



Aus der Medizinischen Klinik I, Kardiologie/Angiologie
HerzZentrum Saar der SHG Kliniken, Völklingen
Ärztlicher Direktor: Dr. med. Cem Özbek

Sicherheit und Durchführbarkeit
der perkutanen transulnaren Koronarangiographie
und Koronarintervention bei fehlender Möglichkeit
des ipsilateralen transradialen Zugangs
in einem nicht-selektierten Patientenkollektiv

Eine klinische retrospektive Analyse

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktor der Medizin
der Universität des Saarlandes

2016

Nitin Sood

geb. am 19.06.1977 in Neu-Delhi (Indien)

Safety and feasibility
of percutaneous transluminal coronary angiography
and coronary angioplasty if ipsilateral transradial access
is not possible in allcomers

A clinical retrospective analysis

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Diagrammverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Zusammenfassung.....	1
Summary.....	2
2 Einleitung.....	3
3 Definition und Epidemiologie der koronaren Herzkrankheit (KHK).....	8
4 Topographische Anatomie der Hand.....	10
5 Nicht invasive Evaluation des Blutflusses der Hand.....	16
6 Ziel der Arbeit.....	19
7 Patientengut und Methoden.....	20
7.1 Punktion der A. radialis und A. ulnaris.....	24
7.2 Prozedurale Merkmale.....	28
7.3 Internes Protokoll für „patente Hämostase“.....	37
7.4 Definitionen der klinischen Komplikationen.....	39
8 Beschreibung der angewandten statistischen Methoden.....	40
9 Ergebnisse.....	41
10 Diskussion.....	47
11 Literaturverzeichnis.....	54
12 Danksagung.....	67

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1:	Flussdiagramm der untersuchten Gesamtkollektive	21
Diagramm 2:	Protokoll des Zugangswechsels nach fehlender Möglichkeit des radialen Zugangs	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiel einer guten Kollateralisierung und Durchblutung der Hand (Von Hagens' Body Worlds, Institut für Plastination, Heidelberg, Deutschland, nach Genehmigung von Elsevier Science and Technology Journals)	14
Abbildung 2:	Überstreckung der Hand mit falsch positivem Allen Test	17
Abbildung 3:	Hand des Patienten in leichter Flexionshaltung in der Hand des Untersuchers mit dem Ziel, eine Überstreckung zu vermeiden	17
Abbildung 4:	Barbeau Test (nach Genehmigung von Elsevier).....	18
Abbildung 5:	Radialis Innendurchmesser und die Möglichkeit der Verwendung von Schleusengröße. Saito, 1999 (Nach Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.).....	24
Abbildung 6:	Vergleich des Durchmessers zwischen Schleuse, Führungskatheter und Schleusenlosen Führungskatheter. From, 2010 (Nach Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.)	25
Abbildung 7:	Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. mit Explantation der linksseitigen A. radialis als Conduit mit 6F Terumo Glidesheath slender in situ ohne sichtbare Ischämiezeichen.	30
Abbildung 8:	Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. und Explantation der A. radialis sinister als Conduit mit 5F Schleuse in 7cm Länge (Cordis).	31
Abbildung 9:	Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. koronarer Intervention via A. radialis sinister am Vortag mit Hämatom Grad I (nach EASY Klassifikation) und nicht tastbaren Puls mit 6F Schleuse in 7cm Länge (Cordis) in der A. ulnaris sinister in situ.	31
Abbildung 10 a):	Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit 360° nicht begradigbarer Schlingelung (untethered looping) der A. radialis dexter. Die A. ulnaris dexter zeigt einen normalen Verlauf.....	32
Abbildung 10 b):	Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit 360° nicht begradigbarer Schlingelung (untethered looping). Wechsel der Punktionsstelle von rechts radial auf rechts ulnar mit erfolgreicher Durchführung der Koronarangiographie (6F Cordis Schleuse 7cm in der A. radialis und 5F Schleuse in 7cm Länge (Cordis) in der A. ulnaris in situ) ohne Zeichen auf kritische Handischämie.	32
Abbildung 11 a):	Patente Hämostase mit Anbringen von TR-Band™ (Terumo) jeweils an der A. radialis und der A. ulnaris.	33

Abbildung 11 b):	Patente Hämostase mit Anbringen von TR-Band™ jeweils an der A. radialis und der A. ulnaris. (Radial Compression Device, Terumo Europe N.V., Leuven, Belgien).....	33
Abbildung 12:	Deutlich größerer Durchmesser der ipsilateralen A. ulnaris im Vergleich zur A. radialis.	34
Abbildung 13:	Ulnare Angiographie bei Patienten mit Verschluss der A. radialis dexter und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über A. interossea anterior.	34
Abbildung 14 a):	Ulnare Angiographie bei Patienten mit Z.n. Explantation der A. radialis sinister als Conduit für ACB-Operation und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über die A. interossea anterior und posterior.....	35
Abbildung 14 b):	Ulnare Angiographie bei Patienten mit Z.n. Explantation der A. radialis sinister als Conduit für ACB-Operation und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über die A. interossea anterior.....	35
Abbildung 15:	Ulnare Angiographie nach einer Fehlpunktion der A. radialis sinister bei rudimentärer Anlage.	36
Abbildung 16:	Ulnare Angiographie via 6F Glidesheath slender Schleuse (Terumo) nach einer Fehlpunktion der A. radialis dexter bei Spasmus verursacht durch: - Die Punktion selbst, distal am Punktionsort. - Proximal an der Stelle des Widerstandes durch Drahtpassage bei geschlängeltem Verlauf.	36
Abbildung 17:	EASY Hämatom Klassifikation (Bertrand, 2006), nach Genehmigung von Wolters KluwerHealth, Inc.....	38
Abbildung 18:	Gründe zum Zugangswechsel von A. radialis auf die ipsilaterale A. ulnaris. (ERAO = Explanted Radial Artery Occlusion, IRAO = Ipsilateral Radial Artery Occlusion)	41
Abbildung 19:	Gründe zum Zugangswechsel von A. ulnaris auf einen anderen Zugangsweg	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Risikofaktoren der KHK	8
Tabelle 2:	Sterbefälle insgesamt nach der ICD-10 im Jahr 2013, modifiziert nach statistischen Bundesamt.....	9
Tabelle 3:	Unterschiedliche Prävalenz des kompletten Arcus palmaris superficialis	13
Tabelle 4:	Vergleich der demographischen Merkmale der Ulnaris Patienten und Radialis Patienten	23
Tabelle 5:	Vergleich der klinischen Merkmale der Ulnaris Patienten und der Radialis Patienten bei ACS	23
Tabelle 6:	Prozedurale Merkmale der Ulnaris Patienten im Vergleich zur Radialis Patienten	28
Tabelle 7:	Prozedurale Merkmale der Ulnaris Patienten im Vergleich zur Radialis Patienten	29
Tabelle 8:	Punktion der A. Ulnaris bei fehlender transradialer ipsilateraler Zugangsmöglichkeit.....	30
Tabelle 9:	Nachsorge nach transradialer und transulnarer perkutanen Angiographie.....	38
Tabelle 10:	Periprozedurale Komplikationen bei Ulnaris und Radialis Patienten.....	44
Tabelle 11:	Periprozedurale Komplikationen in Subgruppen der Ulnaris Patienten (je nach Ursache des Zugangswechsels, in Abhängigkeit des ipsilateralen Status der A. radialis)	45
Tabelle 12:	Periprozedurale Komplikationen in Subgruppen der Ulnaris Patienten (je nach selektiver Angiographie)	46

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
ACB-Op.	Aorto Coronare Bypass Operation
ACS	Acute Coronary Syndrom
AV	Arteriovenous
AT	ALLEN Test
BARC	Bleeding Academic Research Consortium
BCIS	British Cardiovascular Intervention Society
BMI	Body Mass Index
CABG	Coronary Artery Bypass Grafting
CI	Confidence Interval
CKD-EPI	Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration
CTA	Computed Tomography Angiography
CTO	Chronic Total Occlusion
CURRENT- OASIS 7	Double-dose versus standard-dose clopidogrel and high-dose versus low-dose aspirin in individuals undergoing percutaneous coronary intervention for acute coronary syndromes
EASY	Early Discharge After Transradial Stenting of Coronary Arteries Trail
EF	Ejection Fraction
ERAO	Explanted Radial Artery Occlusion
ESC	European Society of Cardiology
F	French
GFR	Glomerular Filtration Rate
HKU	Herz Katheter Untersuchung
HR	Hazard Ratio
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
IABP	Intra Aortic Ballon Pump
IAP	Instabile Angina Pectoris
IRAO	Ipsilateral Radial Artery Occlusion
KHK	Koronare Herzerkrankung

MACE	Major Adverse Clinical Events
MAT	Modifizierter ALLEN Test
MATRIX	Minimizing Adverse Haemorrhagic Events by Transradial Access Site and Systemic Implementation of angioX
NACE	Net Adverse Clinical Events
NCDR	National Cardiovascular Data Registry
NS	Nitin Sood
NSTEMI	Non ST Segment Elevation Myocard Infarction
OX	Pulsoxymetrie
P	Probability
pAVK	Periphere Arterielle Verschlusskrankheit
PCI	Percutaneous Coronary Intervention
PL	Plethysmographie
PROCAM	Prospective Cardiovascular Münster Study
RAO	Radial Artery Occlusion
RIFLE-STEACS	Radial Versus Femoral Randomized Investigation in ST-Elevation Acute Coronary Syndrome) study
RIVAL	Radial versus femoral access for coronary angiography and intervention in patients with acute coronary syndromes
SHG	Saarland Heil Gemeinstätten
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
STEMI	ST Segment Elevation Myocard Infarction
TALENT	Transradial approach (left vs right) and procedural times during percutaneous coronary procedures
TLR	Target Lesion Revascularization
ULMPCI	Unprotected Left Main Percutaneous Coronary Intervention
V.	Vene
Vv.	Venae
WHO	World Health Organisation
"	Zoll

1 Zusammenfassung

Ziel: In der vorliegenden Arbeit wurde die Sicherheit und Durchführbarkeit der perkutanen transulnaren Koronarangiographie und Koronarintervention in einem nicht-selektionierten Patientenkollektiv untersucht.

Im Mittelpunkt der Arbeit stand die Fragestellung, ob die Untersuchung, bei fehlender ipsilateraler transradialer Zugangsmöglichkeit, zu schweren vaskulären Komplikationen, insbesondere zu einer kritischen Handischämie führt.

Methoden und Ergebnisse: Im Zeitraum von November 2013 bis Dezember 2015 wurden 1382 Patienten an zwei Zentren (Medizinische Klinik I, SHG Kliniken, Völklingen, Herz-Zentrum Saar und Nardini Klinikum, Zweibrücken) von einem erfahrenen Untersucher primär via transradialem Zugang untersucht und für die retrospektive Analyse ausgewählt. Auf präprozedurale Evaluation der Handzirkulation wurde verzichtet.

85 Patienten wurden transulnar untersucht. Die häufigsten Gründe des Zugangswechsel auf die ipsilaterale A. ulnaris waren bei 22 Patienten (28%) ein ipsilateraler Radialarterienverschluss (IRAO) und bei 34 Patienten (40%) ein Z.n. Explantation der ipsilateralen A. radialis i.R. einer ACB-Op. (ERAO). Eine diagnostische Koronarangiographie wurde bei 63 Patienten (74%), eine diagnostische Koronarangiographie mit ad hoc perkutaner koronarer Angioplastie (PCI) bei 20 Patienten (24%) und alleinige PCI bei 2 Patienten (2%) durchgeführt. Periprozedurale Komplikationen wurden in Spasmus (Grad I-IV), Unterarm-Hämatom (EASY I-V), Handischämie und schwere vaskuläre Komplikationen eingeteilt.

Eine kritische Handischämie und schwere vaskuläre Komplikationen wurden bei keinem Patienten an Tag 1 nach dem Eingriff beobachtet. Keiner der Patienten zeigte eine Verletzung der Nervus ulnaris. Keiner der Patienten entwickelte ein großes Hämatom. Ein Patient entwickelte ein kleines Unterarmhämatom (EASY I) und einen Spasmus Grad II, jedoch ohne klinische Konsequenzen. Spasmus schweren Grades III trat bei einem Patienten auf. Es fand sich kein Unterschied zwischen Patienten mit oder ohne IRAO/ERAO in Bezug auf Verfahrenserfolg oder vaskuläre Komplikation.

Fazit: Der transulnare Zugangsweg ist eine sichere und praktikable Alternative, bei fehlender ipsilateraler transradialer Zugangsmöglichkeit ohne präprozedurale Evaluation der Handzirkulation, wenn sie von einem erfahrenen Untersucher vorgenommen wird. Er bietet eine hohe Erfolgsrate mit niedriger Inzidenz von klinisch nicht relevanten Gefäßkomplikationen.

Summary

Objective: In this study the safety and feasibility of transulnar coronary angiography and coronary angioplasty was investigated in an unselected group of patients.

The focus of the study was to evaluate whether the procedure could have caused serious vascular complications, in particular leading to critical hand ischemia in the absence of ipsilateral transradial access.

Methods and Results: From November 2013 until December 2015, 1382 patients were examined at two centers (Department of Internal Medicine I, SHG clinics, Voelklingen, Cardiac Center, Saar and Nardini Hospital, Zweibruecken) by an experienced operator primarily via transradial access and were selected for the retrospective analysis.

85 patients were examined via transulnar access. The most common reasons for switch over of the access route to the ipsilateral ulnar artery were an ipsilateral radial artery occlusion (IRA0) in 22 patients (28%) and an explanted radial artery occlusion after CABG (ERA0) in 34 patients (40%). A diagnostic coronary angiography was performed in 63 patients (74%), a diagnostic coronary angiography with ad hoc percutaneous coronary angioplasty (PCI) in 20 patients (24%) and a sole PCI in 2 patients (2%). Periprocedural complications were classified as spasm (Grade I-IV), forearm hematoma (EASY I-V), hand ischemia and major vascular complications.

Critical hand ischemia and major vascular complications were not observed on day 1 after the procedure in any of the patients. None of the patients showed nerve injury. None of the patients developed a large hematoma. One patient developed a small forearm hematoma (EASY I) and one patient spasm (Grade II), but without clinical consequences. Spasm of severe degree (Grade III) occurred in one patient. There was no difference between patient groups with or without IRA0 / ERA0 regarding procedural success or vascular complications.

Conclusion: The transulnar access is a safe and a viable alternative route, in the absence of ipsilateral transradial accessibility without preprocedural evaluation of hand circulation, when performed by an experienced operator. It provides high success rate with a low incidence of clinical irrelevant vascular complications.

2 Einleitung

Die perkutane transluminale Koronarangiographie stellt neben der CTA (Computed Tomography Angiography) nach wie vor den Goldstandard zur Diagnostik und ggf. Therapie der koronaren Herzkrankheit dar (ESC Guidelines on the management of stable coronary artery disease, 2013).

Überwiegend wird die A. femoralis dexter als Standardzugangsweg zur Durchführung diagnostischer Koronarangiographien und Koronarangioplastien in den meisten Kliniken verwendet.

Die erste Beschreibung der perkutanen transfemorale Untersuchung erfolgte von Judkins (Radiology, 1967). Die Weiterentwicklung der Kathetertechnik wurde von Amplatz und Mitarbeitern in gleichem Jahr (Radiology, 1967) vorgestellt. Aufgrund oberflächlich gut tastbaren Pulses und Größe des Gefäßes, hat sich dieser Zugangsweg weltweit durchgesetzt. Nach einer diagnostischen transfemorale Untersuchung wird bei einer manuellen Kompression von durchschnittlich acht Stunden (davon vier Stunden mit Sandsack und anschließend vier Stunden ohne Sandsack), ein Druckverband angelegt. Nach einer Koronarintervention wird durchschnittlich zwölf Stunden (davon sechs Stunden mit Sandsack und anschließend sechs Stunden ohne Sandsack), ein Druckverband angelegt. Alternativ werden verschiedene Verschlusssysteme verwendet. Die lange Liegedauer wird vom Patienten oft als unangenehm empfunden. Darüber hinaus wird das Auftreten von Komplikationen, wie beispielsweise die tiefe Beinvenenthrombose mit konsekutiver Lungenembolie, Pneumonie oder durch Daueranlage eines Harnblasenkatheters bedingte Harnwegsinfektionen, Gefäßkomplikationen, wie Einblutung im Bereich der Einstichstelle, retroperitoneales Hämatom bis hin zum hämorrhagischen Schock und Todesfällen beschrieben (Feldman, 2013; Tewari, 2013; Dzijan-Horn, 2014).

Die selektive Darstellung der Koronararterien, mit operativer Freilegung der A.brachialis, wurde von Sones im Juli des Jahres 1962 veröffentlicht.

Die erste selektive transfemorale koronare Arteriographie mit einem vorgeformten Katheter wurde von Ricketts und Abrams, 1961 durchgeführt. 1967 stellte Judkins ein neues thermoplastisches Material zum Aufbau der Katheter via transfemoralem Zugang vor, welches bis heute für die koronare Arteriographie verwendet wird.

Die Punktion der A. brachialis ist jedoch, im Vergleich zu der Methode nach Judkins, mit einer erhöhten Komplikationsrate vergesellschaftet (Benit, 1997; Heintzen, 1997; Kiemeneij,

1997). Eine Okklusion der A. brachialis kann zu einer kompletten Unterbrechung der Durchblutung des Unterarms führen (Barnes, 1974). In der unmittelbaren Nähe finden sich die V. cubitalis und der N. medianus. Ein anhaltendes neurologisches Defizit kann durch unmittelbare Kompression, das Auftreten von großen Hämatomen im antecubitalen Bereich, ein direktes Trauma des N. medianus oder sekundär, bei Okklusion der A. brachialis ausgelöst werden (Kennedy, 1997).

Transradialer und transulnarer Zugangsweg als Alternative zur transbrachialen oder transfemorale Koronarangiographie

Die erste transradiale thorakale Aortographie wurde vom Radner, 1948 nach chirurgischem Freilegen durchgeführt. Eine erste größere Serie von 100 Patienten wurde von Campeau, 1989 in Montreal, Kanada vorgenommen. Die erste perkutane transradiale koronare Stentimplantation wurde von Kiemeneij, 1993 in Amsterdam vorgenommen. Seit dieser Zeit hat sich diese Methode weltweit etabliert (Kiemeneij, 2002; Limbruno, 2004; Jolly, 2011). Große Registerdaten (NCDR, n = 2.820.874 Prozeduren von 1.381 Zentren) aus den USA belegten (NCDR; Feldman, 2013) eine deutliche Zunahme der transradialen Prozeduren von 1,2% im ersten Quartal 2007 auf 16,1% im dritten Quartal 2012. BCIS- Registerdaten aus Großbritannien (Mmams, 2013) zeigten ebenfalls eine Zunahme von 10,2% im Jahr 2004 auf 71,2% im Jahr 2013. Hier zeigte sich bei 46.128 Patienten mit primärer PCI, eine Reduktion der Mortalität, MACCE, Blutung und vaskuläre Komplikationen.

Perkutane transradiale Koronarangiographie und Angioplastie haben in den letzten 20 Jahren einen sicheren Platz in den europäischen Leitlinien gefunden (Hamon, 2013). In den ESC/EACTS STEMI Leitlinien, 2014 für myokardiale Revaskularisation wird der radiale Zugangsweg im Vergleich zum femoralen Zugangsweg favorisiert. Voraussetzung ist die Durchführung von einem erfahrenen Radialis-Untersucher mit Empfehlungsstufe IIa und Empfehlungsgrad A. In den ESC Leitlinien (Roffi, 2015) für die Behandlung von ACS Patienten mit NSTEMI, wird der radiale Zugangsweg mit Empfehlungsstufe IA empfohlen. Zugrunde liegen Daten von randomisierten Studien (RIVAL, 2011; RIFLE-STEACS, 2012; MATRIX, 2015) sowie eine Metaanalyse aus 11 Studien (Karrowni, 2013).

In der RIVAL- Studie wurden 7.021 ACS-Patienten (sowohl STEMI als auch NSTEMI) in radialen versus femoralen Zugangsgruppen randomisiert. Der primäre kombinierte Endpunkt war Tod, Myokardinfarkt, Schlaganfall oder nicht-ACB-Op. assoziierte schwere Blutungen (nach CURRENT- OASIS 7 Kriterien: fatale Blutungen, Gabe von zwei oder mehr Blutkon-

serven, Hypotonie mit Notwendigkeit der Katecholamine, Hämoglobin- Abfall von $\geq 5\text{g/dl}$, Notwendigkeit einer Chirurgie und Hirnblutung oder Augenblutung mit signifikantem Visusverlust) innerhalb von 30 Tagen, war bei 3,7% der Patienten in der radialen Zugangsgruppe im Vergleich zu 4,0% der Patienten in der femoralen Zugangsgruppe [HR 0,92 (95% CI 0,72-1,17), $P = 0,50$] aufgetreten. Die Zugangsassozierten Hauptblutungen traten bei 1,4% der radialen Gruppe und 3,7% der femoralen Zugangsgruppe statistisch signifikant weniger auf [HR 0,37 (95% CI 0,27-0,52), $P < 0,0001$].

In der RIFLE-STEACS Studie wurden 1.001 Patienten mit STEMI in radialen ($n=500$) versus femoralen ($n=501$) Zugangsgruppen multizentrisch mit hoher Expertise bei transradialen Eingriffen randomisiert. Der primäre kombinierte Endpunkt war NACE (Net Adverse Clinical Events) definiert als kardialer Tod, Schlaganfall, Myokardinfarkt, TLR und Blutungen. Individuelle Komponenten des primären Endpunkts und Dauer des Krankenhausaufenthaltes waren sekundäre Endpunkte. Der primärer Endpunkt NACE innerhalb von 30 Tagen wurde von 68 Patienten (13,6%) in der radialen und 105 Patienten (21,0%) in der femoralen Zugangsgruppe ($P = 0,003$) erreicht. Die kardiale Mortalität lag in der radialen Gruppe im Vergleich zur femoralen Zugangsgruppe signifikant niedriger (5,2% vs. 9,2%, $P = 0,020$). Blutungen traten in der radialen Gruppe weniger auf (7,8% vs. 12,2%, $P = 0,026$) und Patienten in der radialen Gruppe hatten einen kürzeren Krankenhausaufenthalt [5 Tage (erstes bis drittes Quartal 4 bis 7 Tage) vs. 6 Tage (erstes bis drittes Quartal 5 bis 8 Tage), $P = 0,03$].

In der MATRIX-Studie (Valgimigli, 2015) wurden 8.404 Patienten in radialen versus femoralen Zugangsgruppen multizentrisch, mit hoher Expertise bei transradialen Eingriffen randomisiert. Der erste primäre Kombinationsendpunkt MACE, definiert als Tod, Myokardinfarkt oder Schlaganfall innerhalb von 30 Tagen, wurde bei 8,8% der Patienten in der radialen Gruppe und 10,3% in der femoralen Gruppe [RR 0,85 (95% CI 0,74-0,99)] festgestellt. Bei beiden Gruppen lag der P Wert bei 0,031, formal nicht signifikant bei einem festgelegtem α von 0,025. Der sekundärer Kombinationsendpunkt NACE innerhalb von 30 Tagen, definiert als MACE oder nicht ACB-Op. assoziierte Hauptblutung nach BARC Kriterien wurde bei 9,8% und 11,7% der Patienten [RR 0,83 (95% CI 0,73-0,96), $P 0,025 = 0,009$] statistisch als signifikant festgestellt. Der radiale Zugangsweg war mit einer niedrigeren Gesamtmortalität assoziiert [1,6% vs. 2,2%; RR 0,72 (95% CI 0,53-0,99), $P 0,025 = 0,045$]. Schwere Blutungen (BARC 3-5) traten in der radialen Gruppe signifikant seltener auf [1,6% vs. 2,3%; RR 0,67 (95% CI 0,49-0,92), $P 0,025 = 0,13$]. Der radiale Zugang war mit signifikant niedrigerer Rate von chirurgischen Eingriffen am Zugangsort oder Transfusion von Blutkonserven assoziiert.

Niedrigere vaskuläre Komplikationen, kurze Krankenhausaufenthalte, Patientenkomfort mit früher Mobilisation und Verbesserung der Mortalität im Vergleich zur perkutanen transfemorale Koronarangiographie und Angioplastie wurden ebenfalls vor Etablierung der Leitlinien berichtet (Kiemeneij, 2002; Limbruno, 2004; Jolly, 2011).

Aus anatomischer Sicht ist ein oberflächlicher Verlauf, nur kleinkalibrige begleitende Venen und das Fehlen von Nerven in der unmittelbaren Nachbarschaft von Vorteil (Gray's Anatomy). Jedoch ist der transradiale Zugangsweg nicht immer erfolgreich. Von einem Wechsel des Zugangswegs wurde in 2-8% der Fälle berichtet (Stella, 1997; Valsecchi, 2006; Dehghani, 2009; Biondi-Zoccai, 2013). Es gibt verschiedene Gründe für den Misserfolg: Schwierigkeiten bei der Punktion, schwacher Puls der A. radialis, Spasmus, schweres Kinking, nicht begradigbare oder nicht passierbare Verschlängelungen, arterielle Dissektion, anatomische Variante mit hohem Abgang einer schmalen A. radialis, hypoplastisch/schmale A. radialis oder bekannter A. radialis Verschluss (Stella, 1997; Yokoyama, 2000; Valsecchi, 2006; Dehghani, 2009; Lo, 2009).

Der transulnare Zugangsweg hat als Alternative eines potentiellen Zugangsweges für die Koronarangiographie und Angioplastie bislang wenig Aufmerksamkeit erhalten (Terashima, 2001; Limbruno, 2004; Mangin, 2005; Aptecar, 2006; Roberts, 2007; Vassilev, 2008; Li, 2010; Gokhroo, 2015). Ähnlich wie der transradiale Zugangsweg ist der transulnare Zugangsweg mit weniger vaskulären Komplikationen, kurzen stationären Aufenthalten, weniger Patientendyscomfort (Hetherington, 2009; Jolly 2009, 2011) und niedriger Mortalität assoziiert (Jolly, 2011). Die A. ulnaris wird seit der Erstbeschreibung (Terashima, 2001) als sicherer alternativer Zugangsweg zur Durchführung einer diagnostischen Koronarangiographie und Angioplastie verwendet (Dashkoff, 2002; Limbruno, 2004; Deftereos, 2011; Kedev, 2014; Agostoni, 2013). Der transulnare Zugangsweg verschont die A. radialis als künftiges Transplantat bei einer Koronarbybassoperation oder ermöglicht die A. radialis zur Verwendung als Hämodialyse Shunt bei schwerer Niereninsuffizienz und schont die A. radialis für spätere Prozeduren (Lanspa, 2005; Aptecar, 2006; Bertrand, 2010).

Der erste Versuch der retrograden Katheterisierung des linken Ventrikels wurde durch offene Inzision der A. ulnaris 1949 bei elf Patienten mit Aortenklappeninsuffizienz von Zimmermann beschrieben. Es gibt wenige Fallserien, monozentrische, prospektive und retrospektive Daten, die über die Durchführbarkeit und Sicherheit dieser Methode, mit ähnlich niedriger Komplikationsrate, im Vergleich zu einem transradialen Zugangsweg, berichten. (Terashima, 2001; Dashkoff, 2002; Limbruno, 2004; Aptecar, 2005). Die Erfolgsrate des transulnaren Zu-

gangs wurde als 85,2% (Mangin, 2005) bis 95% (Rath, 2005) mit einer niedrigen Komplikationsrate von 1% beschrieben (Aptecar, 2005).

Bei Vorliegen eines Verschlusses im Bereich der A. radialis oder der A. ulnaris werden die Fingerarterien durch Kollateralgefäße einer der beiden Arterien oder der A. interossea anterior ausreichend versorgt (De Andrade, 2012; Kwan, 2013; Kedev, 2014). Die Anwesenheit von kompensatorisch rekrutierbaren Kollateralen der Hand ist bekannt (Greenwood, 2005; Ikizler, 2007; Kim, 2012; Lorenzetti, 2010).

Im Gegensatz zu der früheren Überzeugung, dass bei einem beträchtlichen Anteil der Patienten die Hohlhandbögen unvollständig ausgebildet sein können, hat eine Autopsie Studie bei 50 Fällen gezeigt, dass entweder der tiefe (90%) oder der oberflächliche (66%) Hohlhandbogen mit ausreichender Kollateralisierung vollständig ausgebildet ist (Ruengsakulrach, 2001). In der Arbeit von Greenwood, 2005 und Valgimigli, 2014 wurde eine progressive Erhöhung des Blutflusses in den Hauptarterien des Daumens nach äußerer Okklusion der A. radialis von 30 Minuten beobachtet. Dieses Phänomen zeigte sich insbesondere bei Patienten mit abnormalem Allen-Test. Darüber hinaus ließ sich bei einer Mehrheit dieser Patienten, mit offenbar unzureichender Zirkulation des ulnopalmaren Bogens der Hand, eine gute Funktionalität der palmaren Bögen innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums nach der externen Kompression der A. radialis, feststellen. Kleine Fallberichte, allerdings nur bei zwei Patienten, haben gezeigt, dass bei einer erfolgreichen antegraden Rekanalisation via ipsilateralen transulnaren Zugangsweg bei Patienten mit chronischen asymptomatischen (Skvaril, 2012) und subakuten symptomatischen Verschluss (Ruzsa, 2010) der A. radialis (IRAO) nach einer vorausgegangen transradialen Koronarangiographie, die A. radialis als Zugangsweg wiederverwendet werden kann.

Diese Beobachtungen stützen das Konzept, dass anatomisch vorbestehende Kollateralgefäße während einer relativ kurzen Zeit funktionell rekrutiert werden können, ohne dass eine signifikante Episode einer Handischämie auftritt.

3 Definition und Epidemiologie der koronaren Herzkrankheit (KHK)

„Die koronare Herzkrankheit ist die Manifestation der Atherosklerose an den Herzkranzarterien.“ (Braunwald, 2005). Sie ist ein multifaktorielles Krankheitsbild, das die Herzkranzarterien isoliert oder diffus befällt und unterschiedlich schnell progredient verläuft.

Bedingt durch flusslimitierende Koronarstenosen kommt es zu einem Missverhältnis von Sauerstoffangebot und -bedarf. Schweregrad und Dauer der hierdurch hervorgerufenen Ischämie bestimmen die Manifestation in Form von stabiler oder instabiler Angina pectoris, stummer Myokardischämie, ischämisch bedingter Herzinsuffizienz, Herzrhythmusstörungen und akutem Myokardinfarkt (Braunwald's Heart Disease, a textbook of cardiovascular medicine, 2005).

In der Framingham- (Wilson, 1998) und PROCAM (Assmann, 2002) Studie wurde ein Zusammenhang der folgenden Risikofaktoren für die Entstehung der chronischen koronaren Herzkrankheit beschrieben:

Tabelle 1: Risikofaktoren der KHK

Beinflussbare Risikofaktoren	Unbeeinflussbare Faktoren
Hypercholesterinämie	Lebensalter (> 45 J; F > 55 J)
Arterielle Hypertonie	Geschlecht (M > F)
Diabetes Mellitus	Thrombophilie
Nikotinabusus (Risikoerhöhung bei gleichzeitiger Einnahme östrogenhaltiger Ovulationshemmer)	Niereninsuffizienz (insbesondere bei Dialysepflicht)
Körperliche Inaktivität	Familiäre Disposition
Adipositas	Glukosetoleranzstörung
Atherogene Diät	Psychischer Stress

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes im Jahr 2013, ist die chronische koronare Herzkrankung eine der häufigsten Todesursachen nach der ICD-10 in Deutschland.

Tabelle 2: Sterbefälle insgesamt nach der ICD-10 im Jahr 2013, modifiziert nach statistischen Bundesamt

ICD-Nr.	Todesursache	Gesamtanzahl	%
I25	Chronische, ischämische Herzkrankheit	73.176	8,2
I21	Akuter Myokardinfarkt	52.044	5,8
I50	Herzinsuffizienz	45.815	5,1
C34	Lungen- und Bronchialkrebs	44.813	5,0
J44	Sonstige chronische obstruktive Lungenerkrankung	28.882	3,2
F03	Nicht näher bezeichnete Demenz	24.738	2,8
I11	Hypertensive Herzkrankheit	24.669	2,8
I64	Schlaganfall, nicht als Blutung oder Infarkt bezeichnet	18.883	2,1
J18	Pneumonie, Erreger nicht näher bezeichnet	18.797	2,1
C50	Brustdrüsenkrebs	18.009	2,0

Die chronische ischämische Herzkrankheit bleibt sowohl für Frauen als auch für Männer die häufigste Todesursache.

In den Industrieländern ist die Herz-Kreislaufkrankung und damit unter anderem die chronische ischämische Herzerkrankung mit Abstand die häufigste Todesursache (WHO, 2004).

4 Topographische Anatomie der Hand

Die detaillierten Kenntnisse der Anatomie des Unterarmes und der Hand mit seinen Gefäßen, Gefäßkollateralen und Nerven ist für die Durchführung der transradialen und transulnaren Koronarangiographien und Angioplastien unentbehrlich. In diesem Zusammenhang erfolgt im Folgenden eine Übersicht über die Anatomie der Hand und des Armes.

Arterielle und venöse Versorgung

Die A. brachialis teilt sich in der Ellenbeuge in Höhe der Fossa cubitalis in die A. radialis und die A. ulnaris. Beide geben jeweils eine A. recurrens radialis bzw. ulnaris zum Rete articulare cubiti ab. A. ulnaris gibt unter dem M. pronator teres die A. Arteria interossea communis ab, welche zusammen mit der in A. interossea recurrens das Rete articulare cubiti bilden. Nach kurzem Verlauf teilt sich die A. interossea communis in die A. interossea anterior und posterior, die mit den Nn. Interossei antebrachii anterior (aus dem N. medianus) und posterior (aus dem N. radialis) bis zum Handgelenk ziehen, wo sie ins Rete carpale dorsale münden.

Die A. radialis verläuft nach Abgabe der A. recurrens radialis, Ästen der Unterarmmuskulatur und der Arteria nutricia radii distal auf dem breiten Ende des os radius, zieht durch die Tabatière auf dem os scaphoideus aufliegend und bildet in der Hohlhand den Arcus palmaris profundus (tiefer Hohlhandbogen), der mit dem Ramus profundus der A. ulnaris auf der Höhe der Basen der Metakarpalia mit der A. ulnaris anastomosiert. Kurz vor dem Retinaculum flexorum gibt die A. radialis den Ramus palmaris superficialis ab, der auf oder zwischen den Thenarmuskeln in die oberflächliche Hohlhand zieht, wo er mit der A. ulnaris im Arcus palmaris superficialis anastomosiert.

Im Bereich der Punktionsstelle der A. radialis verlaufen zwei begleitende Venen (Vv. Comitantes). In diesem Bereich findet eine Kommunikation der kleinen epifaszialen mit den subfazialen Venen statt. Im Bereich der Punktionsstelle der A. ulnaris befindet sich die Sehne des M. flexor carpi ulnaris.

Die arterielle Versorgung der Fingerarterien erfolgt über beide Hohlhandbögen. Digitus manus I (Daumen) und die radiale Seite von Digitus manus II (Zeigefinger) werden hauptsächlich von der A. radialis versorgt. Die ulnare Seite von Digitus manus II (Zeigefinger), Digitus manus III (Mittelfinger), Digitus manus IV (Ringfinger) und Digitus manus V (Kleiner Finger) wird hauptsächlich von der A. ulnaris versorgt.

Die Entwicklung der beiden Hohlhandbögen verläuft individuell. Es gibt verschiedene Variationen der arteriellen Versorgung, so dass es manchen Autoren (Poirer, 1886) sehr schwer fiel, Variationen der Gefäßversorgung einem bestimmten arteriellen Versorgungstyp zuzuordnen.

Oberflächlicher Hohlhandbogen (Arcus palmaris superficialis)

Die Anastomose wird hauptsächlich durch die A. ulnaris gebildet. Nach Eintritt der A. ulnaris, zusammen mit dem N. ulnaris in die Handfläche ventral des Retinaculum flexorum und lateral des Erbsenbeins (os pisiformis), nach lateral verlaufend, bildet sich ein Bogen (Williams, 1999) über die ein Drittel der Handfläche (Massie, 1944), und in Höhe mit einer Querlinie durch den distalen Rand des vollständig ausgestreckten Daumen Basis (Boyd, 1956; Williams, 1999). Etwa ein Drittel des oberflächlichen Hohlhandbogens wird allein von der A. ulnaris gebildet; ein weiteres Drittel werden von der R. palmaris superficialis der A. radialis und ein weiteres Drittel entweder durch A. radialis indicis, ein Zweig der Arteria princeps pollicis, oder durch die A. mediana (Coleman & Anson, 1961) gebildet.

Über verschiedene Variationen des oberflächlichen Bogens wurde von Dubreuil Chamberdel (1926), Huber (1930) Coleman, Anson (1961) und Mozersky (1973) berichtet.

Tiefer Hohlhandbogen (Arcus palmaris profundus)

Der tiefe Hohlhandbogen wird durch die A. radialis und der tiefen palmaren Äste der A. ulnaris gebildet. Dieser Bogen weist im Vergleich zu den oberflächlichen Hohlhandbogen weniger Variationen auf (Coleman & Anson 1961; Karlsson, 1982).

Der typische Versorgungstyp der Digitalarterien, bei dem sowohl A. radialis als auch die A. ulnaris an der arteriellen Versorgung beteiligt sind, kommt in etwa ein Drittel bis Hälfte der Fälle vor. In der vorgeschlagenen morphologischen Klassifikation der Durchblutung des oberflächlichen Hohlhandbogens nach Coleman und Anson, 1961 wurden folgende Gruppen unterteilt: der komplette und der inkomplette Hohlhandbogen.

Gruppe I (Kompletter Hohlhandbogen):

In dieser Gruppe werden fünf Versorgungstypen unterschieden.

- Typ A:** Bei dem klassischen Versorgungstyp radio-ulnaris, wird die Versorgung der Digitalarterien sowohl über eine große A. ulnaris als auch über den palmaren Ast der A. radialis gewährleistet. Dies konnte in 34,5% der Autopsien festgestellt werden (36% nach Weathersby, 1954 und 30% nach Anson, 1966).
- Typ B:** In 37% der Fälle liegt ein ulnaris Versorgungstyp mit vollständigem Arcus palmaris superficialis vor, bei dem die A. ulnaris aber lediglich die Versorgung des oberflächlichen Hohlhandbogens übernimmt. Der Ramus palmaris superficialis arteriae radialis ist nur rudimentär angelegt.
- Typ C:** In 3,8% liegt ein medio-ulnaris Versorgungstyp vor, bei dem eine großangelegte akzessorische A. mediana die Aufgabe der A. radialis übernimmt und mit der A. ulnaris die Fingerversorgung sicherstellt. (in 8% der Fälle nach Anson, 1966).
- Typ D:** In 1,2% der Fälle liegt ein radio-medio-ulnaris Versorgungstyp vor, bei dem alle drei Arterien den oberflächlichen Hohlhandbogen bilden.
- Typ E:** Bei diesem Versorgungstyp wird der oberflächliche Hohlhandbogen durch die A. ulnaris und durch eine größere Arterie, entspringend aus dem tiefen Hohlhandbogen auf der Höhe des Handballens, gebildet. Er wurde in 2% der Fälle festgestellt.

Gruppe II (Inkompletter Hohlhandbogen):

Ein inkompletter Hohlhandbogen liegt dann vor, wenn die beteiligten Arterien des oberflächlichen Hohlhandbogens nicht anastomosieren oder die A. ulnaris nicht den Daumen und Zeigefinger erreicht. Dieser wurde in 21,9% der Fälle festgestellt. In dieser Gruppe werden vier Versorgungstypen unterschieden.

- Typ A:** Beide oberflächliche palmare Äste der A. radialis und der A. ulnaris versorgen die Hand und die Finger aber anastomosieren nicht miteinander (in 3,2% der Fälle).
- Typ B:** Der oberflächliche Hohlhandbogen wird nur durch die A. ulnaris gebildet. Der Hohlhandbogen ist inkomplett, da der Daumen und der Zeigefinger nicht durch die A. ulnaris versorgt werden (in 13,4% der Fälle).

Typ C: Oberflächliche Gefäße entspringen aus der A. radialis und der A. mediana ohne Anastomosen (in 3,8% der Fälle).

Typ D: Oberflächliche Gefäße entspringen aus der A. radialis, A. ulnaris und der A. mediana ohne Anastomosen (in 1,1% der Fälle).

Die Prävalenz der verschiedenen Versorgungstypen des oberflächlichen Hohlhandbogens wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben (Tabelle 3 und Abbildung 4).

Tabelle 3: Unterschiedliche Prävalenz des kompletten Arcus palmaris superficialis

Autor	Jahr	Typus Radio-ulnaris (%)	Typus Ulnaris (%)	Typus Medio-Ulnaris (%)	Typus Radio-Medio-Ulnaris (%)
Coleman, Anson (Surgery, Gynaecology, Obstetrics)	1961	34,5	37	3,8	1,2
Karlsson (Acta radiologica Diagnosis)	1962	32	64	4	-
Al Turk (J Anat.)	1984	78	2	-	-
Patnaik (J Anat Soc. India)	2002	76	2	-	-
Loukas (Singapore Med J)	2009	40	35	15	6
Ottone (Int J Morphol)	2010	43	20,9	-	-

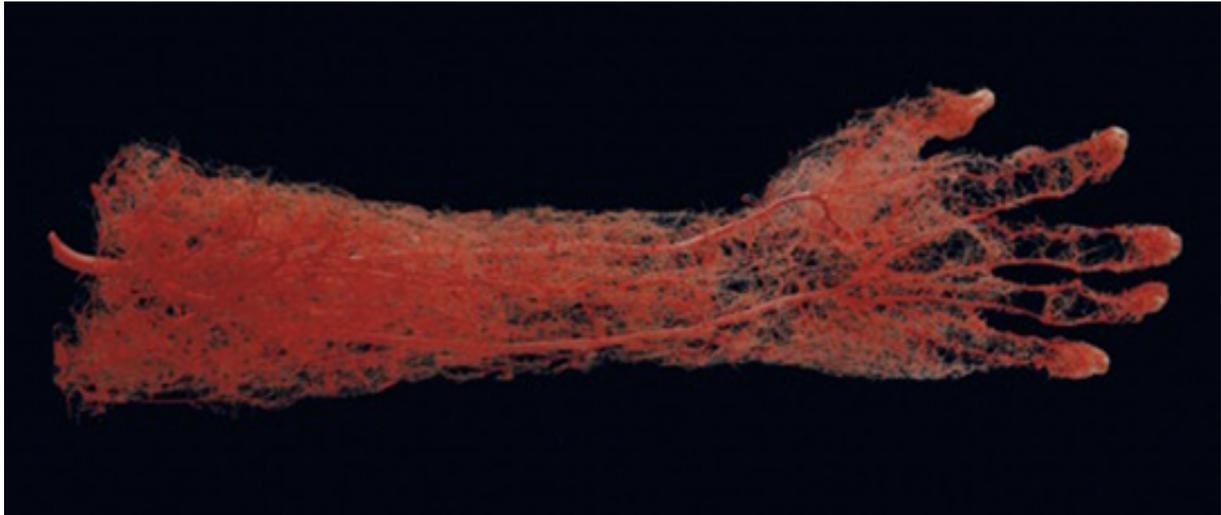


Abbildung 1: Beispiel einer guten Kollateralisierung und Durchblutung der Hand (Von Hagens' Body Worlds, Institut für Plastination, Heidelberg, Deutschland, nach Genehmigung von Elsevier Science and Technology Journals)

Bei komplettem Fehlen des Ramus arcus palmaris superficialis arteriae radialis wird die Versorgung beider Aa. digitales palmares von D I über den tiefen Hohlhandbogen gewährleistet.

Innervation

Die Nerven der ventralen Muskellogge des Unterarms sind der Nervus ulnaris, Ramus superficialis des Nervus radialis und Nervus medianus.

Nervus ulnaris

Der Nervus ulnaris verläuft durch den Unterarm zur Hand. In diesem Gebiet gibt er die meisten Äste ab. Am Unterarm innerviert der Nervus ulnaris den Musculus flexor carpi ulnaris und den medialen Anteil des Musculus flexor digitorum profundus. Nachdem der Nerv auf der medialen Seite des Unterarms in der Ebene zwischen dem Musculus flexor carpi ulnaris und dem Musculus flexor digitorum profundus nach distal gelangt ist, liegt er proximal des Handgelenks unter dem lateralen Rand der Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris. Er verläuft am Handgelenk oberhalb des Os pisiforme durch die Loge de Guyon. Die A. ulnaris liegt in den zwei distalen Dritteln des Unterarmes radial vom Nervus ulnaris. Sowohl der Nerv als auch die Arterie treten oberflächlich vom Retinaculum musculorum flexorum und radial vom Os pisiforme in die Hand.

Aufgrund der unmittelbaren Nähe des Nervus ulnaris mit medialem Verlauf zur A. ulnaris ist zur Vermeidung einer Nervenschädigung die Punktionsrichtung bei der Punktion der A. ulnaris zur berücksichtigen (von medial nach lateral). Im Falle einer Druckschädigung des Nervus ulnaris im Bereich der Guyon Loge (sog. Mittlerer Lähmungsstyp des Nervus ulnaris) sind beide Äste (Ramus superficialis und profundus) betroffen. Daher ist die Greiffunktion eingeschränkt (Ausfall der Hypothenarmuskulatur). Ferner ist die Flexion der Fingergrundgelenke nicht mehr möglich und die Finger können nicht mehr gespreizt werden (Ausfall der Musculi interossei). Der Ausfall des Musculus adductor pollicis führt zum Bild des Froment-Zeichens: da der Daumen-Zeigefinger-Griff erschwert ist, wird die Pars superficialis des Musculus flexor pollicis brevis eingesetzt (Topographie der Hand nach Gray's Anatomy, 2007).

Nervus radialis

Der Nervus radialis teilt sich unter dem Rand des Musculus brachioradialis in der Ellenbeuge in einen tiefen und oberflächlichen Ast.

- Der Ramus profundus führt vorwiegend motorische Fasern und verläuft zwischen den beiden Köpfen des Musculus supinator (im Supinatorkanal), um die Muskulatur der dorsalen Muskelloge des Unterarms zu erreichen und zu innervieren.
- Der Ramus superficialis führt sensible Fasern. Er verläuft zusammen mit der A. radialis entlang dem antero-radialen Unterarm nach distal, und zwar direkt unterhalb des Musculus brachioradialis. Etwa im letzten Drittel des Unterarms zieht der Ramus superficialis des Nervus radialis knapp distal der Punktionsstelle nach lateral und dorsal um den radialen Unterarm, verläuft mit der A. radialis und befindet sich damit nicht im Punktionsgebiet. Er verläuft weiter zur Hand, wo er die Haut über der dorso-radialen Oberfläche innerviert (radialen dreieinhalb Finger mit Ausnahme der Fingerendglieder), nach Drake, Gray's Anatomy für Studenten, 2007.

5 Nicht invasive Evaluation des Blutflusses der Hand

In der Literatur wird besonders Augenmerk auf die nicht-invasive Evaluation des Blutflusses der Hand gerichtet. Im Folgenden erfolgt eine Übersicht über die entsprechenden Untersuchungen:

Allen Test (AT)

Dieser Test wurde 1929 von Allen zur Diagnose der Thrombangiitis obliterans beschrieben. Der Patient wurde dabei aufgefordert die Hand für eine Minute mehrfach zur Faust zu ballen, während dessen werden die A. radialis und A. ulnaris durch den Untersucher komprimiert. Ziel war die Blutentleerung der Hand. Anschließend erfolgte eine Dekompression der A. radialis oder der A. ulnaris mit Beobachtung des Blutflusses der nicht komprimierten Arterie indirekt via Hautkolorit der Hand und der Finger beobachtet. Im Falle eines intakten arteriellen Baumes der Hand wurde die Blässe (pallor) durch Rötung (rubor) ersetzt. Im Falle einer Okklusion der Arterie wurde ein Anhalten der Blässe über eine variable Zeit, abhängig vom Grad der Stenosierung und des vorhandenen Kollateralkreislaufs, beobachtet.

1952 wurde von Wright eine Modifikation des Allen-Tests beschrieben. Der Patient wurde aufgefordert die Hand über die Schulter zu heben, anschließend wurde die Hand mehrfach zur Faust geballt, um das Blut aus den Handgefäßen zu entleeren. Der Untersucher komprimierte dann beide Arterien (A. radialis und A. ulnaris) gleichzeitig mit den Daumen. Danach wurde der Arm mit geöffneter Faust in die Ausgangsposition gebracht. Die Hand sollte dabei nicht überstreckt werden, um einen falsch positiven Allen Test (Abb. 2) zu vermeiden. Des Weiteren wurde der Patient angewiesen die Hand in leichter Flexionshaltung in der Hand des Untersuchers zu öffnen (Abb. 3). Eine der beiden Arterien wurde dabei durch den Untersucher losgelassen. Wenn ein sofortiger und kompletter Flush im Bereich der losgelassenen Arterie zu beobachten war, ging man von einer patenten palmar arch und patenten digitalen Arterie aus. Wenn eine Blässe anhaltend zu beobachten war, war von einem Verschluss der Arterie auszugehen. Blässe, auftretend in vereinzelt Segmenten, wurde als Insuffizienz der kleinen Gefäße gedeutet.

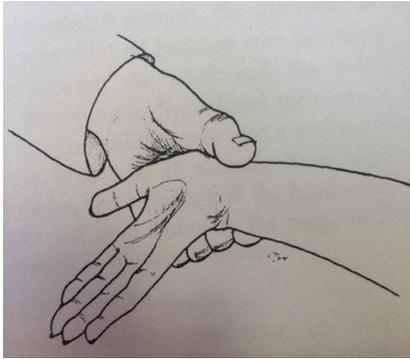
Modifizierter Allen Test (MAT)

Abbildung 2: Überstreckung der Hand mit falsch positivem Allen Test

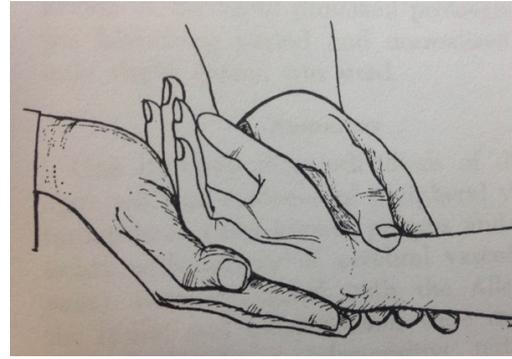


Abbildung 3: Hand des Patienten in leichter Flexionshaltung in der Hand des Untersuchers mit dem Ziel, eine Überstreckung zu vermeiden

Nach Genehmigung von Wolters Kluwer-Health, Inc.

Barbeau entwickelte 2004 einen Test mit Plethysmographie (PL) und Pulsoxymetrie (OX), um die Empfindlichkeit des modifizierten Allen Test (MAT) zu verbessern. Am Daumen werden die PL-Kurve und die OX registriert. Der Patient wird aufgefordert die Hand zur Faust zu ballen, während beide Arterien bis zum Auftreten der Hautblässe durch den Prüfer komprimiert werden. Nach Öffnen der Faust wird die A. ulnaris losgelassen, während die A. radialis weiter komprimiert wird. Der Prüfer verfolgt jede Änderung der pulsoxymetrischen Kurven im Ablauf. Der Prüfer stellt fest, ob mittels Pulsoxymeter eine konstante Kurve (positive PL) oder keine Kurve (negative PL) dargestellt wird. Die Reaktion auf dieses Manöver wird einer von 4 Typen (Abb. 4) zugeordnet. Patienten mit Typ A und Typ B-Antworten zeigen eine ununterbrochene arterielle Füllung bei radialer Kompression. Das verzögerte Auftreten einer pulsierenden Verfolgung bei Patienten mit einem C-Antworttyp stellt wahrscheinlich die Rekrutierung von Kollateralen dar. Schlussfolgerend sollten diese Patienten von einer Katheterisierung via A. radialis ausgeschlossen werden, basierend auf einem traditionellen Allen-Test. Patienten mit einer Typ-D-Reaktion (1,5% der Patienten) haben keine ausreichende Kollateralisierung und werden vom transradialen Katheter ausgeschlossen.

Ausgehend von der Anwendung des hier beschriebenen Verfahrens berichten die Autoren, dass sie nicht einen einzigen Fall einer kritischen Handischämie bei mehr als 7.000 Patienten, die sich transradialen Punktionen unterzogen, beobachteten.

Barbeau-Test

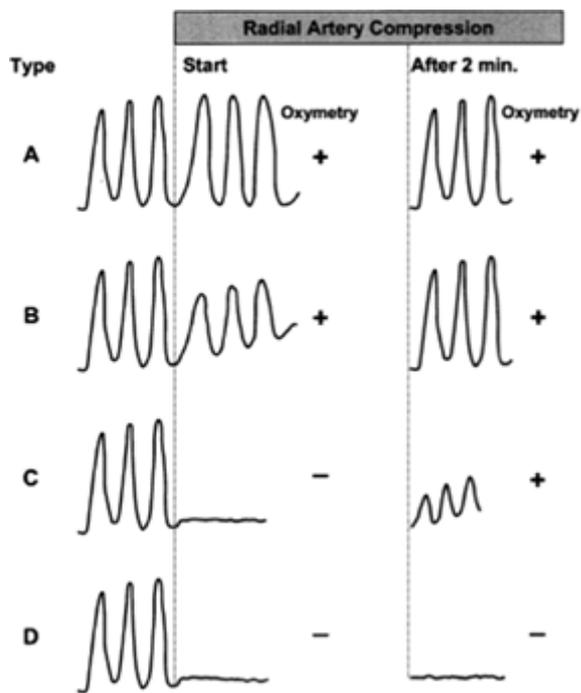


Abbildung 4: Barbeau Test
(nach Genehmigung von Elsevier)

6 Ziel der Arbeit

Der transulnare Zugangsweg hat als Alternative eines potentiellen Zugangs, bei bestehender Erfahrung mit dem transradialen Zugangsweg, für die Koronarangiographie und Angioplastie bislang wenig Aufmerksamkeit erhalten.

Ziel der Arbeit ist es, in einer retrospektiven Analyse, die Durchführbarkeit und Sicherheit des transulnaren Zuganges bei der Koronarangiographie und Angioplastie, ohne vorherige Anwendung von klinischen Tests zur Überprüfung der Handzirkulation bei Patienten, bei denen ein ipsilateraler radialer Zugang nicht möglich ist, in einem Zentrum mit hoher Zahl für transradiale Koronarangiographien, zu untersuchen.

7 Patientengut und Methoden

Alle Patienten der Medizinischen Klinik I, Schwerpunkt Kardiologie und Angiologie, die sich im Zeitraum vom 27.11.2013 bis 30.12.2015 zur Durchführung einer elektiven oder notfallmäßigen Koronarangiographie via transradialem Zugangsweg einfanden, wurden in diese Untersuchung eingeschlossen und retrospektiv bezüglich der Sicherheit und Durchführbarkeit untersucht. Die Patienten wurden an zwei Standorten rekrutiert (1. Medizinische Klinik I des Herzzentrums, Saar, Völklingen und 2. Herzkatheterlabor, Nardini Klinikum, Zweibrücken). Wenn sich der transradiale Weg als nicht begehbar erwies und eine ipsilaterale transulnare Koronarangiographie und Angioplastie durchgeführt wurde, wurden diese als Ulnaris-Patienten, diejenigen, die über die A. radialis untersucht wurden, als Radialis-Patienten bezeichnet.

Entsprechend des Konsensus Dokument der ESC (Hamon, 2013) wurde der transradiale Zugangsweg in erster Linie zur Durchführung der Koronarangiographie und Koronarangioplastie 1.382 Patienten vorgeschlagen. Eine schriftliche Aufklärung wurde im Vorfeld vorgenommen. Im Gegensatz zu den bisher veröffentlichten Studien wurde in der retrospektiven Analyse auf die Durchführung von präprozeduralen nicht-invasiven Tests zur Überprüfung der Handzirkulation verzichtet. Der Hauptanteil der perkutanen Angiographien und Angioplastien wurde via transradialen Zugangsweg durchgeführt. Sowohl vor der Untersuchung als auch vor der Entlassung wurden routinemäßig der radiale und der ulnare Puls palpirt. Die Pulsstärke wurde subjektiv in nicht tastbaren Puls, fadenförmigen Puls, mittelschwer tastbaren Puls, gut tastbaren Puls unterteilt. Nach einer Aufklärung über die möglichen Risiken und Vorteile des alternativen Zugangsweges wurde die Untersuchung durch den Arm durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden durch einen erfahrenen Untersucher (RIVAL-Kriterien: hohe Anzahl der Prozeduren, > 146 PCI via transradialen Zugang/Jahr/Operator) durchgeführt. Die Entscheidung zur Punktion der A. ulnaris wurde klinisch anhand der Palpation der A. ulnaris (palpabler Puls) getroffen.

Insgesamt konnten 1.379 Koronarangiographien und Angioplastien ausgewertet werden. Davon wurden 1286 Patienten (93,3%) transradial untersucht (Diagramm 1). Bei 93 Patienten (6,7%) konnte der Eingriff primär nicht via radialen Zugangsweg, wegen der fehlenden Möglichkeit der Punktion bei schwachen oder fehlenden Puls, rudimentärer Anlage, anatomischer Variante der A. radialis, schmalen Kaliber, schwerer nicht begradigbarer Schlingelung (non tethered looping), iatrogenen Dissektion, bei chronischem Verschluss (IRAO) oder Z.n. ipsila-

teraler Explantation (ERAO) durchgeführt werden. Bei diesem Patientenkollektiv erfolgte ein Wechsel auf einen anderen Zugangsweg, davon wurde bei 85 Patienten (91,5%) die ipsilaterale A. ulnaris gewählt. Auf ausdrücklichen Patientenwunsch erfolgte bei 7 Patienten (7,5%) der Wechsel auf die A. femoralis und bei einem Patienten (1%) auf die A. brachialis. In der auf die ipsilaterale A. ulnaris gewechselte Patientengruppe wurde bei 80 Patienten (94%) der Eingriff erfolgreich beendet. Bei 3 Patienten (3,5%) kam es zum zweiten Wechsel auf die A. femoralis, bei einem Patienten (1%) auf die A. brachialis bei fehlendem tastbaren Puls der kontralateralen A. radialis und der A. ulnaris und bei einem weiteren Patienten (1%) auf die kontralaterale A. radialis.

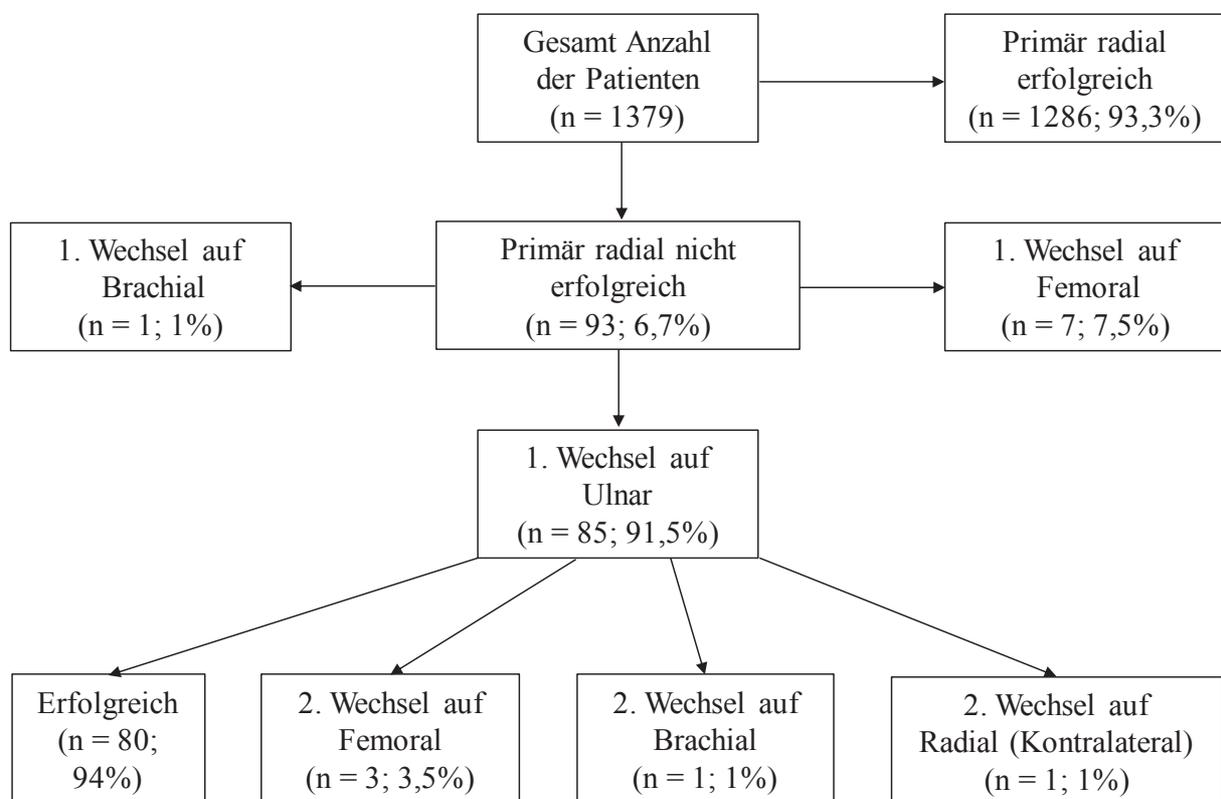


Diagramm 1: Flussdiagramm der untersuchten Gesamtkollektive

Die demographischen und die klinischen Merkmale der Ulnaris Patienten und Radialis Patienten sind in der Tabelle 4 und 5 aufgeführt.

Die Reihenfolge des Punktionsortes wurde folgenderweise festgelegt (Diagramm 2):

1. Falls ein fadenförmiger Puls oder kein Puls an der A. radialis zu palpieren war, erfolgte ein Zugangswechsel auf die ipsilaterale A. ulnaris.
2. Im Falle eines fadenförmigen Puls, nicht tastbaren Puls, einer Fehlpunktion oder fehlender Drahtpassage trotz erfolgreicher Punktion der ipsilateralen A. ulnaris, erfolgte ein weiterer Zugangswechsel auf die kontralaterale A. radialis.
3. Im Falle eines fadenförmigen Puls, nicht tastbaren Puls, einer Fehlpunktion oder fehlender Drahtpassage trotz erfolgreicher Punktion der kontralateralen A. radialis, erfolgte ein weiterer Zugangswechsel auf die kontralaterale A. ulnaris.
4. Im Falle eines fadenförmigen Puls, nicht tastbaren Puls, einer Fehlpunktion oder fehlender Drahtpassage trotz erfolgreicher Punktion der kontralateralen A. ulnaris, erfolgte ein weiterer Zugangswechsel auf die A. femoralis.

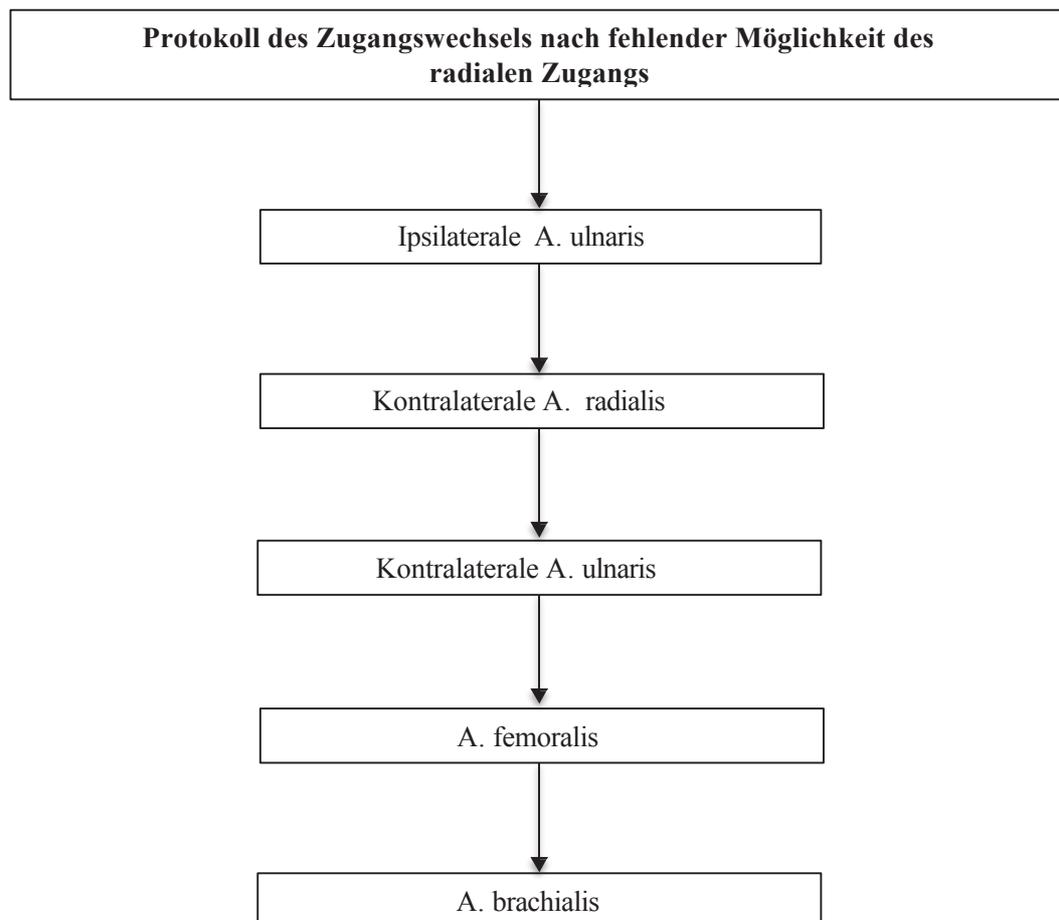


Diagramm 2: Protokoll des Zugangswechsels nach fehlender Möglichkeit des radialen Zugangs

Tabelle 4: Vergleich der demographischen Merkmale der Ulnaris Patienten und Radialis Patienten

Demographische Merkmal	Ulnaris Patienten (n = 85)	Radialis Patienten (n = 1294)	p-Wert
Alter, Jahre	72 (67-71)	68 (66-68)	0,23
Geschlecht, männlich	50 (59%)	804 (63%)	0,5
BMI, kg/m ²	29 (28-30)	28 (28-29)	0,72
EF, %	56 (51-57)	60 (56-58)	0,1
GFR (ml/min) nach CKD-EPI	50 (47-53)	60 (56-58)	<0,001
Arterielle Hypertonie	82 (97%)	1141 (88%)	0,019
Hyperlipidämie	80 (94%)	1136 (88%)	0,08
Diabetes mellitus	39 (46%)	405 (31%)	0,005
Nikotin Abusus	42 (49%)	470 (36%)	0,016
Z.n. Schlaganfall	10 (12%)	65 (5%)	0,008
pAVK	17 (20%)	118 (9%)	0,001
Z.n. ACB Op.	39 (46%)	94 (7%)	<0,001

Die demographische Variablen (Alter, BMI, EF, GFR) sind als Median mit 95% Konfidenz Intervall angegeben. Die kontinuierlichen Häufigkeiten wurden in absolut und in Prozent Werten angegeben.

Tabelle 5: Vergleich der klinischen Merkmale der Ulnaris Patienten und der Radialis Patienten bei ACS

Klinische Merkmale bei ACS	Ulnaris Patienten (n = 85)	Radialis Patienten (n = 1294)	p-Wert
Instabile AP	11 (13%)	123 (9,5%)	0,3
NSTEMI	31 (37%)	351 (27%)	0,06
STEMI	2 (2%)	93 (7%)	0,09
Kardiogener Schock	1 (1%)	31 (2%)	0,47

7.1 Punktion der A. radialis und A. ulnaris

Kenntnisse über die Durchmesser der A. radialis und der A. ulnaris sind unentbehrlich für die Auswahl der Schleuse oder des Führungskatheters. In der Arbeit von Saito (Abb. 5) bei 250 japanischen Patienten lag der mittlere Durchmesser der A. radialis, gemessen 10mm proximal des processus styloideus radii mittels Ultraschalluntersuchung nach Gabe von Nitraten, bei $3,10 \pm 0,60$ mm bei Männern und $2,80 \pm 0,60$ bei Frauen.

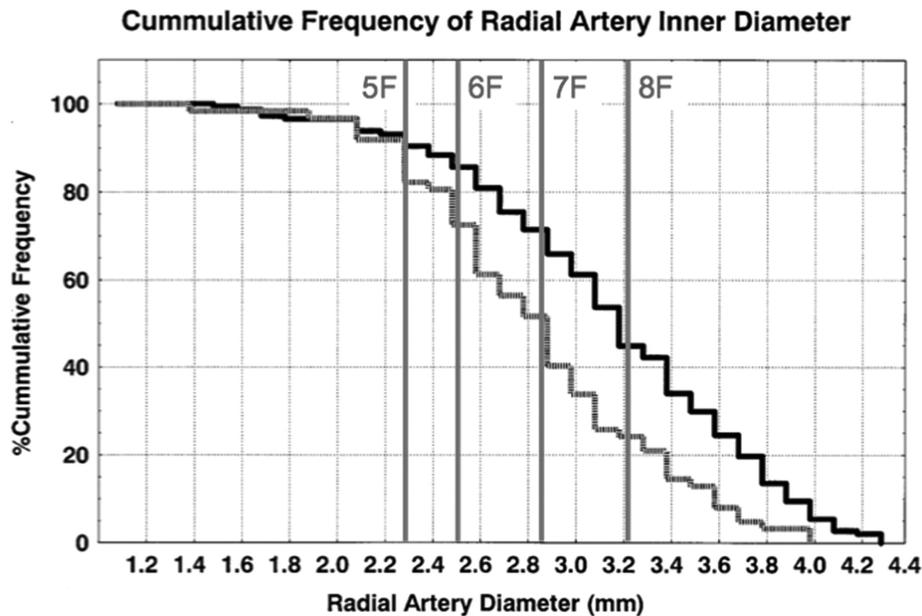


Abbildung 5: Radialis Innendurchmesser und die Möglichkeit der Verwendung von Schleusen-größe. Saito, 1999 (Nach Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.)

Der Durchmesser der A. radialis verjüngt sich nach distal und ist manchmal kleiner als der Außendurchmesser der Schleuse. Eine größere Schleuse kann das Gefäß verletzen und zur Thrombose führen. Das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der A. radialis und der Schleuse ist ein wichtiger Prädiktor für die Reduktion von arteriellen Fluss nach einer transradialen Untersuchung. Die Verschlussrate der A. radialis ist signifikant niedriger, wenn das Verhältnis zwischen Innendurchmesser der A. radialis und Außendurchmesser der Schleuse $\geq 1,010$ ist. Schlussfolgernd führt die Verwendung von Schleusen und Führungskatheter mit kleinem Durchmesser zur Reduktion von Spasmus und Verschluss der A. radialis. In der Arbeit von Dahm, 2002 und Gwon, 2006 konnte eine niedrige Rate an RAO (1%) bei Verwendung von 5F- im Vergleich zu 6% bei 6F- Führungskatheter gezeigt werden.

Demzufolge wurden miniaturisierte Schleusen mit hydrophiler Beschichtung (Terumo Glidesheath slender der Größe 5F bis 7F mit Außendurchmesser von 4F bis 6F Schleuse) und schleusenlose Führungskatheter mit hydrophiler Beschichtung (Asahi Intecc Sheathless Eaucath 6,5-8,5F) entwickelt. In der Arbeit von Chiam, 2011 konnte bei 288 Patienten eine niedrige Rate an RAO von 1%, in beiden Gruppen der Patienten, die mit 5F Führungskatheter und 6,5F schleusenlosem Führungskatheter untersucht worden sind, beobachtet werden.

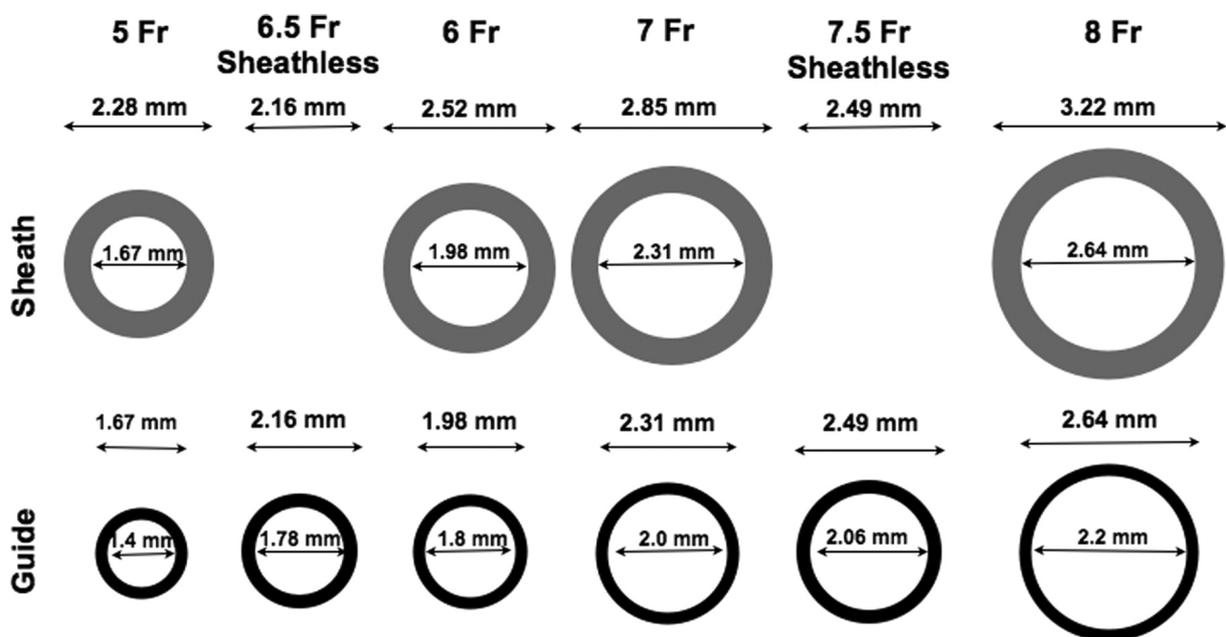


Abbildung 6: Vergleich des Durchmessers zwischen Schleuse, Führungskatheter und Schleusenlosen Führungskatheter. From, 2010 (Nach Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.)

Nach einer leichten Abduktion der Hand und ca. 40° bis 70° Hyperextension wurde die Hand nach dorsal fixiert. Die Punktion erfolgte in der bekannten Seldinger-Technik nach Infiltrationsanaesthetie mit 0,5- 1ml 2%iger Lidocainlösung. In Höhe des os pisiformis, etwa 0,5-3 cm proximal der flexoren Hautkante, wurde die Arterie an der stärksten Pulsationsstelle entlang der Gefäßachse von lateral nach medial (um eine Verletzung des N. ulnaris zu vermeiden) in ca. 30-50° Winkel mittels Erlanger Punktionsnadel (20G/50mm) in retrograder Richtung als single anterior wall Technik punktiert. Nach Feststellung eines guten arteriellen Flusses wurde ein 0,021 Zoll Draht in das Gefäß vorgeschoben und anschließend die Nadel über den Draht entfernt. Daraufhin wurde, ohne Bougierung oder Hautinzision der Punktionsstelle (um eine Dissektion und fokales Hämatom der A. ulnaris zu vermeiden), die kleinst notwendige Schleuse oder schleusenlos ein Führungskatheter, unter Berücksichtigung zum einen des Gefäßdurchmessers, wie unten gezeigt (Abb. 6), zum anderen des geplanten Eingriffs, eine 5 bis 7F Schleuse der Länge 7cm von Cordis inseriert. Nach Markteinführung der Terumo Glidesheath slender Schleuse (mit hydrophiler Beschichtung der Länge 10cm, Abbildung 5-7) in Deutschland, wurde hauptsächlich diese Schleuse in das Gefäß inseriert. Um eine überdimensionale Schleuse zu vermeiden, wurde bei manchen Patienten eine schleusenlose PCI mittels hydrophil beschichtetem Führungskatheter durchgeführt.

Nitroglycerin (200-600µg) und Verapamil (2,5-5mg) wurden intraarteriell über die Schleuse appliziert um einen möglichen arteriellen Spasmus zu vermeiden. Im Falle eines Spasmus während der Untersuchung wurde erneut Nitroglycerin und Verapamil intraarteriell verabreicht. In vereinzelt Fällen wurde intravenös eine leichte Analgosedierung mittels Morphiumsulfat und Diazepam (jeweils 2,5 bis 5mg) oder Midazolam (1 bis 5mg) verabreicht. In den meisten Fällen (n =64; 75%) wurde eine ulnare Angiographie durchgeführt. Das Kontrastmittel (2 bis 4ml) wurde mit 0,9% NaCl Lösung zur Hälfte gemischt und danach in rascher Geschwindigkeit manuell über die Schleuse appliziert. Im Falle eines Spasmus, Loops oder Kinking und atypischen Abgangs wurde anstatt eines Teflon Drahtes (Emerald™, Cordis, Fremont, CA, USA, des Durchmesseres 0,035") ein hydrophil beschichteter Draht (Glidewire®, Terumo, Tokyo, Japan, des Durchmesseres 0,035") oder ein koronarer Führungsdraht (Sion Blue®, Asahi Intecc, Tokyo, Japan des Durchmesseres 0,014" oder Runthrough® NS, Terumo, kyo, Japan des Durchmesseres 0,014") unter Durchleuchtung in das Gefäß inseriert.

Im Falle eines weiterhin bestehenden Spasmus oder zur Vermeidung eines Spasmus schweren Grades bei der Einführung großlumiger Führungskatheter wurde eine modifizierte (NS) Pseudo-Schienung (From, 2010; Kwan, 2012) des Führungskatheters (6F oder 7F) mittels eines

diagnostischen Katheters aus Kostengründen (5,2F Ventricular Angled Pigtail 145°, Cordis, Fremont, CA, USA, der Länge 110cm) vorgenommen. Als ultima ratio, zur Vermeidung des "Rasur-Effekts" wurde eine ballon assistierte Navigation durchgeführt (BAT = Ballon Assisted Tracking, nach Patel, 2013), wodurch der Spasmus erfolgreich unterbrochen werden konnte. Unmittelbar nach der Schleuseninsertion wurde intravenös unfraktioniertes Heparin (50-70I.E./kgKG oder maximal 5,000I.E.) als Bolus verabreicht, um einen thrombotischen Verschluss der Arterie zu vermeiden.

7.2 Prozedurale Merkmale

Je nach geplanter Prozedur wurden die Patienten in drei Gruppen unterteilt: alleinige Koronarangiographie, PCI und Koronarangiographie mit einzeitiger PCI.

Tabelle 6: Prozedurale Merkmale der Ulnaris Patienten im Vergleich zur Radialis Patienten

Prozedurale Merkmale	Ulnaris Patienten (n = 85)	Radialis Patienten (n = 1294)	p-Wert
Prozeduren:			
Alleinige Koronarangiographie	62 (73%)	808 (62%)	0,052
PCI	2 (2%)	71 (6%)	0,21
Diagnostik + einzeitige PCI	21 (25%)	415 (32%)	0,16
Durchleuchtungszeit (min):			
Alleinige Koronarangiographie	6,1 (5,8-9,8)	4,1 (5,7-6,5)	0,012
PCI	10,7	8,7	0,93
Diagnostik + einzeitige PCI	11,8 (11,2 -23,22)	10,8 (12,7-14,7)	0,15
Dosis (cGy* cm²):			
Alleinige Koronarangiographie	3823 (3714-5901)	2988 (3621-4062)	0,14
PCI	2150	3299	0,32
Diagnostik + einzeitige PCI	5965 (4315-11259)	5542 (6966-8479)	0,86
Kontrastmittel (ml):			
Alleinige Koronarangiographie	120 (108-125)	110 (114-118)	0,19
PCI	100	100	0,85
Diagnostik + einzeitige PCI	180 (151-198)	160 (170-183)	0,81

*Die Variablen Durchleuchtungszeit (min), Dosis (cGy*cm²) und Kontrastmittel (ml) sind als Median mit 95% Konfidenz Intervall angegeben. Für die Berechnung der p-Werte wurde der Mann-Whitney U Test angewendet, da die Daten nicht normalverteilt sind.*

Tabelle 7: Prozedurale Merkmale der Ulnaris Patienten im Vergleich zur Radialis Patienten

Prozedurale Merkmale	Ulnaris Patienten (n = 85)	Radialis Patienten (n = 1294)	p-Wert
Punktionsseite			
Rechts	39 (46%)	1106 (85%)	<0,001
Links	46 (54%)	177 (13%)	<0,001
Beidseits	0	11 (1%)	0,39
Fehlpunktion	2 (6%)	15 (2%)	<0,001
Frühere Punktion	10 (12%)	73 (6%)	0,02
Schleusengröße:			
5F	22 (26%)	354 (27%)	0,76
6F	30 (35%)	445 (34%)	0,87
7F	1 (1%)	34 (3%)	0,41
5F slender	0	6 (1%)	0,53
6F slender	32 (38%)	435 (34%)	0,45
7F slender	0	14 (1%)	0,34
6,5 F Schleusenlos	0	3 (0,2%)	0,66
7F Schleusenlos	0	2 (0,1%)	0,72

Bei Patienten mit Z.n. ACB-Op., wobei mindestens ein LIMA und A. radialis sinister als Bypass verwendet waren, wurde die Koronarangiographie und Angioplastie in der untersuchten Kollektive via A.ulnaris sinister durchgeführt.

Tabelle 8: Punktion der A. Ulnaris bei fehlender transradialer ipsilateraler Zugangsmöglichkeit

Punktion der A. Ulnaris bei fehlender transradialer ipsilateraler Zugangsmöglichkeit	Häufigkeit (n=85)	%
Z.n. Explantation der ipsilateralen A. radialis	36	42,4
IRAO	22	25,8
Fehlpunktion der ipsilateralen A. radialis	5	5,9
360° looping der ipsilateralen A. radialis	2	2,35
Rudimentäre ipsilaterale A. radialis	5	5,8
Fadenförmiger Puls der ipsilateralen A. radialis	10	11,7
Spasmus der ipsilateralen A. radialis (Grad III)	2	2,35
Hämatom der ipsilateralen A. radialis (EASY II)	2	2,35
Dissektion der ipsilateralen A. radialis	1	1,1

**Abbildung 7:** Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. mit Explantation der linksseitigen A. radialis als Conduit mit 6F Terumo Glidesheath slender in situ ohne sichtbare Ischämiezeichen.



Abbildung 8: Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. und Explantation der A. radialis sinister als Conduit mit 5F Schleuse in 7cm Länge (Cordis).



Abbildung 9: Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit Z.n. koronarer Intervention via A. radialis sinister am Vortag mit Hämatom Grad I (nach EASY Klassifikation) und nicht tastbaren Puls mit 6F Schleuse in 7cm Länge (Cordis) in der A. ulnaris sinister in situ.

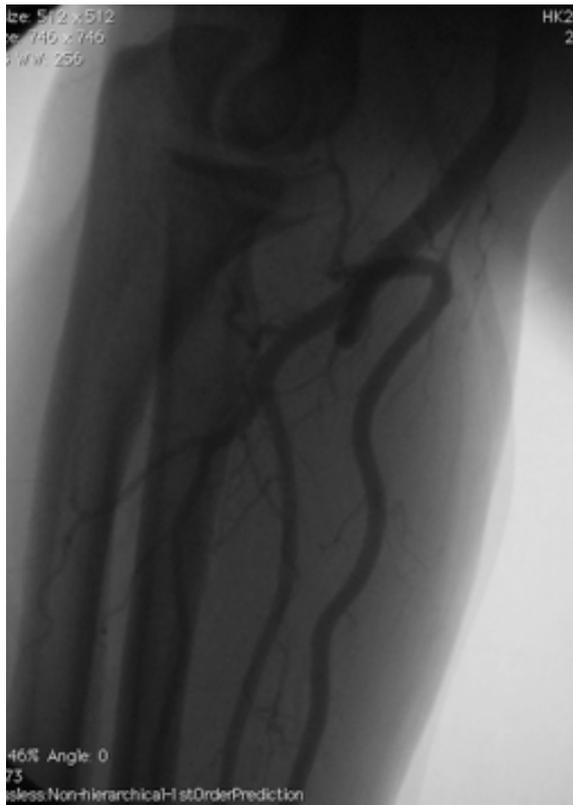


Abbildung 10 a): Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit 360° nicht begradigbarer Schlängelung (untethered looping) der A. radialis dexter. Die A. ulnaris dexter zeigt einen normalen Verlauf.



Abbildung 10 b): Diagnostische Koronarangiographie bei Patienten mit 360° nicht begradigbarer Schlängelung (untethered looping). Wechsel der Punktionsstelle von rechts radial auf rechts ulnar mit erfolgreicher Durchführung der Koronarangiographie (6F Cordis Schleuse 7cm in der A. radialis und 5F Schleuse in 7cm Länge (Cordis) in der A. ulnaris in situ) ohne Zeichen auf kritische Handischämie.



Abbildung 11 a): Patente Hämostase mit Anbringen von TR-Band™ (Radial Compression Device, Terumo Europe N.V., Leuven, Belgien) jeweils an der A. radialis und der A. ulnaris.



Abbildung 11 b): Patente Hämostase mit Anbringen von TR-Band™ jeweils an der A. radialis und der A. ulnaris. (Radial Compression Device, Terumo Europe N.V., Leuven, Belgien).



Abbildung 12: Deutlich größerer Durchmesser der ipsilateralen A. ulnaris im Vergleich zur A. radialis.



Abbildung 13: Ulnare Angiographie bei Patienten mit Verschluss der A. radialis dexter und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über die A. interossea anterior.

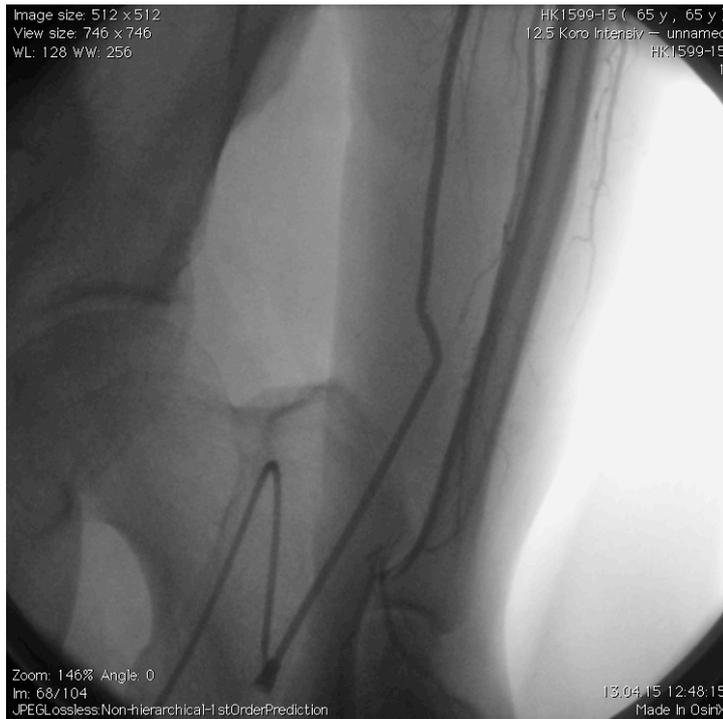


Abbildung 14 a): Ulnare Angiographie bei Patienten mit Z.n. Explantation der A. radialis sinister als Conduit für ACB-Operation und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über die A. interossea anterior und posterior.



Abbildung 14 b): Ulnare Angiographie bei Patienten mit Z.n. Explantation der A. radialis sinister als Conduit für ACB-Operation und ausreichender kollateraler Versorgung der Hand über die A. interossea anterior.



Abbildung 15: Ulnare Angiographie nach einer Fehlpunktion der A. radialis sinister bei rudimentärer Anlage.



Abbildung 16: Ulnare Angiographie via 6F Glidesheath slender Schleuse (Terumo) nach einer Fehlpunktion der A. radialis dexter bei Spasmus verursacht durch:

- Die Punktion selbst, distal am Punktionsort.
- Proximal an der Stelle des Widerstandes durch Drahtpassage bei geschlängelterm Verlauf.

7.3 Internes Protokoll für „patente Hämostase“

Die sogenannte „patente Hämostase“, mit Verwendung eines TR-Band™ unter kontrollierter nicht kompletter Kompression der Arterie zur Blutstillung (Radial Compression Device, Terumo Europe N.V. Leuven, Belgien), verringert die Rate am Verschluss der A. radialis hochsignifikant ohne Steigerung des Blutungsrisikos (Pancholy 2012). Das TR-Band™ wurde in der Länge von 24cm oder 29cm untermittelbar nach der Schleusenentfernung ca. 3-10mm oberhalb der Punktionsstelle angebracht.

- **Schritt 1:** Nach Inflation von 15ml Luft wurde die Schleuse entfernt, danach wurde rasch in 1ml-Schritten Luft unter sichtbarer Blutungskontrolle abgelassen. Im Falle der sichtbaren Blutung aus der Punktionsstelle wurde 3ml Luftmenge reinflatiert.
- **Schritt 2:** Ablassen von 3 ml Luft, alle 15 Minuten bis der Luft-Ballon des TR-Bands™ sich komplett entleert hat, beginnend 30 min. nach Entfernung der Schleuse bei einer diagnostischen Angiographie (90 min. nach einer PCI).
- Falls eine Blutung zu beobachten war, sollte der Ballon in 3 ml Schritten erneut reinflatiert werden, bis eine sichere Hämostase erreicht war.
- Falls die Blutung über 30 min. erfolgreich gestoppt wurde, erneut Schritt 2 befolgen.
- Wenn das TR-Band™ komplett entleert ist, sollte ein leichter Druckverband (ohne Kompression, insbesondere kein elastischer Druckverband) an der Punktionsstelle für mindestens eine weitere Stunde angebracht werden.
- Zur rechtzeitigen Erkennung der Komplikationen wurde ein internes Protokoll (modifiziert nach Bernat, 2006; Pancholy, 2008) für die Nachsorge nach einer Angiographie für die weiterbehandelnden Ärzte und Pflegepersonal bearbeitet.

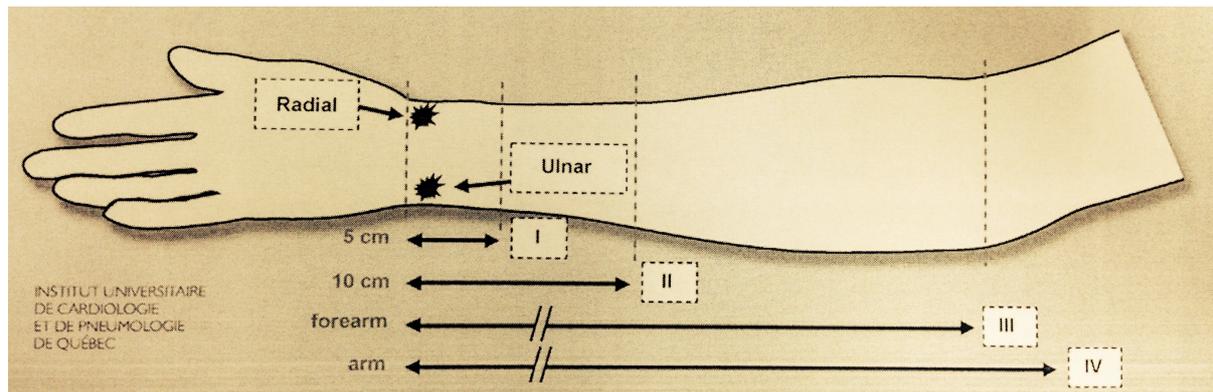


Abbildung 17: EASY Hämatom Klassifikation (Bertrand, 2006), nach Genehmigung von Wolters KluwerHealth, Inc.

Tabelle 9: Nachsorge nach transradialer und transulnarer perkutanen Angiographie

GRAD	I	II	III	IV	V
Inzidenz	≤ 5%	< 3%	< 2%	≤ 0,1%	< 0,01 %
Definition	Oberflächliches lokales Hämatom	Hämatom mit moderater muskulärer Infiltration	Unterarm-Hämatom und muskuläre Infiltration unterhalb des Ellenbogens	Unterarm Hämatom und muskuläre Infiltration oberhalb des Ellenbogens	Kritische Ischämie (Kompartmentsyndrom)
Therapie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schmerztherapie ■ Druckverband ■ Lokale Kühlung* 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schmerztherapie ■ Druckverband ■ Lokale Kühlung* 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schmerztherapie ■ Druckverband ■ Lokale Kühlung* ■ RR- Manschette[⊗] 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schmerztherapie ■ Druckverband ■ Lokale Kühlung* ■ RR- Manschette[⊗] 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chirurgie erwägen
Notizen		Arzt informieren	Arzt informieren	Arzt informieren	Dringend Arzt informieren!

Lokale Kühlung:* Eisakkus oder ein Plastikbeutel mit Eiswürfeln werden am Ort des Hämatom angebracht.

RR- Manschette[⊗]: Die Blutdruck- Manschette wird 20mmHg unterhalb des systolischen Blutdrucks inflatiert und alle 15 Minuten unter Kontrolle des Umfangs des Vorarms und des Arms deflatiert.

7.4 Definitionen der klinischen Komplikationen

1. Prozeduraler Erfolg wurde als Beendigung der geplanten Prozedur ohne Auftreten von klinischen Komplikationen (Schlaganfall, Tod oder Perforation der Koronararterie) im Herzkatheterlabor definiert (Lo, 2009).
2. Spasmus der A. radialis wurde in Schweregrade unterteilt (Dharma, 2008):
 - Grad I: leichter Schmerz und Missempfindung
 - Grad II: signifikanter lokaler Schmerz und Missempfindung
 - Grad III: schwerer lokaler Schmerz und Missempfindung mit Notwendigkeit eines Wechsels des Zugangsweges.
 - Grad IV: Verfangen des Katheters mit schwerem Schmerz und Missempfindung.
3. Zugangsweg assoziierte Komplikationen der A. ulnaris waren: Entstehung von Aneurysma oder Fistel, Hämatom, Verschwinden des Ulnarpulses oder Verletzung des Ulnarnervens. Das Unterarmhämatom wurde in Schweregrade unterteilt (Bertrand, 2006):
 - Grad I: lokales Hämatom, oberflächlich
 - Grad II: Hämatom mit moderater muskulärer Infiltration
 - Grad III: Hämatom mit muskulärer Infiltration, unterhalb des Ellenbogens
 - Grad IV: Hämatom mit muskulärer Infiltration, oberhalb des Ellenbogens
 - Grad V: Drohende Ischämie – Kompartment-Syndrom.
4. Handischämie wurde als anhaltende inadäquate Durchblutung der Hand, welche zu Schmerzen, Änderung des Hautkolorits, Ulzerationen, Gewebsnekrose und/oder Gangrän der Finger führt, definiert.
5. Schwere vaskuläre Komplikationen wurden als
 - Hämoglobin Abfall > 3g/dl, mit der Notwendigkeit der Bluttransfusion,
 - Notwendigkeit einer Intervention am Zugangsort oder
 - Notwendigkeit einer Chirurgie am Zugangsort gewertet (Burzotta, 2012).
6. Verschluss der A. ulnaris: dokumentiert wurde am Tag 1 nach der Untersuchung mittels Palpation der A. ulnaris, ob klinisch ein Verschluss vorlag.

8 Beschreibung der angewandten statistischen Methoden

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 22.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die demographische Variablen (z.B. Alter, BMI, EF, GFR) sind als Median mit 95% Konfidenz Intervall angegeben.

Zur Berechnung der p-Werte wurde für kontinuierliche Variablen (Alter, BMI, EF, GFR, Durchleuchtungszeit, Dosis und Kontrastmittel) der Mann–Whitney U Test (bzw. Wilcoxon-Rangsummen-Test) verwendet. Der Test wurde angewendet, da die Daten nicht normalverteilt waren.

Für alle kategorisierten Variablen (z.B. Geschlecht, prozedurale Merkmale und prozedurale Komplikationen) wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet.

9 Ergebnisse

Von November 2013 bis Dezember 2015 wurden 1.382 Patienten an zwei Standorten (Medizinische Klinik I, SHG Kliniken, Völklingen, HerzZentrum Saar und Nardini Klinikum, Zweibrücken) von einem erfahrenen Untersucher primär via transradialen Zugang untersucht und für die retrospektive Analyse ausgewählt. Die Analyse konnte bei 1.379 Patienten (in 99,8% der Fälle) durchgeführt werden. Bei 3 Patienten waren keine Daten auffindbar, diese wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Der häufigste kardiovaskuläre Risikofaktor war eine arterielle Hypertonie. Das mittlere Alter der Patienten lag bei 67 Jahre und 62,1% waren Männer. Die überwiegende Anzahl der Untersuchungen (93,3%) wurden transradial durchgeführt. Der erfolgreiche Wechsel des Zugangswegs von der A. radialis auf die ipsilaterale A. ulnaris, bei fehlender transradialer Zugangsmöglichkeit, zur Durchführung der Koronarangiographie und Angioplastie lag bei 94% (n=80/85).

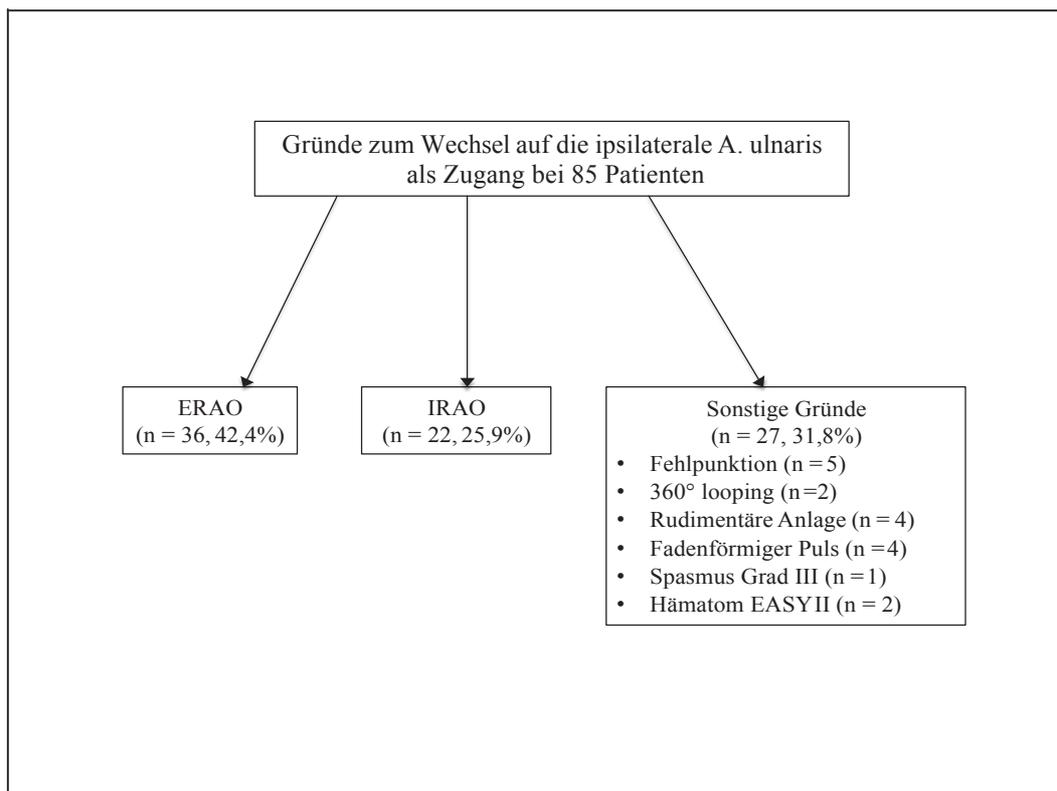


Abbildung 18: Gründe zum Zugangswechsel von der A. radialis auf die ipsilaterale A. ulnaris. (ERAO = Explant Radial Artery Occlusion, IRAO = Ipsilateral Radial Artery Occlusion)

Bei Ulnaris- Patienten wurde die A. ulnaris sinister am häufigsten (n=46; 54%) als Zugangsweg verwendet. Die häufigsten Untersuchungen wurden via 6F (n=32; 38%) und 6F Glidesheath slender (n=30; 35%) Schleuse durchgeführt.

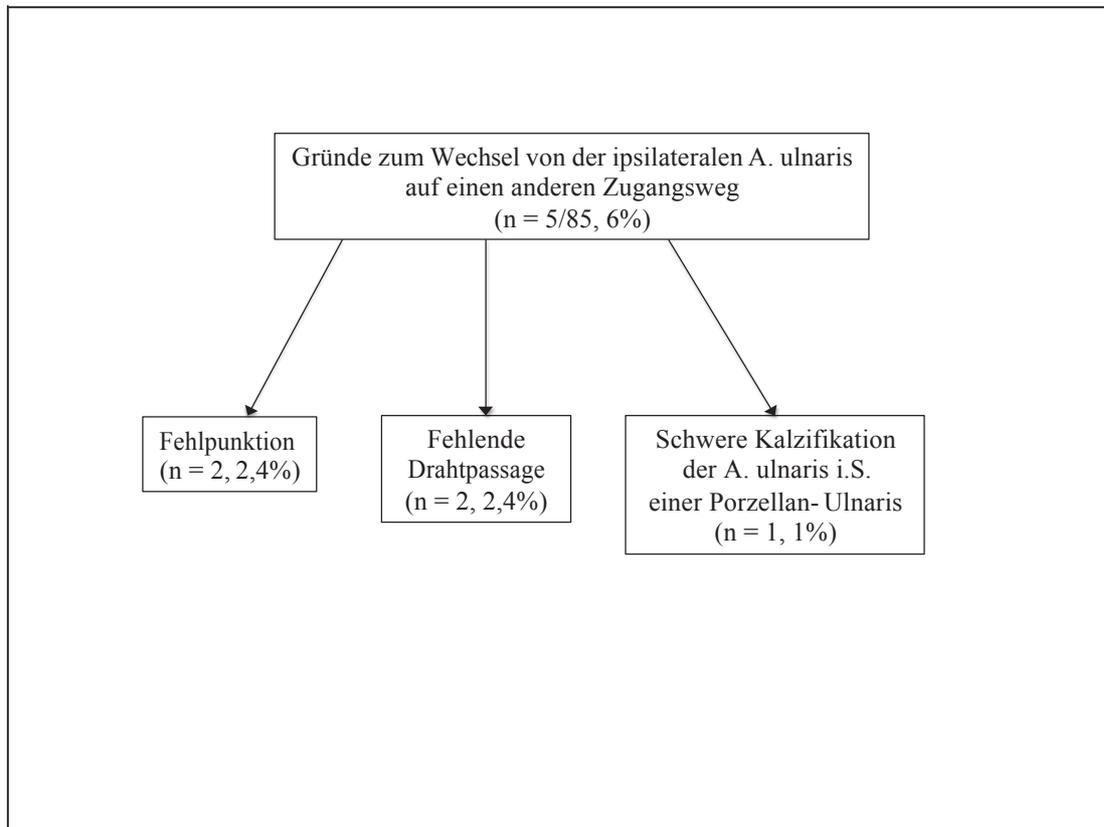


Abbildung 19: Gründe zum Zugangswechsel von A. ulnaris auf einen anderen Zugangsweg

Der transulnare Zugangsweg war in 6% (n=5/85) der Ulnaris-Patienten nicht zugänglich (Abbildung 19). Gründe dafür waren fehlende Drahtpassage nach der korrekten arteriellen Punktion bei 2 Patienten, bei weiteren 2 Patienten Fehlpunktion und bei einem Patienten eine Porzellan- A. ulnaris (1%), so dass bei diesen Patienten ein weiterer Wechsel des Zugangswegs erfolgte. Die häufigsten Gründe des ipsilateralen Wechsels waren in 42% (n=36/85) der Fälle ERAO und in 26% (n=22/85) IRAO (Abbildung 18). Aufgrund des ausdrücklichen Patientenwunsches lag die erfolgreiche Wechselrate von der A. radialis auf die A. brachialis bei 1% (n=1/93) und von der A. radialis auf die A. femoralis bei 7,5% (n=7/93). Klinische Komplikationen (Schlaganfall, Tod oder Perforation der Koronararterie) traten bei keinem Patienten in der radialen und ulnaren Gruppe auf.

Die klinischen und prozeduralen Merkmale der Ulnaris- Patienten (n = 85) sind in der Tabelle 4 und 5 dargestellt. In der ulnaren Gruppe befanden sich statistisch signifikant morbidere Patienten mit schlechterer renaler Funktion, gemessen nach GFR-EPI (Median 50 (CI 47-55) vs. 60 (CI 56-58), $p < 0,001$), arterielle Hypertonie [82(97%) vs. 1141(88%), $p = 0,019$], Diabetes mellitus [n=39 (46%) vs. n=405 (31%), $p = 0,005$], Z.n. Schlaganfall [n=10 (12%) vs. n=65 (5%), $p = 0,008$], pAVK [n=17 (20%) vs. n=118 (9%), $p = 0,001$] und Z.n. ACB-Op. [n=39 (46%) vs. n=94 (7%), $p < 0,001$].

Tabelle 10: Periprozedurale Komplikationen bei Ulnaris und Radialis Patienten

Periprozedurale Komplikationen	Ulnaris Patienten (n = 85)	Radialis Patienten (n = 1294)	p-Wert
Prozeduraler Erfolg	80 (94%)	1286 (99,5%)	0,003
Crossover	5 (6%)	20 (1,5%)	<0,001
(Wechsel auf anderen Zugangsweg):			
Auf A. femoralis	3 (3,5%)	7 (1%)	0,42
Auf kontralaterale A. radialis	1 (1%)	12 (1%)	0,82
Auf A. brachialis	1 (1%)	1 (1%)	0,72
Spasmus der Arterie			
Grad I	1 (1%)	37 (3%)	0,36
Grad II	1 (1%)	12 (1%)	0,82
Grad III	1 (1%)	3 (0,2%)	0,12
Grad IV	0	3 (0,2%)	0,66
Hämatom (nach EASY):			
Grad I	2 (2%)	15 (1%)	0,33
Grad II	1 (1%)	3 (0,2%)	0,12
Grad III	0	0	—
Grad IV	0	0	—
Grad V	0	0	—

Spasmen der Arterie (Grade I- IV) traten numerisch in der A. radialis Gruppe häufiger auf (n = 3/85 vs. 55/1294; 3,5% vs. 4,3%) jedoch ohne statistischen Unterschied (p Wert = 0,36 - 0,82) im Vergleich zu der ulnaren Gruppe. Es ergab sich, in Hinblick auf die zugangsweg-assoziierten Komplikationen der A. ulnaris, kein signifikanter Unterschied (n = 3/85 vs. 15/1294; 3,5% vs. 1,2%; p Wert = 0,12 - 0,33) der Ereignisse bezüglich des Auftretens eines Hämatoms (nach EASY) an der Punktionsstelle (Tabelle 10).

Ein Verschluss der ipsilateralen A. ulnaris am Tag 1 ließ sich, unabhängig der Ursache des Zugangswechsels von der A. radialis auf die A. ulnaris (IRAO, ERAO oder andere Ursachen wie Fehlpunktion der A. radialis, 360° Schlingelung der A. radialis, Spasmus Grad III, Hämatom Grad II nach EASY, Dissektion), nicht feststellen (Tabelle 11). Eine kritische Handischämie und schwere vaskuläre Komplikationen oder Verschluss der A. ulnaris am Folgetag der Untersuchung trat bei keinem Patienten im Gesamtkollektiv (n=85) auf.

Tabelle 11: Periprozedurale Komplikationen in Subgruppen der Ulnaris Patienten (je nach Ursache des Zugangswechsels, in Abhängigkeit des ipsilateralen Status der A. radialis)

Periprozedurale Komplikationen	Ulnaris Patienten		
	mit IRAO* (n = 22)	mit ERAO* (n = 34)	Sonstige Gründe (n = 29)
Prozeduraler Erfolg	22 (100%)	32 (94%)	28 (97%)
Spasmus der Arterie			
Grad I	0	1 (1%)	0
Grad II	0	0	0
Grad III	0	0	0
Grad IV	0	0	0
Hämatom (nach EASY):			
Grad I	0	1 (1%)	1 (1%)
Grad II	0	0	0
Grad III	0	0	0
Grad IV	0	0	0
Grad V	0	0	0

*IRAO = Ipsilateral Radial Artery Occlusion, ERAO = Explanted Radial Artery Occlusion

Tabelle 12: Periprozedurale Komplikationen in Subgruppen der Ulnaris Patienten (je nach selektiver Angiographie)

Periprozedurale Komplikationen	Ulnaris- Patienten (n = 85)		p-Wert
	mit Ulnaris Angiographie (n = 64; 75%)	ohne Ulnaris Angiographie (n = 21; 25%)	
Spasmus der Arterie			
Grad I	1 (1%)	0	0,56
Grad II	0	1 (5%)	0,08
Grad III	1 (1%)	0	0,56
Grad IV	0	0	—
Hämatom (nach EASY):			
Grad I	1 (1%)	1 (5%)	0,4
Grad II	0	1 (5%)	0,08
Grad III	0	0	—
Grad IV	0	0	—
Grad V	0	0	—

Bei 64 von insgesamt 85 Patienten in der ulnaren Gruppe (75%) wurde eine periprozedurale ulnare Angiographie durchgeführt. In Abhängigkeit der präprozedural durchgeführten selektiven ulnaren Angiographie zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Hinblick auf Spasmus oder Hämatom der A.ulnaris.

10 Diskussion

Das wichtigste Ergebnis dieser retrospektiven Analyse ist, dass der transulnare Zugangsweg zur Durchführung von Koronarangiographien und Angioplastien sowohl bei elektiven als auch bei Notfallpatienten eine sichere und sinnvolle Alternative ist, wenn der ipsilaterale radiale Zugang nicht verfügbar ist. Das Verfahren wurde in der untersuchten Patientengruppe mit einer niedrigen Komplikationsrate durchgeführt. Trotz Durchführung von komplexen interventionellen Verfahren, mit der Notwendigkeit großlumiger Katheter, zeigte sich eine niedrige Inzidenz von klinisch relevanten periprozeduralen Komplikationen der A. ulnaris mit Hämatom EASY Grad I bei nur einem Patienten (1%).

Vasospasmus ist mit der Größe des Gefäßlumens assoziiert und wird von vermittelten α -Rezeptoren als Reaktion auf Epinephrin verursacht. Die A. ulnaris hat allgemein einen größeren Durchmesser (1,3: 1) und einen geraderen Kurs; Loops und Krümmungen sind im Vergleich zur A. radialis sehr selten (Abbildungen 13, 14, 15 und 16). Die A. ulnaris verfügt über weniger α -Rezeptoren als die A. radialis. Das könnte der Grund eines geringeren Vasospasmus der A. ulnaris im Vergleich zur A. radialis sein (Fukuda, 2004). Der Spasmus der A. ulnaris Grad I-III war im Vergleich zu der A. radialis (6-12% nach Burzotta, 2012) mit 3,5% (n=3/85) niedriger. Spasmus der Arterie Grad I- IV traten in unserem Patientenkollektiv numerisch in der A. radialis Gruppe häufiger auf, jedoch ohne statistischen Unterschied (n=55/1294; 4,3%) (Tabelle 10).

Der Anteil der Patienten, die mit ACS stationär vorgestellt werden und den Z.n. einer ACB-Op. in der Vorgeschichte vorweisen, liegt bei 11% in Australien/Neuseeland (Chew, 2013) und bei 13% international (Granger, 2003). Eine weitere Zunahme der ACS- Patienten mit Z.n. ACB-Op., mit der Notwendigkeit einer elektiven oder Notfall-Angiographie (Berry, 2009) wird vor allem in Europa erwartet. Prospektiv randomisierte Studien zum Vergleich zwischen radialen und femoralen Zugangsweg bei diesem Patientenkollektiv bezüglich Reduktion der Mortalität, MACCE, Blutung und vaskuläre Komplikationen existieren nicht. In einer retrospektiven Analyse (Pasley, 2016) mit 326 Patienten ließ sich für die koronare Angiographie zwischen links radialen (n =72) und femoralen Zugangsweg (n =254) bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. mittels LIMA Bypass, kein Unterschied in Hinblick auf prozedurale Zeit und Strahlungsexposition feststellen. In unserem Kollektiv lag der Anteil der Patienten mit ACS und ACB-Op. bei 12% (n=74/611). Bisher existieren keine prospektiv randomisierten Daten bezüglich einer koronaren Angiographie via links ulnaren Zugangsweg bei Patienten

mit Z.n. ACB-Op., wo die A. radialis sinister und LIMA- als Bypass verwendet wurden. Im Vergleich zu der radialen Gruppe waren in der ulnaren Gruppe statistisch signifikant mehr Patienten mit Z.n. ACB-Op. (46% vs. 7%; $p < 0,001$).

In der TALENT- Studie (Sciahbasi, 2011) wurde eine niedrige Durchleuchtungszeit bei Koronarangiographie und Angioplastie bei 1500 Patienten via links radialen, im Vergleich zu rechts radialen Zugangsweg, festgestellt. In der Arbeit von Dehghani, 2009 wurde bei 2.100 Patienten eine höhere Inzidenz von Geschlängelungen der A. radialis dexter im Vergleich zur A. radialis sinister festgestellt, die A. subclavia dexter war häufiger gewunden als die A. subclavia sinister. In der Multivariatanalyse waren das Alter > 75 Jahre, eine Körpergröße < 165 cm und ein Z.n. ACB-Op. unabhängige Prädiktoren für eine frustrane, rechtsseitige transradiale PCI.

Dieser Unterschied kann durch die anatomischen Unterschiede zwischen der rechtsseitigen und linksseitigen Gefäßen erklärt werden. Zusätzlich muss der Katheter rechts nicht nur die A. subclavia dexter, sondern auch den Truncus brachiocephalicus passieren, um den Aortenbogen zu erreichen. Die Passage dieser beiden Bereiche der Bifurkation erhöht den technischen Aufwand, insbesondere bei Vorliegen einer Arteriosklerose. Da die A. subclavia (sinister) meistens direkt aus der Aorta entspringt, ist die Katheterpassage sehr ähnlich zu der eines transfemorales Ansatzes, mit der Folge von weniger komplexen Kathetermanipulationen und größerer Katheter Kontrolle. Darüber hinaus ermöglicht der links radiale Ansatz den direkten Zugriff auf die LIMA, die bei Patienten mit Z.n. ACB-Op. bei der Koronardiagnostik von besonderer Bedeutung ist. Sicherlich kann die LIMA auch von der A. radialis dexter selektiv intubiert werden. Vom technischen Standpunkt aus betrachtet, ist dies wesentlich schwieriger. Darüber hinaus besteht aufgrund der Kathetermanipulation ein potentiell Risiko für einen embolischen Schlaganfall aus dem Aortenbogen. Mit diesen Hintergedanken wurde bei Patienten mit Z.n. ACB-Op., wobei mindestens eine LIMA und die A. radialis sinister als Bypass verwendet waren, die Koronarangiographie und Angioplastie im untersuchten Kollektiv via A. ulnaris sinister durchgeführt.

Insgesamt wurden 85 Patienten, bei fehlender transradialer Möglichkeit ipsilateral transulnar untersucht. Bei 80 Patienten (94%) konnte die Koronarangiographie und Angioplastie erfolgreich transulnar durchgeführt werden (Abbildung 18). 48 Patienten (56%) wurden via links ulnaren Zugangsweg untersucht, davon wiesen 34 Patienten (40%) ein Z.n. ACB-Op. (wobei mindestens eine LIMA und eine A. radialis sinister als Bypass verwendet waren) auf. In 64 von insgesamt 85 Patienten (75%) wurde eine periprozedurale ulnare Angiographie durchge-

führt. Bei diesen Patienten ließen sich hauptsächlich von der A. interossea anterior funktionelle Kollaterale feststellen. Der Puls der A. ulnaris ließ sich insbesondere bei Patienten mit entnommener A. radialis als Conduit kräftiger palpieren als bei Patienten mit vorhandenem Puls der ipsilateralen A. radialis jeglicher Stärke. In 25% der Fälle (n=21/85) wurde keine ulnare Angiographie durchgeführt. Auch in dieser Gruppe der Patienten wurde keine schwerwiegende vaskuläre Komplikation festgestellt, welches offensichtlich auf eine ausreichende Kollateralisierung hindeutet.

In vielen Zentren, mit hoher Anzahl an transradialen Untersuchungen, wird weltweit das transradiale Verfahren üblicherweise ohne die Testung der dualen Handzirkulation mittels nicht invasiver Evaluation mit ausgezeichneten Sicherheitsergebnissen (kritische Handischämie) durchgeführt. Auch wir verzichteten auf die Durchführung von präprozeduralen nicht invasiven Tests in Hinblick auf die Handzirkulation. In dem untersuchten Kollektiv ließ sich ebenfalls keine einzige kritische Handischämie feststellen. Dies war unabhängig davon, ob ein ipsilateraler Radialarterienverschluss (IRAÖ) oder ein Z.n. Explantation der ipsilateralen A. radialis (ERAÖ) als Ursache des Zugangswechsels vorlag.

Ein abnormales Ergebnis bei jeder Form eines Allen-Tests beinhaltet eine geringe Spezifität für die Vorhersage von schwerer Handischämie und kann fälschlicherweise zum Ausschluss von Patienten zur Durchführung einer transradialen und transulnaren Koronarangiographie und Angioplastie führen. Die Bedeutung dieser Tests in der klinischen Routine wurde, aufgrund der falsch positiven und falsch negativen Ergebnisse in der letzten Zeit, in Frage gestellt (Bertrand, 2014). In der Arbeit von Fuhrmann, 1992 wurde der Allen-Test bei gesunden Probanden durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass ein unauffälliger Allen-Test weder einen kompletten Hohlhandbogen noch aberrante kommunizierende Arterien erfasst. Die Blutflussgeschwindigkeit innerhalb der Arterie, als möglicher Prädiktor einer postprozeduralen Gefäßthrombosierung durch einen zu langsamen Blutfluss, wird ebenfalls nicht erfasst (Fuhrmann und Mcsweeney, 1995). In der Arbeit von Benit, 1997 konnte ein pathologischer Allen-Test in 27% der insgesamt 1.000 Patienten festgestellt werden. Daraufhin wurde die Koronarangiographie nicht transradial durchgeführt. Hervorzuheben ist jedoch, dass in dieser Studie das Anhalten der Blässe von mehr als 10 Sekunden als pathologisch gewertet wurde.

Von Ejrup, 1996 wurde festgestellt, dass eine Hyperflexion der Hand während des Allen-Tests zu falsch-positiven Ergebnissen führen kann. Die diagnostische Sicherheit wurde am höchsten nach einer Zeitdauer von 5s mit 79,6% festgestellt. Die Sensitivität lag bei 75,8% und die Spezifität bei 81,7%. Die Autoren haben auf die Wichtigkeit einer maximalen Flexion

und einer entspannten Haltung der untersuchten Hand hingewiesen. Eine Arbeit von Vu Rose, 1997 zeigte, dass 4 verschiedene Untersucher bei 100 Patienten nicht in einem einzigen Fall zu der gleichen Interpretation des Allen-Tests gekommen sind. In der Arbeit von Kohonen, 2007 wurde bei 145 Patienten vor einer operativen Myokardrevaskularisation ein Allen Test, eine Dopplersonographie und eine Plethysmographie durchgeführt. Im Vergleich mit den anderen Untersuchungen zeigte der Allen Test eine Sensitivität von 73,2% und eine Spezifität von 97,1% bei einem Cut-off Wert der Reperusionszeit von 6s.

Charlambous untersuchte in Zeitraum vom 01.01.2006 bis 31.12.2009 insgesamt 3.009 Patienten via transradialen Zugangsweg ohne Allen-Test mit einer Nachbeobachtung bis Juni 2013. Diese Arbeit enthielt zwei Gruppen von Patienten: die erste Gruppe mit erstmaliger (96,9%) transradialer Punktion und die zweite Gruppe mit wiederholter transradialer Untersuchung (3,1%) via gleichen Zugangsort. Ziel der Arbeit war die Untersuchung des Auftretens eines asymptomatischen Verschlusses der A. radialis und der symptomatischen Handischämie. Die Rate des asymptomatischen Verschlusses der A. radialis betrug 0,1% in der Erstgruppe und 3,3% in der zweiten Gruppe. Kein einziger Fall einer periprozeduralen, noch einer über längeren Zeitraum bestehenden symptomatischen Handischämie wurde beobachtet.

Valgimigli untersuchte im Rahmen der RADAR Studie 203 Patienten mit elektiver oder Notfall Angiographie via transradialen Zugangsweg von Oktober 2007 bis Juni 2009. Alle Patienten wurden vor der Untersuchung mittels modifizierten Allen-Test untersucht, wobei die Zeit bis zum Erreichen des maximalen palmaren blushes (Hyperämie) nach Dekompression der A. ulnaris während der kontinuierlichen Kompression der A. radialis gemessen wurde. Der Allen Test wurde in drei Gruppen klassifiziert:

- Normal (blush innerhalb 5 s) in 83 patients (40.9%)
- Intermediär (blush in 6-10 s) in 60 patients (29.6%)
- Abnormal (blush nach 10 s) in 60 patients (29.6%)

Post-prozedurale Messungen des kapillaren Lactatwertes zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen normalen (185 ± 0.93 mmol/L), intermediären (185 ± 0.66 mmol/L), und abnormalen Allen-Test (197 ± 0.71 mmol/L; $P = 0.59$). Es zeigten sich jedoch unterschiedliche Muster des Barbeau Tests in allen drei Gruppen. Typ A Reaktion des Barbeau Tests war (keine Dämpfung der Pulskurve) in 83% der normalen Gruppe und 2% der abnormalen Gruppe festzustellen, wobei Typ D Reaktion des Barbeau-Tests (Fehlen der Pulskurve ohne Erholung innerhalb von 2 Minuten) nur in der abnormalen Gruppe mit 40% festgestellt wurde.

Ischämien oder Blutungen wurden nicht beobachtet. Keine vaskuläre Chirurgie war notwendig. Die Autoren schlussfolgerten, dass mittels des Allen-Tests keine sichere Aussage über die Sicherheit der zu durchführenden transradialen Koronarangiographie getroffen werden kann. Ähnliche Ergebnisse wurden von Jarvis, 2000 bei Patienten mit Indikation zur chirurgischen Myokardrevaskularisation im Rahmen der präoperativen Evaluierung des möglichen radialen Transplantats festgestellt.

Die unterschiedlichen Normwerte hinsichtlich der Reperusionszeiten, sowie die subjektive Einschätzung des Hautkolorits in den Studien weisen auf die Ungenauigkeit in der Auswertung der normalen und pathologischen Reperusionszeit bei nicht invasiven Tests (v.a. beim Allen-Test) hin. Zudem werden individuelle anatomische Variationen des arteriellen oberflächlichen palmaren Handbogens mittels dieser Tests nicht vollständig abgebildet. Vermutlich dient bei der Durchführung der transulnaren Koronarangiographie das Vorhandensein von zahlreichen Kollateralkreisläufen (Abbildung 1) als Schutz für eine kritische Handischämie auch in Gegenwart eines abnormen Allen-Tests, Verschluss der A. radialis oder Z.n. entnommener A. radialis als Conduit für operative Myokardrevaskularisation.

Weil die falsch positiven Ergebnisse des Allen- Tests zum Ausschluss von Patienten für eine transradiale oder transulnare Untersuchung führen, wurde in unserem Kollektiv auf die präprozedurale Evaluation der Handzirkulation verzichtet, somit konnte der Wechsel auf einen femoralen Zugangsweg verhindert werden. Die Crossover Rate von ulnar zu femoral lag in unserem Kollektiv bei 3,5% (n=3/85).

Nach dem Konsensus der ESC (2013), der STEMI Leitlinien (2014) und der NSTEMI-ACS-Leitlinien (2015) wird in Zentren mit hoher Anzahl von Herzkatheteruntersuchungen, mit entsprechender Erfahrung über den radialen Zugangsweg, auch eine Expertise bezüglich des femoralen Zugangsweges empfohlen, falls der koronare Eingriff über den radialen Zugangsweg nicht erfolgreich durchgeführt werden kann. In Fallserien, mono- und multizentrischer prospektiver Registerdaten, konnte der transulnare Weg, bei fehlender Möglichkeit des ipsilateralen radialen Zugangsweges, als sicherer Zugangsweg gezeigt werden. Bei einer ausgewählten Patientengruppe, insbesondere mit akutem Koronarsyndrom und Patienten mit erhöhtem Blutungsrisiko, kann der transulnare Zugangsweg gegenüber den transfemorale Weg, bei fehlender ipsilateraler transradialer Zugangsmöglichkeit, ein sinnvoller alternativer Weg sein. Dieses Vorgehen wird gegebenenfalls den Zugangswechsel von radial auf femoral senken. In unserem Patientenkollektiv wurde in 5,8% (n=80/1379) der Fälle ein erfolgreicher Wechsel von der A. radialis auf die ipsilaterale A. ulnaris vorgenommen. Bei fehlendem tast-

baren Puls der ipsilateralen A. ulnaris, der kontralateralen A. radialis und der kontralateralen A. ulnaris, lag die Wechselrate von der A. radialis auf die A. femoralis bei 0,6% (n=3/1379). Durch den Nutzen der ipsilateralen A. ulnaris als weiterer Zugangsweg konnte der Wechsel auf die A. femoralis somit um 90% gesenkt werden.

Die Mehrheit (53%) dieser Patienten waren Patienten mit ACS (n= 45/85), wo der Nutzen der Koronarangiographie und der Koronarangioplastie via A. radialis im Vergleich zu A. femoralis am besten dokumentiert ist (RIVAL, 2011; RIFLE-STEACS, 2012; MATRIX, 2015; Karrowni, 2013). In der Subgruppenanalyse befanden sich in der ulnaren Gruppe im Vergleich zu der radialen Gruppe statistisch signifikant morbidere Patienten mit schwerer renaler Funktion (nach GFR-EPI), arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus, Z.n. pAVK und Z.n. ACB-Op. (Tabelle 4). Registerdaten (Siudak, 2010; Maree, 2016) haben gezeigt, dass das weibliche Geschlecht, ein Untergewicht, eine chronische Niereninsuffizienz und ein Z.n. Schlaganfall, unabhängige Prädiktoren von Blutungen (punktionsbedingtes Hämatom oder transfusionspflichtige major Blutungen), bei femoralen Zugangsweg im Vergleich zu radialen Zugangsweg, bei koronarer Intervention sind. In der Arbeit von Ndrepepa, 2015 konnte die arterielle Hypertonie als Risikofaktor für die zugangsbedingte Blutungen festgestellt werden (OR = 1.42 [1.09-1.83], P = 0.008). BARC-Blutungen innerhalb 30 Tagen, nach einer vorausgehenden transfemorale PCI bei Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz (GFR < 60ml/min nach Cockcroft-Gault Formel), sind mit erhöhter Jahresmortalität und nicht tödlichem Myokardinfarkt assoziiert (Ndrepepa, 2014). Durch den Nutzen des ulnaren im Vergleich zu femoralen Zugangsweg, bei fehlender transradialer Möglichkeit, kann ggfs. bei ausgewählten Hochrisikopatienten das zugangsbedingte Blutungsrisiko reduziert werden. Jedoch fehlen bezüglich der Sicherheit und Machbarkeit einer perkutanen transulnaren Koronarangiographie und Koronarintervention, bei fehlender ipsilateraler transradialer Zugangsmöglichkeit im Vergleich zum radialen Zugangsweg, sowohl bei elektiven als auch bei Patienten mit ACS prospektiv randomisierte Studien.

Limitationen der Analyse

Die Einschränkungen der Analyse sind retrospektiver Art, fehlende Randomisierung und kleine Anzahl der untersuchten Patienten. Der Eingriff lag vor der Planung der Analyse. Die Wechselrate von der A. radialis auf die A. femoralis lag in den randomisierten Studien (Mehta, 2012; Romagnoli, 2012; Rao, 2014) bei bis zu 7,6%. In der Arbeit von Baumann, 2015 lag aufgrund der Verwendung einer intraprozeduralen Ultraschall gesteuerten Punktion der A. radialis/A. ulnaris bei 1.000 konsekutiven Patienten die Rate des Zugangswechsels bei 0,3%. In unserer Arbeit wurde kein intraprozeduraler Ultraschall verwendet. Dies könnte der Grund der leicht erhöhten Rate des Zugangswechsels, aufgrund eines fehlendem tastbaren Puls von 0,6% erklären. In der Arbeit von Garg, 2015 wurde bei 198 transradial untersuchten Patienten am Tag 1 bei 30 Patienten (15,2%) ein RAO mittels Duplex Untersuchung festgestellt, obwohl bei 30% dieser Patienten ein tastbarer Puls der A. radialis festzustellen war. Alle Patienten blieben asymptomatisch. In der Kontrolluntersuchung in 3 Monaten ließ sich bei 8 Patienten (26,7%) eine spontane Rekanalisation feststellen. In einem Fallbeispiel von Ackermann, 2016 wurde ebenfalls über einen Verschluss der A. radialis, trotz des vorhandenen Pulses, aufgrund einer mittels Duplex Untersuchung festgestellten retrograden Perfusion via A. ulnaris berichtet. In unserer Patientenkollektive wurde ein Verschluss der A. ulnaris subjektiv anhand des tastbaren Pulses am Punktionsort am Tag 1 bei keinem Patienten festgestellt. Eine objektive Duplex Untersuchung wurde jedoch nicht durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden durch einen Untersucher (NS) mit hoher Expertise in transradialen Prozeduren durchgeführt, welche die Voraussetzung erfüllt um eine transulnare Untersuchung, mit niedriger vaskulärer Komplikationsrate durchzuführen.

11 Literaturverzeichnis

1. Ackermann B, Itin P, Aschwanden M, Staub D, Mueller S (2016) Palpable Radial Pulse Despite Artery Occlusion - How is that Possible? A Localized Livedo Racemosa Leads to the Solution. *Dermatol Case Rep* 1:109.
2. Agostoni P, Zuffi A, Biondi-Zoccai G (2011) Pushing wrist access to the limit. Homolateral right ulnar artery approach for primary percutaneous coronary intervention after right radial failure due to radial loop. *Catheterization Cardiovascular Intervention* 78:894-7.
3. Agostoni P, Zuffi A, Faurie B, Tosi P, Samim M, Belkacemi A, Voskuil M, Stella PR, Romagnoli E, Biondi-Zoccai G (2013) Same wrist intervention via the cubital (ulnar) artery in case of radial puncture failure for percutaneous cardiac catheterization or intervention: the multicenter SWITCH registry. *Int J Cardiol* 169:52-6.
4. Al Turk M, Metcalf WK (1984) A study of superficial palmar arteries using Doppler ultrasonic flowmeter. *J Anat* 138:27-32.
5. Allen, E.V. (1929). Thrombngitis obliterans: methods of diagnosis of chronisc arterial lesions distal to the wrist with illustrative cases. *Am J Med Sci* 178: 237-244.
6. Amanullah AM, Berman DS, Erel J, Kiat H, Cohen I, Germano G, Friedman JD, Hachamovitch R (1998) Incremental prognostic value of adenosine myocardial perfusion single-photon emission computed tomography in women with suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol* 82:725-30.
7. Amplatz K, Formanek G, Stanger P, Wilsin W. (1967) Mechanics of coronary artery catheterization via femoral approach. *Radiology* 189:1040-1047.
8. Anderson KM, Wilson PW, Odell PM, Kannel WB (1991): An updated coronary risk profile. A statement of health professionals. *Circulation* 83: 356-62.
9. Antman EM, Anbe DT, Armstrong PW, Bates ER, Green LA, Hand M, Hochman JS, Krumholz HM, Kushner FG, Lamas GA, Mullany CJ, Ornato JP, Pearle DL, Sloan MA, Smith SC Jr (2014) ACC/AHA guidelines for the management of patients with ST-elevation myocardial infarction; A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Revise the 1999 Guidelines for the Management of patients with acute myocardial infarction). In: *Journal of the American College of Cardiology*. 44:E1–E211.
10. Aptecar E, Pernes JM, Chabane-Chaouch M, Bussy N, Catarino G, Shahmir A, Bougrini K, Dupouy P. (2006) Transulnar versus transradial artery approach for coronary angioplasty: the PCVI-CUBA study. *Catheter Cardiovasc Interv* 67:711-20.
11. Assmann G, Cullen P, Schulte H. (2002). Simple scoring scheme for calculating the risk of acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular Munster (PROCAM) study. *Circulation* 105:310-5.

12. Babunashvili Avtandil, Dundua David (2011) Recanalization and reuse of early occluded radial artery within 6 days after previous transradial procedure Catheterization and Cardiovascular Interventions. 77:530-536.
13. Barbeau GR, Arsenault F, Dugas L, Simard S, Lariviere MM. (2004) Evaluation of the ulnopalmar arterial arches with pulse oximetry and plethysmography: comparison with the Allen's test in 1010 patients. *Am Heart J* 147:489-493.
14. Barnes RW, Peterson JL, Krugmire RB Jr, Strandness DE Jr. (1974) Complications of brachial artery catheterization: prospective evaluation with the Doppler ultrasonic velocity detector. *Chest* 66:363-367.
15. Baumann F, Roberts JS. (2015) Evolving Techniques to Improve Radial/Ulnar Artery Access Crossover Rate of 0,3% in 1,000 Consecutive Patients Undergoing Cardiac Catheterization and/or Percutaneous Coronary Intervention via the Wrist. *J Interv Cardiol.* 28:294-404.
16. Benit E, Missault L, Eeman T, Carlier M, Muyltermans L, materne P, Lafontaine P, de Keyser J, Decoster O, Pourbaix S, Castadot M, Boland J (1997) Radial or femoral approach for elective Palmaz-Schatz stent implantation: A randomized comparison. *Cathet Cardiovas Diagn* 41:124-130.
17. Berry C, Pieper KS, White HD, Solomon SD, Van de Wert F, Velazquez EJ, Maggioni AP, Califf RM, Pfeffer MA, McMurray JJ (2009) Patients with prior coronary artery bypass grafting have a poor outcome after myocardial infarction: an analysis of the VALsartan in acute myocardial infarction trial (VALIANT). *Eur Heart J.* 30:1450-6.
18. Bertrand OF, De Larochellière R, Rodés-Cabau J, Proulx G, Gleeton O, Nguyen CM, Déry JP, Barbeau G, Noël B, Larose E, Poirier P, Roy L (2006) Early Discharge After Transradial Stenting of Coronary Arteries Study Investigators. A randomized study comparing same-day home discharge and abciximab bolus only to overnight hospitalization and abciximab bolus and infusion after transradial coronary stent implantation. *Circulation* 114:2636-43.
19. Bertrand OF, Rao SV, Pancholy S, Jolly SS, Rodés-Cabau J, Larose E, Costerousse O, Hamon M, Mann T (2010) Transradial approach for coronary angiography and interventions: Results of the First international transradial practice survey. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv* 3:1022–1031.
20. Bertrand Olivier F, Carey Patrick C, Gilchrist Ian C. (2014) Allen or No Allen: That Is the Question! *Journal of the American College of Cardiology.* 63:1833-1841.
21. Biondi-Zoccai G, Sciahbasi A, Bodi V, Fernández-Portales J, Kanei Y, Romagnoli E (2013) Right versus left radial access for coronary procedures: an international collaborative systematic review and meta-analysis including 5 randomized trails and 3210 patients. *Int J Cardiol* 166:621-6.
22. Boyd JD, Clark WE, Hamilton WJ, Yoffey JM, Zuckerman S, Appelton AB (eds) (1956) Textbook of Human Anatomy. In: Cardiovascular system. Blood Vessels. Mcmillan and Co. Ltd. New York: 34-346.

23. Braunwald E (1989) Unstable angina. A classification. *Circulation*. 80: 410-414.
24. Brzezinski M, Luisetti T, London MJ. Radial artery cannulation (2009) A comprehensive review of recent anatomic and physiologic investigations. *Anesth Analg* 109:1763-1781.
25. Burzotta F, Trani C, Mazzari MA, Tommasino A, Niccoli G, Porto I, Leone AM, Tinelli G, Coluccia V, De Vita M, Brancati M, Mongiardo R, Schiavoni G, Crea F (2012) Vascular complications and access crossover in 10,676 transradial percutaneous coronary procedures. *Am Heart J* 163:230-8.
26. Campeau L (1989) Percutaneous radial artery approach for coronary angiography. *Cathet Cardiovasc* 16:3-7.
27. Chew D, French J, Briffa T, Hammett CJ, Ellis CJ, Ranasinghe I, Aliprandi-Costa BJ, Astley CM, Turnbull FM, Lefkovits J, Redfern J, Carr B, Gamble GD, Lintern KJ, Howell TE, Parker H, Tavella R, Bloomer SG, Hyun KK, Brieger DB (2013) Acute coronary syndrome care across Australia and New Zealand: the SNAPSHOT ACS study. *Med J Aust*. 199:185-91.
28. Chiam PT, Liu B, Wong AS, Wong PE, Lim ST, Koh TH, Lim VY. Comparison of novel 6.5 Fr sheathless guiding catheters versus 5 Fr guiding catheters for transradial coronary intervention. (2011) *EuroIntervention* 7:930-5.
29. Coleman SS, Anson BJ (eds) (1961) Arterial pattern in the hand based on 650 specimens. *Surgery, Gynaecology, Obstetrics*. 113:409-24.
30. Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR (2006) Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol* 47:1840-5.
31. Dahm JB, Vogelgesang D, Hummel A, Staudt A, Volzke H, Felix SB (2002) A randomized trial of 5 vs. 6 French transradial percutaneous coronary interventions. *Catheter Cardiovasc Interv* 57:172-6.
32. Dashkoff N, Dashkoff PB, Zizzi JA, Wadhvani J (2002) Ulnar artery cannulation for coronary angiography and percutaneous coronary intervention: case reports and anatomic considerations. *Catheter Cardiovasc Interv*. 55:93-6.
33. Deftereos S, Giannopoulos G, Tousoulis D (2011) Feasibility and safety of transulnar access for performing rotational atherectomy. *Int J Cardiol* 147:285-286.
34. Deftereos S, Giannopoulos G, Tousoulis D (2011) Sheathless transulnar versus standard femoral arterial access for percutaneous coronary intervention on bifurcation lesions. *Int J Cardiol* 149:398-400.
35. Dehghani P, Mohammad A, Bajaj R, Hong T, Suen CM, Sharieff W, Chisholm RJ, Kutryk MJ, Fam NP, Cheema AN (2009) Mechanism and predictors of failed transradial approach for percutaneous coronary interventions. *JACC Cardiovasc Interv*. 11:1057-64.

36. Deshmukh AR, Kaushik M, Aboeata A, Abuzetun J, Burns TL, Nubel CA, White MD, Lanspa TJ, Hunter CB, Mooss AN, Esterbrooks DJ (2014) Efficacy and safety of transradial coronary angiography and interventions--a single center experience. *Catheter Cardiovasc Interv.* 83:E26-31.
37. Dharma S, Shah S, Radadiya R, Vyas C, Pancholy S, Patel T (2012) Nitroglycerin plus diltiazem versus nitroglycerin alone for spasm prophylaxis with transradial approach. *J Invasive Cardiol* 24:122–125.
38. Dorros G, Cowley MJ, Simpson J, Bentivoglio LG, Block PC, Bourassa M, Detre K, Gosselin AJ, Grüntzig AR, Kelsey SF, Kent KM, Mock MB, Mullin SM, Myler RK, Passamani ER, Stertz SH, Williams DO (1983) Percutaneous transluminal coronary angioplasty: report of complications from the National Heart, Lung, and Blood Institute PTCA Registry. *Circulation* 67:723-30.
39. Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM (eds) (2007) *Gray's Anatomie für Studenten*. Elsevier Urban und Fischer. 1. Auflage.
40. Dubreuil Chamberdel L (ed) (1926): *Traite des variations due systems arterial variations des arteres in membre superiur* Paris.
41. Dzijan-Horn M, Langwieser N, Groha P, Bradaric C, Linhardt M, Böttiger C, Byrne RA, Steppich B, Koppa T, Gödel J, Hadamitzky M, Ott I, von Beckerath N, Kastrati A, Laugwitz KL, Ibrahim T (2014) Safety and efficacy of a potential treatment algorithm by using manual compression repair and ultrasound-guided thrombin injection for the management of iatrogenic femoral artery pseudoaneurysm in a large patient cohort. *Circ Cardiovasc Interv.* 2:207-15.
42. Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ (2007) Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation.* 116:1290-305.
43. Ejrup, B, Fischer B, Wright IS (1966). Clinical evaluation of the blood flow to the hand. *Circulation* 33:778-780.
44. Erbel R, Gorge G (eds) (2014) *New insights in pathogenesis and etiology of coronary artery disease*. Dtsch Med Wochenschr. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart New York 139:4-8.
45. Erdmann Erland (ed) (2011) *Klinische Kardiologie: Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße*. Springer Verlag.
46. Feldman DN, Swaminathan RV, Kaltenbach LA, Baklanov DV, Kim LK, Wong SC, Minutello RM, Messenger JC, Moussa I, Garratt KN, Piana RN, Hillegass WB, Cohen MG, Gilchrist IC, Rao SV (2013) Adoption of radial access and comparison of outcomes to femoral access in percutaneous coronary intervention: an updated report from the national cardiovascular data registry (2007-2012). *Circulation.* 127:2295-306.
47. From AM, Gulati R, Prasad A, Rihal CS (2010) Sheathless transradial interventions using standard guide catheters. *Catheter Cardiovasc Interv.* 76:911-6.
48. Fuhrmann, TM, Pippin, WD, Talmage, LA, Reilley, TE (1992). Evaluation of collateral circulation of the hand. *J Clin Monit* 8, 28-32.

49. Fuhrmann, TM, McSweeney, E (1995) Non invasiv evaluation of the collateral circulation of the hand. *Acad Emerg Med* 2, 195-199.
50. Fukuda N, Iwahara S, Harada A, Yokoyama S, Akutsu K, Takano M, Kobayashi A, Kurokawa S, Izumi T (2004) Vasospasms of the radial artery after the transradial approach for coronary angiography and angioplasty. *Jpn Heart J* 45:723–731.
51. Garg N, Madan BK, Khanna R, Sinha A, Kapoor A, Tewari S, Kumar S, Goel PK (2015) Incidence and predictors of radial artery occlusion after transradial coronary angioplasty: Doppler-guided follow-up study. *Journal of Invasive Cardiology* 27:106-112.
52. Gokhroo Rajendra, Bisht Devendra, Padmanabhan Deepak, Gupta Sajal, Kishor Kamal, Ranwa Bhanwar (2015) Feasibility of ulnar artery for cardiac catheterization: AJmer ULnar ARtery (AJULAR) catheterization study. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 86:42-48.
53. Granger CB, Goldberg RJ, Dabbous O, Piepper KS, Eagle KA, Cannon CP, Van der Werf F, Avezum A, Goodman SG, Flather MD, Fox KA (2003) Global Registry of Acute Coronary Events Investigators. Predictors of hospital mortality in the global registry of acute coronary events. *Arch intern Med.* 163:2345-2353.
54. Greenwood MJ, Della-Siega AJ, Fretz EB, Kinloch D, Klinke P, Mildenerger R, Williams MB, Hilton D. (2005) Vascular communications of the hand in patients being considered for transradial coronary angiography: is the Allen's test accurate? *J Am Coll Cardiol.* 46:2013-7.
55. Gregory H Botz, Johanathan B Mark, Debra Schwinn, Ronald Miller (1981) The National Heart, Lung and Blood Institute Coronary Artery Study (CASS): Circulation. 62:1-1.
56. Gwon HC, Doh JH, Choi JH, Lee SH, Hong KP, Park JE, Seo JD (2006) A 5Fr catheter approach reduces patient discomfort during transradial coronary intervention compared with a 6Fr approach: a prospective randomized study. *J Interv Cardiol* 19:141-7.
57. Hamon M, Pristipino C, Di Mario C, Nolan J, Ludwig J, Tubaro M, Sabate M, Mauri-Ferré J, Huber K, Niemelä K, Haude M, Wijns W, Dudek D, Fajadet J, Kiemeneij F (2013) European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions; Working Group on Acute Cardiac Care of the European Society of Cardiology; Working Group on Thrombosis on the European Society of Cardiology. Consensus document on the radial approach in percutaneous cardiovascular interventions: position paper by the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions and Working Groups on Acute Cardiac Care and Thrombosis of the European Society of Cardiology. *EuroIntervention* 8:1242-51.
58. Heintzen MP, Schuhmacher T, Rath J, Ganschow U, Schoebel FC, Grafbitz, Vester EG, Leschke M, Köhler M, Strauer BE (1997) Inzidenz und Therapie peripherer arterieller Gefäßkomplikationen nach Herzkatheteruntersuchungen. *Z Kardiol* 86:264-272.

59. Hetherington SL, Adam Z, Morley R, de Belder MA, Hall JA, Muir DF, Sutton AGC, Swanson N, Wright RA (2009) Primary percutaneous coronary intervention for acute ST-segment elevation myocardial infarction: Changing patterns of vascular access, radial versus femoral artery. *Heart* 95:1612-1618.
60. Hombach Vinzenz (2001) Interventionelle Kardiologie, Angiologie und Kardiovaskularchirurgie: Technik, Klinik, Therapie. Schattauer Verlag.
61. Huber GC (1930) Piersol's Human Anatomy. In: The Vascular System. J.B. Lippincot and Co. Philadelphia: pp 785-91.
62. Ikizler M, Entok E, Ozdemir C, Dernek S, Sevin B, Kural T (2007) Neurological status and tissue perfusion changes after radial artery harvesting for myocardial revascularization: importance of the Allentest. *Thorac Cardiovasc Surg* 55:99-103.
63. Jarvis MA, Jarvis CL, Jones PRM, Sypt TJ (2000) Reliability of Allen's test in selection of patients for radial artery harvest. *The Annals of Thoracic Surgery. Ann Thorac Surg.* 70:1362-5.
64. Jiang XJ, Dong H, Liang T, Zou YB, Xu B, Gao RL. First-in-man report of a novel dedicated radiofrequency catheter for renal denervation via the transulnar approach (2013) *EuroIntervention* 22:684-6.
65. Jolly SS, Yusuf S, Cairns J, Niemelä K, Xavier D, Widimsky P, Budaj A, Niemelä M, Valentin V, Lewis BS, Avezum A, Steg PG, Rao SV, Gao P, Afzal R, Joyner CD, Chrolavicius S, Mehta SR; RIVAL trial group (2011) Radial versus femoral access for coronary angiography and intervention in patients with acute coronary syndromes (RIVAL): a randomised, parallel group, multicentre trial. *Lancet* 377:1409-20.
66. Judkins MP. Percutaneous transfemoral selective coronary arteriography (1968) *Radiol Clin N Am* 3:467-492a.
67. Judkins MP. Selective coronary arteriography, part I (1967) A percutaneous transfemoral approach. *Radiology* 89:815-824.
68. Karlsson S, Niechajev (eds) (1982) Arterial anatomy of the upper extremity. *Acta Radiologica Diagnosis* 23:115-21.
69. Karrowni W, Vyas A, Giacomino B, Schweizer M, Blevins A, Girotra S, Horwitz PA (2013) Radial versus femoral access for primary percutaneous interventions in ST-segment elevation myocardial infarction patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *JACC Cardiovasc Interv* 6:814-23.
70. Kedev S, Zafirovska B, Dharma S, Petkoska D (2014) Safety and feasibility of transulnar catheterization when ipsilateral radial access is not available. *Catheter Cardiovasc Interv* 83:E51-60.
71. Kennedy AM, Grocott M, Schwartz MS, Modarres H, Scott M, Schon F (1997) Median nerve injury: an underrecognised complication of brachial artery cardiac catheterisation? *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 63:542-546.

72. Kiemeneji F (1993) Percutaneous radial artery approach for coronary stent implantation *Cathet Cardiovasc Diag* 30:173-178.
73. Kiemeneji F, Laarman GJ, Odekerken D, Slagboom T, van der Wieken R (1997) A randomized comparison of percutaneous transluminal coronary angioplasty by the radial, brachial and femoral approaches: The ACCESS study. *J Am Coll Cardiol* 29:1269-1275.
74. Kim SY, Lee JS, Kim WO, Sun JM, Kwon MK, Kil HK. (2012) Evaluation of radial and ulnar blood flow after radial artery cannulation with 20- and 22-gauge cannulae using duplex Doppler ultrasound. *Anaesthesia* 67:1138-45.
75. Knebel AV, Cardoso CO, Rodrigues LHC, Sarmento-Leite REG, Schaan de Quadros A, Gottschall CAM (2008) Safety and feasibility of transulnar cardiac catheterization. *Tex Heart Inst J* 35:268-72.
76. Kohonen M, Teerenhovi O, Terho T, Laurikka J, Tarkka M (2007) Is the Allen test reliable enough? *Eur J Cardiothorac Surg* 32:902-5.
77. Korobkin M, Silverman PM, Quint LE, Francis IR (1992) CT of the extraperitoneal space: normal anatomy and fluid collections. *AJR Am J Roentgenol* 59:933-42.
78. Kotowycz MA, Dzavík V (2012): Radial artery patency after transradial catheterization. *Circ Cardiovasc Interv* 5:127-33.
79. Kwan TW, Ratcliffe JA, Huang Y, Liou M, Pancholy S, Patel TM (2012) Balloon-assisted sheathless transradial intervention (BASTI) using 5 Fr guiding catheters. *J Invasive Cardiol*. 24:231-233.
80. Lanspa TJ, Williams MA, Heirigs RL (2005) Effectiveness of ulnar artery catheterization after failed attempt to cannulate a radial artery. *Am J Cardiol* 95:1529-1530.
81. Lanza GA, Sestito A, Sgueglia GA, Infusino F, Manolfi M, Crea F, Maseri A (2007) Current clinical features, diagnostic assessment and prognostic determinants of patients with variant angina. *Int J Cardiol* 118:41-7.
82. Lapp Harald, Krakau Ingo (eds) (2009) *Das Herzkatheterbuch: Diagnostische und interventionelle Kathetertechniken*. Georg Thieme Verlag.
83. Li YZ, Zhou YJ, Zhao YX, Guo YH, Liu YY, Shi DM, Wang ZJ, Jia DA, Yang SW, Nie B, Han HY, Hu B (2010) Safety and efficacy of transulnar approach for coronary angiography and intervention. *Chin Med J (Engl)* 123:1774-1779.
84. Libby P, Theroux P. (eds) (2005) Pathophysiology of coronary heart disease. *Circulation* 111:3481-8.
85. Limbruno U, Rossini R, De Carlo M, Amoroso G, Ciabatti N, Petronio AS, Micheli A, Mariani M (2004) Percutaneous ulnar artery approach for primary coronary angioplasty: Safety and feasibility *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 61: 56-59.
86. Lo TS, Nolan J, Fountzopoulos, Behan M, Butler M, Hetherington SL, Vijaylakshmi K, Rajagopal R, Fraser D, Zaman A, Hildick-Smith D (2009) Radial artery anomaly and its influence on transradial coronary procedural outcome *Heart* 95:410-415.

87. Lorenzetti F, Giordano S, Suominen E, Asko-Seljavaara S, Suominen S (2010) Intraoperative hemodynamic evaluation of the radial and ulnar arteries during freeradial forearm flap procedure. *J Reconstruct Microsurg* 26:73–7.
88. Loukas M, Tubbs S, Louis Jr RG, Apaydin N (2009) Princeps pollicis artery arising from the superficial palmar arch. *Singapore Med J* 50:391-92.
89. Louvard Y, Lefèvre T, Allain A, Morice M (2001) Coronary angiography through the radial or the femoral approach: The CARAFE study. *Catheter cardiovasc Interv* 52:181-7.
90. Ludman PF (2013) National Audit of Percutaneous Coronary Interventional Procedures Public Report www.ucl.ac.uk/nicor/audits/adultcardiacintervention.
91. Mamas MA, Ratib K, Routledge H, Neyses L, Fraser DG, de Belder M, Ludman PF, Nolan J (2013) British Cardiovascular Intervention Society and the National Institute for Cardiovascular Outcomes Research. Influence of arterial access site selection on outcomes in primary percutaneous coronary intervention: are the results of randomized trials achievable in clinical practice? *JACC Cardiovasc Interv* 6:698-706.
92. Mangin L, Bertrand OF, De La Rochelliere R, Proulx G, Lemay R, Barbeau G, Gleeton O, Rodes-cabau J, Nguyen CM, Roy L (2005) The transulnar approach for coronary intervention: A safe alternative to transradial approach in selected patients. *J Invasiv Cardiol* 17:77-79.
93. Marinos Charalambous, Elpidoforos Soteriades, Savvas Constantinides, Christos Christou (2013) Allen Test: Is It Really Necessary Before Transradial Catheterization? *J Am Coll Cardiol* 62:B94-B94.
94. Maree Andrew O, Margey RJ, Selzer F, Bajrangee A, Jneid H, Marroquin OC, Mulukutla SR, Laskey WK, Jacobs AK (2016) Renal insufficiency, bleeding and prescription of discharge medication in patients undergoing percutaneous coronary intervention in the National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) Dynamic Registry. *Cardiovascular Revascularization Medicine* 17:302-307.
95. Massie, G. (ed) (1944) *Surgical Anatomy, In: The Upper Limb* 4th Edn. J. and A Churchill Ltd. London, pp177-8.
96. Mehta SR, Tanguay JF, Eikelboom JW, Jolly SS, Joyner CD, Granger CB, Faxon DP, Rupprecht HJ, Budaj A, Avezum A, Widimsky P, Steg PG, Bassand JP, Montalescot G, Macaya C, Di Pasquale G, Niemela K, Ajani AE, White HD, Chrolavicius S, Gao P, Fox KA, Yusuf S (2010) Double-dose versus standard-dose clopidogrel and high-dose versus low-dose aspirin in individuals undergoing percutaneous coronary intervention for acute coronary syndromes (CURRENT-OASIS 7): a randomised factorial trial. *Lancet*. 376:1233-43.

97. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, Andreotti F, Arden C, Budaj A, Bugiardini R, Crea F, Cuisset T, Di Mario C, Ferreira JR, Gersh BJ, Gitt AK, Hulot JS, Marx N, Opie LH, Pfisterer M, Prescott E, Ruschitzka F, Sabaté M, Senior R, Taggart DP, van der Wall EE, Vrints CJ; ESC Committee for Practice Guidelines, Zamorano JL, Achenbach S, Baumgartner H, Bax JJ, Bueno H, Dean V, Deaton C, Erol C, Fagard R, Ferrari R, Hasdai D, Hoes AW, Kirchhof P, Knuuti J, Kolh P, Lancellotti P, Linhart A, Nihoyannopoulos P, Piepoli MF, Ponikowski P, Sirnes PA, Tamargo JL, Tendera M, Torbicki A, Wijns W, Windecker S; Document Reviewers, Knuuti J, Valgimigli M, Bueno H, Claeys MJ, Donner-Banzhoff N, Erol C, Frank H, Funck-Brentano C, Gaemperli O, Gonzalez-Juanatey JR, Hamilos M, Hasdai D, Husted S, James SK, Kervinen K, Kolh P, Kristensen SD, Lancellotti P, Maggioni AP, Piepoli MF, Pries AR, Romeo F, Rydén L, Simoons ML, Sirnes PA, Steg PG, Timmis A, Wijns W, Windecker S, Yildirir A, Zamorano JL (2013) ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 34:2949-3003.
98. Morin R, Gerber T, McCollough C. (2003) Radiation dose in computed tomography of the heart. *Circulation* 107:917-22.
99. Murray CJ (2014) Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 384:956.
100. Ndrepepa G, Schulz S, Neumann FJ, Laugwitz KL, Richardt G, Byrne RA, Pöhler A, Kastrati A, Pache J (2014) Incidence and impact on prognosis of bleeding during percutaneous coronary interventions in patients with chronic kidney disease. *Clin Res Cardiol.* 103:49-56.
101. Ndrepepa G, Groha P, Lahmann AL, Lohaus R, Cassese S, Schulz-Schüpke S, Kufner S, Mayer K, Bernlochner I, Byrne RA, Fusaro M, Laugwitz KL, Schunkert H, Kastrati A (2015) Increased bleeding risks during percutaneous coronary interventions by arterial hypertension. *Catheter Cardiovascular Interv.* doi: 10.1002/ccd.26272
102. Olivecrona G. (2011) SCAAR Registry. Transradial PCI cuts mortality in STEMI. *EuroPCR.*
103. Ottone NE, Prum N, Dominguez M, Blasi E, Medan C, Shinzato S, Finkelstein D, Bertone V (2010) Analysis and clinical importance of superficial arterial palmar irrigation and its variants over 86 cases. *Int J Morphol* 28: 157-64.
104. Pancholy S, Coppola J, Patel T, 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. *Catheter Cardiovasc Interv* 72:335-40.
105. Pancholy SB, Patel TM (2012) Effect of duration of hemostatic compression on radial artery occlusion after transradial access. *Catheter Cardiovasc Interv* 79: 78-91.

106. Pasley TP, Khan A, Yen LY, Ruth N, Humphreys H, El-Jack S (2016) Left Radial Versus Femoral Access for Coronary Angiography in Post-Coronary Artery Bypass Graft Surgery Patients. *J Invasive Cardiol* 28:81-84.
107. Patel T, Shah S, Pancholy S, Rao S, Bertrand OF, Kwan T (2014) Balloon-assisted tracking: a must-know technique to overcome difficult anatomy during transradial approach. *Catheter Cardiovasc Interv* 83:211-20.
108. Patnaik VVG, Kalsey G, Singla Rajan K (2002) Palmar Arterial Arches – A morphological Study. *Journal of the Anatomical Society of India* 51:187-193.
109. Peetz, Post, Schinzel (2005) Glycogen phosphorylase BB in acute coronary syndromes. *Clin Chem Lab Med* 43:1351-1358.
110. Poirier, P (ed) (1886) *Traite d' Anatomie Humaine* L. Battalle und Co. Paris, pp 833.
111. Rademakers LM, Laarman G.J (2012) Critical hand ischaemia after transradial cardiac catheterisation: an uncommon complication of a common procedure: *Neth Heart J* 20:372-375.
112. Rao SV, Cohen MG, Kandzari DE, Bertrand OF, Gilchrist IC (2010) The transradial approach to percutaneous coronary Intervention. Historical perspective, current concepts, and future directions. *J Am Coll Cardio* 55: 2187-2185.
113. Rao SV, Bernat I, Bertrand OF (2012) Clinical update: Remaining challenges and opportunities for improvement in percutaneous transradial procedures. *Eur Heart J* 20:2521-6.
114. Rath PC, Purohit PV, Navasundi GB, Sitaram, Reddy AM (2005) Coronary angiogram and intervention through transulnar approach. *Indian Heart J* 57:324-6.
115. Ricketts HJ, Abrams HL (1962) Percutaneous selective coronary cine arteriography. *JAMA* 181:620-4.
116. Roberts EB, Palmer N, Perry RA (2007) Transulnar access for coronary angiography and intervention: An early review to guide research and clinical practice. *J Invasive Cardiol* 19:83-87.
117. 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, Lioy E, Sheiban I, 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. *J Am Coll Cardiol* 60:2481-9.
118. Ruengsakulrach P, Eizenberg N, Fahrer C, Fahrer M, Buxton BF (2001) Surgical implications of variations in hand collateral circulation: anatomy revisited. *J Thorac Cardiovasc Surg* 122:682–6.
119. Ruzsa Z, Pintér L, Kolvenbach R (2010) Anterograde recanalisation of the radial artery followed by transradial angioplasty. *Cardiovasc Revasc Med.* 11:266.

120. Saito S, Ikei H, Hosokawa G, Tanaka S (1999) Influence of the ratio between radial artery inner diameter and sheath outer diameter on radial artery flow after transradial coronary artery intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 46:173-178.
121. Schwartz, R, Cooper WM (1952) Allen test in polycythemia: presence and interpretation of positive and negative reactions. *Angiology* 3:317.
122. Sciahbasi A, Romagnoli E, Burzotta F, Trani C, Sarandrea A, Summaria F, Pendenza G, Tommasino A, Patrizi R, Mazzari M, Mongiardo R, Lioy E (2011) Transradial approach (left vs right) and procedural times during percutaneous coronary procedures: TALENT study. *Am Heart J* 161:172-179.
123. Siudak Z, Zawislak B, Dziewierz A, Rakowski T, Jakala J, Bartus S, Noworolnik B, Zasada W, Dubiel JS, Dudek D (2010) Transradial approach in patients with ST-elevation infarction treated with abxiciab results in fewer bleeding complications: data from EUROTRANSFER registry. *Coron Artery Dis* 21: 292-7.
124. Skvaril Jan, Koskova Radka, Danickova Katerina, Sedlon Pavel (2012) Chronic radial artery occlusion after transradial catheterization. Re-canalization via ipsilateral ulnar artery. *Acta Cardiol* 67: 367-370.
125. Smith SC Jr, Feldman TE, Hirshfeld JW Jr, Jacobs AK, Kern MJ, King SB 3rd, Morrison DA, O'Neill WW, Schaff HV, Whitlow PL, Williams DO, Antman EM, Smith SC Jr, Adams CD, Anderson JL, Faxon DP, Fuster V, Halperin JL, Hiratzka LF, Hunt SA, Jacobs AK, Nishimura R, Ornato JP, Page RL, Riegel B (2006) ACC/AHA/SCAI Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for PCI. ACC/AHA/SCAI 2005 guideline update for PCI. *J Am Coll Cardiol* 47:e1–e121.
126. Sones FM, Shirey EK (1962) Cine coronary arteriography. *Mod Concepts. Cardiovasc Dis* 31:735-738.
127. Stella PR, Kiemeneij F, Laarman GJ, Odekerken D, Slagboom T, van der Wieken R (1997) Incidence and outcome of radial artery occlusion following transradial artery coronary angioplasty. *Cathet Cardiovasc Diagn* 40:156-8.
128. Taglieri N, Galiè N, Marzocchi A (2013) Acute hand ischemia after radial intervention in patient with CREST-associated pulmonary hypertension: successful treatment with manual thromboaspiration. *J Invasive Cardiol* 25:89-91.
129. Terashima M, Meguro T, Takeda H, Endoh N, Ito Y, Mitsuoka M, Ohtomo T, Murai O, Fujiwara S, Honda H, Miyazaki Y, Kuhara R, Kawashima O, Isoyama S (2001) Percutaneous ulnar artery approach for coronary angiography: a preliminary report in nine patients. *Catheter Cardiovasc Interv* 53:410-4.
130. Tewari S, Sharma N, Kapoor A, Syal SK, Kumar S, Garg N, Goel PK (2013) Comparison of transradial and transfemoral artery approach for percutaneous coronary angiography and angioplasty: a retrospective seven-year experience from a north Indian center. *Indian Heart J* 65:378-87.

131. Toursarkissian B, Mejia A, Smilanich RP, Shireman PK, Sykes MT (2001) Changing patterns of access site complications with the use of percutaneous closure devices. *Vasc Surg* 35:203-206.
132. Trappe HJ, Löllgen H (2000) Leitlinien zur Ergometrie. *Z Kardiol* 89:821-837.
133. Valgimigli M, Campo G, Penzo C, Tebaldi M, Biscaglia S, Ferrari R; RADAR Investigators (2014) Transradial coronary catheterization and intervention across the whole spectrum of Allen test results. *J Am Coll Cardiol* 63:1833-41.
134. Valgimigli M, Gagnor A, Calabro P, Frigoli E, Leonardi S, Zaro T, Rubartelli P, Brigori C, Ando 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 SV, Heg D, Rothenbuhler M, Vranckx P, Juni P (2015) Radial versus femoral access in patients with acute coronary syndromes undergoing invasive management: a randomised multicentre trial. *Lancet* 385:2465-2476.
135. Valsecchi O, Vassileva A, Musumeci G, Rossini R, Tespili M, Guagliumi G, Mihalcsik L, Gavazzi A, Ferrazzi P (2006) Failure of transradial approach during coronary interventions: anatomic considerations. *Catheter Cardiovasc Interv*. 67:870-8.
136. Van Hall G, Jensen-Urstad M, Rosdahl H, Holmberg HC, Saltin B, Calbet JA (2003) Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 284:E193-E205.
137. Vassilev D, Smilkova D, Gil R. (2008) Ulnar artery as access site for cardiac catheterization: Anatomical considerations. *J Interv Cardiol* 21:56-60.
138. Vu-Rose T, Ebramzadeh E, Lane CS, Kushner SH (1997) The Allen-Test: a study of interobserver reliability. *Bull Hosp J Dis* 56: 99-10.
139. Williams Paul, Mamas Mama A, Fraser Douglas G (2012) Recanalization of a Chronic Artery Occlusion Allowing Subsequent Complex Coronary Intervention. *Circulation Cardiovascular Interventions*. 5: e34-e36.
140. Williams PL, Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, Fergussoin MWJ (eds) (1999) Gray's Anatomy, In: Cardiovascular System. Gabella GE. 38th Edn. Churchill Livingstone. Edinburgh, London, pp 1542-44.
141. Wilson PW, D'Agostino RB, Levy D, Belanger AM, Silberschatz H, Kannel WB (1998) Prediction of coronary heart disease using risk factor categories. *Circulation* 97:1837-1847.
142. Yokoyama N, Takeshita S, Ochiai M, Koyama Y, Hoshino S, Isshiki T, Sato T (2000) Anatomic variations of radial artery in patients undergoing coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 49:357-362.
143. Zimmermann HA, Scott RW, Becker NO (1950) Catheterization of the left side of the heart in a man. *Circulation* 1:357-359.

-
144. Zipes DP, Libby P, Bonow R, Braunwald E (eds) (2005) Braunwald's Heart Disease. A textbook of cardiovascular medicine, Philadelphia, PA; Elsevier Saunders WB, 7th edition.

12 Danksagung

Ich danke Herrn Chefarzt Dr. med. Cem Özbek für die Möglichkeit der Erarbeitung des Themas der Dissertation in der Klinik unter seiner ärztlicher Leitung.

PD Dr. med. Oliver Adam für Korrekturen und Denkanstöße. Die vielen hilfreichen Hinweise und zahlreichen Anregungen haben wesentlich zur erfolgreichen Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Jürgen Knerr, Herrn Sebastian Haffner, Herrn Thorsten Becker, Herrn Dirk Dillenkofer, Herrn Uwe Rosar, Frau Sabine Giese, Frau Anne Grandjean, Herrn Marco Hubig, Herrn Christian Klein, Frau Daniela Knospe, Herrn Stefan Kunzler, Frau Stefanie Lesch, Frau Ramona Steinmann, Frau Tavaraj Sugitha sowie dem gesamten Pfllegeteam des Herz-Katheter-Labors des Herz-Zentrum Saar und des Nardini Klinikums, Zweibrücken danke ich für die Unterstützung bei der Beschaffung der unterschiedlichsten Informationen und Daten, ohne die es unmöglich gewesen wäre die Arbeit zu vollenden.

Frau Sulekha Thönnies aus der Grundschulpädagogik, Universität des Saarlandes für Hilfen bei Computerproblemen.

Herzlichster Dank gilt meiner Frau Dr. med. Dania Sood und Dr. med. Sunil Dhingra für die Motivation, die konstruktive Kritik, Ermutigungen und alle Unterstützungen.