

Aus dem Akademischen Lehrkrankenhaus der Universität Ulm
Klinik am Eichert Göppingen
Zentrum für Innere Medizin
Klinik für Kardiologie und Internistische Gefäßmedizin

**Vaskuläre Komplikationen nach radialem Zugang für
die Herzkatheteruntersuchung**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Ruhnau, Carl Johannes

2019

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. S. Schröder

2. Berichterstatter: Professor Dr. O. Borst

Tag der Disputation: 26.06.2019

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung und wissenschaftliche Fragestellung	1
1.1 Hintergrund – Entwicklung des radialen Zugangs für Herzkathetereingriffe und Komplikationen im Vergleich zum femoralen Zugang	1
1.2 Anatomie der A. radialis	6
1.3 Pathogenese des Verschlusses der A. radialis nach Herzkathetereingriff	9
1.4 Häufigkeit des Verschlusses der A. radialis nach Herzkathetereingriff ...	10
1.5 Therapieoptionen bei einem Verschluss der A. radialis	11
1.6 Wissenschaftliche Fragestellung.....	12
2 Methodik und Patientenkollektiv	13
2.1 Studienprotokoll und –ablauf.....	13
2.2 Patientenkollektiv	13
2.3 Rekrutierung.....	14
2.4 Ablauf der Nachuntersuchung und erhobene Daten	14
2.5 Definitionen der Komplikationen.....	18
2.6 Statistische Auswertung.....	19
2.7 Ablauf eines Herzkathetereingriffs über die A. radialis an der Klinik am Eichert Göppingen	20
2.8 Ultraschall: B-Bild, Doppler- und Duplexsonografie	21
3 Ergebnisse	28
3.1 Rekrutierung und Charakteristika des gesamten Patientenkollektivs	28
3.2 Arten und Häufigkeiten von Komplikationen	35
3.3 Risikofaktoren für vaskuläre Komplikationen gesamt.....	42
3.4 Verschluss der A. radialis.....	48
3.4.1 Verschluss der A. radialis: Symptomatik – Häufigkeit und Art	48

3.4.2 Wertigkeit der klinischen Untersuchung.....	49
3.4.3 Risikofaktoren für das Auftreten eines Verschlusses der A. radialis .	49
3.4.4 Verschluss der A. radialis im Zeitverlauf	53
3.4.5 Effektivität der Antikoagulation bei Verschluss der A. radialis.....	54
3.5 Todesursachen der verstorbenen Patienten	55
4 Diskussion	57
4.1 Vaskuläre Komplikationen ohne Verschluss	57
4.2 Verschluss der A. radialis.....	58
4.2.1 Prävalenz und Zeitpunkt des Auftretens von Verschlüssen der A. radialis nach Herzkathetereingriff	58
4.2.2 Prävalenz von Verschlüssen der A. radialis im Vergleich zu anderen Arbeiten, Rolle von Spontanrekanalisationen	59
4.2.3 Häufigkeit von Verschlüssen der A. radialis im Halbjahresvergleich.	61
4.2.4 Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis.....	62
4.3 Stenosierungen der A. radialis	63
4.4 AV-Fistel	63
4.5 Schwerwiegende Komplikationen	64
4.6 Antikoagulation zur Therapie des Verschlusses der A. radialis.....	65
4.7 Limitationen.....	66
4.8 Ausblick: Strategien zur Vermeidung von vaskulären Komplikationen bzw. des Verschlusses der A. radialis	67
4.9 Schlussfolgerung.....	69
5 Zusammenfassung.....	70
6 Anhang.....	72
7 Literaturverzeichnis	75
8 Erklärung zum Eigenanteil.....	87
9 Publikationen.....	88
10 Danksagung	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie der Arterien der rechten oberen Gliedmaße.....	7
Abbildung 2: Anatomie der Arterien des rechten Unterarms.....	8
Abbildung 3: Anatomie der Arterien der rechten Hand.....	9
Abbildung 4: Sonografische Darstellung der A. radialis auf Höhe der Handwurzel in der Tabatière.....	16
Abbildung 5: B-Mode-Bild einer normalen A. radialis.....	23
Abbildung 6: Normale A. radialis, farbcodierte Duplexsonografie.....	26
Abbildung 7: Normale A. radialis, Duplexsonografie.....	27
Abbildung 8: Verteilung der über die A. radialis durchgeführten und versuchten Prozeduren im Einschlusszeitraum.....	28
Abbildung 9: Ablauf der Patientenrekrutierung.....	30
Abbildung 10: Verteilung der Zeitintervalle zwischen Herzkathetereingriff und Duplexsonografie der A. radialis.....	31
Abbildung 11: Altersverteilung der Teilnehmer.....	33
Abbildung 12: Verteilung der Zeit, die die Schleuse in der A. radialis lag.....	33
Abbildung 13: Histogramm der Heparindosen.....	34
Abbildung 14: Verschluss der distalen A. radialis, B-Bild.....	36
Abbildung 15: Verschluss der A. radialis mit Kollateralisierung.....	36
Abbildung 16: Verschluss der A. radialis.....	37
Abbildung 17: Fokale Stenosierung der A. radialis.....	38
Abbildung 18: Diffuse Stenosierung der A. radialis.....	38
Abbildung 19: Stenose der A. axillaris.....	39
Abbildung 20: Poststenotischer Fluss in der A. radialis bei vorgeschalteter Stenose der A. axillaris.....	39
Abbildung 21: Arteriovenöse Fistel von der proximalen A. radialis ausgehend.....	40
Abbildung 22: Häufigkeiten der Komplikationen.....	41
Abbildung 23: Schematische Darstellung der statistischen Analyse.....	42
Abbildung 24: Vergleich der Prävalenz für die in der univariaten Datenanalyse signifikanten kategorialen Risikofaktoren für vaskuläre Komplikationen insgesamt.....	45

Abbildung 25: Vergleich der Körpergröße in cm bei den Gruppen mit und ohne vaskuläre Komplikation.	46
Abbildung 26: Odds Ratios für vaskuläre Komplikationen bei univariater logistischer Regression.	47
Abbildung 27: Odds Ratios für vaskuläre Komplikationen im Modell der multivariaten logistischen Regression.	47
Abbildung 28: Anteil der Diabetiker in den Patientengruppen ohne und mit Verschluss der A. radialis.	51
Abbildung 29: Odds Ratios für den Verschluss der A. radialis bei univariater logistischer Regression	52
Abbildung 30: Odds Ratios für den Verschluss der A. radialis im Modell der multivariaten logistischen Regression.	53
Abbildung 31: Vergleich der beiden Halbjahre des Einschlusszeitraums bezüglich des Verschlusses der A. radialis	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fehlerquellen bei der Duplexsonografie und ihre Behebung	25
Tabelle 2: Basisdaten des Gesamtkollektivs	32
Tabelle 3: Pathologische Gefäßveränderungen.	41
Tabelle 4: Basisdaten der Patientengruppen ohne und mit vaskuläre Komplikationen.....	44
Tabelle 5: Logistische Regression für alle vaskulären Komplikationen	46
Tabelle 6: Von den Patienten mit Verschluss der A. radialis berichtete Symptomatik.....	48
Tabelle 7: Basischarakteristika der Patientengruppen mit und ohne Verschluss der A. radialis.	50
Tabelle 8: Logistische Regression für den Verschluss der A. radialis	52
Tabelle 9: Dauer und Effekt der Antikoagulation bei Verschluss der A. radialis.	55
Tabelle 10: Todeszeitpunkt nach Herzkatheteruntersuchung sowie Todesursache bei den verstorbenen Patienten.	56

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
abs.	absolut
ACCF	American College of Cardiology Foundation
ACT	activated clotting time
AHA	American Heart Association
ASS	Acetylsalicylsäure
AV-Fistel	arteriovenöse Fistel
B (in B-Bild)	brightness
BMI	Body mass index
cm	Zentimeter
ESC	European Society of Cardiology
et al.	et alii (lateinisch für „und andere“)
evtl.	eventuell
F	French (1 French = 1 Charrière = 1/3 Millimeter)
FKDS	farbkodierte Duplexsonografie
G	Gauge
Hb	Hämoglobin
Hz	Hertz
i.a.	intraarteriell
IE	Internationale Einheiten
kg KG	Kilogramm Körpergewicht
M.	Musculus
MACE	major adverse cardiovascular events
MATRIX	Minimizing Adverse Haemorrhagic Events by TRansradial Access Site and Systemic Implementation of angioX
mg	Milligramm
ml	Milliliter
MRT	Magnetresonanztomografie
NMH	niedermolekulares Heparin

NOAC	Nicht-Vitamin-K-Antagonist orales Antikoagulans (englisch: non-vitamin K antagonist oral anticoagulant)
OR	Odds Ratio
PCI	perkutane Koronarintervention (englisch: percutaneous coronary intervention)
PROPHET	Prevention of Radial Artery Occlusion – Patent Hemostasis Evaluation Trial
PROPHET-II	Prophylactic Hyperperfusion Evaluation Trial
pw	pulsed wave
RIFLE-STEACS	Radial Versus Femoral Randomized Investigation in ST-Elevation Acute Coronary Syndrome
S. aureus	Staphylococcus aureus
s.	siehe
s.c.	subkutan
SCAI	Society for Cardiovascular Angiography and Interventions
SD	Standardabweichung
STEMI	ST-elevation myocardial infarction
TIMI	Thrombolysis in Myocardial Infarction
TM	Trade Mark
ULTRA	ULnar artery Transient compression facilitating Radial Artery patent hemostasis
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VIF	Varianzinflationsfaktor
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung und wissenschaftliche Fragestellung

1.1 Hintergrund – Entwicklung des radialen Zugangs für Herzkathetereingriffe und Komplikationen im Vergleich zum femoralen Zugang

Die Darstellung der Herzkranzgefäße über einen perkutan eingeführten Katheter (Koronarangiografie) wird seit 1958 (Erstbeschreibung durch Sones und Shirey [1]) angewandt. Sie ist aktuell der Goldstandard zur Darstellung der epikardialen Koronararterien. Während zunächst auch auf Grund der Großlumigkeit der verwendeten Katheter für den Zugang zum Gefäßsystem eine Arterie freigelegt werden musste (meist die Arteria (A.) brachialis in der Sones-Technik [1]), entwickelten sich bald perkutane Techniken, zumeist über die A. femoralis [2]. Zunächst blieb aber die Sones-Technik der Standard, einen wirklichen Fortschritt in Richtung femoralen Zugang bildeten die Arbeiten von Judkins [3] und Amplatz [4]. Bereits 1953 hatte Seldinger die bis heute verwendete Punktionstechnik beschrieben [5]. Nach der ersten erfolgreichen perkutanen Koronarintervention [6] blieb der femorale Zugang der Standardzugang, der Arm wurde als Standardzugangsweg zunächst weitgehend verlassen.

Der Zugang über die A. femoralis ist jedoch auch nicht risikolos. Als wichtige vaskuläre Komplikationen des femoralen Zugangs sind zu nennen [7,8]:

- Hämatom an der Punktionsstelle (5 - 23%)
- retroperitoneales Hämatom (0,15 – 0,44%)
- Aneurysma spurium (0,5 – 9%)
- arteriovenöse (AV-) Fistel (0,2 – 2,1%)
- arterielle Dissektionen und/oder Verschlüsse (< 0,8%)

Die genannten Häufigkeiten sind einem älteren Review [7] entnommen. In den gemeinsamen Leitlinien der American College of Cardiology Foundation (ACCF),

der American Heart Association (AHA) und der Society for Cardiovascular Angiography and Interventions (SCAI) zur perkutanen Koronarintervention (PCI) von 2011 wird die Häufigkeit der genannten Komplikationen mit 2-6% mit einer Abnahme mit der Zeit angegeben [8]. Diese Abnahme der Häufigkeit konnte auch in einer Single-Center-Längsschnittstudie von Applegate et al. [9] gezeigt werden: hier nahmen die vaskulären Komplikationen in der Zeit von 1998 bis 2007 bei diagnostischen Prozeduren von 1,7% auf 0,2% ab, bei PCIs von 3,1% auf 1,0%. Die Autoren führten diese Abnahme unter anderem auf die erfolgreichere Verwendung von Verschlussystemen sowie kleineren Schleusendurchmessern zurück: die fehlgeschlagene Anwendung eines Verschlussystems (definiert als Notwendigkeit eines femoralen Kompressionssystems („femoral compression device“) trotz Verschlussystem) war mit einer Odds Ratio (OR) von 7,38 einer der stärksten Prädiktoren vaskulärer Komplikationen, wohingegen die erfolgreiche Anwendung eines Verschlussystems mit einer Odds Ratio von 0,65 laut den Autoren der stärkste unabhängige Prädiktor für weniger vaskuläre Komplikationen war. Die Zahl der fehlgeschlagenen Anwendungen nahm in den letzten Jahren der Studie deutlich ab: von maximal 1,6% (2000) auf 0,2% (2007) bei diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen sowie von 6,2% (1998) auf 2,0% (2007) bei PCIs ($p < 0,001$ für den Trend in beiden Gruppen). Schleusen mit einem größeren Durchmesser waren in der multivariaten Analyse ebenfalls mit einer Zunahme von vaskulären Komplikationen assoziiert. Im Verlauf der Studie nahmen die verwendeten Schleusendurchmesser sowohl bei diagnostischen Untersuchungen als auch bei PCIs ab: von den diagnostischen Untersuchungen wurden 1998 lediglich 0,4% mit 4- oder 5-French- (F-) Schleusen durchgeführt, 2007 lag deren Anteil bei 24%. Der Anteil von 6- und 7-F-Schleusen nahm von 99% auf 75% ab, insgesamt $p < 0,001$ für den Trend. In der Gruppe der PCIs nahm die Anwendung von 6- und 7-F-Schleusen von 0,9% im Jahr 1998 auf 90% im Jahr 2007 zu, der Anteil von 8- bis 10-F-Schleusen von 98% auf 10,3% ab, auch hier insgesamt $p < 0,001$ für den Trend. Ab dem Jahr 2003 wurden Schleusen der Größen 9F und 10F nur noch in weniger als 1% der Fälle benutzt. In einer Arbeit von 2014 fand sich eine Rate chirurgisch zu behandelnder

vaskulärer Komplikationen von 1,8% (60% Aneurysmata spuria, 26% Hämatome, 8% Dissektionen, 3% Blutungen und Fremdkörper) [10].

Zwar liegt die Häufigkeit vaskulärer Komplikationen beim femoralen Zugang im niedrigen einstelligen Prozentbereich, dennoch hat ihr Auftreten erhebliche – auch prognostische – Konsequenzen für den Patienten: in einer Metaanalyse von 533 333 PCI-Patienten stellten Kwok et al. [11] fest, dass das Auftreten einer periprozeduralen Majorblutung die Mortalität auf gut das Dreifache erhöhte (OR 3,31 (2,86 bis 3,82)). Bei Verwendung der TIMI- (Thrombolysis in Myocardial Infarction) Definition (1. intrakranielle Blutung ohne Mikroblutungen < 10 mm, die nur in der Magnetresonanztomografie (MRT) mittels Gradientenechosequenzen dargestellt werden können oder 2. Blutungen, die zu einem Abfall des Hämoglobin- (Hb-)Werts um ≥ 5 g/dl führen [12,13]) lag die Odds Ratio für Mortalität oder MACE (major adverse cardiovascular events) sogar bei 5,15 (4,01 bis 6,61) [11]. Dieser prognostisch ungünstige Effekt konnte auch für Blutungen an der Zugangsstelle nachgewiesen werden: Kwok et al. beschrieben ein relatives Risiko für Mortalität von 1,71 (1,37 bis 2,13) [14].

Strategien zur Minimierung der Risiken für Blutungskomplikationen sind daher sinnvoll. Die aus heutiger Sicht wichtigste dieser Strategien ist die Verwendung der A. radialis als Zugangsweg. Für diese konnte eine Reduktion von Blutungen gezeigt werden; ein etwas älteres Review fand eine um 73% niedrigere Rate von Majorblutungen (radial 0,05% versus femoral 2,3%) [15]. Dies konnte in einer Metaanalyse von 2016 bestätigt werden; hier fand sich ein Odds Ratio von 0,53 für Majorblutungen sowie ein Odds Ratio von 0,23 für größere vaskuläre Komplikationen („major vascular complications“, definiert nach jeweiligem Studienprotokoll oder, falls in der jeweiligen Studie nicht genannt, als Hämatom > 5 cm oder Aneurysma spurium) [16].

Die A. radialis wurde erst 1989 als möglicher Zugangsweg für Koronarangiografien entdeckt und beschrieben [17], nachdem eine Aortografie über die A. radialis bereits im Jahre 1948 publiziert worden war [18]. Im Jahre 1993 beschrieben Kiemeneij et al. die erste koronare Stentimplantation über die A. radialis [19].

Der radiale Zugang bietet neben der Reduktion des Blutungsrisikos die folgenden Vorteile (modifiziert nach [20]):

- gegenüber einem Zugang über die A. brachialis geringere Gefahr einer Ischämie durch die doppelte Versorgung der Hand
- es besteht ein geringeres Risiko der Nervenverletzung sowohl gegenüber dem femoralen als auch dem brachialen Zugang
- eine frühzeitigere Mobilisation des Patienten gegenüber dem femoralen Zugang ist möglich.

Zudem ist der radiale Zugang zur Herzkatheteruntersuchung mit einer hohen Patientenzufriedenheit vergesellschaftet (z.B. [21]).

Überdies konnte neben der Reduktion des Blutungsrisikos auch ein Mortalitätsbenefit, vor allem im Zusammenhang mit akuten Koronarsyndromen, gezeigt werden [22–24,16]. Dies hat auch die European Society of Cardiology (ESC) veranlasst, in ihren Leitlinien zum ST-Strecken-Hebungs-Infarkt (STEMI) von 2017 den Zugangsweg über die A. radialis gegenüber dem femoralen Zugang mit einer Klasse-IA-Empfehlung zu versehen, sofern dies von einem radial erfahrenen Untersucher durchgeführt wird [25]. In den Leitlinien der ESC zur Myokardrevaskularisation von 2018 wird der radiale Zugang als Standardzugang sowohl für die Koronarangiografie als auch für die perkutane Koronarintervention empfohlen, sofern keine entgegenstehenden übergeordneten prozeduralen Überlegungen bestehen („[...] unless there are overriding procedural considerations“) [26].

In den letzten Jahren gewann der radiale Zugangsweg dementsprechend zunehmend an Bedeutung: so berichtet Ludman im Nationalen Audit der British Cardiovascular Intervention Society für 2016, dass der Anteil der Herzkatheteruntersuchungen über die A. radialis von 10,2% im Jahre 2004 auf 84,3% im Jahre 2016 stieg [27].

Im Kollektiv der Alb Fils Kliniken, Klinik am Eichert Göppingen, wurden im Jahre 2017 1089 Herzkatheteruntersuchungen an 1030 Patienten von der A. radialis durchgeführt (1070 rechts, 19 links); im Vergleich dazu waren es 2010 nur 218

Untersuchungen an 208 Patienten (208 rechts, 10 links). Die Gesamtzahl an Herzkatheteruntersuchungen war dabei fast gleich (2017: 1547 versus (vs.) 2010: 1587). Somit ist die Quote der in der Klinik am Eichert Göppingen über die A. radialis durchgeführten Herzkatheteruntersuchungen von 13,7% im Jahr 2010 auf 70,4% im Jahr 2017 angestiegen (eigene Daten, Auswertung aus Centricity Cardio Workflow).

Angesichts der zunehmenden Bedeutung des radialen Zugangswegs ist die Frage nach den möglichen Komplikationen wichtig. In einem Review-Artikel [28] werden als Komplikationen an der Zugangsstelle genannt:

- der (asymptomatische) Verschluss der A. radialis (2 - 18%)
- Verletzungen der A. radialis, die nicht zum Verschluss führen („häufig“)
- Handischämien („extrem selten“)
- Spasmen (5 - 10%)
- Perforationen (0,1 - 1%)
- Aneurysmata spuria (< 0,1%)
- AV-Fisteln („extrem selten“)
- Nervenläsionen („extrem selten“)
- Granulome (2,8%)
- Transfusionspflichtige Blutungen (0,15%)

Im zitierten Review werden Dissektionen nicht aufgeführt, Burzotta et al. fanden in einer großen Population (n = 10.676) Dissektionen der A. radialis in 0,04% [29]. Allerdings erfolgte eine Diagnostik mittels Angiografie oder Sonografie nur dann, wenn der klinische Verdacht auf eine vaskuläre Komplikation bestand. Asymptomatische Dissektionen entgingen somit dem Nachweis. Insofern dürfte die tatsächliche Rate an Dissektionen der A. radialis deutlich höher sein.

Als eine weitere sehr seltene, aber potenziell bedrohliche Komplikation kann infolge einer Blutung über ein Unterarmhämatom auch ein Kompartmentsyndrom des Arms entstehen. Die Häufigkeit eines Kompartmentsyndroms wird mit 0,004% [30] bzw. 0,02% [29] und 0,4% (hierbei handelte es sich um einen

Einzelfall) [31] angegeben; es muss in der Regel chirurgisch mittels Fasziotomie behandelt werden [30,32].

Die aufgrund ihrer Häufigkeit wichtigste Komplikation ist der Verschluss der A. radialis. Zum einen kann ein Verschluss der A. radialis die erneute Verwendung des Gefäßes als Zugangsweg für eine Herzkatheteruntersuchung sowie die Verwendbarkeit der A. radialis als Bypassgraft einschränken [33]. Zum anderen wurden Einzelfälle von Ischämien der Hand berichtet [34,35]. Dennoch ist der Verschluss der A. radialis häufig asymptomatisch [36], was auf die doppelte Blutversorgung der Hand über die A. radialis und die A. ulnaris mit ihren Anastomosen über die beiden Hohlhandbögen zurückzuführen ist [28].

1.2 Anatomie der A. radialis

Die A. radialis ist neben der A. ulnaris der zweite Endast der A. brachialis. Im Regelfall teilt sich die A. brachialis in der Ellenbeuge. Nicht selten geht die A. radialis jedoch weiter proximal aus der A. brachialis im Bereich des Oberarms oder sogar aus der A. axillaris ab. Für diese Varianten ermittelten Burzotta et al. eine Rate von 2,9% [37], Karasch et al. berichten von bis zu 10% [38]). Die A. radialis verläuft dann parallel zum Musculus (M.) brachioradialis auf der ventralen Seite des Unterarms. Proximal des Radiokarpalgelenks liegt sie so oberflächlich, dass hier der Puls getastet werden kann [39]. Dies ist auch die übliche Punktionsstelle für den radialen Zugang bei der Herzkatheteruntersuchung [17,40]. Nach distal hin bildet die A. radialis den Hauptast des Arcus palmaris profundus, über den sie mit der A. ulnaris anastomosiert. Die zweite Anastomose mit der A. ulnaris bildet der hauptsächlich aus der A. ulnaris gespeiste Arcus palmaris superficialis. Durch diese beiden Hohlhandbögen wird die Blutversorgung der Hand über zwei Arterien sichergestellt [39].

Einen Überblick über die Anatomie der A. radialis geben die Abbildungen 1 bis 3.

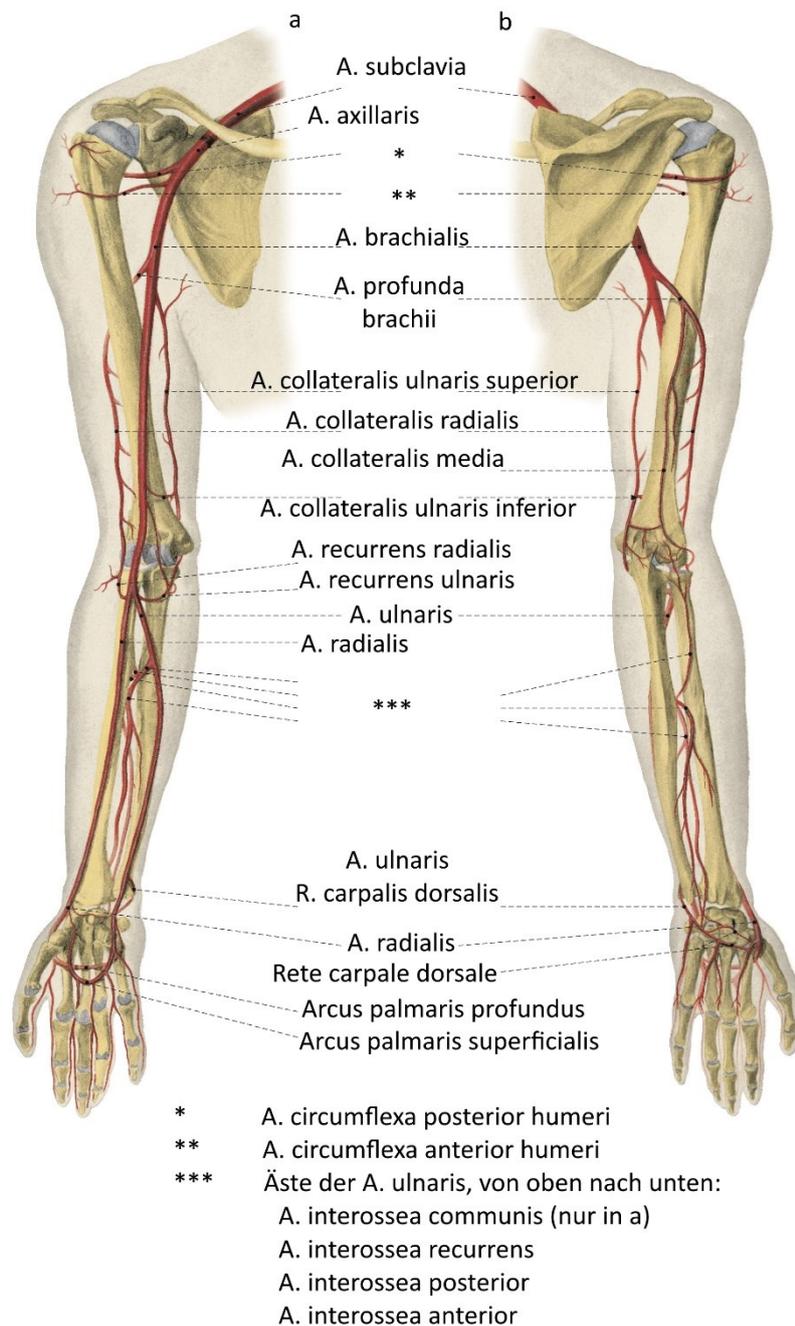


Abbildung 1: Anatomie der Arterien der rechten oberen Gliedmaße, schematische Darstellungen. a Ventralansicht, b Dorsalansicht. Modifizierte Abbildung nach [41]. Mit freundlicher Genehmigung der S. Karger AG, Basel.

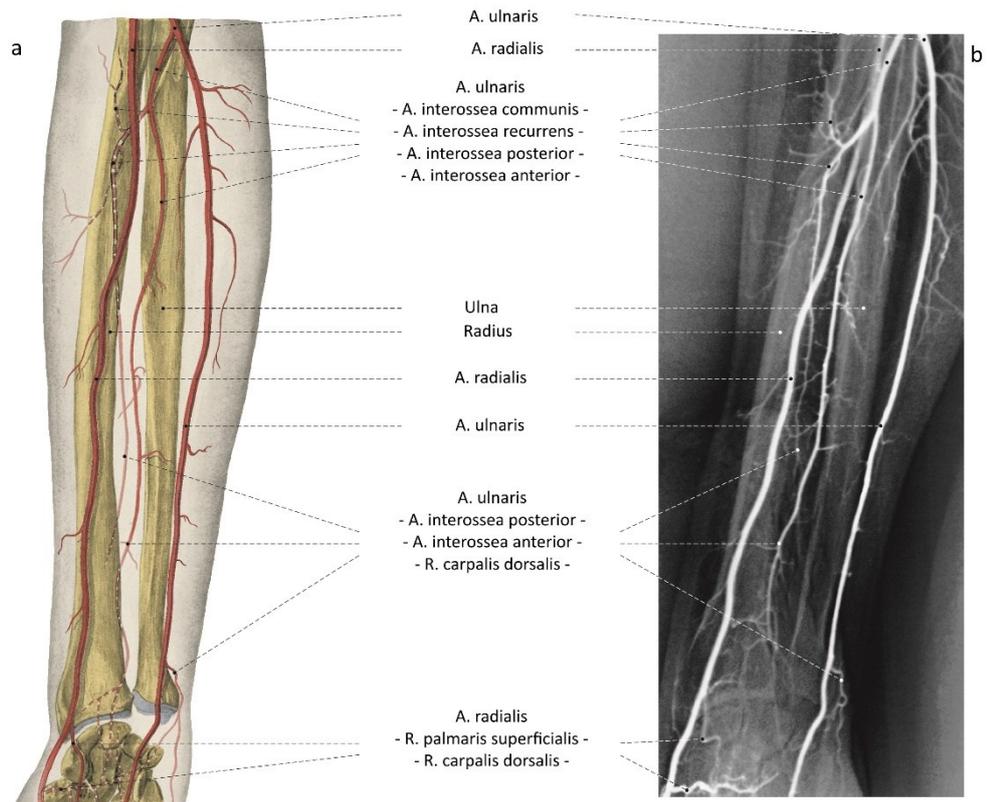


Abbildung 2: Anatomie der Arterien des rechten Unterarms, Ventralansicht. a schematische Darstellung, b Arteriogramm. Modifizierte Abbildung nach [41]. Mit freundlicher Genehmigung der S. Karger AG, Basel.

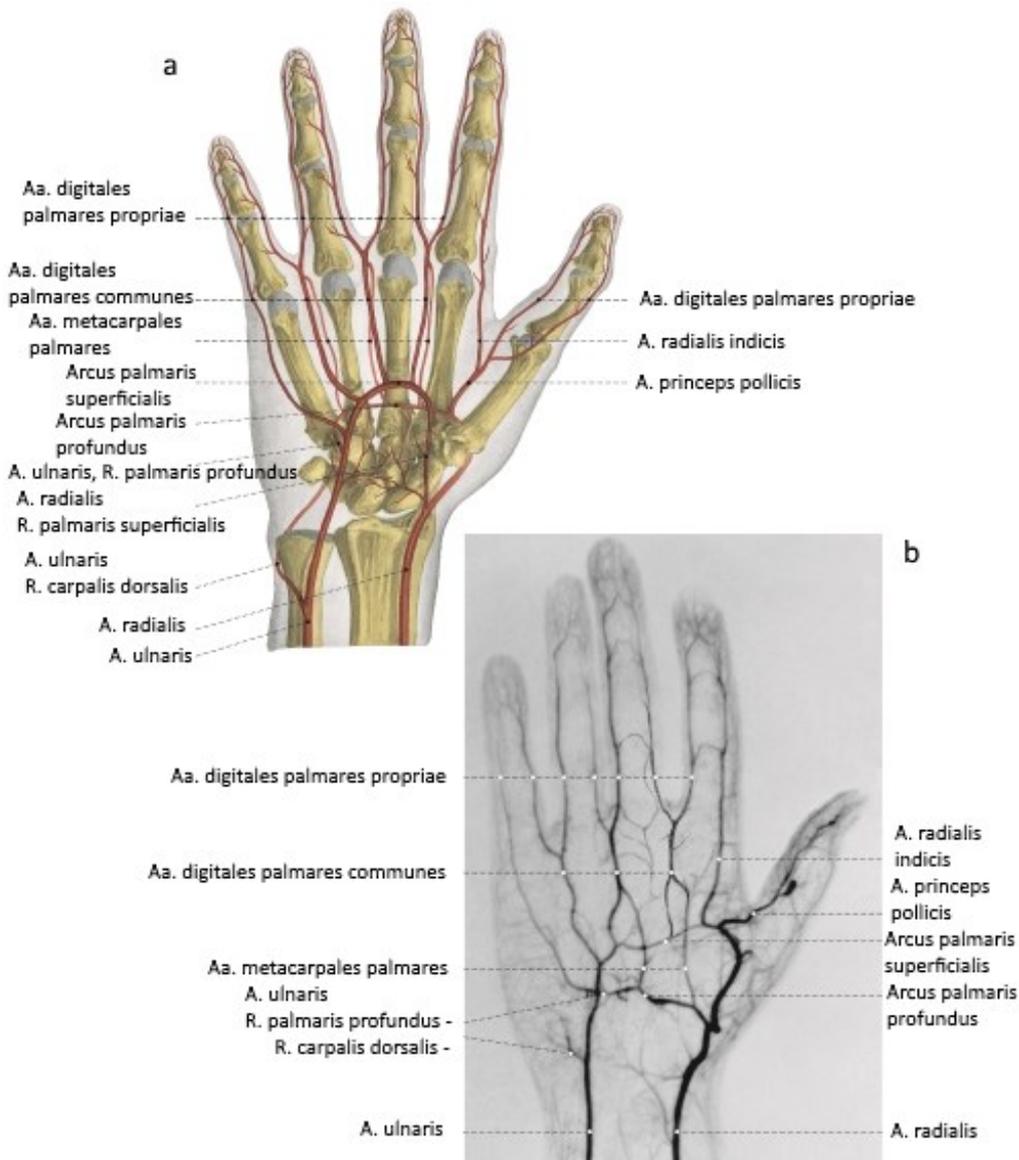


Abbildung 3: Anatomie der Arterien der rechten Hand. Palmaransicht. a schematische Darstellung, b Arteriogramm. Modifizierte Abbildung nach [41]. Mit freundlicher Genehmigung der S. Karger AG, Basel.

1.3 Pathogenese des Verschlusses der A. radialis nach Herzkathetereingriff

Es wird davon ausgegangen, dass hauptsächlich zwei Mechanismen zum Verschluss der A. radialis führen: zum einen durch Schleuse und/oder Katheter verursachte Endothelläsionen, zum anderen eine Abnahme des Blutflusses. In histopathologischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Wand der A. radialis nach transradialer Herzkatheteruntersuchung häufiger eine intimale

Hyperplasie aufweist [33,42], außerdem konnten periarterielle Gewebs- und Fettnekrosen sowie inflammatorische Veränderungen der Adventitia nachgewiesen werden [42]. In neueren Arbeiten wurden mittels optischer Kohärenztomografie Intimaeinrisse (67,1% bzw. 37%) und Dissektionen der Tunica media (35,6% bzw. 9,8%) der punktierten A. radialis festgestellt [43,44]. Die Reduktion des Blutflusses wiederum ist abhängig vom Durchmesser der verwendeten Schleuse und dem Verhältnis von Schleusen- zu Gefäßdurchmesser [45].

Beide Faktoren prädisponieren zur Thrombenbildung [46]. Die Hypothese, dass der Verschluss der A. radialis ein thrombotisches Geschehen ist, wird unterstützt durch Arbeiten, in denen ein Thrombus in der verschlossenen A. radialis nachgewiesen wurde [47,48].

1.4 Häufigkeit des Verschlusses der A. radialis nach Herzkathetereingriff

Für die Inzidenz des Verschlusses der A. radialis nach Herzkathetereingriffen existieren in der Literatur sehr unterschiedliche Zahlen: so fanden z.B. Stella et al. eine Verschlussrate von 5,3% [36], während Uhlemann et al. eine Verschlussrate von 30% feststellten [49]. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass es eine Vielzahl von Variablen gibt, die Einfluss auf die Häufigkeit von Verschlüssen der A. radialis haben. Beispielsweise ist hier der Schleusendurchmesser zu nennen. So fand die Leipziger Gruppe um Uhlemann bei Verwendung einer 5F-Schleuse (Engage TR Introducer, SJM TM, St. Jude Medical, Inc., St. Paul, Minnesota) eine Verschlussrate von 13,7%, hingegen bei Verwendung einer 6F-Schleuse (RADIFOCUS Introducer II, Terumo Europe N.V., Leuven, Belgium) eine Verschlussrate von 30,5% [49].

Auch spielt die Intensität der periprozeduralen Antikoagulation eine Rolle: bereits 1996 beschrieben Spaulding et al., dass bei Verwendung von 5000 internationalen Einheiten (IE) unfraktioniertem Heparin die Rate an Verschlüssen

der A. radialis auf 4,3% gesenkt werden konnte (gegenüber 24% bei Verwendung von 2000 - 3000 IE und sogar 71% bei fehlender Antikoagulation) [50].

1.5 Therapieoptionen bei einem Verschluss der A. radialis

Die meisten Patienten, bei denen ein Verschluss der A. radialis auftritt, bleiben ohne (schwerwiegende) Symptome [36]. Ein asymptomatischer Verschluss der A. radialis wird in den meisten Fällen nicht aktiv behandelt. Bei symptomatischen Patienten wurden einige Therapieansätze beschrieben, Studien mit größeren Patientenzahlen fehlen aber.

Ein Ansatz ist die Antikoagulation mit niedermolekularem Heparin. In einer Arbeit konnte bei 26 von 30 (86,7%) symptomatischen Patienten nach einer Antikoagulation von 4 Wochen Dauer eine teilweise oder vollständige Rekanalisation der A. radialis dokumentiert werden [51]. In einer weiteren Arbeit wurden 54 symptomatische Patienten für 6 ± 7 Tage antikoaguliert. Bei 30 Patienten (55,6%) fand sich beim Follow-up nach 14 Tagen eine rekanalisierte A. radialis [49].

Eine nichtpharmakologische Methode mittels Kompression der ipsilateralen A. ulnaris zur Erhöhung des Flusses und damit der Flussgeschwindigkeiten in der A. radialis wurde ebenfalls beschrieben: in einer Arbeit, die die Inzidenz von Verschlüssen der A. radialis bei verschiedenen Dosen von Heparin ermittelte, wurde bei Nachweis eines Verschlusses der A. radialis mittels Duplexsonografie 3 bis 4 Stunden nach Entfernung des Kompressionssystems unmittelbar die A. ulnaris für 1 Stunde komprimiert. In der Gruppe mit niedrigeren Heparindosen waren nach der Kompression 31% (= 4 von 13) der verschlossenen Arterien rekanalisiert. In der Gruppe mit höherer Heparindosis konnte dies sogar für 71% (= 5 von 7) der Arterien gezeigt werden [52]. Eine weitere Arbeit [53] verfolgte einen ähnlichen Ansatz: hier erfolgte eine Kompression der A. ulnaris über im Mittel vier Stunden, sofern die A. radialis nach Entfernung des Kompressionsverbands schwach tastbar war. Ein Verschluss der A. radialis

(definiert als Abwesenheit von Pulsationen der A. radialis, bestätigt durch Dopplersonografie) trat nach 24 Stunden in lediglich 2 Fällen auf, dies entspricht 1,1% der Gruppe mit schwächeren Pulsationen der A. radialis.

Die interventionelle Rekanalisation von Verschlüssen der A. radialis nach Herzkathetereingriffen ist hauptsächlich in Fallberichten und kleinen Fallserien beschrieben worden. Hierbei wurden sowohl retrograde Techniken über die distale A. radialis [54,48] als auch antegrade Techniken über die A. brachialis [55] und A. femoralis [56] verwendet. Eine weitere Fallserie beschrieb eine in vier von vier Fällen erfolgreiche Rekanalisation bei Kombination der Angioplastie mit Abciximab [57]

Studien zur chirurgischen Thrombendarterektomie von Verschlüssen der A. radialis nach Herzkathetereingriffen konnten nicht gefunden werden. Die chirurgische Versorgung zeigt aber keine guten längerfristigen Ergebnisse: es kommt häufig zum Reverschluss (W. Schäberle, persönliche Mitteilung).

1.6 Wissenschaftliche Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, am eigenen Kollektiv die Prävalenz von vaskulären Komplikationen im längerfristigen Verlauf nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung zu ermitteln und Risikofaktoren für das Auftreten dieser Komplikationen zu identifizieren. Es ergaben sich damit folgende Fragestellungen:

1. Wie hoch ist die Prävalenz vaskulärer Komplikationen nach einer an der Klinik am Eichert Göppingen über die A. radialis durchgeführten Herzkatheteruntersuchung im längerfristigen Verlauf (4 Wochen bis 24 Monate nach Herzkatheteruntersuchung)?
2. Welche Komplikationen sind dies?
3. Welche Risikofaktoren bestehen für das Auftreten solcher Komplikationen?

2 Methodik und Patientenkollektiv

2.1 Studienprotokoll und –ablauf

Ziel war die Erfassung der Prävalenz von vaskulären Komplikationen nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung am Patientenkollektiv der Klinik am Eichert Göppingen. Das Studienprotokoll wurde im Juli/August 2011 erstellt.

Die Studie wurde am 06.09.2011 von der Ethikkommission der Landesärztekammer Baden-Württemberg begutachtet und genehmigt. Das Studienprotokoll wurde auf Grund der von der Ethikkommission gegebenen Hinweise angepasst.

Die Ultraschalluntersuchungen fanden im Zeitraum vom 20.10.2011 bis zum 26.06.2014 statt.

2.2 Patientenkollektiv

Für die Rekrutierung kamen alle Patienten der Klinik am Eichert Göppingen infrage, bei denen zwischen dem 01.07.2011 und dem 30.06.2012 eine Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis durchgeführt wurde. Auch die Patienten, bei denen zwar eine Schleuse in die A. radialis gelegt wurde, die Herzkatheteruntersuchung aber nicht oder nicht vollständig von radial durchgeführt wurde (z.B. bei fehlender Verschiebbarkeit der Katheter), wurden in das Patientenkollektiv aufgenommen. Ebenfalls spielte für die Rekrutierung keine Rolle, ob die Untersuchung über die linke oder rechte A. radialis durchgeführt oder versucht wurde.

Ausschlusskriterien waren lediglich die fehlende Einwilligung des Patienten sowie Patienten, bei denen die A. radialis nicht punktiert wurde (z.B. bei pathologischem Barbeau-Test oder bei frustranem Punktionsversuch).

Die Identifizierung der infrage kommenden Patienten erfolgte über die Statistikfunktion der zur Herzkatheterdokumentation und -verwaltung verwendeten Software Centricity Carddas Xi² (GE Healthcare, Barrington, Illinois, USA). Es wurden folgende Suchkriterien verwendet:

- Prozedur über die rechte A. radialis
- Prozedur über die linke A. radialis
- geglückte Anlage der Schleuse in der A. radialis, aber nicht über die A. radialis durchgeführte Prozedur
- misslungener Punktionsversuch der A. radialis.

2.3 Rekrutierung

Die Patienten wurden nach ihrer Herzkatheteruntersuchung angeschrieben. Das Anschreiben beinhaltete eine Patienteninformation und eine Einwilligungserklärung (s. Anhang). Nach einigen Tagen wurden die Patienten telefonisch kontaktiert und ein Termin zur Nachuntersuchung vereinbart. Patienten, die mehrfach telefonisch nicht erreicht werden konnten, wurden ein zweites Mal angeschrieben mit der Bitte, sich telefonisch zu melden. Sofern der Hausarzt der Patienten bekannt war, wurde auch dieser gegebenenfalls mit einbezogen.

Das Einverständnis der Patienten wurde spätestens am Untersuchungstermin schriftlich fixiert.

2.4 Ablauf der Nachuntersuchung und erhobene Daten

Am Untersuchungstermin in der kardiologischen Funktionsdiagnostik der Klinik am Eichert Göppingen erfolgte zunächst eine Anamnese bezüglich Beschwerden am punktierten Arm. Anschließend wurden die A. brachialis in der Ellenbeuge, die A. ulnaris am Handgelenk sowie die A. radialis am Handgelenk sowie in der

Tabatière getastet. Dann erfolgte die Ultraschalluntersuchung der A. radialis, die folgenden Ablauf hat:

- Darstellung der gesamten A. radialis von ihrem Abgang bis zur Handwurzel bzw. bis zum Arcus palmaris profundus im Querschnitt und im Längsschnitt im B-Bild (B für brightness) mit zugeschaltetem Farbdoppler (farbkodierte Duplexsonografie, FKDS)
- Ableitung von pulsed-wave- (pw-) Doppler-Spektralprofilen:
 - o der distalen A. radialis am Handgelenk
 - o der A. radialis in der Tabatière (Arcus palmaris profundus) mit und ohne Kompression der A. radialis zur Überprüfung der Kollateralfunktion der A. ulnaris (s. Abbildung 4)
 - o der distalen A. ulnaris am Handgelenk.
 - o Bei Auffälligkeiten wurden zusätzliche Bilder (B-Bild, FKDS oder pw-Doppler-Spektralprofile) je nach Bedarf angefertigt.

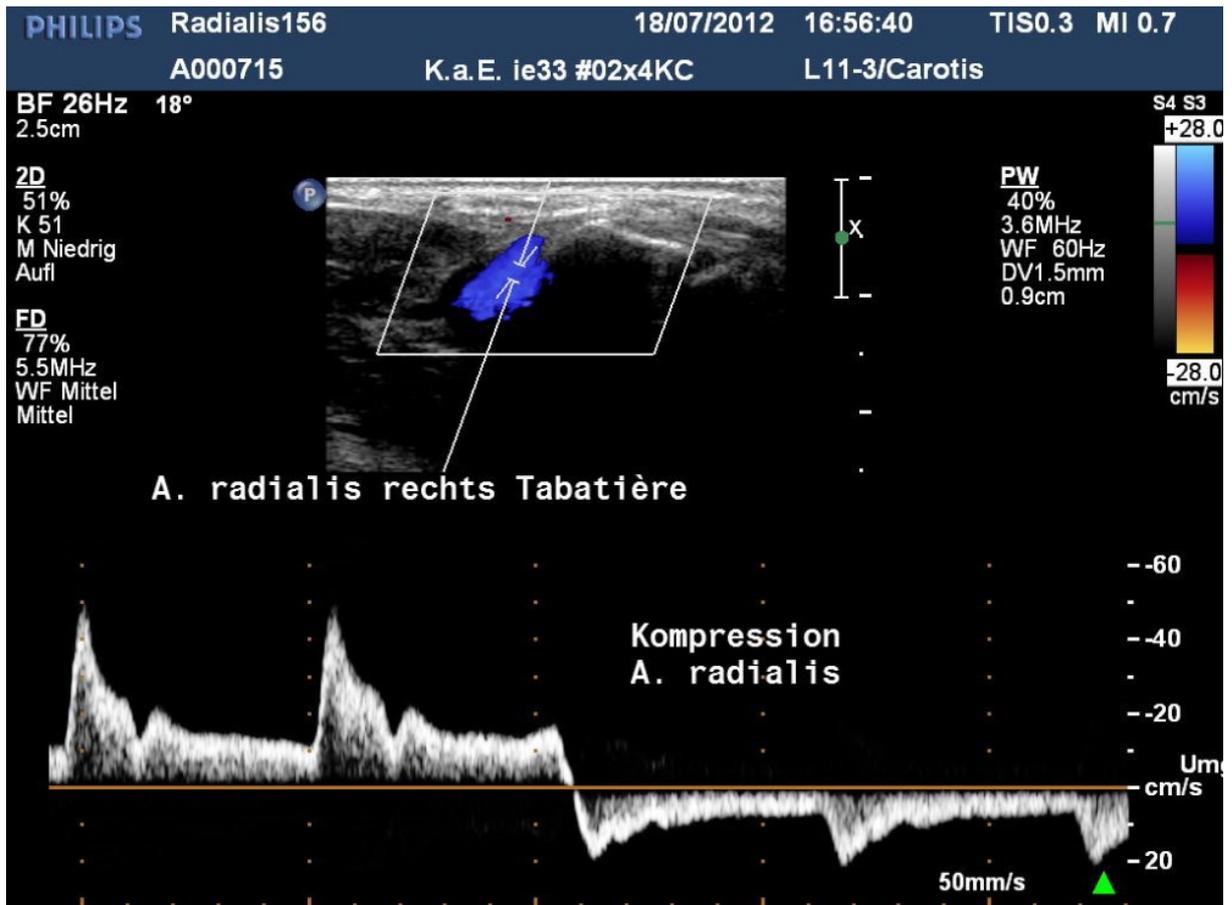


Abbildung 4: Sonografische Darstellung der A. radialis auf Höhe der Handwurzel in der Tabatière (Eingang zum Arcus palmaris profundus), Kombination von B-Bild (B = brightness) mit farbcodierter Duplexsonografie im oberen Bildteil sowie pulsed-wave- (pw-) Dopplersonografie im unteren Bildteil. Das B-Bild stellt ein Schnittbild in Graustufen dar. Dem B-Bild überlagert ist die rautenförmige „Farbbox“, in der Flussgeschwindigkeit und -richtung entsprechend der Skala am rechten Bildrand farbig dargestellt werden; die blaue Farbe zeigt einen Fluss auf den Schallkopf zu an (vergleiche hierzu auch Abbildung 6). Die pw-Doppler-Spektralkurve zeigt zunächst einen antegraden (vom Schallkopf weg gerichteten, daher die negativen Geschwindigkeitswerte) Fluss, nach Kompression der A. radialis am Handgelenk kommt es zur Flussumkehr durch die Durchblutung des Arcus palmaris profundus aus der A. ulnaris (vergleiche hierzu Abb. 3). Erstveröffentlichung dieser Abbildung in [58], Verwendung mit freundlicher Genehmigung durch Springer.

Die Untersuchung erfolgte mit folgender Geräteausstattung:

- Ultraschallgerät: Philips iE 33 (Koninklijke Philips N.V., Eindhoven, Niederlande)
- Schallkopf: Linearschallkopf Philips L11-3 oder Philips L8-4 (Koninklijke Philips N.V., Eindhoven, Niederlande)

Die Dokumentation erfolgte pseudonymisiert mit der Befundungs- und Archivierungssoftware SonoWin (MESO Ingenieurbüro Medizinische Software GbR, Mittweida, Deutschland).

Die folgenden Daten wurden bei jedem Patienten erfasst:

- Geschlecht
- Geburtsdatum (daraus abgeleitet das Alter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung)
- Datum der Ultraschalluntersuchung
- Datum der Herzkatheteruntersuchung
- Anzahl der Herzkatheteruntersuchungen über die A. radialis
- Größe zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung
- BMI zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung
- Risikofaktoren zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung, Entnahme der Daten aus dem Herzkatheterbericht:
 - Rauchstatus (aktiver Raucher, Ex-Raucher oder Nichtraucher)
 - Arterielle Hypertonie
 - Hyperlipoproteinämie
 - Positive Familienanamnese
 - Niereninsuffizienz
 - Diabetes mellitus
- Ob eine Intervention durchgeführt wurde
- Zeitspanne, in der die Schleuse in der A. radialis lag
- Anzahl und Durchmesser der verwendeten Katheter
- Heparindosis während der Herzkatheteruntersuchung
- Gerinnungshemmung zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und unmittelbar danach (bis zur Entlassung)
- Vorliegen vaskulärer Komplikationen an der A. radialis
 - Verschluss
 - Stenosen (diffus oder fokal)
 - sonstige

Der Befund wurde elektronisch dokumentiert sowie als Ausdruck gemeinsam mit der Einwilligung des Patienten abgeheftet. Auf Wunsch wurde der Hausarzt schriftlich über die Teilnahme und das Ergebnis der Nachuntersuchung unterrichtet.

2.5 Definitionen der Komplikationen

Als Verschluss wurde definiert: ein in der A. radialis zumindest stellenweise fehlendes Farb- und pw-Dopplersignal bei niedriger Alias-Geschwindigkeit (< 10 cm/s) unter der Voraussetzung, dass die A. radialis im B-Bild zweifelsfrei und ohne Schallauslöschungen dargestellt wurde und bei Verwendung des pw-Dopplers der Dopplerwinkel $\leq 64^\circ$ betrug. Im Farbdoppler wurde ein 90° -Winkel der Beschallung durch Kippung des Farbfensters vermieden. Als zusätzliche Hinweise wurden verwendet: retrograder Fluss in der A. radialis in der Tabatière oder auf Höhe des Handgelenks, Anklopffluss in der proximalen A. radialis, Kollateralen von anderen Gefäßen zur A. radialis.

Eine fokale Stenose wurde diagnostiziert bei einer Erhöhung der maximalen systolischen Strömungsgeschwindigkeit in einem geraden Gefäßabschnitt auf das mehr als 2,4-fache der prästenotischen Geschwindigkeit, entsprechend einer Stenose mit $\geq 50\%$ iger Durchmesserreduktion [59].

Eine diffuse Stenose wurde angenommen, wenn zwar durchgehend ein Farbsignal in der A. radialis nachweisbar war, allerdings das Gefäß langstreckig auffallend dünnlumig mit Kaliberunregelmäßigkeiten war. Zusätzliche fakultative Kriterien waren eine prä- bzw. poststenotisch verminderte systolische Spitzengeschwindigkeit, das Vorhandensein von Kollateralen und eine spontane Flussumkehr im Arcus palmaris profundus. Zur Diagnose war eine Flussbeschleunigung innerhalb der Stenose aus folgenden Gründen nicht zwingend notwendig: zum einen ist die intrastenotische Erhöhung der Flussgeschwindigkeit bei langstreckigen Stenosen weniger ausgeprägt als bei kurzstreckigen [60], zum anderen sind bei gut kollateralisierten Stenosen bzw. Verschlüssen die Druckgradienten über die Stenose deutlich geringer, was ebenfalls zu einer Reduktion der intrastenotischen Flussgeschwindigkeit führt [61].

2.6 Statistische Auswertung

Es wurde die Häufigkeit der Komplikationen insgesamt und der Verschlüsse der A. radialis erfasst. Dann wurden die Gruppen mit und ohne Komplikation bzw. Verschluss auf Abweichungen in ihren Charakteristika verglichen. Die Auswertung fand mithilfe des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics (IBM, Armonk, New York, USA) statt. Zum Ausschluss von Multikollinearität mittels des Varianzinflationsfaktors (VIF) wurde RStudio (RStudio, Inc., Boston, Massachusetts, USA) verwendet. Die Prüfung auf Signifikanz erfolgte mit folgenden Tests:

- bei normalverteilten kontinuierlichen Variablen mittels des t-Tests (auf das Vorliegen einer Normalverteilung wurde mittels Kurtosis, Schiefe, Q-Q-Plot und Histogrammen überprüft),
- bei nicht normalverteilten kontinuierlichen Variablen mittels des Mann-Whitney U-Tests,
- bei kategorialen Variablen mittels des χ^2 -Tests bzw. bei geringer Fallzahl mittels Fisher's exaktem Test.
- Zur multivariaten Analyse wurde die logistische Regression durchgeführt.

Das Signifikanzniveau wurde in allen Fällen auf $p < 0,05$ festgelegt.

Bei dieser Arbeit wurde die methodische Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen in Anspruch genommen.

2.7 Ablauf eines Herzkathetereingriffs über die A. radialis an der Klinik am Eichert Göppingen

Das übliche Procedere einer Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis in der Klinik am Eichert Göppingen im Einschlusszeitraum wies folgende Eckpunkte auf:

- Barbeau-Test [62]. Falls dieser pathologisch ausfiel, wurde die A. radialis nicht punktiert.
- Lagerung, Desinfektion, Abdeckung
- Lokalanästhesie mit ca. 1 Milliliter (ml) 2%igem Lidocainhydrochlorid subkutan (s.c.)
- Punktion der A. radialis mit einer 22G- (Gauge-) Kanüle (aus dem Schleusenset), single-wall-Technik
- Vorführen des Einführdrahtes (45 cm Länge)
- Entfernen der Punktionskanüle
- Einführen der Schleuse (6F, Terumo Radifocus Introducer II, Terumo Europe B.V., Leuven, Belgien)
- Antikoagulation mit 5000 IE (Abweichungen sind erlaubt) unfraktioniertem Heparin (Heparin-Natrium) i.a. über die Schleuse für diagnostische Koronarangiografien, bei PCI Steigerung der Heparindosis auf 70-100 IE pro Kilogramm Körpergewicht (kg KG), evtl. weitere Gaben je nach Wert der „activated clotting time“ (ACT)
- Spasmusprophylaxe mit 0,1 mg Glyceroltrinitrat intraarteriell (i.a.) über die Schleuse (je nach Ausgangsblutdruck)
- fakultativ zusätzlich 0,5 - 1 mg Verapamil i.a. über die Schleuse (je nach Ausgangsblutdruck und -herzfrequenz)
- Durchführung der Herzkatheteruntersuchung und ggf. Intervention. Zur Diagnostik werden 5F-Katheter verwendet, zur Intervention 6F-Katheter.
- Nach der Herzkatheteruntersuchung wird die Schleuse entfernt, die Blutstillung erfolgt mittels TR-Band (Terumo Europe B.V., Leuven, Belgien). Das TR-Band wird mit 18 ml Luft befüllt, nach 2 Minuten werden

2 ml Luft abgelassen, anschließend weitere 2 ml alle 30 Minuten, so dass das Band insgesamt 4 Stunden verbleibt. Hierbei handelt es sich nicht um ein Verfahren nach dem Konzept der "patent hemostasis" [63], bei dem die A. radialis während der Kompression nicht okkludiert wird. Pancholy et al. beschrieben in der PROPHET-Studie eine deutliche Reduktion der Rate an Verschlüssen der A. radialis mit diesem Ansatz: in der Gruppe mit konventioneller Kompression lag die Prävalenz nach 30 Tagen bei 7%, dem standen in der „patent hemostasis“-Gruppe lediglich 1,8% gegenüber [63].

2.8 Ultraschall: B-Bild, Doppler- und Duplexsonografie

Grundprinzip der Sonografie ist die Reflexion von Ultraschallwellen an (akustischen) Grenzflächen.

Die Ausbreitung von Ultraschallwellen im Gewebe folgt den Gesetzen der Wellenoptik, es treten somit die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz, Dämpfung und Absorption auf [64,65].

Im Ultraschallkopf wird mittels des piezoelektrischen Effekts ein elektrischer Impuls in einen mechanischen (= Ultraschallwelle) umgewandelt. Diese Ultraschallwelle wird in das Gewebe geschickt, wo sie an akustischen Grenzflächen teilweise oder vollständig reflektiert wird. Diese reflektierte Welle läuft durch das Gewebe wieder zum Schallkopf zurück, wo der mechanische Impuls wieder in einen elektrischen umgewandelt wird, der nach Verstärkung und Verarbeitung auf einem Monitor sichtbar gemacht werden kann.

Die Amplitude der an einer akustischen Grenzfläche reflektierten Welle hängt vom Impedanzsprung an der Grenzfläche ab. Anhand der Laufzeit des Impulses kann die Tiefe dieser Grenzfläche ermittelt werden. Die Geschwindigkeit der Ultraschallwelle im Gewebe wird als konstant angenommen, daher gilt die Formel für gleichförmige Bewegungen: $S = v \times t$, wobei s die zurückgelegte Strecke ist, v die Geschwindigkeit und t die Zeit. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des

Ultraschalls im Gewebe c wird als konstant 1540 m/s angenommen. Die zurückgelegte Strecke im Gewebe entspricht der doppelten Tiefe des Signals, da die Schallwelle vom Schallkopf zur Grenzfläche und wieder zurück zum Schallkopf laufen muss. Daher ergibt sich für die Tiefe d :

$$d = c \times t/2$$

Ein zweidimensionales Bild entsteht dadurch, dass nacheinander Impulse von verschiedenen Gruppen von Piezokristallen abgegeben werden und von diesen die Echos registriert werden. Es entstehen dadurch multiple nebeneinanderliegende Ultraschalllinien, eine Ultraschalllinie entspricht einer Puls-Echo-Sequenz. Die Amplituden der Echos können als Helligkeit auf dem Bildschirm wiedergegeben werden. Es entsteht damit das B-Bild (B für brightness), das als Basis für alle duplexsonografischen Verfahren dient [64,66,67]. Ein Beispiel für das B-Mode-Bild einer normalen A. radialis und der Umgebungsstrukturen zeigt Abbildung 5.



Abbildung 5: B-Mode-Bild einer normalen A. radialis. Die Amplituden der reflektierten Schallwellen (Echos) werden als Grauwerte wiedergegeben. Im oberen Bildteil grau finden sich die Haut und das Subkutangewebe, das Lumen der quer durch das Bild verlaufenden, im Längsschnitt getroffenen Arterie ist fast echoleer (schwarz). Die einzelnen Wandschichten der Arterie sind nicht zu differenzieren, echoreich (hellgrau bis weiß) ist der Übergang der Adventitia zum perivaskulären Gewebe zu erkennen. Die Unterarmmuskulatur ist echoarm (dunkelgrau), die Muskelfaszien wiederum eher echoreich. Die Bildwiederholfrequenz (BF) liegt bei 50 Hertz (Hz), die Eindringtiefe ist auf 2,5 cm eingestellt. Der Focusbereich ist am rechten Bildrand mit einem weißen Balken und grünen Pfeilspitzen gekennzeichnet, die Skala unmittelbar rechts der Focusanzeige gibt die Tiefe in 5-mm-Schritten an.

Im Jahre 1842 beschrieb Christian Doppler den nach ihm benannten Doppler-Effekt. Beim akustischen Doppler-Effekt wird darunter das Phänomen verstanden, dass die Bewegung einer Schallquelle oder eines Schallempfängers zu einer Veränderung der wahrgenommenen Schallfrequenz führt. Hierbei führt eine Bewegung des Empfängers in Richtung des Senders (oder des Senders in Richtung des Empfängers) zu einer Erhöhung der wahrgenommenen Frequenz. Bei der vaskulären Ultraschalldiagnostik bilden die Erythrozyten die Grenzfläche, an der der Ultraschall gestreut und zum Teil reflektiert wird. Die Erythrozyten sind hierbei sowohl Empfänger des vom Ultraschallkopf abgegebenen Ultraschallimpulses als auch Sender des reflektierten Impulses. Daher tritt bei den sich bewegenden Erythrozyten des strömenden Blutes der Doppler-Effekt zwei Mal auf. Unter der Annahme, dass die Geschwindigkeit v der Erythrozyten

viel kleiner ist als die Ausbreitungsgeschwindigkeit c des Ultraschalls im Gewebe, kann die Frequenzverschiebung Δf (auch als Dopplerfrequenz bezeichnet) mit folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta f = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c} \times \cos \varphi$$

wobei f_0 die vom Schallkopf abgegebene Frequenz ist, v die Geschwindigkeit der Erythrozyten, c die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls im Gewebe und φ der Winkel zwischen Schall- und Strömungsrichtung [68].

Diese Dopplerfrequenz liegt bei den in den Blutgefäßen vorliegenden Strömungsgeschwindigkeiten im hörbaren Bereich und kann vom Ultraschallgerät akustisch wiedergegeben werden.

Da die Strömungsgeschwindigkeiten zum einen an verschiedenen Stellen eines Querschnitts des Blutgefäßes unterschiedlich sind (laminare Strömung mit höheren Geschwindigkeiten in der Gefäßmitte und niedrigeren Geschwindigkeiten wandnah), zum anderen sich die Strömungsgeschwindigkeit mit der Zeit ändert, enthält das zum Schallkopf zurückkehrende Signal ein Gemisch von Dopplerfrequenzen. Diese können von modernen Geräten analysiert und als Frequenz-Zeit-Spektrum (Spektraldopplerkurve) grafisch ausgegeben werden, wobei die Häufigkeit einer bestimmten Dopplerfrequenz als Helligkeit codiert wird: schwarz bedeutet, dass die entsprechende Frequenz nicht vorkommt, weiß bedeutet, dass sie sehr häufig vorkommt. Dazwischenliegende Häufigkeiten werden als Graustufen dargestellt [69]. Ein Beispiel für ein solches Frequenz-Zeit-Spektrum findet sich in Abbildung 7.

Bei der Duplexsonografie werden gepulste dopplersonografische Verfahren mit dem B-Bild kombiniert. Beispiel ist die farbkodierte Duplexsonografie, bei der über das B-Bild eine „Farbbox“ gelegt wird. In diesem Areal werden die mittels gepulstem Doppler erzeugten Dopplersignale (= Flussrichtung und –geschwindigkeit) farbig dargestellt. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren mit hoher räumlicher Auflösung. Da bei der farbcodierten Duplexsonografie keine Spektralanalyse erfolgt, sondern durch das Verfahren der Autokorrelation ein

Geschwindigkeitsmittelwert im Sample Volume errechnet wird [70], können Geschwindigkeitsunterschiede innerhalb des Sample Volume nicht wiedergegeben werden. Ein Beispiel für die farbkodierte Duplexsonografie einer normalen A. radialis zeigt Abbildung 6. Im Unterschied hierzu bietet die oben beschriebene Technik der pulsed-wave-Dopplersonografie (pw-Doppler) eine sehr gute Auflösung der einzelnen Dopplerfrequenzen und damit Strömungsgeschwindigkeiten im Sample Volume, aber abgesehen von der Begrenzung des Sample Volume keine örtliche Auflösung [69].

Fehlerquellen bei der Duplexsonografie und Strategien zu ihrer Vermeidung ([71] sowie [72]) zeigt Tabelle 1. Die hier beschriebenen Fehlerquellen wurden bei der Ultraschalluntersuchung berücksichtigt und nach bestem Wissen vermieden bzw. korrigiert.

Tabelle 1: Fehlerquellen bei der Duplexsonografie und ihre Behebung

Fehlerquelle	Behebung
Falscher Beschallungswinkel	Kippung des Schallkopfs, Angulierung der Farbbox und Winkelkorrektur beim pw-Doppler, um einen Beschallungswinkel < 60° zu erreichen
Fehlende Farbinformation (Farbdoppler) oder fehlendes Frequenzspektrum (pw-Doppler) in einem nicht verschlossenen Gefäß	Anpassung von: <ul style="list-style-type: none"> - Beschallungswinkel - Pulsrepetitionsfrequenz - Verstärkung - Liniendichte - Wandfiltereinstellungen
Überstrahlung des Gefäßes mit Farbinformation	Reduktion der Verstärkung, Steigerung der Pulsrepetitionsfrequenz
Nicht zentraler Anschnitt des Gefäßes	Platzierung des Sample Volume bzw. der Farbbox unter B-Bild-Kontrolle
Geringerer peripherer Widerstand nach Belastung	Ausreichende Ruheperiode

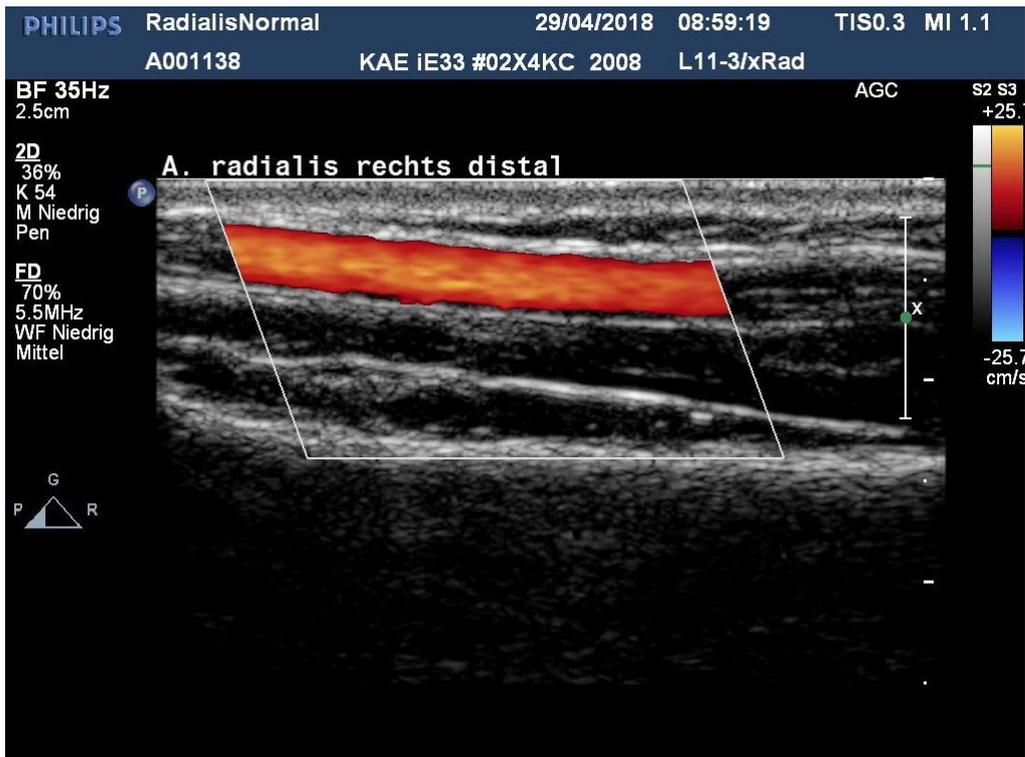


Abbildung 6: Normale A. radialis im Längsschnitt (links im Bild distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie. Dem B-Bild (vgl. Abbildung 5) ist eine „Farbbox“ überlagert. In diesem Bereich wird mittels Dopplersonografie die Geschwindigkeit und die Richtung des strömenden Blutes ermittelt und farbig wiedergegeben. Die farbige Skala am rechten Bildrand zeigt die entsprechenden Farbtöne. Zur Vermeidung von Winkeln nahe 90° und den entsprechenden niedrigen Dopplerfrequenzen ist die Farbbox gekippt. Es findet sich in der A. radialis eine laminare Strömung auf den Schallkopf zu (rot codiert), somit von rechts nach links auf dem Bild. Bei den beiden fast echoleeren (schwarzen) Strukturen unterhalb der Arterie handelt es sich um Muskeln.

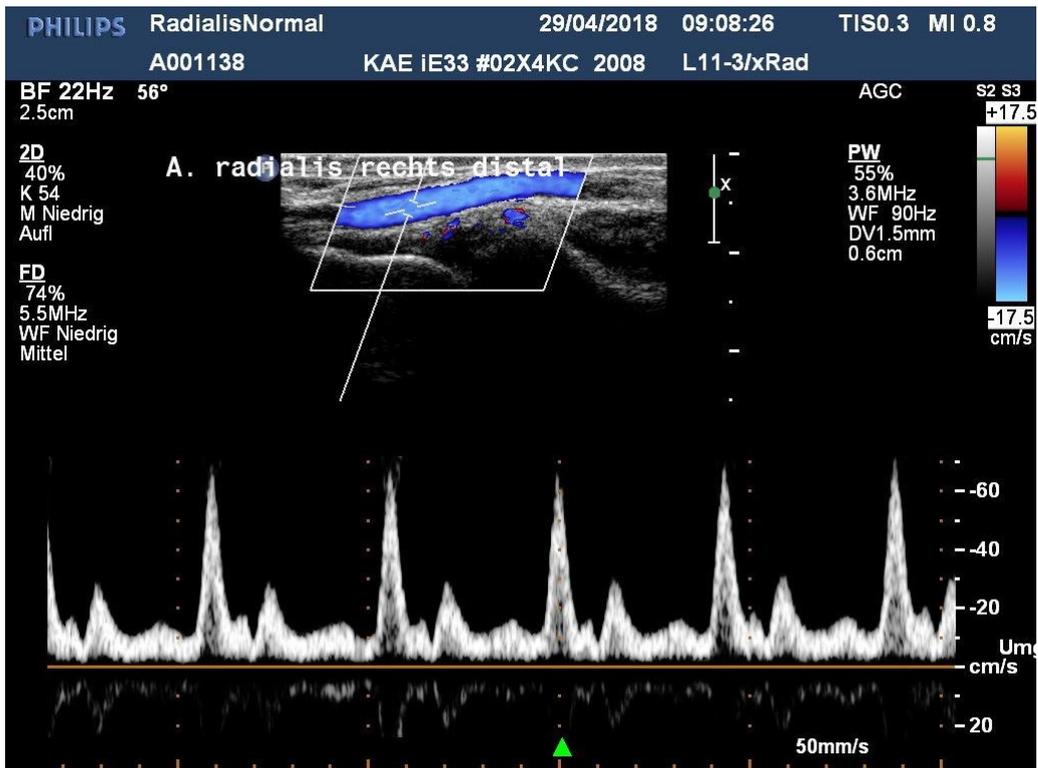


Abbildung 7: Normale A. radialis, Duplexsonografie mit Frequenz-Zeit-Spektrum im unteren Bildteil. Im oberen Bildteil ist das B-Mode-Bild mit überlagerter Farbbox (vgl. Abbildungen 5 und 6) dargestellt. Die Ableitung des Frequenz-Zeit-Spektrums mittels pulsed-wave-Dopplersonografie erfolgt im sample volume, das durch zwei kurze weiße Striche orthogonal zur Doppler-Schallrichtung (lange weiße Linie) dargestellt ist und in der blau dargestellten A. radialis liegt. Zur korrekten Geschwindigkeitsermittlung erfolgt eine Winkelkorrektur, durch die entlang der Gefäßachse ausgerichteten Linien im sample volume gekennzeichnet. Der Winkel zwischen der Gefäßachse und der Doppler-Schallrichtung beträgt hier 56° (vgl. Tabelle 1). Häufig vorkommende Dopplerfrequenzen (hier bereits in Geschwindigkeiten umgerechnet) werden heller dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Rekrutierung und Charakteristika des gesamten Patientenkollektivs

Über die Statistikfunktion des Programms Centricity Carddas Xi² (GE Healthcare, Barrington, Illinois, USA) wurden die einzuschließenden Patienten identifiziert. Insgesamt wurden im Zeitraum vom 01. Juli 2011 bis 30. Juni 2012 1539 Prozeduren (diagnostische Koronarangiografien und/oder PCI) dokumentiert. Von diesen wurden 789 Prozeduren (= 51,3%) identifiziert, bei denen ein Zugang oder Zugangsversuch über die A. radialis dokumentiert wurde. Nach Bereinigung von Dokumentationsfehlern (z.B. Erfassung von mehreren sich ausschließenden Prozeduren) verblieben real 773 Prozeduren. Die Verteilung dieser Prozeduren zeigt Abbildung 8.

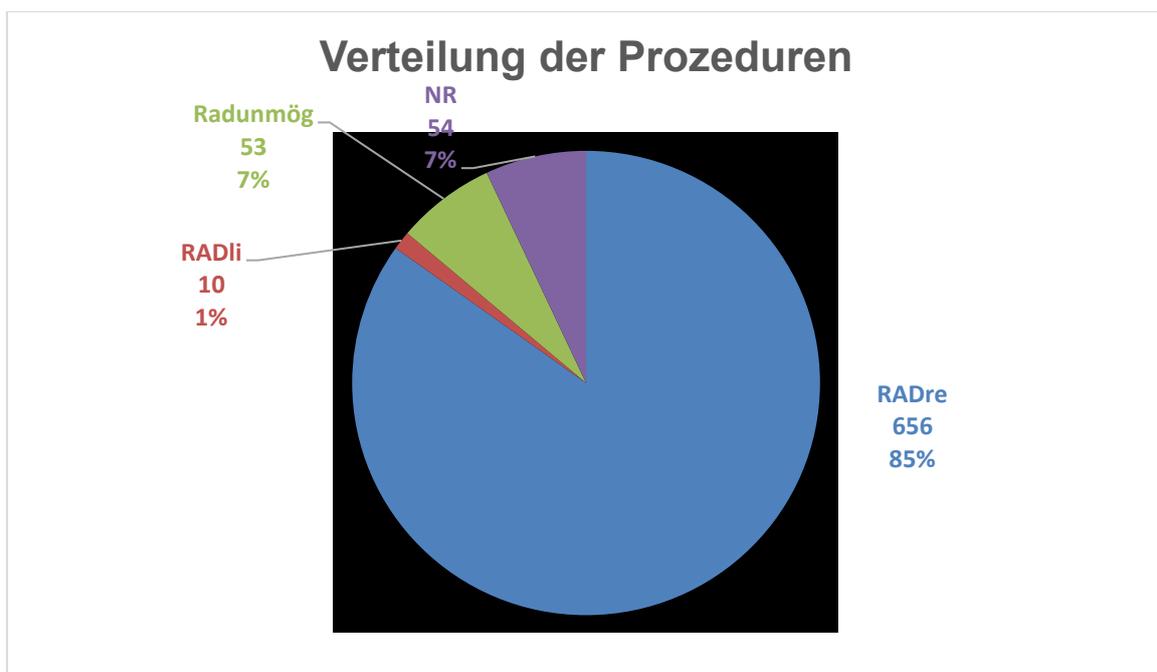


Abbildung 8: Verteilung der über die A. radialis durchgeführten und versuchten Prozeduren im Einschlusszeitraum.

RADre: erfolgreiche Prozedur über die rechte A. radialis.

RADli: erfolgreiche Prozedur über die linke A. radialis.

Radunmög: erfolgreiche Punktion und Schleusenanlage, die Prozedur konnte aber nicht oder nicht vollständig über die A. radialis durchgeführt werden.

NR: Punktion der A. radialis nicht möglich.

Von diesen 773 Prozeduren wurden 54 (= 7,0%) ausgeschlossen, da die A. radialis nicht (oder nicht erfolgreich) punktiert worden war. Es konnten 666 Prozeduren (= 86,2%) erfolgreich über die A. radialis durchgeführt werden. Die 53 (= 6,9%) Prozeduren, bei denen zwar die Schleuse gelegt wurde, die Prozedur aber nicht vollständig über die A. radialis durchgeführt wurde, wurden eingeschlossen.

Nach Ausschluss der Prozeduren, bei denen die A. radialis nicht erfolgreich punktiert wurde, verblieben 719 Prozeduren. Diese verteilten sich auf 705 Patienten. Von diesen wurden 9 nicht kontaktiert, da sie nicht erreichbar (verstorben (n = 6), Wohnort im Ausland (n = 2) oder unbekannt (n = 1)) waren. Die übrigen 696 Patienten wurden angeschrieben.

Davon konnten 60 Patienten (= 8,6%) nicht erreicht werden (z.B. fehlerhafte oder fehlende Kontaktdaten im Klinikinformationssystem), 78 Patienten (= 11,2%) lehnten die Teilnahme ab.

558 Patienten wurden schließlich eingeschlossen und im Zeitraum zwischen dem 20.11.2011 und dem 26.06.2014 duplexsonografisch untersucht, dies entspricht 80,2% der Angeschriebenen bzw. 79,1% aller Patienten, die für einen Einschluss infrage gekommen wären. Bei vier dieser Patienten wurden beide Arme untersucht, da bei ihnen Herzkathetereingriffe von beiden Armen aus durchgeführt worden waren. Ein weiterer Patient wurde zwei Mal untersucht, da bei ihm im Einschlusszeitraum nach der ersten Duplexsonografie eine weitere Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis durchgeführt wurde. Es ergibt sich somit eine Gesamtzahl von 563 Untersuchungen.

Den Ablauf der Patientenrekrutierung zeigt Abbildung 9.

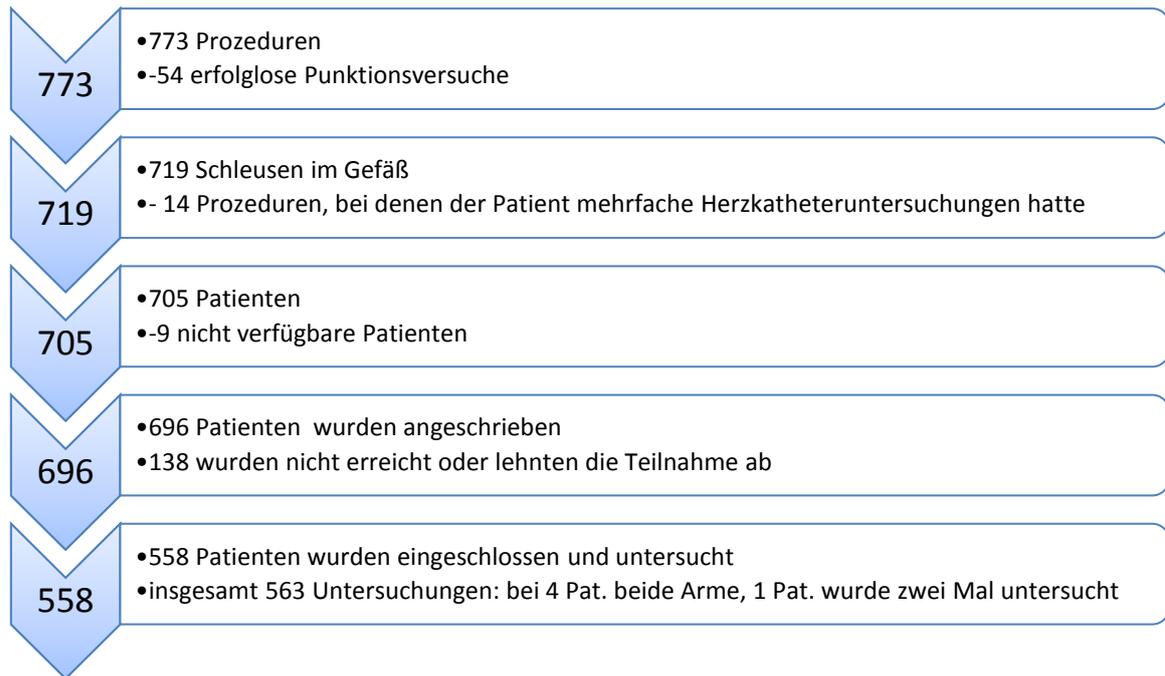


Abbildung 9: Ablauf der Patientenrekrutierung, schematische Darstellung.

In die Datenanalyse gingen somit 558 Patienten mit 563 Untersuchungen ein. Bei Patienten, bei denen vor der Nachuntersuchung mehrfach Herzkathetereingriffe über die A. radialis durchgeführt worden waren, wurde die letzte Prozedur als entscheidend gewertet und in die Statistik eingeschlossen.

Einen Überblick über die Zeitintervalle zwischen Herzkathetereingriff und Duplexsonografie gibt Abbildung 10.

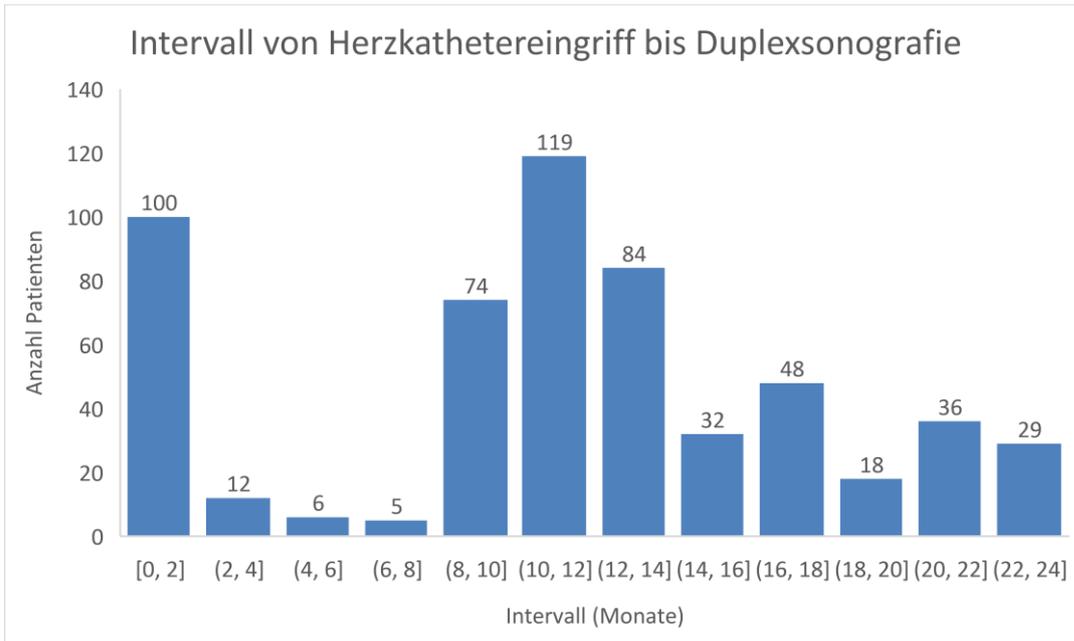


Abbildung 10: Verteilung der Zeitintervalle zwischen Herzkathetereingriff und Duplexsonografie der A. radialis.

Charakteristika der Patienten des Gesamtkollektivs sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Basisdaten des Gesamtkollektivs

Legende:

A.	Arteria
cm	Zentimeter
F	French (1 F = 1/3 mm)
kg	Kilogramm
m	Meter
min	Minuten
SD	Standardabweichung

Gesamtzahl der Untersuchungen	563
Mehr als eine Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis (n / %)	29 (5,2%)
Geschlecht	349 männlich (62,0%) 214 weiblich (38,0%)
Alter (Jahre ± SD)	66,6 ± 10,1
Größe (cm ± SD)	170 ± 9,2
BMI (kg/m ² ± SD)	28 ± 4,49
Aktive Raucher (n / %)	88 / 15,6%
Jemalsraucher (n / %)	164 / 29,1%
Arterielle Hypertonie (n / %)	422 / 75,0%
Diabetes mellitus (n / %)	144 / 25,6%
Hyperlipoproteinämie (n / %)	275 / 48,8%
Niereninsuffizienz (n / %)	64 / 11,4%
Positive Familienanamnese (n / %)	158 / 28,1%
Intervention (n / %)	133 / 23,6%
Schleusenzeit (min)	0-131 (Median 23, Interquartilabstand 16 – 36)
Schleusentyp (n / %)	Terumo Radifocus Introducer II, 6F: 558 / 99,1% Terumo Radifocus Introducer II, 5F: 1 / 0,2% Cordis Radial Source, 6F: 4 / 0,7%
Anzahl der verwendeten Katheter	0 bis 8 (Median 2, Interquartilabstand 1-3)
Verwendung eines 6F-Katheters (n / %)	132 / 23,4%
Antikoagulation während der Prozedur (n / %)	
- keine	6 / 1,1%
- Heparin	556 / 98,8%
- Argatroban	1 / 0,2%
Dauer bis zur Nachuntersuchung	4 Wochen (28 Tage) bis 24 Monate (737 Tage) (Median: 12 Monate (372 Tage), Interquartilsabstand: 10-16 Monate bzw. 319-500 Tage)

Die Altersverteilung der Patienten lässt sich Abbildung 11 entnehmen; die Verteilung der Zeiten, die die Schleuse in der A. radialis lag, zeigt Abbildung 12.

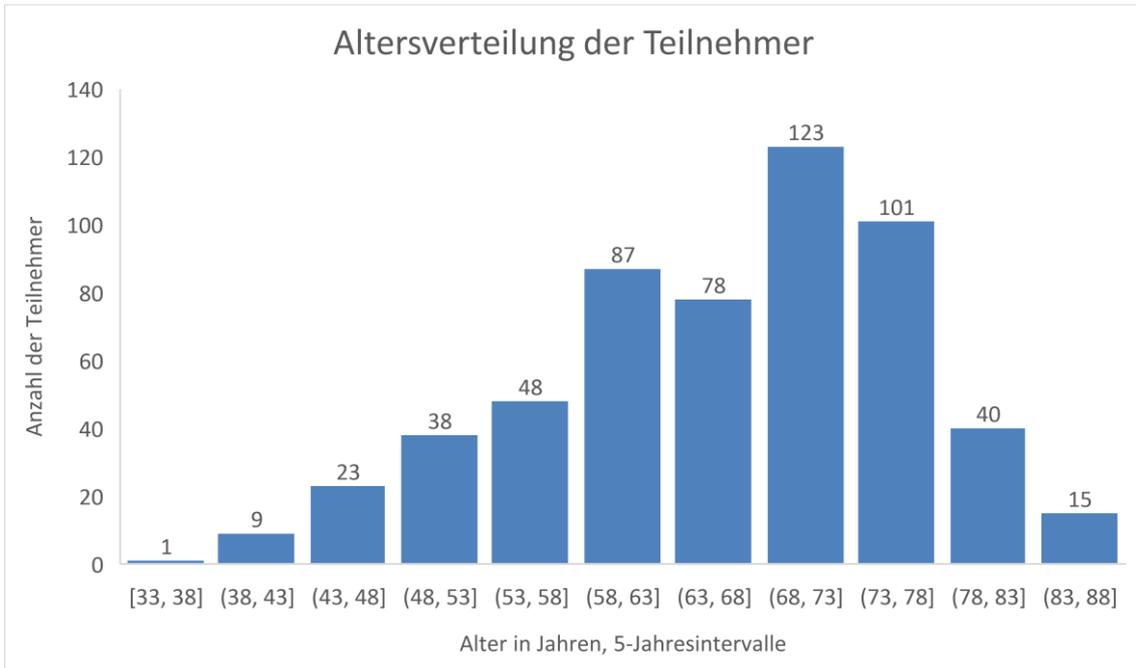


Abbildung 11: Altersverteilung der Teilnehmer

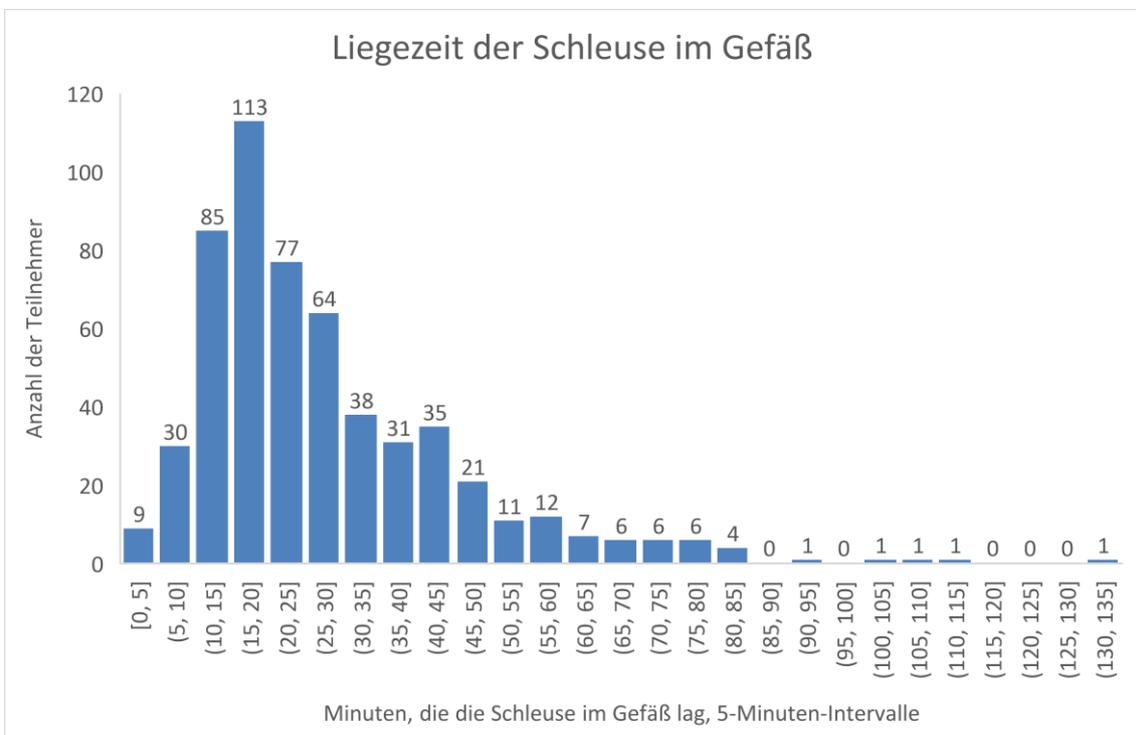


Abbildung 12: Verteilung der Zeit, die die Schleuse in der A. radialis lag, in Minuten.

Heparin wurde bei diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen weitgehend konsequent in einer Dosis von 5.000 internationalen Einheiten (IE) gegeben. Die Verteilung bei allen Prozeduren zeigt Abbildung 13.

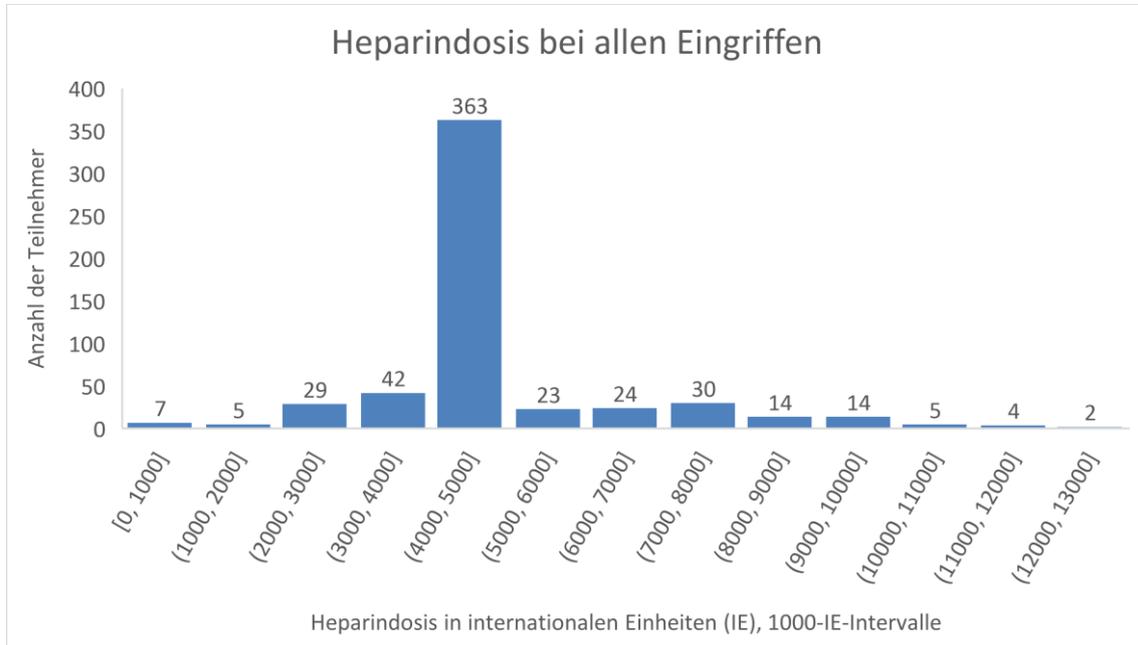


Abbildung 13: Histogramm der Heparindosen, die zum Herzkathetereingriff (sowohl diagnostische Herzkatheteruntersuchungen als auch Interventionen) verabreicht wurden. Bei diagnostischen Prozeduren wurden meist 5.000 IE unfraktioniertes Heparin verabreicht, bei Interventionen eine gewichtsadaptierte Dosis.

3.2 Arten und Häufigkeiten von Komplikationen

Es fanden sich bei insgesamt 30 Patienten (= 5,33%) pathologische Gefäßveränderungen. Dabei handelte es sich um:

- Den Verschluss der A. radialis (19 Patienten, 3,37%). Beispiele zeigen die Abbildungen 14 bis 16. Im Querschnitt der Abbildung 14 ist im B-Bild echogenes Material im Lumen der verschlossenen A. radialis zu erkennen. Distal von Verschlüssen fand sich in der A. radialis häufig ein retrograder Fluss. Dieser entstammte entweder der A. ulnaris über die Hohlhandbögen (s. Abbildung 3) oder anderen Kollateralen. Am häufigsten fand sich hierbei eine Kollaterale von der A. interossea anterior (s. Abbildung 2) zur A. radialis. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 15. Abbildung 16 zeigt gleichzeitig proximal des Verschlusses einen antegraden und distal des Verschlusses einen retrograden Fluss in der A. radialis.
- Stenosierungen der A. radialis (9 Patienten, 1,60%). Hierbei traten zwei Formen auf: zum einen kurzstreckige, fokale Stenosierungen (2 Patienten, 0,36%). In der Stenose finden sich hohe Strömungsgeschwindigkeiten, die in der Duplexsonografie entsprechend dargestellt werden können. In der farbcodierten Duplexsonografie tritt durch die hohe Geschwindigkeit das Aliasing-Phänomen auf. Ein Beispiel zeigt Abbildung 17. Zum anderen fanden sich auch langstreckige diffuse Stenosierungen (7 Patienten, 1,24%). Hier zeigte sich eine dünnlumige A. radialis, die oft schwierig abgrenzbar war, häufig waren auch Kollateralen vorhanden. Abbildung 18 zeigt auch hier ein Beispiel.
- Bei jeweils einem Patienten (je 0,18%) fand sich eine Stenose der A. brachialis bzw. der A. axillaris. Hier konnten in den Unterarmarterien poststenotische Flussprofile abgeleitet werden (s. Abbildungen 19 und 20).
- Schließlich fand sich bei einem Patienten (0,18%) eine asymptotische arteriovenöse Fistel von der proximalen A. radialis ausgehend (s. Abbildung 21).

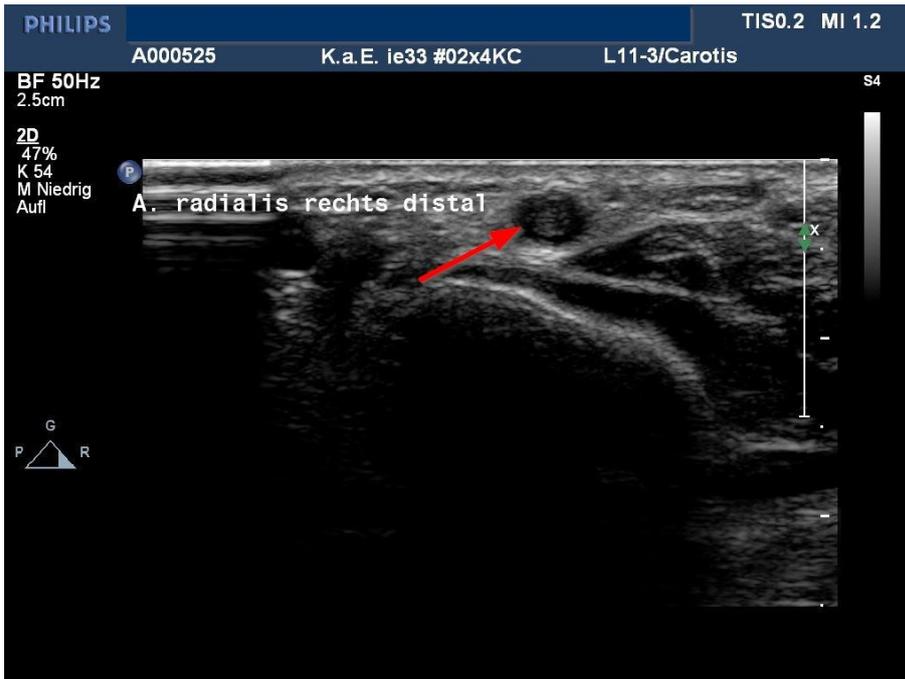


Abbildung 14: Verschluss der distalen A. radialis, B-Bild (vgl. Abbildung 5), Querschnitt. Im Lumen der verschlossenen A. radialis (Pfeil) ist echogenes Material zu erkennen. Erstveröffentlichung dieser Abbildung in modifizierter Form in [58], Verwendung mit freundlicher Genehmigung durch Springer.

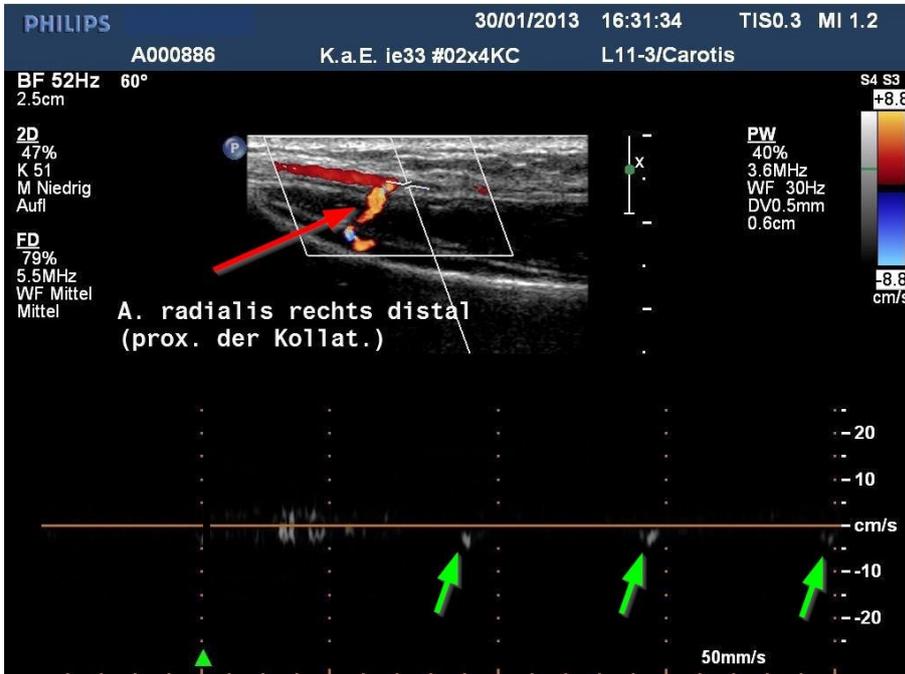


Abbildung 15: Verschluss der A. radialis mit Kollateralisierung, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pulsed-wave- (pw)-Doppler-Sonografie (vgl. Abbildung 7). Das sample volume, aus dem die Frequenzprofile der pw-Dopplersonografie abgeleitet werden, liegt proximal der Einmündung einer Kollaterale (roter Pfeil), die die distale A. radialis auffüllt. Hier findet sich im pw-Doppler ein minimaler retrograder Fluss (grüne Pfeile, die negativen Geschwindigkeiten kennzeichnen einen Fluss vom Schallkopf weg).

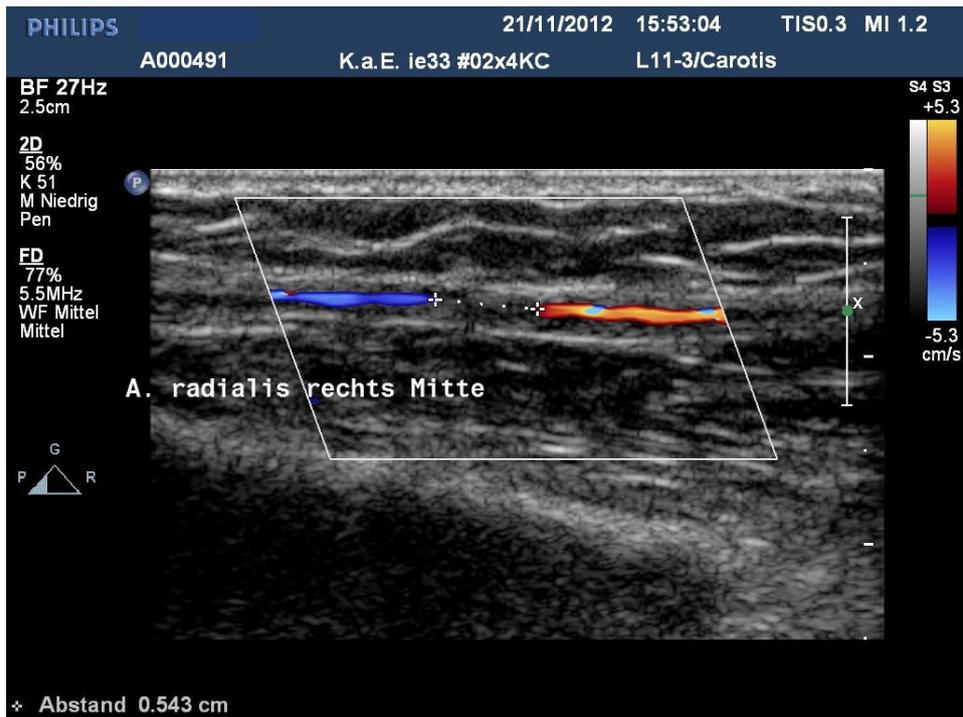


Abbildung 16: Verschluss der A. radialis, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie (vgl. Abbildung 6). Der Verschluss ist durch die Marker (+) gekennzeichnet. Proximal davon findet sich ein antegrader Fluss (rot codiert), distal des Verschlusses ein blau codierter retrograder Fluss. In beide Richtungen sehr niedrige Flussgeschwindigkeiten (die Farbcodierung der Flussgeschwindigkeiten kann der Farbskala am rechten Bildrand entnommen werden). Im Abschnitt proximal des Verschlusses finden sich zwei Punkte mit Farbumschlag von hellrot nach hellblau, hierbei handelt es sich um Aliasing als Kennzeichen von Flussgeschwindigkeiten etwas über 5,3 cm/s. Erstveröffentlichung dieser Abbildung in modifizierter Form in [58]. Verwendung mit freundlicher Genehmigung durch Springer.

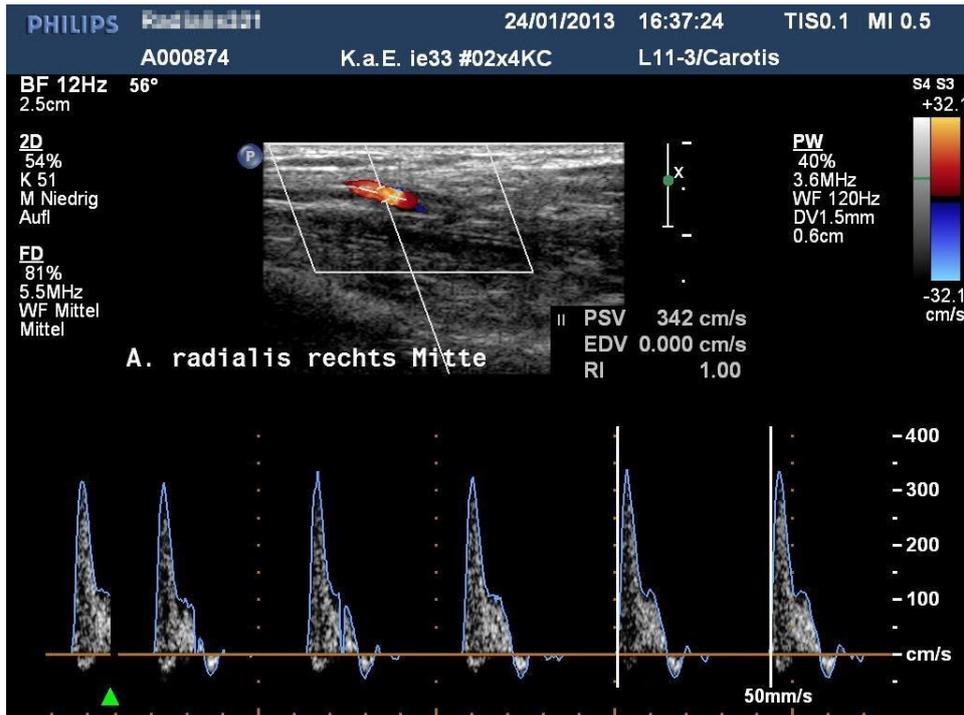


Abbildung 17: Fokale Stenosierung der A. radialis, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pw-Doppler-Sonografie. Im Farbdoppler tritt Aliasing (Farbumschlag von hellrot nach hellblau als Zeichen für über der Aliasgeschwindigkeit (hier 32,1 cm/s) liegende Flussgeschwindigkeiten) auf, im pw-Doppler systolische Spitzengeschwindigkeit von 3,4 m/s. Beachte den Unterschied zum normalen Frequenz-Zeit-Spektrum in Abbildung 7 und Abbildung 4.

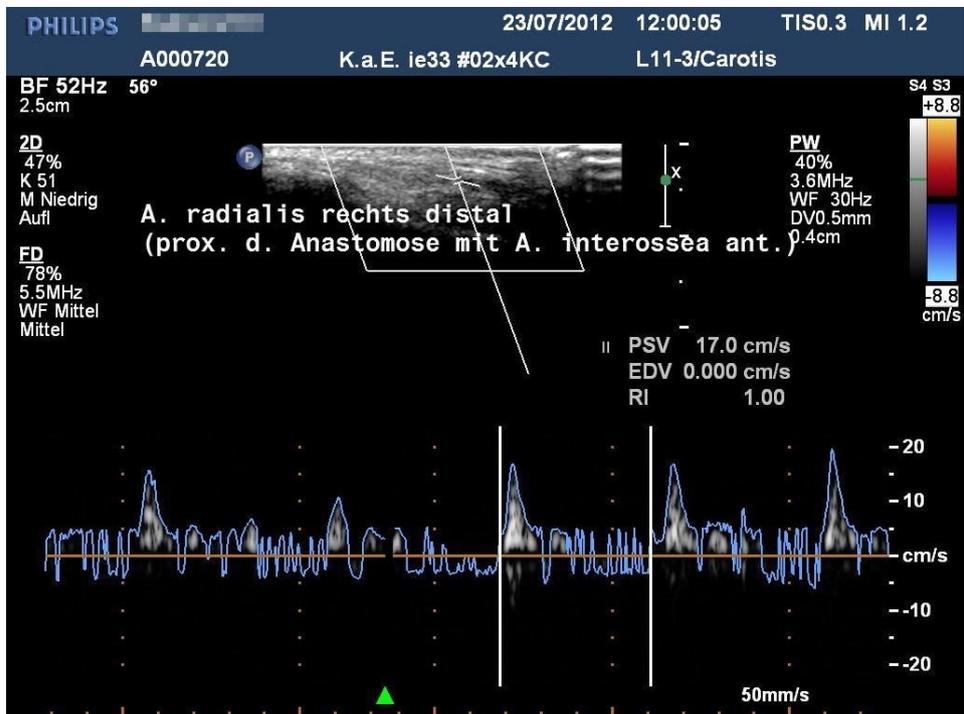


Abbildung 18: Diffuse Stenosierung der A. radialis, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pw-Doppler-Sonografie. Kaum abgrenzbare A. radialis, langsamer (poststenotischer) Fluss im pw-Doppler.

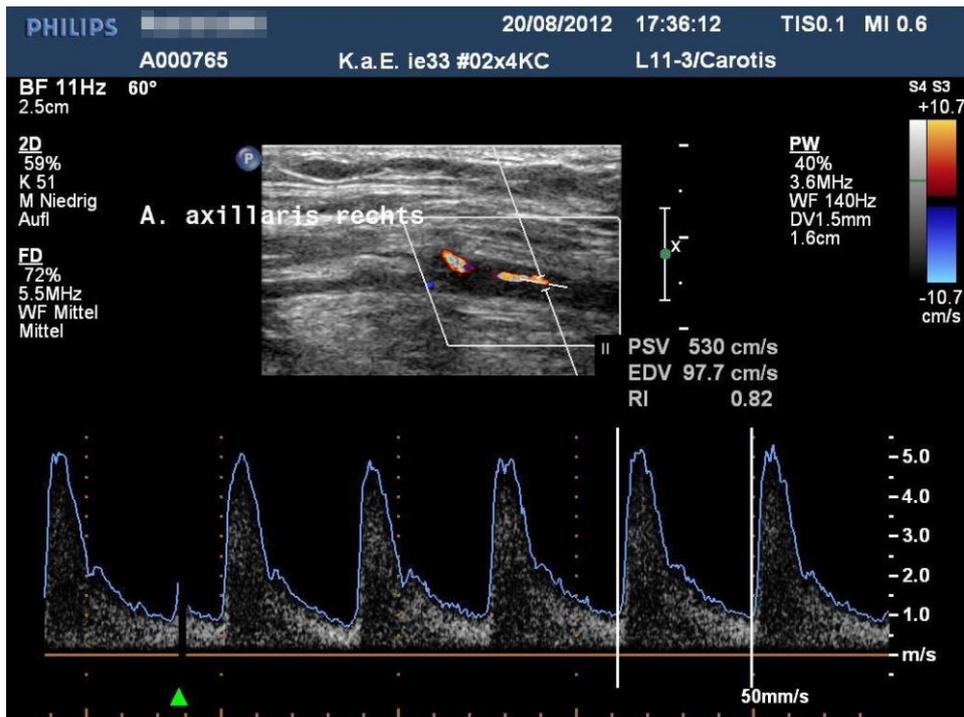


Abbildung 19: Stenose der A. axillaris, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pw-Doppler-Sonografie. Echoarme (dunkel dargestellte) Wandverdickung der A. axillaris, nur geringes Restlumen mit Farbsignal. Hohe Flussgeschwindigkeit (systolische Spitzengeschwindigkeit 5,3 m/s) in der Stenose.

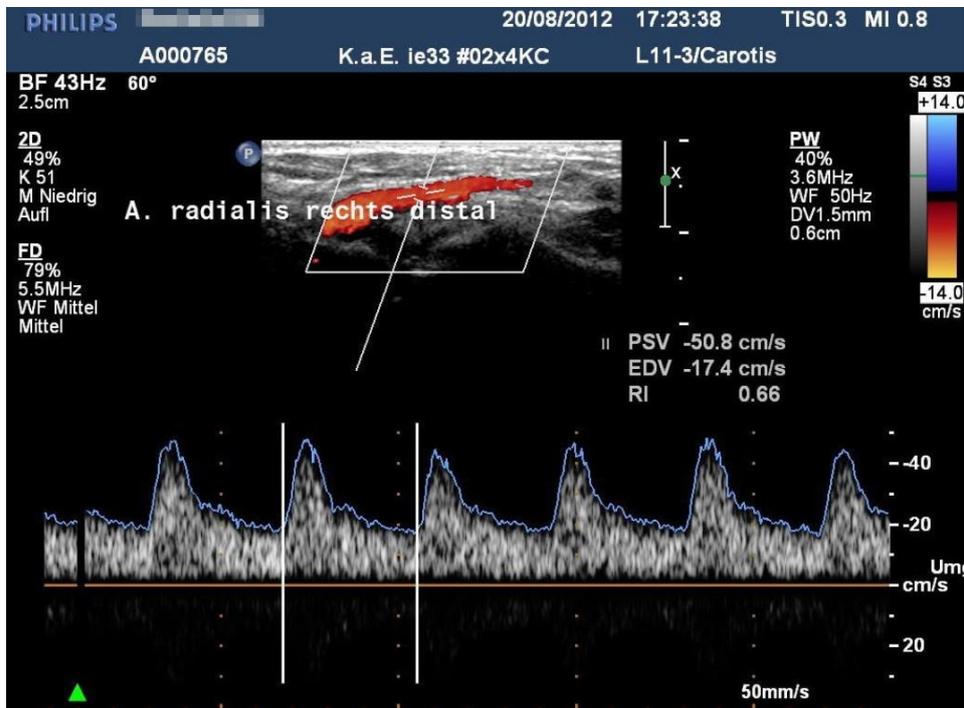


Abbildung 20: Poststenotischer Fluss in der A. radialis bei vorgeschalteter Stenose der A. axillaris, selber Patient wie in Abbildung 19. Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pw-Doppler-Sonografie. Zu erkennen sind der langsamere systolische Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit, das monophasische Flussprofil und die Strömungsstörungen (Verlust des so genannten spektralen Fensters – vergleiche hierzu das normale Flussprofil in Abbildung 7).

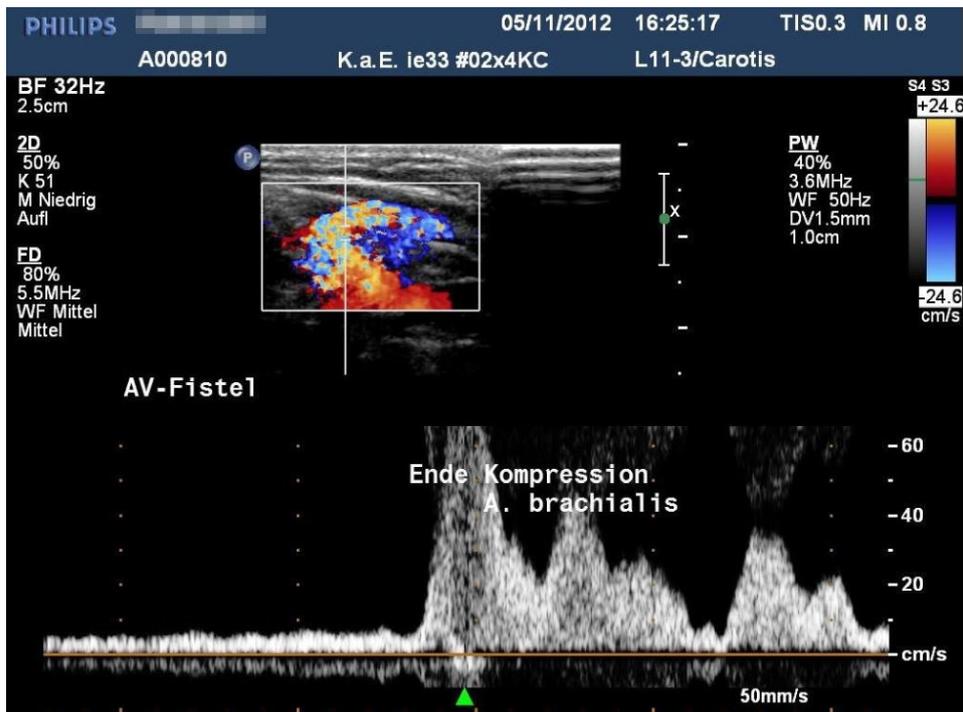


Abbildung 21: Arteriovenöse (AV-)Fistel von der proximalen A. radialis ausgehend, Längsschnitt (links distal, rechts proximal), farbcodierte Duplexsonografie kombiniert mit pw-Doppler-Sonografie. Die A. brachialis war komprimiert worden, nach Freigabe des Blutflusses erkennt man den hohen Fluss durch die Fistel von der im Bild unten liegenden A. radialis (rotes Fluss-signal) zur oben liegenden Vene (blaues Fluss-signal). In der Fistel selbst tritt als Ausdruck der hohen Flussgeschwindigkeit das Aliasing-Phänomen auf (Farbumschlag von hellrot nach hellblau bei Überschreitung der Alias-Geschwindigkeit, in diesem Fall 24,6 cm/s). Vor Freigabe des Flusses in der A. brachialis (linker Bildteil) langsamer kontinuierlicher Fluss, nach Ende der Kompression findet sich dann ein pulsatiler Fluss (rechter Bildteil, zwei Flussprofile).

Die Verteilung der Komplikationen zeigt Tabelle 3. Eine Patientin wies sowohl einen Verschluss der A. radialis als auch eine Stenose der A. brachialis auf, daher ergibt sich bei Summierung der Anzahl der einzelnen Komplikationen ein Wert von 31. Ein Aneurysma spurium fand sich bei keinem Patienten, ebenso gab es keine anamnestischen Hinweise auf das Vorkommen eines Kompartmentsyndroms.

Tabelle 3: Pathologische Gefäßveränderungen. A. = Arteria, AV-Fistel = arteriovenöse Fistel.

Gefäßveränderung	Anzahl	in % des Gesamtkollektivs (n = 563)
Verschluss der A. radialis	19	3,37
Diffuse Stenose der A. radialis	7	1,24
Fokale Stenose der A. radialis	2	0,36
Stenose der A. brachialis	1	0,18
Stenose der A. axillaris	1	0,18
AV-Fistel, von der A. radialis ausgehend	1	0,18

Die Verteilung von komplikationslosen Herzkatheteruntersuchungen und der Komplikationen kann Abbildung 22 entnommen werden.

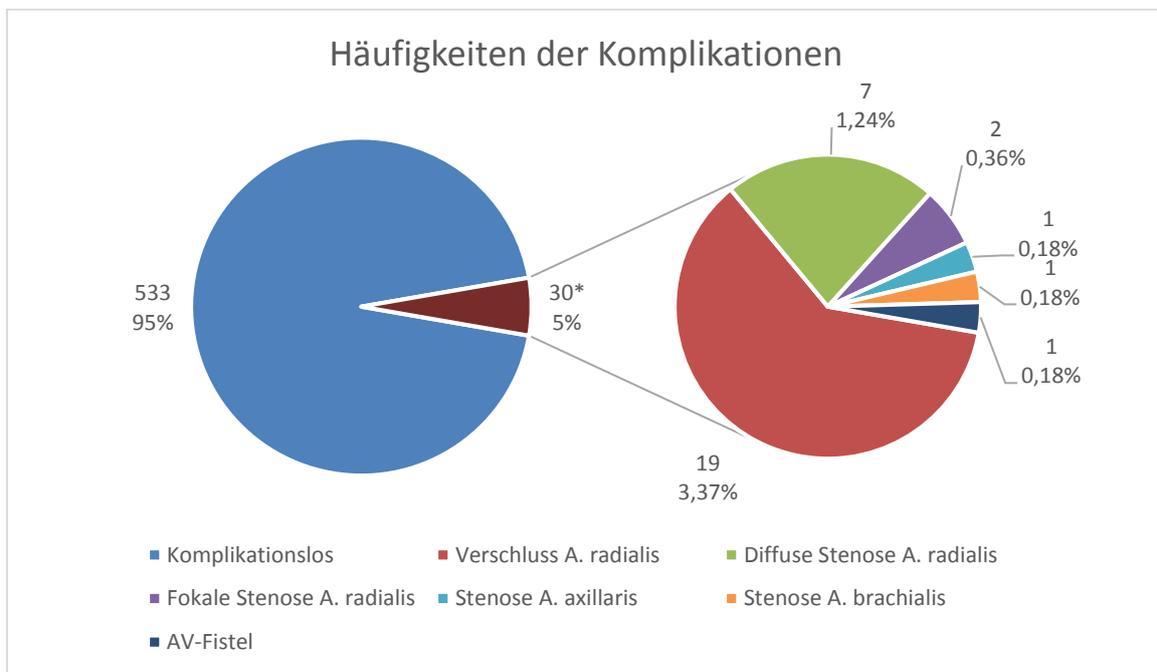


Abbildung 22: Häufigkeiten der Komplikationen. Links Darstellung der Verteilung der Eingriffe mit und ohne Komplikationen, rechts Aufschlüsselung der Komplikationen. Nach 30 Herzkathetereingriffen fanden sich pathologische Gefäßveränderungen. (*) Da sich bei einer Patientin sowohl ein Verschluss der A. radialis als auch eine Stenose der A. brachialis fand, ergibt die Summe der einzelnen Komplikationen 31 statt 30.

3.3 Risikofaktoren für vaskuläre Komplikationen gesamt

Eine Übersicht über das Vorgehen bei der statistischen Auswertung zeigt Abbildung 23.

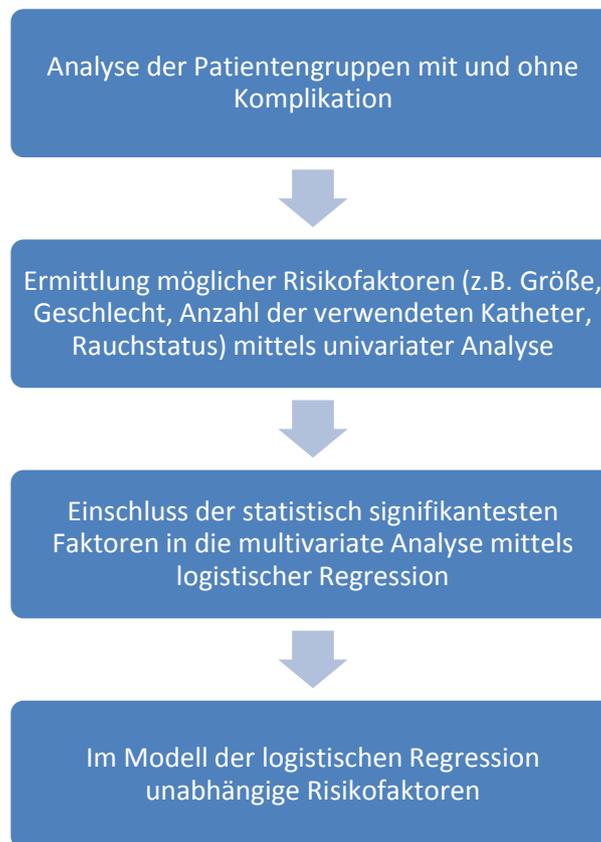


Abbildung 23: Schematische Darstellung der statistischen Analyse

Um Risikofaktoren für das Auftreten vaskulärer Komplikationen zu identifizieren, wurden für die Gruppen mit und ohne Komplikationen zunächst unter Verwendung der jeweils adäquaten statistischen Tests die folgenden Einzelfaktoren verglichen:

- Geschlecht
- Alter
- Anzahl der Herzkatheteruntersuchungen über die A. radialis vor der Duplexsonografie

- Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung (2. Halbjahr 2011 vs. 1. Halbjahr 2012, hierbei wurden die Patienten mit mehreren Herzkatheteruntersuchungen über die A. radialis ausgeschlossen)
- Seite des radialen Zugangs
- Körpergröße
- Body Mass Index
- Rauchstatus (Nieraucher vs. aktueller oder zurückliegender Nikotinkonsum)
- Vorliegen einer arteriellen Hypertonie
- Vorliegen eines Diabetes mellitus
- Vorliegen einer Hyperlipoproteinämie
- Vorliegen einer Niereninsuffizienz
- Vorliegen einer familiären Disposition für kardiovaskuläre Erkrankungen
- Durchführung einer perkutanen Koronarintervention (PCI)
- Zeitspanne, während der die Schleuse im Gefäß lag
- Anzahl der benutzten Katheter
- Dosis von unfraktioniertem Heparin während der Herzkatheteruntersuchung in folgenden Kategorien
 - o Unfraktioniertes Heparin < 5.000 IE
 - o Unfraktioniertes Heparin ≥ 5.000 IE
- Zusätzliche Gerinnungsinhibition mit folgenden Kategorien
 - o Einnahme von mindestens 81 mg/d Acetylsalicylsäure (ASS)
 - o Einnahme von Clopidogrel
 - o Einnahme von Ticagrelor oder Prasugrel
 - o Antikoagulation: oral mit Vitamin-K-Antagonisten oder einem Nicht-Vitamin-K-antagonistischen oralen Antikoagulans (NOAC), alternativ parenteral mit mindestens halbtherapeutischen Dosen von niedermolekularem Heparin oder intravenöses unfraktioniertes Heparin über Perfusor
 - o Mehrfache Gerinnungsinhibition (doppelte Thrombozytenaggregationshemmung oder antithrombozytäre Therapie plus Antikoagulation)

Die resultierenden Daten zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Basisdaten der Patientengruppen ohne und mit vaskuläre Komplikationen.

Legende:

* Chi-Quadrat-Test

** t-Test für unverbundene Stichproben

*** Fisher's exakter Test

§ Mann-Whitney-U-Test

Variable	Keine vaskuläre Komplikation	Vaskuläre Komplikation	p-Wert
Geschlecht männlich, n (%)	337 (63,2%)	12 (40%)	0,01*
Geschlecht weiblich, n (%)	196 (36,8%)	18 (60%)	
Alter (Jahre), Mittelwert (\pm SD)	66,5 (\pm 10,1)	67,7 (\pm 11,4)	0,52**
Größe (cm), Mittelwert (\pmSD)	170,0 (\pm9,2)	166,0 (\pm8,3)	0,02**
BMI (kg/m ²), Mittelwert (\pm SD)	27,9 (\pm 4,4)	27,9 (\pm 5,8)	0,98**
Nieraucher, n (%)	375 (70,4%)	24 (80%)	0,31***
Ehemaliger/gegenwärtiger Raucher, n (%)	158 (29,6%)	6 (20%)	
Arterielle Hypertonie, n (%)	397 (74,5%)	25 (83,3%)	0,39***
Diabetes mellitus, n (%)	131 (24,6%)	13 (43,3%)	0,02*
Hyperlipoproteinämie, n (%)	261 (49,0%)	14 (46,7%)	0,81*
Niereninsuffizienz, n (%)	59 (11,1%)	5 (20,0%)	0,37***
Pos. Familienanamnese, n (%)	150 (28,1%)	8 (26,7%)	0,86*
> 1 Herzkatheteruntersuchung, n (%)	27 (5,0%)	2 (6,7%)	0,66***
HKU 2011, n (%)	216 (42,7%)	15 (53,6%)	0,26*
Zugangsseite: rechts, n (%)	527 (98,9%)	30 (100%)	1,00***
Intervention, n (%)	130 (24,4%)	3 (10%)	0,08***
Schleusenzeit, Median (Interquartilbereich)	23 (16-37)	20,5 (15-28)	0,15§
Katheteranzahl, Median (Interquartilbereich)	2 (2-3)	2 (1-3)	0,33§
Heparin (IE), Median (Interquartilbereich)	5000 (5000-5000)	5000 (5000-5000)	0,13§
Heparin <5000 IE, n (%)	78 (14,6%)	6 (20,7%)	0,37*
Heparin \geq 5000 IE, n (%)	455 (85,4%)	23 (79,3%)	
ASS mind. 81 mg/d, n (%)	411 (77,1%)	18 (60%)	0,03*
Clopidogrel, n (%)	122 (22,9%)	5 (16,7%)	0,51***
Prasugrel/Ticagrelor, n (%)	55 (10,3%)	4 (13,3%)	0,54***
Antikoagulation, n (%)	66 (12,4%)	4 (13,3%)	0,78***
Mehrfache Gerinnungsinhibition, n (%)	189 (35,5%)	7 (23,3%)	0,18*

In der Einzelfaktorenanalyse waren somit die folgenden Faktoren zwischen den Gruppen mit und ohne vaskuläre Komplikation statistisch signifikant unterschiedlich:

- Geschlecht
- Körpergröße
- Vorliegen eines Diabetes mellitus
- Einnahme von ASS (in einer Dosis von mindestens 81 mg/d)

Eine grafische Darstellung der jeweiligen Verhältnisse findet sich in den Abbildungen 24 und 25.

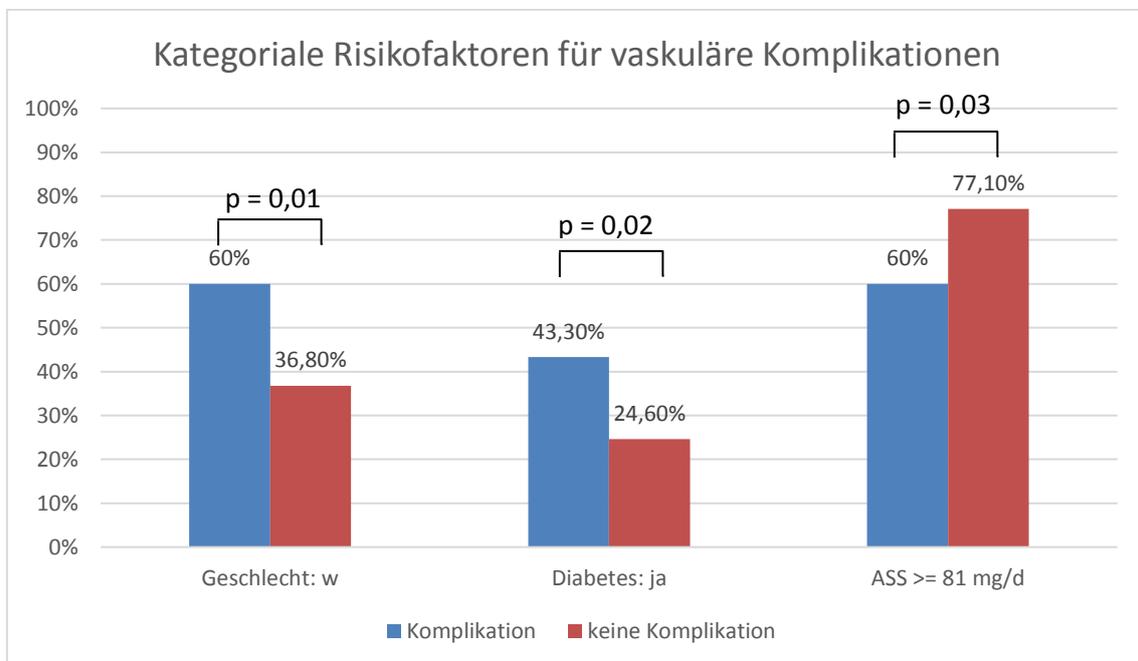


Abbildung 24: Vergleich der Prävalenz für die in der univariaten Datenanalyse signifikanten kategorialen Risikofaktoren für vaskuläre Komplikationen insgesamt.

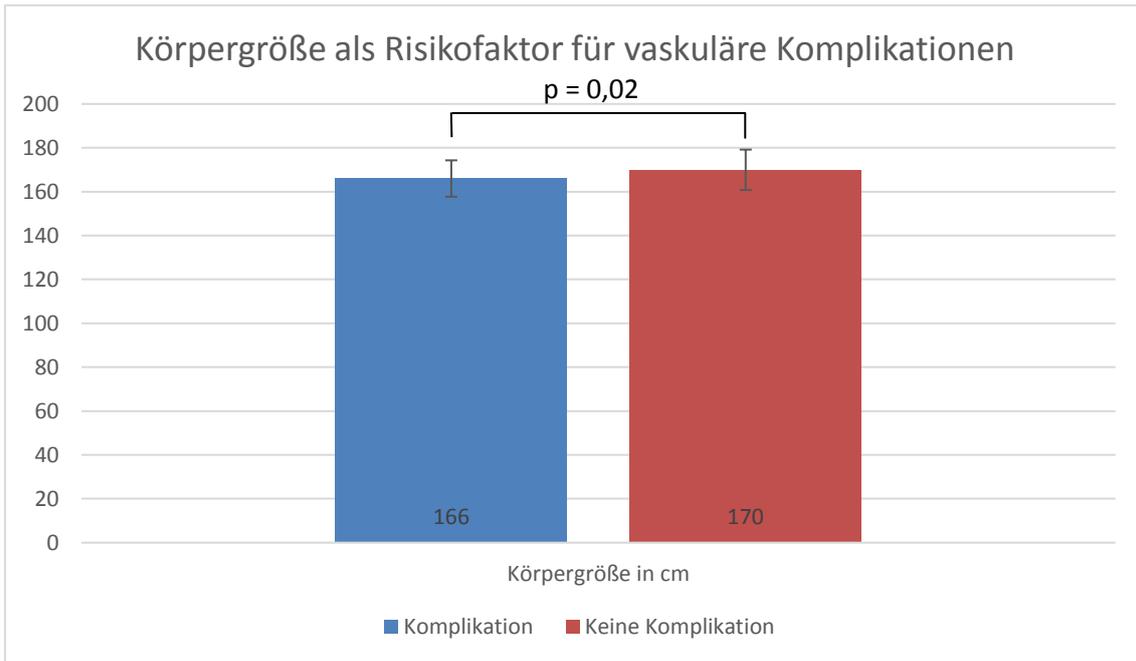


Abbildung 25: Vergleich der Körpergröße in cm bei den Gruppen mit und ohne vaskuläre Komplikation.

Diese vier Faktoren Geschlecht, Körpergröße, Diabetes mellitus und Einnahme von ASS wurden in das Modell für die logistische Regression eingeschlossen. Deren Resultat zeigen Tabelle 5 sowie die Abbildungen Abbildung 26 und Abbildung 27.

Tabelle 5: uni- und multivariate logistische Regression für alle vaskulären Komplikationen unter Einschluss von Geschlecht, Körpergröße, Diabetes mellitus und Einnahme von Acetylsalicylsäure (ASS). OR Odds Ratio, KI Konfidenzintervall, VIF variance inflation factor.

Variable	Univariate logistische Regression			Multivariate logistische Regression			
	OR	95%-KI	p-Wert	OR	95%-KI	VIF	p-Wert
Geschlecht weiblich	2,57	1,22 – 5,46	0,01	1,71	0,61 – 4,83	1,86	0,31
Körpergröße	0,95	0,91 – 0,99	0,02	0,97	0,92 – 1,03	1,86	0,33
Diabetes mellitus	2,35	1,11 – 4,95	0,03	2,34	1,09 – 5,03	1,02	0,03
ASS ≥ 81 mg/d	0,44	0,21 – 0,95	0,04	0,45	0,21 – 0,99	1,04	0,047

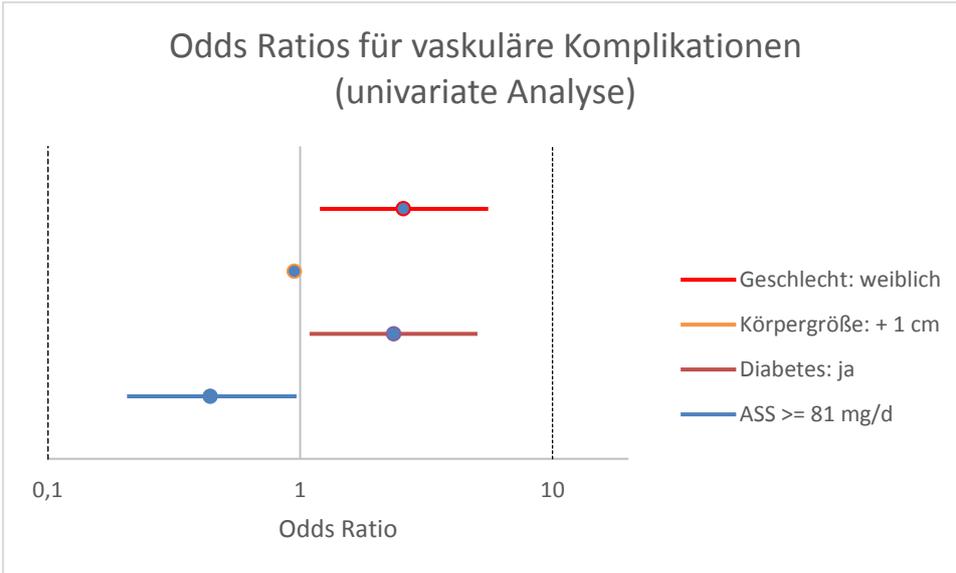


Abbildung 26: Odds Ratios (Punkte) mit 95%-Konfidenzintervallen (Linien) für vaskuläre Komplikationen bei univariater logistischer Regression.

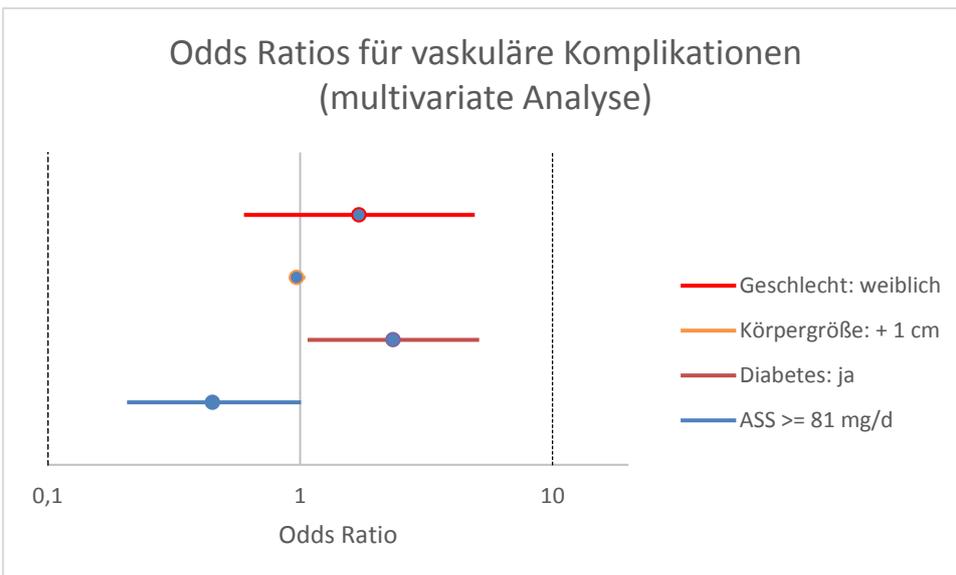


Abbildung 27: Odds Ratios (Punkte) mit 95%-Konfidenzintervallen (Linien) für vaskuläre Komplikationen im Modell der multivariaten logistischen Regression.

Somit können im Modell der multivariaten logistischen Regression das Vorliegen eines Diabetes mellitus als unabhängiger Risikofaktor für das Auftreten von vaskulären Komplikationen und die Einnahme von ASS in einer Dosierung von mindestens 81 mg pro Tag als protektiver Faktor identifiziert werden.

3.4 Verschluss der A. radialis

3.4.1 Verschluss der A. radialis: Symptomatik – Häufigkeit und Art

Der Verschluss der A. radialis war häufig asymptomatisch. Im vorliegenden Kollektiv beschrieben 6 von 19 Patienten (= 31,6%) Beschwerden. Tabelle 6 listet die von den Patienten genannten Beschwerden auf.

Tabelle 6: Von den Patienten mit Verschluss der A. radialis berichtete Symptomatik. HKU: Herzkatheteruntersuchung, A.: Arteria.

Pseudonym	Art der Beschwerden
Radialis23	Keine
Radialis70	anfallsweises Kältegefühl des Unterarms, verschlechtertes Schriftbild
Radialis92	Keine
Radialis96	Keine
Radialis107	Pelzigkeitsgefühl insbesondere des Handrückens für ca. 1 Woche nach der Herzkatheteruntersuchung
Radialis164	Keine
Radialis183	Keine
Radialis202	etwa 8 Tage andauernde Schmerzen im gesamten Arm
Radialis210	belastungsabhängiges Schweregefühl im rechten Unterarm, allerdings erst ca. 10 Monate nach HKU aufgetreten <i>Kommentar: zusätzlich zum Verschluss der A. radialis Stenose der A. brachialis</i>
Radialis250	Keine
Radialis302	eine Woche nach HKU belastungsabhängige Schmerzen und Parästhesien im Unterarm, zum Teil im gesamten Arm, ca. 6-8 Wochen anhaltend
Radialis333	Keine
Radialis364	Keine
Radialis377	wochenlang anhaltende Schmerzen im rechten Unterarm
Radialis443	Keine
Radialis448	Keine
Radialis487	Keine
Radialis508	Keine
Radialis546	Keine

3.4.2 Wertigkeit der klinischen Untersuchung

Bei 9 der 19 Patienten mit Verschluss der A. radialis ließ sich trotz des Verschlusses ein Puls am Handgelenk tasten. Im Gesamtkollektiv von 562 Fällen (bei einem Patienten fehlende Dokumentation) war lediglich bei 14 Patienten kein Puls zu tasten. Daraus ergeben sich folgende Daten:

Die klinische Untersuchung (im Sinne der Palpation der A. radialis am Handgelenk) nach Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis detektiert den Verschluss der A. radialis mit einer Sensitivität von 52,6%. Die Spezifität (Puls palpabel bei offener A. radialis) beträgt 99,3%. Der positiv prädiktive Wert (Vorhersagekraft eines fehlenden Pulses für den Verschluss der A. radialis) liegt bei 71,4%.

Bei der kleinen (n = 6) Subgruppe der symptomatischen Patienten war bei 5 Patienten trotz Verschluss ein Radialispuls zu tasten.

Wird die Symptomatik der Patienten mit einbezogen, steigt die Sensitivität somit auf $15/19 = 78,9\%$. Ein positiv prädiktiver Wert für die Kombination aus fehlendem Puls oder Symptomatik kann nicht angegeben werden, da bei den Patienten ohne Komplikationen eine eventuelle Symptomatik nicht systematisch dokumentiert wurde.

3.4.3 Risikofaktoren für das Auftreten eines Verschlusses der A. radialis

Die Patientengruppen mit und ohne Verschluss der A. radialis wurden analog zum oben beschriebenen Vorgehen für alle Komplikationen auf das Vorliegen von Risikofaktoren hin analysiert. Die resultierenden Daten zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Basischarakteristika der Patientengruppen mit und ohne Verschluss der A. radialis.

Legende:

* Chi-Quadrat-Test

** t-Test für unverbundene Stichproben

*** Fisher's exakter Test

§ Mann-Whitney-U-Test

Variable	kein Verschluss der A. radialis	Verschluss der A. radialis	p-Wert
Geschlecht männlich, n (%)	341 (62,7%)	8 (42,1%)	0,07*
Geschlecht weiblich, n (%)	203 (37,3%)	11 (57,9%)	
Alter (Jahre), Mittelwert (\pm SD)	66,6 (\pm 10,0)	67 (\pm 12,7)	0,85**
Größe (cm), Mittelwert (\pmSD)	170,0 (\pm9,2)	166,9 (\pm8,8)	0,15**
BMI (kg/m²), Mittelwert (\pmSD)	28,0 (\pm4,5)	26,5 (\pm4,6)	0,15**
Nieraucher, n (%)	384 (70,6%)	15 (78,9%)	0,61***
Ehemaliger oder gegenwärtiger Raucher, n (%)	160 (29,4%)	4 (21,1%)	
Arterielle Hypertonie, n (%)	406 (74,6%)	16 (84,2%)	0,43***
Diabetes mellitus, n (%)	135 (24,8%)	9 (47,4%)	0,03*
Hyperlipoproteinämie, n (%)	267 (49,1%)	8 (42,1%)	0,55*
Niereninsuffizienz, n (%)	60 (11,0%)	4 (21,1%)	0,26***
Pos. Familienanamnese, n (%)	155 (28,5%)	3 (15,8%)	0,30***
> 1 Herzkatheteruntersuchung, n (%)	27 (5,0%)	2 (10,6%)	0,26***
HKU 2011, n (%)	225 (43,5%)	6 (35,3%)	0,62***
Zugangsseite: rechts, n (%)	538 (98,9%)	19 (100%)	1,00***
Intervention, n (%)	131 (24,1%)	2 (10,5%)	0,27***
Schleusenzeit, Median (Interquartilbereich)	23 (16-36,8)	22 (19-33)	0,79§
Katheteranzahl, Median (Interquartilbereich)	2 (1-3)	2 (1-3)	0,39§
Heparin (IE), Median (Interquartilbereich)	5000 (5000-5000)	5000 (5000-5000)	0,52§
Heparin <5000 IE, n (%)	82 (15,1%)	2 (10,5%)	0,75***
Heparin = 5000 IE, n (%)	461 (84,9%)	17 (89,5%)	
ASS mind. 81 mg/d, n (%)	417 (76,7%)	12 (63,2%)	0,17*
Clopidogrel, n (%)	124 (22,8%)	3 (15,8%)	0,47***
Prasugrel/Ticagrelor, n (%)	57 (10,5%)	2 (10,5%)	0,99***
Antikoagulation, n (%)	67 (12,3%)	3 (15,8%)	0,72***
Mehrfache Gerinnungsinhibition, n (%)	192 (35,3%)	4 (21,1%)	0,23***

In der Einzelfaktorenanalyse war somit das Vorliegen eines Diabetes mellitus in den Gruppen mit und ohne Verschluss der A. radialis statistisch signifikant unterschiedlich.

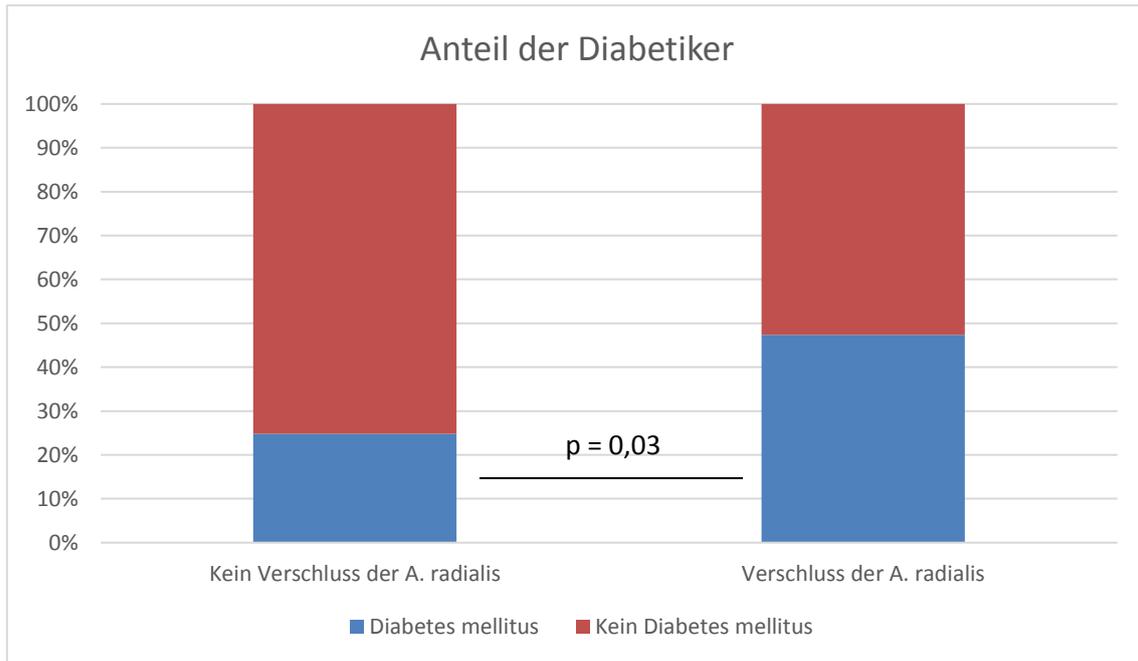


Abbildung 28: Anteil der Diabetiker in den Patientengruppen ohne und mit Verschluss der A. radialis.

Auf Grund der geringen Prävalenz des Verschlusses der A. radialis in der vorliegenden Population musste eine Selektion der Faktoren erfolgen, die in die multivariate Analyse eingeschlossen wurden. In das Modell für die logistische Regression wurden daher nur drei der Faktoren aufgenommen, deren p-Werte in der Einzelfaktoranalyse kleiner oder gleich 0,15 waren. Im Einzelnen waren dies:

- Geschlecht
- BMI
- Vorliegen eines Diabetes mellitus

Die Ergebnisse der uni- und multivariaten logistischen Regression zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Logistische Regression für den Verschluss der A. radialis

Variable	Univariate logistische Regression			Multivariate logistische Regression			
	OR	95%-KI	p-Wert	OR	95%-KI	VIF	p-Wert
Geschlecht weiblich	2,31	0,91 – 5,84	0,08	2,20	0,86 – 5,64	1,01	0,10
BMI	0,92	0,81 – 1,03	0,15	0,88	0,78 – 0,99	1,12	0,04
Diabetes mellitus	2,72	1,09 – 6,85	0,03	3,92	1,47 – 10,47	1,12	0,006

In der multivariaten Analyse sind somit das Vorliegen eines niedrigeren BMI sowie das Vorliegen eines Diabetes mellitus statistisch signifikante Risikofaktoren, einen Verschluss der A. radialis zu erleiden. Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse der univariaten, Abbildung 30 die der multivariaten logistischen Regression grafisch.

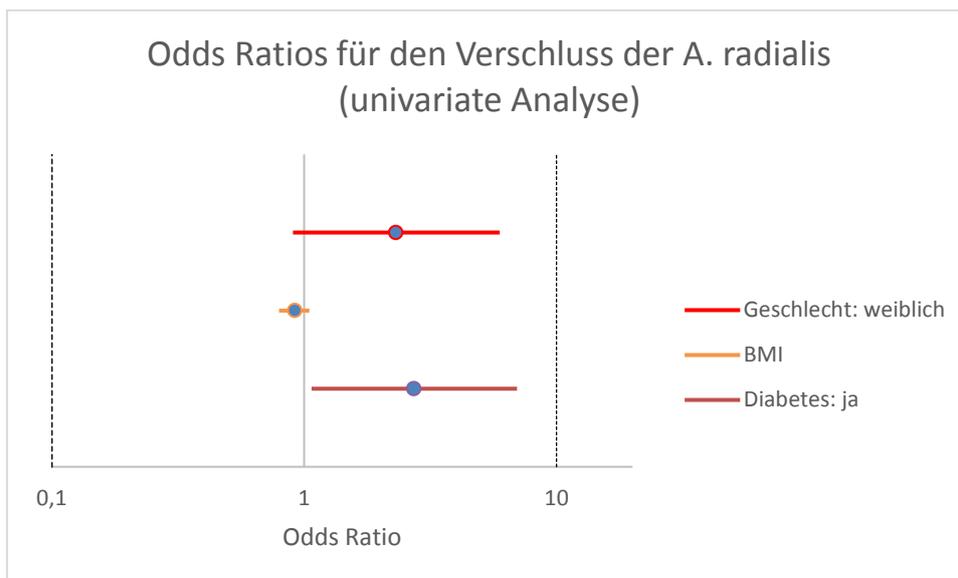


Abbildung 29: Odds Ratios (Punkte) und 95%-Konfidenzintervalle (Linien) für den Verschluss der A. radialis bei univariater logistischer Regression. BMI: Body Mass Index.

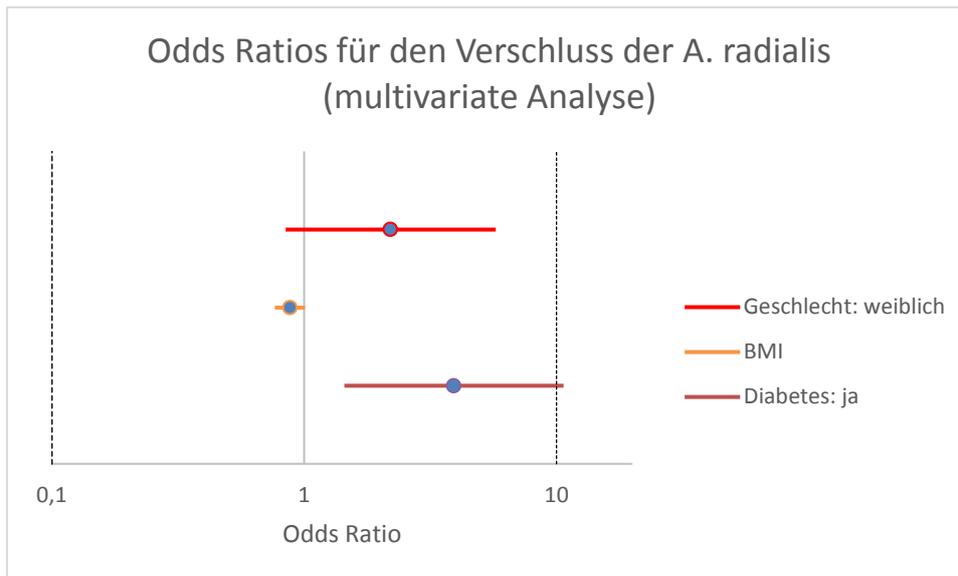


Abbildung 30: Odds Ratios (Punkte) und 95%-Konfidenzintervalle (Linien) für den Verschluss der A. radialis im Modell der multivariaten logistischen Regression. BMI: Body Mass Index.

3.4.4 Verschluss der A. radialis im Zeitverlauf

Um das eventuelle Vorliegen einer “Lernkurve” zu untersuchen, wurde überprüft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten, deren Herzkatheteruntersuchung im 2. Halbjahr 2011 lag und denen, deren Herzkatheteruntersuchung im 1. Halbjahr 2012 stattfand, vorliegt. In der Klinik am Eichert wurden die ersten Herzkathetereingriffe über die A. radialis im Jahr 2010 durchgeführt. Der Untersuchungszeitraum lag damit ebenfalls noch in der Phase der Umstellung. Patienten, die mehrfach über die selbe A. radialis untersucht wurden, wurden von dieser Analyse ausgeschlossen, um einen Effekt zulasten des 2. Halbjahrs des Einschlusszeitraums zu vermeiden. Ein statistisch signifikanter Unterschied fand sich bei einem p-Wert von 0,62 nicht. Bei Patienten aller sechs Ärzte, die im Untersuchungszeitraum Eingriffe über die A. radialis durchführten, traten Verschlüsse auf. Auf eine weitergehende statistische Analyse wurde angesichts der geringen Zahl an Verschlüssen verzichtet.

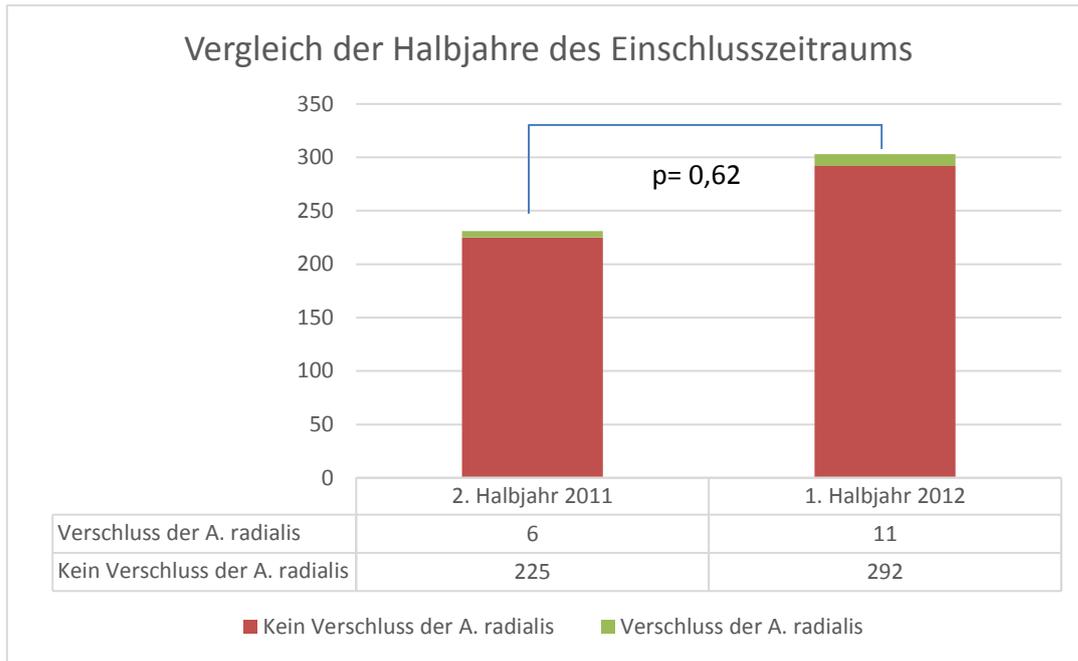


Abbildung 31: Vergleich der beiden Halbjahre des Einschlusszeitraums bezüglich des Verschlusses der A. radialis

3.4.5 Effektivität der Antikoagulation bei Verschluss der A. radialis

Bei n = 6 der 19 Patienten, bei denen ein Verschluss der A. radialis diagnostiziert wurde, wurde eine Antikoagulation durchgeführt. Bei vier dieser Patienten erfolgte die Antikoagulation nach Diagnose des Verschlusses über verschiedene Intervalle mit anschließender erneuter duplexsonografischer Untersuchung. Bei zwei Patienten bestand eine Antikoagulation bereits vor Diagnose des Verschlusses. Bei keinem dieser sechs Patienten konnte eine Rekanalisation der A. radialis erreicht werden. Tabelle 9 gibt einen Überblick über das Intervall von der Herzkatheteruntersuchung bis zur Diagnose des Verschlusses der A. radialis, die Dauer der Antikoagulation und das Ergebnis.

Tabelle 9: Dauer und Effekt der Antikoagulation bei Verschluss der A. radialis. HKU: Herzkatheteruntersuchung. NMH: niedermolekulares Heparin. RAO: Verschluss der A. radialis (radial artery occlusion).

Pseudonym	Intervall HKU – Diagnosestellung RAO	Dauer und Art der Antikoagulation	Ergebnis
Radialis23	3 Tage	4 Wochen NMH halbtherapeutisch	Keine Rekanalisation
Radialis70	29 Tage	14 Wochen NMH	Keine Rekanalisation
Radialis96	36 Tage	4 Wochen NMH	Keine Rekanalisation
Radialis302	42 Tage	10 Wochen NMH	Keine Rekanalisation
Radialis210	322 Tage	NMH halbtherapeutisch nach HKU, Dauer unbekannt	Keine Rekanalisation
Radialis448	531 Tage	Dauerhafte orale Antikoagulation (Phenprocoumon)	Keine Rekanalisation

3.5 Todesursachen der verstorbenen Patienten

Bei allen 15 Patienten, von denen herauszufinden war, dass sie nach der Herzkatheteruntersuchung gestorben waren, wurde versucht, die Todesumstände herauszufinden. Bei 3 Patienten war der genaue Todeszeitpunkt nicht zu eruieren, diese Patienten waren aber in größerem zeitlichen Abstand zur Herzkatheteruntersuchung verstorben (mindestens 182 Tage, mindestens 431 Tage und mindestens 553 Tage nach Herzkatheteruntersuchung). Bei 3 weiteren Patienten war zwar der Todeszeitpunkt, nicht jedoch die Todesursache zu eruieren. Bei den 10 Patienten, bei denen die Todesursache bekannt ist, kann kein Zusammenhang zwischen der Herzkatheteruntersuchung und der Todesursache hergestellt werden. Details finden sich in Tabelle 10.

Tabelle 10: Todeszeitpunkt nach Herzkatheteruntersuchung sowie Todesursache bei den verstorbenen Patienten. S. aureus: Staphylococcus aureus.

Nr.	Todeszeitpunkt nach Herzkatheteruntersuchung	Todesursache
1	40 Tage	Lungenarterienembolie, paralytischer Ileus
2	> 182 Tage	Rasch progredientes Tumorleiden
3	153 Tage	Sepsis mit S. aureus bei Erysipel
4	40 Tage	Perikardtamponade 14 Tage nach Aortenklappenersatz
5	9 Tage	Unklar
6	197 Tage	Dekompensierte Herzinsuffizienz
7	238 Tage	Dekompensierte Herzinsuffizienz
8	4 Tage	Unklar, vermutlich plötzlicher Herztod
9	41 Tage	Kardiogener Schock mit Multiorganversagen 7 Tage nach operativer Myokardrevaskularisation
10	233 Tage	Unbekannt
11	395 Tage	Sepsis bei Karzinom der Papilla duodeni major
12	64 Tage	Myokardiales Pumpversagen 2 Tage nach operativer Myokardrevaskularisation + Aortenklappenersatz
13	> 431 Tage	Unbekannt
14	369 Tage	Sepsis, akute Herzinsuffizienz
15	> 553 Tage	Unbekannt

4 Diskussion

4.1 Vaskuläre Komplikationen ohne Verschluss

In der vorliegenden Arbeit fand sich im längerfristigen Verlauf nach Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis eine Gesamtprävalenz von vaskulären Komplikationen von 5,33%. Die häufigste Komplikation war der Verschluss der A. radialis mit 3,37%. Die Häufigkeit der übrigen Komplikationen betrug 2,13%, hiervon wiederum waren die fokalen und diffusen Stenosen mit 1,6% die größte Gruppe. Bei den weiteren Komplikationen (Stenosen der A. brachialis, A. axillaris und AV-Fistel) handelte es sich um Einzelfälle.

Zur Häufigkeit vaskulärer Komplikationen im Langzeitverlauf nach Herzkathetereingriff über die A. radialis finden sich (mit Ausnahme des Verschlusses der A. radialis) in der Literatur wenig systematische Daten. Eine Arbeit [32] überprüfte an einem sehr großen Kollektiv (n = 12 665) das Auftreten einer Vielzahl von Komplikationen (Hämatome, Aneurysmata spuria, Perforationen, AV-Fisteln, Dissektionen, Kompartmentsyndrome, Handischämien und mykotische Aneurysmata) und fanden eine sehr niedrige Gesamtprävalenz von 0,5%. Allerdings erfolgte die Diagnostik mittels Angiografie oder Sonografie nur bei klinischem Verdacht auf eine vaskuläre Komplikation, so dass asymptomatische Komplikationen der Detektion entgingen. Zudem wurden die Patienten maximal drei Monate nachbeobachtet, und dies auch nur bei bereits diagnostizierter Komplikation.

Zu den Risikofaktoren für vaskuläre Komplikationen allgemein war in der verfügbaren Literatur keine systematische Analyse zu finden. Im untersuchten Patientenkollektiv war das Vorliegen eines Diabetes mellitus ein unabhängiger Risikofaktor, die Einnahme von ASS in einer Dosierung von mindestens 81 mg/d erschien protektiv. Einschränkend ist hier zu sagen, dass es sich beim Großteil (n = 19/31) der vaskulären Komplikationen um den Verschluss der A. radialis handelte.

4.2 Verschluss der A. radialis

4.2.1 Prävalenz und Zeitpunkt des Auftretens von Verschlüssen der A. radialis nach Herzkathetereingriff

Es liegt mittlerweile eine Vielzahl an Arbeiten vor, die sich mit dem Verschluss der A. radialis befassen. Eine Metaanalyse lieferten Rashid et al. [73], in diese wurden 66 Studien mit über 31000 Patienten eingeschlossen. Eine der dort zitierten Arbeiten beruht auf einem Teil der Daten, die in die vorliegende Arbeit eingegangen sind [74]. Die von Rashid et al. eingeschlossenen Studien weisen Prävalenzen von Verschlüssen der A. radialis von <1% bis 33% auf. Im Mittel fand sich eine Prävalenz von 5,6% sowohl bei Einschluss aller Studien als auch bei isolierter Betrachtung der Arbeiten, bei denen zwischen Herzkathetereingriff und Follow-up mehr als 7 Tage lagen. Eine weitere Metaanalyse [75] schloss 99 Studien ein, es ergab sich eine Prävalenz von Verschlüssen der A. radialis von 5,2%. Bei Betrachtung der in dieser Arbeit als „spät“ bezeichneten Verschlüsse der A. radialis, definiert als >7 Tage nach Herzkatheteruntersuchung, ergab sich ein Wert von 4,8% gegenüber 7,7% innerhalb der ersten 7 Tage [75]. Hierbei bedeutet „später Verschluss“ lediglich, dass zwischen Herzkathetereingriff und Untersuchung der A. radialis mehr als 7 Tage lagen. Zwar geben die Autoren an, dass es Berichte über späte, in der frühen Phase nicht detektierte, Verschlüsse gebe, in den beiden von Hahalis et al. zitierten Arbeiten findet sich jedoch kein eindeutiger Hinweis hierauf: Youn et al. [76] berichten lediglich über den Verlust eines tastbaren Pulses bei zwei Patienten bei einem Follow-up von 140 und 432 Tagen. Ob der Puls unmittelbar nach dem Herzkathetereingriff noch tastbar war, ist der Arbeit nicht zu entnehmen. Bei Peruga et al. [77] ist bei einem einzelnen Patienten mit Verschluss der A. radialis nach 1 und 12 Monaten der betreffenden Tabelle nicht zu entnehmen, ob zum Zeitpunkt <24 Stunden nach Herzkathetereingriff sonografisch tatsächlich kein Verschluss der A. radialis vorlag oder nur keine Ultraschalluntersuchung vorgenommen wurde. Im Text des Artikels wird hierauf ebenfalls nicht eingegangen. Der einzige Bericht über tatsächlich im längerfristigen Verlauf neu aufgetretene Verschlüsse der A. radialis

findet sich in einer älteren Arbeit von Nagai et al.: hier fanden sich nach drei Monaten zwei Patienten mit neu aufgetretenem Verschluss der A. radialis. Die Autoren postulierten eine Intimaverdickung als Korrelat von diffusen Stenosen, zur Genese der „späten“ Verschlüsse werden keine Angaben gemacht [78]. Zusammenfassend handelt es sich bei Verschlüssen der A. radialis in größerem zeitlichen Abstand zum Herzkathetereingriff um Raritäten.

Die zeitliche Latenz von der Herzkatheteruntersuchung bis zur Duplexsonografie war in der vorliegenden Arbeit größer als in den meisten anderen. Insgesamt deckt sie einen weiten Zeitraum von Intervallen zur Nachuntersuchung ab. In einer anderen Arbeit mit Intervallen zwischen Herzkatheteruntersuchung und Duplexsonografie von 6 bis 15 Monaten lag die Rate an Verschlüssen der A. radialis mit 16,4% erheblich höher [79]. Wesentliche Unterschiede bezüglich der Patientencharakteristika (bis auf eine in der vorliegenden Arbeit wesentlich höhere Prävalenz der arteriellen Hypertonie) und der prozeduralen Daten fanden sich nicht. Bei der Duplexsonografie wurden in der Arbeit von Buturak et al. unter Verwendung einer Definition aus [45] die Flussgrade 0 (dopplersonografisch kein Fluss) und 1 (im Vergleich zur Gegenseite schwer reduzierter antegrader Fluss) als Verschluss gewertet. Somit schloss diese Arbeit auch nicht vollständig okkludierte Gefäße als Verschluss ein. Gefäße mit der Charakteristik eines Grad-1-Flusses wurden in der vorliegenden Arbeit als diffus stenosierte gewertet. Auch unter Berücksichtigung dieser Fälle (s. hierzu Abschnitt 4.2.2) besteht weiterhin ein deutlicher Unterschied der Häufigkeit dieser Komplikationen (16,4% vs. 4,6% in der vorliegenden Arbeit).

4.2.2 Prävalenz von Verschlüssen der A. radialis im Vergleich zu anderen Arbeiten, Rolle von Spontanrekanalisationen

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelte Prävalenz des Verschlusses der A. radialis steht im Einklang mit den Ergebnissen der meisten Arbeitsgruppen, vergleiche hierzu die beiden bereits genannten Metaanalysen [73,75].

Interessant ist die um 89% (3,37% vs. 30,5%) niedrigere Häufigkeit von Verschlüssen der A. radialis im Vergleich zur Arbeit von Uhlemann et al. [49], da diese Gruppe sowohl vom Material als auch von den Methoden her einen sehr ähnlichen Ablauf der Herzkatheteruntersuchung beschrieben hat. Die wesentlichen Unterschiede sind zum einen der deutlich längere Zeitraum bis zur duplexsonografischen Nachuntersuchung, zum anderen die deutlich höhere Heparindosis (5.000 vs. 2.500 IE) bei diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen im vorliegenden Studienkollektiv, die Heparindosis bei perkutanen Koronarinterventionen war in den beiden Kollektiven vergleichbar. Ein Teil der Diskrepanz der Ergebnisse könnte durch eine höhere Anzahl von spontanen Rekanalisationen bedingt sein. Allerdings ist von einer maximalen Rate an Spontanrekanalisationen von ca. 50-70% auszugehen: es wurden Werte von knapp 50% [36], 60% [78] und 70% [80] publiziert. Allerdings gibt es auch Arbeiten mit niedrigeren Rekanalisationsraten. In der PROPHET-Studie [63] wurden innerhalb eines Monats 47% Rekanalisationen beobachtet, in der PROPHET-II-Studie [81] lag die Rate im Zeitraum zwischen 24 Stunden und einem Monat nach Herzkathetereingriff bei 26%. Es ist allerdings anzumerken, dass in beiden Arbeiten für die Diagnose des Verschlusses bzw. der Offenheit die Plethysmografie angewendet wurde. Auch ist nicht beschrieben, ob nach der Diagnose eines Verschlusses z.B. eine Antikoagulation durchgeführt wurde. In der Leipziger Studie wurden die Patienten mit asymptomatischem Verschluss nicht antikoaguliert, es fand sich eine Rekanalisationsrate von 13,5% nach im Mittel 14 Tagen [49].

Bei den im vorliegenden Patientenkollektiv gefundenen 7 diffusen Stenosen der A. radialis könnte es sich durchaus um spontan rekanalisierte Verschlüsse handeln. Zur sonografischen Morphologie von spontan rekanalisierten Verschlüssen der A. radialis konnte keine Literatur gefunden werden. Es existiert eine Beschreibung von Rekanalisationsvorgängen der A. carotis interna [82]: das ursprüngliche Gefäß ist oft schmallumig und randständig mit echoärmeren Resten ausgekleidet. Innerhalb des Gefäßes finden sich farbduplexsonografisch zum Teil mäanderartige schmale Farbsignale mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten. Diese Charakteristika wurden bei den diffus

stenosierten Gefäßen gefunden. Aufgrund der ausgeprägten Kaliberschwankungen und der zum Teil schlechten Abgrenzbarkeit der A. radialis gegen die Umgebung war eine Durchmesserangabe nicht sinnvoll möglich.

Werden die diffusen Stenosen als spontan rekanalisierte Verschlüsse gewertet, läge die Prävalenz von aktuellen und zurückliegenden Verschlüssen bei $19 + 7 = 26$, dies entspräche 4,6% des Gesamtkollektivs. Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass (evtl. auch die Mehrzahl der) Verschlüsse spontan rekanalisieren, ohne dass später sonografisch morphologische Veränderungen am Gefäß nachzuweisen sind.

Letztlich ist die Differenz der Häufigkeit des Verschlusses der A. radialis zwischen der Leipziger Studie und der vorliegenden Arbeit nicht allein durch eventuelle Spontanrekanalisationen zu erklären. Insofern könnte dieses Ergebnis die Bedeutung der ausreichenden Antikoagulation mit Heparin, wie bereits mehrfach beschrieben [50,83] und auch in zwei Metaanalysen unter Einschluss der vorgenannten Arbeiten bestätigt [73,75], nochmals unterstreichen, wenn auch innerhalb der vorliegenden Arbeit die Heparindosis nicht als unabhängiger Risikofaktor zu identifizieren war.

4.2.3 Häufigkeit von Verschlüssen der A. radialis im Halbjahresvergleich

Eine wesentliche „Lernkurve“ zwischen den beiden Halbjahren des Einschlusszeitraums war bezüglich der Häufigkeit eines Verschlusses der A. radialis nicht zu detektieren. Hier war möglicherweise die Beobachtungszeit zu kurz für einen relevanten Unterschied. Betrachtet man zum Vergleich den prozeduralen Erfolg der an der Klinik am Eichert durchgeführten Herzkathetereingriffe über die A. radialis, so fand sich im Einschlusszeitraum zwischen Juli 2011 und Juni 2012 eine prozedurale Erfolgsrate von 666/773 Prozeduren (= 86,2%). Im Vergleich dazu lag diese im Jahr 2017 bei 1089/1182 (= 92,1%), $p < 0,0001$ bei Verwendung des Chi-Quadrat-Tests.

4.2.4 Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis

Bezüglich der Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis konnten in der vorliegenden Arbeit das Bestehen eines Diabetes mellitus (OR 3,92) sowie ein niedrigerer BMI (OR 1,14 pro kg/m²) in der multivariaten Analyse als unabhängige Risikofaktoren identifiziert werden. Die Datenlage zum Diabetes mellitus als Prädiktor für Verschlüsse der A. radialis ist uneinheitlich: so war beispielsweise in der PROPHET-Studie kein statistisch signifikanter Zusammenhang festzustellen [63], hingegen fand sich dieser in anderen Arbeiten [78,84,85]. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang ist eine stärkere Neigung zur frühzeitigen Atherosklerose bei Diabetikern; so konnte gezeigt werden, dass das Vorliegen eines Diabetes mellitus ein Prädiktor sowohl für eine Intimahyperplasie als auch für Arteriosklerose der A. radialis ist [86,87].

Auch für den zweiten unabhängigen Prädiktor des Verschlusses der A. radialis, einen niedrigeren BMI, ist die Datenlage nicht einheitlich. Einige Arbeiten fanden keinen Zusammenhang [83,88], andere konnten ein niedriges Körpergewicht [63,89] oder einen niedrigen BMI [90] als Risikofaktor identifizieren.

Beide in der vorliegenden Arbeit gefundenen Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis – niedrigerer BMI und das Vorliegen eines Diabetes mellitus – können neben dem weiblichen Geschlecht gleichzeitig Prädiktoren für einen geringeren Durchmesser der A. radialis sein [91,92,88]. Die Korrelation zwischen BMI und Durchmesser der A. radialis wurde zuletzt wieder in Frage gestellt [93]. Die Studienpopulationen der genannten Arbeiten waren nicht sehr groß und entstammten verschiedenen Regionen der Welt. Insgesamt dürfte der BMI nur eine der Determinanten des Durchmessers der A. radialis sein.

Ein kleinerer Gefäßdurchmesser [78] bzw. eine im Verhältnis zum Gefäß großlumige Schleuse wurden als Risikofaktoren für einen Verschluss der A. radialis identifiziert mit einer Odds Ratio von 3,25 [45] bzw. 5,76 [79] und 6,8 [80].

4.3 Stenosierungen der A. radialis

Die Prävalenz von fokalen oder diffusen Stenosen der A. radialis war mit n=9 (1,60%) im Vergleich zu vorhergehender Literatur niedrig: in einer Arbeit von 1999 waren ca. ein bis sechs Monate nach Herzkatheteruntersuchung sonografisch bei 28% der Patienten Stenosen der A. radialis festzustellen [78]. Ein Teil der Differenz ist hier sicherlich der weit gefassten Definition der Stenosen in der Arbeit von Nagai et al. zuzuschreiben: es wurden bereits Lumeneinengungen von 10% als Stenose definiert.

Problematisch ist die nicht scharfe Definition der diffusen Stenose, allerdings gibt es auch keine systematischen Daten zu längerstreckigen Stenosen der Arterien der oberen Extremitäten. Bei den als diffus stenosierte klassifizierten Arterien dürfte ein Teil verschlossen und im Verlauf spontan rekanalisiert gewesen sein, zumindest zeigten diese Gefäße passende Charakteristika (s. Abschnitt 4.2.2).

4.4 AV-Fistel

Bei einem Patienten wurde eine AV-Fistel, ausgehend von der proximalen A. radialis (s. Abbildung 21), gefunden. Dies ist ein ungewöhnlicher Befund: zum einen ist generell die Inzidenz von AV-Fisteln niedrig. So berichteten Burzotta et al. [29] über 9 AV-Fisteln in einer Population von 10.676 Patienten, dies entspricht einer Inzidenz von 0,08%. Hier ist allerdings anzumerken, dass nicht alle Patienten systematisch nachuntersucht wurden, so dass asymptomatische AV-Fisteln dem Nachweis entgangen sein dürften. Uhlemann et al. fanden bei 455 Patienten 4 AV-Fisteln, dies entspricht 0,9% [49]. In den meisten anderen Arbeiten wurden AV-Fisteln nicht berichtet oder es fanden sich keine, eine Übersicht findet sich ebenfalls in der oben genannten Arbeit [29]. Bei der weiteren Literatur handelt es sich zumeist um Fallberichte [94,95]. Äußerst ungewöhnlich ist die Lokalisation der AV-Fistel an der proximalen A. radialis, hierfür fand sich kein vorhergehender Fallbericht. In der zitierten Literatur fanden sich – sofern die

Lokalisation berichtet wurde – die AV-Fisteln an der Punktionsstelle am distalen Unterarm. Zur Genese der AV-Fistel wäre denkbar, dass die A. radialis durch den Führungsdraht perforiert wurde; im Herzkatheterbericht findet sich allerdings kein Hinweis darauf.

4.5 Schwerwiegende Komplikationen

Schwerwiegende Komplikationen traten nicht auf. Insbesondere konnte bei den 15 Patienten des vorliegenden Kollektivs, von denen bekannt ist, dass sie nach der Herzkatheteruntersuchung verstarben und bei denen die Todesursache bekannt war, kein Zusammenhang zwischen der Herzkatheteruntersuchung und dem Tod festgestellt werden. Hierbei ist zu bemerken, dass die Gruppe der Patienten, die trotz schriftlicher und telefonischer Kontaktversuche, gegebenenfalls auch unter Einbezug von öffentlichen Telefon- und Adressverzeichnissen und/oder des Hausarztes, nicht erreicht werden konnten, vermutlich einige weitere Patienten erhält, die in der Zeit zwischen Herzkatheteruntersuchung und Versuch der Kontaktaufnahme verstorben sind. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass die Untersucher bei schwerer erkrankten Patienten dazu neigten, den femoralen statt dem radialen Zugang für die Herzkatheteruntersuchung zu verwenden (ein denkbare Beispiel wäre ein Patient im kardiogenen Schock mit schlecht tastbarem Radialispuls). Ob und in welchem Umfang dies eine Rolle spielte, ist mit den vorliegenden Daten nicht zu beantworten. In verschiedenen Studien wurden allerdings auch schwer erkrankte Patienten randomisiert: in die RIFLE-STEACS-Studie [23] wurden auch Patienten mit hämodynamischer Instabilität oder kardiogenem Schock aufgenommen. Immerhin 6,1% der Patienten waren der Killip-Klasse IV (kardiogener Schock) zuzuordnen. Der kardiogene Schock war zwar einer der Hauptgründe für einen Wechsel des Zugangswegs, dennoch war in der intention-to-treat-Analyse der radiale Zugang mit geringeren Komplikationsraten inklusive dem kardialen Tod assoziiert (5,2% versus 9,2%, $p = 0,02$). Auch in der MATRIX-Studie konnte unter Einschluss einer geringen Zahl (1,1% in der radialen Gruppe)

von Patienten mit kardiogenem Schock eine geringere Gesamtmortalität für den radialen Zugang gezeigt werden: 1,6% versus 2,2%, $p = 0,045$ [24].

4.6 Antikoagulation zur Therapie des Verschlusses der A. radialis

In verschiedenen Arbeiten wurde beschrieben, dass eine Antikoagulation nach Diagnose eines Verschlusses der A. radialis die Offenheitsrate der A. radialis im Verlauf erhöhen kann: Zankl et al. fanden bei 26 von 30 (86,7%) symptomatischen Patienten nach einer Antikoagulation von 4 Wochen Dauer eine teilweise oder vollständige Rekanalisation der A. radialis [51]. In der Arbeit von Uhlemann et al. wurden 54 symptomatische Patienten für 6 ± 7 Tage antikoaguliert. Beim Follow-up nach 14 Tagen fand sich bei 30 Patienten (55,6%) eine rekanalisierte A. radialis [49]. Dieser Effekt konnte in der vorliegenden Arbeit nicht reproduziert werden. Ein wesentlicher Unterschied dürfte der Zeitpunkt des Beginns der Antikoagulation sein: bei beiden genannten Arbeiten wurde die Duplexsonografie am Tag nach der Herzkatheteruntersuchung [51] bzw. nach $1 \pm 1,3$ Tagen [49] durchgeführt. Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Arbeit frühestens drei Tage nach der Herzkatheteruntersuchung mit der Antikoagulation begonnen. Die schlechtere Effektivität der Antikoagulation könnte also dadurch bedingt sein, dass sich der Thrombus bereits in einem späteren Stadium der Organisation befindet. Zwar gibt es Hinweise, dass die bindegewebige Organisation eines arteriellen Thrombus länger braucht als die eines venösen Thrombus: in einem tierexperimentellen Ansatz wurden die ersten organisierenden Zellen in einem arteriellen Thrombus nach 3 Wochen gefunden [96]. Auf der anderen Seite wurde aber auch beschrieben, dass bei einem postinterventionellen Verschluss der A. radialis histologisch bereits nach 72 Stunden Kanäle (als Präkursoren für Kapillaren) zu finden waren, was auf eine sehr hohe Geschwindigkeit der Organisation hindeutet [54].

4.7 Limitationen

Eine wesentliche Limitation der vorliegenden Arbeit ist das Fehlen von präinterventionellen sonografischen Ausgangsdaten. Es hätten mittels einer präinterventionellen Duplexsonografie vorbestehende Gefäßläsionen identifiziert werden können, die jetzt eventuell als Komplikation gewertet wurden. Insbesondere bei den diffusen Stenosen liegt der Verdacht nahe, dass bereits vor der Herzkatheteruntersuchung Gefäßläsionen existierten: bei drei von sieben Patienten war die Herzkatheteruntersuchung über die A. radialis nicht erfolgreich durchführbar. Im Vergleich dazu war die Herzkatheteruntersuchung bei den Patienten mit Verschluss der A. radialis lediglich in einem von 19 Fällen nicht über die A. radialis durchführbar. Selbstverständlich kann nicht differenziert werden, ob die diffuse Stenose Ursache oder Folge des nicht erfolgreichen radialen Zugangs ist.

Zudem wäre insbesondere vor dem Hintergrund des Zusammenhangs des Verhältnisses von Schleusen- zu Gefäßdurchmesser mit Verschlüssen der A. radialis (s. Kapitel 4.2.4) ein Ausgangsdiameter der A. radialis von Interesse gewesen.

Von den 705 Patienten, die für einen Einschluss in Frage gekommen wären, konnten immerhin 147 (= 20,9%) nicht eingeschlossen werden. Die Ursachen waren hauptsächlich die Ablehnung der Teilnahme (n = 78 bzw. 11,2%) und die Nichterreichbarkeit des Patienten trotz mehrfacher Kontaktversuche über mehrere Kontaktwege (n = 60 bzw. 8,6%). Insbesondere wegen der Größe der letzteren Gruppe lässt sich eine Veränderung der Studienpopulation nicht völlig ausschließen.

Bedingt durch die weite Streuung der Zeitintervalle von Kathetereingriff bis zur Nachuntersuchung (4 Wochen bis 24 Monate, s. Abbildung 10) könnten eventuelle Trends in der Häufigkeit der Komplikationen über die Zeit das Ergebnis beeinflusst haben.

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine monozentrische Studie, so dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere Zentren zu übertragen sind. Die Herzkathetereingriffe verteilten sich auf sechs Untersucher mit vor der Studie erheblichen Unterschieden bezüglich Ausbildungsstand, Eingriffszahlen und Affinität zum Zugang über die A. radialis.

Schließlich war die Anzahl der Komplikationen trotz der im Vergleich [73] etwas überdurchschnittlichen Größe des Kollektivs zu gering für eine sehr differenzierte Auswertung der Risikofaktoren; es war dementsprechend notwendig, die in die multivariate Analyse eingeschlossenen Faktoren zu limitieren. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der Ergebnisse zufällig entstanden sind bzw. auf der anderen Seite auch reale Risikofaktoren als nicht signifikant verworfen wurden. Hier wären weitere Studien mit entsprechend größeren Fallzahlen notwendig.

4.8 Ausblick: Strategien zur Vermeidung von vaskulären Komplikationen bzw. des Verschlusses der A. radialis

In den letzten Jahren wurden mehrere Vorgehensweisen beschrieben, die die Rate an vaskulären Komplikationen, insbesondere des Verschlusses der A. radialis, nach radialem Zugang weiter reduzieren können. Hier ist zum einen das Konzept der „patent hemostasis“ [63] zu nennen, bei dem das Kompressionssystem die A. radialis nicht komplett komprimiert und diese somit während der Hämostase offen bleibt. In der PROPHET-Studie [63] fand sich bei 1,8% der Patienten in der „patent hemostasis“-Gruppe ein Verschluss der A. radialis, verglichen mit 7% in der Kontrollgruppe.

Einen neueren Ansatz, der ebenfalls das Offenhalten der A. radialis während der Hämostase verfolgt, stellt die prophylaktische Kompression der ipsilateralen A. ulnaris dar. In der PROPHET-II-Studie [81] zeigte sich bei 0,9% der Patienten, bei denen zusätzlich zur Kompression nach „patent hemostasis“ die A. ulnaris komprimiert wurde, nach 30 Tagen ein Verschluss der A. radialis. Im Vergleich

dazu fand sich bei den Patienten ohne Kompression der A. ulnaris ein Verschluss der A. radialis in 3,0%. Ähnliche Ergebnisse erbrachte die kleinere ULTRA-Studie: hier konnte bei 119 Patienten mit einstündiger Kompression der A. ulnaris innerhalb einer Stunde nach Entfernung des Kompressionssystems kein Verschluss der A. radialis nachgewiesen werden. Im Vergleich dazu fand sich bei 5% der 121 Patienten mit konventioneller „patent hemostasis“ ein Verschluss der A. radialis [97]. In allen drei genannten Studien wurde kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Blutungskomplikationen gefunden. Bernat et al. fanden bei akuten Verschlüssen der A. radialis (3-4 Stunden nach Ende der Hämostase diagnostiziert), dass eine einstündige Kompression der A. ulnaris bei der Rekanalisation der A. radialis hilfreich ist [52].

Ein weiterer Ansatz wäre die präinterventionelle Bestimmung des Durchmessers der A. radialis und Vermeidung der Verwendung einer Schleuse, deren Diameter größer ist als der der A. radialis. Hintergrund ist die oben angeführte Risikoerhöhung durch ein Verhältnis von Schleusendurchmesser zu Gefäßlumen >1 . Dass ein solches Vorgehen machbar ist, wurde bereits berichtet [98].

Angesichts des fehlenden Erfolgs der Antikoagulation bei Verschlüssen der A. radialis in der vorliegenden Arbeit erscheint es vor dem Hintergrund der Erfolge anderer Arbeitsgruppen bei frühzeitiger Antikoagulation sinnvoll, bei fehlendem Radialispuls nach Entfernung des hämostatischen Bands auch bei asymptomatischen Patienten unmittelbar eine Duplexsonografie durchzuführen und bei Nachweis eines Verschlusses eine Antikoagulation einzuleiten. Hierbei sind natürlich Nutzen und Risiko patientenindividuell abzuwägen. Ein generelles sonografisches Screening erscheint aufgrund der Seltenheit eines Verschlusses der A. radialis bei gleichzeitig tastbarem Puls (im vorliegenden Kollektiv $9/548 = 1,6\%$) überzogen. Von diesen 9 Patienten waren 5 symptomatisch, so dass sich bei Einbezug von Pulspalpation und Symptomatik das Risiko, einen Verschluss der A. radialis nicht zu detektieren, auf $4/548 = 0,7\%$ reduziert.

4.9 Schlussfolgerung

Es konnte gezeigt werden, dass beim vorliegenden Patientenkollektiv der radiale Zugang zur Herzkatheteruntersuchung nur selten zu Komplikationen führte, die überdies nicht schwerwiegend waren. In Übereinstimmung mit den meisten anderen Arbeiten war der Verschluss der A. radialis die häufigste Komplikation. Dessen Häufigkeit (3,37%) war im Vergleich zu einer von den zum Herzkathetereingriff verwendeten Materialien und Methoden sowie vom Patientenkollektiv ähnlichen Studie [49] um 89% niedriger. Als Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis konnten in der multivariaten Analyse ein niedriger Body Mass Index sowie das Vorliegen eines Diabetes mellitus identifiziert werden.

Der radiale Zugang zur Herzkatheteruntersuchung ist somit ein sicheres und auch im Langzeitverlauf mit wenig vaskulären Komplikationen behaftetes Verfahren. Deren Zahl kann durch Verwendung geeigneter Techniken (ausreichende Antikoagulation, „patent hemostasis“) noch weiter reduziert werden.

5 Zusammenfassung

Die Verwendung der A. radialis als Zugangsweg für Herzkathetereingriffe gewinnt in den letzten Jahren an Popularität, da sich eine deutliche Verminderung von Komplikationen an der Zugangsstelle gegenüber dem femoralen Zugang gezeigt hatte [15,16]. Überdies konnte für den radialen Zugang bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom ein Überlebensvorteil belegt werden [22–24]. Bezüglich der möglichen vaskulären Komplikationen des radialen Zugangs gibt es eine Vielzahl von Arbeiten zum Verschluss der A. radialis, hier finden sich weit variierende Daten mit Prävalenzen von bis zu 30% [49]. Zu den weiteren vaskulären Komplikationen finden sich weit weniger Daten.

Ziel der vorliegenden Arbeit war, die Art und Prävalenz von vaskulären Komplikationen im Langzeitverlauf nach Herzkathetereingriff am Kollektiv der Alb Fils Kliniken, Klinik am Eichert Göppingen, in einem Beobachtungszeitraum von 12 Monaten zu ermitteln und mögliche Risikofaktoren zu identifizieren.

Eingeschlossen werden konnten die Patienten, bei denen im Zeitraum zwischen 1. Juli 2011 und 30. Juni 2012 ein Herzkathetereingriff über die A. radialis durchgeführt oder versucht wurde. Voraussetzung zum Einschluss war, dass die Schleuse erfolgreich in die A. radialis gelegt worden war.

Die Nachuntersuchung erfolgte in einem Intervall von 4 Wochen bis 24 Monate nach dem Herzkathetereingriff mittels Ultraschall der A. radialis.

Im Einschlusszeitraum konnten 719 Prozeduren, die an 705 Patienten durchgeführt wurden, identifiziert werden. Von diesen 705 Patienten nahmen 558 (= 79,1%) teil, durch Untersuchungen beider Arme bzw. Mehrfachuntersuchungen ergab sich eine Gesamtzahl von 563 duplexsonografischen Untersuchungen.

Bei 30 Patienten (= 5,33%) fanden sich 31 vaskuläre Komplikationen. Im Einzelnen waren dies:

- Der Verschluss der A. radialis (n = 19 bzw. 3,37%)
- Diffuse Stenosierungen der A. radialis (n = 7 bzw. 1,24%)
- Fokale Stenosierungen der A. radialis (n = 2 bzw. 0,36%)
- Stenosen der A. brachialis oder A. axillaris (je n = 1 bzw. 0,18%)
- Eine AV-Fistel von der proximalen A. radialis ausgehend (n = 1 bzw. 0,18%).

Schwere Komplikationen traten nicht auf. Bei der Suche nach Risikofaktoren für alle vaskuläre Komplikationen konnte in der multivariaten Analyse mittels logistischer Regression das Vorliegen eines Diabetes mellitus als unabhängiger Risikofaktor identifiziert werden, die Einnahme von ASS in einer Dosierung von mindestens 81 mg/d wirkte risikoreduzierend.

Als unabhängige Risikofaktoren für den Verschluss der A. radialis konnten das Vorliegen eines Diabetes mellitus sowie ein niedriger Body Mass Index ermittelt werden.

Die Häufigkeit des Verschlusses der A. radialis lag etwas unter der in zwei Metaanalysen [73,75] ermittelten Prävalenz.

Eine Antikoagulation mit dem Ziel der Rekanalisation der A. radialis war (bei n = 6 Patienten) nicht wirksam, dies könnte am durch das Studiendesign verzögerten Beginn der Antikoagulation liegen.

Eine Limitation der vorliegenden Arbeit ist das Fehlen sonografischer Ausgangsdaten, was die Beurteilung der vaskulären Komplikationen erschwert.

6 Anhang

Patientenanschreiben und Einverständniserklärung

ZENTRUM FÜR INNERE MEDIZIN Klinik für Kardiologie, Pneumologie, Angiologie mit Schlaganfallstation, internistische Sportmedizin CHEFARZT: Prof. Dr. St. Schröder	 ALB FILS KLINIKEN KOMPETENZ QUALITÄT ZUWENDUNG			
<small>ALB FILS KLINIKEN Klinik am Eichert, PF 660, 73006 Göppingen</small>	<small>Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Ulm Zentrale: 07161.64-0 Sekretariat: 07161.64-2671 Fax: 07161.64-1814 E-Mail: kardiologie@kae.de Ansprechpartner: OA Ruhnau Datum: 18.01.2019</small>			
<p>Sehr geehrte/r,</p> <p>bei Ihnen wurde vor einiger Zeit eine Herzkatheteruntersuchung in unserem Haus durchgeführt. Dabei wurde als Zugang zum Gefäßsystem die Speichenschlagader (Radialarterie) am Handgelenk genutzt. Dieser Zugang bietet einige Vorteile gegenüber dem Zugang über die Leistenschlagader, so ist zum Beispiel eine weniger lange Bettruhe nach dem Eingriff notwendig, zudem werden deutlich weniger Blutungskomplikationen beobachtet. Der Zugangsweg über die Radialarterie stellt ein etabliertes, jedoch noch relativ junges Verfahren dar; es existieren daher noch recht wenig Daten über die Verschlussrate der Arterie nach einer Herzkatheteruntersuchung.</p> <p>Um unsere Erfahrung, dass ein Verschluss der Arterie ein seltenes Ereignis ist, zum Einen stützen und zum Anderen bei Ihnen einen solchen Verschluss möglichst ausschließen zu können, bitten wir Sie um Ihre Mitarbeit und möchten Sie zu einem Nachuntersuchungstermin einladen.</p> <p>Der zeitliche Aufwand beträgt für Sie etwa eine halbe Stunde, in dieser Zeit erfolgt eine Untersuchung der Radialarterie mittels Tasten sowie mit Ultraschall. Von dieser Untersuchung gehen keinerlei Risiken für Sie aus.</p> <p>Zugleich bitten wir Sie um Ihr Einverständnis, dass wir die bei der Kontrolluntersuchung erhobenen Daten in pseudonymisierter Form wissenschaftlich auswerten dürfen, weitere Informationen und eine entsprechende Einwilligungserklärung hierzu finden Sie in der Anlage. Bitte bringen Sie diese Dokumente zum Untersuchungstermin mit.</p> <p>Wir werden in den nächsten Tagen telefonisch Kontakt zu Ihnen aufnehmen, um einen Termin zu vereinbaren.</p> <p>Mit freundlichen Grüßen</p> <p>Prof. Dr. med. St. Schröder Chefarzt</p>				
<small>ALB FILS KLINIKEN GmbH Eicherstraße 3 73035 Göppingen</small>	<small>Vorsitzender des Aufsichtsrats: Landrat Edgar Wolf Geschäftsführer: Dr. Jörg Noetzel, Wolfgang Schmid</small>	<small>Sitz: Göppingen Registergericht: Ulm HRB 720485</small>	<small>Telefon: 07161.64-0 Telefax: 07161.64-1829 info@al-fils.de www.alb-fils-kliniken.de</small>	<small>Kreissparkasse Göppingen BLZ 610 500 00, Kto.-Nr. 17 IBAN: DE 15 6105 0000 0000 0000 17 SWIFT-BIC: GOP5 DE 6 G IK-Nr. 260810589, SL-Nr. 63089/09893</small>

Patienteninformation

Titel der Studie: Vaskuläre Komplikationen nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung.

Sehr geehrte/r ...,

wir möchten Sie bitten, im Rahmen der Nachuntersuchung an dieser Studie teilzunehmen.

Ziel der Studie ist es, die Häufigkeit bestimmter Komplikationen nach Durchführung einer Herzkatheteruntersuchung von der Unterarmschlagader (Speichenschlagader oder Radialarterie) zu ermitteln. Im Einzelnen handelt es sich hierbei hauptsächlich um den Verschluss der Speichenschlagader, wir prüfen jedoch auch, ob eine Aussackung (Aneurysma) des Gefäßes oder eine Verbindung zu einer Vene (Fistel) vorliegt.

Hierzu untersuchen wir Sie zwischen 4 Wochen und 24 Monate nach der Herzkatheteruntersuchung im Rahmen eines ambulanten Termins. Der Zeitaufwand beträgt hier für Sie etwa eine halbe Stunde. Es wird eine Untersuchung der Radialarterie mittels Tasten und eine Ultraschalluntersuchung durchgeführt, weitere Untersuchungen sind dann in der Regel nicht notwendig.

Von diesen Untersuchungen gehen keine Risiken für Sie aus.

Freiwilligkeit:

An diesem Forschungsprojekt nehmen Sie freiwillig teil. Ihr Einverständnis können Sie jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen. Dieser eventuelle Widerruf hat keine Auswirkungen auf Ihre medizinische Betreuung.

Erreichbarkeit des Prüfarztes:

Sollten während des Verlaufes des Forschungsprojektes Fragen auftauchen, so können Sie jederzeit Herrn J. Ruhnau unter der Telefonnummer 07161/64-0 (über Zentrale) oder Herrn Prof. Dr. Schröder unter der Telefonnummer 07161/64-2671 erreichen.

In Notfällen gilt folgende Nummer: 07161/64-3000 (Arzt der Zentralen Notaufnahme)

Schweigepflicht/Datenschutz:

Bei wissenschaftlichen Studien werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Speicherung, Auswertung und Weitergabe dieser studienbezogenen Daten setzt vor Teilnahme an der Studie die freiwillige Einwilligung voraus. Die Vorschriften über ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz werden im Rahmen dieser Studie eingehalten. Es werden nur pseudonymisierte Datenbögen ohne Namensnennung weitergegeben, sofern dies im Rahmen der Publikation (z.B. im sog. Peer-Review-Verfahren) erforderlich ist. Dritte erhalten keinen Einblick in Originalkrankenunterlagen.

Falls es Ihrerseits gewünscht ist, werden wir Ihren Hausarzt über die Teilnahme an der Studie informieren.

Alle Personen, welche Sie im Rahmen dieses Projekts betreuen, unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht und sind auf das Datengeheimnis verpflichtet.

Die studienbezogenen Untersuchungsergebnisse sollen in anonymisierter Form in wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwendet werden.

Sofern zur Einsichtnahme autorisierte Personen nicht der oben genannten ärztlichen Schweigepflicht unterliegen, stellen personenbezogene Daten, von denen sie bei der Kontrolle Kenntnis erlangen, Betriebsgeheimnisse dar, die geheim zu halten sind.

Datum

Name des/der aufklärenden Arztes/Ärztin

Einwilligungserklärung

(Zentrum)

Name der Studie *Vaskuläre Komplikationen nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung.*

Inhalt, Vorgehensweise, Risiken und Ziel des obengenannten Forschungsprojektes sowie die Befugnis zur Einsichtnahme in die erhobenen Daten hat mir Dr. ausreichend erklärt.

Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen und habe hierauf Antwort erhalten.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich für oder gegen die Teilnahme am Projekt zu entscheiden.

Eine Kopie der Patienteninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ich willige in die Teilnahme am Forschungsprojekt ein.

Ich wünsche, dass mein Hausarzt über meine Teilnahme am Forschungsprojekt informiert wird.

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUM DATENSCHUTZ

Mir wurde versichert, dass die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz im Rahmen dieser Studie eingehalten werden und dass nur pseudonymisierte (=verschlüsselte) Datenbögen ohne Namensnennung weitergegeben werden.

Die Pseudonymisierung erfolgt mittels eines Zahlencodes.

Ich bin mit der beschriebenen Datenerhebung, -verarbeitung und -weitergabe einverstanden

Mir wurde versichert, dass Dritte keinen Einblick in Originalkrankenunterlagen erhalten.

.....
(Name des Patienten)

.....
Ort, Datum (eigenhändig durch den Pat.)

.....
(Unterschrift des Patienten)

Version 1.81 – 10.03.2014

7 Literaturverzeichnis

- [1] Sones, F.M. und Shirey, E.K. (1962) Cine coronary arteriography. *Modern Concepts of Cardiovascular Disease*, **31**, 735–8.
- [2] Ricketts, H.J. und Abrams, H.L. (1962) Percutaneous selective coronary cine arteriography. *JAMA*, **181**, 620–4.
- [3] Judkins, M.P. (1967) Selective coronary arteriography. I. A percutaneous transfemoral technic. *Radiology*, **89**, 815–24.
<https://doi.org/10.1148/89.5.815>
- [4] Wilson, W.J., Lee, G.B. und Amplatz, K. (1967) Biplane selective coronary arteriography via percutaneous transfemoral approach. *The American Journal of Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine*, **100**, 332–40.
- [5] Seldinger, S.I. (1953) Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta Radiologica*, **39**, 368–76.
- [6] Gruntzig, A. (1978) Transluminal dilatation of coronary-artery stenosis. *Lancet (London, England)*, **1**, 263.
- [7] Nasser, T.K., Mohler, E.R., Wilensky, R.L. und Hathaway, D.R. (1995) Peripheral vascular complications following coronary interventional procedures. *Clinical Cardiology*, **18**, 609–14.
- [8] Levine, G.N., Bates, E.R., Blankenship, J.C., Bailey, S.R., Bittl, J.A., Cercek, B., Chambers, C.E., Ellis, S.G., Guyton, R.A., Hollenberg, S.M., Khot, U.N., Lange, R.A., Mauri, L., Mehran, R., Moussa, I.D., Mukherjee, D., Nallamothu, B.K. und Ting, H.H. (2011) 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. *Journal of the American College of Cardiology*, **58**, e44-122. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.007>
- [9] Applegate, R.J., Sacrinty, M.T., Kutcher, M.A., Kahl, F.R., Gandhi, S.K., Santos, R.M. und Little, W.C. (2008) Trends in vascular complications after diagnostic cardiac catheterization and percutaneous coronary intervention via the femoral artery, 1998 to 2007. *JACC Cardiovascular Interventions*, **1**, 317–26. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2008.03.013>
- [10] Vranić, H., Haxhibeqiri-Karabdić, I. und Hadžimehmedagić, A. (2014) The incidence of vascular complications after coronary angiography: evaluation of results and risk factors. *Journal of Health Sciences*, **4**, 50–4.
<https://doi.org/10.17532/jhsci.2014.145>

- [11] Kwok, C.S., Rao, S.V., Myint, P.K., Keavney, B., Nolan, J., Ludman, P.F., Belder, M.A. de, Loke, Y.K. und Mamas, M.A. (2014) Major bleeding after percutaneous coronary intervention and risk of subsequent mortality: a systematic review and meta-analysis. *Open Heart*, **1**, e000021. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2013-000021>
- [12] Mehran, R., Rao, S.V., Bhatt, D.L., Gibson, C.M., Caixeta, A., Eikelboom, J., Kaul, S., Wiviott, S.D., Menon, V., Nikolsky, E., Serebruany, V., Valgimigli, M., Vranckx, P., Taggart, D., Sabik, J.F., Cutlip, D.E., Krucoff, M.W., Ohman, E.M., Steg, P.G. und White, H. (2011) Standardized bleeding definitions for cardiovascular clinical trials: a consensus report from the Bleeding Academic Research Consortium. *Circulation*, **123**, 2736–47. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.009449>
- [13] Chesebro, J.H., Knatterud, G., Roberts, R., Borer, J., Cohen, L.S., Dalen, J., Dodge, H.T., Francis, C.K., Hillis, D. und Ludbrook, P. (1987) Thrombolysis in Myocardial Infarction (TIMI) Trial, Phase I: A comparison between intravenous tissue plasminogen activator and intravenous streptokinase. Clinical findings through hospital discharge. *Circulation*, **76**, 142–54.
- [14] Kwok, C.S., Khan, M.A., Rao, S.V., Kinnaird, T., Sperrin, M., Buchan, I., de Belder, M.A., Ludman, P.F., Nolan, J., Loke, Y.K. und Mamas, M.A. (2015) Access and non-access site bleeding after percutaneous coronary intervention and risk of subsequent mortality and major adverse cardiovascular events: systematic review and meta-analysis. *Circulation Cardiovascular Interventions*, **8**, e001645. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001645>
- [15] Jolly, S.S., Amlani, S., Hamon, M., Yusuf, S. und Mehta, S.R. (2009) Radial versus femoral access for coronary angiography or intervention and the impact on major bleeding and ischemic events: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *American Heart Journal*, **157**, 132–40. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2008.08.023>
- [16] Ferrante, G., Rao, S.V., Jüni, P., Da Costa, B.R., Reimers, B., Condorelli, G., Anzuini, A., Jolly, S.S., Bertrand, O.F., Krucoff, M.W., Windecker, S. und Valgimigli, M. (2016) Radial Versus Femoral Access for Coronary Interventions Across the Entire Spectrum of Patients With Coronary Artery Disease: A Meta-Analysis of Randomized Trials. *JACC Cardiovascular Interventions*, **9**, 1419–34. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.04.014>
- [17] Campeau, L. (1989) Percutaneous radial artery approach for coronary angiography. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **16**, 3–7.
- [18] Radner, S. (1948) Thoracal aortography by catheterization from the radial artery; preliminary report of a new technique. *Acta Radiologica*, **29**, 178–80.

- [19] Kiemeneij, F. und Laarman, G.J. (1993) Percutaneous transradial artery approach for coronary stent implantation. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **30**, 173–8.
- [20] Lapp, H. und Krakau, I. (2014) Die arterielle Punktion. *Das Herzkatheterbuch: diagnostische und interventionelle Kathetertechniken*, 4., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York. S. 52.
- [21] Cooper, C.J., El-Shiekh, R.A., Cohen, D.J., Blaesing, L., Burket, M.W., Basu, A. und Moore, J.A. (1999) Effect of transradial access on quality of life and cost of cardiac catheterization: A randomized comparison. *American Heart Journal*, **138**, 430–6.
- [22] Jolly, S.S., Yusuf, S., Cairns, J., Niemelä, K., Xavier, D., Widimsky, P., Budaj, A., Niemelä, M., Valentin, V., Lewis, B.S., Avezum, A., Steg, P.G., Rao, S.V., Gao, P., Afzal, R., Joyner, C.D., Chrolavicius, S. und Mehta, S.R. (2011) Radial versus femoral access for coronary angiography and intervention in patients with acute coronary syndromes (RIVAL): a randomised, parallel group, multicentre trial. *Lancet (London, England)*, **377**, 1409–20. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60404-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60404-2)
- [23] Romagnoli, E., Biondi-Zoccai, G., Sciahbasi, A., Politi, L., Rigattieri, S., Pendenza, G., Summaria, F., Patrizi, R., Borghi, A., Di Russo, C., Moretti, C., Agostoni, P., Loschiavo, P., Liroy, E., Sheiban, I. und Sangiorgi, G. (2012) Radial versus femoral randomized investigation in ST-segment elevation acute coronary syndrome: the RIFLE-STEACS (Radial Versus Femoral Randomized Investigation in ST-Elevation Acute Coronary Syndrome) study. *Journal of the American College of Cardiology*, **60**, 2481–9. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.06.017>
- [24] Valgimigli, M., Gagnor, A., Calabró, P., Frigoli, E., Leonardi, S., Zaro, T., Rubartelli, P., Briguori, C., Andò, G., Repetto, A., Limbruno, U., Cortese, B., Sganzerla, P., Lupi, A., Galli, M., Colangelo, S., Ierna, S., Ausiello, A., Presbitero, P., Sardella, G., Varbella, F., Esposito, G., Santarelli, A., Tresoldi, S., Nazzaro, M., Zingarelli, A., de Cesare, N., Rigattieri, S., Tosi, P., Palmieri, C., Brugaletta, S., Rao, S.V., Heg, D., Rothenbühler, M., Vranckx, P. und Jüni, P. (2015) Radial versus femoral access in patients with acute coronary syndromes undergoing invasive management: a randomised multicentre trial. *Lancet (London, England)*, **385**, 2465–76. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60292-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60292-6)
- [25] Ibanez, B., James, S., Agewall, S., Antunes, M.J., Bucciarelli-Ducci, C., Bueno, H., Caforio, A.L.P., Crea, F., Goudevenos, J.A., Halvorsen, S., Hindricks, G., Kastrati, A., Lenzen, M.J., Prescott, E., Roffi, M., Valgimigli, M., Varenhorst, C., Vranckx, P., Widimský, P. und ESC Scientific Document Group. (2018) 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial

infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, **39**, 119–77. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393>

- [26] Neumann, F.-J., Sousa-Uva, M., Ahlsson, A., Alfonso, F., Banning, A.P., Benedetto, U., Byrne, R.A., Collet, J.-P., Falk, V., Head, S.J., Jüni, P., Kastrati, A., Koller, A., Kristensen, S.D., Niebauer, J., Richter, D.J., Seferović, P.M., Sibbing, D., Stefanini, G.G., Windecker, S., Yadav, R., Zembala, M.O. und ESC Scientific Document Group. (2018) 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*,. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>
- [27] Ludman, P.F. (2018) BCIS Audit Report 2016 (excluding TAVI) [Internet]. BCIS. URL: <https://www.bcis.org.uk/education/bcis-audit-report-adult-intervention-excl-tavi-calendar-year-2016/> [Zugriff: 31.03.2018]
- [28] Kanei, Y., Kwan, T., Nakra, N.C., Liou, M., Huang, Y., Vales, L.L., Fox, J.T., Chen, J.P. und Saito, S. (2011) Transradial cardiac catheterization: a review of access site complications. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **78**, 840–6. <https://doi.org/10.1002/ccd.22978>
- [29] Burzotta, F., Trani, C., Mazzari, M.A., Tommasino, A., Niccoli, G., Porto, I., Leone, A.M., Tinelli, G., Coluccia, V., De Vita, M., Brancati, M., Mongiardo, R., Schiavoni, G. und Crea, F. (2012) Vascular complications and access crossover in 10,676 transradial percutaneous coronary procedures. *American Heart Journal*, **163**, 230–8. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2011.10.019>
- [30] Tizón-Marcos, H. und Barbeau, G.R. (2008) Incidence of Compartment Syndrome of the Arm in a Large Series of Transradial Approach for Coronary Procedures. *Journal of Interventional Cardiology*, **21**, 380–4. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8183.2008.00361.x>
- [31] Lotan, C., Hasin, Y., Salmoirago, E., Rozenman, Y., Mosseri, M., Admon, D., Nassar, H. und Gotsman, M.S. (1997) The Radial Artery: An Applicable Approach to Complex Coronary Angioplasty. *The Journal of Invasive Cardiology*, **9**, 518–22.
- [32] Burzotta, F., Mariani, L., Trani, C., Coluccia, V., Brancati, M.F., Porto, I., Leone, A.M., Niccoli, G., Tommasino, A., Tinelli, G., Mazzari, M.A., Mongiardo, R., Snider, F., Schiavoni, G. und Crea, F. (2013) Management and timing of access-site vascular complications occurring after trans-radial percutaneous coronary procedures. *International Journal of Cardiology*, **167**, 1973–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.05.017>
- [33] Kamiya, H., Ushijima, T., Kanamori, T., Ikeda, C., Nakagaki, C., Ueyama, K. und Watanabe, G. (2003) Use of the radial artery graft after transradial

catheterization: is it suitable as a bypass conduit? *The Annals of Thoracic Surgery*, **76**, 1505–9.

- [34] Rhyne, D. und Mann, T. (2010) Hand ischemia resulting from a transradial intervention: successful management with radial artery angioplasty. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **76**, 383–6. <https://doi.org/10.1002/ccd.22460>
- [35] Rademakers, L.M. und Laarman, G.J. (2012) Critical hand ischaemia after transradial cardiac catheterisation: an uncommon complication of a common procedure. *Netherlands Heart Journal*, **20**, 372–5. <https://doi.org/10.1007/s12471-012-0276-8>
- [36] Stella, P.R., Kiemeneij, F., Laarman, G.J., Odekerken, D., Slagboom, T. und van der Wieken, R. (1997) Incidence and outcome of radial artery occlusion following transradial artery coronary angioplasty. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **40**, 156–8.
- [37] Burzotta, F., Brancati, M.F., Trani, C., Tommasino, A., Porto, I., Niccoli, G., Leone, A.M., Coluccia, V., Di Noi, P. und Crea, F. (2012) Impact of radial-to-aorta vascular anatomical variants on risk of failure in trans-radial coronary procedures. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **80**, 298–303. <https://doi.org/10.1002/ccd.24360>
- [38] Karasch, T., Stiegler, H. und Bauersachs, R. (2015) A. brachialis, A. radialis, A. ulnaris. In: Stiegler H, Kubale R, und Weskott H-P, Herausgeber. *Farbkodierte Duplexsonografie*, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag. S. 152. <https://doi.org/10.1055/b-003-124670>
- [39] Lippert, H. (2002) Unterarm und Hand: Leitungsbahnen. *Lehrbuch Anatomie: 184 Tabellen*, 5., völlig überarb. Aufl., [Nachdr.]. Urban & Fischer, München. S. 690–4.
- [40] Kiemeneij, F., Laarman, G.J. und de Melker, E. (1995) Transradial artery coronary angioplasty. *American Heart Journal*, **129**, 1–7.
- [41] Wolf-Heidegger, G. und Köpf-Maier, P., Herausgeber. (2004) Wolf-Heidegger's Atlas of human anatomy / Wolf-Heideggers Atlas der Anatomie des Menschen. 6th, completely rev. and enlarged ed. / Aufl. Karger, New York.
- [42] Staniloae, C.S., Mody, K.P., Sanghvi, K., Mindrescu, C., Coppola, J.T., Antonescu, C.R., Shah, S. und Patel, T. (2009) Histopathologic changes of the radial artery wall secondary to transradial catheterization. *Vascular Health and Risk Management*, **5**, 527–32.

- [43] Yonetsu, T., Kakuta, T., Lee, T., Takayama, K., Kakita, K., Iwamoto, T., Kawaguchi, N., Takahashi, K., Yamamoto, G., Iesaka, Y., Fujiwara, H. und Isobe, M. (2010) Assessment of acute injuries and chronic intimal thickening of the radial artery after transradial coronary intervention by optical coherence tomography. *European Heart Journal*, **31**, 1608–15. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq102>
- [44] Di Vito, L., Burzotta, F., Trani, C., Pirozzolo, G., Porto, I., Niccoli, G., Leone, A.M. und Crea, F. (2014) Radial artery complications occurring after transradial coronary procedures using long hydrophilic-coated introducer sheath: a frequency domain-optical coherence tomography study. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **30**, 21–9. <https://doi.org/10.1007/s10554-013-0284-9>
- [45] Saito, S., Ikei, H., Hosokawa, G. und Tanaka, S. (1999) Influence of the ratio between radial artery inner diameter and sheath outer diameter on radial artery flow after transradial coronary intervention. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **46**, 173–8. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-726X\(199902\)46:2<173::AID-CCD12>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-726X(199902)46:2<173::AID-CCD12>3.0.CO;2-4)
- [46] Avdikos, G., Karatasakis, A., Tsoumeleas, A., Lazaris, E., Ziakas, A. und Koutouzis, M. (2017) Radial artery occlusion after transradial coronary catheterization. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **7**, 305–16. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.03.14>
- [47] Kim, K.S., Park, H.S., Jang, W.-I. und Park, J.-H. (2010) Thrombotic Occlusion of the Radial Artery as a Complication of the Transradial Coronary Intervention. *Journal of Cardiovascular Ultrasound*, **18**, 31. <https://doi.org/10.4250/jcu.2010.18.1.31>
- [48] Babunashvili, A. und Dundua, D. (2011) Recanalization and reuse of early occluded radial artery within 6 days after previous transradial diagnostic procedure. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **77**, 530–6. <https://doi.org/10.1002/ccd.22846>
- [49] Uhlemann, M., Möbius-Winkler, S., Mende, M., Eitel, I., Fuernau, G., Sandri, M., Adams, V., Thiele, H., Linke, A., Schuler, G. und Gielen, S. (2012) The Leipzig prospective vascular ultrasound registry in radial artery catheterization: impact of sheath size on vascular complications. *JACC Cardiovascular Interventions*, **5**, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2011.08.011>
- [50] Spaulding, C., Lefèvre, T., Funck, F., Thébault, B., Chauveau, M., Ben Hamda, K., Chalet, Y., Monségu, H., Tsocanakis, O., Py, A., Guillard, N. und Weber, S. (1996) Left radial approach for coronary angiography: results of a prospective study. *Catheterization and Cardiovascular*

Diagnosis, **39**, 365–70. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0304\(199612\)39:4<365::AID-CCD8>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0304(199612)39:4<365::AID-CCD8>3.0.CO;2-B)

- [51] Zankl, A.R., Andrassy, M., Volz, C., Ivandic, B., Krumsdorf, U., Katus, H.A. und Blessing, E. (2010) Radial artery thrombosis following transradial coronary angiography: incidence and rationale for treatment of symptomatic patients with low-molecular-weight heparins. *Clinical Research in Cardiology*, **99**, 841–7. <https://doi.org/10.1007/s00392-010-0197-8>
- [52] Bernat, I., Bertrand, O.F., Rokyta, R., Kacer, M., Pesek, J., Koza, J., Smid, M., Bruhova, H., Sterbakova, G., Stepankova, L. und Costerousse, O. (2011) Efficacy and Safety of Transient Ulnar Artery Compression to Recanalize Acute Radial Artery Occlusion After Transradial Catheterization. *The American Journal of Cardiology*, **107**, 1698–701. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2011.01.056>
- [53] Tian, J., Chu, Y.-S., Sun, J. und Jiang, T.-M. (2015) Ulnar Artery Compression: A Feasible and Effective Approach to Prevent the Radial Artery Occlusion after Coronary Intervention. *Chinese Medical Journal*, **128**, 795. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.152639>
- [54] Pancholy, S.B. (2007) Transradial access in an occluded radial artery: new technique. *The Journal of Invasive Cardiology*, **19**, 541–4.
- [55] Ruzsa, Z., Pintér, L. und Kolvenbach, R. (2010) Anterograde recanalisation of the radial artery followed by transradial angioplasty. *Cardiovascular Revascularization Medicine*, **11**, 266.e1-266.e4. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2010.01.007>
- [56] Pasha, A.K., Elder, M.D., Malik, U.E., Khalid, A.M., Noor, Z. und Movahed, M.R. (2014) Symptomatic radial artery thrombosis successfully treated with endovascular approach via femoral access route. *Cardiovascular Revascularization Medicine: Including Molecular Interventions*, **15**, 357–9. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2014.03.012>
- [57] Jaradat, Z., Basir, B. und Revtyak, G. (2014) Treatment of Radial Artery Occlusions Using Balloon Angioplasty and Localized Intra-Arterial Abciximab: TREATMENT OF RADIAL ARTERY OCCLUSIONS. *Journal of Interventional Cardiology*, **27**, 217–22. <https://doi.org/10.1111/joic.12099>
- [58] Ruhnau, J., Steindl, J., Hofgärtner, F., Hauber, J., Hafner, H.-P., Hofgärtner, C., Drosch, T. und Schröder, S. (2013) V1281 - Vaskuläre Komplikationen nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung. *Clinical Research in Cardiology*, **102 Suppl 1**. <https://doi.org/10.1007/s00392-013-1100-1>
- [59] Ranke, C., Rieder, M., Creutzig, A. und Alexander, K. (1995) Ein Normogramm zur duplexsonographischen Quantifizierung peripherer

Arterienstenosen-Untersuchungen am Kreislaufmodell und bei angiographierten Patienten. *Med Klin*, **90**, 72–7.

- [60] Widder, B. und Görtler, M. (2004) Abgangsstenosen der A. carotis interna. *Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien: mit 87 Tabellen*, 6., erw. und vollst. bearb. Aufl. Springer, Berlin. S. 173.
- [61] Schäberle, W. und Leyerer, L. (2013) Sonographischer Stenosegrad ist nicht gleich sonographischer Stenosegrad ist nicht gleich angiographischer Stenosegrad: Messmethodische Aspekte und Fehlerquellen der hämodynamischen und der morphologischen Graduierung femoropoplitealer Stenosen. *Gefässchirurgie*, **18**, 292–7. <https://doi.org/10.1007/s00772-013-1173-1>
- [62] Barbeau, G.R., Arsenault, F., Dugas, L., Simard, S. und Larivière, M.M. (2004) Evaluation of the ulnopalmar arterial arches with pulse oximetry and plethysmography: comparison with the Allen's test in 1010 patients. *American Heart Journal*, **147**, 489–93. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2003.10.038>
- [63] Pancholy, S., Coppola, J., Patel, T. und Roke-Thomas, M. (2008) Prevention of radial artery occlusion-patent hemostasis evaluation trial (PROPHET study): a randomized comparison of traditional versus patency documented hemostasis after transradial catheterization. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **72**, 335–40. <https://doi.org/10.1002/ccd.21639>
- [64] Frey, H., Hetzel, G., Greis, C. und Dietrich, C.F. (2006) Grundlagen. *Ultraschall-Kurs*, 5. Aufl. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln. S. 1–12.
- [65] Klews, P.-M. und Gaßmann, B. (2015) Allgemeine physikalische Eigenschaften. In: Stiegler H, Kubale R, und Weskott H-P, Herausgeber. *Farbkodierte Duplexsonografie*, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag. S. 19–25. <https://doi.org/10.1055/b-003-124670>
- [66] Klews, P.-M. und Gaßmann, B. (2015) Physik und Technik der Ultraschalldiagnoseverfahren. In: Stiegler H, Kubale R, und Weskott H-P, Herausgeber. *Farbkodierte Duplexsonografie*, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag. S. 14–44. <https://doi.org/10.1055/b-003-124670>
- [67] Schäberle, W. (2016) Technische Grundlagen der Ultraschalldiagnostik. *Ultraschall in der Gefäßdiagnostik*, 4., vollständig überarbeitete Auflage. Springer, Berlin Heidelberg. S. 1–37.
- [68] Huck, K. und Huck, B. (2012) Dopplereffekt. In: Amann-Vesti B, Thalhammer C, und Huck K, Herausgeber. *Kursbuch Doppler- und*

Duplexsonografie, 3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Thieme, Stuttgart. S. 29–30.

- [69] Huck, K. und Huck, B. (2012) Dopplerverfahren. In: Amann-Vesti B, Thalhammer C, und Huck K, Herausgeber. *Kursbuch Doppler- und Duplexsonografie*, 3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Thieme, Stuttgart. S. 30–55.
- [70] Kasai, C., Namekawa, K., Koyano, A. und Omoto, R. (1985) Real-time two-dimensional blood flow imaging using an autocorrelation technique. *IEEE Transactions on sonics and ultrasonics*, **32**, 458–64.
- [71] Huck, K. und Gassmann, B. (2012) Doppler- und Duplexsonografie - Gerätebedienung und Durchführung. In: Amann-Vesti B, Thalhammer C, und Huck K, Herausgeber. *Kursbuch Doppler- und Duplexsonografie*, 3., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Thieme, Stuttgart. S. 69–127.
- [72] Karasch, T., Stiegler, H. und Bauersachs, R. (2015) Fehlerquellen. In: Stiegler H, Kubale R, und Weskott H-P, Herausgeber. *Farbkodierte Duplexsonografie*, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag. S. 167–8; 201–2. <https://doi.org/10.1055/b-003-124670>
- [73] Rashid, M., Kwok, C.S., Pancholy, S., Chugh, S., Kedev, S.A., Bernat, I., Ratib, K., Large, A., Fraser, D., Nolan, J. und Mamas, M.A. (2016) Radial Artery Occlusion After Transradial Interventions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Heart Association*, **5**, e002686. <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002686>
- [74] Ruhnau, J. und Schröder, S. (2013) Abstract 18953: Prevalence of and Risk Factors for Radial Artery Complications After Transradial Cardiac Catheterization. *Circulation*, **128**, A18953–A18953.
- [75] Hahalis, G., Aznaouridis, K., Tsigkas, G., Davlouros, P., Xanthopoulou, I., Koutsogiannis, N., Koniari, I., Leopoulou, M., Costerousse, O., Tousoulis, D. und Bertrand, O.F. (2017) Radial Artery and Ulnar Artery Occlusions Following Coronary Procedures and the Impact of Anticoagulation: ARTEMIS (Radial and Ulnar ARTE ry Occlusion M eta- Analys IS) Systematic Review and Meta- Analysis. *Journal of the American Heart Association*, **6**, e005430. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.005430>
- [76] Youn, Y.J., Yoon, J., Han, S.W., Lee, J.-W., Sung, J.K., Ahn, S.-G., Kim, J.-Y., Yoo, B.-S., Lee, S.-H. und Choe, K.-H. (2011) Feasibility of Transradial Coronary Intervention Using a Sheathless Guiding Catheter in Patients With Small Radial Artery. *Korean Circulation Journal*, **41**, 143. <https://doi.org/10.4070/kcj.2011.41.3.143>
- [77] Peruga, J.P., Peruga, J.Z., Kasprzak, J.D., Kręcki, R., Jankowski, Ł., Zając, P. und Plewka, M. (2015) Ultrasound evaluation of forearm arteries in patients undergoing percutaneous coronary intervention via radial artery

access: results of one-year follow-up. *Kardiologia Polska*, **73**, 502–10.
<https://doi.org/10.5603/KP.a2015.0029>

- [78] Nagai, S., Abe, S., Sato, T., Hozawa, K., Yuki, K., Hanashima, K. und Tomoike, H. (1999) Ultrasonic assessment of vascular complications in coronary angiography and angioplasty after transradial approach. *The American Journal of Cardiology*, **83**, 180–6.
- [79] Buturak, A., Gorgulu, S., Norgaz, T., Voyvoda, N., Sahingoz, Y., Degirmencioglu, A. und Dagdelen, S. (2014) The long-term incidence and predictors of radial artery occlusion following a transradial coronary procedure. *Cardiology Journal*, **21**, 350–6.
<https://doi.org/10.5603/CJ.a2013.0128>
- [80] Sinha, S.K., Jha, M.J., Mishra, V., Thakur, R., Goel, A., Kumar, A., Singh, A.K., Sachan, M., Varma, C.M. und Krishna, V. (2017) Radial Artery Occlusion - Incidence, Predictors and Long-term outcome after TRAnsradial Catheterization: clinico-Doppler ultrasound-based study (RAIL-TRAC study). *Acta Cardiologica*, **72**, 318–27.
<https://doi.org/10.1080/00015385.2017.1305158>
- [81] Pancholy, S.B., Bernat, I., Bertrand, O.F. und Patel, T.M. (2016) Prevention of Radial Artery Occlusion After Transradial Catheterization. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **9**, 1992–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.07.020>
- [82] Schäberle, W. (2016) Atlas: Extrakranielle hirnversorgende Arterien. *Ultraschall in der Gefäßdiagnostik*, 4., vollständig überarbeitete Auflage. Springer, Berlin Heidelberg. S. 351–81.
- [83] Aykan, A.Ç., Gökdeniz, T., Gül, I., Kalaycıoğlu, E., Çetin, M., Hatem, E., Çavuşoğlu, I.G., Karabay, C.Y., Güler, A., Aykan, D.A. und Yıldız, M. (2015) Comparison of low dose versus standard dose heparin for radial approach in elective coronary angiography? *International Journal of Cardiology*, **187**, 389–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.03.314>
- [84] Pancholy, S.B., Sanghvi, K.A. und Patel, T.M. (2012) Radial artery access technique evaluation trial: Randomized comparison of seldinger versus modified seldinger technique for arterial access for transradial catheterization. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **80**, 288–91. <https://doi.org/10.1002/ccd.23445>
- [85] Cong, X., Huang, Z., Wu, J., Wang, J., Wen, F., Fang, L., Fan, M. und Liang, C. (2016) Randomized Comparison of 3 Hemostasis Techniques After Transradial Coronary Intervention: *The Journal of Cardiovascular Nursing*, **31**, 445–51. <https://doi.org/10.1097/JCN.0000000000000268>
- [86] Ruengsakulrach, P., Sinclair, R., Komeda, M., Raman, J., Gordon, I. und Buxton, B. (1999) Comparative histopathology of radial artery versus

internal thoracic artery and risk factors for development of intimal hyperplasia and atherosclerosis. *Circulation*, **100**, II-139–II-144.

- [87] Chowdhury, U.K., Airan, B., Mishra, P.K., Kothari, S.S., Subramaniam, G.K., Ray, R., Singh, R. und Venugopal, P. (2004) Histopathology and Morphometry of Radial Artery Conduits: Basic Study and Clinical Application. *The Annals of Thoracic Surgery*, **78**, 1614–21. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.03.105>
- [88] Garg, N., Madan, B.K., Khanna, R., Sinha, A., Kapoor, A., Tewari, S., Kumar, S. und Goel, P.K. (2015) Incidence and predictors of radial artery occlusion after transradial coronary angioplasty: Doppler-guided follow-up study. *The Journal of Invasive Cardiology*, **27**, 106–12.
- [89] Plante, S., Cantor, W.J., Goldman, L., Miner, S., Quesnelle, A., Ganapathy, A., Popel, A. und Bertrand, O.F. (2010) Comparison of bivalirudin versus heparin on radial artery occlusion after transradial catheterization. *Catheterization and Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, **76**, 654–8. <https://doi.org/10.1002/ccd.22610>
- [90] Roghani, F., Shirani, B. und Hashemifard, O. (2016) The effect of low dose versus standard dose of arterial heparin on vascular complications following transradial coronary angiography: Randomized controlled clinical trial. *ARYA Atherosclerosis*, **12**, 10–7.
- [91] Loh, Y.J., Nakao, M., Tan, W.D., Lim, C.H., Tan, Y.S. und Chua, Y.L. (2007) Factors Influencing Radial Artery Size. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*, **15**, 324–6. <https://doi.org/10.1177/021849230701500412>
- [92] Velasco, A., Ono, C., Nugent, K., Tarwater, P. und Kumar, A. (2012) Ultrasonic evaluation of the radial artery diameter in a local population from Texas. *The Journal of Invasive Cardiology*, **24**, 339–41.
- [93] Dharma, S., Kedev, S., Patel, T., Rao, S.V., Bertrand, O.F. und Gilchrist, I.C. (2017) Radial artery diameter does not correlate with body mass index: A duplex ultrasound analysis of 1706 patients undergoing trans-radial catheterization at three experienced radial centers. *International Journal of Cardiology*, **228**, 169–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.11.145>
- [94] Hashimoto, S., Shiraishi, J., Kimura, M., Nishikawa, M., Yanagiuchi, T., Ito, D., Kishita, E., Yokoi, H., Hyogo, M., Shima, T., Sawada, T. und Kohno, Y. (2015) Usefulness of continuous compression using TR Band™ for radial arteriovenous fistula following trans-radial intervention. *Journal of Cardiology Cases*, **12**, 192–4. <https://doi.org/10.1016/j.jccase.2015.08.007>
- [95] Kwac, M.S., Yoon, S.-J., Oh, S.J., Jeon, D.W., Kim, D.H. und Yang, J.Y. (2010) A Rare Case of Radial Arteriovenous Fistula After Coronary

Angiography. *Korean Circulation Journal*, **40**, 677.
<https://doi.org/10.4070/kcj.2010.40.12.677>

- [96] Usui, Y., Sauvage, L.R., Wu, H.D., Goff, S.G. und Walker, M. (1987) A comparative experimental study of the organization of arterial and venous thrombi. *Annals of Surgery*, **205**, 312–7.
- [97] Koutouzis, M., Maniotis, C., Andreou, C., Avdikos, G., Tsoumeleas, A., Angelaki, M. und Kyriakides, Z. (2016) TCT-359 ULnar artery Transient compression facilitating Radial Artery patent hemostasis (ULTRA): A novel technique to reduce radial artery occlusion. *Journal of the American College of Cardiology*, **68**, B147. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.09.492>
- [98] Kumar Chugh, S., Chugh, S., Chugh, Y. und Rao, S.V. (2013) Feasibility and utility of pre-procedure ultrasound imaging of the arm to facilitate transradial coronary diagnostic and interventional procedures (PRIMAFACIE-TRI): Pre-procedure Arm Imaging for Transradial Procedures. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **82**, 64–73. <https://doi.org/10.1002/ccd.24585>

8 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Kardiologie, Pneumologie und internistische Sportmedizin am Standort Klinik am Eichert Göppingen der Alb Fils Kliniken unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. med. Stephen Schröder durchgeführt. Die Konzeption der Studie erfolgte durch Herrn Prof. Dr. med. Stephen Schröder und mich.

Die Herzkathetereingriffe wurden von den Kardiologen der Klinik durchgeführt. Die infrage kommenden Patienten wurden mittels der Statistikfunktion des Programms Centricity Carddas χ^2 von Herrn Dr. med. Josef Steindl und mir identifiziert. Ebenfalls von Herrn Dr. med. Josef Steindl wurden mir die Eingriffszahlen der Klinik am Eichert zur Verfügung gestellt.

Die Patientenrekrutierung erfolgte durch mich, ebenso sämtliche Ultraschalluntersuchungen, deren Dokumentation sowie die Erfassung und Analyse der Patientendaten.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen durch mich.

Sämtliche aus dem 2013 in Clinical Research in Cardiology veröffentlichten Abstract übernommenen Abbildungen wurden ebenso wie das Abstract selbst von mir erstellt. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

9 Publikationen

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in folgenden Publikationen veröffentlicht:

Ruhnau, J., Steindl, J., Hofgärtner, F., Hauber, J., Hafner, H.-P., Hofgärtner, C., Drosch, T. und Schröder, S. (2013) V1281 - Vaskuläre Komplikationen nach radialem Zugang für die Herzkatheteruntersuchung. *Clinical Research in Cardiology*, **102** Suppl 1. <https://doi.org/10.1007/s00392-013-1100-1>

Ruhnau, J. und Schröder, S. (2013) Abstract 18953: Prevalence of and Risk Factors for Radial Artery Complications After Transradial Cardiac Catheterization. *Circulation*, **128**, A18953–A18953.

10 Danksagung

Ich möchte Herrn Prof. Dr. med. Stephen Schröder für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, diese Arbeit in der Klinik für Kardiologie der Klinik am Eichert Göppingen durchzuführen, herzlich danken. Weiterhin bedanke ich mich für seine kontinuierliche fachkundige Unterstützung und Betreuung während der gesamten Arbeit.

Bei dieser Arbeit wurde die methodische Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen in Anspruch genommen. Für die Unterstützung möchte ich mich bei Frau Lina Maria Serna Higuera herzlichst bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Josef Steindl für die Unterstützung bei der Patientenidentifikation und der Datenextraktion aus dem Herzkatheterverwaltungsprogramm, Herrn Dr. med. Hans-Peter Hafner für seine insbesondere in der Anfangszeit sehr hilfreiche Ultraschallexpertise und Herrn Dr. med. Michael Schmieder, der mir beim Umgang mit der Statistik und Statistiksoftware stets hilfreich mit Rat und Tat zur Seite stand.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Partnerin Bettina für Geduld, Verständnis und Unterstützung während dieser nicht immer einfachen Zeit.