

**Isolierte laterale Dens axis Asymmetrie im Trauma-CT:
Diagnostische Wertigkeit der ergänzenden MRT zur
Beurteilung ligamentärer Verletzungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Daniel Ginzburg

aus Duisburg

2024

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: PD. Dr. med. Julian A. Luetkens
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Manuel Ritter

Tag der Mündlichen Prüfung: 15.01.2024

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Ulrike Attenberger

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	4
1.	Deutsche Zusammenfassung	5
1.1	Einleitung	5
1.2	Material und Methoden	7
1.3	Ergebnisse	12
1.4	Diskussion	19
1.5	Zusammenfassung	24
1.6	Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung	26
2.	Veröffentlichung	31
	Abstract	32
	Introduction	32
	Materials and Methods	33
	Results	34
	Discussion	35
	References	38
3.	Danksagung	40

Abkürzungsverzeichnis

AADI	Anteriorer atlantodentaler Intervall
ABCDE-Schema	Airway Breathing Circulation Disability Exposure Schema
AIS	Abbreviated Injury Scale
ATLS	Advanced Trauma Life Support
CT	Computertomographie
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
IQA	Interquartilsabstand
ISS	Injury Severity Score
LADI	Lateraler atlantodentaler Intervall
MRT	Magnetresonanztomographie
PACS	Picture Archiving and Communication System

1. Deutsche Zusammenfassung

1.1 Einleitung

Neben dem Gehirn ist die Halswirbelsäule eine der am häufigsten verletzen anatomischen Regionen nach stumpfen Traumata (Ferrando et al. 2000). Bei Verletzungen der Halswirbelsäule liegen am häufigsten Frakturen vor (Young et al. 2015). Ligamentäre oder kombinierte ligamentäre und ossäre Verletzungen sind wesentlich seltener, Myelonläsionen sind mit einer Inzidenz von etwa 0,3 % sehr selten (Plackett et al. 2015). Da Verletzungen dieser Strukturen mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität einhergehen, ist eine zeitnahe Diagnostik und Therapie von essenzieller Bedeutung (Badhiwala et al. 2015). Um dies zu ermöglichen wird seit 1978 ein standardisiertes Verfahren zur Schwerverletztenversorgung eingesetzt – hierbei handelt es sich um das ABCDE-Schema (Airway Breathing Circulation Disability Exposure Schema) gemäß dem Ausbildungskonzept des Advanced Trauma Life Support (ATLS 9th Edition 2013). Nach diesem Schema spielt zunächst die klinische Untersuchung eine zentrale Rolle in der Evaluation möglicher Traumafolgen. Um die Notwendigkeit einer weiterführenden Bildgebung zur Evaluation zervikaler Verletzungen besser beurteilen zu können, sind darüber hinaus mehrere Scores entwickelt worden – die bekanntesten sind hierbei die Canadian C-spine Rule sowie die Nexus Kriterien (Stiell et al. 2003). Sollten in der Untersuchung Hinweise für eine zervikale Verletzung, beispielsweise ein Druckschmerz über den Processi spinosi oder eine eingeschränkte Beweglichkeit der Halswirbelsäule festgestellt werden, besteht gemäß mehreren Leitlinien, exemplarisch der Eastern Association for the Surgery of Trauma Practice Management Guidelines (Como et al. 2009) oder den American College of Radiology Appropriateness Criteria (Beckmann et al. 2019) die Indikation für eine weiterführende zervikale Bildgebung.

Da eine projektionsradiographische Bildgebung mittels Röntgenaufnahmen zur Abklärung der Halswirbelsäule (HWS) lediglich eine geringe Sensitivität aufweist (Holmes et al. 2005) ist die Computertomographie (CT) als Schnittbilddiagnostik primäre Diagnostik der Wahl zur Abklärung zervikaler Traumafolgen (AWMF, S3 Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung Edition 2019). Die CT eignet sich durch ihre schnelle und vergleichsweise unkomplizierte Durchführbarkeit sowie die hohe

Sensitivität für knöcherne Verletzungen sehr gut als primäre Schnittbildgebung (Riascos et al. 2015).

Aufgrund einer lediglich geringen Weichgewebsauflösung ist die Abklärung diskogener sowie ligamentärer Verletzung in der CT jedoch nur sehr eingeschränkt möglich – in dieser Fragestellung ist die Magnetresonanztomographie (MRT) der CT überlegen (Perez-Orribo et al. 2016). Das CT morphologisch messbare anteriore atlantodentale Intervall (AADI) ist, wenn vergrößert, als Zeichen für eine (Sub-)Luxationsstellung im atlantodentalem Gelenk hinweisend für eine ligamentäre Verletzung (Levine et al. 1989) und erfordert hierdurch eine weiterführende MR tomographische Abklärung.

Ein in der CT trotz regelrechtem AADI bei symptomatischen wie auch asymptomatischen Patienten häufig festgestellter Befund ist die laterale Deviation des Dens axis mit einem im Seitenvergleich veränderten lateralen atlantodentalen Intervall (LADI). Dieser Befund stellt eine diagnostische Herausforderung dar, da die diagnostische Relevanz einer lateralen Dens axis Deviation nicht eindeutig zuordenbar ist. Neben einer Verletzung der stabilisierenden atlantodentalen Ligamente wie der Ligamenta alaria oder des Ligamentum transversum atlantis, welche der CT-Bildgebung entgehen können, mit hieraus resultierender Subluxations- oder Luxationsstellung des Dens axis im Atlantodentalgelenk, sind auch anatomische Normvarianten oder vorausgegangene Verletzungen der HWS als Ursache möglich (Roche et al. 2001; Lustrin et al. 2003). Die Kopffrotation, die Kopfneigung oder auch muskuläre Anspannung können ebenfalls Einfluss auf das laterale atlantodentale Intervall haben und dadurch zu einer lateralen Dens axis Deviation auch bei einem Normalkollektiv führen (Eran et al. 2016; Chen et al. 2011; Billmann et al. 2013). Hierdurch ist alleine auf Basis des CT morphologischen Befundes eine Differenzierung zwischen einer pathologischen und einer physiologischen lateralen Dens axis Deviation nur schwer möglich ist.

Die aktuelle Studienlage bezüglich der Notwendigkeit einer weiterführenden Abklärung diskoligamentärer Verletzungen mittels MRT bei fehlendem Verletzungsnachweis in der CT ist heterogen. Hierbei kommt die überwiegende Zahl der Studien zum Ergebnis, dass eine Abklärung primär bei neurologisch symptomatischen Patienten oder bei einer Diskrepanz der klinischen Beschwerden zum CT Befund empfehlenswert ist (Malhotra et

al. 2018; Mohamed et al. 2016; James et al. 2014; Resnick et al. 2014). Entgegengesetzt hierzu beschreiben Kaiser et al. (2012) in ihrer Studie 7 von 114 Patienten (6 %) in denen trotz unauffälliger CT für das weitere therapeutische Vorgehen relevante Befunde lediglich in der MRT, nicht jedoch in der CT der HWS visualisiert werden konnten und verweisen auf die damit einhergehende Relevanz der zervikalen MRT zur weiteren Traumaabklärung. Alle 7 Patienten wiesen neurologische Beschwerden auf, sodass die Notwendigkeit der MRT der HWS nicht im Widerspruch zu den vorausgegangenen Studien steht.

1.1.1 Fragestellung

Das Ziel dieser Arbeit ist es der Frage nachzugehen, ob eine ergänzende MRT-Untersuchung der Halswirbelsäule zur Abklärung einer im CT festgestellten lateralen Dens axis Deviation bei Traumapatienten routinemäßig sinnvoll ist oder ob es sich hierbei um eine vermeidbare Überdiagnostik für den Patienten handelt.

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Patientenauswahl:

Es erfolgte die Analyse aller Patienten, die sich in der interdisziplinären Notaufnahme des Universitätsklinikums Bonn im Zeitraum von 03/2017 – 08/2019 im Rahmen eines stumpfen Traumas vorstellten und mindestens eine CT Bildgebung von Kopf und HWS im Schockraum erhielten. Die Patientenidentifikation sowie die Durchführung der anschließenden Messungen wurde durch den Doktoranden eigenständig durchgeführt. Die statistische Analyse erfolgte ebenfalls durch den Doktoranden und wurde anschließend vom Betreuer gegengeprüft. Die Einschlusskriterien für die Studie wurden wie folgt definiert:

1. Laterale Dens axis Abweichung um > 1 mm in der durchgeführten CT Untersuchung der HWS ohne Nachweis CT morphologisch fassbarer zervikaler Traumafolgen.
2. Im Anschluss im selben Krankenhausaufenthalt durchgeführte MRT Diagnostik der HWS zur Abklärung der in der CT festgestellten lateralen Dens axis Abweichung.

Folgende Ausschlusskriterien wurden definiert:

1. Zentrierter Stand des Dens axis im Atlantodentalgelenk ohne Nachweis einer lateralen Dens axis Deviation.
2. CT-morphologisch bereits festgestellte zervikale Traumafolgen.
3. Vorausgegangene operative Eingriffe an der HWS.
4. Fehlende Durchführung einer zervikalen MRT zur Abklärung der im CT vorbeschriebenen lateralen Dens axis Deviation.

1.2.2 Bildakquisition

1.2.2.1 Computertomographie

Die CT Bildgebung erfolgte im Interdisziplinären Notfallzentrum des Universitätsklinikums Bonn im Schockraum 1 an einem 128 Zeilen CT – Siemens Healthcare, Somatom Definition Edge. Es wurden auf die Schädelbasis angulierte computertomographische Nativaufnahmen des Kopfes sowie ebenfalls native axiale CT-Aufnahmen der Halswirbelsäule angefertigt. Der Pitchfaktor betrug 0,8, die Kollimation 128 x 0,6 mm. Sagittale, koronare und transversale Rekonstruktionen wurden angefertigt.

1.2.2.2 Magnetresonanztomographie

Nativuntersuchungen der Halswirbelsäule zur Abklärung der im CT vorbeschriebenen Dens axis Abweichung wurden an 1,5 oder 3 Tesla Magneten durchgeführt – hierfür wurden in der klinischen Routine am Universitätsklinikum Bonn genutzte Magnetresonanztomographen der Firma Philips – Modelle Intera oder Ingenia verwendet. Folgende Sequenzen wurden standardmäßig im Untersuchungsprotokoll akquiriert: sagittal geführte T1 gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenz, sowie sagittal, koronar und transversal angefertigte T2 gewichtete mDixon Turbo-Spin-Echo-Sequenzen der HWS.

1.2.3 Bildbefundung und Bildanalyse

Die Befundung der Aufnahmen erfolgte an einer radiologischen Befundstation mittels PACS (IMPAX EE, AGFA Healthcare).

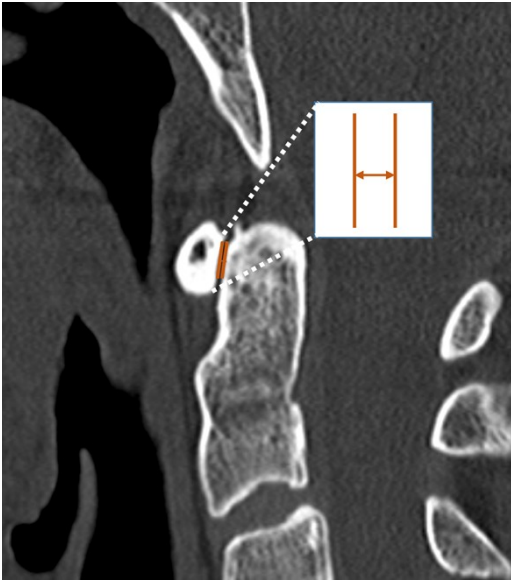
Ergänzend zu der durchgeführten Initialbefundung der CT-/ und MRT-Aufnahmen durch die klinisch tätigen Ärzte der radiologischen Klinik wurde eine voneinander unabhängige Zweitbefundung der Untersuchungen durch zwei erfahrene radiologische Oberärzte mit jeweils 9 und 8 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der muskuloskelettalen Bildgebung durchgeführt. Im Fall einer Befunddiskrepanz erfolgte eine Befundbesprechung sowie anschließende Konsensusfindung beider Oberärzte. Bei Diskrepanz zum Initialbefund wurde die Beurteilung der zwei Oberärzte als Referenz genutzt.

Als Teil der Promotionsarbeit wurden anhand von sagittalen, koronaren und transversalen Rekonstruktionen der HWS-CT folgende Messwerte durch den Doktoranden erhoben:

- AADI (in mm) – Anteriorer atlantodentaler Intervall
- LADI (in mm) – Lateraler atlantodentaler Intervall
- Kopffrotation (in Grad)
- Seitliche Kopfneigung (in Grad)
- Seitlicher Versatz der lateralen Anteile des Halswirbelkörpers HWK 1 zu HWK 2 (in mm)

Die Messung des AADI erfolgte in der sagittalen Rekonstruktion als Abstand zwischen dem vorderen Atlasbogen sowie der angrenzenden artikulierenden Fläche des Dens axis (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Messung des anterioren atlantodentalen Intervalls (AADI) in einer sagittalen CT-Rekonstruktion der Halswirbelsäule (HWS) in der mitsagittalen Schicht [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Supplement Figure E1a]



Die Messungen des LADI sowie des seitlichen Versatzes der lateralen Anteile des Wirbelkörpers HWK 1 zum HWK 2 erfolgten in der koronaren Ebene. Das LADI wurde für jede Seite als absolute Größe in mm bestimmt. Um eine standardisierte Richtung sowie Distanz der Dens axis Deviation zu bestimmen wurde das linke LADI von dem rechten LADI subtrahiert. Dasselbe Vorgehen erfolgte bei der Bestimmung des seitlichen Versatzes der lateralen Anteile des Wirbelkörpers HWK 1 zu HWK 2 (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Messung des lateralen atlantodentalen Intervalls (LADI) sowie des seitlichen Versatzes der lateralen Anteile des Halswirbelkörpers HWK 1 zu HWK 2 in den koronaren CT Rekonstruktionen der Halswirbelsäule (HWS) in der mittkoronaren Schicht [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Supplement Figure E1b]



Die Kopffrotation wurde auf Basis der transversalen Aufnahmen aus dem Winkel der Okzipitalkondylen sowie des Atlas und des Axis zu einer vertikalen Referenzlinie orthogonal zur Tischebene bestimmt.

Die seitliche Kopfneigung wurde auf Basis der koronaren CT Rekonstruktionen gemessen – hierfür bestimmten wir den Winkel der Okzipitalkondylen zu der parallel zum CT Tisch verlaufenden Referenzlinie. Selbiges Vorgehen erfolgte für den Wirbelkörper des HWK 1 und 2.

1.2.4 Statistik

Die statistische Aufbereitung erfolgte mittels Prism (Version 8.4.2, GraphPad). Der Test auf Normalverteilung wurde durch den Shapiro-Wilk Test überprüft. Stetige Variablen wurden mittels Medianen sowie Interquartilsabständen, Spannweiten oder wenn angebracht mittels Mittelwert mit Standardabweichungen quantifiziert. Die Analyse stetiger Variablen wurde abhängig der Variabel mittels Mann-Whitney U Test oder Student t Test durchgeführt. Kategoriale Variablen wurden durch absolute Werte sowie relative Prozentsätze erfasst und anschließend mittels Chi-Quadrat Test verglichen. Die Korrelation wurde mittels Spearman Koeffizient überprüft. Die Interrater-Reliabilität zwischen den als diagnostische Referenz angesehenen Oberärzten wurde mittels

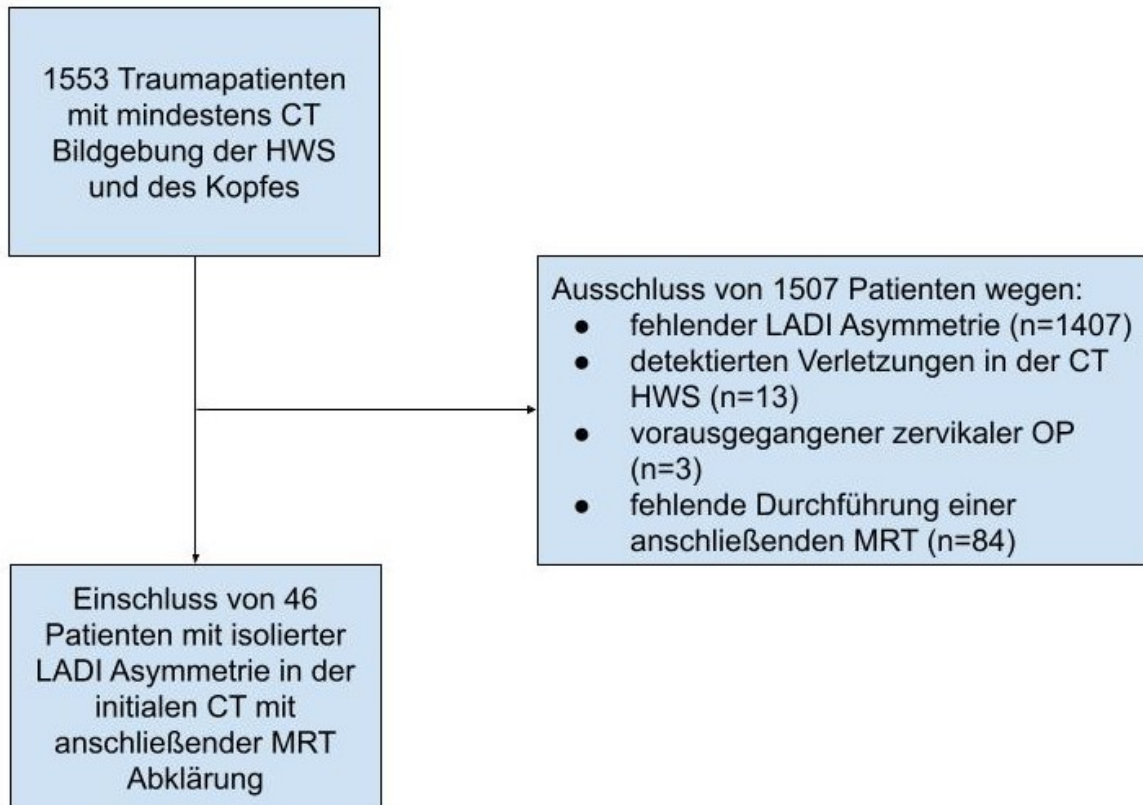
Cohen κ Koeffizient überprüft. P Werte $< 0,05$ wurden als ein statistisch signifikanter Unterschied definiert.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Studienübersicht

Es wurden insgesamt 1553 Patienten in dem Zeitraum vom 03/2017 – 09/2019 durch den Doktoranden betrachtet, welche nach unterschiedlichen Traumata eine CT Bildgebung von mindestens Kopf und HWS erhielten. 1407 Patienten wurden bei fehlender oder lediglich minimaler (< 1 mm) lateraler Dens axis Abweichung aus der Studie ausgeschlossen. Von den verbleibenden 146 Patienten (9 % des initialen Kollektivs) wurden 13 Patienten auf Basis bereits CT morphologisch fassbarer Verletzungen, exemplarisch Frakturen des Dens axis aus der Studie ausgeschlossen. Weitere 3 Patienten wurden in Anbetracht eines vorausgegangenen operativen Eingriffs an der Halswirbelsäule aus der Studie ausgeschlossen. Zuletzt erfüllten weitere 84 Patienten bei fehlender Abklärung der Dens axis Abweichung durch eine MRT der HWS nicht die Einschlusskriterien, sodass diese ebenfalls nicht in die Studie aufgenommen wurden. Insgesamt erfüllten 46 Patienten die Studienkriterien und stellten sich zur Abklärung einer isolierten lateralen Dens axis Deviation zum MRT der HWS vor (siehe Grafik 1).

Grafik 1: Studienübersicht mit Inklusions- sowie Exklusionskriterien. (CT – Computertomographie; HWS – Halswirbelsäule; LADI – Lateraler atlantodentaler Intervall; MRT – Magnetresonanztomographie) [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Figure 1]



1.3.2. Kollektivbeschreibung

Von den 46 Patienten unseres Studienkollektivs handelt es sich um 28 Männer und 18 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 39 Jahren bei einer Standardabweichung von ± 22 Jahren (Männer: 42 ± 23 Jahre, Frauen: 32 ± 23 Jahre). Der Traumamechanismus des Studienkollektivs war heterogen, die Mehrheit der Patienten wurden nach einem Verkehrsunfall eingeliefert (26 Patienten, 57 % des Gesamtkollektivs). Eine detaillierte Betrachtung dieses Subkollektivs zeigte, dass es sich überwiegend um PKW Insassen handelte (13 Patienten, 28 % des Gesamtkollektivs). Die nächstgrößten Kollektive mit 9 Patienten (20 % des Gesamtkollektivs) stellten Treppenstürze sowie Stürze aus großer Höhe (> 2 m) dar, gefolgt von Stürzen in der Ebene mit Kopfanprall (8 Patienten, 17 % des Gesamtkollektivs). Eine Minderheit von 3 Patienten (7 % des Gesamtkollektivs) stellte sich nach einem Reitunfall vor (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Patienteneigenschaften, Traumamechanismus und posttraumatische Diagnosen [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Tabelle 1]

Variabel	Wert
<i>Patienteneigenschaften</i>	
Geschlecht	
Weiblich	18/46 (39 %)
Männlich	28/46 (61 %)
Alter (Jahre) ¹	39 ± 22
Injury Severity Score (ISS) ²	5 (1 – 10)
Abbreviated Injury Scale (AIS) ²	1 (1 – 1)
Zervikale Schmerzen in der Initialuntersuchung	10/46 (22 %)
<i>Traumamechanismus:</i>	
Verkehrsunfall:	26/46 (57 %)
PKW Unfall	13/46 (28 %)
Motorradunfall	3/46 (7 %)
Fahrradunfall	8/46 (17 %)
Fußgängerunfall	2/46 (4 %)
Sturz aus großer Höhe (>2m) /Treppensturz	9/46 (17 %)
Sturz aus dem Stand	8/46 (17 %)
Reitunfall	3/46 (7 %)
<i>Detektierte Verletzungen in der zervikalen MRT</i>	
Keine abgrenzbaren Traumafolgen	40/46 (87 %)
Verletzungen der Ligamenta alaria	2/46 (4 %)
Ligamentäre Zerrungen auf anderen Höhen	1/46 (2 %)
Ossäres Ödem	2/46 (4 %)
Prävertebrales Hämatom	1/46 (2 %)
Signalalterationen der Ligamenta alaria ohne Ruptur	13/46 (28 %)

¹ - Angabe des Wertes als Mittelwert ± Standardabweichung

² - Angabe des Wertes als Median mit Interquartilsabstand

1.3.3 Klinischer Befund

42 Patienten stellten sich bereits mit einer von dem Rettungsdienst angelegten Halskrause in unseren Interdisziplinären Notfallzentrum vor (91 %). Von den 46 Patienten des Studienkollektivs zeigten 10 Patienten (22 %) eine klinische Beschwerdesymptomatik in Form eines zervikalen Druckschmerzes oder eines

zervikalen Spannungsgefühls auf. Bei keinem der Patienten konnte eine zervikale Stufenbildung getastet werden. 36 Patienten wiesen keine zervikalen Beschwerden weder in der initialen orientierenden, noch in der anschließenden detaillierten klinischen Untersuchung auf. Zwei der Patienten mit einer bestehenden zervikalen Beschwerdesymptomatik wiesen Rupturen der Ligamenta alaria auf (jeweils eine vollständige sowie eine partielle Ruptur des rechten Lig. alare), mit hieraus resultierender therapeutischer Konsequenz. Ein symptomatischer Patient wies in der anschließenden MRT der HWS ein prävertebrales Hämatom auf, ein weiterer eine Zerrung der intraspinalen Ligamente auf Höhe von HWK 1/2, jeweils ohne Notwendigkeit der Therapieanpassung. Die verbleibenden 6 symptomatischen Patienten wiesen keine MR-tomographisch fassbaren Traumafolgen der HWS auf, sodass im Rahmen einer klinisch diagnostizierten HWS Distorsion (Québec Task Force Grad 1 und 2) keine Anpassung des therapeutischen Regimes erfolgte.

1.3.4 Computertomographischer Befund und CT basierte Messungen

Die unter 1.2.3 aufgeführten Messungen wurden durchgeführt – hier zeigte sich ein AADI mit einem Median von 1,3 mm und einem Interquartilsabstand (IQA) von 1,0 – 1,5 mm. Absolut betrug der LADI Median rechts 3,7 mm (IQA 2,8 – 5,1 mm), links wurde dieser mit 4,2 mm (IQA 2,7 – 5,8 mm) bestimmt. Die LADI Asymmetrie betrug in 15 Patienten zwischen 1 – 2 mm (33 %), in 18 Patienten wurde diese mit 2 – 3 mm ausgemessen (39 %) und 13 Patienten zeigten eine LADI Asymmetrie von > 3 mm. Es stellte sich eine Dens axis Deviation zugunsten der rechten Seite in 27 von 46 Patienten dar (59 %). Der Median der Kopfrotation betrug 2,3° (IQA 1,4 – 5,1°), ebenfalls minimal häufiger zugunsten der rechten Seite (24 von 46 Patienten, 52 %). Der Median der seitlichen Kopfneigung betrug 1,8° (IQA 0,6 – 3,3°). Der Median des seitlichen Versatzes der lateralen Anteile des Wirbelkörpers HWK 1 zu HWK 2 betrug rechts 2,7 mm (IQA 2,4 – 3,0 mm), links 2,7 mm (IQA 2,4 – 2,9 mm). Gemäß des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman konnte keine Korrelation der LADI-Asymmetrie zu der Kopfrotation (ρ -Koeffizient -0,13; p-Wert 0,38) sowie der seitlichen Kopfneigung (ρ -Koeffizient 0,07; p-Wert 0,66) festgestellt werden.

1.3.5 Magnetresonanztomographische Befunde

Bei 28 der 46 Patienten erfolgte die Untersuchung an einem 1,5 Tesla Magneten (61 %), bei den restlichen 18 Patienten an einem 3 Tesla Magneten (39 %). Der Median zwischen der initialen CT Bildgebung und der anschließenden MRT Untersuchung betrug 1 Tag (IQA 1 – 3,3 Tage).

Von den 46 Patienten in unserer Studienpopulation, welche eine MRT der HWS zur Abklärung einer seitlichen Dens axis Deviation erhielten, wiesen 6 Patienten (13 %) im CT nicht fassbare zervikale Traumafolgen auf. 2 Patienten zeigten Verletzungen der atlantodentalen Ligamente auf Höhe von HWK 1 und 2 (4 %) – hierbei handelte es sich um eine vollständige sowie partielle Ruptur des rechten Ligamentum alare mit einer lateralen Dens axis Deviation von jeweils 5,1 mm und 3,4 mm (siehe Abbildung 3 und 4).

Abbildung 3: (A) Koronare native CT Rekonstruktion eines 57-jährigen männlichen Patienten mit kompletter Ruptur des rechten Ligamentum alare und hieraus resultierender lateraler Dens axis Intervall Asymmetrie (B – D). Koronar (B), transversal (C) und sagittal (D) in den nativen T2 gewichteten mDIXON Turbo-Spin-Echo-Sequenzen lässt sich die Ruptur (mittels Pfeil markiert) visualisieren. Das intakte linke Ligamentum alare ist mit einer weißen Pfeilspitze gekennzeichnet (B und C). In Bild (D) lässt sich die fehlende Abgrenzbarkeit des rechten Ligamentum alare (mit Sternchen markiert) identifizieren. Im Vergleich hierzu sieht man das intakte linke Ligamentum alare (E – mit Pfeilspitze markiert). Die gestrichelten Linien in Bild F visualisieren die sagittale Bildebene. [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Figure 3].

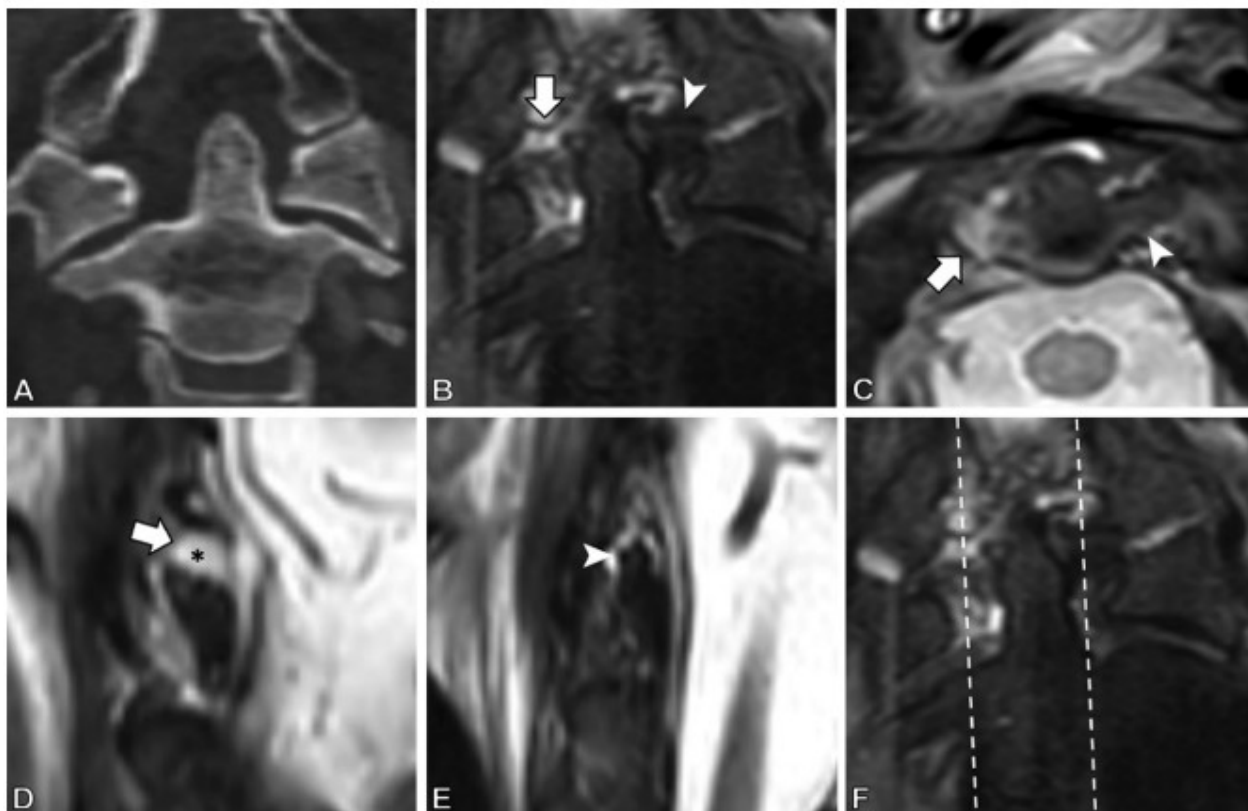
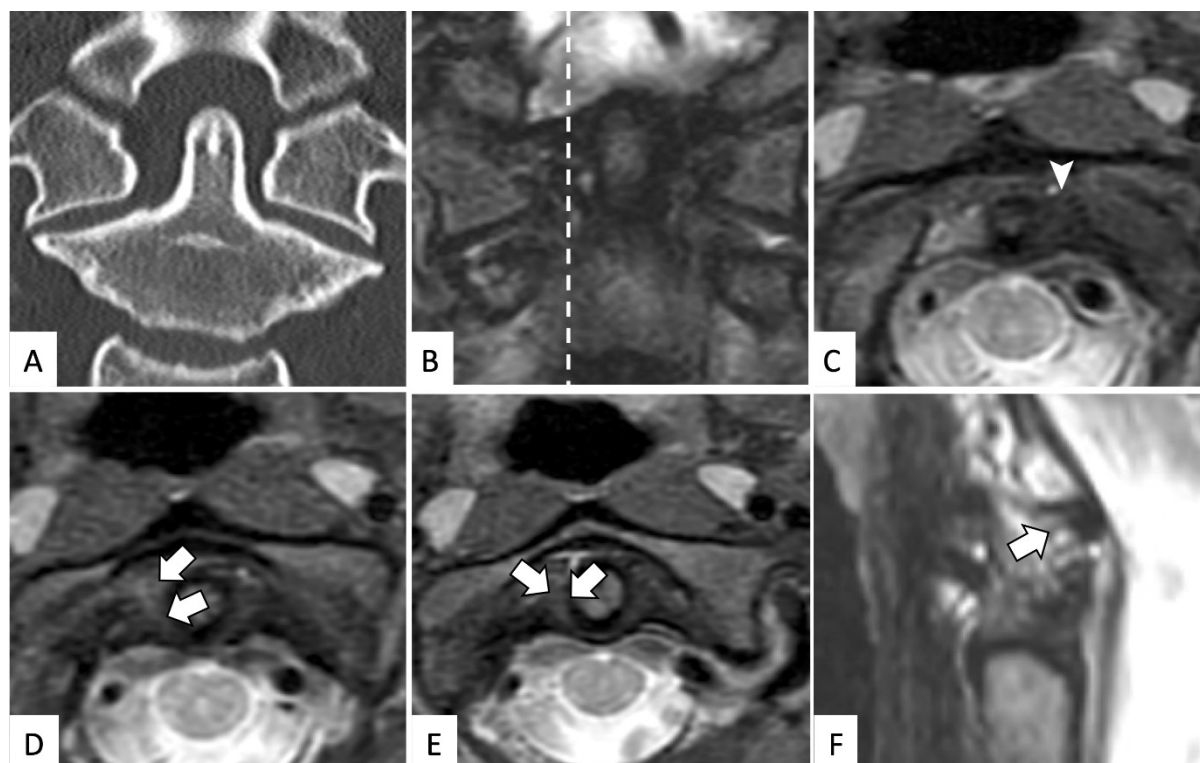


Abbildung 4: (A) Koronare native CT Rekonstruktion eines 19-jährigen männlichen Patienten mit einer Partialruptur des rechten Ligamentum alare und hieraus resultierender lateraler Dens axis Intervall Asymmetrie (B – D). Die Partialruptur kann nicht nur in der koronaren (B) und den transversalen Ebenen (C – E), sondern auch in der sagittalen Ebene (F – mittels Pfeil markiert) in den T2 gewichteten mDIXON Turbo-Spin-Echo-Sequenzen visualisiert werden. Weiße Pfeile in den Abbildungen D – F weisen auf die Partialruptur des rechten Ligamentum alare hin. Die weiße Pfeilspitze (C) visualisiert im Vergleich das intakte linke Ligamentum alare. Die gestrichelte Linie in Bild B demonstriert die sagittale Schichtebene. [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Endler und Ginzburg et al. – Figure 4].



In beiden Fällen kam es auf Basis des MRT Befundes zu einer Anpassung des Behandlungsplans, der Patient mit der vollständigen Ruptur des Ligamentum alare erforderte eine operative Versorgung der Verletzung. Der Patient mit einer Partialruptur des Ligamentum alare wurde konservativ mittels 6-wöchiger Immobilisierung in einer Halskrause versorgt.

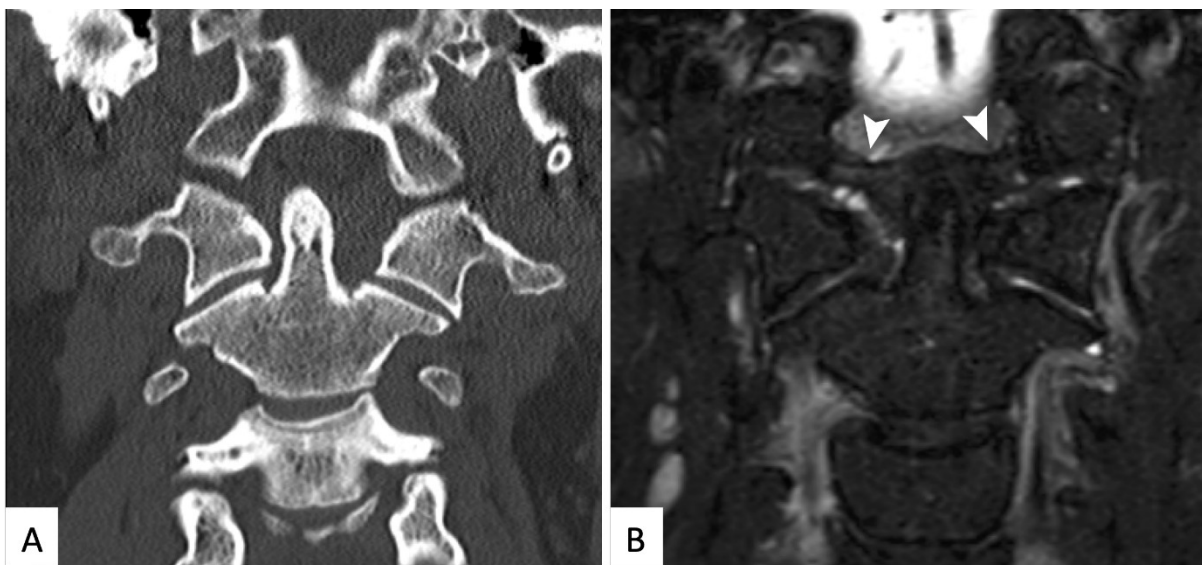
2 der 6 Patienten zeigten jeweils ein geringes Knochenmarksödem im HWK 2, wiesen jedoch keine klinische Beschwerdesymptomatik auf, sodass es nicht zu einer Anpassung des Behandlungsplans kam.

Die letzten 2 der 6 Patienten mit MR-tomographisch detektierten Verletzungen wiesen jeweils ein geringes prävertebrales Hämatom sowie eine Zerrung der intraspinalen Ligamente auf Höhe von HWK 6/HWK 7 auf – auch hier war in beiden Fällen keine Anpassung des therapeutischen Regimes notwendig.

Als Zufallsbefund wurden bei 13 von 46 Patienten (28 %) Signalalterationen der Ligamenta alaria festgestellt (Abbildung 5). 4 dieser Fälle (9 %) wurden nach Kontrolle der durch die als Referenz geltenden Oberärzte in der Initialbefundung fehlerhafterweise als Partialrupturen gedeutet und hierdurch trotz fehlender Beschwerdesymptomatik der Patienten konservativ mittels 6-wöchiger zervikaler Immobilisation versorgt. Die

unabhängige Übereinstimmung beider Oberärzte gemäß dem Cohen κ Koeffizient war mit 0,79 gut (95 % Konfidenzintervall 0,39 – 1,0).

Abbildung 5: (A) Die koronare native CT Rekonstruktion eines 49-jährigen asymptotischen Patienten nach Motorradunfall zeigt eine laterale atlantodentale Asymmetrie zugunsten der rechten Seite. (B) Die native koronare T2 gewichtete mDIXON Turbo-Spin-Echo-Sequenz visualisiert intakte Ligamenta alaria beidseits bei geringen Signalalterationen dieser (mittels Pfeilspitze markiert). [Abbildung übersetzt und modifiziert aus der Originalarbeit von Enderl und Ginzburg et al. – Figure 5].



1.4 Diskussion

Gemäß aktueller Leitlinien erfolgt zur Abklärung eines klinischen Verdachts auf ein zervikales Trauma nach Durchführung einer körperlichen Untersuchung und der Anamneseerhebung standardmäßig die CT-Bildgebung der HWS als primäre Schnittbilddiagnostik der Wahl (AWMF, S3 Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung Edition 2019). Sofern CT morphologisch sich der Ausschluss zervikaler Traumafolgen bestätigt, ist die Entfernung der Halskrause, welche bereits präklinisch routinemäßig zur Stabilisierung der Halswirbelsäule angelegt wird, vorgesehen (Patel et al. 2015; Como et al. 2011). Ein häufiger Befund, welcher sich in der initialen CT Bildgebung darstellt, ist die seitliche Abweichung des Dens axis im Atlantodentalgelenk mit einem hieraus verändertem LADI. Hierbei ist CT morphologisch häufig nicht sicher

zwischen einer zugrundeliegenden Verletzung der angrenzenden ligamentären Strukturen und physiologischen Normvarianten oder auch lagerungsbedingten Asymmetrien zu differenzieren. Nach aktuellem Stand erfolgt aufgrund der höheren Weichgewebsauflösung häufig eine weiterführende MRT zur Abklärung möglicher diskoligamentärer Verletzungen. Die MRT stellt hierbei den Referenzstandard zur Abklärung ligamentärer wie auch diskogener Verletzungen dar, die Notwendigkeit einer ergänzenden MRT Bildgebung nach Durchführung einer zervikalen CT zur Traumaabklärung ist in der Literatur jedoch umstritten. Die überwiegende Anzahl der Autoren (Malhotra et al. 2018; Mohamed et al. 2016; James et al. 2014 und Resnick et al. 2014) sehen keinen oder lediglich einen eingeschränkten Nutzen der MRT, wobei am ehesten Patienten mit persistierenden neurologischen Beschwerden oder einer Diskrepanz der klinischen Beschwerden zu dem CT HWS Befund von dieser Untersuchung profitieren. Einzelne Studien (exemplarisch Kaiser et al. 2012) beschreiben jedoch mehrere Patienten mit therapie relevanten Befunden, welche sich lediglich in der anschließenden MRT Bildgebung demaskierten. Das Ziel unserer Studie war daher zu überprüfen, inwiefern Patienten mit einer isolierten lateralen Dens axis Deviation im CT von einer ergänzenden MRT der HWS profitieren.

Wir definierten wie bereits Billmann et al. (2013) eine seitliche Abweichung des Dens axis im Atlantodentalgelenk von über einem Millimeter als laterale Dens Deviation. In unserem Studienkollektiv traf dies auf 146 von 1553 Patienten (9 %) zu, was gegenüber anderen posttraumatischen Studienkollektiven (exemplarisch Billmann et al. 2013, ca. 29 %) oder auch einem gesunden chinesischen Kollektiv (Chen et al. 2011, ca. 31 %) einer geringeren Inzidenz entsprach.

Mehrere Studien vermuteten eine Korrelation der Kopffrotation (Billmann et al. 2013; Sutherland Jr. et al. 1995) sowie der seitlichen Kopfneigung (Guenkel et al. 2016) zu einer LADI Asymmetrie. In unserem Patientenkollektiv konnten wir hingegen keine Korrelation weder zu der Kopffrotation ($r = -0,13$, P-Wert = 0,38) noch zu der seitlichen Kopfneigung nachweisen ($r = 0,07$, P-Wert = 0,66), sodass wir am ehesten davon ausgehen, dass es sich in der überwiegenden Zahl der Fälle bei einer LADI Asymmetrie um eine Anlagevariante handelt. Alternativ erscheint es möglich, dass durch eine gute achsengerechte Kopfpositionierung unseres Patientenkollektivs in der Gantry mit einer

durchschnittlichen Kopffrotation von $2,3^\circ$ sowie einer seitlichen Kopfneigung vom $1,8^\circ$ keine statistisch relevante Korrelation hergestellt werden konnte.

Von den 46 Patienten, welche unsere Einschlusskriterien der Abklärung einer isolierten, im CT gesicherten lateralen Dens axis Deviation mittels MRT erfüllten, wiesen 6 Patienten (13 %) im CT nicht detektierbare Verletzungen auf. Hierbei zeigten jedoch lediglich 2 von ihnen (4 %) klinisch relevante Verletzungen jeweils im Sinne einer partiellen sowie vollständigen Ruptur des rechten Ligamentum alare auf. Dies hatte eine Anpassung des Behandlungsplans in beiden Fällen zur Folge, in welchen es zu einer verlängerten Immobilisation der HWS über 6 Wochen mittels Halskrause im Fall der Partialruptur und einer operativen Versorgung der HWS im Fall der vollständigen Ruptur kam. Beide Patienten beschrieben direkt nach dem Trauma zervikale Schmerzen ohne fokale neurologische Beschwerden, sodass bereits klinisch nach Durchführung der CT ein begründeter Verdacht für eine ligamentäre Verletzung bestand.

Korrelierend zu der aktuellen Studienlage zeigt sich daher, dass es sich bei der einseitigen Ruptur des Ligamentum alare als isolierte Traumafolge einer lateralen Dens axis Deviation um eine sehr seltene Verletzung handelt (2 von 146 Patienten, 1,4 %). Diese Annahme wird durch eine biomechanische Studie von Bitterling et al. (2007) untermauert, welche keine Hinweise für eine Beteiligung der Ligamenta alaria im Rahmen eines Schleudertraumas liefert. Entgegengesetzt hierzu behaupten Unal et al. (2019) dass es sich bei der unilateralen Verletzung des Ligamentum alare um eine stark unterdiagnostizierte Verletzung handelt und verweisen hierfür auf 6 von 324 retrospektiv ausgewählte Patienten mit zervikalen Trauma – ähnlich wie in unserer Studie einer Inzidenz von etwa 1,8 % entsprechend. Hierbei wurde die Schmerzzunahme bei Kopffrotation als führender klinischer Hinweis neben einer lateralen Dens axis Abweichung beschrieben (Unal et al. 2019).

Trotz einer LADI Asymmetrie von bis zu 7,1 mm konnten bei keinem der anderen 44 der 46 Patienten klinisch relevante Verletzungen, die eine Änderung des Behandlungsplans zur Folge hätten, detektiert werden. 36 der 46 Patienten (78 %) äußerten hierbei initial wie auch zum Zeitpunkt der MRT Untersuchung keine zervikalen Beschwerden.

Bei 13 von 46 Patienten (28 %) wurden als Zufallsbefund im MRT Signalalterationen der Ligamenta alaria ohne Hinweis für eine Ruptur festgestellt, wobei von diesen Patienten lediglich 2 Beschwerden aufwiesen. In 4 Fällen wurden diese Signalalterationen fehlerhafterweise als Partialrupturen gewertet und trotz einer fehlenden Beschwerdesymptomatik in allen 4 Fällen mittels 6-wöchiger zervikaler Immobilisation konservativ versorgt, sodass es hier höchstwahrscheinlich zu einer Überdiagnostik und Übertherapie kam. In Anbetracht der geringen, jedoch vermeidbaren Risiken der zervikalen Immobilisierung wie beispielhaft Druckulcera (Patel et al. 2015) sollten daher die radiologischen Befunde stets in Zusammenhang mit der klinischen Beschwerdesymptomatik gewertet werden, auch mit dem Ziel einer möglichst zeitnahen Mobilisierung der HWS, um eine Chronifizierung von Beschwerden vorzubeugen (Dehner et al. 2009).

Es ist bekannt, dass eine Diskrepanz zwischen klinischen Symptomen und dem radiologischen Befund oft eine therapeutische Herausforderung darstellt, da auch bei Patienten mit einer ausgedehnten klinischen Beschwerdesymptomatik gelegentlich keine Verletzungen bildmorphologisch nachgewiesen werden können (Bitterling et al. 2007; Grifka et al. 1998). Hieraus ergeben sich insbesondere in Fällen, in denen die dem Dens axis angrenzenden Ligamente im MRT Signalalterationen aufweisen, besondere diagnostische Herausforderungen, da diese nicht nur im Fall von Traumata, exemplarisch im Sinne von Partialrupturen oder Bänderzerrungen entstehen können, sondern auch als anatomische Normvariante bei gesunden Patienten beobachtet werden (Vetti et al. 2011; Lummel et al. 2011; Lummel et al. 2012). Da es darüber hinaus mit zunehmenden Alter degenerativ bedingt auch zu anteiligen Verkalkungen der Ligamente kommt, stellt des Weiteren die Differenzierung zwischen Verschleißerscheinungen und anatomischen Normvarianten ebenfalls ein Problem dar (Chen et al. 2015). In Anbetracht davon, dass bildmorphologisch die Unterscheidung zwischen posttraumatischen Signalalterationen der Ligamenta alaria zu anatomischen Varianten nicht sicher möglich ist, wurde von Muhle et al. (2002) vorgeschlagen, Verletzungen der Ligamenta alaria nur im Fall einer sicher visualisierten Durchtrennung oder einer begleitenden Avulsionsfraktur zu beschreiben. Vetti et al. (2011) zweifeln auf Basis der festgestellten ligamentären Signalalterationen ihres Studienkollektivs sogar

die Notwendigkeit einer weiterführenden MRT Abklärung der Ligamenta alaria und des Ligamentum transversum atlantis nach Schleudertrauma mit der Begründung einer fehlenden klinischen Relevanz an.

Auf Basis der vorausgegangenen Studien entschlossen wir uns daher, Patienten mit isolierten Signalalterationen der Ligamenta alaria in der MRT, ohne weitere Traumazeichen wie exemplarisch eines prävertebralen Hämatoms nicht als Verletzungen zu klassifizieren. Hieraus ergibt sich im Vergleich zu vorausgegangenen Studien, exemplarisch von Malhotra et al. (2018) in unserem Kollektiv nur eine geringe Zahl MR-tomographisch detektierter Traumafolgen, da in der Studie von Malhotra et al. Signalalterationen der Ligamenta alaria fälschlicherweise standardmäßig als stabile Verletzungen klassifiziert wurden.

Obwohl es sich bei der MRT um den Goldstandard der Bildgebung zur Visualisierung ligamentärer Verletzungen handelt, ist die Detektion ligamentärer Verletzungen des atlantodentalen Komplexes trotzdem anspruchsvoll und weist in Korrelation mit den intraoperativen Befunden teils eine nur unzureichende inter- und intraobserver Variabilität auf (Dyas et al. 2018). Dyas et al. schlossen hieraus, dass eine standardisierte MR-Befundung zur Verbesserung der Sensitivität und Spezifität notwendig ist. Auch der diagnostische Mehrwert der Untersuchung wird von mehreren Autoren angezweifelt (Patel et al. 2015), da klinisch relevante Verletzungen selten sind, hierfür aber eine hohe Zahl klinisch irrelevanter Befunde akquiriert wird, welche teils, wie auch bei 4 Patienten in unserer Studie, in einer vermeidbaren Übertherapie beispielsweise in Form einer verlängerten zervikalen Immobilisation resultieren.

Folglich kommen mehrere Autoren zum Schluss, dass Patienten nach einem mittels CT HWS abgeklärten zervikalen Trauma ohne abgrenzbare Traumafolgen von einer MRT der HWS lediglich im Fall persistierender neurologischer Beschwerden oder einer Diskrepanz des CT Befundes zur klinischen Beschwerdesymptomatik profitieren (Malhorra et al. 2018; Mohamed et al. 2016; James et al. 2014; Kaiser et al. 2012). Wir kamen in unserer Studie zu einem ähnlichen Ergebnis, dass Patienten lediglich im Fall einer symptomatischen LADI Asymmetrie von einer ergänzende MRT der HWS profitieren könnten. Bei Patienten mit einer fehlenden klinischen

Beschwerdesymptomatik konnten wir keine für den weiteren Behandlungsplan relevanten Verletzungen mittels MRT detektieren, sodass diese Patienten lediglich dem Risiko einer Überdiagnostik sowie Übertherapie ausgesetzt werden.

Als Limitation unserer Studie gilt die vergleichsweise geringe Zahl der eingeschlossenen Patienten – größere prospektive Studien zur Bestätigung unserer Ergebnisse erscheinen sinnvoll. Auch die Zahl der detektierten ligamentären Verletzungen ist in unserer Studie gering, was aber durch die Einschlusskriterien der isolierten lateralen Dens Deviation ohne weitere CT morphologisch detektierte zervikale Traumafolgen begründet ist, da es sich bei der isolierten Ligamentum alare Ruptur ohne begleitende knöcherne, CT morphologisch daher gut visualisierbare, Verletzungen um eine sehr seltene Traumafolge handelt. Insgesamt handelt es sich bei unserem Studienkollektiv um eher leicht verletzte Patienten (AIS 1; ISS 5), wobei 36 von 46 Patienten (78 %) keine zervikalen Beschwerden äußerten. Gemäß aktuell geltender Leitlinien sowie der Nexus Kriterien/ Canadian C-spine Rule war die weiterführende Abklärung der lateralen Dens axis Intervall Asymmetrie bei diesen Patienten auch bei fehlenden Beschwerden durch den Traumamechanismus oder auch andere ablenkende Verletzungen gerechtfertigt. Durch den retrospektiven Charakter unserer Studie konnten leider einzelne Patienten im Rahmen einer fehlenden MRT zur Abklärung der lateralen Dens axis Deviation nicht in die Studie inkludiert werden, um einer Stichprobenverzerrung entgegenzuwirken betrachteten wir daher alle Patienten im Zeitraum von etwa 2,5 Jahren welche nach einer zervikalen CT Bildgebung eine anschließende MRT zur Abklärung einer lateralen Dens axis Deviation erhielten.

1.5 Zusammenfassung

Nach zervikalen Traumata stellt die CT Bildgebung der HWS einen entscheidenden Bestandteil der Primärdiagnostik zur Abklärung möglicher Verletzungsfolgen dar. Trotz einer hohen Sensitivität für knöcherne Verletzungen ist die CT jedoch nur sehr eingeschränkt zur Beurteilung ligamentärer Strukturen geeignet und ist hier der MRT eindeutig unterlegen. Im Rahmen der Traumaabklärung wird in der initialen CT der HWS häufig eine Asymmetrie der lateralen atlantodentalen Intervalle festgestellt. Die Deutung dieses Befundes ist alleine auf Grundlage der CT komplex, da neben Verletzungen der

angrenzenden atlantodentalen Ligamente auch lagerungsbedingte Asymmetrien oder auch Anlagevarianten für eine LADI Asymmetrie verantwortlich sein können. Zur weiterführenden Abklärung erfolgt oftmals eine ergänzende Abklärung der HWS mittels MRT zum Ausschluss diskoligamentärer Verletzungen. In unserer Studie evaluierten wir den Nutzen einer MRT der HWS bei Patienten mit CT morphologisch isolierter LADI Asymmetrie. Hierfür schlossen wir in einem Zeitraum von 2,5 Jahren 46 von initial 1553 Traumapatienten mit einer isolierten LADI Asymmetrie im CT sowie einer anschließenden Abklärung des Befundes mittels MRT in unsere Studie ein. 36 Patienten (78 %) wiesen keine klinischen Beschwerden auf, die restlichen 10 Patienten (22 %) klagten über ein zervikales Spannungsgefühl oder Schmerzen der HWS. 40 Patienten (87 %) wiesen nach Durchführung der MRT keine Traumafolgen der HWS auf. Bei 2 symptomatischen Patienten (4 %) wurde jeweils eine partielle sowie eine vollständige Ruptur des rechten Ligamentum alare festgestellt, welche im Fall der Partialruptur konservativ und im Fall der vollständigen Ruptur operativ versorgt wurde. Bei 4 weiteren Patienten konnten jeweils leichte Verletzungen der HWS (prävertebrales Hämatom, ligamentäre Zerrung, sowie in 2 Fällen ein Knochenödem) ohne weiterführende Relevanz für den Behandlungsplan mittels MRT detektiert werden. Bei 13 Patienten wurden darüber hinaus Signalalterationen der Ligamenta alaria ohne Hinweis für eine Verletzung dieser in der MRT festgestellt. Bei 4 dieser Patienten wurden die Signalalterationen fälschlicherweise als Partialrupturen der Ligamenta alaria gewertet, sodass trotz fehlender klinischer Beschwerdesymptomatik der Patienten eine 6-wöchige Immobilisation der HWS erfolgte. Insgesamt konnten wir mit unserer Studie nachweisen, dass eine Abklärung einer isolierten LADI Asymmetrie in der CT mittels MRT lediglich im Fall klinisch symptomatischer Patienten sinnvoll ist. Bei Patienten mit einer asymptomatischen LADI Asymmetrie nach Trauma ergab die anschließende MRT keinen diagnostischen Mehrwert und trug zudem vereinzelt zu unnötigen Übertherapien bei.

1.6 Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung

Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. S3 - Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung, 2019. Verfügbar auf: 012-019I_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-08-abgelaufne_01.pdf (awmf.org)

Badhiwala JH, Lai CK, Alhazzani W, Farrokhyar F, Nassiri F, Meade M, et al Cervical Spine Clearance in Obtunded Patients After Blunt Traumatic Injury. *Annals of Internal Medicine*. 2015; 162(6):429

Beckmann NM, West OC, Nunez D, Kirsch CFE, Aulino JM, Broder JS, et al. ACR Appropriateness Criteria® Suspected Spine Trauma. *Journal of the American College of Radiology*. 2019; 16(5):S264–285

Billmann F, Bokor-Billmann T, Burnett C, Kiffner E. Occurrence and significance of odontoid lateral mass interspace asymmetry in trauma patients. *World J Surg* 2013; 37(8):1988–1995

Bitterling H, Stäbler A, Brückmann H. Fact or fiction? MRI of alar ligaments and craniocervical junction joints in whiplash syndrome. *Clin Neuroradiol* 2007; 17(4):215–222

Bitterling H, Stäbler A, Brückmann H. Mystery of alar ligament rupture: value of MRI in whiplash injuries--biomechanical, anatomical and clinical studies [in German]. *Rofo* 2007; 179(11):1127–1136

Chen J, Wang W, Han G, Han X, Li X, Zhan Y. MR investigation in evaluation of chronic whiplash alar ligament injury in elderly patients. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2015; 40(1):67–71.

Chen Y, Zhuang Z, Qi W, et al. A three-dimensional study of the atlantodental interval in a normal Chinese population using reformatted computed tomography. *Surg Radiol Anat* 2011; 33(9):801–806

Como JJ, Diaz JJ, Dunham CM, Chiu WC, Duane TM, Capella JM, et al. Practice Management Guidelines for Identification of Cervical Spine Injuries Following Trauma: Update From the Eastern Association for the Surgery of Trauma Practice Management Guidelines Committee. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2009; 67(3):651–659.

Como JJ, Leukhardt WH, Anderson JS, Wilczewski PA, Samia H, Claridge JA. Computed tomography alone may clear the cervical spine in obtunded blunt trauma patients: a prospective evaluation of a revised protocol. *J Trauma*. 2011; 70(2):345-349

Dehner C, Elbel M, Strobel P, et al Grade II whiplash injuries to the neck: what is the benefit for patients treated by different physical therapy modalities? *Patient Saf Surg* 2009; 3(1):2

Dyas AR, Niemeier TE, Mcgwin G, Theiss SM. Ability of magnetic resonance imaging to accurately determine alar ligament integrity in patients with atlanto-occipital injuries. *J Craniovertebr Junction Spine* 2018; 9(4):241–245

Eran A, Yousem DM, Izbudak I. Asymmetry of the Odontoid Lateral Mass Interval in Pediatric Trauma CT: Do We Need to Investigate Further? *AJNR Am J Neuroradiol*. 2016; 37(1):176-179

Ferrando J, Plasència A, Ricart I, Canaleta X, Seguí-Gómez M. Motor-vehicle injury patterns in emergency-department patients in a south-European urban setting. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med*. 2000; 44:445-458

Grifka J, Hedtmann A, Pape HG, Witte H, Tyws J. Diagnostik und Therapie bei Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule. *Dtsch Arztebl* 1998; 95(4): A152–A155

Guenkel S, Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wanner GA, Simmen HP, Werner CML. It is the lateral head tilt, not head rotation, causing an asymmetry of the odontoid-lateral mass interspace. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016; 42(6):749–754

Holmes JF, Akkinepalli R. Computed Tomography Versus Plain Radiography to Screen for Cervical Spine Injury: A Meta-Analysis. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2005; 58(5):902–905

James IA, Moukalled A, Yu E, Tulman DB, Bergese SD, Jones CD, Stawicki SP, Evans DC. A systematic review of the need for MRI for the clearance of cervical spine injury in obtunded blunt trauma patients after normal cervical spine CT. *J Emerg Trauma Shock*. 2014; 7(4):251-255

Kaiser ML, Whealon MD, Barrios C, Kong AP, Lekawa ME, Dolich MO. The current role of magnetic resonance imaging for diagnosing cervical spine injury in blunt trauma patients with negative computed tomography scan. *Am Surg*. 2012; 78(10):1156-1160

Levine AM, Edwards CC. Traumatic lesions of the Occipitoatlantoaxial complex. *Clin Orthop Relat Res* 1989; (239):53–68

Lummel N, Schöpf V, Bitterling H, et al. Effect of magnetic resonance imaging field strength on delineation and signal intensity of alar ligaments in healthy volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 37(17):1062–1067

Lummel N, Zeif C, Kloetzer A, Linn J, Brückmann H, Bitterling H. Variability of morphology and signal intensity of alar ligaments in healthy volunteers using MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011; 32(1):125–130

Lustrin ES, Karakas SP, Ortiz AO, Cinnamon J, Castillo M, Vaheesan K, Brown JH, Diamond AS, Black K, Singh S. Pediatric cervical spine: normal anatomy, variants, and trauma. *Radiographics*. 2003; 23(3):539-560

Malhotra A, Durand D, Wu X, Geng B, Abbed K, Nunez DB, Sanelli P. Utility of MRI for cervical spine clearance in blunt trauma patients after a negative CT. *Eur Radiol*. 2018; 28(7):2823-2829

Mohamed MA, Majeske KD, Sachwani-Daswani G et al. Impact of MRI on changing management of the cervical spine in blunt trauma patients with a 'negative' CT scan. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2016; (1):e000016

Muhle C, Brossmann J, Biederer J, Jahnke T, Grimm J, Heller M. Alar ligaments: radiological aspects in the diagnosis of patients with whiplash injuries [in German]. *Rofo* 2002; 174(4):416–422

Patel MB, Humble SS, Cullinane DC, et al. Cervical spine collar clearance in the obtunded adult blunt trauma patient: a systematic review and practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2015; 78(2):430–441

Perez-Orribo L, Snyder LA, Kalb S, Elhadi AM, Hsu F, Newcomb AG, Malhotra D, Crawford NR, Theodore N. Comparison of CT versus MRI measurements of transverse atlantal ligament integrity in craniovertebral junction injuries. Part 1: A clinical study. *J Neurosurg Spine*. 2016; 24(6):897-902

Plackett TP, Wright F, Baldea AJ, Mosier MJ, Thomas C, Luchette FA, et al. Cervical spine clearance when unable to be cleared clinically: a pooled analysis of combined computed tomography and magnetic resonance imaging. *The American Journal of Surgery*. 2016; 211(1):115–121

Resnick S, Inaba K, Karamanos E et al. Clinical relevance of magnetic resonance imaging in cervical spine clearance: a prospective study. *JAMA Surg*. 2014; 149(9):934-939

Riascos R, Bonfante E, Cotes C, Guirguis M, Hakimelahi R, West C. Imaging of Atlanto-Occipital and Atlantoaxial Traumatic Injuries: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics*. 2015; 35(7):2121-2134

Roche C, Carty H. Spinal trauma in children. *Pediatr Radiol*. 2001; (10):677-700

Stiell IG, Clement CM, McKnight RD, Brison R, Schull MJ, Rowe BH et al. The Canadian C-spine rule versus the NEXUS low-risk criteria in patients with trauma. *N Engl J Med*. 2003; 349(26):2510-2518

Sutherland JP Jr, Yaszemski MJ, White AA 3rd. Radiographic appearance of the odontoid lateral mass interspace in the occipitoatlantoaxial complex. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995; 20(20):2221–2225

The American College of Surgeons. Advanced trauma life support (ATLS®). *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* [Internet]. 2013 (5):1363–6. Verfügbar auf: <http://journals.lww.com/01586154-201305000-00026>

Unal TC, Dolas I, Unal OF. Unilateral alar ligament injury: diagnostic, clinical, and biomechanical features. *World Neurosurg* 2019; 132: e878–e884

Vetti N, Kråkenes J, Ask T, et al. Follow-up MR imaging of the alar and transverse ligaments after whiplash injury: a prospective controlled study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011; 32(10):1836–1841.

Young AJ, Wolfe L, Tinkoff G, Duane TM. Assessing Incidence and Risk Factors of Cervical Spine Injury in Blunt Trauma Patients Using the National Trauma Data Bank. *The American surgeon*. 2015: 879–83.

2. Veröffentlichung

Diagnostic Benefit of MRI for Exclusion of Ligamentous Injury in Patients with Lateral Atlantodental Interval Asymmetry at Initial Trauma CT



Christoph H. Endler, MD* • Daniel Ginzburg, MD* • Alexander Isaak, MD • Anton Faron, MD • Narine Mesrobian, MD • Daniel Kuetting, MD • Claus C. Pieper, MD • Patrick A. Kupczyk, MD • Ulrike I. Attenberger, MD • Julian A. Luetkens, MD

From the Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Bonn, Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn, Germany (C.H.E., D.G., A.I., A.F., N.M., D.K., C.C.P., P.A.K., U.I.A., J.A.L.); and Quantitative Imaging Laboratory Bonn (QILaB), Bonn, Germany (C.H.E., A.I., A.F., N.M., D.K., P.A.K., J.A.L.). Received November 2, 2020; revision requested December 30; revision received March 24, 2021; accepted May 11. Address correspondence to J.A.L. (e-mail: julian.luetkens@ukbonn.de).

* C.H.E. and D.G. contributed equally to this work.

A.F. supported by the BONFOR program (grant 2020-2A-04) of the Medical Faculty of the University of Bonn.

Conflicts of interest are listed at the end of this article.

Radiology 2021; 300:633–640 • <https://doi.org/10.1148/radiol.2021204187> • Content codes:  

Background: Cervical spine CT is regularly performed to exclude cervical spine injury during the initial evaluation of trauma patients. Patients with asymmetry of the lateral atlantodental interval (LADI) often undergo subsequent MRI to rule out ligamentous injuries. The clinical relevance of an asymmetric LADI and the benefit of additional MRI remain unclear.

Purpose: To evaluate the diagnostic benefit of additional MRI in patients with blunt trauma who have asymmetry of the LADI and no other cervical injuries.

Materials and Methods: Patients who underwent cervical spine CT during initial trauma evaluation between March 2017 and August 2019 were retrospectively evaluated. Those who underwent subsequent MRI because of LADI asymmetry of 1 mm or greater with no other signs of cervical injury were identified and reevaluated by two readers blinded to clinical data and initial study reports regarding possible ligamentous injuries.

Results: Among 1553 patients, 146 (9%) had LADI asymmetry of 1 mm or greater. Of these, 46 patients (mean age \pm standard deviation, 39 years \pm 22; 28 men; median LADI asymmetry, 2.4 mm [interquartile range, 1.8–3.1 mm]) underwent supplementary MRI with no other signs of cervical injury at initial CT. Ten of the 46 patients (22%) showed cervical tenderness at clinical examination, and 36 patients (78%) were asymptomatic. In two of the 46 patients (4%), MRI revealed alar ligament injury; both of these patients showed LADI asymmetry greater than 3 mm, along with cervical tenderness at clinical examination, and underwent treatment for ligamentous injury. In 13 of the 46 patients (28%), signal intensity alterations of alar ligaments without signs of rupture were observed. Four of these 13 patients (31%) were subsequently treated for ligamentous injury despite being asymptomatic.

Conclusion: Subsequent MRI following CT of the cervical spine in trauma patients with lateral atlantodental interval asymmetry may have diagnostic benefit only in symptomatic patients. In asymptomatic patients without proven cervical injuries, subsequent MRI showed no diagnostic benefit and may even lead to overtreatment.

©RSNA, 2021

Online supplemental material is available for this article.

Up to 2%–6% of patients show acute cervical spine injuries (CSIs) after blunt trauma (1,2). Most CSIs are reported to be fractures; ligamentous injuries and combined injuries are far less common (2), and spinal cord injuries occur rarely (0.07%–0.26%) (3). However, if such lesions are missed during the initial clinical examination, serious neurologic deficits and cervical spine instability may arise. Previous studies have shown that about half of all CSIs are not suspected at clinical examination. Thus, criteria suggesting CSIs have been established as a decision aid for the use of further radiologic evaluation (eg, the National Emergency X-Radiography Utilization Study Group, or NEXUS, criteria and the Canadian C-Spine Rule) (4). On the basis of those criteria, guidelines such as the American College of Radiology Appropriateness Criteria (5) and the Eastern Association for the Surgery of Trauma Practice

Management Guidelines (6) recommend further radiologic evaluation following adequate cervical trauma. CT has replaced conventional radiography as the modality of choice because of its superiority in the detection of skeletal injuries (7). Hence, CT is frequently used for initial evaluation of trauma patients in the emergency department because it is fast and accurate, has widespread availability, and is cost-effective (8).

The exclusion of ligamentous injury at cervical spine CT (CSCT) may cause diagnostic difficulties. Although an increased anterior atlantodental interval (AADI) is accepted as a sign of underlying pathologic abnormality (9), the clinical relevance of an asymmetric lateral atlantodental interval (LADI) remains unclear. Besides ligamentous injury or atlantoaxial rotational fixation and/or subluxation at the C1/C2 level (10,11), anatomic variations, head

This copy is for personal use only. To order printed copies, contact reprints@rsna.org

Abbreviations

AADI = anterior atlantodental interval, CSCT = cervical spine CT, CSI = cervical spine injury, IQR = interquartile range, LADI = lateral atlantodental interval

Summary

Additional MRI for exclusion of ligamentous injuries in trauma patients with lateral atlantodental interval asymmetry provides diagnostic benefit in symptomatic patients only and may contribute to overtreatment in asymptomatic patients.

Key Results

- In a retrospective study of 1553 trauma patients, 146 (9%) showed lateral atlantodental interval (LADI) asymmetry of 1 mm or greater, with no correlation to head rotation or lateral head tilt.
- Two of 46 patients (4%) with LADI asymmetry and lack of proven cervical injury at CT showed alar ligament injury at MRI and were symptomatic.
- Normal-variant signal intensity alterations of the alar ligaments were misinterpreted as ligamentous injury in asymptomatic patients, resulting in unnecessary treatment.

rotation, and muscle spasm may also affect LADI. Hence, LADI asymmetry may also be observed in healthy individuals as a normal variant (12,13). Trauma patients with LADI asymmetry at radiography or CT are frequently admitted for subsequent MRI to rule out CSI. This leads to a tremendous amount of MRI examinations that occupy MRI resources and may also increase treatment costs. Previous studies have shown ambiguous results concerning the benefit of additional MRI after negative findings at CSCT (14–18).

The purpose of this study was to assess the additional diagnostic value of cervical spine MRI in trauma patients with detected LADI asymmetry as the only abnormality at preceding CSCT.

Materials and Methods

The study was approved by the institutional review board, and the need for written informed consent was waived because of the retrospective study design.

Patient Selection

We evaluated patients who presented to the emergency department of the University Hospital Bonn, Germany, who underwent CSCT after being involved in blunt trauma between March 2017 and August 2019. Inclusion criteria were (a) proof of an LADI asymmetry of 1 mm or more at the preceding CSCT examination without any other radiologic signs of CSI and (b) subsequent MRI due to LADI asymmetry. Exclusion criteria were (a) no LADI asymmetry at CSCT, (b) pathologic findings at CSCT, (c) previous cervical surgery, or (d) no additional MRI performed. Patient characteristics were retrieved by using the institutional clinical information system.

Image Acquisition

All CT scans were obtained in the emergency department of our hospital by using a 128-section CT scanner (Somatom Definition Edge with Sliding Gantry; Siemens Healthcare). Noncontrast CT scans were obtained with a collimation of 128×0.6

mm and a pitch of 0.8. Reformatted images were reconstructed with a section thickness of 1 mm in coronal, transverse, and sagittal planes. X-CARE (Siemens Healthcare) was used as the tube current modulation technique.

Noncontrast MRI examinations were performed with either a 1.5-T or 3.0-T whole-body MRI system (Ingenia; Philips Healthcare). In addition to a sagittal T1-weighted turbo spin-echo sequence, T2-weighted mDIXON turbo spin-echo sequences in coronal, sagittal, and axial planes were performed. Typical imaging parameters are given in Tables E1 and E2 (online).

Image Analysis

CT and MRI scans of included patients were reevaluated by two independent board-certified readers (J.A.L. and P.A.K., with 8 and 9 years of experience, respectively, in CT and MRI trauma imaging) with regard to ligamentous injuries and any other radiologic signs of CSI. In case of discrepancy, a consensus reading was held. The results of the expert reading were considered the reference standard against which the results of the initial report were compared. All measurements were performed by the same radiologist (C.H.E., with 4 years of experience in CT and MRI trauma imaging). All readers were blinded to clinical data and initial study reports but not to the indication for MRI.

Image analysis was performed at a dedicated workstation (IMPAX EE; AGFA Healthcare). For the CT scans, axial, coronal, and sagittal reformations were reconstructed to allow maximal symmetry. AADI, LADI, head rotation, lateral head tilt, and lateral translation of the lateral margins of C1 on C2 were calculated.

For determining the AADI, sagittal reconstructions were used, measuring in midsagittal planes. Each individual left and right LADI and the offset of the lateral margins of C1 on C2 were measured in the coronal plane (see Fig E1 [online] for exemplary measurements).

LADI asymmetry was calculated by subtracting the value of the left interspace from the right interspace. The values were noted in absolute and real numbers to determine the magnitude and directionality of the asymmetry.

The lateral head tilt was measured in coronal CT reconstructions. For C0 lateral tilt, a line between the most caudal points of the occipital condyles was drawn and the angle to a reference line parallel to the CT table calculated. C2 lateral tilt was measured by determining the angle between the horizontal center line of axis vertebrae and the reference line parallel to the CT table. The differences of the respective angles were calculated.

Rotational angles of the occiput and of the atlas and axis vertebrae were measured in axial reconstructions in correlation to a vertical reference line (perpendicular to the CT table), and the differences of angles between C0, C1, and C2 were calculated.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed by one author (J.A.L.) using Prism software (version 8.4.2; GraphPad Software). Normal distribution was checked by using the Shapiro-Wilk test. Continuous variables were summarized with medians and interquartile ranges (IQRs) or ranges or with means \pm standard deviations,

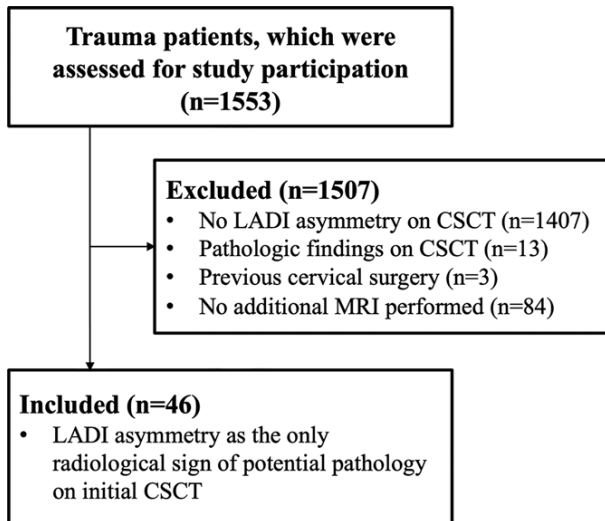


Figure 1: Flowchart shows trauma patients included in study. CSCT = cervical spine CT, LADI = lateral atlantodental interval.

as appropriate. Continuous variables were compared by using the Mann-Whitney *U* test or Student *t* test, as appropriate. Dichotomous variables were summarized with counts and percentages and were compared between respective groups by using the χ^2 test. Correlation was tested with the Spearman correlation coefficient. Interrater agreement of the two musculoskeletal expert readers was determined by using the Cohen κ coefficient. $P < .05$ was considered to represent a statistically significant difference.

Results

Patient Characteristics

A total of 1553 trauma patients underwent CSCT in the emergency department of our hospital between March 2017 and October 2019. Among these, 1407 patients were excluded for lack of LADI asymmetry of 1 mm or greater, leaving 146 of the 1553 patients (9%) in the study sample. Among those 146 patients, 62 (43%) underwent supplementary MRI of the cervical spine to exclude CSI. Among those, another 16 patients had to be excluded because there were pathologic findings on the initial CT scan ($n = 13$) or the patient had previously undergone cervical surgery ($n = 3$). Thus, 46 of the 62 patients (74%) with asymmetry of the LADI as the only radiologic sign of potential pathologic abnormality at CT were included (Fig 1). The median time between CT and MRI was 1 day (IQR, 1–3.3 days). Twenty-eight of the 46 patients (61%) underwent 1.5-T imaging and 18 (39%) underwent 3.0-T imaging ($P = .06$). The mean patient age was 39 years \pm 22 (standard deviation); 28 patients were men (mean age, 42 years \pm 23) and 18 were women (mean age, 32 years \pm 20) ($P = .14$). Forty-two of the 46 patients (91%) presented to the emergency department with a pre-clinically applied hard collar. The primary indication for MRI in these patients was exclusion of ligamentous injuries due to an asymmetry of the LADI at trauma CT. A

Table 1: Patient Characteristics, Mechanism of Injury, and Posttraumatic Diagnoses

Variable	Value
Patient characteristics	
Sex	
Female	18 (39)
Male	28 (61)
Age (y)*	39 \pm 22
Injury severity score [†]	5 (1–10)
Abbreviated injury score [†]	1 (1–1)
Cervical tenderness at initial evaluation	10 (22)
Mechanism of injury	
Road accident	26 (57)
High-speed motor vehicle collision	13 (28)
High-speed motorcycle collision	3 (7)
Bicycle collision	8 (17)
Pedestrian struck	2 (4)
Fall from height >2 m or fall down more than five stairs	9 (20)
Fall from standing with direct trauma to head	8 (17)
Horse riding accident	3 (7)
Posttraumatic diagnoses detected at MRI	
Exclusion of cervical spine injuries	40 (87)
Alar ligament injuries	2 (4)
Ligament injuries at other levels	1 (2)
Bone bruise	2 (4)
Prevertebral hematoma	1 (2)
Signal intensity alterations in alar ligaments without rupture	13 (28)

Note.—Except where indicated, data are numbers of patients ($n = 46$), with percentages in parentheses.

* Data are means \pm standard deviations.

[†] Data are medians, with interquartile range in parentheses.

more detailed overview of the patient characteristics and indications is given in Table 1.

Clinical Examination

Ten of the 46 patients (22%) presented with cervical tenderness on palpation at initial clinical examination (first and/or second survey). Two symptomatic patients had ligamentous injury of the alar ligaments with influence on the treatment regimen. One symptomatic patient had a prevertebral hematoma and another had an interspinous ligament strain; this had no influence on the treatment regimen of either patient. Six symptomatic patients did not show CSI at MRI. Thirty-six of the 46 patients (78%) did not show any clinical symptoms at initial clinical examination.

CT Results

The median AADI was 1.3 mm (IQR, 1.0–1.5 mm). The median right-sided LADI was 3.7 mm (IQR, 2.8–5.1 mm), and the median left-sided LADI was 4.2 mm (IQR, 2.7–5.8 mm). The median LADI asymmetry was 2.4 mm (IQR, 1.8–3.1 mm); asymmetry was right-sided in 27 of the 46 patients (59%) (see Tables 2 and 3 for detailed magnitudes of LADI asymmetry). The median head rotation was 2.3° (IQR, 1.4°–5.1°), mostly with

Table 2: Measurements of Cervical Spine CT in 46 Patients

Variable	Median	IQR	Range
AADI (mm)	1.3	1.0–1.5	0.5–3.2
LADI left (mm)	4.2	2.7–5.8	1.4–9.8
LADI right (mm)	3.7	2.8–5.1	2.1–8.6
LADI asymmetry (mm)	2.4	1.8–3.1	1–7.1
Lateral mass translation C1/C2 left (mm)	2.7	2.4–2.9	1–3.8
Lateral mass translation C1/C2 right (mm)	2.7	2.4–3.0	1.3–3.9
Head rotation (degrees)	2.3	1.4–5.1	0.0–17.1
Lateral tilt (degrees)	1.8	0.6–3.3	0.1–9.5

Note.—AADI = anterior atlantodental interval, IQR = interquartile range, LADI = lateral atlantodental interval.

Table 3: Magnitude with Frequencies of LADI Asymmetry in 46 Patients

LADI Asymmetry	No. of Patients (<i>n</i> = 46)
1–2 mm	15 (33)
>2–3 mm	18 (39)
>3 mm	13 (28)

Note.—Data are numbers of patients, with percentages in parentheses. LADI = lateral atlantodental interval.

rotation toward the right side (24 of 46 patients [52%]). The median lateral tilt was 1.8° (IQR, 0.6°–3.3°). No correlation was observed between LADI asymmetry and head rotation ($r = -0.13$; $P = .38$) or lateral head tilt ($r = 0.07$; $P = .66$) (Fig 2). The lateral margins of C1 on C2 showed a median lateral translation of 2.7 mm (IQR, 2.4–3.0 mm) on the right side and 2.7 mm (IQR, 2.4–2.9 mm) on the left side. No patients showed a loss of C1/C2 facet overlap less than 20% as an indicator of rotatory subluxation.

MRI Results

Six of the 46 patients with LADI asymmetry and lack of cervical injuries at initial CSCT (13%) showed CSI at MRI (Table 1). Ligamentous injuries of the cervical spine at the C1/C2 level were verified in two of the 46 patients (4%); one patient had a complete rupture of the right alar ligament (LADI asymmetry, 5.1 mm; Fig 3), and the other had a partial rupture of the right alar ligament (LADI asymmetry, 3.4 mm; Fig 4). The diagnoses influenced the therapeutic regimen in both patients: surgical fixation of the C1/C2 joint was needed for the first patient, and a 6-week extension of cervical collar treatment was needed for the other patient. Apart from those ligamentous injuries, an interspinous ligament strain at the C6/C7 level ($n = 1$, symptomatic patient), mild bone bruises ($n = 2$, both patients asymptomatic), and a prevertebral hematoma ($n = 1$, symptomatic patient) were diagnosed in the remaining four patients with CSI. These findings did not necessitate any treatment. Signal intensity alterations of the alar ligaments without ruptures or with partial ruptures were observed in 13 of the 46 patients (28%) (Fig 5). In four of the 46 patients (9%),

signal intensity alterations were considered as ligamentous injuries at the initial clinical reading but not at consensus review by the two expert readers. This initial evaluation led to an adjustment of treatment regimen by extending the use of a cervical collar for 6 weeks. These patients were asymptomatic. The κ coefficient of the two expert readers regarding the evaluation of spine MRI before consensus reading was good ($\kappa = 0.79$; 95% CI: 0.39, 1.0).

Discussion

Until now, studies investigating the utility of MRI in the detection of cervical spine injuries after a negative CT scan have shown ambiguous results (14–18). Trauma society guidelines recommend cervical collar removal after a negative CT scan alone, even in adults with obtunded blunt trauma (19). Because lateral atlantodental interval asymmetry in trauma patients can be caused by normal variants, ligamentous injuries, and incorrect positioning, such a finding may lead to diagnostic difficulties at cervical spine CT.

Our study aimed to clarify whether trauma patients with LADI asymmetry and lack of cervical injuries at initial CT benefit from complementary MRI. We found an LADI asymmetry of 1 mm or greater in 146 of 1553 trauma patients (9%), with no correlation to head rotation ($r = -0.13$; $P = .38$) or lateral head tilt ($r = 0.07$; $P = .66$). Six of the 46 patients (13%) with supplementary MRI had CSI; however, only two of these patients (4%) had unilateral alar ligament injuries that resulted in a therapeutic consequence. Both patients were symptomatic, which already clinically suggested a ligamentous injury. No other patients had ligamentous injuries, even if larger LADI asymmetry (up to 7.1 mm) was present. Most patients (36 of 46 [78%]) were asymptomatic at the cervical level. Thirteen of the 46 patients (28%) showed at least one-sided signal intensity alterations of the alar ligaments without ruptures as a normal variant; only two patients were symptomatic. These signal intensity alterations were initially misinterpreted as ligamentous injury in four of the 46 patients (9%), all of them asymptomatic, and led to unnecessary treatment.

Following Billmann et al (13), we used a threshold value of 1.0 mm for LADI asymmetry. The incidence was lower in our posttraumatic study sample (9%) than in a different posttraumatic sample (29%) (13) and a healthy Chinese sample (31%) (20).

Unilateral alar ligament injuries seem to be rare, which aligns with our study findings (two patients [4%]). Although a biomechanical study even argues against an involvement of alar ligaments in whiplash injuries (21), Unal et al (22) suspected these injuries to be more common than diagnosed in a recent small study with only six patients.

Neck pain aggravated with rotation and dens lateralization at CT are the most significant findings for alar ligament injuries during clinical and radiologic examination (22). The discrepancy between clinical symptoms and morphologic diagnosis is a challenge in evaluating trauma patients: Patients

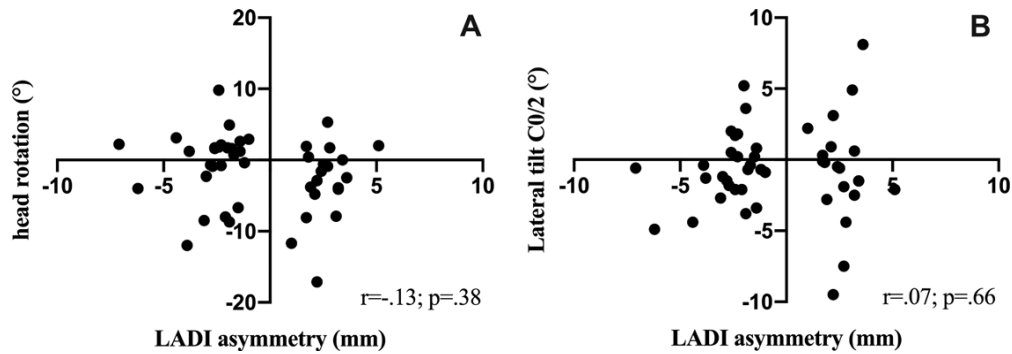


Figure 2: Scatterplots show no correlation between (A) lateral atlantodental interval (LADI) and head rotation and (B) LADI and lateral head tilt. Spearman correlation coefficients are provided.

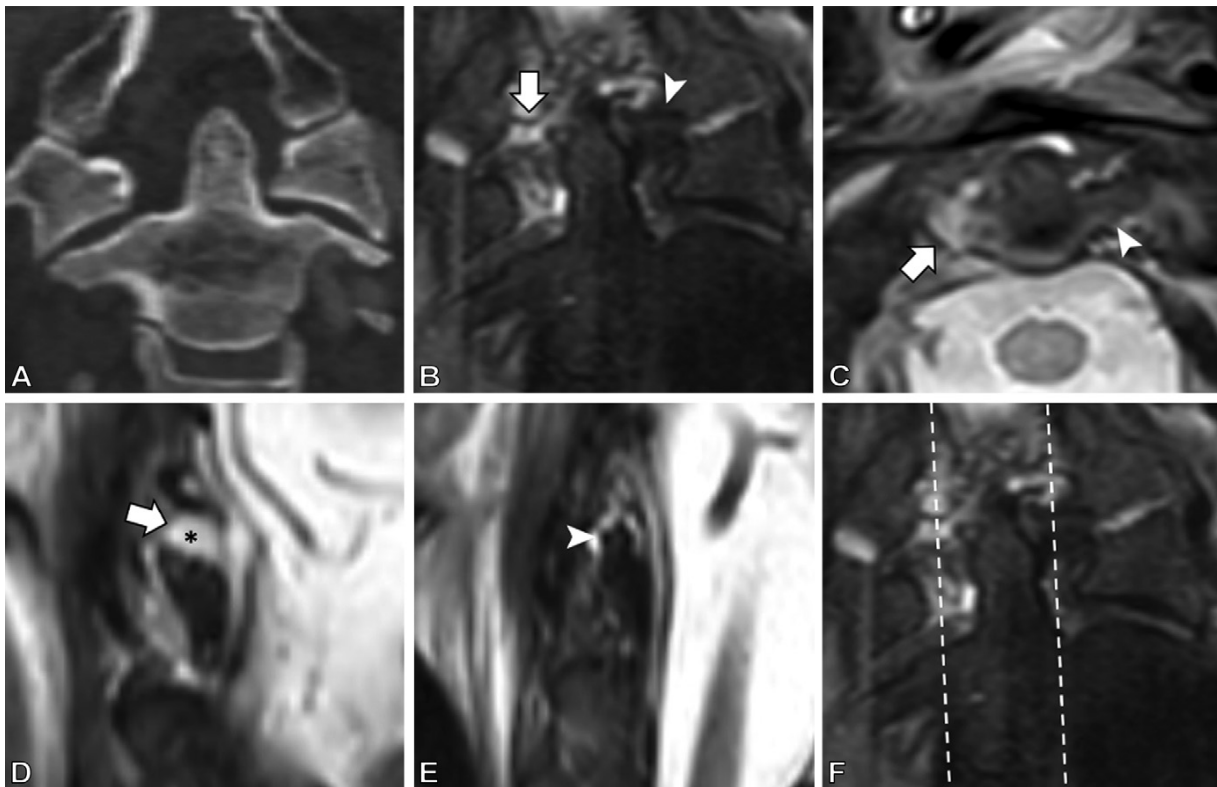


Figure 3: (A) Coronal noncontrast CT reconstruction in a 57-year-old man with complete rupture of the right alar ligament with lateral atlantodental interval asymmetry. (B–D) Coronal (B), transverse (C), and sagittal (D) noncontrast T2-weighted mDIXON turbo spin-echo MRI scans show rupture. Arrow indicates the ruptured right alar ligament; arrowhead in B and C shows the intact left alar ligament. Note the missing right alar ligament on sagittal plane (* in D). (E) Sagittal noncontrast T2-weighted mDIXON turbo spin-echo MRI scan on left side clearly shows the ligament (arrowhead). (F) Same image as in B. Dashed lines show position of the sagittal planes.

with severe clinical symptoms may not show any cervical injuries (23,24). In addition, healthy individuals serving as control participants show signal intensity alterations and anatomic variations of alar ligaments (25–27). Chen et al (28) underlined the difficulty of differentiating between signal intensity changes due to physiologic evolution and chronic physical damage in older patients. Because it is impossible to differentiate between injuries and normal variants, Muhle et al (29) proposed that ligament injuries should be diagnosed only if tears or avulsion fractures are visible. Vetti et al

(25) even concluded that additional posttraumatic cervical MRI should not be recommended because of a lack of clinical consequence. Small amounts of fluid are evident in 8% of the joints of the craniocervical junction and in 56% in the C1/C2 joints; thus, they should not be overinterpreted regarding potential CSI (30). Review of these studies illustrates that even in the acute trauma setting, differentiation between traumatic and nontraumatic ligament signal intensity changes is nearly impossible, especially if secondary signs of injury, such as hemorrhage, are missing. Therefore, we did not interpret sole

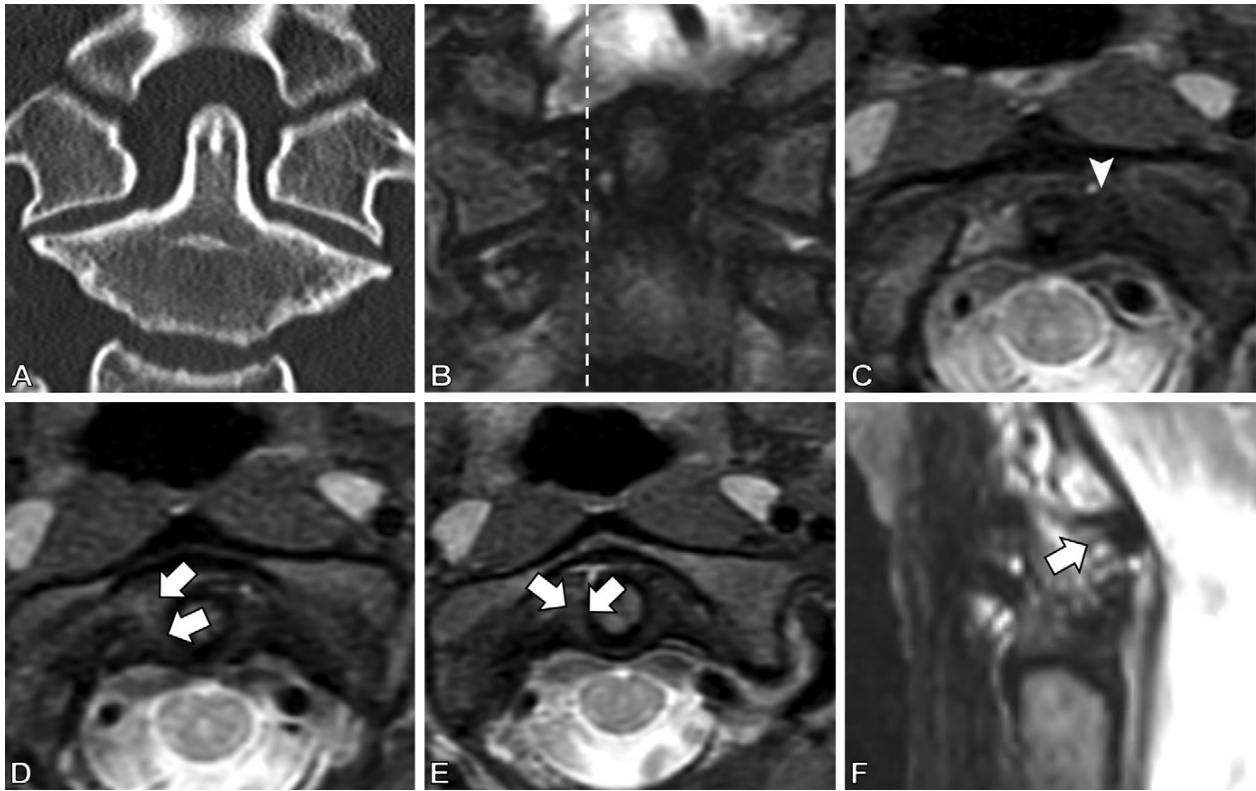


Figure 4: (A) Coronal noncontrast CT reconstruction in a 19-year-old man with partial rupture of the right alar ligament adjacent to the dens axis with lateral atlantodental interval asymmetry. (B–F) The partial alar ligament rupture can not only be seen on coronal (B) and transverse (C–E) noncontrast T2-weighted mDIXON turbo spin-echo MRI scans but also on the sagittal image (also a noncontrast T2-weighted mDIXON turbo spin-echo scan) (F) in the ventral parts of the ligament. Arrows in D–F indicate the partially ruptured ligament; arrowhead in C shows the intact left alar ligament. Dashed line in B shows the position of the sagittal plane.

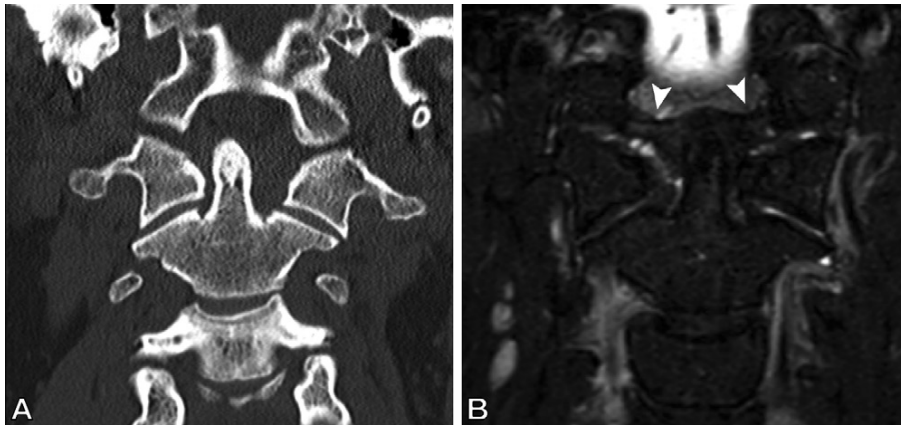


Figure 5: (A) Coronal noncontrast CT reconstruction in an asymptomatic 49-year-old man after motorbike accident shows lateral atlantodental interval asymmetry toward the right side. (B) Noncontrast coronal T2-weighted mDIXON turbo spin-echo MRI scan shows intact alar ligaments (arrowheads) with slight signal intensity alterations.

ligament signal intensity alterations or adjacent asymmetric fluid collections as injuries. In that aspect, our results differ from those of other studies with a higher incidence of detected CSI at MRI. In a recent study, 92.6% of 149 “positive MRI” results were classified as “stable injuries” and consisted mainly of ligament signal intensity changes (14).

Several investigators have postulated that head rotation (13,31) and even lateral head tilt (32) result in LADI

asymmetry. We found no correlation of LADI asymmetry to either of these, supporting the theory that LADI asymmetries are mostly normal variants regardless of head positioning. Nevertheless, the missing correlation between LADI asymmetry and head rotation could also be explained by the low individual head rotation (median rotation, 2.3°) in our study sample, perhaps due to the emphasis on correct head positioning in our institution.

The patient with complete rupture of the right alar ligament underwent surgery because of atlantoaxial instability, whereas the patient with partial rupture of the right alar ligament received conservative treatment with a cervical collar for 6 weeks. Four of 13 (31%) asymptomatic patients with signal intensity alterations of alar ligaments received conservative treatment with a cervical collar for 6 weeks. These treatments followed initial radiologic misinterpretation of the ligament signal intensity alterations as injuries. Because these signal intensity alterations—according

to the above-mentioned studies—should primarily not be interpreted as injuries, overtreatments have probably taken place. The use of cervical collars carries the rare risk of complications, such as pressure ulcers (19). Thus, overtreatment should be avoided. Early mobilization of the cervical spine may even be considered beneficial in stable injuries compared with continued immobilization (33,34).

The reliability and benefits of MRI in excluding alar ligament injuries are disputable. With use of intraoperative correlation, Dyas et al (35) revealed that MRI is imperfect in depicting upper cervical ligament injuries in patients with atlanto-occipital dissociation due to inconsistent and unsatisfactory inter- and intraobserver reliability. They concluded that standardized algorithms are needed for the use of MRI and interpretation of MRI findings. Moreover, additional MRI might increase the number of low-value diagnoses, risks unnecessary treatment plans, puts patients with multiple injuries at risk by necessitating a move to the MRI suite, and, at best, results in the same clinical action of collar removal (19). Some authors conclude that additional MRI after CSCT may have utility only in certain patients with persistent abnormal findings at neurologic examination (14–16,18). Our results also indicate that MRI may be beneficial only in symptomatic patients with LADI asymmetry.

Our study had limitations. Because of the retrospective design, we could not determine why some patients with LADI asymmetry and persisting symptoms were not admitted for subsequent MRI. Most patients in our study sample (36 of 46 [78%]) were asymptomatic at the cervical spine, lowering the probability for CSI. However, by strictly applying the National Emergency X-Radiography Utilization Study Group criteria and/or the Canadian C-Spine Rule, all of these patients required further CSCT, mostly because of intense trauma mechanism or other “distracting injuries” independent of the cervical spine. Moreover, the final number of patients included in our study is low. At the same time, the ratio between “true-positive” and “false-positive” cases is very low. This is most likely related to the particular scenario evaluated; mere ligamentous injuries of the upper cervical joints without concomitant fractures in general are rare. In addition, according to the Injury Severity Score and Abbreviated Injury Scale, our study sample consisted of only a few patients with serious injuries.

In conclusion, our results indicate that additional MRI for exclusion of ligamentous injuries in trauma patients with lateral atlantodental interval asymmetry may be considered reasonable only in symptomatic patients. The additional diagnostic value in clinically asymptomatic patients without proven cervical injuries seems low and may contribute to overtreatment. Larger study samples and prospective study designs are needed to eventually verify our results.

Author contributions: Guarantors of integrity of entire study, C.H.E., D.G., J.A.L.; study concepts/study design or data acquisition or data analysis/interpretation, all authors; manuscript drafting or manuscript revision for important intellectual content, all authors; approval of final version of submitted manuscript, all authors; agrees to ensure any questions related to the work are appropriately resolved, all authors; literature research, C.H.E., D.G., N.M., D.K., U.I.A., J.A.L.; clinical studies, C.H.E., D.G., A.I., N.M., D.K., C.C.P., P.A.K., J.A.L.; experimental studies, A.F., N.M.; statistical analysis, C.H.E., D.G., A.F., N.M., J.A.L.; and manuscript editing, all authors

Disclosures of Conflicts of Interest: C.H.E. disclosed no relevant relationships. D.G. disclosed no relevant relationships. A.I. disclosed no relevant relationships. A.F. disclosed no relevant relationships. N.M. disclosed no relevant relationships. D.K. disclosed no relevant relationships. C.C.P. Activities related to the present article: disclosed no relevant relationships. Activities not related to the present article: is a paid consultant for Guerbet; institution has grants/grants pending from Guerbet; received payment for lectures including service on speakers bureaus from Guerbet, Bayer Vital, and Philips Healthcare. Other relationships: disclosed no relevant relationships. P.A.K. disclosed no relevant relationships. U.I.A. Activities related to the present article: disclosed no relevant relationships. Activities not related to the present article: received payment for lectures including service on speakers bureau from Siemens Healthineers. Other relationships: disclosed no relevant relationships. J.A.L. Activities related to the present article: disclosed no relevant relationships. Activities not related to the present article: received payment for lectures including service on speakers bureau from Philips Healthcare. Other relationships: disclosed no relevant relationships.

References

1. Badhiwala JH, Lai CK, Alhazzani W, et al. Cervical spine clearance in obtunded patients after blunt traumatic injury: a systematic review. *Ann Intern Med* 2015;162(6):429–437.
2. Young AJ, Wolfe L, Tinkoff G, Duane TM. Assessing incidence and risk factors of cervical spine injury in blunt trauma patients using the National Trauma Data Bank. *Am Surg* 2015;81(9):879–883.
3. Plackett TP, Wright F, Baldea AJ, et al. Cervical spine clearance when unable to be cleared clinically: a pooled analysis of combined computed tomography and magnetic resonance imaging. *Am J Surg* 2016;211(1):115–121.
4. Stiell IG, Clement CM, McKnight RD, et al. The Canadian C-spine rule versus the NEXUS low-risk criteria in patients with trauma. *N Engl J Med* 2003;349(26):2510–2518.
5. Expert Panel on Neurological Imaging and Musculoskeletal Imaging; Beckmann NM, West OC, et al. ACR Appropriateness Criteria[®] suspected spine trauma. *J Am Coll Radiol* 2019;16(5S):S264–S285.
6. Como JJ, Diaz JJ, Dunham CM, et al. Practice management guidelines for identification of cervical spine injuries following trauma: update from the eastern association for the surgery of trauma practice management guidelines committee. *J Trauma* 2009;67(3):651–659.
7. ATLS Subcommittee; American College of Surgeons' Committee on Trauma; International ATLS working group. Advanced trauma life support (ATLS[®]): the ninth edition. *J Trauma Acute Care Surg* 2013;74(5):1363–1366.
8. Holmes JF, Akkinepalli R. Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: a meta-analysis. *J Trauma* 2005;58(5):902–905.
9. Levine AM, Edwards CC. Traumatic lesions of the occipitoatlantoaxial complex. *Clin Orthop Relat Res* 1989;(239):53–68.
10. Roche C, Carty H. Spinal trauma in children. *Pediatr Radiol* 2001;31(10):677–700.
11. Lustrin ES, Karakas SP, Ortiz AO, et al. Pediatric cervical spine: normal anatomy, variants, and trauma. *RadioGraphics* 2003;23(3):539–560.
12. Eran A, Yousem DM, Izbudak I. Asymmetry of the odontoid lateral mass interval in pediatric trauma CT: do we need to investigate further? *AJNR Am J Neuroradiol* 2016;37(1):176–179.
13. Billmann F, Bokor-Billmann T, Burnett C, Kiffner E. Occurrence and significance of odontoid lateral mass interspace asymmetry in trauma patients. *World J Surg* 2013;37(8):1988–1995.
14. Malhotra A, Durand D, Wu X, et al. Utility of MRI for cervical spine clearance in blunt trauma patients after a negative CT. *Eur Radiol* 2018;28(7):2823–2829.
15. Mohamed MA, Majeske KD, Sachwani-Daswani G, et al. Impact of MRI on changing management of the cervical spine in blunt trauma patients with a “negative” CT scan. *Trauma Surg Acute Care Open* 2016;1(1):e000016 [Published correction appears in *Trauma Surg Acute Care Open* 2016;1(1):tsaco-2016-000016corr1.].
16. James IA, Moukalled A, Yu E, et al. A systematic review of the need for MRI for the clearance of cervical spine injury in obtunded blunt trauma patients after normal cervical spine CT. *J Emerg Trauma Shock* 2014;7(4):251–255.
17. Resnick S, Inaba K, Karamanos E, et al. Clinical relevance of magnetic resonance imaging in cervical spine clearance: a prospective study. *JAMA Surg* 2014;149(9):934–939.
18. Kaiser ML, Whealon MD, Barrios C, Kong AP, Lekawa ME, Dolich MO. The current role of magnetic resonance imaging for diagnosing cervical spine injury in blunt trauma patients with negative computed tomography scan. *Am Surg* 2012;78(10):1156–1160.

19. Patel MB, Humble SS, Cullinane DC, et al. Cervical spine collar clearance in the obtunded adult blunt trauma patient: a systematic review and practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2015;78(2):430–441.
20. Chen Y, Zhuang Z, Qi W, et al. A three-dimensional study of the atlantodental interval in a normal Chinese population using reformatted computed tomography. *Surg Radiol Anat* 2011;33(9):801–806.
21. Bitterling H, Stäbler A, Brückmann H. Mystery of alar ligament rupture: value of MRI in whiplash injuries—biomechanical, anatomical and clinical studies [in German]. *Rofo* 2007;179(11):1127–1136 [Published correction appears in *Rofo* 2007;179(12):1242.].
22. Unal TC, Dolas I, Unal OF. Unilateral alar ligament injury: diagnostic, clinical, and biomechanical features. *World Neurosurg* 2019;132:e878–e884.
23. Bitterling H, Stäbler A, Brückmann H. Fact or fiction? MRI of alar ligaments and craniocervical junction joints in whiplash syndrome. *Clin Neuroradiol* 2007;17(4):215–222.
24. Grifka J, Hedtmann A, Pape HG, Witte H, Tyws J. Diagnostik und Therapie bei Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule. *Dtsch Arztebl* 1998;95(4):A152–A155.
25. Vetti N, Kräkenes J, Ask T, et al. Follow-up MR imaging of the alar and transverse ligaments after whiplash injury: a prospective controlled study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011;32(10):1836–1841.
26. Lummel N, Zeif C, Kloetzer A, Linn J, Brückmann H, Bitterling H. Variability of morphology and signal intensity of alar ligaments in healthy volunteers using MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011;32(1):125–130.
27. Lummel N, Schöpf V, Bitterling H, et al. Effect of magnetic resonance imaging field strength on delineation and signal intensity of alar ligaments in healthy volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37(17):E1062–E1067.
28. Chen J, Wang W, Han G, Han X, Li X, Zhan Y. MR investigation in evaluation of chronic whiplash alar ligament injury in elderly patients. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2015;40(1):67–71.
29. Muhle C, Brossmann J, Biederer J, Jahnke T, Grimm J, Heller M. Alar ligaments: radiological aspects in the diagnosis of patients with whiplash injuries [in German]. *Rofo* 2002;174(4):416–422.
30. Pfirrmann CWA, Binkert CA, Zanetti M, Boos N, Hodler J. MR morphology of alar ligaments and occipitoatlantoaxial joints: study in 50 asymptomatic subjects. *Radiology* 2001;218(1):133–137.
31. Sutherland JP Jr, Yaszemski MJ, White AA 3rd. Radiographic appearance of the odontoid lateral mass interspace in the occipitoatlantoaxial complex. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995;20(20):2221–2225.
32. Guenkel S, Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wanner GA, Simmen HP, Werner CML. It is the lateral head tilt, not head rotation, causing an asymmetry of the odontoid-lateral mass interspace. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016;42(6):749–754.
33. Dehner C, Hartwig E, Strobel P, et al. Comparison of the relative benefits of 2 versus 10 days of soft collar cervical immobilization after acute whiplash injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87(11):1423–1427.
34. Dehner C, Elbel M, Strobel P, et al. Grade II whiplash injuries to the neck: what is the benefit for patients treated by different physical therapy modalities? *Patient Saf Surg* 2009;3(1):2.
35. Dyas AR, Niemeier TE, Mcgwin G, Theiss SM. Ability of magnetic resonance imaging to accurately determine alar ligament integrity in patients with atlanto-occipital injuries. *J Craniovertebr Junction Spine* 2018;9(4):241–245.

3. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen großen Dank an alle beteiligten Personen aussprechen die mich auf im Rahmen der Erstellung meiner Dissertation unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, allen voran meiner Schwester Lea Ginzburg die mir auch in schwierigen Phasen der Dissertation Rückhalt gab.