

Aus der Radiologie in München Harlaching

Orthozentrum

Leiter: Prof. Dr. med. A. Stäbler

**Magnetresonanztomographische, pathoanatomische und histologische Korrelation von
Ligamenta alaria an humanen Präparaten nach gewaltsamem Tod**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig – Maximilians – Universität zu München

Vorgelegt von

Stephanie Helena Rita Koch

aus

München

Jahr

2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Axel Stäbler

Mitberichtserstatter: Prof. Dr. Peter A. Winkler
Prof. Dr. Heinz Künzle

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Maximilian Reiser

Tag der mündlichen Prüfung: 09.10.2008

Meinen Eltern Rita und Rudolf Koch gewidmet

Magnetresonanztomographische, pathoanatomische und histologische Korrelation von Ligamenta alaria an humanen Präparaten nach gewaltsamem Tod

1	Einleitung.....	6
1.1	Verletzung der oberen Halswirbelsäule nach direktem Trauma bzw. nach indirekten Trauma, z.B. bei Auffahrunfällen.....	6
1.1.1	Definition von Beschleunigungsverletzungen:.....	6
1.1.2	Diagnostik von Halswirbelsäulentraumen.....	9
1.2	Anatomische Grundlagen der Ligamenta alaria.....	10
1.2.1	Biomechanik der Ligamenta alaria:.....	11
1.2.2	Histologie der Ligamenta alaria:.....	13
1.2.3	Ligamentum transversum occipitis:.....	14
1.3	Grundlagen der Magnetresonanztomographie (im Bezug auf die Bändermorphologie im Bereich der oberen Halswirbelsäule).....	15
1.4	Ziel der Arbeit.....	18
2	Methodik.....	19
2.1	Rechtsmedizinische Entnahme der Präparate.....	19
2.2	Magnetresonanztomographische Untersuchung.....	22
2.3	Makroskopische Anatomie Präparation und Darstellung.....	26
2.3.1	Makroskopische Präparationsanleitung der Präparate 1-12 und 14:.....	26
2.3.2	Makroskopische Präparationsanleitung des Präparates 13 (GS 991/04):.....	27
2.4	Mikroskopische Anatomie Präparation und Darstellung.....	27
2.4.1	Erstellung der Methyl- Metacrylat- Histologie.....	27
2.4.2	Quantitative Fettbestimmung zwischen den Bandfaszikeln.....	29
3	Methodenkritik.....	29
4	Ergebnisse.....	30
4.1	Auswertung der magnetresonanztomographischen Befunde.....	30
4.2	Auswertung der makroskopische Präparation.....	50
4.3	Vergleich der Ergebnisse von der kernspintomographischen Untersuchung und mit den Ergebnissen der makroskopischen Präparation.....	58

4.4	Auswertung der mikroskopischen Darstellung.....	58
4.4.1	Auswertung der Methyl- Metacrylatkunststoffeinbettung:.....	58
5	Korrelation aller Ergebnisse	61
6	Diskussion.....	76
6.1	Mögliche diagnostische Verfahren bei Verletzungen der Halswirbelsäule:.....	77
6.2	Darstellung des Ligamentum alare	78
6.2.1	Darstellung der Verlaufsrichtungen:.....	78
6.2.2	Darstellung der Fettanteile zwischen den Bandfaszikeln:	79
6.3	Normvarianten im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis und eines acessorischen kranialen Ligamentum alare	80
6.3.1	Ligamentum transversum occipitis:.....	80
6.3.2	zusätzliche Bandstruktur im Sinne eines accessorischen kranialen Ligamentum alare	80
6.4	Methodik.....	81
6.4.1	Mögliche Fehlerquellen und Messungenauigkeiten	81
6.5	Kriterien für eine Ruptur der Ligamenta alaria.....	82
6.5.1	Erkennen traumatischer Läsionen mit Hilfe der Magnet- resonanztomographie	82
6.5.2	Erkennen traumatischer Läsionen mittels Computertomographie:.....	84
6.5.3	Erkennen traumatischer Läsionen mittels Funktionsuntersuchungen.....	85
6.5.3.1	funktionelle magnetrezonanztomographische Untersuchung:.....	85
6.5.3.2	funktionelle computertomographische Untersuchung:	86
6.6	Resultat der Arbeit	87
6.7	Konsequenz.....	87
7	Zusammenfassung.....	89
8	Literaturverzeichnis:	92
9	Danksagung.....	104
	Lebenslauf.....	105

Magnetresonanztomographische, pathoanatomische und histologische Korrelation von Ligamenta alaria an humanen Präparaten nach gewaltsamem Tod

1 Einleitung

1.1 Verletzung der oberen Halswirbelsäule nach direktem Trauma bzw. nach indirekten Trauma, z.B. bei Auffahrunfällen

Bei ca. 400.000 polizeilich erfassten Verkehrsunfällen pro Jahr erleiden in 81% der Fälle eine Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule (Grifka 1998). Auf Grund der hohen Inzidenz, der langen Ausfallzeiten und hohen Behandlungskosten (10-20 Billionen DM in Europa; 1997) hat dieser Unfallmechanismus eine besondere medizinische und sozio-ökonomische Bedeutung (sekundärer Krankheitsgewinn/ finanzielle „Gesundungshemmung“, Mc Kinney 1994).

1.1.1 Definition von Beschleunigungsverletzungen:

Die Bezeichnung whiplash-injury (Peitschenschlag) wurde erstmals geprägt von Crowe (1928). Synonym hierfür wurde der Begriff Schleudertrauma im deutschen Sprachgebrauch verwendet. Schleudertraumata werden definiert als Hyperextensionsbewegung der oberen HWS (Kuhlendahl 1964), „HWS-Distorsion“ oder auch als „Non-contact injury“ (Nidecker 1997; Pfirrmann 2000), die in Kombination mit einer gleichzeitig stattfindenden axialen Rotation möglicherweise zu einer Verletzung der Ligamenta alaria (Saternus 1987) führen könnten.

Im Rahmen von Schleudertraumata/ whiplash-injury versuchten Gay und Abbott 1953 eine Definition zu schaffen. Sie legten fest, dass es sich immer um die Folge eines Auffahrunfalls mit Heckaufprall handelt, bei dem keine äußeren Verletzungszeichen im Kopf-Hals-Bereich, in der Frühphase keine neurologischen Ausfälle und keine knöchernen Verletzungen, sondern primär distorsionsbedingte Beschwerden im Kopf-Hals-Bereich

vorliegen (Grifka 1998). Jonsson (1994) definiert „whiplash“ als eine indirekte Distorsion der Halswirbelsäule bei Hochgeschwindigkeitsunfällen ohne direkten Kopfkontakt.

Eine weitere Definition der Halswirbelsäulendistorsion ist die direkte Gewalteinwirkung, z.B. Kopf-Kontakt bei Schlägerei, Sturz oder Sprung in flaches Gewässer (Müller 2004/05).

Schleudertraumata werden heute anhand der Quebec- Klassifizierung in ihre Schweregrade eingeteilt:

Grad 0: keine Klagen über Nackenbeschwerden, keine klinischen Veränderungen

Grad 1: Nackensteife und –schmerzen; keine klinischen Veränderungen objektivierbar

Grad 2: Nackensteife und –schmerzen; zusätzlich muskulär-skelettale Zeichen wie umschriebene, schmerzhafte Muskelverspannungen und verminderter Bewegungsumfang

Grad 3: Nackensteife und –schmerzen; zusätzlich neurologische Zeichen wie verminderte oder fehlende tiefe Sehnenreflexe, Schwäche und Sensibilitätsverlust

Grad 4: Nackensteife und –schmerzen; zusätzlich Fraktur und/ oder Dislokation

Im Rahmen dieser Unfallmechanismen ergab sich eine anhaltende Diskussion über die Vulnerabilität der Ligamenta alare (Panjabi 1991; Willauschus 1995). Die Ligamenta alaria limitieren die axiale Rotation (Dvorak 1987), diese Funktion wird sekundär durch die Membrana Tectoria, die begleitenden atlanto-axialen Bandstrukturen und die Gelenkkapsel unterstützt. Die Flexionsbewegung hingegen wird hauptsächlich durch die Membrana tectoria, die longitudinalen Fasern des Ligamentum cruciforme und des Ligamentum transversum limitiert (Fielding 1974; Lanz-Wachsmuth 1979).

Die Häufigkeit von Verletzungen der Ligamenta alaria wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die erste Ruptur wurde von Dittrich 1895 beschrieben, als Folge einer totalen Schädelabtrennung.

Isolierte Verletzungen der Ligamenta alaria wurden 1963 von Pribilla und Zöller beschrieben. Lindner fand in einer Studie 1986, dass ein Jahr nach einer Wirbelsäulendistorsion 24 von 31 Patienten klinisch und computertomographisch eine Verletzung vor allem der ipsilateralen Ligamenta alare aufweisen. Saturnus (1987) hingegen

zeigte in einer postmortalen Studie, dass es keine Korrelation zwischen der Schwere eines Schädel-Hirn-Traumata und der Vulnerabilität der Ligamenta alare gibt. So konnten die Bänder bei umfangreichen knöchernen Verletzungen des Schädels unbeteiligt sein, während bei reinen Weichteiltraumen (z.B. Hämatome, Platzwunden) des Schädels die Ligamenta alaria rupturiert waren. Er fand bei 11 von 30 Präparaten Verletzungen v.a. der kontralateralen Ligamenta alaria in Form von Zerreißen oder Unterblutungen. Dieser Unterschied zu Lindner könnte mit der höheren kinetischen Energie bei tödlichen Traumata im Gegensatz zu der bei Überlebenden zusammenhängen.

In einer weiteren Studie von Saturnus (1981 und 1982) wurde bei 340 von 427 Patienten eine Verletzung der craniocervicalen Ligamenta diagnostiziert, ossäre Verletzung hingegen nur bei 57 Leichen. Willauschus (1995) untersuchte 15 Leichen mit Zustand nach Verkehrsunfall, sieben Patienten nach „Schleudertrauma“ und acht freiwillige Probanden ohne Trauma im MR. Hierbei fand er Läsionen der Ligamenta alare im Sinne einer Ruptur nur bei tödlich verunglückten Menschen. Diese Rupturen seien jedoch nur in Zusammenhang mit massiven ligamentären und ossären Verletzungen im Bereich der oberen Halswirbelsäule einschließlich des Schädels zu finden. Bei Gesunden oder auch bei Personen mit Zustand nach einer HWS- Hyperextension konnte Willauschus keine Läsionen diagnostizieren.

Adams (1993) fand bei 155 Autopsien nach Verkehrsunfällen 22-mal eine Verletzungen der Ligamenta alaria, unterschiedlichster Ausprägung und Lokalisation. Man fand kein bestimmtes Verletzungsmuster, dass zu einer solchen Verletzung führen könnte. Adams hält es allerdings für möglich, dass die Rotation der Halswirbelsäule ursächlich sein könnte. In einer postmortalen Studie von Hartwig (2004) zeigte sich, dass die Ligamenta alaria bei einem Seitenaufprall nicht beschädigt werden. Es kämme allerdings regelmäßig zu Verletzungen der Gelenkkapsel und der Bandscheiben.

In einer Studie von Schröter (2002) wurden 72 Patienten mit persistierendem Drehschwindel, Tinnitus und chronischen Cephalgien nach einem bekanntem Schleudertrauma der Halswirbelsäule im MRT untersucht. In seinem Patientenkollektiv gab es kein Hinweis auf eine Totalruptur des Ligamentum alare.

Auf Grund postmortaler Studienergebnisse kann man zu der Annahme kommen, dass Weichteilverletzungen häufiger vorkommen als angenommen wird.

1.1.2 Diagnostik von Halswirbelsäulentraumen

Für die Diagnostik von HWS- Verletzungen werden Projektionsradiogramme, computertomographische und magnetresonanztomographische Aufnahmen durchgeführt.

Die Projektionsradiographie in 2 Ebenen (a.p., seitlich) dient als Übersicht, ebenso die transorale Densaufnahme um eine Beurteilung hinsichtlich Frakturen oder Luxationen zu erreichen.

Als weiterführende Diagnostik sind computertomographische Aufnahmen hilfreich für das Auffinden von Fissuren, Frakturen und knöcherner Ausrissfrakturen. Die Morphologie von Band- und Kapselstrukturen hingegen ist nicht beurteilbar.

Auf Grund eines überlegenen Weichteilkontrastes ist die Magnetresonanztomographie die beste diagnostische Methode für die Darstellung und Beurteilung der Ligamenta alaria. Bei der Interpretation müssen „physiologische Normvarianten von posttraumatischen Veränderungen“ differenziert werden. Als Normvarianten wurde bereits von Ludwig (1952) das Ligamentum transversum occipitis und ein atlanto- alarer Bandanteil bei Dvorak (1987) beschrieben.

Eine Fehlinterpretation von magnetresonanz- beziehungsweise computertomographischen Untersuchungen und von klinischen Befunden (z.B. therapieresistente Kopfschmerzen, Schwindel, Nackenschmerzen, Konzentrationsstörungen, Müdigkeit, Parästhesien in den oberen Extremitäten) im Sinne einer Rotationsinstabilität, könnte im ungünstigsten Fall eine Stabilisierung mittels Spondylodese zwischen Atlas und Axis bzw. Occiput und Axis bedingen. Wegen einer resultierenden massiven Einschränkung der Beweglichkeit und der Lebensqualität ist bei dieser Indikation äußerste Zurückhaltung geboten (Dvorak 1987).

1.2 Anatomische Grundlagen der Ligamenta alaria

Das erste Mal wurden die Ligamenta alaria von Weitbrecht 1742 in der Literatur beschrieben.

Die Ligamenta alare („Flügelbänder“) reichen im Allgemeinen von den oberen 2/3 des dorsolateralen Anteiles des Dens axis bis zum ipsilateralen medialen Anteil des Condylus occipitalis.

In älteren Beschreibungen (Weber 1820, Langenbeck 1842, Arnold 1845, D'Alton 1850) wird einerseits ein apikaler Ursprung mit kranio-lateraler Verlaufsrichtung und andererseits die Seitenfläche des Dens als Ursprung mit einem horizontalen Verlauf (Weitbrecht 1742, Lauth 1835, Sömmering 1839, Luschka 1862) beschrieben.

1946 beschreibt J. Sobotta die Ligamenta alaria als schräg kranial laufende, überaus starke und scharf begrenzter Faserzüge, die den Dens axis/ Epistrophei unmittelbar am Schädel beziehungsweise an den medialen Condylen befestigen. Die Fasern verlaufen im Allgemeinen parallel im Hauptbandverlauf. Ihre Ränder allerdings weichen lateralwärts etwas auseinander wodurch ihre Ansatzfläche oberhalb des Condylus occipitalis breiter wird als ihre Ursprungsfläche am Dens axis. Unter anderem strahlen mittlere Faserzüge in die Gelenkkapsel des Articulatus atlantooccipitalis ein (Ludwig 1952). Saldinger (1990) beschreibt in seiner Arbeit, dass teilweise ventrale Fasern des Ligamentum alare, die atlanto- dentale Gelenkkapsel inserieren.

In neuerer Literatur werden kranio-caudale, caudokraniale und horizontale Verläufe beschrieben. Die Mehrheit der Autoren beschreibt einen alleinigen Ansatz der Bänder an den medialen Condylen. In Arbeiten von Ludwig (1952) und Cave (1933) hingegen wurden asymmetrische Verbindungen von den anterior-inferioren Bandanteilen zur Massa lateralis bzw. atlanto-dentale Verbindungen, diese reichen vom Dens bis zum vorderen Atlasbogen, beschrieben (Dvorak 1988).

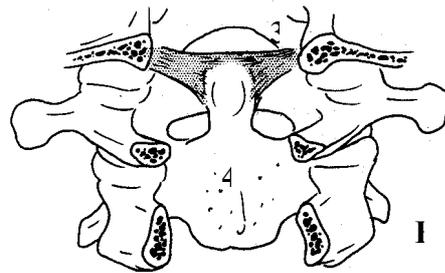
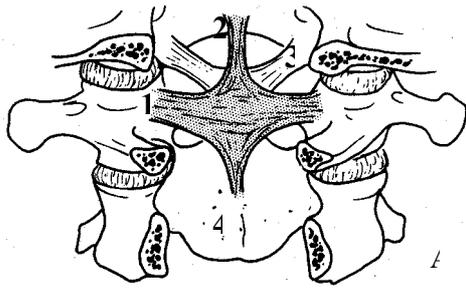


Abbildung 1:

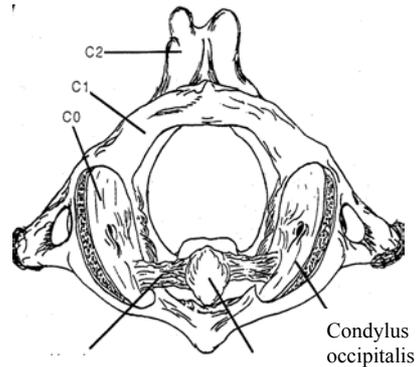
Schematische Darstellung der Ligamenta alaria
(aus Histology of the alar and transverse ligaments, Saldinger 1990)

A) dorsale Ansicht coronar mit Ligamentum transversum und Ligamentum apicis dentis

- 1 Ligamentum transversum
- 2 Ligamentum apicis dentis
- 3 Ligamenta alaria
- 4 Dens axis

B) dorsale Ansicht coronar nach Entfernung der Ligamentum transversum und apicis dentis

C) axial geschnitten, von kranial betrachtet (aus Panjabi 1991)



Ligamentum alaria

Dens

C

1.2.1 Biomechanik der Ligamenta alaria:

Die Hauptbewegungsrichtung der oberen Halswirbelsäule ist die Rotation, wobei 5% auf das Segment C 0/ 1 entfällt und 55% auf C 1/ 2. Die restlichen 40% entfallen auf die untere Halswirbelsäule (C 3/ 4; C 4/ 5; C 5/ 6) (Panjabi 1990).

Die Stabilität nach anterior wird primär durch das Ligamentum transversum und sekundär durch die Ligamenta alaria und der übrigen Bänder gewährleistet. Die Stabilität nach posterior ist durch den vorderen Ringanteil des Atlas gegenüber dem Dens gegeben (Fielding 1974).

Die wesentliche Aufgabe der Ligamenta alaria ist die Limitation der axialen Rotation in der oberen Halswirbelsäule (nur 25° beiderseits möglich; Sobotta 1948), jeweils durch das kontralaterale Ligamentum alaria. In ihrer Funktion werden sie unterstützt durch das

Ligamentum transversum atlantis, Ligamentum apicis dentis, dem hinteren Längsband und der Membrana tectoria.

In der Literatur werden unterschiedliche biomechanische Vorgänge an den Ligamenta alaria beschrieben: Henke (1858), Fick (1904) und Crisco (1991) beschreiben einen straffen Zustand in der Neutralposition, Werne (1957), Dvorak und Panjabi hingegen einen lockeren Zustand. Werne schließt unter anderem nicht aus, dass einige Fasern der Ligamenta alaria straff sind, während andere Fasern sich in einem lockeren Zustand befinden.

Unterschiede bestehen auch im Bezug auf Rotationsbewegungen an der oberen Halswirbelsäule. Einige Autoren beschreiben, dass zuerst der inferiore Bandanteil gedehnt wird und bei zunehmender Rotation auch der superiore Anteil. Das kontralaterale Band hingegen ist entspannt. Bei der Seitneigung hingegen wird der occipitale Anteil des contralateralen Anteiles gedehnt und ist hierbei der limitierende Faktor (Henke 1858; Fick 1904; Dvorak und Panjabi 1987). Fick fand außerdem heraus, dass bei einer Rechtsdrehung sich das linke Ligamentum alaria anspannt und bei zunehmender Drehung sich das linke Ligamentum um den Dens wickelt und dadurch verkürzt wird. Gray's Anatomy (1957) hingegen beobachtete, dass beide Bänder gleichzeitig die Rotation limitieren. Einmal durch die anterioren Fasern auf der Seite der Rotation und durch die posterioren Fasern der Gegenseite. In einer postmortalen Studie von Panjabi (1991) kam es bei Durchtrennung eines Ligamentum alare zu einer zunehmenden axialen Rotation in beide Richtungen, wobei die Zunahme der Rotation auf die intakte Seite größer ist.

Ist der Kopf rotiert und gleichzeitig gebeugt, sind die Ligamenta alaria maximal gedehnt und somit vulnerabel bei Unfällen. Eine Hypermobilität beziehungsweise Instabilität soll zu einer Zunahme der axialen Rotation zwischen Occiput-Atlas und Atlas-Axis und zu einer Zunahme bei Seitneigung zwischen Atlas und Axis führen (Dvorak 1987). Auf dieser Grundlage basiert bei Dvorak die indirekte Diagnose einer Ruptur der Ligamenta alaria in der Funktions-Computertomographie. Hartwig (2004) kam zu dem Ergebnis, dass bei Seitenaufprall die Gelenkkapsel und die Bandscheiben im Halswirbelsäulenbereich beschädigt werden, die Ligamenta alaria hingegen unbeschädigt bleiben.

1.2.2 Histologie der Ligamenta alaria:

Die Ligamenta alaria bestehen vorwiegend aus kollagenen Fasern und enthalten nur einige elastische Fasern in den Randbereichen. Dorsal und ventral werden die dichten kollagenen Fasern von lockerem Bindegewebe bedeckt (Dvorak 1988). In der sagitalen Ebene ist zu erkennen, dass die Fasern im Allgemeinen parallel zur Hauptverlaufsrichtung verlaufen.

Die mechanischen Eigenschaften eines Bandes werden durch drei Faktoren beeinflusst (Dvorak):

- (1) mechanischen Eigenschaften von kollagenen und elastischen Fasern
- (2) dem Anteil der einzelnen Fasern innerhalb eines Bandes
- (3) der Verlaufsrichtung

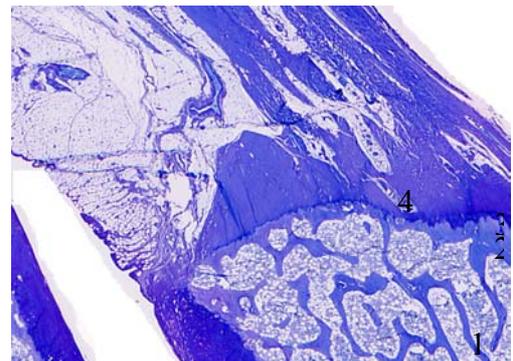
Auf Grund des extrem hohen Anteils der kollagenen Fasern und Fehlen der elastischen Fasern wird den Ligamenta alaria eine bestimmte Vulnerabilität im Sinne einer irreversiblen Dehnung oder auch Ruptur zu gesprochen.

Cooper und Misol beschreiben (1970) vier Zonen am ligamentär- ossären Übergang:

Abbildung 2:

Methyl- Metacrylat- Anschnitt eines Ligamentum alaria

- (1) kollagene Fasern
- (2) nicht- mineralisierter Faserknorpel
- (3) mineralisierter Faserknorpel
- (4) Lamellenknochen



Weiterhin werden die Ligamenta alaria von Gefäßen und Nerven durchzogen.

1.2.3 Ligamentum transversum occipitis:

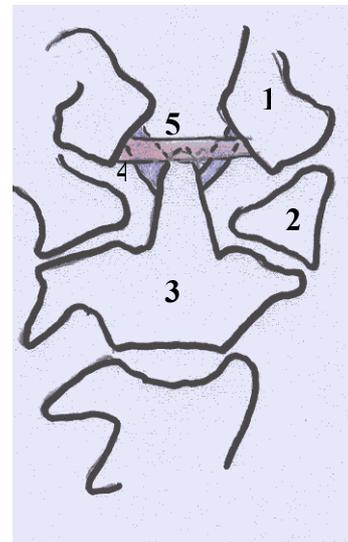
Als Variante wurden von Lauth (1835), Ludwig (1952) und Dvorak (1985) das Ligamentum transversum occipitis beschrieben. Eine zusätzliche Bandstruktur, die sich aus kranialen und dorsalen Fasern beider Ligamenta alaria bildet und über den Dens dorsal hinweg zieht, teilweise an den Dens angeheftet ist oder durch eine Bursa synovialis von ihm getrennt ist.

Abbildung 3:

Schematische Darstellung des Ligamentum occipitis:

(aus „funktional Anatomy of the alar ligaments, Dvorak 1987)

- 1 Condylus occipitalis
- 2 Massa lateralis atlantis
- 3 Dens axis
- 4 Ligamenta alaria
- 5 Ligamentum transversum atlantis



1.3 Grundlagen der Magnetresonanztomographie (im Bezug auf die Bändermorphologie im Bereich der oberen Halswirbelsäule)

Zur Diagnostik bei Beschwerden der oberen Halswirbelsäule hat sich der Einsatz der Magnetresonanztomographie (MRT) wegen des besseren Weichteilkontrastes gegenüber der Computertomographie (CT) und der Projektionsradiographie als überlegene Methode erwiesen. Aufnahmen in jeder Ebene können durchgeführt werden. Mit Hilfe verschiedener Sequenzen und Schichtrichtungen werden pathologische Befunde besser hervorgehoben.

Grundlage der Magnetresonanztomographie ist die Unterscheidung zwischen fettgebundenen und wassergebundenen Protonen. Fettgebundene Protonen verlängern die T1-Relaxationszeit und zeigen sich signalintensiv im T1-gewichteten Spinecho Bild, wassergebundene Protonen (in allen Zellen vorhanden) hingegen produzieren ein niedriges Signal im T1-gewichteten Spinecho-Bild (Vahlensieck 1997). Das hämatopoetische Knochenmark eines Wirbelkörpers eines Erwachsenen stellt sich wegen des cirka 50% Fettanteils im roten Knochenmark im T1-gewichteten Bild relativ signalintens dar, die wasserreiche Bandscheibe im Gegensatz dazu dunkel. Liquor ist hypointens, Fettgewebe hyperintens und die Band- und Faserstrukturen hypointens in T1-gewichteten Sequenzen.

Pathologische Veränderungen (z.B. Ergüsse, Hämatome, Frakturen, Rupturen, Entzündungen, Degenerationen) führen zu typischen Signalveränderungen, durch Anstieg des extrazellulären Wassergehaltes mit niedriger Signalintensität auf T1-gewichteten-Bildern und Hyperintensität auf T2-gewichteten, wassersensitiven Aufnahmen. Direkter Hinweis auf eine Verletzung eines Ligamentum alare wäre das Vorliegen eines peridentalen Hämatoms, auf coronaren und axialen T2-gewichteten, STIR-Aufnahmen oder fettsignalunterdrückten protonengewichteten Sequenzen.

Von großer Bedeutung für die Diagnostik im Muskel-Skelett-Bereich ist die Fettsignalunterdrückung, dabei wird das Fettsignal des Knochenmarks, des subcutanen Gewebes und des übrigen Weichteils unterdrückt.

In den ersten Wochen nach einem Trauma sind vor allem in T2-gewichteten, wassersensitiven Sequenzen signalintensive Läsionen nachweisbar, die die normale

hypointense Bandstruktur unterbrechen und Hinweis auf Einblutungen oder ein post-traumatisches Ödem sind.

Als nicht invasives Verfahren und wegen einer fehlenden Exposition gegenüber ionisierender Strahlen, hat sich die MRT in der klinischen Routinediagnostik für unklare Beschwerden des muskulo-skelettalen Systems als wichtigste Methode etabliert. In einer Beurteilung müssen jedoch anatomischen Normvarianten berücksichtigt werden.

Nachteil ist die geringere Abgrenzbarkeit von solider Knochensubstanz, da diese keine Protonen enthält. Daher können nur größere Knochenverletzungen im MRT eindeutig dargestellt werden. Weiterhin können Patienten mit Metallimplantaten (z.B. Chochleaimplantate, Schrittmacher, Granatsplitter) nicht untersucht werden. Auf Grund von Artefakten ist nur eine eingeschränkte Beurteilung z. B. bei orthopädischen Prothesen möglich.

Auflistung häufig verwendeter MRT- Sequenzen:

I. Spin-Echo-(SE)-Technik (T1- Kontrast)

1. kurze Repetitionszeit ($TR < 700$ ms) und kurze Echozeit ($TE < 20$ ms)
2. Basissequenz in der Beurteilung des Stütz- und Bewegungsapparates (anatomische Orientierung und Identifizierung von Blut)
3. Fett, Blut mit Methämoglobin und eiweißreiche Flüssigkeiten stellen sich signalreich dar
4. Muskulatur, kortikaler Knochen, Verkalkungen und viele pathologischen Veränderungen sind signalarm
5. wenig anfällig gegenüber Artefakten

II. Spin-Echo-(SE)-Technik (T2- Kontrast, als Turbo (Fast)-SE-Sequenz)

1. lange Repetitionszeit (TR 1800- 3000 ms) und lange Echozeit (TE 80- 120 ms)
2. ähnlich einer SE- Sequenz, es werden mehrere Echos innerhalb eines Repetitionszeit- Intervalls ausgelesen, hierdurch verringert sich die Messzeit
3. Verbesserung der Bildqualität (Signal-Rausch-Verhältnis) durch mehrere Datenmittelungen bei gleicher Messzeit

4. Fett und Muskel sind signalärmer als im T1-gewichteten Aufnahmen (Fett ist allerdings bei „schnellen“ T2- gewichteten Sequenzen relativ signalreich; Nachteil kann die erschwerte Beurteilung von pathologischen Veränderungen in unmittelbarer Nähe zu Fett sein)
 5. Flüssigkeiten und viele pathologische Veränderungen zeigen sich signalreich
 6. höhere Auflösung und Kompensation des geringeren Signal-Rausch-Verhältnisses durch zusätzliche Datenmittelungen bei TSE-Sequenzen
- III. Fettunterdrückung mittels inversion- recovery- Sequenz (STIR) und kurzer Inversionszeit (IR)
1. Fettgewebe ist signalarm bis signalfrei dargestellt, da die Fettprotonen nicht zum Signal beitragen.
 2. Besonderheit ist, dass sich pathologische Veränderungen, wie Ödeme und Tumoren mit einem höheren Signal darstellen als in allen anderen Sequenzen.
 3. Vorteil in der Darstellung von Veränderungen des Stütz- und Bewegungsapparates durch Erhöhung der Sensitivität im Bezug auf Ödeme und Knochenmarködeme.
- IV. Protonendichte Wichtung (PD)
1. Kontrast ist hauptsächlich durch die Protonendichte des abgebildeten Gewebes beeinflusst
 2. Wasser und Fett besitzen hohe Protonendichte und werden in einem protonendichtegewichteten Bild hyperintens dargestellt.
 3. im Knochengewebe und in Verkalkungen ist die Protonendichte gering, sie zeigen sich hypointens.

Die Computertomographie bietet Vorteile in der Diagnostik von Frakturen, Fissuren und ligamentär-knöchernen Ausrissen im Bereich des kraniozervikalen Übergangs, wie zum Beispiel bei Frakturen der Condylen, eingeteilt nach Anderson und Montesano (Bloom 1996; Bloom 1997; Obenauer 1999), bei Berstungsfrakturen des Atlas nach Jefferson und Densfrakturen nach Anderson und D'Alonzo.

Fraktуреinteilung der Okzipitalkondylen nach Anderson und Montesano (1988):

- Typ 1: isolierte Kompressionsfraktur der Kondyle ohne wesentliche Dislokation von Fragmenten in das Foramen ovale; stabile Verhältnisse; assoziiert mit Verletzungen der Ligamenta alaria
- Typ 2: Lineare Fraktur im Rahmen einer Schädelbasisfraktur; stabile Verhältnisse
- Typ 3: Ausrißfraktur des Ligamentum alare, bzw. Abscherfraktur einer oder beider Kondylen; potentielle Instabilität im kraniocervikalen Übergang

Einteilung der Atlasfrakturen nach Jefferson (1980):

- Typ 1: Fraktur des vorderen Atlasbogens
- Typ 2: Fraktur des hinteren Atlasbogens
- Typ 3: Fraktur des hinteren und vorderen Atlasbogens (Jefferson- Fraktur)
- Typ 4: Fraktur der Massa lateralis
- Typ 5: Fraktur des Processus transversus

Einteilung der Densfrakturen nach Anderson und D'Alonzo (1974):

- Typ 1: Fraktur den Densspitze; Ausrissfraktur des Ligamentum alare
- Typ 2: Fraktur oberhalb der Basis des Dens axis
- Typ 3: Fraktur durch den Wirbelkörper

1.4 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Darstellung der Ligamenta alaria in der Magnetresonanztomographie, nach Gewalteinwirkung auf die Halswirbelsäule mit tödlichem Ausgang, und deren direkte Korrelation mit der Pathoanatomie und Histologie. Schwerpunkt wurde auf die Darstellung und anatomischen Variationen und mögliche Verletzungen der Ligamenta alaria in der Magnetresonanztomographie gelegt.

2 Methodik

In der vorliegenden Studie wurden die MR-tomographische Aufnahmen von traumatisierten oberen Halswirbelsäulen mit möglichen Verletzungen der Ligamenta alaria mit den entsprechenden pathoanatomischen Schnittbildern korreliert um somit Aussagen treffen zu können, wie sich bestimmte pathologische Befunde oder auch Normvarianten im MR- Bild darstellen.

Basis einer solchen Studie ist die Erstellung exakt korrelierender Schnitte, sowohl im Magnetresonanztomographen als auch in den anatomischen und histopathologischen Schnitten.

Untersucht wurden vierzehn humane obere Halswirbelsäulenpräparate nach tödlichem Schädelhirntrauma (SHT) in der MRT mit anschließender makroskopischer und mikroskopischer Korrelation.

2.1 Rechtsmedizinische Entnahme der Präparate

Vierzehn Wirbelsäulenpräparate der oberen HWS, vom Occiput bis einschließlich C3 reichend, wurden nach einer rechtsmedizinischen Obduktion entnommen. Die Präparate eins bis neun wurden in verschweißten Plastikbeutel bei -19° eingefroren. Die Präparate zehn bis vierzehn wurden gleich im Anschluss an ihre Entnahme im MRT untersucht und anschließend in Formaldehydlösung 4 % eingelegt, um nach der makroskopischen Präparation eine Methyl-Methacrylat- Darstellung durchführen zu können. Die Entnahme der HWS – Präparate wurde unter der Anleitung von Prof. Dr. Dr. med. Randolph Penning aus dem Rechtsmedizinischen Institut unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. med. Eisenmenger in der Frauenlobstraße, 80336 München, vorgenommen. Die Präparatekennzeichnung basiert auf der rechtsmedizinischen Leichenidentifikation mit GS .../04.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von 02/04 bis 07/04.

Bei den Präparaten handelt es sich um sechs weibliche und acht männliche Leichen, die im Durchschnittsalter von 62,9 Jahren (32 bis 91 Jahren) verstorben waren und eine tödliche

Schädelverletzung erlitten hatten (genaue Todesursachen siehe Tabelle 1, Seite 21). An der Halswirbelsäule waren keine offensichtlichen Verletzungen erkennbar. Zwölf der vierzehn Individuen erlitten eine direkte Gewalteinwirkung auf den Schädel, teilweise mit Schädelfrakturen bzw. Frakturen der Halswirbelsäule. Unter den zwei Präparaten ohne tödliche Schädelhirnverletzung befand sich eine HWK 1-Fraktur und ein Individuum, das ohne äußerliche Einwirkung verstorben ist (Todesursache ungeklärt).

Tabelle 1 Übersicht über die untersuchten Präparate

Nr.	Kennzeichnung	Geschlecht	Alter/Jahrgang	Todesursache
1	GS 252 / 04	männlich	68 Jahre / Jg. 1936	Schädelhirntrauma
2	GS 384 / 04	männlich	57 Jahre / Jg. 1947	Schädelhirntrauma
3	GS 423 / 04	weiblich	69 Jahre / Jg. 1935	Fußgänger gegen LKW; kein Schädelhirntrauma; nur Platzwunde
4	GS 438 / 04	weiblich	32 Jahre / Jg. 1972	z.n. Fenstersturz vor einigen Jahren Tod durch erneuten Fenstersturz, Schädelhirntrauma
5	GS 486 / 04	weiblich	57 Jahre / Jg. 1947	Ertrunken nach Kopfsprung ins Wasser
6	GS 487 / 04	weiblich	76 Jahre / Jg.1928	Plastiktüte über Kopf; Ersticken und daraus resultierender Sturz auf Tischkante
7	GS 516 / 04	männlich	88 Jahre / Jg. 1922	Schädelhirntrauma in Folge eines Sturzes: keine Frakturzeichen, aber Subdurale Blutung;
8	GS 534 / 04	weiblich	82 Jahre / Jg.1922	Sturz auf Stirn mit HWK 5-Fraktur Nebenbefund: Plasmozytom
9	GS 614 / 04	männlich	91 Jahre / Jg. 1913	HWK 1- Fraktur; Ursache: Durchschuss
10	GS 806 / 04	männlich	40 Jahre / Jg.1964	Bahnüberrollung mit Zerkümmerung der Schädelbasis (Schädelbasis original); multiple Verletzungsmuster
11	GS 811 / 04	männlich	54 Jahre / Jg. 1950	Todesursache ungeklärt
12	GS 990 / 04	weiblich	75 Jahre / Jg. 1929	Schädelfraktur des Os occipitale 1) vor Monate links 2) vor 2 Tagen rechts Nebenbefund: Apoplex
13	GS 991 / 04	männlich	49 Jahre / Jg. 1955	20 Faustschläge ins Gesicht → Mittelgesichtsfraktur Nebenbefund: Osteoporose; Morbus Korsakow; massiv vorgealtert
14	GS 1016 / 04	männlich	42 Jahre / Jg. 1962	Sturz auf Hinterhaupt mit Prellungen frontal; kein Hinweis auf Frakturen; Alkoholiker

2.2 Magnetresonanztomographische Untersuchung

Die MRT-Untersuchungen wurden in der Radiologischen Praxis des Orthozentrum der Orthopädischen Klinik Prof. Dr. med. Axel Stäbler, Grünwalderstraße 72, 81547 München durchgeführt.

Alle vierzehn humanen Präparate wurden in einem MRI-Gerät der Reihe

- System: Symphony (Maestro Class)
- Anl.Ser.Nr. 23008
- SAP.Nr.: 4500540505
- Inbetriebnahme: 22.04.03
- Software: NUMARIS/4
- BZ-Number. 4500540505
- SW-Version syngo MR 2002 B (= Programm)
- Siemens 3372
- Magnet Power Supply: MPSU M 22000282
- Array-Shim: Siemens 01044

bei einer Feldstärke von 1,5 Tesla untersucht.

Zur Erzielung einer größtmöglichen räumlichen Auflösung wurden die Präparate in einer speziellen hochauflösenden 4- Kanal Handgelenkspule (Wrist Array coil for the Siemens Symphony 1.5 T MRI systems/ Part.number 500028; REV 3) untersucht.

Am Tag der kernspintomographischen Untersuchung wurden die Präparate eins bis neun bei Zimmertemperatur aufgetaut und im Anschluss an die Untersuchung wieder bei -19°C eingefroren.

Die Präparate wurden mit Lagerungshilfen in oben genannter Handgelenkspule fixiert, zur Vermeidung einer Rotation des Dens axis gegen das Os occipitale. Die Ligamenta alaria sollten möglichst in Neutralstellung untersucht werden. Eine asymmetrische Darstellung könnte ggf. zu einer fehlerhaften Bandbeurteilung führen.

Die Dateneingabe erfolgte mittels der rechtsmedizinischen Identifikation (GS .../04).

Insgesamt wurden 10 Sequenzen nach einem standardisiertem Untersuchungsprotokoll (genaue Sequenzdaten siehe Tabelle 2, Seite 25) untersucht mit einer Scan- Gesamtzeit von

30,2 min pro Präparat. Zunächst wurden coronare, axiale und sagitale Lokalizier zur Orientierung und genauen Einstellung der Ligamenta alaria verwendet. Anschließend wurden die axialen T1- und T2 – gewichteten Sequenzen durchgeführt, um die Neutralposition des Dens axis und der Ligamenta alaria bestimmen zu können (anhand der Stellung des Dens axis zur Massa lateralis des Atlas). Im weiteren Verlauf erfolgten coronare Aufnahmesequenzen. Im Anschluss an die coronaren Schichten erfolgte eine sagitale Aufnahme mit senkrechter Ausrichtung basierend auf den coronaren Sequenzen. Durchgehend wurde eine Schichtdicke von 2mm angewendet. Alle Aufnahmesequenzen haben einen Bilddatenfilter durchlaufen.

Bei den coronaren Aufnahmen wurden 10 Bilder angefertigt, die vom vorderen Atlasbogen bis zum Rückenmark reichen, bei den axialen 11 Bilder, die sich von der Densbasis bis zur Schädelbasis (Foramen magnum) erstreckten, ebenfalls 10 Bilder in der sagitalen Ebene von Hinterhauptskondylus zu Hinterhauptskondylus.

Bei zwei Präparaten (GS 806/04 und GS 991/04) wurden zusätzlich zwei weitere schräg-coronare Sequenzen angefertigt, die im Verlauf der rechten und linken Ligamenta alaria liegen (Schröter 2002).

Für die Diagnostik im muskulo-skelettalem Bereich hat sich die Fettunterdrückung zur besseren Beurteilung eines ossären z.B. posttraumatischen Ödems bewährt. Aus diesem Grund wurde für diese Arbeit bei allen Präparaten eine coronare PD fs (fatsat)-Sequenz und eine coronare STIR- Sequenz angewendet.

Auswertekriterien der MRT-Sequenzen:

- (1) Bandverlauf: Caudocranial, craniocaudal oder horizontal in den coronaren Sequenzen
nach ventral, dorsal oder in der Ebene in den axialen Sequenzen
- (2) Fettanteile der Ligamenta alaria (semi-quantitative Bestimmung) zwischen den einzelnen Faszikeln in allen 3 Ebenen
- (3) Länge (coronar), Form, Dicke (sagital) der Ligamenta alaria und deren Winkelbildung (axial)
- (4) Symmetrie der Ligamenta alaria (axial und coronar)
- (5) Signalverhalten der Ligamenta alaria (Homogenität versus Inhomogenität; Iso-, Hypo- oder Hyperintensität)
- (6) Abgrenzbarkeit zum umgebenden Gewebe an der kranialen und kaudalen Begrenzung
- (7) Besonderheiten, z.B. zusätzliche Bandstrukturen; irreguläre Bandkonturen (Verdickungen, Überdehnung, Verkürzung, Teilrupturen) und – stümpfe (Konturunterbrechung) im Sinne von Rupturen; Flüssigkeitsansammlungen

Tabelle 2 MRT-Protokoll

	1) Lokalizier	2) axial T1	3) cor T1 2mm	4) cor T2 tse rst 320	5) cor PD tse fs 2mm	6) cor PD tse 2mm	7) cor T2 stir	8) sag. T1	9) axial T2 tse rst 320
Messzeit	0,17 (min)	3,32 (min)	5,16 (min)	2,23 (min)	3,17 (min)	2,51 (min)	5,30 (min)	5,16 (min)	3,01 (min)
Voxelgröße		0,4 x 0,4 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)	0,3 x 0,3 x 2 (mm)
Schichten		11 (mm)	11 (mm)	10 (mm)	10 (mm)	10 (mm)	10 (mm)	10 (mm)	10 (mm)
Distanzfaktor		10	10	10	10	10	10	10	10
Phasenkodier- richtung		A >> P	F >> H	F >> H	F >> H	F >> H	F >> H	A >> P	A >> P
Phasenover- sampling		50	50	50	80	80	80	50	18
FoV- Auslese		100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)	100 (mm)
FoV- Phase		50 (%)	50 (%)	50 (%)	50 (%)	50 (%)	50 (%)	50 (%)	50 (%)
Schichtdicke		2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)	2 (mm)
TR		362 (ms)	362 (ms)	3450 (ms)	1390 (ms)	1200 (ms)	3870 (ms)	362 (ms)	3450 (ms)
TE		18 (ms)	19 (ms)	103 (ms)	42 (ms)	42 (ms)	45 (ms)	19 (ms)	102 (ms)
Mittelung		3	3	2	2	2	2	3	3
Verknüpfungen		1	1	1	1	1	1	1	1
Basisauflösung		256	384	384	384	384	320	384	320
Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter	Elliptischer Filter
TI		/	/	/	/	/	150	/	/
Flipwinkel		90°	90°	180°	180°	180°	180°	90°	180°

Abkürzungen: cor = coronar; sag = sagital; tse = turbo spin echo; PD = Protonen gewichtet; stir = short turbo inversion recovery; FOV = Field of view,

TR = Repetitionszeit; TE = Echozeit; TI = Inversionszeit

2.3 Makroskopische Anatomie

Präparation und Darstellung

Die Aufbewahrung der Präparate im Gefrierschrank (Präparat 1-9) und in Formalindehydrlösung (Präparat 10 –14) wurde in der anatomischen Anstalt, Lehrstuhl I in der Pettenkoflerstraße 11, 80336 München vorgenommen. Besonderen Dank gilt hier Prof. Dr. med. R. Putz für die Möglichkeit der Benutzung der Institut-Eigenen Räumlichkeiten und Geräten. Die makroskopische Präparation wurde unterstützt durch Prof. Dr. med. Sokolov.

Die Kennzeichnung erfolgte mittels massivem Papier und Bindfaden direkt am Präparat.

2.3.1 Makroskopische Präparationsanleitung der Präparate 1-12 und 14:

Die eingefrorenen Präparate wurden vor Präparationsbeginn bei Zimmertemperatur aufgetaut und nach der Präparation wieder eingefroren. Zuerst wurde dorsal die kurze Nackenmuskulatur und ventral der Musculus constrictor pharyngis entfernt um exakte Orientierungspunkte zum Sägen zu erhalten. Die Membrana atlantooccipitalis anterior wurde belassen. Im Anschluss daran wurden die dorsalen Wandteile des Foramen magnum (Os occipitale) sowie die Wirbelbögen C1 (Arcus posterior atlantis) und C2 (Arcus vertebrae) mit Hilfe einer elektrischen Säge keilförmig entfernt. Nach dem Eröffnen des Wirbelkanals wurden vorsichtig Rückenmark (Medulla spinalis) und Dura mater encephali bzw. spinalis entfernt, ebenso die Membrana tectoria.

Das Freipräparieren der atlantoccipitalen Bandstrukturen erfolgte größtenteils mit der Lupe. Dargestellt wurden bei allen Präparaten die Fasciculi longitudinales, das Ligamentum transversum atlantis, das Ligamentum apicis dentis und die Ligamenta alaria.

Im Anschluss an die Präparation aller Präparate erfolgte die Photodokumentation mittels einer Digitalkamera der Firma Ixus 5 (Canon) in der Anatomischen Anstalt.

Nach der ersten Photodokumentation wurden die Fasciuli longitudinales, das Ligamentum apicis dentis und das Ligamentum transversum atlantis (Ansatz an der rechten und linken Massa lateralis), die dorsal der Ligamenta alaria liegen, entfernt, um die Ansatzstellen der Ligamenta alaria am Dens axis und deren Verlauf beurteilen zu können. Auch nach diesem

Präparationsvorgang erfolgte eine Photodokumentation und die makroskopische Beschreibung.

2.3.2 Makroskopische Präparationsanleitung des Präparates 13 (GS 991/04):

Bei diesem Präparat erfolgte der Versuch einer Präparation von ventral. Wie auch bei den vorher beschriebenen Präparaten wurde die kurze Nackenmuskulatur dorsal und der Musculus constrictor pharyngis ventral entfernt, zusätzlich das Ligamentum longitudinale anterius und die Membrana atlantooccipitalis anterior.

Im Anschluss daran wurde mit Hilfe der elektrischen Säge der Arcus posterior atlantis entfernt.

Um Orientierungspunkte zu erhalten wurde zuerst dorsal unter Belassung der dorsal-knöchernen Wandteile zur Stabilisierung (dorsalen Wandteile des Foramen magnum/ Os occipitale) sowie die Wirbelbögen C1 (Arcus posterior atlantis) und C2 (Arcus vertebrae) präpariert. Von dorsal aus wurde Schicht für Schicht vorsichtig nach ventral präpariert. Die Darstellung von ventral stellte sich als schwierig heraus, da die Ligamenta alaria von ventral durch den Atlas (HWK1) verdeckt werden. Auch hier erfolgte eine Photodokumentation von ventral und dorsal.

2.4 Mikroskopische Anatomie

Präparation und Darstellung

Die Erstellung der Methyl- Metacrylat- Schnitte erfolgte unter der Anleitung von Frau E. Mayer aus der Anatomischen Anstalt der LMU München.

2.4.1 Erstellung der Methyl- Metacrylat- Histologie

Die Präparate zehn bis 14 wurden in gebräuchlicher 4-prozentiger neutraler Formaldehydlösung eingelegt, Voraussetzung für die Erstellung einer Einbettung in Kunststoff. Nach der makroskopischen Darstellung wurden bei den Präparaten GS 806/04, GS 811/04 und GS 1016/04 die Ligamenta alaria mit Hilfe einer Bandsäge en bloc entnommen. Die Präparate hatten im Anschluss daran eine Größe von ca. 4x 2x 2 cm.

Nach der Fixierung mit Formalin 4% wurden die Präparateblöcke mit Hilfe von EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) sechs Wochen lang entkalkt, anschließend über eine aufsteigende Alkoholreihe entwässert:

3 Tage in 70% Ethanol

3 Tage in 80% Ethanol

2 mal 3 Tage in 96% Ethanol

3 mal 7 Tage in 100% Ethanol

Die Verdünnungsstufen des Ethanols wurden aus einhundertprozentigem Ethanol hergestellt, indem dieser mit einer entsprechenden Menge Aqua destillata versetzt wurde. Die Präparate wurden mit reichlich Alkohol bedeckt in luftdicht schließenden Gläsern gelagert.

Nach elf Wochen konnten die Präparateblöcke in Methyl- Metacrylatkunststoff, entsprechend den Herstellerangaben, eingebettet werden. Die Infiltration mit Methylmetacrylat erfolgte bei 4° C. Die Einbettung erfolgte in kleinen, der Präparatgröße angepassten und mit einem Überstand von ca. 1,5 cm versehen, luftdicht verschließbaren Glasgefäßen. Wert wurde vor allem auf die blasenfreie Einbettung gelegt. Die Aushärtung erfolgt bei Temperaturen zwischen 37°C und 60 °C und dauerte sieben Wochen.

Die Präparate GS 806/04 und GS 1016 wurden so eingebettet, dass sie im Anschluss an das Aushärten, in sagitaler Ebene und das Präparat GS 811 in coronarer Ebene gesägt werden konnten.

Um die Präparate in der Innenlochsäge/ Karmikrotom (Leica) platzieren zu können, wurden die Blöcke noch einmal in der Mitte des Dens axis mit Hilfe einer Säge geteilt und anschließend soweit wie möglich zugetrimmt.

Die Präparate wurden von kranial nach kaudal mittels Innenlochsäge unter ständiger Benetzung mit Schneideflüssigkeit in 100 µm dicke Serienschnitte geschnitten. Zur genauen Schnittführung mussten die Präparate teilweise unterfüttert werden. Im Anschluss daran wurden die Schnitte auf mit Chromalaungelantine beschichtete Objektträger aufgebracht. Die Objektträger waren entsprechend der Präparate markiert, um später eine genaue Zuordnung zu ermöglichen. Am Ende der Aufbereitung wurden alle Präparate mikroskopisch beurteilt.

2.4.2 Quantitative Fettbestimmung zwischen den Bandfaszikeln

Nachteil der Methyl- Metacrylat- Technik ist das Herauslösen der Fette zwischen den einzelnen Bandfaszikeln durch den Alkohol. Indirekt werden sie aber durch die leeren Fettvacuolen in der Methyl- Metacrylat -Kunststoffeinbettung dargestellt.

Nach Auftragen der Schnitte auf die Objektträger wurden diese mit einer May-Grünwaldfärbung eingefärbt. Die Färbewirkung basiert auf einer molekularen Wechselwirkung zwischen Eosin und einem Azur B- DNA Komplex.

Nach dem Trocknen der Schnitte wurden die Präparate mittels Mikroskop von E. Leitz Wetzlar (Germany) untersucht.

3 Methodenkritik

Auf Grund der Größe der Präparate, kam es bei einigen Präparaten zu einer Verdrehung des Dens axis gegen das Os occipitale. Eine daraus resultierende Problematik wäre eine asymmetrische Darstellung der Ligamenta alaria im MRT und eine evtl. damit verbundene Fehlinterpretation im Sinne von Elongationen, Teil- oder auch Totalrupturen. Um diesem Problem entgegenzuwirken wurden Lagerungshilfen verwendet.

Die Bildqualität der MR- Aufnahmen war ausgezeichnet, da es während der gesamten Untersuchungszeit zu keinen Störungen durch Metallimplantate, Bewegungsartefakte, Endotrachealtuben oder Pulsationen kam.

Der Verschnitt durch die Innenlochsäge war minimal, so dass viele Schichten zur Beurteilung gewonnen werden konnte.

Auf Grund der vielfältigen und variablen Verlaufsrichtung der Ligamenta alare konnten die Ligamenta nicht immer eindeutig auf den mit Methyl- Metacrylat beschichteten Objektträgern identifiziert werden.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung der magnetresonanztomographischen Befunde

Vierzehn Präparate der oberen HWS, sechs weibliche und acht männliche, mit einem Durchschnittsalter von 62,9 Jahren (32 bis 91 Jahren) wurden untersucht.

Alle magnetresonanztomographischen Bilder wurden auf physiologische Normvarianten und pathologische Veränderungen im Sinne von Elongation, Teil- und Totalrupturen hin bewertet. Ebenso wurde auf die genaue Darstellung der Fettzellen innerhalb der Bandstrukturen geachtet.

Das intakte Band, bestehend aus wasserarmem Gewebe, stellt sich in T1- und T2-gewichteten Sequenzen als signalarme/ hypointense Struktur dar und ist deutlich vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar, das sich in T1-gewichteten Sequenzen sehr hell (hyperintens) und in T2-gewichteten Sequenzen grau erscheint.

Die Bandstrukturen konnten sehr gut in coronaren und axialen Sequenzen dargestellt werden und waren durchgehend gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar. In den sagitalen Ebenen war die Beurteilung nicht immer eindeutig möglich.

Die Ligamenta alaria erstrecken sich von der lateralen und dorsalen Fläche des Dens bis zum medialen Anteil des Condylus occipitalis.

Bei den untersuchten Präparaten wurden drei verschiedene Faserverläufe gefunden: 8x horizontal, 3x kraniocaudal und 3x caudokraniel. Es überwiegen die horizontalen Verläufe. Die Beurteilung erfolgte anhand der coronaren Aufnahmen.

Die mittlere Bandlänge, gemessen anhand der coronaren T1-gewichteten Sequenz, beträgt 10 mm (von 7 bis 12mm) an der cranialen Begrenzung der Ligamenta alaria und 11 mm (von 8 bis 14 mm) an der caudalen Begrenzung der Ligamenta alaria. Das Ligamentum alare erscheint oval bis rund im Querschnitt (in der sagitalen Schnittführung). Die beschriebene Fläche beträgt im Mittel 35 mm^2 . Die Beurteilung der Fläche war nicht bei jedem Präparat exakt möglich gewesen.

Das Ligamentum transversum und das Ligamentum apicis dentis konnte bei allen vierzehn Präparaten als unverletzte Struktur sehr gut dargestellt werden.

Bei allen 14 Präparaten fanden sich unterschiedlich ausgeprägte Fettanteile zwischen den einzelnen Bandfaszikeln. Die Präparate (GS 486, GS 516, GS 614, GS 991) zeigten nur sehr geringe Fettanteile, bei Präparat GS 806 im Vergleich dazu deutlich mehr. Auffallend waren auch Unterschiede zwischen dem rechten und linken Ligamentum alare des gleichen Präparates. So zeigte sich bei drei Präparaten (GS 252, GS 438, GS 486) im linken Ligamentum alare deutlich mehr Fettanteile als im Vergleich zur Gegenseite. Bei Präparat GS 990 hingegen umgekehrte Verhältnisse. Dort zeigten sich dorsal weniger Fettanteile als ventral. Auffällig war Präparat GS 1016. Hier zeigten sich im ventralen Bandverlauf im rechten Ligamentum alare mehr Fettanteile als im linken Ligamentum alare, jedoch im dorsalen Bandverlauf war die Fettverteilung umgekehrt.

Die Ligamenta alaria stellen sich durchgehend in ovaler bis runder Form dar.

Diese Studie zeigte ein Überwiegen der horizontalen Bandverläufe. Die caudocranialen und craniocaudalen Verläufe waren im Verhältnis dazu seltener.

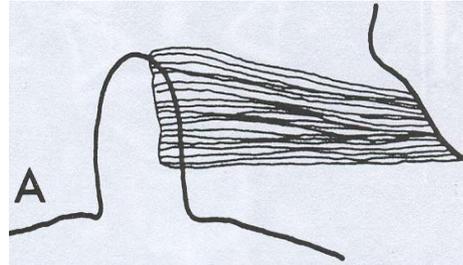
In der Literatur wurde bislang erst eine dorsale, ventrale oder in der Ebene verlaufende Verlaufsrichtung beschrieben (Ludwig 1952). In unserer Studie zeigten sich in coronaren und axialen Sequenzen die Ligamenta alaria vorwiegend nach dorsal verlaufend, aber auch seitlich (in der Ebene) verlaufend (10x nach dorsal, 4x seitlich/ in der Ebene). Ventrale Verläufe hingegen zeigten sich bei unseren Präparaten nur auf einer Seite eines Präparates. Bei Präparat GS 811/04 verlief das linke Ligamentum alare nach ventral, das rechte hingegen nach dorsal. Eine weitere Auffälligkeit war, dass eine Bandseite steiler nach dorsal verlief, im Gegensatz zu ihrer Gegenseite (GS 438/04).

Abbildung 4 (schematische Darstellung):

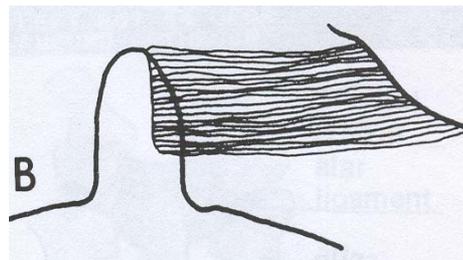
(aus „Funktional Anatomy of the Alar Ligaments; Dvorak 1987)

Verlauf der Ligamenta alaria in der coronaren Schichtführung; Die Ligamenta alaria verlaufen lateralseitig vom Dens axis bis zum Condylus occipitalis

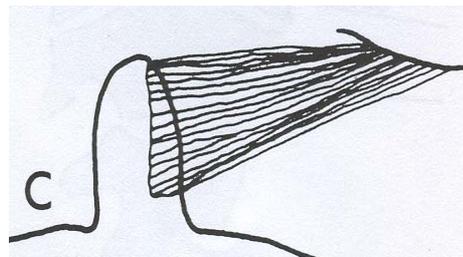
A) craniocaudale Verlaufsrichtung (3- mal)



B) horizontale Verlaufsrichtung (8- mal)



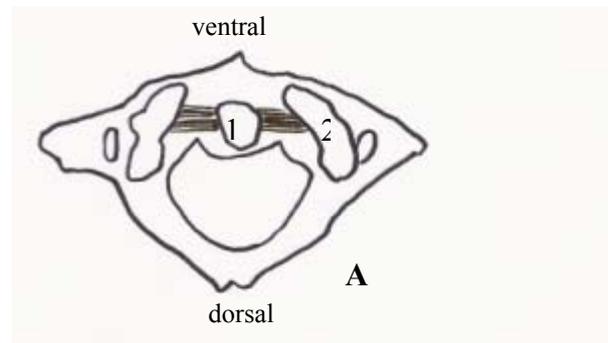
C) caudocraniale Verlaufsrichtung (3- mal)



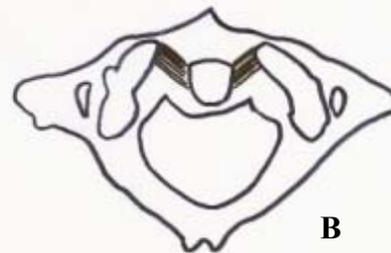
**Abbildung 5 (schematische Darstellung):
Verlauf der Ligamenta alaria in axialer Schichtführung**

A) Verlauf in der Ebene (4- mal)

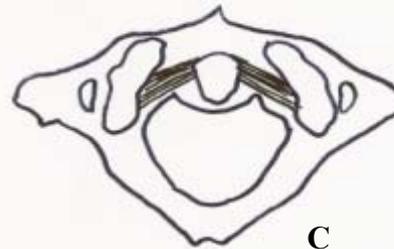
- 1 Dens axis
- 2 Condylus occipitalis
- 3 Ligamenta alaria



B) ventrale Verlaufsrichtung (1- mal einseitig)



C) dorsale Verlaufsrichtung (10- mal)



Weiter Besonderheiten ergaben sich bei den Präparaten GS 252/04 und GS 1016/04. Hier zeigte sich ein fließender Bandverlauf vom rechten condylus occipitalis zum linken condylus occipitalis in Form eines Ligamentum transversum occipitis. Dieses Band setzte sich aus Fasern der Ligamenta alaria zusammen.

Bei Präparat GS 811/04 fiel eine zusätzliche dünne ligamentäre Struktur, die kranial und parallel zum rechten Ligamentum alare verläuft auf. Diese setzte ebenfalls am Dens axis an und reicht bis zum rechten medialen Condylus.

Bei keinem der Präparate wurde ein Inserieren der Ligamenta alaria an der Massa lateralis des Atlas gefunden, wie bei Dvorak beschrieben.

Asymmetrische Verläufe wurden ausschließlich im Rahmen von Densrotationen gefunden, nicht im Sinne von Rupturen wie sie in der Literatur beschrieben werden.

Unterschiede in der Bildgebung zwischen einem dünnen und dickeren Band konnte bei dieser Arbeit nicht beobachtet werden.

Tabelle 3 : Beurteilung der Ligamenta alaria im MRT im Bezug auf Verlauf, Kontur und Bandlänge

Ligamenta alaria	Anzahl	Häufigkeit
Bandverlauf		
A) kraniocaudal	n = 3	21,4 %
B) horizontal	n = 8	57,1 %
C) caudokranial	n = 3	21,4 %
Richtungsverlauf		
A) dorsal	n = 10	71,4 %
B) in der Ebene	n = 4	28,6 %
C) ventral	n = 0 (bei Präparat 811 läuft das linke Ligamentum alare nach ventral)	
Länge		
kranial	Ø = 10 mm (7-12 mm)	
kaudal	Ø = 11 mm (8-14 mm)	
Querschnitt		
sagital	Ø = 35 x 35 mm	
Kontur		
glatt	n = 13	92,9 %
unregelmäßig	n = 1	7,1 %
Kaliber		
symmetrisch	n= 8	
asymmetrisch	n= 6 (im Sinne einer Densrotation)	

Beschreibung der einzelnen Ligamenta alaria im MRT:

Präparat 1 - GS 252/ 04:

Coronar:

- Bänder gut darstellbar. Gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.
- Nebenbefund: Densfraktur
- Caudokraniale Verlaufsrichtung, die Bänder verlaufen in der Ebene (besser sichtbar in der axialen Schichtung). Einzelne Fasern sehr gut sichtbar; Kreuzende Faserzüge, die am mittleren Densbereich ansetzen und steil nach kranial in den Hauptbandverlauf ziehen.
- Ansatz sind die oberen 2/3 des Dens bis zu seiner Spitze. Ursprung ist beiderseits der Condylus occipitalis. Kein Kontakt zur Massa lateralis des Atlas.
- Links mehr Fettanteil als rechts.

Länge:	Links (T1; 8/11) (7/11)		Rechts (T1; 8/11) (7/11)	
Kranial	1,1 cm	0,9	1,0 cm	1,0
Caudal	1,3 cm	1,0	1,1 cm	1,0

- Cor STIR: - gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.
- Kein Nachweis einer Ruptur oder Teilruptur / keine Signalerhöhung
- PD fs: Bänder hell und homogen dargestellt; Knochen zeigen sich dunkel ohne Ödeme

Axial:

- Einzelne Fasern laufen parallel mit deutlichen Fettanteilen zw. den Fasern.
- Mehr Fett im linken Ligamentum alare sichtbar (T1).
- Verlauf in der Ebene (Winkel von ca. 180°). Ansatz ist die seitliche und dorsale Densfläche.
- Signalintensität der Ligamenta alaria ist signalärmer am Dens axis als in den übrigen Anteilen.

Länge:	Links	Rechts
	1,2 cm	1,2 cm

Sagital:

- elliptische Form; Ansatz ist die Dens- Rückseite
- Links mehr Fettanteile als rechts.

➤ Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,3 cm	0,3 cm
- Horizontal:	1,0 cm	1,1 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,3 cm	0,3 cm
- Horizontal:	0,9 cm	0,5 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	0,3 cm	0,5 cm
- Horizontal:		

Präparat 2 - GS 384 / 04:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar (PD).
- Leicht caudocraniale Verlaufsrichtung. Die Bänder ziehen nach dorsal. Ansatz ist die ganze laterale Fläche des Dens axis bis zu seiner Spitze; teilweise auch dorsalseitig.
- Ursprung ist beiderseits das Os occipitale.
- Einzelne kraniale Faserzüge gehen vom rechten ins das linke Ligamentum alare über (PD fs) im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis.
- Dezentere Fettstreifung zwischen den einzelnen Faser sichtbar.
- Cor STIR - kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur (Signalerhöhung)
 - Fett zw. den Faserzügen gut sichtbar. Rechts mehr Fettanteile als Links.
- **Besonderheit:** Zusätzliche Struktur im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	1,0 cm	1,1 cm
Caudal	1,4 cm	1,3 cm

Axial:

- Bänderverlauf nach dorsal.
- Ansatz ist die laterale und dorsale Fläche des Dens.
- Signalaufhellung beiderseits am Os occipitale: rechts mehr als links.

➤ Dezente Fettstreifung

Länge:	Links	Rechts
	1.2 cm	1,2 cm

Sagital:

➤ Ligamentum alare zeigt sich als runde Struktur.

➤ Durchmesser: Links Rechts

am Condylus occipitalis

- Vertikal: 0,4 cm 0,5 cm

- Horizontal: 0,4 cm 0,5 cm

in der Verlaufsmittle

- Vertikal: 0,4 cm 0,5 cm

- Horizontal: 0,4 cm 0,4 cm

am Densansatz

- Vertikal: nicht beurteilbar nicht beurteilbar

- Horizontal:

Präparat 3 - GS 423 / 04:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umliegenden Gewebe abgrenzbar.
- Horizontaler Faserverlauf in der Ebene; links leicht dorsaler Verlauf.
- Ansatz sind die oberen 2/3 des Dens und Ursprung ist beiderseits das Os occipitale.
- Es besteht kein Kontakt zur Massa lateralis.
- dezente Fettstreifung sichtbar.
- Cor STIR: keine Signalerhöhung.
- Cor PD fs: homogene Darstellung.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	1,1 cm	1,0 cm
Caudal	1,0 cm	1,1 cm

Axial:

- In der T2-Sequenz Fettstreifung deutlich erkennbar.
- Bänderverlauf in der Ebene, links leicht nach dorsal.
- Ansatz lateral und dorsal des Dens.

Länge	Links	Rechts
	1,0 cm	1,0 cm

Sagital:

- Runde bis ovale Darstellung.

Durchmesser	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,2 cm	0,3 cm
- Horizontal:	0,4 cm	0,4 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,3 cm	0,4 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,3 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	0,2 cm
- Horizontal:		0,2 cm

Präparat 4 - GS 438 / 04:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.
- Horizontaler/ leicht caudokranieler und paralleler Faserverlauf; Links steilerer dorsaler Verlauf als rechts.
- Ansatz sind die oberen 2/3 des Dens und Ursprung des Os occipitale.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis
- Fettstreifung deutlich sichtbar (links mehr als rechts).
- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0,9 cm	0,7 cm
Caudal	1,0 cm	0,9 cm

Axial:

- Keine Neutralstellung: Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Beurteilung möglich (nach links rotiert).
- Ansatz am Dens lateralseitig, sowie dorsaler Bänderverlauf (soweit auf Grund der Rotation beurteilbar.)
- Deutliche Fettstreifung erkennbar.

Länge	Links	Rechts
	0,8 cm	1,1 cm

Sagital:

- eher runde Form..

Durchmesser.	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,3 cm	0,4 cm
- Horizontal:	0,4 cm	0,4 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,4 cm	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,4 cm	
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 5 - GS 486 / 04:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt; vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- Horizontaler/ Leicht caudocranialer Faserverlauf mit fächerförmigen Aussehen. Nach dorsal verlaufend.
- Ansatz ist die ganze laterale Seite des Dens bis zu seiner Spitze.
- Deutliche Fettstreifung.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0,9 cm	0,9 cm
Caudal	1,0 cm	1,3 cm

PD fs: keine deutliche Signalerhöhung

PD : Signalerhöhung rechts mehr als links

Stir : Signalerhöhung links am Dens

T2 : unregelmäßiger Verlauf rechts caudal

Axial:

- Keine Neutralstellung: Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Beurteilung möglich.

- Bänder gut abgrenzbar. Bänderverlauf nach ventral, Links mehr Fett als rechts.
- Ansatz: Rückseite des Dens.

Sagital:

- Runde bis ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,3 cm	0,3 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,5 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,3 cm	0,5 cm
- Horizontal:	0,4 cm	0,5 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 6 - GS 487 / 04:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt und gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- Horizontaler Faserverlauf mit fächerförmigem Aussehen in der Ebene.
- Dezentte Fettstreifung.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis.
- Asymmetrie im Ansatz, links 4/5 und rechts 3/5 der lateralen Fläche am Dens.
- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0,9 cm	1,1 cm
Caudal	1,2 cm	1,0 cm

- PD fs: Links allgemein mehr Signalerhöhung als Rechts

Axial:

- Bänderverlauf ist in der Ebene.
- Ligamenta alaria erkennbar, aber nicht deutlich abgrenzbar.

Sagital:

- Ovale Form
- Dens: unruhige Strukturverlauf

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,4 cm (einzelne Fasern ziehen am Condylus occipitals nach ventral)	0,4 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,2 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,3 cm	0,4 cm
- Horizontal:	0,2 cm	0,2 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	0,3 cm	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,4 cm	

Präparat 7 – GS 516 / 2004

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- kraniocaudaler Bandverlauf nach dorsal.
- kaum Fettanteile.
- Ansatz ist der Dens und Ursprung ist beiderseits der Condylus occipitalis.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis.
- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0.8 cm	0,9 cm
Caudal	1.2 cm	1.0 cm

Axial:

- nach dorsal ziehend.
- leicht rotiert.

Länge:	Links	Rechts
	0,9 cm	0,6 cm

Sagital:

- runde bis ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,3 cm	0,3 cm

- Horizontal:	0,3 cm	0,3 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,5 cm (3/12)	0,4 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,3 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 8 - GS 534 / 04:

Coronar:

- Bänder in T1 –gewichteter Sequenz gut dargestellt und abgrenzbar, allgemein schlechter beurteilbar.
- Fächerförmiger kraniocaudaler Faserverlauf nach dorsal.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis
- Ansatz ist das obere 1/3 vom Dens und Ursprung ist beiderseits der Condylus occipitalis

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0,8 cm	0,9 cm
Caudal	1,0 cm	0,9 cm

Axial:

- Bänderverlauf nach dorsal.
- Ansatz dorsal und lateral am Dens.
- T1 besser beurteilbar als T2
- Keine klaren Konturen, eher welliger Verlauf

Länge:	Links	Rechts
	0,8 cm	1,0 cm

Sagital:

- Runde Form

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,3 cm	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,3 cm	

in der Verlaufsmitte

- | | | |
|---------------|--------|-------------------|
| - Vertikal: | 0,5 cm | nicht beurteilbar |
| - Horizontal: | 0,5 cm | |

am Densansatz

- | | | |
|---------------|-------------------|--------|
| - Vertikal: | nicht beurteilbar | 0,3 cm |
| - Horizontal: | | 0,3 cm |

Allgemein: T2- Sequenzen schlechter beurteilbar im Vergleich zu den übrigen Präparaten.

Präparat 9 – GS 614 / 2004:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.
- Die Fasern verlaufen nach dorsal in caudokranieler Richtung.
- **Besonderheit:** Zerstörung des linken Atlasanteiles
- STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis.
- Kaum Fettanteile.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0,9 cm	1,0 cm
Caudal	1,0 cm	0,9 cm

Axial:

- Nach dorsal ziehend.
- Leicht rotiert.
- Kaum Fett.

Länge:	Links	Rechts
	0,9 cm	1,1 cm

Sagital:

- ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,4 cm	0,4 cm (11/12)
- Horizontal:	0,4 cm	0,5 cm

in der Verlaufsmittle

- Vertikal: 0,2 cm (4/12) 0,3 cm

- Horizontal: 0,3 cm 0,4 cm

am Densansatz

- Vertikal: nicht beurteilbar 0,3 cm (10/12)

- Horizontal: 0,3 cm

Präparat 10 – GS 806 / 2004:

Coronar:

- In T1-Sequenz gut dargestellt und abgrenzbar, sonst allgemein schlechter beurteilbar.
- Gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar
- **Besonderheit:** Berstungsfraktur des Atlas rechts.
- Die Fasern verlaufen nach dorsal in der Horizontalen.
- Reichlich Fettstreifung.
- Ansatz obere 2/3 der Densseitenfläche und Rückseite und Ursprung ist am Condylus occipitalis.
- kein Kontakt zur Massa lateralis.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	1,1 cm	1,1 cm
Caudal	1,1 cm	1,3 cm

- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung.
- Zwei coronare Zusatzaufnahmen durch beide Ligamenta alaria

Axial:

- Verlauf nach dorsal.
- Ansatzfläche ist die Rückseite des Dens.
- Deutliche Fettstreifung erkennbar.
- Keine Neutralstellung, Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Beurteilung möglich (Verdrehung nach rechts).

Länge:	Links	Rechts
	1,1 cm	0,7 cm

Sagital:

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	0,3 cm	0,2 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,4 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,4 cm (reichlich Fett)	0,3 cm
- Horizontal:	0,3 cm	0,3 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 11 – GS 811 / 2004:

Coronar:

- Bänder gut dargestellt. Gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- Caudocranialer Faserverlauf.
- **Besonderheit:**
 - das rechte Ligamentum alaria verläuft nach dorsal, das Linke hingegen nach ventral.
 - weiterhin zeigt sich auf der rechten Seite eine zusätzliche schmale Bandstruktur, die sich von der Densspitze bis zum Condylus occipitalis erstreckt. Ebenfalls wie das Hauptband verläuft diese zusätzliche ligamentäre Struktur parallel dazu in caudocranialer und dorsaler Richtung. Deutliche Fettstreifung ist erkennbar (cor T1 4/11 + cor PD 3/10 + T2 5/10).

Länge:	Links	Rechts
Kranial	1,1 cm	0,7 cm
Caudal	0,7 cm	0,8 cm

Axial:

- Fettstreifung erkennbar
- Rechts dorsaler, links ventraler Bandverlauf
- Ansatz ist die dorsale und die oberen 2/3 des Dens

Länge:	Links	Rechts
	0,9 cm	1,0 cm

Sagital:

- Nicht dargestellt

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,4 cm	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,3 cm	
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 12 - GS 990 / 2004

Coronar:

- Bänder dargestellt. Gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- Horizontaler Faserverlauf nach dorsal.
- Rechts mehr Fett als Links
- Kein Kontakt zur Massa lateralis
- Ansatz ist die laterale Densfläche. Ursprung am Condylus occipitalis.
- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur bzw. Teilruptur/ Signalerhöhung

Länge:	Links	Rechts
Kranial	0.9 cm	0.8 cm
Caudal	0.9 cm	0.9 cm

Axial:

- dorsaler Faserverlauf.
- Keine Neutralstellung: Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Längenbeurteilung möglich (nach rechts rotiert).
- Fettanteile erkennbar (re > li).

Länge:	Links	Rechts
	0,9 cm	0,5 cm

Sagital:

- Ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,3 cm (3/12)	0,4 cm (11/12)
- Horizontal:	0,3 cm	0,5 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	0,3 cm (10/12)
- Horizontal:		0,4 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

Präparat 13 - GS 991 / 2004

Coronar:

- Bänder gut dargestellt, Gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar.
- horizontaler Faserverlauf nach dorsal.
- kaum Fett.
- welliger Verlauf kranial (v.a. rechts).
- Rotation des Dens axis -> keine aussagekräftige Längenbestimmung möglich
- Ansatz sind die oberen 2/3 des Dens. Ursprung ist beiderseits der Condylus occipitalis.
- Zwei coronare Zusatzaufnahmen durch beide Ligamenta alaria

Länge:	Links	Rechts
Kranial	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
Caudal		

Axial:

- Keine Neutralstellung: Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Beurteilung möglich (nach rechts rotiert).

Länge:	Links	Rechts
	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar

Sagital:

- Ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,5 cm (3/14)	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,3 cm	
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,3 cm (5/14)	0,4 cm (10/14)
- Horizontal:	0,4 cm	0,4 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	0,3 cm (6/14)	nicht beurteilbar
- Horizontal:	0,2 cm	

Präparat 14 - GS 1016 / 2004

Coronar:

- Bänder gut darstellgestellt. Gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.
- horizontal in der Ebene verlaufend.
- Ansatz ist die laterale Densfläche. Ursprung ist der Condylus occipitalis.
- Kein Kontakt zur Massa lateralis.
- Ein Teil des linken Ligamentum alaria geht in das Rechte über. Im ventralen Bandverlauf rechts mehr Fettanteile als links, im dorsalen Bandverlauf links mehr Fettanteile als rechts; insgesamt rechts mehr Fett als links; (PD sehr gut sichtbar, besser als T1).
- Cor STIR: kein Hinweis auf Ruptur oder Teilruptur/ keine Signalerhöhung.

Länge:	Links	Rechts
Kranial	1.2 cm	1.2 cm
Caudal	1.4 cm	1.3 cm

Axial:

- Keine Neutralstellung: Asymmetrische Darstellung => daher keine optimale Beurteilung möglich (nach rechts rotiert).
- in der Ebene verlaufend.
- rechts mehr Fett als links.
- Ansatz ist die laterale Densfläche.

- Ein Teil verläuft über die dorsale Densfläche.

Länge:	Links	Rechts
	1.4 cm	1.2 cm

Sagital:

- runde bis ovale Form.

Durchmesser:	Links	Rechts
am Condylus occipitalis		
- Vertikal:	0,2 cm ^(15/15)	0,3 cm ^(1 /15)
- Horizontal:	0,4 cm	0,3 cm
in der Verlaufsmittle		
- Vertikal:	0,4 cm	0,3 cm
- Horizontal:	0,3cm	0,3 cm
am Densansatz		
- Vertikal:	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
- Horizontal:		

4.2 Auswertung der makroskopische Präparation

Die Gesamthöhe bei allen vierzehn Präparaten betrug 5,5 cm, eine Voraussetzung für eine Untersuchung in der Handgelenkspule, die als Innendurchmesser nur 5,5 cm zulässt.

Das Ligamentum transversum atlantis, Ligamentum apicis dentis und die Ligamenta alaria waren bei allen Präparaten sehr gut darstellbar und intakt.

Die mittlere Bandlänge betrug 9,1 mm (Bereich von 6 bis 12 mm) an der cranialen Begrenzung der Ligamenta alaria und an der caudalen Begrenzung 9,2 mm (Bereich von 6 bis 12 mm).

Bei den untersuchten Präparaten wurden drei verschiedene Faserverläufe gefunden: 8x horizontale, 3x kraniocaudale und 3x caudokraniale Verlaufsrichtungen. In coronarer und axialer Darstellung verliefen die Ligamenta alaria vorwiegend nach dorsal, aber auch seitliche (bzw. in der Ebene) Verläufe wurden gefunden (9x dorsal, 4x seitlich/ in der Ebene). Eine ventrale Verlaufsrichtung zeigte sich nur bei einem einzigen Präparat (GS 811/04). Bei diesem Präparat verlief das linke Ligamentum alare nach ventral, das rechte Ligamentum alare aber nach dorsal.

Als Normvarianten zeigten sich bei zwei Präparaten (GS 252/04 und GS 1016/04) ein fliesender Bandverlauf vom rechten condylus occipitalis bis zum Linken, im Sinne eines Ligamentum occipitis transversum. Es bestand kein Kontakt zum Dens axis.

Bei Präparat GS 811/04 zeigte sich eine zusätzlich kranial zum rechten Ligamentum alare verlaufende schmale Bandstruktur. Diese setzt ebenfalls an der Spitze des Dens axis an und zieht ebenfalls zum Condylus occipitalis.

Im Rahmen der makroskopischen Beurteilung fielen unterschiedliche Bandstärken auf. So stellte sich bei Präparat GS 516 im Vergleich die Ligamenta alaria beidseits als ein kräftiges Band dar. Bei Präparat GS 811 und GS 991 hingegen wirkte das linke Ligamentum alare deutlich zarter als ihre Gegenseite.

Präparation von ventral (GS 991/04):

Die Präparation diesen Falles (GS 991/04) von ventral zeigte, dass die Ligamenta alaria von ventral nicht freigelegt und dargestellt werden können. Diese werden von knöchernen Strukturen verdeckt.

Das Präparat stammt von einem 49 jähriger Patienten mit Mittelgesichtsfraktur nach mehreren Faustschlägen; Nebenbefund: Osteoporose, Morbus Korssakov.

Abbildung 1:

makroskopisches Schnittbild: Präparation von ventral; nach Entfernung des Ligamentum longitudinale anterius und der Membrana atlantooccipitalis anterior unter Belassung der dorsalen knöchernen Wandteile;
Die Ligamenta alaria sind von ventral nicht darstellbar

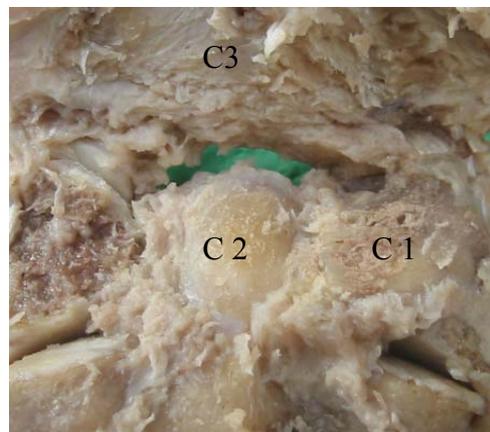


Abbildung 2:

makroskopisches Schnittbild: Ansicht von dorsal nach Entfernen der Ligamenta transversum und apicis dentis; unter Belassung der dorsalen knöchernen Wandteile;
horizontal dorsaler Bandverlauf

- 1 Dens axis
- 2 Ligamenta alaria

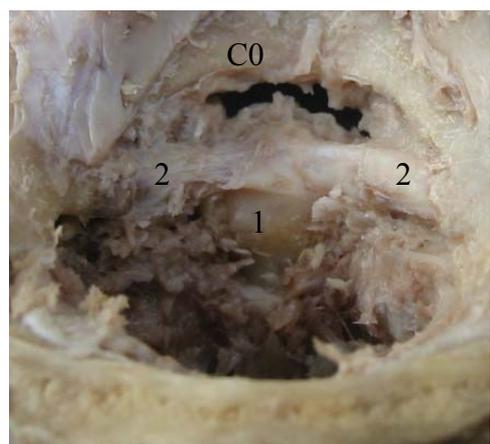


Tabelle 4: makroskopische Beurteilung der Ligamenta alaria im Bezug auf Verlauf, Kontur und Normvarianten

Ligamenta alaria	Anzahl	Häufigkeit
Bandverlauf		
D) kraniocaudal	n= 3	21,4 %
E) horizontal	n= 8	57,2 %
F) caudokraniel	n= 3	21,4 %
Richtungsverlauf		
D) dorsal	n= 10	71,4 %
E) in der Ebene	n= 4	28,6 %
F) ventral	n= 0/ 1 (das linke Ligamentum alare des Präparates 811 läuft nach ventral)	
Kontur		
glatt	n= 14	100 %
unregelmäßig	n= 0	0 %
Kaliber		
symmetrisch	n= 8	100 %
asymmetrisch	n= 0	
Bandlänge:		
kaudal	Ø= 9,2 mm (6- 12 mm)	
kraniel	Ø= 9,1 mm (2- 12 mm)	

Beschreibung der Ligg. alaria nach der makroskopischen Präparation:

Präparat 1 – GS 252 / 04:

- Gesamtlänge betrug 10,5 cm (bis HWK 8) und 9,0 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung in der Ebene mit caudocranialem Faserzug.
- Denslänge (Densspitze bis Densbasis): 1,5 cm
- Fasern setzen lateral des Dens an den oberen 2/3 an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occipitalis
Links	9 mm	9 mm	10 mm	8 mm
Rechts	9 mm	9 mm	11 mm	10 mm

- **Besonderheit:** - Faserzug vom rechten zum linken Condylus occipitalis reichend.
- dorsal über den Dens verlaufend.
- cranial: 26 mm
- kaudal: 20 mm

Präparat 2 – GS 384 / 04:

- Gesamtlänge betrug 5 cm (bis HWK 2) und 8,5 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung in der Ebene mit caudokranialem Faserzug.
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral und dorsal an den oberen 2/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occipitalis
Links	9 mm	10 mm	10 mm	7 mm
Rechts	11 mm	11 mm	10 mm ???	5 mm

Präparat 3 – GS 423 / 04:

- Gesamtlänge betrug 7,5 cm (bis HWK 2) und 7 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung in der Ebene mit horizontalem Faserzug .
- Denslänge: 1,6 cm
- Fasern setzen lateral an den oberen 1/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occipitalis
Links	6 mm	8 mm	6 mm	5 mm
Rechts	7 mm	6 mm	6 mm	5 mm

Präparat 4 – GS 438 / 04:

- Gesamtlänge betrug 6 cm (bis HWK 2) und 7,5 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit caudokranialem Faserzug .
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral und dorsal an den oberen 1/3 des Dens an.
- Dicke in der Sagitalen: - Links 4 mm
- Rechts 6 mm

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	8 mm	9 mm	8 mm	7 mm
Rechts	10 mm	11 mm	8 mm	8 mm

- **Besonderheit:** Fraktur am Os occipitale.

Präparat 5 – GS 486 / 04:

- Gesamtlänge betrug 7 cm (bis HWK 2) und 7,5 cm Gesamtbreite
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit kraniocaudalem Faserzug.
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral an dem oberen 1/3 des Dens an.
- Dicke in der Sagitalen: - Links 6 mm
- Rechts 7 mm

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	10 mm	11 mm	9 mm	8 mm
Rechts	9 mm	10 mm	8 mm	7 mm

Präparat 6 – GS 487 / 04:

- Gesamtlänge betrug 6 cm (bis HWK 2) und 8 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung in der Ebene mit horizontalem Faserzug.
- Denslänge: 1,6 cm
- Fasern setzen lateral an dem oberen 1/3 des Dens an

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	6 mm	8 mm	6 mm	5 mm
Rechts	7 mm	6 mm	6 mm	5 mm

Präparat 7 – GS 516 / 04:

- Gesamtlänge betrug 7 cm (bis HWK 2) und 9 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit leicht kraniocaudalem Faserzug.
- Denslänge: 1,6 cm
- Fasern setzen lateral und dorsal an den oberen 2/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	9 mm	10 mm	10 mm	10 mm
Rechts	9 mm	9 mm	9 mm	7 mm

- **Besonderheit:** kräftiges Band

Präparat 8 – GS 534 / 04:

- Gesamtlänge betrug 8 cm (bis HWK 2) und 7,5 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit leicht kraniocaudalem Faserzug.
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral an dem oberen 1/3 des Dens an.
- Präparationsbedingte Läsion des Ligamentum alare rechts.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	8 mm	7 mm	7 mm	7 mm
Rechts	10 mm	10 mm	5 mm	6 mm

Präparat 9 – GS 614 / 04:

- Gesamtlänge betrug 8,5 cm (bis HWK 2) und 7 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit leicht caudokranialem Faserzug.
- Denslänge: 1,8 cm
- Fasern setzen lateral und dorsal an dem oberen 1/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	10 mm	10 mm	7 mm	8 mm
Rechts	9 mm	9 mm	8 mm	8 mm

- **Besonderheit 1:** Einschuss rechts in Höhe des HWK 1.
- **Besonderheit 2:** Schußverlauf caudal des Densansatzes.

Präparat 10 – GS 806 / 04: Formalinfixiert

- Gesamtlänge betrug 8 cm (bis HWK 2) und 9,5 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit horizontalem Faserzug.
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral an dem oberen 1/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occipitalis
Links	10 mm	10 mm	0,8 mm	0,6 mm
Rechts	11 mm	12 mm	0,7 mm	0,5 mm

- **Besonderheit 1:** Berstungsfraktur rechts
- Besonderheit 2:** zartes linkes Band

Präparat 11 – GS 811 / 04: Formalinfixiert

- Gesamtlänge betrug 14 cm (bis HWK 4) und 8,5 cm Gesamtbreite.
- caudokranieller Faserzug: links nach dorsal und rechts nach ventral ziehend.
- Denslänge: 1,7 cm
- Fasern setzen lateral an dem mittleren 1/3 des Dens an.

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occipitalis
Links	11 mm	10 mm	7 mm	5 mm
Rechts	8 mm	7 mm	7 mm	7 mm

- **Besonderheit 1:** linkes Ligamentum alaria zieht nach dorsal, rechts eher nach ventral

Besonderheit 2: zusätzliche Bandstruktur rechts, Ansatz obere 1/3 des Dens, Ursprung obere Anteil des Condylus occipitalis

Kranial : 6 mm Caudal : 6 mm Dens : 3 mm Condylus occipitalis : 3 mm

Präparat 12 – GS 990 / 04: (Formalinfixiert)

- Gesamtlänge betrug 11,5 cm (bis HWK 3) und 5,0 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung nach dorsal mit kraniocaudalen Faserzug, die parallel verlaufen.
- Fasern setzen lateral an den oberen 1/3 – 2/3 des Dens an.
- Dicke in der Sagitalen: 5 mm
- Denslänge: 1,7 cm

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	11 mm	12 mm	8 mm	7 mm
Rechts	9 mm	9 mm	8 mm	7 mm

Präparat 13 – GS 991 / 04: (Formalinfixiert); Präparation von ventral

- Gesamtlänge betrug 10 cm (bis HWK 2) und 9,0 cm Gesamtbreite.
- dorsale Verlaufsrichtung.
- Fasern reichen teilweise bis zur Densrückseite.
- Dicke in der Sagitalen:

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	10 mm	9 mm	7 mm	6 mm
Rechts	12 mm	11 mm	7 mm	6 mm

- **Besonderheit 1:** hintere knöcherne Strukturen erhalten, vorderer Atlasbogen entfernt – Bänder nicht sichtbar

Besonderheit 2: das rechte Ligamentum alare stellt sich stärker da als das Linke.

Präparat 14 – GS 1016 /04: Formalinfixiert

- Gesamtlänge betrug 8,5 cm (bis HWK 2) und 8,0 cm Gesamtbreite.
- Verlaufsrichtung in der Ebene mit horizontalem Faserzug.
- Fasern setzen lateral an dem oberen 1/3 des Dens an
- Dicke in der Sagitalen:

	Kranial	Caudal	Dens	Condylus occiptalis
Links	9 mm	8 mm	8 mm	7 mm
Rechts	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm

- **Besonderheit 1:** - Fasern vom rechten zum linken Condylus occipitalis reichend
 - ev. Bursa
 - dorsal über den Dens verlaufend
 - cranial: 26 mm
 - kaudal: 21 mm

4.3 Vergleich der Ergebnisse von der kernspintomographischen Untersuchung und mit den Ergebnissen der makroskopischen Präparation

Auf Grund einer Rotation des Dens axis kam es in den kernspintomographischen Aufnahmen zu einer asymmetrischen Darstellung der Ligamenta alaria. In der makroskopischen Betrachtung hingegen konnte bei keinem der Präparate eine Asymmetrie beobachtet werden.

Geringste Abweichungen gab es im Rahmen der Längenmessungen (einmal im Verlauf der kranialen Begrenzung des Ligamentum alare und einmal im Verlauf der caudalen Begrenzung des Ligamentum alare). Hier wurde im MRT durchgehend eine größere gemessen. Der Durchschnitt lag hier im kranialen Bereich bei 10 mm und kaudal bei 11 mm im Gegensatz zu makroskopischen Messung, die einen Durchschnitt kranial von 9,2 mm und kaudal von 9,1 mm ergab. Dieser Unterschied könnte auf Grund der Densrotation mit darausresultierender Asymmetrie der Ligamenta alaria beruhen.

Schlussfolgernd besteht keine Diskrepanz im Bezug auf Läsionen der Ligamenta alaria zwischen der bildgebenden Diagnostik und der makroskopischen Präparation.

4.4 Auswertung der mikroskopischen Darstellung

4.4.1 Auswertung der Methyl- Metacrylatkunststoffeinbettung:

Von drei ausgewählten formalinfixierten Präparaten wurden Methyl- Metacrylat- Schnitte angefertigt, auf einen Objektträger aufgetragen und anschließend mit einer May-Grünwaldlösung eingefärbt. Pro Präparat wurden ca. 40 Schichten angefertigt und unter dem Mikroskop beurteilt.

Auf Grund der unterschiedlichsten Verlaufsrichtungen der Ligamenta alaria waren ihre Strukturen nicht immer durchgehend gut dargestellt und nur eingeschränkt zu beurteilen.

Die vorwiegend aus kollagenen Fasern bestehenden Ligamenta alaria stellten sich unter dem Mikroskop als blauviolette Strukturen dar. Diese konnten gut gegenüber dem bläulich eingefärbten Knochen und Knorpel abgegrenzt werden. Fett stellte sich indirekt durch die

leeren Fettvakuolen dar, die von einem dünnen blauvioletten Bindegewebsaum umgeben sind.

Beschreibung der Ligamenta alaria nach Aufbringung der Schnitte auf die Objektträger und Einfärbung mit einer May- Grünwaldfärbung:

Präparat 10 – GS 806/ 04:

rechts:

abgebildet ist der Dens axis mit vorderem Atlasbogen bis zum Condylus occipitalis rechts; Ligamentum alare im gesamten Verlauf dargestellt: deutlich Fettzellen zwischen den einzelnen Bandfaszikeln des Ligamentum alare erkennbar; die Fasern ziehen nach dorsal; deutliche Knochen- Knorpelabgrenzung; unter anderem Darstellung von Blutgefäßen

links:

abgebildet ist der Dens axis mit vorderem Atlasbogen bis zum Condylus occipitalis links; Ligamentum alare durchgehend dargestellt; im ganzen Verlauf deutlich mit Fettzellen durchsetzt; Fasern ziehen nach dorsal; gute Knochen- Knorpelabgrenzung; Darstellung von Blutgefäßen; zusätzlich abgebildet sind das Os odontoideum und ein Osteophyt

Präparat 11 – GS 811/ 04:

abgebildet sind der Dens axis und der vordere Atlasbogen im Querschnitt; Aufsicht von kranial; in den caudalsten Schnitten sind die Ligamenta alaria im Ansatz am seitlichen Dens axis beidseits dargestellt. (Nr. 1a) Die Bandansätze enthalten nur wenige Fettzellen. In den weiteren kranialen Schnitten sind die Bänder nur anteilig angeschnitten. Die zusätzliche Bandstruktur, die eindeutig in der Kernspintomographie und in der Makroskopie dargestellt wurden, konnten in den Methyl- Metacrylat- Schnitten nicht dargestellt werden. Darstellung von Blutgefäße.

Präparat 14 – GS 1016/ 04:

rechts:

abgebildet ist der Dens axis bis zum Condylus occipitalis rechts; rechts ist das Ligamentum alare nicht durchgehend dargestellt; der kraniale Ansatz am Condylus

occipitalis rechts zeigt weniger Fettanteile, im Gegensatz zu dem restlichen Bandverlauf. Dort sind die Fettzellen deutlich zu erkennen. (Nr. 2, 35)

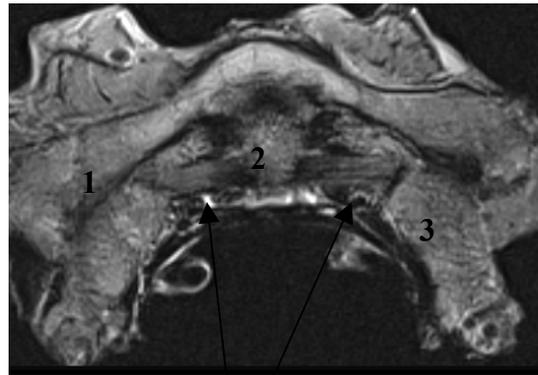
links:

abgebildet ist der Dens axis mit vorderem Atlasbogen bis zum Condylus occipitalis links; die Ansätze des Ligamentum alare fehlen. In der Mitte des Bandverlaufes zeigen sich zunehmend Fettanteile; gute Knochen- Knorpelabgrenzung; Darstellung von Blutgefäßen;

Abbildung 1.3

axiales T2-gewichtetes MRT- Bild;
Ligamenta alaria ziehen als hyperintense
Struktur vom lateralen Dens axis seitlich
zu den Condylus occipitales mediales;

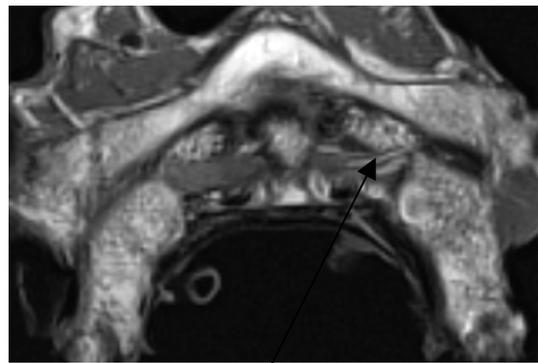
- 1 vorderer Atlasbogen
- 2 Dens axis
- 3 Condyles occipitales



Ligamenta alaria

Abbildung 1.4:

axiales T1-gewichtetes MRT- Bild;
zwischen den Bandfaszikeln des linken
Ligamentum alaria deutliche
Hyperintensität, im Sinne von Fettzellen,
die Gegenseite hingegen hat hier weniger
hyperintense Areale und somit weniger
Fettanteile; gut vom umgebenden
Fettgewebe abgrenzbar

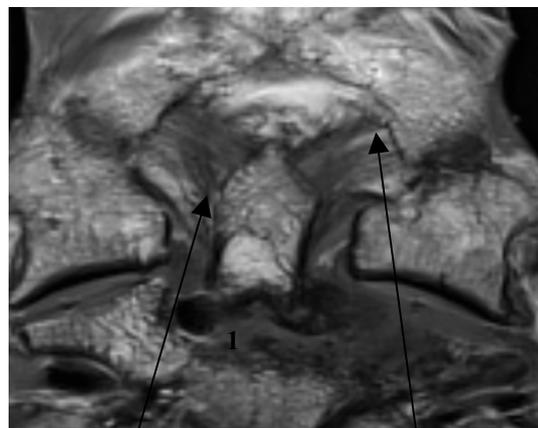


Hyperintensität, im Sinne von Fettzellen

Abbildung 1.5:

coronares T1-gewichtetes MRT- Bild;
gut sichtbar die, in den Hauptbandverlauf
einstrahlenden Bandfaszikel, ansetzend
am lateralen Dens axis; auch hier
deutliche Fettstreifung erkennbar (links
mehr als rechts)
Nebenbefund: Densfraktur

- 1 Densfraktur



einstrahlende Bandfaszikel

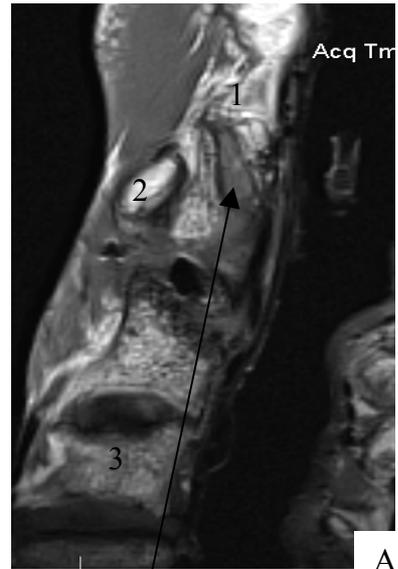
Fettstreifung

Abbildung 1.6:

sagittales T1- gewichtetes MRT- Bild;
Ligamentum alare stellt sich in der
Sagitalen hypointens dar;

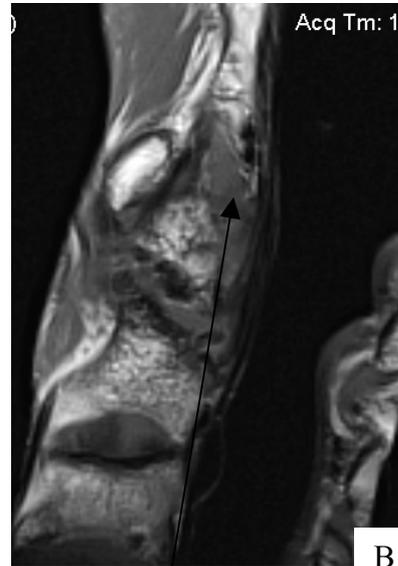
A) am Ansatz des Condylus occipitalis als
mehr oder weniger ovale Struktur mit
einer Fläche von 0,3x 1,1 cm.

- 1 Condylus occipitalis rechts
- 2 vorderer Atlasbogen
- 3 Dens axis



Ligamentum alare rechts

B) im Verlauf des Ligamentum alare;
weiterhin ovale Form mit einer Fläche
von 0,3x 0,9 cm



Ligamentum alare rechts

C) am Densansatz nur noch eine ovale Fläche von 0,3x 0,5 cm;

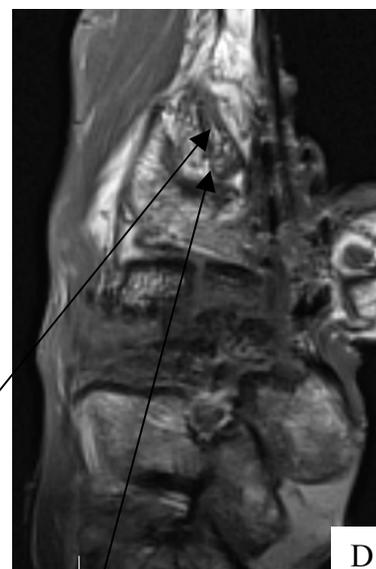
Zusammenfassend:

Das Ligamentum alare rechts stellt sich fast durchgehend hypointens dar und besitzt somit kaum Fettanteile



Ligamentum alare rechts

D) am Ansatz des Condylus occipitalis links abgebildet als ovale Struktur mit einer Fläche von 0,3 x 1,0 cm.



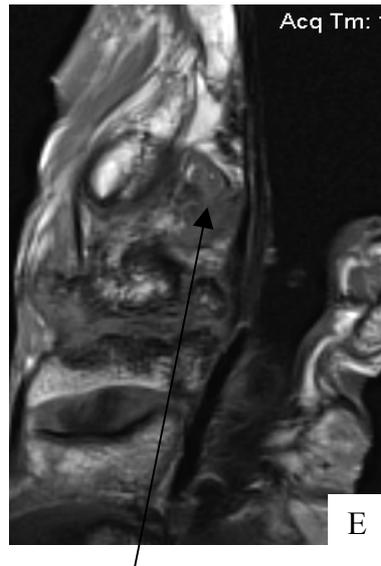
Fettkuole zwischen den Bandfaszikeln

Ligamentum alare links

E) im Bandverlauf Darstellung des Ligamentum alare links als oval Form mit einer Fläche von 0,5 x 0,3;

Zusammenfassend:

Im Gegensatz zur Gegenseite stellt sich das Ligamentum alare links hyperintenser dar und enthält somit einen erheblich höheren Fettanteil;



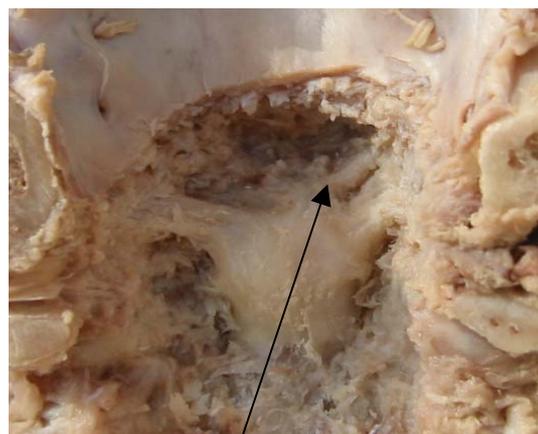
Ligamentum alare links

Beispiel 2: GS 811/ 04: 54 jähriger Patient: natürliche Todesursache; Formalinfixiert caudokraniale Faserverlauf, links nach dorsal, rechts nach ventral verlaufend;

Zusatzbefund: zusätzliche Bandstruktur kranial des linken Ligamentum alare gelegen im Sinne eines akzessorischen Ligamentum

Abbildung 2.1

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal nach Entfernen der Ligamenta transversum und apicis dentis;
zusätzliche dünne Bandstruktur rechts von der Densspitze kraniocaudal zum Condylus occipitalis medialis verlaufend.



acessorische ligamentäre Zusatzstruktur

Abbildung 2.2:

Schematische Darstellung (von dorsal)

- 1 Condylus occipitalis
- 2 Axis vertebrae
- 3 Massa lateralis
- 4 Hauptbandverlauf der Ligamenta alaria
- 5 ligamentäre Zusatzstruktur im Sinne eines acessorischen kranialen Ligamentum alare

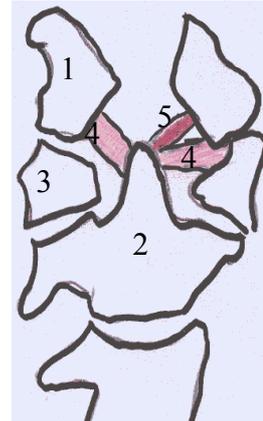
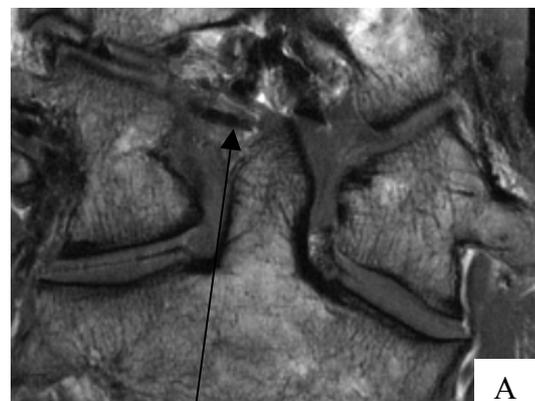


Abbildung 2.3:

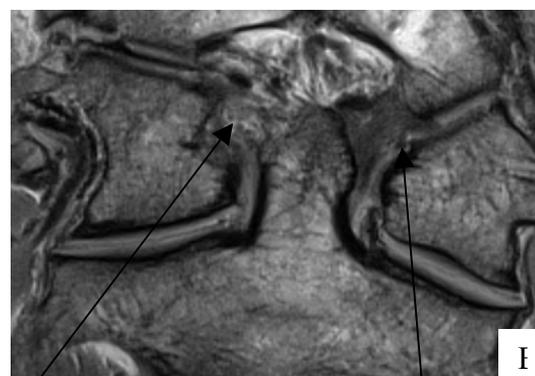
T1- gewichtete coronares MRT- Bilder;
caudokraniale Faserverlauf beidseits;

A) zusätzliche dünne Bandstruktur rechts von der Densspitze kranio-caudal zum Condylus occipitalis medialis parallel zum Ligamentum alare rechts verlaufend; auch hier finden sich im Verlauf hyperintense Bereiche im Sinne von Fettanteilen; die übrigen Bandanteile stellen sich hypointens dar; gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar.



zusätzliche Bandstruktur rechts

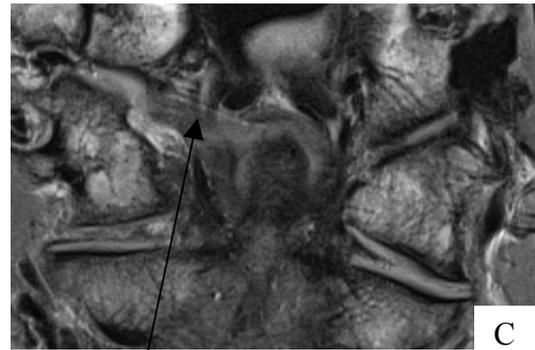
B) Das linke Ligamentum alare verläuft nach ventral, wohingegen rechts nur noch Fettgewebe abgrenzbar ist



umgebendes Fettgewebe

Ligamentum alare links

C) Das rechte Ligamentum alare verläuft nach dorsal; rechts nur noch Bindegewebe abgebildet

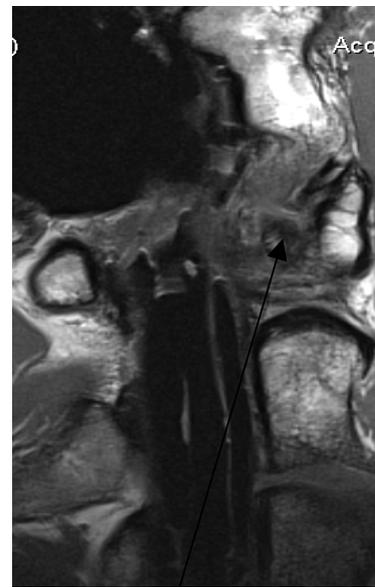


Ligamentum alare rechts

Abbildung 2.4:

sagittales T1- gewichtetes MRT- Bild;
das Ligamentum alare stellt sich in der
sagitalen Ebene als runde hypointense
Struktur dar (Fläche von 0,4x 0,3 cm);

(im axialen MR- Bild konnte das
Zusatzband nicht vom Hauptbandverlauf
differenziert werden)

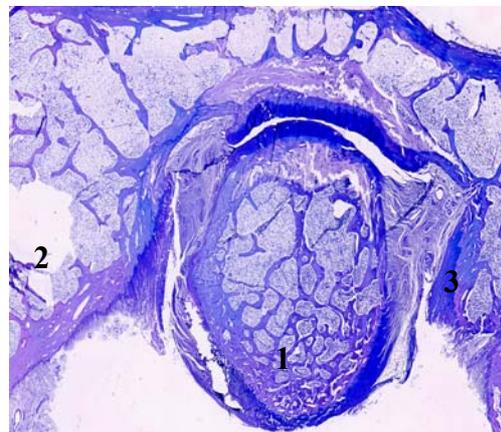


Ligamentum alare links

Abbildung 2.5

Methyl- Metacrylatschnitt (Ansicht von
axial):

In den caudalsten Schnitten sind die
Ligamenta alaria im Ansatz am seitlichen
Dens axis beidseits dargestellt. Die
Bandansätze enthalten nur wenige
Fettzellen. In den kranialen Schnitten sind
die Bänder nur anteilig angeschnitten. Die
zusätzliche Bandstruktur, die eindeutig in
der Kernspintomographie und in der



Makroskopie dargestellt wurden, konnten in den Methyl- Metacrylat- Schnitten nicht dargestellt werden. Gute Darstellung von Blutgefäßen.

1 Dens axis

2 vorderer Atlasbogen

3 Ligamenta alaria

Beispiel 3: GS 1016/ 04: 42 jähriger Patient, Sturz auf Hinterhaupt; formalinfixiert; horizontal, seitlicher Faserverlauf;

Zusatzbefund: zusätzliche ligamentäre Struktur im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis

Abbildung 3.1:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal unter Belassung der Ligamenta transversum und Ligamentum apicis dentis

1 Ligamentum apicis dentis

2 Ligamentum transversum atlantis

3 Ligamenta alaria

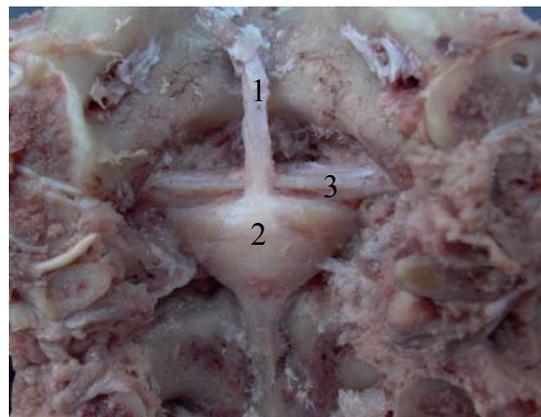
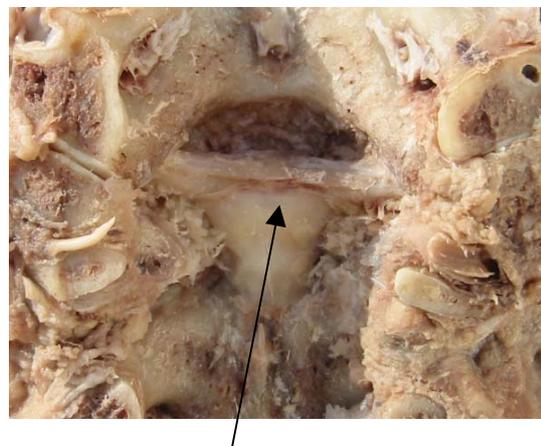


Abbildung 3.2:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal nach Entfernen der Ligamenta transversum atlantis und apicis dentis;

horizontal seitliche Verlaufsrichtung; Verbindung eines dorsal kranialen Anteiles des Ligamentum alare vom rechten Condylus occipitalis zum Rechten, in Form eines Ligamentum transversum occipitis



Ligamentum transversum occipitis

Abbildung 3.3:

Schematische Darstellung des Ligamentum transversum occipitis in coronare Schichtebene

1 Condylus occipitalis

2 Axis vertebrae

3 Ligamenta alaria

4 Ligamentum occipitis transversum

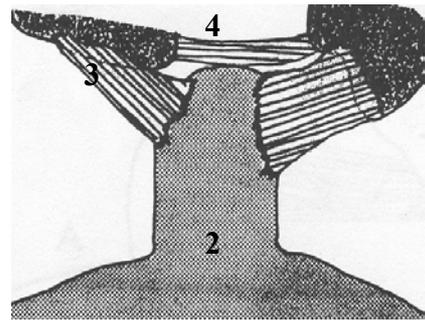
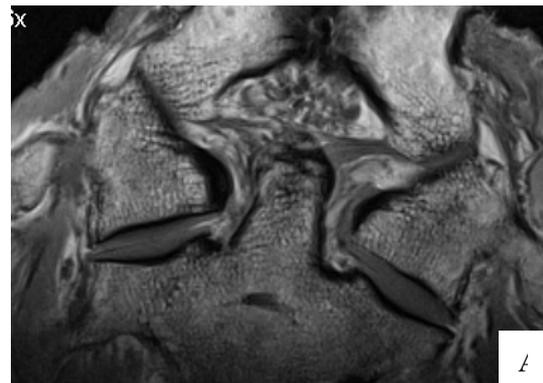


Abbildung 3.4:

coronares T1- gewichtetes MRT- Bild;
Ligamenta alaria gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar

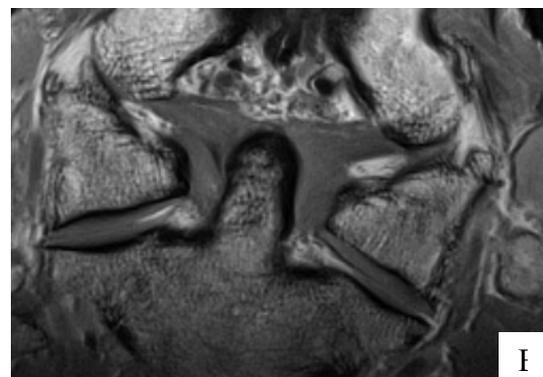
A) ventral beginnend:

im ventralen Anteil des Bandverlauf
rechts mehr Fettanteile als Links

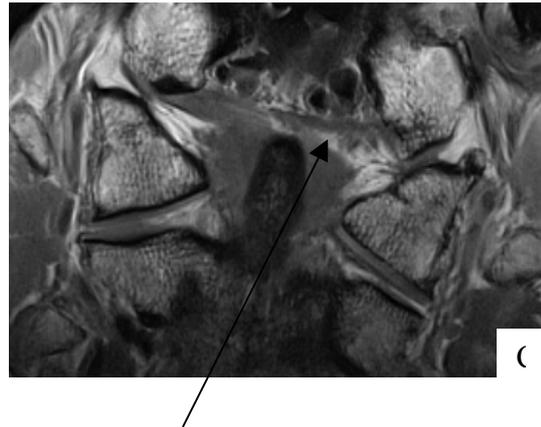


B) Bandmitte:

kaum Fett zwischen den Bandfaszikeln
erkennbar



C) im dorsalen Bandverlauf; links mehr Fettanteile als rechts; insgesamt rechts mehr Fett als links;
Ligamentum transversum occipitis



Ligamentum transversum occipitis

Abbildung 3.5:

axiales T2- gewichtetes MRT- Bild;
in der Ebene verlaufend;

- 1 Dens axis
- 2 Ligamenta alaria

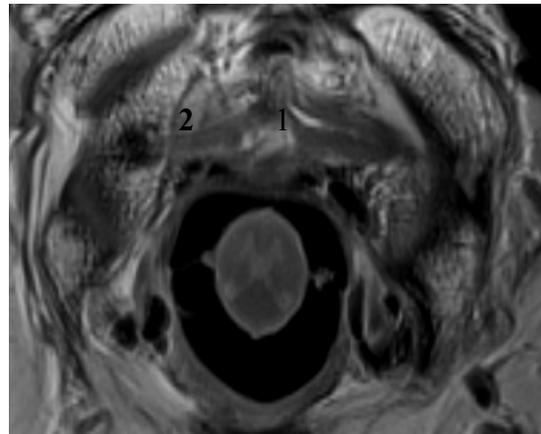
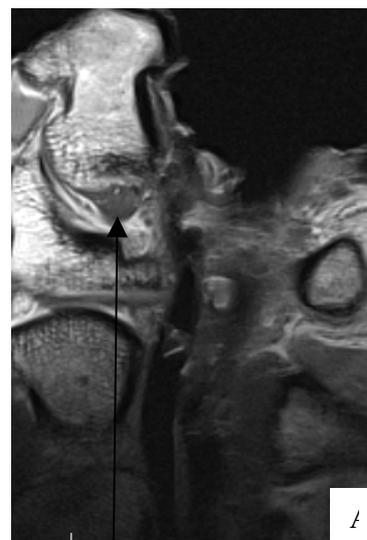


Abbildung 3.6:

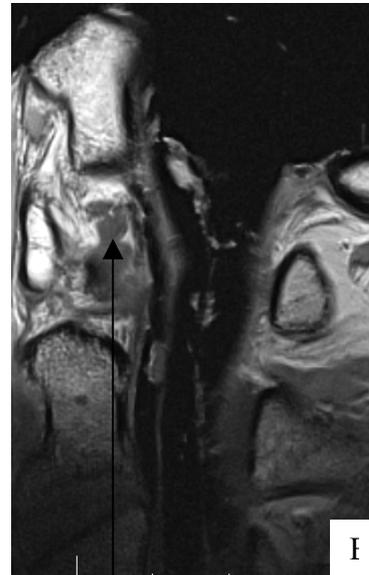
sagittales T1- gewichtetes MRT- Bild

A) das Ligamentum alare links stellt sich in der sagitalen Ebene als runde bis ovale hypointense Struktur dar, mit einer Fläche von 0,2x 0,4 cm am Condylus occipitalis links



Ligamentum alare links

B) Fläche von 0,4x 0,3 cm in der Verlaufsmitte



Ligamentum alare links

Abbildung 3.7:

Methyl- Metacrylatschnitt (Ansicht von axial):

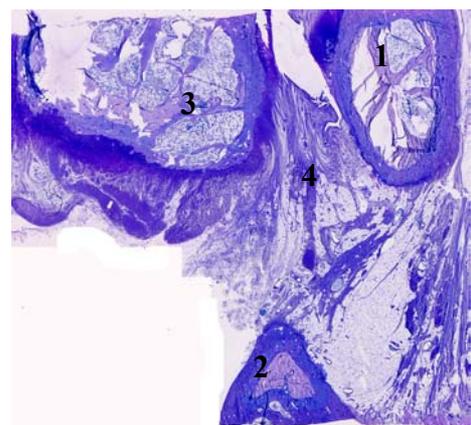
die Ansätze des Ligamentum alaria sind hier nicht angeschnitten. In der Mitte des Bandverlaufes zeigen sich zunehmend Fettanteile; gute Knochen- Knorpel- abgrenzung; Darstellung von Blutgefäßen;

1 Dens axis

2 vorderer Atlasbogen

3 Condylus occipitalis links

4 Ligamentum alare



Beispiel 4: GS 806/04: 40 jähriger Patient; Bahnüberrollung; dorsal, horizontaler Faserverlauf

Zusatzbefund: Berstungsfraktur des rechten Atlas

Abbildung 4.1:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal unter Belassung des Ligamentum transversum und Ligamentum apicis dentis;
horizontal dorsale Verlaufsrichtung;

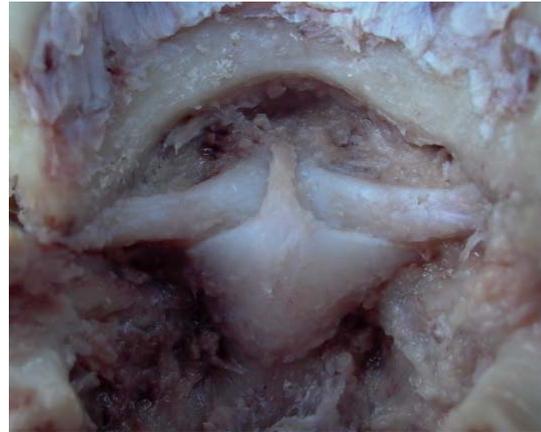


Abbildung 4.2:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal nach Entfernen der Ligamenta transversum und Ligamentum apicis dentis;
horizontal dorsale Verlaufsrichtung;

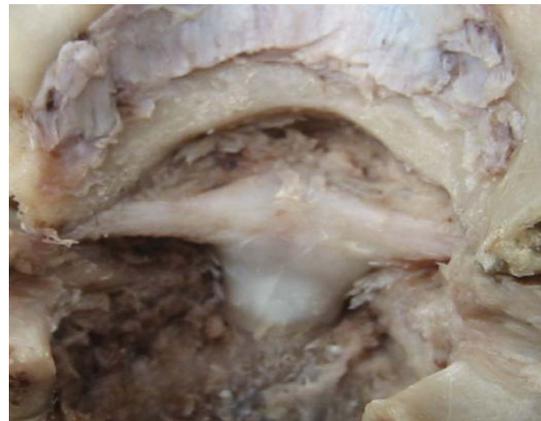
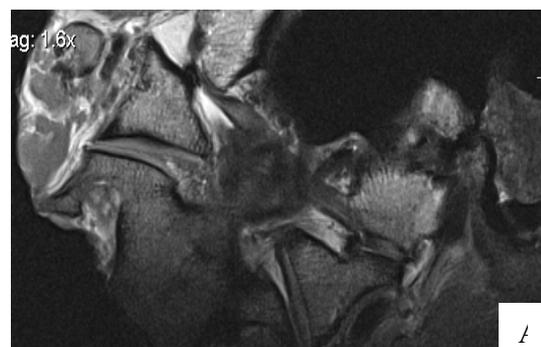


Abbildung 4.3:

coronares T1- gewichtetes MRT- Bild;
Ligamenta alaria gut vom umgebenden Fettgewebe abgrenzbar; horizontal dorsale Verlaufsrichtung;



A) im dorsalen Anteil kaum Fettanteile
beidseits

B) im ventralen Anteil hingegen wieder deutlich Fettstreifung, rechts läuft das Ligamentum alare weniger steil nach dorsal, deshalb hier im Bereich des Condylus occipitalis bereits umgebendes Fettgewebe abgebildet

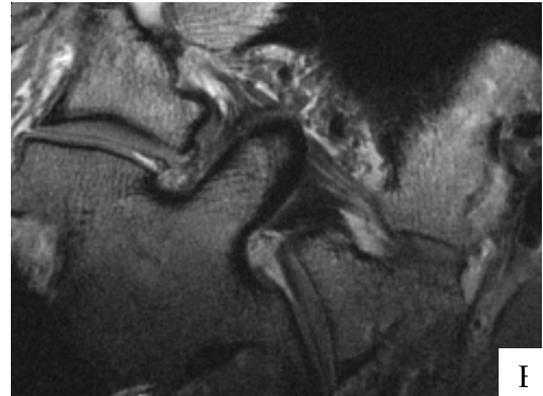
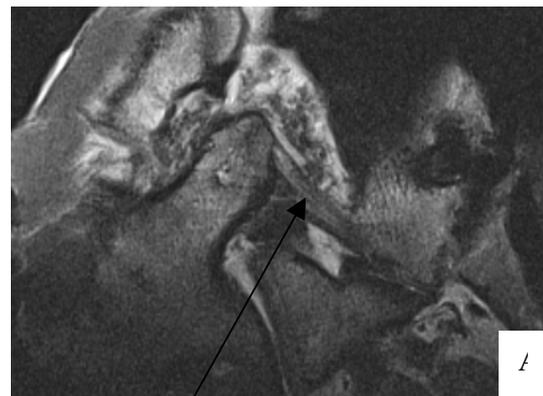


Abbildung 4.4:

schräg coronares T1- gewichtetes MRT- Bild durch das rechte Ligamentum alare;

A) sehr gut die Fettanteile als hyperdense Struktur zwischen den einzelnen Bandfaszikel zu erkennen



Fettstreifung

schräg coronares T1- gewichtetes MRT- Bild durch das linke Ligamentum alare;

B) im Gegensatz zur rechten Seite sind hier kaum Fettanteile zwischen den Bandfaszikeln zu erkennen; diese Seite bildet sich hypointens dar

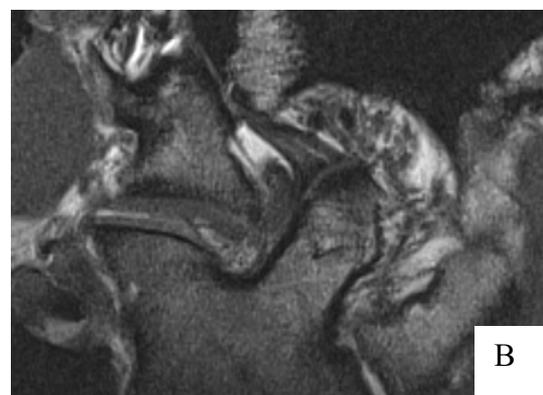
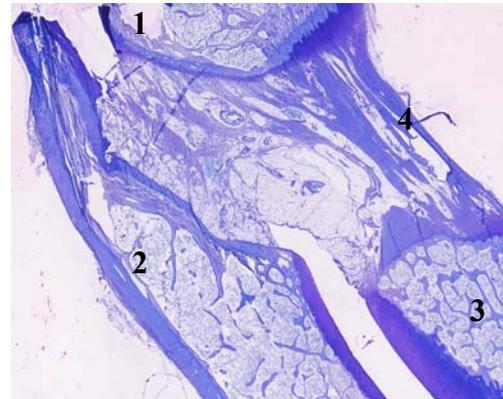


Abbildung 4.5:

Methyl- Metacrylatschnitt (Ansicht von axial):

Ligamentum alare durchgehend dargestellt; im ganzen Verlauf deutlich mit Fettzellen durchsetzt; Fasern ziehen nach dorsal; gute Knochen- Knorpel- abgrenzung; Darstellung von Blutgefäßen;



1 Dens axis

2 vorderer Atlasbogen

3 Condylus occipitalis links

4 Ligamentum alare

Beispiel 5: GS 384/ 04: 57 jähriger männlicher Patient; Todesursache Schädelhirntrauma

Abbildung 5.1:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal unter Belassung des Ligamentum transversum und Ligamentum apicis dentis

caudokranial dorsale Verlaufsrichtung

1 Ligamentum apicis dentis

2 Ligamentum transversum atlantis

3 Ligamenta alaria

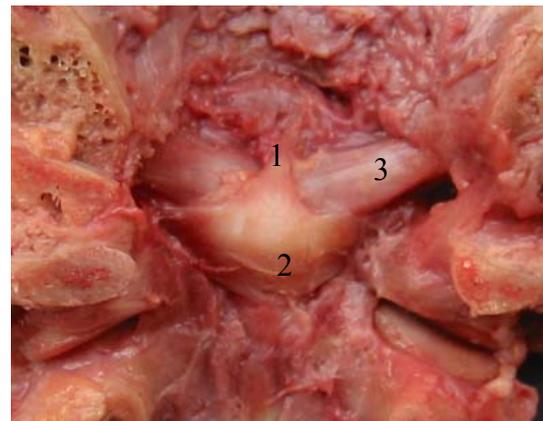


Abbildung 5.2:

makroskopisches Schnittbild; Ansicht von dorsal unter Belassung des Ligamentum transversum und Ligamentum apicis dentis

caudokranial dorsale Verlaufsrichtung



Abbildung 5.3:

coronares PD tse gewichtetes MR- Bild:
Die Ligamenta alaria stellen sich hypointens dar und gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbar;

caudokranial dorsale Verlaufsrichtung

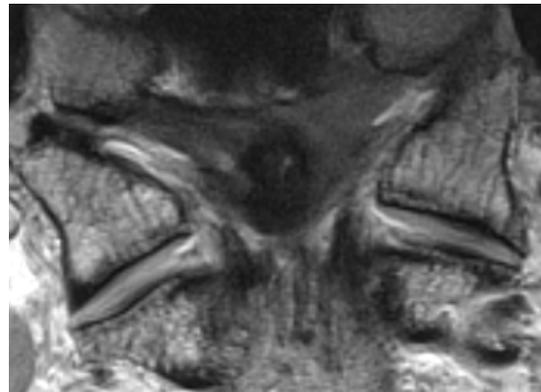
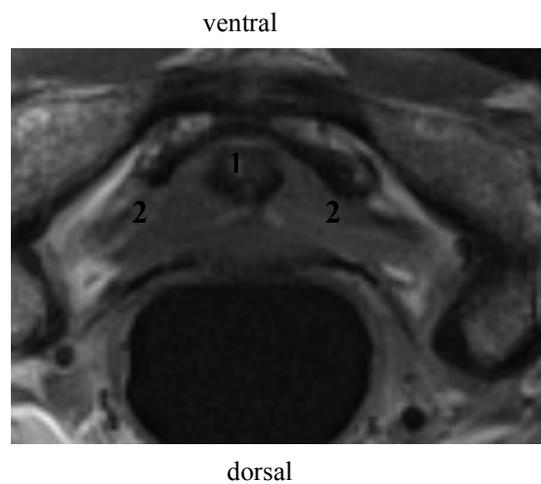


Abbildung 5.4:

axiales T1- gewichtetes MR- Bild;
kaum Fettanteile; gut abgrenzbar;
caudokraniale Verlaufsrichtung

1 Dens axis

2 Ligamenta alaria



6 Diskussion

Eine mögliche Vulnerabilität der Ligamenta alaria im Rahmen von Autounfällen ist Gegenstand einer sich intensivierenden Diskussion.

Es wird vermutet, dass es zu einer Hyperextensionsbewegung des Kopfes in Kombination mit einer axialen Rotation möglicherweise zu einer Verletzung der Ligamenta alaria kommen kann (Saternus 1987). Saternus glaubt, dass Weichteiltraumen, einschließlich Verletzungen des ligamentären Bandapparates häufiger vorkommen, als klinisch und radiologisch gefunden werden. Untersuchungen mit Magnetresonanz- und Computertomographie zeigten, dass zwischen dem Ausmaß der Schädelverletzung und der Verletzung der Ligamenta alaria keine Beziehung besteht (Ronnen 1996). Saternus schreibt in seiner Studie von 1987: „Einerseits konnten bei schweren Schädelberstungen die Flügelbänder unverletzt bleiben, andererseits führten reine Weichteilverletzungen des Gesichtes zu ihrer Beteiligung“.

Auch bei der direkten Gewalteinwirkung, z.B. Kopf- Kontakt bei Schlägerei, Sturz oder Sprung in flaches Gewässer (Müller) kann es zu Halswirbelsäulendistorsionen kommen, die eine ligamentäre Verletzung mit sich führen könnten.

Densnahe Rupturen der Ligamenta alaria können vor allem nach Rotationstraumen und condyläre Insertionsausrisse im Zusammenhang mit einem Berstungsmechanismus der Schädelbasis vorkommen (Saternus 1987). In einer Studie von Hartwig (2004) war man der Annahme, dass aufgrund des anatomischen Verlaufes der Ligamenta alaria und der physiologischen Anspannung bei einer axialen Rotation und einer Lateralflexion das Verletzungspotenzial bei einem Seitenaufprall erhöht sei. Bei einer biomechanischen Untersuchung an humanen Präparaten kam es jedoch zu keiner Läsion der Ligamenta alaria.

Im Rahmen solcher Verletzungen kommt der Diagnostik große Bedeutung zu, um adäquate Therapieentscheidungen treffen zu können. Behandlungsmuster reichen von konservativer (Halsorthesen, Analgetika- und Physiotherapie) bis operativen Versorgung mittels Spondylodese. C0/ C1/ C2- Verblockungen gehen dabei mit einer ausgeprägten Einschränkung der Lebensqualität einher. Aktuelle Therapieansätze favorisieren eine Frühmobilisation, aktive Bewegungstherapie und Vermeidung von Halskrawatten, um einem Abbau der Halsmuskulatur vorzubeugen (McKinney1994).

6.1 Mögliche diagnostische Verfahren bei Verletzungen der Halswirbelsäule:

Die Überlegenheit der Magnetresonanztomographie in der Diagnostik bei Beschwerden der oberen Halswirbelsäule ist unbestritten.

Zu den häufigsten Verletzungsursachen zählen vor allem Verkehrsunfälle und Stürze, gefolgt von direkten Traumata wie zum Beispiel direkte Schläge (Müller) und degenerative Veränderungen. Folgen können Frakturen, ligamentäre Verletzungen, Rückenmarkskontusionen und Bandscheibenvorfälle (traumatischer oder degenerativer Genese) sein. Magnetresonanztomographische Untersuchungen im Rahmen einer Hyperextensionsverletzung können zwischen Rückenmarksblutungen, Rückenmarkskontusionen und Verletzungen wie posttraumatischen Bandscheibenherniationen oder Epiduralblutungen differenzieren. Wesentlich ist auch die Diagnostik zwischen möglicher diskoligamentären Verletzungen. Die klinische Symptomatik sollte immer in die Beurteilung der magnetresonanztomographischen Befunde miteinbezogen werden. MRT-Untersuchungen sind im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren teuer und zeitaufwendig. Nachteile der Magnetresonanztomographie entstehen allenfalls in der Diagnostik von knöchernen Läsionen. Hierbei ist die Computertomographie weiterhin überlegen und wird vor allem bei Polytraumapatienten zur schnellen und ersten Diagnostik von Frakturen der Wirbelkörper, Wirbelbögen, Wirbelgelenke, Querfortsätze und von Blutungen angewendet. Bei Verdacht auf Verletzungen der Halswirbelsäule erfolgen zunächst projektionsradiographische Aufnahmen in zwei Ebenen, ggf. mit Zusatzaufnahmen. Ihre Verfügbarkeit ist hoch und der Kostenaufwand gering. Ligamentäre Verletzungen können einer Diagnostik durch Projektionsradiographie oder Computertomographie entgehen, können aber auf Grund bestimmter Begleitbefunde, wie zum Beispiel Verschmälerung von Gelenkspalten oder Verschiebung von Wirbelkörpern Hinweise geben und somit eine weiterführende Diagnostik mittels Magnetresonanztomographie nach sich ziehen.

6.2 Darstellung des Ligamentum alare

Die Ligamenta alaria („Flügelbänder“) reichen von den oberen 2/3 des dorsolateralen Anteil des Dens axis bis zum ipsilateralen medialen Anteil des Condylus occipitalis.

6.2.1 Darstellung der Verlaufsrichtungen:

In der Literatur werden kraniocaudale, caudokraniale und horizontale Verläufe beschrieben (Dvorak und Panjabi, Spine 1987), wobei wie auch in unserer Studie, die horizontalen Verlaufsrichtungen überwiegen (Dvorak 1988; Krakenes 2001; Schröter 2002). Im Gegensatz zu Krakenes konnten in unserer Studie die Ligamenta alaria sehr gut in den koronaren und axialen Schichten dargestellt werden und nur eingeschränkt in den Sagittalen.

Bisher in der Literatur erst einmal (Ludwig 1952) beschriebene Verläufe nach ventral, dorsal oder auch in der Ebene verlaufende Richtungen wurden im Rahmen unsere Studie beobachtet und magnetresonanztomographisch, makro- und mikroskopisch genauer untersucht. Ludwig schreibt: „Die einzelnen Faserbündel sind nicht in der Frontalebene gelegen, sondern ziehen von der caudalen Ursprungslinie am Zahn des Epistropheus in einem nach ventral und lateral sich öffnenden Fächer bogenförmig zu ihren Ansatzstellen am Condylus occipitalis.“

Im Rahmen dieser Studie fielen primär dorsale Verläufe auf, gefolgt von denen in der Ebene verlaufenden, im Gegensatz zu Ludwig. Ventrale Verlaufsrichtungen hingegen wurden nur auf einer Seite eines Präparates beobachtet. Die Beurteilung erfolgte vor allem mit Hilfe der axialen Schichtaufnahmen, konnten aber auch gut in der coronaren Schichtführung nachvollzogen werden. Belegt werden konnten unsere Beobachtungen in den magnetresonanztomographischen Bildern mittels makroskopischer Präparation.

Auch fächerförmige Verläufe waren zu erkennen, die bereits bei Schröter (2002) beobachtet wurden.

Diese Beobachtung sollte man zukünftig in der Beurteilung der Ligamenta alaria im Bezug auf mögliche Veränderungen, zum Beispiel im Sinne von Rupturen mit einbeziehen.

Unter anderem beschreibt die Mehrheit der Autoren einen alleinigen Ansatz der Ligamenta alaria an den medialen Condylen. Bereits in Arbeiten von Cave (1933/ 34), Ludwig (1952) und Panjabi (1991) hingegen wurden asymmetrische Verbindungen von den anterior inferioren Bandanteilen zur Massa lateralis des Atlas beschrieben. Dvorak (1987 Spine) beobachtete eine Verbindung zwischen Densbasis und vorderem Atlasbogen im Sinne einer atlanto-dentale Verbindung. Im Rahmen unserer Studie konnten diese Normavarianten nicht beschrieben werden.

6.2.2 Darstellung der Fettanteile zwischen den Bandfaszikeln:

Eine weitere Auffälligkeit auf den magnetresonanztomographisch Bildern war die sehr gute Abgrenzbarkeit der ligamentären Fasern gegenüber den Fettvakuolen zwischen den einzelnen Faszikeln und dem umgebenden Binde- und Fettgewebe auf Grund der hohen Auflösung.

Es gibt keine Regelmäßigkeit in der Anzahl der Fettzellen. Beobachtet wurden unter anderem auch Unterschiede zwischen rechtem und linkem Ligamentum alare des gleichen Präparates, oder auch unterschiedlich viele Fettzellen im dorsalen Anteil gegenüber dem ventralen der gleichen Bandseite. Belegt wurden unsere Beobachtungen mittels Anfertigung von auf Objektträger aufgetragenen Methyl- Metacrylatschnitten.

Fett stellt sich in der Magnetresonanztomographie als signalreiche/ hyperintense Struktur in T1- gewichteten Sequenzen dar, die somit zu einer Signalerhöhung innerhalb eines Bandes führt. Diese Beobachtung könnte ein Grund für einige Fehlinterpretationen im Sinne von Teil- oder auch Totalrupturen sein. Friedberg und Nagemüller (1997) zum Beispiel interpretierten eine Signalerhöhung und eine Asymmetrie als Ruptur.

In einer Studie von Saldinger (1990) wurden bereits „leere runde Räume“ zwischen den Bandfaszikeln beschrieben. Es konnte jedoch keine Zuordnung getroffen werden, ob es nun Artefakte seien oder fettgewebliche Strukturen. Schröter (2002) beschrieb streifige Fetteinlagerungen als nicht ungewöhnlich. Bei Krakenes (2001) fanden sich bei sieben von 30 Probanden Signalerhöhungen im Sinne von Fetteinlagerung zwischen den Faszikeln. Er schreibt: „ Fett zwischen den Fasern hat eine höhere Protonendichte als die Fasern selbst.“

Ebenso fielen in einer Arbeit von Nidecker (1997) Bänder mit feinen horizontalen Streifen auf.

6.3 Normvarianten im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis und eines accessoriellen kranialen Ligamentum alare

Auf Erkennen der beschriebenen Normvarianten im Bezug auf die Ligamenta alaria sollte bei zukünftigen Untersuchungen Wert gelegt werden, um Fehlinterpretationen vorzubeugen.

6.3.1 Ligamentum transversum occipitis:

Als Variante wurden bereits von Lauth (1835), Cruveilhier (1843), D'Alton (1850), Gruber (1851), Fick (1904), Ludwig (1952), Dvorak (1987) und Kim (2002) das Ligamentum transversum occipitis beschrieben. Eine zusätzliche Bandstruktur, die sich aus kranialen und dorsalen Fasern beider Ligamenta alaria bildet und über den Dens dorsal hinweg zieht, teilweise angeheftet oder durch eine Bursa synovialis getrennt. Es wird angenommen, dass diese zusätzliche Bandstruktur das Ligamentum transversum in seiner Funktion unterstützt. Auch in unserer Studie wurde diese zusätzliche Bandstruktur beobachtet und konnte sowohl im MR- Bild als auch makroskopisch gut dargestellt werden.

6.3.2 zusätzliche Bandstruktur im Sinne eines accessoriellen kranialen Ligamentum alare

Eine Besonderheit zeigt sich bei einem unsere Präparate in Form einer zusätzlichen schmalen Bandstruktur, die kranial und parallel zum eigentlichen Ligamentum alaria verläuft. Als Ursprung dient die Densspitze und zieht dann ebenfalls caudokranial zum medialen Condylus. Auch hier konnten eindeutige Fettstrukturen zwischen den Bandfasern beobachtet werden.

Bisher wurde diese ligamentäre Struktur in der Literatur nicht beschrieben.

Ligamentäre Verbindungen zwischen der Densbasis und dem vorderen Atlasbogen (anteriores atlanto- dentales Band), wie bei Dvorak (1988) beschrieben, konnte im Rahmen

dieser Arbeit nicht dargestellt werden. Man geht davon aus, dass es das Ligamentum transversum in seiner Funktion unterstützt.

6.4 Methodik

In dieser Studie sollten die magnetresonanztomographische Aufnahmen von traumatisierten Halswirbelsäulen, mit der Möglichkeit der Verletzungen der Ligamenta alaria, mit den entsprechenden pathoanatomischen und histologischen Schnittbildern korreliert werden, um Aussagen treffen zu können, wie sich bestimmte pathologische Befunde und Normvarianten im MRT- Bild darstellen.

Basis einer solchen Studie ist die Erstellung exakt korrelierender Schnitte, sowohl in der Magnetresonanztomographie als auch in den anatomischen Schnitten.

6.4.1 Mögliche Fehlerquellen und Messungenauigkeiten

Typische Fehlerquellen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen können der Partialvolumeneffekt, Manipulationen am Kontrast oder an der Helligkeit der Bilder, Lagerungsfehler, Artefakte (v.a der Atmung, cardiale Pulsationen) und Magnetfeldinhomogenitäten sein.

In unserer Studie kam es auf Grund der postmortalen Studie nicht zu Bewegungsartefakten und Manipulationen zwischen den einzelnen Sequenzen.

Je höher die Bildauflösung, desto besser lassen sich kleine Pathologien diagnostizieren. Diesen Vorteil wird erreicht, wenn man ein kleines Bildfeld (FOV= field of view), eine hohe Matrix und eine geringere Schichtdicke wählt. Je dicker die Schicht ist, umso stärker ist das Signal und so besser das Signal- zu- Rausch- Verhältnis. Dabei sinkt jedoch die Bildauflösung. Vermindern der Schichtdicke führt zur Verringerung des Partialvolumens. Aus diesen Gründen verwendeten wir ein FOV von 100 mm, eine Schichtdicke von 2 mm und eine Matrix von 320x 320. Eine Voxelgröße von $0,18 \text{ mm}^3$ ($0,3 \times 0,3 \times 2 \text{ mm}^3$) erlaubt kleinste Strukturen zu identifizieren.

Weiterhin wurden alle unsere Präparate in einer 4- Kanal Phased- array Handgelenkspule untersucht. Vorteil ist ein hohes Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei einem kleinen Meßfeld.

Veränderung von Mittelung und Phasen-Oversampling ermöglicht eine Erhöhung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses. Hierbei erfolgt eine zusätzliche Meßdatenerfassung in Richtung der Phasenkodierung. Nachteil eines hohen Phasen-Oversampling ist die Verlängerung der Meßzeit.

Zur Beurteilung von Bandrupturen hat sich die Fettunterdrückung bewährt. Hierbei kamen zwei Sequenzen zum Einsatz. Einmal die frequenzselektive Fettsättigung (fs= fatsat), hierbei werden die Fettprotonen durch frequenzselektive Hochfrequenz-Pulse gesättigt und eine STIR- Sequenz (short TI inversion recovery), eine relaxationszeitabhängige Fettsignalunterdrückung.

6.5 Kriterien für eine Ruptur der Ligamenta alaria

6.5.1 Erkennen traumatischer Läsionen mit Hilfe der Magnetresonanztomographie

Das unverletzte Band stellt sich MR- tomographisch in allen Sequenzen als signalarme bis signallose, scharf vom umgebenden Fett- und Knochengewebe abgrenzbare Struktur dar.

I. Kriterien für eine Läsion der Ligamenta alaria:

- 1) Inhomogenität im Verlauf
- 2) fehlende Abgrenzbarkeit zu dem umgebenden Gewebe
- 3) Darstellung von Bandstümpfen
- 4) Signalerhöhung innerhalb des Bandes

Die Ligamenta alaria waren bei allen vierzehn Präparaten durchgehend darstellbar und gut abgrenzbar. Auch Bandstümpfe waren nicht erkennbar gewesen. Signalerhöhung innerhalb eines Bandes war durchgehend zu beobachten. Hierbei ist es wichtig Signalerhöhung im Sinne einer Läsion von einer Erhöhung im Rahmen von Fettdarstellung zu unterscheiden. Aus diesem Grund verwendeten wir Sequenzen (STIR; fatsat), die der Fettunterdrückung dienen. Im Vergleich zu den übrigen Sequenzen war es dann möglich eine Differenzierung treffen zu können.

II. Kriterien für eine Läsion der Ligamenta alaria nach Schröter:

partielle Ruptur:	unregelmäßige Verdickung Signalanstieg innerhalb eines Bandes wellige Bandkontur Verdünnung und Elongation
Totalruptur:	komplette Konturunterbrechung faserige Bandstümpfe

Friedburg und Nagelmüller (1997) interpretierten eine erhebliche Asymmetrie der Ligamenta alaria mit unterschiedlichem Kaliber und seitendifferenzierter Signalgebung als einen Zustand nach Teilruptur. Auch Schröter fand in seinem Patientenkollektiv eine Hyperintensität begleitet von einer Kaliberasymmetrie und interpretierte dieses als eine partielle Ruptur. Komplette Rupturen scheinen nach Schröter und Willauschus äußerst selten vorzukommen. Pfirrmann (2002) fand bei asymptomatischen Patienten bei 88% eine Asymmetrie der Ligamenta alaria. Er kommt zu dem Entschluss, dass „eine Asymmetrie der Ligamenta alaria bei symptomatischen Patienten kein zuverlässiger Indikator einer Läsion der Ligamenta alaria bei Schmerzpersistenz im Bereich der Halswirbelsäule ist.“

III. Kriterien für eine Läsion der Ligamenta alaria nach Krakenes (beurteilt anhand der sagitalen Ebene):

Grad 1:	geringes Signal durch den gesamten Querschnitt
Grad 2:	hohes Signal in einem Drittel des Querschnittes
Grad 3:	hohes Signal in ein bis zwei Drittel des Querschnittes
Grad 4:	hohes Signal in zwei Drittel und mehr des Querschnittes

Einige Autoren interpretierten eine zunehmende Signalerhöhung innerhalb eines Bandes als Zeichen einer Teil- oder Totalruptur. Krakenes hingegen hält es für notwendig das Verletzungsmaß in Vergleich zusetzen mit einem zunehmenden Signal im Querschnitt. Unterschiede in der Signalintensität eines intakten Bandes reichen von signalfrei bis intermediär. Grund hierfür kann die unterschiedliche Dichte an Fasern sein. Weniger Fasern bilden sich eher intermediär ab. Coronare Sequenzen sind notwendig bei zweifelhaften Fällen und bei der Beurteilung im Bereich des fibroossären Überganges, axiale Bilder ergeben keine zusätzlichen Informationen. Erfahrungen von Krakenes und Saldinger zeigen,

dass die Ligamenta alaria, wenn sie reißen, dies bevorzugt an der condylären Ansatzstelle tun. Krakenes nimmt an, dass eine Atrophie der Fasern und ein Umbau in Fettgewebe zu einer Zunahme der Signalintensität führen. Totalrupturen wurden auch hier nicht gefunden. Pfirrmann (2001) kam in einer Magnetresonanztomographischen Studie an asymptomatischen Patienten zu dem Ergebnis, dass es schwierig sei allein anhand der Signalintensität die Diagnose einer Veränderung an den Ligamenta alaria zu diagnostizieren. Willauschus (1995) fand ebenfalls in seiner Kontrollgruppe Unterschiede in der Signalgebung.

IV. Kriterium für eine Läsion der Ligamenta alaria nach Muhle et al.

1. Zerreißung beziehungsweise Durchtrennung einer oder beider Ligamenta alaria
2. Ausrissfraktur der Ligamenta alaria

Die MR- morphologischen Veränderungen der Ligamenta alaria wie unterschiedliche Faserverläufe, inhomogenen Signalanhebung, Seitenasymmetrie, irreguläre Bandkontur, fehlende Abgrenzbarkeit oder Flüssigkeitsansammlungen werden teilweise als Zeichen einer Ligamenta alaria- Verletzung beschrieben, diese müssen jedoch gegenüber Normvarianten abgegrenzt werden (Muhle 2002)

Kritisiert werden müssen alle die Studien, die ihre Thesen im Bezug auf Rupturen der Ligamenta alaria treffen, ohne eine Absicherung durch Präparation des atlanto- occipitalen Übergangs durchzuführen. Alle zitierten Studien konnten ihre Behauptungen nur aufstellen, jedoch nicht pathoanatomisch absichern oder anders verifizieren.

6.5.2 Erkennen traumatischer Läsionen mittels Computertomographie:

Bloom (1996) definierte eine Bänderruptur in der Computertomographie, wenn eine einseitige oder zweiseitige Asymmetrie einschließlich einer Überdehnung oder Verkürzung oder ein Kontinuitätsverlust vorliegt, ähnlich der Kriterien wie in der Magnetresonanztomographie. Die Aussagekraft der Computertomographie im Hinblick auf die Bändermorphologie sollte allerdings in Frage gestellt werden. Auf Grund des besseren Weichteilkontrastes und der multiplanaren Schichtführung ist die Magnetresonanztomographie hier führend (Willauschus 1995; Kim 2002). Lindner (1986)

fand in seinem Patientengut 25-mal eine Verletzung des Ligamentum alare bei nur 31 Patienten. Leider zeigte er keine Kriterien für eine Teil- oder Totalruptur in der Computertomographie auf. Wilmlink (2001) kommt ebenfalls zu dem Entschluss, dass die Ligamenta alaria nicht ausreichend in einer Computertomographie beurteilt werden können. Teil- oder Totalrupturen können anhand konventioneller oder funktioneller Computertomographieaufnahmen nicht erkannt werden. Weiterhin müssen sich die Patienten einer hohen Strahlenexposition aussetzen.

6.5.3 Erkennen traumatischer Läsionen mittels Funktionsuntersuchungen

6.5.3.1 funktionelle magnetrezonanztomographische Untersuchung:

Volle (1997) gibt eine Anzahl verschiedenster Läsionen der Ligamenta alaria. Es wurden 95 Patienten mit Zustand nach Halswirbelsäulentraumen einer dynamischen Funktions-MRT- Untersuchung in einem offenen MRT unterzogen. Davon hatte beinahe $\frac{3}{4}$ der Patienten eine Läsion. Er teilte die Läsionen in drei Typen:

Typ 1	komplette Ruptur,
Typ 2a	inkomplette Ruptur mit langstreckiger Strukturläsion,
Typ 2b	intra-ligamentäre Faserruptur mit anschließend narbiger Auftreibung,
Typ 3	zentrale intra-ligamentäre Signalveränderungen.

In Rahmen dieser Arbeit und folgender Studien (Volle 2000; Volle 2001) wurden keine MRT-typischen Veränderungen für eine Bandläsion beschrieben. Einziges Kriterium für eine Läsion war eine asymmetrische Darstellung und eine Hypermobilität wie bei Dvorak beschrieben. Des Weiteren lagen keine Kontrollgruppen oder Angaben zur Auswertung vor. Die Arbeiten entsprechen keinen wissenschaftlichen Kriterien und sind daher wertlos.

Wilmlink (2001) zeigte in seiner Studie, dass es individuell abhängige Formen und Richtungen der Ligamenta alaria in der Magnetresonanztomographie gibt und somit eine Asymmetrie nicht für die Beurteilung einer Läsion ausreichen kann. Er fand heraus, dass bei symmetrischer Darstellung (Darstellung der rechten und linken Arteria vertebralis und symmetrische Darstellung des Axis und der rechten und linken Massa lateralis des Atlas) in der coronaren Schichtführung, die Ligamenta alaria vorwiegend als „normal“ interpretiert

wurden und bei asymmetrischer Darstellung der Verdacht auf eine Läsion stark gestiegen ist.

Pffirmann (2000) demonstrierte in einer Funktions- MRT- Studie, dass eine Rotationszunahme im kraniocervicalen Übergang auf Grund der Unterschiedlichkeit jedes Individuums nicht zur Diagnose einer Ruptur der Ligamenta alaria verwendet werden kann. So gibt es eine große Variation des Bewegungsausmaßes in der oberen Halswirbelsäule und Unterschiede zwischen maximaler Rechts/- Linksrotation bei asymptomatischen Probanden, auffallend vor allem bei weiblichen Individuen. Er folgert, dass „diese Messungen wahrscheinlich nicht für die Diagnose von Weichteilläsionen am kraniocervicalen Übergang nach Schleudertrauma geeignet sind“.

6.5.3.2 funktionelle computertomographische Untersuchung:

Im Gegensatz dazu basiert die Beurteilung der Ligamenta alaria in einigen funktionellen CT- Studien von Dvorak auf der alleinigen Tatsache, dass bei einer eventuell vorliegenden Bänderruptur die Rotation im atlantoaxialen Gelenk um einige Grad zunimmt, ohne die Bänder an sich beurteilen zu können. Es wurde festgelegt, dass entweder eine Zunahme der Distanz zwischen Dens und Hinterfläche des vorderen Atlasbogen um mehr als 3 mm wahrscheinlich, von mehr als 6 mm als sicher pathologisch zu werten ist und bei einer Zunahme um 12 mm eine Läsion der Ligamenta alaria sicher vorliegt oder eine atlantoaxiale Rotation von mehr als 52° wird als pathologisch betrachtet und spricht hier für eine Läsion der Ligamenta alaria. Basierend auf postmortalen Studien, die ergaben, dass bei Durchtrennung eines Ligamentum alare es zu einer kontralateralen Rotationszunahme kommt (Dvorak 1985; Panjabi 1991).

Willauschus (1995) schreibt, dass „eine funktionelle Computertomographieuntersuchung wie bei Dvorak (1985) einen limitierten diagnostischen Wert hat und mit einer hohen Rate falsch positiver und negativer Ergebnisse behaftet ist. Blutungen und Teil- oder Totalrupturen können auf Grund des schlechten Weichteilkontrastes nicht erkannt werden. Wilmink (2001) kommt ebenfalls zu dem Entschluss, dass „die Hypothese von Beteiligung der Ligamenta alaria bei „whiplash“ assoziierten Erkrankungen auf der Basis von Rotationsstudien in der Computertomographie, unbewiesen ist“.

Auf Grund der Normvarianten, Unterschiedlichkeit jedes Individuums (Beweglichkeit, Verspannungen; vor allem der Muskelstatus verhindert eine Endrotation) und der Meßgenauigkeiten stellt sich die Frage, ob diese These als alleinige Begründung für eine

Instabilität ausreichen kann. Meistens kommt es im Rahmen von Hochgeschwindigkeitstraumen nicht nur zu einer isolierten Verletzung der Ligamenta alaria, sondern auch zu ossären Verletzungen und Weichteiltraumen, die eine instabile Situation im Bereich der oberen Halswirbelsäule schaffen.

6.6 Resultat der Arbeit

Die Ligamenta alaria stellen sich in einer großen Variabilität dar. So konnten unterschiedliche Verlaufsrichtungen beobachtet werden. Hierbei sind vor allem die Verläufe nach dorsal, ventral und auch seitlich zu erwähnen. Des weitern gab es deutliche Unterschiede in der Quantität der Fettanteile zwischen den einzelnen Bandfaszikeln. Anatomische Variationen stellten sich im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis und eines acessorischen kranialen Ligamentum alare dar.

Ein Hinweis auf eine Bandruptur konnte weder in der Magneresonanztomographie noch in der anatomischen Aufbereitung dargestellt werden

Auf Grund von Densrotationen kam es in dieser Studie 6- Mal zu einer asymmetrischen Darstellung der Ligamenta alaria in der magnetresonanztomographischen Untersuchung. In der makroskopischen Präparation hingegen waren keine Asymmetrien nachweisbar.

Die Fettzellen zwischen den einzelnen Bandfaszikeln konnten sehr gut auf Grund der hohen Auflösung im MRT und der anschließenden Histologie nachgewiesen werden.

In dieser Studie wurden vierzehn Tote untersucht, von denen dreizehn eine massive Einwirkung, auf ihre Schädelbasis beziehungsweise obere Halswirbelsäule hatten, wie zum Beispiel eine Densfraktur, Zertrümmerung der Schädelbasis oder auch Schussverletzung in Höhe HWK 1. Die Ligamenta alaria waren durchgehend intakt.

6.7 Konsequenz

Eine Konsequenz einer voreilig gestellten Diagnose im Sinne einer Ruptur beziehungsweise eine Partialruptur des Ligamentum alare, wäre primär eine Versorgung mittels Minerva cast oder halo vest für 4- 6 Wochen. Bei Fortbestehen der Beschwerden, die häufig dann auf Grund der Muskelatrophien persistieren, wäre eine operative Versorgung mittels hinterer Spondylodese der Segmente zwischen Atlas und Axis beziehungsweise zwischen Occiput/

Atlas und Axis oder eine Transpediculäre Verschraubung. Auf Grund der massiven Einschränkung der Lebensqualität sollte hier allerdings zurückhaltend gehandelt werden (Dvorak 1987) und der klinischen Symptomatik Beachtung geschenkt werden.

7 Zusammenfassung

Bei Verkehrsunfällen erleiden ca. 81% der Fälle Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule. Auf Grund der hohen Inzidenz, der langen Ausfallzeiten und hohen Behandlungskosten (10-20 Billionen DM in Europa; 1997), hat dieser Unfallmechanismus eine besondere medizinische und sozioökonomische Bedeutung. In diesem Zusammenhang wird viel über die Vulnerabilität der Ligamenta alaria bei „Schleudertraumata“ diskutiert. Man geht davon aus, dass eine Verletzung der Ligamenta alaria zu einer Instabilität im Bereich der oberen Halswirbelsäule führt. Die Ligamenta alaria erstrecken sich von der lateralen und dorsalen Fläche des Dens axis bis zum medialen Anteil des Condylus occipitalis und limitieren primär die axiale Rotation. Die Häufigkeit von Verletzungen der Ligamenta alaria wird in der Literatur sehr kontrovers diskutiert. Eine direkte Korrelationsstudie zwischen MR- Bildgebung und der pathoanatomischen Situation gibt es bislang nicht.

Aus diesem Grund wurden für diese Arbeit vierzehn Halswirbelsäulen von menschlichen Leichen untersucht, bei denen es im Rahmen eines Unfalles zu einem schweren Schädelhirntrauma mit hieraus entstandenen tödlichen Verletzungen gekommen ist. Ziel der Arbeit war die Darstellung der Ligamenta alaria in der Magnetresonanztomographie und deren direkte Korrelation von Bildführung mit der Pathoanatomie und Histologie. Schwerpunkte wurden auf die Darstellung, anatomische Variationen sowie auf mögliche Verletzungen der Ligamenta alaria gelegt.

Die Präparate wurden durch das Rechtsmedizinische Institut der Ludwig- Maximilian- Universität München zur Verfügung gestellt (Leitung Prof. Dr. Dr. W. Eisenmenger; Prof. Dr. R. Penning). Somit wurden vierzehn Tote untersucht, von denen dreizehn eine massive Einwirkung, auf ihre Schädelbasis beziehungsweise obere Halswirbelsäule hatten, wie zum Beispiel eine Densfraktur, Zertrümmerung der Schädelbasis, Schädel- Hirn- Traumata oder auch Schussverletzung in Höhe HWK 1.

Im Anschluss an die rechtsmedizinische Entnahme wurden die Präparate in der Radiologischen Praxis des Orthozentrums der Orthopädischen Klinik (Prof. Dr. A. Stäbler) einer magnetresonanztomographischen Untersuchung (1,5 Tesla) unterzogen. Ziel war es eventuell vorliegende Verletzungen der Ligamenta alaria nach Schädelhirntraumen

darzustellen. Nach der magnetresonanztomographischen Untersuchung erfolgte die Präparation der Ligamenta alaria in der Anatomischen Anstalt der Ludwig- Maximilian-Universität München (Leitung: Prof. Dr. R. Putz; Prof. Dr. Sokolov). Bei drei ausgewählten Präparaten wurde die Einbettung in Methyl- Metacrylat mit anschließender histologischer Färbung der Schnitte (Frau E. Mayer) vorgenommen. Die Auswertung der Methyl- Metacrylatschnitte erfolgte durch Prof. Dr. S. Milz (Universität Davos).

Im Rahmen dieser Arbeit konnten die Ligamenta alaria in der magnetresonanztomographischen Untersuchung als hypointense Bandstruktur gut vom umgebenden Fettgewebe (hyperintens) abgrenzbar dargestellt werden. Verletzungen, im Sinne von Elongation, Partial- oder Totalruptur konnten nicht beobachtet werden.

Auffallend war primär die unterschiedliche Quantität der Fettzellen zwischen den einzelnen Bandfaszikeln und sekundär die anatomische Vielfalt im Bezug auf ihre Verlaufsrichtungen. So gab es auch Unterschiede der Fettquantität zwischen rechtem und linkem Ligamentum alare desselben Präparates. Diese Beobachtung kann ein Grund für eventuelle Fehlbeurteilungen der Ligamenta alaria im Sinne von Rupturen im MR- Bild sein.

Ebenso wichtig für die Beurteilung ist es, die anatomischen Verläufe zu kennen. Im Rahmen dieser Studie fielen neben horizontalen, caudocranialen und kranio-caudalen Verläufen, auch unterschiedliche Verläufe in der axialen Schichtführung auf. Hier zeigten sich dorsale, ventrale und seitliche Verläufe. Die dorsalen Verläufe waren mit 71% am häufigsten.

Auch die Kenntnis über Normvarianten ist von großer Bedeutung. Als eine Variante konnte eine ligamentäre Verbindung im Sinne eines Ligamentum transversum occipitis beobachtet werden. Eine zusätzliche Bandstruktur, die sich aus dorsalen und kranialen Fasern beider Ligamenta alaria bildet und dorsal über den Dens axis hinweg zieht. Man geht davon aus, dass es die Funktion des Ligamentum transversum unterstützt. Als zweite Normvariante konnte eine zusätzliche Verbindung im Sinne eines akzessorischen Ligamentum beobachtet werden. Diese ligamentäre Struktur reicht von der Densspitze ebenfalls bis zum Condylus occipitalis und verläuft kranial des Hauptbandverlaufes. Die in der Literatur beschriebenen Verläufe zur Massa lateralis konnten in dieser Studie nicht aufgezeigt werden.

Die in der Magnetresonanztomographie dargestellten Befunde konnten nach erfolgter makroskopischer Präparation bestätigt werden. Die in Methyl- Metacrylat eingebetteten und

analog der MR- Bilder gesägten Präparate zeigten unterschiedliche Fettanteile zwischen den einzelnen Bandfaszikeln, analog den MR Bildern. Ein Hinweis auf eine Bandruptur konnte weder in der Magnetresonanztomographie noch in der anatomischen Aufbereitung dargestellt werden.

Auf Grund von Densrotationen kam es in dieser Studie 6- Mal zu einer asymmetrischen Darstellung der Ligamenta alaria in der magnetresonanztomographischen Untersuchung. In der makroskopischen Präparation hingegen waren keine Asymmetrien nachweisbar.

Unter optimalen Untersuchungsbedingungen (keine beeinflussenden Bewegungsartefakte, Durchführen von acht verschiedenen Sequenzen in Höchstauflösung ohne Rücksichtnahme auf die Untersuchungszeit und verbesserte Auflösung durch Untersuchung in einer Spezialschleife für Handgelenke) konnte eine gute Korrelation von MR- Bildern und pathoanatomischen Schnitten erzielt werden.

Eine Konsequenz einer fälschlich gestellten Diagnose im Sinne einer Ruptur beziehungsweise eine Partialruptur des Ligamentum alare wäre primär eine Versorgung mittels Minerva cast oder halo vest für 4- 6 Wochen. Bei Fortbestehen der Beschwerden, die häufig dann auf Grund der Muskelatrophien persistieren, wäre eine operative Versorgung mittels hinterer Spondylodese der Segmente zwischen Atlas und Axis beziehungsweise zwischen Occiput/ Atlas und Axis oder eine transpediculäre Verschraubung. Auf Grund der massiven Einschränkung der Lebensqualität (massive Bewegungseinschränkung, frühzeitiger Rentenantritt, finanzielle Notlagen) muss eine solch invalidisierende Operation bei falscher oder fehlerhafter Indikation wegen fälschlicher Diagnose einer Verletzung eines Ligamentum alare verhindert werden.

8 Literaturverzeichnis:

1. Adams V. I.
Neck injuries: 2. Atlantoaxial dislocation -- a pathologic study of 14 traffic fatalities
J Forensic Sci 1992 37 (2): 565- 73
2. Adams V. I.
Neck injuries: 3. Ligamentous injuries of the Craniocervical articulation without occipito- atlantal or atlanto- axial facet dislocation. A pathologic study of 21 traffic fatalities
J Forensic Sci 1993 38 (5): 1097- 1104
3. Arnold F.
Handbuch der Anatomie des Menschen
Band 1: Freiburg i. Br. 1845 p. 411
4. Benzel E. C.; Hart B. L.; Ball P. A.; Baldwin N. G.; Orrison W. W.; Espinosa M. C.
Magnetic resonance imaging for the evaluation of patients with occult spine injury
J Neurosurg 1996 85: 824-9
5. Bitterling H.; Stäbler A.; Brückmann H.
Stellenwert der MRT in der Diagnostik des Schleudertraumas: Literaturüberblick
6. Bloom A. I.; Neeman Z.; Floman Y.; Gomori J.; Bar- Ziv J.
Occipital condyle fracture and ligament injury: imaging by CT
Pediatr Radiol 1996 26: 786- 790
7. Bloom A. I.; Neeman Z.; Slasky B. S.; Floman Y.; Milgrom M.; Rivkind A.; Bar- Ziv J.
Fracture of the occipital condyles and associated craniocervical ligament injury: Incidence, CT imaging and implications
Clinical Radiology 1997 52: 198- 202

8. Borchgrevenik
MRT and radiography of patients with cervical hyperextension-flexion injuries after car accidents
Radiology 1995
9. Boszczyk A. A.; Boszczyk B. M.; Putz R.; Benjamin M.; Milz S.
Expression of a wide Range of fibrocartilage molecules at the entheses of the alar ligaments- Possible antigenic targets for rheumatoid arthritis
J of Rheumatology 2003 30:7
10. Briem D.; Linhart W.; Dickmann C.; Rueger J. M.
Injuries of the alar ligaments in children and adolescents
Unfallchirurg. Jun 2002; 105(6): 555-9
11. Brown; Schwartz
Preoperative evaluation of cervical radiculopathy and myelopathy by surface-coil MR-imaging
Am J Roentgenol 1988 151: 1205-1212
12. Cave J. E.
On the occipito-atlanto-axial articulation
J Anat 1933/34 68:416
13. Crisco J.J.; Panjabi M. M.; Dvorak J.
A model of the alar ligaments of the upper cervical spine in axial rotation
J Biomech 1991 24(7): 607-14
14. Cooper R. R.; Misol S.
Tendon and ligament insertion
J Bone Joint Surg 1987 53A: 183- 189
15. D'Alton E.
Die Anatomie der Bewegungswerkzeuge
Leipzig 1850 p. 70

16. Daniels D. L.; Williams A. L.; Haughton V. M.
Computed Tomography of the Articulations and Ligaments at the Occipito-Atlantoaxial Region
Radiology March 1983 146: 709-716
17. Davis S.J.; Teresi L. M.; Bradley W. G.; Ziemba M. A.; Bloze A. E.
Cervical spine hyperextension injuries: MR findings
Radiology 1991 180: 245-251
18. Dittrich P.
Über Geburtsverletzungen des Neugeborenen und deren forensische Bedeutung
Vjschr gerichtl Med 3.F. IX 1895: 203- 357
19. Dvorak J.; Hayek J.
Diagnostik der Instabilität der oberen Halswirbelsäule mittels funktioneller Computertomographie
Fortschr. Röntgenstr. 1986 145,5 1986:582- 585
20. Dvorak J.; Panjabi M. M.
CT functional diagnostic of the rotatory instability of upper cervical spine. 1. Experimental study on cadavers
Spine 1987 12: 197-205
21. Dvorak J.; Hayek J.; Zehnder R.
CT- functional diagnostics of the rotatory instability of upper cervical spine Part 2. An Evaluation on Healthy Adults and Patients with Suspected instability
Spine 1987 12 (8):726- 731
22. Dvorak J.; Panjabi M. M.
Funktional Anatomy of the Alar Ligaments
Spine 1987 Mar12(2): 183-9
23. Dvorak J.; Panjabi M. M.; Hayek J.
Diagnostik der Hyper- und Hypomobilität der oberen Halswirbelsäule mittels funktioneller Computertomographie

- Orthopäde 1987 16: 13- 19
- 24.Dvorak J.; Schneider E.; Saldinger P.; Rahn B.
Biomechanics of the cranocervical Region: The alar and transverse ligaments
J of Orthopaedic res 1988 6: 452- 561
- 25.Dvorak J.
Funktionelle Röntgendiagnostik der oberen Halswirbelsäule
Orthopäde 1991 20: 121-126
- 26.Ellis J. H.; Martel W.; Lillie J. H.; Aisen A. M.
Magnetic resonance imaging of the normal craniovertebral junction
Spine February 1991 16: 105-111
- 27.Fick R.
In v. Bardelebens Handbuch der Anatomie des Menschen
Jena 1904 Band 2 p. 106
- 28.Fielding J. W.; von Cochran G. B.; Lawsing J. F.; Hohl M.
Tears of the transverse ligament of the atlas
J Bone Joint Surg 1974 56A: 1683- 1691
- 29.Friedburg H.; Nagelmüller T.
Welchen Beitrag vermögen CT und MRT zur posttraumatischen Beurteilung der Kopf-Hals- Region zu liefern?
Springer, Berlin Heidelberg New York 1997 p. 135- 151
- 30.Grifka J., Hedtmann A.; Pape H.G.; Witte H.; Bär H.F.
Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule
Orthopäde 1998 27: 802-812
- 31.Harris J. H.; Yeakley J. W.
Hyperextension- dislocation of the cervical spine. Ligament injuries demonstrated by Magnetic Resonance Imaging
J Bone Joint Surg Br 1992 74: 567-570

32. Harris M. B.; Duval M. J.; Davis J. A.; Bernini P. M.
Anatomical and roentgenographic features of atlantooccipital instability
J of spinal disorders 1993 6 (1): 5- 10
33. Hartwig E.; Kettler A.; Schultheiss M.; Kinzl L.; Claes L.; Wilke H.- J.
In vitro low- speed side collisions cause injury to the lower cervical spine but do not damage alar ligaments
Eur Spine J 2004 13(7) : 590-597
34. Henke W.
Die Bewegung zwischen Atlas und Epistroheus
Z rat Med. 3. Reihe Band 2 Leipzi und Heidelberg, 1858
35. Imhof H.; Rand Th.; Trattnig S.; Kramer J.
Grundlagen der MR- Technik und MR- Bildinterpretation
Ortopäde 1994 23 : 300- 305
36. Jonsson H.; Bring G.; Rauschnig W.; Sahlstedt B.
Hidden cervical Spine injuries in traffic accident victims with skull fractures
J of Spinal Disorders 1991 4 (3): 251- 263
37. Jonsson H.; Cesarini K.; Sahlstedt B.; Rauschnig W.
Findings and outcome in whiplash- type neck distortion
Spine 1994 19 (24) : 2733- 2743
38. Karray M.; Mnif N.; Mestiri M.; Kooli M.; Ezzaouia K.; Zlitni M.
Concomitant alar and apical ligament avulsion in atlanto- axial rotatory fixation. Case report and review of the literature
Acta Orthop Belg 2004 70 (2): 189- 92
39. Kim H. J.; Jun B. Y.; Kim W. H.; Cho J. K.; Lim M. K.; Suh C. H.
MR imaging of the alar ligament: morphologic changes during axial rotation of the head in asymptomatic young adults
Skeletal Radiol 2002 Nov 31(11): 637-42

40. Krakenes J.; Kaale B. R.; Rorvik J.; Gilhus N. E.
MRI assessment of normal ligamentous structures in the craniovertebral junction
Neuroradiology 2001 Dec 43(12): 1089-97
41. Krakenes J.; Kaale B. R.; Moen G.; Nordli H.; Gilhus N. E.; Rorvik J.
MRI assessment of the alar ligaments in the late stage of whiplash injury - a study of structural abnormalities and observer agreement
Neuroradiology 2002 Oct 44(7): 617-24
42. Kwan O.
MRI assessments of the alar ligaments in the late stage of whiplash injury
Neuroradiology 2003 Mar 45(3): 195-6
43. Langenbeck C. J. M.
Handbuch der Anatomie mit Hinweisung auf die Icones anat., Knochen-, Bänder- und Knorpellehre
Göttingen 1842 p. 355
44. Lanz; Wachsmuth
Praktische Anatomie
Springerverlag 1979: pp330- 354
45. Lauth E. A.
Neues Handbuch der praktischen Anatomie
Stuttgart und Leipzig 1835 Band 1; p. 100
46. Lindner H.
Zur Chronifizierung posttraumatischer Zustände der Halswirbelsäule und der Kopfgelenke
Manuelle Medizin 1986 24: 77- 82
47. Ludwig K. S.
Über das Ligamentum alare dentis epistrophei des Menschen
Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 1952 116: 442-445

- 48.Luschka H.
Die Anatomie des Menschen
Tübingen 1862 Band 1 p. 57
- 49.McKinney M. K.
Behandlung der HWS- Distorsionen bei so genannten “Schleuderverletzungen”
Orthopäde 1994 23: 287- 290
- 50.Muhle C.; Brossmann J.; Biederer J.; Jahnke Th.; Grimm J. Heller M.
Stellenwert bildgebender Verfahren in der Diagnostik der Ligamenta alaria nach Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule
Fortschr Röntgenstr 2002 174: 416-422
- 51.Müller M. et al.
Chirurgie für Studium und Praxis
Medizinische Verlags- und Informationsdienste 2004/05 p.397- 399
- 52.Nidecker A.; Pernus B.; Hayek J.; Ettl T.
Das „Schleudertrauma“ der HWS: Wert moderner bildgebender Verfahren
Schweiz Med Wochenschr 1997 127: 1643- 1651
- 53.Niibayashi H.
Atlantoaxial rotatory dislocation – A case report
Spine 1998 23 (13): 1494- 1496
- 54.Obenauer S.; Herold Th.; Fischer U.; Fadjasch G.; Koebke J.; Grabbe E.; Saternus K.-S.
Evaluation experimentell erzeugter Verletzungen der oberen Halswirbelsäule mit digitaler Röntgentechnik, Computer- und Magnetresonanztomographie
Fortschr Röntgenstr 1999 171: 473- 479
- 55.Panjabi M. M.; Dvorak J.; Crisco J.; Oda T.; Grob D.
Instability in injury of the alar ligament. A biomechanical model
Orthopäde 1991 Apr 20(2) 112-20

56. Panjabi M.; Dvorak J.; Crisco J.; Oda T.; Hilibrand A.; Grob D.
Flexion, extension, and lateral bending of the upper cervical spine in response to alar ligament transactions.
 J Spinal Disord 1991 Jun; 4(2): 157-67
57. Panjabi M. M.; Dvorak J.; Crisco J. J.; Oda T.; Wang P.; Grob D.
Effects of alar ligament transection on upper cervical spine rotation
 J Orthop Res 1991 Jul; 9(4): 584- 593
58. Panjabi M.M.; Oxland T. R.; Parks E.H.
Quantitative anatomy of cervical spine ligaments. Part 1: Upper cervical spine
 J Spinal Disord 1991 Sep; 4(3): 270-276
59. Parrish R.W.; Kingsley D. P. E.; Kendall B. E.; Mosely I. F..
MRI evaluation of whiplash injuries
 Neuroradiology 1991 33(Suppl): 161-163
60. Penning L.
Hypertranslation des Kopfes nach hinten: Teil des Schleuderverletzungsmechanismus der HWS ?
 Orthopäde 1994 23: 268- 274
61. Pfirrmann C. W. A.; Binkert C. A.; Zanetti M.; Boos N.; Hodler J.
Functional MRT of the craniocervical junction. Correlation with alar ligaments and occipito- atlantoaxial joint morphology: a study in 50 asymptomatic subjects
 Schweiz Med Wochenschr 2000 130(18): 645-651
62. Pfirrmann C. W. A.; Binkert C. A.; Zanetti M.; Boos N.; Hodler J.
MR morphology of alar ligaments and occipito- atlantoaxial joints: Study in 50 asymptomatic subjects
 Radiology 2001 218: 133- 137
63. Pribilla O; Zöllner K.
Chirurgische und pathologisch-anatomische Befunde bei Verkehrsunfällen
 Dtsch Z ges gerichtl Med 1963 45: 72-81

- 64.Reiser M.; Rupp N.; Biehl T.; Allgayer B.; Heller H.J.; Lukas P.; Fink U.;
MR in the diagnosis of bone tumors
Europ.J. Radiol. 1985 5: 1-7
- 65.Ronnen H. R.; de Korte P.J.; Brink P. R.; van der Bijl H. J.; Tonino A. J.; Franke C.
Acute whiplash injury: is there a role for MR imaging? - A prospective study of 100 patients.
Radiology 1996 201: 93-96
- 66.Rothhaupt D.; Liebig K.
Diagnostik, Analyse und Bewertung von Funktionsstörungen der obere HWS im Rahmen von Beschleunigungsverletzungen unter Einsatz der Kernspintomographie
Orthopade 1994 20: 112-120
- 67.Roy S.; Hol P. K.; Laerum L. T.; Tillung T.
Pitfalls of magnetic resonance imaging of alar ligament
Neuroradiology 2004 46: 392-398
- 68.Saldinger P.; Dvorak .; Rahn B. A.; Perren S. M.
Histology of the alar and transverse ligaments
Spine 1990 Apr 15(4) 257-61
- 69.Saternus K.-S.
Zur Mechanik des Schleudertraumas der Halswirbelsäule
Z Rechtsmed 1982 88: 1- 11
- 70.Saternus K.-S.; Thrun C.
Zur Traumatologie der Ligamenta alaria
Akt. Traumatol. 17 1987 Georg Thieme Verlag p.214-218
- 71.Saternus K.-S.
Bruchformen des Condylus occipitalis
Z Rechtsmed 1987 99: 95- 108

- 72.Schneider P.
Zerreißung des Bandapparates zwischen Hinterhaupt und Halswirbelsäule
Beitr. gerichtl. Med. 8 1928: 96- 104
- 73.Schröter T.; Paris S.; Arndt H.; Ernst A.; Mutze S
MRT der Ligamenta alaria symptomatischer Patienten nach HWS- Distorsion
Trauma und Berufskrankheit 2002 4 (Suppl 3): p. 224- 229; Springer Verlag 2002
- 74.Schweitzer
Craniovertebral junction: normal anatomy with MR- correlation
Am J Roentgenol 1992 158: 1087-1090
- 75.Sobotta- Atlas
Atlas der deskriptiven Anatomie des Menschen 1. Teil Regionen, Knochen, Bänder, Gelenke und Muskeln
Urban und Schwarzenberg 1948 p.154- 155
- 76.Sömmering S. T.
Lehre von den Knochen und Bändern des menschlichen Körpers
Leipzig 1839 p. 234
- 77.Stofft E.
Der Bandapparat der Halswirbelsäule und seine funktionelle Bedeutung
Zeitschrift für allgemeine und spezielle Medizin 1970 11 (7):133- 137
- 78.Tubbs R. S.; Salter E.G.; Oakes W. J.
The accessory atlantoaxial ligament
Neurosurgery 2004 55 (2): 400- 02; discussion 402- 4
- 79.Uhlenbrock D.
MRT der Wirbelsäule und des Spinalkanals
Thieme Verlag 2001 p. 438- 445
- 80.Vahlensieck; Reiser
MRT des Bewegungsapparats
Thieme Verlag 1997

81. Volle E.; Montaszem A.
fMRT d. Lig alare orior to dorsal C1-C2 fusion operation
Neuroradiology 1996 38: 88-89
82. Volle E.; Kreisler P.; Wolff H.- D.; Hülse M.; Neuhuber W. L.
Funktionelle Darstellung der Ligamenta alaria in der Kernspintomographie
Manuelle Medizin 1996 34: 9-13
83. Volle E.; Montazem A.
Strukturdefekte der Ligamenta alaria in der offenen Funktionskernspintomographie
Manuelle Medizin 1997 35: 188- 193
84. Volle E.
Functional magnetic resonance imaging -video diagnosis of soft-tissue trauma to the craniocervical joints and ligaments
Int. Tinnitus 2000 6(2): 134-9
85. Volle E.; Montazem A.
MRI video diagnosis and surgical therapy of soft tissue trauma to the craniocervical junction
Ear Nose Throat J 2001 80: 41-46
86. Voyvodic F.; Dolinis J.; Moore V. M.; Ryan G. A.; Slavotinek J. P.; Whyte A. M.; Hoile R. D.; Taylor G.W.
MRI of car occupants with whiplash injury
Neuroradiology 1997 39: 35-40
87. Weber M. J.
Grundlinien der Osteologie und Syndesmologie des Menschen
Bonn 1820: p. 141
88. Weitbrecht J.
Syndesmologia
Petropoli 1742: p.89

89. Werne S.

Studies in spontaneous atlas dislocation

Acta orthop.scand. 1957 23 (Suppl): 1- 150

90. Willauschus W. G.; Kladny B.; Beyer W. F.; Glückert K.; Arnold H.; Scheithauer R.

Lesions of the Alar Ligaments: In vivo and in vitro studies with magnetic resonance imaging

Spine 1995 20(23): 2493- 2498

91. Wilmink J. T.; Patijn J.

MR imaging of alar ligament in whiplash- associated disorders: an observer study

Neuroradiology 2001 43: 859- 863

92. Wortzman G.; Dewar F. P.

Rotatory Fixation of the Atlantoaxial joint: Rotational Atlantoaxial subluxation

Radiology 1968 90: 479- 487

9 Danksagung

Für die Überantwortung des interessanten Themas, sowie das stete und fördernde Interesse am Fortgang der Arbeit danke ich sehr herzlich

Herrn Prof. Dr. A. Stäbler.

Für die erwiesene Unterstützung bei der Explantation der Präparate, der Präparation, Erstellung der Kunststoffschnitte und die wertvollen Hinweise, die zum Gelingen der Arbeit beitrugen, bin ich

Herrn Prof. Dr. R. Penning

(Rechtsmedizinisches Institut der Ludwig- Maximilians Universität München)

Herrn Prof. Dr. R. Putz

Herrn Prof. Sokolov

Frau E. Mayer

(Anatomische Anstalt der Ludwig- Maximilians Universität München)

Herrn Prof. Dr. S. Milz

(Anatomisches Institut der Universität Davos)

zu großem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Name: Koch

Vorname: Stephanie, Helena, Rita

Geburtstag: 23. August 1975

Geburtsort: München

Staatsangehörigkeit: deutsch

Konfession. katholisch

Eltern: Rudolf Koch: Diplom Ingenieur
Rita Koch: Kauffrau

Geschwister: Dr. Hannspeter Schubert: Wirtschaftsprüfer

Berufsausbildung: Kinderkrankenschwester (Lachnerklinik, Dritter Orden) Okt`96 – Sept`99 (Examen)
Studium der Humanmedizin (LMU München)

- Ärztliche Vorprüfung Sept` 2002
- Erstes Staatsexamen Sept`2003
- Zweites Staatsexamen Sept`2005
- Drittes Staatsexamen Nov`2006

Assistenzärztin in der Unfallchirurgie am KKH Erding seit Jan`07

Schulbildung: Grundschule in der Feldbergstraße (München) Sept`82 – Okt`85
Grundschule in Icking Okt`85 – Juli`86
Gymnasium in Icking Sept`86 – Juli`89
Gymnasium der Benediktiner Schäftlarn Sept`89 – Mai`96
(Allgemeine Hochschulreife)

Praktisches Jahr: 1. Tertial: Orthopädie im Klinikum Rosenheim/ Dr. F. Hoffmann
2. Tertial: Chirurgie im Klinikum Traunstein/ Prof. Dr. Ketterl,
PD Dr. Schauer
3. Tertial: Innere Medizin in München- Neuperlach/
Prof. Dr. Pallitsch