

Aus der Klinik für Radiologie & Neuroradiologie
(Direktor: Prof. Dr. med. Olav Jansen)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**EVALUATION NOTFALLMÄßIGER RADIOLOGISCHER
INTERVENTIONEN IN AKUT DYSFUNKTIONELLEN
DIALYSESHUNTS**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

MARCO SCHMIDT

aus Radevormwald

Kiel 2015

1. Berichterstatter : Prof. Dr. Jost Philipp Schäfer

Klinik für Radiologie und Neuroradiologie

2 Berichterstatter : Prof. Dr. Felix Hilpert

Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe

Tag der mündlichen Prüfung: 27.09.2016

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 30.06.2016

gez.:

Vorsitzender der Prüfungskommission

Prof Dr. Olav Jansen
Klinik für Radiologie und Neuroradiologie

Gewidmet:

All den Menschen,
die immer an mich geglaubt
und mich in meinem Tun und Sein
unterstützt haben

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1.	Niereninsuffizienz	7
1.2.	Studienziele	10
2.	Methodik	11
2.1.	Patientenpopulation	11
2.2.	Diagnostische Methoden	12
2.2.1.	Klinische Untersuchung	12
2.2.2.	Duplexsonographie	12
2.2.2.1.	Grundlagen Duplexsonographie	12
2.2.2.2.	Untersuchung farbkodierte Duplexsonographie	13
2.2.3.	Digitale Subtraktionsangiographie	13
2.2.3.1.	Grundlagen DSA	13
2.2.3.2.	Untersuchung intraarterielle DSA	14
2.3.	Interventionelle Methoden	15
2.4.	Datenanalyse	17
2.5.	Statistische Analyse	19
3.	Ergebnisse	20
3.1.	Interventionelle Erfolgsraten	20
3.2.	Läsionsartspezifische Erfolgsrate der jeweiligen Untergruppen	23
3.3.	Spezielle Ergebnisse für verschiedene Läsionsarten	26
3.3.1.	Fibrosklerotische Okklusion	26
3.3.2.	Thrombotische Verschlüsse	26

3.3.3.	Kombination aus Stenose und zusätzlichem thrombotischen Verschluss	27
3.4.	Logistische Regressionsanalyse	28
4.	Diskussion	30
5.	Zusammenfassung	37
6.	Literatur	39
7.	Danksagung	43
8.	Lebenslauf.....	44
9.	Veröffentlichungen	45

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
atm	Atmosphären
AV	arteriovenös
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
EBPG	European Best Practice Guidelines
et al.	et alii
F	French
G	Gauge
i. d. R.	in der Regel
KDOQI	Kidney Disease Outcomes Quality Initiative
KI	Konfidenzintervall
n	Anzahl
PTA	Perkutane transluminale Angioplastie
PTFE	Polytetrafluorethylen
V.	Vena
vs.	versus

1. Einleitung

1.1. Niereninsuffizienz

Die Niereninsuffizienz bezeichnet eine Erkrankung der Nieren, bei der die Entgiftungsfunktion der Nieren eingeschränkt oder gar ausgefallen ist. In der Folge kommt es zu einer erhöhten Konzentration der harnpflichtigen Substanzen im Blut. Die chronische Niereninsuffizienz wird in Stadien eingeteilt, wobei die ersten Stadien einer medikamentösen oder diätetischen Therapie zugänglich sind, der schwerste Erkrankungsgrad der terminalen Niereninsuffizienz aber mittels Nierenersatztherapie in Form einer Dialyse zu behandeln ist. Bei terminaler und somit dialysepflichtiger Niereninsuffizienz ist zwar die Nierentransplantation die Therapiemethode der Wahl, in den meisten Fällen werden terminal niereninsuffiziente Patienten aber über einen lang andauernden bzw. lebenslangen Zeitraum mit Hämodialyse behandelt [1,2].

In Deutschland wurden 2001 zirka 52.600 Patienten mit dialysepflichtiger Niereninsuffizienz durch ein Hämodialyseverfahren behandelt. Für 2006 konnte ein Anstieg der Prävalenz der dialysepflichtigen Niereninsuffizienz auf zirka 63.300 Patienten verzeichnet werden (entsprechend 808/1 Mio. Einwohner). Die Inzidenz für eine dialysepflichtige Niereninsuffizienz lag für dasselbe Jahr 2006 in Deutschland bei 17.548 Patienten (entsprechend 213/1 Mio. Einwohner). Im selben Jahr erhielten 2.776 Patienten ein Nierentransplantat [3]. Generell wird davon ausgegangen, dass einhergehend mit der demographischen Entwicklung die Anzahl dialysepflichtiger Patienten in Deutschland im Jahr um etwa 5% ansteigt, sodass für 2014 hochgerechnet von etwa 90.000 dialysepflichtigen Patienten ausgegangen werden muss. Somit ist die dialysepflichtige Niereninsuffizienz als Volkskrankheit einzustufen.

Seit Etablierung der Hämodialyse als extrakorporale Nierenersatztherapie in den 60iger Jahren ist ein zuverlässiger vaskulärer Zugang mit einem hohen Blut-Minuten-Volumen eine Grundvoraussetzung für eine adäquate Durchführung der Dialyse. Im Allgemeinen wird hierzu bei voraussichtlich chronischer Dialysepflichtigkeit ein

chirurgisch angelegter Kurzschluss zwischen einer Arterie und einer Vene, ein sogenannter Shunt, an der oberen Extremität des Patienten angelegt [3-5]. Methodisch erste Wahl zur Anlage eines Shunts ist die 1966 durch James Cimino entwickelte Brescia-Cimino-Fistel mit einer Anastomose zwischen der Arteria radialis und der Vena cephalica am distalen Unterarm. Daneben existieren weitere standardmäßige arteriovenöse Fisteln an der oberen Extremität wie zwischen Arteria brachialis und Vena cephalica bzw. Arteria brachialis und Vena basilica am distalen Oberarm oder auch die operative Anlage eines Kunststoffinterponats zwischen Arterie und Vene. Diese Kunststoffinterponate bestehen z. B. aus Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyester/Dacron, Polyurethan und Ähnlichem. Sollte pathoanatomisch die standardmäßige operative Anlage arteriovenöser Fisteln nicht möglich sein, können Shunts an atypischen Lokalisationen der oberen wie auch der unteren Extremität angelegt werden.

Mit Einführung der Dialysehunts sind auch Probleme bei Dysfunktionalität aufgetreten. Hauptursachen für allmählich oder akut auftretende Shuntstörungen sind Stenosen, Verschlüsse oder kombinierte Defekte in allen Abschnitten des Shuntsystems, so am arteriellen Einstrom, an der arteriovenösen Fistel, im venösen Schenkel und am zentralvenösen Abstrom wie auch bei Kunststoffinterponaten bei der zusätzlich vorliegenden venösen Anastomose. Bis in die 90iger Jahre wurden diese Shuntstörungen typischerweise gefäßchirurgisch-operativ revidiert, durchaus auch in Form einer Shunt-Neuanlage. Kommt es zu der Situation, dass ein alter Shunt stillgelegt und ein neuer Shunt in der Regel proximal lokalisiert angelegt wird, führt das immer zu einer Reduktion potenziell dialysefähiger Gefäßterritorien.

Seit den 90iger Jahren besteht neben der Möglichkeit einer operativen Revision bei dysfunktionellem Shunt auch die alternative Methode einer endovaskulären Revision, die i. d. R. radiologisch-interventionell durchgeführt wird. Die technischen Revisionsmöglichkeiten hierbei umfassen eine Vielzahl von Methoden wie perkutaner transluminaler Ballonangioplastie (PTA), lokaler Lysetherapie, Stentimplantationen, Thrombusaspirationsmanövern etc., wobei das Ziel ist, einen zur Dialyse ausreichenden Blutfluss akut wieder herzustellen und den Shunt selbst und damit die Shuntnutzungsdauer zu erhalten.

Eine adäquate medizinische Betreuung eines dialysepflichtigen Patienten beinhaltet u. a. die kontinuierliche Kontrolle des Blut-Minuten-Volumens des Dialyseshunt, um die Dialysefähigkeit zu erhalten. Dysfunktionelle Dialyseshunts bedeuten i. d. R. eine Steigerung der Morbidität dialysepflichtiger Patienten mit der Folge vermehrter und verlängerter stationärer Krankenhausaufenthalte und dadurch Steigerung der Kosten für das Gesundheitssystem [6]. Mechanisch lädierte Dialyseshunts, sei es durch allmähliche Entstehung stenosierter Abschnitte, fibrosklerotischer Gefäßwandveränderungen im venösen Shuntabschnitt oder akut durch rezidivierende Punctionen zur Hämodialyse, führen häufig zu einer vollständigen Thrombosierung mit konsekutivem akutem Verlust der Zugangsfähigkeit, sodass die Hämodialyse nicht mehr durchgeführt werden kann [6].

In den Richtlinien der Kidney Disease Outcomes Quality Initiativ (KDOQI) der nordamerikanischen Kidney Foundation wird, um langfristig das benötigte Blut-Minuten-Volumen zu gewährleisten, empfohlen, die Behandlung eines thrombosierten Dialyseshunt so schnell wie möglich zu beginnen [6]. Der optimale Behandlungszeitpunkt eines dysfunktionalen Dialyseshunt bedingt durch eine Stenose an der arteriellen bzw. venösen Anastomose oder des venösen Shuntsabschnitts oder durch einen fibrosklerotischen Verschluss wird in den KDOQI-Richtlinien nicht näher definiert und bleibt Gegenstand zukünftiger Untersuchungen [7]. In den European Best Practice Guidelines (EBPG) For Haemodialysis wird im Falle eines dysfunktionellen Dialyseshunt immer die sofortige Intervention empfohlen [8].

Somit besteht bei diesen beiden Richtlinien eine Diskrepanz bezüglich der Empfehlung zum optimalen Zeitpunkt einer operativen oder interventionellen Revision eines akut dysfunktionalen Dialyseshunt, wobei insbesondere die europäische Richtlinie grundsätzlich eine sofortige Revision im Falle einer Dysfunktion empfiehlt.

Um den Einfluss des Zeitpunkts sofortiger notfallmäßiger Interventionen bei akuter Shunt-dysfunktion näher zu untersuchen, wurden über einen Zeitraum von drei Jahren alle dysfunktionalen Dialyseshunts einer radiologisch-interventionellen

Intervention gemäß der Vorgabe durch die europäische Richtlinie EBPG zugeführt. Somit wurden sämtliche interventionellen Shuntrevisionen unabhängig von der Uhrzeit, dem Erfahrungsgrad des Untersuchers und der Ursache der Dysfunktion vorgenommen. Die erhobenen Daten wurden hinsichtlich der Wirksamkeit einer radiologisch-interventionellen Therapie dysfunktionaler Dialyseshunt als Notfalleingriff analysiert, wobei insbesondere die genannten Faktoren Uhrzeit, Erfahrungsgrad des Untersuchers und Ursache der Dysfunktion Berücksichtigung fanden.

1.2. Studienziele

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss der Faktoren Zeitpunkt der radiologisch-interventionellen Therapie, Erfahrungsgrad des Untersuchers und Ursache der Dysfunktion bei akut dysfunktionalem Dialyseshunt im Hinblick auf die technische Erfolgsrate interventioneller Shuntrevisionen zu bestimmen, um hieraus Empfehlungen für den klinischen Einsatz der radiologisch-interventionellen Dialyseshuntrevision abzuleiten.

2. Methodik

2.1. Patientenpopulation

Gemäß der Vorgabe durch die europäische Richtlinie EBPG wurden über einen Zeitraum von drei Jahren alle Patienten, die mit akut dysfunktionalem Dialysehunt im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, vorgestellt wurden, unmittelbar der Klinik für Radiologie und Neuroradiologie zugeführt, um eine Angiographie in Interventionsbereitschaft durchzuführen. Nach förmlicher Aufklärung über die Notwendigkeit des therapeutischen Eingriffs wurde von jedem Patienten eine Einverständniserklärung eingeholt. Da sämtliche Patienten mit akut dysfunktionalem Dialysehunt konsekutiv behandelt wurden, hat keine Selektion einzelner Patientengruppen stattgefunden. Die Daten sämtlicher im Zeitraum von drei Jahren behandelter Patienten (n=280) wurden retrospektiv analysiert.

Jeder Patient mit akut dysfunktionalem Dialysehunt wurde vom behandelnden Radiologen klinisch untersucht mit der Möglichkeit, zusätzlich einen Ultraschall des Shunts durchzuführen. Essenziell bei einer klinischen Untersuchung eines dysfunktionalen Dialysehunts ist die Palpation, die dem erfahrenen Untersucher oftmals bereits die zugrunde liegende Ursache der Dysfunktionalität zielsicher vermuten lässt. Unmittelbar im Anschluss an die klinische Untersuchung und die Aufklärung des Patienten erfolgte die Angiographie des dysfunktionellen Dialysehunts durch den behandelnden Radiologen in Interventionsbereitschaft. D. h., dass nach angiographischer Darstellung der zugrunde liegenden Ursache der Dysfunktion unmittelbar, sofern als möglich erachtet, eine interventionelle Revision des Dialysehunts durchgeführt wurde. Von den 280 angiographisch untersuchten Patienten konnte in n=241 Fällen eine Intervention durchgeführt werden, die in der retrospektiven Analyse ausgewertet wurden. Von den 280 beobachteten Patienten lag ein Geschlechterverhältnis Mann/Frau von 141/139 vor. Das Durchschnittsalter lag bei 64 Jahren, wobei der jüngste Patient 29 Jahre und der älteste Patient 91 Jahre alt war.

2.2. Diagnostische Methoden

2.2.1. Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung von Patienten mit akut dysfunktionalem Dialysehunt ist essenziell, wobei bereits die Palpation des Dialysehunts selbst häufig den wegweisenden Befund der zugrunde liegenden Ursache der Dysfunktionalität liefert. Dabei beschreibt das sogenannte Schwirren bei der Palpation des Shunts das regelrechte Funktionieren mit ausreichendem Blut-Minuten-Volumen zur Hämodialyse. Sind Pulsationen palpabel, die insbesondere an der arteriovenösen Fistel oder im venösen Shuntschenkel auffallen, so ist eine flussrelevante Stenose bzw. der Beginn eines okkludierten Shuntsegments im Bereich der Pulsationen zu vermuten. Liegen thrombosierte Shuntabschnitte vor, palpieren diese sich meist weich oder mit leicht elastischer Resistenz. Bei älteren Thrombosierungen bzw. fibrosklerotischen Verschlüssen einzelner Shuntabschnitte sind diese meist als derbe, harte, strangartige Resistenzen zu tasten.

2.2.2. Duplexsonographie

2.2.2.1. Grundlagen Duplexsonographie

Der Ultraschall wird seit mehr als einem halben Jahrhundert zur Diagnostik am Menschen eingesetzt. Durch den sogenannten Piezoeffekt können Schallwellen erzeugt und dargestellt werden. Die Schallwellen weisen eine vom Ausbreitungsmedium abhängige Geschwindigkeit auf, die bei organischen Weichteilen oder Flüssigkeit etwa 1500 m/s beträgt. Aufgrund der Heterogenität organischer Gewebe entstehen unterschiedliche Schallphänomene, die auf einem Verhältnis zwischen Reflektion und Transmission der Schallwellen entstehen. In der Diagnostik wird der reflektierte Anteil der vom Piezomaterial ausgesendeten Schallwellen durch das Piezomaterial wieder in Spannung umgewandelt. Die Stärke der Reflektion wird in unterschiedlichen Grauwerten und die zeitliche Differenz in räumlicher Tiefe auf dem Bildschirm wiedergegeben. Das entstehende Bild wird in der Ultraschalldiagnostik als sogenanntes B-Bild bezeichnet und beschreibt die

Anatomie in Schallausbreitungsrichtung als Grauwerte. Dabei können hochfrequente Schallwellen weniger tief in das Gewebe eindringen, weisen aber eine deutlich bessere Ortsauflösung auf, während niederfrequente Schallwellen deutlich tiefer in Gewebe eindringen können und eine herabgesetzte Ortsauflösung bieten.

C. Doppler beschrieb in den 1840er Jahren den sogenannten Dopplereffekt, bei dem die von einem relativ zum Sender bewegten Objekt reflektierten Wellen proportional zu dessen Geschwindigkeit ihre Frequenz verändern. In Gefäßen nutzt man die Erythrozyten als Grenzfläche. Die Frequenzänderung des ausgesendeten und reflektierten Signals ist nun abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit der Erythrozyten, der Schallausbreitungsgeschwindigkeit und dem Cosinus des Winkels des einfallenden Signals. Bei der farbkodierten Duplexsonographie wird dieser Doppler-Effekt mit dem B-Bild kombiniert. Die Flussrichtung wird dann i. d. R. mit Blau und Rot dargestellt, und die Flussgeschwindigkeit wird durch die Tönung der Farbe wiedergegeben.

2.2.2.2. Untersuchung farbkodierte Duplexsonographie

Die einzelnen Ultraschalluntersuchungen wurden an einem Acuson S2000 (Siemens, Erlangen, Deutschland) durchgeführt. Für die Untersuchung der Extremität und des arteriovenösen Shuntsystems wurde ein 9 MHz-Schallkopf unter Einsatz von B-Bild, Doppler-Signal und FKDS verwendet. Insbesondere wurden die zuführende Arterie, die arteriovenöse Fistel selbst und die abführende Shuntvene bzw. das anastomosierte künstliche Gefäßinterponat beurteilt und das Ausmaß der beobachteten Läsionen Stenose, fibrosklerotischer Verschluss, thrombotischer Verschluss oder Kombination aus diesen Läsionen bestimmt.

2.2.3. Digitale Subtraktionsangiographie

2.2.3.1. Grundlagen DSA

1895 beschrieb W.C. Röntgen die nach ihm benannte Röntgenstrahlung. Diese Strahlung entsteht, wenn Elektronen aus einer Glühkathode gelöst und im Vakuum durch hohe Spannung beschleunigt werden und in Folge ihres Aufpralls auf eine

Anode abgebremst werden. Wenn Röntgenstrahlen durch ein Objekt geleitet werden, schwächt dieses Objekt je nach Dichte und Dicke des Materials die Strahlung ab bzw. absorbiert sie. Lenkt man hiernach die durchtretenden Röntgenstrahlen auf ein Informationsmedium, herkömmlich z. B. eine Speicherfolie oder einen Röntgenfilm und modern ein digitales Detektorfeld, erhält man eine zweidimensionale Projektion.

Seit der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts können über Katheter Gefäßdarstellungen des menschlichen Körpers durchgeführt werden. 1936 wurde durch Ischikawa erstmals eine Katheter-Aortographie angefertigt. 1953 entwickelte Seldinger die nach ihm benannte perkutane Katheter-Einführtechnik, die bis heute noch immer Grundlage jeder angiographischen Methode ist. Heute wird bei der invasiven Gefäßdarstellung und zur gleichzeitigen Durchführung von endovaskulären Interventionen die Digitale Subtraktionsangiographie eingesetzt.

Bei der DSA werden von der betrachteten Gefäßregion zwei Aufnahmen erstellt, das sogenannte Maskenbild vor Kontrastmittelapplikation und das sogenannte Füllungsbild nach Kontrastmittelapplikation. Mittels Computer wird nun das Masken- von dem Füllungsbild subtrahiert, sodass idealerweise sämtliche für die Gefäßdiagnostik störenden und überlagernden Strukturen wie z. B. der Muskel-Skelett-Apparat eliminiert werden. Bei der DSA wird das Bild von einem Aufnahmesystem ausgelesen und in Form von Pixeln als sogenannte Matrix gespeichert. Die derzeit übliche 1024er Matrix ist für hochauflösende Angiographien im Submillimeterbereich geeignet und besteht aus 1024 Zeilen und 1024 Spalten. Moderne DSA-Systeme erlauben Nachbearbeitungsverfahren wie das Anpassen von Helligkeit und Bildkontrast, Chase-Bolus-Tracking als Aufsummierung mehrerer Kontrastbilder oder Pixelshift als Verschieben der Maske zur Korrektur von Bewegungsartefakten.

Zur Darstellung des arteriovenösen Shuntsystems sind i. d. R. mehrere Projektionen notwendig, um die einzelnen Abschnitte arterieller Einstrom, arteriovenöse Fistel und venöser Abstrom überlagerungsfrei darstellen zu können.

2.2.3.2. Untersuchung intraarterielle DSA

Nach Ausschluss von Kontraindikationen wurden die Patienten über die Risiken der Untersuchung aufgeklärt und das schriftliche Einverständnis eingeholt. Nach

Lagerung des Patienten auf dem Angiographietisch erfolgte der Eingriff unter sterilen Bedingungen und in lokaler Anästhesie.

Die DSA wurde für diese Studie an einer digitalen Angiographieranlage (Multistar TOP; Siemens, Erlangen, Deutschland) erstellt. Zur angiographischen Diagnostik wurde entweder retrograd die Arteria brachialis kubital punktiert und ein 20G-Venenverweilkatheter eingelegt, oder es wurde – bei vorhandener Restperfusion des Shunts – der Shunt selbst punktiert und ein 20G-Verweilkatheter eingelegt. Mit Handinjektion wurden hiernach Kontrastmittel appliziert und dann DSA-Serien in mindestens zwei Ebenen angefertigt, wobei darauf geachtet wurde, dass der gesamte Shunt vom arteriellen Einstrom an der Extremität bis zum zentralvenösen Ausstrom herzwärts angiographisch erfasst wurde. Als Kontrastmittel diente Imeron 300 (Imeron 300; Bracco, Mailand, Italien), wobei pro Serie eine Menge von zirka 5 ml injiziert wurde. Die Bildrate betrug 2 Bilder/Sekunde.

2.3. Interventionelle Methoden

Nach angiographischer Darstellung der zugrunde liegenden Ursachen der Dysfunktionalität eines Dialyseshunt wurde unmittelbar in lokaler Anästhesie der Shunt retrograd/antegrad punktiert und eine 4- bis 7F-Schleuse eingelegt. Allen Patienten wurde zur Thromboseprophylaxe periinterventionell ein Bolus mit 5.000 I.E. Heparin intravenös appliziert.

Zur Behandlung von Stenosen wurden diese zunächst mit einer Draht-Katheter-Kombination passiert. Als Drähte wurden 0,014 inch, 0,018 inch und 0,035 inch Führungsdrähte eingesetzt (Spartacore und V18; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA; Terumo Radifocus; Terumo, Tokio, Japan). Als Dilatationskatheter dienten 3- bis 8 mm Ballonkatheter (Viatrac; Abbott, Phoenix, USA; Sterling und Wanda; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA). Konnte bei standardmäßigen Inflationsdrücken von 6-8 bar die Stenose nicht aufdilatiert werden, so konnte im Einzelfall bis 18 bar im Sinne einer Hochdruckinflation der Ballon inflatiert werden. Erfolgte auch hiernach keine suffiziente Aufdehnung der Stenose, so wurde im Einzelfall ein sogenannter 4- bis 6 mm Schneideballon

eingesetzt (Cutting; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA).

Die eingesetzten Katheter waren 4- bis 5F-Katheter (Berenstein, Multipurpose; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA).

Zur Rekanalisation von fibrosklerotischen und thrombotischen Verschlüssen wurden verschiedene Draht-Katheter-Kombinationen verwendet. Als Rekanalisationsdrähte wurden 0,018 inch und 0,035 inch Drähte verwendet (V18; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA; Terumo Radifocus; Terumo, Tokio, Japan). Die verwendeten Katheter waren 4- bis 6F-Katheter (Berenstein, Multipurpose, Straight, Rim; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA). Bei fibrosklerotischen Verschlüssen wurde vorsichtig mit Dilatationskathetern eine Ballondilatation zur Wiederherstellung des Gefäßlumens durchgeführt. Bei thrombotischen Verschlüssen wurden rezidivierende Aspirationsmanöver mit sogenannten 6- bis 7F-Aspirationskathetern (Straight, Vistabrite; Boston Scientific, Boston, Massachusetts, USA) durchgeführt.

Die erfolgreiche interventionelle Revision wurde mittels abschließender Angiographieserien mit Dokumentation eines hämodynamisch regelrecht durchflossenen Shunts mit freiem Abstrom nach zentral verifiziert. Bei frustraner interventioneller Revision wurde in Abhängigkeit der Klinik und der Dringlichkeit der Hämodialyse entweder unmittelbar die operative Revision angeschlossen oder ein großlumiger Dialyskatheter zentralvenös angelegt.

In besonderen Fällen einer unklaren Shuntsituation an einer oberen Extremität und/oder einer Nichtpunktionsfähigkeit der zuführenden Arterie erfolgte die Katheterisierung der Arteria brachialis am proximalen Oberarm über einen transinguinalen Zugang. Abhängig von der Lokalisation der zu versorgenden Läsion wurde entweder ein antegrader/ retrograder Zugang über den Dialyseshunt oder ein antegrader Zugang über die Arteria brachialis sowie in besonderen Fällen ein venöser Zugang über die Leiste gewählt. Bei langstreckigen thrombotischen Verschlüssen wurden, falls technisch notwendig, zwei Schleusen in sogenannter Criss-Cross-Technik angelegt. Weitere Maßnahmen wie Stentimplantationen in den Dialyseshunt oder Applikationen von thrombolytischen Substanzen wurden nicht angewandt. Abschließend wurde die Punktionsstelle im Bereich des Dialyseshunts mit einer sogenannten Doppel-U-Naht verschlossen [9], und die arterielle Punktionsstelle wurde bis zur Hämostase manuell komprimiert mit anschließender

Anlage eines Druckverbandes.

2.4. Datenanalyse

Die erhobenen Daten wurden drei Beobachtungsgruppen zugeordnet, welche einer statistischen Analyse unterzogen wurden (Tab. 1):

1. Uhrzeit mit den Untergruppen Routinearbeitszeit und Notdienst. Hierbei wurde die Routinearbeitszeit von Montag bis Freitag zwischen 07:00 und 16:00 Uhr definiert, der Notdienst umfasst die Zeitabschnitte von 16:00 bis 07:00 Uhr und das Wochenende sowie Feiertage (Tab. 1).
2. Erfahrungsgrad des behandelnden interventionellen Radiologen mit den beiden Untergruppen erfahren und weniger erfahren. Als Indikator für die Erfahrung des Radiologen wurden die Anzahl der selbstständig durchgeführten interventionellen Shuntrevisionen von akut dysfunktionellen Dialyseshunt im Zeitraum von zwei Jahren vor Beginn des beobachteten Zeitraums herangezogen. Als erfahren galt ein Untersucher, wenn er in diesem Zeitraum 30 oder mehr interventionelle Dialyseshuntrevisionen durchgeführt hatte (Tab. 1).
3. Läsionsart mit den vier Untergruppen unterteilt in Stenose, fibrosklerotischer Verschluss, thrombotischer Verschluss und Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss (Tab. 1).

Tabelle 1

Definition der drei Beobachtungsgruppen mit den spezifischen Untergruppen.

Anmerkung: Zur Festlegung des Erfahrungsgrades wurde die Anzahl an Interventionen in akut dysfunktionellen Hämodialysesessions in den zwei Jahren vor Studienbeginn herangezogen.

Beobachtungsgruppe	Untergruppe	Definition
Abhängigkeit von der Uhrzeit	Routinearbeitszeit	07:00h bis 16:00h Montag bis Freitag
	Notdienst	16:00h bis 07:00h Montag bis Freitag sowie Wochenende und Feiertage
Erfahrung des Interventionalisten	Niedrig	≤30 Interventionen
	Hoch	>30 Interventionen
Läsionsart	Stenose	Stenose ≥50% der arterio-venösen Anastomose, AV-Fistel oder des zentralvenösen Abflusssystem
	Fibrosklerotischer Verschluss	Fibrosklerotischer Verschluss der AV-Fistel oder des zentralvenösen Abflusssystem
	Thrombotischer Verschluss	Thrombotischer Verschluss der AV-Fistel
	Kombiniert stenotisch-thrombotischer Verschluss	Kombination aus Stenose und zusätzlich thrombotischem Verschluss der AV- Fistel

2.5. Statistische Analyse

Eine erfolgreiche interventionelle Revision wurde definiert als eine Kombination aus primär technischem Erfolg, der durch eine abschließende Angiographie des hämodynamisch regelrecht perfundierten Shunts belegt wurde, und aus einer klinischen Kontrolle, die wenigstens eine suffiziente Hämodialyse über den revidierten Dialyseshunt beinhaltete. Für Stenosen und fibrosklerotische Verschlüsse wurde der technische Erfolg definiert, wenn eine Reststenose $<30\%$ erzielt werden konnte. Für jede der Untergruppen der drei Beobachtungsgruppen wurde die dazu gehörige Erfolgsrate berechnet. Für jede Beobachtungsgruppe wurden Kreuztabellen erstellt und mittels Pearsons-Chi-Quadrat-Test wurde nach signifikanten Unterschieden zwischen den Untergruppen gesucht (zweiseitige asymptotische Signifikanz mit $p < 0,05$). Eine logistische Regressionsanalyse wurde durchgeführt, um die Variablen mit relevantem Einfluss auf die Erfolgsrate zu detektieren. Als statistische Software diente SPSS (Version Januar 2010; Chicago, Illinois, USA).

3. Ergebnisse

3.1. Interventionelle Erfolgsraten

Die Gesamterfolgsrate der insgesamt n=241 Interventionen betrug 62% (149/241). Die Interventionen haben sich gemäß der Beobachtungsgruppe „Tageszeit“ zu 56% (136/241) während der Routinearbeitszeit und zu 44% (105/241) im Notdienst verteilt (Tab.2). In der Beobachtungsgruppe „Erfahrungsgrad des Interventionalisten“ wurden 46% (111/241) der Interventionen von erfahrenen Radiologen und 54% (130/241) von weniger erfahrenen Radiologen durchgeführt (Tab. 2). In der dritten Beobachtungsgruppe „Läsionsart“ zeigte sich eine Verteilung der Interventionen von 47% (114/241) Stenosen, gefolgt von Kombinationen aus Stenose und zusätzlich vorliegendem thrombotischem Verschluss mit 25% (61/241), während sich thrombotische und fibrosklerotische Verschlüsse mit jeweils 14% (33/241) gleich häufig fanden (Tab. 2).

Tabelle 2

Verteilung der Interventionen je Untergruppe in den drei Beobachtungsgruppen.

Beobachtungsgruppe	Untergruppe	Verteilung
Uhrzeit	Routinearbeitszeit	56% (136/241)
	Notdienst	44% (105/241)
Erfahrung des Interventionalisten	Niedrig	54% (130/241)
	Hoch	46% (111/241)
Läsionsart	Stenose	47% (114/241)
	Fibrosklerotischer Verschluss	14% (33/241)
	Thrombotischer Verschluss	14% (33/241)
	Kombiniert stenotisch-thrombotischer Verschluss	25% (61/241)

Die Erfolgsrate für Eingriffe, die während der Routinearbeitszeit durchgeführt wurden, lag bei 68% (93/136) vs. 53% (56/105) für Eingriffe, die im Notdienst stattfanden. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen erreichte mit $p=0,017$ ein signifikantes Niveau (Tab. 3).

In der zweiten Beobachtungsgruppe bezüglich Erfahrungsstand des Radiologen erreichten erfahrene Interventionalisten eine Erfolgsrate von 71% (79/111), während Interventionalisten mit weniger Erfahrung in 54% (70/130) der Fälle erfolgreich waren (Tab. 3). Auch hier war der Unterschied zwischen den beiden Untergruppen signifikant mit $p=0,022$.

In der dritten Beobachtungsgruppe „Läsionsart“ konnten Stenosen in 82% (94/114) der Fälle erfolgreich behandelt werden. Die Erfolgsrate bei der Läsionsart „Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss“ lag bei 59% (36/61). Eine Erfolgsrate von 39% (13/33) ergab sich für die Läsionsart „Fibrosklerotische Verschlüsse“, während die Erfolgsrate für „Thrombotische Verschlüsse“ sehr niedrig

mit lediglich 18% (6/33) war. Die Unterschiede innerhalb dieser Beobachtungsgruppe erreichten ebenfalls das Signifikanzniveau mit $p < 0,001$ (Tab. 3).

Tabelle 3

Erfolgsrate je Untergruppe in den drei Beobachtungsgruppen.

Beobachtungsgruppe	Untergruppe	Erfolgsrate	Pearson's Chi-Quadrat
Uhrzeit	Routinearbeitszeit	68% (93/136)	p=0,017
	Notdienst	53% (56/105)	
Erfahrungsgrad des Interventionalisten	Niedrig	54% (70/130)	p=0,022
	Hoch	71% (79/111)	
Läsionsart	Stenose	82% (94/114)	p<0,001
	Fibrosklerotischer Verschluss	39% (13/33)	
	Thrombotischer Verschluss	18% (6/33)	
	Kombiniert stenotisch- thrombotischer Verschluss	59% (36/61)	

3.2. Läsionsartspezifische Erfolgsrate der jeweiligen Untergruppen

Stenosen, die während der Routinearbeitszeit von erfahrenen Interventionalisten behandelt wurden, konnten mit einer spezifischen Erfolgsrate von 94% (34/36) signifikant erfolgreicher behandelt werden als von weniger erfahrenen Interventionalisten mit 74% (31/42) mit $p < 0,001$ (Tab. 4). Für während des Notdienstes behandelte Stenosen ergaben sich annähernd gleiche Erfolgsraten mit 80% (12/15) für erfahrene Interventionalisten und 81% (17/21) für weniger erfahrene Interventionalisten.

Ein relevanter Unterschied bezüglich der Erfolgsrate lag für die „Kombination aus Stenose und zusätzlich thrombotischem Verschluss“ vor: für Eingriffe während der Routinearbeitszeit mit einer Erfolgsrate von 84% (16/19) für hohen Erfahrungsgrad vs. 60% (3/5) für niedrigen Erfahrungsgrad mit $p < 0,001$ (Tab. 4). Betrachtet man die Erfolgsraten für diese Läsionsart während des Notdienstes, finden sich ähnliche Werte mit 44% vs. 48% bezogen auf den Erfahrungsgrad. Auffallend ist hier das Absinken der Erfolgsrate für diese Läsionsart für erfahrene Interventionalisten von 84% während der Routinearbeitszeit auf 44% während des Notdienstes, wobei für weniger erfahrene Interventionalisten ein deutlich geringfügigeres Abfallen der Erfolgsrate zu verzeichnen ist (Tab. 4). Bei den insgesamt sehr niedrigen Erfolgsraten für die Läsionsart „Thrombotischer Verschluss“ wurde die überwiegende Mehrheit mit 5/6 erfolgreich behandelten thrombotischen Verschlüssen von erfahrenen Interventionalisten unabhängig von der Tageszeit durchgeführt (Tab. 4).

Tabelle 4

Kreuztabelle mit Verteilung der einzelnen Erfolgsraten der jeweiligen Untergruppen

	Routinearbeitszeit		Notdienst	
	Hoher Erfahrungsgrad	Niedriger Erfahrungsgrad	Hoher Erfahrungsgrad	Niedriger Erfahrungsgrad
Stenose	94 % (34/36)	74 % (31/42)	80 % (12/15)	81 % (17/21)
Fibrosklerotischer Verschluss	38 % (3/8)	36 % (4/11)	57 % (4/7)	29 % (2/7)
Thrombotischer Verschluss	50 % (2/4)	0 % (0/11)	50 % (3/6)	8 % (1/12)
Kombiniert stenotisch-thrombotischer Verschluss	84 % (16/19)	60 % (3/5)	44 % (7/16)	48 % (10/21)

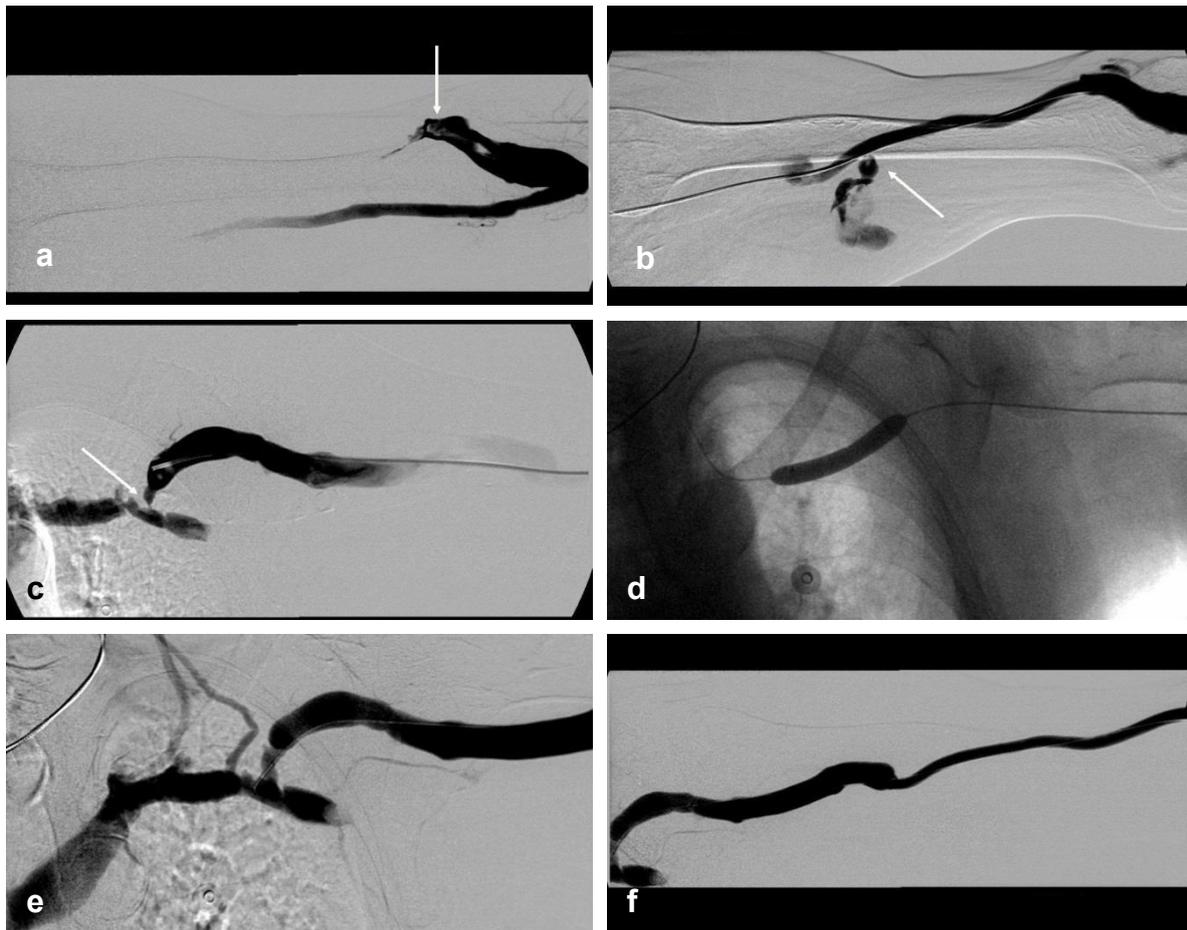


Abbildung 1

64-jähriger dialysepflichtiger Mann mit interponiertem PTFE-Graft in einem dysfunktionellen Cephalicashunt am linken Oberarm und einem mäßigen Hämatom nach frustraner Punktion zur Hämodialyse. Tageszeit: Routinearbeitszeit; Erfahrungsgrad Interventionalist: hoch; Läsionsart: kombiniert Stenose und thrombotischer Verschluss. (a) Die erste Angiographie zeigt einen thrombotischen Verschluss (weißer Pfeil), mit distal der arteriovenösen Anastomose offenem Segment. (b) Nach manueller Thrombusaspiration offenbart die Kontrollangiographie eine aktive Blutung (weißer Pfeil) entstanden nach frustraner Punktion zur Hämodialyse. (c) Weitere manuelle Aspiration eröffnet den Shunt wieder und eine hochgradige Stenose am Eintritt der V. cephalica in die V. subclavia (weißer Pfeil) stellt sich als zugrunde liegende Ursache heraus. (d) Dilatation der Stenose mit einem 8 mm Ballon bei 8 atm Inflationsdruck. (e + f) Nach sorgfältiger Kompression der Blutungsquelle zeigt die Abschlussangiographie einen wiedereröffneten Shunt.

3.3. Spezielle Ergebnisse für verschiedene Läsionsarten

3.3.1. Fibrosklerotische Okklusion

In der Untergruppe „Fibrosklerotische Verschlüsse“ waren 20/33 Läsionen am Oberarm und 13/33 Läsionen am Unterarm lokalisiert. Die Erfolgsrate lag bei 45% (9/20) für den Oberarm und bei 31% (4/13) für den Unterarm. Bei den 20 frustranen Interventionen wurden drei Fälle abgebrochen: ein Fall aufgrund starker Schmerzen, ein weiterer Fall aufgrund einer periinterventionellen Perforation des verschlossenen Segmentes im Sinne einer periinterventionellen Komplikation und ein dritter Fall bei einer Wundheilungsstörung im Bereich des verschlossenen Gefäßsegmentes. 7/20 Fälle waren langstreckige Verschlüsse mit einer Länge von 10 cm oder mehr mit deutlich ausgebildeten Kollateralen. In 5 dieser 7 Fälle war es auch bei beidseitigem Vorgehen nicht möglich, das verschlossene Gefäßsegment mittels Draht-Katheter-Kombination zu passieren. In 4/20 Fällen reichten die verschlossenen Gefäßsegmente bis zum zentralvenösen Ausflusstrakt, wobei in allen Fällen sowohl ein transbrachiales als auch ein transinguinales Vorgehen nicht erfolgreich waren. In 3/20 Fällen der frustranen Interventionen lagen Verschlüsse bei nicht gereiften arteriovenösen Fisteln vor. In 2/20 Fällen trat ein behandlungsresistentes Recoiling auf, das selbst durch den Einsatz von einem Schneideballon nicht suffizient zu behandeln war. Ein weiterer Fall scheiterte an einer zusätzlich verschlossenen Arteria brachialis, welche nicht rekanalisiert werden konnte.

3.3.2. Thrombotische Verschlüsse

In der Untergruppe „Thrombotische Verschlüsse“ waren 17/33 Läsionen am Oberarm lokalisiert, von denen drei erfolgreich behandelt werden konnten. 16/33 Läsionen waren am Unterarm lokalisiert, wobei ebenfalls nur drei Läsionen erfolgreich interventionell behandelt werden konnten. Drei Eingriffe wurden aufgrund periinterventioneller Komplikationen abgebrochen und zur chirurgischen Revision überwiesen; es kam hierbei in zwei Fällen zu einer Thrombusverschleppung mit Embolisation in den arteriellen Schenkel und in einem zu einer Blutung im Bereich der Punktionsstelle, welche nicht zu stillen war.

In 24 Fällen wurde die Shunt Dysfunktion als Frühversagen gewertet mit Auftreten der Thrombose innerhalb von 60 Tagen nach chirurgischer Anlage, wobei die entsprechende Erfolgsrate einer radiologisch-interventionellen Revision 17% (4/24) betrug. Von diesen 24 Fällen eines Shuntfrühverschlusses wiesen 10 Fälle ein Thrombusalter von einer Woche oder älter auf und die Intervention gestaltete sich erfolglos. 8/24 Fälle hatten ein unbekanntes Thrombusalter und blieben frustriert. 6/24 Fälle hatten ein Thrombusalter von bis zu einer Woche, wobei vier Interventionen erfolgreich durchgeführt werden konnten.

Sechs Fälle der thrombotischen Verschlüsse waren reife Hämodialysehunts mit einer Erfolgsrate von 33% (2/6). Von diesen sechs Fällen zeigten drei Fälle ein Thrombusalter von einer Woche oder älter; die Intervention verlief frustriert. Zwei Fälle hatten ein unbekanntes Thrombusalter mit einem erfolgreichen Eingriff, und ein Fall wies ein Thrombusalter von weniger als einer Woche auf, welcher erfolgreich behandelt werden konnte.

3.3.3. Kombination aus Stenose und zusätzlichem thrombotischem Verschluss

In der Untergruppe „Kombinierte Läsion aus Stenose und zusätzlichem thrombotischem Verschluss“ waren 36/61 Fälle am Oberarm und 25/61 Fälle am Unterarm lokalisiert. Die Erfolgsrate für Läsionen am Oberarm lag bei 64% (23/36) und für Läsionen am Unterarm bei 52% (13/25). Unter den 25 erfolglosen Interventionen wurden vier Eingriffe abgebrochen: ein Fall aufgrund einer periinterventionellen Perforation des behandelten Gefäßsegmentes, ein zweiter Fall aufgrund einer Thrombusverschleppung mit Embolie im arteriellen Gefäßsegment, ein dritter Fall aufgrund eines arteriellen Vasospasmus in der zuführenden Arteria radialis und ein vierter Fall aufgrund starker Schmerzen. In 10 der 25 erfolglosen Interventionen war das Thrombusalter eine Woche oder älter, während 2/25 Fälle ein unbekanntes Thrombusalter aufwiesen. In 4/25 Fällen lag zusätzlich ein fibrosklerotischer Verschluss vor, der bis zum zentralvenösen Ausstrom reichte und weder transbrachial noch transinguinal passiert werden konnte. 3/25 Fälle wurden als Shuntfrühversagen mit Auftreten der Läsion innerhalb von 60 Tagen nach operativer Shuntanlage gewertet. Ein Fall blieb erfolglos aufgrund eines

behandlungsresistenten Recoilings, das auch nicht durch Einsatz eines Schneideballons gelöst werden konnte. Ein weiterer Fall verlief frustriert aufgrund einer zusätzlichen Okklusion der Arteria radialis, die nicht rekanalisiert werden konnte.

Bei den 36 erfolgreichen Eingriffen in dieser Untergruppe lag in 26/36 Fällen ein Thrombusalter von bis zu einer Woche vor, in 4/36 Fällen war das Thrombusalter eine Woche und älter und in 6/36 Fällen lag ein unbekanntes Thrombusalter vor.

3.4. Logistische Regressionsanalyse

Die Vorhersagbarkeit – also die Möglichkeit, das Ergebnis der Intervention unter Einfluss der genannten Variablen der drei Beobachtungsgruppe vorherzusagen – lag bei 73% (177/241) für die Gesamtheit der n=241 Fälle. Für das Erreichen eines Erfolges während der Intervention lag sie bei 79% und für einen Misserfolg während der Intervention bei 65% (60/92). In der logistischen Regressionsanalyse erwies sich die Variable „Hoher Erfahrungsgrad des Interventionalisten“ als Variable mit relevantem Einfluss mit einer Odds-Ratio von 2,300, wobei die Untergrenze des 95%-Konfidenzintervalls bei 1,199 und die Obergrenze des 95%-KI bei 4,410 lagen (Tab. 5). Innerhalb der Beobachtungsgruppe „Läsionsart“ mit den vier Untergruppen gab es zwei Variablen, die jeweils einen relevanten Einfluss auf die Erfolgsrate aufwiesen. Die berechnete Odds-Ratio für die Variable „Kombinierte Läsion aus Stenose und zusätzlich thrombotischem Verschluss“ betrug 3,189 mit der Untergrenze des 95%-KI bei 1,495 und der Obergrenze des 95%-KI bei 6,802, während die Odds-Ratio für die Variable „Stenose“ das höchste Niveau mit 12,053 mit der Untergrenze des 95%-KI bei 5,774 und der Obergrenze des 95%-KI bei 25,158 erreichte.

Tabelle 5

Darstellung der Untergruppen mit relevantem Einfluss auf die Erfolgsrate gemäß logistischer Regressionsanalyse.

Untergruppe	Regressions- koeffizient	Standard- abweichung	p-Wert	Odds Ratio	Unteres Konfidenz- intervall 95%	Oberes Konfidenz- intervall 95%
Hoher Erfahrungsgrad	0,833	0,332	0,012	2,300	1,199	4,410
Stenose	2,489	0,375	<0,001	12,053	5,774	25,158
Kombiniert stenotisch- thrombotischer Verschluss	1,160	0,386	0,003	3,189	1,495	6,802

4. Diskussion

Die zuverlässige Zugangsfähigkeit eines Hämodialyseshunt ist die Grundvoraussetzung für die Durchführung einer adäquaten Hämodialyse bei Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz. Hierdurch werden die Lebensqualität und das Langzeitüberleben der Dialysepatienten bestimmt [10]. Generell sind die Lokalisationen zur Anlage arteriovenöser Fisteln als Dialyseshunt anatomiebedingt limitiert. Somit sind die Erhaltung bei drohender Dysfunktion und die Rettung bei manifester Dysfunktion eines Dialyseshunts von herausragender Wichtigkeit in der Langzeitbetreuung von Dialysepatienten. In den letzten zwei Jahrzehnten fand eine kontinuierliche Verlagerung der Therapie funktionseingeschränkter Dialyseshunts von der operativ-chirurgischen Revision zur radiologisch-interventionellen Revision statt, wobei heute die radiologisch-interventionelle Therapie die führende Rolle einnimmt [7, 10-13]. Die radiologisch-interventionelle Revision eines dysfunktionalen Dialyseshunts (vgl. Abb. 1) bietet im Vergleich zur operativ-chirurgischen Revision das deutlich geringfügigere invasive Vorgehen, um einen effektiven Blutfluss im Dialyseshunt wieder herzustellen [7]. Zahlreiche prospektive und retrospektive Studien haben den Wert der endovaskulären Revision zum Erhalt und zur Rettung eines Dialyseshunts bestätigt. Hierbei werden für die Dilatation von Stenosen Erfolgsraten von mehr als 90% beschrieben [7, 10, 12-17]. Für die perkutane Thrombektomie bei thrombosierten Dialyseshunts werden Erfolgsraten von bis zu 90% in der Literatur beschrieben [7, 10, 18-25].

Wenn man die Richtlinien der amerikanischen Kidney Disease Outcomes Quality Initiativ (KDOQI) und die European Best Practice Guidelines (EBPG) betrachtet, findet sich eine Kontroverse bezüglich des Umgangs mit akut dysfunktionalen Dialyseshunts, insbesondere im Hinblick auf die zugrunde liegende Läsionsart. Während die Europäischen Richtlinien eine sofortige Revision jedes dysfunktionalen Dialyseshunts unabhängig von der Art der zugrunde liegenden Läsion empfehlen [8], wird die sofortige Revision dysfunktionaler Dialyseshunts gemäß den Amerikanischen Richtlinien nur für Thrombosierungen als zugrunde liegende Läsionsart empfohlen. Für Läsionen, denen eine andere Ursache zugrunde liegt, wie

z. B. Stenosen oder fibrosklerotische Verschlüsse, wird gemäß letztgenannter Richtlinien keine Empfehlung bezüglich des optimalen Therapiezeitpunktes gegeben [6].

Die Notfallsituation einer interventionellen Revision eines dysfunktionalen Dialyseshunt hat sicherlich Einfluss auf das Ergebnis, was evtl. eine negative Auswirkung in Form von schlechteren Erfolgsraten mit sich bringt. Die gewonnenen Daten unserer Studie wurden dahingehend analysiert, den Einfluss auf die Erfolgsrate zu bestimmen, wenn gemäß dem Vorgehen einer sofortigen Revision unabhängig von der Tageszeit, unabhängig von der Erfahrung des zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Interventionalisten und unabhängig von der Art der Läsion die Intervention des dysfunktionalen Dialyseshunts vorgenommen wird.

In der Beobachtungsgruppe „Tageszeit“, welche die Abhängigkeit der Erfolgsraten von der Tageszeit (Routinearbeitszeit vs. Notdienst) näher betrachtet, fanden sich für Interventionen, die während der Routinearbeitszeit durchgeführt wurden, eine signifikant höhere Erfolgsrate im Vergleich zu solchen während des Notdienstes mit $p=0,017$. Allerdings konnte bei näherer Betrachtung der Ergebnisse in der logistischen Regressionsanalyse nicht nachgewiesen werden, dass der Interventionszeitpunkt eine Variable mit relevantem Einfluss auf die Erfolgsrate bei der interventionellen Dialyseshuntrevision hatte. Die relativ besseren Ergebnisse während der Routinearbeitszeit können nicht ausschließlich durch personell besser ausgestattete Dienstmanschaften während der Routinearbeitszeit im Vergleich zum Notdienst erklärt werden. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Variable „Erfahrung des Interventionalisten“ einen stärkeren Einfluss auf die Ergebnisse auf die Beobachtungsgruppe „Tageszeit“ hat und dass dadurch dieses Ergebnis zugunsten der Routinearbeitszeit verzerrt wird.

Für die Beobachtungsgruppe „Erfahrungsgrad des Interventionalisten“ ergaben sich, wie auch zu erwarten ist, signifikante Unterschiede im Vergleich erfahrene vs. weniger erfahrene Interventionalisten mit $p=0,022$. In der logistischen Regressionsanalyse zeigt sich das Merkmal hoher Erfahrungsgrad des Interventionalisten als einer von drei Faktoren, welcher mit einer Odds-Ratio von

2,300 sich als relevante Variable hinsichtlich einer erfolgreichen Durchführung einer Intervention bei dysfunktionellen Dialyseshuntis darstellte. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Anwesenheit eines erfahrenen Interventionalisten bei der Behandlung komplexer Läsionen dysfunktioneller Dialyseshunts, wie es in Abb. 1 dargestellt ist. Es ist offensichtlich, dass ein erfahrener Untersucher während der Routinearbeitszeit häufiger zur Verfügung steht als während des Notdienstes, was letztlich Auswirkung auf die Erfolgsrate mit sich bringt und die höhere Erfolgsrate in der Routinearbeitszeit erklärt.

In der Beobachtungsgruppe „Läsionsart“ unterschieden sich die Erfolgsraten für die spezifischen Untergruppen „Stenose“, „Kombination aus Stenose und zusätzlichem thrombotischen Verschluss“, „fibrosklerotischem Verschluss“ und „thrombotischem Verschluss“ signifikant mit $p < 0,001$. Für die Läsionsart „Stenose“ konnte eine Gesamterfolgsrate von 82% in unserer Analyse nachgewiesen werden, sodass diese Läsionsart eine hohe Wahrscheinlichkeit mit sich bringt, erfolgreich interventionell revidiert zu werden. Darüber hinausgehend zeigen unsere Ergebnisse auf, dass das zusätzliche Auftreten eines thrombotischen Ereignisses bei vorbestehender Stenose die Erfolgsrate für eine interventionelle Revision auf 59% deutlich herabsetzt.

Verglichen mit in der Literatur veröffentlichten Erfolgsraten von über 90% für die interventionelle Revision stenosierter Dialyseshunts [7, 10, 12-17] lag die von uns ermittelte Gesamterfolgsrate mit 82% etwas unter diesem Niveau, jedoch ist die 92%ige Erfolgsrate dieser Studie für Eingriffe während der Routinearbeitszeit durch einen erfahrenen Interventionalisten durchaus den Ergebnissen äquivalent.

Die Gesamterfolgsrate von 59% für die Behandlung der Kombination Stenose und thrombotischer Verschluss ist allerdings deutlich geringer im Vergleich zu Werten aus der Literatur, die dort mit bis zu 90% angegeben werden [7, 10, 19-21]. Auch hier korrespondiert allerdings die Erfolgsrate von 84% für solche Läsionen, die während der Routinearbeitszeit durch erfahrene Interventionalisten behandelt werden, mit den Literaturwerten. Hier ist die zuvor genannte Durchführung der interventionellen Shuntrevision als Notfalleingriff als Hauptgrund für unsere insgesamt niedrigeren Erfolgsraten anzusehen, da unter Berücksichtigung aller Variablen für diese

Untergruppe die einzig akzeptable Erfolgsrate von 84% nur für Interventionen vorliegt, die während der Routinearbeitszeit durch erfahrene Interventionalisten vorgenommen werden. Umgekehrt besteht damit ein anzunehmender negativer Einfluss auf die Erfolgsrate, wenn insbesondere während des Notdienstes ein weniger erfahrener Interventionalist die Revision eines akut dysfunktionalen Dialyseshunt durchführt, was die Erfolgsrate von 54% dieser Untergruppe zeigt. Dieser Wert liegt letztlich unterhalb der Gesamterfolgsrate von 59% der Gruppe „Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss“. Eine technische Einschränkung bei der Behandlung solcher Läsionen ist auch darin zu sehen, dass nur manuelle Thrombusaspirationen in thrombotisch verschlossenen Dialyseshunts durchgeführt wurden. Möglicherweise hätte die Anwendung anderer mechanischer Thrombektomiemethoden, wie sie in der Literatur beschrieben werden, zu besseren Ergebnissen geführt [19-21].

Das Thrombusalter scheint in diesem Zusammenhang einen beträchtlichen Einfluss auf das Ergebnis und insbesondere die erfolgreiche Durchführung der Intervention zu haben. Die Thrombosierung des Dialyseshunts lag bei einem hohen Anteil von 40% (10/25) der erfolglosen Fälle schon über einen längeren Zeitraum vor, während bei frischeren Thrombosierungen eine höhere Erfolgsrate von 72% (26/36) bei der interventionellen Revision thrombosierter Dialyseshunts erzielt werden konnte. Nichtsdestotrotz stellt sich die Läsionsart „Kombination aus Stenose und zusätzlicher Thrombose“ als relevante Variable mit Einfluss auf den Erfolg in unserer Analyse mit einer Odds-Ratio von 3,189 heraus. Als Variable mit der höchsten Odds-Ratio von 12,053 und damit einem ausgesprochen relevanten Einfluss auf den Erfolg einer Intervention zeigte sich die Läsionsart „Stenose“.

Fibrosklerotische Verschlüsse, die gewöhnlicherweise durch wiederholte Punktionen entlang des Dialyseshunts über einen längeren Zeitraum im Rahmen der Hämodialyse verursacht werden [26], zeigten eine relativ niedrige Erfolgsrate von nur 39%. Bei der Mehrheit von 55% (11/20) der erfolglosen Interventionen in dieser Untergruppe lagen langstreckige Läsionen mit ausgeprägten Kollateralisierungen oder bis zum zentralvenösen Ausstrom reichende Läsionen vor, was für einen chronisch fortschreitenden Krankheitsprozess spricht. Chen et al. (2009) berichten

von einer ähnlich niedrigen Erfolgsrate von 46% in ihrer Studienpopulation für die Wiedereröffnung verschlossener fibrosklerotischer Läsionen [27]. Falls die interventionelle Rekanalisation solcher fibrosklerotischer Verschlüsse sowohl über ein antegrades als auch ein retrogrades Vorgehen frustriert verläuft, sollte zeitnah eine chirurgische Revision angestrebt werden, um eine ausgeprägte Kollateralisierung zu vermeiden. Zu erwähnen ist auch, dass es jeweils drei Fälle frustrierender Interventionen für die Untergruppen „fibrosklerotischer Verschluss“ und „Kombination aus Stenose und zusätzlichem thrombotischem Verschluss“ gab, bei denen ein unreifer Dialyseshunt diagnostiziert wurde.

Rein thrombotische Verschlüsse zeigten sich mit einer Gesamterfolgsrate von lediglich 18% als sehr unwahrscheinlich, erfolgreich interventionell revidiert zu werden. Der hohe Anteil von 24 Fällen eines Shuntfrühversagens für Dialyseshunts in der Untergruppe thrombotische Verschlüsse kann als Erklärungsansatz für diese entmutigende Erfolgsrate herangezogen werden. Das Thrombusalter ist ebenfalls als relevanter Einflussfaktor zu betrachten, da die Mehrheit der Interventionen bei Fällen mit höherem Thrombusalter erfolglos verliefen und im Gegensatz dazu fast alle erfolgreichen Interventionen bei thrombotischem Verschluss bei jüngerem Thrombusalter zu finden sind. In diesem Zusammenhang ist es i. d. R. leider nicht möglich, einen rein thrombotischen Verschluss von einer Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss zu unterscheiden, da die Thrombosierung gewöhnlicherweise die zugrunde liegende Stenose als Ursache maskiert. Folglich ist es nicht möglich, generell zu fordern, dass rein thrombotische Verschlüsse unmittelbar chirurgisch revidiert werden sollten. In einer Studie von Yurkovic et al. (2011) wird von einer ähnlich niedrigen Erfolgsrate von nur bis zu 17% für das Wiedereröffnen thrombotisch verschlossener Dialyseshunts berichtet [18]. Mudunuri et al. (2010) fanden ähnlich niedrige primäre und kumulative Offenheitsraten für Thrombektomien bei Shuntfrühversagen, sodass sie solche Interventionen für ggf. nicht lohnenswert erachteten [28]. Allerdings bezogen sie sich in dieser Studie auf das Shuntfrühversagen unter spezieller Beobachtung der Ergebnisse für Thrombektomieprozeduren, sodass die Ergebnisse nicht ohne weiteres mit unseren verglichen werden können. Zukünftige Untersuchungen bleiben abzuwarten, um den

Pathomechanismus einer Thrombosierung in Dialyseshuntis besser zu verstehen und zu erklären, und es gilt, effizientere Techniken zur interventionellen Revision der Läsionsart „thrombotischer Verschluss“ zu entwickeln und zu detektieren [18].

Es gibt verschiedene Einschränkungen in unserer Studie, die erwähnenswert sind. In erster Linie wurde die Untersuchung nicht als prospektive randomisierte Studie geplant und ausgeführt, sondern es liegt eine Beobachtungsstudie mit fortlaufender Patientenregistrierung und einer retrospektiven Analyse der gewonnenen Daten vor. Für das Ziel der Analyse der Effizienz sofortiger Revisionen akuter dysfunktionaler Dialyseshuntis wurde dieser Ansatz allerdings als ausreichend erachtet. Hinzu kommen, dass die Offenheitsraten der behandelten Dialyseshuntis nicht nachverfolgt wurden, was allerdings zur Erfüllung des Studienziels nicht erforderlich war. Drittens bleibt es unklar, ob insbesondere die Ergebnisse für die interventionelle Revision rein thrombotischer Verschlüsse hätten besser sein können, wenn andere technische Gerätschaften zur Thrombektomie und/ oder Medikamente zur Thrombolysse eingesetzt worden wären, anstatt nur manuelle Aspirationsmanöver, wie von uns angewendet, durchzuführen.

Unsere Studie liefert Ergebnisse für die radiologisch-interventionelle Revision bei akut dysfunktionalen Dialyseshuntis in einer Alltagssituation. Sämtliche Interventionen wurden unter Umsetzung der Richtlinien der EBPG mit einer unmittelbaren Revision bei Shunt Dysfunktion erreicht. Insgesamt können wir aufgrund der Analyse unserer Ergebnisse eine uneingeschränkte Umsetzung der EBPG-Richtlinien in Bezug auf die sofortige interventionelle Revision nicht empfehlen. Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ist die Anwesenheit eines erfahrenen Interventionalisten während der Durchführung der interventionellen Revision dysfunktionaler Dialyseshuntis anzustreben, was auch durch die Qualitätsrichtlinie der Deutschen Röntgengesellschaft und Deutschen Gesellschaft für Interventionelle Radiologie [29] hervorgehoben wird und was wahrscheinlicher während der Routinearbeitszeit zu erreichen ist. Darüber hinaus erlaubt der Abfall von Erfolgsraten von Stenose zu Stenose mit zusätzlicher Thrombose den Rückschluss, dass es unbedingt notwendig ist, ein Thromboseereignis in einem dysfunktionalen

Dialysehunt zu vermeiden, da Thrombosen durchaus als nicht revisionsfähig gelten [11]. Die Erfolgsraten für fibrosklerotische und thrombotische Verschlüsse in dysfunktionalen Dialysehunts verbleiben insgesamt unbefriedigend.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Maßgabe der European Best Practice Guidelines für Hämodialysezugänge untersucht, die besagt, dass dysfunktionale Dialyseshuntis einer sofortigen Revision zur Wiederherstellung eines für die Hämodialyse adäquaten Blutflusses zuzuführen sind. Über einen Zeitraum von drei Jahren wurde alle (n=280) Patienten mit akut dysfunktionalem Dialyseshunt unabhängig von der Tageszeit zur Angiographie mit der Option einer sofortigen radiologisch-interventionellen Revision vorgestellt. In n=241 Fällen war eine interventionelle Revision indiziert. Zur Analyse der erhobenen Daten wurden drei Beobachtungsgruppen gebildet: Erfahrungsgrad des Interventionalisten (hoch/ niedrig), Tageszeit (Routinearbeitszeit 07:00-16:00 Uhr/ Notdienstzeit 16:00-07:00 Uhr), Läsionsart (Stenose/ fibrosklerotischer Verschluss/ thrombotischer Verschluss/ kombiniert Stenose + Thrombose). Für die statistische Analyse wurden die korrespondierenden Erfolgsraten, der Chi-Quadrat-Test ($p < 0,025$) und eine logistische Regressionsanalyse ($p < 0,05$) berechnet.

Die Gesamterfolgsrate betrug 62% (149/241). Aufgegliedert nach den Beobachtungsgruppen lagen die Erfolgsraten für einen hohen Erfahrungsgrad des Interventionalisten bei 71% (79/111) und für einen niedrigen Erfahrungsgrad des Interventionalisten bei 54% (70/130) mit $p = 0,022$. Für die Beobachtungsgruppe Tageszeit betragen die Erfolgsrate für die Routinearbeitszeit 68% (93/136) und für die Notdienstzeit 53% (56/105) mit $p = 0,017$. Für die Beobachtungsgruppe Läsionsart konnten für Stenosen eine Erfolgsrate von 82% (94/104), für fibrosklerotische Verschlüsse von 39% (13/33), für thrombotische Verschlüsse von 18% (6/33) und für die Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss von 59% (36/61) ermittelt werden mit $p < 0,001$. In der logistischen Regressionsanalyse zeigten sich als relevante Variablen für eine erfolgreiche Intervention dysfunktionaler Dialyseshunts der hohe Erfahrungsgrad des Interventionalisten mit einer Odds-Ratio von 2,300 ($p = 0,012$), die Läsionsart Stenose mit einer Odds-Ratio von 12,053 ($p < 0,001$) und die Läsionsart Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss mit einer Odds-Ratio von 3,189 ($p = 0,003$).

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist eine uneingeschränkte Umsetzung sofortiger Revisionen bei akut dysfunktionalen Dialyseshunts nicht zu empfehlen. Um

adäquate Erfolgsraten radiologisch-interventioneller Revisionen zu gewährleisten, ist die permanente Bereitschaft eines Interventionalisten mit hohem Erfahrungsgrad zu implementieren. Die Läsionsarten Stenose und Kombination aus Stenose und thrombotischem Verschluss können mit hoher Wahrscheinlichkeit erfolgreich interventionell behandelt werden, während die Läsionsarten fibrosklerotischer und thrombotischer Verschluss nur geringe Aussicht auf Erfolg bei interventioneller Revision bieten.

6. Literatur

1. Kuhlemann J, Blondin D, Grotemeyer D et al. Gadofosveset-enhanced MR imaging for the preoperative evaluation of potential living kidney donors: correlation with intraoperative findings. *Fortschr Röntgenstr* 2010; 182:1001-1009
2. Mathys C, Blondin D, Wittsack HJ et al. T2' imaging of native kidneys and renal allografts – a feasibility study. *Fortschr Röntgenstr* 2011; 183:112-119
3. Froger CL, Liem YS, Tielbeek AV et al. Stenosis detection with MR angiography and digital subtraction angiography in dysfunctional hemodialysis access fistulas and grafts. *Radiology* 2005; 234: 284-291
4. Wacker FK, Lipuma J, Blum A. Alternative Zugangswege für Hämodialyse Katheter bei Patienten mit verschlossenen peripheren venösen Zugangswegen. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1146-1150
5. Gibbens DT, Triolo J, Yu T et al. Contemporary treatment of thrombosed hemodialysis grafts. *Tech Vasc Interv Radiol* 2001; 4: 122-126
6. National Kidney Foundation. Clinical practice guidelines for vascular access. *Am J Kidney Dis* 2006; 48(Suppl 1): S176-247
7. Surlan M, Popovic P. The role of interventional radiology in management of patients with end-stage renal disease. *Eur J Radiol* 2003; 46: 96-114
8. Nephrology Dialysis Transplantation Educational. European Best Practice Guidelines for Haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2007; 22(Suppl 2): ii88-ii117

9. Turmel-Rodrigues LA. Dec clotting a thrombosed Brescia-Cimino fistula by manual catheter-directed aspiration of the thrombus. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2005; 28: 10-16
10. Bent CL, Sahni VA, Matson MB. The radiological management of the thrombosed arteriovenous dialysis fistula. *Clinical Radiology* 2011; 66: 1-12
11. Notario A, Turmel-Rodrigues L, Fodil-Cherif M et al. Endovascular treatment of immature, dysfunctional and thrombosed forearm autogenous ulnar-basilic and radial-basilic fistulas for haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2010; 25: 532-538
12. Tapping CR, Mallinson PI, Scott PM et al. Clinical outcomes following endovascular treatment of the malfunctioning autologous dialysis fistula. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2010; 54: 534-540
13. Schaefer PJ, Müller-Hülsbeck S, Schaefer FK et al. Verlängert die radiologisch-interventionelle Therapie die Shuntnutzungsdauer bei hämodialysepflichtigen Patienten? *Fortschr Röntgenstr* 2006; 178:1121-1127
14. Manninen HI, Kaukanen ET, Ikaheimo R et al. Brachial arterial access: endovascular treatment of failing Brescia-Cimino hemodialysis fistulas—initial success and long-term results. *Radiology* 2001; 218: 711-718
15. Clark TW, Hirsch DA, Jindal KJ et al. Outcome and prognostic factors of restenosis after percutaneous treatment of native hemodialysis fistulas. *J Vasc Interv Radiol* 2002; 13: 51-59
16. Rajan DK, Bunston S, Misra S et al. Dysfunctional autogenous hemodialysis fistulas: outcomes after angioplasty – are there clinical predictors of patency? *Radiology* 2004; 232: 508-515

17. Turmel-Rodrigues L, Boutin JM, Camiade C et al. Percutaneous dilation of the radial artery in nonmaturing autogenous radio-cephalic fistulas for hemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2009; 24: 3782-3788
18. Yurkovic A, Cohen AD, Mantell MP et al. Outcomes of thrombectomy procedures performed in hemodialysis grafts with early failure. *J Vasc Interv Radiol* 2011; 22: 317-324
19. Trerotola SO, Vesely TM, Lund GB et al. Treatment of thrombosed hemodialysis access grafts: Arrow-Trerotola percutaneous thrombolytic device versus pulse-spray thrombolysis. Arrow-Trerotola Percutaneous Thrombolytic Device Clinical Trial. *Radiology* 1998; 206: 403-414
20. Trerotola SO, Ponce P, Stavropoulos SW et al. Physical examination versus normalized pressure ratio for predicting outcomes of hemodialysis access interventions. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: 1387-1394
21. Lazzaro CR, Trerotola SO, Shah H et al. Modified use of the arrow-trerotola percutaneous thrombolytic device for the treatment of thrombosed hemodialysis access grafts. *J Vasc Interv Radiol* 1999; 10: 1025-1031
22. Windus DW. Permanent vascular access: a nephrologist's view. *Am J Kidney Dis* 1993; 21: 457-471
23. Turmel-Rodrigues L, Raynaud A, Louail B et al. Manual catheter-directed aspiration and other thrombectomy techniques for declotting native fistulas for hemodialysis. *J Vasc Interv Radiol* 2001; 12: 1365-1371
24. Sahni V, Kaniyur S, Malhotra A et al. Mechanical thrombectomy of occluded hemodialysis native fistulas and grafts using a hydrodynamic thrombectomy catheter: preliminary experience. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2005; 28: 714-721

25. Littler P, Cullen N, Gould D et al. AngioJet thrombectomy for occluded dialysis fistulae: outcome data. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2009; 32: 265-270
26. Lenhart M, Schätzler S, Manke C et al. Radiologische Implantation zentralvenöser Portsysteme am Unterarm. Implantationsergebnisse und Langzeit-Follow-up bei 391 Patienten. *Fortschr Röntgenstr* 2010; 182:20-28
27. Chen SM, Hang CL, Yip HK et al. Outcomes of interventions via a transradial approach for dysfunctional Brescia-Cimino fistulas. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2009; 32: 952-959
28. Mudunuri V, O'Neal JC, Allon M. Thrombectomy of arteriovenous dialysis grafts with early failure: is it worthwhile? *Semin Dial* 2010; 23: 634-637
29. Bücken A, Gross-Fengels W, Haage P et al. Qualifizierungsleitlinie der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) und der Deutschen Gesellschaft für Interventionelle Radiologie und minimalinvasive Therapie (DeGIR) zur Durchführung interventionell-radiologischer minimalinvasiver Verfahren an Arterien und Venen *Fortschr. Röntgenstr.* 2012; 184:565-
30. Frei U, Schober- Hastenberg HJ. Nierenersatztherapie in Deutschland: Bericht über Nierenbehandlung und Nierentransplantation in Deutschland. Quasi-Niere gGmbH. Berlin 2006/2007

7. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. med. J. P. Schäfer für die Überlassung des Themas und die stets konstruktive Kritik sowie vorbildliche wissenschaftliche Betreuung.

Herrn Prof. Dr. med. M. Heller, dem ehemaligen Direktor, und Herrn Prof. Dr. med. O. Jansen, dem Direktor der Klinik für Radiologie & Neuroradiologie am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Campus Kiel an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, danke ich für die Möglichkeit der Nutzung aller apparativen und räumlichen Einrichtungen.

Herrn Dr. med. G. Girolami danke ich für das Korrekturlesen und die fachliche Unterstützung im Bereich der interventionellen Radiologie.

Bei Herrn Dipl. Inf. Dr. Hedderich bedanke ich mich für die Beratung bei der statistischen Auswertung.

Frau Silke Joiko gilt mein Dank für die Hilfe beim Layout.

8. Lebenslauf

Marco Schmidt

Geburtsdatum/- ort	31.12.1970, Radevormwald
Familienstand	ledig
Vater	Wolfgang Schmidt, geb. 01.10.1945 Kaufmann i.R.
Mutter	Sigrid Schmidt, geb. 04.10.1948; Zahnarthelferin i.R.
Geschwister	Marcel Schmidt geb. 28.08.1973

Schullaufbahn

1977 - 1981	Katholische Grundschule Radevormwald
1981 - 1991	Theodor Heuss Gymnasium Radevormwald

Studium

1994 - 1999	Studium Humanmedizin Ruhr- Universität Bochum
2001 - 2002	Praktische Jahr Allgemeines Krankenhaus Hagen
2002 - 2004	AiP in der Chirurgischen Klinik des Evangelisches Krankenhaus Hattingen
2004 - 2005	Assistenzarzt in der Anästhesiologische Klinik des Evangelischen Krankenhauses Hattingen
2005 - 2006	Honorararzt
2006 - 2010	Assistenzarzt in der Chirurgischen Klinik des Elisabeth Krankenhauses Recklinghausen
2010	Facharzt für Chirurgie

Derzeitige Beschäftigung

Seit Mai 2010	Honorararzt
---------------	-------------

9. Veröffentlichungen

Schaefer PJ, Jahnke T, Müller-Hülsbeck S, Wulff AM, Sattler B, Schmidt M, Siggelkow M, Schaefer FKW. Outcome of immediate interventions in acute dysfunctional hemodialysis fistulas. Fortschr Röntgenstr 2013;185 (3):228-234.