

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Klinische Radiologie  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. W. Heindel

**Radiologische Befunde bei Dissektionen der Zervikalgefäße:  
Vergleichende Bildanalyse von Digitaler Subtraktionsangiographie,  
Spiral-Computertomographie und Magnetresonanztomographie**

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur  
Erlangung des doctor medicinae  
der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster  
vorgelegt von Bauer-Conrad, Luise, geb. Conrad  
aus Stuttgart-Bad Canstatt  
2007

**Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. W. Heindel

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. G. Kuhlenbäumer

Tag der mündlichen Prüfung: 27.09.2007

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Institut für Klinische Radiologie

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. W. Heindel

Referent: Univ.-Prof. Dr. W. Heindel

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. G. Kuhlenbäumer

## ZUSAMMENFASSUNG

### **Radiologische Befunde bei Dissektionen der Zervikalgefäße: Vergleichende Bildanalyse von Digitaler Subtraktionsangiographie, Spiral- Computertomographie und Magnetresonanztomographie**

Luise Bauer-Conrad, geb. Conrad

Retrospektiv wurden anhand der bildgebenden Befunde von 38 Patienten spezifische und unspezifische radiologische Zeichen einer Dissektion der hirnversorgenden Gefäße in der Katheterangiographie, der Computertomographie (CT), sowie der Magnetresonanztomographie (MRT) und -angiographie (MRA) ausgewertet. Von insgesamt 47 dissezierten Gefäßen wurden folgende spezifische radiologische Zeichen definiert und folgende Befunde erhoben: In der Katheterangiographie: Doppellumen (0%), Kontrastmitteldepot (26,7%), String Sign (40%) und ein Intimaler Flap (0%). In der CT: exzentrisches Lumen (26,3%), Wandverdickung (26,3%), Quotient „äußerer Gefäßdurchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  (26,3%) sowie nicht-randbildendes Fett (10,5%). In der MRT: exzentrisches Lumen (67,7%), Wandhämatom (77,4%), perivaskuläres Ödem (16,1%) sowie der Quotient „äußerer Gefäßdurchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  (74,2%). In der MRA: String Sign (24,14%). Der Vergleich der Verfahren ergab: in der MRT (93,4%) wurde signifikant häufiger mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen gefunden als in der CT (57,89%), der Katheterangiographie (53,33%) oder der MRA (24,14%). In Verbindung mit einer Literaturübersicht lässt sich für die klinische Diagnostik folgende Schlussfolgerung ziehen: im Falle eines klinischen Verdachts einer Dissektion gilt in der Frühphase das CT als Erstverfahren, der besondere Vorteil der Kombinationsmöglichkeit von MRT und MRA in einer Sitzung führt zur höchsten Detektionsrate von mindestens einem spezifischen Zeichen und ist Untersuchungsmethode der Wahl in der subakuten Phase. Die Katheterangiographie sollte in zweifelhaften Fällen durchgeführt werden, da sie die höchste Auflösung mit bester Darstellung luminaler Veränderungen bietet.

Tag der mündlichen Prüfung: 27.09.2007

# Inhaltsverzeichnis

	Seite:
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
1.1 Hintergrund	7
1.2 Das klinische Bild	7
1.2.1 Dissektion der Arteria carotis interna	7
1.2.2 Dissektion der Arteria vertebralis	8
1.2.3 Epidemiologie	9
1.3 Ursachen einer Dissektion	10
1.4 Pathophysiologie der Dissektion	11
1.5 Höhenlokalisierung der Dissektion	13
1.6 Untersuchungsmethoden	14
1.6.1 Katheterangiographie	14
1.6.2 Computertomographie	15
1.6.3 Magnetresonanztomographie	15
1.6.4 Magnetresonanztomographie	16
1.7 Therapie	16
1.8 Klinischer Verlauf	17
1.9 Fragestellung	18
<b>2. MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>19</b>
2.1 Patienten	19
2.2 Untersuchungsmethoden	20
2.2.1 Katheterangiographie	20
2.2.2 Computertomographie	21
2.2.3 Magnetresonanztomographie	22

	Seite	
2.2.4	Magnetresonanzangiographie	23
2.3	Definitionen	24
2.3.1	Stenose	24
2.3.2	Occlusion	24
2.3.3	Pseudoaneurysma	24
2.3.4	Doppellumen	24
2.3.5	String Sign bzw. Flame Sign	24
2.3.6	Quotient externer Durchmesser/ Durchmesser Gegenseite	25
2.3.7	Intimaler Flap	25
2.3.8	Kinking	25
2.3.9	Coiling	26
2.4	Auswertung	26
2.5	Statistik	26
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>30</b>
3.1	Katheterangiographie	30
3.2	Computertomographie	34
3.3	Magnetresonanztomographie	38
3.4	Magnetresonanzangiographie	44
3.5	Verfahrensvergleich	47
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>48</b>
4.1	Katheterangiographie	48
4.2	Computertomographie	50

	Seite	
4.3	Magnetresonanztomographie und Magnetresonanzangiographie	53
4.4	Vergleich der Untersuchungsmodalitäten	58
<b>5.</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>64</b>
6.1	Tabellarischer Lebenslauf	64
6.2	Danksagung	66

# **1. EINLEITUNG**

## **1.1 Hintergrund**

Spontane Dissektionen zervikaler Gefäße sind für alle Altersgruppen gesehen ein eher seltener Auslöser für einen zerebralen Insult (ca. 2%), bei jungen Menschen hingegen sind sie häufig Ursache eines ischämischen Insults. Die Inzidenz wird mit 4% bis 32% angegeben [18; 23; 33; 36; 41]. Die Schwankungsbreite dieser Angaben ist durch die unterschiedliche Diagnosestellung zu erklären, je nachdem ob symptomatische, nicht-symptomatische oder nur Patienten mit dem vollständigen klinischen Bild eines Schlaganfalles retrospektiv ausgewertet wurden. Doch verursacht dieses seltene Krankheitsbild bei Patienten unter 40 Jahren 10% [26] und bei Patienten unter 30 Jahren circa 20% [6] aller ischämischen Hirninfarkte.

## **1.2 Das klinische Bild**

### **1.2.1 Dissektion der Arteria carotis interna**

Das klinische Bild einer Dissektion der Arteria carotis interna ist uneinheitlich. Man kann prinzipiell lokale Symptome von ischämischer Symptomatik unterscheiden. Lokale Initialsymptome sind ipsilaterale retroorbitale Kopfschmerzen (in 34-72% der Fälle), Nackenschmerzen (25-38%) und ein pulsatiler Tinnitus (7%). Eine Läsion des perikarotidealen Nervengeflechts bedingt ein ipsilaterales inkomplettes Horner-Syndrom (29-48%). Zudem kann es zu weiteren ipsilateralen Hirnnervenausfällen (12-13%) kommen, die meist die kaudalen Hirnnerven betreffen [3; 4; 12; 14; 18; 36; 44; 48; 52]. Zeitlich verzögert, im Durchschnitt um etwa 4 Tage, kann es zu einer ischämischen Symptomatik kommen, die sich entweder als TIA (transitorische ischämische Attacke) oder als manifeste zerebrale Ischämie mit Halbseitensymptomatik darstellt [14].

Die Häufigkeitsangaben über einen nachfolgenden Infarkt variieren stark von Veröffentlichung zu Veröffentlichung. Die Angaben reichen von 2% [31] über 5% [9] bis zu 10-20% [44].

In Bezug auf das Horner-Syndrom wird ein mechanischer Pathomechanismus infolge einer Kompression oder Streckung der tieferen Hirnnerven durch die erweiterte oder sogar aneurysmatische Arteria carotis interna diskutiert [4]. Es zeigt sich, dass in den Fällen, in denen eine Dissektion der Arteria carotis interna keine ischämischen Ereignisse (Schlaganfall oder TIA) nach sich zieht, das Auftreten eines Horner-Syndroms und Hirnnervenlähmungen signifikant häufiger ist als in Fällen mit ischämischen Ereignissen [4]. Eine Dissektion der Arteria carotis interna kann auch komplett asymptomatisch verlaufen (ca. 5%) [3; 4; 12; 14; 21; 36; 44; 52]. Bezüglich der Ischämie werden streuende Embolien aus der Stenose als ursächlich angesehen. Arbeiten die das zerebrale Infarktmuster nach Dissektionen auswerten, stützen diese Hypothese [5; 51].

### **1.2.2 Dissektion der Arteria vertebralis**

Bei Dissektionen der Arteria vertebralis kann man ebenfalls zwischen lokalen und ischämischen Symptomen unterscheiden: lokal treten initial meist Nackenschmerzen (in 45% der Fälle) und ipsilaterale okzipitale Kopfschmerzen (69%-70%) auf [48]. Häufige Beschwerden sind Übelkeit (90%), Schwindel (78%) und Erbrechen (71%).

Ischämische Symptome manifestieren sich im Durchschnitt um etwa 14 Tage verzögert. [42], die in ihrer Ausprägung von einer TIA bis zum Infarkt reichen [12; 29]. Findet die Dissektion im intraduralen Abschnitt beziehungsweise im Subarachnoidalraum statt, kann dies mit einer Subarachnoidalblutung einhergehen [10]. Auch die Dissektion der Arteria vertebralis kann asymptomatisch verlaufen (11,4%-20%) [3; 12; 27; 44; 52].

**Tabelle 1: Vergleich ausgewählter Symptome zwischen Dissektion der Arteria carotis interna und der Arteria vertebralis**

Symptome	Arteria carotis interna	Arteria vertebralis
<b>Kopfschmerzen</b>	Retroorbital 34-72%	Okzipital 69,2-70%
<b>Infarkt</b>	Kortikal und Stammganglien	Hirnstamm und Kleinhirn
<b>Asymptomatisch</b>	5%	11,4-20%
<b>Zeitl. Verzögerung zu ischämischen Symptomen</b>	4 Tage	14 Tage

### 1.2.3 Epidemiologie

Aufgrund dieses sehr unterschiedlichen klinischen Bildes muss von einer zusätzlichen Rate nicht diagnostizierter Dissektionen ausgegangen werden. Von einer epidemiologischen nordamerikanischen Studie ausgehend wird die Inzidenz einer Dissektion auf 2,6/100.000/Jahr der Gesamtbevölkerung für die Arteria carotis interna angegeben [12; 36; 46]. Die Inzidenz für Dissektionen der Arteria vertebralis wird auf 1-1,5/100.000/Jahr geschätzt [12; 44].

Spontane Dissektionen der Arteria carotis interna sind also ungefähr doppelt so häufig als Dissektionen der A.vertebralis [29].

Das mittlere Alter der Betroffenen liegt zwischen 41 und 46 Jahren [36]. Eine Studie von Pelkonen et al. zeigt, dass intrakranielle Dissektionen bei jüngeren Patienten mit einem Altersdurchschnitt von 29 Jahren auftreten [37].

Eine geschlechtsabhängige Häufung lässt sich aufgrund sehr differenter Angaben in der Literatur nicht nachweisen [34; 36; 37; 41; 45; 49; 50].

Die Mortalitätsrate der akuten zervikalen Dissektion liegt bei 1,5-4%, bleibende schwere Beeinträchtigungen finden sich in 16-37%. Milde Beeinträchtigungen bleiben in 25% der Fälle. Vollständige oder nahezu komplette Rekanalisierungen der Gefäße, einhergehend mit einer Rückbildung der Symptomatik finden in 23-85% der Fälle statt [3; 50]. Hierbei zeigen extrakranielle Dissektionen einen günstigeren Verlauf als intrakraniellen Dissektionen [3].

### **1.3 Ursachen einer Dissektion**

Die Ursachen einer Dissektion werden kontrovers diskutiert. Vorausgehen können sehr unterschiedliche Ereignisse, neben sogenannten adäquaten Traumen spielt auch die chiropraktische Behandlung eine Rolle. Weiterhin können Dissektionen spontan oder nach Bagateltraumen wie längeres Reklिनieren des Kopfes oder eine ruckartige Bewegung (Rotation, Reklination oder Flexion) beim Sport, auftreten [3; 4; 12; 18; 21; 36; 37]. Dabei wird die Arteria carotis interna über den Processus transversus des nächsthöheren zervikalen Wirbels gespannt und vermutlich dadurch geschädigt [36]. Die Arteria vertebralis hingegen wird über die Massa lateralis von C1 und C2 gespannt und komprimiert [36].

Desweiteren spielen hereditäre Bindegewebserkrankungen eine Rolle, so ist das Auftreten einer Dissektion bei Patienten mit Fibromuskulärer Dysplasie (in 12% der Dissektionen), Marfan-Syndrom, Ehler-Danlos-Syndrom Typ IV (14-16% der Dissektionen),  $\alpha$ 1-Antitrypsinmangel und zystischer Mediadegeneration häufiger als in vergleichbarer Normalbevölkerung [7; 12; 36; 37; 44; 49].

Mehr-Gefäß-Dissektionen sind häufig, bei Dissektionen der Arteria carotis interna ergaben Untersuchungen in 20% ein bilaterales Auftreten, bei Dissektionen der Arteria vertebralis lag die Rate noch höher. In mehr als 8% der Dissektionsfälle der Arteria carotis interna lag gleichzeitig eine Dissektion der Arteria vertebralis vor oder zumindest Zeichen einer vorangegangenen Dissektion [2; 14].

Dies unterstützt die Hypothese einer möglichen zugrundeliegenden pathologischen Gefäßschwäche [36].

Manche Autoren diskutieren einen infektiösen Trigger als Ursache der Dissektion, so zum Beispiel wiederholte Infektionen des Respirationstraktes [42]. Der saisonale Inzidenzgipfel im Herbst stützt diese Theorie [7].

Desweiteren spielen Risikofaktoren wie arterielle Hypertension, in Studien mit Häufigkeiten zwischen 28 und 53% der Patienten angegeben, Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, eine milde Hyperhomocysteinämie, Rauchen sowie die Einnahme oraler Kontrazeptiva eine Rolle [4; 12; 29; 36; 39].

## **1.4 Pathophysiologie der Dissektion**

Eine Dissektion entsteht durch eine Einblutung in die Gefäßwand. Über die Entstehung dieser Einblutung existieren zwei Theorien:

- Erstens kann ein Einriss der Tunica intima des Gefäßes die Ursache sein, die in der Regel quer zum Blutstrom verläuft. Es wühlt sich Blut zwischen Intima und Media und breitet sich nach distal aus. Dadurch entsteht ein Wandhämatom im subintimalen Gewebe und führt zu einer Stenose oder gar Occlusion des Gefäßes [18; 36; 44].
- Zweitens könnte die Ruptur eines Vas vasorum, also eines die Gefäßwand versorgenden Gefäßes ursächlich sein. Die Blutung breitet sich in diesem Fall in der Tunica muscularis oder in der Tunica adventitia aus. Im Falle der Ausbreitung in der Tunica muscularis kommt es ebenfalls zur Lumeneinengung, breitet sich ein Wandhämatom allerdings in der Tunica adventitia aus, entsteht ein Pseudoaneurysma [1; 52].

Unabhängig vom Pathomechanismus entsteht ein Wandhämatom, welches je nach Lokalisation und Ausdehnung zu den unterschiedlichen Symptomen einer zervikalen Dissektion führt.

Obwohl die genaue Ursache einer Dissektion nicht feststeht, weisen pathologische Studien von Dissektionsfällen eher auf den letztgenannten Entstehungsmechanismus hin [43]. Die postmortale Klärung der Genese ist insofern erschwert, als Pseudoaneurysmata sich zurückbilden und Stenosen oder Occlusionen sich rekanalisieren können [24; 29].

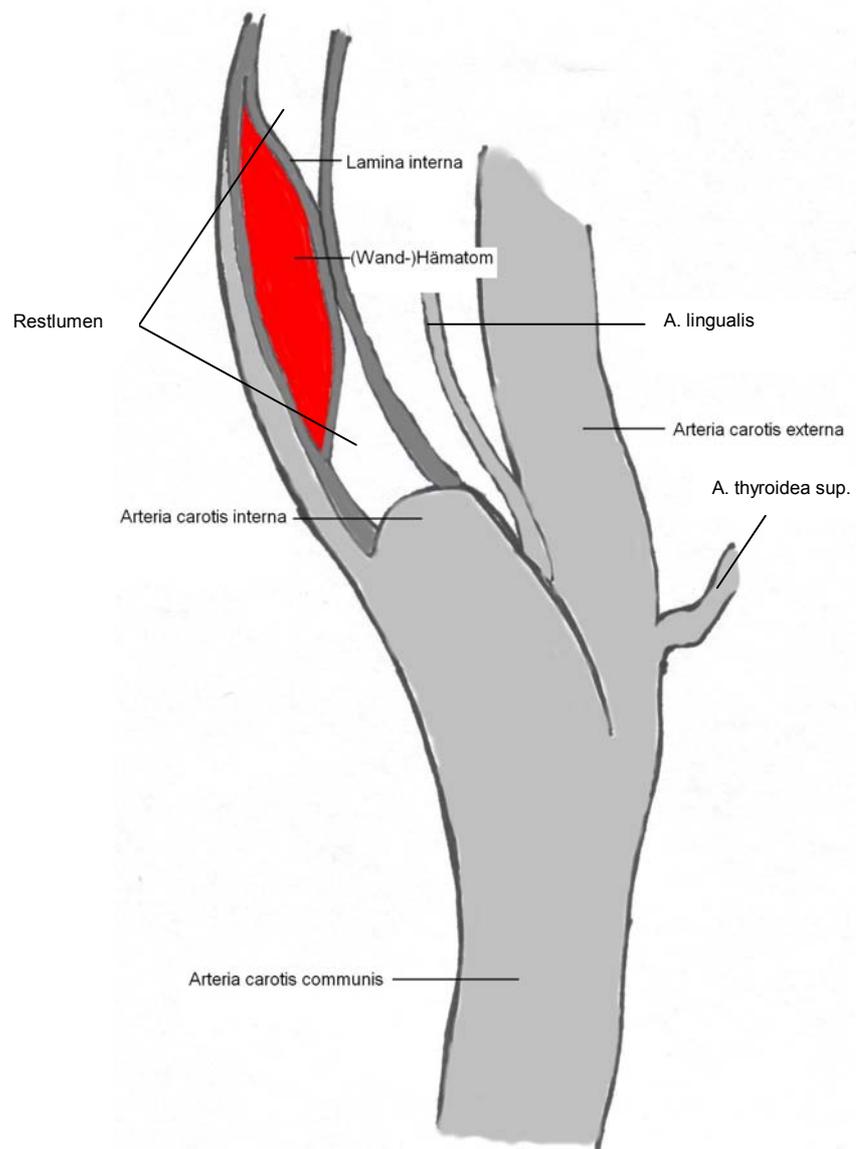


Abb.1: Schematische Darstellung einer Dissektion am Beispiel der Arteria carotis interna

## **1.5 Höhenlokalisierung der Dissektion**

Anatomisch wird die Arteria vertebralis in die Segmente V1 bis V4 eingeteilt:

- V1 proximal des Eintritts in das Foramen transversum
- V2 im Foramen transversum zwischen den Wirbeln C6 und C2
- V3 zwischen dem Austritt aus dem Foramen transversum und dem Eintritt in die Dura mater
- V4 nach dem Eintritt in die Dura mater

Für die Arteria carotis interna gibt es eine Einteilung in die Segmente C1 bis C7:

- C1 ist die Pars cervicalis zwischen Bifurcatio carotidis
- C2 ist die Pars petrosa, liegt also im Karotiskanal des Felsenbein
- C3 ist die Pars lacerum
- C4 ist die Pars cavernosa im Sinus cavernosus, auch Karotissiphon genannt
- C5 das clinoide Segment
- C6 ist die Pars ophtalmica
- C7 ist Pars communicans

Die Angaben über die häufigste Lokalisation einer cervikalen Dissektion schwanken.

Für die Dissektionen der Arteria vertebralis war bei Pelkonen et al. das V1-Segment auf Höhe der Wirbelkörper C6/Th1 am häufigsten betroffen [36]. Mokri et al. beschrieben eine Häufung bei den Wirbelkörpern C1-C2 entsprechend dem V3-Segment [30].

Bei Dissektionen der Arteria carotis interna wird eine Häufung im C1-Segment beschrieben [23].

## **1.6 Untersuchungsmethoden**

### **1.6.1 Katheterangiographie**

Die Katheterangiographie wird als Digitale Subtraktionsangiographie durchgeführt, das heißt das zunächst eine Nativaufnahme angefertigt wird, durch die aus den folgenden Aufnahmen mit Kontrastmittel knöcherne und Weichteilstrukturen herausgerechnet werden können. Sie weist durch den invasiven Charakter der Untersuchung eine Reihe von Komplikationen auf: da die Angiographie normalerweise durch die Femoralgefäße erfolgt, kann es in der Leistengegend zu Infektionen, Nachblutungen oder Hämatomen (ca. 7%) kommen, im ungünstigsten Fall kann eine operative Ausräumung nötig werden [53]. Durch das Vorschieben des Katheters kann es zu Verletzungen der Gefäßwand kommen [32]. Es können durch den Katheter Embolien ausgelöst werden. Heiserman et al. beschreiben bei 1000 konventionellen zerebralen Angiographien in 1% der Fälle neurologische Ausfälle und 0,5% bleibende Defizite. Diese Komplikationen traten alle bei Patienten auf, die älter waren und bereits in der Vorgeschichte eine TIA oder einen Schlaganfall erlitten hatten [16]. Zudem können allergische Reaktionen bei jodhaltigen Kontrastmitteln auftreten. Diese ereignen sich bei i.v. Gabe in ca. 3%, bei i.a. Gabe in ca. 1% der Fälle [28; 47].

Das häufigste Zeichen der Dissektion ist die hochgradige Stenose, die sich typischerweise über eine längere Strecke ausdehnt, einen zipfligen Verlauf zeigt und gegebenenfalls in einem vollständigen Verschluss endet. Dieser Befund findet sich in 61-80% der Fälle [29; 36; 49] und wird auch als „string sign“ beschrieben [13]. Rund 20% der Stenosen dehnen sich bis in den intraduralen Abschnitt des Gefäßes aus. Als weiterer angiographischer Befund werden Pseudoaneurysmata in 11% der Fälle gefunden. Extradural erscheinen die Pseudoaneurysmata sackförmig und weisen eventuell fingerförmige Ausdehnungen parallel zum Gefäßverlauf auf. Intradural zeigen sie ein eher fusiformes Erscheinungsbild [29; 32; 49]. In abnehmender Häufigkeit kann man flammenförmige Occlusionen (28%) [36; 49] und sogenannte Intimale Flaps in der Angiographie finden [29; 36]. Ein Intimaler Flap beschreibt ein in das Gefäßlumen hineinragendes Intimagewebsfetzen. Es kann des weiteren ein Doppellumen auftreten, wobei dieses entweder abrupt endet oder sich wieder dem normalen Gefäßverlauf

anschließen kann [36; 41]. In manchen Fällen kann in der Angiographie sogar ein Intimaeinriss nachgewiesen werden [1].

In zweifelhaften Fällen kann zum Teil erst eine Kontrollangiographie die typischen Veränderungen der Dissektion darstellen [36].

### **1.6.2 Computertomographie**

Als röntgenbasiertes Schnittbildverfahren bietet die Computertomographie, die heute üblicherweise als Spiral-CT durchgeführt wird, eine Darstellung in der Schicht. Insofern können auch extraluminale Veränderungen erkannt werden.

Der computertomographische Nachweis einer Gefäßenge mit exzentrischen Lumen in Verbindung mit einer Zunahme des Gesamtgefäßdurchmessers wurde von Leclerc et al. als zuverlässiges Zeichen für eine Dissektion beschrieben [23].

Folglich lassen sich unspezifische von spezifischen Veränderungen unterscheiden: Als unspezifische Zeichen gelten: Stenosen, Occlusionen und Pseudoaneurysmata. Als spezifische Zeichen gelten: exzentrisches Lumen, Wandverdickung, nicht-randbildendes Fett und ein Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$ . [23; 32; 41].

Vor einigen Jahren war ein Nachteil der Computertomographie, dass eine angiographische Darstellung nicht möglich war. Durch die CT-Angiographie als multiplanare oder maximale Intensitätsprojektion lässt sich eine Angiographie simulieren. [13]

### **1.6.3 Magnetresonanztomographie**

Die Magnetresonanztomographie ist ein nicht röntgenbasiertes Schnittbildverfahren. Zeichen der Dissektion, die mittels Magnetresonanztomographie detektierbar sind, sind analog zur CT zum einen unspezifische radiologische Veränderungen wie Stenosen, Occlusionen und Pseudoaneurysmata und zum anderen spezifische Veränderungen in

der Folge einer Dissektion: exzentrisches Lumen, Wandhämatom, perivaskuläres Ödem und der Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$ .

Vorteile der Magnetresonanztomographie sind der bessere Weichteilkontrast sowie die nicht vorhandene Strahlenexposition. Zudem besteht die Möglichkeit der Fettsuppression, durch die auch bei geringer Ausprägung einer Dissektion in den T1- und T2-gewichteten Sequenzen als Folge der intramuralen Blutung und damit des intramuralen Hämatoms, ein charakteristisches halbmondförmiges hyperintenses Signal dargestellt werden kann [13; 15; 52]. Die Fettsuppression hilft dabei das signalreiche Wandhämatom vom ebenfalls signalreichen umliegenden Fettgewebe zu unterscheiden [13].

Eine Magnetresonanztomographie kann nicht durchgeführt werden bei Patienten, die einen Herzschrittmacher tragen oder die ferromagnetische Metalle implantiert haben.

#### **1.6.4 Magnetresonanzangiographie**

Die Magnetresonanzangiographie ist eine besondere Sequenz der Magnetresonanztomographie und wird mit z.B. Gadoliniumhaltigem Kontrastmittel durchgeführt. Durch die Magnetresonanzangiographie können unspezifische Veränderungen des Gefäßverlaufes wie die Stenose, die Occlusion oder das Pseudoaneurysma detektiert werden. Als spezifisches radiologisches Zeichen in der Folge einer Dissektion wird das String Sign definiert.

Allergische Reaktionen liegen bei Gadoliniumhaltigen Kontrastmittel bei 0,2% [28].

### **1.7 Therapie**

Die Therapie der supraaortalen Dissektion ist in erster Linie konservativ in Form einer Antikoagulation. Parallel wird eine Thrombozytenaggregationshemmung durchgeführt. Die Dauer der Behandlung richtet sich nach dem Grad der Rekanalisierung und dauert üblicherweise 3-6 Monate [42].

Die Therapie sollte frühstmöglichst beginnen, da die auf dem Boden einer Dissektion entstehenden Infarkte in der Regel embolischer Natur sind und durch die Heparinisierung zerebrale Ischämien verhindert werden können [52].

Ein Problem sind sicherlich die intraduralen Dissektionen, da die Antikoagulation in diesem Fall ein Subarachnoidalblutung zur Folge haben kann [50; 52].

Kontraindikationen für die antikoagulatorische Therapie sind ein großer Infarkt, ein hämorrhagischer Umbau im Infarktgebiet oder intrakranielle Aneurysmen.

In der Folge sollten bildgebende Verlaufskontrollen durchgeführt werden, um die Dauer der Antikoagulation festzulegen. Die Rekanalisation erfolgt in sehr unterschiedlichem zeitlichen Abstand zur Dissektion und kann innerhalb weniger Stunden eintreten oder Monate dauern. Den individuellen Zeitpunkt dieser Rekanalisation gilt es mittels Sonographie oder Kernspintomographie zu erfassen und daraufhin die Antikoagulation zu beenden [42; 52].

Durchschnittlich erfolgt die Rekanalisation in den ersten zwei bis drei Monaten [12].

## **1.8 Klinischer Verlauf**

Der weitere Verlauf und die Prognose der Dissektionspatienten hängen zum einen davon ab, ob ein Infarkt eintritt oder ob sie lediglich lokale Symptome aufwiesen. Zum anderen ist entscheidend ob eine Rekanalisierung erfolgt. Werden die oft unspezifischen lokalen Initialsymptome frühzeitig erkannt und eine sofortige Therapie eingeleitet, ist die Rate der Rekanalisierung hoch (60-85%) [14; 22; 52]. Bei Infarktpatienten liegt die komplette Rekanalisierungsrate bei 28% [3].

Im Falle einer Stenose kann in 82% in der Follow-up-Untersuchung ein normales oder nahezu normales Gefäß gefunden werde, während lediglich 30% der occludierten Gefäße diesen Verlauf ausweisen. 67% dieser occludierten Gefäße zeigen keinerlei Veränderung, während 3% sogar eine zunehmende Thrombosierung aufweisen [14; 36]. Zudem hat eine intrakranielle Dissektion eine schlechtere Prognose als eine extrakranielle Dissektion [37].

Die Letalität liegt bei 5%, persistierende neurologische Defekte werden in 20% der Fälle beobachtet [52]. In einer Studie, die Pseudoaneurysmata im Verlauf untersucht,

kommen Djouhri et al. zu dem Ergebnis, dass 77% unverändert bleiben, 15,4% an Größe abnehmen und 7,7% sich völlig zurückbilden [11].

Das Risiko im Verlauf der Behandlung einen Schlaganfall zu erleiden liegt bei schweren Stenosen oder Occlusionen über ein Jahr gesehen bei 1,4%.

Das Risiko einer erneuten Dissektion in einem zunächst nicht beteiligten Gefäß liegt im ersten Monat bei 2%, sinkt dann aber im Verlauf auf 1% pro Jahr [44; 45].

## **1.9 Fragestellung**

Ziel dieser Arbeit ist es, bei Patienten mit gesicherter supraaortaler Dissektion die Häufigkeiten unspezifischer und spezifischer radiologischer Zeichen der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden festzustellen und herauszuarbeiten welche Untersuchungsmodalität die höchste Rate mindestens eines spezifischen radiologischen Zeichens einer Dissektion aufweist.

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1 Patienten**

Zwischen den Jahren 1994 und 2002 wurden in der Neurologischen Klinik des Universitätsklinikums Münster 140 Patienten mit Verdacht auf eine Dissektion der Arteria carotis interna oder der Arteria vertebralis behandelt. Aus diesem Kollektiv wurden retrospektiv die Patienten in die Studie einbezogen, von denen bei gesicherter supraaortaler Dissektion eine Bildgebung in Form einer konventionellen Angiographie, Computertomographie oder Magnetresonanztomographie zur Verfügung stand. Es wurde das Bildmaterial von 38 Patienten evaluiert.

Fünf der 38 Patienten hatten Dissektionen in zwei verschiedenen Gefäßen, zwei weitere sogar in drei Gefäßen, so dass die Gesamtzahl der untersuchten Dissektionen bei 47 lag. Im folgenden wird immer Bezug auf die Anzahl der betroffenen Gefäße und nicht auf die Anzahl der Patienten genommen. So liegt die tatsächliche Zahl der durchgeführten Untersuchungen niedriger, da bei zwei betroffenen Gefäßen das gleiche Bildmaterial verwendet wurde um jedes betroffene Gefäß einzeln beurteilen zu können.

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 15 Frauen und 23 Männern im Alter von 22 bis 72 Jahren zusammen. Das Durchschnittsalter lag bei 41 Jahren. In 29 Fällen lag eine Dissektion der Arteria carotis interna vor, in 18 Fällen eine Dissektion der Arteria vertebralis.

**Tabelle 2: Verteilung der Dissektionen nach Geschlecht**

	<b>Arteria carotis interna</b>		<b>Arteria vertebralis</b>	
	rechts	links	Rechts	links
<b>Frauen</b>	6	6	3	6
<b>Männer</b>	4	13	3	6
<b>Insgesamt</b>	10	19	6	12

**Tabelle 3: Übersicht über Patienten mit mehreren betroffenen Gefäßen**

	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis	
	rechts	links	rechts	links
<b>Patient 1 (w)</b>	Diss.	Diss.		
<b>Patient 2 (m)</b>	Diss.	Diss.		Diss.
<b>Patient 3 (w)</b>			Diss.	Diss.
<b>Patient 4 (w)</b>		Diss.	Diss.	Diss.
<b>Patient 5 (m)</b>			Diss.	Diss.
<b>Patient 6 (w)</b>	Diss.			Diss.
<b>Patient 7 (w)</b>	Diss.	Diss.		

W = weiblich; M = männlich; Diss. = dieses Gefäß weist eine Dissektion auf

## **2.2 Untersuchungsmethoden**

### **2.2.1 Katheterangiographie**

Bei 15 betroffenen Gefäßen wurde eine Katheterangiographie durchgeführt.

Die konventionellen Angiographien wurden in digitaler Subtraktionstechnik selektiv in zwei Ebenen durchgeführt (Integris, Philips, Best, Niederlande)

Die Zeit vom Auftreten der Symptome bis zur Durchführung der Angiographie lag zwischen 8 Tagen und (in einem Einzelfall) 217 Tagen, im Median 14 Tage.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurden für die Katheterangiographie folgende radiologische Zeichen als spezifisch in der Folge einer Dissektion festgelegt [17; 41]:

- Doppellumen
- Kontrastmitteldepot
- String Sign
- Intimaler Flap

Als unspezifische Veränderungen galten hingegen:

- Stenose
- Occlusion
- Pseudoaneurysma

Desweiteren erfolgte eine Höhenlokalisierung der Dissektion, Hinweise für eine fibromuskuläre Dysplasie (FMD) wurden erfasst.

### **2.2.2 Computertomographie**

Bei 19 betroffenen Gefäßen wurde eine Computertomographie durchgeführt.

Alle computertomographischen Untersuchungen wurden in Spiral-Technik nach intravenöser Kontrastmittelgabe durchgeführt. In den Jahren 1995 bis 2000 wurde ein 1-Zeilen Spiral-CT benutzt (Tomoscan, Philips, Best, Niederlande). Ab dem Jahr 2000 wurde ein 4-Zeilen Detektor CT (Volume Zoom, Siemens, Erlangen, Deutschland) verwendet.

Die Zeit vom Auftreten der Symptome bis zur Durchführung der Computertomographie betrug vom gleichen Tag bis zu (in einem Einzelfall) 116 Tage später, im Median 2 Tage.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurden folgende radiologische Zeichen als spezifisch in der Folge einer Dissektion festgelegt [23]:

- exzentrisches Lumen
- Wandverdickung
- Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$
- Nicht-randbildendes Fett (nur für die Arteria carotis interna)

Als unspezifische radiologische Veränderungen galten hingegen:

- Stenose
- Occlusion
- Pseudoaneurysma

Zusätzlich erfolgte eine höhenlokalisatorische Einordnung der Dissektion, die Erfassung der Infarkthäufigkeit und es erfolgte eine Zuordnung zum Versorgungsgebiet des dissezierten Gefäßes. Es wurde hierbei unterschieden in vorderes, zugehörig zur Arteria carotis interna, und hinteres Stromgebiet, zugehörig zur Arteria vertebralis. Infarkte des vorderen Stromgebiets wurden weiterhin unterteilt in kortikale Infarkte und Infarkte der Stammganglien, Infarkte des hinteren Stromgebietes wurden weiterhin unterteilt in Infarkte des Kleinhirns und Infarkte des Hirnstamms.

### **2.2.3 Magnetresonanztomographie**

Bei 31 betroffenen Gefäßen wurde eine Kernspintomographie durchgeführt. Es kamen hierbei zwei verschiedene Geräte mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla zum Einsatz: Magnetom SP, Siemens, Erlangen, Deutschland und Gyroscan Intera, Philips, Best, Niederlande. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde lediglich die in allen Fällen zur Verfügung stehende, axiale T2-Wichtung ausgewertet.

Die Zeit vom Auftreten der Symptome bis zur Durchführung der Kernspintomographie betrug zwischen 1 und 37 Tagen, im Median 10 Tage.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurden folgende radiologische Zeichen als spezifisch in der Folge einer Dissektion festgelegt: [41]

- exzentrisches Lumen
- Wandhämatom
- Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$
- Perivaskuläres Ödem

Als unspezifische radiologische Veränderungen galten hingegen:

- Stenose
- Occlusion
- Pseudoaneurysma
- Thrombus

Zusätzlich erfolgte neben der höhenlokalisatorischen Einordnung der Dissektion die Erfassung eventuell vorliegender Infarkte und ihre Zuordnung zum Versorgungsgebiet

des dissezierten Gefäßes. Es wurde dabei in vorderes und hinteres Stromgebiet mit den Unterteilungen kortikaler Infarkt und Infarkt der Stammganglien (vorderes Stromgebiet) und Infarkt des Kleinhirns und Infarkt des Hirnstamms und zusätzlich die differenzierte Lokalisation eines Infarktes im Thalamus (hinteres Stromgebiet) unterschieden.

## 2.2.4 Magnetresonanzangiographie

In 29 Fällen wurde zusätzlich zur Magnetresonanztomographie eine MR-Angiographie durchgeführt. Es kamen dabei Time-of-flight (TOF) und Kontrastmittel-MRA-Sequenzen zum Einsatz.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurden folgende als radiologische Zeichen als spezifisch in der Folge einer Dissektion festgelegt:

- String Sign/Flame Sign

Als unspezifische radiologische Veränderungen galten hingegen:

- Stenose
- Occlusion
- Pseudoaneurysma

**Tabelle 4: Durchgeführte Untersuchungen an den einzelnen Gefäßen**

Untersuchungs- methode	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis		Insgesamt
	Rechts	Links	rechts	links	
<b>Katheterangio</b>	2	6	3	4	15
<b>CT</b>	5	9	1	4	19
<b>MRT</b>	7	10	4	10	31
<b>MR-A</b>	7	8	4	10	29

## **2.3 Definitionen**

### **2.3.1 Stenose**

Als Stenose ist eine partielle Verengung des Gefäßlumens definiert.

### **2.3.2 Occlusion**

Die Occlusion ist definiert als vollständiger Verschluss eines Gefäßes.

### **2.3.3 Pseudoaneurysma**

Ein Pseudoaneurysma stellt eine Aussackung nicht aller sondern nur der äußeren Gefäßschichten dar.

### **2.3.4 Doppellumen**

Ein Doppellumen entsteht durch einen Einriss in der Intima der Gefäßwand und der darauffolgenden Wühlblutung zwischen die Wandschichten des Gefäßes. Es kommt dabei zur Darstellung zweier Lumina, wobei es möglich ist, dass die Wühlblutung wieder Anschluss an das Gefäßlumen findet.

### **2.3.5 String Sign / Flame Sign**

Das String Sign ist eine für eine Dissektion typisch konfigurierte langstreckige Gefäßwandveränderungen und spitzauslaufender Stenosen. [13; 41] Das Flame Sign ist eine spitzauslaufende Occlusion [34]. In dieser Doktorarbeit wird die spitzauslaufende Occlusion aber ebenfalls als String Sign bezeichnet.

### **2.3.6 Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“**

Der Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser der Gegenseite“ wurde bestimmt um eine Aussage über einen durch ein Wandhämatom womöglich veränderten äußeren Gefäßdurchmesser machen zu können. Da der Durchmesser der Gefäße interindividuell stark schwankt wurde die Gegenseite als Vergleichswert hinzugezogen. War das rechnerische Ergebnis größer oder gleich 1,2 wurde dies als spezifische radiologische Veränderung als Folge einer Dissektion gewertet.

Bei Fällen in denen eine beidseitige Dissektion vorlag wurde zur Bildung des Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser der Gegenseite“ nicht der Durchmesser der Gegenseite sondern ein statistischer Normwert angenommen und somit verhindert, dass beidseitig pathologisch veränderte Gefäßdurchmesser aus der Statistik fallen.

### **2.3.7 Intimaler Flap**

Eine Dissektion beruht auf einem Einriß der Intima einer Gefäßwand. Ragt in der Folge dieses Einrisses ein Intimagewebsstück in das Gefäßlumen hinein, bezeichnet man dies als Intimalen Flap.

### **2.3.8 Kinking**

Als Kinking bezeichnet man eine Knickbildung und Verlängerung eines Gefäßes [13].

### **2.3.9 Coiling**

Als Coiling ist eine Verlängerung des Gefäßes in einer oder in mehreren Schleifen definiert.

## **2.4 Auswertung**

Es wurden standardisierte Fragebögen erarbeitet und anhand derer erfolgte die Auswertung des radiologischen Bildmaterials am Alternator durch zwei erfahrene Radiologen der Universitätsklinik Münster im Konsens: S. K. und R. B. .

## **2.5 Statistik**

Die Datenverarbeitung erfolgte am Computer mit dem Programm Filemaker Pro 6. Zur statistischen Auswertung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsmethoden wurde ein exakter Test nach Fisher durchgeführt. Signifikanz wurde angenommen ab einem p-Wert  $<0,05$ .

# Konventionelle Angiographie

NameCode	<input type="text" value="NameCode"/>
Name	<input type="text" value="::Name"/>
Vorname	<input type="text" value="::Vorname"/>

Befund.Dat  sort

## Befunde.Angio

Dissektion.Angio  ja  nein ACI.Angio  links  rechts  beidseitig

VA.Angio  links  rechts  beidseitig

AngioDat.  Tage bis zur Untersuchung

Höhe.Angio.ACI  C1  C2  C3  C4  C5  C6  C7

Höhe.Angio.VA  V1  V2  V3  V4

Occlusion.Angio  ja  nein Stenose.Angio  ja  nein

Pseudoaneurysma.Angio  ja  nein Doppellumen.Angio  ja  nein

Intimaler Flap.Angio  ja  nein String Sign.Angio  ja  nein

FMD.Angio  ja  nein KM.Depot.Angio  ja  nein

Besonderheiten

Fragebogen 1 zur Erhebung der Daten der Katherterangiographie

# CT-A

NameCode	<input type="text" value="NameCode"/>
Name	<input type="text" value="Name"/>
Vorname	<input type="text" value="Vorname"/>

Befund.Dat  sort

## Befunde.CT

Dissektion.CT  ja  nein ACI.CT  links  rechts  beidseitig

VA.CT  links  rechts  beidseitig

CT.Dat  Tage bis zur Untersuchung

Höhe\_ACI.CT  C1  C2  C3  C4  C5  C6  C7

Höhe\_VA.CT  V1  V2  V3  V4

Occlusion.CT  ja  nein Stenose.CT  ja  nein

Pseudoaneurysma\_umschriebene Aussackung.CT  ja  nein

Exzentrisches Lumen.CT  ja  nein Wandverdickung\_Hämatom.CT  ja  nein

externer Durchmesser.CT  Durchmesser Gegenseite.CT

Quotient.CT  Fett\_nichtRandbild.CT  ja  nein

Infarkt.CT  ja  nein

vorderes Stromgebiet.CT  kortikal  Stammganglien

hinteres Stromgebiet.CT  Kleinhirn  Hirnstamm

Gerät.CT  Ort.CT

Fragebogen 2 zur Erfassung der computertomographischen Daten

# MRT

NameCode	<input type="text" value="NameCode"/>
Name	<input type="text" value="::Name"/>
Vorname	<input type="text" value="::Vorname"/>

Befund.Dat	<input type="text" value="::Befund.Dat"/>	Sort	<input type="text" value="Sort"/>
Dissektion.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	ACI.MRT	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts
		VA.MRT	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts
MRT.Dat	<input type="text" value="MRT.Dat"/>	Tage bis Untersuchung.MRT	<input type="text" value="Tage bis zur"/>
Höhe_ACI.MRT	<input type="checkbox"/> C1 <input type="checkbox"/> C2 <input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> C4 <input type="checkbox"/> C5 <input type="checkbox"/> C6 <input type="checkbox"/> C7		
Höhe_VA.MRT	<input type="checkbox"/> V1 <input type="checkbox"/> V2 <input type="checkbox"/> V3 <input type="checkbox"/> V4		

## Befunde MRT

Stenose.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Thrombus.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Occlusion.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	exzentr. Lumen.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Pseudoaneurysma.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	perivask.Ödem.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
		Wandhämatom.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
ext.Durch.Wandh.MRT	<input type="text" value="ext.Durchm."/>	ext.Durchm.Gegs.MRT	<input type="text" value="ext.Durchm."/>	ext.Quotient.MRT	<input type="text" value="ext.Quot."/>
Infarkt.MRT	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
vord. Stromgebiet.MRT	<input type="checkbox"/> kortikal <input type="checkbox"/> Stammganglien				
hint. Stromgebiet.MRT	<input type="checkbox"/> Kleinhirn <input type="checkbox"/> Hirnstamm <input type="checkbox"/> Thalamus				

## Befund MRA

MRA.Dat	<input type="text" value="MRA.Dat"/>	Tage bis Untersuchung.MRA	<input type="text" value="Tage bis zur"/>
Stenose.MRA	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Occlusion.MRA	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
String sign.MRA	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Pseudoaneurysma.MRA	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Gerät.MRT	<input type="text" value="Gerät.MRT"/>	Ort.MRT	<input type="text" value="Ort.MRT"/>
Besonderheiten	<input type="text" value="Besonderheiten"/>		

---

Fragebogen 3 zur Erfassung der Daten der Magnetresonanztomographie und  
Magnetresonanzangiographie

## **3. ERGEBNISSE**

### **3.1 Katheterangiographie**

15 Gefäße wurden mittels konventioneller Angiographie untersucht. Es handelte sich dabei um 8 Dissektionen der A.carotis interna (6 auf der linken Seite, 2 auf der rechten Seite) und 7 Dissektionen der A.vertebralis (4 auf der linken Seite und 3 auf der rechten Seite).

Insgesamt fanden sich in 8 von 15 Fällen (53,33%) mindestens ein spezifisches Zeichen und in 15 von 15 Fällen (100%) mindestens ein unspezifisches Zeichen.

In 7 Gefäßen (46,66%) fand sich eine Occlusion, in 7 weiteren Gefäßen (46,66%) eine Stenose. Ein Pseudoaneurysma zeigte sich in 3 Gefäßen (20%), ein String-Sign in 6 Gefäßen (40%). Ein Doppellumen wurde in keinem der Fälle gefunden, ebenso fand sich kein Intimaler Flap. In 4 Gefäßen (26,66%) konnte ein Kontrastmittel-Depot festgestellt werden. Hinweise auf eine FMD (Fibromuskuläre Dysplasie) wurden in 5 Fällen (33,33%) gefunden.

Die Verteilung der Häufigkeit spezifischer Zeichen in der Gegenüberstellung der betroffenen Gefäße variierte: in lediglich 2 von 8 Dissektionen der Arteria carotis interna (25%) konnte mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen entdeckt werden. Demgegenüber stehen 6 von 7 Dissektionen der Arteria vertebralis (85,71%) in denen mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen gefunden wurde.

Aufgeteilt auf die einzelnen Gefäße konnten folgende spezifische Zeichen festgestellt werden:

Arteria carotis interna:

In 2 von 8 Fällen (25%) wurde ein String Sign gefunden, in 1 von 8 Fällen (12,5%) konnte ein Kontrastmittel-Depot erkannt werden. Mindestens ein spezifisches Zeichen wurde in 2 von 8 Fällen (25%) gefunden.

Arteria vertebralis:

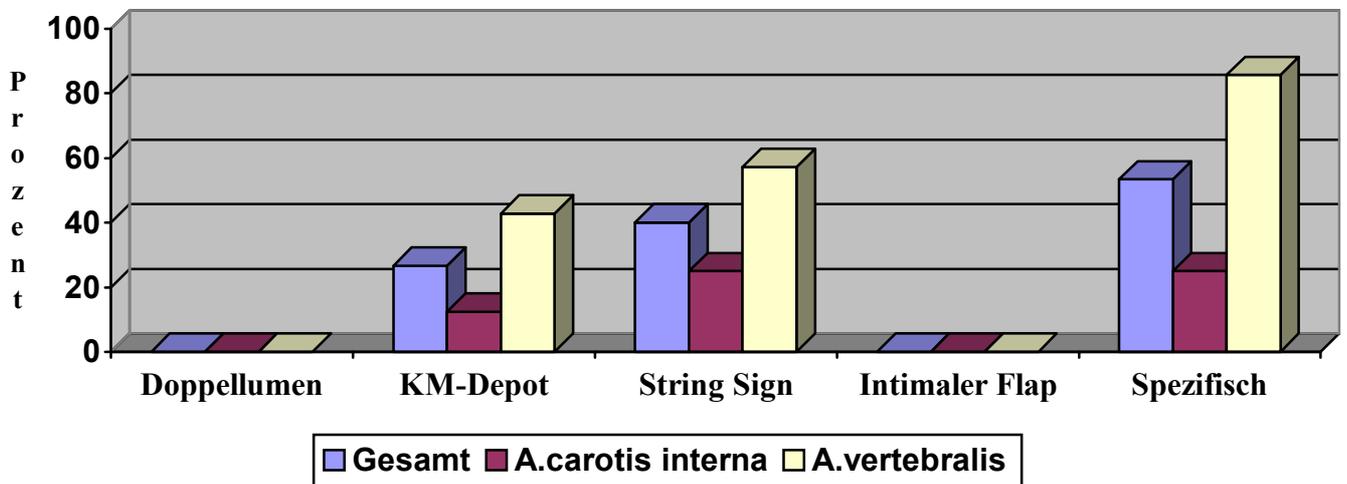
In 4 von 7 Fällen (57,14%) wurde ein String Sign erkannt, in 3 von 7 Fällen (42,86%) wurde ein Kontrastmittel-Depot entdeckt. Mindestens ein spezifisches Zeichen wurde in 6 von 7 Fällen (85,71%) gefunden.

**Tabelle 5: Ergebnisse der Katheterangiographie**

Kriterium	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis		Insgesamt
	Rechts	Links	Rechts	links	
Occlusion	1	5	0	1	7
Stenose	1	1	3	2	7
Pseudoaneurysma	0	2	1	0	3
Doppellumen	0	0	0	0	0
KM-Depot	0	1	1	2	4
String Sign	0	2	3	1	6
Intimaler Flap	0	0	0	0	0
FMD	1	1	1	2	4

FMD = Fibromuskuläre Dysplasie; KM-Depot = Kontrastmitteldepot

**Schaubild 1: Spezifische Zeichen Katheterangiographie**



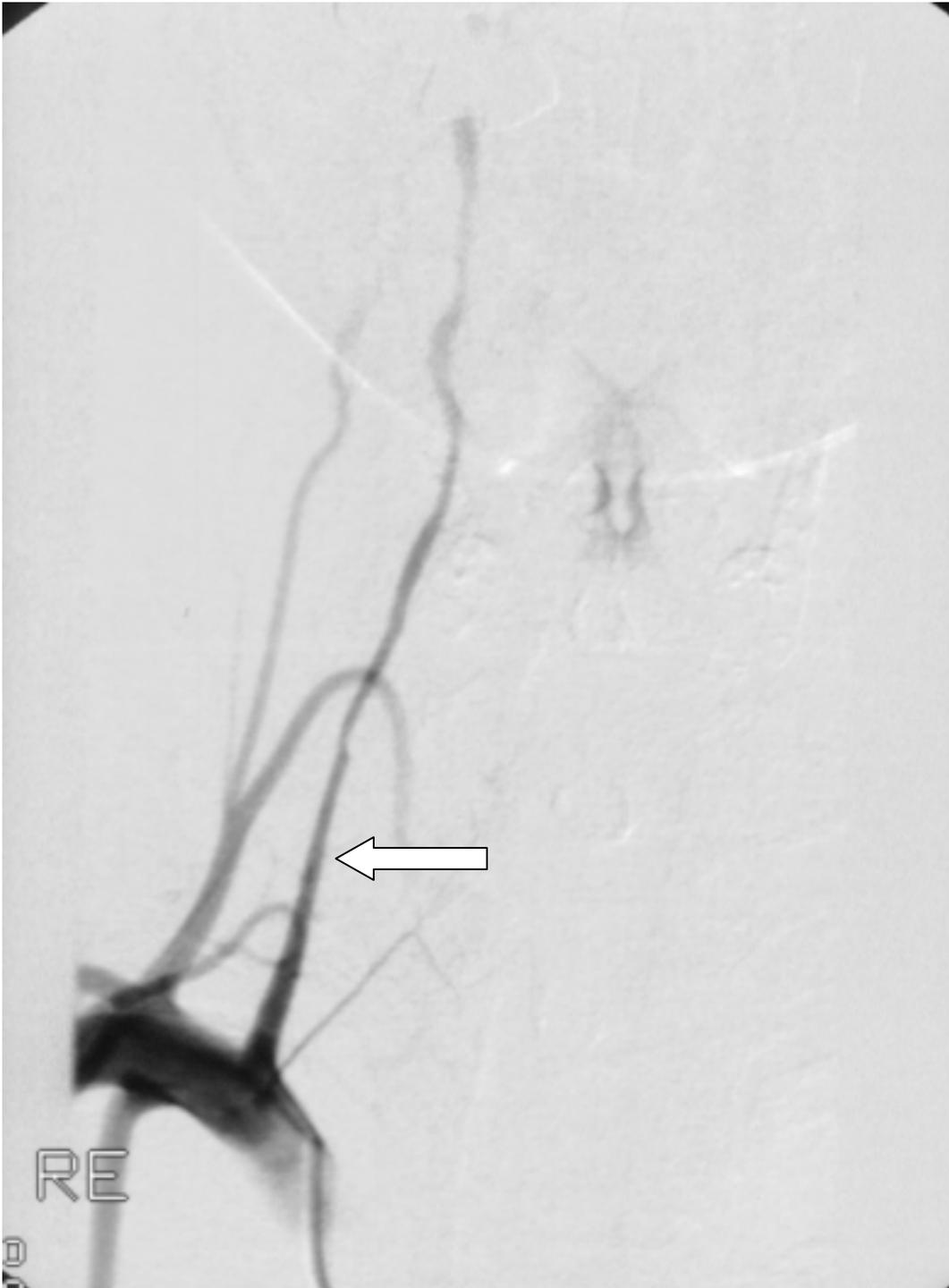


Abb.2: Bei der Dissektion der Arteria vertebralis einer 36jährigen Patientin kommt ein Strign Sign zur Darstellung (weißer Pfeil).



Abb.3: Dissektion der Arteria carotis interna. Es ist wiederum ein String Sign zu erkennen (weißer Pfeil).

### **3.2 Computertomographie**

19 Gefäße wurden mittels Computertomographie untersucht. Es handelte sich dabei um 14 Dissektionen der Arteria carotis interna und um 5 Dissektionen der Arteria vertebralis.

Insgesamt fand sich in 11 von 19 Fällen (57,89%) mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen. In 19 von 19 Fällen (100%) lag mindestens ein unspezifisches radiologisches Zeichen vor.

In 7 Fällen (36,8%) wurde eine Occlusion festgestellt, in 11 weiteren (57,9%) eine Stenose und in 4 Fällen (21,1%) fand sich ein Pseudoaneurysma.

In 5 Gefäßen (26,31%) wurde eine Wandverdickung gemessen, die Bestimmung des Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“ ergab in 6 Fällen (31,6%) ein Ergebnis  $\geq 1,2$ . In 5 Fällen (26,31%) fand sich ein Exzentrisches Lumen. Die Konstellation des nicht-randbildenden Fettes trat in 2 Fällen (10,5%) auf.

In 9 Fällen (47,4%) trat zudem ein Infarkt auf. 7 Infarkte waren dabei im vorderen Stromgebiet lokalisiert, 2 im hinteren Stromgebiet.

Aufgeteilt auf die beiden Gefäße konnten folgende spezifische Zeichen festgestellt werden:

Arteria carotis interna:

In 3 von 14 Fällen (21,4%) konnte ein exzentrisches Lumen festgestellt werden. Ebenfalls in 3 von 14 Fällen (21,4%) wurde eine Wandverdickung entdeckt und 6 von 14 Fällen (42,86%) ergaben einen Quotienten  $\geq 1,2$ . In 2 von 14 Fällen (14,3%) fand sich nicht-randbildendes Fett.

Mindestens ein spezifisches Zeichen bei Dissektionen der Arteria carotis interna wurde in 9 von 14 Fällen (64,29%) gefunden.

Arteria vertebralis:

In 2 von 5 Fällen (20%) wurde ein exzentrisches Lumen festgestellt, in ebenfalls 2 von 5 Fällen (20%) ergab sich eine Wandverdickung. Ein Quotient  $\geq 1,2$  ergab sich in keinem der 5 Fälle. Mindestens ein spezifisches Zeichen bei Dissektionen der Arteria vertebralis wurde in 2 von 5 Fällen (20%) gefunden.

**Tabelle 6: Ergebnisse der Computertomographie**

Kriterium	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis		Insgesamt
	Rechts	Links	Rechts	Links	
Occlusion	1	4	1	1	7
Stenose	3	4	0	4	11
Pseudoaneurysma	3	1	0	0	4
Exzentrisches Lumen	1	2	0	2	5
Wandverdickung	2	1	0	2	5
Quotient $\geq 1,2$	2	4	0	0	6
Fett nicht randbild.	1	1	-	-	2
Infarkt	1	6	0	2	9
Kortikaler Infarkt	1	5	-	-	6
Stammganglieninf.	1	5	-	-	6
Kleinhirnininfarkt	-	-	0	2	2
Hirnstamminfarkt	-	-	0	0	0

FMD = Fibromuskuläre Dysplasie; KM-Depot = Kontrastmitteldepot

**Schaubild 2: Spezifische Zeichen CT**

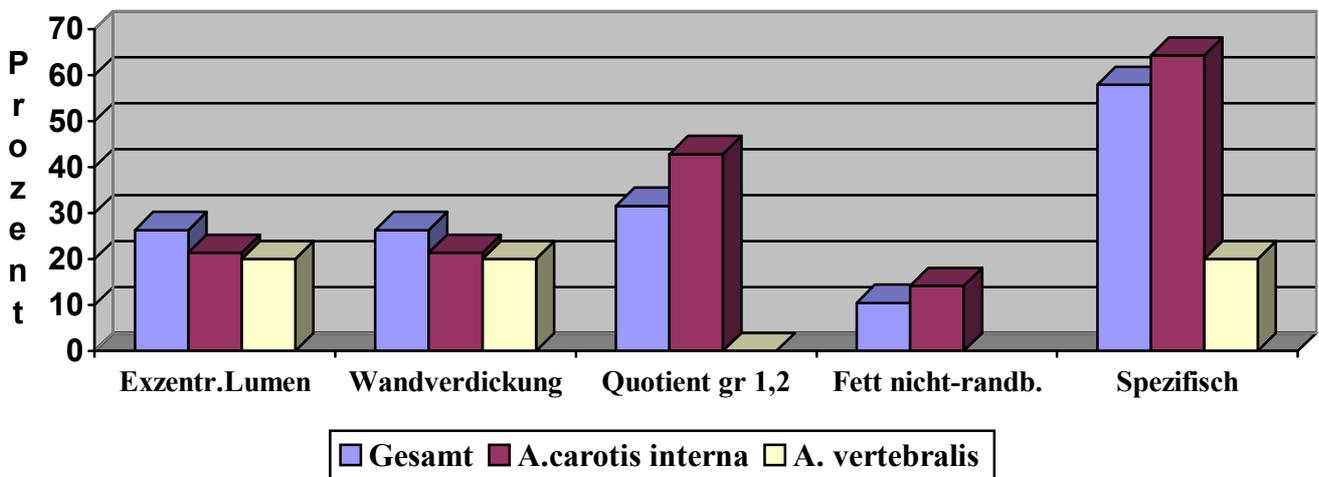




Abb.4: Spiral-CT einer 38-jährigen Patientin mit einer Dissektion der Arterie carotis interna rechts. Perivaskuläres Fettgewebe wird durch das Wandhämatom (weiße Pfeile) verdrängt.

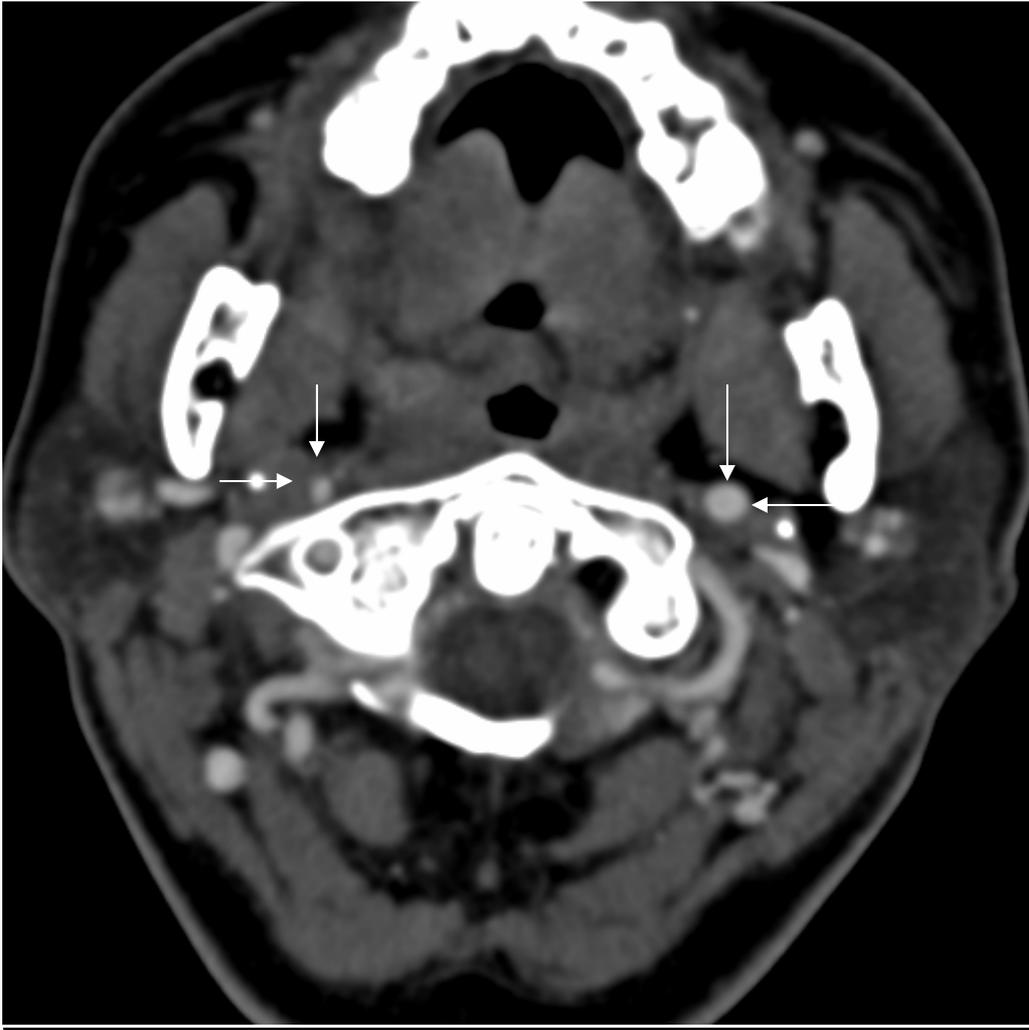


Abb.5: Spiral CT der gleichen Patientin, im Seitenvergleich ist eine hochgradige Verengung des Lumens (weiße Pfeile) zu erkennen.

### **3.3 Magnetresonanztomographie**

31 Gefäße wurden mittels Magnetresonanztomographie untersucht, es lagen dabei 17 Dissektionen der Arteria carotis interna (7 rechts, 10 links) und 14 Dissektionen der Arteria vertebralis (4 rechts, 10 links) vor.

Insgesamt fand sich in 29 von 31 Gefäßen (93,4%) mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen. In 29 von 31 Fällen (93,4%) lag mindestens ein unspezifisches radiologisches Zeichen vor. Mittels der Magnetresonanztomographie wurden demnach 2 Dissektionen erfasst, die keinerlei unspezifische radiologische Veränderungen aufwiesen.

In 12 Fällen (38,7%) wurde eine Occlusion festgestellt, in 19 Gefäßen (61,29%) eine Stenose. In 10 betroffenen Gefäßen (32,3%) fand sich ein Thrombus und in keinem der dissezierten Gefäße fand sich ein Pseudoaneurysma.

Es fand sich in 24 von 31 (77,42%) Gefäßen ein Wandhämatom, in 27 von 31 (87,1%) Gefäßen ein Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  aufwiesen und in 21 von 31 (67,74%) Gefäßen ein exzentrisches Lumen sowie in 5 von 31 (16,13%) Gefäßen ein perivaskuläres Ödem.

In 22 Fällen (71%) lag ein Infarkt vor, der in 9 Fällen (29%) das vordere Stromgebiet und in 13 Fällen (42%) das hintere Stromgebiet betraf.

Aufgeteilt auf die beiden Gefäße konnten folgende spezifische Zeichen festgestellt werden:

Dissektionen der Arteria carotis interna:

14 von 17 (82,4%) Dissektionen wiesen ein Wandhämatom auf. Lediglich 1 von 17 (5,9%) Dissektionen dieses Gefäßes zeigte ein perivaskuläres Ödem. In 17 von 17 (100%) Fällen konnte ein Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  bestimmt werden. In 14 von 17 (82,35%) Fällen fand sich ein exzentrisches Lumen. Mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen fand sich bei Dissektionen der Arteria carotis interna in 17 von 17 (100%) Gefäßen.

Dissektionen der Arteria vertebralis:

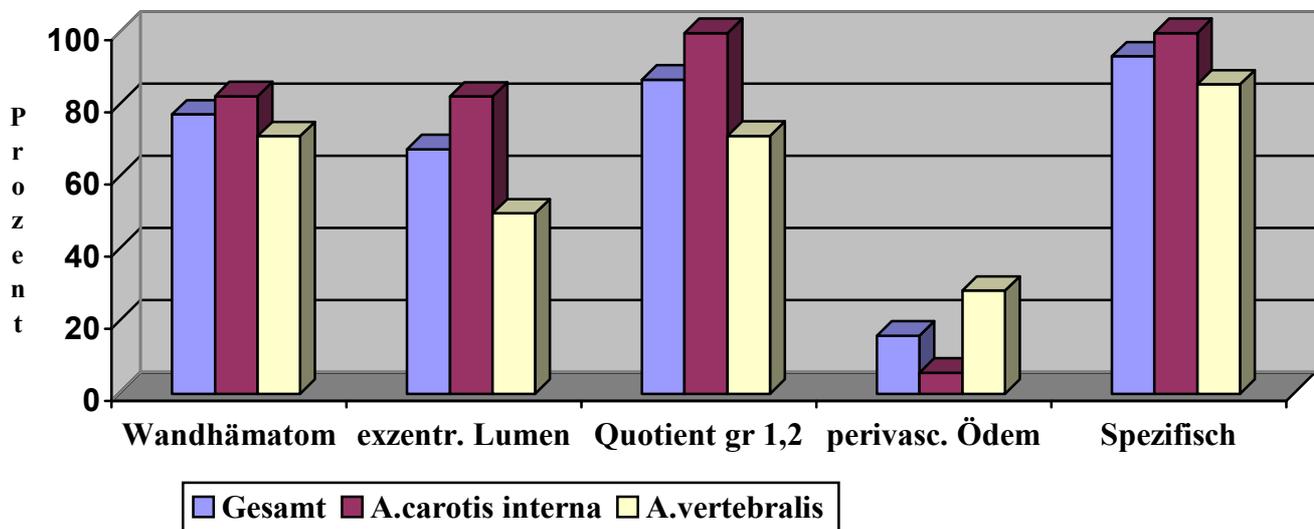
10 von 14 (71,4%) Dissektionen wiesen ein Wandhämatom auf. 4 von 14 (28,6%) Dissektionen ergaben ein perivaskuläres Ödem. In 10 von 14 (71,43%) konnte ein Quotient „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  bestimmt werden und 7 von 14 (50%) Gefäßen wiesen ein exzentrisches Lumen auf. Mindestens ein spezifisches radiologisches Zeichen fand sich bei Dissektionen der Arteria vertebralis in 12 von 14 (85,71%) Gefäßen.

Bei einem Gefäß fanden sich alle vier spezifischen radiologischen Zeichen. Zwei Gefäße zeigten sowohl ein Wandhämatom, einen Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  und ein perivaskuläres Ödem. 21 der 31 Gefäße wiesen die drei spezifischen radiologischen Zeichen des Wandhämatoms, des exzentrischen Lumens und des Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  auf. 19 Gefäße wiesen sowohl das Zeichen des Quotienten „externer Durchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  als auch ein Wandhämatom auf. In allen Fällen, in denen ein Wandhämatom vorlag, konnte auch ein pathologisch erhöhter externer Gefäßdurchmesser bestimmt werden, wobei nicht immer ein Quotient bestimmt werden konnte, da die Gegenseite auch von einer Dissektion betroffen war. In zwei Fällen lag allerdings ein Quotient  $\geq 1,2$  vor ohne das ein Wandhämatom nachgewiesen werden konnte. In beiden Fällen war das C1-Segment der Arteria carotis interna betroffen.

**Tabelle 7: Ergebnisse der Magnetresonanztomographie**

Kriterium	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis		Insgesamt
	Rechts	links	Rechts	Links	
Occlusion	1	3	1	7	12
Stenose	5	7	3	4	19
Pseudoaneurysma	0	0	0	0	0
Exzentrisches Lumen	6	8	3	4	21
Wandhämatom	6	8	3	7	24
Quotient $\geq 1,2$	7	10	4	6	27
Thrombus	1	2	1	6	10
Perivasc.Ödem	0	1	1	3	5
Infarkt	3	6	4	9	22
Kortikaler Infarkt	2	4	-	-	6
Stammganglieninf.	1	4	-	-	5
Kleinhirnininfarkt	-	-	2	5	7
Hirnstamminfarkt	-	-	2	3	5
Thalamusinfarkt	-	-	1	2	3

**Schaubild 3: Spezifische Zeichen im MRT**



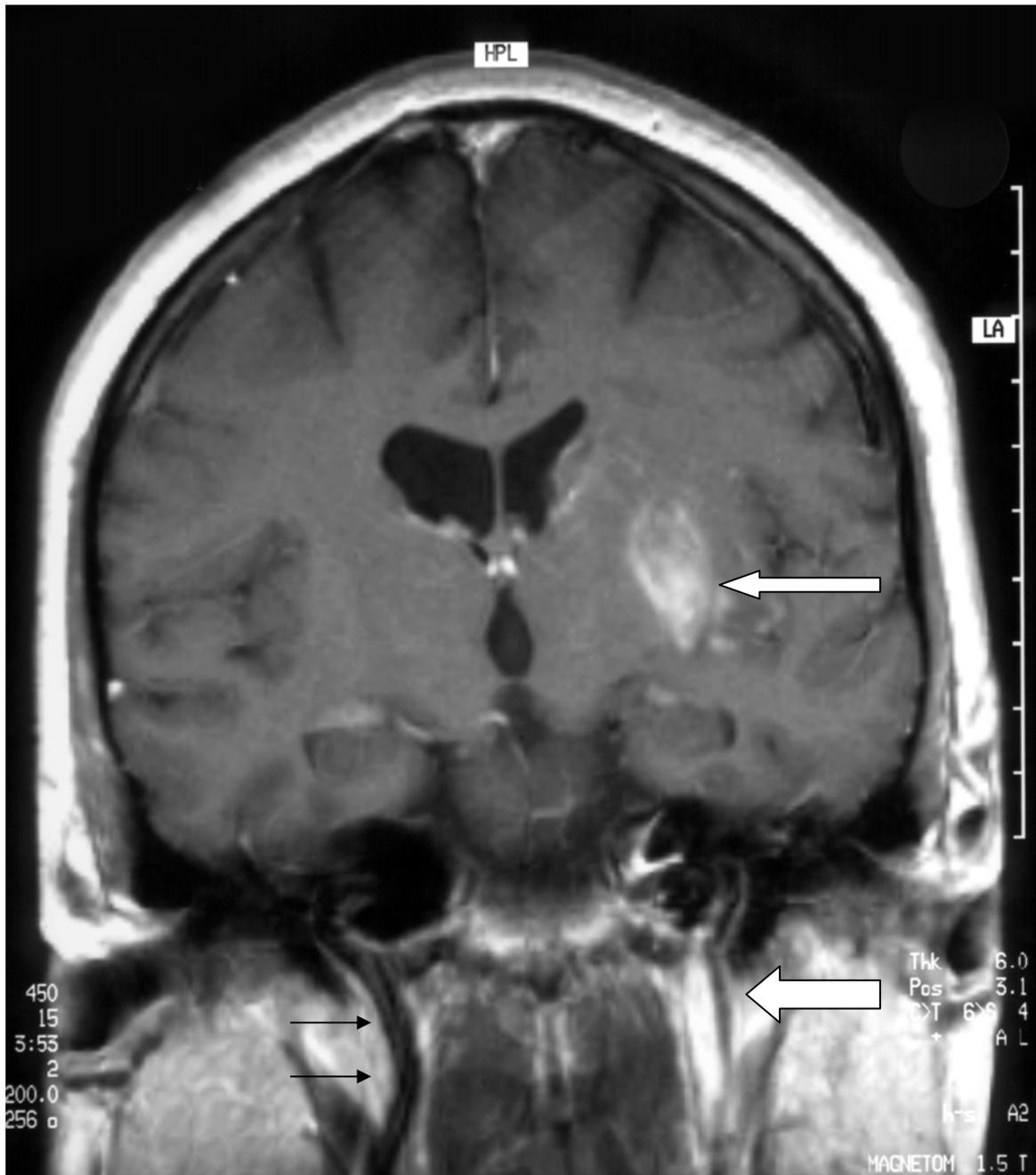


Abb.6: Kernspintomographie in koronarer T1-Wichtung mit Gadolinium eines 45-jährigen Patienten mit der Darstellung einer regelrechten Arteria carotis interna rechts (schwarze Pfeile), langstreckigem Wandhämatom und exzentrischem Lumen links (weißer Blockpfeil), sowie einem assoziierten Stammganglieninfarkt nach Kontrastmittelaufnahme (weißer Pfeil).



Abb.7: Magnetresonanztomographie eines 54jährigen Patienten mit einer Dissektion der linken Arteria carotis interna mit Darstellung eines exzentrischen Lumens (weißer Blockpfeil) und einem vergrößerten äußeren Gefäßdurchmesser. Im Vergleich zur gesunden Arteria carotis interna der gegenüberliegenden Seite liegt der Quotient „äußerer Gefäßdurchmesser/Durchmesser der Gegenseite“ bei 2 (schwarze Pfeile).

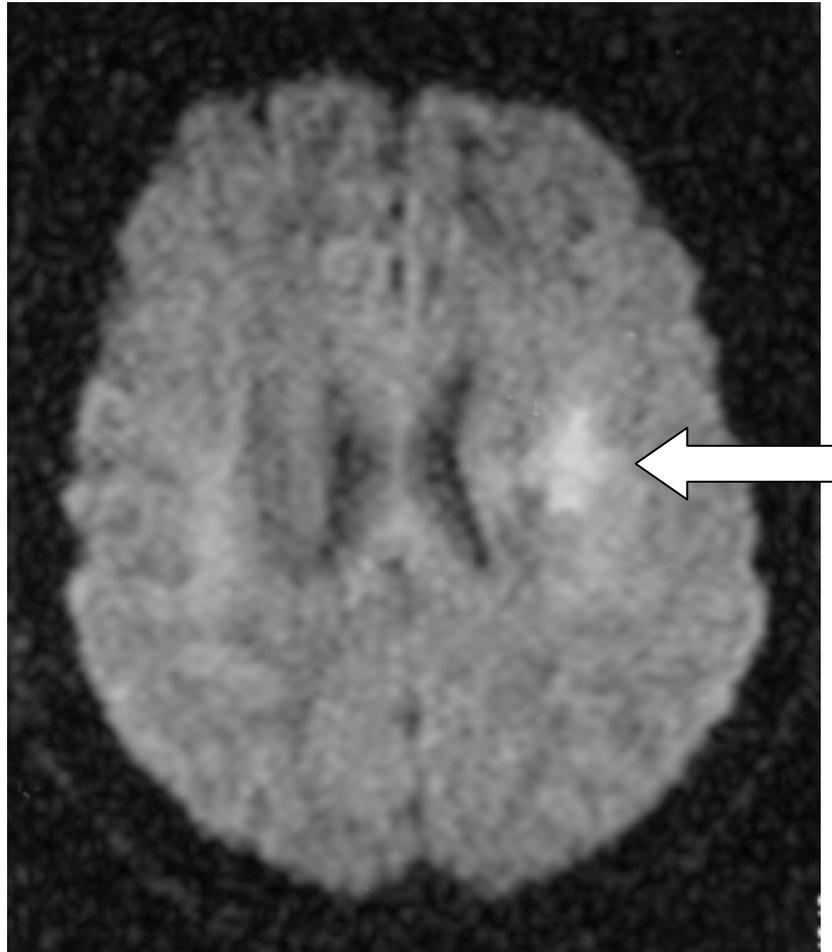


Abb.8: Die zum gleichen Patienten gehörende diffusionsgewichtete MR-Sequenz des Schädels mit Nachweis eines ipsilateralen, frischen Stammganglieninfarktes (weißer Blockpfeil).

### **3.4 Magnetresonanzangiographie**

29 Gefäße wurden mittels Magnetresonanzangiographie untersucht. Im Einzelnen waren das 15 Dissektionen der Arteria carotis interna (7 rechts und 8 links) und 14 Dissektionen der Arteria vertebralis (4 rechts und 10 links).

Ein String Sign, als einzigstes radiologisches Zeichen, wurde in 7 von 29 Fällen (24,14%) entdeckt. Mindestens ein unspezifisches Zeichen wurde in 29 von 29 Gefäßen (100%) festgestellt.

Es fand sich in 14 Gefäßen (48,3%) eine Occlusion und in 15 Gefäßen (51,7%) eine Stenose. Ein String Sign konnte in 7 Gefäßen (24,1%) gefunden werden, ein Pseudoaneurysma lag in 2 Fällen (6,9%) vor.

Aufgeteilt auf die einzelnen Gefäße:

Dissektionen der Arteria carotis interna:

In 4 von 15 Fällen (26,67%) konnte ein String Sign ausgemacht werden. Da dies das einzige spezifische radiologische Zeichen in der Magnetresonanzangiographie ist, erübrigt sich hier die Angabe der Häufigkeit von mindestens einem radiologischen Zeichen.

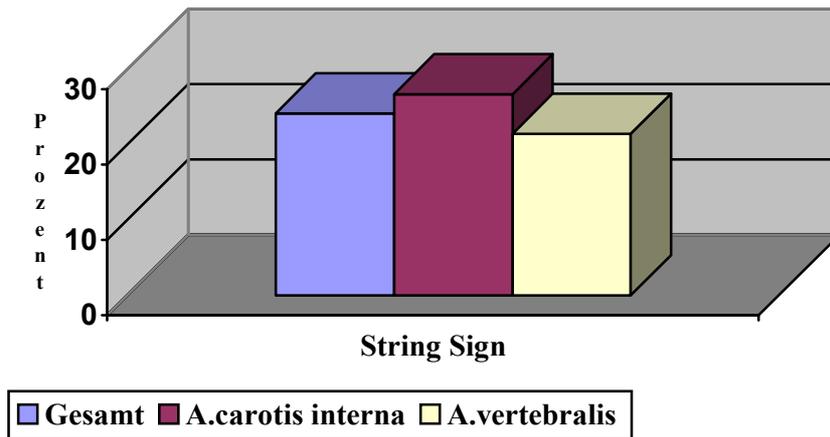
Dissektionen der Arteria vertebralis:

In 3 von 14 Fällen (21,43%) konnte ein String Sign entdeckt werden.

**Tabelle 8: Ergebnisse der Magnetresonanztangiographie**

Kriterium	Arteria carotis interna		Arteria vertebralis		Insgesamt
	Rechts	Links	rechts	links	
Occlusion	2	3	1	8	14
Stenose	4	5	3	3	15
Pseudoaneurysma	0	0	0	2	2
String Sign	3	1	1	2	7

**Schaubild 4: Spezifische Zeichen in der MRA**



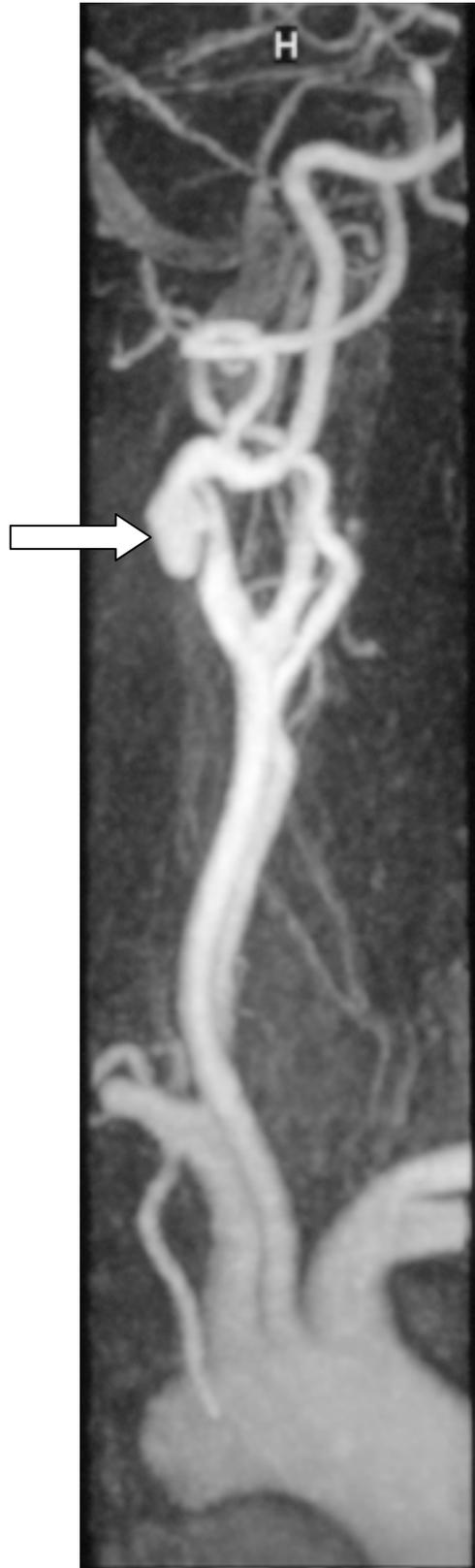
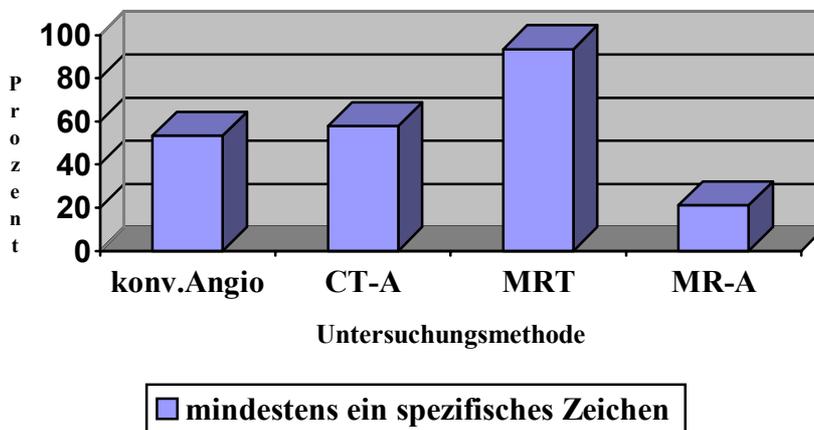


Abb.9: MR-Angiographie eines 33jährigen Patienten mit Dissektion der Arteria carotis interna rechts mit der Darstellung eines Pseudoaneurysmas (weißer Blockpfeil).

### 3.5 Verfahrensvergleich

Ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit von mindestens einem spezifischen Zeichen ergab sich im Vergleich der Magnetresonanztomographie mit der Computertomographie. Der p-Wert lag hierbei bei 0,004. Damit lag der Wert unter dem zur Signifikanz nötigen Wert von  $p=0,05$  und man kann festhalten, dass die Magnetresonanztomographie signifikant besser in der zweifelsfreien Diagnosefindung einer Dissektion ist als die Computertomographie. Da die Computertomographie mit einer Rate von 57,89% (11 von 19 Gefäße) für mindestens ein spezifisches Zeichen geringfügig besser war als die Katheterangiographie mit einer Rate von 53,33% (8 von 15 Gefäße) kann man davon ausgehen, dass die Magnetresonanztomographie auch ohne Berechnung des p-Wertes im exakten Test nach Fisher der Katheterangiographie signifikant überlegen ist.

**Schaubild 5: Häufigkeit mindestens ein spezifisches Zeichen**



## **4. DISKUSSION**

### **4.1 Katheterangiographie**

Die Katheterangiographie ist ein Verfahren, das weitverbreitet zur Diagnostik supraaortaler Dissektionen eingesetzt wird. Es können mit ihrer Hilfe sowohl unspezifische Veränderungen, die in der Folge einer Dissektion auftreten können, aber auch zum Beispiel in Folge atheromatöser Gefäßveränderungen, sowie spezifische radiologische Zeichen, die nur in der Folge einer Dissektion auftreten, erfasst werden. Als unspezifische Veränderungen gelten die Stenose, die Occlusion und das Pseudoaneurysma. Als spezifische radiologische Veränderungen werden in dieser Doktorarbeit das Doppellumen, das Kontrastmitteldepot, das String Sign und der Intimale Flap definiert.

Das häufigste spezifische Zeichen ist das String Sign (40%).

Provenzale et al. verwenden die gleichen für eine Dissektion spezifischen radiologischen Zeichen. Allerdings können sie bei keinem der von ihnen untersuchten 14 Patienten eines dieser Zeichen finden [41].

Pelkonen et al. verwenden in ihrer Studie über intrakranielle Dissektionen lediglich die Katheterangiographie zur Diagnosefindung und untersuchen dabei auf irreguläre Stenosen oder Dilatationen, Pseudoaneurysmata, Doppellumen und den Intimalen Flap. Schwächen der Katheterangiographie liegen in der Darstellung einer subadventitiellen Dissektion bei der das Lumen unverändert ist oder wenn ein Doppellumen oder ein Pseudoaneurysma thrombosierte und deshalb nicht darstellbar ist [37].

Ozdoba et al. vergleichen die MR-Bildgebung mit der konventionellen Angiographie. Sie beschreiben ein String Sign, verwenden aber vorzugsweise den Begriff Flame Sign, als ein typisches aber nicht charakteristisches Zeichen einer Dissektion der Arteria carotis interna [34].

Klufas et al. untersuchen lediglich unspezifische radiologische Zeichen wie eine Verengung des Lumens, ein Pseudoaneurysma oder ein Thrombus [20].

In der Untersuchung von Zuber et al. werden ebenfalls nur unspezifische Veränderungen erfasst. Es wird in 13 von 19 Fällen (68,42%) eine Stenose festgestellt, in 4 von 19 Fällen (21,05%) eine Occlusion und in 2 von 19 Fällen (10,53%) ein Pseudoaneurysma [54].

Oelerich et al. detektieren unspezifische Veränderungen und beschreiben ein Verhältnis der Stenosen zu Occlusionen von 7 zu 2 bei Dissektionen der Arteria carotis interna und von 3 zu 2 bei Dissektionen der Arteria vertebralis [33]. In dieser Doktorarbeit konnten diese Verhältnisse nicht reproduziert werden. In der Katheterangiographie wurde ein Verhältnis Stenose zu Occlusion von 3 zu 1 für die Arteria carotis interna und ein Verhältnis von 1 zu 5 für die Arteria vertebralis gefunden.

Durch die spezifischen radiologischen Zeichen kann eine Dissektion eindeutig nachgewiesen werden. Doch kann der Ort der Pathologie einer Dissektion, die Gefäßwand, nicht dargestellt werden. Es können mittels der Katheterangiographie lediglich sekundäre Veränderungen dargestellt werden. Daher kann in Einzelfällen die exakte Interpretation der Ursache einer Stenose unmöglich sein [18].

Hier liegt ein Vorteil der Schnittbildverfahren gegenüber der Katheterangiographie vor, da diese auch die Wandstrukturen und das umliegende Gewebe darstellen. In der Folge einer Dissektion kommt es zu einem Wandhämatom, das sich entweder ins Gefäßinnere ausbreiten kann und dann mittels der Katheterangiographie erkannt werden kann, oder es verbreitert die Gefäßwand ins umliegende Gewebe aus und entzieht sich damit dem Zugang der Katheterangiographie. Dies spiegelt sich in der Detektionshäufigkeit von mindestens einem spezifischen Zeichen wieder, welches in der Katheterangiographie in 53,3% der Fälle gefunden wurde. Das heißt, dass in 46,7% der Fälle eine eindeutige Diagnose allein anhand der angiographischen Bilder nicht gestellt werden konnte.

Nachteilig ist der invasive Charakter des Eingriffs. Die Katheterangiographie weist ein größeres Spektrum an Komplikationen auf als die Computertomographie oder die Magnetresonanztomographie. So kann es zu Blutungen, Thrombosen, Thrombembolien mit zerebralen Ischämien oder allergischen Kontrastmittelreaktionen kommen [16; 32].

Durch die Katheterangiographie können zweifelhafte Fälle, in denen die vorangegangene Bildgebung keinen eindeutigen Befund ergab, die Klinik des Patienten aber auf eine Dissektion hinweist, nachuntersucht werden. Zum Teil können in der Katheterangiographie kleinste Wandveränderungen erkannt werden, die auf eine

stattgefundene Dissektion hinweisen, die sich bereits wieder rekanalisiert hat und der schlechteren Auflösung zum Beispiel einer Magnetresonanztomographie entgegen [27].

## **4.2 Computertomographie**

Die Computertomographie als röntgenbasiertes Schnittbildverfahren liefert in unseren Ergebnissen als häufigstes spezifische Zeichen den Quotienten „äußerer Gefäßdurchmesser/Durchmesser Gegenseite“  $\geq 1,2$  (26,3%) und das exzentrische Lumen (26,3%).

LeBlang et al. verwenden folgende spezifische radiologische Zeichen: eine Zunahme des äußeren Gefäßdurchmessers, ein verengtes Restlumen und ein Wandhämatom. Über Häufigkeiten dieser Befunde werden dabei keine Angaben gemacht [21].

Provenzale et al. untersuchen 14 Patienten, legen jedoch ihrer Veröffentlichung lediglich das intramurale Hämatom als spezifisches radiologisches Zeichen zugrunde [41].

Egelhof et al. vergleichen die Computertomographie und besonders die Rekonstruktion einer CT-Angiographie mit der digitalen Subtraktionsangiographie. Sie verwenden die radiologischen Zeichen einer Gefäßwandverdickung im Vergleich zur Gegenseite, ein exzentrisches Lumen und eine Kombination aus Wandverdickung und subadventital gelegener Kontrastmittelanreicherung, sowie in der 3D-Rekonstruktion das aus der Digitalen Subtraktionsangiographie bekannte String sign. Es sind also die gleichen spezifischen radiologischen Zeichen verwendet worden wie in dieser Doktorarbeit. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die Computertomographie bei Dissektionen der Arteria carotis interna verlässlich ist [13]. Entgegen anderer Studien sprechen Egelhof et al. sich gegen eine Beurteilung des äußeren Gefäßdurchmessers aus und nennen dafür folgende Gründe: bei einer Dissektion tritt zwar eine subadventitielle Einblutung auf, die zu einer Zunahme des äußeren Gefäßdurchmessers führt, es kann in der Folge einer Dissektion aber auch zu einer subintimalen Einblutung kommen, die lediglich zu einer Einschränkung des intraluminalen Durchmessers führt, aber den äußeren Gefäßdurchmesser unverändert lässt. Dies könnte zu Falsch-Negativen Befunden führen [13]. Zudem kann die Abgrenzung des äußeren Gefäßdurchmessers zum umliegenden

Gewebe schwierig sein[13]. Leclerc et al. verwenden diesen Parameter allerdings ebenso wie er in dieser Doktorarbeit verwendet wird. Wir stimmen den Bedenken von Egelhof et al. zu, verwenden aber nicht nur einen einzigen spezifischen Parameter, sondern begründen die Diagnose einer Dissektion auf einer ganzen Reihe radiologischer Kennzeichen. Ist nun das radiologische Zeichen des äußeren Gefäßdurchmessers in der Quotientenbildung mit der Gegenseite negativ, schließt das die Diagnose Dissektion nicht aus und kann somit nicht unmittelbar zu falsch-negativen Ergebnissen führen. Andere spezifische radiologische Veränderungen, wie die Wandverdickung oder das exzentrische Lumen müssen nach unserer Meinung ebenfalls geprüft werden.

Fiebach et al. stellen fest, dass sich mittels der Computertomographie und der daraus rekonstruierten CT-Angiographie besonders gut in der Frühphase der Dissektion eine hämorrhagische Wandverdickung darstellen lässt. Im Verlauf der subakuten und chronischen Phase wird das Wandhämatom in der Computertomographie zunehmend hypodenser und die Treffsicherheit der Computertomographie nimmt ab [15]. Hierin kann ein Vorteil der Computertomographie in der Frühphase gegenüber der Magnetresonanztomographie gesehen werden, da in der akuten Phase eine Dissektion besser diagnostiziert werden kann. In dieser Doktorarbeit wurde der zeitliche Abstand der Untersuchung zum mutmaßlichen Dissektionszeitpunkt zwar erfasst, aber es konnte aufgrund der kleinen Fallzahl, der fehlenden Kontrollgruppen und fehlender Follow-up Untersuchungen keine Aussagen über eventuelle Falsch-Negativen Befunde in der Magnetresonanztomographie bezüglich des Wandhämatoms in der akuten Phase oder Falsch-Negativer Befunde in der Computertomographie bezüglich des Wandhämatoms in der subakuten und chronischen Phase getroffen werden.

Leclerc et al. untersuchen die Ergebnisse der helicalen Computertomographie und verwenden neben dem schon erwähnten äußeren Gefäßdurchmesser, das spezifische radiologische Zeichen des exzentrischen Lumens und eine Gefäßwandverdickung, wobei die Autoren diese Gefäßwandverdickung als nicht-spezifisches Zeichen werten, da sie es auch bei nicht-dissektierten Gefäßen finden und in diesen Fällen auf körperliche Inaktivität, Adipositas, einen abnormen Glukosestoffwechsel oder atheromatöse Veränderungen zurückführen [23].

In der Diskussion über das von Egelhof et al. abgelehnte Zeichen der äußeren Gefäßdurchmesserzunahme führen Leclerc et al. an, dass eine Zunahme des äußeren

Durchmessers zwar durchaus auch bei anderen Krankheiten, wie der arteriellen Hypertension, der kardialen Dysfunktion oder der fibromuskulären Dysplasie zu finden ist, aber schließt diese Ursachen durch Betrachtung der Gegenseite, die im Falle der oben erwähnten Krankheiten ebenfalls Veränderungen aufweisen würden, aus. Dies ist natürlich nur dann möglich, wenn nicht die Gegenseite auch betroffen ist [23; 24]. Auch in dieser Doktorarbeit bestand das Problem der zwei-Gefäß-Dissektionen. Es wurde so verfahren, dass andere nicht dissektierte Gefäße, die in dem vorliegenden Bildmaterial abgebildet waren, untersucht wurden. Lag bei diesen Gefäßen keinerlei Veränderung vor, so wurden die Veränderungen des äußeren Gefäßdurchmessers der vermutlich dissektierten Gefäße auch auf eine Dissektion zurückgeführt. Leclerc et al. zeigen in ihrer Veröffentlichung, dass ein exzentrisches Lumen ein sehr sensibles und spezifisches Zeichen für eine Dissektion ist (Sensitivität 100%) und liegen damit über der von ihnen gezeigten Sensitivität von 75% für das Wandhämatom in der Magnetresonanztomographie. Sie fanden die exzentrische Kontrastmittelanreicherung nur in sehr wenigen Fällen und vermuten eventuelle Fehldeutungen durch Kontrastmittel-gefüllte Vasa vasorum, die nicht exakt ringförmig angelegt sind [23]. In dieser Doktorarbeit lagen 5 von 19 Fällen (26,32%) ein exzentrisches Lumen vor. Ein weiterer Diskussionspunkt der Computertomographie gegenüber der Magnetresonanztomographie ist die Unterscheidung zwischen einer Occlusion und einem Thrombus. Leclerc et al. sehen hier Vorteile in der Computertomographie, da Messungen des äußeren Gefäßdurchmessers genauer möglich sind [23]. Wie Fiebach et al. heben Leclerc et al. die Vorteile der Computertomographie in der frühen Phase nach einer Dissektion gegenüber der Magnetresonanztomographie deutlich hervor [23]. In der akuten Phase einer Dissektion ist die Computertomographie der Magnetresonanztomographie in der Darstellung des Wandhämatoms überlegen. Die Computertomographie ist sicherer in der akuten Phase einer Dissektion und verliert in Verlauf der subakuten und chronischen Phase ihre Genauigkeit [23; 24]. Zuber et al. verwenden als typische radiologische Zeichen in der Folge einer Dissektion eine exzentrische Kontrastmittelanreicherung, entsprechend dem Restvolumen, umgeben von einem hypodensen Areal, entsprechend dem Wandhämatom und finden dieses radiologische Zeichen sehr häufig [54].

Ein Nachteil der Computertomographie gegenüber der Magnetresonanztomographie ist die Strahlenbelastung des Patienten [32].

### **4.3 Magnetresonanztomographie und –angiographie**

In der Magnetresonanztomographie als nicht-röntgenbasiertes Schnittbildverfahren fand sich mindestens ein spezifisches Zeichen in 93,4% der Fälle.

Oelerich et al. beschreiben ein beweisendes intramurales Wandhämatom in der Magnetresonanztomographie in 19 von 22 betroffenen Gefäßen (86%). Sie diskutieren gleichzeitig vom hyperintensiven Wandhämatom abzugrenzende Flussphänomene wie flussbedingte Kontrastmittelanreicherung oder dem „entry-slice Phänomen“. Diese Flussphänomene stellen sich mit einer kreisförmigen hyperintensiven Schicht dar mit einer zentralen Aufhellung. Dies ist nur durch genaue Analysen abzugrenzen von dem für die Dissektion typischen semilunaren hyperintensiven Wandhämatom [33].

Das Verhältnis von Stenosen zu Occlusionen lag in jener Arbeit bei 7 zu 2 für Dissektionen der Arteria carotis interna und bei 3 zu 2 für Dissektionen der Arteria vertebralis [33]. In dieser Doktorarbeit konnten diese Verhältnisse nicht reproduziert werden, es ergab sich ein Verhältnis von 1 zu 3 für die Arteria carotis interna und von 8 zu 7 für die Arteria vertebralis.

Leclerc et al. beschreiben für Dissektionen der Arteria vertebralis eine Sensitivität für das Wandhämatom von 75%. Sie liegen damit unter der von ihnen gezeigten Sensitivität des exzentrischen Lumens in der Computertomographie. Eine Limitierung erfährt die Darstellung des Wandhämatoms durch die Tatsache dass sich Kontrastmittel nicht nur im Zielgefäß sondern auch in den umliegenden Vasa vasorum anreichert, erschwert die Abgrenzung zur bereits beschriebenen semilunaren Hyperintensität [23].

Fiebach et al. untersuchen das Wandhämatom in der T1-Wichtung der Magnetresonanztomographie, das sie in 13 von 13 Fällen (100%) nachweisen können. Sie führen dieses Ergebnis auf den Untersuchungszeitpunkt nach den ersten beiden Tagen, also in der subakuten Phase, zurück. Das Wandhämatom stellt sich besonders gut in der subakuten Phase, etwa ab dem dritten Tag, durch die Methämoglobinbildung dar [13; 15]. Zu differenzieren ist hierbei ein signalreiches Wandhämatom von einem

ebenfalls signalreichen perivaskulärem Fettgewebe. Empfohlen wird daher eine fettunterdrückte T1-gewichtete Spin-Echosequenz in der subakuten Phase. Der bessere Wandhämatomnachweis mittels der fettunterdrückten Sequenzen gelingt dabei umso besser, je größer der zeitliche Abstand zum Dissektionszeitpunkt ist und das Wandhämatom lässt sich auch in Verlaufskontrollen sehr viel länger nachweisen als mit anderen Untersuchungsmethoden [15]. In unserer retrospektiven Doktorarbeit wurden nur T2-gewichtete Aufnahmen ausgewertet. Dadurch erhielten wir keine zusätzliche Informationen aus Verfahren wie der Fettunterdrückung in der T1-Wichtung und dementsprechend waren die Häufigkeitsangaben in unseren Ergebnissen niedriger als in Studien, die diese Möglichkeiten hatten.

Fiebach et al. zeigen ebenso wie Leclerc et al. einen Unterschied zwischen Computertomographie und Magnetresonanztomographie je nach Untersuchungszeitpunkt. Die Computertomographie ist in der akuten Phase der Magnetresonanztomographie überlegen, während in der subakuten Phase die Magnetresonanztomographie überlegen ist. [15; 23] In unserer Untersuchung beträgt der zeitliche Median vom Beginn der Symptomatik (und der zeitgleich vermuteten Dissektion) und der MR-Bildgebung 10 Tage und somit fand die Untersuchung eindeutig nicht mehr in der akuten Phase statt. So scheinen Falsch-Negative Bewertungen der T2-Wichtung aufgrund eines unzureichend darstellbarem Wandhämatoms nahezu ausgeschlossen.

In der Veröffentlichung von Mascalchi et al. tritt ebenfalls der Aspekt der Veränderung des intramuralen Wandhämatoms im Verlauf der ersten Tage nach einer stattgefundenen Dissektion. In den ersten Tagen erscheint das Signal mittelstark in T1-gewichteten Aufnahmen und stark in PD- und T2-gewichteten Aufnahmen. Anschließend ist das Signal des intramuralen Wandhämatoms sowohl in T1-, T2- und PD-gewichteten Aufnahmen stark. Mascalchi et al. stehen der Theorie über die Rolle des Desoxyhämoglobins skeptisch gegenüber und finden vergleichbare Signalveränderungen auch bei einem frischem Thrombus einer atheromatösen Occlusion. Dennoch ist für Mascalchi et al. eine in wiederholten Aufnahmen zunehmende Verdickung mit zentralem Signalfluss proximal einer kompletten Occlusion wahrscheinlicher auf eine Dissektion zurückzuführen als auf eine atheromatöse Occlusion [27].

Zuber et al. verwenden als spezifisches radiologisches Zeichen einen exzentrischen Signalfluss, der einem Restlumen entspricht, umgeben von einer halbmondförmigen Hyperintensität, die einem Wandhämatom entspricht und finden dieses Zeichen in 78% der Fälle bei Dissektionen der Arteria carotis interna und in 60% der Fälle bei Dissektionen der Arteria vertebralis. Sie differenzieren dies von einem zentralen Restsignalfluss umgeben von einer ringförmigen Hyperintensität, die unterschiedlichen Ursprungs sein können, zum Beispiel Kontrastmittelanreicherung in den Vasa vasorum oder atheromatöser Plaques. Nachteilig beschreiben Zuber et al. die schwierige Differenzierung zwischen einem intraluminalen Thrombus und einem Wandhämatom sowie ein Problem der eventuell zu groß gewählten Schichtdicke, der sehr kleine Veränderungen entgehen könnten [54].

Provenzale et al. untersuchen eine Zunahme des äußeren Gefäßdurchmessers, ein exzentrisches Lumen und ein hyperintensives Signal aus der Gefäßwand und verwenden damit die gleichen spezifischen radiologischen Zeichen wie in dieser Doktorarbeit [41].

Klufas et al. untersuchen intramurale Hämatome und finden eine Beziehung zwischen der Lokalisation des Wandhämatoms und dem klinischen Verlauf. Extrakranielle Dissektionen der Arteria carotis interna entstehen vor allem in der Tunica media und treten in jedem Alter auf. Sie weisen einen günstigeren klinischen Verlauf auf.

Intrakranielle Dissektionen der Arteria carotis interna entstehen vor allem in der subintimalen Schicht, treten bei jüngeren Menschen gehäuft auf und haben einen schlechteren klinischen Verlauf [20].

Keller et al. vergleichen retrospektiv verschiedene Untersuchungsprotokolle in der Magnetresonanztomographie anhand eines Punktescores für die Bewertbarkeit der Unterpunkte Wandhämatom, Dissektionsmembran, Gefäßstenose, Gefäßverschluss und dissezierendes Aneurysma. Zum Vergleich stehen T1-gewichtete Spin-Echo-Aufnahmen mit und ohne Fettunterdrückung, T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Aufnahmen, und Magnetresonanztomographische Untersuchungsmethoden wie das 2D-Phasenkontrast-MRA, das axiale Time-of-Flight-(TOF) in Form der 2D- und 3D-TOF-MRA. Den höchsten Punktescore erreicht die 3D-Phasenkontrast-MRA mit 88% der möglichen Punkte. Das beste Ergebnis in der Darstellung des Wandhämatoms erreicht die T1-gewichtete Spin-Echo-Sequenz mit Fettunterdrückung. Einen Vorteil der Magnetresonanztomographie gegenüber der Magnetresonanztomographie sehen Keller

et al. in der Nachweisbarkeit einer Dissektionsmembran, die in der MRT nicht nachweisbar ist wohl aber in der MRA [18]. Die schlechtere Darstellbarkeit oder Detektion des Wandhämatoms in unseren Ergebnissen liegt also wahrscheinlich an dem Nachteil der T2-gewichteten Sequenz gegenüber der T1-gewichteten Sequenz.

Levy et al beschreiben für Dissektionen der Arteria carotis interna eine Sensitivität der Magnetresonanztangiographie von 95% verglichen mit einer Sensitivität von 84% für die T1- und T2-gewichteten Sequenzen, die eine Spezifität von 99% aufwiesen.

Dagegen stellen Levy et al. eine niedrigere Sensitivität von nur 20% für das Erkennen von Dissektionen der Arteria vertebralis durch die Magnetresonanztangiographie gegenüber einer Sensitivität von 60% in den T1- und T2-gewichteten Sequenzen fest und führen das auf den geringeren Durchmesser der Arteria vertebralis, ihre Kaliberschwankungen und ihren variablen Verlauf zurück. Die Spezifität lag bei dabei zwischen 98 und 100% [25].

Pauls et al. untersuchen den Stellenwert der Magnetresonanztomographie bei Verletzungen im Halsbereich. Sie verwenden dabei T1- und T2-gewichtete Sequenzen in transversaler und sagittaler Schnittführung vor und nach Kontrastmittelgabe und fertigen TOF-Sequenzen und kontrastunterstützte Angiographien an. Als Kriterien für eine Dissektion legen sie eine Occlusion und ein fehlenden Flow-void für die axialen Sequenzen fest. Für die transversalen Sequenzen definieren sie einen Thrombus, ein Gefäßwandhämatom, eine Gefäßwandverdickung und ein perivaskuläres Ödem als Kriterien für eine Dissektion. Durch die Kontrastmittelgabe kann in den T1-gewichteten Aufnahmen eine Aussage über eine entzündliche Organisation nachgewiesen werden. Es wird beschrieben, dass anhand der T1-gewichteten Aufnahmen die Unterscheidung zwischen einer Dissektion und einem langsamen intraluminalen Fluss nur schwer möglich ist, wenn eine extraluminale Umgebungsreaktion fehlt. Die T2-gewichteten Aufnahmen bringen außer einer höheren Signalintensität keine zusätzliche Information [35].

LeBlang et al. verwenden als spezifische Befunde bei Dissektionen der supraaortalen Gefäße folgende Zeichen: ein erhöhten externen Gefäßdurchmesser, ein verengtes Restlumen und ein hyperintenses intramurales Hämatom [21].

Kirsch et al. untersuchen die Sensitivität und Spezifität der Magnetresonanztomographie und der Magnetresonanztangiographie bei durch digitaler

Subtraktionsangiographie gesicherten Dissektionen. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass MRT und MRA eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von ebenfalls 100% für Dissektionen der Arteria carotis interna aufweisen. Sensitivität und Spezifität sind allerdings für Dissektionen der Arteria vertebralis deutlich geringer. Die Arbeitsgruppe führt dies auf den geringeren Durchmesser der gesunden Vertebralarterien und die damit verbundenen Schwierigkeiten ein intramurales Hämatom nachzuweisen zurück. Zudem kommen Kirsch et al. zu dem Ergebnis, dass die TOF-Technik der Phasen-Kontrast MRA überlegen ist, da in dieser das intramurale Hämatom nicht sichtbar ist. In allen 8 Dissektionen ihrer Studie fanden sie eine Zunahme des externen Gefäßdurchmessers [19].

Phan et al. untersuchen die Verwendung der Kontrastmittel-gestützten (Contrast-Enhanced =CE) Magnetresonanztomographie im Vergleich zum Ultraschall und zur Katheterangiographie nach einer Carotis-Endarteriektomie. Im Vergleich zur ultraschallbasierten Untersuchung können die Autoren bei 22% (43 von 196 Patienten) durch die CE-MRA zusätzliche Informationen gewinnen. Im Vergleich zur Katheterangiographie wird besonders die niedrigere Komplikationsrate der CE-MRA nach Carotis-Endarteriektomie herausgestellt. Allerdings beschreiben Phan et al. keine Sensitivität oder Spezifität in der Detektion von Dissektionen der zervikalen Gefäße, da nicht von allen Patienten sowohl eine Katheterangiographie als auch eine CE-MRA vorlag. Eine Unterscheidung in spezifische oder unspezifische radiologische Zeichen wird in der Arbeit nicht getroffen [40].

Ozdoba et al. beschreiben die spezifischen Zeichen des exzentrischen Lumens und des semilunaren hyperintensiven Signals, welches das intramurale Hämatom darstellt. Die Zunahme des äußeren Gefäßdurchmessers definieren sie als nicht-spezifisch, geben aber zu, dass es in den meisten Untersuchungen gefunden wird. Als zusätzliche Besonderheit der Dissektion beschreiben die Autoren, dass das intramurale Hämatom üblicherweise an der konvexen Seite des Gefäßes lokalisiert ist, können dafür zwar keine endgültige Erklärung dafür liefern, vermuten aber, dass es mit dem arteriellen Blutdruck oder einer leichteren zentrifugalen Ausbreitung der Wühlblutung zusammenhängt [34].

Ein Vorteil der Magnetresonanztomographie besteht in der Möglichkeit verschiedener Sequenzen. So können unterschiedliche Wichtungen ohne oder mit Fettunterdrückung sowie eine MRA in gleicher Sitzung angefertigt werden [15; 18; 40]. Dadurch lassen

sich Lücken oder Schwächen in der Darstellbarkeit bestimmter spezifischer radiologischer Zeichen in den einzelnen Sequenzen schließen. Als neuer Standard innerhalb der Magnetresonanztomographie gelten dementsprechend „Time of flight (TOF)“ MR-Angiographie-Sequenzen in Kombination mit T1- und T2-gewichteten Schnittbildern durch die Region des Dissektats [11; 38; 40].

In der Literatur ist in Vergleichen zwischen der Magnetresonanztomographie und der Magnetresonanzangiographie die Magnetresonanzangiographie diejenige Untersuchungsmodalität, die die besseren Detektionsraten aufweist [15; 18; 22]. In unseren Ergebnissen war die Rate von mindestens einem spezifischen radiologischen Zeichen in der Magnetresonanzangiographie mit 7 von 29 Fällen (24,14%) am schlechtesten. Dass in dieser Doktorarbeit diese Ergebnisse nicht einmal annähernd wiederholt wurden kann an dem unterschiedlichen Auswertungsmodus liegen. Zum Beispiel wurde bei unserer Auswertung der Magnetresonanzangiographie strikt jede Vorinformation anderen Sequenzen missachtet und lediglich spezifische Zeichen der Magnetresonanzangiographie bewertet. Als spezifisch wurde dabei lediglich das String Sign definiert. Die in der Katheterangiographie noch verwendeten spezifischen Zeichen des Doppellumpens, des Intimalen Flaps und des Kontrastmitteldepots kommen in der Magnetresonanzangiographie nicht zum Tragen. Ebenso fallen die so wichtigen spezifischen Zeichen der Wandveränderungen weg. In vielen Publikationen werden solche spezifischen Zeichen jedoch nicht verwendet.

#### **4.4 Vergleich der Untersuchungsmodalitäten**

Um im Falle einer Dissektion die richtige Diagnose zu stellen ist zunächst sehr wichtig klinisch daran zu denken, dass auch bei unspezifischen Symptomen wie Kopfschmerzen, Nackenschmerzen, Tinnitus oder einem Horner-Syndrom eine Dissektion vorliegen könnte. Zudem muss ein Radiologe beim Auffinden der definierten spezifischen radiologischen Veränderungen in der Folge einer Dissektion auch bei Fehlen von klinischen Symptomen diese Diagnose stellen.

Im Vergleich der Untersuchungsmodalitäten miteinander hat jede Methode seine spezifische Indikation:

Die Computertomographie ist schnell verfügbar und hat ihren besonderen Vorteil in der Frühphase einer Dissektion. Sie sollte als Erstverfahren angewandt werden wenn der vermutete Dissektionszeitpunkt erst wenige Stunden zurückliegt [15; 23]. Zudem ist die Computertomographie anzuwenden wenn eine Kontraindikation für die Durchführung einer Magnetresonanztomographie gegeben ist.

Die Magnetresonanztomographie hat den höchsten Weichteilkontrast und ermöglicht so die beste Darstellung spezifischer Veränderungen. Dementsprechend weist sie die höchste Rate an mindestens einem spezifischen radiologischen Zeichen für das Vorliegen einer Dissektion auf. Die Durchführung einer Magnetresonanztomographie in gleicher Sitzung und die Möglichkeit der Sequenzenwahl erweist sich als zusätzlicher Vorteil der Methode. Aufgrund der vorgenannten Eigenschaften und der fehlenden Strahlenbelastung ist die Magnetresonanztomographie in Kombination mit der Magnetresonanztomographie als Untersuchungsmethode der Wahl in der subakuten Phase anzusehen [8; 15; 18].

Die Katheterangiographie bietet die höchste Auflösung und damit die beste Darstellung luminaler Veränderungen [27; 41]. Sie sollte in zweifelhaften Fällen durchgeführt werden, wenn der Patient klinisch ein Dissektion vermuten lässt, die anderen Untersuchungsmodalitäten aber keine Veränderungen feststellen konnten.

## **5. LITERATUR**

- 1 AWMF (2003). Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie.
- 2 Bassetti, C., A. Carruzzo, et al. (1996) Recurrence of cervical artery dissection. A prospective study of 81 patients. Stroke **27**: 1804-7.
- 3 Bassi, P., P. Lattuada, et al. (2003) Cervical cerebral artery dissection: a multicenter prospective study (preliminary report). Neurol Sci **24 Suppl 1**: S4-7.
- 4 Baumgartner, R. W., M. Arnold, et al. (2001) Carotid dissection with and without ischemic events: local symptoms and cerebral artery findings. Neurology **57**: 827-32.
- 5 Benninger, D. H., D. Georgiadis, et al. (2004) Mechanism of ischemic infarct in spontaneous carotid dissection. Stroke **35**: 482-5.
- 6 Bogousslavsky, J., P. A. Despland, et al. (1987) Spontaneous carotid dissection with acute stroke. Arch Neurol **44**: 137-40.
- 7 Brandt, T. and C. Grond-Ginsbach (2002) Spontaneous cervical artery dissection: from risk factors toward pathogenesis. Stroke **33**: 657-8.
- 8 Chen, J. L., R. Smith, et al. (1989) Spontaneous dissection of the vertebral artery: MR findings. J Comput Assist Tomogr **13**: 326-9.
- 9 Cox, L. K., T. Bertorini, et al. (1991) Headaches due to spontaneous internal carotid artery dissection magnetic resonance imaging evaluation and follow up. Headache **31**: 12-6.
- 10 Crum, B., B. Mokri, et al. (2000) Spinal manifestations of vertebral artery dissection. Neurology **55**: 304-6.
- 11 Djouhri, H., B. Guillon, et al. (2000) MR Angiography for the Long-Term Follow-Up of Dissecting Aneurysms of the Extracranial Internal Carotid Artery. AJR Am J Roentgenol **174**.
- 12 Dziewas, R., C. Konrad, et al. (2003) Cervical artery dissection--clinical features, risk factors, therapy and outcome in 126 patients. J Neurol **250**: 1179-84.

- 13 Egelhof, T., O. Jansen, et al. (1996) [CT angiography in dissections of the internal carotid artery. Value of a new examination technique in comparison with DSA and Doppler ultrasound]. Radiologe **36**: 850-4.
- 14 Evans, R. W. and B. Mokri (2002) Headache in cervical artery dissections. Headache **42**: 1061-3.
- 15 Fiebach, J., T. Brandt, et al. (1999) [MRI with fat suppression in the visualization of wall hematoma in spontaneous dissection of the internal carotid artery]. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr **171**: 290-3.
- 16 Heiserman, J. E., B. L. Dean, et al. (1994) Neurologic complications of cerebral angiography. AJNR Am J Neuroradiol **15**: 1401-7; discussion 1408-11.
- 17 Houser, O. W., B. Mokri, et al. (1984) Spontaneous cervical cephalic arterial dissection and its residuum: angiographic spectrum. AJNR Am J Neuroradiol **5**: 27-34.
- 18 Keller, E., S. Flacke, et al. (1997) [Cranio-cervical dissections: study strategies in MR imaging and MR angiography]. Rofo **167**: 565-71.
- 19 Kirsch, E., A. Kaim, et al. (1998) MR angiography in internal carotid artery dissection: improvement of diagnosis by selective demonstration of the intramural haematoma. Neuroradiology **40**: 704-9.
- 20 Klufas, R. A., L. Hsu, et al. (1995) Dissection of the carotid and vertebral arteries: imaging with MR angiography. AJR Am J Roentgenol **164**: 673-7.
- 21 LeBlang, S. and D. B. J. Nunez (2000) Noninvasive Imaging of Cervical Vascular Injuries. AJR Am J Roentgenol **174**.
- 22 Leclerc, X. (1999) Preliminary Experience Using Contrast-Enhanced MR Angiography to Assess Vertebral Artery Structure for the Follow-up of Suspected Dissection. AJNR Am J Neuroradiol **20**: 1482-1490.
- 23 Leclerc, X., O. Godefroy, et al. (1996) Helical CT for the diagnosis of extracranial internal carotid artery dissection. Stroke **27**: 461-6.
- 24 Leclerc, X., C. Lucas, et al. (1998) Helical CT for the follow-up of cervical internal carotid artery dissections. AJNR Am J Neuroradiol **19**: 831-7.
- 25 Levy, C., J. P. Laissy, et al. (1994) Carotid and vertebral artery dissections: three-dimensional time-of-flight MR angiography and MR imaging versus conventional angiography. Radiology **190**: 97-103.

- 26 Lisovoski, F. and P. Rousseaux (1991) Cerebral infarction in young people. A study of 148 patients with early cerebral angiography. J Neurol Neurosurg Psychiatry **54**: 576-9.
- 27 Mascalchi, M. (1997) MRI and MR angiography of vertebral artery dissection. Neuroradiology **39**: 329-340.
- 28 Mishkin, M. M. (1990) Contrast media safety: what do we know and how do we know it? Am J Cardiol **66**: 34F-36F.
- 29 Mokri, B., O. W. Houser, et al. (1988) Spontaneous dissections of the vertebral arteries. Neurology **38**: 880-5.
- 30 Mokri, B., W. I. Schievink, et al. (1992) Spontaneous dissection of the cervical internal carotid artery. Presentation with lower cranial nerve palsies. Arch Otolaryngol Head Neck Surg **118**: 431-5.
- 31 Nguyen Bui, L., M. Brant-Zawadzki, et al. (1993) Magnetic resonance angiography of cervicocranial dissection. Stroke **24**: 126-31.
- 32 Novelline, R. A. H., A. (2001) Squire's Fundamentals of Radiology.
- 33 Oelerich, M., F. Stugbauer, et al. (1999) Craniocervical artery dissection: MR imaging and MR angiographic findings. Eur Radiol **9**: 1385-91.
- 34 Ozdoba, C., M. Sturzenegger, et al. (1996) Internal carotid artery dissection: MR imaging features and clinical-radiologic correlation. Radiology **199**: 191-8.
- 35 Pauls, S., E. Hartwig, et al. (2002) [Clinical value of MRI concerning dissection of the supraaortic vessels]. Rofa **174**: 308-13.
- 36 Pelkonen, O., T. Tikkakoski, et al. (2003) Extracranial internal carotid and vertebral artery dissections: angiographic spectrum, course and prognosis. Neuroradiology **45**: 71-7.
- 37 Pelkonen, O., T. Tikkakoski, et al. (1998) Intracranial arterial dissection. Neuroradiology **40**: 442-7.
- 38 Pelkonen, O., T. Tikkakoski, et al. (2004) Cerebral CT and MRI findings in cervicocephalic artery dissection. Acta Radiol **45**: 259-65.
- 39 Pezzini, A., E. Del Zotto, et al. (2002) Plasma homocysteine concentration, C677T MTHFR genotype, and 844ins68bp CBS genotype in young adults with spontaneous cervical artery dissection and atherothrombotic stroke. Stroke **33**: 664-9.

- 40 Phan, T., J. Huston, 3rd, et al. (2001) Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of the cervical vessels: experience with 422 patients. Stroke **32**: 2282-6.
- 41 Provenzale, J. M., J. C. Morgenlander, et al. (1996) Spontaneous vertebral dissection: clinical, conventional angiographic, CT, and MR findings. J Comput Assist Tomogr **20**: 185-93.
- 42 Schievink, W. I. (2000) The treatment of spontaneous carotid and vertebral artery dissections. Curr Opin Cardiol **15**: 316-21.
- 43 Schievink, W. I. (2001) Spontaneous dissection of the carotid and vertebral arteries. N Engl J Med **344**: 898-906.
- 44 Schievink, W. I., B. Mokri, et al. (1994) Recurrent spontaneous cervical-artery dissection. N Engl J Med **330**: 393-7.
- 45 Schievink, W. I., B. Mokri, et al. (1996) Recurrent spontaneous arterial dissections: risk in familial versus nonfamilial disease. Stroke **27**: 622-4.
- 46 Schievink, W. I., B. Mokri, et al. (1993) Internal carotid artery dissection in a community. Rochester, Minnesota, 1987-1992. Stroke **24**: 1678-80.
- 47 Shehadi, W. H. (1982) Contrast media adverse reactions: occurrence, recurrence, and distribution patterns. Radiology **143**: 11-7.
- 48 Silbert, P. L., B. Mokri, et al. (1995) Headache and neck pain in spontaneous internal carotid and vertebral artery dissections. Neurology **45**: 1517-22.
- 49 Srinivasan, J., D. W. Newell, et al. (1996) Transcranial Doppler in the evaluation of internal carotid artery dissection. Stroke **27**: 1226-30.
- 50 Stapf, C., M. S. Elkind, et al. (2000) Carotid artery dissection. Annu Rev Med **51**: 329-47.
- 51 Steinke, W., A. Schwartz, et al. (1996) Topography of cerebral infarction associated with carotid artery dissection. J Neurol **243**: 323-8.
- 52 Sturzenegger, M. and W. Steinke (1996) [Cerebral artery dissection]. Ther Umsch **53**: 544-51.
- 53 Waugh, J. R. and N. Sacharias (1992) Arteriographic complications in the DSA era. Radiology **182**: 243-6.
- 54 Zuber, M., E. Meary, et al. (1994) Magnetic resonance imaging and dynamic CT scan in cervical artery dissections. Stroke **25**: 576-81.

## **6. ANHANG**

### **6.1 Tabellarischer Lebenslauf**



## **6.4 Danksagung**

Folgenden Personen möchte ich für ihre direkte und indirekte Mithilfe an dieser Arbeit danken:

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Prof. Dr. med. S.C. Krämer für seine engagierte, kompetente und humorvolle Betreuung. In vielen abendlichen Sitzungen habe ich gemeinsam mit ihm und Herrn Dr. med. R. Bachmann die radiologischen Bilder befundet.

Herrn Prof. Dr. med. W. Heindel danke ich für die Überlassung dieses interessanten Themas und für die Betreuung nachdem Herr Prof. Dr. med. Krämer Chef der Radiologie in Esslingen wurde.

Meinen Eltern, Dr. med. Klaus Conrad und Dr. med. Helga Conrad, sie haben mich während meines ganzen Studiums in jeder Hinsicht unterstützt und an mich geglaubt. Ihnen habe ich vieles Erreichtes zu verdanken, daher möchte ich Ihnen diese Dissertation widmen.

Und natürlich meinem Mann, Dr. med. Christoph Bauer, der zu jedem Zeitpunkt mit Rat und Motivation zur Stelle war. Ohne seine Hilfe wäre diese Dissertation nicht so schnell fertig geworden.