

Anatomische Studie des Verlaufs der Vertebralisarterien mit Untersuchung der Inzidenz einer Elongation (loop)

Florian Eder

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Eder, Florian. 2025. "Anatomische Studie des Verlaufs der Vertebralisarterien mit Untersuchung der Inzidenz einer Elongation (loop)." Augsburg: Universität Augsburg.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

CC BY 4.0

Aus der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Augsburg

Anatomische Studie des Verlaufs der Vertebraliserarterien mit Untersuchung der Inzidenz einer Elongation (loop)

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med.

eingereicht an der

Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg

von

FLORIAN EDER

Augsburg, 10.05.2024



Eidesstattliche Versicherung und Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde. Zudem wurden keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet. Außerdem versichere ich, dass die Dissertation keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt wurde und ich mich nicht anderweitig einer Doktorprüfung ohne Erfolg unterzogen habe.

Statutory declaration and statement

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources. As well I declare that I have not submitted a dissertation without success and not passed the oral exam. The present dissertation (neither the entire dissertation nor parts) has not been presented to another examination board.

Augsburg, 10.05.2024

Dissertation eingereicht am: 25.07.2024

Erstgutachter (Hauptbetreuerin/Hauptbetreuer): Prof. Dr. med. Ehab Shiban

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Edgar Mayr

Tag der mündlichen Prüfung: 20.05.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
I <i>Einleitung</i>	4
II <i>Material und Methoden</i>	12
2.1 Patientenkollektiv	12
2.2 Studiendesign	12
2.3 Datenerhebung	12
2.3.1 Messmethode zur Beurteilung, ob eine Anomalie der Vertebralarterien vorliegt ...	13
2.4 Statistische Auswertung	15
III <i>Ergebnisse</i>	15
3.1 Patientenkollektiv	15
3.2 Auftreten einer Elongation	16
3.3 Altersverteilung mit mindestens einer vorhanden Elongation der Vertebralarterie linksseitig	17
3.4 Altersverteilung mit mindestens einer vorhanden Elongation der Vertebralarterie rechtsseitig	19
3.5 Gegenüberstellung Auftreten einer Elongation links vs. rechts in Abhängigkeit des Geschlechts	21
3.6 Auftreten mindestens je einer Elongation bilateral	22
3.7 Altersverteilung bei einer beidseitig vorhandenen Elongation bei Männern	23
3.8 Altersverteilung bei einer beidseitig vorhandenen Elongation bei Frauen	24
IV <i>Diskussion</i>	25
V <i>Zusammenfassung in deutscher und englischer Sprache</i>	27
VI <i>Literaturverzeichnis</i>	28
Appendix	30
I <i>Abkürzungsverzeichnis</i>	30
II <i>Abbildungsverzeichnis</i>	30
III <i>Tabellenverzeichnis</i>	31

I Einleitung

Degenerative Erkrankungen der HWS gehören zu einem häufigen Krankheitsbild und treten bei bis zu 2/3 der Bevölkerung auf. Patienten mit einer besseren beruflichen Ausbildung auf Grund einer vermehrten Schreibtischarbeit leiden eher an HWS Beschwerden. Auch solche die über chronische Kopfschmerzen oder ein LWS Syndrom in ihrer Anamnese klagen sowie diejenigen mit einem kürzlich stattgehabten Schleudertrauma oder einer traumatischen Verletzung können an einem HWS Syndrom leiden. (Todd, 2011). Als eindeutige Risikofaktoren für auftretende allgemeine Rückenschmerzen werden u.a. auch Rauchen, chronischer Husten sowie eine schwere manuelle Arbeit aufgeführt (Debrunner, 2005). Bis zu 50% aller orthopädischen Besuche sind darauf zurückzuführen (Krämer R, Matussek J, 2014). In einer großangelegten Studie von Junghanns mit einer Population von 4000 Patientin konnte gezeigt werden, dass bereits mit einem Alter von 40 Jahren 50%, und mit einem Alter von 60 Jahren bereits über 90 % der Bevölkerung degenerative Zeichen an der Wirbelsäule zeigen. (Debrunner, 2005).

Auch sollte in diesem Zusammenhang die Möglichkeit psychosomatischer Ursachen für zervikale Beschwerden erwähnt und als Untersucher in Betracht gezogen werden. In einer Arbeit wurde in Anlehnung an Waddell und Kollegen (Waddell et al., 1980) eine neue Herangehensweise bei nicht organischen Zeichen bei HWS Beschwerden beschrieben (Sobel et al., 2000). Insgesamt ist festzuhalten, dass degenerative HWS-Beschwerden multifaktoriell und die Ursachen nicht immer klar zu eruieren sind.

In einer Studie der AOK wurde der Zeitraum von 2005 bis 2014 betrachtet und die hier durchgeführten Wirbelsäulen Operationen ermittelt. Dabei ist ein signifikanter Anstieg innerhalb von 10 Jahren von mehr als 80% beschrieben. Allerdings wurden hier für die Ermittlung der Zahlen die OPS Codes benutzt, wovon teilweise auch mehrere pro Operation eingegeben werden. Trotz dieses diskussionswürdigen Verfahrens ist ein deutlicher Anstieg der OP Zahlen an der Wirbelsäule in den letzten Jahren auszumachen (Petzold et al., 2018).

Degenerationen and der HWS können asymptomatisch oder eben aber auch mit einer deutlichen klinischen Beschwerdesymptomatik verlaufen. Der Pathogenese der HWS-Degeneration können grob vier unterschiedliche Pathomechanismen zugeordnet werden. Die Degeneration des Bandscheibengewebes, die reaktive Osteochondrose mit einhergehenden Ossifikationen, die zervikale Radikulopathie (ZR) und die zervikale Myelopathie (ZM).

Die Halswirbelsäule besteht insgesamt aus sieben Wirbelkörpern. Bandscheiben trennen diese voneinander. Sie bestehen aus einem gallertartigen Kern und einem äußeren Faserring und sind nicht vaskularisiert. Mit der Zeit nimmt der Wassergehalt des Gallertkernes (Nucleus pulposus) und damit auch seine Pufferwirkung ab. Der Faserring (Anulus fibrosus) wird rissig, sodass weiche Anteile des Gallertkernes herausquellen können. Aus diesem Grund sind Bandscheiben besonders anfällig für degenerative Pathologien, wodurch der mechanische Bewegungsablauf instabil wird. Schmerzen treten allerdings normalerweise nicht durch die Veränderung der Bandscheibe auf, sondern durch die damit einhergehenden Begleiterscheinungen wie die o.g. Instabilität, die Kompression von Nerven oder mechanische Blockaden. Weitere degenerative Veränderungen an der HWS sind reaktive Veränderungen der Wirbelkörper mit Bildung von Osteophyten (Spondylose), Verschmälerung des Intervertebralraumes (Chondrose), Sklerosierung der Deckplatten (Osteochondrose), Spondylarthrose, Unkararthrose und eine Ossifikation des Längsbandes. Dies tritt vor allem im beweglichsten Abschnitt der HWS zwischen C5 und C7 auf (Debrunner, 2005).

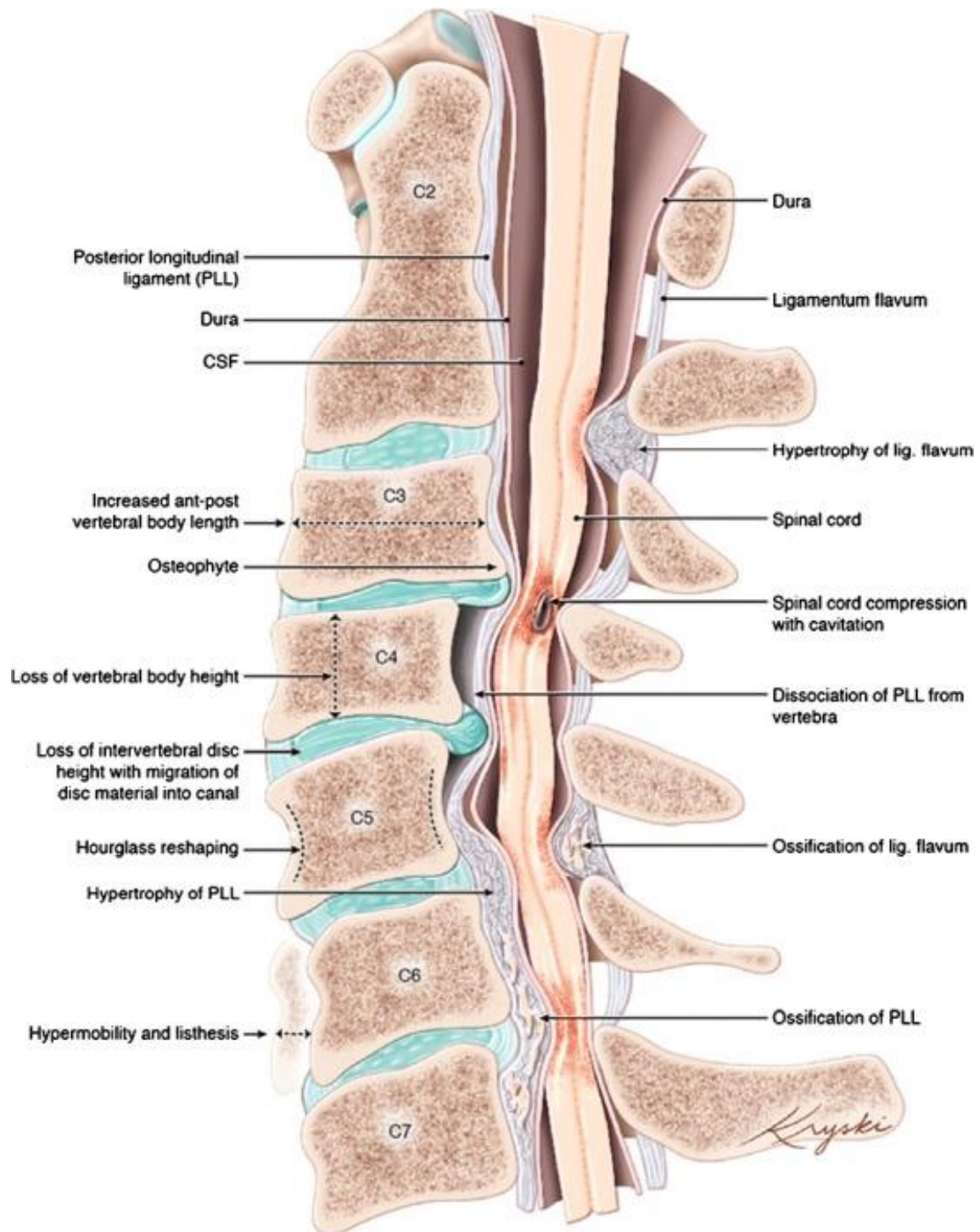


Abbildung 1: Unterschiedliche auslösende Faktoren bei der Entstehung der degenerativen zervikalen Myelopathie, übernommen S. Kato and M. Fehlings, "Degenerative cervical myelopathy," (in eng), Curr Rev Musculoskelet Med, vol. 9, no. 3, pp. 263-71, Sep 201

Weiter muss man zwischen einer zervikalen Radikulopathie und einer zervikalen Myelopathie unterscheiden. Bei einer ZR kann man die klinischen Symptome, wie Schmerzen, Parästhesien, motorische Einschränkungen und/oder

Abschwächung/Verstärkung spezifischer Reflexe, einer zervikalen Wurzel zuordnen. Ursächlich hierfür können Bandscheibenvorfälle oder o.g. degenerative Veränderungen mit Einengung der Foramina intervertebralia sein (Ringel et al., 2019)

Bei der ZM kommt es durch degenerative Pathomechanismen zu einer Einengung des zervikalen Myelons. Klinisch unterscheiden kann man zwischen einer ZR und ZM je nachdem, ob sich Symptome einer Kompression einer Nervenwurzel (ZR) oder des Rückenmarks (ZM) zeigen.

Um ein Fortschreiten der Erkrankung bzw. eine Reduktion der Schmerzen zu erreichen, ist eine operative Spondylodese, nach einem eventuell vorherigen Ausschöpfen konservativer Therapiemaßnahmen, indiziert. Goldstandard ist hierbei die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF). Hierbei wird die Bandscheibe ausgeräumt, die Deck- bzw. Bodenplatte angefrischt und ein Platzhalter (Cage) eingeführt, sodass eine Spondylodese, eine Wirbelkörperfusion, entstehen kann. Der Cage besteht heutzutage meist aus einem Kunststoff, PEEK (Polyethyletherketon).

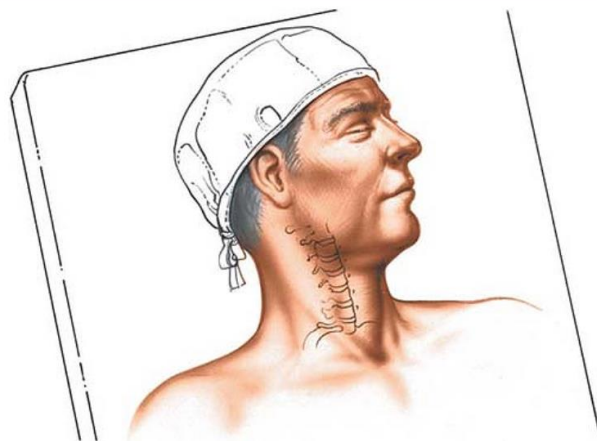


Abbildung 2: Anteriorer zervikaler Zugang bei ACDF. *Surgical Exposures In Orthopaedics*. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, 4. Edition. P. 445

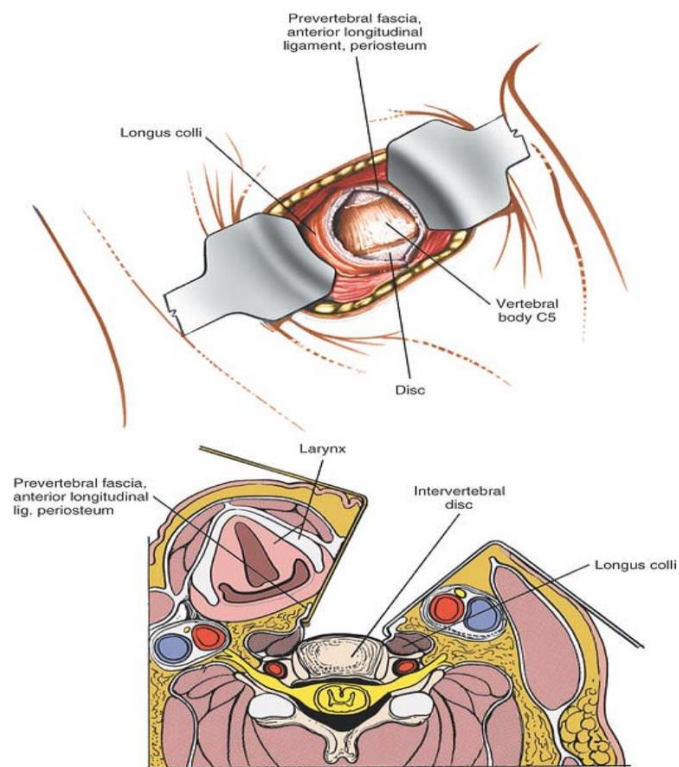


Abbildung 3: Direkter Zugang nach vorsichtigem anatomischen präparieren zur degenerativ veränderten Bandscheibe. *Surgical Exposures In Orthopaedics*. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, 4. Edition. P. 452



Abbildung 4: Nach ACDF mit Cage laterale Ebene, Universitätsklinikum Augsburg



Abbildung 5: Nach ACDF mit Cage anteriore Ebene, Universitätsklinikum Augsburg

Das Outcome nach einer ACDF-Operation ist sehr gut. So beschreiben Langzeitstudien (> 10 Jahre Follow up) einen nahezu vollständigen Rückgang aller neurologischen Symptome bzw. Defizite. Die Schmerzmitteleinnahme konnte stark reduziert werden. Patienten selbst beschreiben eine subjektive Erfolgsrate von 85-95%. (Buttermann, 2018), (Shiban et al., 2018)

Natürlich werden auch bei diesen Operationen Komplikationen beschrieben. Eine der häufigsten sind postoperative reversible Schluckstörungen (Lee MJ, Bazaz R, 2007). Weiter kann es zu einem Ausbleiben der knöchernen Fusion kommen, wobei hier jedoch in fast allen Fällen keine erneute Operation notwendig war. Ferner kann es zu einer Perforation der umliegenden Organe bzw. Gefäße, einer Ausbildung eines Hämatoms

oder einer Verletzung des Nervus laryngeus recurrens kommen. Allgemeine operative Komplikationen wie eine Infektion (0,1%) werden als sehr niedrig angegeben (Demircan et al., 2007; Fountas et al., 2007a). Eine Verletzung der AV oder ICA stellt eine der schwerwiegendsten Komplikationen bei operativen Halseingriffen dar, die zu schweren Schlaganfällen und schlimmstenfalls zum Tod führen kann.

In einer großangelegten Datenanalyse von Park zeigte sich, dass eine der Hauptursachen für eine Gefäßverletzung das chirurgische Bohren von ventral nach dorsal mit 58,9 % aller beschriebenen Verletzungen der AV oder ICA darstellt. Insgesamt wurden nach der Auswertung von 17 Studien 39 Fälle, also ca. 0,3 - 0,5 % mit einer solchen Verletzung beschrieben. Den größten Anteil mit 69,2 % für die Indikation ventral, zervikal chirurgischer Eingriffe haben Patienten mit einer Primärdiagnose degenerativer Bandscheiben-Pathologien. Die Wahrscheinlichkeit für eine Verletzung der AV oder ICA wurde mit 0,18 - 0,5 % angegeben. Als beste unmittelbare Therapie wurde zuerst die Initiation einer Tamponade unter Verwendung eines Hämostyptikums genannt. Weiter soll eine Naht bzw. eine postoperative endovaskuläre Intervention durchgeführt werden (H. K. Park & Jho, 2012; Wakao et al., 2016)(Burke et al., 2005).

Eine weitere mögliche Komponente, die zu einer Gefäßverletzung führen kann, sind anatomische Varianten der AV, wie unterschiedliche Ursprungsvarianten, atypische Abgänge oder Formvarianten. In einer japanischen Studie wurde das Auftreten von Gefäßanomalien in Form einer Schleife (englisch Loop), insbesondere der A. vertebralis sowie der A. Carotis interna bei einer rein japanischen Population mit einer Prävalenz von ca. 1% beschrieben (Wakao et al., 2016).

In dieser Arbeit soll nun herausgefunden werden, ob die Ergebnisse der japanischen Kollegen auf ein europäisches Patientenkollektiv übertragbar sind.

Ziel der Arbeit ist es herauszufinden, ob die o.g. Ergebnisse der rein japanischen Population auf eine europäische Population anzuwenden sind oder nicht.

Prinzipiell sind operative Versorgungen der HWS mittels ventralen Zuganges sicher, risikoarm und v.a. effektiv. Eine der Hauptkomplikationen allerdings ist eine Verletzung der anterioren Vertebralarterie. Mehrere Artikel haben die Inzidenz einer Verletzung der Vertebralarterie bei einem anterioren, zervikalen Zugang mit ca. 0,03 % beschrieben. (Wakao et al., 2016) (H. K. Park & Jho, 2012) (Devin & Ka. Eine signifikante Erhöhung dieses Risikos könnte das Auftreten einer Elongation der VA sein.

Die Inzidenz einer Arteria vVertebralis- Elongation ist in Europa unklar und wurde noch nicht untersucht.

Es existiert ein japanisches Paper aus dem Jahr 2016. Hier wurde eine Population mit 1251 Personen untersucht, wovon letztlich 1054 Patienten Teil der Studie wurden. Hierbei wurden 10 Fälle mit einem medialen loop (1%) gefunden.
In dieser Studie wurde lediglich eine rein japanische Population untersucht.

II Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

In dieser Studie wurden 1508 ausschließlich volljährige Patienten berücksichtigt, die sich in den Jahren 2018 – 2020 am Universitätsklinikum Augsburg einer zervikalen CT-Angiographie Diagnostik unterzogen hatten. Die Auswahl des Kollektivs erfolgte unabhängig von Alter, Geschlecht oder Nationalität. Ausschlusskriterien waren nicht verwertbare CT-Aufnahmen, Fehlen der dünnenschichtigen Quellbilder zur Erstellung von 3D-Rekonstruktionen, fehlende Gefäßdarstellung intrakraniell oder eine doppelte Auflistung im Kollektiv. Bei mehr als einem vorhandenen Fall mit der oben erwähnten Diagnostik eines Patienten wurde die aktuellste ausgewertet. Da es sich um eine retrospektive Beobachtungsstudie handelt, bei der kein Patient einbestellt, klinisch untersucht oder sich im Zuge der Studie einer CT-Diagnostik unterziehen musste, bestehen keine ethischen Bedenken.

2.2 Studiendesign

Das Studiendesign dieser Promotionsarbeit ist eine retrospektive Beobachtungsstudie, das als Datensatz das o.g. Patientenkollektiv des Universitätsklinikums Augsburg verwendet.

2.3 Datenerhebung

Alle in die Studie eingeschlossenen Patienten unterzogen sich aus verschiedensten Gründen (z.B. Schlaganfall, Dessektion, präoperativ, etc.) in den Jahren zwischen 2018 bis 2020 einer CTA-Untersuchung am Universitätsklinikum Augsburg. Alle Bilder wurden an einem CT dual-source Scanner der 2. Generation (SOMATOM Definition FLASH, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany) generiert.

Folgende Werte ergeben sich aus dem CT Protokoll des o.g. CT dual-source Scanner für eine CTA-Untersuchung: 120 kv, eff. Dosis 8mSv, 182 mAS, Scanlänge 571 mm, räumliche Auflösung 0,3 mm, Kollimation 128 x 0,6 mm, Schichten 2x128, Rotationsdauer 0,28 s²

2.3.1 Messmethode zur Beurteilung, ob eine Anomalie der Vertebralarterien vorliegt

Es erfolgte die retrospektive Auswertung der erhobenen Datensätze mittels klinikeigener PACS Software (AGFA HealtCare, Belgien). Hier wurde zunächst eine CTA-Aufnahme von Kopf mit HWS durchgeführt. Anschließend erfolgte eine 3D Rekonstruktion der Aufnahmen.

Nach Durchsichtung der standardmäßigen Ebenen (axial, sagittal, koronar) wurde eine Bewertung in Elongation vorhanden (1) bzw. nicht vorhanden (0) vorgenommen. Weiter wurde die jeweilige Seite (links, rechts) und die anatomische Höhe (C1-C7) berücksichtigt. Die Dokumentation erfolgte in einer Excel Datei.

Eine Anomalie im Sinne einer Elongation wurde beschrieben als eine Abweichung des Verlaufs von einer oder beider Vertebralarterien (links und/oder rechts) in die Unkovertebralgelenke im V2 Segment (Abb. 6).



Abbildung 6: CTA einer repräsentativen Elongation der rechten Vertebralarterie auf Höhe C4/5

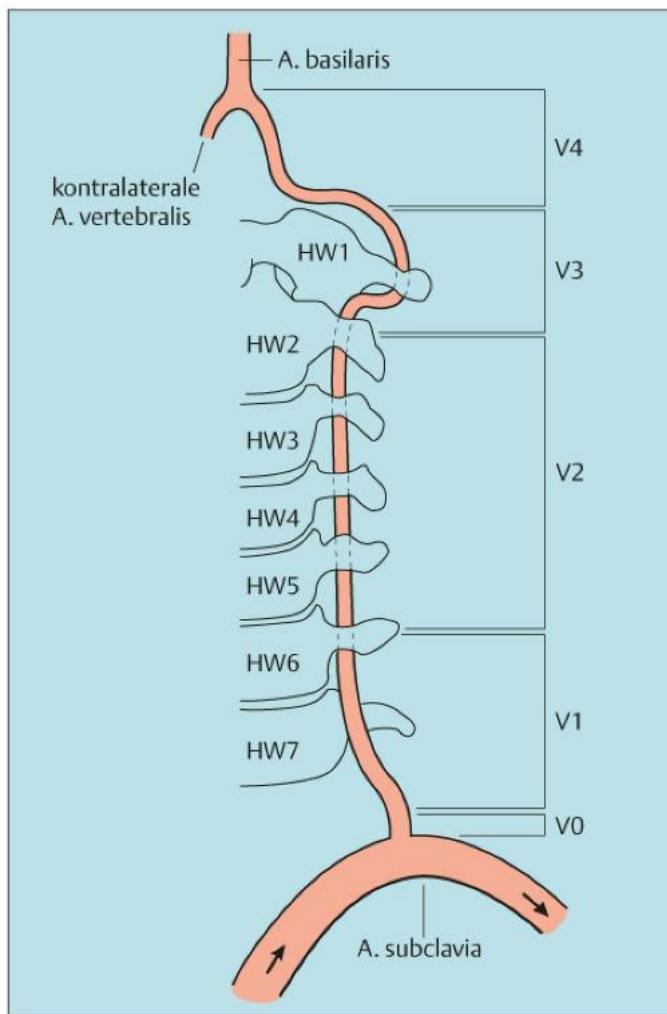


Abbildung 7: Normale Anatomie der AV und Bezeichnung der versch. Unterteilungen: V0 Abgang, V1 prävertebraler Abschnitt, V2 intervertebraler Abschnitt, V3 Atlas Abschnitt, V4 intrakranieller Abschnitt (Arning, 2014)

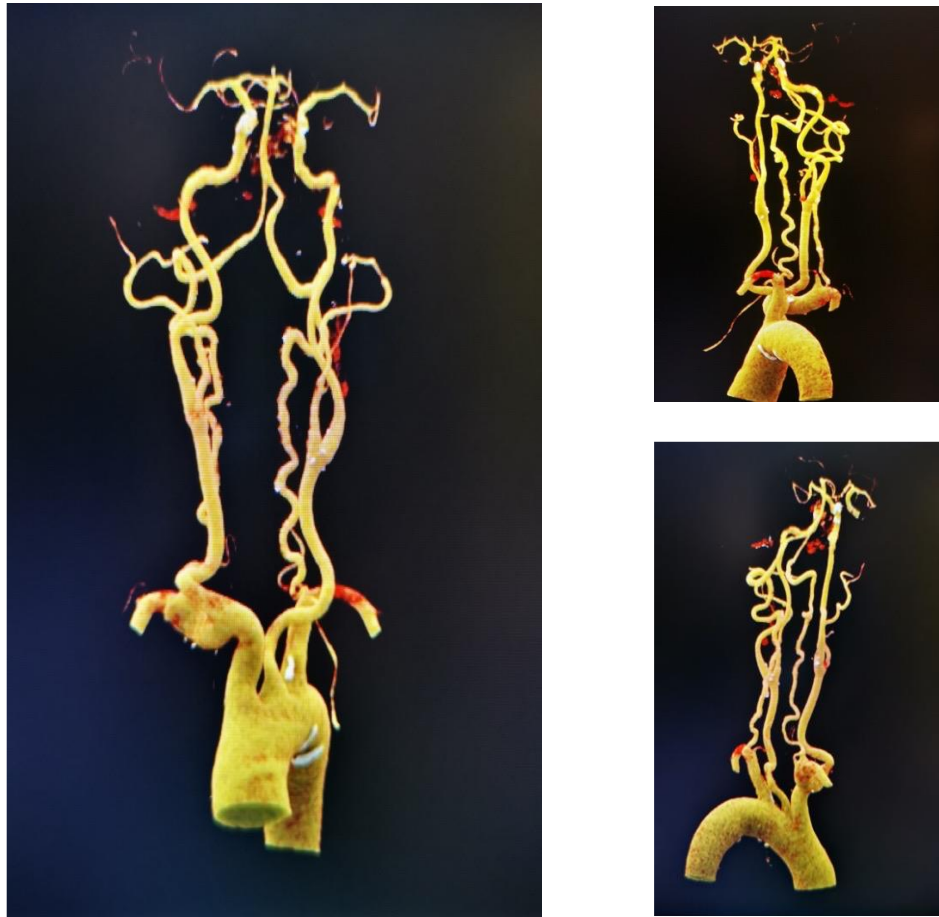


Abbildung 8 3D Modell eines repräsentativen ML einer Vertebralarterie

2.4 Statistische Auswertung

Die Erstellung von Grafiken erfolgte mit IBM SPSS Statistics 23 und Microsoft Word 2020. Zur Datenerfassung wurde Microsoft Excel 2020 verwendet. Die statistische Auswertung wurde mit IBM SPSS Statistics 23, Chicago, Illinois, USA durchgeführt. Die p-Werte wurden mittels Anderson-Darling Test, D`agostino & Pearson Test, Shapiro-Wilk Test, Kolmogorov-Smirnov Test ermittelt. Als Signifikanzgrenze wurde $p = 0,05$ festgelegt.

III Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Zunächst wurde ein Patientenkollektiv von 1508 Patienten untersucht. 507 wurden nach folgenden Hauptausschlusskriterien ausgeschlossen: Doppelte Datensätze, unzureichende Bildqualität. Fehlen der dünn-schichtigen Quellbilder zur Erstellung von

3D-Rekonstruktionen oder fehlende Gefäßdarstellung intrakraniell. Letztlich konnten nach den o.g. Ausschlusskriterien 1001 Patienten in die Studie inkludiert werden. Das Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug im Mittel 69,5 Jahre. Das Altersspektrum erstreckte sich hier von 18 bis 101 Jahre. Der IQR betrug 24 (3. Quartil 83, 1. Quartil 59).

3.2 Auftreten einer Elongation

Initial erfolgt die Differenzierung der Daten lediglich nach dem Auftreten einer Elongation unabhängig von Geschlecht, Alter, Körperseite oder Anzahl der Elongationen. Bei insgesamt 145 Patienten konnte ein loop nach den o.g. Kriterien nachgewiesen werden. Die Inzidenz mindestens einer Elongation in dieser Studie lag demnach bei 0,1448, also 14,48 %.

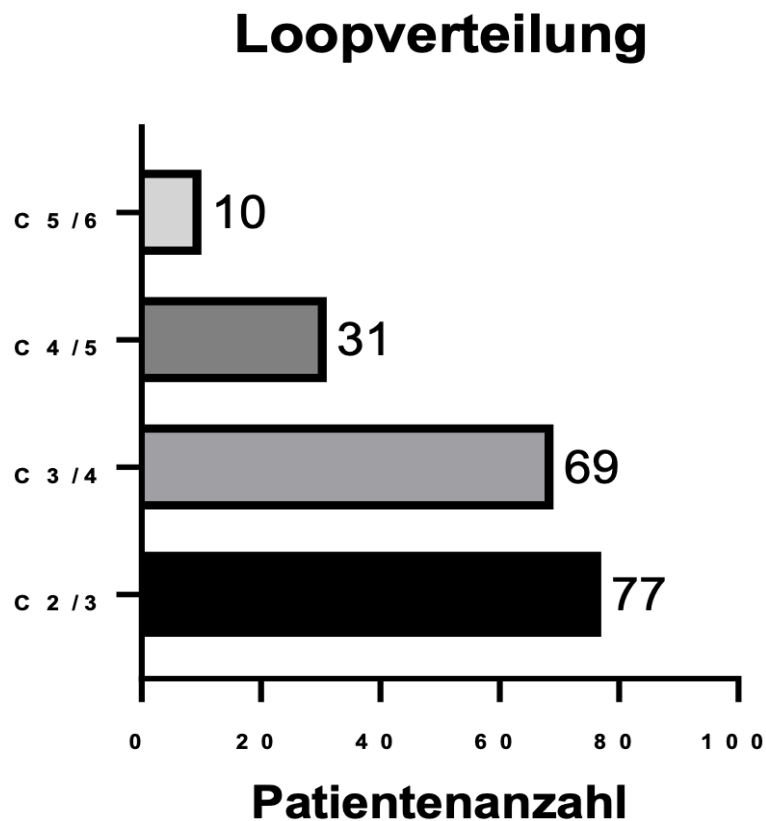
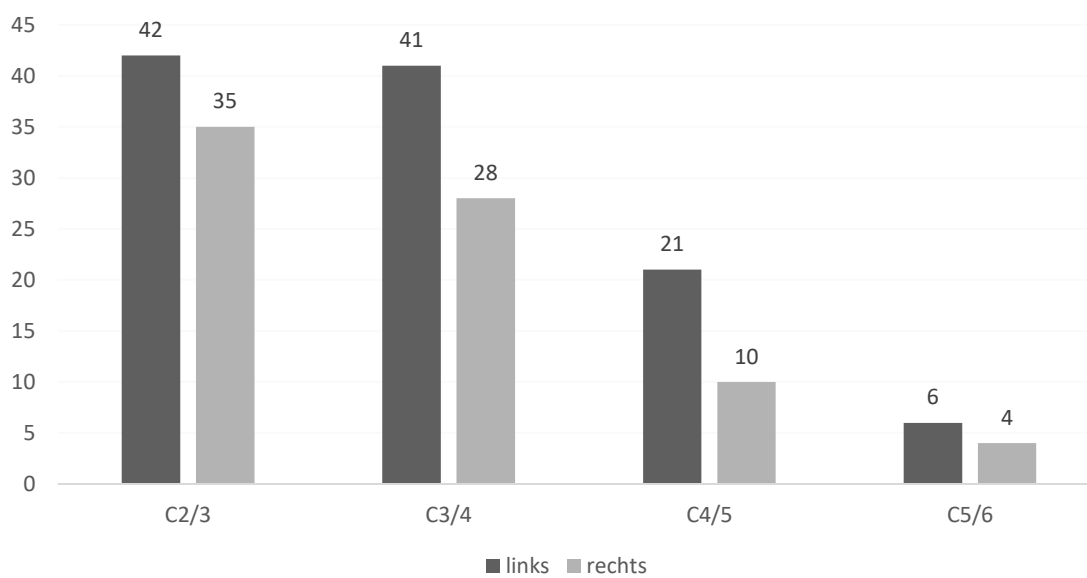


Abbildung 9 Loopverteilung auf anatomische Höhe

Die weitere Differenzierung der Elongationen erfolgte anatomisch. So konnte gezeigt werden, dass die höchste Inzidenz an loops auf Höhe C2/3 (77), gefolgt von 69

Elongationen im Segment C3/4, 31 auf Höhe C4/5 und 10 loops im Segment C5/5. gefunden werden konnte. In den Segmenten C1/2 bzw. C6/7 konnte keine Elongation der Vertebralarterie nachgewiesen werden.

Tabelle 1 anatomische Höhe loop links vs. loop rechts



Wir differenzierten anschließend die oben beschriebenen loops nach der entsprechenden Körperseite. Hierbei überwog die Inzidenz auf jeder anatomischen Höhe des V2 Segments auf der linken Seite (Tab. 2). So zeigte sich ein vermehrt linkslastiges Auftreten im C2/3 Segment von 55%, gefolgt von C3/4 von 59%, C4/5 von 68% bzw. C5/6 von 60%.

3.3 Altersverteilung mit mindestens einer vorhandenen Elongation der Vertebralarterie linksseitig

Es zeigte sich bei 106 Patienten mindestens eine Elongation auf der linken Seite. Wir stellten in den folgenden Tests das Alter gegen die Verteilung im Geschlecht mit der Voraussetzung eines loops auf der linken Seite. Das Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug im Mittel 72,33 Jahre bei den Männern bzw. 75,05 Jahre bei den weiblichen Patienten mit einer Standardabweichung von 16,49 bzw. 14,49 bei insgesamt 106 Elongationen (63 weiblich, 43 männlich) der linken Vertebralarterie (standard error 2,51 (male), 1,82 (female)). Der P- Wert ist <0,0001 bei Anderson Darling Test, D'Agostino und Pearson Test, Shapiro Wilk Test und Kolmogorov-Smirnov Test

(coefficient of variation 20,83 %). Das Altersspektrum bewegte sich hier von 22 bis 99 Jahre. Die Inzidenz für das Auftreten mindestens einer Elongation der Vertebralisarterie auf der linken Seite betrug insgesamt 10,59%, für eine weibliche Patientin 6,29% (n=63) bzw. einen männlichen Patienten 4,30% (n=43).

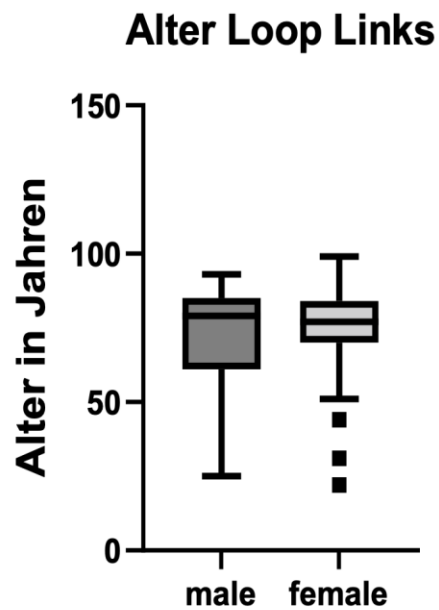


Abbildung 10: Darstellung loop links in Abhängigkeit des Geschlechts

Altersverteilung / Loop links / männ&weibl.

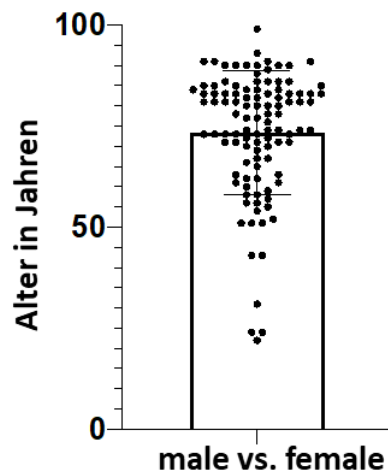


Abbildung 11: Scatter Plot Darstellung, männlich vs. Weiblich, loop links

3.4 Altersverteilung mit mindestens einer vorhandenen Elongation der Vertebralarterie rechtsseitig

Hier betrug das Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung im Mittel 79 Jahre mit einem Spektrum zwischen 25 (männlich) und 96 (männlich) Jahren bei beiden Geschlechtern. Die Standardabweichung zeigte sich mit 15,36 bei den Männern bzw. 13,13 bei den Frauen. Die rechtsseitigen Elongationen summierten sich auf 74 (standard error 2,95 (male), 1,91 (female)). Der P- Wert ist $<0,0001$ bei Anderson Darling Test, D 'Agostino und Pearson Test, Shapiro Wilk Test und Kolmogorov-Smirnov Test. Coefficient of variation 18,69 %. Die Inzidenz für das Auftreten mindestens einer Elongation rechtsseitig betrug 7,39%, für eine weibliche Patientin 4,7% (n=47) bzw. männlichen Patienten 2,7% (n=27).

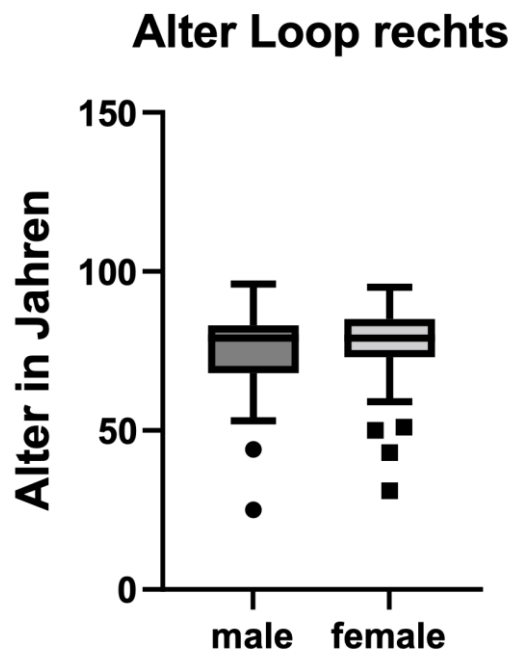


Abbildung 12: Darstellung loop rechts in Abhängigkeit des Geschlechts

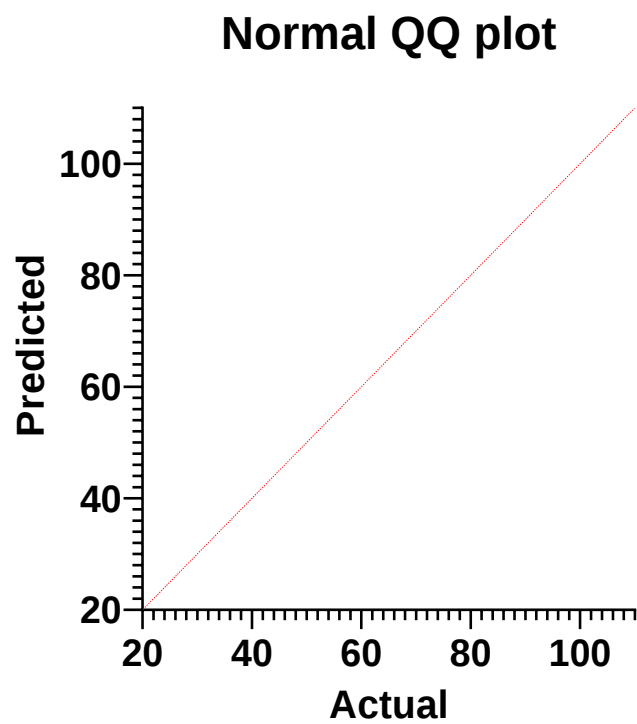


Abbildung 13: Normal QQ Plot Darstellung

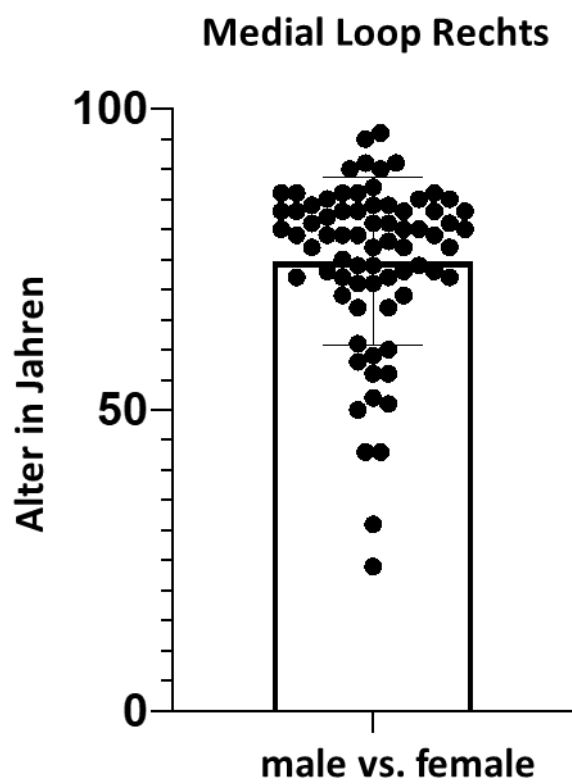


Abbildung 14: Scatter Plot Darstellung male vs. Female, medial loop right

3.5 Gegenüberstellung Auftreten einer Elongation links vs. rechts in Abhängigkeit des Geschlechts

Vergleicht man das Auftreten mindestens eines loops auf der linken Seite, so zeigt sich, dass die Inzidenz hierfür bei 10,59%, für Frauen 6,29% bzw. Männern 4,30% liegt. Die Inzidenz auf der Gegenseite liegt bei 7,39%, für Frauen 4,7% bzw. 2,7% bei Männern.

Die Inzidenz für mindestens einen loop auf der linken Seite ist demnach insgesamt um ca. 3% höher.

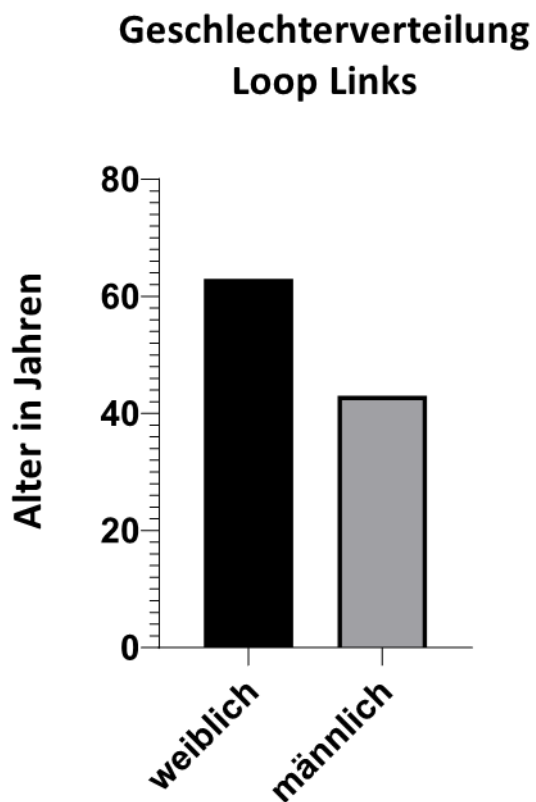


Abbildung 15: Geschlechterverteilung Loop links

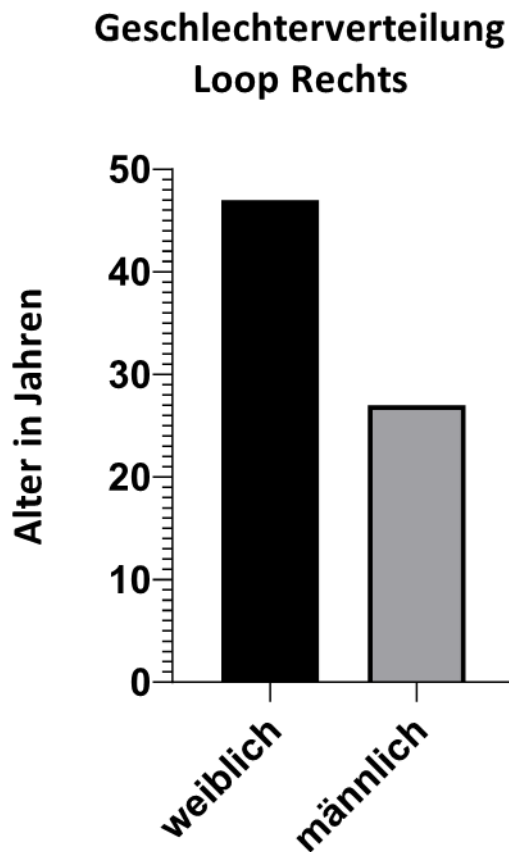


Abbildung 16: Geschlechterverteilung Loop rechts

3.6 Auftreten mindestens je einer Elongation bilateral

Die Inzidenz mindestens je einer Elongation bilateral, also links und rechts, betrug 3,49 % auf die gesamte Population berechnet. Innerhalb der Gruppe mit mindestens einer Elongation (n=145) betrug die Inzidenz 24,13 %. Standardabweichung 18,15 (male) bzw. 10,06 (female) (standard error 5,23 (male), 2,93 (female)).

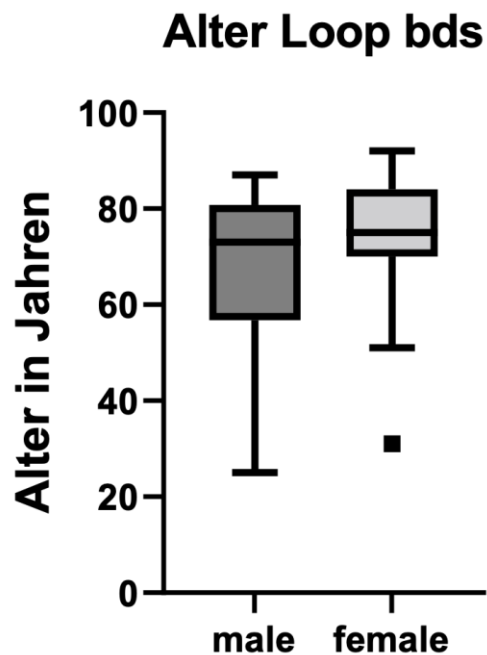


Abbildung 17: Darstellung loop bds. In Abhängigkeit des Geschlechts

So konnte ein bilateraler loop bei insgesamt 12 (1,19 %) Männern und 23 (2,29 %) Frauen nachgewiesen werden. Das Alter lag hierbei zwischen 25 Jahren bis 92 Jahre. Der Altersdurchschnitt betrug bei den männlichen Patienten 72, bei den weiblichen Patienten 75 Jahre.

3.7 Altersverteilung bei einer beidseitig vorhandenen Elongation bei Männern

Die Inzidenz bei Männern einer bilateralen Elongation beträgt 1,19 %. Der jüngste Patient war 25, der älteste 87 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt bei dem 25%-Perzentil, also dem Median unter dem 50%-Perzentil, liegt bei 56,7 Jahren. Bei dem 10 %-Perzentil liegt der Schnitt bei 30,7 Jahren. Das 75%-Perzentil bei 80,75 Jahren.

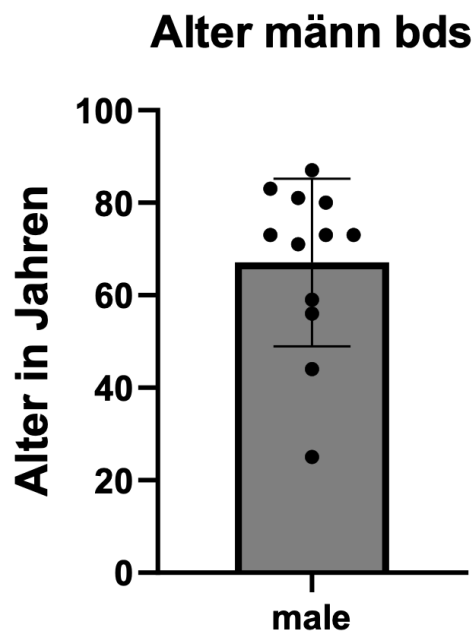


Abbildung 18: Loop bds., männlich

3.8 Altersverteilung bei einer beidseitig vorhandenen Elongation bei Frauen

Bei insgesamt 23 weiblichen Patienten konnte ein bilateraler loop nachgewiesen werden. Das Alter der hier betroffenen Patientinnen erstreckt sich von 31 bis 92 Jahre. Die Inzidenz lag bei 2,29 % und damit nahezu doppelt so hoch (1,19%) wie bei den männlichen Patienten in der betrachteten Population. Der Altersdurchschnitt bei dem 25%-Perzentil lag bei 70 Jahren. Bei dem 10 %-Perzentil liegt der Schnitt bei 55 Jahren. Das 75%-Perzentil bei 84 Jahren. Die Standardabweichung betrug 14,06.

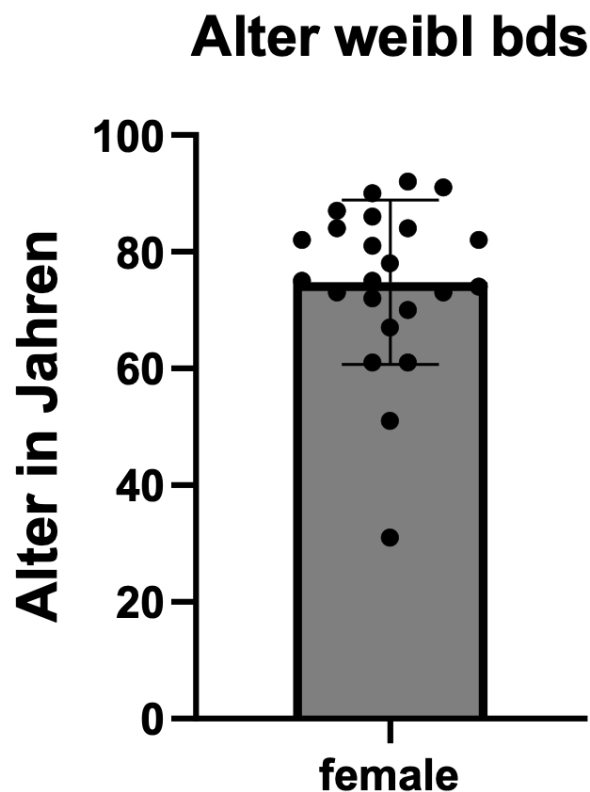


Abbildung 19: Loop bds., weiblich

IV Diskussion

Die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF) ist weiterhin der Goldstandard und erwies sich in den bisherigen Studien als häufigste Operation bei zervikaler Kompression einer Nervenwurzel oder des Rückenmarks. (Mummaneni et al., 2009)

Die Wahrscheinlichkeit einer intraoperativen Komplikation wird als sehr gering beschrieben. (Lee MJ, Bazaz R, 2007)(Fountas et al., 2007b)(Wakao et al., 2016)(H. K. Park & Jho, 2012). In einer Studie von Wakao wurde die Inzidenz einer Elongation der Vertebralisarterien untersucht. Hierbei hat man sich jedoch auf ein rein japanisches Patientenkollektiv beschränkt. Die beschriebene Inzidenz einer vorhandenen Elongation wird dort mit 1% angegeben. (Wakao et al., 2016). In dieser Arbeit konnte nun gezeigt werden, dass es in der europäischen durchschnittlichen Bevölkerung einen deutlichen Unterschied mit einer Inzidenz von 14,48 % gibt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Elongation beidseits auftritt liegt bei 3,49 %

Zwei weitere Studien (Bruneau et al., 2006; S. B. Park et al., 2012) haben sich ebenfalls mit diesem Thema beschäftigt, jedoch z.B. MR-Angiographien benutzt, um den Verlauf der Vertebralisarterien zu untersuchen. In dieser Studie hat der Autor zervikale CT-Angiographien als die zu untersuchende Diagnostik gewählt, da hier das Verhältnis zwischen Knochen und Gefäßen besser differenziert werden kann. Weiter war das Patientenkollektiv dadurch deutlich größer und erhielt somit eine höhere Signifikanz. Des Weiteren wurde in der Studie von S.B. Park, bei einer Population von 1000 Patienten, nur eine Kompression der prox. Nervenwurzel durch einen medialen loop verursacht, untersucht. Es wird keine absolute Zahl an medialen loops beschrieben,

Das Patientenkollektiv wurde unabhängig von Alter, Geschlecht oder Nationalität gebildet. Das Einschlusskriterium, wie oben beschrieben, war eine durchgeführte zervikale CT-Angiographie Diagnostik in den Jahren 2018 – 2020 am Universitätsklinikum Augsburg. Auf weitere Kriterien, wie z.B. Vorerkrankungen, Dauermedikation, Familienanamnese oder Voroperationen wurde nicht eingegangen. Die Inzidenz einer Elongation von 14,48% in dieser Arbeit ist ein Wert, dem man Beachtung schenken muss, da wie eingangs beschrieben, eine anatomische Anomalie der Vertebralisarterien das Risiko einer Komplikation bei einer Operation an der HWS erhöht (Burke et al., 2005; H. K. Park & Jho, 2012).

Um eine möglichst hohe Signifikanz der Arbeit zu erreichen, haben wir ein großes Patientenkollektiv und dieses nach unterschiedlicher Inzidenz in Alter, Geschlecht und anatomische Lage untersucht.

Ziel dieser Studie war eine deskriptive Beschreibung der Inzidenz einer Elongation der Vertebralisarterien. Die Studie zeigt sich limitiert, als dass sie nicht die Möglichkeit eines MRAs als diagnostisches Mittel untersucht. Weiter wurden diejenigen Patienten mit Nachweis einer Elongation nicht weiter verfolgt i.S. einer möglichen Ursachenforschung, wie z.B. Arteriosklerose, arterielle Hypertonie, Diabestes Mellitus, etc.

V Zusammenfassung in deutscher und englischer Sprache

Es wurde in einem Kollektiv von 1001 Patienten eine deskriptive Studie mittels CT-Angiographie Analyse durchgeführt, um die Inzidenz einer Elongation der Vertebralisarterien herauszufinden. In etwas weniger als 15% konnte eine solche Elongation nachgewiesen werden. Weiter dominierte das Auftreten eines loops auf der linken Seite im V2 Segment gegenüber der rechten Seite. Ab ca. 60 Jahren kam es zu einer erhöhten Inzidenz eines loop. Insgesamt zeigte sich das weibliche Geschlecht häufiger betroffen als das männliche. Diese Patienten zeigen demnach ein höheres Risiko einer intraoperativen Läsion an einer der beiden Vertebralisarterien bei einem ventralen Zugang zu erleiden. In den wenigen Fällen, in denen es präoperativ keine CT-Angiographie Diagnostik gibt, sollte in Anbetracht der Ergebnisse dieser Studie dringend darüber nachgedacht werden, diese zur OP-Prozessoptimierung und Risikoreduktion spätestens ab dem 60. Lebensjahr durchzuführen. Weiter sollten Neurochirurgen sich der Inzidenz einer Elongation der Vertebralisarterien, welche in dieser Studie bei ca. 15% lag, bewusst sein.

ENGLISH

In a collective of 1001 patients, a descriptive study was conducted using CT angiography analysis to determine the incidence of vertebral artery elongation. In slightly less than 15% of cases, such elongation was detected. Furthermore, the occurrence of a loop on the left side in the V2 segment was more dominant than on the right side. Around the age of 60, there was an increased incidence of loops. Overall, female patients were more frequently affected than male patients. Consequently, these patients exhibit a higher risk of intraoperative lesions in one of the two vertebral arteries during ventral access. In cases where preoperative CT angiography diagnostics are not available, considering the results of this study, it is strongly recommended to perform such diagnostics for surgical process optimization and risk reduction, especially starting at age 60. Neurosurgeons should also be aware of the incidence of vertebral artery elongation, which was approximately 15% in this study.

VI Literaturverzeichnis

- Bruneau, M., Cornelius, J. F., Marneffe, V., Triffaux, M., & George, B. (2006). Anatomical variations of the V2 segment of the vertebral artery. *Neurosurgery*, 59(1 Suppl 1), ONS20-4; discussion ONS20-4. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000219931.64378.B5>
- Burke, J. P., Gerszten, P. C., & Welch, W. C. (2005). Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery. *The Spine Journal : Official Journal of the North American Spine Society*, 5(5), 508–514; discussion 514. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.11.015>
- Debrunner, A. M. (2005). *Orthopädie, Orthopädische Chirurgie* (4. Auflage). Hans Huber.
- Demircan, M. N., Kutlay, A. M., Colak, A., Kaya, S., Tekin, T., Kibici, K., & Ungoren, K. (2007). Multilevel cervical fusion without plates, screws or autogenous iliac crest bone graft. *Journal of Clinical Neuroscience*. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2006.02.026>
- Devin, C. J., & Kang, J. D. (2009). Vertebral artery injury in cervical spine surgery. *Instructional Course Lectures*, 58, 717–728.
- Fountas, K. N., Kapsalaki, E. Z., Nikolakakos, L. G., Smisson, H. F., Johnston, K. W., Grigorian, A. A., Lee, G. P., & Robinson, J. S. (2007a). Anterior cervical discectomy and fusion associated complications. In *Spine*. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318154c57e>
- Fountas, K. N., Kapsalaki, E. Z., Nikolakakos, L. G., Smisson, H. F., Johnston, K. W., Grigorian, A. A., Lee, G. P., & Robinson, J. S. (2007b). Anterior cervical discectomy and fusion associated complications. In *Spine* (Vol. 32, Issue 21, pp. 2310–2317). <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318154c57e>
- Krämer R, Matussek J, T. T. (2014). *Bandscheibenbedingte Erkrankungen, Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung* (6.). Georg Thieme Verlag.
- Lee MJ, Bazaz R, F. C. et al. (2007). Risk factors for dysphagia after anterior cervical spine surgery: a two-year prospective cohort study. *Spine J [Internet]*, 7: 141-147.
- Mummaneni, P. V., Kaiser, M. G., Matz, P. G., Anderson, P. A., Groff, M. W., Heary, R. F., Holly, L. T., Ryken, T. C., Choudhri, T. F., Vresilovic, E. J., & Resnick, D. K. (2009). Cervical surgical techniques for the treatment of cervical spondylotic myelopathy. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 11(2), 130–141. <https://doi.org/10.3171/2009.3.SPINE08728>
- Park, H. K., & Jho, H. D. (2012). The management of vertebral artery injury in anterior cervical spine operation: A systematic review of published cases. In *European Spine Journal* (Vol. 21, Issue 12, pp. 2475–2485). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2423-8>
- Park, S. B., Yang, H. J., & Lee, S. H. (2012). Medial loop of V2 segment of vertebral artery causing compression of proximal cervical root. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 52(6), 513–516. <https://doi.org/10.3340/JKNS.2012.52.6.513>
- Petzold, T., Tesch, F., Adler, J. B., Günster, C., Niethard, F. U., & Schmitt, J. (2018). 10-year development of spine surgery in Germany: An analysis of health insurance funds data from 2005 to 2014. *Zeitschrift Fur Orthopädie*

- Und Unfallchirurgie*, 156(3), 298–305. <https://doi.org/10.1055/s-0043-124768>
- Ringel, F., Schulte, T. L., Dreimann, M., Eicker, S., Geiger, F., Hartensuer, R., & Quante, M. (2019). Leitlinie zervikale Radikulopathie – eine Übersicht. *Die Wirbelsäule*, 03(04), 251–253. <https://doi.org/10.1055/a-0988-1006>
- Sobel, J. B., Sollenberger, P., Robinson, R., Polatin, P. B., & Gatchel, R. J. (2000). Cervical nonorganic signs: A new clinical tool to assess abnormal illness behavior in neck pain patients: A pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(2), 170–175. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(00\)90136-9](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(00)90136-9)
- Todd, A. G. (2011). Cervical spine: Degenerative conditions. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s12178-011-9099-2>
- Waddell, G., McCulloch, J. A., Kummel, E., & Venner, R. M. (1980). Nonorganic physical signs in low-back pain. *Spine*, 5(2), 117–125. <https://doi.org/10.1097/00007632-198003000-00005>
- Wakao, N., Takeuchi, M., Nishimura, M., Riew, K. D., Kamiya, M., Hirasawa, A., Imagama, S., Kawanami, K., Murotani, K., & Takayasu, M. (2016). Risks for vascular injury during anterior cervical spine surgery. *Spine*, 41(4), 293–298. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001241>

Appendix

I Abkürzungsverzeichnis

medial loop (ML)
vertebral arterie (VA)
internal carotid artery (ICA),
computed tomography (CT)
computed tomographic angiographie (CTA)
anterior cervical decompression and fusion (ACDF)
vertebral arterie Verletzung VAV
medial loop of vertebral artery (VAML),
medial loop of internal carotid artery (ICAML)
Halswirbelsäule (HWS)
zervikalen Radikulopathie (ZR)
zervikalen Myelopathie (ZM)

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unterschiedliche auslösende Faktoren bei der Entstehung der degenerativen zervikalen Myelopathie, übernommen S. Kato and M. Fehlings, "Degenerative cervical myelopathy," (in eng), Curr Rev Musculoskelet Med, vol. 9, no. 3, pp. 263-71, Sep 201.....	6
Abbildung 2: Anteriorer zervikaler Zugang bei ACDF. Surgical Exposures In Orthopaedics. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, 4. Edition. P. 445	7
Abbildung 3: Direkter Zugang nach vorsichtigem anatomischen präparieren zur degenerativ veränderten Bandscheibe. Surgical Exposures In Orthopaedics. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, 4. Edition. P. 452.....	8
Abbildung 4: Nach ACDF mit Cage laterale Ebene, Universitätsklinikum Augsburg	8
Abbildung 5: Nach ACDF mit Cage anteriore Ebene, Universitätsklinikum Augsburg	9
Abbildung 6: CTA einer repräsentativen Elongation der rechten Vertebralarterie auf Höhe C4/5	13
Abbildung 7: Normale Anatomie der AV und Bezeichnung der versch.	

Unterteilungen: V0 Abgang, V1 prävertebraler Abschnitt, V2 intervertebraler Abschnitt, V3 Atlas Abschnitt, V4 intrakranieller Abschnitt (Arning, 2014)	14
Abbildung 8 3D Modell eines repräsentativen ML einer Vertebralarterie.....	15
Abbildung 9: Darstellung loop links in Abhängigkeit des Geschlechts.....	18
Abbildung 10: Scatter Plot Darstellung, männlich vs. Weiblich, loop links.....	19
Abbildung 11: Darstellung loop rechts in Abhängigkeit des Geschlechts	19
Abbildung 12: Normal QQ Plot Darstellung	20
Abbildung 13: Scatter Plot Darstellung male vs. Female, medial loop right	20
Abbildung 14: Geschlechterverteilung Loop links.....	21
Abbildung 15: Geschlechterverteilung Loop rechts	22
Abbildung 16: Darstellung loop bds. In Abhängigkeit des Geschlechts	23
Abbildung 17: Loop bds., männlich	24
Abbildung 18: Loop bds., weiblich	25

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 2 anatomische Höhe loop links vs. loop rechts.....	17
--	----

Literaturverzeichnis

- Bruneau, M., Cornelius, J. F., Marneffe, V., Triffaux, M., & George, B. (2006). Anatomical variations of the V2 segment of the vertebral artery. *Neurosurgery*, 59(1 Suppl 1), ONS20-4; discussion ONS20-4. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000219931.64378.B5>
- Burke, J. P., Gerszten, P. C., & Welch, W. C. (2005). Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery. *The Spine Journal: Official Journal of the North American Spine Society*, 5(5), 508–514; discussion 514. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.11.015>
- Debrunner, A. M. (2005). *Orthopädie, Orthopädische Chirurgie* (4. Auflage). Hans Huber.
- Demircan, M. N., Kutlay, A. M., Colak, A., Kaya, S., Tekin, T., Kibici, K., & Ungoren, K. (2007). Multilevel cervical fusion without plates, screws or autogenous iliac crest bone graft. *Journal of Clinical Neuroscience*. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2006.02.026>
- Devin, C. J., & Kang, J. D. (2009). Vertebral artery injury in cervical spine surgery. *Instructional Course Lectures*, 58, 717–728.
- Fountas, K. N., Kapsalaki, E. Z., Nikolakakos, L. G., Smisson, H. F., Johnston, K. W., Grigorian, A. A., Lee, G. P., & Robinson, J. S. (2007a). Anterior cervical discectomy and fusion associated complications. In *Spine*. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318154c57e>

- Fountas, K. N., Kapsalaki, E. Z., Nikolakakos, L. G., Smisson, H. F., Johnston, K. W., Grigorian, A. A., Lee, G. P., & Robinson, J. S. (2007b). Anterior cervical discectomy and fusion associated complications. In *Spine* (Vol. 32, Issue 21, pp. 2310–2317). <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318154c57e>
- Krämer R, Matussek J, T. T. (2014). *Bandscheibenbedingte Erkrankungen, Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung* (6.). Georg Thieme Verlag.
- Lee MJ, Bazaz R, F. C. et al. (2007). Risk factors for dysphagia after anterior cervical spine surgery: a two-year prospective cohort study. *Spine J [Internet]*, 7: 141-147.
- Mummaneni, P. V., Kaiser, M. G., Matz, P. G., Anderson, P. A., Groff, M. W., Heary, R. F., Holly, L. T., Ryken, T. C., Choudhri, T. F., Vresilovic, E. J., & Resnick, D. K. (2009). Cervical surgical techniques for the treatment of cervical spondylotic myelopathy. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 11(2), 130–141. <https://doi.org/10.3171/2009.3.SPINE08728>
- Park, H. K., & Jho, H. D. (2012). The management of vertebral artery injury in anterior cervical spine operation: A systematic review of published cases. In *European Spine Journal* (Vol. 21, Issue 12, pp. 2475–2485). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2423-8>
- Park, S. B., Yang, H. J., & Lee, S. H. (2012). Medial loop of V2 segment of vertebral artery causing compression of proximal cervical root. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 52(6), 513–516. <https://doi.org/10.3340/JKNS.2012.52.6.513>
- Petzold, T., Tesch, F., Adler, J. B., Günster, C., Niethard, F. U., & Schmitt, J. (2018). 10-year development of spine surgery in Germany: An analysis of health insurance funds data from 2005 to 2014. *Zeitschrift Fur Orthopadie Und Unfallchirurgie*, 156(3), 298–305. <https://doi.org/10.1055/s-0043-124768>
- Ringel, F., Schulte, T. L., Dreimann, M., Eicker, S., Geiger, F., Hartensuer, R., & Quante, M. (2019). Leitlinie zervikale Radikulopathie – eine Übersicht. *Die Wirbelsäule*, 03(04), 251–253. <https://doi.org/10.1055/a-0988-1006>
- Sobel, J. B., Sollenberger, P., Robinson, R., Polatin, P. B., & Gatchel, R. J. (2000). Cervical nonorganic signs: A new clinical tool to assess abnormal illness behavior in neck pain patients: A pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(2), 170–175. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(00\)90136-9](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(00)90136-9)
- Todd, A. G. (2011). Cervical spine: Degenerative conditions. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s12178-011-9099-2>
- Waddell, G., McCulloch, J. A., Kummel, E., & Venner, R. M. (1980). Nonorganic physical signs in low-back pain. *Spine*, 5(2), 117–125. <https://doi.org/10.1097/00007632-198003000-00005>
- Wakao, N., Takeuchi, M., Nishimura, M., Riew, K. D., Kamiya, M., Hirasawa, A., Imagama, S., Kawanami, K., Murotani, K., & Takayasu, M. (2016). Risks for vascular injury during anterior cervical spine surgery. *Spine*, 41(4), 293–298. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001241>