

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG EPPENDORF

Diagnostikzentrum, Institut für Rechtsmedizin

Direktor: Prof. Dr. Klaus Püschel

Die Rolle der postmortalen Computertomographie (CT) sowie der CT-Angiographie
bei der Befunderhebung nach letalen Komplikationen
im Rahmen von kardiovaskulären Interventionen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin (Dr. med.)
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von Afsana Rahimi

aus Kandahar / Afghanistan

Hamburg 2017

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 17.05.2018

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Klaus Püschel

Prüfungsausschuss, 2 Gutachter/in: Prof. Dr. Jin Yamamura

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Allgemeines	4
1.2	Computertomographie (CT).....	5
1.3	Todesfälle durch Herz-Kreislauserkrankungen	6
1.3.1	Klinische Diagnostik der Herz-Kreislauf-Erkrankungen.....	6
1.3.2	Postmortale Diagnostik der Herz-Kreislauf-Erkrankung	7
1.4	Ausgangshypothese.....	7
2	Methodik	9
2.1	Einleitung.....	9
2.2	Vorteile der PMCT/PMCTA	9
2.3	Nachteile der PMCT/PMCTA.....	10
2.4	Studienformen.....	11
2.4.1	Retrospektive Studie.....	11
2.4.2	Prospektiv	11
2.5	Datenerfassung.....	13
2.5.1	Klinikdokumentation	13
2.5.2	Todesbescheinigung und Obduktionsbescheinigung	13
2.5.3	Sektionsprotokoll.....	14
2.5.4	Postmortale Bildgebung in der Rechtsmedizin.....	15
2.6	OP-Techniken.....	17
2.6.1	Koronare Herzkrankheit.....	17
2.6.2	Koronarchirurgie.....	17
2.6.3	Sensitivität für Bildgebung.....	23
2.6.4	Spezifität für Bildgebung.....	24
3	Ergebnis	25

3.1	Retrospektive Fälle	25
3.1.1	Gesamtkollektiv eingegangener Leichen aus Hamburg bzw.dem UKE in der Leichenhalle des Instituts für Rechtsmedizin (IfR)	25
3.1.2	Befunde nach kardiovaskulärer Intervention/Operation gesamt.....	27
3.2	Prospektive Fälle.....	29
3.2.1	Ergebnis des prospektiven Teils.....	30
3.2.2	Die Wertigkeit der PMCT und PMCT-Angiographie im Vergleich zur Sektion/Klinikdokumentation	32
3.2.3	Einzelfalldarstellung der prospektiven Fälle	42
4	Diskussion	81
4.1	Interpretation des retrospektiven Teils der Studie.....	81
4.2	Interpretation des prospektiven Teils der Studie	82
5	Zusammenfassung	86
6	Abkürzungsverzeichnis	90
7	Literaturverzeichnis	91
8	Danksagung	96
9	Lebenslauf.....	97
10	Eidesstattliche Versicherung	98

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

In der vorliegenden Arbeit wird die Rolle der Computertomographie als Hilfsmittel zur Klärung operativer und interventioneller Todesfälle nach Herz-Kreislauf-Erkrankungen untersucht.

In der Medizin war es schon immer von besonderem Interesse, Einblick in den menschlichen Körper zu bekommen. Konnte man Tiere einfach töten und nachschauen, so war dies beim Menschen aus ethischen Gründen verboten. Dieses unausgesprochene Gebot trieb die Forscher an, Verfahren zu entwickeln, die einen Einblick in den Körper ermöglichen, ohne ihn zu öffnen. Wohl der bekannteste unter ihnen war Conrad Wilhelm Röntgen. Er erkannte die besonderen Eigenschaften der Röntgenstrahlung und ermöglichte im Jahr 1895 die ersten Bilder des Skeletts bei lebenden Menschen {Röntgen 1895}. Mit dieser Entdeckung wurden die medizinische Forschung und später auch die Diagnostik revolutioniert. Man konnte mit dieser Methode Frakturen und Knochenveränderungen im gesamten Körper feststellen. Schnell zeigte sich jedoch, dass der Zugewinn durch die Röntgenuntersuchungen limitiert war. Viele Details, wie zum Beispiel kleinere Blutgefäße und Strukturdetails von Weichgeweben, waren nicht erkennbar. Kurz nach der Entdeckung der besonderen Eigenschaften der Röntgenstrahlung fand die erste Aufnahme von Blutgefäßen mit Kontrastmittel (Angiographie) statt. Dieses sorgt bei der Röntgenaufnahme für eine verbesserte Darstellung der Strukturen. Die ständige Weiterentwicklung der Methodik führte dazu, dass die ersten radiologischen Untersuchungen des Herzens mit Kontrastmittelinjektion postmortal durchgeführt wurden {Hildebrand et al. 1904}. Das verwendete Kontrastmittel war für die Patienten unverträglich, daher beschränkte sich die Anwendung nur auf Fälle mit forensischem Charakter.

1924 angiographierte Brook in Amerika die unteren Extremitäten an lebenden Personen mithilfe eines Kontrastmittels {Beck 1992}. 1949 wurde durch Peirce {Beck 1992} die erste arterielle Katheterisierung der Aorta auf perkutanem Weg publiziert. Hierbei wurde zum ersten Mal ein Führungsdraht aus Silber verwendet. 1954 entwickelte Seldinger eine neue Methode zur Katheterisierung der Aorta. Bei dieser Methode wurden die kranialen Äste der Aorta mittels transfemoraler (über die Arteria femoralis) Einführung eines Katheters untersucht (Seldinger-Technik). Dies wurde in *Acta Radiologica* veröffentlicht {Seldinger

1953}. Diese Methode gilt heute als Standard bei der diagnostischen und therapeutischen Anwendung.

1945 beschrieb Radner die Darstellung der Koronargefäße beim Menschen durch transthorakale Direktpunktion der Aorta ascendens nach Injektion von Kontrastmittel {Radner 1945}. Zunächst war die Darstellung der Koronargefäße selektiv. 1964 schilderte Paulin eine semiselektive Darstellung der Koronargefäße {Paulin 1964}. Erst Sones und seine Mitarbeiter zeigten im Jahr 1959 eine selektive Sichtbarmachung der Koronargefäße {Sones 1959}.

1962 wählten Rickett und Abraham den einfachen transfemorale Zugang {Rickett et al. 1962}. Im Jahr 1967 berichtete Judkins über seine perkutane transluminale Methode {Judkins 1967}. Diese Methode wurde zur Grundlage für eine perkutane Intervention in der Peripherie und in der Koronarangiographie. Die Darstellung der Koronarangiographie durch Kontrastmittel sowohl als klinische Diagnose als auch in therapeutischer Anwendung ist heute nicht mehr wegzudenken. Ein weiterer bedeutsamer Aspekt der Angiographie ist die Anwendung in der Rechtsmedizin. Der forensische Zweck der Anwendung ist die Verbesserung der Diagnostik sowie bei klinisch-forensischer Fragestellung die Qualitätssicherung.

Die postmortale Angiographie ist heute auch in der Forschung ein bedeutsamer Aspekt.

1.2 Computertomographie (CT)

Die Computertomographie ist ein Röntgenverfahren. Bei dieser Methode wird der Körper des Menschen Schicht für Schicht dargestellt. Daher spricht man bei diesem Verfahren auch von einem Schichtbild-Aufnahmeverfahren. Das final zu erkennende Bild wird von einem Computer berechnet. Auf einem Bildschirm kann dieses betrachtet werden. Bei der Aufnahme wird der Körper in eine Röhre geschoben. Anschließend werden die Röntgenröhre und der Detektor um den Körper rotiert {Claussen 1983}. Die Einzelbilder werden auf dem Computer gespeichert. Das Ergebnis dieser Aufnahme lässt sich in 2D und 3D darstellen.

Im Jahr 1917 fand die theoretische Entwicklung der mathematischen Voraussetzungen der Computertomographie durch den österreichischen Mathematiker Johann Radon statt {Radon 1917} Die Radon-Transformation ist eine theoretische Rechtfertigung sowohl bei der Computertomographie als auch für andere bildgebende Verfahren.

Als Prototyp präsentierte der Elektrotechniker Godfrey Hounsfield im Jahr 1968 die erste Computertomographie. In dieser Zeit war nur die Darstellung von anatomischen Hirnscheiben möglich. 1971 wurde der erste Computertomograph entwickelt. Vier Jahre später wurde die Computertomographie für forensische Untersuchungen benutzt {Wüllenweber et al. 1977}.

Am Institut für Rechtsmedizin des UKE Hamburg wird die Computertomographie als bildgebendes Verfahren neben der Sektion seit 2008 angewendet, seit 2012 in Kombination mit der Angiographie. Das forensische Ziel dieser Anwendung am UKE ist es, die Todesursache zu bestimmen und z. B. etwaige Behandlungsfehler zu erkennen. Die Bedeutsamkeit des bildgebenden Verfahrens in der forensischen Anwendung wurde durch die Autoren Brogdon {1998} und Vogel {1997} beschrieben.

Für die Daten der vorliegenden Arbeit wurden am Institut für Rechtsmedizin Hamburg die PMCT-Aufnahmen mit einem 16-Zeilen-Multislice-Computertomographen (Philips Brilliance) durchgeführt.

1.3 Todesfälle durch Herz-Kreislaufferkrankungen

Die Anzahl der Kreislaufferkrankungen steigt jährlich kontinuierlich an. Laut statistischem Bundesamt starben im Jahr 2012 in Deutschland je 100.000 Einwohner 349,2 Menschen und im Jahr 2013 354,5 Menschen durch Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems. Bereits seit 2006 ist diese Tendenz steigend.

1.3.1 Klinische Diagnostik der Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Bei Betrachtung der Herz-Kreislauf-Erkrankungen aus klinischer Sicht, sind die Gründe hierfür sehr vielseitiger Natur. Besonders in unseren Breiten kommen als Hauptursachen Mangel- und Fehlernährung gepaart mit wenig körperlicher Bewegung zur Geltung {UHZ 2015}. Dazu kommen häufiger Konsum von Alkohol, Zigaretten und auch anderen Drogen mit zum Teil verheerenden Auswirkungen auf die Herzgefäße {Rost 2005}. Sind diese einmal geschädigt, kann dem Patienten oft nur mithilfe eines chirurgischen Eingriffs geholfen werden. Die speziellen Operationstechniken sind in den letzten Jahrzehnten stetig verbessert und individuell angepasst worden. Treten allerdings Komplikationen nach einem Eingriff auf, so

ist eine zielsichere Diagnostik von größter Wichtigkeit, um eine erfolgreiche Nachbehandlung zu gewährleisten. Leider ist dies nicht in jedem Fall erfolgreich.

1.3.2 Postmortale Diagnostik der Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Aufgrund der interdisziplinären Struktur der medizinischen Fakultät des UKE ist es möglich, die individuellen Todesumstände von Patienten genau zu dokumentieren. Dies wird durch die Kooperation der Pathologie-Herzchirurgie und der Klinik für Intensivmedizin mit dem Institut für Rechtsmedizin ermöglicht. Auf diese Weise stehen moderne bildgebende Verfahren wie z. B. die postmortale multiphasische Ganzkörperangiographie in direkter Verbindung mit der klassischen Sektion. Diese Kombination ist bislang nur an wenigen Standorten weltweit etabliert und wird am UKE bereits seit 2012 intensiv und mit großem Erfolg genutzt. Schon 2010 konnte gezeigt werden, dass durch eine virtuelle Endoskopie mithilfe der postmortalen Computertomographie (PMCT) bei der Darstellung einer Aorten- oder Mitralklappe Luft oder Gas als Kontrastmittel für die Untersuchung des Herzens zuverlässig sind {Lorenz 2010}. Weiterhin wurde in dieser Arbeit bewiesen, dass Gas oder Luft im Gegensatz zum Einsatz der in der Klinik gebräuchlichen röntgendichten Flüssigkeit vorteilhaft ist. Diese Methode ist weniger zeitaufwendig. Es entstehen dabei keine Gefäßverletzungen und eine Veränderung des Organs durch Kontrastmittel liegt ebenfalls nicht vor {Scharf 2010}. Des Weiteren kam eine im Jahr 2013 am UKE durchgeführte Studie zu dem Ergebnis, dass Frakturen im PMCT leichter zu erkennen sind als bei einer Sektion [Köwing 2013].

1.4 Ausgangshypothese

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit lautet, ob die Bildgebung bei der Untersuchung von Todesfällen speziell nach kardiovaskulärer Intervention - im Vergleich zur konventionellen Sektion alleine - diagnostisch vorteilhaft ist.

Bei der Erkrankung von Gefäßen, des Herz-Kreislauf-Systems und bei inneren Blutungsquellen war eine PMCT bisher in der Aussagekraft beschränkt. Eine Studie am UKE Hamburg hat im Jahr 2014 gezeigt, dass sich in einem intensivmedizinischen Patientenkollektiv durch das Durchführen einer postmortalen CT-Angiographie (PMCTA) in

Kombination mit einer Obduktion eine bessere Aussage treffen lässt als mit einer Obduktion alleine {Wichmann et al. 2014}.

In der multidisziplinären Klinik für Intensivmedizin am UKE wurde in einer prospektiven Studie die Bedeutung einer virtuellen Autopsie mithilfe der Computertomographie, im Vergleich zu einer konventionellen Autopsie bei Verstorbenen aus der Intensivstation, untersucht. Die Studie „Virtuelle Autopsie als Alternative zu traditioneller medizinischer Autopsie in der Intensivstation“ von Wichmann hat gezeigt, dass die PMCT nativ und die PMCTA zur Beurteilung der Todesfälle in der Intensivstation im Krankenhaus wie die traditionelle Autopsie angewendet werden können {Wichmann et al. 2012}.

Mit der vorliegenden Arbeit wird eine spezielle Patientengruppe mit Todesfällen nach kardiovaskulärer Intervention am Herz-Kreislauf-System untersucht. Es wird versucht, die Klärung der Todesursache durch bildgebende Verfahren mit den pathologischen Befunden zum Todeszeitpunkt zu vergleichen. In dieser Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie häufig wurde von 2008 bis 2012 in der Rechtsmedizin die Bildgebung ohne und mit postmortaler Kontrastmittelgabe für Todesfälle nach kardiovaskulärer Intervention bzw. Operation eingesetzt?
2. Wie häufig stellen sich in diesem Kollektiv verschiedene Verfahren der Herzchirurgie sowie kathetergestützte Intervention dar?
3. Ist es möglich, die Obduktionsergebnisse durch ein bildgebendes Verfahren zu bestätigen bzw. zu erweitern?
4. Wie ist zusammenfassend die Rolle der bildgebenden Verfahren in der Rechtsmedizin bei Todesfällen nach kardiovaskulärer Intervention bzw. Operation einzuschätzen?

Diese Fragen werden mit zwei Methoden beantwortet, indem der retrospektive Ansatz mit einem prospektiven kombiniert wird. Retrospektiv wird ein Überblick über die Häufigkeit von CT-gestützten postmortalen Untersuchungen bei bestimmten Fallkonstellationen nach kardiovaskulärer Intervention über einen längeren Zeitraum gegeben. Prospektiv wird eine kleine gezielte Fallgruppe untersucht, um die Möglichkeiten speziell der CT-Angiographie mit aktuellen Befunden der Sektion zu vergleichen.

2 Methodik

2.1 Einleitung

Die Studie wurde am UKE Hamburg im Institut für Rechtsmedizin durchgeführt. Sie besteht aus zwei Phasen, einer retrospektiven und einer prospektiven.

Der retrospektive Teil der Arbeit beinhaltet die Daten aller zwischen 2008 und 2012 Verstorbenen nach kardiovaskulärer Intervention. Der prospektive Teil der Arbeit beschäftigt sich mit zehn Fällen aus den Jahren 2013 und 2014, bei denen ein kardiovaskulärer chirurgischer Eingriff durchgeführt wurde.

2.2 Vorteile der PMCT/PMCTA

Die Vorteile eines bildgebenden Verfahrens nach dem Tod, um die Todesursache herauszufinden, sind vielfältig. Die Angehörigen können sich leichter mit der Durchführung eines bildgebenden Verfahrens einverstanden erklären als mit einer Sektion. Die Ablehnung der Sektion basiert oft auf religiösen Glaubensvorstellungen oder ethischen Gründen. Die Daten und auch die Bilder sind jederzeit abrufbar und gehen darüber hinaus nicht verloren. Somit kann besser interdisziplinär gearbeitet werden. Die Darstellung der Bilder als Beweismittel ist nicht blutig, sodass dies angenehmer für die Familien und andere Beteiligte ist als bei einer Fotodokumentation der Sektion. Ein weiterer wichtiger Vorteil der PMCT/PMCTA ist, dass der bei Untersuchung von Lebenden zu berücksichtigende Strahlenschutz bei Verstorbenen irrelevant ist, somit können mit einer höheren Dosis qualitativ bessere Bilder hergestellt werden. Da Bewegungsartefakte bei der PMCT/PMCTA ausgeschlossen sind, verbessert sich auch die Bildqualität. Die einfache Technik der Durchführung kann durch einen Präparator oder medizinisch-technischen Assistenten praktiziert werden. Bei einer gerichtlichen Sektion ist die Anwesenheit zweier Ärzte gesetzlich vorgeschrieben. Die weniger zeitaufwendige Durchführung der PMCT mit einer Dauer von etwa 20 - 30 Minuten bzw. der PMCTA mit ca. 60 - 90 Minuten, stellt im Vergleich zur Sektion mit einer Dauer 90 - 120 Minuten, einen weiteren Vorteil des bildgebenden Verfahrens nach dem Tod dar, wobei zusätzlich der Aufwand der radiologischen Ganzkörperbefundung einzurechnen ist.

2.3 Nachteile der PMCT/PMCTA

Ein Nachteil der Computertomographie ist die mögliche Bildung von Artefakten. Artefakte stellen eine Abweichung von der Wirklichkeit dar, die künstlich durch das bildgebende System erzeugt wurden {Mayor 2015}.

Diese Artefakte entstehen z. B. durch im Körper eingelagertes Metall. Dies kann beispielsweise ein in der Koronararterie eingebrachter Stent sein. Metalle haben eine höhere Dichte, die zu einer vollständigen Absorption der Röntgenstrahlung führt. Auf der Röntgenaufnahme ist eine Schattierung zu erkennen. Somit gibt die Befunderhebung keine oder falsche Aussagen über die Diagnose.

Ein weiterer Nachteil der PMCT ist der fehlende Nachweis von wichtigen Diagnosen wie ischämischen Gewebeschäden, Koronarthrombosen und Lungenembolien. Eine Beurteilung von kleinen Hämatomen, Prellungen, Quetschungen {Scholing et al. 2009} und Gefäßverletzungen {Leth und Ibsen 2010} ist in der PMCT nativ und auch in der PMCTA sehr eingeschränkt.

Vergiftungen, Stoffwechselforgänge, Herzrhythmusstörungen und Gas/Luft sind bei der Sektion nicht zu sehen, während sich Gas/Luft hingegen in der PMCT optimal darstellen lässt {Püschel 2010}.

2.4 Studienformen

2.4.1 Retrospektive Studie

Man spricht von einer retrospektiven (rückblickenden) Studie, wenn dafür das vorhandene Material aus der Vergangenheit untersucht wird.

Für diesen Teil der Arbeit wurde das Archiv des UKE Instituts für Rechtsmedizin verwendet und es wurden sowohl PMCT-Fälle als auch PMCTA-Fälle mit kardiovaskulären Interventionen/Operationen untersucht.

2.4.1.1 Einschlusskriterien

Bei der Fallauswahl der retrospektiven Studie wurden folgenden Kriterien zugrunde gelegt:

1. Es wurden Todesfälle zwischen 2008 und 2012 ausgewählt, denen mindestens ein kardiovaskulärer Eingriff voraus ging.
2. Es wurden sowohl rechtsmedizinische Todesfälle (polizeilich gemeldete unklare oder nicht natürliche Todesarten nach OP) als auch klinisch-pathologische Verstorbene einbezogen.

Die Basis der Auswertung dieser Arbeit bilden 10.196 Verstorbene. Die Daten wurden aus den Berichten zur Leichenschau, den Obduktionsscheinen, den Obduktionsberichten, den klinischen Todesbescheinigungen und den PMCT-/PMCTA-Reports entnommen. Aus den 10.196 Fällen wurden 294 herausgefiltert. Diese Patienten hatten sich vor dem Tod einer kardiovaskulären Intervention am UKE oder in anderen Kliniken der Umgebung unterzogen. Bei 146 dieser 294 Fälle war eine Computertomographie durchgeführt worden.

2.4.2 Prospektive Studie

Wird ab dem Zeitpunkt der Fragestellung Material für eine Studie untersucht, dann spricht man von einer prospektiven Studie.

Es wurden zehn Todesfälle analysiert, die aus dem UKE Herzzentrum und anderen Kliniken der Umgebung direkt nach dem Tod infolge einer kardiovaskulären Intervention/Operation in das Institut für Rechtsmedizin, teils auch als klinisch-pathologische Leichen, eingeliefert worden waren. Bei allen Fällen wurden sowohl PMCTs als auch PMCTAs durchgeführt. Das

Ziel war die Klärung der pathologischen Befunde, speziell die Aufklärung der Todesursache, ggf. operativer Komplikationen und im forensischen Fall die Klärung der Umstände bei Behandlungsfehlerverdacht.

2.4.2.1 Einschlusskriterien

Die Betroffenen hatten unter einer Erkrankung des Herzens gelitten. Bei den Patienten wurden Koronargefäße oder Teile der Aorta ersetzt, Stents (Metallgeflechte als Gefäßstützen) zur Erweiterung der Blutbahn eingesetzt oder Herzklappen implantiert. Zum Teil wurden auch mehrere Techniken kombiniert angewendet. Diese Interventionen beinhalteten sowohl minimalinvasive kathetergestützte Maßnahmen als auch die offene transthorakale Chirurgie. Es werden zehn Fälle aus dem Zeitraum zwischen dem 05.07.2013 und dem 21.01.2014 prospektiv analysiert.

2.4.2.2 Ausschlusskriterien

Die zehn ausgewählten prospektiven Fälle hatten eine frische kardiovaskuläre Intervention. Der letzte Eingriff lag nicht länger als eine Woche vor dem Tod des Patienten zurück.

Es wurde zunächst die postmortale CT-Nativaufnahme und anschließend die postmortale CT-Angiographie durchgeführt. Seitens des Radiologen, der diese Fälle befundet hatte, gab es bei Erstbefund keine Vorkenntnisse über die Sektion. Direkt im Anschluss wurde die Obduktion vorgenommen.

Jeder Befund, der in dem bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation dokumentiert war, wurde analysiert und das bildgebende Verfahren mit der Sektion abgeglichen bzw. gegenübergestellt.

2.5 Datenerfassung

2.5.1 Klinikdokumentation

Wird ein Patient in einem Krankenhaus aufgenommen, führt die Station bzw. die Abteilung eine Akte. Diese Akte beinhaltet alle Diagnosen des Patienten, die im Rahmen der Behandlung erstellt wurden. Dokumentiert werden die Vorerkrankungen, die Untersuchungen und der Krankenhausaufenthalt. Die technische Durchführung und der Ablauf der Operation, die Komplikationen währenddessen sowie das Ergebnis werden schriftlich festgehalten. Stirbt ein Patient während oder kurz nach der Operation, wird über die Abläufe der Reanimation und deren Erfolg ein Bericht geschrieben.

Die Klinikdokumentationen und Arztbriefe wurden durch die Stationen der Herzzentren für diese Studie zur Verfügung gestellt. Jeder Befund wurde in einer Datenbank erfasst.

2.5.2 Todesbescheinigung und Obduktionsbescheinigung

Die Todesbescheinigung wird von dem Arzt ausgefüllt, der den Tod festgestellt und die Leichenschau durchgeführt hat. Sie wird als Grundlage für die Registrierung des Todesfalls beim Standes- und Gesundheitsamt benutzt. Die Todesbescheinigung beinhaltet Details über die Leichenschau. In der Leichenschau werden die persönlichen Daten, die Feststellung des Todes, die Todesursache und die Todesart dokumentiert. Die Entscheidung, ob die Leiche zur Bestattung freigegeben wird oder ob weitere Ermittlungen vorgenommen werden - falls es sich nicht um einen natürlichen Tod handelt - ist aus der Todesbescheinigung zu entnehmen {GVBl. S. 167 von 1988}. Diese wird als Grundlage für die Todesursachenstatistik beim Statistischen Bundesamt übermittelt.

Todesbescheinigungen bestehen aus zwei Teilen, dem vertraulicher Teil und dem nicht vertraulicher Teil. Der vertrauliche Teil besteht wiederum aus fünf Blättern. Blatt 1 - 3 werden vom Standesamt an das Gesundheitsamt weitergegeben. Das Gesundheitsamt verteilt die Blätter an die zuständigen Stellen. Blatt 4 des vertraulichen Teils ist für die Obduktion vorgesehen, falls diese erforderlich ist (in Hamburg gibt es einen eigenständigen Obduktionsschein). Blatt 5 des vertraulichen Teils ist für die persönlichen Unterlagen des Amtes vorgesehen.

Der Obduktionsschein aus dem vertraulichen Teil (Blatt 4) wird vom obduzierenden Arzt ausgestellt. In diesem Dokument werden die durch die Obduktion festgestellte Todesursache und andere wesentliche Krankheiten erläutert. Der Obduzent übermittelt dem Gesundheitsamt den Obduktionsschein. Aus dem vertraulichen Teil wurden Informationen über die Todesursache und -art entnommen. Der nicht vertrauliche Teil der Todesbescheinigung wird nach dem Ausfüllen den Angehörigen übergeben, die diesen beim Standesamt vorzeigen müssen.

Die Todesbescheinigungen für diese Arbeit wurden in der Intensivstation ausgestellt und an das Institut für Rechtsmedizin geschickt. Die Exemplare entstammen dem Archiv.

2.5.3 Sektionsprotokoll

Sektion bedeutet eine innere Leichenschau. Am 9. Februar 2000 hat das Abgeordnetenhaus (der Senat Hamburgs) ein Sektionsgesetz (1. Abschnitt § 1 - 6, 2. Abschnitt § 7 - 11, 3. Abschnitt § 12 - 15) beschlossen. Dieses Gesetz gibt Auskünfte über die Regelung der klinischen, rechtsmedizinischen und anatomischen Sektion:

„Die klinische Sektion ist die letzte ärztliche Handlung zugunsten des Patienten und der Allgemeinheit. Sie dient der Qualitätskontrolle und Überprüfung ärztlichen Handelns im Hinblick auf die Diagnose, Therapie und medizinischen Forschung sowie Begutachtung“ {Sektionsgesetz 2000}.

Das Ziel der Sektion ist die Feststellung der Todesursache. Daher setzt sie als Diagnose eine sorgfältige Befundaufnahme und Befunddokumentation voraus.

Rechtsmedizinische Sektionsprotokolle sind wie folgt aufgebaut:

Äußere Besichtigung und innere Besichtigung

- Kopfsektion
- Brust- und Bauchhöhle
- Hals- und Brustorgane
- Bauchorgane
- Skelettsystem und Weichteile

Sektionsgutachten

- Sachverhalt
- Ergebnis der Bildgebung / Computertomographie
- Sektionsdiagnosen
- zusammenfassende Befundwürdigung
- Todesursache
- Angaben zu den zurückbehaltenen Asservaten

Anlage

Für diese Arbeit wurden die Sektionsprotokolle einzeln durchgearbeitet, wobei die pathologischen Befunde und die Korrelate der herzchirurgischen Eingriffe protokolliert wurden.

2.5.4 Postmortale Bildgebung in der Rechtsmedizin

Seit Februar 2008 wird im Institut für Rechtsmedizin das Verfahren der Computertomographie mit einem Multi-Slice-CT-Scanner und der Möglichkeit der Befundung mittels multiplanarer Rekonstruktion (ggf. 3D-Volume-Rendering) angewendet.

CT-Protokollparameter

Im CT-Raum der Rechtsmedizin am UKE wurden alle prospektiven Fälle mit dem Philips Brilliance 16-Zeiler (Ganzkörper- sowie zusätzlich eng geschichtetes Thorax-CT mit 120 kW, 280 mAs, Schichtabstand 0,8 mm, Inkrement 0,4 mm, Pitch 0,97 mm) gescannt, die durch eine multiphasische postmortale CT-Angiographie (MPMCTA) erweitert wurde. Die A. und V. femoralis wurden mit dem Virtangio-Set der Fa. Fumedica AG (Muri, Schweiz) kanüliert. Das Kontrastmittel (Angiofil, Fumedica AG, 6 %; Paraffinum Subliquidum EP, 94 %) wurde mittels Pumpsystem (Siemens, Fumedica, Simatic Multi Panel Touch) dreiphasisch unter CT-Kontrolle (statisch arteriell, statisch venös, dynamisch) in das Gefäßsystem eingebracht. Die Methode orientiert sich an Grabherr et al. {2011}.



Abbildung 2.1: CT-Scanner Philips Brilliance 16-Zeiler

Das CT-Gerät ist am Institut lokalisiert. Daher kann die Untersuchung unverzüglich durchgeführt werden. Zunächst wird ein Ganzkörper-PMCT nativ durchgeführt. Anschließend wird eine PMCTA vorgenommen. Bei der PMCTA wird das Kontrastmittel in die V. femoralis injiziert, danach folgt die Injektion in die A. femoralis. Zuletzt folgt als Drittes die dynamische Phase.

Im Institut für Rechtsmedizin Hamburg wird nicht bei allen Sektionsfällen ein PMCT- bzw. PMCTA-Verfahren durchgeführt. Die Indikation für die Durchführung eines PMCT-Verfahrens ist dann gegeben, wenn ein Tötungsdelikt oder Suizid durch einen Schuss vermutet wird, wenn eine Stichverletzung oder Verletzung durch sonstige stumpfe oder scharfe Gewalt vorliegt sowie bei einem Verkehrs- oder Arbeitsunfall, aber auch, wenn Verdacht auf einen Behandlungsfehler besteht und grundsätzlich bei allen Todesfällen von Kindern. Es wird darüber hinaus neben der Sektion eine PMCT durchgeführt, wenn die Identifikation eines Menschen anhand biologischer Merkmale notwendig ist oder wenn sich eine Leiche in einem Verwesungszustand befindet. Eine PMCTA wird dann eingesetzt, wenn eine Blutung oder eine Gefäßperforation vorliegt.

Ein Indikationskatalog zum PMCT wurde im Rahmen des Gesetzes festgelegt (erweitertes Protokoll). Die Anordnung der Durchführung der PMCT wird im Einzelfall neben der Sektionsanordnung von der Staatsanwaltschaft mitgeteilt {Heinemann 2012}.

2.6 OP-Techniken

Dieser Abschnitt beschreibt die verschiedenen im Rahmen dieser Arbeit kategorisierten OP-Techniken.

2.6.1 Koronare Herzkrankheit

Die koronare Herzkrankheit ist die Manifestation einer Arteriosklerose an den Herzkranzgefäßen. Die Verkalkung ist in den Herzarterien wesentlich stärker ausgeprägt als in anderen Organarterien, wie z. B. im ZNS oder der Niere. Die Verkalkung der Herzkranzgefäße ist bevorzugt im Anfangsteil der drei großen Kranzarterien lokalisiert.

Die Entstehung von Stenosen beruht auf der Ausbildung fokaler Plaques und Verdickung an der Gefäßinnenwand. Dadurch entsteht eine Verfettung der Intima, die auf die benachbarten Bezirke der Media übergreifen kann. Mit zunehmendem Fortschreiten entstehen Verkalkungen, Blutungen, Ulzerationen und Thrombosen, die letztendlich zu einer Lumenverengung mit Beeinträchtigung der Blutzufuhr der Herzmuskulatur führen können {Kreuzer 2003}.

Die drei großen Koronararterien - rechte Koronararterie (Right Coronary Artery = RCA) und zwei linke Koronararterien (Left Anterior Descending Artery = LAD oder Ramus Interventricularis Anterior = RIVA und Left Circumflex branch = LCX) - werden für die Klassifizierung der koronaren Herzkrankheit der einzelnen Gefäße betrachtet und ihren Versorgungsgebieten zugeordnet. In diesem Rahmen wird nach der Lokalisation der Koronarsklerose eine Ein-, Zwei- oder Dreigefäßerkrankung definiert.

2.6.2 Koronarchirurgie

2.6.2.1 Perkutane transluminale Koronarangiographie (PTCA) / Stent

Die PTCA ist eine Therapiemethode zur Aufweitung von Verengungen der Koronararterien, welche durch eine Verkalkung oder Plaqueablagerung in den Blutgefäßen entstanden sind. Bei diesem Operationseingriff werden mithilfe eines Katheters (Linkskatheter) die verengten Stellen durch einen Ballon ausgedehnt. Reicht die Ausdehnung mit einem Ballon nicht aus, wird gleichzeitig ein Drahtgeflecht (Stent) eingesetzt. Mögliche auftretende Komplikationen

{Rach 1990} sind Blutungen, Einrisse, Verletzungen von Nerven, Embolie, Thrombose, Infektion und Herzrhythmusstörungen.

Ein Stent ist ein Implantat, das in ein Herzkranzgefäß eingebracht wird, um dieses offen zu halten. Dadurch wird versucht, eine weitere Verengung der Gefäße durch Verkalkung zu vermeiden. Ein Stent besteht aus einem kleinen röhrenförmigen Gittergerüst aus Metall oder Kunststoff.

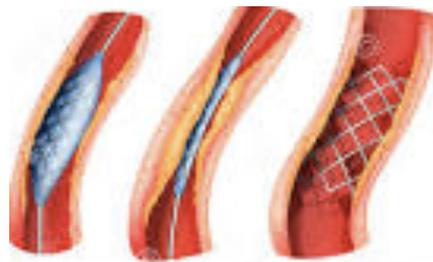


Abbildung 2.2: Stent

Im Rahmen eines Herzkatheters findet eine Erweiterung der Herzkranzgefäße durch Ballondilatation statt. Diese Operation kann transthorakal oder transfemorale durchgeführt werden. Es gibt zwei verschiedene Arten von Stents: Unbeschichtete Metallstents (BMS-bare metal stent) und medikamentfreisetzende Stents (DES-drug eluting stent).

Hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften gibt es ballonexpandierende und selbstexpandierende Stents {Luther 2011}.

Mögliche Komplikationen dieser Operation sind Stentthrombose, Gefäßverletzung, periphere Thrombosen oder/und Embolie {Frömke 2003}.

2.6.2.2 Bypass

Durch einen Bypass (engl.: Umgehung) schafft man einen künstlich angelegten Umgehungsweg bei stenosierten bzw. verschlossenen Gefäßabschnitten {Siewert 2006}. Der Bypass kann in verschiedene Stellen des Körpers, z. B. im Rahmen der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (paVK) in den Beinarterien oder bei einer koronaren Herzkrankheit in den Herzkranzgefäßen, eingesetzt werden. Letztgenannte ist die weltweit am häufigsten durchgeführte Operation.

Das Ziel der koronaren Bypasschirurgie ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Herzmuskels, indem durch einen Bypass Blut in den Koronararterien an einer Verengung vorbei transportiert wird.

Für die Überbrückung wird die A. mammaria interna (internal mammary artery = IMA) verwendet. Wenn diese Arterie nicht zur Verfügung steht, kommen die V. saphena magna oder die V. saphena parva (= aortokoronarer Venenbypass) zum Einsatz {Ziemer, Haverich 2010}. Häufig wird auch eine Kombination aus Venenbypass mit LIMA (left internal mammary artery) angewendet {Souza-Offermatt 2004}.

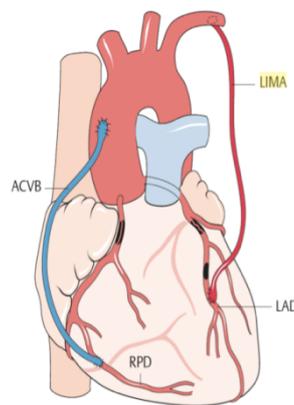


Abbildung 2.3: Aortokoronarer Venenbypass (ACVB), left internal mammary artery (LIMA), left anterior descending (LAD)

Abbildung 2.3 zeigt ein Standardkonzept der Koronarchirurgie: Die Anlage eines LIMA-Bypass zum LAD in Kombination mit Venenbypass zu den rechten Koronargefäßen.

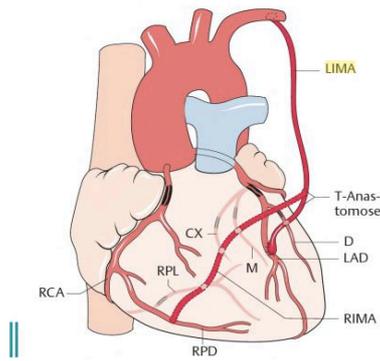


Abbildung 2.4: Rechte Koronararterien (RCA), right internal mammary artery (RIMA).

Bei der arteriellen Revaskularisation bietet sich eine Y- oder T-Anastomose an. Die Abbildung 2.4 zeigt eine T-Anastomose. Die rechte A. mammaria interna wird im 90°-Winkel in die linke Brustarterie eingepflanzt, wodurch ein auf dem Kopf stehendes T sichtbar wird.

Durchführung einer Bypassoperation

Die Bypassoperation wird in Vollnarkose und oft mithilfe einer Herz-Lungen-Maschine (HLM) durchgeführt. Diese hält den Blutkreislauf aufrecht, während das Herz für den Operationszeitraum still gehalten wird. Der Brustkorb wird für die Durchführung der Operation über dem Brustbein geöffnet.

Bei älteren Patienten sowie Patienten mit Begleiterkrankungen wird auf eine Herz-Lungen-Maschine (HLM) verzichtet und die Operation am schlagenden Herzen durchgeführt. Risiken, die bei Einsatz einer HLM entstehen, wie Schlaganfall, Hirninfarkt und Komplikationen beim Abklemmen und Legen der Kanüle in der Aorta, werden dadurch reduziert.

Der Herzbeutel wird zur Freilegung der Herzkranzgefäße geöffnet. Bypassgefäße werden an den erkrankten Koronararterien nahe der Verengung oder der Verschlüsse durch Gefäßnähte angesetzt und danach die oberen Enden an die Hauptschlagader angeschlossen. Zur Versorgung einiger Gefäßareale ist die Öffnung des Brustbeins nicht erforderlich, da ein seitlicher Schnitt ausreicht, um die Brustschlagader als Bypass am erkrankten Herzgefäß anzuschließen.

Komplikationen, die bei der Bypassoperation oder danach entstehen können, sind Wundinfektion, Nachblutung, Herzbeutelentzündung, Blutgerinnsel, Herzrhythmusstörung und Herzinsuffizienz, die zum Tode führen können {Frömke 2003}.

2.6.2.3 Herzklappenersatz

Als Ersatz für eine natürliche Herzklappe dient der künstlich eingebrachte Herzklappenersatz. Herzklappenoperationen können kathetergestützt (minimalinvasiv) oder konventionell durchgeführt werden. Die minimalinvasive Herzoperation kann bei Patienten mit einem höheren Operationsrisiko durchgeführt werden. Somit kann die Belastung des Organismus durch den Eingriff minimiert werden {Larsen 2005}. Mögliche Positionierungen dafür sind ein Aortenklappen-, Trikuspidalklappen- und Mitralklappenersatz.

Im Bereich der Herzchirurgie sind bei Aortenklappenerkrankungen der Ersatz einer insuffizienten sowie einer stenosierenden Herzklappe (oder die Kombination aus beiden) der häufigste Operationseingriff {Zimmer, Havrich 2004}.

Es werden mechanische und biologische Herzklappen verwendet. Bei einem mechanischen Klappenersatz ist die Haltbarkeit uneingeschränkt, allerdings die dauerhafte Einnahme eines Antikoagulans wie Heparin oder Cumarinderivat notwendig. Für Patienten ab 70 Jahre ist eine biologische Herzklappe indiziert. Bei den jüngeren Patienten wird sie angewendet, wenn ein erhöhtes Blutungsrisiko vorliegt. Je jünger der Patient zum Zeitpunkt der Implantation ist, umso höher ist die Degenerationsrate der biologischen Prothesen {Ballethofer 2006}.

Bei der minimalinvasiven Operation wird ein kleiner Hautschnitt gemacht und danach das Sternum geöffnet. Diese Operation findet unter Verwendung einer HLM und unter Vollnarkose statt {Siewert 2006}.

Hat der Patient ein höheres Risiko beim Eingriff, wird eine Alternative in Form einer Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (Transcatheter Aortic Valve Implantation = TAVI) durchgeführt. Dieses Implantat wird entweder durch die Leistengefäße (transvaskulär) oder durch die Herzspitze (transapical) zusammengefaltet über einen Katheter zur Aorta geführt

und dort entfaltet {DGK 2013}. Der Vorteil dieses Eingriffes liegt darin, dass keine Sternotomie notwendig ist und auf den Einsatz einer HLM verzichtet werden kann.



Abbildung 2.5: TAVI

Durch das PMCT- bzw. PMCTA-Verfahren und der Unterstützung durch die Sektion und Histologie wird die Todesursache festgestellt. Die kontrastmittelgestützte postmortale Computertomographie erweitert die Möglichkeit der postmortalen radiologischen Befunderhebung auf das Gefäßsystem, wie zum Beispiel bei der Suche nach Blutungsquellen nach operativen Eingriffen und/oder der Darstellung der Verkalkung von Blutgefäßen bzw. deren Verschlüssen.

2.6.2.4 Endovaskuläre (EVAR) und thorakale Aortenreparatur (TEVAR)

Eine endovaskuläre Aortenreparatur bezeichnet die Implantation von Stents, die zur Stabilisierung der Aorta dienen. Dieser Eingriff kann durch die A. femoralis mithilfe eines Katheters abdominal (EVAR) oder thorakal (TEVAR) durchgeführt werden. Die Stentimplantation ist mit der Bypass-OP kombinierbar, was als Hybridprothese bezeichnet wird {Autschbach 2012}.

Indikationen für EVAR/TEVAR sind Aortenaneurysmen und Aortendissektionen:

1) Aortenaneurysma

Man spricht von einem Aortenaneurysma, wenn durch den Verschleiß der Gefäßwände eine Ausweitung der Hauptschlagader entsteht. Überschreitet der Aortendurchmesser eine bestimmte Größe, ist eine Operation notwendig. Der Verschleiß der Aorta wird durch arterielle Hypertonie und Arteriosklerose begünstigt. Diese zeigen lange Zeit keine Symptome. Allerdings kann die Aorta bei einer starken Ausdehnung zerreißen, was

lebensbedrohlich ist {Winkhardt 2017}. Daher wird der Eingriff oft aus prophylaktischen Gründen durchgeführt.

2) Aortendissektion

Bei der Aortendissektion handelt es sich um die Aufspaltung der Wandschichten der Aorta. Hierbei entsteht ein Riss in der Gefäßintima und das Blut tritt in die Gefäßmedia ein. Sie kann sowohl die Brust- als auch die Bauchschlagader betreffen. Nach Stanford-Klassifikation werden zwei Typen unterschieden: Typ-A und Typ-B. Bei Typ-A liegt der Riss in der Aorta ascendens und wird über eine mediane Sternotomie operiert. Bei Typ-B liegt der Riss in der Aorta descendens, die Operation erfolgt hier über eine linkslaterale Thorakotomie {Lapp 2014}.

2.6.2.5 Aortenersatz

Ein Aortenersatz kommt zur Anwendung, wenn die Aorta erheblich erweitert ist. Somit wird versucht, einen Riss zu vermeiden. Sonst kann diese Form der Schädigung tödlich verlaufen.

Bei einem fortgeschrittenen Aortenaneurysma oder einer Aortendissektion wird ein Ersatz des betroffenen Abschnitts mit künstlichem Gewebe durchgeführt. Die Operation kann konventionell chirurgisch oder durch eine Endovaskularprothese erfolgen, die über einen Katheter eingebracht wird.

Die Auswahl der Aortenprothese erfolgt entsprechend der Form und der Ausdehnung des Aneurysmas. Es gibt drei Typen: Die Rohr-, die Bifurkations- und die Unilateralprothese {Borst 1991}.

2.6.3 Sensitivität für Bildgebung

Die Sensitivität einer Studie stellt dar, zu welchem Anteil das angewendete Verfahren eine Krankheit tatsächlich als solche erkennt. Die Sensitivität in dieser Arbeit für die Bildgebung wurde unter Berücksichtigung der einzelnen Befunde durchgeführt.

Die Analyse der Sensitivität (mit der Befunderkennung) des prospektiven Teils dieser Arbeit bezieht sich auf die pathologischen Befunde der Patienten nach einer kardiovaskulären Intervention. Die Empfindlichkeit für das bildgebende Verfahren (PMCT/PMCTA) im Vergleich zur Sektion und Klinikdokumentation wurden gegenübergestellt, analysiert und statistisch bewertet.

Die Validierung der Bildgebungsdiagnose erfolgte durch Klinikdokumentation und/oder Sektionsprotokoll, je nach Eignung für die jeweilige Diagnose.

Die Formel lautet:

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{Anzahl der richtig positiven}}{\text{Anzahl der richtig positiven} + \text{Anzahl der falsch negativen}}$$

2.6.4 Spezifität für Bildgebung

Die Spezifität einer statistischen Arbeit zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Befund, der nicht vorhanden ist, durch ein bildgebendes Verfahren gesehen wurde.

Die Formel lautet:

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{Anzahl der richtig negativen}}{\text{Anzahl der richtig negativen} + \text{Anzahl der falsch positiven}}$$

3 Ergebnis

3.1 Retrospektive Fälle

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über die retrospektiv erhobenen Fälle von 2008 - 2012.

3.1.1 Gesamtkollektiv eingegangener Leichen aus Hamburg bzw. dem UKE in der Leichenhalle des Instituts für Rechtsmedizin (IfR)

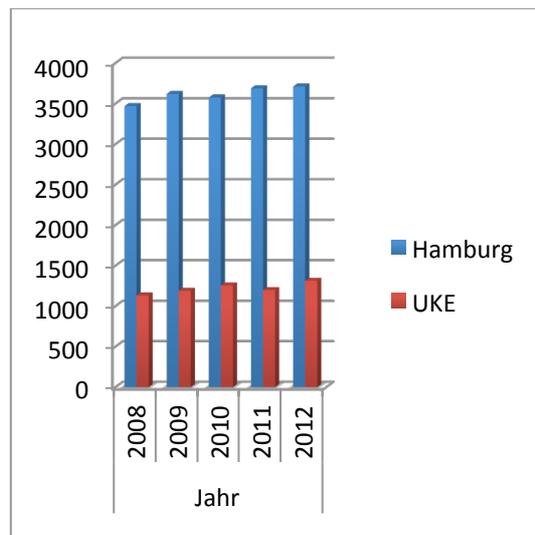


Abbildung 3.1: Eingegangene Leichen pro Jahr aus dem Hamburger Umfeld und dem UKE

Zwischen 2008 und 2012 sind insgesamt 18.055 Leichen aus dem Hamburger Umfeld und aus dem UKE 6083 im Institut für Rechtsmedizin aufgenommen worden. Aus Abbildung 3.1 wird deutlich, dass die Zahl der eingegangenen Leichen zwischen 2008 und 2012 angestiegen ist.

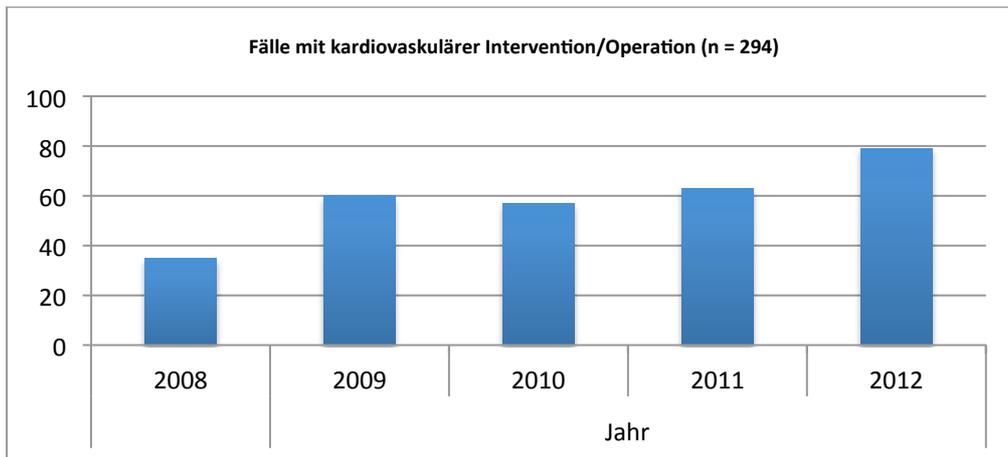


Abbildung 3.2: Anzahl der in die retrospektive Studie aufgenommenen Fälle mit Hinweisen auf stattgehabte kardiovaskuläre Intervention/Operation

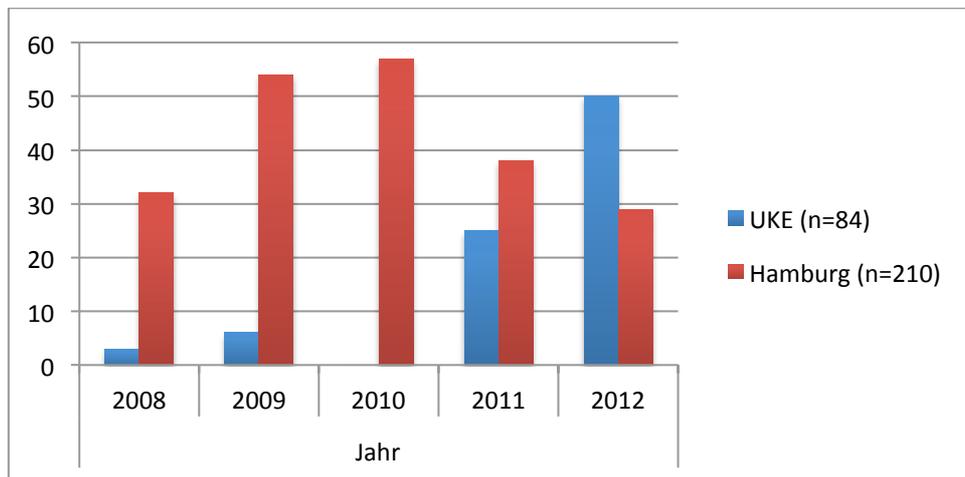


Abbildung 3.3: Anzahl der kardiovaskulären Interventionen/Operationen: UKE-Verstorbene im Vergleich zu Todesfällen aus dem Hamburger Umfeld von 2008 - 2012.

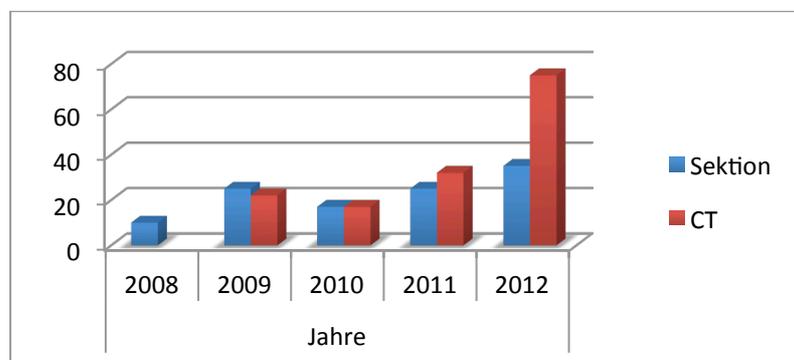


Abbildung 3.4: Sektionen (n = 112) und Computertomographien (n = 146) von 2008 -2012 bei 294 Studienfällen.

Befunde nach kardiovaskulärer Intervention/Operation gesamt

3.1.2

Tabelle 3.1: Gesamtübersicht der Befunde der Verstorbenen mit Herzoperation von 2008 - 2012 (Befunde, die einmal vorkamen, wurden herausgenommen)

Zusammenfassung retrospektive Analyse (n = 356)	Anzahl	Anzahl %
Bypass, sonstiges (OP)	129	35,3 %
Stent, sonstiges (I)	39	10,7 %
Aortenklappenersatz (OP)	37	10,1 %
Bypass ACVB (OP)	33	9,0 %
Stent im LAD (I)	26	7,1 %
Mitralklappen-Ersatz (OP)	15	4,1 %
TAVI (I)	14	3,8 %
Bypass LIMA (OP)	12	3,3 %
Bypass ACB (OP)	8	2,2 %
Aorta-ascendens-Ersatz (OP)	7	1,2 %
Stent im RCA (I)	7	1,9 %
Stent im LCA (I)	5	1,4 %
Herzklappen-OP (I)	5	1,4 %
Aortenbogenersatz (OP)	4	1,1 %
Aortenstent (I)	4	1,1 %
Mitralklappenrekonstruktion	3	0,8 %
Aortenbogenstent	2	0,6 %
Aortenersatz (OP)	2	0,6 %
Stent im CFX (I)	2	0,6 %
Stent im RCX (I)	2	0,6 %
Summe:	356	96,9 %

Aus Tabelle 3.1 ist ersichtlich, dass zwischen 2008 und 2012 die Bypass-Chirurgie am häufigsten stattgefunden hat. Danach folgen Aortenklappenersatz und Stent-Einbringung.

Die Intervention (I) ist ein chirurgisches Verfahren, bei dem durch einen Katheter unter Röntgenkontrolle an eine Engstelle ein Stent angebracht wird.

Die Operation (OP) in Tabelle 3.1 bezieht sich auf die Eröffnung des Brustkorbes. Durch dieses chirurgische Verfahren werden Bypässe und in bestimmten Fällen Herzklappenersätze angebracht.

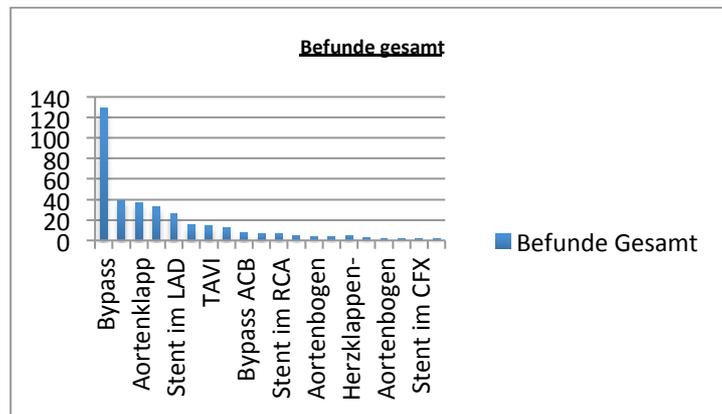


Abbildung 3.5: Verteilung der Häufigkeit der Befunde

3. 1. 3 Prävalenz von Herzklappen-OP, TAVI, Aortenersatz, Bypass und Stent-Implantation von 2008 - 2012

Tabelle 3.2: Die Häufigkeit der Befunde Herzklappen-OP, TAVI, Aortenersatz, Bypass und Stent von 2008 - 2012

	2008	2009	2010	2011	2012
Herzklappenersatz	4	8	10	10	30
TAVI			3	4	7
Aortenersatz	1	3	2	1	5
Bypass	29	41	38	30	44
Stent	2	18	16	26	25
Summe	36	70	69	71	111

Die Daten stammen aus den Jahren 2008 bis 2012. Tabelle 3.3 zeigt, dass die Zahl der Herzklappen-Operationen, TAVI-, Aortenersatz-, Bypass- und Stent-Prozeduren in diesem Zeitraum stark angestiegen ist.

Tabelle 3.3: Die Zahl der Operationen und Interventionen von 2008 - 2012

	2008	2009	2010	2011	2012
Operation	33	52	50	42	79
Intervention	2	18	19	30	32
Summe	35	70	69	72	111

3.2 Prospektive Fälle

Im prospektiven Teil dieser Arbeit wurden zehn Fälle untersucht. Das Durchschnittsalter betrug 70,7 Jahre. Die Geschlechtsverteilung lag bei 40 % weiblichen und 60 % männlichen Patienten.

3.2.1 Ergebnis des prospektiven Teils

Tabelle 3.4: Auflistung sämtlicher Befunde, die in mindestens einem Fall gefunden wurden.

Anzahl	Befund
28	Frischer Rippenbruch (reanimationsbedingt)
23	Sklerose
20	Koronarsklerose
16	Myokardhyperplasie/-hypertrophie
12	Stenose
11	Stent
10	Koronarstenose
7	Arterielle Hypertonie
8	Älterer Rippenbruch
7	Organ-Hyperplasie/-Hypertrophie, sonstige
7	Koronarer Bypass
6	Bruch, sonstige
6	Herzinfarkt
6	Zyste in Organparenchym
5	Insuffizienz (LAD, RCX, re. Ventrikel, li. Ventrikel, Mitralklappe)
5	Kardiale Dilatation
4	Aneurysma
4	Aortenklappenersatz
4	Osteoporose
3	Blutung
3	Divertikulose
3	Hirnödem
3	Pleuraerguss
3	Lungenödem
3	TAVI
2	Aorta ascendens-Ersatz
2	Cholezystektomie
2	Lipomatosis cordis
2	Luft-/Gasnachweis im Gefäßsystem
2	Koronarostium durch TAVI stenosiert
2	Verletzung des Gefäßsystems
2	Verwachsung der Pleurahöhle
1	Anasarka
1	Anthrakose
1	Appendektomie
1	Ballondilatation
1	Cor pulmonale
1	Aortendisektion
1	Einriss von RCA
1	Emphysebronchitis
1	Fibrose
1	Gallenstein
1	Klappenperforation
1	Knie-TEP
1	Knochenerweichung
1	Medionecrosis aortae microcystica
1	Mitraclip
1	Nierenerkrankung
1	Obstruktion linkes Ventrikel
1	Perikarditis
1	Perikardtamponade
1	Pleuritis
1	Pneumothorax
1	Rheuma
1	RVAD
1	Splenektomie
1	Spondylosis deformans
1	TBC
1	TEP
1	Thrombose
1	Pulmonaler Hypertonus
1	Leberzirrhose
n=253	

Tabelle 3.5: Retrospektive Befunde mit Gegenüberstellung zur Klinikdokumentation, der PMCT/PMCTA und der Sektion, die mindestens einmal vorkommen

Befunde gesamt	<i>Diagnos- tische Modali- tät</i>	<i>Klinik- doku</i>	<i>CT nativ ohne Sektions- kenntnis</i>	<i>CT nativ mit Klinik-/ Sektions- kenntnis</i>	<i>CT Angio ohne Sektions- kenntnis</i>	<i>CT Angio mit Klinik-/ Sektions- kenntnis</i>	<i>Sek- tion</i>
Älterer Rippenbruch	8	0	8	8	8	8	0
Aneurysma	4	1	3	3	3	3	3
Aortenklap- penersatz	4	4	4	4	4	4	4
Arterielle Hypertonie	7	7	0	0	0	0	0
Blutung	3	1	2	2	2	2	2
Bruch	6	0	6	6	6	6	6
Bruch, reani- mationsbedingt	28	0	28	28	28	28	25
Divertikulose	3	0	2	2	2	2	3
Herzinfarkt	6	2	1	1	2	2	6
Hirnödem	3	0	0	0	1	1	3
Myokard- Hyperplasie/ -Hypertrophie	16	4	9	9	9	10	14
LAD, RCX, re. Ventrikel, li. Ventrikel, Mitralklappen- insuffizienz	5	2	2	2	4	4	3
Kardiale Dilatation	5	1	3	3	3	3	4
Koronarer Bypass	7	5	3	3	4	5	4
Koronarsklerose	20	2	15	15	15	15	16
Koronarstenose	10	2	7	7	7	7	7
Pleuraerguss	3	1	2	2	2	2	2
Lungenödem	3	1	3	3	3	3	3
Osteoporose	4	0	2	2	2	2	2
Sklerose	23	0	16	16	16	16	20
Stenose	12	3	5	5	8	8	6
Stent	11	7	10	10	10	10	10
TAVI	3	3	3	3	3	3	3
Zyste in Organ- parenchym	6	0	6	6	6	6	5
Summe:	200	46	140	140	148	150	151

3.2.2 Die Wertigkeit der PMCT und PMCT-Angiographie im Vergleich zur Sektion und Klinikdokumentation

Im Folgenden werden die Diagramme zur Wertigkeit der einzelnen Befunde für die zehn prospektiven Fälle, die direkt nach der Operation von der kardiovaskulären Station am UKE in das Institut für Rechtsmedizin eingeliefert worden sind, dargestellt. Die hier beschriebenen Befunde beschränken sich auf die kardiovaskulären Pathologien. Sonstige Befunde bezüglich dieser Fälle werden später erläutert.

Die Werte sind in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl ist, umso empfindlicher reagiert das Verfahren bei dem Befund.

Die X-Achsen zeigen die verschiedenen Verfahren, mit denen eine Diagnose gestellt werden konnte:

- Klinikdokumentation
- PMCT-nativ, befundet ohne Klinikdokumentation und Sektion
- PMCT-nativ, nachbefundet vor dem Hintergrund von Klinikdokumentation und Sektionsergebnis
- PMCTA, befundet ohne Klinikdokumentation und Sektion
- PMCTA, nachbefundet vor dem Hintergrund von Klinikdokumentation und Sektion
- Sektion

Auf den Y-Achsen ist die Sensitivität der einzelnen Befunde aufgeführt.

3.2.2.1 Pathologie

Aus den nachfolgenden Abbildungen geht hervor, dass der Vergleich der bildgebenden Verfahren mit der Sektion folgende Ergebnisse liefern kann:

Sowohl Sektion als auch das PMCT und die PMCT-Angiographie konnten die Diagnosen Lungenödem (100 %), Pleuraerguss (100 %), TAVI (100 %), AKE (100 %), Aneurysma (100 %), Stent (100 %) und Bypass (100 %) vollständig bestätigen. Ein koronarer Bypass wird bei der Sektion mit 57 %, in der PMCTA mit Klinik-Vorkenntnis mit 71 %, in der PMCTA ohne CT-

Kenntnis mit 57 % und im PMCT-nativ in nur 43 % der Fälle diagnostiziert. Zu berücksichtigen ist, dass die Bildgebung bei dieser Analyse als Goldstandard gesetzt wurde.

Koronarsklerose

Die Diagnose der Koronarsklerose (n = 16) wurde bei der Sektion zu 100 % erfasst und bei der PMCTA und PMCT-nativ in 94 % der Fälle bestätigt. Aus Abbildung 3.6 geht hervor, dass bei der Diagnose einer Verkalkung der Herzkranzgefäße die PMCT und PMCTA mit einem Wert von 94 % sehr dicht am Sektionswert von 100 % liegen. Die Validierung der Diagnose ist mit allen drei Methoden ähnlich gut möglich, wobei jedoch eine nähere Quantifizierung der Sektion und der PMCTA vorbehalten bleiben, welche in dieser Studie aber unberücksichtigt bleiben.

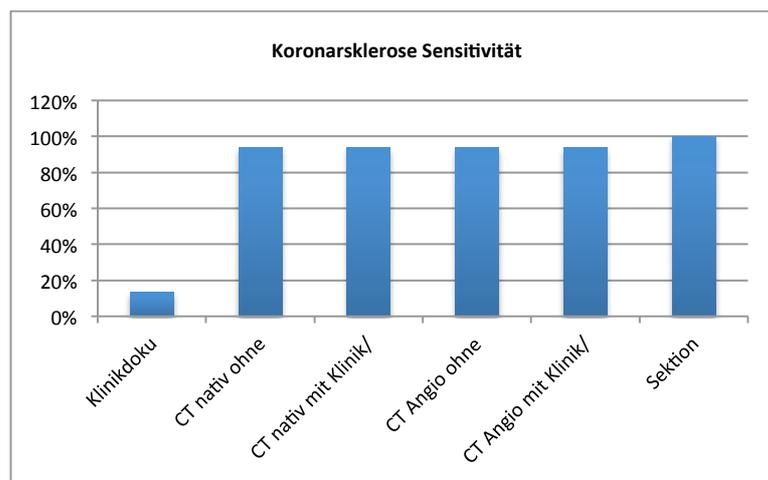


Abbildung 3.6: Sensitivität der Koronarsklerose (n = 16) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Koronarstenose

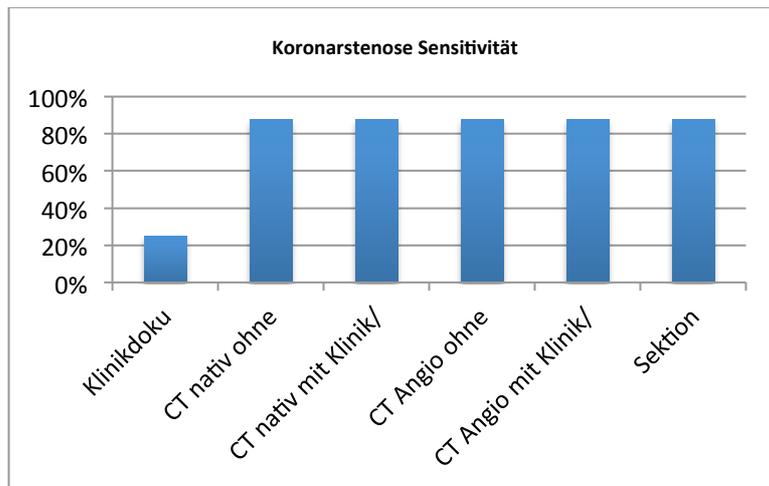


Abbildung 3.7: Koronarstenose (n = 7)

Abbildung 3.7 zeigt, dass in PMCTA und PMCT-nativ die Darstellung der Koronarstenose genauso gut möglich ist wie bei der Sektion.

Herzinfarkt

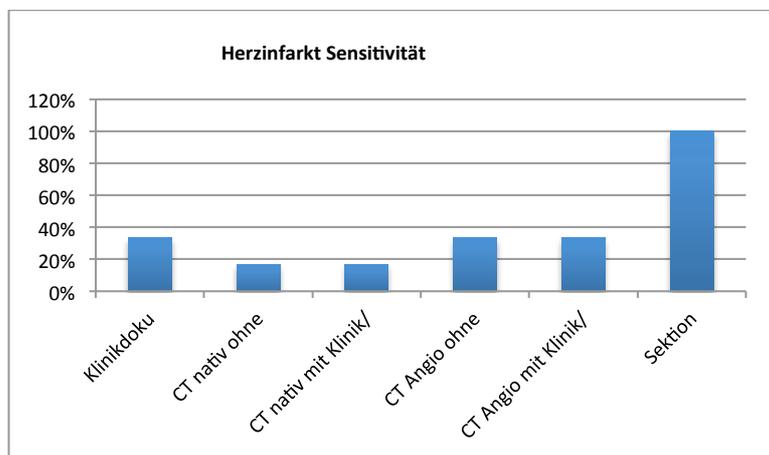


Abbildung 3.8: Sensitivität des Herzinfarktes (n = 6) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Kardiale Dilatation

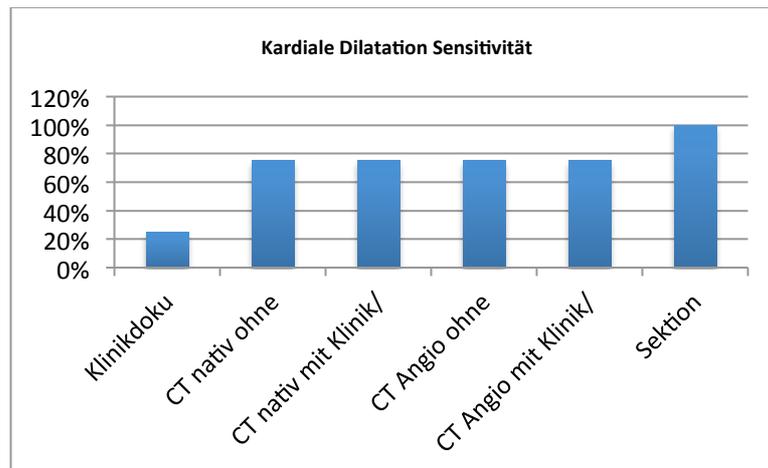


Abbildung 3.9: Sensitivität von kardialer Dilatation (n = 4) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Herzinfarkt und kardiale Dilatation

Ein Herzinfarkt wird durch die Sektion mit einer höheren Wahrscheinlichkeit diagnostiziert, während er bei der PMCT am wenigsten erkannt wird. Dagegen zeigt die PMCTA eine deutlich höhere Sensitivität als die PMCT und die Klinikdokumentation. Eine kardiale Dilatation wird ebenso wie bei der Sektion besser erkennbar. Die PMCT und die PMCTA zeigen eine gleichwertige Sensitivität bei der Diagnose einer kardialen Dilatation.

Aneurysma, Lungenödem, Lungenpleura

Bei Aneurysma-Befunden wurden zwei von drei Fällen (= 67 %), beim Lungenödem drei von drei Fällen (= 100 %) und bei der Lungenpleura zwei von zwei Fällen (= 100 %) sowohl durch Sektion als auch durch das bildgebende Verfahren erkannt.

3. 2. 2. 2 Medizinisches Verfahren

Koronarer Bypass

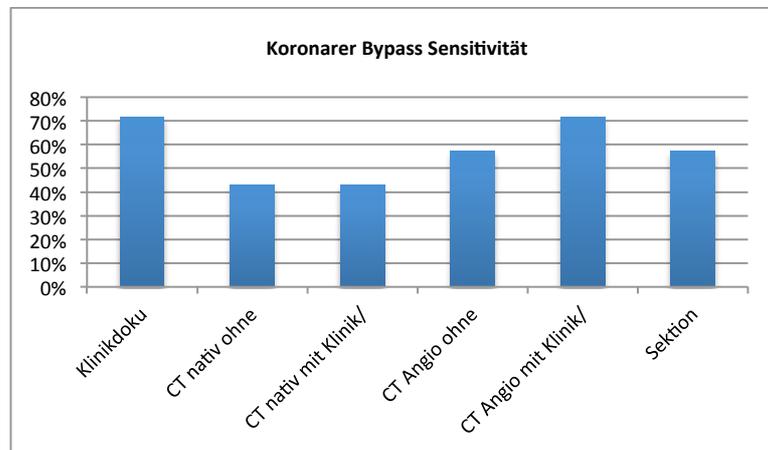


Abbildung 3.10: Sensitivität der koronaren Bypässe (n = 5) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Aus Abbildung 3.10 ergibt sich, dass eine Bestätigung der Diagnose eines koronaren Bypasses durch die PMCTA mit Befundung unter Kenntnis der Klinik eine höhere Sensitivität (71 %) erreicht als das PMCT-nativ (43 %), die PMCTA (57 %) ohne Kenntnis der Klinik und die Sektion (57 %). Dies zeigt, dass koronare Bypässe durch PMCTA in der vorliegenden Studie besser nachzuweisen sind als die anderen erwähnten Verfahren, auch wenn die geringen Fallzahlen noch keine statistische Verallgemeinerung zulassen.

Aortenklappenersatz

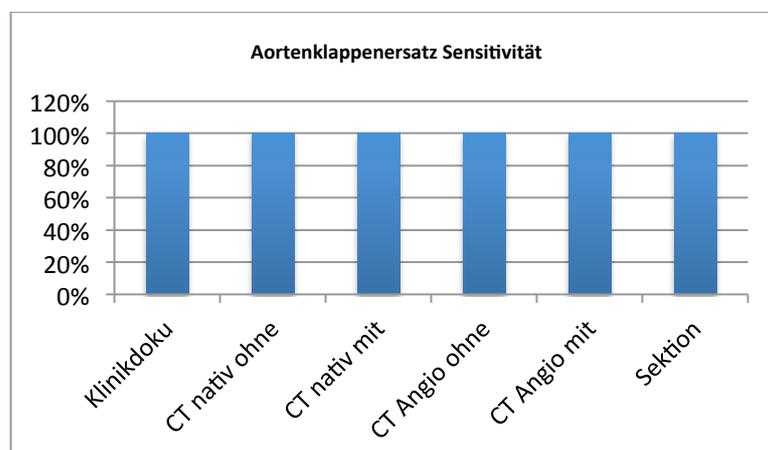


Abbildung 3.11: Sensitivität des Aortenklappenersatzes (n = 4)

Abbildung 3.11 zeigt, dass ein konventioneller Aortenklappenersatz in PMCT und PMCTA ebenso mit einer Sensitivität von 100 % darstellbar ist wie bei der Sektion.

TAVI

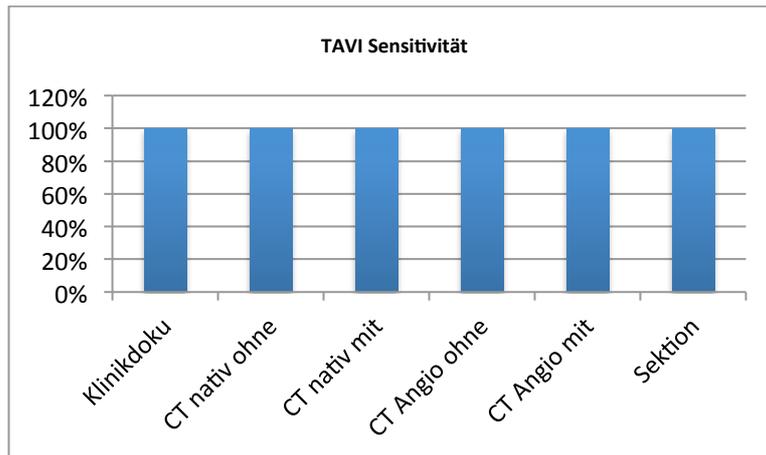


Abbildung 3.12: Sensitivität des TAVI (n = 4)

Stent

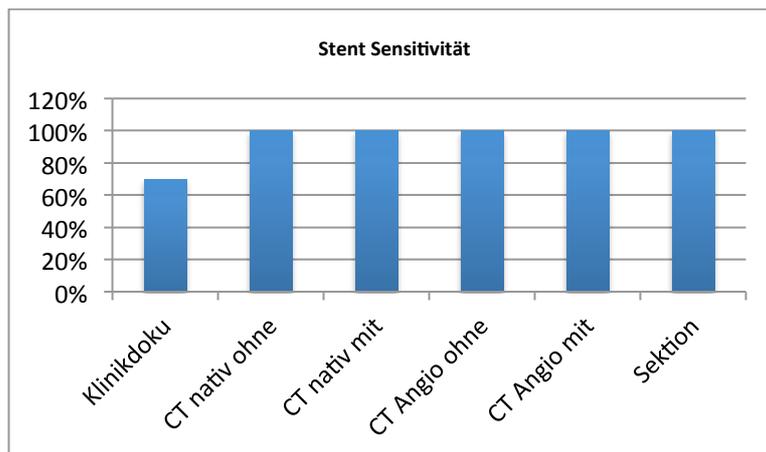


Abbildung 3.13: Sensitivität der Stentimplantation (n = 4)

Sowohl TAVI- als auch Stent-Operationen werden bei den bildgebenden Verfahren ebenso gut wie bei der Sektion zu diagnostizieren (vgl. Abb. 3.12 und 3.13).

3. 2. 2. 2 Allgemeine Befunde

In dieser Arbeit sind unter „allgemeinen Befunden“ solche zu verstehen, die nicht kardiovaskuläre Befunde sind. Vergleicht man die Diagnose der Sektion mit den bildgebenden Verfahren, bestätigen beide Methoden zu 100 % eine Blutung, Osteoporose und allgemeine Knochenbrüche.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass bei der Sektion ältere Brüche überhaupt nicht, Zysten in Organparenchym mit einer Sensitivität von 83 % und reanimationsbedingte Brüche mit 89 % bestätigt werden konnten. Bei den bildgebenden Verfahren wurden diese Diagnosen zu 100 % diagnostiziert.

Stenose

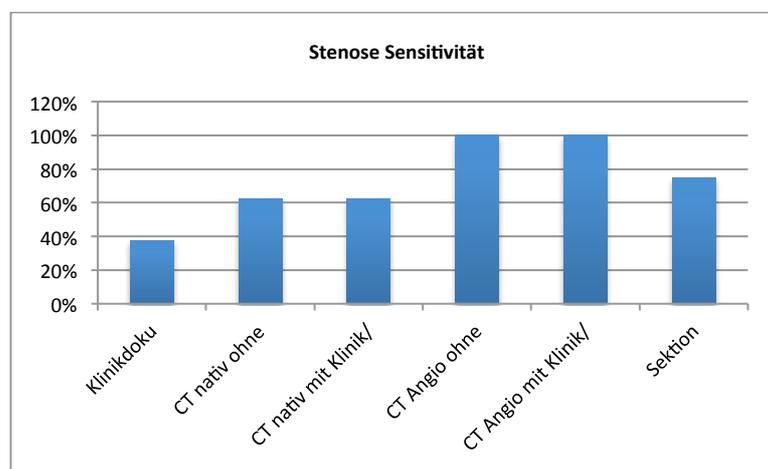


Abbildung 3.14: Sensitivität der Koronarstenose (n = 8) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Zyste im Organparenchym

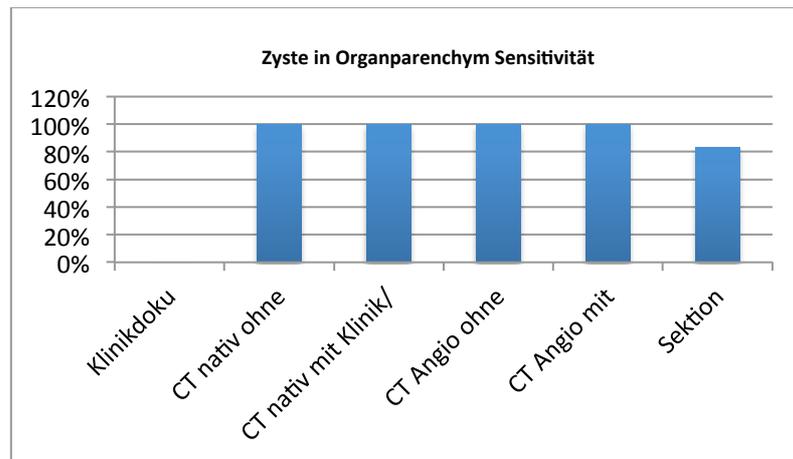


Abbildung 3.15: Sensitivität der Zyste im Organparenchym (n = 6) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Die Zysten wurden bei PMCT und PMCTA mit höherer Sensitivität erkannt als bei der Sektion.

Blutung

Die Blutungen wurden in zwei von zwei Fällen sowohl durch die Sektion als auch durch die PMCT und PMCTA wiedererkannt.

Frische Knochenbrüche, sonstige

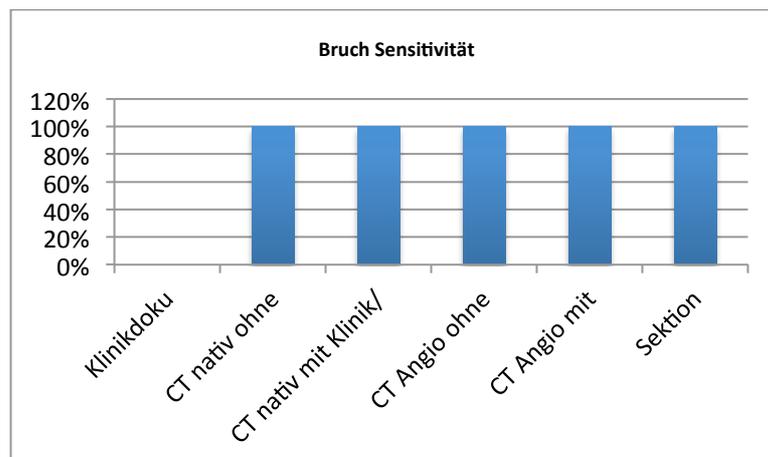


Abbildung 3.16: Sensitivität der frischen Knochenbrüche (n = 6) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Ältere Rippenbrüche

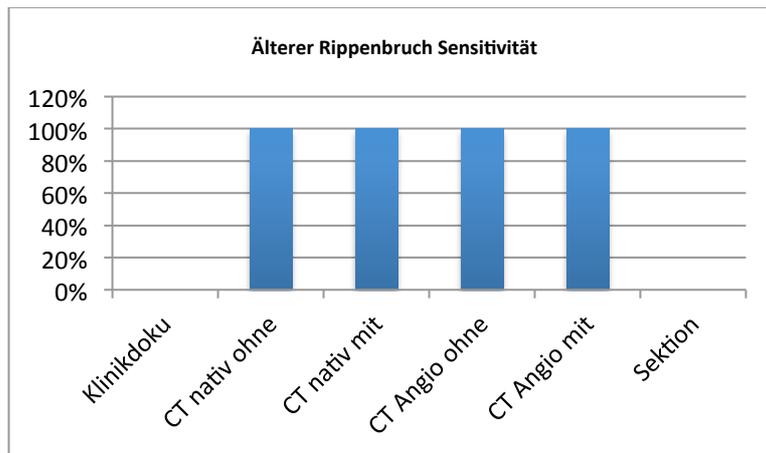


Abbildung 3.17: Sensitivität der älteren Rippenbrüche (n = 8) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Rippenbrüche (reanimationsbedingt)

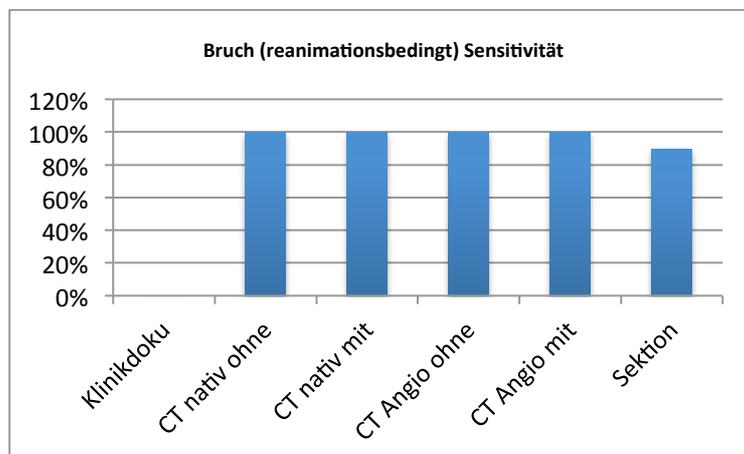


Abbildung 3.18: Sensitivität der reanimationsbedingten Rippenbrüche (n = 28) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Hirnödem

Das Hirnödem wurde in zwei von zwei Fällen von der Sektion und bei einem von zwei Fällen von der PMCTA erkannt. Eine Diagnose des Hirnödems konnte durch die PMCT und Klinikdokumentation nicht befundet werden.

Myokardhyperplasie/-hypertrophie

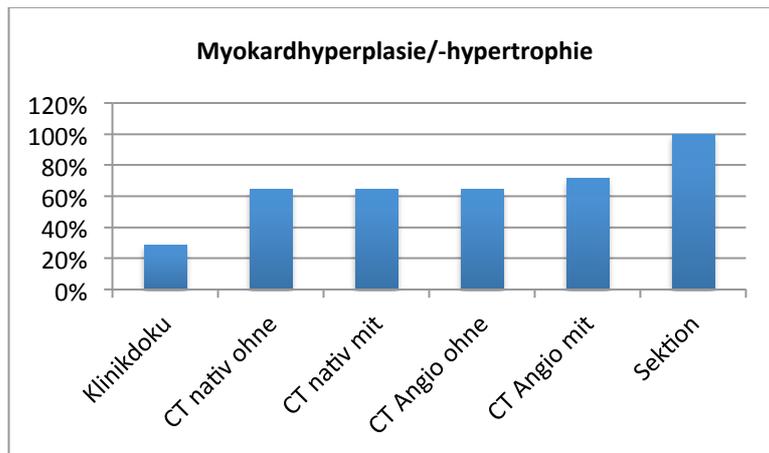


Abbildung 3.19: Sensitivität der Myokardhyperplasie/-hypertrophie (n = 17) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Allgemeine Gefäßsklerose

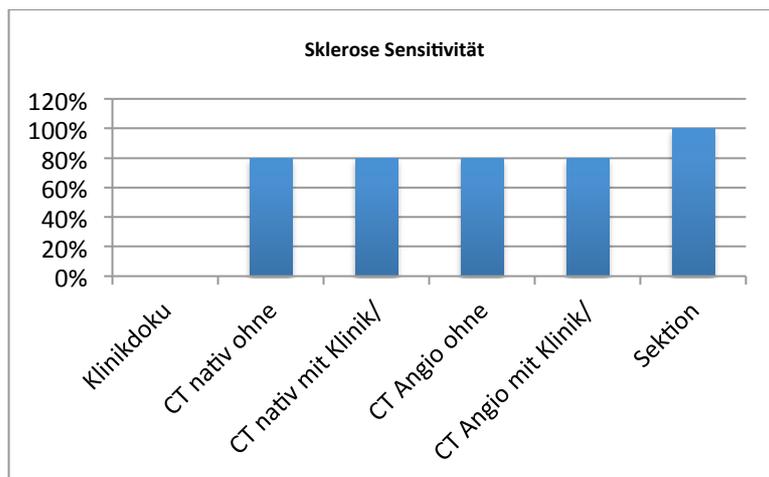


Abbildung 3.20: Sensitivität der Sklerose (n = 20) in den bildgebenden Verfahren, der Sektion und der Klinikdokumentation

Tabelle 3.6 stellt die Spezifität der kardiovaskulären Befunde durch PMCT/PMCTA dar. Bei den bildgebenden Verfahren lassen sich wenige falsch positive Befunde darstellen. Die genannten kardiovaskulären Befunde sind die validierte Diagnose des Sektionsverfahrens.

Tabelle 3.6: Spezifität der kardiovaskulären Befunde

Falsch-positive Diagnosen durch bildgebendes Verfahren	Anzahl
Koronarsklerose	5
Allgemeine Gefäßsklerose	3
Myokardhyperplasie/-hypertrophie	2
Osteoporose	2
Aortenklappenstenose	1
Stent	1
Koronarer Bypass	1
Kardiale Dilatation	1

3.2.3 Einzelfalldarstellung der prospektiven Fälle

In diesem Abschnitt werden Diagnosen nach PMCT und Sektion bei Fällen vorgestellt, die eine kardiovaskuläre Intervention oder eine Operation hatten. Es wurden alle Befunde aufgenommen, dabei aber folgende Regeln aufgestellt:

- 1) Eine postmortale Veränderung wurde nicht als Befund aufgenommen.
- 2) Befunde ohne konkreten potentiellen klinischen Wert wurden nicht aufgenommen.
- 3) Befunde, die zusammengefasst beschrieben wurden, wurden nicht nochmals einzeln aufgenommen (z. B. Blutstauung im Einzelorgan, zusammengefasst als Rechtsherzversagen).

Die Tabelle 3.7 gibt einer Übersicht über die Diagnosen der Einzelfälle, welche im Anschluss detailliert erläutert werden.

Tabelle 3.7: Eine Gesamtübersicht der prospektiven Fälle

Fall	Geschlecht	Alter	OP (Aktuell und anamnestisch zurückliegend)
1	w	61	Stent im LAD (frisch), Stent im RCX, Stent im R. intermedius, Ballondilatation (frisch)
2	w	82	Aortenklappenersatz, Aorta ascendens-Ersatz (frisch)
3	w	72	Stent im LAD (frisch)
4	m	91	TAVI (frisch)
5	w	73	LIMA-Bypass (frisch), RIMA-Bypass (frisch), RVAD (frisch), Aortenklappenersatz (frisch), aortokoronarer Venenbypass
6	m	56	Stent im LAD (frisch)
7	m	54	Stent im LAD
8	m	61	Aorta ascendens-Ersatz (frisch), Bypass (frisch), Stent in Aorta ascendens (frisch), Stent im RCA (frisch)
9	m	85	Aorta ascendens-Ersatz, TAVI 2x (frisch), ACB, LIMA, RIMA
10	m	72	Aortenklappenersatz, Mitralklappenersatz

Stents in PMCT und PMCT-Angiographie

Durch diese bildgebenden Verfahren werden drei Fragestellungen beantwortet:

- Ob ein Stent verschlossen ist.
- Ob eine Reststenose im Stentbereich vorliegt.
- Ob in den anderen Koronararterien eine fortgeschrittene Grunderkrankung erkennbar ist {Brüning et al. 2008}.

Fall 1

Anamnese:

61 Jahre alte Patientin. Sie litt unter arterieller Hypertonie, Diabetes mellitus, Penicillinallergie, instabiler Angina Pectoris und koronarer Zweigefäßerkrankung. Sie bekam im Januar 2013 ein Stentimplantat auf RCX und Ramus intermedius. Im Juli 2013 wurde eine erneute Stentimplantation auf den LAD durchgeführt.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

LAD	Stent, frisch
RCX	Stent, älter
R. intermedius	Stent, älter
LAD	Ballondilatation

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

LCA Hauptstamm	Koronarsklerose, hochgradig
LAD	Koronarsklerose, hochgradig
RCX	Koronarsklerose, mäßig
RCA	Koronarsklerose, mäßig

Kardiovaskuläre Pathologien in der PMCTA:

LCA Hauptstamm	Koronarsklerose, hochgradig
LAD	Koronarsklerose, hochgradig
RCX	Koronarsklerose, mäßig
RCA	Koronarsklerose, mäßig

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

rechter Ventrikel	Hypertrophie
rechter Ventrikel	erhebliche Lipomatosis
Mitralklappe	Geringe Stenose
Trikuspidalklappe	Geringe Stenose
Herzvorderwand	Infarkt
Gallenblase	Cholezystektomie
Eierstock rechts	Im rechten Eierstock 3 cm messende, gelbe Flüssigkeit enthaltende Zyste

Todesursache (auf Basis der Sektion):

Wiederkehrender Herzinfarkt

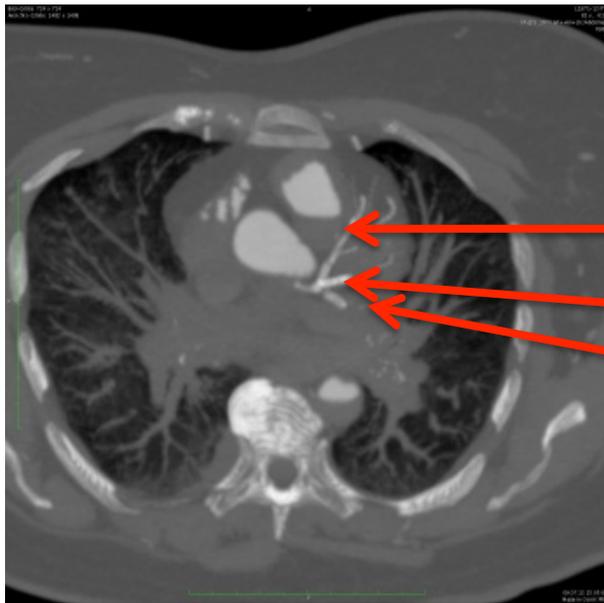
Stents in PMCT und PMCT-Angiographie

In diesem Fall wurden alle Stents bei PMCT und PMCT-Angiographie diagnostiziert und bestätigt. Im Stentbereich von RCX und R. intermedius war eine Stenose erkennbar, während LAD frei durchgängig war.

Die meisten koronaren Stents bestehen aus Edelstahl und nicht aus Kunststoff. Daher sind die Aufnahmen besonders mit einem 16-zeiligen-CT durch ihre räumliche und (im klinischen Kontext) zeitliche Auflösung gut beurteilbar.

In der Abbildung 3.20, einer PMCT-nativ-Aufnahme, sind drei Stents erkennbar. Ein Stent kann im CT-Bild eine durchgehende Wand wie in der Abbildung 3.20 (RCX) haben oder er kann aus einem Gitter bestehen (vgl. Abbildung 3.21: LAD- Stent). Im Schaubild 3.21 ist neben einem Stent im LAD zusätzlich eine Verkalkung und Ballondilatation dieser Gefäße sichtbar. Die Dicke der Gefäße kann die Folge der Ballondilatation sein.

In der koronaren Aufnahme (Abb. 3.20) ist ersichtlich, dass das Ostium des R. intermedius durch den LAD-Stent abgedeckt ist. Da als Koronarstent kein Y-Stent (bzw. nur als seltene Ausnahme, z. B. Fa. Medtronic) verwendet wird, ist ein solcher Stent in diesem Fall nicht anzunehmen.

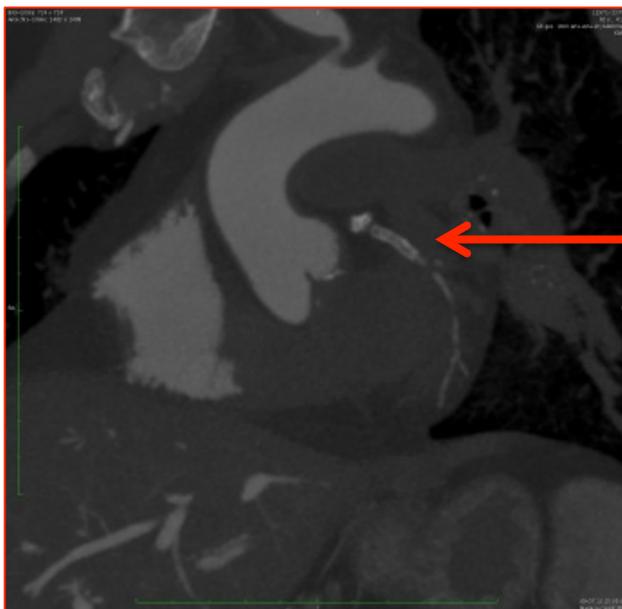


LAD-Stent

R.intermedius-Stent

RCX-Stent

Abbildung 3 20: PMCT, axiale Rekonstruktion mit LAD-, R. intermedius- und RCX-Stent



LAD-Stent u. LAD-Verkalkung

Abbildung 3.21: PMCTA, sagittale Rekonstruktion mit LAD-Verkalkung und Stent

Hypertrophie/Hyperplasie

Eine Hypertrophie des rechten Ventrikels wurde in diesem Fall durch die Sektion erkennbar. Dieser Befund wurde röntgenologisch nicht bestätigt, da hier die Möglichkeit besteht, dass im Myokard eingelagertes Fettgewebe mit epikardialem Fettgewebe verwechselt wurde.

Fall 2

82 Jahre alte Patientin. Sie litt unter einer arteriellen Hypertonie, Rheuma und chronischem Vorhofflimmern. Zum Zeitpunkt der Einlieferung lautete die Diagnose der Patientin: progredientes Aneurysma der Aorta ascendens und Aortenklappenstenose. Sie bekam im Februar 2013 am UKE einen Aortenklappenersatz und eine Aorta ascendens-Prothese. Sie wurde direkt nach der OP auf die herzchirurgische Intensivstation verlegt. Drei Tage später starb die Patientin. Die erlitt als kardiovaskuläre Komplikation eine Perikardtamponade.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

Aortenklappe	Aortenklappen-Ersatz
Aorta ascendens	Gefäßprothese

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

Aortenklappen	Stenose
Herz	Rechtsherzdekompensation bei Cor pulmonale (Vergrößerung des rechten Herzens), Dilatation von Vorhöfen und rechtem Ventrikel, hochgradige Hypertrophie von rechter und linker Herzmuskulatur
Lunge	Pneumothorax rechts mit Pleuraerguss, Lungenödem
Aorta ascendens und descendens	Aneurysma

Kardiovaskuläre Pathologien in PMCT-Angio:

rechter Vorhof	vergrößert
rechter Ventrikel	Rechtsherzdekompensation
rechter Ventrikel	Cor Pulmonale (Vergrößerung des rechten Herzens)
Aorta ascendens, descendens	Aneurysma
linker Ventrikel	Hypertrophie, hochgradig
Vorhöfe und rechter Ventrikel	Dilatation
rechte und linke Herzmuskulatur	Hypertrophie
LAD	chronische Koronarinsuffizienz, Stenose
RCX	chronische Koronarinsuffizienz, Stenose

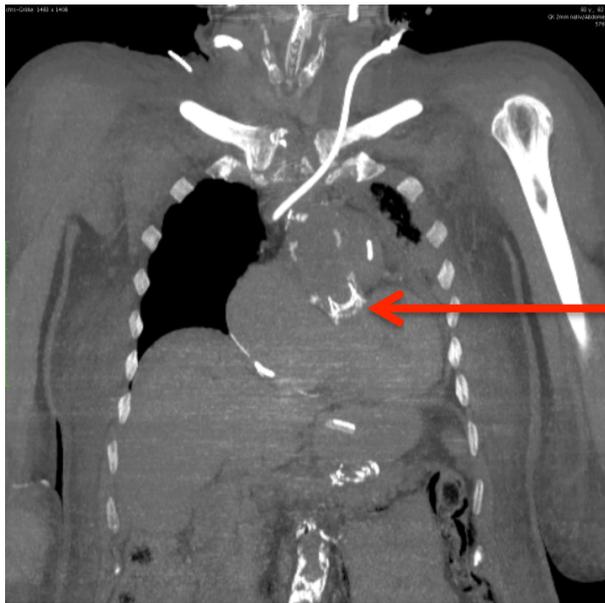
Aortenklappen	Stenose
Aorta	Aortenklappenstenose
Lunge	Pneumothorax re. mit Erguss
Lunge	Lungenödem

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

linker Ventrikel	Septum mit teilweiser Obstruktion des linksventrikulären Ausflußtrakts (LVOT)
Mitralklappe	drehrunde Sehnenfädenverdickung
Mediaerkrankung der Aorta	Medionecrosis aortae microcystica
Herz	Lipomatosis cordis rechts hochgradig, Endokarditis
Papillamuskel und Herzseptum	multiple Herde glasiger Einzelfasernekrosen
Aorta abdominalis bis zur Bifurkation	Aneurysma
Venen	Thrombose der V. jugularis re. 6 cm
Lunge	Pulmonalarteriensklerose
Lunge	Emphysem-Bronchitis
Lunge	Atelektase
Lunge	Lungenödem
parenchymatöse Organe des großen Kreislaufes	Ödeme und Stauung
Gelenke	rheumatische Degeneration
Achsen skelett	Osteoporose
Unterhaut	Anasarca
Schädelkalotte	Hyperlipidämie-Zeichen
Niere	Nierenzyste

Todesursache(auf Basis der Sektion):

Kardiale Dekompensation

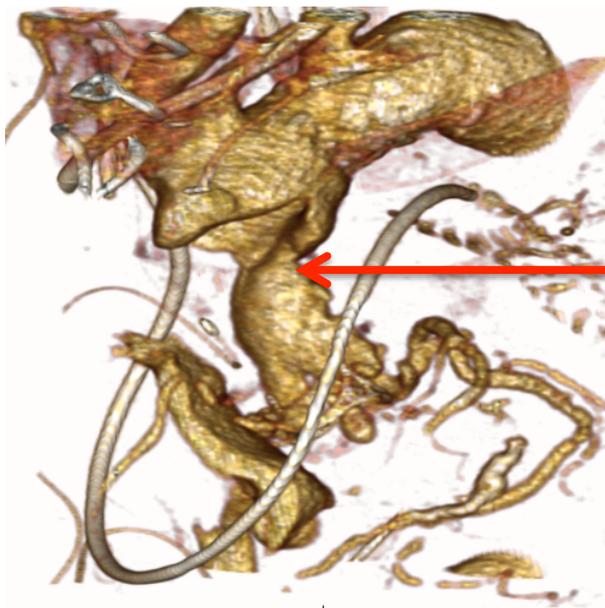


Aortenklappenersatz

Abbildung 3.22: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Aortenklappenersatz

Gefäßprothese in der PMCTA:

In diesem Fall wurde ein Aorta ascendens-Ersatz durch PMCT/ PMCTA und Sektion gefunden. Der Radiologe achtet auf die Differenz zwischen Lumen der Aorta und der Prothese. Eine zusätzliche klinische Information erleichtert die Befundung.



Aorta ascendens-Deformation

Abbildung 3.23: 3D-Volume Rendering, sagittale Rekonstruktion mit Aorta ascendens deformiert

Perikardtamponade:

Die Herzbeutelamponade ist eine kritische Kompression des Herzens durch Flüssigkeit, Blut oder Gas im Herzbeutel mit Schädigung der Strömungsmechanik des Blutes. Klinisch können 150 - 200 ml Flüssigkeit zur Tamponade führen {Schoeneberger et al. 2008}.

In diesem Fall wurde nur bei der Sektion eine Tamponade im Herzbeutel beschrieben. Radiologisch wurde im PMCT hier ein kleiner Herzbeutelerguss diagnostiziert. Der Erguss erschien aber radiologisch zu klein, um das Herz zu komprimieren.

Fall 3

72 Jahre alte Patientin. Sie litt unter arterieller Hypertonie, Osteoporose und Neurodermitis. Kurz vor ihrem Tod wurde im Klinikum Elmshorn aufgrund des Verdachtes einer koronaren Herzerkrankung eine Koronarangiographie durchgeführt. Hier wurde eine Zweigefäß-KHK mit 70%iger LAD- und 30%iger RCA-Stenose festgestellt. Daraufhin wurde eine DES-Implantation in die LAD mit gutem Ergebnis durchgeführt. Postinterventionell wurde jedoch eine Einblutung in den rechten Oberschenkel bei Aneurysma spurium im Zusammenhang mit der zuvor angelegten Katheterschleuse erkannt. Die Blutung in der rechten Leiste wurde durch die Sektion und PMCTA bestätigt.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

LAD	Stentimplantation (frisch)
-----	----------------------------

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT (keine Zusatzinformationen in der PMCTA):

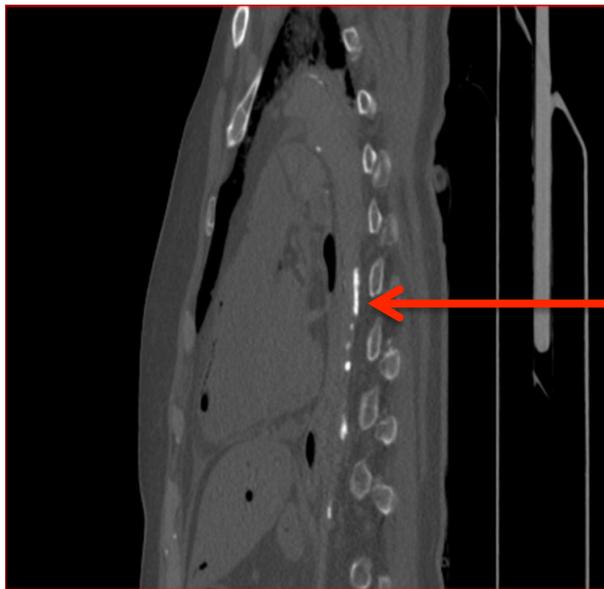
linke Kammer	Hyperplasie/Hypertrophie
rechte Kammer	Hyperplasie/Hypertrophie
R. intermedius der LCA	gering verkalkt
Aorta	Sklerose
Lunge	Erguss

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Vorhof	Fibrose
RCA	Koronarsklerose, gering
Herzklappenapparat	Fetteinlagerung
Arterien	Hypertonie
Herz	maligne Herzrhythmusstörung
Mittelfell	Flüssigkeit in der Luftröhre
Bronchien	COPD
Bauchschlagader	Sklerose
Beckenschlagadern	Sklerose
rechte Leiste	Blutung
Rippen	Frakturen rechts 2 - 7, links 2 - 6
Nebennierenrinden	Hyperplasie
Darmschleimhaut	Divertikulose
Mittelfell	Flüssigkeit in der Luftröhre
Skelett	Osteoporose

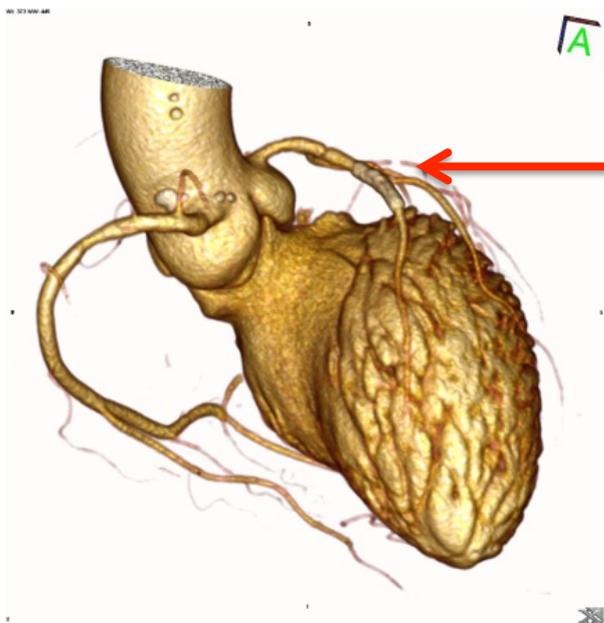
Todesursache (auf Basis der Sektion):

Herz-Kreislauf-Versagen



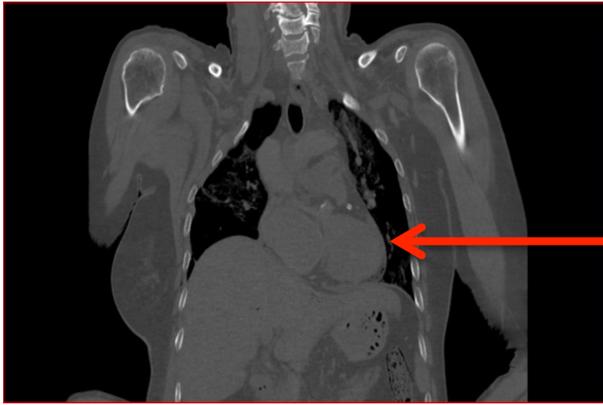
Aorten-Verkalkung

Abbildung 3.24: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit Aorten-Verkalkung



LAD-Stent

Abbildung 3.25: PMCTA, arterielle Phase. 3D-Volume-Rendering, frontale Rekonstruktion mit LAD-Stent



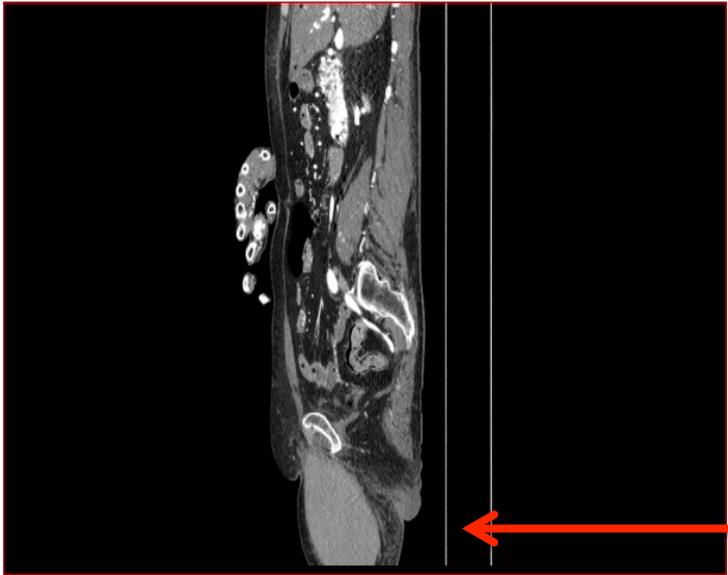
linke Kammer vergrößert

Abbildung 3.26: PMCT, frontale Rekonstruktion mit vergrößerter linker Kammer



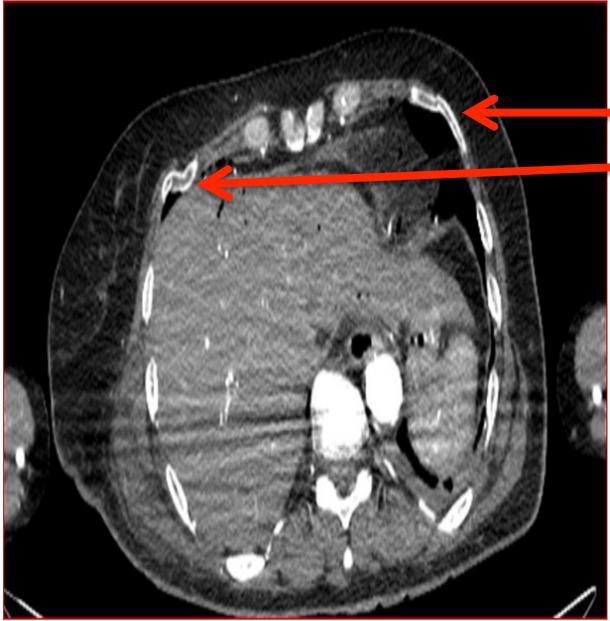
Pleuraergüsse

Abbildung 3. 27: PMCT, axiale Rekonstruktion mit kleinen Pleuraergüssen.



Oberschenkelblutung

Abbildung 3.28: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit kleinen Pleuraergüssen und rechter Oberschenkelblutung aus A. femoralis



Rippenbrüche 6 und 7

Abbildung 3.29: PMCT, axiale Rekonstruktion mit Rippenbrüchen

Fall 4

91 Jahre alter Patient. Bekannt waren chronische COPD, arterielle Hypertonie und Hypercholesterinämie, außerdem eine frühere TBC. Es wurde bei ihm eine hochgradige Aortenklappenstenose festgestellt. Daraufhin wurde am UKE eine interventionelle transfemorale Implantation einer Aortenklappe (TAVI) durchgeführt.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

Aortenklappe	TAVI (frisch)
--------------	---------------

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

Herz li. Ventrikel	Hypertrophie/Hyperplasie
LCA	Koronarsklerose, hochgradig
RCX	Koronarsklerose, hochgradig
Aortenklappe	Stenose
Aorta	Aortenklappenstenose, hochgradig

Kardiovaskuläre Pathologien in der PMCTA:

Ventrikel, Vorhof	Ruptur (Defekt)
Herz li. Ventrikel	Hypertrophie/Hyperplasie
LCA	Koronarsklerose, hochgradig
RCX	Koronarsklerose, hochgradig
Aortenklappe	Stenose
Aorta	Aortenklappenstenose, hochgradig

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Reizleitungssystem: Atrioventrikularknoten	verletzt
Reizleitungssystem: Hissches Bündel links	verletzt
Pulmonalarterien	Sklerose
Aortenbogen	poststenotische Dilatation
Niere	arteriosklerotische Schrumpfnieren
Niere	Zyste
Colon sigmoideum	Divertikulose

Todesursache (laut Sektionsbefund):

Schocksyndrom bei akutem intrakardialen Links-Rechts-Shunt.



Aortenklappenverkalkung

Abbildung 3.30: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit Aortenklappenverkalkung



Subarachnoidalzyste

Abbildung 3.31: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit Subarachnoidalzyste im Gehirn

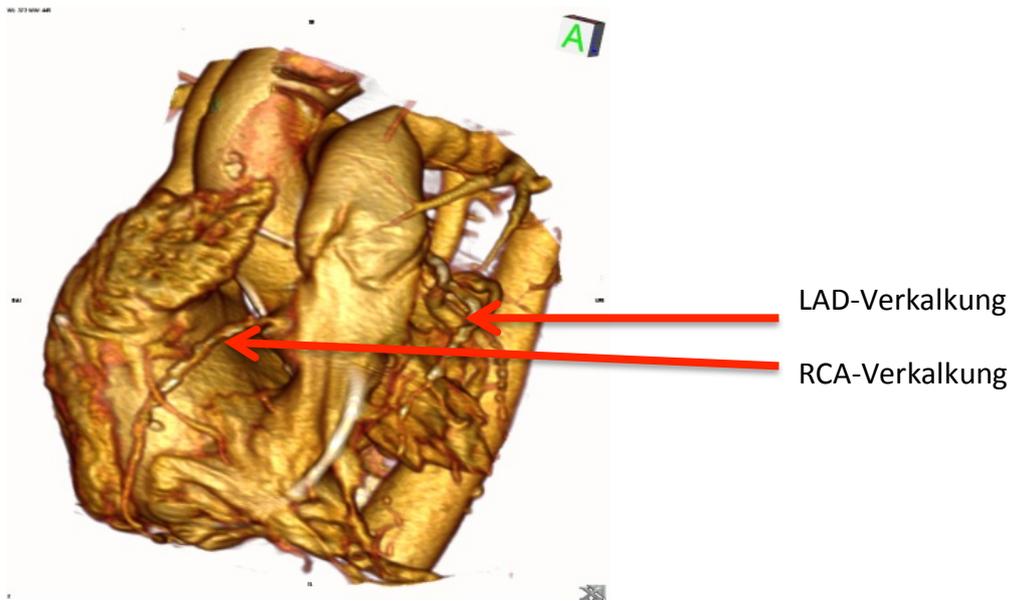


Abbildung 3.32: PMCTA, dynamische Phase, 3D-Volume-Rendering, frontale Rekonstruktion mit LAD- und RCA-Verkalkung

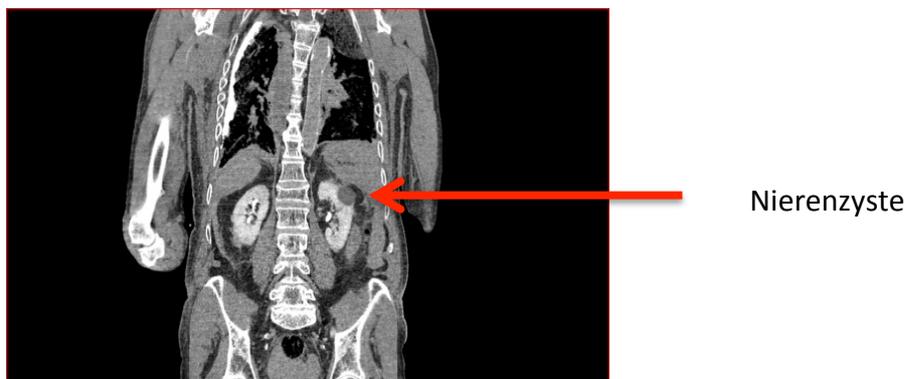
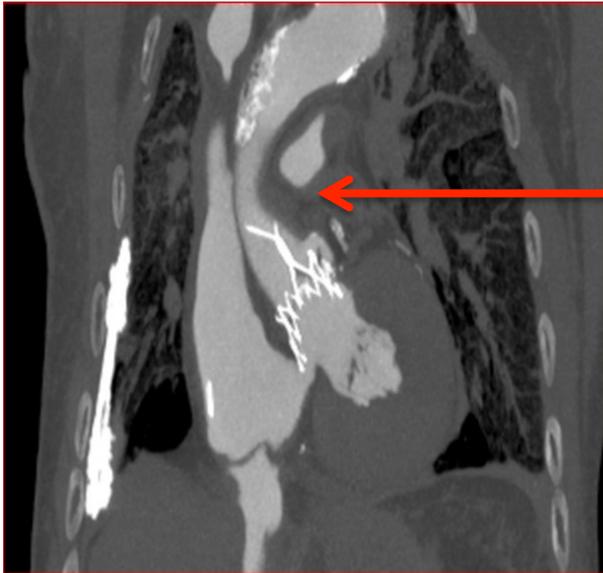
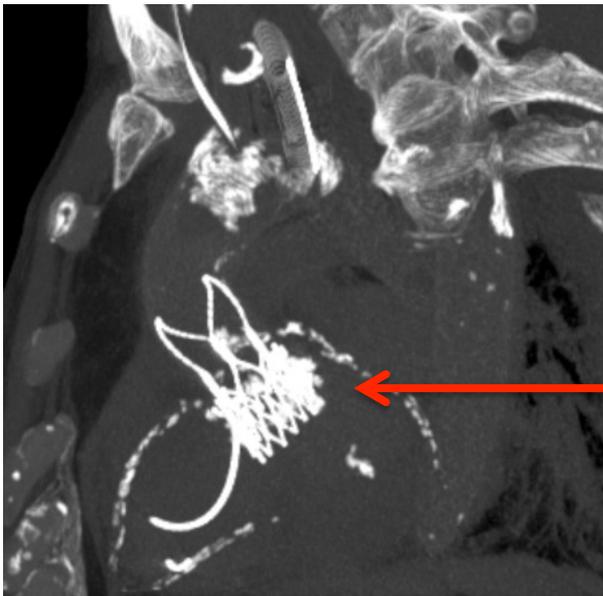


Abbildung 3.33: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Nierenschrumpfung rechts und Nierenzyste links



Ruptur der Aorta

Abbildung 3.34: PMCTA, arterielle (!) Phase, frontale Rekonstruktion mit Ruptur der aortalen Ausflussbahn in den rechten Vorhof und vorzeitige Füllung des venösen Systems



TAVI

Abbildung 3.35: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit TAVI

Aortenbogendilatation:

Die Aortenbogendilatation wurde durch PMCT und PMCTA nicht beschrieben. Bei der Sektion wurde dieser Befund erstellt. Ist der Aortenbogendurchmesser größer als 3 cm, dann wird eine Aortenbogendilatation röntgenologisch diagnostiziert. Dieser Schwellenwert

bezieht sich allerdings auf lebende Patienten. Hier wird der Durchmesser des Aortenbogens mit 2,4 cm gemessen {Vogel: mündliche Besprechung}.

Ruptur:

Ruptur bedeutet die Zerreißung oder den Riss eines inneren Organs. Abb. 3.34 zeigt eine PMCTA. Hier ist ersichtlich, dass eine Verbindung zwischen dem Aortenring und dem rechten Vorhof durch Kontrastmittelaustritt besteht. Darüber hinaus stellt diese Abbildung dar, dass der weitmaschige Anteil der TAVI vor dem Ostium der Koronararterien liegt.

Fall 5

73 Jahre alte Patientin. Das Grundleiden der Patientin war eine koronare Herzkrankheit, versorgt mit ACVB, ein Aortenklappenersatz, eine arterielle Hypertonie und Hyperlipoproteinämie. Im Juni 2013 erhielt sie im UKE zwei Bypässe und eine Aortenklappe, zunächst ohne Komplikation. Zwei Tage später wurde sie erneut operiert. Am nächsten Tag wurde sie ein weiteres Mal operiert, da es zum Verschluss eines Bypasses kam. Einen Tag später verstarb die Patientin.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

rechte Kammer	RVAD (temporär), frisch
rechte Kammer	RVAD (temporär), frisch
RCA	RIMA(T)-Bypass, frisch
LAD	LIMA-Bypass, frisch
ACV	Bypass
Aortenklappe	Aorta, frisch

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT/ PMCTA:

Herzkammerwand links	Hypertrophie/Hyperplasie
LAD	Koronarsklerose, hochgradig
LCA	Ostium teils bedeckt
RCA	Ostium teils bedeckt durch die Segel der Aortenklappe
Aorta	Stenose, hochgradig
A. carotis interna re.	Stenose, hochgradig
RCA	Ostium teils bedeckt durch die Segel der Aortenklappe

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Knie	Knie-TEP links und rechts
Appendix	Appendektomie
Gallenblase	Cholezystektomie
Atemwege	Asthma bronchiale
A. carotis comm. rechts in, der Gabelung	Stenose
Hirn	Hirnödem
Pfortader	Dilatation (die Wand ist etwas verdickt)
gemeinsame Beckenschlagader	hochgradig verkalkt
Beckenschlagader re.	hochgradig verkalkt

Lungenschlagader	Zeichen des Hypertonus
Rippen re. 1, 2 und 5; Rippe li. 1	Bruch
gemeinsame Beckenschlagader	Stent

Todesursache (nach Sektionsbefund):

Herzmuskelversagen

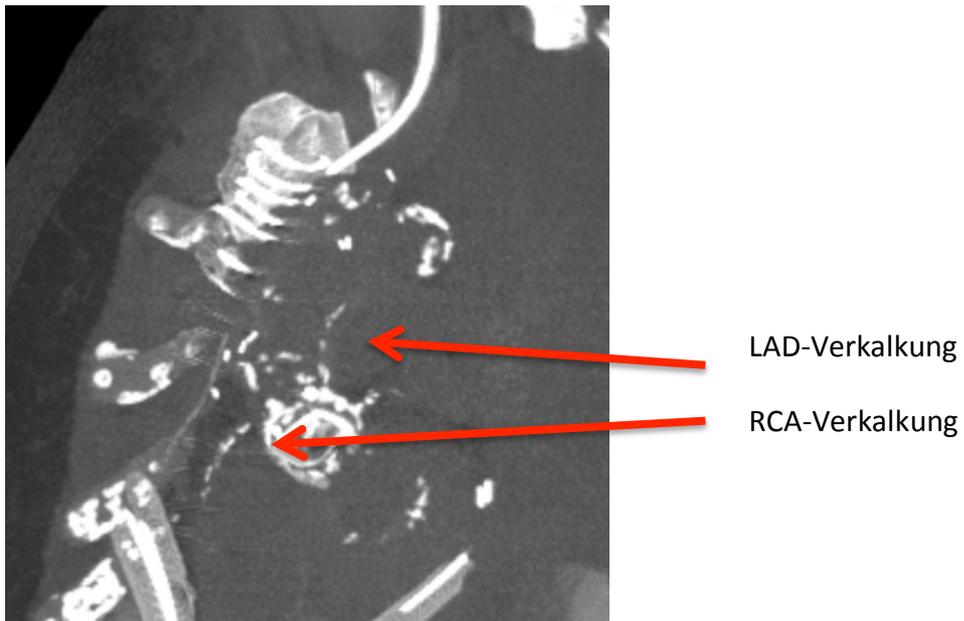
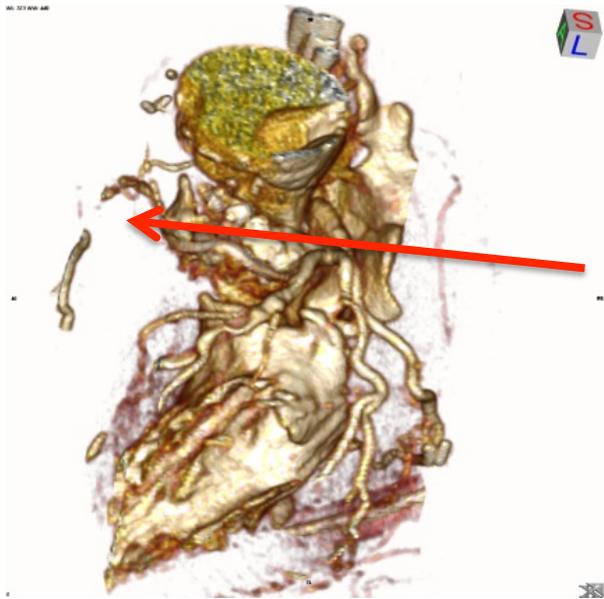
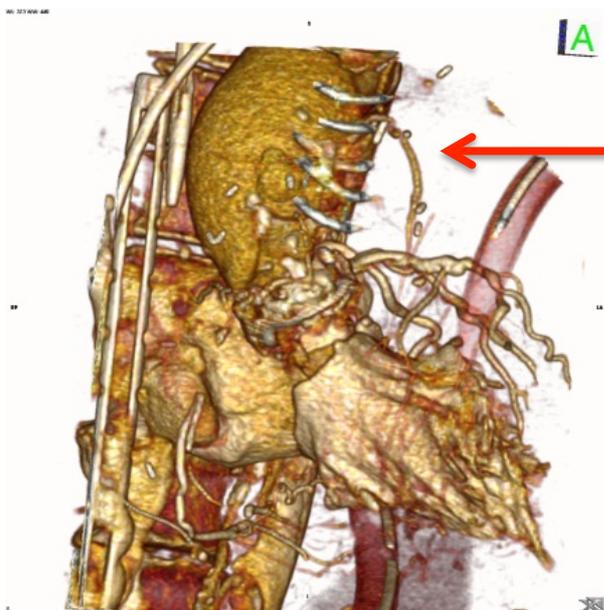


Abbildung 3.36: PMCT, frontale Rekonstruktion mit LAD- und RCA-Verkalkung



LCA-Verkalkung

Abbildung 3.37: PMCTA, 3D-Volume-Rendering, sagittale Rekonstruktion mit LCA-Verkalkung



LIMA

Abbildung 3.38: PMCTA, 3D-Volume-Rendering, frontale Rekonstruktion mit LIMA-Bypass

Fall 6

56 Jahre alter Patient. Er bekam von seinem Hausarzt aufgrund von Brustschmerzen und eines hängenden Arms ein blutverdünnendes Medikament gespritzt. Nach der Notfalleinlieferung bekam er erneut ein blutverdünnendes Medikament. Ein Stent wurde bei der notfallmäßig durchgeführten Herzkatheteruntersuchung in die linke Herzkranzschlagader eingebracht. Der Patient verstarb am Eingriffstag in der Klinik in Wandsbek.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

LAD	Stent frisch
-----	--------------

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT/ PMCTA:

rechter Vorhof	kardiale Dilatation
RCX	wenig verkalkt
LAD	wenig verkalkt
RCA	wenig verkalkt
Herz	Hyperplasie/Hypertrophie
Aorta	Sklerose
Lunge	Ödem

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

beidseits Rippe 2 - 7	Bruch
Brustbein	Anbruch
Nebennierenrinde	kleinknotige Verdickung
Bauch- und Beckenschlagader	fettige Degeneration

Todesursache (nach Sektionsbefund):

Am ehesten Atmungsversagen bei blutiger Überwässerung der Lunge aufgrund allgemein akut massiv herabgesetzter Blutgerinnungsfunktion (hämorrhagische Diathese).

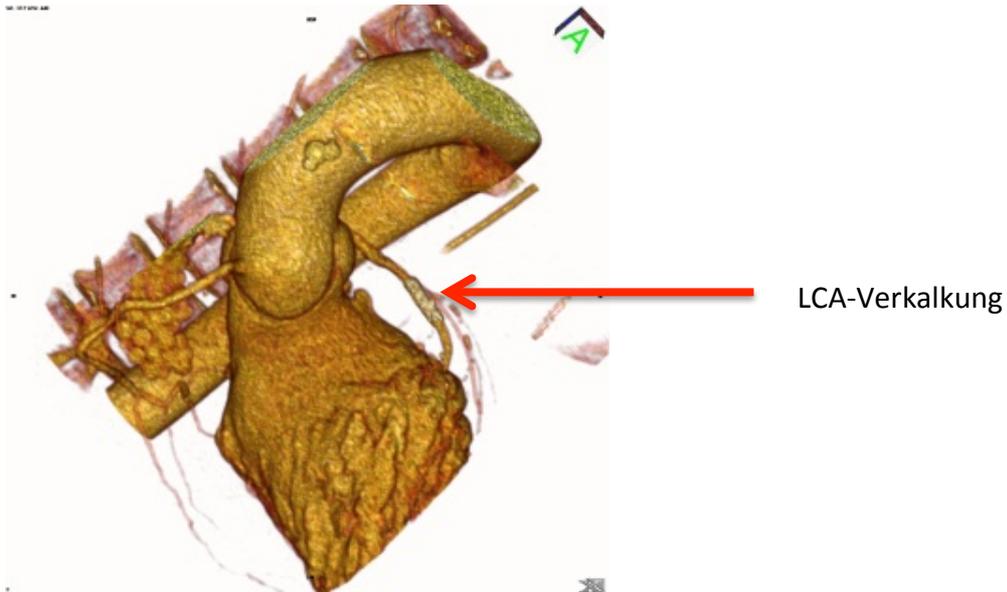


Abbildung 3.39: PMCTA, arterielle Phase, 3D-Volume-Rendering frontale Rekonstruktion mit der LCA-Verkalkung.

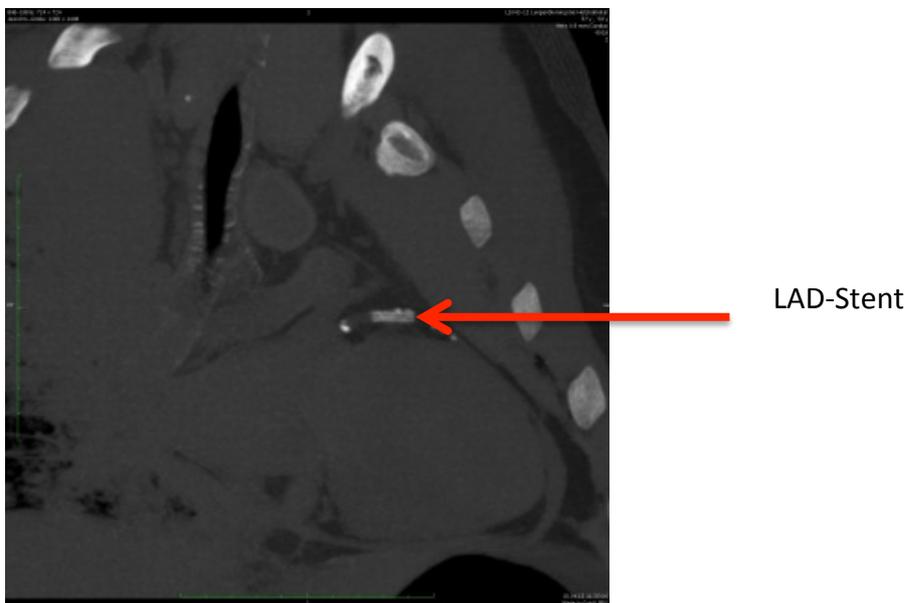
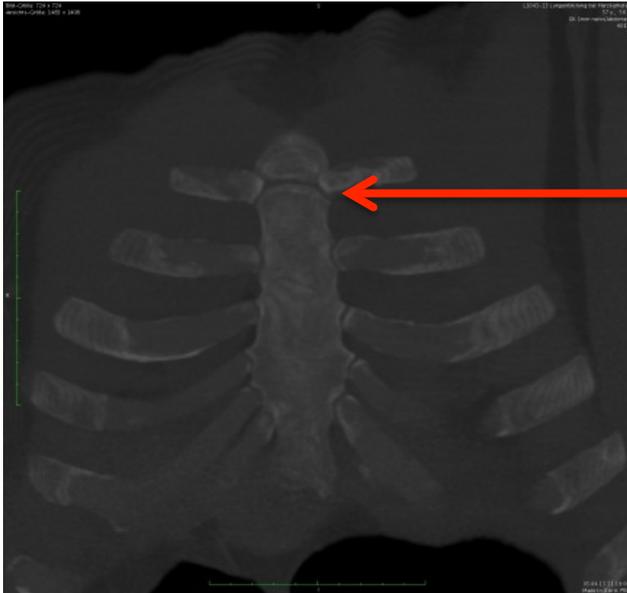


Abbildung 3.40: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit dem LAD-Stent



Brustbeinfraktur

Abbildung 3.41: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Brustbein-Querfraktur



Truncus Coeliacus-Abgangstenose

Abbildung 3.42: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit der Truncus Coeliacus-Abgangsstenose

Fall 7

56 Jahre alter Patient. Im Jahr 2001 erfolgte bei dem Patienten eine LAD-Stent-Versorgung. 2013 wurde bei ihm eine Echokardiographie durchgeführt mit dem Ergebnis, dass eine infarkttypische Minderbewegung der vorderen Kammerscheidewand feststellbar war. Aufgrund dessen wurde eine Herzkatheteruntersuchung angeordnet. Im Februar 2013 wurde die Bypass-Operation aufgrund eines schwerwiegenden Befundes der Äste der linken Herzkranzschlagader nicht durchgeführt und der Patient wurde direkt in eine andere Klinik in Bremen verlegt. Dort angekommen, kam es auf der internistischen Intensivstation zum Herzstillstand.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

LAD	Stent, alt
-----	------------

Kardiovaskuläre Pathologien in PMCT sowie PMCTA:

R. intermedius	Stenose, hochgradig
R. diagonalis	Stenose, hochgradig
RCX	Stenose, hochgradig
RCA	Stenose, hochgradig
LCA	Stenose, hochgradig
LAD	Stenose, hochgradig

Weitere pathologische Befunde, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Herz	Hyperplasie/Hypertrophie
Trikuspidalklappe	Hyperplasie/Hypertrophie
Pleura	Anthrakose
links Rippenfell und Lungenfell	flächenhafte Verwachsung
Milz	entfernt
Links Rippe 5 - 12	Bruch
Rippen	Osteoporose
Nebennierenrinden	Hyperplasie/Hypertrophie
Bauch- und Beckenschlagader	hochgradige Sklerose
Nieren	Zyste

Todesursache (gemäß Sektionsbefund):

Wiederholter Herzinfarkt

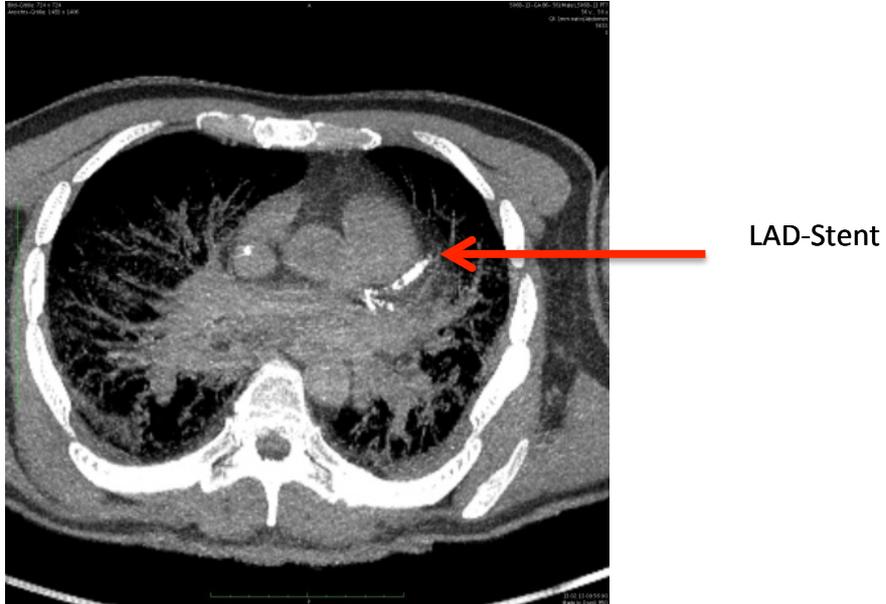
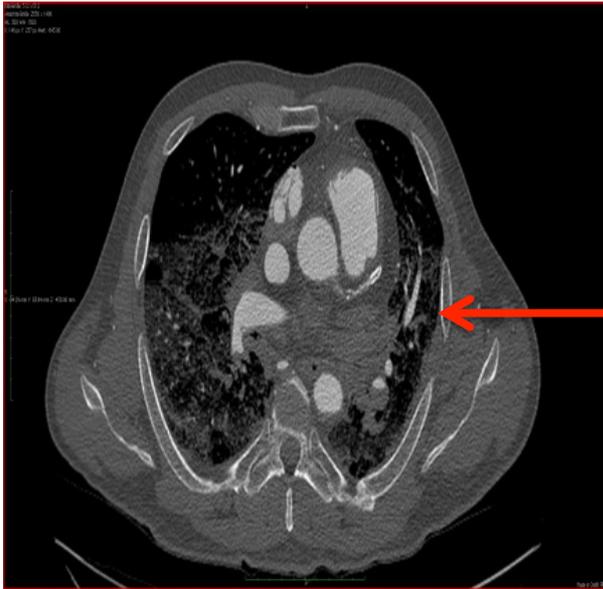


Abbildung 3.42: PMCT, axiale Rekonstruktion mit LAD-Stent



Abbildung 3.43: PMCTA, arterielle Phase, axiale Rekonstruktion mit Herzvergrößerung



LAD-Verkalkung

Abbildung 3.44: PMCTA, venöse Phase, axiale Rekonstruktion mit LAD-Stent



RCX-Verkalkung

Abbildung 3.45: PMCTA, arterielle Phase, sagittale Rekonstruktion mit RCX-Verkalkung

Koronarstenose in PMCT und PMCTA

Abbildung 3.46 zeigt eine LAD-Stenose. Es gibt bestimmte Aspekte, die bei der Diagnose einer Koronarstenose im CT zu beachten sind:

- Ist die verdächtige Stelle mit Kontrastmittel gefüllt?
- Gibt es eine Aussparung, die über das Lumen hinausgeht?
- Differenzialdiagnose ist ein Stent. Der Stent ist größer als das Lumen und kontrastiert erheblich mit scharfem Absatz.
- Liegt in unmittelbarer Nähe eine Verkalkung vor, kann diese vom Kontrastmittel in der PMCTA abgegrenzt werden?



Truncus-Coeliacus-Stenose

Abbildung 3.46: PMCTA, arterielle Phase, sagittale Rekonstruktion mit Truncus-Coeliacus-Stenose

Fall 8

61 Jahre alter Patient. Er wurde bei pektanginösen Beschwerden mit v. a. subakutem Herzinfarkt in ein nahegelegenes Krankenhaus eingewiesen. Dort wurde eine Stenose der rechten Koronararterie festgestellt. Beim Versuch der Rekanalisation entstand eine Dissektion bis in die Aorta ascendens. Diese wurde durch Stenting verschlossen. Im CT war eine Dissektion der Aorta von der Aortenwurzel bis in die Aorta ascendens bis kurz vor Abgang der hirnversorgenden Arterien zu erkennen. Der Patient wurde in das UKE verlegt. Im UKE wurde die Aorta ascendens ersetzt sowie eine Bypass-Operation durchgeführt.

In diesem Fall wurde die PMCTA eingesetzt, um zu prüfen, ob die künstlich angelegte Umleitung der Bypassgefäße durchgängig war oder nicht. Hier wurde in der PMCTA durch einen Kontrastmittelaustritt eine minimale Blutung im Bereich der Operation (in der RCX) nachgewiesen. Diese Blutung wurde im Sektionsprotokoll nicht erwähnt.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

RCA	Stent, frisch
Aortaklappenebene	Bypass
Aorta ascendens	Prothese, frisch
Aorta ascendens	Stent, frisch

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

rechter Ventrikel	Insuffizienz
RCA	Stenose, hochgradig
RCX	Koronarsklerose
LCA	Stenose, hochgradig
Herz	Hyperplasie/Hypertrophie
ovales Fenster	geschlossen
Herzhinterwand	Infarkt, nicht frisch

Zusätzliche kardiovaskuläre Pathologien in der PMCTA:

RCX	Kontrastmittelaustritt (Blutung)
-----	----------------------------------

Weitere Pathologien, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Hirn	Ödem
linker Ventrikel	Hyperplasie/Hypertrophie
Perikard	Perikarditis
linker Lungenlappen	Infarkt
Rippenfell	Pleuritis
Oberschenkel	Totalendoprothese (TEP) (war nicht im PMCT abgebildet)
Lymphdrüsen	Hyperplasie/Hypertrophie

Todesursache (gemäß Sektionsbefund):

Herzhinterwandinfarkt: Der Bypass in der Aortenklappenebene war zum Todeszeitpunkt nicht funktionsfähig, um einen ausreichenden Blutfluss in die rechten Herzkranzgefäße umzuleiten.

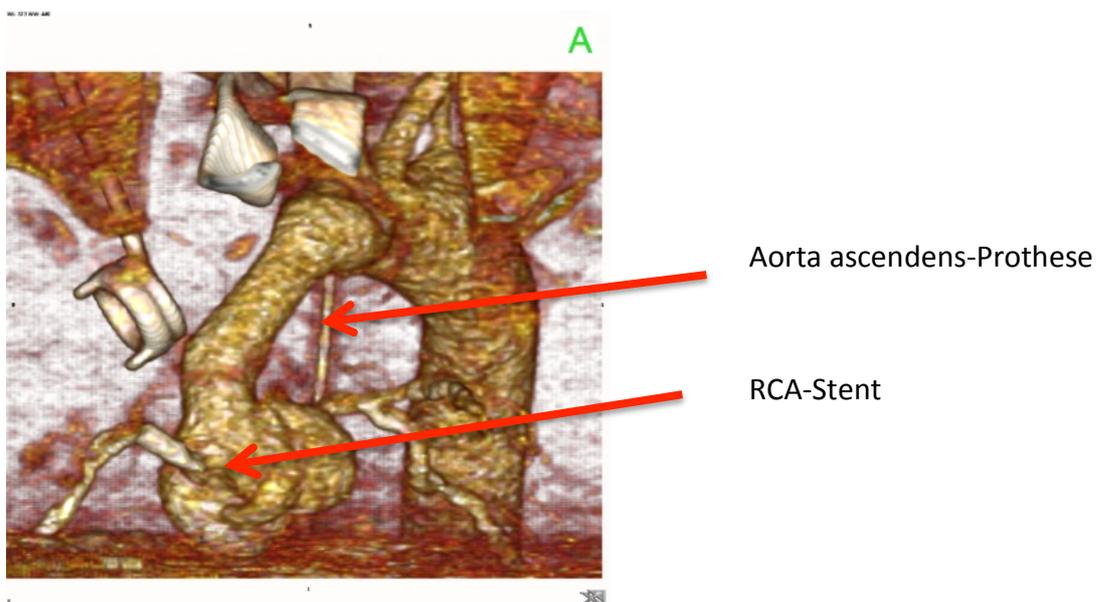


Abbildung 3.47: PMCTA, arterielle Phase, 3D-Volume-Rendering, frontale Rekonstruktion mit Aorta ascendens-Prothese und RCA-Stent

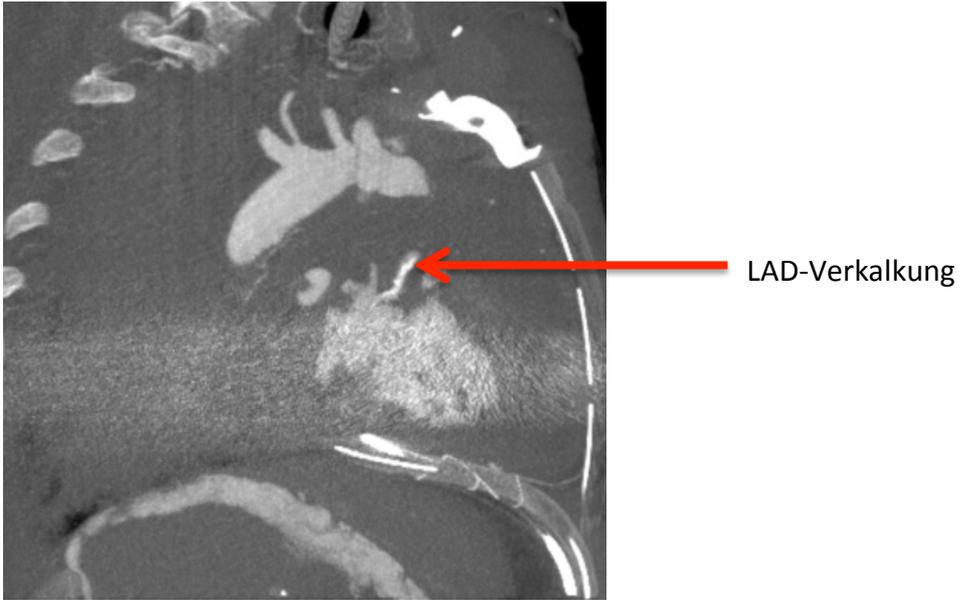


Abbildung 3.48: PMCTA, sagittale Rekonstruktion mit LAD-Verkalkung

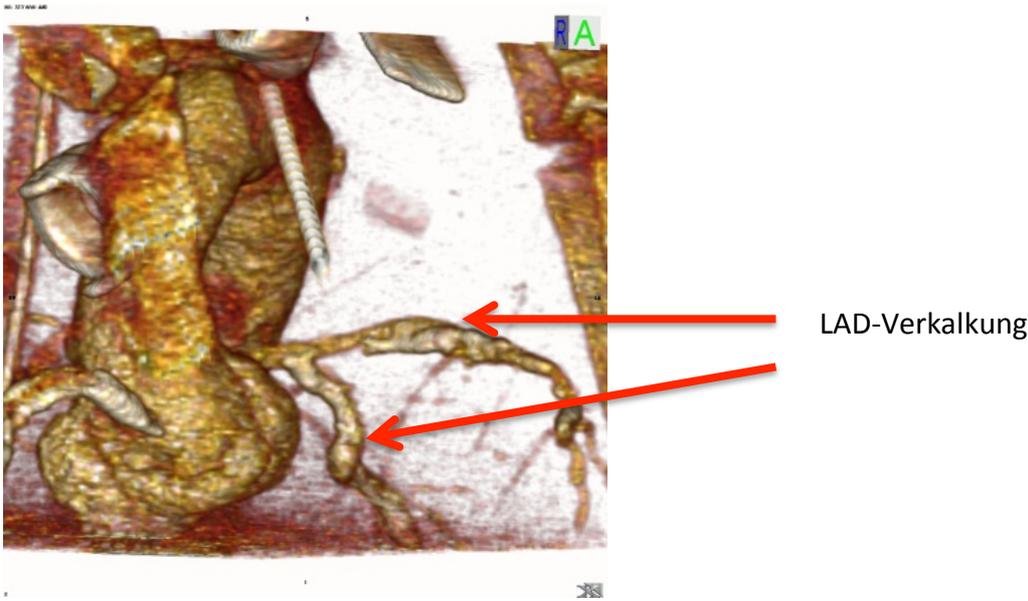


Abbildung 3.49: PMCTA, 3D-Volume-Rendering, frontale Rekonstruktion mit LAD Verkalkung

Fall 9

85 Jahre alter Patient. Er litt unter arterieller Hypertonie und Hyperlipoproteinämie. Es wurde bei ihm eine Angioplastie der A. femoralis superficialis durchgeführt. 2004 bekam er einen Aortenklappenersatz und einen aortocoronaren Bypass (ACB).

Im Juli 2013 wurde bei ihm in der Herzchirurgie des UKE eine kardiale Dekompensation und eine frustrane transapikale TAVI durchgeführt. Einen Monat später folgte die transaortale TAVI.

Die im Sektionsprotokoll beschriebene gedeckte Perforation in der linken gemeinsamen Beckenschlagader verursachte eine Blutung in dieser Region. Dieser Befund wurde jedoch nicht durch Angiographie bestätigt.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

RCA	RIMA
LAD	ACB alt
LAD	LIMA
Aorta	TAVI (transapikal) frisch, (frustraner Versuch)
Aorta	TAVI (transaortal) frisch
Aorta	ACE (alt)

Kardiovaskuläre Komplikation:

RCA	Einriss des Venen-Bypass auf die RCA bei Verschluss der Aortenpunktionstelle
-----	--

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

linke Hauptkammer	Hyperplasie/Hypertrophie
RCX	Koronarsklerose, hochgradig
RCA	Koronarsklerose, hochgradig
LCA/RCA	bedeckt durch die Klappen
LAD	Koronarsklerose, hochgradig
Mitralklappe	Insuffizienz
Aorta	Stenose (mittelgradig)
Aorta	Sklerose (hochgradig)
A. carotis rechts	Sklerose

Zusätzliche kardiovaskuläre Pathologien in der PMCT-Angio:

Herzhinterwand	Infarkt
----------------	---------

Weitere Pathologien, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Lunge	große Pleuraergüsse
Bronchien	chronische Bronchitis
beide Lungenlappen	unbelüftet (weitgehend)
Truncus	Stenose
Bauchschlagader	gedeckte Perforation (Blutung)
Niere re.	Zyste
Bauch- und Beckenschlagader	Sklerose (hochgradig)
Bauchschlagader	gedeckte Perforation (Blutung)
linke gemeinsame Beckenschlagader	Stent alt
Prostata	Hyperplasie/Hypertrophie

Todesursache:

Länger hingezogenes (protrahiertes) Herzversagen

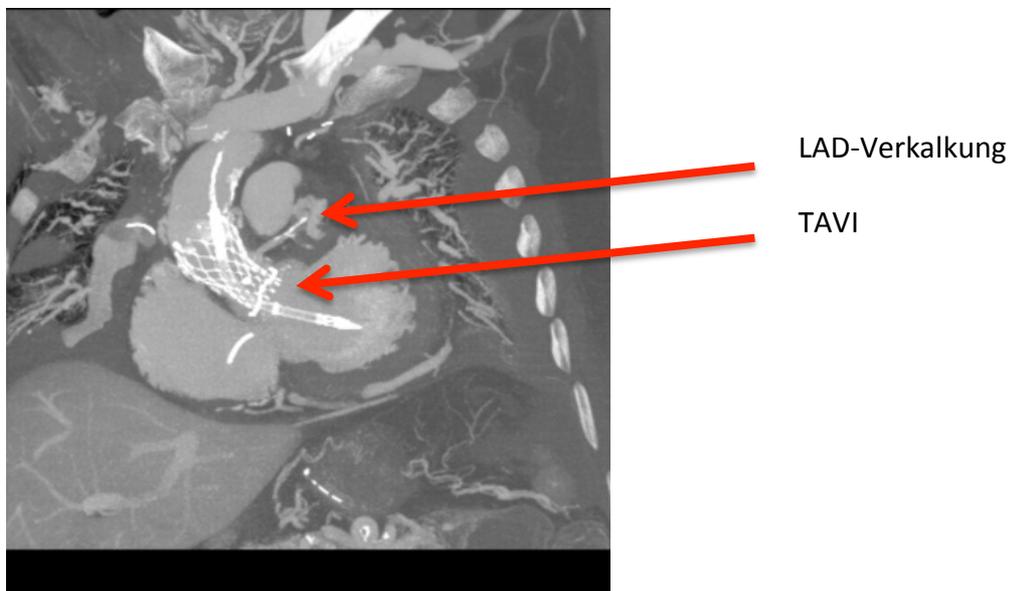
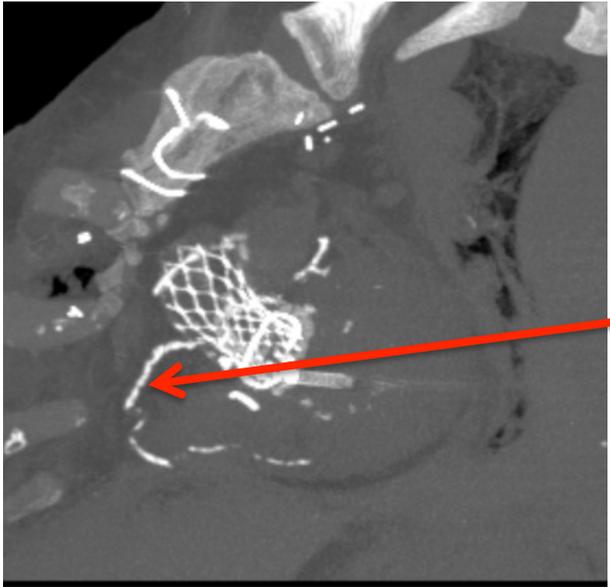


Abbildung 3.50: PMCTA, dynamische Phase, frontale Rekonstruktion mit TAVI und LAD-Verkalkung



RCA-Verkalkung

Abbildung 3.51: PMCT, sagittale Rekonstruktion mit RCA-Verkalkung

Fall 10

72 Jahre alter Patient ist. Er litt unter arterieller Hypertonie, Diabetes mellitus und Hypercholesterinämie. Bei ihm wurde am 25.12.2013 eine elektive Mitral-Clip-Operation aufgrund einer hochgradigen Mitralklappeninsuffizienz durchgeführt. Nach der Operation kam es zu einer venösen Nachblutung in der rechten Leiste. Der Patient starb am 21.01.2014 am UKE.

Durchgeführte Interventionen gemäß Klinik:

Aorta	Aortenklappenersatz (alt), transthorakal
Mitralklappe	Mitraclips (kathetergestützt)

Kardiovaskuläre Komplikation:

Mitralklappe	Klappenperforation
--------------	--------------------

Kardiovaskuläre Pathologien im PMCT:

rechter Ventrikel	Hyperplasie/Hypertrophie
linker Ventrikel	Hyperplasie/Hypertrophie
Herzkranzschlagadern	Mäßige Wandverdickung, teils inselartige kalkverhärtete Abschnitte
LCA	Koronarsklerose (mäßig)
LAD	Koronarsklerose (mäßig)
RCX	Koronarsklerose (mäßig)
RCA	Koronarsklerose (mäßig)
Herz	kardiale Dilatation
Aorta ascendens	kardiale Dilatation

Kardiovaskuläre Pathologien in der PMCTA:

Herzhauptkammer re.	Hyperplasie/Hypertrophie
Herzhauptkammer li.	Hyperplasie/Hypertrophie
Herzkranzschlagader	mäßige Wandverdickung, teils inselartige, kalkverhärtete Abschnitte
LCA	Koronarsklerose (mäßig)
LAD	Koronarsklerose (mäßig)

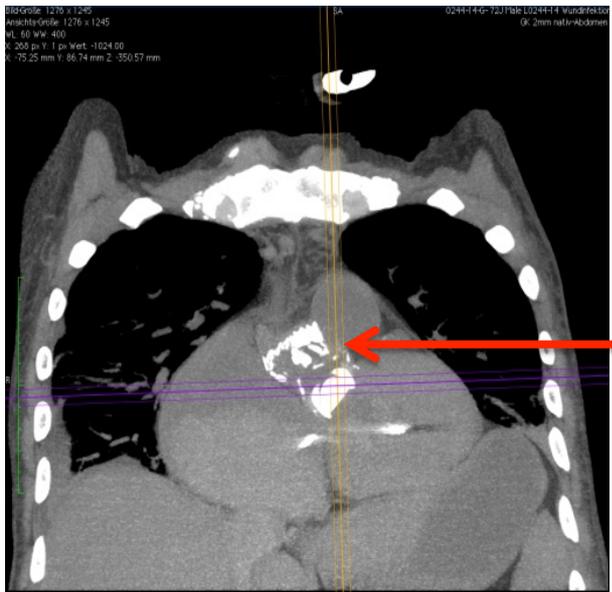
RCX	Koronarsklerose (mäßig)
RCA	Koronarsklerose (mäßig)
Herz	kardiale Dilatation
Aorta ascendens	kardiale Dilatation

Weitere Pathologien, die nur bei der Sektion nachgewiesen wurden:

Nieren	chronische Nierenerkrankung
Bauch- und Beckenschlagader	Sklerose (mäßig)

Todesursache:

Septisches Kreislaufversagen



Aortenklappenersatz

Abbildung 3.52: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Aortenklappenersatz

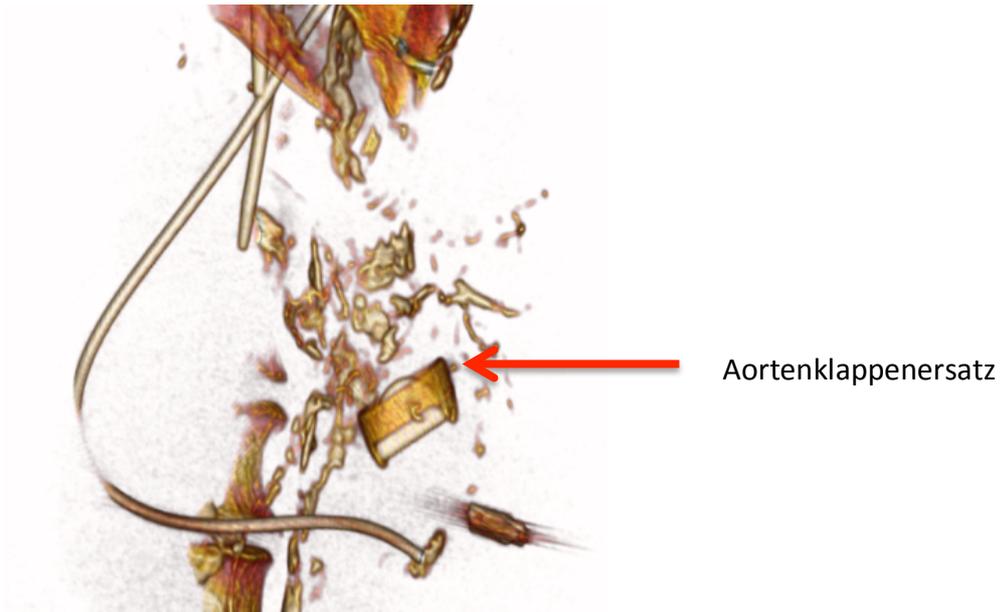


Abbildung 3.53: PMCT, 3D-Volume Rendering frontale Rekonstruktion mit Aortenklappenersatz

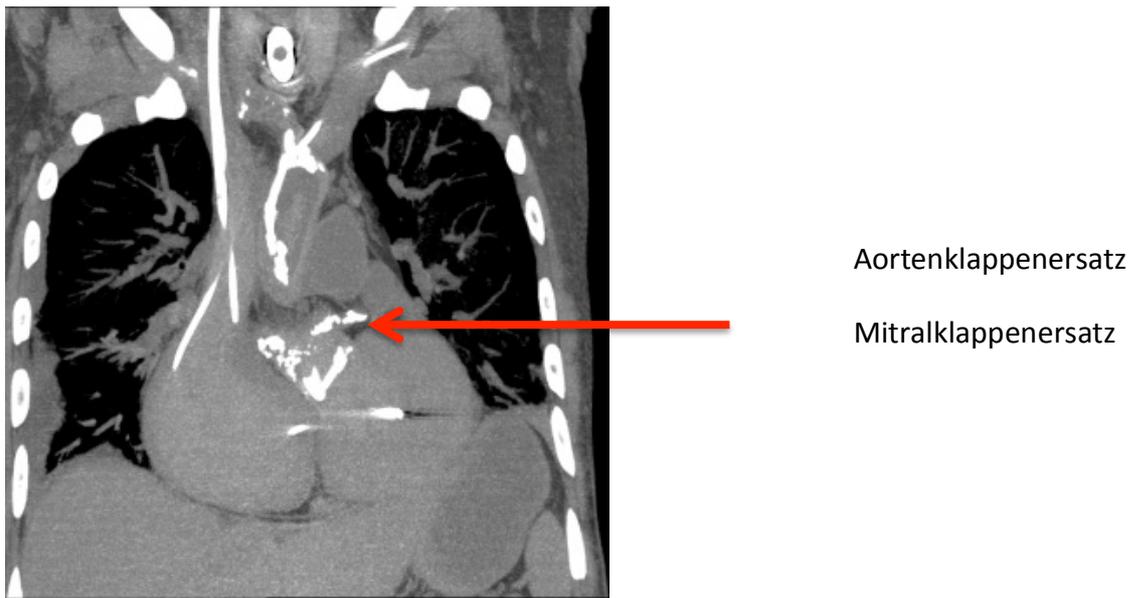
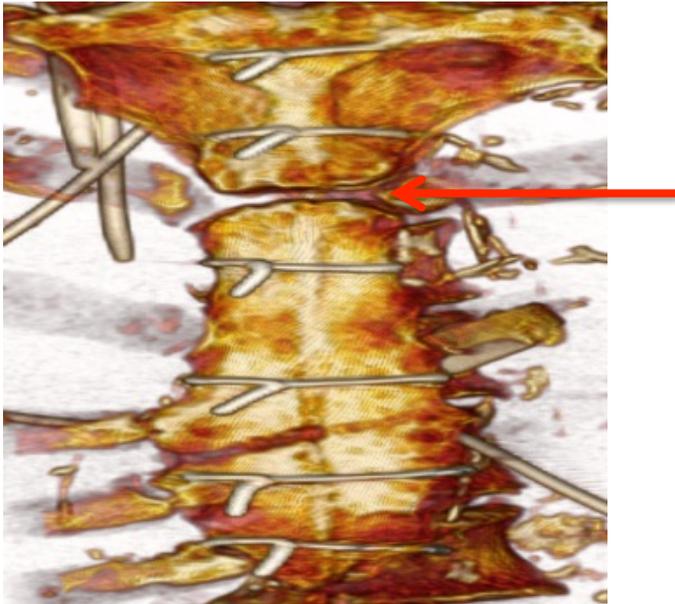
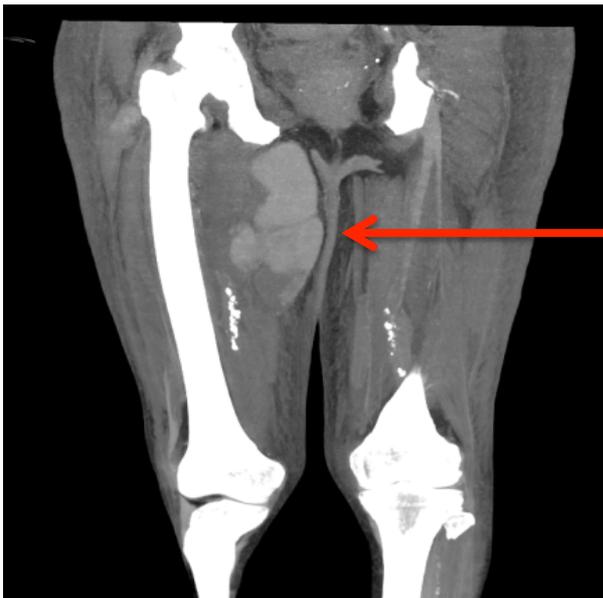


Abbildung 3.54: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Aortenklappen- und Mitralklappenersatz



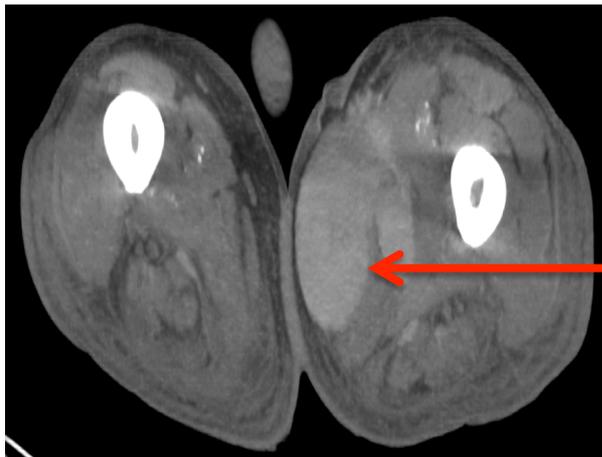
Sternotomie

Abbildung 3.55: PMCT, 3D-Volume-Rendering frontale Rekonstruktion mit Sternotomie



Blutung der rechten
Leiste

Abbildung 3.56: PMCT, frontale Rekonstruktion mit Blutung in der rechten Leiste



Blutung der rechten
Leiste

Abbildung 3.57: PMCT, axiale Rekonstruktion mit Blutung in der rechten Leiste

3.2.4 Zusammenfassung der durch PMCTA diagnostizierten Befunde

Zusammenfassend werden noch einmal die Befunde gelistet, die nur durch PMCTA diagnostiziert wurden, jedoch nicht durch PMCT. Die Ventrikel-Vorhof-Ruptur in Fall 4 wurde durch Sektion nicht entdeckt.

Fall 2

LAD	chronische Stenose
RCX	chronische Stenose

Fall 4

Ventrikel, Vorhof	Ruptur (Defekt)
-------------------	-----------------

Fall 6

Mitralklappe	Hyperplasie/Hypertrophie
--------------	--------------------------

Fall 8

RCX	Kontrastmittelaustritt (Blutung)
-----	----------------------------------

Fall 9

Herzhinterwand	Infarkt
----------------	---------

4 Diskussion

Die Obduktion (innere Leichenschau) ist wichtig für die Qualitätssicherung in der Klinik und für die Feststellung der Todesursache. In Deutschland sinkt die Zahl der Obduktionen stark ab. Der Grund dafür ist die fehlende Zustimmung der Angehörigen aus religiösen oder aus ethischen Gründen. Die hohen Kosten sind bei der Entscheidung ein weiteres Hindernis für die Kostenträger. Durch den Einsatz der PMCT und der PMCTA können wichtige Befunde gesichert werden, die sonst nur die Sektion erbringen könnte.

Durch PMCT und PMCTA kann die Zustimmung der Angehörigen zur Durchführung postmortalen Untersuchungen steigen. Somit kann die Medizin neue Erkenntnisse über die zugrundeliegende Erkrankung gewinnen und neue Methoden für die Therapie entwickeln.

Die Aufgabe der vorliegenden Dissertation war es, die von 2008 - 2012 eingegangenen Verstorbenen in einer Leichenhalle eines Krankenhauses mit u. a. thoraxchirurgischer Maximalversorgung zu erfassen. Gleichzeitig wurden auch alle aus rechtsmedizinischen Gründen eingelieferten Todesfälle erfasst, die sich teils auf Behandlungsfehlervorwürfe in auswärtigen Krankenhäusern bezogen. Prospektiv wurden aktuelle Fälle von 2013 und 2014 erfasst. Die Fallauswahl im prospektiven und im retrospektiven Teil dieser Arbeit konzentriert sich auf Patienten mit kardiovaskulärer Intervention/OP.

4.1 Interpretation des retrospektiven Teils der Studie

Basis des retrospektiven Teils von 2008 - 2012 zur PMCT/PMCTA-Anwendung waren 294 Fälle, bei denen eine Intervention bzw. Operation stattfand.

Die Zahl der Todesfälle in kardiochirurgischem und interventionellem Kontext stieg zwischen 2008 und 2012 an (vgl. Abb. 3.2). Das kann damit zusammenhängen, dass bestimmte, zunehmend häufiger gewählte Interventions-/Operationsverfahren mit einem höheren Todesfallrisiko behaftet sind, da sie für zunehmend ältere Patientengruppen mit höherer Gesamtmortalität verfügbar werden.

In der Auswertung fällt auf, dass eine schwankende Zahl des Sektionsverfahrens und eine steigende Zahl der Computertomographien post mortem nachweisbar ist (vgl. Abb. 3.4). Das ist ein Indiz dafür, dass die Zahl der Sektionen im Vergleich zur Computertomographie im Beobachtungsraum sinkt. Zumindest gilt dies für klinische Sektionen. Eine Studie aus dem

Jahr 1980 in Großbritannien zeigt, dass die Obduktionsrate sinkt {Start et al. 1980}. Die forensische Pathologie in Norwegen veröffentlichte im Jahr 1996 ebenso eine Studie, welche die sinkende Rate der Obduktion bestätigt hat {Nordrum et al. 1996}.

Unter 294 Fällen, bei denen eine kardiovaskuläre Intervention/Operation durchgeführt wurde, sind 356 Befunde in die Studie aufgenommen worden. Besonders häufig waren Bypass-Verfahren, Stentimplantationen und Aortenklappenersatz (vgl. Abb. 3.5).

Die Anzahl der Todesfälle nach Herzklappenersatz stiegen zwischen 2008 und 2012 von 4 auf 30, die nach TAVI-Interventionen von 3 auf 7, nach Bypass-Operationen von 29 auf 44 und die der Stent-Implantationen von 2 auf 25 an (vgl. Tab. 3.2). Daraus lässt sich schließen, dass die kardiovaskulären Interventionen/Operationen und/oder deren Mortalitätsrisiko zunehmen.

4.2 Interpretation des prospektiven Teils der Studie

Bei dem prospektiven Teil dieser Arbeit wurden zehn (sechs männliche, vier weibliche) aus dem UKE-Herzzentrum fortlaufend in die Leichenhalle eingelieferte Leichen mit PMCT/PMCTA untersucht. Das Durchschnittsalter lag bei 70,7 Jahren.

Pathologie:

Für die Diagnose der Koronarsklerose (n = 16) gilt die Sektion mit 100 % Erfassungsrate als Goldstandard, aber auch PMCT/PMCTA zeigen mit 94 % eine hohe Sensitivität. Eine andere Studie hat ebenso gezeigt, dass eine postmortale Darstellung der Koronararterien durch PMCTA möglich ist. Anhand von 134 Obduktionsfällen wurde bewiesen, dass die Hauptstämme der Koronararterien und ihrer primären Äste, welche auch ante mortem kontrastierbar waren, auch post mortem zu sehen sind {Heinemann et al. 2014}.

Die Diagnose der Koronarstenose konnte durch PMCT/PMCTA ebenso gut wie bei der Sektion bestätigt werden. Die Arbeit von Palmiere und Kollegen von 2012 hat bewiesen, dass bei dem bildgebenden Verfahren PMCT/PMCTA eine akute koronare Thrombose darstellbar ist {Palmiere et al. 2012}. Roberts und Kollegen in England beschrieben 2011 eine neuartige PMCTA-Technik, die eine gute Korrelation mit Sektionsbefunden bei den Koronararteriendarstellungen aufwies {Roberts et al. 2011}.

Aneurysma, Lungenödem und Pleuraergüsse sind mit PMCT/PMCTA und Sektion im Gegensatz zur Klinikdokumentation mit einer höheren Sensitivität darstellbar.

Für die Diagnose Herzinfarkt stellt die Sektion den Goldstandard dar, da mit ihr alle Befunde erkannt wurden (vgl. Abb. 3.16). Von den bildgebenden Verfahren kann die PMCTA mit und ohne Klinikvorkenntnis besser als die native Aufnahme diesen Befund bestätigen. Dieses Ergebnis zeigt, dass die PMCTA für die Diagnose der Herzinfarkte eingesetzt werden kann. Westphal und Kollegen haben im Jahr 2014 mit einer Studie gezeigt, dass die Hinzunahme der PMCTA bei den Leichen, die ante mortem unter Herz-Kreislauf-Erkrankung litten, die diagnostische Qualität erhöht {Westphal et al. 2014}.

Die kardiale Dilatation wird durch die Sektion als Goldstandard mit einer Sensitivität von 100 % erkannt, wohingegen die bildgebenden Verfahren dafür lediglich eine Sensitivität von 75 % aufweisen. Daraus ist erkennbar, dass für die postmortale Diagnose einer kardialen Dilatation PMCT und PMCTA einsetzbar sind, jedoch die postmortale Beurteilung nach klinisch-radiologischen Kriterien alleine nicht ausreichend erscheint.

Medizinische Verfahren:

Die Darstellungen der koronaren Bypässe durch die PMCTA mit Vorkenntnis der Klinikanamnese sind besser erkennbar als ohne (vgl. Abb. 3.10). Das bedeutet, wenn der Radiologe sensibilisiert wird, dass ein Bypass klinisch dokumentiert ist, wird er ihn mit einer höheren Wahrscheinlichkeit durch die PMCTA bestätigen können.

Der Aortenklappenersatz konnte durch PMCT und PMCTA mit einer Sensitivität von 100 % mit Sektion bestätigt werden. Daraus lässt sich schließen, dass der Aortenklappenersatz durch ein bildgebendes Verfahren post mortem uneingeschränkt diagnostizierbar ist. Eine Studie aus dem Jahr 2014 bewertet die Komplikationen und Todesursachen nach TAVI auf Basis der PMCT/ PMCTA. In dieser Studie wurden Blutung, Perforation, Ruptur, Herzinfarkt, Verletzung des Leistenarteriensystems, Insuffizienz der Aorta oder der Mitralklappe sowie Valve-in-Valve- Prozeduren nachgewiesen {Vogel 2014}.

Die Darstellung der TAVI ist in der vorliegenden Arbeit durch die Sektion und durch das bildgebende Verfahren mit einer Sensitivität von 100 % bestätigt worden. Die Arbeit zur PMCT und PMCTA nach transvaskulären Eingriffen am Herzen von Vogel und Kollegen aus

dem Jahr 2013 hat gezeigt, dass viele Komplikationen und die Todesursachen nach Komplikationen bei transvaskulären Interventionen mit einem Katheter durch PMCT und PMCTA gut bestimmt werden können {Vogel et al. 2013}.

Eine koronare Stentimplantation konnte mit einer Sensitivität von 100 % (n = 4) durch PMCT/PMCTA und Sektion diagnostiziert werden. Dieses Ergebnis zeigt, dass für die Diagnose eines Stents PMCT/PMCTA eingesetzt werden kann.

Die Diagnose der Stenose wurde durch PMCTA mit und ohne Kenntnis der Klinikdokumentation mit 100 %, bei der nativen PMCT mit 63 % und bei der Sektion mit 75 % erfasst. Daraus ist erkennbar, dass für die Diagnostizierung einer Stenose die PMCT-Angiographie mit Kontrastmittel eine sinnvolle Anwendung darstellt und möglicherweise als Goldstandard aufzufassen ist.

Die Blutungskomplikationen wurden durch die Sektion wie auch durch die PMCT/PMCTA mit einer Sensitivität von 100 % diagnostiziert. PMCT/PMCTA dienen als unverzichtbarer Standard für die Erkennung von Blutungsquellen im Gefäßsystem nach einem chirurgischen Eingriff. Chevalier und Kollegen haben 2012 die postmortale CT-Angiographie mit der herkömmlichen Autopsie verglichen. Diese Arbeit hat gezeigt, dass die PMCTA eine höhere Empfindlichkeit für Skelett- und Gefäßläsionen aufweist {Chevalier et al. 2012}. Die herkömmliche Autopsie liefert jedoch wichtige Hinweise über die Morphologie der Organe. Daher bleibt die Autopsie der einzige Weg, einen Gefäßverschluss und vor allem dessen Ursache mit Sicherheit zu diagnostizieren.

Knochenbrüche (n = 42) werden durch die bildgebenden Verfahren PMCT/PMCTA mit einer Sensitivität von 100 % erkannt (vgl. Abb. 3.16, 3.17, 3.18). Das bedeutet, dass bildgebende Verfahren einen Bruch gut diagnostizieren und hierfür als Goldstandard dienen können.

Vogel und die Kollegen haben 2013 in einer Studie die Möglichkeiten und Grenzen bei PMCT und PMCTA nach fatal verlaufenden Herzoperationen untersucht und demonstriert, dass in der PMCT Frakturen des Brustbeins, TAVI-Ergebnisse und aus den Koronararterien vordringende Blutungen und Perikardtamponaden gut visualisierbar sind. Die PMCTA zeigte die Quelle der Blutung, eine vaskuläre Stenose, Fehllagen von Zugängen, Drainagen und Komplikationen der Gefäßeinstiche {Vogel et al. 2013}.

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass eine Osteoporose in der PMCT genauso wie bei der Sektion bestätigt werden kann. Daraus lässt sich schließen, dass bei einer Diagnose der Osteoporose das bildgebende Verfahren anzuwenden ist.

Ein Hirnödem wurde durch eine PMCT oft bestätigt. Das ist ein Hinweis, dass für die Diagnose des Hirnödems die PMCT anwendbar ist. Eine Studie hat bewiesen, dass durch Volumetrie des Hirngewebes post mortem ein postmortal entstandenes Hirnödem nachweisbar ist. Ein Hirnödem, das postmortal entsteht, kann von einem ante mortem entstandenen Hirnödem überlagert werden und somit zu einer Falschdiagnose führen {Schuttfort 2013}.

Die Diagnose der Myokardhyperplasie/-hypertrophie ist in den bildgebenden Verfahren nachweisbar, besser jedoch bei der Sektion zu erkennen. Die Sektion zeigt eine höhere Sensitivität als bildgebende Verfahren und die Klinikdokumentation. Im bildgebenden Verfahren ist das Zuführen von Kontrastmittel bei der Diagnose von Myokardhyperplasie/-hypertrophie von Vorteil.

Die Sklerosierung der Blutgefäße wird in der Sektion besser erkennbar als bei den bildgebenden Verfahren. Diese Arbeit zeigt, dass von 20 Diagnosen, die durch Sektion festgelegt wurden, durch das bildgebende Verfahren die meisten mit einer Sensitivität von 80 % sichtbar gemacht werden konnten. Dies bestätigt, dass bildgebende Verfahren bei der Diagnose der Arteriosklerose eingesetzt werden können.

Insgesamt ergeben sich bei einigen der kardiovaskulären wesentlichen pathologischen Befunde deutliche Vorteile bzw. Gleichwertigkeiten sowohl in PMCT als auch in der PMCTA gegenüber der Obduktion. Daher empfiehlt es sich, für die Ziele der mortalitätsbezogenen Qualitätssicherung PMCT und PMCTA anzuwenden.

Die Obduktion alleine bietet jedoch Vorteile bei der Diagnose des Herzinfarkts, der Arteriosklerose (v. a. im nicht kalzifizierten Stadium), der kardialen Dilatation, der Koronarsklerose, des Hirnödems und der Myokardhyperplasie/-hypertrophie.

5 Zusammenfassung

Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind weltweit die mit Abstand häufigste Todesursache. Forschung in diesem Bereich kann helfen, diese Erkrankungen frühzeitig zu erkennen, eine individuell passende Therapie durchzuführen und Fehler bei der Behandlung zu vermeiden. Daher ist die Röntgendiagnostik ein wichtiges Verfahren für die Anwendung bei Lebenden.

Auch post mortem ist die Röntgendiagnostik in der forensischen und klinisch-pathologischen Medizin von großem Interesse, da die rechtmedizinischen Befunde ohne Eröffnen des Körpers darstellbar und dokumentierbar sind.

In der Forschung gab es bisher noch keine Studie zu Todesfällen, bei denen kurz vor dem Tod eine kardiovaskuläre Intervention bzw. Operation durchgeführt wurde und bei der Klinikdokumentation, Sektion und PMCT/PMCTA systematisch verglichen wurden.

Die vorliegende Studie besteht aus zwei Phasen: Einer retrospektiven und einer prospektiven. Der retrospektive Teil der Arbeit untersucht die Dokumentation des Instituts für Rechtsmedizin in Hamburg zu zwischen 2002 und 2012 Verstorbenen, bei denen zuvor eine kardiovaskuläre Intervention/Operation durchgeführt worden war. Der prospektive Teil der Arbeit besteht aus zehn fortlaufend in 2013/2014 erfassten und mit PMCT/ PMCTA sowie Sektion dokumentierten Fällen, bei denen eine kardiovaskuläre Intervention/Operation kurz vor dem Versterben stattfand. Die Befunde für den prospektiven Teil wurden aus der Klinikdokumentation, dem Sektionsprotokoll und dem PMCT-/PMCTA-Befund entnommen. Der Radiologe hatte im Erstbefund keine Vorkenntnisse über Sektionsergebnis und Klinikdokumentation. Die Befunde wurden einzeln dokumentiert und statistisch ausgewertet.

Retrospektiv zeigte sich die im Beobachtungszeitraum überraschend deutlich zunehmende Prävalenz von Todesfällen nach bestimmten kardiochirurgischen und interventionellen Verfahren. So nahmen Todesfälle nach Herzklappenersatz von 4 auf 30 Fälle, nach TAVI von keinem auf 7 Fälle, nach Aortenersatz von 1 auf 5 Fälle, nach Bypass von 29 auf 44 Fälle und nach Stent von 2 auf 25 Fälle zu. Das Ergebnis des prospektiven Teils der Arbeit hat weiter gezeigt, dass PMCT und PMCTA für die Diagnose und den Befund bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankung nach kardiovaskulärer Intervention bzw. Operation sehr gut anwendbar

sind und die Sektionsergebnisse ergänzen können oder aber - wenn keine Sektion möglich ist - wichtige Befunde zu sichern helfen. Besondere Stärken der bildgebenden Verfahren zeigten sich mit einer Sensitivität von 100 % für die PMCTA bei Aortenklappen-Ersatz, TAVI, Stent, Stenose, Zyste in Organparenchym, Blutung, älterem Rippenbruch und reanimationsbedingtem Bruch. Dagegen ist die Sektion weiterhin als Goldstandard für Koronarsklerose, Herzinfarkt, kardiale Dilatation, Myokardhyperplasie bzw. Hypertrophie und Sklerose anzusehen.

Die diagnostische Qualität steigt bei Verbindung der Sektion mit der postmortalen Bildgebung. Dies gilt für die PMCT, speziell aber für die PMCTA.

Die prospektiv analysierten zehn Fälle waren eine Zufallsstichprobe, die für die Fragestellung nur einen Trend anzeigen kann. Speziell der Mehrwert der PMCTA ließe sich sicherlich in größeren Fallkollektiven noch besser statistisch analysieren. Dabei könnte der Schwerpunkt auf bestimmte Fallkategorien gelegt werden, z. B. auf Todesfälle mit klinisch vermuteten akuten Blutungskomplikationen oder auf solche mit einer kathetergestützten Intervention der Herzkranzgefäße.

Weiter sollten in Zukunft auch andere bildgebende Verfahren in die postmortale Diagnostik eingeführt werden, wie z. B. die postmortale Magnetresonanztomographie (PMMRT), da mit dieser Methode ein Herzinfarkt besser als mit PMCT/PMCTA beurteilt werden kann.

Summary

Cardiovascular diseases are by far the most frequent causes for deaths. Research within this field can help to identify the illnesses early to carry out individual therapies und to avoid mistakes in the treatment. This is the reason why diagnostic radiology is an important technique to be applied to the living.

Diagnostic radiology is also of great interest post-mortem in forensic and clinical medicine because forensic results can be documented and portrayed without opening bodies.

Within research, no study has been done with regards to deaths where a cardiovascular intervention or operation had been made shortly before death and which was compared systematically in clinic documentations, sections and PMCT/PMCTA.

This study consists of two phases: First, a retrospective, and, second, a prospective. The retrospective part of the work explores the documentation of the *Institut für Rechtsmedizin* (Forensic Institute) in Hamburg concerning deceased between 2002 and 2012 on whom a cardiovascular intervention/operation had been carried out. The prospective part of the work consists of ten documented cases of the years 2013 and 2014 that were recorded on an ongoing basis and with PMCT/PMCTA as well as a section, where a cardiovascular intervention/operation had been carried out shortly before death. The medical reports of the prospective part were taken from the clinical documentation, the section protocol and the reports of the PMCT/PMCTA. The radiologist did not have any prior knowledge concerning the results of the section and the clinical documentation in the first evaluation. The reports were documented individually and analyzed statistically.

Retrospectively, there was a surprisingly clear increasing prevalence of deaths after certain cardio-surgical and interventional procedures. Deaths increased, for example, after a heart valve replacement from 4 to 30, after a TAVI from 0 to 7, after an aortic repair from 1 to 5, after a bypass from 29 to 44 and after a stent from 2 to 25. The results of the prospective part furthermore showed that PMCT and PMCTA are well-suited for the diagnosis and the result of patients with cardiovascular diseases after a cardiovascular intervention /operation and can supplement the section results, or – if no section is possible – help secure important results. Special strengths of medical imaging were portrayed with a sensitivity of 100 % for

PMCTA concerning an aortic valve replacements, a TAVI, a stent, a stenosis, a cyst in the organ parenchyma, a hemorrhage, older rib fractures and ribs fractures because of reanimations. A section is, however, furthermore the gold standard for a coronary heart disease, a heart attack, a cardial dilatation, a myocardium hyperplasia as well as a hypertrophy and a sclerosis.

The diagnostic quality rises when combining a section with post-mortem imaging. This concerns the PMCT, but especially the PMCTA.

The prospectively analyzed ten cases were random samples, which can only indicate a trend with regards to the research question. Especially the added value of the PMCTA could be better analyzed statistically when using a higher number of cases. The focus could be on certain case categories, for example on deaths with clinically assumed acute hemorrhage complications or on catheter-based interventions of coronary vessels.

In addition, in the future, other imaging techniques should be introduced in the post-mortem diagnosis like, for example, the post-mortem magnetic resonance imaging (PMMRT) because with this method, a heart attack can be better evaluated than with PMCT and PMCTA.

6 Abkürzungsverzeichnis

ACVB	Aortokoronarer Venen-Bypass
PMCTA	Postmortale Computertomographie-Angiographie
PMCT	Postmortale Computertomographie
LAD	Left Anterior Descendent
LHK	Linksherzkatheter
LIMA	Left Internal Mammary Artery
MIP	Maximum Intensitätsprojektion
PTCA	Perkutane Transluminare Coronare Angioplastie
RCA	Right Coronary Artery
RCX	Ramus Circumflexus
RIMA	Right Internal Mammary Artery
IfR	Institut für Rechtsmedizin
CT	Computertomographie

7 Literaturverzeichnis

- Autschbach R. (2012): Chirurgie in 5 Tagen. Heidelberg, Band 1, Springer-Verlag. 62-82
- Bach R. (1990): Katheter-diagnostisch Via Arteria femoralis. Technik, Hindernisse, Komplikationen. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. 67-74
- Balletshofer B. (2006): Herz u. Gefäße. Ein Handlungsorientierter Leitfaden für Medizinstudenten. Stuttgart, Band 1, Georg Thieme-Verlag. 72-75
- Beck, A. (1992): Die Geschichte der Angiographie. Verlag der Schwarzwälder Chronik.
- Bost H. G. (1991): Herzchirurgie. Die Eingriffe am Herzen und an den herznahen Gefäßen. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. 444-461
- Brüning, R.; Küttner, A.; Floh, T. (2008): Mehrschicht CT, Darstellung von Koronarstent. Berlin, Heidelberg, Springer Medizin Verlag: 93-98.
- Chevallier, C.; Doenz, F.; Vaucher, P.; Palmiere, C.; Dominguez, A.; Binaghi, S. (2013): Postmortem computed tomography angiography vs. conventional autopsy: advantages and inconveniences of each method. Int J Legal Med. 127:981-9.
- Claussen C. (1983): Dynamische Computertomographie. Grundlage und klinische Anwendung. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. 1-24
- Dettmeyer, R. B.; Verhoff, M.; Marcel, A.; Schütz, H. F. (2011): Rechtsmedizin. Mit 111 Tabellen. Heidelberg, Springer Medizin Verlag.
- Frömke J. (2003): Standardoperationen in der Herzchirurgie. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. 16-21
- Graber, S.; Doenz, F.; Steger, B.; Dirnhofer, R.; Dominguez, A.; Sollberger, B.; Gyax, E.; Rizzo, E.; Chevallier, C.; Meuli, R.; Mangin, P. (2011): Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol, Springer-Verlag. Int J Legal Med. Published online.
- Gesetze über das Leichen-, Bestattung- und Friedhofswesen von 14.09.1998 (GVBl. S. 167) geändert durch Gesetze von 07.06.1999 und von 13.12.1995 (GVBl. S. 175 u. 290).
- Hagen, B. (1997): Invasiv oder nichtinvasive Angiographie. Die Rolle der klassischen Katheter-Angiographie. Radiologie. 37:493-500.

Heinemann, A.; Seifert, D.; Denzer, U.; Rösch, T.; Lorenzen, M.; Adam, G.; Wichmann, D.; Kluge, S.; Vogel, H.; Sauter, G.; Pöschel, K. (2012): Moderne Leichenschau - Die Entwicklung der multimodalen virtuellen Autopsie und ihre Anwendungsmöglichkeiten in Rechtsmedizin und Pathologie. *Hamburger Ärzteblatt*. 66:12-17.

Heinemann, A.; Müllerleite, K.; Chevalier, C.; Vogel, H. (2014): Rechtsmedizin: Postmortale Darstellung der Koronararterien durch multiphasische Ganzkörper-CT-Angiographie vergleich mit Ante-mortem. Volume 24, Issue 2, April 2014, ISSN: 0937-9819 (Print) 1434-5196 (Online), Springer-Verlag: 107-113.

Hildebrand, H.; Scholz, W.; Wieting, J. (1904): Das Arteriensystem des Menschen im stereoskopischen Röntgenbild. Sammlung von stereoskopischen Röntgenbildern aus dem Neuen Allgemeinen Krankenhaus Hamburg-Eppendorf, Wiesbaden, 2. Aufl., 1. Band, JF Bergmann Verlag.

Judkins, M. P. (1967): Selective coronary arteriographie. *Radiologie*. 89:815-824.

Köwing, A. (2013): Evaluation eines Modellversuches zur Integration von CT-Befunden in die Befundberatung bei gerichtlichen Obduktionen in der Rechtsmedizin. Hamburg.

Lapp H. (2014): Das Herzkatheterbuch. Diagnostische und interventionelle Kathetertechniken. Stuttdart, 4 Auflage, Georg Thieme-Verlag. 233-238

Larsen, R. (2005): Anästhesie und Intensivmedizin in Herz-,Thorax- und Gefäßchirurgie. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 167-214.

Leth, P. M.; Ibsen, M. (2010): Abbreviated injury scale scoring in traffic fatalities: comparison of computerized tomography and autopsy. *J Trauma*. 68 (6):1413-1416.

Lorenz, B. S. (2012): Virtuelle Endoskopie mit Computertomographie post mortem: Herz, Aortenklappe, Mitralklappe. Hamburg.

Luther, B. L. (2011): Gefäßchirurgie - Differenzierte Diagnostik und Therapie, Intervention im arteriellen System. München, Urban & Fischer.

Mayor A. (2015): Artefakte in der Computertomografie. Stuttgart. *Radiopraxis*. 8: 145-160

Nordrum, I.; Eide, F. J.; Jorgensen, L. (1996): Forensic pathology in northern Norway. Requested medico-legal autopsies in the counties of Finnmark and Troms 1973 - 1992. *APMIS*. 104:465-74.

Palmiere, C.; Lobrinus, J.A.; Mangin, P.; Grabherr, S. (2013): Detection of coronary thrombosis after multi-phase postmortem CT-angiography. *Legal Med.* 15:12-8.

Püschel, K. (2010): Die Obduktion der Zukunft ohne Skalpell von Antje Windmann. *Hamburger Abendblatt.* 9.03.2010.

Radner, S. (1994): An attempt at the roentgenologic visualisation of coronary blood vessels in man. *Acta radiol.* 26:497-502.

Radon, J. (1917): Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-Physische Klasse* 69:262-277.

Rickett, H. J.; Abraham, H. L. (1962): Percutaneous selective coronary line arteriographie. *JAMA.* 181:620-624.

Roberts, I. S. D.; Benamore, R. E.; Peebles, C.; Roobottom, C.; Traill, Z. C. (2011): Diagnosis of coronary artery disease using minimally invasive autopsy: evaluation of a novel method of post-mortem coronary CT angiography. *Clin radiol.* 66:645-50.

Röntgen, W. C. (1895): Ueber eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung). *Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft.* Stahel, Würzburg. 1-10.

Rost R. (2005): Sport- u. Bewegungstherapie bei Inneren Krankheiten. Köln, 3 Auflage, Deutsche Ärzte-Verlag.

Schoeneberger, R. A.; Heafeli, W. E.; Schifferli, J. (2008): Internistische Notfälle - Sicher durch die Akutsituation und die nachfolgenden 48 Stunden. Stuttgart, Georg Thieme Verlag. 27-97.

Scholing, M.; Saltzherr, T. P.; Fung Kon Jin, P. H. P.; Ponsen, K. J.; Reitsma, J. B.; Lameris, J.S.; Goslings, J. C. (2009): The value of postmortem computed tomography as an alternative for autopsy in trauma victims: a systematic review. *Eur radiol.* 19 (10):2333-2341.

Schüttfort, V. M. (2013): Früh-postmortale Veränderungen des Gehirns und der Nasennebenhöhlen in der Computertomographie, Hamburg.

Sektionsgesetz 2000: Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt, Gesetz zur Regelung von klinischen, medizinischen und anatomischen Sektionen Teil 1, Nr. 5.

Seldinger, S. I. (1953): Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography: A new technique. *Acta radiologica.* 39(5):368-376.

Siewert, J. R. (2006): Chirurgie. München, 8. Auflage, Springer-Verlag. 19.

Start, R. D.; McCulloch, T. A.; Benbow, E.W.; Lauder, I.; Underwood, J. C. (1993): Clinical necropsy rates during the 1980s: the continued decline. *J Pathol.* 171:63-6.

Souza-Offtermatt, G.; Staubach, K. H.; Sterk, P.; Udolph, A. unter Mitarbeit von Nolde, J. und Meluliis, M. J. (2004): Intensivkurs Chirurgie, München, Elsevier, Urban & Fischer: 187-241.

Paulin, S. (1964): Coronary angiography - A technical, anatomic and clinical study. *Act radiol.* (Suppl. 223):1-100.

Universität Herzzentrum Hamburg 2015 (UHZ15)

Vogel, B.; Heinemann, A.; Gehl, A.; Hasegawa, I.; Höpker, W. W.; Poodendaen, C. (2013): Postmortem computed tomography (PMCT) and PMCT-angiography after transvascular cardiac interventions. *Arch Med Sadowej Kryminol.* 63:255-66.

Vogel, B.; Heinemann, A.; Tzikas, A.; Poodendaen, C.; Gulbins, H.; Reichenspurner, H. (2013): Post-mortem computed tomography (PMCT) and PMCT-angiography after cardiac surgery. Possibilities and limits. *Arch Med Sadowej Kryminol.* 63:155-71.

Vogel, B.; Heinemann, A.; Gulbinsa, H.; Treede, H.; Reichenspurner, H.; Püschel, K.; Vogel, H. (2014): Postmortem computed tomography and postmortem computed angiography following transcatheter aortic valve implantation. *European journal of Cardio-Thoracic Surgery.* (2015):1-6.

Vogel, H. (1997): Gewalt im Röntgenbild. Befunde zu Krieg, Folter und Verbrechen. Ecomed, Landsberg / Lech.

Westphal, S. E.; Apitzsch, J. C.; Penzkofer, T.; Kuhl, C. K.; Mahnken, A. H.; Knüchel, R. (2014): Contrast-enhanced postmortem computed tomography in clinical pathology: enhanced value of 20 clinical autopsies. *Hum Pathol.* 45:1813-1823.

Wichmann, D.; Heinemann, A.; Weinberg, C.; Vogel, H.; Hoepker, W. W.; Grabherr, S.; Püeschel, K.; Kluge, S. (2012): Virtual autopsy as an alternative to traditional medical autopsy in the intensive care unit. Hamburg.

Wichmann, D.; Heinemann, A.; Weinberg, C.; Vogel, H.; Hoepker, W. W.; Graber, S.; Püeschel, K.; Kluge, S. (2014): Virtual autopsy with multiphase postmortem computed

tomographic angiography versus traditional medical autopsy to investigate unexpected deaths of hospitalized patients. Hamburg.

Winkhardt M. (2017): Das Herzkatheterlabor. Stuttgart, 3 Auflage, Springer-Verlag. 58-66

Wüllenweber, R.; Schneide, V.; Grum Th. (1977): Untersuchungen bei Schädel-Schuß-Verletzungen. Rechtsmed. 80 (3):227-246.

Ziemer, G.; Haverich, A. (2010): Herzchirurgie. Koronare Herzkrankheit. Berlin, Heidelberg, 3. Auflage, Springer:569-588.

8 Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Menschen, die mir die Erstellung meiner Dissertation ermöglicht haben.

Herrn Prof. Dr. med. Hermann Vogel, forensischer Radiologe am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, bin ich herzlich dankbar für die hervorragende Betreuung, seine Motivation, ständige Diskussion und Hilfsbereitschaft bei den Röntgenbefunden.

Herrn Dr. med. Axel Heineman, Leitender Oberarzt am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, danke ich besonders, denn er brachte mir sehr viel Geduld entgegen und sorgte mit wertvollen Ratschlägen für diese Dissertation. Er hat mir mit seinem Fachwissen, konstruktiver Kritik und vielen Ideen immer wieder den nötigen Schwung gegeben. Auch für die mühevollen Arbeit der Korrektur möchte ich mich herzlich bedanken.

Ein vielfaches Dankeschön geht natürlich auch an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf für die Bereitstellung der Materialien für diese Arbeit.

9 Lebenslauf

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.

10 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und das Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Prüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift:

Afsana Rahimi