Aus Klinik für Strahlendiagnostik
Geschäftsführender Direktor:
Prof. Dr. med. K. J. Klose

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg

Evaluation des diagnostischen Stellenwertes der dynamischen kontrastmittelverstärkten MR-Angiographie des Unterschenkels

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Susanne Margarete Clefisch aus Zell an der Mosel

Marburg 2012

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am: 25.06.2012

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund
Referent: Prof. Dr. Dr. J. T. Heverhagen
1. Korreferent: Prof. Dr. P. Alter

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Periphere arterielle Verschlusskrankheit

1.1.1 Risikofaktoren

1.1.1.1 Rauchen

1.1.1.2 Diabetes mellitus

1.1.1.3 Arterielle Hypertonie

1.1.1.4 Stoffwechselstörungen der Lipide und des Homocystein

1.1.2 Klinik

1.1.3 Diagnostik

1.1.3.1 Anamnese und klinische Untersuchung

1.1.3.2 Bildgebende Diagnostik

1.1.3.2.1 Farbkodierte Duplexsonographie

1.1.3.2.2 Digitale Subtraktionsangiographie

1.1.3.2.3 CT-Angiographie

1.1.3.2.4 MR-Angiographie

1.1.4 Therapie

2 Patienten und Methoden

2.1 Studiendesign

2.2 Aufnahme in die Studie

2.3 Methoden

2.3.1 Datenerhebung der Patienten

2.3.2 Digitale Subtraktionsangiographie

2.3.3 3D CE-MR-Angiographie

2.3.4 Auswertung des Bildmaterials

2.3.4.1 Dokumentation der Daten

2.3.5 Statistische Auswertung

3 Ergebnisse

3.1 Zusammenfassung aller Ergebnisse

3.1.1 Stenosen

3.1.1.1 Verteilung der Stenosen

3.1.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

3.1.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

3.1.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung
3.1.1.5 Vergleich der statistischen Maßzahlen vor und nach qualitativer Wichtung
3.1.2 MRA-Interobserververgleich
3.1.2.1 Verteilung der Stenosen
3.1.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.1.2.3 Statistische Beurteilung
3.1.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.1.3 MRA-Intraobserververgleich
3.1.3.1 Statistische Beurteilung
3.1.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.2 Truncus tibiofibularis
3.2.1 Stenosen
3.2.1.1 Verteilung der Stenosen
3.2.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.2.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten
3.2.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung
3.2.2 MRA-Interobserververgleich
3.2.2.1 Verteilung der Stenosen
3.2.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.2.2.3 Statistische Beurteilung
3.2.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.2.3 MRA-Intraobserververgleich
3.2.3.1 Statistische Beurteilung
3.2.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.3 Arteria tibialis anterior
3.3.1 Stenosen
3.3.1.1 Verteilung der Stenosen
3.3.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.3.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten
3.3.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung
3.3.2 MRA-Interobserververgleich
3.3.2.1 Verteilung der Stenosen
3.3.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

3.3.2.3 Statistische Beurteilung
3.3.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.3.3 MRA-Intraobserververgleich
3.3.3.1 Statistische Beurteilung
3.3.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.4 Arteria tibialis posterior
3.4.1 Stenosen
3.4.1.1 Verteilung der Stenosen
3.4.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.4.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten
3.4.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung
3.4.2 MRA-Interobserververgleich
3.4.2.1 Verteilung der Stenosen
3.4.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.4.2.3 Statistische Beurteilung
3.4.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.4.3 MRA-Intraobserververgleich
3.4.3.1 Statistische Beurteilung
3.4.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.5 Arteria fibularis
3.5.1 Stenosen
3.5.1.1 Verteilung der Stenosen
3.5.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.5.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten
3.5.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung
3.5.2 MRA-Interobserververgleich
3.5.2.1 Verteilung der Stenosen
3.5.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen
3.5.2.3 Statistische Beurteilung
3.5.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung
3.5.3 MRA-Intraobserververgleich
3.5.3.1 Statistische Beurteilung
3.5.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

4 Diskussion

4.1 Hintergrund

4.2 Studiendesign

4.3 Datenakquisitionsverfahren

4.3.1 Digitale Subtraktionsangiographie

4.3.2 3D CE-MR-Angiographie

4.4 Verteilung der Stenosen

4.5 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

4.6 Statistische Analyse

4.6.1 Vor qualitativer Wichtung

4.6.2 Nach qualitativer Wichtung

4.7 Interobserververgleich

4.7.1 Verteilung der Stenosen

4.7.2 Qualität der dargestellten Stenosen

4.7.3 Übereinstimmung der Auswerter bei der Stenosebeurteilung

4.8 Intraobserververgleich

4.9 Fehlerquellen

4.10 Vergleichbarkeit

4.11 Schlussfolgerung

5 Zusammenfassung/Summary

6 Literaturverzeichnis

7 Abkürzungsverzeichnis

8 Anhang

9 Verzeichnis der akademischen Lehrer

10 Danksagung

1 Einleitung

1.1 Periphere arterielle Verschlusskrankheit

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) ist eine Erkrankung, bei der arterielle Stenosen und Okklusionen zu einer verminderten arteriellen Extremitätendurchblutung führen. Zu 95 % liegen hierbei atherosklerotische Veränderungen zu Grunde. Die restlichen 5 % sind ursächlich mit Entzündungen oder Traumata verknüpft oder unterliegen einer genetischen Disposition (Hirsch et al., 2006).

Die Atherosklerose kann sowohl Gefäße als auch parenchymatöse Organe wie Nieren, Herz und Gehirn betreffen und zählt in den westlichen Ländern zu einer weit verbreiteten Erkrankung. In den letzten Jahren hat die Anzahl an atherosklerotischen Erkrankungen, unter anderem durch die gestiegene Lebenserwartung, stark zugenommen (Fenchel et al., 2006). So waren nach Angaben des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2010 41,1 % aller Todesfälle durch Erkrankungen des Kreislaufsystems bedingt. Im Vergleich dazu starben 25,5 % an bösartigen Neubildungen. Damit nehmen Erkrankungen des Kreislaufsystems den ersten Rang unter den Todesursachen ein.

In der deutschen getABI-Studie (German Epidemiological Trial on Ankle-Brachial-Index) über insgesamt 6880 unselektierte Patienten aus 344 Allgemeinarztpraxen zeigten Diehm et al. (2004), dass die Prävalenz der pAVK bei den über 65-jährigen Männern 19,8 % und bei den Frauen 16,8 % betrug. Dazu wurde ein Knöchel-Arm-Index (Ankle-Brachial-Index = ABI) < 0,9 als Grenze festgelegt. Die Prävalenz der pAVK in der Allgemeinbevölkerung beträgt 3 bis 10 % und steigt mit zunehmendem Alter deutlich an. Bei den über 70-jährigen fanden sich in einer Studie von Selin et al. (2004) Prävalenzen von 14,5 %. Bei den über 85-jährigen lag die Prävalenz bei Diehm et al. (2004) bei 31,5 %.

Weiterhin stellte man fest, dass pAVK-Patienten an einer hohen Rate an Komorbiditäten, vor allem bezüglich anderer atherothrombotischer Manifestationen, leiden. Dadurch wird letztlich auch die kardiovaskuläre Mortalität erhöht (Golomb et al., 2006). So beschrieben Norgren et al. (2007), dass der Großteil (40 – 60 %) der pAVK-Patienten an den Folgen der koronaren Herzkrankheit verstirbt, gefolgt von der arteriellen Verschlusskrankheit der hirnversorgenden Gefäße (10 – 20 %) und dem damit verbundenen Apoplex.

Die pAVK wird in verschiedene Stadien eingeteilt, auf die auch noch gesondert eingegangen werden soll. An eine Phase der Beschwerdefreiheit schließt sich das Intervall der Claudicatio intermittens (CI) an. Hierbei kommt es zu belastungsabhängigen Schmerzen distal des stenosierten Gefäßes. Daran schließt sich eine Phase des ischämischen Ruheschmerzes an. In der letzten Phase leidet der Patient durch die stark verminderte oder ganz unterbrochene Durchblutung an Ulzera oder Gangränen (Lawall et al., 2009), die letztlich zum Verlust durch Amputation der Gliedmaße führen können.

1.1.1 Risikofaktoren

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte wurden einige Risikofaktoren für die Entstehung der pAVK durch verschiedene Studien beschrieben.
Dazu gehören nach den TASC-Leitlinien (Trans-Atlantic Inter-Society Consensus) Rasse, Geschlecht, Alter, Rauchen, Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Dyslipidämie, erhöhtes Protein C, prokoagulatorische Zustände, Hyperhomocysteinämie und chronische Niereninsuffizienz (Norgren et al., 2007). Auf die Wichtigsten soll in den folgenden Abschnitten eingegangen werden.

1.1.1.1 Rauchen

Norgren et al. (2007) beschrieben, dass schon 1911 ein Zusammenhang zwischen Rauchen und pAVK erkannt wurde. Eine CI kam demnach bei Rauchern drei Mal häufiger vor als bei Nichtrauchern. Laut Edinburgh Artery Study erhöht sich die Inzidenz der pAVK von 2,6 % bei Nichtrauchern auf 9,8 % bei starken Rauchern (> 25 packyears) (Price et al., 1999). Starke Raucher zeigten in einer Arbeit von Diehm et al. (2004) ein vierfach erhöhtes Risiko für eine CI im Vergleich zu Nichtrauchern.

Weiterhin zeigte sich in der Edinburgh Artery Study, dass der Zusammenhang zwischen Rauchen und pAVK stärker ist als der zwischen Rauchen und einer koronaren Herzkrankheit (Fowkes et al., 1992).

Letztendlich ist festzuhalten, dass das Rauchen den Hauptrisikofaktor für die Entwicklung einer pAVK darstellt (Lawall et al., 2009).

1.1.1.2 Diabetes mellitus

Das Vorhandensein eines Diabetes mellitus hat sich als weiterer sehr wichtiger Risikofaktor für die pAVK herausgestellt. Bei Diabetikern findet sich ein zweifach höheres Risiko für die Entwicklung einer pAVK und ein mehr als zweifach höheres Risiko für eine CI im Vergleich zu Nicht-Diabetikern (Lang et al., 2004).
Die Kombination von Diabetes mellitus, Insulinresistenz, Hyperinsulinämie, Adipositas, Hypertonie, Hyperlipidämie und Hyperurikämie, bekannt als metabolisches Syndrom, hat sich als wichtiger Risikofaktor für eine CI herauskristallisiert (Diehm et al., 2004).
In den TASC-Leitlinien wird beschrieben, dass eine pAVK bei Diabetikern in einer aggressiveren Form auftritt als bei Nicht-Diabetikern. Dabei findet sich oft eine Kombination einer frühen Beteiligung von größeren Gefäßen und einer peripheren symmetrischen Neuropathie. Die Notwendigkeit einer Amputation ist bei Diabetikern, bedingt durch eine sensorische Neuropathie und eine verminderte Infektabwehr, um das fünf- bis zehnfache erhöht (Norgren et al., 2007). Auf Grund dieser Situation empfiehlt die American Diabetes Association ein ABI-Screening alle fünf Jahre bei Diabetes-Patienten über 50 Jahren (American Diabetes Association, 2003).

1.1.1.3 Arterielle Hypertonie

Die Hypertonie findet sich bei allen Erkrankungen des kardiovaskulären Systems als Risikofaktor; so auch bei der pAVK. In der PANDORA-Studie (Peripheral Arterial Disease in Patients with Non-High Cardiovascular Risk) wurde eine erhöhte pAVK-Wahrscheinlichkeit bei Hypertonikern beschrieben (Sanna et al., 2011). Trotz allem besteht aber ein geringeres Risiko für die Entwicklung einer pAVK bei einem Hypertoniker als bei einem Raucher oder Diabetiker (Norgren et al., 2007).

1.1.1.4 Stoffwechselstörungen der Lipide und des Homocystein

Von verschiedenen Autoren (Diehm et al., 2004; Norgren et al., 2007) wird eine Korrelation zwischen einer pAVK und einer Hyperlipidämie beschrieben. Ein Gesamt-Cholesterin-Wert im Serum > 270 mg/dl ist mit einem zweifach erhöhten Risiko für eine CI assoziiert. Norgren et al. (2007) beschrieben, dass die Behandlung einer bestehenden Hyperlipidämie nicht nur die Progression einer pAVK vermindert, sondern auch die Inzidenz der CI senkt.

Die Konzentration von High Density Lipoprotein (HDL) erwies sich als ein möglicher Vorhersagewert für das Auftreten einer pAVK. Je niedriger der HDL-Wert, desto größer das pAVK-Risiko.
Auch eine Hypertrigliceridämie, hohe Werte von Very Low Density Lipoprotein (VLDL) und Intermediate Density Lipoprotein (IDL), sind mit einem erhöhten pAVK-Risiko gekoppelt (Senti et al., 1992).
In der Literatur wird zudem diskutiert, dass Rauchen die negativen Effekte einer Hypercholesterinämie noch verstärkt (Norgren et al. 2007).

In einer Arbeit zum Lipoprotein a (Lp(a)) erwies sich dieses als ein wichtiger unabhängiger Risikofaktor für eine pAVK (Cheng et al., 1997). Ein Lp(a)-Wert von ≥ 24 mg/dl war hier mit einem zweifach erhöhten Risiko assoziiert.

Eine Hyperhomozysteinämie spielt als unabhängiger Risikofaktor für die pAVK ebenfalls eine Rolle. So wird diese in einer Metaanalyse über 14 verschiedene Studien als Marker für eine pAVK aber auch als ursächlich bei der Entstehung mitbeteiligtem Faktor diskutiert (Khandanpour et al., 2009). Weiterhin wurde von Fryer et al. (1993) beschrieben, dass Personen mit einem erhöhten Homozysteinspiegel früher eine pAVK entwickeln als Personen mit normalen Werten. Zudem findet man höhere Homozysteinwerte bei Patienten mit einer Mehretagen-pAVK im Vergleich zu Patienten mit Stenosen auf nur einer Gefäßetage (Bergmark et al., 1993).

1.1.2 Klinik

Die klinische Einteilung der pAVK erfolgt nach den vorliegenden Symptomen. In Deutschland wird dazu die Einteilung nach den Fontaine-Stadien benutzt. International wird allerdings die Klassifikation nach Rutherford bevorzugt (Lawall et al., 2009). In Tabelle (Tab. 1) sind die Stadien nach Fontaine gegenüber den Rutherford-Kategorien aufgeführt.

Tab. 1: Klassifikation der pAVK nach Fontaine-Stadien und Rutherford-Kategorien
(Diehm et al., 2009; mit Erlaubnis der DGA)

Fontaine		Rutherford		
Stadium	**Klinisches Bild**	**Grad**	**Kategorie**	**Klinisches Bild**
I	asymptomatisch	0	0	asymptomatisch
IIa	Gehstrecke > 200 m	I	1	leichte Claudicatio intermittens
IIb	Gehstrecke < 200 m	I	2	mäßige Claudicatio intermittens
		I	3	schwere Claudicatio intermittens
III	ischämischer Ruheschmerz	II	4	ischämischer Ruheschmerz
IV	Ulkus, Gangrän	III	5	kleinflächige Nekrose
		IV	6	großflächige Nekrose

Im Stadium I nach Fontaine sind nur gering ausgeprägte Gefäßstenosen vorhanden, die beim Patienten keine Beschwerden verursachen. Im Stadium II spricht man von der sogenannten (sog.) Schaufensterkrankheit, der Claudicatio intermittens. Hierbei wird abhängig von der noch schmerzfrei zu bewältigenden Strecke ein Stadium IIa von IIb unterschieden. Unter Belastung kommt es physiologischer Weise zu einer Mehrperfusion der Muskulatur. Liegen aber Stenosen der zuführenden Arterien vor, kommt es zu einem belastungsabhängigen ischämischen Schmerz. Die Schmerzlokalisation liegt dabei distal der Stenosestelle. Liegt also beispielsweise eine Stenose im Oberschenkelbereich vor, kommt es zu Schmerzen in den Unterschenkeln. Bei Stenosen des Unterschenkeltyps liegt die Schmerzmanifestation im Bereich des Sprunggelenks und der Füße. Im Stadium III ist die Perfusion schon in Ruhe so weit gestört, dass es auch hier zu einer ischämischen Schmerzauslösung kommt. Im letzten Stadium (IV) kommt es neben dem ischämischen Ruheschmerz zu Gewebsulzera oder Gangrän bedingt durch die unzureichende oder ganz fehlende Perfusion einer Region. Liegt in diesem Stadium eine Schmerzlosigkeit vor, ist von einer ausgeprägten Polyneuropathie und fortgeschrittenen Nekrosen auszugehen. Die Stadien III und IV werden auch unter dem klinischen Aspekt der Erkrankung als chronische kritische Extremitätenischämie (chronic critical limb ischemia) bezeichnet.

Im Rahmen der vorliegenden Atherosklerose können auch andere Gefäßbereiche neben den Extremitätenarterien betroffen sein. So kann die zerebrale Durchblutung betroffen sein, aber auch die arterielle Versorgung der verschiedensten Organe. Dies kann sich in Form eines ischämischen Schlaganfalles, eines Myokardinfarktes, aber auch als renaler Hypertonus, Angina abdominalis und als erektile Dysfunktion manifestieren.

1.1.3 Diagnostik

Eine frühzeitige Diagnose der pAVK ist zur Verzögerung der Progression sehr wichtig. Besonders eine frühe stadiengerechte Therapie spielt dabei eine wichtige Rolle. Aber gerade bei asymptomatischen Patienten wird die Erkrankung, wenn überhaupt, nur per Zufallsbefund detektiert, ansonsten entgehen sie der Diagnosestellung.

1.1.3.1 Anamnese und klinische Untersuchung

Mittels der Anamnese werden erste Verdachtsmomente für das Vorliegen einer pAVK erschlossen. Dazu kann unter Anderem unter Zuhilfenahme eines standardisierten Fragebogens, wie dem WHO Questionnaire on Intermittent Claudication oder dem Edinburgh Claudication Questionnaire, eine erste stadienspezifische Zuordnung getroffen werden.

Weiterhin gehören eine gründliche körperliche Untersuchung einschließlich Inspektion, Auskultation und Palpation zur beginnenden Diagnostik. Auch der Pulsstatus und die Blutdruckwerte aller Extremitäten sind zu erheben. Ebenso ist die Lagerungsprobe nach Ratschow durchzuführen. Mittels funktioneller Belastungstests wie dem standardisierten Laufbandtest kann die maximale schmerzfreie Gehstrecke bestimmt werden. So kann damit beispielsweise auch das Stadium II nach Fontaine näher klassifiziert werden.

Ein sehr wichtiger und leicht durchführbarer Test ist die Bestimmung des Knöchel-Arm-Index. Hierbei wird mittels Dopplersonographie an beiden Armen und Beinen der systolische Blutdruck gemessen. Im Anschluss wird dann für jede Seite der ABI-Quotient berechnet. Hierzu wird der höchste Knöchelarteriendruck durch den mittleren Armarteriendruck geteilt. Laut aktuellen S3-Leitlinien wird bei einem ABI > 0,9 von einem Normalbefund ausgegangen, 0,75 – 0,9 sprechen für eine leichte pAVK, 0,5 – 0,75 für eine mittelschwere pAVK und ein ABI < 0,5 ist hinweisend für eine schwere pAVK. Ein ABI < 0,9 weist mit einer Sensitivität von nahezu 95 % auf das Vorhandensein einer pAVK hin und schließt eine Erkrankung daran mit einer Spezifität von nahezu 100 % bei Gesunden aus (Diehm et al., 2005). Damit gilt eine pAVK bei einer ABI-Verminderung < 0,9 und dem gleichzeitigen Ausschluss anderer Ursachen als bewiesen. Bei Werten > 1,4 besteht der Verdacht auf eine Mediasklerose oder auf falsch hohe Werte (Lawall et al., 2009). Zudem geht ein ABI < 0,9 mit einem hohen

prädiktiven Vorhersagewert für eine kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität einher (Diehm et al., 2006).
In einer Studie konnten Schröder et al. (2006) zeigen, dass bei einem ABI < 0,9 durch das Hinzuziehen des niedrigsten Fußarteriendrucks statt des höchsten die Sensitivität für das Erkennen einer pAVK von 68 auf 93 % gesteigert werden konnte, wobei die Spezifität bei fast 100 % lag.
Darüber hinaus ist die Bestimmung des ABI als Screeningparameter geeignet. Laut aktuellen TASC-Leitlinien soll dabei der ABI zu Detektion einer pAVK bei folgenden Patienten durchgeführt werden (Norgren et al., 2007):

- alle Patienten mit belastungsbedingten Beinbeschwerden
- alle Patienten zwischen 50 und 69 Jahren mit einem erhöhten kardiovaskulären Risiko (besonders Raucher und Diabetiker)
- alle Patienten über 70 Jahren unabhängig von bestehenden Risikofaktoren
- alle Patienten mit einem Framingham risk score 10 – 20 %

1.1.3.2 Bildgebende Diagnostik

Die hauptsächliche Indikation zur Durchführung einer bildgebenden Diagnostik ist die Lokalisation von therapierbaren Stenosen und Okklusionen. Nur so kann für den jeweiligen Patienten die optimale Therapieoption bestimmt werden. Dabei ist eine möglichst genaue Darstellung des Gefäßbaumes distal der Aorta von höchster Priorität. Bei der Auswahl der Modalität zur Bildgebung sollten mögliche Kontraindikationen, aber auch potentielle Risiken und Nebenwirkungen beachtet werden. An Verfahren stehen hier die farbkodierte Duplexsonographie, die konventionelle digitale Subtraktionsangiographie und die Magnetresonanz- (MR) und Computertomographie- (CT) Angiographie zur Verfügung.

1.1.3.2.1 Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)

Diese Untersuchungstechnik hat sich allgemein in der gefäßmedizinischen Diagnostik als weichenstellendes Verfahren etabliert. Die FKDS spielt bei der pAVK eine Schlüsselrolle zur Therapieplanung vor invasiven Maßnahmen. Haben sich in der Anamnese und der körperlichen Untersuchung, vor allem in der ABI-Bestimmung, erste Hinweise auf das Vorliegen einer pAVK ergeben, kann mittels nicht-invasiver FKDS eine Lokalisationsdiagnostik durchgeführt werden.

Von Vorteil ist, dass es ein kostengünstiges, leicht durchführbares, beliebig oft wiederholbares und vor allem nicht-invasives Verfahren ist. Weiterhin können damit auch differentialdiagnostisch infrage kommende Erkrankungen ausgeschlossen werden. Hier spielen aneurysmatische Gefäßverschlüsse, Vaskulitiden, muskuläre Kompressionssyndrome und die zystische Adventitiadegeneration eine Rolle. Ebenfalls kann mit dieser Methode auch eine Aussage zur Hämodynamik getroffen werden. Bei einem erfahrenen Untersucher wurde durch Collins et al. (2007) bei einem Review eine durchschnittliche Sensitivität von 88 % und eine durchschnittliche Spezifität von 96 % beschrieben. Damit eignet sich diese Methode gut zur Planung der weiteren therapeutischen Schritte. Allerdings sind dieser Werte stark untersucherabhängig, was eine nachteilige Auswirkung auf die Aussagekraft dieser Technik hat. Weiterhin lässt sich nicht wie mit den anderen Methoden zur Bildgebung der komplette Gefäßbaum im Überblick darstellen, sondern immer nur Ausschnitte. Auch die Artefaktanfälligkeit durch eine Mediasklerose oder Verkalkungen erwiesen sich als nachteilig. (Lawall et al., 2009)

1.1.3.2.2 Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

Auch aktuell gilt die DSA (Abbildung 1 (Abb.) 1) als Goldstandard zur Diagnostik der pAVK. Sie wird allerdings auf Grund der hohen Sensitivität und Spezifität der anderen bildgebenden Untersuchungstechniken zunehmend nicht mehr zur alleinigen Diagnostik eingesetzt. Denn neben der genauen Lokalisation und Ausmessung einer Stenose ist mit der DSA in gleicher Sitzung auch eine Intervention möglich (siehe auch Kapitel 1.1.4). Weitere Vorteile liegen in der guten Dokumentierbarkeit der erhobenen Befunde und dem großen Erfahrungsschatz als gut etabliertes Verfahren. Besonders zur Beurteilung von In-Stent-Stenosen ist dieses Verfahren besser geeignet als alle anderen bildgebenden Techniken. (Lawall et al., 2009) Neben all diesen Vorteilen sind mit der DSA natürlich auch verschiedene Nachteile verbunden. Hierzu gehören die Anwendung von ionisierender Strahlung und die mit einem invasiven Verfahren und der Verwendung von Kontrastmitteln (KM) assoziierten Komplikationen. Die DSA ist mit einer Mortalitätsrate von 0,16 % vergesellschaftet. In 0,7 % der Fälle kommt es zu Komplikationen, die das weitere Patientenmanagement beeinflussen (Hämatom-,

Abb. 1: unauffällige DSA rechter Unterschenkel

Aneurysmata- und Fistelbildung, mechanisches Löslösen eines Thrombus mit nachfolgender peripherer Embolie). Bei 0,1 % der Fälle kommt es zudem zu einer ernsthaften Reaktion gegen das verwendete Kontrastmittel. Hier spielen die jodinduzierte thyreotoxische Krise, eine KM induzierte Nephropathie und eine mögliche Hypersensitivitätsreaktion eine wichtige Rolle (Norgren et al., 2007).

Bei der invasiven DSA wird mittels Punktion der Arteria femoralis ein intraarterieller Katheter in Seldinger Technik gelegt. Über diesen kann dann im Anschluss Kontrastmittel injiziert werden. Hier können verschiedene KM zur Anwendung kommen: zum Beispiel jodhaltige KM mit einem positiven Kontrast, aber auch KM, die einen negativen Kontrast hinterlassen, wie das Kohlenstoffdioxid (CO_2). Dieses kann bei Kontraindikationen gegen jodhaltige KM gegeben werden. Dazu zählen eine Niereninsuffizienz und eine Hyperthyreose.
Bei der DSA werden zweidimensionale Projektionsbilder erstellt und in digitaler Form oder auf Filmfolien gespeichert. Während der Untersuchung sind zudem dreidimensionale Beurteilungen möglich. Da für den Befunder hauptsächlich die kontrastmittelgefüllten Gefäße von Wichtigkeit sind, werden diese mittels Subtraktion der Nativbilder von den KM-Bildern besonders deutlich sichtbar gemacht.

1.1.3.2.3 CT-Angiographie

Seit der Einführung der Mehrzeilen Computertomographie (MSCT) hat sich die CT-Angiographie (CTA) als untersucherunabhängige, schnell durchführbare und im Submillimeterbereich auflösende Untersuchungsmethode herauskristallisiert. In dem von Collins (2007) durchgeführten Review ergaben sich für die durchschnittliche Sensitivität und Spezifität jeweils 91 %.
Ebenso wie die DSA ist die CT eine Untersuchung mit Röntgenstrahlen. Hier erfolgt eine Durchstrahlung des zu untersuchenden Patienten nicht nur aus einer, wie beim konventionellen Röntgen, sondern aus verschiedenen Richtungen. Deshalb können mit dieser Darstellungstechnik multiplanare und dreidimensionale Bilder des Gefäßsystems erstellt werden. Zudem erlaubt die Mittellinienrekonstruktion eine exakte Vorberechnung und eine Endograftausmessung vor operativen Eingriffen. Weiterhin werden hier auch die umliegenden anatomischen Strukturen gut sichtbar. Dies erlaubt eine Beurteilung von therapierelevanten Begleiterkrankungen und die für den Chirurgen wichtige Beurteilung der anatomischen Topographie. Im Gegensatz zur DSA ist die CT-Angiographie ein nicht-invasives Verfahren. Als nachteilig haben sich bei der

CTA die Strahlenexposition und die Applikation von jodhaltigem Kontrastmittel herausgestellt. Auch hier spielen wie bei der DSA die KM induzierte Nephropathie und die thyreotoxische Krise, sowie eine Hypersensitivitätsreaktion eine Rolle. Ebenso kann die Notwendigkeit einer aufwendigen Bildnachbearbeitung bestehen. Letztlich kann es zu einer Stenosegradüberschätzung bei kalkhaltigen Stenosen kommen (Lawall et al., 2009). Weiterhin besteht im Vergleich zur DSA eine geringere räumliche Auflösung (Roth, 2011).

1.1.3.2.4 MR-Angiographie

Neben der FKDS und der CT-Angiographie ist die MR-Angiographie (MRA) (Abb. 2) ebenfalls ein nicht-invasives bildgebendes Verfahren zur Gefäßdarstellung. Hierbei kommt es zudem nicht zu einer Strahlenexposition. Collins et al. (2007) zeigten, dass die kontrastmittelangehobene/-verstärkte MRA (CE-MRA) mit einer durchschnittlichen Sensitivität von 95 % und einer durchschnittlichen Spezifität von 97 % den DSA-Ergebnissen im Vergleich zu FKDS und CT-Angiographie am nächsten kam.

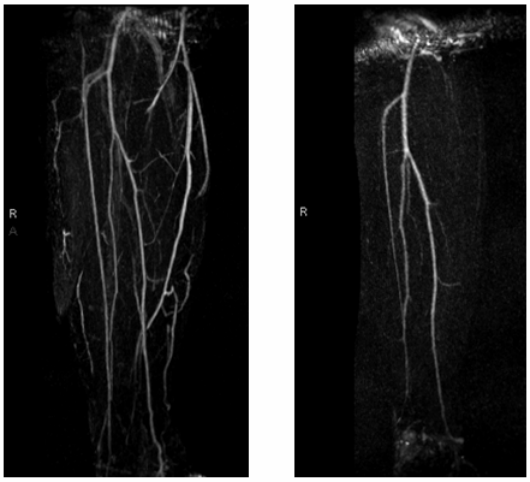


Abb. 2: unauffällige MRA rechter Unterschenkel; a) MIP, b) TWIST

Ein Magnetresonanztomograph erzeugt ein starkes (z.B. 1,5 oder 3 Tesla (T)) stationäres und homogenes Magnetfeld. In diesem richten sich die Wasserstoffprotonen des menschlichen Körpers bedingt durch ihre Dipoleigenschaft aus. Hierbei entsteht eine messbare Nettomagnetisierung. Im nächsten Schritt wird ein Hochfrequenzimpuls (HF) eingestrahlt, der zu einer Anregung der Dipole führt. Hierbei kommt es zu einer Abnahme der Longitudinalmagnetisierung und zu einer Zunahme der Transversalmagnetisierung. Nach Abschalten des HF kehren die Protonen wieder in ihre Ursprungslage zurück (Relaxation) und geben dabei Energie ab. Diese Energie induziert einen elektrischen Strom, der dann wiederum als Signal zur Berechnung von zwei oder dreidimensionalen Bildern genutzt wird.

Nach den aktuellen S3-Leitlinien zeigten sich native Verfahren, die die Effekte des fließenden Blutes zur Gefäßdarstellung nutzen als ungeeignet. Dazu gehören die time-

of-flight-Angiographie und die Phasenkontrastangiographie. Als Standard wird hier die CE-MRA benannt. Die Aufnahmen werden dabei in Tischverschiebetechnik (moving table technique) akquiriert. Hierbei bewegt sich während der Untersuchung der Tisch im Tomographen. Auf diesem Weg werden nacheinander alle Gefäßregionen (aortoiliakal, femoral, crural) erfasst. Zu Beginn werden Nativaufnahmen angefertigt. Im Anschluss werden dann kontrastmittelverstärkte Sequenzen akquiriert. Hierzu wird über eine Cubitalvene ein KM injiziert. Ein gutes Timing für einen hinreichenden Gefäßkontrast spielt hierbei eine wichtige Rolle. Hierfür kann man entweder einen KM-Testbolus geben oder die Aufnahme manuell starten, wenn das KM in der thorakalen Aorta sichtbar wird (Care-bolus). Aus dem so erhaltenen Bildmaterial werden zur Hintergrundunterdrückung die Nativ- von den KM-Aufnahmen subtrahiert und im Anschluss örtlich hoch aufgelöste Maximum Intensity Projections (MIPs) berechnet. Gerade am Unterschenkel kann es allerdings bedingt durch kleine Gefäßkaliber zu Artefakten kommen, die die Beurteilung des Bildmaterials einschränken. Die Akquisition von zeitlich hoch aufgelösten Sequenzen kann hierbei Abhilfe schaffen. Im Hinblick darauf wird erneut KM injiziert und dynamisch während des An- und Abflutens des KM Bilder akquiriert. Der Zeitpunkt der größten KM-Anreicherung kann so dargestellt werden und die besonders einschränkende venöse Begleitdarstellung wird eliminiert.

Am häufigsten werden bei der CE-MRA gadoliniumhaltige KM verwendet. Durch die Verwendung von KM kommt es zu einer Verkürzung der Relaxationszeit. Allerdings sind mit der Verwendung von gadoliniumhaltigen KM auch bestimmte Risiken verbunden. Dazu gehört die Entwicklung einer Nephrogenen Systemischen Fibrose bei schwer nierenerkrankten Patienten. Als Einschränkung für die KM-Applikation gilt daher eine GFR < 30 ml/min oder chronische Hämodialyse (Prince et al., 2009).

Weitere Kontraindikationen für die generelle Durchführung einer MRA sind einige Herzschrittmacher, Cochleaimplantate und Klaustrophobie (Norgren et al., 2007).

Als vorteilhaft hat sich bei der MRA die Nicht-Invasivität, die fehlende Strahlenbelastung, die schnelle Durchführbarkeit und eine Auflösung im Submillimeterbereich erwiesen. Allerdings ist die Auflösung immer noch geringer als bei der DSA (Roth, 2011). Zu den Nachteilen gehören die genannten Kontraindikationen für die Durchführung einer MRA, sowie die die Bildqualität einschränkenden Faktoren. Dazu gehören neben der Bewegungsunruhe des Patienten auch venöse Begleitdarstellung, metallische/Stent-bedingte Artefakte und KM-Timing Fehler (Low et al., 2006). Auch sind kalkhaltige Strukturen schlechter darstellbar, weshalb es gerade bei kleinkalibrigen Gefäßen am Unterschenkel zu einer Stenosegradüberschätzung kommt (Lawall et al., 2009).

1.1.4 Therapie

Auf Grund des immer stärker steigenden Anteils älterer Menschen in unserer Gesellschaft und der auch immer größer werdenden Patientengruppe mit Wohlstandserkrankungen wie Diabetes mellitus und arterieller Hypertonie, steigt die Anzahl an pAVK-Patienten kontinuierlich an. Infolge dieser Situation ergibt sich die Notwendigkeit eines möglichst effizienten, auf das jeweilige Krankheitsstadium angepassten Therapieregimes. Zu beachten sind auch die dabei anfallenden Kosten, die mit steigendem Krankheitsstadium ebenfalls zunehmen. So kostet die Therapie eines pAVK-Patienten im Stadium IIa nach Fontaine durchschnittlich 1792,45 €, während die Therapie im Stadium IV 6225,89 € kostet (Lawall et al., 2009). Dabei machen die stationären Therapiekosten mit 44,4 % den größten Anteil aus. Zu vernachlässigen sind indirekte Kosten, wie sie bei Arbeitsunfähigkeit entstehen, da die meisten Patienten bereits das Rentenalter erreicht haben.
Im Folgenden soll auf die aktuellen Therapieempfehlungen aus den S3-Leitlinien (Stand 27.04.2009) eingegangen werden. Die Stadienbeschreibung bezieht sich immer auf die in Deutschland übliche Fontaine-Einteilung.

Neben der konservativen, gehören zur stadiengerechten Therapie der pAVK auch die interventionelle und auch chirurgische Behandlung. In Tab. 2 wird eine Übersicht über die stadienabhängige Therapie gegeben.

Tab. 2: Stadiengerechte Behandlung der pAVK in Abhängigkeit der Stadien nach Fontaine I – IV. (Diehm et al., 2009; mit Erlaubnis der DGA)

	Fontaine-Stadium			
Maßnahme	I	II	III	IV
Risikofaktorenmanagement: Nikotinkarenz, Diabetestherapie, Statine, Blutdruckbehandlung	+	+	+	+
Thrombozytenfunktionshemmer: ASS oder Clopidogrel	+	+	+	+
Physikalische Therapie: strukturiertes Gehtraining	+	+		
Medikamentöse Therapie: Cilostazol und Naftidrofuryl bei Claudicatio. Prostanoide bei CLI		+	+*	+*
Strukturierte Wundbehandlung				+
Interventionelle Therapie		+**	+	+
Operative Therapie		+**	+	+

+	Empfehlung
ASS	Acetylsalicylsäure
CLI	kritische Extremitätenischämie
*	bei fehlender Möglichkeit zur Revaskularisation: Prostanoide
**	bei hohem individuellem Leidensdruck und geeigneter Gefäßmorphologie

Zur konservativen Therapie gehören neben einer medikamentösen Behandlung auch ein adäquates Gehtraining und die Therapie und Prävention von anderen kardiovaskulären Risikoerkrankungen. Während die Risikoreduktion von kardiovaskulären Komplikationen bei allen Stadien von Wichtigkeit ist, steht im Stadium II besonders die Besserung der Gehleistung, Mobilität und Lebensqualität im Vordergrund. Im Stadium III und IV stehen dann der Extremitätenerhalt, eine adäquate Schmerztherapie und der Erhalt der Lebensqualität im Mittelpunkt.
Grundsätzlich gehört zur Prävention von kardiovaskulären Risikoerkrankungen die Therapie von Erkrankungen, die mit einer erhöhten Atherosklerosebildung einhergehen. Dazu gehören die Nikotinkarenz bei Rauchern, die Gewichtsreduktion bei Adipositas und eine optimale medikamentöse Therapie von Diabetes mellitus, arterieller Hypertonie und Fettstoffwechselerkrankungen. Ebenfalls ist eine Thrombozytenaggregationshemmung bei atherosklerotischen Erkrankungen von Priorität.

Ab dem Stadium II mit Claudicatio intermittens ist eine symptomatische medikamentöse Therapie der pAVK indiziert. Hierzu gehören vasoaktive Substanzen wie Cilostazol (Phosphodiesterasehemmer) und Naftidrofuryl (Thrombozytenaggregationshemmer). Aber gerade in diesem Stadium ist ein strukturiertes Gehtraining unter Aufsicht und regelmäßiger Kontrolle als Basistherapie von wichtiger Bedeutung. Erst wenn es einem Patienten nicht mehr möglich ist, in dieser Form körperlich aktiv zu sein oder die Gehstrecke < 200 m beträgt, gewinnt die medikamentöse Therapie mit den genannten Medikamenten an Bedeutung.
Letztlich ist erst bei Patienten, bei denen sich ein Gehtraining als völlig unmöglich herausstellt und die medikamentöse Therapie nicht zu einer ausreichender Verbesserung führt, eine interventionelle oder chirurgische Behandlung bei geeigneter Gefäßlokalisation und Läsionsmorphologie indiziert.

Im Stadium III und IV, also dem Stadium der kritischen Ischämie, haben die Vermeidung von hohen Amputationsraten, die Abheilung von trophischen Störungen und die Schmerzlinderung die höchste Priorität. Da bei 70 – 90 % der Patienten mit kritischer Ischämie erfolgreich revaskularisiert (interventionell/gefäßchirurgisch) werden kann, kommt es zu einer hohen Abheilungsrate und zu einer deutlichen Verminderung der Amputationsrate. Die Methode der Revaskularisation, ob nun interventionell, gefäßchirurgisch oder in einem Hybrideingriff, sollte in einem interdisziplinären Konsens zwischen Chirurgen, Angiologen und Radiologen getroffen werden. Abhängig von der Graduierung der Läsion nach der TASC II-Klassifikation, wird sich dabei für

eine der möglichen Varianten entschieden. Generell ist einer endovaskulären Rekanalisation der Vorzug zu geben, wenn die gleiche symptomatische Verbesserung erzielt werden kann wie mit einem chirurgischen Eingriff.

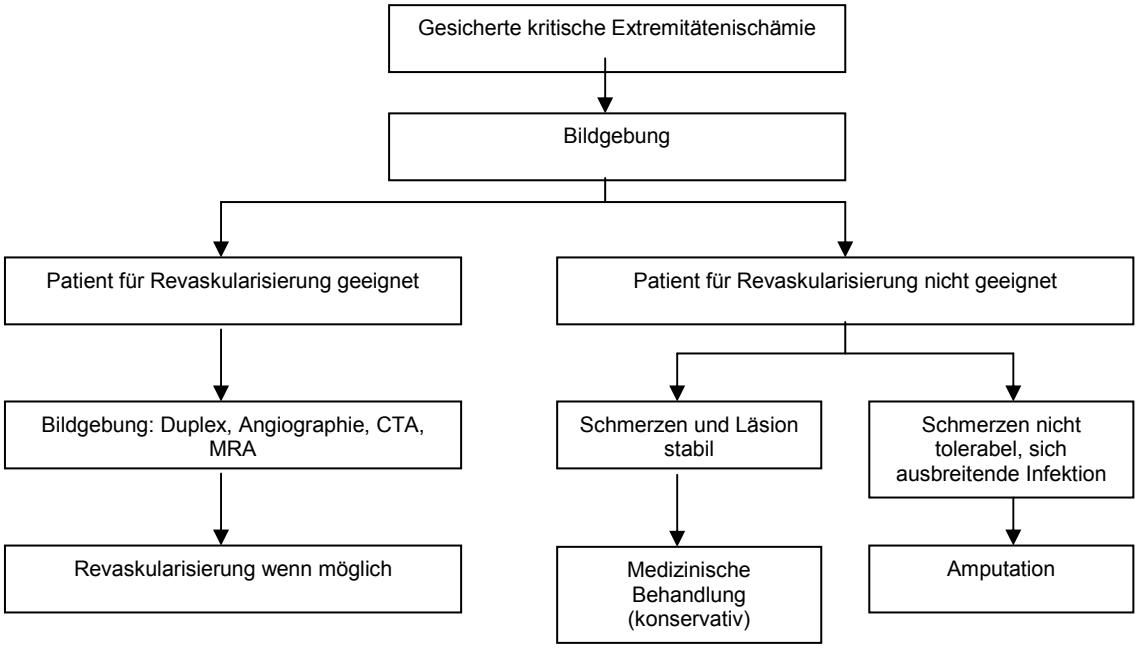
Zu den interventionellen Methoden gehört die perkutane transluminale Angioplastie (PTA) mit oder ohne Stenteinsatz. Auch neuere Verfahren wie die Cutting-Balloon-Technik, die Atherektomie und die Laserangioplastie finden zunehmend ihren Einsatz. Ebenfalls ist die katheterassistierte lokale Thrombolyse eine interventionelle Therapieoption. Sie wird aber nur bei der thrombotischen, akuten kritischen Extremitätenischämie verwendet. Zu den gefäßchirurgischen Eingriffen zur Revaskularisierung gehört die Bypass-OP.

Weiterhin ist im Rahmen der Revaskularisierungstherapie auf eine ausreichende Analgesie und eine Infektionsbehandlung, sowie eine Optimierung der kardiopulmonalen Funktion zu achten.

Erst wenn eine Revaskularisierungsbehandlung nicht möglich ist oder –versuche gescheitert sind, spielt die medikamentöse Therapie mit Prostanoiden eine wichtige Rolle. Hierbei kommt parenteral appliziertes Aloprostadil oder Iloprost zum Einsatz. Diese führen zu einer verbesserten Wundheilung, einer Verminderung der Amputationsrate und zu einer Senkung der kardiovaskulären Mortalität.

Als ultima ratio steht im Stadium der kritischen Ischämie nur die Amputation der betroffenen Region/Extremität zur Verfügung.

In Diagramm 1 (Diag. 1) ist der Therapiepfad bei Patienten mit kritischer Extremitätenischämie dargestellt. Hier werden die beschriebenen Therapieoptionen noch einmal zusammengefasst.



Diag. 1: Algorithmus zur Behandlung von Patienten mit kritischer Extremitätenischämie (Diehm et al., 2009; mit Erlaubnis der DGA)

In den letzten Jahren hat sich die CE-MRA zu einer Alternative zur invasiven DSA entwickelt. Gezeigt wurde dies in den verschiedensten Studien, die Aussagen über die CE-MRA im Vergleich zum Goldstandard DSA machten (unter anderem: Poschenrieder et al., 2009; Collins et al., 2007; Hentsch et al., 2003; Loewe et al., 2002).

In dieser Arbeit sollen zwei verschiedene MR-Sequenzen auf ihre diagnostische Genauigkeit in der klinischen Routine mit der DSA als Referenzstandard verglichen werden. Es soll auch die Frage geklärt werden, ob eine der beiden Sequenzen besser zur Diagnostik der pAVK geeignet ist als die andere. Verglichen werden hierbei in dieser Arbeit zeitlich hoch aufgelöste und örtlich hoch aufgelöste MR-Datensätze.
Unter anderem soll neben der Sensitivität und Spezifität der MRA im Vergleich zur DSA auch eine Überprüfung der Ergebniskorrelation zwischen zwei verschiedenen MRA-Auswertern stattfinden. Außerdem soll auch beim jeweiligen Auswerter die Ergebniskorrelation zwischen den beiden MRA-Sequenzen verglichen werden.

2 Patienten und Methoden

2.1 Studiendesign

Es handelt sich hierbei um eine retrospektive Studie über 100 Patienten aus einem Zeitintervall von insgesamt 17 Monaten (01.01.2009 – 31.5.2010).

Hoch ortsaufgelöste MIP-Rekonstruktionen (Maximum Intensity Projection) des Orginaldatensatzes der CE-MR-Angiographie und zeitlich hoch aufgelöste Sequenzen (TWIST®-Sequenzen, Siemens, Erlangen) wurden miteinander im Bezug zur DSA als Goldstandard verglichen.
Alle diese diagnostischen Aufnahmen wurden am Universitätsklinikum Giessen und Marburg; Standort Marburg, in der Klinik für Strahlendiagnostik angefertigt und ausgewertet.

2.2 Aufnahme in die Studie

Insgesamt sollten in der Studie die Daten von 100 Patienten ausgewertet werden. Hierzu wurden zunächst alle Patienten die im Zeitraum vom 01.01.2009 bis zum 31.05.2010 eine CE-MR-Angiographie der Becken-Bein-Region erhalten hatten eingeschlossen. Vom jeweiligen Patienten musste das vollständige Bildmaterial der MR-Angiographie und der im Anschluss an die MRA durchgeführten DSA vorliegen. Weiterhin führte die nicht komplette Darstellung eines Gefäßes zum Ausschluss. Zudem durften zwischen den beiden Untersuchungen (MRA und DSA) nicht mehr als zwei Monate vergangen sein.

2.3 Methoden

2.3.1 Datenerhebung der Patienten

Für diese Arbeit konnte auf die Patientendaten von mehreren Jahren zurückgegriffen werden. Um die gewünschte Patientenzahl von n = 100 zu erreichen, war es allerdings nur nötig, auf ein Zeitintervall von 17 Monaten zurückzugreifen (01.01.2009 – 31.05.2010).

Für die Datenerhebung wurde unter der Verwendung vom Suchbegriff „Extremitäten-Angiographie“ und zeitlicher Eingrenzung im bildspeichernden und verwaltenden PACS-System (IMPAX EZ R20®, Picture Archiving and Communication Sytem, Agfa´s IMPAX™) der Abteilung für Strahlendiagnostik eine Patientensuche durchgeführt.

In der oben genannten Zeitspanne wurden insgesamt 379 MR-Angiographien der Becken-Bein-Region erstellt. Zunächst wurde das vorhandene MR-Bildmaterial auf Vollständigkeit geprüft. Bei 46 Patienten waren nicht alle vier der zu untersuchenden Gefäße komplett dargestellt und sie wurden aus der Studie ausgeschlossen. Hier fehlte vor allem im proximalen Bereich der Truncus tibiofibularis. Im Anschluss wurde überprüft, ob die verbliebenen 333 Patienten innerhalb von zwei Monaten nach der MRA mittels DSA untersucht worden waren. Bei 198 Patienten war dies nicht der Fall und sie wurden ausgeschlossen. Von zu diesem Zeitpunkt noch 135 Patienten mussten weitere 26 Patienten ausgeschlossen werden, da das Intervall zwischen MRA und DSA mehr als zwei Monate betrug. Neun der verbliebenen 109 Patienten mussten ausgeschlossen werden, da in der DSA nicht alle relevanten Gefäßabschnitte dargestellt wurden. So fand sich ein Patientenkollektiv von 100 Studienteilnehmern. Zur schematischen Darstellung siehe auch Diag. 2.

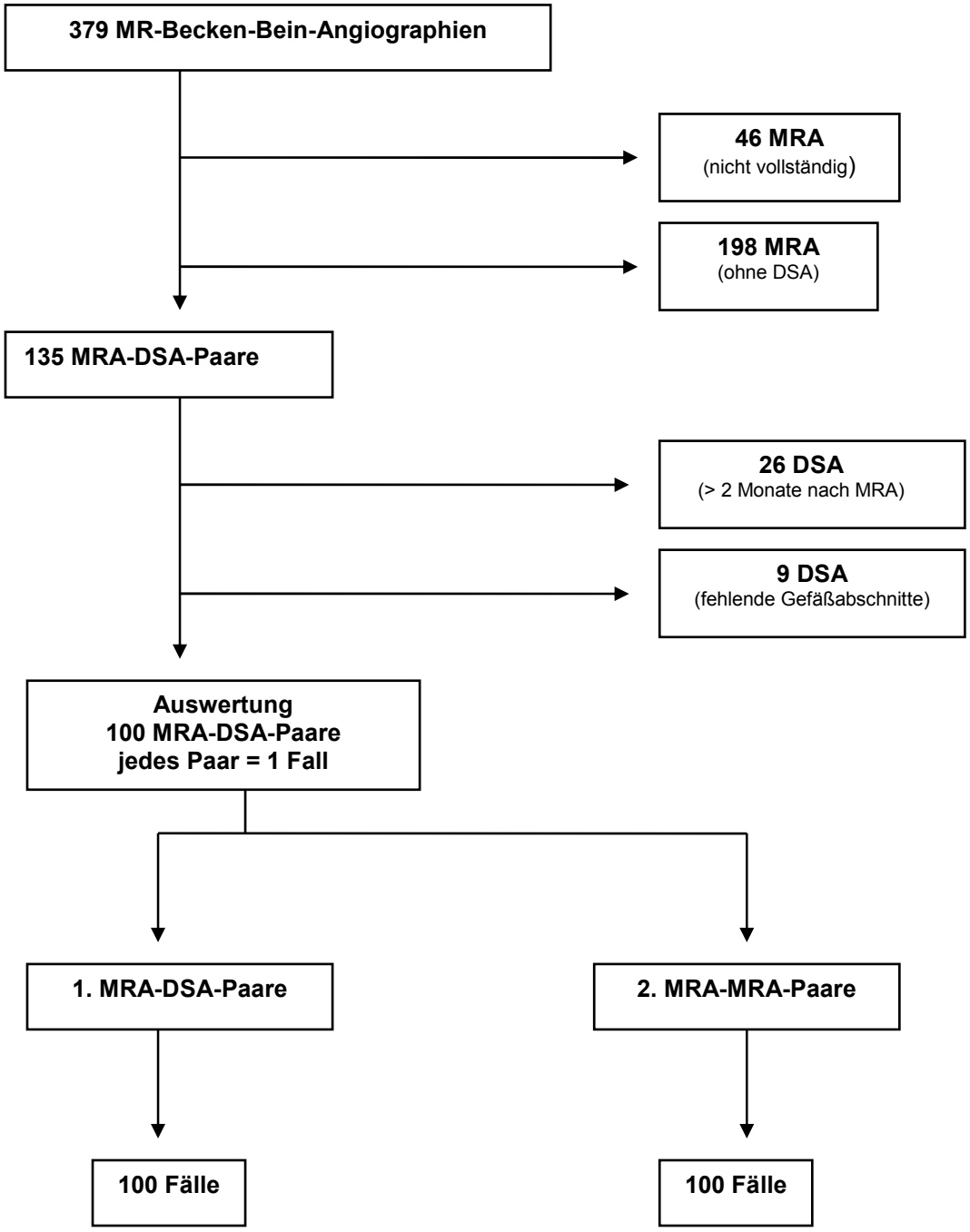
Wurde bei einem Patienten ein Ausschlusskriterium gefunden, wurde nicht weiter nach einem anderen gesucht, so dass es möglich ist, dass bei einem Patienten mehrere Ausschlusskriterien vorlagen.

Gab es bei einem Patienten Datensätze zu beiden Extremitäten, wurde jeder Extremität ein separater Fall zugeordnet. Weiterhin gehören auch Patienten die mehrfach untersucht wurden zu den 100 Studienteilnehmern. Insgesamt wurden zwei Patienten drei Mal und fünf Patienten zwei Mal untersucht und somit mehrfach in die Studie aufgenommen. Bei zwei Patienten wurde sowohl das rechte als auch das linke Bein untersucht. Letztlich wurden also 90 verschiedene Patienten in die Studie aufgenommen.

Bei diesen 90 verschiedenen teilnehmenden Studienpatienten entfielen 60 % auf das männliche Geschlecht und 40 % auf das weibliche.

Das Durchschnittsalter der Patienten zum MRA-Untersuchungszeitpunkt betrug 72,22 Jahre mit einer Spannweite von 27 bis 90 Jahren.

Der Vergleich der DSA- und MRA-Daten wurde auf der Ebene des einzelnen Gefäßes durchgeführt. So ergab sich für jedes der vier Gefäße jedes Patienten eine Maximalstenose. Bei multiplen Stenosen wurde hierbei die ausgeprägteste Einzelstenose im jeweiligen Gefäß bewertet. Da insgesamt 100 Fälle in die Studie aufgenommen wurden, ergab sich somit pro Untersuchungsdurchgang (DSA, MIP, TWIST) ein Datensatz von 400 Einzelgefäßen.



Diag. 2: Verteilung der Patienten, Einschlüsse, Ausschlüsse

2.3.2 Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

Die DSA-Aufnahmen, die als Referenzstandard in dieser Studie dienten, wurden mittels einer Multistar® Angiographieeinheit (Siemens, Erlangen, Germany) erstellt. Dabei wurde die Aufnahmeebene parallel und/oder im rechten Winkel zur Membrana interossea des Unterschenkels eingestellt. Als Kontrastmittel wurden entweder Ultravist 300® (Bayer Health Care Phamaceuticals) oder Visipaque 270™ (GE Healthcare) verwendet. Bei beiden handelte es sich um iodierte nicht-ionische Kontrastmittel. Pro Aufnahmeserie wurden dabei jeweils 5 bis 10 ml injiziert.
Das sonst auch verwendete CO_2 kam bei den Patienten dieser Studie nicht zur Anwendung.

2.3.3 3D CE-MR-Angiographie

Die MR-Aufnahmen der Becken-Bein-Region wurden mit einem 1,5 T Ganzkörper-Magnetresonanztomographen (Magnetom Espree®, Siemens, Erlangen, Germany) angefertigt. Als Spulen kamen die CP PA Array® (Abb. 3,) für den Unterschenkel in Kombination mit der Spine-® und Body Matrix® (Siemens, Erlangen, Germany) zur Anwendung. Zur Datenauswertung wurde NUMARIS/4® Version syngo MR B17 (Siemens, Erlangen, Germany) genutzt.

Abb. 3: CP PA Array® (Siemens)
Quelle: www.medical.siemens.com

Die Patientenlagerung erfolgte mit den Füßen voran in Rückenlage auf dem MRT-Tisch (Abb. 4).
Als gadoliniumhaltiges KM wurde das lineare ionische Multihance® (Bracco) verwendet.
Bei der Datenakquisition der dreidimensionalen kontrastmittelverstärkten MR-Angiographie (3D CE-MRA) wurden zunächst Nativaufnahmen angefertigt. Im Anschluss wurde eine Serie von Aufnahmen mit KM gestartet. Dabei wurde unter fluoroskopischer „Care-bolus“-Triggerung bei Ankunft des KM die Sequenz gestartet. Zunächst wurden Aufnahmen vom Becken, dann von der Oberschenkel- und letztlich von der Unterschenkelregion angefertigt. Hierbei wurden 12 ml KM mit einem Flow von

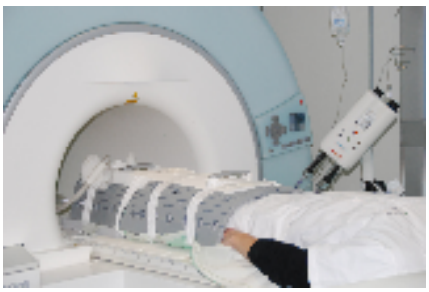


Abb4: Lagerung des Patienten
Quelle: eigenes Fotomaterial

2 ml/s und einem anschließenden 20 ml Natriumchlorid-Bolus (NaCl-) über eine Kubitalvene mit einem Kontrastmittelinjektor Spectris Solaris® (MedRad) injiziert.
Zur Hintergrundunterdrückung wurden die Bilder subtrahiert. Anschließend wurden aus den Subtraktionsbildern örtlich hoch aufgelöste MIPs rekonstruiert. Hierbei handelt es sich um ein Rechenverfahren, bei dem nur die hellen Bildanteile (oberhalb eines Schwellenwertes) eines Datensatzes zu zweidimensionalen Projektionsbildern der kontrastmittelhaltigen Gefäße rekonstruiert werden (Zink, Klinikwörterbuch MRT).
Im Anschluss wurde eine dynamische Messung der Unterschenkel akquiriert. Hierbei wurden jeweils 4 ml KM mit einem Flow von 2 ml/s und einem anschließenden NaCl-Bolus von 20 ml injiziert und gleichzeitig die Messung gestartet. Durch die kontinuierliche dynamische Datenakquisition während An- und Abfluten des KM entstanden sog. TWIST-Sequenzen. Das sind zeitlich hoch aufgelöste Datensätze, bei denen der Zeitpunkt der größten KM-Anreicherung im interessierenden Gefäß dargestellt werden kann. Mit dieser Technik kann das Problem der zu frühen oder zu späten Akquisition umgangen werden und es kommt nicht zu venöser Begleitdarstellung.

2.3.4 Auswertung des Bildmaterials

Die Auswertung des Bildmaterials erfolgte von drei unabhängigen Radiologen. Wobei einer nur das DSA-Bildmaterial auswertete und die anderen beiden das MR-Bildmaterial.

Die Bilder konnten über das PACS-System (Picture Archiving and Communication Sytem, Agfa´s IMPAX™) der Abteilung für Strahlendiagnostik abgerufen werden und an Barco®-Befundungsmonitoren angeschaut werden.

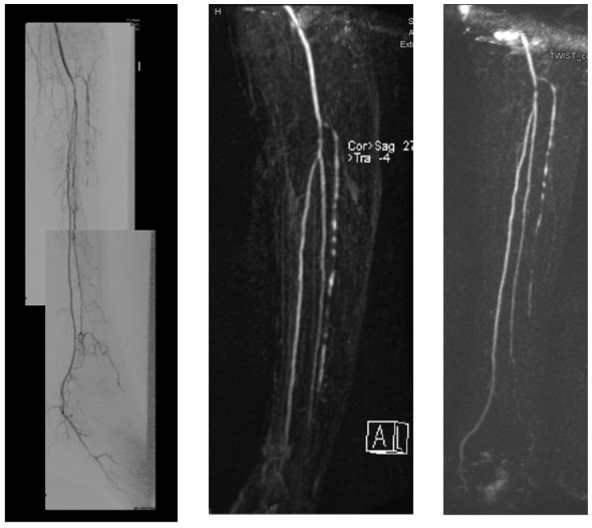


Abb. 5: DSA (a), MIP (b) und TWIST (c) eines 74-Jährigen: linker Unterschenkel mit zum Teil klinisch relevanten Stenosen bei sehr guter Bildqualität

Vor Beginn der Evaluation wurden die Beurteilungskriterien (Stenosegrad, singulär/multipel, Artefakte, Qualität) mit allen Auswertern anhand von

Beispielen, die nicht Bestandteil der Studie waren, besprochen und als Standard festgelegt.

Eine Verblindung der Auswerter hinsichtlich der Patientenidentität konnte softwaregesteuert mittels PACS bei allen Bildern durchgeführt werden. Eine Verblindung zwischen den Auswertern wurde durch mindestens vierwöchige Zeitabstände zwischen den Auswertesessions verwirklicht.

Sowohl bei den DSA- als auch bei den MRA-Aufnahmen wurden nur die Bilder der interessierenden Unterschenkelregion betrachtet. Bei der Auswertung der MR-Angiographie wurden zum einen die rekonstruierten MIPs und wenn nötig die Orginaldaten und zum anderen die TWIST-Serie und ebenfalls wenn nötig deren Originaldaten begutachtet (Abb. 5).

2.3.4.1 Dokumentation der Daten

Die Dokumentation der Befunde erfolgte anhand eines Auswertebogens (siehe Anhang).
Erfasst wurden insgesamt vier Gefäße:

- Truncus tibiofibularis (Truncus)
- Arteria tibialis anterior (Anterior)
- Arteria tibialis posterior (Posterior)
- Arteria fibularis (Fibularis)

Bei diesen Gefäßen wurde eine Stenosegradbestimmung durchgeführt:

- (1) keine Stenose
- (2) < 50 % Diametereinengung
- (3) 51 – 70 % Diametereinengung
- (4) 71 – 99 % Diametereinengung
- (5) 100 % Diametereinengung/Verschluss

Weiterhin wurde beschrieben, ob die Stenosierung singulär (S) oder multipel (M) an einer oder an verschiedenen Stellen des jeweiligen Gefäßes auftrat.

Waren Artefakte vorhanden, wurde diese bezüglich ihrer beeinflussenden (3) oder nicht beeinflussenden (2) Qualität unterschieden:

- (b) Bewegung
- (c) suboptimale Kontrastierung
- (k) venöse Kontamination
- (v) Verkalkung

Waren keine Artefakte vorhanden, wurde dies mit (1) kodiert.

Als letztes wurde die Qualität des Bildmaterials beurteilt. Hier standen folgende Kriterien zur Auswahl:

- (4) sehr gut
- (3) gut
- (2) verwendbar
- (99) nicht beurteilbar

Das auf dem Beurteilungsbogen aufgeführte Merkmal „dargestellt“ wurde in allen Fällen mit ja (1) beantwortet, da zuvor bei der Datenerhebung alle inkompletten Fälle die mit nein (0) beantwortet worden wären, ausgeschlossen worden waren.

Die so gewonnen Daten wurden zunächst in tabellarischen Form in Excel® (Microsoft Office Excel 2003) aufgenommen und dann später in SPSS® (SPSS Statistics 17.0 für Windows) konvertiert.

Zur erneuten Kontrolle der großen Datenmenge erfolgte nach Eingabe in Excel ein Vergleich der Datenbögen mit den jeweiligen Daten der Tabelle. Ziel dieser Plausibilitätskontrolle war die Verminderung von Übertragungs- und Rechtschreibefehlern, sowie das Auffinden weiterer Fehler und Auffälligkeiten. Übertragungs- und Rechtschreibefehler wurden sofort korrigiert. Bei anderen Auffälligkeiten wurde dem jeweiligen Beurteiler dieser Bogen erneut zur Auswertung vorgelegt und die Ergebnisse dann in die Tabelle übertragen.

2.3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte nach Konvertierung aus der Excel®-Tabelle mittels SPSS®.

Ein Ausschluss von Daten aufgrund von „nicht beurteilbaren“ Gefäßen fand nicht statt. Da dies beim Goldstandard DSA in keinem Fall vorkam, wurde bei in der MRA als „nicht beurteilbar“ eingestuften Gefäßen im Sinne einer „intention-to-treat“ Analyse vom denkbar ungünstigsten Zustand, somit einer Fehlbewertung ausgegangen und der MRA-Befund dem DSA-Befund entgegengesetzt aufgenommen.

Für jedes der vier zu untersuchenden Gefäße bei jedem Patienten wurden die bestimmten Stenosegrade (Grad 1 bis 5) und auch die bestimmten Qualitäten der dargestellten Stenosen („sehr gut“ bis „nicht beurteilbar“) so aufgelistet, dass ihre Häufigkeit und Verteilung ersichtlich wurde.

Für die statistische Beurteilung der Stenosen wurden die Stenosegrade erneut unterteilt. Hier wurde nur noch zwischen

- „klinisch nicht relevant erkrankt“: Stenosegrad 1 – 2 → 0 – 50 % Diametereinengung

und

- „klinisch relevant erkrankt“: Stenosegrad 3 – 5 → 51 – 100 % Diametereinengung

unterschieden.

Beim DSA-MRA-Vergleich erfolgte die Berechnung folgender Maßzahlen anhand von Kontingenztabellen:

- Sensitivität (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-sensitivitaet-spezifitaet-vorhersagewert.html): beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein tatsächlich Erkrankter ein positives Testergebnis hat oder anders ausgedrückt, ein Kranker mit diesem diagnostischen Test als krank diagnostiziert wird.

Spezifität (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-sensitivitaet-spezifitaet-vorhersagewert.html): beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein tatsächlich Gesunder ein negatives Testergebnis hat oder anders ausgedrückt, ein Gesunder mit diesem diagnostischen Test als gesund diagnostiziert wird.

- Prädiktive Werte (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-sensitivitaet-spezifitaet-vorhersagewert.html): sind von der Prävalenz einer Erkrankung abhängig. Da die hier mit eingeschlossenen Patienten alle klinisch den Verdacht auf eine klinisch relevante Stenose hatten, ist es deshalb möglich gewesen, auch diese statistischen Maßzahlen zu erheben.
    - Positiv prädiktiver Wert: gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der bei Vorliegen eines positiven Tests eine bestimmte Erkrankung tatsächlich vorliegt.
    - Negativ prädiktiver Wert: beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem negativen Testresultat die betreffende Krankheit nicht vorliegt.
- Likelihoodquotienten (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-likelihoodquotient.html): beschreiben wie sich das Testresultat eines diagnostischen Tests auf die Chance für das Vorliegen einer Krankheit auswirkt.
    - Positiver Likelihoodquotient: beschreibt wie viel Mal wahrscheinlicher ein positives Testergebnis bei Kranken auftritt als bei Gesunden.
      LQ+ > 3 = akzeptables Testergebnis, > 10 = gutes Testergebnis.
    - Negativer Likelihoodquotient: gibt an, wie viel Mal wahrscheinlicher ein negatives Testergebnis bei einen Kranken eintritt als bei einem Gesunden.
      LQ- < 0,3 = akzeptables Testergebnis, < 0,1 = gutes Testergebnis.

Beim MRA-Interobserververgleich wurde Cohen´s Kappa als Übereinstimmungsmaß berechnet (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-cohens-kappa.html). Hier wurde folgende Einteilung vorgenommen:

$\kappa \leq 0{,}1$	keine Übereinstimmung,
$0{,}1 < \kappa \leq 0{,}4$	schwache Übereinstimmung,
$0{,}4 < \kappa \leq 0{,}6$	deutliche Übereinstimmung,
$0{,}6 < \kappa \leq 0{,}8$	starke Übereinstimmung,
$0{,}8 < \kappa \leq 1$	(fast) vollständige Übereinstimmung.

Zum MRA-Intraobserververgleich wurde der Mc-Nemar-Test herangezogen, dabei wurde das Signifikanzniveau auf 5 % festgelegt (Quelle: www.medi-stat.de/statistik-lexikon-medizin-mcnemar-test.html). Hiermit soll gezeigt werden, ob ein Auswerter mit beiden MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) gleichwertige Ergebnisse erzielen kann oder nicht. Ist der p-

Wert > 0,05 lässt sich kein signifikanter Bewertungsunterschied zwischen den Sequenzen bei einem Auswerter nachweisen. Ist er < 0,05, bewertet er eine der beiden Sequenzen signifikant besser als die andere.

> Zählt zu den Chi-Quadrat-Tests. Vergleicht zwei verbundene Stichproben hinsichtlich eines dichotomen Merkmals.
>
> Nullhypothese: H0:P(TWIST=0) = P(MIP=0), was äquivalent ist zur Gegenwahrscheinlichkeit H0: P(TWIST=1) = P(MIP=1)
>
> Bei den in der DSA klinisch relevant Erkrankten lautet also Nullhypothese: gleiche Sensitivität.
> Bei den in der DSA klinisch nicht relevant Erkrankten lautet Nullhypothese: gleiche Spezifität.
> Wenn p-Wert < 0,05 wird die Nullhypothese verworfen.

Bei qualitativ hochwertigem Bildmaterial mit wenigen oder keinen Artefakten ist eine Beurteilung der Stenosen besser möglich. Um der Frage nach der Bedeutung der Qualität hinsichtlich der Unterscheidung zwischen „klinisch nicht relevant“ und „klinisch relevant“ Erkrankten nachzugehen, wurden die gewonnen Daten erneut überarbeitet. Es wurden nur noch MRA-Fälle mit einbezogen, deren Qualität mit „sehr gut“ (4) oder „gut“ (3) beurteilt worden war. Es wurden die gleichen statistischen Maßzahlen (Sensitivität, Spezifität, prädiktive Werte, Likelihoodquotienten, Cohen´s Kappa und Mc-Nemar-Test) wie zuvor berechnet und im Anschluss die Ergebnisse vor und nach qualitativer Wichtung miteinander verglichen.

Zunächst wurden alle hier aufgeführten statistischen Maßzahlen, sowohl vor als auch nach qualitativer Wichtung, für den gesamten Unterschenkelbereich berechnet und im Anschluss noch getrennt für jedes einzelne der vier Gefäß.

3 Ergebnisse

Für die Auswertung wurden aus 100 Patienten insgesamt 400 Stichproben gewonnen, bei denen jeweils vier verschiedene Gefäße, Truncus tibiofibularis, Arteria tibialis anterior, Arteria tibialis posterior und Arteria fibularis beurteilt wurden.
In Tab. 3 wird ein Überblick über alle Stenosegrade, bei allen Gefäßregionen, in jeder Aufnahmetechnik und bei jedem Auswerter gegeben.

Hier zeigte sich, dass im Durchschnitt 31 % der Gefäße in der DSA mit gesund bewertet wurden und bei 64,5 %, mehr als doppelt so vielen, eine klinisch relevante Stenose, also > 51 %ige Stenose oder sogar ein Verschluss vorlagen. Lediglich bei 4,5 % lag eine klinisch nicht relevante Stenose vor. Im Gegenteil zu den MR-Angiographien waren alle Aufnahmen der DSA beurteilbar.

Tab. 3: Stenosenanzahl nach Grad und Gefäß, auswerterspezifische MRA und DSA

	keine					klin. n. relevante Stenose					klin. relevante Stenose					nicht beurteilbar				
	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA
Truncus	27	34	39	33	50	4	3	0	0	8	34	49	44	50	42	35	14	17	17	0
Anterior	8	18	16	19	14	3	2	4	1	6	51	63	67	72	80	38	17	13	8	0
Posterior	12	19	20	18	21	2	1	0	0	3	50	61	72	74	76	36	19	8	8	0
Fibularis	19	20	28	22	39	7	2	4	0	1	36	59	59	69	60	38	19	9	9	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

Zur detaillierteren Übersicht der Verteilung siehe Tab. 1 bis 4 im Anhang.

3.1 Zusammenfassung aller Ergebnisse

3.1.1 Stenosen

3.1.1.1 Verteilung der Stenosen

Alle drei Untersuchungstechniken bei allen Auswertern kamen zu dem einstimmigen Ergebnis, dass im Truncus tibiofibularis die größte Anzahl an „gesunden“ Fällen vorkam.
Das Merkmal „klinisch nicht relevant erkrankt“ wurde insgesamt mit deutlichem Abstand am seltensten diagnostiziert. Hierbei am häufigsten in der Arteria tibialis anterior.

Das Vorkommen von „klinisch relevant erkrankten“ Fällen war im mittleren bis distalen Gefäßabschnitt, also Arteria tibialis anterior, - posterior und Arteria fibularis, bei allen Auswertern und allen Untersuchungstechniken übereinstimmend am größten.
Im Vergleich zu den MRA-Sequenzen fanden sich in der DSA keine „nicht beurteilbaren“ Fälle. Hingegen definierten beide Auswerter in allen MRA-Sequenzen, vor allem aber in der MIP, bei jedem Gefäß dieses Merkmal. Weiterhin wurde augenscheinlich, dass Auswerter 1 ca. doppelt so häufig Fälle bei den MIP-Sequenzen als „nicht beurteilbar“ einstufte als Auswerter 2.
Alle Ergebnisse berücksichtigend kam das Merkmal „klinisch relevant erkrankt“ am häufigsten vor. Am zweithäufigsten wurde das Merkmal „gesund“ beschrieben, gefolgt von „nicht beurteilbar“ und „klinisch nicht relevant erkrankt“.

Tab. 4: Zusammenfassung: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften aller Fälle

	Truncus					Anterior					Posterior					Fibularis				
	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2
gesund	50	27	34	39	33	14	8	18	16	19	21	12	19	20	18	39	19	20	28	22
krank, klin. nicht relevant	8	4	3	0	0	6	3	2	4	1	3	2	1	0	0	1	7	2	4	0
krank, klin. relevant	42	34	49	44	50	80	51	63	67	72	76	50	61	72	74	60	36	59	59	69
nicht beurteilbar	0	35	14	17	17	0	38	17	13	8	0	36	19	8	8	0	38	19	9	9

1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

Zur genaueren Übersicht der Verteilung siehe Tab. 1 bis 4 im Anhang.

3.1.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Es ließ sich feststellen, dass die Qualität „sehr gut“ am seltensten beschrieben wurde. Innerhalb der Aufnahmemodalitäten wurde „sehr gut“ in der TWIST-Sequenz häufiger als in der MIP beschrieben und in der DSA kein Mal.
Insgesamt wurde „gut“ am häufigsten vergeben. Vor allem in der DSA bei über ¾ der Fälle. Auch innerhalb der TWIST-Sequenzen wurde im Verhältnis am häufigsten diese Qualität vergeben. Zusammenfassend gab es mehr „gute“ TWIST- als MIP-Sequenzen.
„Verwendbare“ Qualität wurde im Gesamten am zweithäufigsten vergeben. Am häufigsten in der MIP-Sequenz, gefolgt von der DSA und am seltensten in der TWIST, hier ca. halb so häufig wie in der MIP.
Die Qualität „nicht beurteilbar“ wurde am dritthäufigsten genannt. In der DSA wurde sie gar nicht beschrieben. In der Zusammenschau der beiden MRA-Sequenzen fiel auf,

dass diese Qualität ca. doppelt so häufig in der MIP- im Vergleich zur TWIST-Sequenz verwendet wurde.

Tab. 5: Zusammenfassung: Prozentuale Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

	Truncus					Anterior					Posterior					Fibularis				
	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2	DSA	M1	M2	T1	T2
sehr gut	0	0	6	4	16	0	0	6	4	16	0	0	5	4	16	0	0	6	4	16
gut	78	28	43	61	53	78	27	42	64	57	78	27	41	69	58	78	27	39	69	59
verwendbar	22	37	36	18	14	22	35	35	19	19	22	37	35	19	18	22	35	36	18	16
nicht beurteilbar	0	35	15	17	17	0	38	17	13	8	0	36	19	8	8	0	38	19	9	9

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

Zur Übersicht der Qualitätsgradverteilung aller Gefäße siehe Tab. 5 bis 8 im Anhang.

3.1.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Zur übersichtlicheren Darstellung der Daten und um eine statistische Auswertung durchführen zu können, wurden die Fälle in „klinisch nicht relevant erkrankt“ (Stenosegrad „gesund“ und „klinisch nicht relevante“ Stenose) und „klinisch relevant erkrankt“ eingeteilt.

Zunächst wurde die statistische Analyse für den gesamten Unterschenkel ohne Differenzierung zwischen den einzelnen Gefäßen vorgenommen. In den nachfolgenden Kapiteln wird dann auf die einzelnen Gefäße näher eingegangen werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung hinsichtlich Sensitivität, Spezifität, prädiktive Werte und Likelihoodquotienten zusammenfassend aufgeführt.

Die detaillierten statistischen Maßzahlen sind in Tab. 6 dargestellt. Zur genauen Betrachtung der Kontingenztabellen und statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 9 im Anhang.

Allgemein ließ sich feststellen, dass die Ergebnisse der TWIST bei beiden Auswertern denen der MIP überlegen waren. Innerhalb der MIP-Ergebnisse kam es zwischen den Auswertern zu größeren Spannweiten als bei der TWIST. Innerhalb der Sequenzen lag bei Auswerter 1 eine größere Spannweite zwischen MIP- und TWIST-Ergebnissen als

bei Auswerter 2. Während bei der MIP Auswerter 2 die besseren Ergebnisse erzielte, lag bei der TWIST ein eher ausgeglichenes Verhältnis vor.
Im Folgenden werden die durchschnittlichen statistischen Maßzahlen (Auswerter 1 [%]/ Auswerter 2 [%]) benannt: für die MIP ließ sich eine durchschnittliche Sensitivität von 62,5 % (54/71) erzielen, während das Ergebnisse der TWIST 82 % (80/84) lautete. Die Spezifität betrug im Durchschnitt bei der MIP 48 % (43/53) und bei der TWIST 59,5 % (63/56). Der durchschnittliche positiv prädiktive Wert war bei der MIP 68 % (63/73) und bei der TWIST 78,5 % (80/77), der negative bei der MIP 42,5 % (34/51) und bei der TWIST 64 % (63/65). Die Likelihoodquotienten verteilten sich beim positiven bei der MIP auf im Mittel 1,24 (0,95/1,52), bei der TWIST auf 2,03 (2,17/1,89) und beim negativen bei der MIP auf durchschnittlich 0,81 (1,07/0,54), bei der TWIST auf 0,31 (0,32/0,29).

Tab. 6: Statistische Beurteilung aller Stenosen aller Qualitäten des gesamten Unterschenkels

	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,54	0,71	0,80	0,84
Spez.	0,43	0,53	0,63	0,56
pos. präd.	0,63	0,73	0,80	0,77
neg. präd.	0,34	0,51	0,63	0,65
pos. LQ	0,95	1,52	2,17	1,89
neg. LQ	1,07	0,54	0,32	0,29

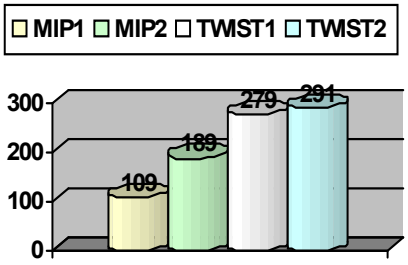
3.1.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Um die Frage zu klären, ob die Qualität der Aufnahmen eine Bedeutung für die Auswertung des Bildmaterials hat, wurden die gewonnen Daten erneut überarbeitet. Hier wurden nur noch Fälle mit einbezogen, deren Qualität mit „sehr gut“ oder „gut“ beurteilt worden waren.

Auch hier wurde die statistische Analyse hinsichtlich Spezifität, Sensitivität, prädiktiven Werten und Likelihoodquotienten durchgeführt (Tab. 7).
Zur vollständigen Darstellung der Kreuztabellen und statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 10 im Anhang.

Zu betonen ist, dass nach qualitativer Wichtung für die MIP-Auswertung deutlich weniger Daten zur Verfügung standen als für die TWIST- (Diag. 3). Hier lagen also mehr schlechte Bildqualitäten vor. Während bei der TWIST nicht so ausgeprägte

Auswerterdifferenzen auffielen, hat Auswerter 1 bei der MIP deutlich häufiger schlechte Qualitäten vergeben als Auswerter 1.



Diag. 3: Anzahl der Fälle nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ergaben sich in allen Fällen bessere Werte für die statistischen Maßzahlen (Tab. 7). Innerhalb der jeweiligen Sequenzen waren nur geringe Spannweiten zwischen den Auswertern sowohl bei der MIP als auch bei der TWIST erkennbar. Auch die Spannweite zwischen MIP und TWIST beim jeweiligen Auswerter waren bei beiden ähnlich gering. Ebenfalls wurde keine der beiden Sequenzen von einem Auswerter deutlich besser beurteilt, so dass auch hier ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den beiden Auswertern vorlag.

Auch hier sollen im Folgenden die durchschnittlichen statistischen Maßzahlen (Auswerter 1 [%]/ Auswerter 2 [%]) benannt werden: für die MIP ließ sich eine durchschnittliche Sensitivität von 84,5 % (81/88) erzielen, während das Ergebnis der TWIST 91 % (89/93) lautete. Die Spezifität betrug im Durchschnitt sowohl bei der MIP 71,5 % (74/69) als auch bei der TWIST 71,5 % (75/68). Der durchschnittliche positiv prädiktive Wert war bei der MIP 84,5 % (85/84) und bei der TWIST 85 % (86/84), der negative bei der MIP 72,5 % (69/76) und bei der TWIST 83 % (81/85). Die Likelihoodquotienten verteilten sich beim positiven bei der MIP auf im Mittel 3,01 (3,18/2,84), bei der TWIST auf 3,24 (3,6/2,87) und beim negativen bei der MIP auf durchschnittlich 0,22 (0,25/0,18), bei der TWIST auf 0,13 (0,15/0,10).

Tab. 7: Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung des gesamten Unterschenkels

	MIP1Q	MIP2Q	TWIST1Q	TWIST2Q
Sens.	0,81	0,88	0,89	0,93
Spez.	0,74	0,69	0,75	0,68
pos. präd.	0,85	0,84	0,86	0,84
neg. präd.	0,69	0,76	0,81	0,85
pos. LQ	3,18	2,84	3,60	2,87
neg. LQ	0,25	0,18	0,15	0,10

3.1.1.5 Vergleich der statistischen Maßzahlen vor und nach qualitativer Wichtung

Im Vergleich vor und nach qualitativer Wichtung (Tab. 8), fiel auf, dass es im Allgemeinen zu einer deutlichen Verbesserung aller statistischen Maßzahlen gekommen war.
Vor allem bei den MIP-Sequenzen kam es zu einer deutlichen Steigerung der Ergebnisse; bei Auswerter 1 mehr als bei Auswerter 2. Bei der durchschnittlichen Spezifität und dem durchschnittlichen positiv prädiktiven Wert kam es nach der Wichtung zu gleichen Ergebnissen. Bei den anderen statistischen Maßzahlen wies die TWIST weiterhin bessere Ergebnisse auf. Sowohl die Spannweiten zwischen den Auswertern bei einer jeweiligen Sequenz (MIP, TWIST), als auch die Spannweite zwischen den Sequenzen beim jeweiligen Auswerter war nach der qualitativen Wichtung deutlich vermindert.

Die durchschnittliche Sensitivität der MIP erhöhte sich um 22 % (27/17) und die der TWIST um 9% (9/9). Bei der Spezifität verbesserten sich die Werte im Durchschnitt bei der MIP um 23,5 % (31/16) und bei der TWIST um 12 % (12/12). Die prädiktiven Werte stiegen im Mittel beim positiven bei der MIP um 16,5 % (22/11), bei der TWIST um 6,5 % (6/7) und beim negativen bei der MIP um 30 % (35/25) und bei der TWIST um 19 % (18/20). Bei den Likelihoodquotienten kam es beim positiven bei der MIP zu einer Verbesserung von 1,77 (2,23/1,32), bei der TWIST von 1,21 (1,43/0,98) und beim negativen zu einer Verbesserung bei der MIP von 0,59 (0,82/0,36) und bei der TWIST von 0,18 (0,17/0,19).

Tab 8.: Statistische Beurteilung der Stenosen vor und nach qualitativer Wichtung

	MIP1	MIP1Q	MIP2	MIP2Q	TWIST1	TWIST1Q	TWIST2	TWIST2Q
Sens.	0,54	0,81	0,71	0,88	0,80	0,89	0,84	0,93
Spez.	0,43	0,74	0,53	0,69	0,63	0,75	0,56	0,68
pos. präd.	0,63	0,85	0,73	0,84	0,80	0,86	0,77	0,84
neg. präd.	0,34	0,69	0,51	0,76	0,63	0,81	0,65	0,85
pos. LQ	0,95	3,18	1,52	2,84	2,17	3,60	1,89	2,87
neg. LQ	1,07	0,25	0,54	0,18	0,32	0,15	0,29	0,10

MIP1/MIP2/TWIST1/TWIST2 – alle Qualitäten,
MIP1Q/MIP2Q/TWIST1Q/TWIST2Q – nach qualitativer Wichtung

3.1.2 MRA-Interobserververgleich

3.1.2.1 Verteilung der Stenosen

Wie in Tab. 9 ersichtlich war allgemein festzustellen, dass beide Auswerter den größten Anteil der Gefäßeigenschaften bei den „klinisch relevant Erkrankten“ sahen. Dies war sowohl bei der MIP als auch bei der TWIST zumeist der Fall. Am zweithäufigsten wurde bei der TWIST „gesund“ definiert, wohingegen bei der MIP „nicht beurteilbar“ benannte wurde. Als dritthäufigstes folgte bei der TWIST „nicht beurteilbar“ und bei der MIP „gesund“. Bei beiden Sequenzen wurde das Merkmal „klinisch nicht relevant erkrankt“ am seltensten benutzt.
In der Zusammenschau war ebenfalls erkennbar, dass Auswerter 1 deutlich öfter als Auswerter 2 Fälle als „nicht beurteilbar“ oder „klinisch nicht relevant erkrankt“ definierte und dafür den Anteil an „klinisch relevant Erkrankten“ niedriger bestimmte. (Tab. 9)

Tab. 9: Zusammenfassung: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

	Truncus				Anterior				Posterior				Fibularis			
	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
gesund	27	34	39	33	8	18	16	19	12	19	20	8	19	20	28	22
krank, klin. nicht relevant	4	3	0	0	3	2	4	1	2	1	0	0	7	2	4	0
krank, klinisch relevant	34	49	44	50	51	63	67	72	50	61	72	74	36	59	59	69
nicht beurteilbar	35	14	17	17	38	17	13	8	36	19	8	18	38	19	9	9

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

Zur kompletten Darstellung aller Kontingenztafeln siehe Tab. 11 bis 14 im Anhang.

3.1.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

In der Zusammenschau der Ergebnisse (Tab. 10) der einzelnen Beurteiler ergab sich bezüglich der Qualität eine differierende Verteilung. Während Auswerter 1 bei der MIP in keinem Fall „sehr gut" vergab und größtenteils schlechte Qualitäten wie „verwendbar" und „nicht beurteilbar" beschrieb, vergab Beurteiler 2 bei ca. 6 % „sehr gute" Qualität und sonst bevorzugt „gute" und „verwendbare" Qualitäten. Bei der TWIST näherten sich die Auswerter eher einander an. Hier lag bei beiden Auswertern der Schwerpunkt bei „guten" Qualitäten. Bei Auswerter 1 folgten dann aber wiederum eher schlechte Qualitäten, während bei Auswerter 2 „sehr gute" Qualitäten an zweiter Position kamen. Einigkeit in der TWIST bestand auch bei drei der vier Gefäße bei den „nicht beurteilbaren" Qualitäten.

Tab. 10: Zusammenfassung: Prozentuale Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen in den MRA (MIP, TWIST)

	Truncus				Anterior				Posterior				Fibularis			
	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
sehr gut	0	6	4	16	0	6	4	16	0	5	4	16	0	6	4	16
gut	28	43	61	53	27	42	64	57	27	41	69	58	27	39	69	59
verwendbar	37	36	18	14	35	35	19	19	37	35	19	18	35	36	18	16
nicht beurteilbar	35	15	17	17	38	17	13	8	36	19	8	8	38	19	9	9

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

Zur Übersicht aller Kontingenztafeln siehe Tab. 15 bis 18 im Anhang.

3.1.2.3 Statistische Beurteilung

Im Folgenden soll der Übereinstimmungsgrad zwischen den Auswertern bei beiden MRA-Sequenzen mittels Cohen´s Kappa als statistische Maßzahl beschrieben werden.

Während sich für die MIP mit einem Kappa-Wert von 0,491 nur eine deutliche Übereinstimmung zwischen den Auswertern zeigte, ergab sich bei der TWIST mit einem Kappa-Wert von 0,651 eine starke Übereinstimmung.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabelle siehe Tab. 19 im Anhang.

3.1.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung zeigte sich in der MIP mit einem Kappa-Wert von 0,782 eine starke Übereinstimmung und bei der TWIST mit 0,809 eine fast vollständige Übereinstimmung. Damit hat sich bei beiden Sequenzen der Übereinstimmungsgrad zwischen den Auswertern auf die jeweils nächst höhere Stufe verbessert.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabelle siehe Tab. 20 im Anhang.

3.1.3 MRA-Intraobserververgleich

3.1.3.1 Statistische Beurteilung

Mittels des McNemar-Tests soll im Folgen beurteilt werden, ob auswerterspezifisch bei den beiden verschiedenen MRA-Sequenzen einander entsprechende Ergebnisse erzielt wurden oder ob eine der Sequenzen eine signifikant höhere Sensitivität oder Spezifität besitzt und damit signifikant besser bewertet wurde. Das Signifikanzniveau wurde hierbei auf < 0,05 festgelegt.

Es zeigte sich, dass bei den in der DSA „gesunden"/ „klinisch nicht relevant erkrankten" Fällen bei keinem der beiden Auswerter ein signifikanter Unterschied der Spezifität vorlag. Somit wurden MIP und TWIST gleichwertig, also nicht signifikant unterschiedlich (besser oder schlechter) bewertet. Im Gegensatz dazu ließ sich bei den in der DSA „klinisch relevant erkrankten" Fällen eine signifikant höhere Sensitivität der TWIST bei beiden Auswertern feststellen. Somit lag eine signifikant bessere Bewertung der TWIST vor. (Tab. 11)

Tab. 11: McNemar-Test für Merkmal „gesund" und „krank", MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter bei allen Gefäßen

	Auswerter 1	Auswerter 2
Mc Nemar gesund	0,280	0,736
Mc Nemar krank	0,000	0,002

Zur detaillierten Ansicht aller Kontingenztabellen der Gefäße siehe hierzu Tab. 21 und 22 im Anhang.

3.1.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ergab sich für beide Auswerter sowohl für die „klinisch nicht relevant erkrankten" als auch für die „klinisch relevant erkrankten" Fälle kein signifikanter Unterschied der Sensitivität oder Spezifität. Somit lag hier kein Bewertungsunterschied mehr vor und MIP und TWIST wurden gleichwertig gut beurteilt. (Tab. 12)

Tab. 12: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter bei allen Gefäßen nach qualitativer Wichtung

	Auswerter 1 Q	Auswerter 2 Q
Mc Nemar gesund	0,375	1,000
Mc Nemar krank	0,125	1,000

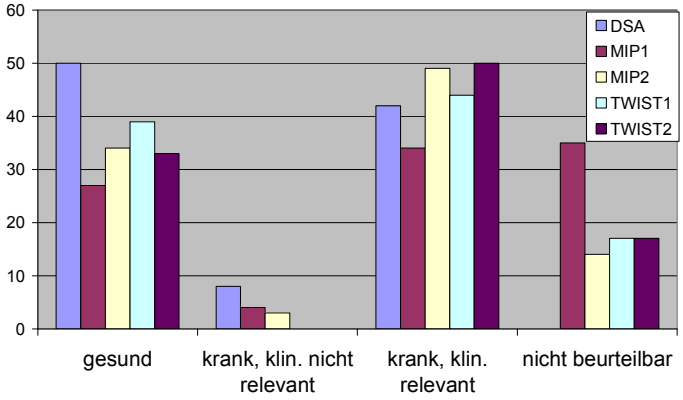
Zur detaillierten Ansicht aller Kontingenztabellen der Gefäße siehe hierzu Tab. 23 und 24 im Anhang.

3.2 Truncus tibiofibularis

3.2.1 Stenosen

3.2.1.1 Verteilung der Stenosen

Wie in Diag. 4 und Tab. 13 ersichtlich, wurden hier die folgenden Werte ermittelt. Mittels DSA wurden n=50 Fälle (50 %) als „gesund“ bestimmt. In den MRT-Sequenzen auswerterabhängig in der MIP für Auswerter 1 n=27 Fälle (27 %) und für Auswerter 2 n=34 Fälle (34 %). In der TWIST-Sequenz ermittelte Auswerter 1 n=39 Fälle (39 %) und Auswerter 2 n=33 Fälle (33 %) als „gesund“.



Diag. 4: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Als „krank, aber ohne klinische Relevanz“ stellten sich in der DSA n=8 Fälle (8 %) dar. In der MIP-Sequenz bestimmte hier Auswerter 1 n=4 Fälle (4 %) und Auswerter 2 n=3 Fälle (3 %), während beide Auswerter in der TWIST-Sequenz n=0, also keine „klinisch nicht relevant erkrankten“ Fälle (0 %) ermittelten.

Mit der DSA wurden insgesamt n=42 Fälle (42 %) als „klinisch relevant erkrankt“ gewertet. Korrespondierend zeigten sich in der MIP-Sequenz nach Auswerter 1 n=34 Fälle (34 %) und nach Auswerter 2 n=49 Fälle (49 %).

In der beurteilten TWIST-Sequenz bestimmte Auswerter 1 n=44 Fälle (44 %) als „klinisch relevant erkrankt“ und Auswerter 2 n=50 Fälle (50 %).

Keiner der Fälle wurde in der DSA als „nicht beurteilbar“ deklariert (0 %), während Auswerter 1 in der MIP n=35 Fälle (35 %) und Auswerter 2 n=14 Fälle (14 %) in diese Kategorie einstuften. In der TWIST werteten beide Auswerter n=17 Fälle (17 %) als „nicht beurteilbar“.

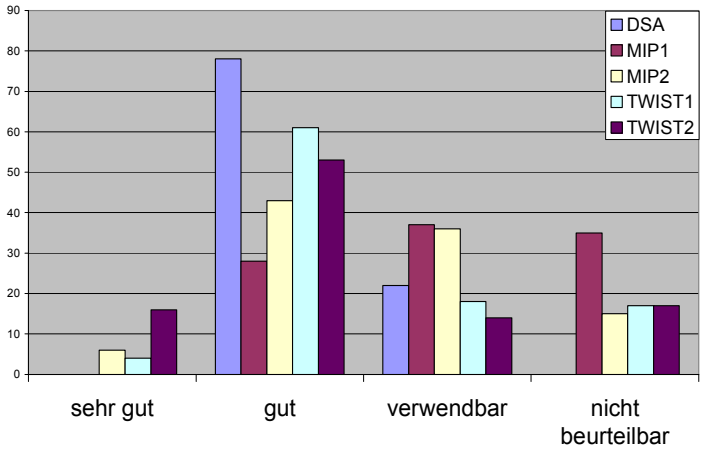
Tab. 13: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Truncus	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	50	27	34	39	33
krank, klin. nicht relevant	8	4	3	0	0
krank, klin. relevant	42	34	49	44	50
nicht beurteilbar	0	35	14	17	17

Zur detaillierten Übersicht der Verteilung der Stenosegrade aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 1 im Anhang.

3.2.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die in Diag. 5 und Tab. 14 ersichtliche Qualitätsgradverteilung ergab im Folgenden: in der DSA und der MIP-Sequenz von Auswerter 1 wurde in n=0 Fällen (0 %) die Qualität „sehr gut“ vergeben. Während Auswerter 2 in der MIP zu einem „sehr guten“ Ergebnis in n=6 Fällen (6 %) kam. In der TWIST vergab Auswerter 1 in n=4 Fällen (4 %) ein „sehr gut“ und Auswerter 2 in n=16 Fällen (16 %).



Diag. 5: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Der Hauptanteil der DSA wurde mit n=78 Fälle (78 %) mit „gut“ bewertet. Die MIP ergab hier bei Auswerter 1 ein Ergebnis von n=28 Fällen (28 %) und bei Auswerter 2 n=43 Fälle (43 %). Höhere Werte wurden in der TWIST vergeben, Auswerter 1 mit n=61 Fällen (61 %) und Auswerter 2 mit n=53 Fällen (53 %).

Als „verwendbar“ stellten sich in der DSA n=22 Fälle (22 %) dar. In der MIP gelangte hier Auswerter 1 zu n=37 Fällen (37 %) und Auswerter 2 zu n=36 Fällen (36 %), während in der TWIST Auswerter 1 n=18 Fälle (18 %) und Auswerter 2 n=14 Fälle (14 %) als „verwendbar“ beurteilte.

In der DSA waren n=0 Fälle „nicht beurteilbar“. Hingegen in der MIP vergab Auswerter 1 in n=35 Fällen (35 %) diese Qualität und Auswerter 2 in n=15 Fällen (15 %). In der TWIST-Sequenz kamen Auswerter 1 und 2 zu einem einstimmigen Ergebnis von n=17 Fällen (17 %).

Tab. 14: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Truncus	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	0	6	4	16
gut	78	28	43	61	53
verwendbar	22	37	36	18	14
nicht beurteilbar	0	35	15	17	17

Zur detaillierten Übersicht der Darstellung der Qualitäten aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 15 und Tab. 5 im Anhang.

Tab. 15: Truncus tibiofibularis: Überblick Qualitätsgradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Truncus		sehr gut				gut				verwendbar				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	sehr gut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	gut	0	5	4	13	19	33	46	41	32	31	13	9	27	9	15	15
	verwendbar	0	1	0	3	9	10	15	12	5	5	5	5	8	6	2	2
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.2.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Aus den in Tab. 17 gewonnen Daten, wurden die statistischen Maßzahlen errechnet (Tab. 16). Hier wurde ersichtlich, dass die durchschnittlichen Werte der statistischen Maßzahlen bei der MIP deutlich schlechter ausfielen als bei der TWIST. Weiterhin fiel auf, dass vor allem bei der MIP eine ausgeprägt größere Spannweite zwischen den Auswertern vorlag und bei der TWIST sich die Werte eher einander annäherten. Während bei der MIP Auswerter 2 die besseren Ergebnisse erzielte, drehte sich bei der TWIST das Verhältnis um und die Werte von Auswerter 1 waren hier besser.

Tab. 16: Truncus tibiofibularis: Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Truncus	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,52	0,71	0,74	0,76
Spez.	0,45	0,57	0,64	0,54
pos. präd. Wert	0,41	0,55	0,60	0,54
neg. präd. Wert	0,57	0,73	0,77	0,76
pos. LQ	0,95	1,66	2,04	1,64
neg. LQ	1,06	0,50	0,41	0,45

Zur detaillierten Übersicht der Darstellung aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 17 und Tab. 25 im Anhang.

Tab. 17: Truncus tibiofibularis: Überblick Stenosegradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

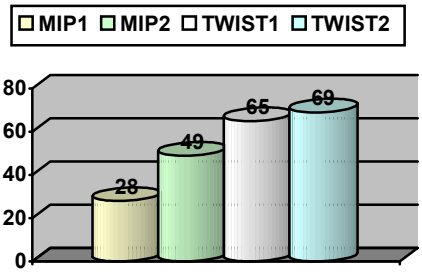
Truncus		keine				klin. n. relevant				klin. relevant				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	keine	21	29	33	27	1	1	0	0	9	14	10	14	19	6	7	9
	klin. nicht relevant	1	2	4	4	3	1	0	0	3	5	3	4	1	0	1	0
	klin. relevant	5	3	2	2	0	1	0	0	22	30	31	32	15	8	9	8
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.2.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung verbesserten sich alle statistischen Maßzahlen (Tab. 18). Nur der positiv prädiktive Wert der MIP von Auswerter 2 blieb gleich. Weiterhin blieben die MIP-Werte immer noch unterhalb der TWIST-Werte, allerdings verringerte sich der Abstand zwischen den MIP- und TWIST-Ergebnissen etwas. Die Spannweite zwischen den Auswertern bei der MIP näherte sich einander an, während sie bei der TWIST gleich blieb. Im Auswertervergleich erzielte sowohl vor als auch nach qualitativer Wichtung Auswerter 2 in der MIP die besseren Ergebnisse und Auswerter 1 in der TWIST.

Zur übersichtlichen Darstellung der Kontingenztabellen und der statistischen Maßzahlen einschließlich der Konfidenzintervalle siehe Tab. 26 im Anhang.



Diag. 6: Truncus tibiofibularis: Anzahl der Fälle nach qualitativer Wichtung

Allerdings ist hier zu erwähnen, dass nach qualitativer Wichtung bei der MIP deutlich weniger Fälle für die Auswertung zu Verfügung standen als für die TWIST (Diag. 6). Besonders bei Auswerter 1 war dies eindrucksvoll sichtbar.

Tab. 18: Truncus tibiofibularis: Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Truncus	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,80	0,88	0,96	0,93
Spez.	0,61	0,59	0,73	0,68
pos. präd. Wert	0,53	0,54	0,68	0,67
neg. präd. Wert	0,85	0,91	0,97	0,93
pos. LQ	2,06	2,17	3,57	2,92
neg. LQ	0,33	0,20	0,06	0,11

3.2.2 MRA-Interobserververgleich

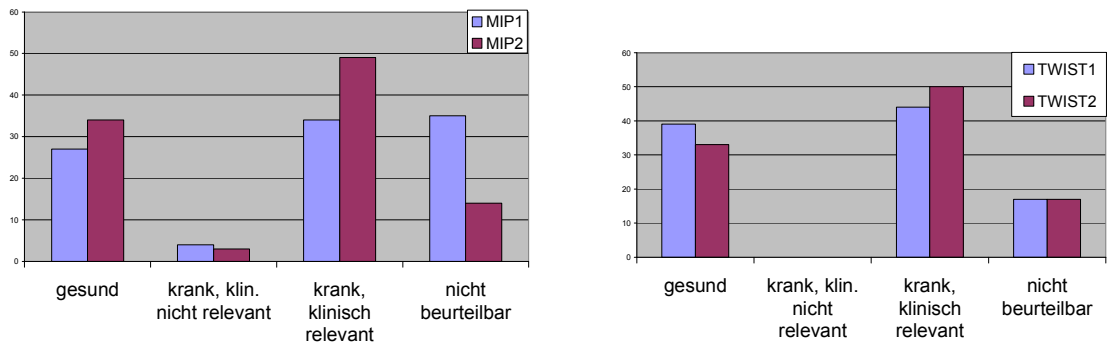
3.2.2.1 Verteilung der Stenosen

In Diag. 7 und Tab. 18 sind zur übersichtlicheren Darstellung die Ergebnisse der Stenosegradverteilung im Auswertervergleich dargestellt. Am häufigsten wurde von Auswerter 2 in beiden Sequenzen und von Auswerter 1 in der TWIST „klinisch relevant erkrankt“ vergeben. In der MIP vergab Auswerter 1 am häufigsten „nicht beurteilbar“, dicht gefolgt von „klinisch relevant erkrankt“.

Als zweithäufigstes folgte dann bei beiden Auswertern in der TWIST und bei Auswerter 2 in der MIP „gesund“.

„Nicht beurteilbar“ machte in der TWIST den dritthäufigsten Befund aus.

Den seltensten Befund stellte bei beiden Auswertern in beiden Sequenzen „klinisch nicht relevant erkrankt“ dar.



Diag. 7: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

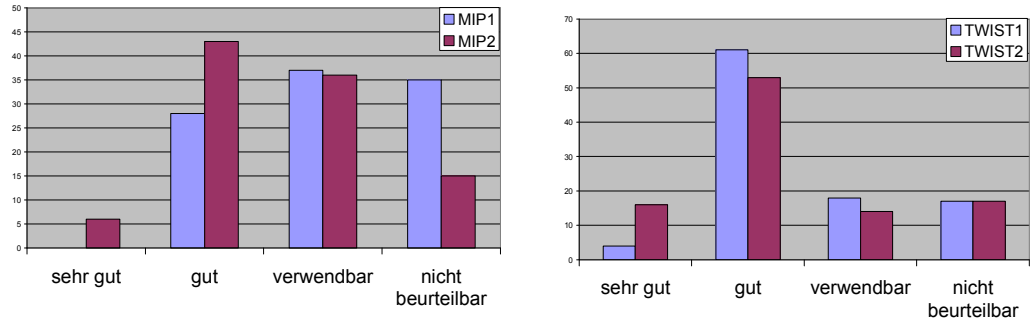
Tab. 18: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

Truncus	MIP1	MIP2	TWIST 1	TWIST2
gesund	27	34	39	33
krank, klin. nicht relevant	4	3	0	0
krank, klinisch relevant	34	49	44	50
nicht beurteilbar	35	14	17	17

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 11 im Anhang.

3.2.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die Verteilung der Qualitätsgrade ist in Diag. 8 und Tab. 19 dargestellt. Bei den „sehr guten" und „guten" Qualitäten war beim Truncus tibiofibularis ein ausgesprochenes Missverhältnis zwischen beiden Auswertern in beiden Sequenzen erkennbar. Eine Angleichung fand bei den „verwendbaren" Qualitäten statt. Während bei der MIP bei den „nicht beurteilbaren" Qualitäten noch eine deutliche Differenz vorlag, kamen die Beurteiler bei der TWIST zum selben Ergebnis.
Der Beurteilungsschwerpunkt lag bei Auswerter 1 bei der MIP auf den „verwendbaren" und „nicht beurteilbaren" Fällen, also auf den eher schlechten Qualitäten. Während er bei Auswerter 2 auf den „guten" bis „verwendbaren" Qualitäten lag. Bei der TWIST lag der Schwerpunkt hingegen bei beiden Auswertern auf den „guten" Qualitäten.



Diag. 8: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Tab. 19: Truncus tibiofibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Truncus	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	6	4	16
gut	28	43	61	53
verwendbar	37	36	18	14
nicht beurteilbar	35	15	17	17

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 15 im Anhang.

3.2.2.3 Statistische Beurteilung

Bei der Beurteilung der Kappa-Werte ließ sich feststellen, dass bei der MIP-Sequenz mit einem Wert von 0,537 eine deutliche Übereinstimmung und bei der TWIST mit 0,640 eine starke Übereinstimmung vorlag.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 27 im Anhang.

3.2.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ließ sich eine Änderung der Kappa-Werte feststellen, so dass nun die MIP mit 0,819 und die TWIST mit 0,859 eine fast vollständige Übereinstimmung und damit eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmung zeigten.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 28 im Anhang.

3.2.3 MRA-Intraobserververgleich

3.2.3.1 Statistische Beurteilung

Bei den in der DSA „gesunden“/„klinisch nicht relevant Erkrankten“ zeigte sich bei keinem Auswerter ein signifikanter Unterschied der Spezifität. Somit wurde keine der beiden Sequenzen besser oder schlechter beurteilt als die andere. Weiterhin lag auch bei den „klinisch relevant Erkrankten“ bei Auswerter 2 kein signifikanter Unterschied der Sensitivität vor, so dass auch hier beide Sequenzen gleichwertig beurteilt wurden. Anders verhielt es sich bei Auswerter 1 in diesem Fallkollektiv. Hier hatte die TWIST eine signifikant höhere Sensitivität und wurde somit besser beurteilt als die MIP (Tab. 20).

Tab. 20: Truncus tibiofibularis: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter

Truncus	Auswerter 1	Auswerter 2
Mc Nemar gesund	1,000	1,000
Mc Nemar krank	0,049	0,815

Zur kompletten Ansicht der Kontingenztabellen siehe Tab. 29 und 30 im Anhang.

3.2.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ergaben sich für beide Auswerter bei den in der DSA „gesunden“/„klinisch nicht relevant Erkrankten“ und bei Auswerter 2 bei den in der DSA „klinisch relevant Erkrankten“ keine signifikanten Spezifitäts- bzw. Sensitivitätsunterschiede. Beide Sequenzen wurden hier also nicht signifikant unterschiedlich bewertet.
Bei Auswerter 1 konnte bei den in der DSA „klinisch relevant Erkrankten“ keine Berechnung der Werte auf Grund von zu niedrigen Fallzahlen erfolgen. (Tab. 21)

Tab. 21: Truncus tibiofibularis: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter nach qualitativer Wichtung

Truncus	Auswerter 1 Q	Auswerter 2 Q
Mc Nemar gesund	1	1
Mc Nemar krank	/	1

Zur kompletten Ansicht der Kontingenztabellen siehe Tab. 31 und 32 im Anhang.

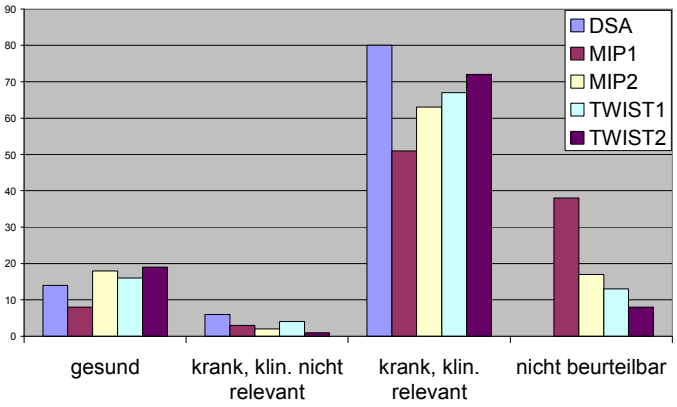
3.3 Arteria tibialis anterior

3.3.1 Stenosen

3.3.1.1 Verteilung der Stenosen

Wie in Diag. 9 und Tab. 22 ersichtlich wurden in der DSA n=14 Fälle (14 %) als „gesund“ bestimmt. Für die MIP-Sequenz deutete Auswerter 1 n=8 Fälle (8 %) und Auswerter 2 n=18 Fälle (18 %) als „gesund“. In der korrespondierenden TWIST-Sequenz diagnostizierte Auswerter 1 n=16 Fälle (16 %) und Auswerter 2 n=19 Fälle (19 %) als „gesund“.

Als „krank, aber ohne klinische Relevanz“ stellten sich in der DSA n=6 Fälle (6 %) dar. In der MIP-Sequenz bestimmte hier Auswerter 1 n=3 Fälle (3 %) und Auswerter 2 n=2 Fälle (2 %), während Auswerter 1 in der TWIST-Sequenz n=16 Fälle (16 %) und Auswerter 2 n=19 Fälle (19 %) definierte.



Diag. 9: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Mit der DSA konnten insgesamt n=80 Fälle (80 %) als „klinisch relevant erkrankt“ befundet werden. In der MIP-Sequenz zeigten sich nach Auswerter 1 n=51 Fälle (51 %) und nach Auswerter 2 n=63 Fälle (63 %) in dieser Kategorie. In der beurteilten TWIST-Sequenz bestimmte Auswerter 1 n=67 Fälle (67 %) als „klinisch relevant erkrankt“ und Auswerter 2 n=72 Fälle (72 %).

Keiner der Fälle wurde in der DSA als „nicht beurteilbar“ deklariert (0 %), während Auswerter 1 in der MIP n=38 Fälle (38 %) und Auswerter 2 n=17 Fälle (17 %) in diese Kategorie einstuften. In der TWIST galten bei Auswerter 1 n=13 Fälle (13 %) und bei Auswerter 2 n=8 Fälle (8 %) als „nicht beurteilbar“.

Tab. 22: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

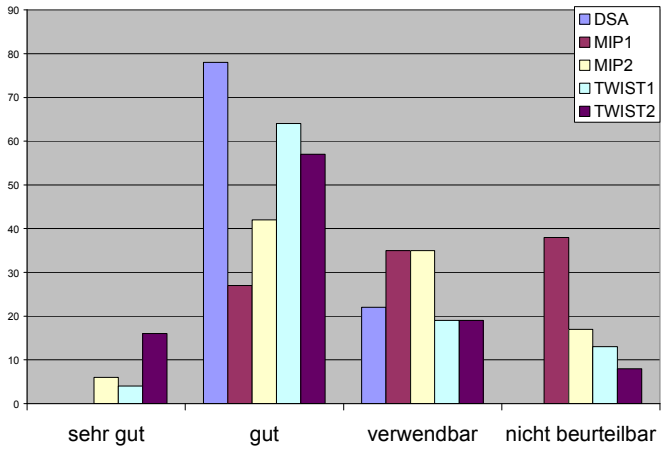
Anterior	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	14	8	18	16	19
krank, klin. nicht relevant	6	3	2	4	1
krank, klin. relevant	80	51	63	67	72
nicht beurteilbar	0	38	17	13	8

Zur detaillierten Übersicht der Verteilung der Stenosegrade aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 2 im Anhang.

3.3.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die in Diag. 10 und Tab. 23 ersichtliche Qualitätsgradverteilung ergab im Folgenden: DSA sowie MIP wurden von Auswerter 1 in n=0 Fällen (0 %) mit „sehr gut“ bewertet.

Auswerter 2 verwendete in der MIP hingegen in n=6 Fällen (6 %) diese Qualität. In der TWIST verteilten sich die Beurteilungen bei Auswerter 1 auf n=4 Fälle (4 %) und bei Auswerter 2 auf n=16 Fälle (16 %).



Diag. 10: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

„Gut“ wurde in der DSA in n=78 Fällen (78 %) vergeben. Auswerter 1 vergab diese Qualität in der MIP in n=27 Fällen (27 %) und Auswerter 2 in n=42 Fällen (42 %). Bei der TWIST ergaben sich bei Auswerter 1 in n=64 Fällen (64 %) und bei Auswerter 2 in n=57 Fällen (57 %) „gute“ Bildqualitäten.

Als „verwendbar“ wurden in der DSA n=22 Fälle (22 %) diagnostiziert. In der MIP vergaben beide Auswerter mit n=35 Fällen (35 %) diese Qualität und auch in der TWIST kamen die Auswerter mit n=19 Fällen (19 %) zu einem einstimmigen Ergebnis.

„Nicht beurteilbare“ Fälle gab es in der DSA auch in diesem Gefäß nicht. Hingegen bei der MIP kam Auswerter 1 auf n=38 Fälle (38 %) und Auswerter 2 auf n=17 Fälle (17 %) mit dieser Qualität. In der TWIST lautet hier das Ergebnis bei Auswerter 1 n=13 Fälle (13 %) und bei Auswerter 2 n=8 Fälle (8 %).

Tab. 23: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Anterior	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	0	6	4	16
gut	78	27	42	64	57
verwendbar	22	35	35	19	19
nicht beurteilbar	0	38	17	13	8

Zur detaillierten Übersicht der Darstellung der Qualitäten aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 24 und Tab. 6 im Anhang.

Tab. 24: Arteria tibialis anterior: Überblick Qualitätsgradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Anterior		sehr gut				gut				verwendbar				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	sehr gut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	gut	0	5	4	13	18	32	49	44	30	29	14	14	30	12	11	7
	verwendbar	0	1	0	3	9	10	15	13	5	6	5	5	8	5	2	1
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.3.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Die statistischen Maßzahlen (Tab. 25) wurden aus Tab. 26 berechnet.

Auch hier zeigte sich wie beim Truncus tibiofibularis, dass die durchschnittlichen statistischen Maßzahlen bei der MIP überall schlechter ausfielen als bei der TWIST. Nur beim positiven Likelihoodquotienten der TWIST von Auswerter 2 wurde ein akzeptables Testergebnis erreicht.

Ebenfalls lag auch hier bei den MIP-Ergebnissen eine größere Spannweite zwischen den Auswertern vor als bei den TWIST-Ergebnissen. Die besten Ergebnisse erzielte in beiden Sequenzen Auswerter 2.

Tab. 25: Arteria tibialis anterior: Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Anterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,53	0,73	0,79	0,85
Spez.	0,25	0,60	0,70	0,75
pos. präd. Wert	0,74	0,88	0,91	0,93
neg. präd. Wert	0,12	0,35	0,45	0,56
pos. LQ	0,70	1,81	2,63	3,40
neg. LQ	1,90	0,46	0,30	0,20

Zur übersichtlichen Darstellung aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 33 im Anhang.

Tab. 26: Arteria tibialis anterior: Überblick Stenosegradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

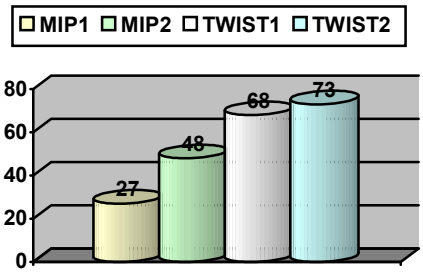
Anterior		keine				klin. n. relevant				klin. relevant				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	keine	3	10	10	11	1	1	1	0	5	2	1	2	5	1	2	1
	klin. nicht relevant	1	1	3	4	0	0	0	0	2	3	3	2	3	2	0	0
	klin. relevant	4	7	3	4	2	1	3	1	44	58	63	68	30	14	11	7
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.3.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Alle statistischen Maßzahlen verbesserten sich nach qualitativer Wichtung deutlich; die der MIP mehr als die der TWIST (Tab. 27). Bei den Likelihoodquotienten fiel eine Steigerung sowohl der positiven als auch der negativen zu akzeptablen Testergebnissen bei beiden Sequenzen und beiden Auswertern auf. Weiterhin hatte nicht mehr Auswerter 2 bei beiden Sequenzen die besseren Werte, sondern nun lag in der TWIST ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Auswertern vor. Im Vergleich der Auswerter konnte schließlich auch eine Verminderung der Spannweite zwischen diesen gefunden werden.

Zur genauen Darstellung der Kontingenztafeln und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 34 im Anhang.



Diag. 11: Arteria tibialis anterior: Anzahl der Fälle nach qualitativer Wichtung

Auch hier standen nach qualitativer Wichtung deutlich weniger MIP-Fälle zur Verfügung als TWIST- (Diag. 11). Wobei vor allem bei Auswerter 1 hier niedrige Fallzahlen auffielen.

Tab. 27: Arteria tibialis anterior: Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

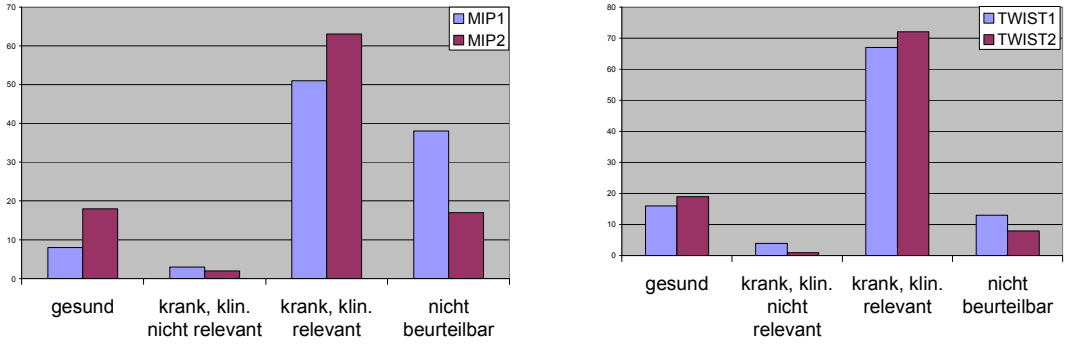
Anterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,81	0,84	0,89	0,91
Spez.	0,83	0,90	0,87	0,80
pos. präd. Wert	0,94	0,97	0,96	0,95
neg. präd. Wert	0,56	0,60	0,68	0,70
pos. LQ	4,86	8,42	6,65	4,57
neg. LQ	0,23	0,18	0,13	0,11

3.3.2 MRA-Interobserververgleich

3.3.2.1 Verteilung der Stenosen

In Diag. 12 und Tab. 28 sind zur übersichtlicheren Darstellung die Ergebnisse der Stenosegradverteilung im Auswertervergleich dargestellt. Die „klinisch relevanten Erkrankten“ stellten bei beiden Auswertern sowohl in der TWIST- als auch in der MIP-

Sequenz den größten Anteil dar. Die zweithäufigste Stenoseform war bei Auswerter 1 in der MIP „nicht beurteilbar“ und bei Auswerter 2 mit „gesund“, dicht gefolgt von „nicht beurteilbar“ zu verzeichnen. In der TWIST folgte als zweithäufigstes bei beiden Auswertern „gesund“ und anschließend „nicht beurteilbar“.
Auch in diesem Gefäß wurde „klinisch nicht relevant erkrankt“ am seltensten vergeben.



Diag. 12: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

Tab. 28: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

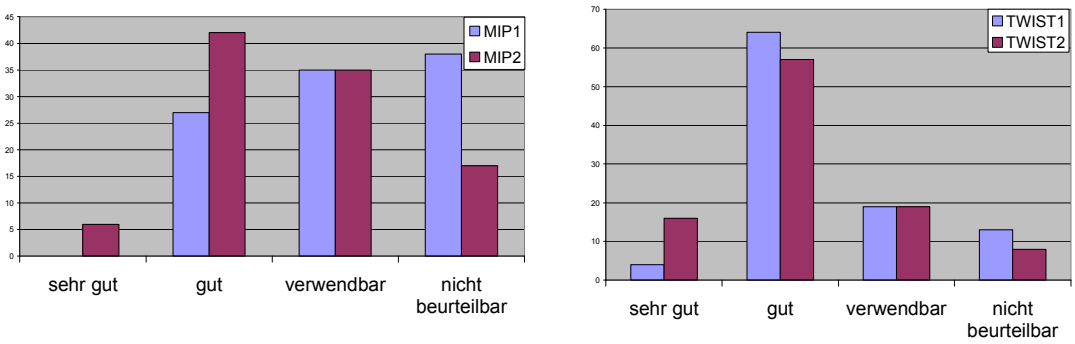
Anterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	8	18	16	19
krank, klin. nicht relevant	3	2	4	1
krank, klinisch relevant	51	63	67	72
nicht beurteilbar	38	17	13	8

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 12 im Anhang.

3.3.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die Verteilung der Qualitätsgrade ist in Diag. 13 und Tab. 29 dargestellt.
Bei der Arteria tibialis anterior kamen beide Auswerter zu einem übereinstimmenden Ergebnis bei den „verwendbaren" Qualitäten von MIP und TWIST.
Ausgeprägte Differenzen fanden sich bei den „sehr guten" und „nicht beurteilbaren" Qualitäten. Während Auswerter 1 am häufigsten „nicht beurteilbar", also schlechte Qualitäten bei der MIP vergab, lag der Schwerpunkt von Auswerter 2 bei den „guten" Qualitäten. Bei beiden folgten hier dann die „verwendbaren“ Qualitäten. Bei der TWIST lag bei beiden Auswertern der Schwerpunkt bei den „guten" Qualitäten gefolgt von „verwendbar“. Im Gegensatz zur MIP wurde von beiden Auswertern bei der TWIST

„nicht beurteilbar“ seltener vergeben. Wobei Auswerter 1 hier noch seltener “sehr gut“ befundete.



Diag. 13: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Tab. 29: Arteria tibialis anterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Anterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	6	4	16
gut	27	42	64	57
verwendbar	35	35	19	19
nicht beurteilbar	38	17	13	8

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 16 im Anhang.

3.3.2.3 Statistische Beurteilung

Auch hier ergab sich bei der Beurteilung der Kappa-Werte das gleiche Ergebnis wie im Truncus tibiofibularis. Bei der MIP-Sequenz kam es mit einem Wert von 0,437 zu einer deutlichen und bei der TWIST mit 0,674 zu einer starken Übereinstimmung.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 35 im Anhang.

3.3.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ließ sich ebenfalls eine Änderung der Kappa-Werte feststellen, so dass beide MRA-Sequenzen eine fast vollständige Übereinstimmung zeigten: bei der MIP mit einem Wert von 0,804 und bei der TWIST mit 0,846.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 36 im Anhang.

3.3.3 MRA-Intraobserververgleich

3.3.3.1 Statistische Beurteilung

Bei den in der DSA „gesunden"/„klinisch nicht relevant Erkrankten" zeigte sich bei beiden Auswertern in der Arteria tibialis anterior kein signifikanter Unterschied der Spezifität. Somit wurden MIP und TWIST beim jeweiligen Auswerter gleichwertig beurteilt. Das gleiche traf auch für die in der DSA „klinisch relevant Erkrankten" bei Auswerter 2 auf die Sensitivität zu, so dass auch hier von einer gleichwertigen Beurteilung ausgegangen werden muss. Anders verhielt es sich bei diesem Fallkollektiv bei Auswerter 1, bei dem hier, wie schon beim Truncus tibiofibularis, die TWIST eine signifikant höhere Sensitivität besaß und somit besser als die MIP beurteilt wurde (Tab. 30).

Tab. 30: Arteria tibialis anterior: McNemar-Test für Merkmal „gesund" und „krank", MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter

Anterior	Auswerter 1	Auswerter 2
Mc Nemar gesund	0,508	1,000
Mc Nemar krank	0,001	0,076

Zur kompletten Ansicht der Kontingenztabellen siehe Tab. 37 und 38 im Anhang.

3.3.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung ergaben sich auf Grund von zu niedrigen Fallzahlen für die in der DSA „gesunden"/„klinisch nicht relevant Erkrankten" bei beiden Auswertern keine Ergebnisse.

Bei den in der DSA „klinisch relevant Erkrankten“ war kein signifikanter Sensitivitätsunterschied und damit keine signifikant unterschiedliche Bewertung der beiden Sequenzen bei beiden Auswertern erkennbar (Tab. 31).

Tab. 31: Arteria tibialis anterior: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter nach qualitativer Wichtung

Anterior	Auswerter 1 Q	Auswerter 2 Q
Mc Nemar gesund	/	/
Mc Nemar krank	0,500	0,375

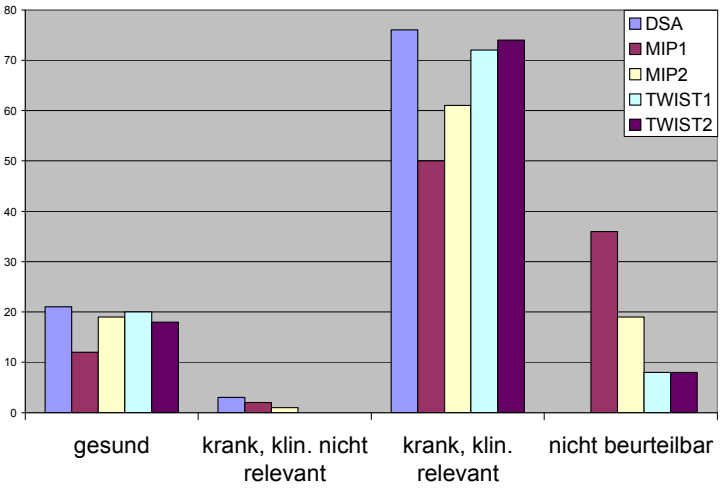
Zur kompletten Ansicht der Kontingenztabellen siehe Tab. 39 und 40 im Anhang.

3.4 Arteria tibialis posterior

3.4.1 Stenosen

3.4.1.1 Verteilung der Stenosen

Wie in Diag. 14 und Tab. 32 ersichtlich wurden mittels DSA in diesem Gefäß n=21 Fälle (21 %) als „gesund“ bestimmt. In den MRA-Sequenzen ergab sich diese Diagnose für die MIP bei Auswerter 1 in n=12 Fällen (12 %) und für Auswerter 2 in n=19 Fällen (19 %). In der TWIST-Sequenz ermittelte Auswerter 1 n=20 Fälle (20 %) und Auswerter 2 n=18 Fälle (18 %) als „gesund“.



Diag. 14: Arteria tibialis posterior: prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Als „krank, aber ohne klinische Relevanz“ stellten sich in der DSA n=3 Fälle (3 %) dar. In der MIP-Sequenz gelangte hier Auswerter 1 zu n=2 Fällen (2 %) und Auswerter 2 zu n=1 Fall (1 %), während beide Auswerter in der TWIST-Sequenz n=0, also keine „klinisch nicht relevant erkrankten“ Fälle (0 %) ermittelten.

In der DSA konnten insgesamt n=76 Fälle (76 %) als „klinisch relevant erkrankt“ diagnostiziert werden. Die dazugehörige MIP-Sequenz zeigte bei Auswerter 1 n=50 Fälle (50 %) und bei Auswerter 2 n=61 Fälle (61 %). In der beurteilten TWIST-Sequenz bestimmte Auswerter 1 n=72 Fälle (72 %) als „klinisch relevant erkrankt“ und Auswerter 2 n=74 Fälle (74 %).

Auch hier wurde keiner der Fälle in der DSA als „nicht beurteilbar“ deklariert (0 %), während Auswerter 1 in der MIP n=36 Fälle (36 %) und Auswerter 2 n=19 Fälle (19 %) in diese Kategorie einstuften. In der TWIST werteten beide Auswerter n=8 Fälle (8 %) als „nicht beurteilbar“.

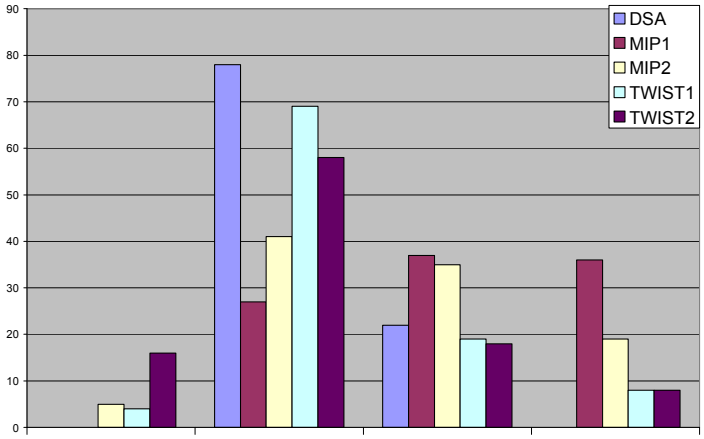
Tab. 32: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Posterior	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	21	12	19	20	18
krank, klin. nicht relevant	3	2	1	0	0
krank, klin. relevant	76	50	61	72	74
nicht beurteilbar	0	36	19	8	8

Zur detaillierten Übersicht der Verteilung der Stenosegrade aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 3 im Anhang.

3.4.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die in Diag. 15 und Tab. 33 ersichtliche Qualitätsgradverteilung ergab im Folgenden: in der DSA und der MIP-Sequenz von Auswerter 1 wurde in n=0 Fällen (0 %) die Qualität „sehr gut“ vergeben. Während Auswerter 2 in der MIP zu einem Ergebnis von n=5 Fällen (5 %) kam. In der TWIST vergab Auswerter 1 in n=4 Fällen (4 %) ein „sehr gut“ und Auswerter 2 in n=16 Fällen (16 %).



Diag. 15: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Wie in den Gefäßabschnitten zuvor, wurde die DSA in n=78 Fälle (78 %) mit „gut“ bewertet. Die MIP ergab hier bei Auswerter 1 ein Ergebnis

von n=27 Fällen (27 %) und bei Auswerter 2 n=41 Fälle (41 %). In der TWIST bewertete Auswerter 1 in n=69 Fällen (69 %) und Auswerter 2 in n=58 Fällen (58 %) mit „gut“.

Als „verwendbar“ stellten sich in der DSA n=22 Fälle (22 %) dar. In der MIP gelangte Auswerter 1 zu n=37 Fällen (37 %) und Auswerter 2 zu n=35 Fällen (35 %), während in der TWIST Auswerter 1 n=19 Fälle (19 %) und Auswerter 2 n=18 Fälle (18 %) als „verwendbar“ beurteilte.

In der DSA waren n=0 Fälle „nicht beurteilbar“ (0 %). Hingegen in der MIP vergab Auswerter 1 in n=36 Fällen (36 %) diese Qualität und Auswerter 2 in n=19 Fällen (19 %). In der TWIST kamen Auswerter 1 und 2 zu einem einstimmigen Ergebnis von n=8 Fällen (8 %).

Tab. 33: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Posterior	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	0	5	4	16
gut	78	27	41	69	58
verwendbar	22	37	35	19	18
nicht beurteilbar	0	36	19	8	8

Zur detaillierten Übersicht der Darstellung der Qualitäten aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 34 und Tab. 7 im Anhang.

Tab. 34: Arteria tibialis posterior: Überblick Qualitätsgradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		sehr gut				gut				verwendbar				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	sehr gut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	gut	0	4	4	13	18	31	53	46	32	29	14	12	28	14	7	7
	verwendbar	0	1	0	3	9	10	16	12	5	6	5	6	8	5	1	1
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.4.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Die statistischen Maßzahlen (Tab. 35) wurden aus Tab. 36 berechnet.
Auch hier fielen wie zuvor die Ergebnisse der MIP im Allgemeinen schlechter aus als die der TWIST. Die Spannweite zwischen den Auswertern bei den einzelnen Sequenzen war bei der MIP um ein geringeres größer als bei der TWIST. Auch bei

diesem Gefäß hatte Auswerter 2 bei der MIP die besseren Werte, während Auswerter 1 nun bei der TWIST durchgehend die besseren Ergebnisse erzielte.

Tab. 35: Arteria tibialis posterior: Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Posterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,62	0,72	0,87	0,86
Spez.	0,50	0,54	0,71	0,63
pos. präd. Wert	0,80	0,83	0,90	0,88
neg. präd. Wert	0,29	0,38	0,63	0,58
pos. LQ	1,24	1,58	2,98	2,28
neg. LQ	0,76	0,51	0,19	0,23

Zur übersichtlichen Darstellung aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 41 im Anhang.

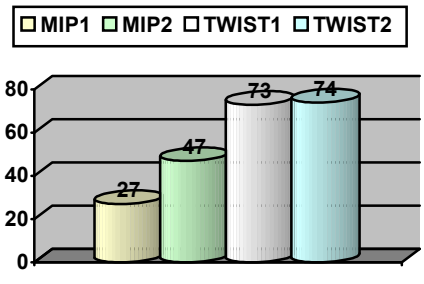
Tab. 36: Arteria tibialis posterior: Überblick Stenosegradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		keine				klin. n. relevant				klin. relevant				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	keine	10	13	17	15	1	0	0	0	3	4	3	6	7	4	1	0
	klin. nicht relevant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	0	0
	klin. relevant	2	6	3	3	1	1	0	0	47	56	66	65	26	13	7	8
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.4.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Nach Durchführung der qualitativen Wichtung ergaben sich deutliche Verbesserungen aller statistischer Maßzahlen (Tab. 37). Vor allem Spezifität, positiv prädiktiver Wert und positiver Likelihoodquotient der MIP bei beiden Auswertern stiegen auf größtmögliche Werte, so dass sich bei diesen Maßzahlen das Verhältnis umdrehte und nach Wichtung die MIP bessere Ergebnisse lieferte als die TWIST. Bei den positiven Likelihoodquotienten wurden in der MIP bei beiden Auswertern ein gutes Testergebnis erzielt und in der TWIST bei beiden ein akzeptables. Beim negativen Likelihoodquotient wurde von beiden in der TWIST und von Auswerter 1 in der MIP ein gutes und von Auswerter 2 ein akzeptables Testergebnis erzielt. Die



Diag. 16: Arteria tibialis posterior: Anzahl der Fälle nach qualitativer Wichtung

Spannweite zwischen den Auswertern bei der jeweiligen Sequenz war nun nur noch gering ausgeprägt.
Im Vergleich der beiden Auswerter lag nach qualitativer Wichtung ein eher ausgewogenes Verhältnis zwischen den Auswertern vor, wobei Auswerter 1 in der MIP etwas bessere Werte erreichte.

Auch hier ist im Diag. 16 die niedrige MIP-Fallzahl, vor allem bei Auswerter 1, erkennbar.

Tab. 37: Arteria tibialis posterior: Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

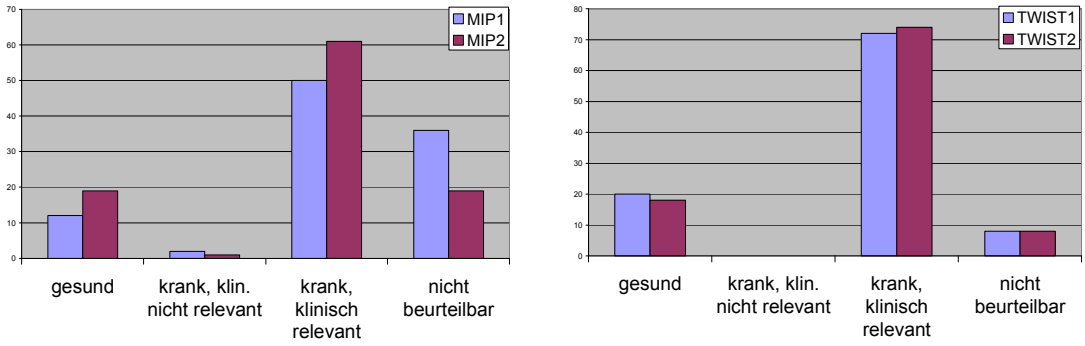
Posterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,91	0,88	0,94	0,96
Spez.	1,00	1,00	0,79	0,74
pos. präd. Wert	1,00	1,00	0,93	0,91
neg. präd. Wert	0,67	0,58	0,83	0,88
pos. LQ	∞	∞	4,49	3,66
neg. LQ	0,09	0,16	0,07	0,05

Zur genauen Darstellung der Kontingenztafeln und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 42 im Anhang.

3.4.2 MRA-Interobserververgleich

3.4.2.1 Verteilung der Stenosen

In Diag. 17 und Tab. 38 sind zur übersichtlicheren Darstellung die Ergebnisse der Stenosegradverteilung im Auswertervergleich dargestellt. Im Bereich der Arteria tibialis posterior kamen die Auswerter bei den „klinisch nicht relevant Erkrankten“ und den „nicht beurteilbaren Stenosen“ der TWIST zu einem einstimmigen Ergebnis. Bei den anderen Stenoseformen kam es teilweise zu ausgeprägten Abweichungen.
Allgemein bestimmten beide „klinisch relevant erkrankt“ am häufigsten. Bei der MIP folgte bei beiden Auswertern als zweithäufigstes „nicht beurteilbar“, bei Auswerter 2 gleichrangig mit „gesund“, das bei Auswerter 1 dann als dritthäufigstes folgte.
Bei der TWIST verhielt es sich etwas anders, hier belegte „gesund“ den zweiten Rang, gefolgt von „nicht beurteilbar“.
„Klinisch nicht relevant erkrankt“ stellte bei beiden Auswertern in beiden Sequenzen das am seltensten vergebene Merkmal dar.



Diag. 17: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

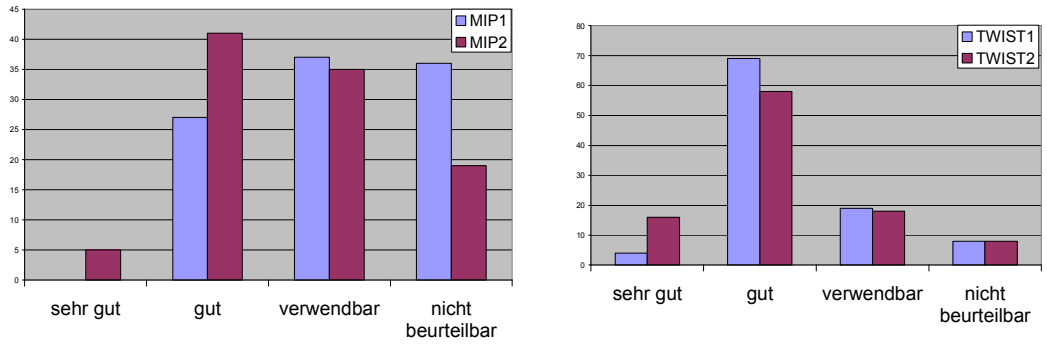
Tab. 38: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

Posterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	12	19	20	18
krank, klin. nicht relevant	2	1	0	0
krank, klinisch relevant	50	61	72	74
nicht beurteilbar	36	19	8	8

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 13 im Anhang.

3.4.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die Verteilung der Qualitätsgrade ist in Diag. 18 und Tab. 39 dargestellt. Wie schon zuvor, war auch bei der Arteria tibialis posterior eine deutliche Differenz zwischen den Auswertern erkennbar. 100 %ige Einigkeit bestand bei beiden Auswertern nur bezüglich „nicht beurteilbarer" Qualitäten in der TWIST. Der Schwerpunkt bei der MIP bei Auswerter 1 lag auch hier bei den „verwendbaren" und „nicht beurteilbaren", also eher schlechteren Qualitäten, bei Auswerter 2 bei den „guten" und „verwendbaren" Qualitäten. In der TWIST lag der Beurteilungsschwerpunkt bei beiden bei den guten" Qualitäten.



Diag. 18: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Tab. 39: Arteria tibialis posterior: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Posterior	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	5	4	16
gut	27	41	69	58
verwendbar	37	35	19	18
nicht beurteilbar	36	19	8	8

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 17 im Anhang.

3.4.2.3 Statistische Beurteilung

Bei der Arteria tibialis posterior ergaben die Kappa-Werte sowohl bei der MIP mit 0,620 als auch bei der TWIST mit 0,797 eine starke Übereinstimmung.

Zur vollständigen Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 43 im Anhang.

3.4.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung kam es bei beiden Sequenzen zu einer fast vollständigen Übereinstimmung zwischen den Auswertern. Bei der MIP mit einem Kappa-Wert von 0,862 und bei der TWIST mit 0,880.

Zur vollständigen Darstellung der Kontingenztabelle siehe Tab. 44 im Anhang.

3.4.3 MRA-Intraobserververgleich

3.4.3.1 Statistische Beurteilung

Es zeigte sich, dass bei den in der DSA „gesunden“/ „klinisch nicht relevant erkrankten“ Fällen bei beiden Auswertern kein signifikanter Unterschied der Spezifität festzustellen war. Somit wurden MIP und TWIST hier von beiden Auswertern gleichwertig beurteilt. Das gleiche war für die in der DSA „klinisch relevant Erkrankten“ bei Auswerter 2 mit der Sensitivität der Fall. So lag auch hier keine unterschiedliche Bewertung der beiden Sequenzen vor. Anders verhielt es sich wie schon in den Gefäßen zuvor bei Auswerter1. Bei diesem zeigte sich, dass die TWIST eine signifikant höhere Sensitivität besaß und somit die Sequenzen unterschiedlich bewertet wurden. (Tab. 40)

Tab. 40: Arteria tibialis posterior: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter

Posterior	Auswerter 1	Auswerter 2
Mc Nemar gesund	0,508	0,219
Mc Nemar krank	0,000	0,108

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 45 und 46 im Anhang.

3.4.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung waren die Werte bei den in der DSA „gesunden“/ „klinisch nicht relevant Erkrankten“ auf Grund von zu niedrigen Fallzahlen nicht zu berechnen.
Bei den in der DSA „klinisch relevant erkrankten“ Fällen ergab sich für keinen der beiden Auswerter ein signifikanter Sensitivitätsunterschied. Die Sequenzen wurden von den Auswertern nicht unterschiedlich bewertet (Tab. 41).

Tab. 41: Arteria tibialis posterior: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter nach qualitativer Wichtung

Posterior	Auswerter 1 Q	Auswerter 2 Q
Mc Nemar gesund	/	/
Mc Nemar krank	1,000	0,250

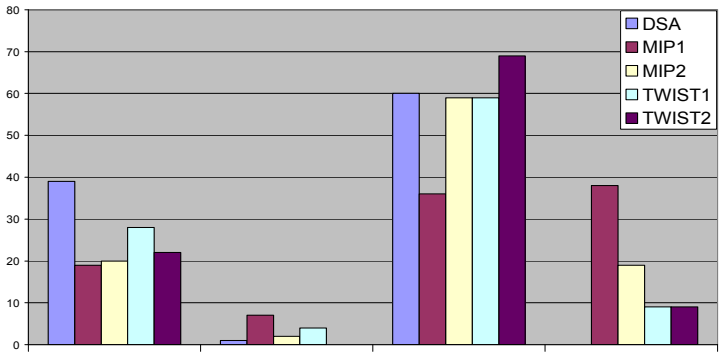
Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 47 und 48 im Anhang.

3.5 Arteria fibularis

3.5.1 Stenosen

.5.1.1 Verteilung der Stenosen

Wie in Diag. 19 und Tab. 42 ersichtlich wurden in diesem Gefäß mittels DSA n=39 Fälle (39 %) als „gesund“ definiert, während sich in der MIP-Sequenz bei Auswerter 1 n=19 Fälle (19 %) und bei Auswerter 2 n=20 Fälle (20 %) als „gesund“ darstellten. Die TWIST-Sequenz ergab bei Auswerter 1 das Ergebnis „gesund“ in n=28 Fällen (28 %) und bei Auswerter 2 in n=22 Fällen (22 %) für diese Qualität.



Diag. 19: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Mittels DSA wurde n=1 Fall (1 %) als „krank, aber ohne klinische Relevanz“ diagnostiziert. In der korrespondierenden MIP-Sequenz ergaben sich für Auswerter 1 n=7 Fälle (7 %) und für Auswerter 2 n=2 Fälle (2 %). Die TWIST-Sequenz zeigte bei Auswerter 1 ein Ergebnis von n=4 Fällen (4 %) und bei Auswerter 2 n=0 Fälle (0 %).

In der DSA wurden n=60 Fälle (60 %) als „klinisch relevant erkrankt“ bestimmt. Für die MIP-Sequenz definierte hier Auswerter 1 n=36 Fälle (36 %) und Auswerter 2 n=59 Fälle (59 %). Die korrespondierende TWIST-Sequenz ergab bei Auswerter 1 n=59 Fälle (59 %) und bei Auswerter 2 n=69 Fälle (69 %).

Als „nicht beurteilbar“ stellten sich in der DSA n=0 Fälle (0 %) dar. In der MIP-Sequenz gelangte hier Auswerter 1 zu n=38 Fällen (38 %) und Auswerter 2 zu n=19 Fällen (19 %), während beide Auswerter in der TWIST-Sequenz n=9 Fälle (9 %) als „nicht beurteilbar“ werteten.

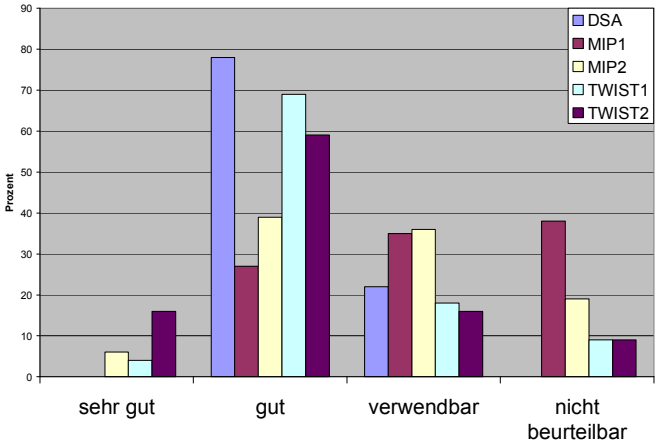
Tab. 42: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Fibularis	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	39	19	20	28	22
krank, klin. nicht relevant	1	7	2	4	0
krank, klin. relevant	60	36	59	59	69
nicht beurteilbar	0	38	19	9	9

Zur detaillierten Übersicht der Verteilung der Stenosegrade aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 4 im Anhang.

3.5.1.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die in Diag. 20 und Tab. 43 ersichtliche Qualitätsgradverteilung ergab im Folgenden: auch hier wurde die DSA sowie die MIP von Auswerter 1 in n=0 Fällen (0 %) mit „sehr gut“ befundet. Auswerter 2 beurteilte in der MIP in n=6 Fällen (6 %) diese Qualität. In der TWIST verteilten sich die Beurteilungen bei Auswerter 1 auf n=4 Fälle (4 %) und bei Auswerter 2 auf n=16 Fälle (16 %).



Diag. 20: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

„Gut“ wurde in der DSA ebenfalls in diesem Gefäß in n=78 Fällen (78 %) vergeben. Auswerter 1 vergab diese Qualität in der MIP in n=27 Fällen (27 %) und Auswerter 2 in n=39 Fällen (39 %). Bei der TWIST ergaben sich bei Auswerter 1 in n=69 Fällen (69 %) und bei Auswerter 2 in n=59 Fällen (59 %) „gute“ Bildqualitäten.

Als „verwendbar“ wurden in der DSA auch wiederum n=22 Fälle (22 %) diagnostiziert. In der MIP vergab Auswerter 1 in n=35 Fällen (35 %) diese Qualität und Auswerter 2 in n=36 Fällen (36 %). In n=18 Fällen (18 %) beurteilte Auswerter 1 mit der Qualität „verwendbar“ in der TWIST und Auswerter 2 in n=16 Fällen (16 %).

„Nicht beurteilbare“ Fälle fanden sich in der DSA auch hier nicht. Hingegen bei der MIP kam Auswerter 1 auf n=38 Fälle (38 %) und Auswerter 2 auf n=19 Fälle (19 %) mit

dieser Qualität. In der TWIST lautet hier das Ergebnis einstimmig bei beiden Auswertern n=9 Fälle (9 %).

Tab. 43: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach DSA und MRA-Sequenzen (MIP, TWIST)

Fibularis	DSA	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	0	6	4	16
gut	78	27	39	69	59
verwendbar	22	35	36	18	16
nicht beurteilbar	0	38	19	9	9

Zur detaillierten Übersicht der Darstellung der Qualitäten aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA siehe Tab. 44 und Tab. 8 im Anhang.

Tab. 44: Arteria fibularis: Überblick Qualitätsgradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Fibularis		sehr gut				gut				verwendbar				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	sehr gut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	gut	0	5	4	13	18	29	53	47	30	29	13	10	30	15	8	8
	verwendbar	0	1	0	3	9	10	16	12	5	7	5	6	8	4	1	1
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.5.1.3 Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Die statistischen Maßzahlen (Tab. 45) wurden aus Tab. 46 berechnet.

Für die Arteria fibularis konnte festgestellt werden, dass wie schon zuvor bei allen Gefäßen, die MIP-Ergebnisse schlechter als die der TWIST waren. Ebenso liegt zwischen den MIP-Werten der beiden Auswerter eine größere Spanne als zwischen den TWIST-Werten. Für fast alle statistischen Maßzahlen erreichte Auswerter 2 die besseren Ergebnisse

Tab. 45: Arteria fibularis: Statistische Beurteilung der Stenosen aller Qualitäten

Fibularis	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,48	0,65	0,75	0,85
Spez.	0,45	0,49	0,55	0,45
pos. präd. Wert	0,57	0,71	0,71	0,70
neg. präd. Wert	0,37	0,56	0,59	0,67
pos. LQ	0,88	1,22	1,67	1,55
neg. LQ	1,15	0,71	0,46	0,33

Zur übersichtlichen Darstellung aller MRA (MIP, TWIST) beider Auswerter versus DSA und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 49 im Anhang.

Tab. 46: Arteria fibularis: Überblick Stenosegradverteilung MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

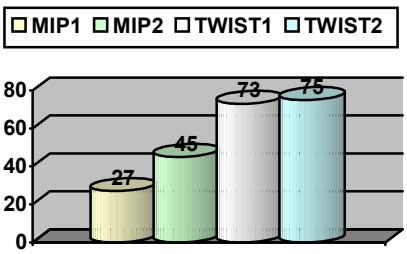
Fibularis		keine				klin. n. relevant				klin. relevant				nicht beurteilbar			
		M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
DSA	keine	14	16	21	18	3	0	1	0	7	17	13	17	15	6	4	4
	klin. nicht relevant	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	klin. relevant	5	3	7	4	3	2	3	0	29	42	45	51	23	13	5	5
	nicht beurteilbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M1 – MIP1, T1 – TWIST1, M2 – MIP2, T2 – TWIST2

3.5.1.4 Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung kam es auch hier zu einer deutlichen Verbesserung aller Werte (Tab. 47), vor allem der MIP, so dass teilweise bessere Ergebnisse in der MIP als in der TWIST erzielt wurden. Insgesamt lag hier ein gemischtes Verteilungsverhältnis zwischen den MRA-Sequenzen und Auswertern vor. Während bei der Beurteilung ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Auswertern vorlag, war die Spannweite bei Auswerter 1 sowohl vor als auch nach qualitativer Wichtung größer als bei Auswerter 2. Genau wie bei allen Gefäßen zuvor, verkleinerte sich nach Wichtung die Spannweite zwischen den einzelnen Sequenzen deutlich.
Bei den Likelihoodquotienten kam es beim negativen bei Auswerter 2 in der MIP und TWIST zu einem guten Testergebnis und beim positiven bei Auswerter 1 in der MIP zu einem akzeptablen Testergebnis.

Zur genauen Darstellung der Kontingenztafeln und der statistischen Maßzahlen einschließlich Konfidenzintervalle siehe Tab. 50 im Anhang.



Diag. 21: Arteria fibularis: Anzahl der Fälle nach qualitativer Wichtung

Auch bei der Arteria fibularis standen nach qualitativer Wichtung im Vergleich zur TWIST nur wenige Fälle für die statistische Auswertung zu Verfügung (Diag. 21). Ebenso wie bei allen Gefäßen zuvor, lagen bei Auswerter 1 am wenigsten Fälle zur Auswertung vor.

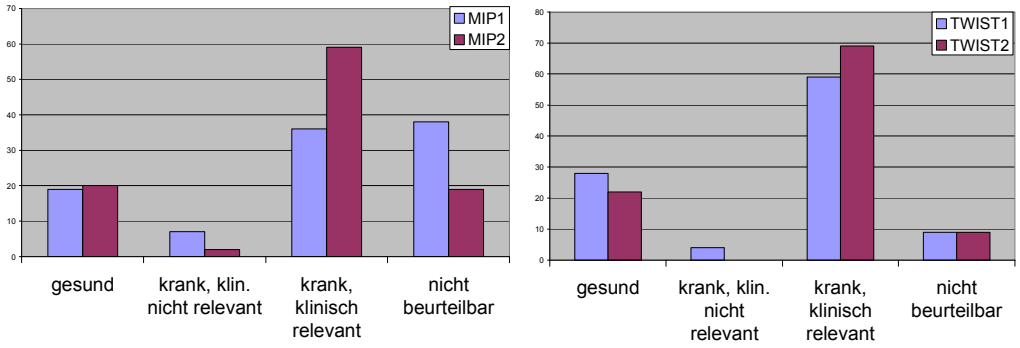
Tab. 47: Arteria fibularis: Statistische Beurteilung der Stenosen nach qualitativer Wichtung

Fibularis	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
Sens.	0,69	0,92	0,79	0,91
Spez.	0,82	0,63	0,70	0,57
pos. präd. Wert	0,85	0,77	0,79	0,76
neg. präd. Wert	0,64	0,86	0,70	0,81
pos. LQ	3,78	2,51	2,64	2,10
neg. LQ	0,38	0,12	0,30	0,16

3.5.2 MRA-Interobserververgleich

3.5.2.1 Verteilung der Stenosen

In Diag. 22 und Tab. 48 sind zur übersichtlicheren Darstellung die Ergebnisse der Stenosegradverteilung im Auswertervergleich dargestellt. Auch hier wurde von beiden in der TWIST „klinisch relevant erkrankt“ am häufigsten vergeben, ebenso von Auswerter 2 in der MIP. Auswerter 1 vergab in der MIP „nicht beurteilbar“ etwas öfter als „klinisch relevant erkrankt“. Auswerter 2 beurteilte mit „gesund“ in beiden Sequenzen am zweithäufigsten, darauf folgte „nicht beurteilbar“. Weiterhin vergab Auswerter 1 in der MIP doppelt so häufig „nicht beurteilbar“ wie Auswerter 2. Von beiden am seltensten und von Auswerter 2 in der TWIST gar nicht vergeben wurde „klinisch nicht relevant erkrankt“.



Diag. 22: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

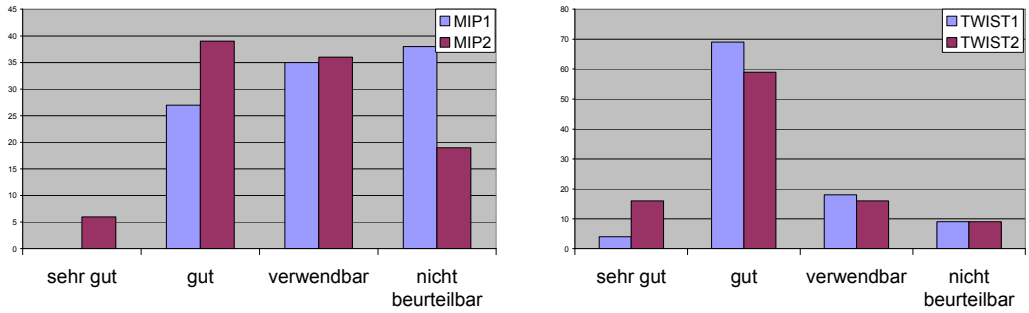
Tab. 48: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Gefäßeigenschaften nach MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 und Auswerter 2

Fibularis	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
gesund	19	20	28	22
krank, klin. nicht relevant	7	2	4	0
krank, klinisch relevant	36	59	59	69
nicht beurteilbar	38	19	9	9

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 14 im Anhang.

3.5.2.2 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die Verteilung der Qualitätsgrade ist in Diag. 23 und Tab. 49 dargestellt. Auswerter 1 vergab bei der MIP am häufigsten „nicht beurteilbar" und „verwendbar", somit wie bisher eher schlechte Qualitäten. Während Auswerter 2 hier am häufigsten „gut" und „verwendbar" vergab. Bei der TWIST wurde von beiden am häufigsten „gut" vergeben. „Verwendbar“ und „sehr gut“ belegten bei Auswerter 2 den zweiten Rang, gefolgt von „nicht beurteilbar“. Auswerter 1 vergab hier „verwendbar“ am zweithäufigsten, gefolgt von „nicht beurteilbar“ und „sehr gut“.



Diag. 23: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Tab. 49: Arteria fibularis: Prozentuale Verteilung der Qualitäten nach MRA-Sequenzen (MIP, TWIST) und Auswertern

Fibularis	MIP1	MIP2	TWIST1	TWIST2
sehr gut	0	6	4	16
gut	27	39	69	59
verwendbar	35	36	18	16
nicht beurteilbar	38	19	9	9

Zur genaueren Übersicht aller MRA (MIP, TWIST) von Auswerter 1 versus Auswerter 2 siehe Tab. 18 im Anhang.

3.5.2.3 Statistische Beurteilung

Bei der Arteria fibularis ergab der Kappa-Wert der MIP mit 0,448 eine deutliche und der der TWIST mit 0,614 eine starke Übereinstimmung.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabelle siehe Tab. 51 im Anhang.

3.5.2.4 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung kam es bei beiden Sequenzen, MIP und TWIST zu einer starken Übereinstimmung, wobei der Wert der TWIST mit 0,656 im gleichen Übereinstimmungsniveau blieb und sich nicht deutlich verbesserte, wie es bei den Gefäßen zuvor der Fall war. Der Kappa-Wert der MIP belief sich nach der Wichtung auf 0,649.

Zur kompletten Darstellung der Kontingenztabelle siehe Tab. 52 im Anhang.

3.5.3 MRA-Intraobserververgleich

3.5.3.1 Statistische Beurteilung

Bei den in der DSA „gesunden“/ „klinisch nicht relevant Erkrankten“ ergab sich bei keinem Auswerter ein signifikanter Spezifitätsunterschied, so dass keine Sequenz besser als die andere bewertet wurde. Dies galt ebenfalls für Auswerter 2 bei den „klinisch relevant erkrankten“ Fällen für die Sensitivität. Auch hier wurden die Sequenzen damit nicht unterschiedlich beurteilt. Bei Auswerter 1 kam es bei diesem Fallkollektiv allerdings zu einem signifikanten Sensitivitätsunterschied. Die TWIST wurde hier signifikant besser beurteilt als die TWIST (Tab. 50).

Tab. 50: Arteria fibularis: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter

Fibularis	Auswerter 1	Auswerter 2
Mc Nemar gesund	0,118	1
Mc Nemar krank	0	0,078

Zur vollständigen Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 53 und 54 im Anhang.

3.5.3.2 Statistische Beurteilung nach qualitativer Wichtung

Nach qualitativer Wichtung kam es bei keinem der Auswerter sowohl bei den in der DSA „gesunden“/ „klinisch nicht relevant Erkrankten“ als auch bei den „klinisch relevant Erkrankten“ zu einem signifikanten Spezifitäts- oder Sensitivitätsunterschied. Bei keiner Sequenz lag also eine unterschiedliche Bewertung vor (Tab. 51).

Tab. 51: Arteria fibularis: McNemar-Test für Merkmal „gesund“ und „krank“, MRA (MIP, TWIST) für beide Auswerter nach qualitativer Wichtung

Fibularis	Auswerter 1 Q	Auswerter 2 Q
Mc Nemar gesund	1,000	0,625
Mc Nemar krank	1,000	1,000

Zur vollständigen Darstellung der Kontingenztabellen siehe Tab. 55 und 56 im Anhang.

4 Diskussion

4.1 Hintergrund

In den letzten Jahren haben sich atherosklerotische Erkrankungen, zu denen auch die pAVK zählt, zu einer weit verbreiteten Erkrankung entwickelt. Hier spielt vor allem die zunehmende Lebenserwartung eine Rolle (Fenchel et al., 2006). So stieg die Prävalenz der pAVK bei den über 65-jährigen Männern von ca. 20 % auf 31,5 % bei den über 85-jährigen (Diehm et al., 2004). Zudem ist die pAVK als ein Teilaspekt des atherosklerotischen Formenkreises mit einer hohen Rate an Komorbiditäten und einer erhöhten kardiovaskulären Mortalität vergesellschaftet (Norgren et al., 2007). So starben 2010 41,1 % aller Menschen in Deutschland an Erkrankungen des Kreislaufsystems, die damit auf dem ersten Rang der Todesursachen stehen (Statistisches Bundesamt).

Auf Grund der beschriebenen Altersstruktur unserer Gesellschaft und der Zunahme der pAVK und weiteren Wohlstandserkrankungen wie Diabetes und Hypertonie, ergibt sich die Notwendigkeit einer effizienten Therapie. Hierbei spielt auch der steigende Kostenfaktor mit zunehmendem pAVK-Stadium eine wichtige Rolle. So kostete eine pAVK-Therapie bei Patienten im Stadium IIa nach Fontaine durchschnittlich 1792,45 €, während die Kosten im Stadium IV auf 6225,89 € anstiegen (Lawall et al., 2009).

Um die weitere Progression der Erkrankung zu verhindern ist eine frühe stadiengerechte Therapie unabdinglich. Als Basis ist hier eine frühzeitige korrekte Diagnosestellung von Nöten. Hierzu werden Anamnese, klinische Untersuchung, vor allem die ABI-Bestimmung und bildgebende Verfahren hinzugezogen. Bei der Gefäßdarstellung stehen unter anderem nicht-invasive Verfahren wie die Duplexsonographie (FKDS), die besonders zur Verlaufskontrolle wegen ihrer leichten und nebenwirkungsfreien Anwendbarkeit geeignet ist, die MR-Angiographie und CT-Angiographie zur Verfügung. Trotz der mittlerweile guten und genauen Darstellung der vorliegenden Gefäßsituation in der CE-MRA ist der Goldstandard weiterhin die invasive Digitale Subtraktionsangiographie. Hier vereinen sich die Vorteile der sehr genauen Gefäßdarstellung bei gleichzeitiger Möglichkeit der therapeutischen Intervention in einer Sitzung. Aufgrund der höheren Sensitivität von durchschnittlich 95 % und Spezifität von durchschnittlich 97 % der CE-MRA im Vergleich zu FKDS und CTA, stellt diese eine Alternative zur DSA dar. So wird die DSA aufgrund von verschiedenen Risiken (Strahlenbelastung, mögliche Kontrastmittelreaktionen) und

den mit einem invasiven Verfahren assoziierten Komplikationen (Blutungen, Infektionen) zunehmend nicht mehr zur alleinigen Diagnostik eingesetzt (Collins et al., 2007).

An therapeutischen Möglichkeiten stehen zum einen konservative Therapieverfahren, medikamentöse Behandlung, adäquates Gehtraining und die Prävention und Therapie von anderen kardiovaskulären Risikoerkrankungen als Basisverfahren zur Verfügung. In höheren pAVK-Stadien (kritische Ischämie) kommt aber vor allem den revaskularisierenden Eingriffen in Form von interventionellen oder gefäßchirurgischen Maßnahmen zur Vermeidung von Amputationen eine wichtige Rolle zu. Ultima Ratio stellt die Amputation der betreffenden Extremität dar.

Ziel dieser Arbeit war, zwei verschiedene MR-Sequenzen (örtlich und zeitlich hoch aufgelöste Datensätze) auf ihre Genauigkeit in der klinischen Routine mit dem Referenzstandard DSA zu vergleichen. Es sollte auch analysiert werden, ob eine der beiden Sequenzen besser zur Diagnostik geeignet ist als die andere.
Zielführend war es, die Sensitivität und Spezifität der MRA im Vergleich zur DSA zu ermitteln. Ebenfalls fand eine Überprüfung der Ergebniskorrelation zwischen den beiden MRA-Auswertern und der Ergebniskorrelation der beidem MRA-Sequenzen beim jeweiligen Auswerter statt.

4.2 Studiendesign

Bei dieser Arbeit wurde eine retrospektive Datenerfassung zur Erstellung des Studienkollektives benutzt. Aus einem Zeitraum von 17 Monaten wurden dabei insgesamt 100 Fällen mit eingeschlossen.
Ausgeschlossen wurden im Gegenzug 279 Fälle, bei denen entweder keine DSA durchgeführt worden war, der Zeitraum zwischen MRA und DSA größer als zwei Monate war oder nicht alle Gefäße komplett dargestellt waren.

Nach leitliniengerechter Diagnostik sollen nur solche Patienten im niedrigen pAVK-Stadium (Stadium I und II) der invasiven Diagnostik mittels DSA zugeführt werden, wenn zugleich die Indikation für eine invasive Therapie besteht, ansonsten bleibt dieses Verfahren nur obligat dem Stadium der kritischen Ischämie vorbehalten (Treitl et al., 2008; Ouriel, 2001). Durch die Ausschlusskriterien bei dieser Studie kam es somit zu einer Unterrepräsentation der niedrigeren pAVK-Stadien und zu einer

Überrepräsentation der höheren. Weiterhin führte dies auch zu einer im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erhöhten Prävalenz von höheren pAVK-Stadien im Studienkollektiv.

Der gewählte Zeitraum von maximal zwei Monaten Abstand zwischen MRA und DSA ließ genügend Spielraum zur Akquirierung von ausreichend Studienteilnehmern. Allerdings bleibt fraglich, inwieweit sich die Plaquemorphologie und Stenosenkonfiguration in dieser Zeit und damit auch die bildmorphologische Darstellung verändert hat. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es keine ausreichende Untersuchung dieser Fragestellung in der Literatur.

4.3 Datenakquisitionsverfahren

4.3.1 Digitale Subtraktionsangiographie

Die DSA ist ein seit vielen Jahren in der Routine gut etabliertes Verfahren zur Darstellung von Gefäßen. In den aktuellen S3-Leitlinien wird sie auf Grund der Genauigkeit und Übersichtlichkeit weiterhin als Goldstandard zur Gefäßdarstellung genannt. Die Vorteile dieses bildgebenden Verfahrens liegen im großen Erfahrungsschatz bei der Durchführung und Auswertung dieser Methode, der guten Dokumentationsmöglichkeit des erhobenen Befundes und der gleichzeitigen Interventionsmöglichkeit in einer Sitzung mit der Diagnostik. Besonders zur Beurteilung von In-Stent-Stenosen ist die DSA besser geeignet als andere bildgebende Verfahren.
Bei all diesen Vorteilen birgt die DSA auch einige Nachteile und Risiken. Zu den Nachteilen gehört die Anwendung von ionisierender Strahlung. Weiterhin handelt es sich bei dieser Methode um ein invasives Verfahren mit einer Mortalitätsrate von 0,16 % und mit der Möglichkeit von weiteren Komplikationen die das Patientenmanagement in 0,7 % der Fälle beeinflussen. Komplikationen wie Hämatom-, Aneurysmata- und Fistelbildung, sowie das mechanische Loslösen eines Thrombus mit nachfolgender peripherer Embolie haften dieser Methode an. Weitere mögliche Komplikationen ergeben sich durch die Anwendung von Kontrastmitteln, bei der es in 0,1 % der Fälle zu einer ernsthaften Reaktion gegen dieses kommt (Norgren et al., 2007). Hier spielen eine jodinduzierte thyreotoxische Krise, eine KM induzierte Nephropathie und Hypersensitivitätsreaktionen eine Rolle.

Bei der DSA werden zweidimensionale Projektionsbilder der interessierenden Gefäßregion erstellt. Während der Datenakquisition am Patienten sind zudem dreidimensionale Beurteilungen möglich. Ein Auswertungsproblem entsteht bei flächigen oder exzentrischen Stenosen. Diese können nur mittels Querschnittsbildern in der Transversalebene oder bei im optimalen Winkel aufgenommenen Projektionsbildern korrekt beurteilt werden. Bei der Datenbeurteilung ist es folglich wichtig, dass man beachtet, ob die Stenoseausmessung bezüglich des Durchmessers oder der Fläche durchgeführt wurde, da diese nicht miteinander korrelierende Ergebnisse liefert (Ota et al., 2005). Bei dieser Arbeit wurden die im PACS gespeicherten zweidimensionalen Projektionsbilder zur Auswertung herangezogen, an Hand deren der Stenosedurchmesser bestimmt wurde.

4.3.2 3D CE-MR-Angiographie

Für die Darstellung des arteriellen Gefäßsystems der Becken-Bein-Region gilt die kontrastmittelverstärkte MR-Angiographie (Gjønnæss et al., 2006; Collins et al., 2007) aber auch die Untersuchung mittels Farbduplex-Ultraschall und CT-Angiographie als nicht-invasive Alternative zur DSA. Wobei sich die MRA in der Literatur als spezifischer im Vergleich zur CTA und sensibler als die Ultraschalluntersuchung gezeigt hat (Collins et al., 2007). Die Ultraschalluntersuchung hat weiterhin das Problem der Untersucherabhängigkeit und die Limitation beim Durchdringen von knöchernen oder kalkhaltigen Strukturen (Ota et al., 2005). Gjønnæss et al. zeigten in ihrer Studie von 2006, dass Ultraschalldiagnostik eine gute Alternative für die suprainguinale und Oberschenkel-Region ist, aber für den Unterschenkelbereich nur schlechte Übereinstimmungsmaße zeigte.

Zusammenfassend kann beurteilt werden, dass zunehmend die Indikationen für eine invasive DSA durch nicht-invasive Schnittbildtechnik abgedeckt werden können. Wobei diese stark abhängig ist von der Geräteausstattung, der klinischen Akzeptanz und der Expertise vor Ort (Leibecke et al., 2006).
Im Fall der Therapieplanung sollte nur dann eine konventionelle DSA durchgeführt werden, wenn eine MRA zuvor nicht genügend Informationen lieferte (Janka et al., 2006).

Konkludierend sind die Vorteile der MRA die Nicht-Invasivität, fehlende Strahlenbelastung, schnelle Durchführbarkeit und Postprocessing, Auflösung im

Submillimeterbereich und durch sekundäre Rekonstruktionen berechenbare dreidimensionale Datensätze. Mark et al. (2001) beschrieben in einer Metaanalyse zur MR-Angiographie eine hohe Genauigkeit der MRA bei Stenosen > 50 % oder kompletten Verschlüssen, die mit der Einführung der dreidimensionalen kontrastmittelverstärkten Technik noch erhöht wurde.

Natürlich ergeben sich neben den Vorteilen auch Nachteile. Dazu gehören die schlechte Abbildbarkeit von kalkhaltigen Strukturen und damit die ungenügende Klassifikation einer Plaquemorphologie (Lawall et al., 2009) und die Beeinträchtigung des MR-Signals durch metallische Gegenstände (z.B. Endoprothesen des Knies oder der Hüfte), aber auch durch Stents, wodurch eine In-Stent-Diagnostik nicht sicher möglich ist (Kauffmann et al., 2001).

Abb. 6: TWIST-Sequenz Unterschenkel mit suboptimaler Kontrastierung

In einer Arbeit zu den technischen Beschränkungen bei der CE-MRA beschrieben Low et al. (2006) venöse Kontamination, bewegungsbedingte Artefakte, Stent-bedingte Artefakte, unzureichende Scanabdeckung und Fehler beim KM-Timing (Abb. 6 und 7) als relevante Probleme. Auch in dieser Arbeit wirkten sich diese Artefakte qualitätsmindernd auf die Bildqualität aus und führten zum Ausschluss bei der Beurteilung nach qualitativer Wichtung.

Low (2006) beschrieb die venöse Kontamination als Hauptursache von technisch inadequaten MRA. Die Akquisition von zeitlich hoch aufgelösten Sequenzen nannte er als eine der Möglichkeiten, diesem Problem entgegenzuwirken.

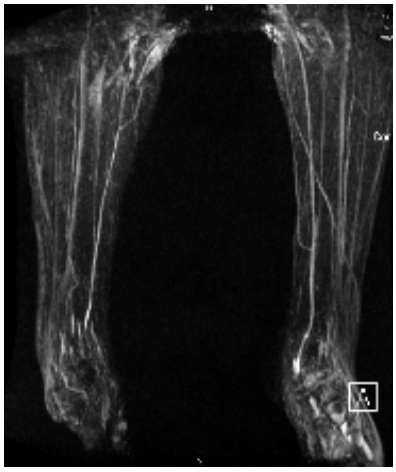


Abb. 7: MIP-Sequenz Unterschenkel mit bewegungsbedingten Artefakten

Zur Auswertung und zum Vergleich kamen bei dieser Arbeit die statischen MIPs und die zeitlich hoch aufgelösten dynamischen TWIST-Sequenzen, es konnte aber auch bei Notwendigkeit auf den Orginaldatensatz zurückgegriffen werden. Die verwendete TWIST-Sequenz ist eine zeitlich hoch aufgelöste Sequenz, bei der der k-Raum in den mittleren Zeilen, die den Bildkontrast liefern, mit einer höheren Rate abgetastet wird als die äußeren Zeilen, die

die räumliche Auflösung liefern. Dadurch kommt es zu einer Steigerung der zeitlichen Auflösung.
Als weiteres Problem wird in der Literatur eine Überschätzung des Stenosegrades bei der MRA beschrieben (Gjønnæss et al., 2006; Poschenrieder et al., 2009). Als Ursachen kommen hier eine Spindephasierung durch Verwirbelungen an der Stenose und partielle Volumeneffekte in Frage. Besonders bei MIP-Rekonstruktionen kann dieses Problem noch ausgeprägter auftreten, da hier das nur gering ausgeprägte Gefäßsignal in der Stenose nicht mehr vom Hintergrund abgegrenzt werden kann (Lee et al., 2000). In der vorliegenden Studie zeigte sich vereinzelt und unsystematisch eine Überschätzung des Stenosegrades.

Das bei dieser Arbeit verwendete Kontrastmittel, MultiHance®, zeigte in einer Studie von Pintaske et al. (2006) im Vergleich zu anderen gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln (Magnevist®, Gadovist®) die besten kontrastverstärkenden Eigenschaften bei Feldstärken von 0,2 – 3 T. Trotz allem sind mit der Verwendung von gadoliniumhaltigen KM auch Risiken verbunden. Dazu gehört in erster Linie die Nephrogene Systemische Fibrose (NSF), eine potentiell letale Erkrankung. Diese tritt vor allem bei schwer nierenerkrankten/niereninsuffizienten Patienten nach der Anwendung von diesem KM auf. In der Literatur werden verschiedene weitere Risikofaktoren der NSF diskutiert. Mehrfache Erwähnung finden dabei proinflammatorische Zustände (Prince et al., 2009; Sadowski et al., 2007). Von Prince et al. (2009) werden zudem die fehlende Möglichkeit der sofortigen Hämodialyse nach gadoliniumhaltiger KM-Gabe, die Verwendung von nicht-ionischen linearen KM, Hyperphosphatämie und junges Lebensalter diskutiert. Als Einschränkung für die Applikation von gadoliniumhaltigen KM gilt daher eine GFR < 30 ml/min oder chronische Hämodialyse (Prince et al., 2009). Zu den dermatogenen Symptomen der NFS gehört eine Verdickung, Induration und Sklerosierung der Haut (Grobner et al., 2006). Auch ein geringes nephrotoxisches Risiko, ähnlich wie beim Gebrauch von jodhältigen Kontrastmitteln, ist vorhanden (Sambol et al., 2011).
Weitere Kontraindikationen für eine MR-Untersuchung sind einige Herzschrittmacher, Cochleaimplantate und Klaustrophobie.

4.4 Verteilung der Stenosen

Die Einteilung der Stenosegrade zur Auswertung wurde nach „gesund“, „klinisch nicht relevant erkrankt“ (< 50 % Diamatereinengung), „klinisch relevant erkrankt“ (> 51 % Diametereinengung) und „nicht beurteilbar“ vorgenommen.

Im gesamten Unterschenkelbereich ließ sich mit ca. 60 % in der DSA eine über 51 %ige Stenose und damit eine „klinisch relevante Erkrankung“ feststellen. Im Vergleich dazu lag der Anteil an „gesunden“ Gefäßen bei der Hälfte mit ca. 30 % in der DSA. In ihren Studien kamen Nael et al. (2008) und Ruehm et al. (2000) zu dem Ergebnis, dass im Vergleich der Gefäße der Becken und Beinregion, die meisten klinisch relevanten Stenosen im Unterschenkelbereich zu finden waren und bestätigen damit die in dieser Studie gewonnenen hohen Fallzahlen.

Am häufigsten wurden in dieser Arbeit sowohl bei der DSA als auch bei den MRA-Sequenzen bei der zusammenfassenden Gefäßbeurteilung „klinisch relevant erkrankte“ Gefäße (Diametereinengung > 51 %) beschrieben. Gefolgt von „gesunden“ Gefäßen und „nicht beurteilbarer“ Gefäßsituation. Am seltensten wurden „klinisch nicht relevant erkrankte“ Gefäße, (1 – 50 % Diametereinengung) benannt.
Im Gegensatz zu den MRA-Datensätzen fanden sich in der DSA bei keinem Fall „nicht beurteilbare“ Gefäße. Beide MRA-Auswerter vergaben dieses Merkmal häufiger, vor allem bei den MIP-Datensätzen.

Betrachtet man die einzelnen Gefäße, fand sich im Truncus tibiofibularis die größte Anzahl an „gesunden“ Gefäßen und die niedrigste an „relevant erkrankten“. In den weiter distal gelegenen Gefäßen im Gegensatz dazu die meisten „relevant erkrankten“ Gefäße, mit der höchsten Stenoserate in der Arteria tibialis posterior gefolgt von anterior und fibularis. Zu entsprechenden Ergebnissen kamen verschiedene Autoren in ihren Studien: Diehm et al. (2007) verglichen in ihrer Studie MRA bei 1,5 und 3 T mit der DSA als Goldstandard bei infrapoplitealer pAVK und kamen sowohl bei der DSA als auch bei der MRA bei 1,5 T zu dem Ergebnis, dass in der Arteria tibialis posterior die größte Anzahl von Stenosen > 50 % vorlagen, gefolgt von der Arteria tibialis anterior und fibularis.
Ebenfalls zu dem gleichen Ergebnis kamen Nael et al. (2008) bei einer Studie zur CE-MRA bei 3 T, allerdings ohne DSA als Referenzstandard.

Auch Loewe et al. (2002) beschäftigten sich in ihrer Studie zur CE-MRA im Vergleich zur DSA bei Patienten mit pAVK mit der Verteilung der Stenosegrade. Diese Studiengruppe kam gleichermaßen zu oben genanntem Ergebnis.

Im Vergleich der MRA-Auswerter zur DSA fiel auf, dass eine Überschätzung der Anzahl an „klinisch relevanten“ Stenosen vorlag. Gleichzeitig lagen deutlich mehr „nicht beurteilbare“ Fälle vor, die damit für die Zuordnung zu den „klinisch relevanten“ versus „klinisch nicht relevanten“ Stenosegraden entfielen. Ursächlich für die genannte Überschätzung spielen hier Suszeptibilitätsartefakte (Carriero et al., 2002; Schäfer et al., 2003), die Bildüberarbeitung bei MIPs (Schäfer et al., 2003) und zu große MIP-Schichtdicke (Ersoy et al., 2009) eine Rolle. Im Kapitel zur statistischen Analyse (4.6.1) wird auf diese Problematik weiter eingegangen.
Als Ursache für die abweichenden Werte von Auswerter 1 ist eine deutlich geringe Auswerteerfahrung bei MRA im Vergleich zu Auswerter 2 zu nennen. Da bei der MIP, Artefakte wie venöse Kontamination, bewegungsbedingte Artefakte, Stent-bedingte Artefakte, unzureichende Scanabdeckung und Fehler beim KM-Timing (Low et al., 2006) eine Rolle spielen, hat ein Auswerter mit weniger Erfahrung mehr Probleme, solche Aufnahmen zu bewerten. Zur Überschätzung von Stenosegraden kam es durch Spindephasierung durch Verwirbelungen an der Stenose und partielle Volumeneffekte (Gjønnæss et al., 2006; Poschenrieder et al., 2009).

4.5 Verteilung der Qualität der dargestellten Stenosen

Die Beschreibung der Bildqualität wurde an Hand der folgenden Merkmale durchgeführt: „sehr gut“, „gut“, „verwendbar“ und „nicht beurteilbar“.

Im Vergleich von DSA und den MRA-Sequenzen waren bei der DSA und TWIST bei allen Gefäßen und beiden Auswertern die „guten“ Bildqualitäten am häufigsten vertreten, gefolgt von „verwendbarer“ Qualität. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen Schäfer et al. (2003) und Haneder et al. (2011).
Bei der DSA lagen in keinem Gefäß „sehr gute“ oder „nicht beurteilbare“ Bildqualitäten vor.

Vor Beginn der Bilderauswertung wurde an Hand von Beispielen, die nicht Teil dieser Studie waren, Stenosegrade und Bildqualitäten besprochen. Um eine sicherere Zuordnung zu einer Qualitätsstufe zu garantieren, hätten Beispielbilder zu den

jeweiligen Stufen erstellt werden müssen und vor jeder erneuten Auswertesession betrachtet werden müssen, bzw. nötigenfalls parallel mit angeschaut werden können.

4.6 Statistische Analyse

4.6.1 Vor qualitativer Wichtung

Wie im Kapitel zur Stenosegradverteilung beschrieben, fand sich im untersuchten Gebiet eine relativ geringe Anzahl an „gesunden“ Gefäßen. Gleichzeitig kam es bei der Beurteilung seitens der beiden MRA-Auswerter zu Diskrepanzen zur DSA. Dies spiegelt sich in den statistischen Maßzahlen zu den „klinisch relevanten Stenosen“ wider.

So wurde für den gesamten Unterschenkel in der TWIST eine durchschnittliche Sensitivität von 82 % und in der MIP von 62,5 % erzielt. Bei der Spezifität ergab sich bei der TWIST ein Wert von 59,5 % und bei der MIP von 48 %. Der positiv prädiktive Wert der TWIST war 78,5 % und der der MIP 68 %. Für den negative prädiktiven Wert ergab sich bei der TWIST 64 % und bei der MIP 42,5 %.
Betrachtet man die einzelnen Gefäße, lagen die besten Ergebnisse dabei im Bereich der Arteria tibialis anterior und posterior vor.
Weiterhin fiel im Vergleich der beiden Auswerter auf, dass Auswerter 1 in der MIP bei allen statistischen Maßen, schlechtere Ergebnisse erzielte als Auswerter 2. In der TWIST lag im Gegensatz dazu ein eher ausgeglichenes Verhältnis zwischen den Auswertern vor.
Bei Betrachtung der Maßzahlen wird deutlich, dass die zeitlich hoch aufgelösten Sequenzen den normalen MIP-Rekonstruktionen des Rohdatensatzes eindeutig überlegen waren.

Im Vergleich mit den verschiedenen Literaturwerten (Tab. 52) wird deutlich, dass die statistischen Maßzahlen in der vorliegenden Studie damit größtenteils korrelieren. Vor allem Hentsch et al. (2003) kamen in einer multizentrischen Studie zur CE-MRA im Vergleich zur DSA als Goldstandard bei 203 pAVK-Patienten zu einem vergleichbaren Ergebnis. Er beschrieb, dass es bei den Ergebnissen von verblindeten Auswertern generell zu schlechteren Werten kam. Durch die Verblindung kommt es zwar zur Biasverminderung, allerdings wird in der klinischen Routine gerade das Wissen aus

der Patientenakte zur besseren Diagnosefindung herangezogen, was dann im Umkehrschluss bei der Verblindung zu ungenaueren Ergebnissen führt.

Tab. 52: Liste zur Studienlage bezüglich Sensitivität und Spezifität von „klinisch relevanten" Stenosen bei der CE-MRA

Autor	Kollektiv	untersuchte Region	Sens. %	Spez. %	Kommentar
Haneder et al., 2011	36 pAVK-Pat.	Unterschenkel	100	79,4	TWIST von 3D CE-MRA, für alle Gefäße, nativ-MRA als Referenzstandard
Poschenrieder et al., 2009	20 pAVK-Pat.	infrainguinale Arterien	87,5	87,5	3D CE-MRA, für Unterschenkel, DSA als Referenzstandard
Hentsch et al., 2003	203 pAVK-Pat.	Becken bis Unterschenkel	56 - 74	83 - 96	CE-MRA, für Unterschenkel, Ergebnis-Range bei 3 Auswertern, DSA als Referenzstandard
Schäfer et al., 2003	30 pAVK-Pat.	Becken bis Unterschenkel	93,9	97	CE-MRA, für alle Gefäßetagen, DSA als Referenzstandard
Cronberg et al., 2003	35 Pat. mit V.a. pAVK	Unterschenkel und Füße	92	64	CE-MRA, für alle Gefäße, DSA als Referenzstandard
Carriero et al., 2002	11 pAVK-Pat.	Aorta bis Füße	100	97,1	CE-MRA MoBI-trak, für alle Gefäße, DSA als Referenzstandard
Loewe et al., 2002	106 pAVK-Pat./-Verdacht	Becken bis Unterschenkel	95,8	94,3	CE-MRA, für Unterschenkel, DSA als Referenzstandard
Ruehm et al., 2000	61 Pat. mit V.a. pAVK	Aorta bis Unterschenkel	92,2	98	3D CE-MRA, für alle Gefäße, DSA als Referenzstandard

Ursächlich für die sonst zumeist niedrigeren statistischen Maßzahlen kommen hier verschiedene Gründe in Frage. Zum einen liegen im Unterschenkel im Vergleich zu anderen bei der MRA interessierenden Gefäßregionen (Becken, Oberschenkel) vermehrt kleinkalibrige eng beieinander liegende Gefäßlumina, sowohl bei Arterien als auch Venen vor. Dies kann zu einem hohen Grad an Fehlbewertungen führen. Als Hauptursache beschrieben Lim et al. (2008) ein nicht perfektes KM-Timing. Ebenfalls problematisch können sich bei diesen dünnen Gefäßen auch zu große Schichtdicken, limitierte Ortsauflösung und ein reduziertes Kontrast-Rausch-Verhältnis erweisen (Schäfer et al., 2003).

In einem Review zur MRA in den unteren Extremitäten beschrieben Ersoy et al. (2008) das Problem, dass bei zu großer MIP-Schichtdicke das Hintergrundsignal von anderen Gefäßen oder Geweben das interessierende Signal vom zu untersuchenden Gefäß verdeckt. Hat dabei das mit eingeblendete Hintergrundgewebe eine höhere Signalintensität als das interessierende Gefäß, kann dadurch eine Stenose vorgetäuscht werden und es kommt somit zu einer Überbewertung von Stenosegraden.

Weiterhin kann es bei der MIP nach der Bildüberarbeitung zur Stenosegradüberschätzung kommen (Schäfer et al., 2003).
Generell wurde in verschiedenen Studien die Problematik der Stenosegradüberschätzung bei der MRA aufgegriffen. Ursächlich wurden hier unter anderem Suszeptibilitätsartefakte, vor allem durch einliegende Stents, beschrieben (Carriero et al., 2002; Schäfer et al., 2003).

Die in dieser Arbeit niedrigen Werte, vor allem der MIP, für Spezifität und negativ prädiktive Werte können durch eine Überbewertung der Stenosegrade in der MRA hervorgerufen worden sein.

Hauptursächlich für die im Allgemeinen niedrigen statistischen Maße besonders bei der MIP war bei dieser Studie allerdings das Vorliegen von vielen artefaktbedingten Bildqualitätseinbußen. Hier spielten bei beiden Sequenzen bewegungs-, Stent- und KM-Timing-bedingte Artefakte eine Rolle. Speziell bei der MIP kam aber das Vorhandensein von venöser Überlagerung als wichtiger Faktor hinzu; ersichtlich an den deutlich schlechteren MIP-Ergebnissen im Vergleich zur TWIST. Zur venösen Überlagerung kommt es vor allem bei Patienten mit einer beschleunigten arteriovenösen Transitzeit durch vermehrte Gewebsperfusion Dies ist bei Vorliegen von Ulzera oder Entzündungen bei pAVK-Patienten in einem hohen Stadium der Fall (Loewe et al., 2002). Weiterhin spielen bei der venösen Überlagerung die Scanzeit und die Länge des KM-Bolus eine Rolle (Schäfer et al., 2003).

Erschwerend bei der Bildakquisition und damit auch ursächlich für schlechte Bildqualitäten verantwortlich, war, dass die Bilder des Unterschenkels erst am Ende nach Becken und Oberschenkel akquiriert wurden, wenn der Gefäßkontrast schon nachließ (Loewe et al., 2002).

Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass es zu einem Selektionsbias gekommen war. In dieser Studie wurden nur Patienten mit eingeschlossen, die sowohl MRA als auch DSA erhalten hatten. Als Indikation für die DSA gilt am Standort die interventionsbedürftige und damit klinisch relevante pAVK. Auch Poschenrieder et al. (2009) beschrieben dieses Problem in ihrer Arbeit, bei der ausschließlich Patienten mit symptomatischer pAVK mit eingeschlossen wurden.

Letztlich spielte, wie man an den unterschiedlichen Ergebnissen der beiden Auswerter sehen kann, der Erfahrungsschatz bei der Beurteilung eine wichtige Rolle (Carriero et

al., 2002). Auswerter 1 der ca. 10 Jahre weniger Erfahrung als Auswerter 2 mit der Befundung von MRA hatte, erzielte zumeinst, aber besonders bei den eher schwieriger zu beurteilenden MIP-Sequenzen, schlechtere Ergebnisse.

4.6.2 Nach qualitativer Wichtung

Bei der Auswertung aller „klinisch relevanter Stenosen“ wurden wie im Kapitel zuvor beschrieben, relativ schlechte statistische Maßzahlen erzielt. Zur Überprüfung und Quantifizierung, inwieweit die Bildqualität hiermit ursächlich im Zusammenhang steht, wurden die Daten nach erneuter Überarbeitung noch einmal hinsichtlich „klinisch nicht relevanter“ und „klinisch relevanter Stenosen“ untersucht. Dabei wurden nur noch die Ergebnisse von Fällen mit ausgewertet, deren Bildqualität mit „sehr gut“ oder „gut“ beurteilt worden war.

Für die statistischen Maßzahlen ergaben sich folgende Werte: die Sensitivität der TWIST wurde um 9 % auf 91 % gesteigert, die der MIP um 22 % auf 84,5 %. Bei der Spezifität ergab sich bei der TWIST eine Steigerung um 12 % auf 71,5 % und bei der MIP um 23,5 % auf 71,5 %. Der positiv prädiktive Wert der TWIST wurde um 6,5 % auf 85 % angehoben, der der MIP um 16,5 % auf 84,5 %. Der negativ prädiktive Wert der TWIST steigerte sich um 19 % auf 83 % und der der MIP um 30 % auf 72,5 %.
Bei den einzelnen Gefäßen verbesserten sich die statistischen Maßzahlen der Arteria tibialis posterior am meisten.

Bei Betrachtung der einzelnen Auswerter, herrschte nach qualitativer Wichtung bei beiden Sequenzen ein eher ausgeglichenes Verhältnis zwischen beiden Auswertern. Wobei auffiel, dass Auswerter 1 bei der MIP zu einer deutlicheren Steigerung der Ergebnisse gekommen war. Dies legt nahe, dass ein unerfahrenerer Befunder zu einer besseren Stenosegradbestimmung in der Lage ist, wenn qualitativ hochwertigeres Bildmaterial vorliegt.

Da sich bei beiden Sequenzen die Ergebnisse nach qualitativer Wichtung deutlich verbesserten, spricht dies für das Vorliegen von artefaktbedingten Bildqualitätseinbußen sowohl bei der MIP als auch bei der TWIST.
Die auffallend stärker ausgeprägte Verbesserung der MIP-Werte im Gegensatz zur TWIST, legt nahe, dass die bei der MIP eine Rolle spielende venöse Überlagerung, ein wichtiger Faktor für die Problematik bei der Bildauswertung ist.

Die statistischen Maße, Spezifität und negativ prädiktiver Wert, die für eine Überbewertung von Stenosen sprechen, verbesserten sich bei beiden Sequenzen am meisten.

Es ließ sich also feststellen, dass die Aussagekraft bezüglich einer „klinisch relevanten Stenose“ bei qualitativ gutem Bildmaterial besser war, als bei nur mittelmäßigem bis schlechtem Bildmaterial.

Entsprechende Werteverbesserung wurde auch in einer Studie von Lim at al. (2008) über die 3D-Nativtechnik-MRA bei 36 Patienten mit pAVK oder Verdacht darauf beschrieben. Hier steigerten sich die statistischen Maßzahlen nach Ausschluss von diagnostisch nicht befriedigendem Bildmaterial. Die Sensitivität aller untersuchten Gefäße stieg dabei von 85,4 % auf 92,4 % und die Spezifität von 75,8 % auf 92,1 %.

Kritisch zu werten war, dass nach qualitativer Wichtung für die MIP im Vergleich zur TWIST nur eine sehr geringe Fallzahl zur Verfügung stand. Für alle Gefäße zusammenfassend bei Auswerter 1 109 bei der MIP zu 279 bei der TWIST und bei Auswerter 2 189 bei der MIP zu 291 bei der TWIST. Dies verdeutlicht, dass die MIP viel häufiger mit schlechter Bildqualität assoziiert war als die TWIST. Für die Interpretation und Wichtung der MIP-Ergebnisse nach qualitativer Wichtung blieb fraglich, ob bei einer solchen Fallzahlendifferenz, ein Vergleich zur TWIST überhaupt möglich ist.
Weiterhin wurde deutlich, dass ein Beurteiler mit einer geringeren Auswerteerfahrung, mehr der Beeinflussung durch schlechtere Bildqualitäten unterlag.

Inwiefern die Bildqualität weiteren Einfluss auf Therapie und Outcome eines Patienten hat, wurde in dieser Studie nicht weiter untersucht, sollte aber in weiterführenden prospektiven Studien näher beleuchtet werden.

4.7 Interobserververgleich

4.7.1 Verteilung der Stenosen

Im Vergleich der beiden MRA-Sequenzen untereinander wurde deutlich, dass es sowohl im MIP-TWIST-Vergleich als auch im Interobserververgleich bei der jeweiligen Sequenz zu unterschiedlichen Verteilungen gekommen war.

Während bei beiden Sequenzen von beiden Auswertern „klinisch relevante“ Stenosen am häufigsten und „klinisch nicht relevante“ Stenosen am seltensten vorlagen, folgte an zweiter Stelle bei der MIP „nicht beurteilbar“ und bei der TWIST „gesund“. Teilweise fanden sich bei der MIP mehr als doppelt so hohe Raten bei den „nicht beurteilbaren“ Stenosen im Vergleich zur TWIST.
Im Vergleich der Auswerter wurde deutlich, dass Auswerter 1 vor allem bei der MIP viel häufiger „nicht beurteilbar“ vergab als Auswerter 2. Zugleich bestimmte er den Anteil an „klinisch relevanten“ Stenosen niedriger als Auswerter 2 und den der „klinisch nicht relevanten“ höher. Dies sprach alles für einen systematischen Fehler und ursächlich kommen hier die schon in Kapitel 4.3 beschriebenen Problematiken in Frage.

4.7.2 Qualität der dargestellten Stenosen

Im Vergleich der MRA-Sequenzen ist deutlich erkennbar, dass in der TWIST von beiden Auswertern die besseren Qualitätsgrade häufiger vergeben wurden, während in der MIP eher schlechtere vergeben wurden. Hier war auch weiter auffällig, dass Auswerter 1 vermehrt bei der MIP „nicht beurteilbar“ vergab und Auswerter 2 eher „gute“ und „verwendbare“ Qualitäten. Eine Rolle bei der höheren Rate an schlechten MIPs, die aus dem Rohdatensatz erstellt worden waren, spielte die größere Artefaktanfälligkeit dieser Sequenz. Venöse Kontamination, bewegungsbedingte Artefakte, Stent-bedingte Artefakte, unzureichende Scanabdeckung und Fehler beim KM-Timing wurden von Low et al. (2006) als technische Mängel beschrieben (Abb. 8).

Abb. 8: MIP rechter Unterschenkel mit suboptimaler Kontrastierung und venöser Begleitdarstellung als qualitätsmindernde Bildartefakte

Da im Gesamten eine tendenziell schlechtere Bewertung bei Auswerter 1 zu beobachten war, musste von einem systematischen Fehler ausgegangen werden. Als Ursache kam die geringere Auswerteerfahrung von Auswerter 1 auf dem Gebiet der MRA in Frage. Um dieses Problem von Anfang an zu umgehen, hätten die Qualitäten, auch mit Hilfe von stets präsenten Abbildungen, genauer definiert werden müssen.

Aufgrund dessen ist ein Vergleich der Auswerter bezüglich der Qualitäten nicht sinnvoll und war auch nicht Fragestellung dieser Arbeit. Jedoch ist ersichtlich, dass die

MIP bei beiden deutlich schlechter bewertet wurde als die TWIST, die somit qualitativ hochwertigere Bilder lieferte.

4.7.3 Übereinstimmung der Auswerter bei der Stenosebeurteilung

In dieser Studie sollte ebenfalls betrachtet werden, in wieweit die Ergebnisse von zwei verschiedenen Beurteilern miteinander übereinstimmen.
Als statistisches Maß für die Korrelation zwischen den Auswertern wurde daher Cohen´s Kappa gewählt. Hierbei ist zu beachten, dass bei einer untersucherabhängigen Methode wie der Beurteilung einer klinisch relevanten Stenosierung, ein Anspruch auf eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen den Auswertern besteht.

Für den gesamten Unterschenkelbereich wurde bei der MIP eine deutliche Übereinstimmung (κ = 0,491) und bei der TWIST eine starke Übereinstimmung (κ = 0,651) beschrieben.

Die hier erreichten Werte lagen im Vergleich mit der Literatur in einem ähnlichen Range. Poschenrieder et al. (2009) verglichen in ihrer Arbeit die intraarterielle und intravenöse 3D CE-MRA zur DSA als Goldstandard bei 20 Patienten mit symptomatischer pAVK. Bei der i.v.-MRA erreichten sie dabei ein durchschnittliches Kappa (von 3 Auswertern) von 0,693, bei der i.a.-MRA von 0,546. Zu etwas höheren Werten kamen Andreisek et al. (2007) bei einer Studie zu zeitlich hoch aufgelösten MRA-Sequenzen. Hier verglichen die Autoren die Standard Bolus-chase MRA mit einer TRICKS-Sequenz (time-resolved-imaging of contrast kinetics) bei 31 Patienten mit Diabetes mellitus. Es wurden MRA des Unterschenkels und des Fußes angefertigt und von zwei Auswertern beurteilt. Bei der TRICKS-MRA erreichten sie ein Kappa von 0,82, bei der Bolus-chase von 0,75. Trotz der besseren Werte im Vergleich zu dieser Arbeit, zeigte sich hier ebenfalls, dass es bei der zeitlich hoch aufgelösten Sequenz zu einem höheren Übereinstimmungsgrad kam.

Um auch hier zu quantifizieren, inwieweit die Bildqualität eine Auswirkung auf den Übereinstimmungsgrad zwischen den Auswertern hatte, wurden die Daten nach qualitativer Wichtung erneut miteinander verglichen. Für die MIP ergab sich darauf eine starke Übereinstimmung (κ = 0,782) und für die TWIST eine fast vollständige Übereinstimmung (κ = 0,809) und damit jeweils eine Verbesserung um einen

Übereinstimmungsgrad. Damit lagen die gewonnenen Daten auf einem Niveau mit den Literaturwerten.

Somit wurde deutlich, dass die Bildqualität auch bezüglich der Auswerterübereinstimmung eine wichtige Rolle spielte.

4.8 Intraobserververgleich

Um zu betrachten, inwieweit MIP und TWIST beim jeweiligen Beurteiler miteinander korrelierten und zu beurteilen, ob in der Beurteilung signifikante Unterschiede bei den Sequenzen vorlagen, wurde der McNemar-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau (p-Wert) wurde dabei auf $< 0,05$ festgelegt.

Lag dabei der p-Wert oberhalb von 0,05, lag kein signifikanter Bewertungsunterschied zwischen den Sequenzen vor, lag er unterhalb, bestanden signifikante Bewertungsunterschiede und eine der beiden Sequenzen wurde besser als die andere befundet.

Bei den in der DSA „gesunden"/„klinisch nicht relevant erkrankten" Fällen zeigte sich für Auswerter 1 (p-Wert = 0,280) und für Auswerter 2 (p = 0,736) keine signifikant unterschiedliche Bewertung der beiden MRA-Sequenzen. Anders verhielt es sich mit den in der DSA „klinisch relevant erkrankten" Fällen. Hier beurteilte Auswerter 1 (p = 0,000) und Auswerter 2 (p = 0,002) die TWIST signifikant besser als die MIP. Dies hatte seine Ursache sicherlich in der höheren Artefaktanfälligkeit der MIP, die vor allem bei der Beurteilung von höheren Stenosegraden besonders beeinflussend wirkte. Auswerter 1 mit der geringeren MRA-Erfahrung zeigte hier noch deutlichere Bewertungsunterschiede als Auswerter 2.

Nach qualitativer Wichtung ergaben sich sowohl für die in der DSA „gesunden"/„klinisch nicht relevant erkrankten" Fälle als auch für die „klinisch relevant erkrankten" Fälle keine signifikanten Bewertungsunterschiede für TWIST und MIP bei beiden Auswertern.

Da nach Wichtung in keinem Fall mehr eine unterschiedliche Bewertung vorlag, bestätigte dies das wahrscheinliche Vorliegen von einer höheren Artefaktanfälligkeit

der MIP. Die höhere Artefaktanfälligkeit führte zu schlechteren Bildqualitäten und damit zu einer schlechteren Beurteilbarkeit des Bildmaterials.

Ein Vergleich mit Literaturwerten war leider nicht möglich, da sich keine vergleichbaren Studien zur Fragestellung des Intraobserververgleiches finden ließen.

4.9 Fehlerquellen

Diese Arbeit wies verschiedene Einschränkungen auf.
Dazu gehörte vor allem das Vorliegen eines Selektionsbias, da nahezu ausschließlich Patienten in einem hohen pAVK-Stadium in diese Studie eingeschlossen wurden. Patienten am Untersuchungszentrum bekommen nur die Indikation zur Durchführung einer DSA gestellt, wenn gleichzeitig auch eine Therapieindikation besteht, die in der gleichen Sitzung durchgeführt werden kann. So werden größtenteils nur Patienten im Stadium III und IV angiographiert.

Dies birgt in sich weitere Probleme. Es wurde durch verschiedene Studien belegt, dass es gerade bei Patienten in einem hohen Stadium vermehrt zu Artefakten kam, die die Bildqualität und damit die Auswertbarkeit beeinflussten (Dinter et al., 2009). Die hohe Anzahl an Fällen mit schlechterer Bildqualität und der Unterschied in den statistischen Ergebnissen vor und nach qualitativer Wichtung in dieser Arbeit, bestätigten diese Problematik. Gerade die Betrachtung der Fälle vor qualitativer Wichtung verdeutlichte, dass in einem Kollektiv, in dem alle Bildqualitäten vorhanden waren, es durch eine verminderte Bildqualität zu einer Einschränkung der diagnostischen Aussagekraft gekommen war. In zukünftigen Studien sollte hier ein Augenmerk auf die mögliche Verminderung der Artefaktanfälligkeit gelegt werden.

Weiterhin war in diesem Zusammenhang auch als problematisch anzusehen, dass auf Grund der Verblindung nicht die Krankenakten eingesehen wurden und damit keine Begleiterkrankungen, klinischen Symptome und Risikofaktoren erfasst wurden. Dies hätte nicht nur weitere Aussagen zur Artefaktanfälligkeit bei höheren pAVK-Stadien ermöglicht, sondern auch eine spezifischere Auswertung des Patientenkollektivs. Diese Problematik wurde auch von Hentsch et al. (2003) beschrieben.

Um den Auswertern die Zuordnung der Stenose- und Qualitätsgrade zu erleichtern und um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, wäre es sinnvoll gewesen, nicht nur zu einem Zeitpunkt an Hand von Beispielbildern die Einteilungsgrade zu besprechen, sonder permanent während den Auswertesessions Beispielbilder parallel vorliegen zu haben.

Letztlich stellte sich bei der Datenauswertung heraus, dass die Bildqualitäten an sich nicht repräsentativ miteinander zu vergleichen waren. Da bei einem der beiden Auswerter eher schlechtere Ergebnisse vorlagen, ließ sich dies als Möglichkeit eines systematischen Fehlers werten.

4.10 Vergleichbarkeit

Ein Vergleich der vorliegenden Arbeit mit anderen Studien war möglich, allerdings waren gewisse Grenzen zu beachten.

Als retrospektive Analyse von Daten, die in der klinischen Routinearbeit gewonnen wurden, war ein Vergleich zu prospektiv angelegten Studien nur begrenzt und orientierend möglich.

Meist fanden sich sowohl bei retrospektiven als auch bei prospektiven Studien in der Literatur unterschiedliche Rahmenbedingungen. Dazu gehörten Ein- und Ausschlusskriterien, verwendete Kontrastmittel und MR-Sequenzen, aber auch der verwendete Referenzstandard.

Weiterhin wurde die prozentuale Definition von „klinisch relevanten Stenosen“ unterschiedlich gesetzt. Während in einigen Studien, so wie in dieser, ab einer Diametereinengung von > 51 % von einer „klinisch relevanten Stenose“ gesprochen wurde (Poschenrieder et al., 2009; Schäfer et al., 2003), musste bei anderen Studien eine Diametereinengung > 70 % (Carriereo et al., 2002), bzw. Lumenstenose > 70 % vorliegen (Haneder et al., 2011).
Ebenfalls wurde nicht bei allen Arbeiten die Diametereinengung als Maß genommen, sondern bei manchen auch die Querschnittsflächenverminderung.
Die Beziehung von Diameter zu Querschnitt lässt sich mit folgender Formel beschreiben: A = D * (2 – [D/100]), mit A = Querschnittsflächenreduktion in % und D = Diameterreduktion in % (Ota et al., 2005). Eine in dieser Form unterschiedliche

Betrachtungsweise kann unter Umständen zu einer unterschiedlichen Wertung von „klinisch relevanten Stenosen“ führen.

Ein weiterer Punkt, in dem sich diese Arbeit vom Gros der meisten publizierten Studien unterschied, war dass zwar die Qualität des Bildmaterials beurteilt und analysiert wurde, aber nicht wie hier eine erneute statistische Analyse der „klinisch relevanten Stenosen“ unter Ausschluss von Fällen mit schlechteren Bildqualitäten stattfand. Eine Arbeit, bei der dies durchgeführt wurde, war die von Lim et al. (2008), die zu vergleichbaren Ergebnissen nach qualitativer Wichtung kamen, wie die, die in dieser Studie vorlagen.

Der in dieser Arbeit durchgeführte Intraobserververgleich ließ sich in dieser Form in keiner Studie zur MRA, bzw. DSA bei pAVK-Patienten finden und konnte somit nicht mit Literaturwerten verglichen werden.

4.11 Schlussfolgerung

Betrachtet man die Ergebnisse dieser Studie, erwies sich die 4D CE-MRA mit zeitlich aufgelösten Bildsequenzen bei „guten“ bis „sehr guten“ Bildqualitäten als mögliche Alternative zur DSA bei der Unterschenkeldarstellung.

Die Sensitivität und Spezifität bei Einbeziehung aller Bildqualitäten lag hier bei 82 und 59,9 %. Nach ausschließlicher Verwendung von mindestens „guten“ Bildqualitäten, zeigte sich eine deutliche Steigerung der Sensitivität auf 91 % und der Spezifität auf 71,5 % bei den zeitlich aufgelösten MR-Sequenzen. Auch bei den MIP-Rekonstruktionen des Rohdatensatzes ließ sich eine solche Verbesserung sogar in einem ausgeprägteren Maß feststellen. Dies bestätigte die vermutete hohe Artefaktanfälligkeit des Unterschenkelbereiches. In weiteren Studien sollte sich mit der Minimierung dieser Artefakte beschäftigt werden.

Limitationen im Unterschenkelbereich bestanden durch das relativ kleine Gefäßkaliber und der damit verbundenen Artefaktanfälligkeit. Im Gegensatz dazu wurden in verschiedenen Studien für weiter proximal gelegene und damit größer-kalibrige Gefäßbereiche deutlich höhere Sensitivitäten und Spezifitäten erreicht (z.B. Schäfer et al., 2003; Hentsch et al., 2002).

Allerdings ist bekannt, dass die oben genannte Problematik auch bei der konventionellen DSA eine Rolle spielt und immer wieder zur Fehleinschätzung des Gefäßzustandes führt. So beschrieben beispielsweise Schäfer et al. (2003), dass bei einer Studie 24 % der Gefäßsegmente im Unterschenkel nicht in der Übersichts-DSA kontrastiert werden konnten und sich diese erst in der intraoperativen Angiographie darstellten. Auch Cronberg et al. (2003) diskutieren die Problematik der DSA in ihrer Arbeit.

Betrachtet man den Übereinstimmungsgrad zwischen den Auswertern zeigte sich auch hier nach qualitativer Wichtung eine Ergebnisverbesserung, so dass bei der zeitlich hoch aufgelösten MR-Sequenz eine fast vollständige und bei der MIP des Rohdatensatzes eine starke Übereinstimmung vorlag.

5 Zusammenfassung

Die pAVK gehört zum Formenkreis der kardiovaskulären Erkrankungen, die den ersten Rang unter den Todesursachen in Deutschland einnehmen. Die Prävalenz der pAVK steigt mit zunehmendem Alter deutlich an, so dass bei den über 65-Jährigen ca. 20 % der Männer daran erkrankt sind.
Aus diesen Gründen ist eine frühzeitige und korrekte Diagnosestellung für die Therapie und das weitere Patientenoutcome entscheidend. Zur Diagnostik gehören hier neben Anamnese und klinischer Untersuchung, vor allem die Bestimmung des ABI, und die weiterführende bildgebende Diagnostik.
Bis dato gilt die konventionelle digitale Subtraktionsangiographie als Goldstandard unter den bildgebenden diagnostischen Möglichkeiten. Auf Grund von verschiedenen Risiken (Strahlenbelastung, mögliche Kontrastmittelreaktionen, Nephrotoxizität) und den mit einem invasiven Verfahren assoziierten Komplikationen (Blutungen, Infektionen) wird nach möglichen Alternativen in der Bildgebung gesucht. Die 3D CE-MRA hat sich auf Grund des technischen Fortschritts als eine der Möglichkeiten herauskristallisiert.

Ziel dieser Studie war es, zeitlich aufgelöste 4D CE-MRA-Sequenzen (TWIST) mit hoch ortsaufgelösten 3D CE-MRA-Sequenzen (MIP des Rohdatensatzes) und der DSA als Goldstandard hinsichtlich der Detektion von klinisch relevanten Stenosen im Unterschenkel, zu vergleichen. Dabei wurden der Truncus tibiofibularis, die Arteria tibialis anterior und posterior und die Arteria fibularis ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden Sensitivität und Spezifität als statistische Parameter berechnet. Zusätzlich sollte der Übereinstimmungsgrad zwischen unterschiedlichen Befundern beurteilt werden. Des weiteren wurde auch die Korrelation zwischen den beiden MR-Sequenzen (MIP, TWIST) für jeden Auswerter bestimmt.
Letztlich wurde auch die Qualität des vorliegenden Bildmaterials mit erfasst und ausgewertet.

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden in einem Zeitraum von 17 Monaten 100 Patienten evaluiert. Diese Patienten hatten einen 60 %igen Männeranteil und einen 40 %igen Frauenanteil. Das durchschnittliche Alter zum MRA-Untersuchungszeitpunkt betrug 72,2 Jahre.

Bei der Stenoseauswertung zeigte sich in der DSA bei ca. 65 % eine klinisch relevante und damit > 51 %ige Stenose. Im Gegensatz dazu lag der Anteil an gesunden

Gefäßen bei ca. 30 % und der der klinisch nicht relevanten (< 50 %igen) Stenosen bei ca. 5 %.
Bei der Auswertung der Bildqualität fiel auf, dass vor allem beim Bildmaterial der MIP im Gegensatz zur DSA und TWIST eher schlechtere Qualitäten vergeben wurden.
Betrachtet man die Ergebnisse der statistischen Analyse, zeigten sich bei der MIP des Rohdatensatzes deutlich schlechtere Ergebnisse als bei der zeitlich hoch aufgelösten TWIST. Bei der MIP lag die durchschnittliche Sensitivität bei 62,5 % und die Spezifität bei 48 %. Bei der TWIST betrug die durchschnittliche Sensitivität 82 % und die Spezifität 59,5 %. Im Auswertervergleich war auffällig, dass der Befunder mit einer geringeren Auswerteerfahrung dabei schlechtere MIP-Ergebnisse erhoben hat, als derjenige mit einer zeitlich längeren Erfahrung.

Um zu überprüfen, inwieweit die Bildqualität Auswirkungen auf die statistischen Zahlen hat, wurden die Daten erneut überarbeitet. Es wurden nur noch Fälle mit eingeschlossen und erneut statistisch ausgewertet, bei denen eine „sehr gute“ oder „gute“ Bildqualität vorlag. Hierbei zeigte sich bei allen Ergebnissen eine deutliche Verbesserung der Maßzahlen. So stieg die durchschnittliche Sensitivität der MIP auf 84,5 % und die der TWIST auf 91 %. Die durchschnittliche Spezifität bei MIP und TWIST betrug nach qualitativer Wichtung jeweils 71,5 %.

Der MRA-Interobserververgleich zeigt bei der MIP des Rohdatensatzes eine deutliche ($\kappa = 0,49$) und bei der TWIST eine starke Übereinstimmung ($\kappa = 0,65$). Nach qualitativer Wichtung verbesserte sich auch das Übereinstimmungsmaß. Bei der MIP lag nun eine starke ($\kappa = 0,78$) und bei der TWIST eine fast vollständige Übereinstimmung ($\kappa = 0,81$) vor.
Auf Grund der vor allem nach qualitativer Wichtung guten Übereinstimmungsmaße, kann bei der zeitlich hoch aufgelösten Sequenz noch mehr als beim normalen Rohdatensatz der 3D CE-MRA von einer untersucherunabhängigen Methode ausgegangen werden.

Der MRA-Intraobserververgleich zeigte bei den in der DSA klinisch relevant erkrankten Fällen mit einem p-Wert < 0,05 bei beiden Auswertern eine signifikant bessere Bewertung der TWIST im Gegensatz zur MIP des Rohdatensatzes. Bei den in der DSA Gesunden, zeigte sich bei keinem Auswerter ein signifikanter Bewertungsunterschied der Sequenzen.

Nach qualitativer Wichtung ergaben sich sowohl bei den Gesunden als auch bei den Erkrankten keine signifikanten Bewertungsunterschiede zwischen den MR-Sequenzen.

Zusammenfassend stellte sich in Anbetracht der Ergebnisse dieser Arbeit, die in der Diagnostik und Therapieplanung mittlerweile routinemäßig genutzte 3D CE-MRA als mögliche Alternative zur DSA dar. Wobei die zusätzliche Akquirierung von zeitlich hoch aufgelösten TWIST-Sequenzen besonders aussagekräftiges Bildmaterial lieferte. Liegt allerdings ein qualitativ hochwertiges Bildmaterial vor, sind auch räumlich hoch aufgelöste MIP-Rekonstruktionen zur Befundung ausreichend.
Da in der klinischen Routine ein qualitativ gemischtes Bildmaterial vorliegt, empfiehlt sich nach diesen Ergebnissen, ein zweistufiges Aufnahmeverfahren. Zunächst sollte eine 3D CE-MRA der kompletten unteren Extremität angefertigt werden. Im Anschluss muss eine sofortige Analyse der Bildqualität der Unterschenkelregion erfolgen. Liegt eine nicht ausreichende Qualität vor, sollte eine zusätzliche zeitlich hoch aufgelöste TWIST-Sequenz akquiriert werden.

Summary

The peripheral arterial occlusive disease (PAOD) belongs to the spectrum of cardiovascular disorders, which is the most common reason of death in Germany. The prevalence of PAOD rises significantly with increasing age. About 20 % of men older than 65 years are affected.
Therefore an early and correct diagnosis is vital for therapy and further outcome of the patient. Diagnostic methods are assessing medical history, physical examination, especially the evaluation of the ABI, and advanced medical imaging.
Until today conventional digital subtraction angiography (DSA) is considered to be the gold standard among the imaging diagnostic methods. Because of different risks (radiation exposure, contrast media reactions, nephrotoxicity) and the complications associated with invasive methods (bleeding, infection) an alternative imaging technique is desired. Because of the technological progress 3D CE-MRA has shown to be one of the most promising choices.

Aim of the study was to compare time-resolved 4D CE-MRA-sequences (TWIST) with high spatial resolution 3D CE-MRA-sequences (MIP) to the gold standard DSA by

detecting clinical relevant stenosis in the calf. The evaluated vessel segments were the tibiofibular trunk, the anterior and posterior tibial artery and the fibular artery. Sensitivity and specificity were evaluated. Also, the reader agreement and the agreement between the two sequences (MIP, TWIST) of the corresponding reader has been evaluated. Furthermore image quality was recorded and evaluated.

In this study, 100 cases from a 17 months time period were taken into account. The gender ratio was 60 % men and 40 % women, while the average age was 72.2 years.

Evaluating the degree of stenosis by DSA, about 65 % of the cases showed clinical relevant stenosis, which means a stenosis of more than 51 %. 30 % of the cases did not show any stenosis in DSA and about 5 % showed no clinical relevant stenosis (stenosis less than 50 %).
Concerning the evaluation of image quality it became apparent that image quality of MIP has been lower than the ones of DSA and TWIST.
Analysing the statistics, it became apparent that high spatial resolution MIP-sequences showed inferior results than time-resolved TWIST sequences. The average sensitivity of MIP was 62.5 % and the average specificity was 48 %. In comparison, the average sensitivity of TWIST was 82 % and the average specificity was 59.5 %.
The investigator comparison it became noticeable that the less experienced investigator surveyed a lower quality of MIP results.

To verify the impact of image quality on statistical results, the data was overhauled. Only cases with very good and good image quality were included and were re-evaluated. This led to overall better indices, increasing the average sensitivity of MIP to 84.5 % and of TWIST to 91 %. The average specificity of MIP and TWIST increased to 71.5 %.

The reader agreement for MIP sequences was moderate ($\kappa = 0.49$) while it was substantial ($\kappa = 0.65$) for TWIST sequences. After overhauling the data reader agreement improved also. For MIP it became substantial ($\kappa = 0.78$) and for TWIST it was almost perfect ($\kappa = 0.81$).
Investigator-independent method can be assumed because of the improved reader agreement. This was noticeable at both MRA sequences, whereat time-resolved TWIST showed a higher investigator independence than high spatial resolution MIP.

The sequence agreement showed a significant better evaluation ($p < 0.05$) for clinical relevant diseased cases in DSA for TWIST sequences compared to MIP sequences. There was no significant difference in evaluation for healthy cases in DSA for MIP and TWIST.
After overhauling the data there was no difference in evaluation for both healthy and diseased cases in DSA for MIP and TWIST.

In conclusion the already used 3D CE-MRA is a potential alternative for DSA for diagnostics and therapy planning. Especially the additional acquisition of time-resolved TWIST sequences yields useful image material. If images of good quality are available MIP reconstructions are sufficient for evaluation.
Because of the mixed image quality, in clinical routine a two step approach is suggested. First, a 3D CE-MRA of the complete lower extremity should be performed. This should be followed by an immediate analysis of image quality of the calf region. If image quality is considered suboptimal, an additional time-resolved TWIST sequence has to be acquired.

6 Literaturverzeichnis

Andreisek G., Pfammatter T., Goepfert K., Nanz D., Hervo P., Koppensteiner R., Weishaupt D. (2007). Peripheral arteries in diabetic patients: standard bolus-chase and time-resolved MR angiography. Radiology 242(2), 610 – 20.

American Diabetes Association (2003). Peripheral Arterial Disease in People With Diabetes. Diabetes Care 26, 3333 – 3341.

Bergmark C., Mansoor M.A., Swedenborg J., de Faire U., Svardal A.M., Ueland P.M. (1993). Hyperhomocysteinemia in patients operated for lower extremity ischaemia below the age of 50--effect of smoking and extent of disease. Eur J Vasc Surg. 7(4), 391-6.

Carriero A., Maggialetti A., Pinto D., Salcuni M., Mansour M., Petronelli S., Bonomo L. (2002). Contrast-enhanced magnetic resonance angiography MoBI-trak in the study of peripheral vascular disease. Cardiovasc Intervent Radiol. 25(1), 42 – 7.

Cheng S.W., Ting A.C., Wong J. (1997). Lipoprotein (a) and its relationship to risk factors and severity of atherosclerotic peripheral vascular disease. Eur J Vasc Endovasc Surg. 14(1), 17 – 23.

Collins R., Burch J., Cranny G., Aguiar-Ibáñez R., Craig D., Wright K., Berry E., Gough M., Kleijnen J., Westwood M. (2007). Duplex ultrasonography, magnetic resonance angiography, and computed tomography angiography for diagnosis and assessment of symptomatic, lower limb peripheral arterial disease: systematic review. BMJ, 334(7606), 1257.

Cronberg C.N., Sjöberg S., Albrechtsson U., Leander P., Lindh M., Norgren L., Danielsson P., Sonesson B., Larsson E.M. 2003). Peripheral arterial disease. Contrast-enhanced 3D MR angiography of the lower leg and foot compared with conventional angiography. Acta Radiol. 44(1), 59 – 66.

Deutsche Gesellschaft für Angiologie. Gesellschaft für Gefäßmedizin. Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK). Stand 27.04.2009

Diehm C., Darius H., Pittrow D., Allenberg J.R. (2005). Knöchel-Arm-Index. Ein wegweisender Risikomarker für die hausärztliche Praxis. Deutsches Ärzteblatt. Jg. 102, 34 – 35, 2310 – 2314.

Diehm C., Kareem S., Lawall H. (2004). Epidemiology of peripheral arterial disease. VASA 33, 183 – 189.

Diehm N., Kickuth R., Baumgartner I., Srivastav .K., Gretener S., Husmann M.J., Jaccard Y., Do Dai D., Triller J., Bonel H.M. (2007). Magnetic resonance angiography in infrapopliteal arterial disease: prospective comparison of 1.5 and 3 Tesla magnetic resonance imaging. Invest Radiol. 42(6), 467 – 76.

Diehm C., Lange S., Darius H., Pittrow D., von Stritzky B., Tepohl G., Haberl R.L., Allenberg J.R., Dach B., Trampisch H.J. (2006). Association of low ankle brachial index with high mortality in primary care. Eur Heart J. 27(14), 1743 – 1749.

Diehm C., Schuster A., Allenberg J.R., Darius H., Haberl R., Lange S., Pittrow D., von Stritzky B., Tepohl G., Trampisch H.J. (2004). High prevalence of peripheral arterial disease and co-morbidity in 6880 primary care patients: cross-sectional study. Atherosclerosis 172(1), 95 – 105.

Dinter D.J., Neff K.W., Visciani G., Lachmann R., Weiss C., Schoenberg S.O., Michaely H.J. (2009). Peripheral bolus-chase MR angiography: analysis of risk factors for nondiagnostic image quality of the calf vessels--a combined retrospective and prospective study. AJR Am J Roentgenol. 193(1), 234 – 40.

Ersoy H., Rybicki F,J. (2008). MR angiography of the lower extremities. AJR Am J Roentgenol. 190(6), 1675 – 84.

Fowkes F.G., Housley E., Riemersma R.A., Macintyre C.C., Cawood E.H., Prescott R.J., Ruckley C.V. (1992). Smoking, lipids, glucose intolerance and blood pressure as risk factors for peripheral atherosclerosis compared with ischemic heart disease in the Edinburgh Artery Study. Am J Epidemiol. 135(4), 331-40.

Fenchel M., Jost D., Kramer U., Stauder N., Bretschneider C., Klumpp B., Scheule A., Nägele T., Claussen C.D., Miller S. (2006). Cardiovascular whole-body MR imaging in patients with symptomatic peripheral arterial occlusive disease. Rofo. 178(5), 491 – 9.

Fryer R.H., Wilson B.D., Gubler D.B., Fitzgerald L.A., Rodgers G.M. (1993). Homocysteine, a risk factor for premature vascular disease and thrombosis, induces tissue factor activity in endothelial cells. Arterioscler Thromb Vasc Bio, 13, 1327-1333.

Gjønnæss E., Morken B., Sandbæk G., Stranden E., Slagvold C.-E., Jørgensen J.J., Nylænde M., Abdelnoor M., Dullerud R. (2006). Gandolinium-enhanced Magnetic Resonance Angiography, Colour Duplex and Digital Subtraction Angiography of the Lower Limb Arteries from Arorta to the Tibio-peroneal Trunk in Patients with Intermittent Claudicaton. Eur J Vasc Endovasc Surg 31, 53 – 58.

Golomb B.A., Dang T.T., Criqui M.H. (2006). Peripheral arterial disease: morbidity and mortality implications. Circulation 114(7), 688 – 99.

Grobner T. (2006). Gadolinium – a specific trigger for the development of nephrogenic fibrosing dermopathy and nephrogenic systemic fibrosis? NephrolDialTransplant 21, 1104 – 1108.

Haneder S., Attenberger U.I., Riffel P., Henzler T., Schoenberg S.O., Michaely H.J. (2011). Magnetic resonance angiography (MRA) of the calf station at 3.0 T: intraindividual comparison of non-enhanced ECG-gated flow-dependent MRA, continuous table movement MRA and time-resolved MRA. Eur Radiol. 21(7), 1452 – 61.

Hentsch A., Aschauer M.A., Balzer J.O., Brossmann J., Busch H.P., Davis K., Douek P., Ebner F., van Engelshoven J.M., Gregor M., Kersting C., Knüsel P.R., Leen E., Leiner T., Loewe C., Mc Pherson S., Reimer P., Schäfer F.K., Taupitz M., Thurnher S.A., Tombach B., Wegener R., Weishaupt D., Meaney J.F. (2003). Gadobutrol-enhanced moving-table magnetic resonance angiography in patients with peripheral vascular disease: a prospective, multi-centre blinded comparison with digital subtraction angiography. Eur Radiol. 13(9), 2103 – 14.

Hirsch A.T., Haskal Z., Hertzer N., et al. (2006). ACC/AHA Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease (Lower Extremity, Renal, Mesenteric, and Abdominal Aortic). Circulation, 113, 463-654.

Holler D., Claes C., von der Schulenburg J.M. (2004). Treatment costs and quality of life of patients with peripheral arterial occlusive disease – the German prospective. VASA, 33, 145 – 153.

Janka R., Wenkel E., Fellner C., Lang W., Bautz W., Uder M. (2006). Magnetic resonance angiography of the peripheral vessels in patients with peripheral arterial occlusive disease: when is an additional conventional angiography required? Cardiovasc Intervent Radiol. 29(2), 220-9.

Kauffmann G.W., Grenacher L., Bahner M.L., Hess T., Richter G.M. (2001). The vascular patient – diagnosis and minimally invasive therapy. Which technique for what illness? Radiologe 41(8), 613 – 23.

Khandanpour N., Loke Y.K., Meyer F.J., Jennings B., Armon M.P. (2009). Homocysteine and peripheral arterial disease: systematic review and meta-analysis. Eur J Vasc Endovasc Surg. 38(3), 316-22.

Koelemay M.J.W., Lijmer J.G., Stoker J., Legemate D.A., Bossuyt P.M.M. (2001). Magnetic Resonance Angiography for the Evaluation of Lower Extremity Arterial Disease. A Meta-analyses. JAMA 285, 1338 – 1345.

Lange S., Diehm C., Darius H., Haberl R., Allenberg J.R., Pittrow D., Schuster A., von Stritzky B., Tepohl G., Trampisch H.J. (2004). High prevalence of peripheral arterial disease and low treatment rates in elderly primary care patients with diabetes. Exp Clin Endocrinol Diabetes 112, 566-73.

Laub G., Kroeker R. (2006). Syngo TWIST for Dynamic Time-Resolved MR-Angiography. Magnetom Flash 3/2006, no. 34, www.siemens.com/medical

Lawall H., Diehm C., Pittrow P. (2009). Leitlinien zur Diagnostik und Therapie der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK). VASA 38, 1 – 72.

Lee V.S., Martin D.J., Krinsky G.A., Rofsky N.M. (2000). Gadolinium-enhanced MR angiography: artifacts and pitfalls. AJM 175(1), 197 – 205.

Leibecke T., Kagel C., Lubienski A., Peters S.O., Helmberger T. (2006). CTA und MRA bei PAVK – ist die DSA „out“? Radiologe 46, 941 – 947.

Lim R.P., Hecht E.M., Xu J., Babb J.S., Oesingmann N., Wong S., Muhs B.E., Gagne P., Lee V.S. (2008). 3D nongadolinium-enhanced ECG-gated MRA of the distal lower extremities: preliminary clinical experience. J Magn Reson Imaging. 28(1), 181 – 9.

Loewe C., Schoder M., Rand T., Hoffmann U., Sailer J., Kos T., Lammer J., Thurnher S. (2002). Peripheral vascular occlusive disease: evaluation with contrast-enhanced moving-bed MR angiography versus digital subtraction angiography in 106 patients. AJR Am J Roentgenol. 179(4), 1013 – 21.

Low G., Mizzi A., Ong K., Lau P.F., McKinstery J. (2006). Technical inadequacies of peripheral contrast-enhanced magnetic resonance angiography: incidence, causes and management strategies. Clin Radiol. 61(11), 937 – 45.

Nael K., Krishnam M., Nael A., Ton A., Ruehm S.G., Finn J.P. (2008). Peripheral contrast-enhanced MR angiography at 3.0T, improved spatial resolution and low dose contrast: initial clinical experience. Eur Radiol. 2893 – 900.

Norgren L, Hiatt W, Dormandy J, Nehler M, Harris K, Fowkes F. (2007). Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). Eur J Vasc Endovasc Surg 33 (Suppl. 1), S1-S75.

Ota H., Takase K., Rikimaru H., Tsuboi M., Yamada T., Sato A., Higano S., Ishibashi T., Takahashi S. (2005). Quantitative vascular measurements in arterial occlusive disease. Radiographics 25, 1141-58.

Ouriel K. (2001). Peripheral arterial disease. Lancet 358, 1257 – 64.

Pintaske J.P., Martirosian P., Graf H., Erb G., Lodemann K.P., Schick F., Claussen C.D. (2006). Relaxivity of Gadopentetate Dimeglumine (Magnevist), Gadobutrol (Gadovist), and Gadobenate Dimeglumine (MultiHance) in human blood plasma at 0.2, 1.5, and 3 Tesla. Invest Radiol 41, 213 – 21.

Poschenrieder F., Hamer O.W., Herold T., Schleicher T., Borisch I., Feuerbach S., Zorger N. (2009). Diagnostic Accuracy of Intraarterial and IV MR Angiography for the Detection of Stenosis of the Infrainguinal Arteries. AJM 192, 117 – 121.

Price J.F., Mowbray P.I., Lee A.J., Rumley A., Lowe G.D.O., Fowkes F.G.R. (1999). Relationship between smoking and cardiovascular risk factors in the development of peripheral arterial disease and coronary artery disease Edinburgh Artery Study. European Heart Journal, 20, 344–353.

Prince M.R., Zjang H.L., Prowda J.C., Grossman M.E., Silvers D.N. (2009). Nephrogenic Systemic Fibrosis and Its Impact on Abdominal Imaging. RadioGraphics 29, 1565 – 1574.

Roth C. (2011). Wertigkeit der CT- und MR-Angiographie zur Diagnostik intrakranieller Aneurysmen. Radiologe, 51, 106 – 112.

Ruehm S.G., Hany T.F., Pfammatter T., Schneider E., Ladd M., Debatin J.F. (2000). Pelvic and lower extremity arterial imaging: diagnostic performance of three-dimensional contrast-enhanced MR angiography. Am J Roentgenol. 174(4), 1127 – 35.

Sadowski E.A., Bennett L.K., Chan M.R., Wentland A.L., Garrett A.L., Garrett R.W., Djamali A. (2007). Nephrogenic systemic fibrosis: risk factors and incidence estimation. Radiology 243(1): 148 – 57.

Sambol E.B., Van der Meer J.G., Graham A., Goldstein L.J., Karwowski J.K., Dayal R., Derubertis B., Kent K.C. (2011). The use of gadolinium for arterial interventions. Ann Vasc Surg. 25(3), 366-76.

Sanna G., Alesso D., Mediati M., Cimminiello C., Borghi C., Fazzari A.L., Mangrella M. (2011). Prevalence of peripheral arterial disease in subjects with moderate cardiovascular risk: Italian results from the PANDORA study Data from PANDORA (Prevalence of peripheral Arterial disease in subjects with moderate CVD risk, with No overt vascular Diseases nor Diabetes mellitus). BMC Cardiovasc Disord, 11, 1471-2261.

Schäfer F.K., Schäfer P.J., Jahnke T., Walluscheck K., Priebe M., Hentsch A., Heller M., Brossmann J. (2003). First clinical results in a study of contrast enhanced magnetic resonance angiography with the 1.0 molar gadobutrol in peripheral arterial occlusive disease--comparison to intraarterial DSA. Rofo 175(4), 556 – 64.

Schröder F., Diehm N, Kareem S., Ames M., Pira A., Zwettler U., Lawall H., Diehm C. (2006). A modified calculation of ankle-brachial pressure index is far more sensitive in the detection of peripheral arterial disease. J Vasc Surg. 44(3), 531 – 6.

Selvin E., Erlinger T.P. (2004). Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2000. Circulation. 110(6), 738-43.

Senti M., Nogues X., Pedro-Botet J., Rubies-Prat J., Vidal-Barraquer F. (1992). Lipoprotein profile in men with peripheral vascular disease. Role of intermediate density lipoproteins and apoprotein E phenotypes. Circulation 85, 30 – 36.

Statistisches Bundesamt. Todesursachen in Deutschland 2010.

Treitl M., Strube H., Helmberger T., Reiser M. (2008). Arterielle Verschlusskrankheit. Leitliniengerechte Diagnostik und Therapie. Radiologe 48, 1022 – 1031.

Zink C., C./U. Herborn: Schering, Klinikwörterbuch MRT.

7 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABI	Knöchel Arm Index/Ankle Brachial Index
Anterior	Arteria tibialis anterior
CE-MRA	Contrast enhanced/kontrastmittelverstärkte Magnetresonanzangiographie
3D CE-MRA	dreidimenionale contrast enhanced/kontrastmittelverstärkte Magnetresonanzangiographie
CI	Claudicatio intermittens
CT	Computertomographie
CTA	Computertomographische Angiographie
Diag.	Diagramm
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
Fibularis	Arteria fibularis
FKDS	Farbkodierte Duplexsonographie
getABI	German Epidemiological Trial on Ankle-Brachial-Index
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
HDL	High Density Lipoprotein
HF	Hochfrequenzimpuls
IDL	Intermediate Density Lipoprotein
KI	Konfidenzintervall
KM	Kontrastmittel
LDL	Low Density Lipoprotein
Lp (a)	Lipoprotein a
LQ-/neg. LQ	negativer Likelihoodquotient
LQ+/pos. LQ	positiver Likelihoodquotient
MIP	Maximum Intensity Projection
MR	Magnetresonanz
MRA	Magnetresonanz-Angiographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice Computer Tomography/Mehrzeilen Computertomographie
NaCl	Natriumchlorid
neg. präd. Wert	negativ prädiktiver Wert
NSF	Nephrogene Systemische Fibrose
PACS	Picture Archiving and Communication System

PANDORA	Peripheral Arterial Disease in Patients with non-high cardiovascular risk
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
pos. präd. Wert	positiv prädiktiver Wert
Posterior	Arteria tibialis posterior
PTA	perkutane transluminale Angioplastie
Sens.	Sensibilität
sog.	sogenannte/r/s/n
Spez.	Spezifität
T	Tesla
Tab.	Tabelle
TASC	Trans-Atlantic Inter-Society Consensus Document on Management of Peripheral Arterial Disease
Truncus	Truncus tibiofibularis
VLDL	Very Low Density Lipoprotein
vs.	versus

8 Anhang

Tab. 1: Truncus tibiofibularis: Verteilung aller Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Truncus		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP1	keine	21	1	5	27
	klinisch nicht relevant	1	3	0	4
	klinisch relevant	9	3	22	34
	nicht beurteilbar	19	1	15	35
Gesamt		50	8	42	100

Truncus		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP2	keine	29	2	3	34
	klinisch nicht relevant	1	1	1	3
	klinisch relevant	14	5	30	49
	nicht beurteilbar	6	0	8	14
Gesamt		50	8	42	100

Truncus		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST1	keine	33	4	2	39
	klinisch relevant	10	3	31	44
	nicht beurteilbar	7	1	9	17
Gesamt		50	8	42	100

Truncus		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST2	keine	27	4	2	33
	klinisch relevant	14	4	32	50
	nicht beurteilbar	9	0	8	17
Gesamt		50	8	42	100

Tab. 2: Arteria tibialis anterior: Verteilung aller Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Anterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP1	keine	3	1	4	8
	klinisch nicht relevant	1	0	2	3
	klinisch relevant	5	2	44	51
	nicht beurteilbar	5	3	30	38
Gesamt		14	6	80	100

Anterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP2	keine	10	1	7	18
	klinisch nicht relevant	1	0	1	2
	klinisch relevant	2	3	58	63
	nicht beurteilbar	1	2	14	17
Gesamt		14	6	80	100

Anterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST1	keine	10	3	3	16
	klinisch nicht relevant	1	0	3	4
	klinisch relevant	1	3	63	67
	nicht beurteilbar	2	0	11	13
Gesamt		14	6	80	100

Anterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST2	keine	11	4	4	19
	klinisch nicht relevant	0	0	1	1
	klinisch relevant	2	2	68	72
	nicht beurteilbar	1	0	7	8
Gesamt		14	6	80	100

Tab. 3: Arteria tibialis posterior: Verteilung aller Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP1	keine	10	0	2	12
	klinisch nicht relevant	1	0	1	2
	klinisch relevant	3	0	47	50
	nicht beurteilbar	7	3	26	36
Gesamt		21	3	76	100

Posterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP2	keine	13	0	6	19
	klinisch nicht relevant	0	0	1	1
	klinisch relevant	4	1	56	61
	nicht beurteilbar	4	2	13	19
Gesamt		21	3	76	100

Posterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST1	keine	17	0	3	20
	klinisch relevant	3	3	66	72
	nicht beurteilbar	1	0	7	8
Gesamt		21	3	76	100

Posterior		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST2	keine	15	0	3	18
	klinisch relevant	6	3	65	74
	nicht beurteilbar	0	0	8	8
Gesamt		21	3	76	100

Tab. 4: Arteria fibularis: Verteilung aller Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Fibularis		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP1	keine	14	0	5	19
	klinisch nicht relevant	3	1	3	7
	klinisch relevant	7	0	29	36
	nicht beurteilbar	15	0	23	38
Gesamt		39	1	60	100

Fibularis		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
MIP2	keine	16	1	3	20
	klinisch nicht relevant	0	0	2	2
	klinisch relevant	17	0	42	59
	nicht beurteilbar	6	0	13	19
Gesamt		39	1	60	100

Fibularis		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST1	keine	21	0	7	28
	klinisch nicht relevant	1	0	3	4
	klinisch relevant	13	1	45	59
	nicht beurteilbar	4	0	5	9
Gesamt		39	1	60	100

Fibularis		DSA			Gesamt
		keine	klinisch nicht relevant	klinisch relevant	
TWIST2	keine	18	0	4	22
	klinisch relevant	17	1	51	69
	nicht beurteilbar	4	0	5	9
Gesamt		39	1	60	100

Tab. 5: Truncus tibiofibularis: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Truncus		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP1Quali	2	19	9	28
	3	32	5	37
	4	27	8	35
Gesamt		78	22	100

Truncus		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP2Quali	1	5	1	6
	2	33	10	43
	3	31	5	36
	4	9	6	15
Gesamt		78	22	100

Truncus		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST1Quali	1	4	0	4
	2	46	15	61
	3	13	5	18
	4	15	2	17
Gesamt		78	22	100

Truncus		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST2Quali	1	13	3	16
	2	41	12	53
	3	9	5	14
	4	15	2	17
Gesamt		78	22	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 6: Arteria tibialis anterior: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Anterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP1Quali	2	18	9	27
	3	30	5	35
	4	30	8	38
Gesamt		78	22	100

Anterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP2Quali	1	5	1	6
	2	32	10	42
	3	29	6	35
	4	12	5	17
Gesamt		78	22	100

Anterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST1Quali	1	4	0	4
	2	49	15	64
	3	14	5	19
	4	11	2	13
Gesamt		78	22	100

Anterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST2Quali	1	13	3	16
	2	44	13	57
	3	14	5	19
	4	7	1	8
Gesamt		78	22	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 7: Arteria tibialis posterior: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP1Quali	2	18	9	27
	3	32	5	37
	4	28	8	36
Gesamt		78	22	100

Posterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP2Quali	1	4	1	5
	2	31	10	41
	3	29	6	35
	4	14	5	19
Gesamt		78	22	100

Posterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST1Quali	1	4	0	4
	2	53	16	69
	3	14	5	19
	4	7	1	8
Gesamt		78	22	100

Posterior		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST2Quali	1	13	3	16
	2	46	12	58
	3	12	6	18
	4	7	1	8
Gesamt		78	22	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 8: Arteria fibularis: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Fibularis		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP1Quali	2	18	9	27
	3	30	5	35
	4	30	8	38
Gesamt		78	22	100

Fibularis		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
MIP2Quali	1	5	1	6
	2	29	10	39
	3	29	7	36
	4	15	4	19
Gesamt		78	22	100

Fibularis		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST1Quali	1	4	0	4
	2	53	16	69
	3	13	5	18
	4	8	1	9
Gesamt		78	22	100

Fibularis		DSAQuali		Gesamt
		2	3	
TWIST2Quali	1	13	3	16
	2	47	12	59
	3	10	6	16
	4	8	1	9
Gesamt		78	22	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 9: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA aller Gefäße

		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	61	118	179
	1	81	140	221
Gesamt		142	258	400

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,543	KI: 0,482 – 0,602
Spezifität	0,430	KI: 0,351 – 0,512
Pos. präd. Wert	0,634	KI: 0,275 – 0,413
Neg. präd. Wert	0,341	KI: 0,568 – 0,694
Positiver LQ	0,951	KI: 0,793 – 1,141
Negativer LQ	1,065	KI: 0,845 – 1,342

		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP2	0	75	73	148
	1	67	185	252
Gesamt		142	258	400

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,717	KI: 0,660 – 0,769
Spezifität	0,528	KI: 0,446 – 0,608
Pos. präd. Wert	0,734	KI: 0,676 – 0,785
Neg. präd. Wert	0,507	KI: 0,427 – 0,586
Positiver LQ	1,520	KI: 1,257 – 1,838
Negativer LQ	0,536	KI: 0,418 – 0,687

		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	90	53	143
	1	52	205	257
Gesamt		142	258	400

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,795	KI: 0,741 – 0,835
Spezifität	0,634	KI: 0,552 – 0,709
Pos. präd. Wert	0,798	KI: 0,744 – 0,842
Neg. präd. Wert	0,629	KI: 0,548 – 0,704
Positiver LQ	2,170	KI: 1,732 – 2,718
Negativer LQ	0,324	KI: 0,247 – 0,425

		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	79	42	121
	1	63	216	279
Gesamt		142	258	400

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,837	KI: 0,787 – 0,877
Spezifität	0,556	KI: 0,474 – 0,636
Pos. präd. Wert	0,774	KI: 0,722 – 0,819
Neg. präd. Wert	0,653	KI: 0,565 – 0,732
Positiver LQ	1,887	KI: 1,558 – 2,286
Negativer LQ	0,293	KI: 0,214 – 0,400

Tab. 10: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA aller Gefäße

		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	29	13	42
	1	10	57	67
Gesamt		39	70	109

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,814	KI: 0,708 – 0,888
Spezifität	0,744	KI: 0,589 – 0,854
Pos. präd. Wert	0,851	KI: 0,747 – 0,917
Neg. präd. Wert	0,691	KI: 0,540 – 0,809
Positiver LQ	3,176	KI: 1,839 – 5,483
Negativer LQ	0,250	KI: 0,148 – 0,422

		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP2	0	47	15	62
	1	21	106	127
Gesamt		68	121	189

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,876	KI: 0,806 – 0,923
Spezifität	0,691	KI: 0,574 – 0,788
Pos. präd. Wert	0,835	KI: 0,760 – 0,889
Neg. präd. Wert	0,758	KI: 0,639 – 0,848
Positiver LQ	2,837	KI: 1,975 – 4,073
Negativer LQ	0,179	KI: 0,109 – 0,296

		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	79	19	98
	1	26	155	181
Gesamt		105	174	279

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,891	KI: 0,836 – 0,929
Spezifität	0,752	KI: 0,662 – 0,825
Pos. präd. Wert	0,856	KI: 0,798 – 0,900
Neg. präd. Wert	0,806	KI: 0,717 – 0,872
Positiver LQ	3,597	KI: 2,567 – 5,041
Negativer LQ	0,145	KI: 0,094 – 0,225

		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	71	13	84
	1	34	173	207
Gesamt		105	186	291

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,930	KI: 0,884 – 0,959
Spezifität	0,676	KI: 0,582 – 0,758
Pos. präd. Wert	0,836	KI: 0,779 – 0,880
Neg. präd. Wert	0,845	KI: 0,753 – 0,907
Positiver LQ	2,872	KI: 2,173 – 3,797
Negativer LQ	0,103	KI: 0,060 – 0,177

Tab. 11: Truncus tibiofibularis: Verteilung aller Stenosegrade, MRA, Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Truncus		MIP2				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1	1	22	2	3	0	27
	2	1	0	3	0	4
	3	3	1	30	0	34
	4	8	0	13	14	35
Gesamt		34	3	49	14	100

Truncus		TWIST2			Gesamt
		1	3	4	
TWIST1	1	29	6	4	39
	3	2	38	4	44
	4	2	6	9	17
Gesamt		33	50	17	100

1 – keine Stenose, 2 – klinisch nicht relevante Stenose, 3 – klinisch relevante Stenose, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 12: Arteria tibialis anterior: Verteilung aller Stenosegrade, MRA, Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Anterior		MIP2				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1	1	7	0	1	0	8
	2	1	0	2	0	3
	3	5	2	43	1	51
	4	5	0	17	16	38
Gesamt		18	2	63	17	100

Anterior		TWIST2				Gesamt
		1	2	3	4	
TWIST1	1	16	0	0	0	16
	2	1	0	3	0	4
	3	1	1	63	2	67
	4	1	0	6	6	13
Gesamt		19	1	72	8	100

1 – keine Stenose, 2 – klinisch nicht relevante Stenose, 3 – klinisch relevante Stenose, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 13: Arteria tibialis posterior: Verteilung aller Stenosegrade, MRA, Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Posterior		MIP2				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1	1	10	1	1	0	12
	2	1	0	1	0	2
	3	4	0	46	0	50
	4	4	0	13	19	36
Gesamt		19	1	61	19	100

Posterior		TWIST2			Gesamt
		1	3	4	
TWIST1	1	17	3	0	20
	3	1	69	2	72
	4	0	2	6	8
Gesamt		18	74	8	100

1 – keine Stenose, 2 – klinisch nicht relevante Stenose, 3 – klinisch relevante Stenose, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 14: Arteria fibularis: Verteilung aller Stenosegrade, MRA , Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Fibularis		MIP2				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1	1	13	1	5	0	19
	2	3	0	4	0	7
	3	1	1	33	1	36
	4	3	0	17	18	38
Gesamt		20	2	59	19	100

Fibularis		TWIST2			Gesamt
		1	3	4	
TWIST1	1	20	8	0	28
	2	0	4	0	4
	3	2	55	2	59
	4	0	2	7	9
Gesamt		22	69	9	100

1 – keine Stenose, 2 – klinisch nicht relevante Stenose, 3 – klinisch relevante Stenose, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 15: Truncus tibiofibularis: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Truncus		MIP2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1Quali	2	5	18	5	0	28
	3	0	19	17	1	37
	4	1	6	14	14	35
Gesamt		6	43	36	15	100

Truncus		TWIST2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
TWIST1Quali	1	2	2	0	0	4
	2	14	39	2	6	61
	3	0	8	8	2	18
	4	0	4	4	9	17
Gesamt		16	53	14	17	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 16: Arteria tibialis anterior: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Anterior		MIP2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1Quali	2	4	18	5	0	27
	3	1	17	16	1	35
	4	1	7	14	16	38
Gesamt		6	42	35	17	100

Anterior		TWIST2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
TWIST1Quali	1	2	2	0	0	4
	2	14	46	3	1	64
	3	0	6	12	1	19
	4	0	3	4	6	13
Gesamt		16	57	19	8	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 17: Arteria tibialis posterior: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Posterior		MIP2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1Quali	2	4	19	4	0	27
	3	1	20	16	0	37
	4	0	2	15	19	36
Gesamt		5	41	35	19	100

Posterior		TWIST2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
TWIST1Quali	1	2	2	0	0	4
	2	14	50	4	1	69
	3	0	6	12	1	19
	4	0	0	2	6	8
Gesamt		16	58	18	8	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 18: Arteria fibularis: Verteilung aller Qualitätsgrade, MRA (MIP, TWIST), Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Fibularis		MIP2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
MIP1Quali	2	5	18	4	0	27
	3	1	18	15	1	35
	4	0	3	17	18	38
Gesamt		6	39	36	19	100

Fibularis		TWIST2Quali				Gesamt
		1	2	3	4	
TWIST1Quali	1	2	2	0	0	4
	2	14	51	3	1	69
	3	0	6	11	1	18
	4	0	0	2	7	9
Gesamt		16	59	16	9	100

1 – sehr gut, 2 – gut, 3 – verwendbar, 4 – nicht beurteilbar

Tab. 19: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten"/„klinisch relevanten Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2 aller Gefäße

		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	114	65	179
	1	34	187	221
Gesamt		148	252	400

		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	101	42	143
	1	20	237	257
Gesamt		121	279	400

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa: 0,491 0,651

Tab. 20: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten"/„klinisch relevanten Stenosegrade der Qualität „sehr gut" und „gut", MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2 aller Gefäße

		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	27	6	33
	1	3	55	58
Gesamt		30	61	91

		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	75	17	92
	1	5	161	166
Gesamt		80	178	258

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa: 0,782 0,809

Tab. 21: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“, MRA (MIP, TWIST) aller Gefäße

		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	88	17	105
	1	25	12	37
Gesamt		113	29	142

		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	77	16	93
	1	19	30	49
Gesamt		96	46	142

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,280 0,736

Tab. 22: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“, MRA (MIP, TWIST) aller Gefäße

		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	41	13	54
	1	75	129	204
Gesamt		116	142	258

		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	12	30	42
	1	60	156	216
Gesamt		72	186	258

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,000 0,002

Tab. 23: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) aller Gefäße

		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	19	4	23
	1	1	4	5
Gesamt		20	8	28

		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	30	3	33
	1	3	9	12
Gesamt		33	12	45

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,375 1,000

Tab. 24: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) aller Gefäße

		MIP1		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	5	0	5
	1	4	27	31
Gesamt		9	27	36

		MIP2		
		0	1	Gesamt
TWIST2	0	5	2	7
	1	3	56	59
Gesamt		8	58	66

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test		
exakte Signifikanz:	0,125	1,000

Tab. 25: Truncus tibiofibularis: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Truncus		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP1	0	26	20	46
	1	32	22	54
Gesamt		58	42	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,524	KI: 0,377 - 0,666
Spezifität	0,448	KI: 0,328 - 0,576
Pos. präd. Wert	0,407	KI: 0,287 - 0,540
Neg. präd. Wert	0,565	KI: 0,423 - 0,698
Positiver LQ	0,949	KI: 0,656 - 1,375
Negativer LQ	1,062	KI: 0,693 - 1,628

Truncus		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP2	0	33	12	45
	1	25	30	55
Gesamt		58	42	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,714	KI: 0,564 - 0,828
Spezifität	0,569	KI: 0,441 - 0,688
Pos. präd. Wert	0,546	KI: 0,415 - 0,670
Neg. präd. Wert	0,733	KI: 0,590 - 0,840
Positiver LQ	1,657	KI: 1,165 - 2,357
Negativer LQ	0,502	KI: 0,296 - 0,851

Truncus		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	37	11	48
	1	21	31	52
Gesamt		58	42	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,738	KI: 0,589 – 0,847
Spezifität	0,638	KI: 0,509 - 0,750
Pos. präd. Wert	0,596	KI: 0,461 - 0,718
Neg. präd. Wert	0,771	KI: 0,635 - 0,867
Positiver LQ	2,039	KI: 1,385 - 2,999
Negativer LQ	0,411	KI: 0,238 - 0,707

Truncus		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	31	10	41
	1	27	32	59
Gesamt		58	42	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,762	KI: 0,615 - 0,865
Spezifität	0,535	KI: 0,408 - 0,657
Pos. präd. Wert	0,542	KI: 0,417 - 0,663
Neg. präd. Wert	0,756	KI: 0,607 - 0,862
Positiver LQ	1,637	KI: 1,614 - 3,734
Negativer LQ	0,445	KI: 0,246 - 0,805

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 26: Truncus tibiofibularis: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Truncus		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	11	2	13
	1	7	8	15
Gesamt		18	10	28

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,800	KI: 0,409 – 0,943
Spezifität	0,611	KI: 0,386 – 0,797
Pos. präd. Wert	0,533	KI: 0,301 – 0,752
Neg. präd. Wert	0,846	KI: 0,578 – 0,957
Positiver LQ	2,057	KI: 1,067 – 3,967
Negativer LQ	0,327	KI: 0,090 – 1,193

Truncus		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP2	0	19	2	21
	1	13	15	28
Gesamt		32	17	49

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,882	KI: 0,657 – 0,967
Spezifität	0,594	KI: 0,423 – 0,745
Pos. präd. Wert	0,536	KI: 0,358 – 0,705
Neg. präd. Wert	0,905	KI: 0,712 – 0,974
Positiver LQ	2,172	KI: 1,380 – 3,418
Negativer LQ	0,198	KI: 0,052 – 0,751

Truncus		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	30	1	31
	1	11	23	34
Gesamt		41	24	65

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,958	KI: 0,798 – 0,993
Spezifität	0,732	KI: 0,581 – 0,843
Pos. präd. Wert	0,677	KI: 0,508 – 0,809
Neg. präd. Wert	0,986	KI: 0,838 – 0,994
Positiver LQ	3,572	KI: 2,140 – 5,962
Negativer LQ	0,057	KI: 0,008 – 0,391

Truncus		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	28	2	30
	1	13	26	39
Gesamt		41	28	69

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,929	KI: 0,774 – 0,980
Spezifität	0,683	KI: 0,530 – 0,804
Pos. präd. Wert	0,667	KI: 0,510 – 0,794
Neg. präd. Wert	0,933	KI: 0,787 – 0,982
Positiver LQ	2,929	KI: 1,847 – 4,643
Negativer LQ	0,105	KI: 0,027 – 0,400

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 27: Truncus tibiofibularis: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	47	19	66
	1	4	30	34
Gesamt		51	49	100

Truncus		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	44	12	56
	1	6	38	44
Gesamt		50	50	100

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,537	0,640

Tab. 28: Truncus tibiofibularis: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	8	2	10
	1	0	13	13
Gesamt		8	15	23

Truncus		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	25	3	28
	1	1	28	29
Gesamt		26	31	57

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,819	0,859

Tab. 29: Truncus tibiofibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“, MRA (MIP, TWIST)

Truncus		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	41	4	45
	1	5	8	13
Gesamt		46	12	58

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	34	6	40
	1	5	13	18
Gesamt		39	19	58

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test exakte Signifikanz:	1,000	1,000

Tab. 30: Truncus tibiofibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“, MRA (MIP, TWIST)

Truncus		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	7	4	11
	1	13	18	31
Gesamt		20	22	42

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	2	8	10
	1	10	22	32
Gesamt		12	30	42

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,049 0,815

Tab. 31: Truncus tibiofibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

Truncus		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	10	1	11
	1	1	6	7
Gesamt		11	7	18

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	13	1	14
	1	2	8	10
Gesamt		15	9	24

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 1,000 1,000

Tab. 32: Truncus tibiofibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

Truncus		MIP1		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	0	0	0
	1	1	5	6
Gesamt		1	5	6

Truncus		MIP2		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	1	0	1
	1	1	10	11
Gesamt		2	10	12

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: / 1,000

Tab. 33: Arteria tibialis anterior: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Anterior		DSA 0	DSA 1	Gesamt
MIP1	0	5	38	43
	1	15	42	57
Gesamt		20	80	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,525	KI: 0,417 - 0,631
Spezifität	0,250	KI: 0,112 - 0,469
Pos. präd. Wert	0,737	KI: 0,610 - 0,834
Neg. präd. Wert	0,116	KI: 0,051 - 0,245
Positiver LQ	0,700	KI: 0,504 - 0,972
Negativer LQ	1,900	KI: 0,859 - 4,200

Anterior		DSA 0	DSA 1	Gesamt
MIP2	0	12	22	34
	1	8	58	66
Gesamt		20	80	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,725	KI: 0,619 - 0,811
Spezifität	0,600	KI: 0,387 - 0,781
Pos. präd. Wert	0,879	KI: 0,779 - 0,937
Neg. präd. Wert	0,353	KI: 0,215 - 0,521
Positiver LQ	1,813	KI: 1,042 - 3,152
Negativer LQ	0,458	KI: 0,277 - 0,759

Anterior		DSA 0	DSA 1	Gesamt
TWIST1	0	14	17	31
	1	6	63	69
Gesamt		20	80	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,78	KI: 0,686 - 0,863
Spezifität	0,700	KI: 0,481 - 0,855
Pos. präd. Wert	0,913	KI: 0,823 - 0,960
Neg. präd. Wert	0,452	KI: 0,292 - 0,622
Positiver LQ	2,625	KI: 1,331 - 5,177
Negativer LQ	0,304	KI: 0,182 - 0,506

Anterior		DSA 0	DSA 1	Gesamt
TWIST2	0	15	12	27
	1	5	68	73
Gesamt		20	80	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,850	KI: 0,756 - 0,912
Spezifität	0,750	KI: 0,531 - 0,888
Pos. präd. Wert	0,932	KI: 0,850 - 0,970
Neg. präd. Wert	0,556	KI: 0,373 - 0,724
Positiver LQ	3,400	KI: 1,583 - 7,304
Negativer LQ	0,200	KI: 0,112 - 0,357

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 34: Arteria tibialis anterior: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Anterior		DSA 0	DSA 1	Gesamt
MIP1	0	5	4	9
	1	1	17	18
Gesamt		6	21	27

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,810	KI: 0,600 – 0,923
Spezifität	0,833	KI: 0,437 – 0,970
Pos. präd. Wert	0,944	KI: 0,742 – 0,990
Neg. präd. Wert	0,556	KI: 0,267 – 0,811
Positiver LQ	4,857	KI: 0,802 – 29,419
Negativer LQ	0,229	KI: 0,088 – 0,592

Anterior		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP2	0	9	6	15
	1	1	32	33
Gesamt		10	38	48

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,842	KI: 0,696 – 0,926
Spezifität	0,900	KI: 0,596 – 0,982
Pos. präd. Wert	0,970	KI: 0,847 – 0,995
Neg. präd. Wert	0,600	KI: 0,358 – 0,802
Positiver LQ	8,421	KI: 1,305 – 54,337
Negativer LQ	0,175	KI: 0,082 – 0,376

Anterior		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	13	6	19
	1	2	47	49
		15	53	68

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,887	KI: 0,774 – 0,947
Spezifität	0,867	KI: 0,621 – 0,963
Pos. präd. Wert	0,959	KI: 0,863 – 0,989
Neg. präd. Wert	0,684	KI: 0,460 – 0,846
Positiver LQ	6,651	KI: 1,824 –24,253
Negativer LQ	0,131	KI: 0,060 – 0,285

Anterior		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST2	0	12	5	17
	1	3	53	56
Gesamt		15	58	73

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,914	KI: 0,814 – 0,963
Spezifität	0,800	KI: 0,548 – 0,930
Pos. präd. Wert	0,946	KI: 0,854 – 0,982
Neg. präd. Wert	0,701	KI: 0,469 – 0,867
Positiver LQ	4,569	KI: 1,655 – 12,610
Negativer LQ	0,108	KI: 0,045 – 0,259

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 35: Arteria tibialis anterior: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Anterior		MIP2		
		0	1	Gesamt
MIP1	0	29	20	49
	1	8	43	51
Gesamt		37	63	100

Anterior		TWIST2		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	24	10	34
	1	4	62	66
Gesamt		28	72	100

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,437	0,674

Tab. 36: Arteria tibialis anterior: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

		MIP2		
Anterior		0	1	Gesamt
MIP1	0	7	1	8
	1	1	13	14
Gesamt		8	14	22

		TWIST2		
Anterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	16	3	19
	1	1	44	45
Gesamt		17	47	64

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,804	0,846

Tab. 37: Arteria tibialis anterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“, MRA (MIP, TWIST)

Anterior	MIP1		Gesamt
	0	1	
TWIST1 0	10	6	16
1	3	1	4
Gesamt	13	7	20

Anterior	MIP2		Gesamt
	0	1	
TWIST2 0	14	2	16
1	1	3	4
Gesamt	15	5	20

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test exakte Signifikanz:	0,508	1,000

Tab. 38: Arteria tibialis anterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“, MRA (MIP, TWIST)

Anterior	MIP1		Gesamt
	0	1	
TWIST1 0	12	6	18
1	24	38	62
Gesamt	36	44	80

Anterior	MIP2		Gesamt
	0	1	
TWIST2 0	4	8	12
1	18	50	68
Gesamt	22	58	80

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test exakte Signifikanz:	0,001	0,076

Tab. 39: Arteria tibialis anterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Anterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	0	0	0
	1	5	1	6
Gesamt		5	1	6

		MIP2		
Anterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	0	0	0
	1	8	1	9
Gesamt		8	1	9

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: / /

Tab. 40: Arteria tibialis anterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Anterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	2	0	2
	1	2	15	17
Gesamt		4	15	19

		MIP2		
Anterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	2	1	3
	1	4	22	26
Gesamt		6	23	29

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,500 0,375

Tab. 41: Arteria tibialis posterior: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP1	0	12	29	41
	1	12	47	59
Gesamt		24	76	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,618	KI: 0,506 - 0,719
Spezifität	0,500	KI: 0,314 - 0,686
Pos. präd. Wert	0,797	KI: 0,677 - 0,880
Neg. präd. Wert	0,293	KI: 0,176 - 0,445
Positiver LQ	1,237	KI: 0,799 - 1,915
Negativer LQ	0,763	KI: 0,467 - 1,248

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP2	0	13	21	34
	1	11	55	66
Gesamt		24	76	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,724	KI: 0,614 - 0,812
Spezifität	0,542	KI: 0,351 - 0,721
Pos. präd. Wert	0,833	KI: 0,726 - 0,904
Neg. präd. Wert	0,382	KI: 0,239 - 0,550
Positiver LQ	1,579	KI: 1,000 - 2,493
Negativer LQ	0,510	KI: 0,304 - 0,

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	17	10	27
	1	7	66	73
Gesamt		24	76	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,868	KI: 0,775 - 0,927
Spezifität	0,708	KI: 0,508 - 0,851
Pos. präd. Wert	0,904	KI: 0,815 - 0,953
Neg. präd. Wert	0,630	KI: 0,442 - 0,785
Positiver LQ	2,977	KI: 1,586 - 5,588
Negativer LQ	0,186	KI: 0,099 - 0,3

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST2	0	15	11	26
	1	9	65	74
Gesamt		24	76	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,855	KI: 0,759 - 0,917
Spezifität	0,625	KI: 0,427 - 0,788
Pos. präd. Wert	0,878	KI: 0,785 - 0,935
Neg. präd. Wert	0,577	KI: 0,390 - 0,745
Positiver LQ	2,281	KI: 1,350 - 3,854
Negativer LQ	0,232	KI: 0,124 - 0,434

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 42: Arteria tibialis posterior: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP1	0	4	2	6
	1	0	21	21
Gesamt		4	23	27

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,913	KI: 0,732 – 0,976
Spezifität	1,000	KI: 0,510 – 1,000
Pos. präd. Wert	1,000	KI: 0,845 – 1,000
Neg. präd. Wert	0,667	KI: 0,300 - 0,903
Positiver LQ	∞	
Negativer LQ	0,087	KI: 0,023 – 0,327

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP2	0	7	5	12
	1	0	35	35
Gesamt		7	40	47

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,880	KI: 0,740 – 0,945
Spezifität	1,000	KI: 0,646 – 1,000
Pos. präd. Wert	1,000	KI: 0,901 – 1,000
Neg. präd. Wert	0,583	KI: 0,320 – 0,807
Positiver LQ	∞	
Negativer LQ	0,125	KI: 0,055 – 0,284

Posterior		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	15	3	18
	1	4	51	55
Gesamt		19	54	73

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,944	KI: 0,849 – 0,981
Spezifität	0,790	KI: 0,567 – 0,915
Pos. präd. Wert	0,927	KI: 0,827 – 0,971
Neg. präd. Wert	0,833	KI: 0,608 – 0,942
Positiver LQ	4,486	KI: 1,874 – 10,742
Negativer LQ	0,070	KI: 0,023 – 0,217

Posterior		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	14	2	16
	1	5	53	58
Gesamt		19	55	74

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,964	KI: 0,877 – 0,990
Spezifität	0,737	KI: 0,512 – 0,882
Pos. präd. Wert	0,914	KI: 0,814 – 0,963
Neg. präd. Wert	0,875	KI: 0,640 – 0,965
Positiver LQ	3,662	KI: 1,723 – 7,784
Negativer LQ	0,049	KI: 0,012 – 0,190

Tab. 43: Arteria tibialis posterior: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Posterior		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	35	15	50
	1	4	46	50
Gesamt		39	61	100

Posterior		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	23	5	28
	1	3	69	72
Gesamt		26	74	100

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,620	0,797

Tab. 44: Arteria tibialis posterior: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

Posterior		MIP2		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	4	0	4
	1	1	18	19
Gesamt		5	18	23

Posterior		TWIST2		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	15	2	17
	1	1	50	51
Gesamt		16	52	68

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,862	0,880

Tab. 45: Arteria tibialis posterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	15	3	18
	1	6	0	6
Gesamt		21	3	24

		MIP2		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	14	1	15
	1	5	4	9
Gesamt		19	5	24

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,508 0,219

Tab. 46: Arteria tibialis posterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	9	1	10
	1	20	46	66
Gesamt		29	47	76

		MIP2		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	3	8	11
	1	17	48	65
Gesamt		20	56	76

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,000 0,108

Tab. 47: Arteria tibialis posterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	4	0	4
	1	0	0	0
Gesamt		4	0	4

		MIP2		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	7	0	7
	1	0	0	0
Gesamt		7	0	7

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: / /

Tab. 48: Arteria tibialis posterior: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST1	0	1	0	1
	1	1	19	20
Gesamt		2	19	21

		MIP2		
Posterior		0	1	Gesamt
TWIST2	0	2	0	2
	1	3	27	30
Gesamt		5	27	32

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test		
exakte Signifikanz:	1,000	0,250

Tab. 49: Arteria fibularis: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Fibularis		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP1	0	18	31	49
	1	22	29	51
Gesamt		40	60	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,483	KI: 0,362 - 0,607
Spezifität	0,450	KI: 0,307 - 0,602
Pos. präd. Wert	0,569	KI: 0,433 - 0,695
Neg. präd. Wert	0,367	KI: 0,247 - 0,507
Positiver LQ	0,879	KI: 0,599 - 1,289
Negativer LQ	1,148	KI: 0,754 - 1,749

Fibularis		DSA		
		0	1	Gesamt
MIP2	0	17	18	35
	1	23	42	65
Gesamt		40	60	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,646	KI: 0,525 - 0,751
Spezifität	0,486	KI: 0,330 - 0,644
Pos. präd. Wert	0,712	KI: 0,586 - 0,812
Neg. präd. Wert	0,561	KI: 0,410 - 0,701
Positiver LQ	1,217	KI: 0,890 - 1,666
Negativer LQ	0,706	KI: 0,416 - 1,197

Fibularis		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST1	0	22	15	37
	1	18	45	63
Gesamt		40	60	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,750	KI: 0,628 - 0,842
Spezifität	0,550	KI: 0,398 - 0,693
Pos. präd. Wert	0,714	KI: 0,593 - 0,811
Neg. präd. Wert	0,595	KI: 0,435 - 0,737
Positiver LQ	1,667	KI: 1,148 - 2,410
Negativer LQ	0,455	KI: 0,270 - 0,765

Fibularis		DSA		
		0	1	Gesamt
TWIST2	0	18	9	27
	1	22	51	73
Gesamt		40	60	100

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,850	KI: 0,739 - 0,919
Spezifität	0,450	KI: 0,307 - 0,602
Pos. präd. Wert	0,699	KI: 0,586 - 0,792
Neg. präd. Wert	0,667	KI: 0,478 - 0,814
Positiver LQ	1,545	KI: 1,145 - 2,086
Negativer LQ	0,333	KI: 0,167 - 0,667

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 50: Arteria fibularis: Statistik und Verteilung der „klinisch nicht relevanten“/ „klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) vs. DSA

Fibularis		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP1	0	9	5	14
	1	2	11	13
Gesamt		11	16	27

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,688	KI: 0,444 – 0,858
Spezifität	0,818	KI: 0,523 – 0,949
Pos. präd. Wert	0,846	KI: 0,578 – 0,957
Neg. präd. Wert	0,643	KI: 0,388 – 0,837
Positiver LQ	3,781	KI: 1,034 – 13,825
Negativer LQ	0,382	KI: 0,175 – 0,832

Fibularis		DSA		Gesamt
		0	1	
MIP2	0	12	2	14
	1	7	24	31
Gesamt		19	26	45

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,923	KI: 0,759 – 0,979
Spezifität	0,632	KI: 0,410 – 0,809
Pos. präd. Wert	0,774	KI: 0,602 – 0,886
Neg. präd. Wert	0,857	KI: 0,601 – 0,960
Positiver LQ	2,505	KI: 1,376 – 4,561
Negativer LQ	0,122	KI: 0,031 – 0,482

Fibularis		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST1	0	21	9	30
	1	9	34	43
Gesamt		30	43	73

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,791	KI: 0,648 – 0,886
Spezifität	0,700	KI: 0,521 – 0,833
Pos. präd. Wert	0,791	KI: 0,521 – 0,833
Neg. präd. Wert	0,700	KI: 0,648 – 0,886
Positiver LQ	2,636	KI: 1,494 – 4,650
Negativer LQ	0,299	KI: 0,100 – 0,559

Fibularis		DSA		Gesamt
		0	1	
TWIST2	0	17	4	21
	1	13	41	54
Gesamt		30	45	75

Konfidenzintervall (KI): 95 %		
Sensitivität	0,991	KI: 0,793 – 0,965
Spezifität	0,567	KI: 0,392 – 0,726
Pos. präd. Wert	0,760	KI: 0,631 – 0,854
Neg. präd. Wert	0,810	KI: 0,600 – 0,923
Positiver LQ	2,103	KI: 1,383 – 3,198
Negativer LQ	0,157	KI: 0,058 – 0,421

0 – klinisch nicht relevant erkrankt,
1 – klinisch relevant erkrankt

Tab. 51: Arteria fibularis: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
MIP1	0	38	26	64
	1	3	33	36
Gesamt		41	59	100

		TWIST2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	27	14	41
	1	4	55	59
Gesamt		31	69	100

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,448	0,614

Tab. 52: Arteria fibularis: Verteilung und Cohen´s Kappa der „klinisch nicht relevanten“/„klinisch relevanten“ Stenosegrade der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST) Auswerter 1 vs. Auswerter 2

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
MIP1	0	8	3	11
	1	1	11	12
Gesamt		9	14	23

		TWIST2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	19	9	28
	1	2	39	41
Gesamt		21	48	69

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 – klinisch relevant erkrankt

Kappa:	0,649	0,656

Tab. 53: Arteria fibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	22	4	26
	1	11	3	14
Gesamt		33	19	40

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST2	0	15	7	22
	1	8	10	18
Gesamt		23	17	40

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test exakte Signifikanz:	0,118	1,000

Tab. 54: Arteria fibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	13	2	15
	1	18	27	45
Gesamt		31	29	60

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST2	0	3	6	9
	1	15	36	51
Gesamt		18	42	60

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 0,000 0,078

Tab. 55: Arteria fibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „gesund“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	8	1	9
	1	1	0	1
Gesamt		9	1	10

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST2	0	9	3	12
	1	1	3	4
Gesamt		10	6	16

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 1,000 0,625

Tab. 56: Arteria fibularis: Verteilung und McNemar-Test für Merkmal „krank“ der Qualität „sehr gut“ und „gut“, MRA (MIP, TWIST)

		MIP1		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST1	0	4	0	4
	1	1	10	11
Gesamt		5	10	15

		MIP2		
Fibularis		0	1	Gesamt
TWIST2	0	1	1	2
	1	1	20	21
Gesamt		2	21	23

0 – klinisch nicht relevant erkrankt, 1 - klinisch relevant erkrankt

McNemar-Test
exakte Signifikanz: 1,000 1,000

MRT MIP □
TWIST □
DSA □

Geb.-Datum

Untersuchungs-Datum

Beurteiler

Lfd. Nr.:
PID:
Beurteilungsdatum:

Rechts	Stenose	singulär/multipel	Artef. I	Artef. II	Quali	dargestellt
Truncus tibiofibularis						
Arteria tibialis anterior						
Arteria tibialis posterior						
Arteria fibularis						

Links	Stenose	singulär/multipel	Artef. I	Artef. II	Quali	dargestellt
Truncus tibiofibularis						
Arteria tibialis anterior						
Arteria tibialis posterior						
Arteria fibularis						

Bemerkungen:

Legende:

Stenose	keine	1
	< 50 %	2
	51 - 70 %	3
	71 - 99 %	4
	100%	5
singulär/multipel	singulär	S
	multipel	M
Artefakt I	keine	1
	nicht beeinflussend	2
	beeinflussend	3

Artefakte II	Bewegung	b
	suboptimale Kontrastierung	c
	venöse Kontamination	k
	Verkalkung	v
Qualität	sehr gut	4
	gut	3
	verwendbar	2
	nicht beurteilbar	99
dargestellt	nein	0
	ja	1

9 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren:

Adamkiewicz, Bartsch, Basler, Baum, Becker, Becker, Behr, Bein, Berger, Bien, Cubayko, Daut, Dettmeyer, Eilers, Engenhart-Cabillic, Feuser, Fuchs-Winkelmann, Gress, Grzeschik, Hertl, Hofmann, Hoyer, Kircher, Klose, Kolb-Niemann, Koolman, Lill, Lohoff, Maier, Maisch, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Nimsky, Oertel, Opitz, Pagenstecher, Plant, Renz, Richter, Ruchholtz, Sahmland, Schäfer, Schmidt, Sekundo, Vogelmeier, Wagner, Weihe, Werner, Wulf, Zovko

10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Danken:

Herrn Prof. Dr. Dr. Heverhagen für die Bereitstellung des Themas, die Auswertung des Bildmaterials, die Hilfestellung bei Fragen und die immer konstruktive Kritik und Korrektur der Arbeit.

Herrn Dr. Burbelko für seine Hilfe bei Fragen und für die Auswertung des Bildmaterials.

Meinem Verlobten Marcus und meiner Freundin Lena für die Hilfe bei der Korrektur hin zur fertigen Arbeit. Besonders danken möchte ich meinem guten Freund Matthias für die Unterstützung in softwaretechnischen Fragen und die anschließende Hilfe bei der Umsetzung.

Letztlich möchte ich auch meinen Eltern und meinem Onkel danken, ohne die mein Studium und damit auch diese Arbeit nicht möglich gewesen wären.