

# **Epidemiology and management of atlas fractures**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.  
an der Medizinischen Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von:

Cand. med. Nora Fiedler

geb. am 28.01.1997 in Dresden, Sachsen

angefertigt an:

Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie

Universitätsklinikum Leipzig AöR

Liebigstrasse 20

04103 Leipzig

Betreuer:

PD (Univ. Zürich) Dr. med. Georg Osterhoff

Prof. Dr. med. habil. Christoph-Eckhard Heyde

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrads vom: 18.07.2023

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	2
Einführung .....	3
1. Bedeutung der Halswirbelsäulenverletzungen.....	3
2. Der 1. Halswirbel (Atlas) .....	3
2.1 Anatomischer Aufbau .....	3
2.2 Frakturen des Atlas.....	5
2.2.1 Häufigkeit und Ursache.....	5
2.2.2 Frakturtypen und Klassifikationen.....	5
2.2.2.1 Jefferson-Fraktur.....	6
2.2.3 Patientenpopulation .....	7
2.2.4 Symptome .....	7
2.2.5 Diagnostik .....	8
2.2.6 Therapie.....	8
3. Zielsetzung der Arbeit.....	11
Publikation .....	12
4. Zusammenfassung der Arbeit .....	20
5. Abbildungsverzeichnis.....	23
6. Literaturverzeichnis .....	24
7. Anlagen .....	27
7.1 Spezifizierung des eigenen wissenschaftlichen Beitrags .....	27
7.2 Selbständigkeitserklärung .....	28
7.3 Curriculum vitae.....	29
7.4 Danksagung.....	31

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
a.p.	anterior-posterior
bzw.	beziehungsweise
CT	Computertomographie
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
Lig.	Ligamentum
lat.	lateralis
med.	medialis
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
o.g.	oben genannt
Proc.	Processus
s.	siehe
z.B.	zum Beispiel

# Einführung

## 1. Bedeutung der Halswirbelsäulenverletzungen

Die Halswirbelsäule (HWS) bezeichnet die Gesamtheit der 7 Halswirbelkörper zwischen Kopf und Brustwirbelsäule. Sie ist als Zervikallordose gekrümmt und stellt den beweglichsten Wirbelsäulenabschnitt dar. Dies wird vor allem durch das Zusammenspiel von erstem und zweitem Halswirbelkörper, mit einer abweichenden anatomischen Bauform, ermöglicht. Die HWS gewährleistet so bei geringerer Gewichtsbelastung einen größeren Bewegungsumfang, während die unteren Abschnitte der Wirbelsäule weniger eine dynamische, dafür aber eine umfassende statische Aufgabe übernehmen.

Verletzungen der Wirbelsäule beeinflussen maßgeblich ihre Funktion. Obwohl bei nur 3-6% aller Skelettverletzungen die Wirbelsäule direkt betroffen ist [1], sind rund 25% aller Wirbelsäulenverletzungen auf Verletzungen an der Halswirbelsäule zurückzuführen [2].

Es gibt hierbei zahlreiche Veränderungen an der Halswirbelsäule, die angeboren oder erworben sein können und oftmals mit einem Funktions- und Stabilitätsverlust einhergehen. Neben altersbedingten Abnutzungserscheinungen und degenerativen Veränderungen, kann ein Funktionsverlust auch die Folge eines Traumas an der Halswirbelsäule sein.

Vor allem ältere Patienten sind gefährdet - bei dieser Patientengruppe ist in rund zwei Drittel aller Verletzungen die obere Halswirbelsäule betroffen. Dagegen macht bei jüngeren Patienten die Verletzung der oberen Halswirbelsäule lediglich ein Drittel der Fälle aus [3].

Die frakturbedingte Instabilität kann mit einer hohen Komplikationsrate, neurologischer Symptomatik und gesteigerter Mortalität einhergehen [4, 5]. Um dies zu vermeiden, gibt es konservative und operative Therapiekonzepte, die auf eine rasche Wiederherstellung von Funktion und Stabilitätsverhältnissen abzielen.

## 2. Der 1. Halswirbel (Atlas)

Der erste Halswirbel, auch Atlas, ist der schädelnächste Teil der Wirbelsäule und trägt die Last des Kopfes. In den folgenden Kapiteln wird der erste Halswirbel umfassend beschrieben. Es werden anatomischen Besonderheiten verdeutlicht, die klassischen Verletzungsmuster vorgestellt und das klinische Management von Verletzungen des ersten Halswirbelkörpers erläutert.

### 2.1 Anatomischer Aufbau

Der ringförmige Atlas (C1) setzt sich aus dem vorderen und hinteren Wirbelbogen (Arcus anterior et posterior) zusammen, welche gemeinsam die zwei seitlichen Wirbelmassen (Massae laterales) verbinden (s. Abb. 1). Die konkaven Gelenkflächen der seitlichen Massive ermöglichen die Verbindung zu den okzipitalen Schädelkondylen und bilden dabei das obere Kopfgelenk (Atlanto-Okzipital-Gelenk). Dieses ermöglicht als Ellipsoidgelenk sowohl das Vor- und Rückwärtsneigen als auch eine Seitwärtsneigung des Kopfes.

Die unteren Kopfgelenke, auch Atlanto-axial-Gelenke (s. Abb. 2), entstehen durch das Zusammenspiel des ersten und zweiten Halswirbelkörpers. Durch das embryologische Fehlen eines massiven zentralen Wirbelkörpers artikuliert der Atlas über seine Zahngrube (Fovea dentis) mit dem Zahn (Dens axis) des zweiten Halswirbelkörpers (Axis). Es bildet sich die Articulatio atlantoaxialis mediana. Dieses Zapfengelenk ermöglicht zusammen mit dem Lig. transversum atlantis Rotationsbewegungen und sichert die Stabilität bei rückwärts gerichteten Bewegungen.

Die Articulatio atlantoaxialis lateralis bildet sich durch die Verbindung der oberen und unteren Gelenkflächen an den Fortsätzen des Atlas und Axis. Die Kopfgelenke ermöglichen so die Bewegungsfreiheit in allen drei Raumebenen. Durch eine gemeinsame Gelenkkapsel und weitere Bandstrukturen wird die gesamte Stabilität des kraniovertebralen Übergangs gesichert.

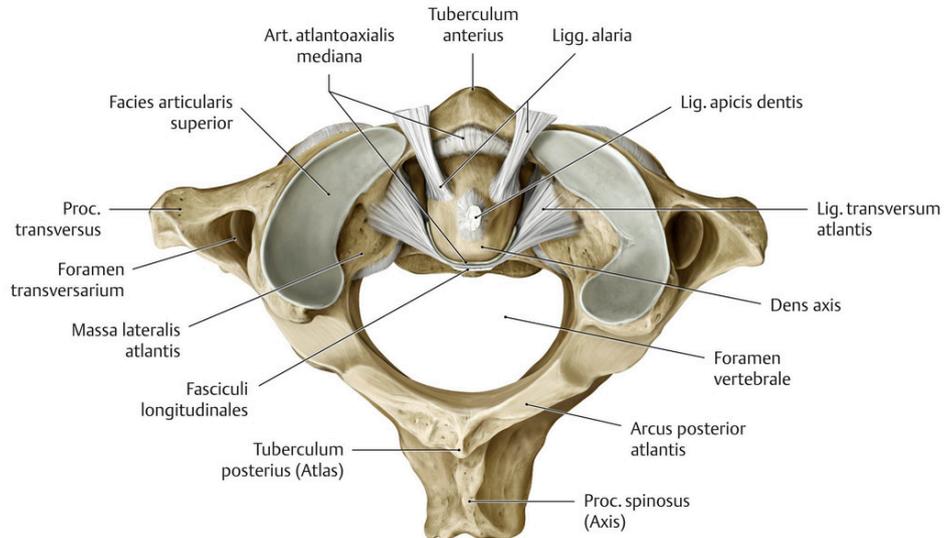


Abbildung 1: Anatomischer Aufbau des Atlas, aus [6].

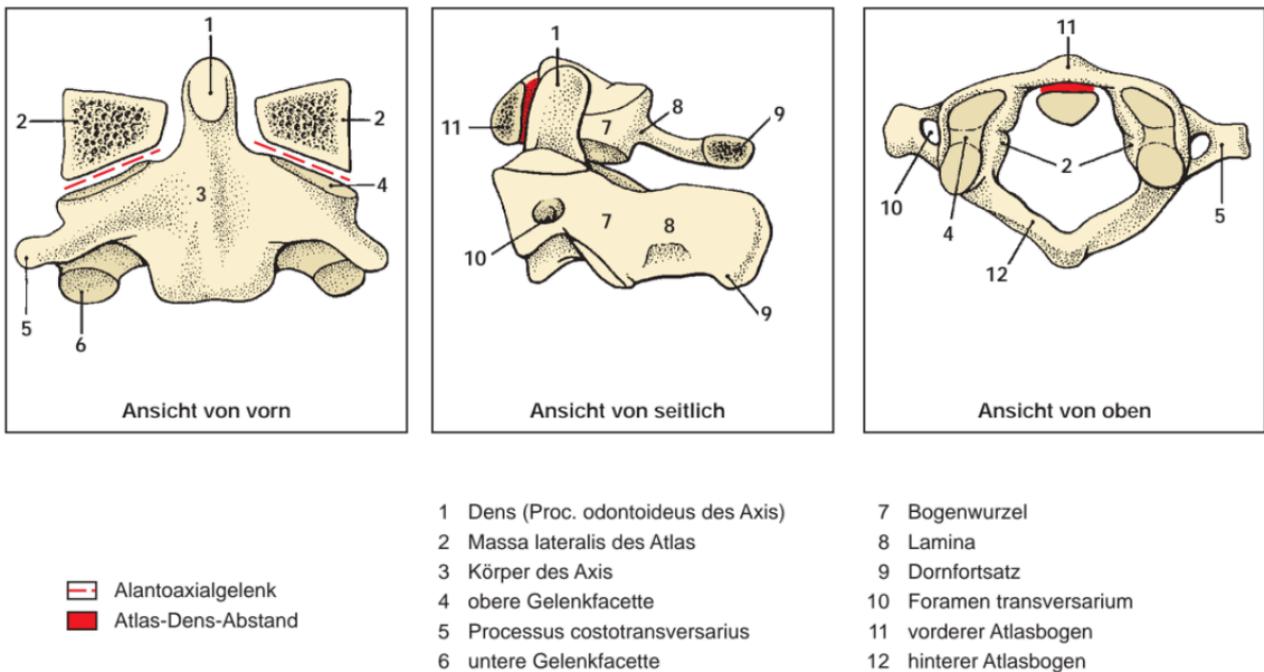


Abbildung 2: Topografische Anatomie von Atlas und Axis, aus [1].

## 2.2 Frakturen des Atlas

### 2.2.1 Häufigkeit und Ursache

Atlasfrakturen machen zwar nur 1-3% aller Wirbelsäulenverletzungen, jedoch rund 2-13 % der akuten Verletzungen der Halswirbelsäule aus [2, 7]. Bezugnehmend auf die obere Halswirbelsäule sind sogar bis zu 25% aller kraniozervikalen Verletzungen auf Atlasfrakturen zurückzuführen [2].

Frakturen an C1 können durch direkte oder indirekte Krafteinwirkungen entstehen. Unter direkten Kräften versteht man z.B. Schläge gegen den Hals, wohingegen indirekten Kräfte eher bei Beschleunigungs- oder Abknickmechanismen wirken [8].

Ein weiterer Frakturmechanismus ist die axiale oder vertikale Krafteinwirkung, welche Hauptursache der Jefferson-Fraktur ist. Hierbei kommt es z.B. beim Kopfsprung in flache Gewässer zu einer Stauchung der oberen Halswirbelsäule. Die axial wirkenden Kräfte werden über die Hinterhauptkondylen des Schädels auf das obere Kopfgelenk weitergeleitet. Durch das Fehlen des zentralen Wirbelmassivs wird die einwirkende Energie nach lateral umgeleitet, wodurch es zum Auseinanderweichen der Atlasbögen kommt. Als Folge dieses Auseinanderweichens rupturiert häufig auch das Lig. transversum atlantis [9, 10]. Die sich daraus ergebende Instabilität der atlanto-axialen Gelenke mit möglicher Einengung des Wirbelkanals kann zu neurologischen Symptomen führen.

Ein Großteil aller Atlasfrakturen ist typischerweise mit Begleitverletzungen an der oberen Halswirbelsäule vergesellschaftet. Es sind in 40 bis 44% vorrangig Frakturen des Axis, welche zusammen mit Atlasfrakturen auftreten [2, 11].

### 2.2.2 Frakturtypen und Klassifikationen

Für Frakturen des ersten Wirbelkörpers gibt es keine einheitliche Klassifikation. Es treten verschiedenste Frakturmuster auf.

Das 1920 von Sir G. Jefferson in „Jefferson G Fractures of the atlas vertebra: report of four cases and a review of those previously recorded“ [12] vorgestellte Klassifizierungssystem stellt die Jefferson-Fraktur als vierteilige Fraktur mit beidseitigem Bruch des vorderen und hinteren Bogens vor. Es wurden jedoch auch drei- und zweiteilige Frakturen beschrieben.

Auf Grundlage der Arbeit Jeffersons entwickelten Landells und Van Peteghem ein weiteres Klassifizierungssystem [13]. Darin frakturiert bei Typ 1 nur der vordere oder der hintere Bogen (Jefferson-Typ 1 und 2). Als Typ 2 werden alle Frakturen bezeichnet, bei denen sowohl der vordere als auch der hintere Bogen betroffen ist (Jefferson-Typ 3). Typ 3 ist durch eine Fraktur der lateralen Massen mit oder ohne Bogenbruch (Jefferson-Typ 4) gekennzeichnet.

Die wohl gängigste Klassifikation ist die Unterteilung der Atlasfraktur nach Gehweiler [14], die 5 Subtypen unterscheidet (s. Abb. 3). Der Typ 1 ist definiert als eine Fraktur des vorderen Bogens, Typ 2 beschreibt eine Fraktur des hinteren Bogens und Typ 3 bezeichnet die kombinierte Fraktur der Atlasbögen. Weiterhin wird ein Typ 4 (Fraktur der Massae laterales) und ein Typ 5 (Fraktur des Proc. transversus) beschrieben.

Es bleibt anzumerken, dass kein Klassifikationssystem alle Frakturmuster der klinischen Situation darzustellen vermag [7].

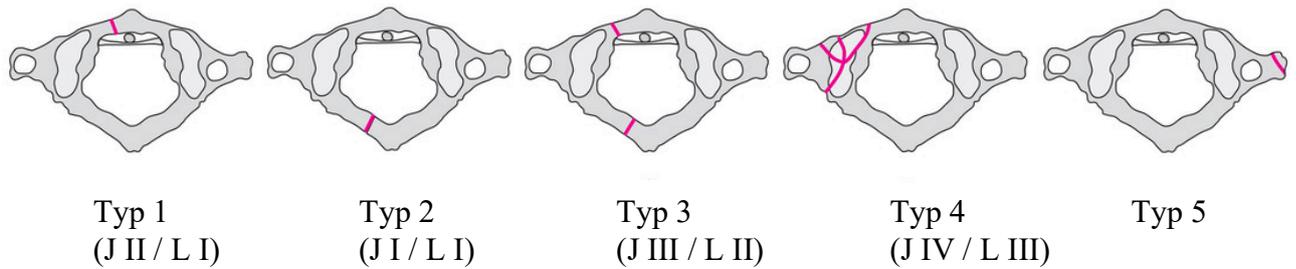


Abbildung 3: Gehweiler Klassifikation der Atlasfraktur [14], in Anlehnung an Steinrich/Babst [15]. Typ 1: Fraktur des vorderen Atlasbogens (Jefferson II, Landells I). Typ 2: Fraktur des hinteren Atlasbogens (Jefferson I, Landells I). Typ 3: kombinierte Fraktur des vorderen und hinteren Atlasbogens (Jefferson III, Landells II). Typ 4: Fraktur der Massa lateralis (Jefferson IV, Landells III). Typ 5: Isolierte Fraktur des Processus transversus. J Jefferson, L Landells.

### 2.2.2.1 Jefferson-Fraktur

Die klassische Jefferson-Fraktur ist für etwa 3 bis 13% der Frakturen an der Halswirbelsäule verantwortlich [16]. Heute versteht man unter der Jefferson-Fraktur den kombinierten Bruchtyp vom Gehweiler-Typ-3, wobei die Beteiligung des Lig. transversum atlantis maßgeblich die Stabilität der Verletzung beeinflusst. Der Typ 3a (nach Gehweiler) bezeichnet hierbei ein intaktes Lig. transversum atlantis und somit eine stabile Verletzung, während Typ 3b als instabil anzusehen ist [17]. Zur Differenzierung der Läsionen des Lig. transversum atlantis kann noch eine Subklassifikation nach Dickman herangezogen werden (s. Abb. 4). Eine isolierte intraligamentäre Ruptur wird durch den Typ 1 beschrieben, während der Typ 2 den knöchernen Bandausriss definiert [18]. Eine Einschätzung des Querbandes ist besonders für die Therapieentscheidung und die damit einhergehende Prognose relevant.

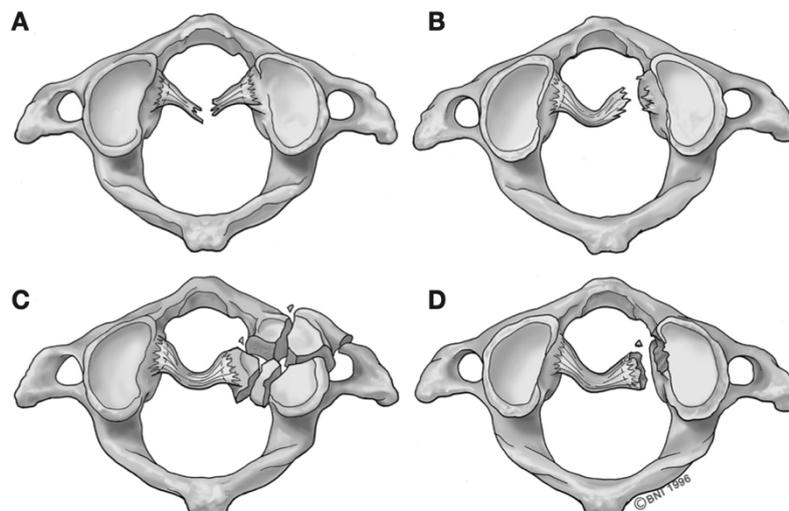


Abbildung 4: Klassifikation der Verletzungen des Lig. transversum atlantis nach Dickman, aus [18]. A: Intraligamentäre Ruptur des Querbandes. B: Ruptur des Querbandes am medialen Teil des Tuberkels. C, D: Knöcherner Bandausriss. A und C stellen den Typ 1 dar, B und D den Typ 2 nach Dickman.

### 2.2.3 Patientenpopulation

Bei der Verteilung der Atlasfrakturen zeigen sich zwei Altersgipfel in der Patientenpopulation [4]. Zum einen ist eine jüngere Patientengruppe betroffen, welche sich die o.g. Verletzungsmuster vorwiegend durch Hochrasanztraumata, also in bis zu 80% durch Autounfälle, Stürze aus großen Höhen (> 1m Höhe oder > 5 Treppenstufen) oder sportliche Aktivitäten zuzieht [19, 20]. Zum anderen zeigen sich Atlasfrakturen bei älteren Menschen, wobei hier Niedrigenergietraumata (z.B. Hyperextensionsverletzungen durch Kopfanprall) und Stürze im häuslichen Bereich eine Rolle spielen [21].

Die sinkende Zahl der Menschen im jüngeren Alter und die gleichzeitig steigende Zahl älterer Menschen verschieben den demographischen Rahmen unserer Gesellschaft. Durch die Tatsache, dass das durchschnittliche Lebensalter der Bevölkerung in den letzten Jahrzehnten gestiegen ist, steigt auch der Anteil älterer Menschen bei diagnostizierten Atlasfrakturen. Das zunehmende Lebensalter geht mit einer erhöhten Komorbidität der Patienten einher und beeinflusst letztlich auch deren Mortalität. Prädisponierend für Frakturen der Halswirbelsäule sind besonders degenerative Vorerkrankungen wie Osteochondrose, ankylosierende Erkrankungen (z.B. Morbus Bechterew), Osteoporose oder Tumorerkrankungen. Auch die Sturzneigung beim älteren Patienten oder neurologische Gangstörungen erhöhen das Risiko für eine Atlasfraktur.

Dennoch führen die verbesserte medizinische Versorgung und Diagnostik trotz Alter und Komorbidität zu höheren Überlebenschancen der Patienten [7].

### 2.2.4 Symptome

Die Symptome einer traumatischen Atlasfraktur sind unspezifisch. Häufig berichten Patienten über Schmerzen an der oberen Halswirbelsäule. Dabei leiden sie unter Muskelschmerzen, Muskelkrämpfen, Nackensteifigkeit, Kopfschmerzen und schmerzhaften Bewegungseinschränkungen, besonders bei Rotationsbewegungen [9]. Es kann zu retropharyngealen Weichteilschwellungen mit begleitenden Hämatomen und Dysphagien kommen. Auch Neuralgien und Parästhesien durch die Kompression des N. occipitals major sowie Verletzungen der A. vertebralis sind möglich [22].

In seltenen Fällen kann es zu einer Rückenmarksverletzung mit möglichen neurologischen Defiziten kommen [23, 24]. Jedoch sind isolierte Atlasfrakturen häufig mit einer Erweiterung des Spinalkanals durch das Auseinanderbersten assoziiert, sodass hier nur selten neurologische Ausfälle auftreten [19]. In wenigen Fällen wurden neurologische Defizite infolge der Schädigung der Wirbelarterie mit vorübergehender Bewusstlosigkeit und anderen Symptomen einer Ischämie beobachtet [24, 25].

Eine sehr seltene, aber in der Literatur beschriebene Verletzung ist die posttraumatische einseitige Läsion der unteren vier Hirnnerven, welche das sogenannte Collet-Sicard-Syndrom verursacht [26].

## 2.2.5 Diagnostik

Durch das Fehlen spezifischer neurologischer Defizite und die komplexe Anatomie mit sich im Röntgenbild überlagernden Strukturen wird die Diagnosestellung „Atlasfraktur“ häufig erschwert. Jedoch ermöglichen moderne Untersuchungsmodalitäten eine schnellere und umfassende Beurteilung von Verletzungen an der HWS. Heute werden zunehmend Schnittbildverfahren wie die Computertomographie und Magnetresonanztomographie dem konventionellen Röntgen vorgezogen.

Für die Primärdiagnostik kommt jedoch nach wie vor das konventionelle Röntgen zum Einsatz, da es durch seine flächendeckende Verfügbarkeit, geringe Kosten und die im Vergleich zum CT relativ geringe Strahlenexposition einige Vorteile mit sich bringt. Jedoch weist es nur eine geringe Sensitivität für Verletzungen der oberen HWS auf und eignet sich daher nur für erste Hinweise auf eine Fraktur oder die Verlaufsbeurteilung bei bekannten Verletzungen (z.B. Frakturdislokation) [27].

Neben der anterior-posterior-Röntgenaufnahme können auch laterale Bilder oder Dens-axis-Zielaufnahmen bei geöffnetem Mund hilfreich sein. Ein indirekter, aber nicht sicherer radiologischer Hinweis auf eine Atlasfraktur in der a.-p.-Röntgenaufnahme kann eine Seitenabweichung des Dens axis von der Mittellinie sein. Auf eine Bandinstabilität kann die laterale Massenverschiebung von 7 mm oder mehr hinweisen [28, 29].

In a.-p.-Röntgenaufnahmen ohne pathologischen Befund können disko-ligamentäre Verletzungen jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden. Deshalb werden auch seitliche Aufnahmen durchgeführt. Um eine ligamentäre Verletzung im lateralen Röntgenbild auszuschließen, sollte eine gedachte ebene Verbindungslinie der Vorder- sowie Rückflächen aller Wirbelkörper zu sehen sein. Ebenso gleichmäßig sollte der Übergang zwischen Wirbelbögen und Dornfortsätzen verlaufen [28].

Bei pathologischen Röntgenaufnahmen oder neurologischen Defiziten kommt die Computertomographie zum Einsatz. Sie gilt als diagnostischer Goldstandard für die primäre Diagnostik bei Verdacht auf Verletzungen der oberen HWS und ermöglicht die genaue Beurteilung knöcherner und ligamentärer Strukturen. Es erfolgt eine CT-Untersuchung mit mindestens 2D-Rekonstruktion in den Standardebenen (sagittal und koronar) [27, 30]. Zudem kann eine Angio-CT von Nutzen sein, um Dissektionen der A. vertebralis zu erkennen [27].

Die Einschätzung des Atlanto-dentalen Intervalls (ADI) als Marker für Bandinstabilität (> 3mm) erfolgt zunächst im Röntgen oder CT [28, 31].

Bei Verdacht auf eine disko-ligamentäre Instabilität oder bei CT-morphologisch unerklärten neurologischen Defiziten nach Trauma wird eine MRT-Untersuchung durchgeführt. Das Verfahren eignet sich besonders für die Darstellung von Blutungen, ligamentären Strukturen, Neurokompression und Pathologien des Rückenmarks [32]. Durch die lange Untersuchungsdauer, den technischen Aufwand und die geringe Verfügbarkeit eignet sich dieses Verfahren jedoch nicht als Notfalldiagnostik bei polytraumatisierten Patienten [29].

## 2.2.6 Therapie

Die Indikationsstellung zur Therapie ist maßgeblich vom Allgemeinzustand, den Vorerkrankungen und dem Patientenwunsch abhängig.

Bezüglich der Behandlungsverfahren unterscheidet man zwischen konservativer und operativer Therapie. Das konservative Therapiekonzept kommt hauptsächlich bei stabilen Frakturen und/oder bei Patienten mit hohem perioperativem Risiko zum Einsatz [27].

Es werden Cervicalstützen verschiedener Härtegrade und Halo-Fixateure für eine HWS-Immobilisation genutzt (s. Abb. 5, 6, 7). Seltener kommen noch speziellere Orthesen mit Abstützungen am Körper oder der Minerva-Gips zum Einsatz [27]. Hierbei ist die Ruhigstellung der Fraktur für mindestens 6 Wochen das Ziel. Um den Erfolg der konservativen Maßnahmen zu überprüfen, werden regelmäßige radiologische Verlaufskontrollen sowie ein Kontroll-CT für den Nachweis der Frakturausheilung nach ca. 6-12 Wochen angefertigt. Nach Abnahme der Orthese erfolgt eine muskelaufbauende Physiotherapie.



© 2000-2019 by Basko

Abbildung 5:  
Anatomische Schaumstoff-Cervicalstütze der Firma Basko Orthopädie Handelsgesellschaft mbH [38]. Diese entspricht einer weichen Cervicalstütze.



© 2000-2019 by Basko

Abbildung 6:  
Ortho Collar-Cervicalorthese aus Polyethylen-Schaumstoff der Firma Basko Orthopädie Handelsgesellschaft mbH [38]. Diese entspricht einer harten Cervicalstütze.



Abbildung 7: BREMER HALO™ SYSTEM der Firma DePuyAcroMed (Johnson-Johnson company) zur externen Fixation der Halswirbelsäule, aus [39].

Ausschlaggebend für ein operatives Vorgehen sind der neurologische Status des Patienten, das Ausmaß der traumatischen Instabilität sowie die Begleitverletzungen (z.B. bei Polytrauma). Ziel ist die rasche Reposition und knöcherne Ausheilung der Fraktur ohne weitere Dislokation [33].

Entscheidend für die chirurgischen Maßnahmen sind patientenspezifische Faktoren und die Verletzungsmorphologie [27]. Es erfolgt entweder eine Fixation zwischen 1. und 2. Halswirbel (dorsale atlanto-axiale Spondylodese C 1/2 nach Goel / Harms, s. Abb. 8), die komplette Versteifung mitsamt angrenzendem Wirbel (C0 bis C2+, s. Abb. 9) oder eine direkte dorsale Osteosynthese des Atlas (s. Abb. 10) [34, 35]. Durch die Atlasosteosynthese kann die schnelle postoperative Mobilisation der Patienten erfolgen und die Rotationsfähigkeit zwischen Atlas und Axis bleibt erhalten. Als Rehabilitationsmaßnahmen nach operativer Therapie kommen zunächst passive physiotherapeutische Übungsbehandlungen und nach ca. 12 Wochen auch aktive Mobilisierungsübungen zum Einsatz [27].

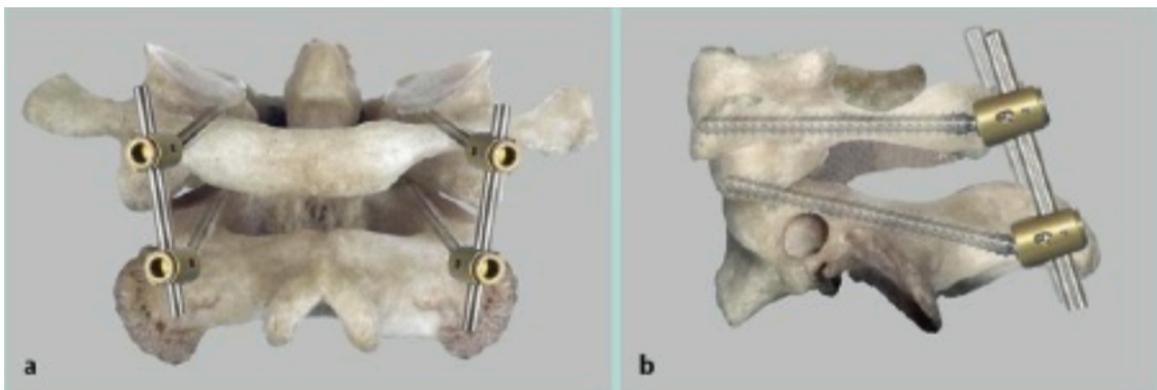


Abbildung 8: Posteriore Schrauben-Stab-Stabilisierung nach Goel/Harms, aus [20].  
a: a.p.-Ansicht, b: seitliche Ansicht.

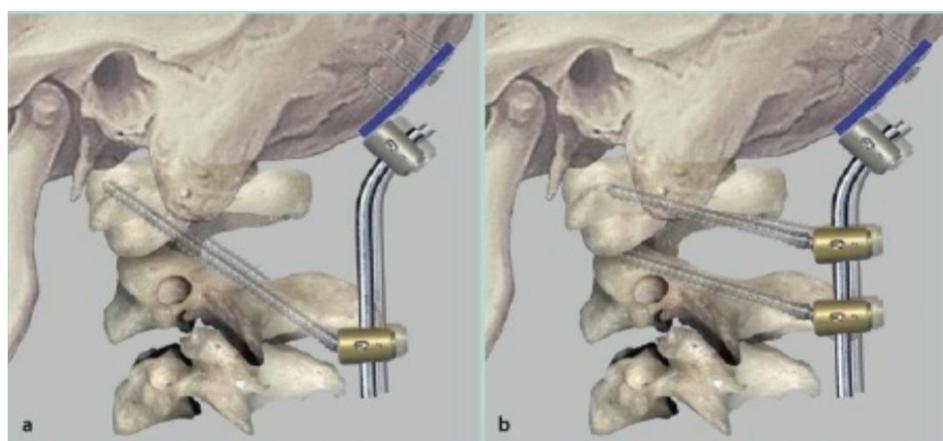


Abbildung 9: Okzipitozervikale Fixation (C0-C2) mit distaler Fixierung, aus [20].  
a: in Magerl-Technik, b: in Goel/Harms-Technik.

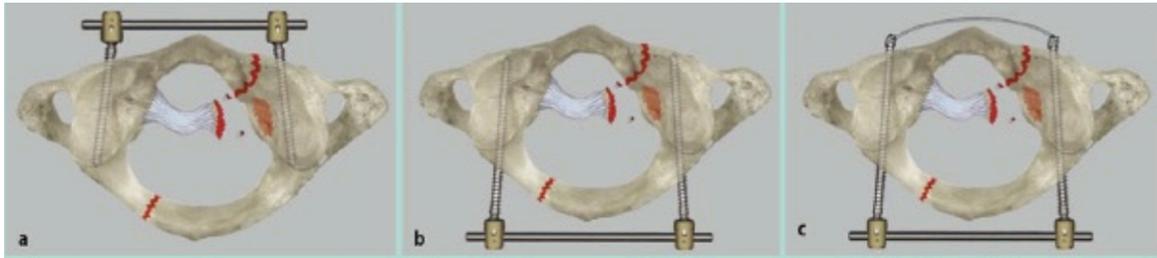


Abbildung 10: Atlasosteosynthesetechniken bei instabiler Fraktur des vorderen und hinteren Atlasbogens (Gehweiler Typ 3b) mit gering disloziertem knöchernem Ausriss des Lig. transversum atlantis (Dickman Typ 2a), aus [20].

a: Isolierte ventrale/transorale Stabilisierung mit Schrauben-Stab-System. b: Isolierte dorsale Stabilisierung mit Schrauben-Stab-System. c: Kombinierte Stabilisierung mit dorsalem Schrauben-Stab-System und ventraler/transoraler Drahtcerclage.

### 3. Zielsetzung der Arbeit

Atlasfrakturen gehören zu den seltenen Verletzungen der Wirbelsäule und werden daher oft übersehen. Durch den demographischen Wandel unserer Zeit und die damit steigende Inzidenz von HWS-Frakturen in der geriatrischen Population gewinnt die Detektion von Atlasfrakturen jedoch zunehmend an klinischer Bedeutung. Frakturen des Atlas bedürfen einer aufwendigen diagnostischen Abklärung. Durch die bessere technische Verfügbarkeit moderner Schnittbildgebungsverfahren kann der Weg bis zur Diagnosestellung heute zunehmend vereinfacht werden.

In der Literatur wird diese Entwicklung nicht ausreichend beleuchtet. Weiterhin fehlen aktuelle Studien zur Epidemiologie von Atlasfrakturen und den mit ihrer Behandlung verbundenen Komplikationen. Ziel dieser Arbeit war es daher, neue Erkenntnisse über die epidemiologischen Merkmale von Patienten mit Atlasfrakturen zu gewinnen und die Komplikationsraten nach chirurgischer und nicht-chirurgischer Behandlung retrospektiv zu bewerten. Mit dem gewonnenen Wissen über die Komplikationen konservativer und operativer Therapien und den damit verbundenen Erfolgsraten bei der Knochenheilung soll eine verbesserte Beratung und Entscheidungsfindung bei der Behandlung betroffener Patienten ermöglicht werden.

## **Publikation**

European Spine Journal (2020)

<https://doi.org/10.1007/s00586-020-06317-7>

Published online: 30 January 2020

© Springer-Verlag

## **Epidemiology and management of atlas fractures**

Nora Fiedler<sup>1</sup> · Ulrich J. A. Spiegl<sup>1</sup> · Jan-Sven Jarvers<sup>1</sup> · Christoph Josten<sup>1</sup> · Christoph E.  
Heyde<sup>1</sup> · Georg Osterhoff<sup>1</sup>

1

Department of Orthopaedics, Trauma and Plastic Surgery

University Hospital Leipzig

04103 Leipzig, Germany



# Epidemiology and management of atlas fractures

Nora Fiedler<sup>1</sup> · Ulrich J. A. Spiegl<sup>1</sup> · Jan-Sven Jarvers<sup>1</sup> · Christoph Josten<sup>1</sup> · Christoph E. Heyde<sup>1</sup> · Georg Osterhoff<sup>1</sup>

Received: 5 February 2019 / Revised: 10 December 2019 / Accepted: 22 January 2020  
© The Author(s) 2020

## Abstract

**Purpose** The purpose of this study was to gain new insights into the epidemiologic characteristics of patients with atlas fractures and to retrospectively evaluate complication rates after surgical and non-surgical treatment.

**Methods** In a retrospective study, consecutive patients diagnosed with a fracture of the atlas between 01/2008 and 07/2018 were analyzed. Data on epidemiology, concomitant injuries, fracture patterns and complications were obtained by chart and imaging review.

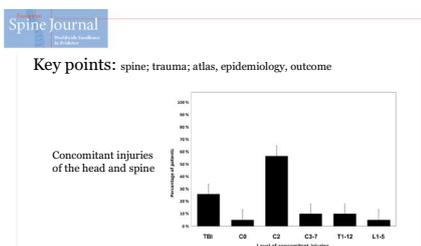
**Results** In total, 189 patients (mean age 72 years, SD 19; 57.1% male) were treated. The most frequent trauma mechanism was a low-energy trauma (59.8%). A concomitant injury of the cervical spine was found in 59.8%, a combined C1/C2 injury in 56.6% and a concomitant fracture of the thoraco-lumbar spine in 15.4%. When classified according to Gehweiler, there were: 23.3% type 1, 22.2% type 2, 32.8% type 3, 19.0% type 4 and 1.1% type 5. Treatment of isolated atlas fractures ( $n = 67$ ) consisted of non-operative management in 67.1%, halo fixation in 6.0% and open surgical treatment in 26.9%. In patients with combined injuries, the therapy was essentially dictated by the concomitant subaxial cervical injuries.

**Conclusions** Atlas fractures occurred mainly in elderly people and in the majority of the cases were associated with other injuries of the head and spine. Most atlas fractures were treated conservatively. However, surgical treatment has become a safe and valid option in unstable fracture patterns involving the anterior and posterior arch (type 3) or those involving the articular surfaces (type 4).

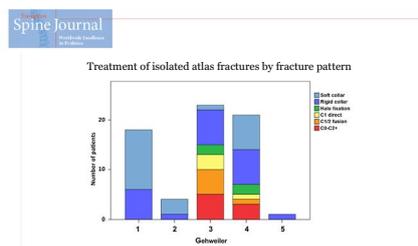
**Level of evidence** IV (Retrospective cohort study).

## Graphic abstract

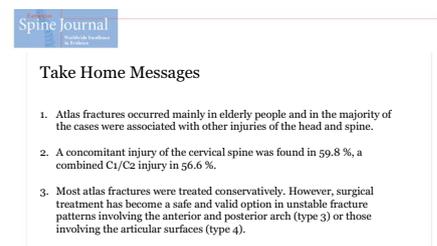
These slides can be retrieved under Electronic Supplementary Material.



Fiedler N, Spiegl UJA, Jarvers J-S, Josten C, Heyde CE, Osterhoff G (2020) Epidemiology and management of atlas fractures. *Eur Spine J*; Springer



Fiedler N, Spiegl UJA, Jarvers J-S, Josten C, Heyde CE, Osterhoff G (2020) Epidemiology and management of atlas fractures. *Eur Spine J*; Springer



Fiedler N, Spiegl UJA, Jarvers J-S, Josten C, Heyde CE, Osterhoff G (2020) Epidemiology and management of atlas fractures. *Eur Spine J*; Springer

**Keywords** Spine · Trauma · Atlas · Aged · Epidemiology · Outcome

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s00586-020-06317-7>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Georg Osterhoff  
georg.osterhoff@medizin.uni-leipzig.de

<sup>1</sup> Department of Orthopaedics, Trauma and Plastic Surgery, University Hospital Leipzig, 04103 Leipzig, Germany

## Introduction

The anatomic particularities of the atlas make its fractures unique compared to other cervical spine elements. It acts as a transitional structure between the occipital bone of the skull and the spine. It articulates with the odontoid process of the second cervical vertebra (axis) and the occiput

allowing rotation, flexion, extension and lateral flexion of the head [1].

Twenty-five percent of all craniocervical injuries, 2–13% of all cervical spine injuries and 1–3% of all spinal injuries are represented by fractures of the first vertebra [1]. The main trauma mechanism in atlas fractures is axial loading which affects especially at the back of the head and with deflection of force to the lateral masses [2]. The resulting tension forces acting on the osseous ring of the atlas can result in various fractures, which commonly are described by the classification systems of Jefferson [3] and Gehweiler [4].

Fractures of the atlas are rare and frequently overlooked injuries as patients often show no neurological symptoms or clear evidence in conventional radiographic imaging. They particularly involve two age categories—elderly people with low-energy trauma and younger patients with high-energy trauma like motor vehicle accidents and falls from greater heights [5, 6].

Over the last two decades, demographic aging and advances in computed tomography (CT) technologies have increased the incidence of diagnosed atlas fractures [7]. Resulting therapy options for treatment of C1 fractures have been repeatedly discussed in the literature. Surgical stabilization has become a more established treatment modality in certain fracture patterns because modern implant systems and better intraoperative imaging [8] have changed and broadened the range of indications [9, 10].

Current studies on the epidemiology of atlas fractures and the complications associated with their treatment are missing. Hence, the purpose of this study was to gain new insights into the epidemiologic characteristics of patients with atlas fractures and to retrospectively evaluate complication rates after surgical and non-surgical treatment.

## Patients and methods

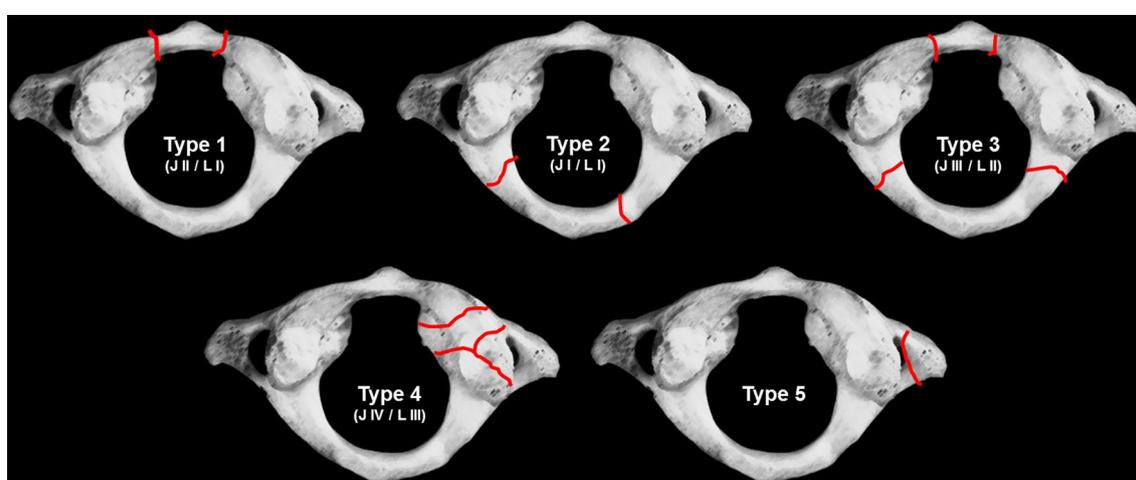
### Patients

This retrospective cohort study was approved by the institutional ethics committee (reference: 302/18-ek). Consecutive patients who were diagnosed with a fracture of the atlas at our Level 1 university trauma center between 01/2008 and 07/2018 were identified through a search of the clinical information system (SAP, Walldorf, Germany). Patients with existing documented objection to research in their chart were excluded.

### Data acquisition

In a retrospective chart and database review, information on the patients' baseline characteristics, the mechanism of trauma and concomitant injuries were documented.

As a standard, posttraumatic CT scans were performed in all patients. On these, the type of fracture was classified according to the system described by Gehweiler [4] (Fig. 1) by two board-certified spine surgeons (US, GO). Information on treatment modality, in-hospital complications and secondary interventions during the whole follow-up was obtained. Infections were reported as either surgical-site infections or systemic infections. Surgical-site infections were determined as wound healing problems treated by antibiotics and/or revision surgery. Systemic infections were defined as conditions with elevated inflammatory blood markers that required antibiotic treatment (as pneumonia, urinary tract infection, etc.)



**Fig. 1** Gehweiler classification of atlas fractures [4]. Type 1: fractures of the anterior arch (Jefferson II, Landells I). Type 2: fractures of the anterior arch (Jefferson I, Landells I). Type 3: fractures of the anterior

and posterior arch (Jefferson III, Landells II). Type 4: fractures of the lateral mass (Jefferson IV, Landells III). Type 5: isolated fractures of the transverse process. *J* Jefferson, *L* Landells

**Statistical analysis**

Data are presented as frequencies (*n*) with percentages (%) and means with the standard deviation (SD). Post-test analysis was done using SPSS for Windows V25.0 (IBM, Chicago, IL, USA). All data are reported as frequencies (*n*) with percentages (%) and means with the standard deviation (SD).

Nonparametric tests were used for the comparison of differences in means between patients older than 65 years and younger patients, and cross-tables with chi-square or Fisher’s exact tests were used for the comparison of nominal data. The level of significance was defined as *p* < 0.05.

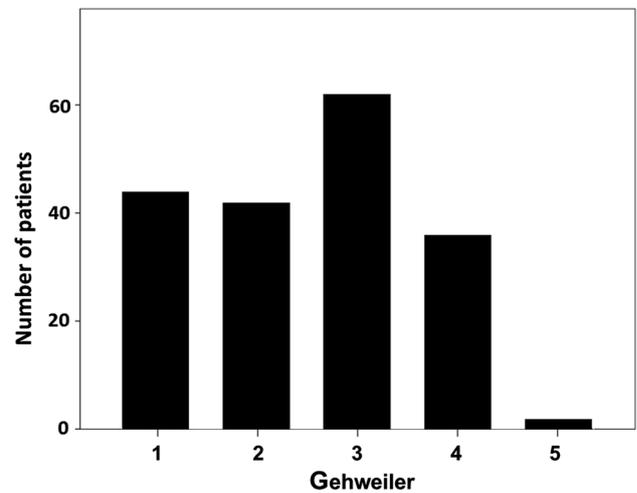
**Results**

During the observation period of 10 years, 189 patients (mean age 72 years, SD 19, range 6–97 years) were treated with a fracture of the atlas. The majority of the patients (108/189, 57.1%) were of male gender. Leading trauma mechanism was a low-energy trauma (113/189, 59.8%), in three of which this was associated with a metastatic lesion of the first vertebra.

Of 189 atlas fractures included, only 63 were isolated injuries. One or more concomitant injuries to the head and spine were present in 66.7% (Fig. 2), a concomitant fracture of the cervical spine (C2–C7) in 59.8%, and at least one fracture of the whole spine (C2–L5) in 64.6%. A concomitant head injury was found in 25.9% of the cases, and in 15/189 patients (7.9%) this included intracranial hemorrhage. Fractures of the occipital condyles were seen in 10/189 cases

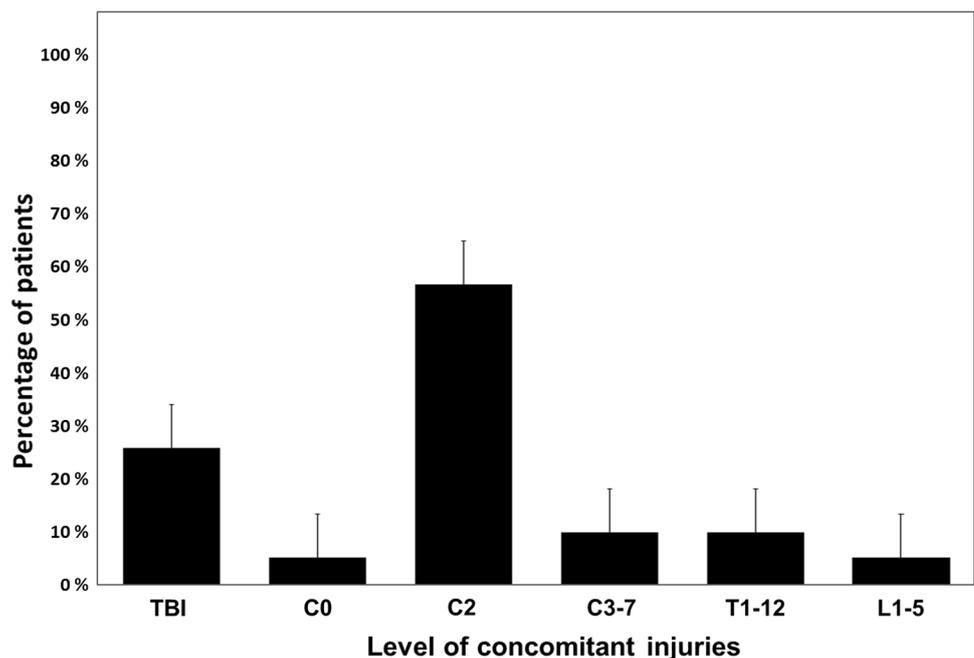
(5.3%). A combined atlanto-axial fracture was present in 107/189 cases (56.6%), and concomitant fractures of the thoraco-lumbar spine were observed in 23/189 patients (15.4%).

When classified by Gehweiler, 23.3% represented type 1 fractures, 22.2% type 2 fractures, 32.8% type 3 fractures, 19.0% type 4 fractures and 1.1% type 5 fractures (Fig. 3). Two fractures could not be classified: one combination of



**Fig. 3** Fracture pattern distributions according to Gehweiler. Type 1: fractures of the anterior arch (Jefferson II, Landells I). Type 2: fractures of the anterior arch (Jefferson I, Landells I). Type 3: fractures of the anterior and posterior arch (Jefferson III, Landells II). Type 4: fractures of the lateral mass (Jefferson IV, Landells III). Type 5: isolated fractures of the transverse process

**Fig. 2** Concomitant injuries of the head and spine. TBI: traumatic brain injury. C0: fractures of the occipital condyle. C2: fractures of the axis vertebra. C3–7: fractures of the subaxial cervical spine. T1–12: fractures of the thoracic spine. L1–5: fractures of the lumbar spine

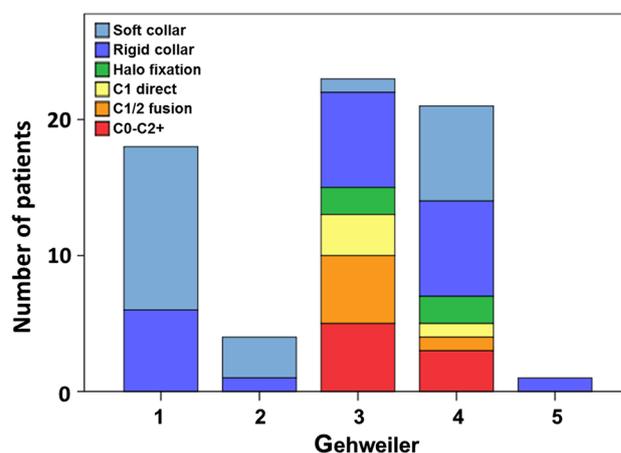


an anterior arch and a comminuted lateral mass fracture and one transverse split of the whole ring. In one patient, only MRT imaging was available that did not allow for a proper classification.

Two of the 189 patients were treated in an outpatient setting only. The mean duration of hospitalization was 12 days (SD 10, range 1–77). The average time between trauma and treatment was 4 days (SD 7, range 0–44). In-hospital complications included thromboembolic events in 2/187 patients (1.1%), surgical-site infection ( $n=2$ ) or systemic infection ( $n=25$ ) in 27/187 patients (14.4%), and delirium in 18/187 patients (9.6%). All-cause 30-day mortality was 12.2% (23/189). Causes of death could not be attributed to the atlas fractures except for three patients with cardiac arrhythmia and/or respiratory failure on admission that might be related to brainstem compression. Seven patients died before treatment could be applied.

Treatment consisted of non-operative treatment with soft or rigid collars in 82/182 (45.1%), with halo fixation in 13 (7.1%) and with open surgical procedures in 87 patients (47.8%, Table 1). However, in many cases, the indication for surgery was made due to concomitant injuries of the adjacent cervical spine segments. In isolated fractures of the atlas without concomitant injuries to the occipital condyle or C2–C7 that were amenable for treatment ( $n=67$ ), non-operative treatment with a soft or rigid collar was performed in 45/67 cases (67.1%), halo fixation in 4/67 (6.0%) and open surgical fixation in 18/67 patients (26.9%, Fig. 4).

Secondary interventions during the whole follow-up were necessary in 14/189 patients (7.4%); this included one patient who had a re-fracture of the atlas after a second fall, three patients with non-operative treatment that required secondary stabilization with halo fixation, and two patients with implant removal after more than a year, three patients with halo fixation that required secondary C1/2 fusion. Revision surgery of open fixation was necessary in 5/87 (5.7%) cases; this included surgical-site infection in two and loss of reduction in three cases.



**Fig. 4** Treatment of isolated atlas fractures by fracture pattern ( $n=67$ ). Patients with concomitant injuries to the occipital condyle or C2–C7 are excluded. C1 direct: direct open reduction and internal fixation of the atlas (anterior and posterior approaches). C1/2 fusion: anterior or posterior fusion C1–C2. C0–C2+: posterior fusion from occiput to C2 and beyond

Patients older than 65 years were more likely to be female ( $p<0.001$ , Table 2), sustain a low-energy trauma ( $p<0.001$ ) and to suffer of in-hospital complications including death ( $p=0.004$ ). In addition, patients older than 65 years were more likely to present with fractures Gehweiler type 1 and 2 while younger patients more frequently had fractures type 3 and 4 ( $p=0.008$ ). Younger patients had more concomitant fractures of the occipital condyle ( $p=0.028$ ) and elderly patients had more combined C1/C2 fractures ( $p<0.001$ ).

Patients who were treated non-operatively had a shorter hospital stay ( $p=0.002$ , Table 3) but were more likely to die during the hospitalization. The difference in hospital stay was still significant when comparing only patients who did not die during their initial hospitalization (non-operative: 10 days, SD 10; operative: 14 days, SD 11;  $p<0.001$ ). The occurrence of in-hospital infections ( $p=0.836$ ), thromboembolic events ( $p=1.0$ ) and delirium ( $p=0.806$ ) was not different between operatively and non-operatively treated

**Table 1** Treatment by fracture pattern (including patients with concomitant injuries of the cervical spine)

	Soft collar	Rigid collar	Halo fixation	C1 direct	C1/2 fusion	C0–C2+	Total
Gehweiler <sup>a</sup>							
1	16	8	2	0	15	3	44
2	10	8	3	2	16	3	42
3	6	13	6	3	21	13	62
4	12	11	2	1	4	6	36
5	1	1	0	0	0	0	2
Total	45	41	13	6	56	25	186

C1 direct: direct open reduction and internal fixation of the atlas (anterior and posterior approaches). C1/2 fusion: anterior or posterior fusion C1–C2. C0–C2+: posterior fusion from occiput to C2 and beyond

<sup>a</sup>Three fractures could not be classified according to Gehweiler

**Table 2** Age-related differences

	≤65 years	>65 years	<i>p</i>
<i>n</i>	52	137	
Age (years)	46, SD 15	81, SD 7	<0.001
Gender (f:m)	10:42	71:66	<0.001
High-energy trauma	37 (71%)	41 (30%)	<0.001
In-hospital complications	7 (13%)	48 (35%)	0.004
Gehweiler <sup>a</sup>			0.008
1	9 (17%)	35 (26%)	
2	6 (12%)	36 (26%)	
3	18 (35%)	44 (32%)	
4	15 (29%)	21 (15%)	
5	2 (4%)	0 (0%)	
Fracture C0	6 (12%)	4 (3%)	0.028
Fracture C2	18 (35%)	89 (65%)	<0.001

<sup>a</sup>Three fractures could not be classified according to Gehweiler

**Table 3** Complications in patients with operative versus non-operative treatment

	Operative	Non-operative	<i>p</i>
<i>n</i>	92	97	
Age (years)	74, SD 16	70, SD 20	0.103
Gender (f:m)	40:52	41:56	0.884
Fracture C2	76 (35%)	37 (38%)	<0.001
High-energy trauma	47 (51%)	31 (32%)	0.028
Hospitalization time (days)	14, SD 10	9, SD 10	0.002
In-hospital complications	23 (25%)	32 (33%)	0.263
Death	6 (7%)	17 (18%)	0.026
Infection	14 (15%) <sup>a</sup>	13 (13%)	0.836
Thromboembolic event	1 (1%)	1 (1%)	1.0
Delirium	8 (9%)	10 (10%)	0.806

<sup>a</sup>The 14 infections in the operative group were 2/92 surgical-site infections (2%) and 12 systemic infections (13%)

patients. Patients with a high-energy trauma ( $p=0.028$ ) and patients with a concomitant fracture of C2 ( $p<0.001$ ) were more likely to receive operative treatment.

## Discussion

This study presents epidemiologic data on atlas fractures over an observation period of 10 years.

It was found that the majority of patients with atlas fractures are male and that most cases occurred in the elderly population with a mean age of 72 years. This is in line with findings of previous epidemiologic studies on this topic that confirm a higher incidence of C1 fractures among the elderly [5, 11].

The main cause of trauma was a low-energy trauma which typically occurs in the older population where frequent falls combined with degenerative changes and reduced mobility of the lower cervical spine increase the risk of upper cervical fractures.

Only 33% of all atlas fractures were isolated injuries. About two-thirds of the cases were diagnosed with one or more concomitant head and spine injuries, and especially combined atlanto-axial fractures were seen in more than half of the patients. Previous studies have shown that atlas fractures rarely occur in isolation but often in association with other injuries of the spine [12, 13]. The combination of C1 and C2 injuries has been reported for 40–44% of the patients with atlas fractures in the literature [1, 9]. This was confirmed by findings of the present study, even though the incidence of concomitant injuries was noticeably higher compared to previously published results. Possible explanations include that CT imaging increasingly has become a standard diagnostic procedure for injuries of the cervical spine. The high percentage of concomitant intracranial bleedings may also be a result of the increased prevalence of oral anticoagulants in elderly patients. In fact, the high co-prevalence of occiput and C2 fractures and intracranial bleedings found in this series of cohort with atlas fractures strongly suggest a low threshold for performing CT imaging in these cases.

The distribution of fracture patterns according to Gehweiler showed that the majority of the injuries are type 3 fractures, followed by type 1 and 2, and then less frequently type 4 articular fractures. The transverse process fractures (Gehweiler 5) were found to be a rarity, which may be rooted in the rather subtle clinical symptoms they cause. This distribution of fracture patterns is consistent with data from previous studies [14, 15].

While isolated atlas fractures of type 1, 2 and 5 were preferably managed non-operatively, type 3 fractures and type 4 fractures were more often treated surgically in our study. This is in congruence with current treatment guidelines [16]. Despite inconsistent recommendations in the literature, fractures Gehweiler type 1, 2 and 5 are consistently being treated with conservative therapy.

Likewise, most studies report similar rates of surgical treatment of unstable type 3 (“Jefferson”) fractures [9, 14]. In contrast to the literature, however, almost every fourth Gehweiler 4 fracture in our population was treated operatively. The literature mainly recommends conservative treatment for isolated fractures of the lateral masses [10]. However, recent studies observed frequently a lateral displacement of the lateral mass fragments associated with subluxation of the occipital condyle resulting in neck pain, head malposition and impaired head rotation [17]. Hence, some guidelines advocate for surgery in Gehweiler 4 fractures with joint incongruency [9, 18]. In this context, it must

be noted that the decision for and the type of surgery was frequently made based on concomitant injuries of the adjacent cervical spine segments.

The in-hospital complications observed in this study were in the range of what is known from other case series [1, 10]. Nosocomial infections as well as the development of a delirium must be considered as high-risk complications after surgery of elderly patients. In our cohort, patients who were treated non-operatively had a shorter hospital stay but were more likely to die during the hospitalization. Hence, as in other studies, the impact of a surgical intervention on the occurrence of complications was minor, as most part in-hospital complications were determined by the prevalence of preexisting comorbidities [13, 19].

The limitations of this study are associated with the retrospective design and the lack of follow-up examinations. It is difficult to assess post hoc what influence the patients' illness had in some cases on the decision for or against surgical treatment. It might be that patients with estimated higher perioperative morbidity were frequently treated non-operatively even though the fracture pattern itself would have suggested surgery. An indication for this is the higher in-hospital mortality in the non-operative group. In fact, some patients might have died before surgery was possible.

We also did not perform a radiographic assessment of fracture union rates. The lack of complications or nonunions does not necessarily mean that these patients had good functional outcomes. The definition of "low-energy trauma" used in this retrospective analysis is very broad. Especially in elderly patients, it can often be difficult to precisely assess how deep and with how much energy the patient fell. This is a problem also known from thoraco-lumbar fractures in elderly patients.

Even though a large sample in total, the number of patients in each fracture pattern group did not allow statistical comparisons of operative versus non-operative treatment across single fracture types. Thus, the findings of this study cannot be used to support operative versus non-operative treatment for specific fracture patterns of the atlas. Future prospective comparative studies need to further investigate the potential benefit of operative versus non-operative treatment of atlas fractures in elderly patients.

## Conclusion

It was found that atlas fractures occurred mainly in elderly people and in the majority of the cases were associated with other injuries of the head and spine. Most atlas fractures can be treated conservatively. However, surgical treatment has become a safe and valid option in unstable fracture patterns involving the anterior and posterior arch (type 3) or those involving the articular surfaces (type 4). Both detecting

concomitant injuries and assessing instability and joint incongruence may be facilitated by the regular use of CT imaging in these patients.

**Acknowledgements** Open Access funding provided by Projekt DEAL.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** CEH has received royalties from Medacta Int. GO has given paid lectures for Medtronic and Stryker. The other authors declare that they have no competing interests. There was no external funding for this study.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

1. Kakarla UK, Chang SW, Theodore N, Sonntag VKH (2010) Atlas fractures. *Neurosurgery* 66(3 Suppl):60–67. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000366108.02499.8F>
2. Ryba L, Cienciala J, Chaloupka R, Repko M, Vyskočil R (2016) Poranění horní krční páteře (Injury of upper cervical spine). *Soud Lek* 61(2):20–25
3. Jefferson G (1919) Fracture of the atlas vertebra. Report of four cases, and a review of those previously recorded. *Br J Surg* 7(27):407–422. <https://doi.org/10.1002/bjs.1800072713>
4. Gehweiler JA, Duff DE, Martinez S, Miller MD, Clark WM (1976) Fractures of the atlas vertebra. *Skelet Radiol* 1(2):97–102. <https://doi.org/10.1007/BF00347414>
5. Watanabe M, Sakai D, Yamamoto Y, Sato M, Mochida J (2010) Upper cervical spine injuries: age-specific clinical features. *J Orthop Sci* 15(4):485–492. <https://doi.org/10.1007/s00776-010-1493-x>
6. Jubert P, Lonjon G, Garreau de Loubresse C (2013) Complications of upper cervical spine trauma in elderly subjects. A systematic review of the literature. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR* 99(6 Suppl):S301–S312. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.07.007>
7. Smith RM, Bhandutia AK, Jauregui JJ, Shasti M, Ludwig SC (2018) Atlas fractures: diagnosis, current treatment recommendations, and implications for elderly patients. *Clin Spine Surg* 31(7):278–284. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000631>
8. Baumert B, Blautzik J, Körner M, Reiser M, Linsenmaier U (2008) Aktuelle bildgebende Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen (Advanced imaging of spine disease). *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 79(10):906–917. <https://doi.org/10.1007/s00104-008-1516-8>
9. Kandzióra F, Scholz M, Pingel A, Schleicher P, Yildiz U, Kluger P, Pumberger M, Korge A, Schnake KJ (2018) Treatment of atlas fractures: recommendations of the spine section of the German

- society for orthopaedics and trauma (DGOU). *Glob Spine J* 8(2 Suppl):5S–11S. <https://doi.org/10.1177/2192568217726304>
10. Mead LB, Millhouse PW, Krystal J, Vaccaro AR (2016) C1 fractures: a review of diagnoses, management options, and outcomes. *Curr Rev Musculoskelet Med* 9(3):255–262. <https://doi.org/10.1007/s12178-016-9356-5>
  11. Matthiessen C, Robinson Y (2015) Epidemiology of atlas fractures—a national registry-based cohort study of 1537 cases. *Spine J* 15(11):2332–2337. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2015.06.052>
  12. Kayser R, Weber U, Heyde CE (2006) Verletzungen des kraniozervikalen Übergangs (Injuries to the craniocervical junction). *Der Orthopade* 35(3):244–269. <https://doi.org/10.1007/s00132-005-0920-8>
  13. Schären S, Jeanneret B (1999) Atlas fractures. *Der Orthopade* 28(5):385–393. <https://doi.org/10.1007/PL00003622>
  14. Kandziora F, Chapman JR, Vaccaro AR, Schroeder GD, Scholz M (2017) Atlas fractures and atlas osteosynthesis: a comprehensive narrative review. *J Orthop Trauma* 31(Suppl 4):S81–S89. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000942>
  15. Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R (2010) Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. Teil 2: knöcherner Verletzungen (Injuries to the upper cervical spine. Part 2: osseous injuries). *Der Unfallchirurg* 113(12):1023–1039. <https://doi.org/10.1007/s00113-010-1896-3>
  16. Scholz M, Schleicher P, Kandziora F, Badke A, Dreimann M, Gebhard H, Gercek E, Gonschorek O, Hartensuer R, Jarvers J-SG, Katscher S, Kobbe P, Koepp H, Korge A, Matschke S, Mörk S, Müller CW, Osterhoff G, Pécsi F, Pishnamaz M, Reinhold M, Schmeiser G, Schnake KJ, Schneider K, Spiegl UJA, Ullrich B (2018) Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie oberer Halswirbelsäulenverletzungen: axisringfrakturen (Recommendations for Diagnosis and Treatment of Fractures of the Ring of Axis). *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 156(6):662–671. <https://doi.org/10.1055/a-0620-9170>
  17. Keskil S, Göksel M, Yüksel U (2016) Unilateral lag-screw technique for an isolated anterior 1/4 atlas fracture. *J Craniovertebral Junction Spine* 7(1):50–54. <https://doi.org/10.4103/0974-8237.176625>
  18. Schleicher P, Scholz M, Kandziora F, Badke A, Dreimann M, Gebhard HW, Gercek E, Gonschorek O, Hartensuer R, Jarvers J-SG, Katscher S, Kobbe P, Koepp H, Matschke S, Mörk S, Müller CW, Osterhoff G, Pécsi F, Pishnamaz M, Reinhold M, Schmeiser G, Schnake KJ, Schneider K, Spiegl UJA, Ullrich B (2019) Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie oberer Halswirbelsäulenverletzungen: Atlasfrakturen (Recommendations for the Diagnostic Testing and Therapy of Atlas Fractures). *Z Orthop Unfall* 157(5):566–573. <https://doi.org/10.1055/a-0809-5765>
  19. Delcourt T, Bégué T, Saintyves G, Mebtouche N, Cottin P (2015) Management of upper cervical spine fractures in elderly patients: current trends and outcomes. *Injury* 46(Suppl 1):S24–S27. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(15\)70007-0](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(15)70007-0)

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## 4. Zusammenfassung der Arbeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Titel:

### **Epidemiology and management of atlas fractures**

eingereicht von:

Cand. med. Nora Fiedler

angefertigt an:

Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie

Universitätsklinikum Leipzig AöR

Liebigstrasse 20

04103 Leipzig

betreut von:

PD (Univ. Zürich) Dr. med. Georg Osterhoff

Prof. Dr. med. habil. Christoph-Eckhard Heyde

Mai 2020

Ziel dieser Arbeit war es, die Behandlung von Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2008 bis 31.07.2018 an der Klinik für Orthopädie, Unfall- und Plastische Chirurgie der Universität Leipzig aufgrund einer diagnostizierten Atlasfraktur aufgenommen wurden, zu analysieren und epidemiologische Daten zu präsentieren.

Von insgesamt 189 Fällen analysierten wir Informationen über die Ausgangsmerkmale und Begleitverletzungen der Patienten, den Trauma-Mechanismus, die Lokalisation und Klassifikation der Verletzung, die Behandlungsmodalitäten, die Komplikationen im Krankenhaus und die sekundären Interventionen während der Nachsorge. Es zeigte sich, dass die Mehrzahl der Patienten mit Atlasfrakturen männlich ist und die meisten Fälle in der älteren Bevölkerung mit einem Durchschnittsalter von 72 Jahren auftraten. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen früherer epidemiologischer Studien zu diesem Thema, die eine höhere Inzidenz von C1-Frakturen bei älteren Menschen bestätigen [31].

Am häufigsten waren niedrigenergetische Traumata vertreten. Diese traten typischerweise in der älteren Bevölkerung auf, wo eine erhöhte Sturzneigung in Verbindung mit degenerativen Veränderungen und eingeschränkter Mobilität das Risiko für Frakturen der oberen Halswirbelsäule erhöht.

Weiterhin zeigte sich, dass nur 33% der Fälle isolierte Verletzungen des Atlas waren. Bei etwa zwei Dritteln der Fälle wurden eine oder mehrere begleitende Kopf- und Wirbelsäulenverletzungen diagnostiziert. Insbesondere kombinierte C1-C2-Frakturen wurden bei mehr als der Hälfte der

Patienten beobachtet. Auch frühere Studien haben gezeigt, dass Atlasfrakturen selten isoliert auftreten, sondern oft in Verbindung mit anderen Verletzungen der Wirbelsäule [9, 24].

In der Literatur wurden kombinierte C1- und C2-Verletzungen mit einer Inzidenz von 40-44% der Fälle angegeben [2, 7, 30]. Dies wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ebenfalls bestätigt, auch wenn die Zahl von Begleitverletzungen im Vergleich zu früher veröffentlichten Ergebnissen deutlich höher war. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Entwicklung der CT-Bildgebung hin zum Standard-Diagnoseverfahren bei Verletzungen der Halswirbelsäule, welche eine umfassende Detektion der Verletzungsmuster ermöglicht.

Der hohe Prozentsatz intrakranieller Begleitblutungen in unserer Kohorte könnte Folge einer erhöhten Prävalenz von oralen Antikoagulanzen bei älteren Menschen sein. Doch nicht nur die erhöhte Zahl festgestellter intrakranieller Blutungen, sondern auch die Ko-Inzidenz von Okzipital- und C2-Frakturen zusammen mit Atlasfrakturen, legt eine niedrige Schwelle für die Durchführung einer CT-Bildgebung in diesen Fällen nahe.

Die Verteilung der Frakturmuster nach Gehweiler zeigte, dass es sich bei der Mehrzahl der Verletzungen um Typ-3-Frakturen handelt, gefolgt von Typ 1 und 2. Weniger häufig liegen Typ-4-Gelenkfrakturen vor. Die Frakturen nach Gehweiler 5 erwiesen sich als Seltenheit, was möglicherweise auf die eher subtilen klinischen Symptome zurückzuführen ist, die sie verursachen. Diese Verteilung der Frakturmuster stimmt mit den Daten aus früheren Studien überein [7, 17].

Die Therapie der Patienten bestand entweder in einer chirurgischen Intervention oder in der konservativen Behandlung mit Cervicalstützen verschiedener Härtegrade bzw. einem Halo-Fixateur.

Während isolierte Atlasfrakturen vom Typ 1, 2 und 5 vor allem nicht-operativ behandelt wurden, wurden Typ 3 und Typ 4 Frakturen häufig chirurgisch therapiert. Dies steht im Einklang mit den aktuellen Behandlungsrichtlinien [27, 30]. Trotz uneinheitlicher Empfehlungen in der Literatur wurden die Frakturen Gehweiler Typ 1, 2 und 5 konsequent konservativ behandelt.

Ebenso berichten die meisten Studien über ähnliche Zahlen bei der chirurgischen Behandlung von instabilen Frakturen des Typ 3 ("Jefferson") [7, 24, 30]. Im Gegensatz zur Literatur [28], die vor allem bei isolierten Frakturen der seitlichen Massen eine konservative Behandlung empfiehlt, wurde in unserer Kohorte fast jede vierte Gehweiler Typ 4-Fraktur operativ behandelt. Ursache ist, die in neueren Studien häufig beobachtete laterale Dislokation der lateralen Massenfragmente, die mit einer Subluxation der Hinterhauptkondyle einhergeht und zu Nackenschmerzen, einer Fehlstellung des Kopfes und einer Beeinträchtigung der Kopfdrehung führt [36]. Daher befürworten einige Leitlinien eine Operation bei Gehweiler 4 Frakturen mit Gelenkinkongruenz [30, 37].

Auch in dieser Arbeit wurde deutlich, dass die Entscheidung für eine chirurgische Intervention und die Art der Operation häufig aufgrund von Begleitverletzungen der ebenfalls verletzten Halswirbelsäulensegmente getroffen wurde. Weiterhin wird klar, dass durch die verbesserte intraoperative Bildgebung und moderne Implantatsysteme das Indikationsspektrum operativer Therapien überdacht und ausgeweitet wurde.

Unabhängig von der Entscheidung, welches Therapiekonzept eingeleitet wird, gilt es, in den betroffenen Patientengruppen Schmerzsyndromen der oberen Halswirbelsäule vorzubeugen. Dabei muss die Behandlung von Atlasfrakturen sowohl die frühzeitige Stabilisierung des Atlasrings als auch die Wiederherstellung der Gelenkflächen in der Umgebung umfassen.

Die in dieser Studie beobachteten Komplikationen im Krankenhaus lagen im Bereich dessen, was aus anderen Fallserien bekannt ist [7, 28]. Die durchschnittliche Dauer des Krankenhausaufenthaltes betrug 12 Tage. Zu den Komplikationen im Krankenhaus gehörten

vorwiegend systemische Infektionen (14,4%) und ein Delirium (9,6%). Nosokomiale Infektionen sowie die Entwicklung eines Deliriums müssen als Hochrisikokomplikationen nach der Operation älterer Patienten betrachtet werden. In unserer Kohorte hatten überlebende Patienten, die konservativ behandelt wurden, einen kürzeren Krankenhausaufenthalt. Jedoch war die Wahrscheinlichkeit, während des Krankenhausaufenthaltes zu versterben, statistisch höher. Daher ist der Einfluss eines chirurgischen Eingriffs auf das Auftreten von Komplikationen wie in anderen Studien vergleichsweise gering, da die meisten Komplikationen im Krankenhaus durch die Prävalenz von bereits vorhandenen Komorbiditäten bestimmt wurden [5, 9]. Die 30-Tage-Gesamtmortalität betrug 12,2%. Die Todesursachen konnten jedoch nicht direkt auf die Atlasfrakturen zurückgeführt werden.

Die Limitationen dieser Studie sind hauptsächlich durch ihr retrospektives Design bedingt, welches mit dem Fehlen von Nachuntersuchungen verbunden ist. Es ist schwierig zu beurteilen, welchen Einfluss die Komorbiditäten der Patienten im Einzelfall auf die Entscheidung für oder gegen eine chirurgische Maßnahme hatten. Es könnte sein, dass Patienten mit geschätzt höherer perioperativer Morbidität häufig nicht-operativ behandelt wurden, obwohl das Frakturmuster selbst eine Operation nahegelegt hätte. Ein Hinweis dafür ist die höhere stationäre Mortalität in der nicht-operativen Gruppe. Andererseits bedeutet das Fehlen von Komplikationen auch nicht unbedingt, dass diese Patienten gute funktionelle Ergebnisse hatten.

Die verwendete Definition der "Niedrigenergie-Traumata" ist sehr weit gefasst. Besonders bei älteren Patienten kann es oft schwierig sein, genau zu beurteilen, wie der Unfallhergang war und mit welcher Energie der Patient gefallen ist. Auch die Abschätzung der Tiefe eines Sturzes kann oft nur errahnt werden. Dies ist ein Problem, das auch von thorako-lumbalen Frakturen bei älteren Patienten bekannt ist.

Auch wenn es sich insgesamt um eine große Stichprobe handelt, erlaubt die Anzahl der Patienten in jeder Frakturmustergruppe keinen statistisch-signifikanten Vergleich zwischen operativer und nicht-operativer Behandlung bei den einzelnen Frakturtypen. Daher können die Ergebnisse dieser Studie nicht zur Beurteilung der operativen versus nicht-operativen Behandlung für bestimmte Frakturmuster des Atlas verwendet werden. Zukünftige prospektiv vergleichende Studien müssen den potenziellen Nutzen einer operativen versus nicht-operativen Behandlung von Atlasfrakturen bei betroffenen Patienten weiter erforschen.

## 5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomischer Aufbau des Atlas, aus [6].

Abbildung 2: Topografische Anatomie des Atlas und Axis, aus [1].

Abbildung 3: Gehweiler Klassifikation der Atlasfraktur [14], in Anlehnung an Steinrich/Babst aus [15].

Abbildung 4: Klassifikation der Verletzungen des Lig. transversum atlantis nach Dickman [18], aus [4].

Abbildung 5: Anatomische Schaumstoff-Cervicalstütze der Firma Basko Orthopädie Handelsgesellschaft mbH, aus [38].

Abbildung 6: Ortho Collar-Cervicalorthese aus Polyethylen-Schaumstoff der Firma Basko Orthopädie Handelsgesellschaft mbH, aus [38].

Abbildung 7: BREMER HALO™ SYSTEM der Firma DePuyAcroMed (Johnson-Johnson company) zur externen Fixation der Halswirbelsäule, aus [39].

Abbildung 8: Posteriore Schrauben-Stab-Stabilisierung nach Goel/Harms, aus [20].

Abbildung 9: Okzipitozervikale Fixation (C0-C2) mit distaler Fixierung, aus [20].

Abbildung 10: Atlasosteosynthesetechniken bei instabiler Fraktur des vorderen und hinteren Atlasbogen (Gehweiler Typ 3b) mit gering disloziertem knöchernem Ausriss des Lig. transversum atlantis (Dickman Typ 2a), aus [20].

## 6. Literaturverzeichnis

1. Greenspan A, Beltran J (2017) Skelettradiologie. Orthopädie, Traumatologie, Rheumatologie, Onkologie, 6. Aufl. German medical collection, Bd 39. Elsevier, München, Deutschland
2. Kandziora F, Chapman JR, Vaccaro AR, Schroeder GD, Scholz M Atlas Fractures and Atlas Osteosynthesis: A Comprehensive Narrative Review. *Journal of Orthopaedic Trauma* 31:S81-S89. doi:10.1097/BOT.0000000000000942
3. Daffner RH, Goldberg AL, Evans TC, Hanlon DP, Levy DB (1998) Cervical vertebral injuries in the elderly: A 10-year study. *Emergency Radiology* 5(1):38–42. doi:10.1007/BF02749124
4. Matthiessen C, Robinson Y (2015) Epidemiology of atlas fractures—a national registry–based cohort study of 1,537 cases. *The Spine Journal* 15(11):2332–2337. doi:10.1016/j.spinee.2015.06.052
5. Delcourt T, Bégué T, Saintyves G, Mebtouche N, Cottin P (2015) Management of upper cervical spine fractures in elderly patients: current trends and outcomes. *Injury* 46:S24-S27. doi:10.1016/S0020-1383(15)70007-0
6. Schünke M (2014) Prometheus Lernatlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, 4. Aufl. Thieme, Stuttgart
7. Kakarla UK, Chang SW, Theodore N, Sonntag VKH (2010) Atlas Fractures. *Neurosurgery* 66(suppl\_3):A60-A67. doi:10.1227/01.NEU.0000366108.02499.8F
8. Delank HW (1988) [Whiplash trauma of the cervical spine. An evaluation of neurologic status]. *Der Unfallchirurg* 91(8):381–387
9. Schären S, Jeanneret B (1999) Atlas fractures. *Der Orthopäde* 28(5):385–393. doi:10.1007/PL00003622
10. Lekic N, Sheu J, Ennis H, Lebwohl N, Al-Maaieh M (2020) Why you should wear your seatbelt on an airplane: Burst fracture of the atlas (jefferson fracture) due to in-flight turbulence. *Journal of Orthopaedics* 17:78–82. doi:10.1016/j.jor.2019.06.019
11. Hadley MN, Dickman CA, Browner CM, Sonntag VKH (1988) Acute Traumatic Atlas Fractures: Management and Long Term Outcome. *Neurosurgery* 23(1):31–35. doi:10.1227/00006123-198807000-00007
12. Jefferson G (1919) Fracture of the atlas vertebra. Report of four cases, and a review of those previously recorded. *British Journal of Surgery* 7(27):407–422. doi:10.1002/bjs.1800072713
13. Landells CD, van Peteghem PK (1988) Fractures of the Atlas: Classification, Treatment and Morbidity. *Spine* 13(5):450–452. doi:10.1097/00007632-198805000-00002
14. Gehweiler JA, Duff DE, Martinez S, Miller MD, Clark WM (1976) Fractures of the atlas vertebra. *Skeletal Radiology* 1(2):97–102. doi:10.1007/BF00347414

15. Steinbrich W, Babst R, Babst R (1999) Frakturen und Luxationen. 15 Tabellen. Referenz-Reihe radiologische Diagnostik
16. Dvorak MF, Johnson MG, Boyd M, Johnson G, Kwon BK, Fisher CG (2005) Long-term health-related quality of life outcomes following Jefferson-type burst fractures of the atlas. *Journal of Neurosurgery: Spine* 2(4):411–417. doi:10.3171/spi.2005.2.4.0411
17. Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R (2010) Verletzungen der oberen Halswirbelsäule: Teil 1: Ligamentäre Verletzungen. *Der Unfallchirurg* 113(11):931–943. doi:10.1007/s00113-010-1876-7
18. Dickman CA, Greene KA, Sonntag VKH (1996) Injuries Involving the Transverse Atlantal Ligament: Classification and Treatment Guidelines Based upon Experience with 39 Injuries. *Neurosurgery* 38(1):44–50. doi:10.1097/00006123-199601000-00012
19. Levine AM, Edwards CC (1991) Fractures of the atlas. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 73(5):680–691
20. Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R (2010) Operationsverfahren zur Stabilisierung der oberen Halswirbelsäule. *Der Unfallchirurg* 113(10):845-58; quiz 859. doi:10.1007/s00113-010-1863-z
21. Watanabe M, Sakai D, Yamamoto Y, Sato M, Mochida J (2010) Upper cervical spine injuries: age-specific clinical features. *J Orthop Sci* 15(4):485–492. doi:10.1007/s00776-010-1493-x
22. Schmitt HP, Gladisch R (1977) Multiple Frakturen des Atlas mit zweizeitiger tödlicher Vertebralisthrombose nach Schleudertrauma der Halswirbelsäule. *Arch Orthop Unfallchir* 87(2):235–244. doi:10.1007/bf00415211
23. Fowler JL, Sandhu A, Fraser RD (1990) A review of fractures of the atlas vertebra. *J Spinal Disord* 3(1):19–24
24. Kayser R, Weber U, Heyde CE (2006) Verletzungen des kraniozervikalen Übergangs. *Der Orthopäde* 35(3):244–269. doi:10.1007/s00132-005-0920-8
25. Kesterson L, Benzel E, Orrison W, Coleman J (1991) Evaluation and treatment of atlas burst fractures (Jefferson fractures). *Journal of Neurosurgery* 75(2):213–220. doi:10.3171/jns.1991.75.2.0213
26. Kwon HC, Cho DK, Jang YY, Lee SJ, Hyun JK, Kim TU (2011) Collet-Sicard Syndrome in a Patient with Jefferson Fracture. *Annals of Rehabilitation Medicine* 35(6):934. doi:10.5535/arm.2011.35.6.934
27. Scholz M, Osterhoff G (2018) DGU Leitlinien 012-011 Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. *Unfallchirurgische Leitlinien für Diagnostik und Therapie*
28. Mead LB, Millhouse PW, Krystal J, Vaccaro AR (2016) C1 fractures: a review of diagnoses, management options, and outcomes. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* 9(3):255–262. doi:10.1007/s12178-016-9356-5

29. Weidner A (1998) Operative Behandlungsmöglichkeiten des Halswirbeltraumas. *Deutsches Arzteblatt International* (28-29):1785–1790
30. Kandziora F, Scholz M, Pingel A, Schleicher P, Yildiz U, Kluger P, Pumberger M, Korge A, Schnake KJ, the Spine Section of the German Society for Orthopaedics, Trauma (2018) Treatment of Atlas Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine Journal* 8(2\_suppl):5S-11S. doi:10.1177/2192568217726304
31. Smith RM, Bhandutia AK, Jauregui JJ, Shasti M, Ludwig SC Atlas Fractures: Diagnosis, Current Treatment Recommendations, and Implications for Elderly Patients. *Clinical Spine Surgery* 31(7):278–284. doi:10.1097/BSD.0000000000000631
32. Daffner RH (1992) Evaluation of cervical vertebral injuries. *Seminars in Roentgenology* 27(4):239–253. doi:10.1016/0037-198X(92)90003-K
33. Hoffmann C-H, Kandziora F (2015) Behandlung der Atlas- und Dens-axis-Frakturen. *Trauma und Berufskrankheit* 17(S2):301–306. doi:10.1007/s10039-015-0051-3
34. Böhm H, Kayser R, El Saghir H, Heyde C-E (2006) [Direct osteosynthesis of instable Gehweiler Type III atlas fractures. Presentation of a dorsoventral osteosynthesis of instable atlas fractures while maintaining function]. *Der Unfallchirurg* 109(9):754–760. doi:10.1007/s00113-006-1081-x
35. Weigel B, Neumann C (2011) Wirbelsäule. In: Weigel B, Nerlich ML (Hrsg) *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 157–231
36. Keskil S, Göksel M, Yüksel U (2016) Unilateral lag-screw technique for an isolated anterior 1/4 atlas fracture. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine* 7(1):50. doi:10.4103/0974-8237.176625
37. Schleicher P, Scholz M, Kandziora F, Badke A, Dreimann M, Gebhard HW, Gercek E, Gonschorek O, Hartensuer R, Jarvers J-SG, Katscher S, Kobbe P, Koepf H, Matschke S, Mörk S, Müller CW, Osterhoff G, Pécsi F, Pishnamaz M, Reinhold M, Schmeiser G, Schnake KJ, Schneider K, Spiegel UJA, Ullrich B (2019) Recommendations for the Diagnostic Testing and Therapy of Atlas Fractures. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 157(05):566–573. doi:10.1055/a-0809-5765
38. Ortho Collar-Cervicalorthese. 27.03.2020, 17:14 Uhr, Kasko Orthopädie Handelsgesellschaft mbH: <https://basko.com/de-de/Produkte/Orthesen-und-Bandagen/Hals>.
39. Bremer Halo System. 27.03.2020, 17:22 Uhr, DePuy AcroMed, Inc: [http://www.spinaldeformity.com/Educational/Surgical%20Technique%20Guides/HALO/Spine\\_BREMER\\_HALO\\_SYSTEM\\_Product\\_Info.pdf](http://www.spinaldeformity.com/Educational/Surgical%20Technique%20Guides/HALO/Spine_BREMER_HALO_SYSTEM_Product_Info.pdf).

## 7. Anlagen

### 7.1 Spezifizierung des eigenen wissenschaftlichen Beitrags

Hiermit bestätige ich, dass alle Patientendaten, die in der der Arbeit „Epidemiology and management of atlas fractures“ verwendet wurden, von mir selbst aus der verwendeten Datenbank gesammelt, aufgelistet, thematisch sortiert und nach bestimmten Kriterien ausgewertet wurden.

Weiterhin wurde alle Texte von mir selbst in englischer Sprache verfasst und nach Korrekturlesen durch PD (Univ. Zürich) Dr. med. Georg Osterhoff von mir überarbeitet. Alle Texte der angegebenen Literaturstellen wurden von mir gelesen, evaluiert und eingearbeitet. Die statistische Auswertung der Patientendaten erfolgte gemeinsam mit Herrn PD (Univ. Zürich) Dr. med. Georg Osterhoff.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass alle Texte, die unter den Punkten „Inhaltsverzeichnis“, „Einführung“ und „Zusammenfassung“ zu lesen sind, von mir selbst und ohne fremde Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurden.

Datum

Unterschrift

Leipzig, der 20.04.2020

N. Fiedler

Universitätsklinikum Leipzig  
Department für Operative Medizin  
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,  
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie  
PD Dr. med. Georg Osterhoff  
Oberarzt  
Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie  
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig

Universitätsklinikum Leipzig  
Department für Operative Medizin  
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,  
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie  
Prof. Dr. med. habil. Christoph-E. Heyde  
Geschäftsführer / Direktor  
Bereichsleiter Wirbelsäulenchirurgie  
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig  
Telefon 0341/97-23000 · Fax 97-23009

Universitätsklinikum Leipzig  
Department für Operative Medizin  
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,  
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie  
Prof. Dr. med. Ulrich Spleg  
Geschäftsführender Oberarzt  
FA für Orthopädie, Unfallchirurgie,  
Sportmedizin, Spezielle Unfallchirurgie  
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig

Dr. med. Jan-Sven Jarvers  
Oberarzt  
Klinik u. Poliklinik f. Orthopädie,  
Unfallchirurgie und  
Plastische Chirurgie

## 7.2 Selbständigkeitserklärung

### Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

Datum

Unterschrift

Leipzig, der 20.04.2020

N. Fiedler

## 7.4 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich direkt oder indirekt bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Großer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. habil. C. Josten und Herrn Prof. Dr. med. habil. C.-E. Heyde für die Bereitstellung dieses interessanten Themas.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD (Univ. Zürich) Dr. med. G. Osterhoff. Er hatte stets eine Antwort auf all meine Fragen und ist sowohl mit seinem Wissen wie auch durch seinen hohen zeitlichen Einsatz bei der Durchführung der Studie eine große Unterstützung gewesen. Durch seine Anregungen wurde die Arbeit zu dem, was sie heute ist.

Zu tiefstem Dank bin ich auch meiner Familie, besonders meiner Mutter, verpflichtet. Sie hat mir diesen privilegierten Werdegang ermöglicht und ihrer Unterstützung konnte ich mir immer sicher sein. Zu guter Letzt danke ich noch meinem Großvater, der mir stets interessiert und mit gutem Rat zur Seite stand.