kognitiven Einschränkungen
- Bei klinischem Verdacht Ausschluss einer funikulären Myelose (Vitamin-B-12-Mangel)
- Borrelien-Serologie bei anamnestischen Hinweisen, sowie Liquoruntersuchungen zur Abgrenzung zu anderen entzündlichen Erkrankungen

- Für den Fall, dass zusätzliche Informationen über den morphologischen Befund benötigt werden, wird in der AWMF-Leitlinie auch weitere bildgebende Diagnostik vorgeschlagen. Hierzu stehen einerseits die Röntgennativdiagnostik der HWS mit Funktionsdiagnostik zur Beurteilung der Mobilität und Diagnostik einer möglichen Hypermobilität und eine native Computertomographie zur Beurteilung der knöchernen Veränderungen zur Verfügung, andererseits die Myelographie mit MCT. Letztere wird empfohlen, wenn eine Diskrepanz zwischen Klinik und MRT-Bildgebung besteht sowie bei Kontraindikationen einer Magnetresonanztomographie (z.B. Herzschrittmacher, Tiefenhirnstimulation) oder wenn die native Computertomographie keine ausreichende Aussagekraft besitzt (37).

Die Anwendungsbereiche für die Myelographie im heutigen diagnostischen Setup sind jedoch nicht mehr klar definiert. Direkte Vergleiche wurden in der Anfangszeit der klinischen MRT-Untersuchung vorgenommen. In einer Studie, die Masaryk et al. 1986 publizierten, zeigte sich, dass die Myelographie mit anschließendem MCT eine ähnliche Aussagekraft in der Einschätzung von Größe und Einwirkungen von intrinsischen und extrinsischen Läsionen bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen hat (63). 1990 zeigten Pernezcky und Mitarbeiter, dass die intraoperative Situation durch die Myelographie in 93% der Fälle, in der T1-gewichteten Magnetresonanztomographie in 90% bzw. bei zusätzlichen T2-gewichteten sagittalen und axialen MRT-Bildern in 95% der Fälle richtig vorausgesagt werden konnte (64).

Die Verwendung der Myelographie ist stark abhängig von der behandelnden Abteilung und den dort tätigen Ärzten. Meistens wird sie bei nicht eindeutigen MRT-Befunden durchgeführt (6; 7; 65-67). Die Bildqualität der Magnetresonanztomographie kann durch die unterschiedliche Schichtdicke, Volumeneffekte und Liquorpulsationen beeinflusst werden (68; 69). Im direkten Bildvergleich mit dem MCT neigen MRT – insbesondere T2-gewichtete Bilder – dazu, den Grad der Stenose zu übertreiben (69-71). Dies könnte nach Angaben

von Roth et al. dadurch zu erklären sein, dass in den T2-gewichteten Bildern der knöcherne Anteil reduziert und so die Bandscheibe prominenter dargestellt wird (70). Verschiedene Phänomene können laut Reul et al. ebenfalls zu einer Überschätzung der Stenose führen wie zum Beispiel: Bewegungs- und Flussartefakte, Chemical-Shift-Artefakte (unterschiedliche Präzessionsfrequenz von Fett- und Wasserprotonen) sowie Kantenartefakte (Gewebeübergänge mit stark unterschiedlicher Signalintensität) (69). Durch die in den letzten Jahren verstärkte Entwicklung von hochauflösenden Magnetresonanztomogrammen wurde die Aussage der Untersuchung verbessert (72-74).

Die Vorteile der MRT-Untersuchung sind die stark kontrastierte Auflösung und die multiplane Darstellungsmöglichkeit. Durch das magnetische Feld ergeben sich allerdings Kontraindikationen für diese Untersuchung wie z.B. Herzschrittmacher, Innenohrendoprothesen, ferromagnetische Fremdkörper (Granatsplitter, Gefäßclips). Metallische Gegenstände können Artefakte produzieren, die die zu untersuchende Anatomie verdecken oder hypertrophes Knochenwachstum imitieren können (75; 76). Bandscheibenabnormitäten und -veränderungen sowie Weichteilveränderungen können gut dargestellt werden (77). So zeigt sich bei dehydrierten Bandscheiben eine zentrale Signalabschwächung im T2-Bild (78). Auch kleine radiäre Einrisse im Anulus fibrosus, welche typische Anzeichen für eine beginnende Degeneration sind, sind in der Magnetresonanztomographie gut sichtbar (79). Bei vorangeschrittener Degeneration der Bandscheibe wird diese faserig und unorganisiert, es ist schwieriger zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus zu unterscheiden (36). Mit Hilfe der Magnetresonanztomographie kann ohne Kontrastmittel in bis zu 85% (80) und mit Kontrastmittel in bis zu 96% der Fälle (81) auch zwischen postoperativer Narbe und einem Rezidiv des Bandscheibenvorfalles differenziert werden (82). Diese Zahlen könnten erklären, weshalb eine zusätzlich zur Magnetresonanztomographie durchgeführte Myelographie mit MCT bei der Frage nach einem Rezidiv nur wenig zusätzliche Informationen liefert und in der vorliegenden Analyse die Intraobserver-Variabilität der Therapieentscheidung sehr gering war. Die Sensitivität der Myelographie steigt mit anschließender Computertomographie deutlich an (83).

Sie stellt intradurale Nervenfaszikel, spinale Nervenwurzeln, eine mögliche Wurzelkompression und die Beziehung von Nerven zu Bandscheiben und zu angrenzenden knöchernen Strukturen dar (84). Die Myelographie selbst kann im Gegensatz zur MRT-Untersuchung über Durchleuchtungsaufnahmen in Funktionsstellung und unter Belastung zusätzliche Informationen über die intraspinalen Verhältnisse bei Stellungsänderungen der Wirbelsäule liefern.

Diese Fakten zeigen, dass die Myelographie und das MCT zusätzliche Informationen zuverlässig liefern können (6; 7; 71). Es ist deshalb aber noch nicht selbstverständlich, dass dieser Mehrgewinn an Information auch notwendigerweise zu einer signifikanten Änderung der Therapieentscheidung führt.

Im Gegensatz zu früheren Studien hat sich diese Studie nicht mit der Messung des Ausmaßes der Stenose bei degenerativen Erkrankungen im Vergleich zwischen Magnetresonanztomographie und Myelographie beschäftigt. Es galt vielmehr die Frage zu beantworten, ob eine zusätzlich durchgeführte Myelographie mit MCT die Indikation zur Operation oder das Ausmaß des chirurgischen Eingriffs verändert. Die Intraobserver-Variabilität war deshalb der primäre Endpunkt dieser Studie. Hierzu hatten drei Begutachter die Patientendaten und das dazugehörige Bildmaterial zu analysieren – mit und ohne Myelographie und MCT. Es handelt sich um eine retrospektive Analyse von vorhandenem Datenmaterial. Aus diesem Datenmaterial lassen sich drei unterschiedliche Gründe feststellen, warum bei diesen Patienten eine Myelographie durchgeführt wurde:

1. Mehrsegmentale Stenosen mit nicht eindeutig radikulären klinischen Beschwerden,
2. Rezidivierende Beschwerden, hauptsächlich nach dorsaler Dekompression (Laminektomie oder Foraminotomie) mit daraus resultierendem Narbengewebe, welches in der Magnetresonanztomographie Unsicherheiten schaffen kann, und
3. Das Fehlen eines klaren Befundes im MRT mit offensichtlich myelopathischen oder radikulären klinischen Beschwerden.

4.1 Die Intraobserver-Variabilität

Es zeigte sich eine hohe Intraobserver-Variabilität bei mehrsegmentalen Stenosen. Hier lieferte Myelographie und MCT im Vergleich zur Magnetresonanztomographie offenbar zusätzliche Informationen, die zu einer Änderung der Therapiestrategie in 31% führten. Deutlich niedriger war die Intraobserver-Variabilität, wie oben bereits erwähnt, bei Patienten mit rezidivierenden Beschwerden, die Narbengewebe in der Magnetresonanztomographie aufwies und unklar war, ob eine Nervenkompression, z.B. durch einen zusätzlichen Rezidiv-Bandscheibenvorfall, vorlag. Dies ist am ehesten dadurch begründet, dass in diesem Falle die Indikation zur Operation – bei Zweifelsfällen – bereits durch die erneut abrupt aufgetretene Beschwerdesymptomatik gestellt wird. Es ist wahrscheinlich, dass in diesem Fall die suggestive Schilderung der Klinik einen sehr hohen Stellenwert in der Findung der Operationsindikation hat und die zusätzliche Information, die aus Myelographie und MCT entnommen wird, nur noch sehr begrenzt zur Indikationsstellung beiträgt (85; 86). Die Intraobserver-Variabilität war am niedrigsten bei MRT-Befunden, die für die Erklärung der Beschwerdesymptomatik und der klinischen Befunde scheinbar nicht ausreichend waren. Die Myelographie scheint in diesen Fällen nicht sensitiver zu sein als die Magnetresonanztomographie und scheint somit auch keine zusätzlichen Befunde im Sinne einer Nervenwurzelkompression aufzudecken.

4.2 Die Auswirkungen der nativen CT- und Röntgenbilder

Das Hauptziel dieser Studie war es, die geplanten Therapiestrategien auf Grundlage der Magnetresonanztomographie alleine und mit zusätzlicher Myelographie und MCT zu vergleichen. Während die Myelographie und das MCT in einem standardisierten Ablauf erfolgten, war bei den nicht-invasiven Untersuchungen kein prospektiv definiertes Untersuchungsprotokoll vorgegeben. Für die Aufnahme in die Studie waren als Mindestanforderung sagittale T1- und T2-gewichtete und transversale T2-gewichtete MRT-

Aufnahmen erforderlich. Zusätzliche MRT-Sequenzen (87), Bildaufnahme- und Fusionstechniken (88) und spezifische Positionierungen des Patienten (89) können möglicherweise weitere Informationen als Grundlage für die Festlegung der Therapiestrategie liefern. Eine Subgruppenanalyse zeigte eine reduzierte Intraobserver-Variabilität bei den Patienten, bei denen in der ersten Begutachtungsrunde zusätzlich zur MRT-Untersuchung native Röntgenübersichtsaufnahmen der Halswirbelsäule oder ein natives CT vorlag. Dies legt nahe, dass zumindest ein Teil der Informationen, die Myelographie und MCT liefern, bereits durch native Röntgenbilder und eine native CT beantwortet werden können. Wenn sowohl Röntgenübersichtsaufnahmen als auch ein natives CT vorhanden waren, war die Intraobserver-Variabilität deutlich reduziert. Der Nachteil von Röntgenuntersuchung und CT ist die Strahlenbelastung (32). Trotzdem hat sich auch in früheren Studien bereits gezeigt, dass eine Übersichtsröntgenaufnahme und eine Magnetresonanztomographie zu Screeningzwecken geeignete Methoden sind, um das Ausmaß der zervikalen Myelopathie oder Radikulopathie einschätzen zu können (38; 90). Die Röntgenuntersuchung gibt Aufschluss über die Stellung der Wirbelsäule und eine eventuelle Gefügestörung, das CT über die knöchernen Verhältnisse und gegebenenfalls Kalzifikationen von Weichteilen. Trotz der Strahlenexposition, die insbesondere beim CT relativ hoch ist, haben diese Untersuchungen jedoch im Vergleich zu Myelographie und der MCT den Vorteil, dass es sich um nicht-invasive Verfahren handelt. Sie haben kein Blutungs- oder Infektionsrisiko und kein Risiko einer direkten Nervenverletzung oder eines postpunktionellen Syndroms. Diese Gründe und die aus dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse legen deshalb nahe, dass eine Komplettierung der nicht-invasiven Untersuchungen einer Myelographie vorangehen sollte.

4.3 Die Interobserver-Variabilität

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich wird, erbrachte diese Analyse eine relativ hohe Interobserver-Variabilität. Dies ist sicherlich mitunter dadurch zu erklären, dass die Begutachter eine freie Auswahl über alle konservativen und chirurgischen Maßnahmen hatten und somit eine fast unbegrenzte Anzahl von verschiedenen Interventionen festlegen konnten. Eine Quantifizierung und statistische Analyse sowie eine Definition des kappa-Wertes für die Interobserver-Variabilität ist daher nicht praktikabel. Zweifellos hatten die Patienten, von denen das hier verwendete Datenmaterial stammt und bei denen eine Myelographie und ein MCT durchgeführt wurden, komplexe klinische und radiologische Befunde ohne klare, eindeutige Indikationen für eine bestimmte Art der Behandlung. So begründete sich auch in jedem individuellen Fall die Indikation zur Myelographie. In Zusammenschau mit der unterschiedlichen Beurteilung der drei Begutachter und der Intraobserver-Variabilität lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass jeder Begutachter eine unterschiedliche Menge an Informationen aus den verschiedenen Untersuchungsmethoden zieht.

Angesichts dieser Ergebnisse stellt sich die grundsätzliche Frage, worauf eine Entscheidung zur chirurgischen Therapiestrategie tatsächlich aufbaut. Die Entscheidungsfindung im Allgemeinen ist eine komplexe Aufgabe, in der eine Vielzahl von Faktoren eine wichtige Rolle spielt. Die Arzt-Patienten-Interaktion kann ein wichtiger Faktor sein, sie spielt aber in dieser retrospektiven Studie, bei der die Informationen aus den Patientenakten extrahiert wurden, keine Rolle (91; 92). Die Tatsache, dass Myelographie und MCT bei Patienten mit rezidivierenden Beschwerden und ohne eindeutigen Befund in der Magnetresonanztomographie keinen signifikanten Unterschied in der diagnostischen Aussagekraft machen, lässt einerseits vermuten, dass der Mehrertrag an Information aus den zusätzlichen Untersuchungen bei diesem Patientenkollektiv nur gering ist, dass andererseits die klinische Präsentation der Beschwerden ein entscheidender Faktor für eine Entscheidung zur chirurgisch therapeutischen Intervention zu sein scheint (85). Bei

mehrsegmentalen Stenosen ist die Situation komplizierter. Die Beschwerden und klinischen Befunde können nur selten einem Segment und einer Seite zugeordnet werden, häufig sind sie myelopathisch oder multiradikulär. In diesen Fällen bekommt die bildgebende Diagnostik eine höhere Bedeutung, um das Ausmaß der chirurgischen Intervention festzulegen. Nicht nur Dekompression von Nervenstrukturen, sondern auch Stabilität und Ausrichtung der Wirbelsäule – manchmal über längere Strecken – müssen in den Prozess der Entscheidungsfindung einbezogen werden. Da die Magnetresonanztomographie dazu neigt, die Weite des Duralschlauchs zu unter- und den Grad der Stenose zu überschätzen (69), kann man davon ausgehen, dass die chirurgische Intervention kleiner ausfallen wird, wenn die Therapieentscheidung aufgrund der Myelographie und des MCT statt auf einer Magnetresonanztomographie alleine beruht. In der Tat wählten die Begutachter bei den Fällen mit Intraobserver-Variabilität in etwa zwei Drittel einen operativen Eingriff geringeren Ausmaßes nach der zusätzlichen Bewertung der Myelographie und des MCT. Die Abbildungen 4.1 a und b zeigen ein Beispiel für die Intra- und Interobserver-Variabilität bei einem Patienten mit zervikaler mehrsegmentaler Stenose im Bereich C4/5 und C5/6. Begutachter 1 indizierte hier ohne Myelographie/MCT eine Laminektomie von HWK4 und HWK5 und mit Myelographie/MCT ein konservatives Vorgehen. Begutachter 2 schlug eine anteriore Diskektomie in den Höhen HWK4/5 und HWK5/6 mit Fusion mittels eines Cage-Implantates ohne Myelographie/MCT vor und ein konservatives Vorgehen mit Myelographie/MCT. Begutachter 3 indizierte eine anteriore Korporektomie von HWK5 mit Fusion mittels eines Cage-Implantates mit zusätzlicher Platten-Schrauben-Osteosynthese mit und ohne Myelographie/MCT.

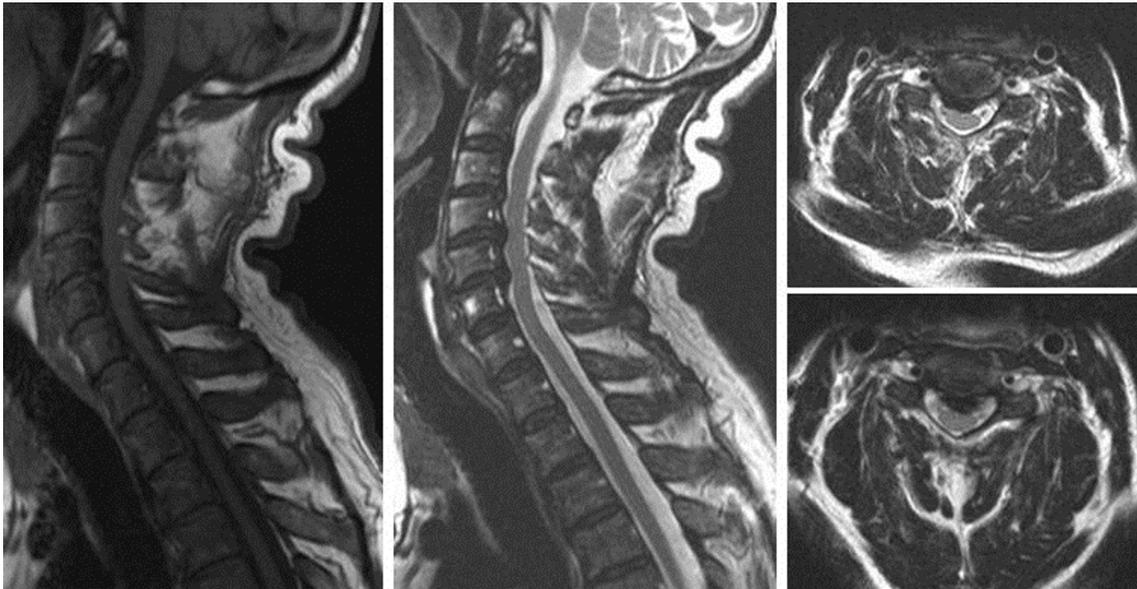


Abb.4.1a: Sagittale T1- und T2-gewichtete Bilder und transversale T2-gewichtete Bilder, sowie



Abb.4.1b: Myelographie mit MCT eines Patienten mit einer mehrsegmentalen zervikalen Stenose zeigt die Intra- und Interobserver-Variabilität.

Die axialen Aufnahmen zeigen die Bereiche mit der ausgeprägten Stenose (C4/5 und C5/6). Der 67-jährige Patient litt seit mehreren Monaten an chronischen Nackenschmerzen und seit 4 Wochen unter Schmerzen im rechten Arm mit Ausstrahlung in das rechte C7- und C8-Dermatom mit sensiblen Ausfällen im rechten C8-Dermatom. Die neurologische Untersuchung ergab Schwächen im rechten Trizeps-Muskel und der Hand- und Fingerstrecker, keine Gangstörungen, schwache Sehnenreflexe und keine pathologischen Reflexe. Die motorisch und sensorisch evozierten Potentiale waren normal.

Begutachter 1 indizierte ohne Myelographie/MCT eine Laminektomie HWK4 und HWK5 und mit Myelographie/MCT eine konservative Therapie.

Begutachter 2 schlug eine anteriore Diskektomie in den Höhen HWK4/5 und HWK5/6 mit Fusion mittels eines Cage-Implantates ohne Myelographie/MCT vor und ein konservatives Vorgehen mit Myelographie/MCT.

Begutachter 3 indizierte eine anteriore Korporektomie von HWK5 mit Fusion mittels eines Cage-Implantates mit zusätzlicher Platten-Schrauben-Osteosynthese mit und ohne Myelographie/MCT.

Diese Studie beantwortet nicht die Frage, ob eine Therapieentscheidung auf der Grundlage von Myelographie und MCT besser ist als eine Therapie, die ausschließlich auf den Ergebnissen der Magnetresonanztomographie basiert. Um diese Frage zu beantworten, wäre eine große prospektive Studie erforderlich, in der bei einem Teil der Patienten eine Myelographie und ein MCT durchgeführt würde, deren Ergebnisse aber nicht in die klinische Therapieentscheidung einfließen würden. Ein derartiges Vorgehen wäre allerdings ethisch fragwürdig, da eine Myelographie und ein MCT invasive Untersuchungen mit Risiken darstellen (93). Ob die Intra- und Interobserver-Variabilität durch ein detailliertes und strukturiertes, nicht-invasives Untersuchungsprotokoll, zusätzliche MRT-Sequenzen, CT und Röntgenuntersuchungen vor einer Myelographie reduziert werden kann, ist in einer weiteren – prospektiven – Studie zu klären.

5. Zusammenfassung

Dies ist die erste Studie, die geprüft hat, ob eine Myelographie und ein MCT die Behandlungsstrategie bei Patienten mit degenerativen Erkrankungen der Halswirbelsäule in einem Zeitalter qualitativ hochwertiger MRT-Geräte verändert. Die in dieser Studie gewonnenen Daten zeigen, dass eine Myelographie und ein MCT die therapeutische Strategie in einer signifikanten Anzahl von Patienten mit komplexen degenerativen zervikalen Erkrankungen verändert, insbesondere in Fällen von mehrsegmentalen Stenosen. Es handelt sich nicht um eine prospektive Studie, sondern um die Analyse von bereits vorhandenem Bild- und Datenmaterial. Deshalb folgten die nicht-invasiven Untersuchungen auch nicht einem standardisierten Protokoll. Dies ist zwar einerseits eine Schwäche der Studie. Genau diese Heterogenität ließ aber eine Analyse von Untergruppen zu und zeigte, dass eine Komplettierung der nicht-invasiven diagnostischen Maßnahmen – native Röntgenuntersuchungen und native CT – bereits Informationen liefern kann, die ansonsten aus der Myelographie und dem MCT gezogen werden. Aus den Ergebnissen dieser Analyse ergibt sich deshalb unter anderem die Schlussfolgerung, dass zunächst eine Komplettierung der nicht-invasiven Diagnostik erfolgen sollte, bevor eine Myelographie indiziert wird. Eine prospektive Studie mit einem standardisierten nicht-invasiven Protokoll, welches eine umfangreichere MRT-Untersuchung, CT und konventionelle Röntgendiagnostik vor der Durchführung einer Myelographie und eines MCT enthält, könnte mehr Informationen über die Bedeutung der Myelographie und des MCT im zeitgemäßen diagnostischen Setup bei degenerativen Erkrankungen der Halswirbelsäule liefern.

6. Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb.1.1: Schematische Darstellung der wichtigsten degenerativen Prozesse der zervikalen Wirbelsäule..... | 3 |
| Abb.1.2: Zentrale Stenose durch hypertrophiertes Knochenwachstum. Das Rückenmark wird zentral komprimiert. | 5 |
| Abb.1.3: Laterale Stenose durch degenerativ bedingte hypertrophierte Facettengelenke. Die austretenden Spinalnerven werden komprimiert..... | 6 |
| Abb.1.4: WHO Stufenschema der Schmerzbehandlung (53)..... | 14 |
| Abb.3.1: Altersverteilung der Patienten | 23 |
| Abb.3.2: Indikation zur Myelographie | 23 |
| Abb.3.3: Änderung der Therapiestrategie, bezogen auf die Indikation zur Myelographie | 30 |
| Abb.4.1a: Sagittale T1- und T2-gewichtete Bilder und transversale T2-gewichtete Bilder, sowie | 43 |
| Abb.4.1b: Myelographie mit MCT eines Patienten mit einer mehrsegmentalen zervikalen Stenose zeigt die Intra- und Interobserver-Variabilität. | 43 |
| Abb.6.1: Beispiel für Erhebungsbogen | 48 |
| Abb.6.2: Beispiel für Begutachtungsbogen..... | 49 |

6.2 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab.3.1: Unterschiede in der Indikationsstellung der 80 unterschiedlichen Begutachtungen..... | 24 |
| Tab.3.2: Intraobserver-Variabilitäten differierten teils signifikant zwischen den verschiedenen Begutachtern (χ^2 -Test) | 25 |
| Tab.3.3: Unterschiede der Begutachtungsdurchgänge bezogen auf die Indikation zur Myelographie..... | 26 |
| Tab.3.4: Interindividuelle Unterschiede in der Variabilität mit MRT Untersuchung im Vergleich zu der Variabilität mit Myelographieuntersuchung | 27 |
| Tab.3.5: Interindividuelle Unterschiede der Begutachtungsdurchgänge gruppiert nach Myelographieindikation | 29 |
| Tab.3.6: Änderung der Therapiestrategie durch die zusätzliche Myelographieuntersuchung in Beziehung zu den absoluten Änderungen Fehler! Textmarke nicht definiert. | |
| Tab.3.7: Einfluss von Röntgenbildern und Nativ-CT..... | 33 |

Erhebungsbogen

Patientennummer: HWS 006

Alter 35 Jahre

Geschlecht

 m w

Tumorleiden (nein/ja)

 nein ja**Rückenspezifische Anamnese:**

| | |
|---|---|
| Voroperationen | - |
| Dauer d. Schmerzes | ca. 4 Monaten |
| Ausprägung | begleitet von Koordinationsstörungen, mit Kälte- und Wärme Missempfindungen |
| Lokalisation | Schwäche des rechten Beines |
| Ausstrahlung | rechten Beines |
| Sonstiges/Vormedikation/ Vorerkrankungen | Diclofenac 75 mg 1-0-1 (bei Bedarf), Pantozol 40 mg 1-0-0 |

Neurologischer Untersuchungsbefund

| | |
|------------------------|--|
| Nervendehnungszeichen | - |
| Paresen | Im rechten Bein grobe Motorik mit KG4-5/5. An der oberen Extremität keine Paresen |
| Vegetative Funktionen | - |
| Sensibilitätsstörungen | im rechten Bein |
| Reflexstatus | MER der unteren Extremitäten rechts mehr gesteigert als links. Positives Babinski rechts |
| Sonstiges | Leichte Gangunsicherheit vor allem im rechten Bein <u>Elektrophysiologischen Untersuchung</u> mit MEPs die ZML nach rechts > links verlängert, wobei die Reizantwort bei Tibialis anterior-Ableitungen nach kortikaler Stimulation bds. schlecht reproduzierbar war. Die Tibialis-SEPs waren mit P40-Latenzen links deutlich verlängert. Die Medianus-SEPs waren bds. Normal. |

Befund FunktionsaufnahmenHypermobilität nein ja mm**Vorhandene Untersuchungen** Röntgenaufnahmen Funktionsaufnahmen CT (Segmente)

MRT

T2 axial sagittal coronarT1 axial sagittal coronar mit KMCISS axial sagittal coronar mit KM Myelographie Funktionsmyelographie Postmyelographisches CT

Abb.6.1: Beispiel für Erhebungsbogen

Begutachterbogen ohne Myelographie

Begutachter 1

Patientennummer: HWS 006

Alter 35 Jahre

Geschlecht

m

w

Keine Operation

Opindikation:

Zugangsweg:

ventral

dorsal

dorsolateral

perkutan

Sonstiges _____

Laminektomie

Hemilaminektomie

interlaminäre Fensterung

Foraminotomie

Sonstiges: _____

Segmente:

1

x 2

3

4

5

6

Sonstiges: _____

Kurze Beschreibung des Zugangsweges:

Ventraler Zugang über 2 Segmente

Bandscheibe:

ventrale Diskektomie

Auffüllen mit Knochenspänen (Beckenkamm)

Cages/Titanimplantat

Knochenspäne

Biokeramik

Knochenzement

Bandscheibenprothese

Spondylodese

Kurze Beschreibung der gewählten OP:

Ventrale Diskektomie HWK 4/5 und 5/6 mit Spondylolisthese mittels PEEK-Cage

Abb.6.2: Beispiel für Begutachtungsbogen

7. Literaturverzeichnis

1. Lee M, Casinelli E, Riew K. 2007. Prevalence of cervical spine stenosis. Anatomic study in cadavers. *J Bone Joint Surg (Am)* 89:376-80
2. Kalichman L, Guermazi A, Li L, Hunter D. 2009. Association between age, sex, BMI and CT-evaluated spinal degeneration features. *J Back Musculoskelet Rehabil* 22:189-95
3. FriedenberG Z, Miller W. 1963. Degenerative disc disease of the cervical spine. *J Bone Joint Surg (Am)* 45A:1171-8
4. Neurologie LddGf. 2008. Zervikale spondylotische Myelopathie. *AWMF Online* 030/052
5. Mummaneni P. 2009. Preoperative patient selection with magnetic resonance imaging, computed tomography, and electroencephalography: does the test predict outcome after cervical surgery? *J Neurosurg Spine* 11:119-29
6. Naganawa T, Miyamoto K, Ogura H, Suzuki N, Shimizu K. 2011. Comparison of magnetic resonance imaging and computed tomogram-myelography for evaluation of cross sections of cervical spine morphology. *Spine* 36:50-6
7. Song K, Choi B. 2009. Clinical Usefulness of CT-myelogram Comparing With the MRI in Degenerative Cervical Spine Disorders, Is CTM Still Useful for Primary Diagnostic Tool? *Journal of spinal disorders* 22:353-7
8. Bommas-Ebert U, Teubner P, Voß R. 2011. *Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie*.
9. Kramer J. 1990. *Intervertebral disc disease. Causes, Diagnosis, Treatment, and Prophylaxis, 2d ed*. New York: Thieme
10. Benzel E. 1995. *Biomechanics of Spine Stabilization: Principles and Clinical Practice*. New York: McGraw-Hill
11. Modic M, Pavlicek W, Weinstein M. 1984. Magnetic resonance imaging of intervertebral disc disease: Clinical and pulse sequence considerations. *Radiology* 152:103-11
12. Arbit E, Pannullo S. 2001. Lumbar stenosis: a clinical review. *Clinical orthopaedics and related research*:137-43

13. Holm S. 1993. Pathophysiology of disc degeneration. *Acta Orthop Scand* 64:13
14. Rengachary S, Wilkins R. 1994. Principles of Neurosurgery. Mosby: Elsevier
15. Wang M, Thambuswamy M. 2011. Ossification of the posterior longitudinal ligament in non-Asians: demographic, clinical, and radiographic findings in 43 patients. *Neurosurg Focus* 30
16. Sugrue P, J M, Halpin R. 2011. Surgical management of cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: Natural history and the role of surgical decompression and stabilization. *Neurosurg Focus* 30:E3
17. White A, Panjabi M. 1988. Biomechanical considerations in the surgical management of cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 13:856-60
18. Parke W. 1988. Correlative anatomy of cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 13:831-7
19. Stoltman H, Blackwood W. 1964. The role of the ligamenta flava in the pathogenesis of myelopathy in cervical spondylosis. *Brain* 87:45-50
20. Friedenberg Z, Broder H, Edeiken J, Spencer H. 1960. Degenerative disk disease of cervical spine. *JAMA* 174:375-80
21. Geck M, Eismont F. 2002. Surgical options for the treatment of cervical spondylotic myelopathy. *Orthop Clin North Am* 33:329-48
22. Payne E, Spillane J. 1957. The cervical spine: An anatomico-pathological study of 70 specimens (using a special technique) with particular reference to the problem of cervical spondylosis. *Brain* 80:571-96
23. Tatarek N. 2005. Variation in the human cervical neural canal. *Spine J* 5:623-31
24. Filler A. Do you really need back surgery? *Oxford University Press-Online* <http://www.backpain-guide.com>
25. Atlas SJ, Delitto A. 2006. Spinal stenosis: surgical versus nonsurgical treatment. *Clinical orthopaedics and related research* 443:198-207
26. Ciricillo S, Weinstein P. 1993. Lumbar spinal stenosis. *West J Med* 158:171-7
27. LaBan M, Imas A. 2003. Young' lumbar spinal stenotic: review of 268 patients younger than 51 years. *Am J Phys Med Rehabil* 82:69-71

28. Bohlmann H, Emery S. 1988. The Pathophysiology of cervical spondylosis and myelopathy. *Spine* 13:843-6
29. Jäger M. 1992. *Praxis der Orthopädie*. Stuttgart: Thieme
30. Hohmann d, Liebig K. 1996. Operative Therapie der spondylogenen zervikalen Myelopathie. *Orthopäde* 25:558-66
31. Delank H, Gehlen W. 2006. *Neurologie*. pp 2-3. Stuttgart: Thieme Verlag
32. Krämer J, Grifka J. 2007. Anamnese und klinische Untersuchung. In *Orthopädische Unfallchirurgie*, pp. 45 - 58. Springer Verlag
33. Schirmer M. 2005. *Neurochirurgie - Eine Einführung*. München: Urban und Fischer, Elsevier GmbH
34. Boden S, McCowin P, Davis D. 1990. Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects: A prospective investigation. *J Bone Joint Surg (Am)* 72:1178-84
35. Amundsen T, Weber H, Lilleas F, Nordal HJ, Abdelnoor M, Magnaes B. 1995. Lumbar spinal stenosis. Clinical and radiologic features. *Spine* 20:1178-86
36. Berns D, Blaser S, Modic M. 1989. Magnetic resonance imaging of the spine. *Clinical orthopaedics and related research* 244:78 - 100
37. Neurologie LddGf. 2012. Zervikale spondylotische Myelopathie. *AWMF Online* 030/052
38. Kaiser M, Ramos L. 1990. *MRI of the Spine: A Guide to Clinical Applications*. New York: Thieme
39. Brinker R. 1973. Lumbar spinal puncture for neuroradiology procedures. *AJR* 118:674-6
40. Hollis P, Malis L, Zapella R. 1986. Neurologic deterioration after lumbar puncture below complete spinal subarachnoid block. *J Neurosurg* 64:253-6
41. Yamashita Y, Hayashi J, Ohzono K, Hiroshima K. 2003. Correlation of patient satisfaction with symptom severity and walking ability after surgical treatment for degenerative lumbar spinal stenosis. *Spine* 28:2477-81
42. Whitman J, Flynn T, Childs J, Wainner R. 2006. A comparison between two physical therapy treatment programs for patients with lumbar spinal stenosis: A randomized clinical trial. *Spine* 31:2541-9

43. Naylor J, Mulley G. 1991. Surgical collars: A survey of their prescription and use. *Br J Rheumatol* 30:282-4
44. Tan J, Nordin M. 1992. Role of physical therapy in the treatment of cervical disk disease. *Orthop Clin North Am* 23:435-49
45. Storey G. 1971. *Medical treatment, in Wilkinson M (ed): Cervical Spondylosis.* pp 140-153. Philadelphia: Saunders
46. Bland J. 1987. *General management methods.* Philadelphia: Saunders. 236-78 pp.
47. Emery S, Bohlman H. 1992. *Osteoarthritis of the cervical spine, in Moskowitz RW, Howell DS, Doldberg VM, et al (eds): Osteoarthritis: Diagnosis and Medical/Surgical Management, 2nd ed.* pp 651-668. Philadelphia: Saunders
48. Roelofs P, Deyo R, Koes B, Scholten R, Van Tulder M. 2008. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs for low back pain: an updated Cochrane review. *Spine* 33:1766-74
49. adults WWscplf. 2014. *WHO Cancer Pain ladder for adults.*
50. Beck D. 1991. Cervical spondylosis: Clinical findings and treatment. *Contemp Neurosurg* 13:1-6
51. Fishbain D. 2000. Evidence-based data on pain relief with antidepressants. *Ann Med* 32:305-16
52. Nelemans P, deBie R, deVet H, Sturmans F. 2001. Injection therapy for subacute and chronic benign low back pain. *Spine* 26:501-15
53. http://www.mein-schmerzportal.de/sites/schmerzportal_de/files/images/zeitleiste/big/who-stufenschema.jpg. 2014. WHO Stufenschema
54. Köln U. 2012. *Operationen an der Wirbelsäule.*
55. Dandy W. 1919. Roentgenography of the brain after injection of air into the spinal canal. *Ann Surg* 70:397-403
56. Jacobaeus H. 1921. On insufflation of air into the spinal canal for diagnostic purposes in cases of tumors in the spinal canal. *Acta Med Scand* 55:555-64
57. Amundsen P. 1979. *The evolution of contrast media, in Sackett J, Strother C: New Techniques in Myelography.* pp 2-5. Hagerstown: MD: Harper & Row

58. Gutierrez C. 1981. The birth and growth of neuroradiology in the USA. *Neuroradiology* 21:227-37
59. Forestier J, Sicard A, Merle P, Legrand J. 1950. Topographic diagnosis of lumbar disk hernias by epidural injection of lipiodol. *Bull Med* 64:395-8
60. Di Chiro G, Schellinger D. 1976. Computed tomography of spinal cord after lumbar intrathecal introduction of metrizamide (computer-assisted myelography). *Radiology* 120:101-4
61. Roberson G, Kleefield J, Ellis G, Taveras J, Davis K. 1977. Metrizamide enhancement of cerebrospinal fluid for computer tomography. . *Acta Radiol Suppl* 355:306-13
62. Dietemann J, Romero C, Allal R, Gangi A, Tajahmady T. 1992. CT, myelography and CT-myelography in the evaluation of common cervicobrachial neuralgia. . *J Neuroradiol* 19:167-76
63. Masaryk T, Modic M, Geisinger M. 1986. Cervical myelopathy: A comparison of magnetic resonance and myelography. *J Comput Assist Tomogr* 10:184
64. Perneczky G, Bock F, Neuhold A. 1992. Diagnosis of cervical disc disease: MRI versus cervical myelography. *Acta neurochirurgica* 116:44-8
65. Maus T. 2012. Imaging of spinal stenosis: neurogenic intermittent claudication and cervical spondylotic myelopathy. *Radiol Clin North Am* 50
66. Huber A, Witzmann A, Fischer J. 1994. Why still use myelography in neurosurgery? *Zentralbl Neurochir* 55:197-203
67. Ozdoba C, Gralla J, Rieke A, Binggeli R, Schroth G. 2011. Myelography in the Age of MRI: Why we do it, and how we do it. . *Radiol Res Pract* 2011
68. Czervionke L, Daniels D, Wehrli F, Mark L, Hendrix L, et al. 1988. Magnetic susceptibility artifacts in gradient-recalled echo MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 9:1149-55
69. Reul J, Gievers B, Weis J, Thron A. 1995. Assessment of the narrow cervical spine canal: a prospective comparison of MRI, myelography and CT-myelography. *Neuroradiology* 37:187-91
70. Roth C, Papanagiotou P, Krick C, Reith W, Grunwald I. 2006. Imaging cervical myelo- and radiculopathy. *Radiologe* 46:993-1000

71. Shafaie F, Wippold F, Gado M, Pilgram T, Reiw K. 1999. Comparison of computed tomography myelography and magnetic resonance imaging in the evaluation of cervical spondylotic myelopathy and radiculopathy. *Spine* 24:1781-5
72. Boyce R, Wang J. 2003. Evaluation of neck pain, radiculopathy, and myelopathy: Imaging, conservative treatment, and surgical indications. *Instr. Course Lect* 52:489-95
73. Richmond B, Ghondadra T. 2003. Imaging of spinal stenosis. *Phys Med Rehabil Clin North Am* 14(1):41-56
74. Chevrot A, Drape J, Godefroy D, Dupont A. 2003. Imaging of the painful cervical spine. *J Radiol* 84:181-239
75. Peterman S, Hoffmann JJ, Malko J. 1991. Magnetic resonance artifact in the postoperative cervical spine: A potential pitfall. *Spine* 16:721-5
76. Levitt M, Benjamin V, II K. 1990. Potential misinterpretation of cervical spondylosis with cord compression caused by metallic artifacts in magnetic resonance imaging of the postoperative spine. *Neurosurgery* 27:126-9
77. Karnaze M, Gado M, Sartor K. 1988. Comparison of MR and CT myelography in imaging the cervical and thoracic spine. *Am J Roentgenol* 150:397-403
78. Dernbach, Weinstein, Little. 1988. Magnetic resonance imaging of spinal disorders. *Clin Neurosurg* 34:261 - 81
79. Yu S, Sether L, Ho P. 1988. Tears of the annulus fibrosus: Correlation between MR and pathologic findings in cadavers. *AM J Neuroradiol* 9:367-70
80. Bundschuh C, Modic M, Ross JS. 1988. Epidural fibrosis and recurrent disk herniation in the lumbar spine: MR imaging assessment. *Am J Roentgenol* 150:923-32
81. Ross J, Masaryk T, Schrader M. 1990. MR imaging of the postoperative lumbar spine: Assessment with gadopentetate dimeglumine *Am J Roentgenol* 155:867-72
82. Menezes A, Sonntag V. 1996. *Principles of Spinal Surgery*. McGraw-Hill Companies. 750 pp.
83. Lee B, Kazam E, Newman A. 1978. Computed tomography of the spine and spinal chord. *Radiology* 128:95-102

84. Scotti G, Scialfa G, Pieralli S. 1983. Myelopathy and radiculopathy due to cervical spondylosis: Myelographic-CT correlations. *AJNR* 4:601-3
85. Schizas C, Kulik G. 2012. Decision-making in lumbar spinal stenosis: A survey on the influence of the morphology of the dural sac. *J Bone Joint Surg Br* 94:98-101
86. Schizas C, Theumann N, Burn A, Tansey R, Wardlaw D, et al. 2010. Qualitative grading of severity of lumbar spinal stenosis based on the morphology of the dural sac on magnetic resonance images. . *Spine* 35:1919-24
87. Ruggiero R, De Bellis A, Caiazzo P, De Bellis M. 2007. MR Myelography in Degenerative Spinal Disease. *Neuroradiol J* 20:311-7
88. Eberhardt K, Ganslandt O, Stadlbauer A. 2013. Improved magnetic resonance myelography using image fusion. *Rofo* 185:333-9
89. Gilbert J, Wheeler G, Lindgreen R, Johnson R, Scheiner S, et al. 2008. Imaging in the position that causes pain. *Surgical neurology* 69:463-5
90. Brown B, Schwartz R, Frank E. 1988. Preoperative evaluation of cervical radiculopathy and myelopathy by surface-coil MR imaging. *Am J Roentgenol* 151:1205-12
91. Croskerry P, Abbass A, Wu A. 2010. Emotional influences in patient safety. *J Patient Saf* 6:199-205
92. Bechara A. 2004. The role of emotion in decision-making: evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. . *Brain Cogn* 55:30-40
93. Chin K, Eiszner J, Huang J, Huang J, Roh J, Bohlman H. 2008. Myelographic evaluation of cervical spondylosis: patient tolerance and complications. *J Spinal Disord Tech* 21:334-7

8. Danksagung

Abschließend möchte ich all Jenen danken, die zu dem Gelingen der vorliegenden Arbeit maßgeblich beigetragen haben.

Ein besonderer Dank für die Überlassung des Promotionsthemas, die überaus engagierte Betreuung, den fachlichen Rat, die motivierenden und inspirierenden Gespräche sowie das Korrekturlesen gebührt Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Thomas L. Westermaier, meinem Doktorvater.

Ich bedanke mich auch bei Dr. med. Jörg Eriskat, Dr. med. Thomas Linsenmann und Dr. med. Christian Stetter für die maßgebliche Mitarbeit bei der Erstellung dieser Promotionsarbeit.

Mein Dank gilt auch den Mitdenkern, Korrekturlesern, Zuhörern, meiner Familie und meinen Freunden. Danke J.

9. Lebenslauf