

**Bedeutung der Angio - Computertomografie bei der Diagnostik  
der akuten mesenterialen Ischämie nach kardiochirurgischen  
Eingriffen**

**Eine retrospektive Analyse der Patienten am Universitätsklinikum  
Jena zwischen 2006 und 2016**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**Von Vetlana Müller-Mau**

**Geb. Avalo Mau, am 01.01.1990 in Piura - Peru.**

**Gutachter:**

1. PD Dr. med. Jürgen Zanow, Universitätsklinikum Jena
2. PD Dr. med. Henning Mothes, Sophien- und Hufeland-Klinikum Weimar
3. PD Dr. med. Lukas Lehmkuhl, Rhön-Klinikum Bad Neustadt

**Tag der öffentlichen Verteidigung: 03.08.2021**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>V</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>VII</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Pathophysiologie der akuten mesenterialen ischämie .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Diagnostik .....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Computertomografie mit i.v. Kontrastmittel (Angio - CT).....	11
1.2.2 Angiografie .....	12
1.2.3 Laborparameter.....	12
1.2.4 Andere Untersuchungen .....	13
<b>1.3 Computertomografische Zeichen einer Darmischämie .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Ziele der Arbeit.....</b>	<b>19</b>
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Patienten.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Patientengruppen.....	21
3.1.2 Erfasste Patientendaten .....	22
<b>3.2 CT - Kriterien.....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Einzelparameter .....	23
3.2.2 Scores .....	26
<b>3.3 Statistische Auswertung .....</b>	<b>27</b>
<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Patienten.....</b>	<b>28</b>
4.1.1 Patientengruppen.....	31
<b>4.2 CT - Befunde .....</b>	<b>33</b>
4.2.1 Erstbefundung (CT1) .....	33
4.2.2 Nachbefundung (CT2) .....	36

<b>4.3</b>	<b>Kombinierte Auswertung der CT - Befunde.....</b>	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>Assoziation zwischen CT - Parametern und akuter mesenterialer ischämie (Odds ratio).....</b>	<b>42</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Patienten.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2</b>	<b>CT - Befunde .....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Kombinierte Auswertung der CT - Befunde.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b>Limitierungen der Arbeit .....</b>	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>58</b>
<b>8.1</b>	<b>Patientenformular zur Auswertung einer CT - Abdomen.....</b>	<b>58</b>
<b>8.2</b>	<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>59</b>
<b>8.3</b>	<b>Widmung und Danksagung .....</b>	<b>60</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- A. = Arterie
- ACC = American College of Cardiology
- ACVD = Atherosclerotic Cardiovascular Disease
- AHA = American Heart Association
- AMI = Akute Mesenteriale Ischämie
- ASA = American Society of Anesthesiologists
- AVK = Arterielle Verschluss - Krankheit
- AZ = Allgemeinzustand
- CABG = Coronary Artery Bypass Graft Surgery
- CI = Konfidenzintervall
- CT = Computertomografie
- CrP = C-reaktives Protein
- FG = Fallgruppe
- GG = Gesamtgruppe
- HLM = Herz - Lungen - Maschine
- ITS = Intensiv - Therapie - Station
- KG = Kontrollgruppe
- KHK = Koronare Herz - Krankheit
- KI = Kolonischämie
- KM = Kontrastmittel
- MPR = Multiplanare Rekonstruktion
- NOMI = Nicht Okklusive Mesenteriale Ischämie
- NPV = Negative Predictive Value
- OP = Operation
- o.p.B. = ohne pathologischen Befund
- OPCAB = Off-Pump Coronary Artery Bypass Surgery
- OR = Odds Ratio
- p = Signifikanzwert
- PACS = Picture Archiving and Communication System
- PPV = Positive Predictive Value
- ROC = Receiver Operating Characteristic

- SAPS II = Simplified Acute Physiology Score II
- SOFA = Sequential Organ Failure Assessment
- SPSS = *ursprünglich* Statistical Package for the Social Sciences,  
*aktuell* Superior Performing Software System
- SS = Sicherheitsscore
- SD = Standardabweichung
- V. = Vene
- VCT = Volumetric Computed Tomography
- VHF = Vorhofflimmern

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **Einleitung**

Die akute mesenteriale Ischämie (AMI) ist ein lebensbedrohliches Krankheitsbild mit hoher Mortalität. Eine frühzeitige Diagnose kann zur Einleitung einer adäquaten Therapie und zur Verbesserung der Prognose führen. Neben den klinischen Symptomen und richtungsweisenden Laborparametern stehen die Koloskopie und die Angio - Computertomografie als diagnostische Hilfsmittel zur Verfügung. Die Angio - CT kann als Standarduntersuchung für die Beurteilung von Patienten mit Verdacht auf mesenteriale Ischämie verwendet werden.

Diese Studie überprüft den Einfluss der CT auf die Diagnosestellung der mesenterialen Ischämie bei Patienten mit pathologischen abdominellen Befunden nach einer Herzoperation.

### **Material und Methode**

In dieser retrospektiven Studie wurden neben klinischen und paraklinischen Befunden 12 verschiedene CT - Parameter bei 133 Patienten mit oder ohne mesenteriale Ischämie nach einer Herzoperation verglichen, unter Verwendung von univariaten und logistischen Regressionsanalysen. Anschließend wurden Parameter aufgezeichnet und gruppiert, um Scores mit höherer Sensitivität und Spezifität erstellen zu können.

### **Ergebnisse**

Von 14176 Patienten, die sich auf der chirurgischen ITS nach einem kardiochirurgischen Eingriff stationär befanden, bekamen 111 (0,8 %) eine abdominelle CT - Untersuchung auf Grund pathologischer abdomineller Befunde. 22 (0,1 %) Patienten, die eine allgemein-, viszeral- oder gefäßchirurgische Operation bekamen und sich ebenfalls postoperativ auf der chirurgischen ITS befanden, sowie

im Verlauf eine CT - Untersuchung erhielten, wurden später in die Kontrollgruppe integriert. Bei 68 Patienten wurde eine akute mesenteriale Ischämie diagnostiziert (Fallgruppe), 69,9 % der Gesamtgruppe verstarben während des postoperativen Verlaufes.

Die CT - Parameter mit der höchsten Spezifität für AMI waren Pneumatosis intestinalis (99 %), portomesenterisches Gas (96 %), eine pathologische KM - Darmwandaufnahme (89 %) und eine Stenose der A. mesenterica inferior zentral (81 %). Alle diese CT - Parameter zeigten niedrige Sensitivitätsniveaus zwischen 15 und 23 %. Eine statistisch signifikante Assoziation zwischen akuter mesenterialer Ischämie und dem CT - Nachweis wurde nur für die Einzelparameter pathologische KM - Darmwandaufnahme (OR 12,2; 95 % CI: 1,5 - 99,2) und Pneumatosis intestinalis (OR 21,0; 95 % CI: 2,7 - 165,2) beobachtet. Diese Assoziation stieg an, wenn die Parameter mit dem höchsten Genauigkeitsgrad in einem Score gruppiert wurden (OR 5,3; 95 % CI: 2,3 - 12,2).

## **Fazit**

Die typischen CT - Parameter einer AMI verlieren ihre Vorhersagekraft, wenn sich die Patienten unter Intensivbedingungen befinden. Die Spezifität und Sensitivität der Parameter in dieser Studie zeigten unterschiedliche Charakteristika, wenn die rechte oder die linke Seite des Dickdarmes betroffen waren. Es wurde festgestellt, dass mit Ausnahme von acht Patienten, bei allen Patienten der Fallgruppe, die eine linksseitige Ischämie hatten, eine zusätzliche Ischämie des rechtsseitigen Dickdarmes auftrat.

Das Gruppieren der Parameter in Scores verbesserte die Spezifität nur geringfügig. Daher muss der positive Vorhersagewert der in dieser Studie verwendeten KI - Scores als nicht hoch genug eingeschätzt werden, um sie für die Einführung in die tägliche klinische Praxis zu qualifizieren.

Obwohl die CT bei Patienten mit pathologischen abdominellen Befunden nach einer Herzoperation die diagnostische Bildgebungsmethode der ersten Wahl bleibt, sollten negative Zeichen eine frühe explorative Laparotomie oder Laparoskopie nicht verhindern, wenn der klinische Verdacht einer AMI besteht.

## 1. Einleitung

Die akute mesenteriale Ischämie (AMI) gehört zu den kardiovaskulären Notfällen. Die Letalität beträgt unverändert 60 - 80 %. Ursächlich sind die schwierige Erkennbarkeit im Frühstadium und die Schwere der systemischen Folgereaktionen an allen Organsystemen, falls die Ischämie zu spät entdeckt und behandelt wird. Folglich liegt der Schlüssel für eine Verbesserung der Prognose in der rechtzeitigen Diagnosestellung (Kärkkäinen und Acosta 2017). Gelingt die Diagnosestellung innerhalb von 12 Stunden nach Beginn der Ischämie, beträgt die in der Literatur berichtete Mortalität etwa 40 %, steigt danach aber sprunghaft an (Kortmann und Klar 2005).

Neben den klinischen Symptomen und richtungsweisenden Laborparametern stehen die Koloskopie und die Computertomografie als diagnostische Hilfsmittel zur Verfügung. Es ist anzunehmen, dass die Prognose der Patienten nach herzchirurgischen Eingriffen deshalb schlechter ist, weil die klinische Beurteilung und die endoskopische Untersuchung nur erschwert oder eingeschränkt möglich sind. Umso wichtiger erscheint in dieser Situation deshalb die Einbeziehung und korrekte Beurteilung der Angio - Computertomografie. Die Reproduzierbarkeit von CT - Befunden bei akuter mesenterialer Ischämie nach kardiochirurgischen Eingriffen ist bislang in der Literatur kaum untersucht.

### 1.1 Pathophysiologie der akuten mesenterialen Ischämie

Die AMI lässt sich in arteriell (okklusiv und nicht okklusiv) und venös okklusiv einteilen.

Bei der **arteriell okklusiven** Form der AMI entspricht eine Embolie 40 - 60 % der Fälle, die Quelle ist in der Regel das Herz. Die A. mesenterica superior ist in 85 % betroffen, gefolgt von dem Truncus coeliacus und der A. mesenterica inferior. 25 - 30 % der Fälle sind durch eine Thrombose verursacht, vor allem bei Gefäßwandklerose.

Die **arteriell nicht okklusive Form (NOMI)** verursacht 20 - 30 % der Fälle, dies durch kardiales Pumpversagen, Hypotension und Vasokonstriktion z. B. bei chronischer Hämodialyse, Herz - Operation / -Infarkt / -Insuffizienz, KHK oder AVK. Die **venös okklusive AMI** entspricht 15 - 20 % der Fälle, die Thrombose ist die Ursache und ist häufig mit Koagulopathien oder septischen gastrointestinalen Komplikationen assoziiert (Ritz und Buhr 2011, Klar et al. 2012).

## **1.2 Diagnostik**

### **1.2.1 Computertomografie mit i. v. Kontrastmittel (Angio - CT)**

Im Rahmen einer Differentialdiagnostik zeigt die CT eine Sensitivität von 71 - 96 % und eine Spezifität von 92 - 94 %, um eine akute mesenteriale Ischämie nachzuweisen (Mastoraki et al. 2016).

Eine Metaanalyse ergab eine zusammengefasste Sensitivität von 93,3 % und Spezifität von 95,9 % für die Diagnose einer AMI bei symptomatischen Patienten mit Multidetektor (Mehrschicht) - CT (Menke 2010). Dies verdeutlicht, dass die CT als primäres diagnostisches Verfahren verwendet werden kann.

Im Hinblick auf die zeitlich optimale Durchführung der Bildgebung muss zwischen den beiden Krankheitsbildern der akuten okklusiven und der akuten nicht okklusiven Darmischämie unterschieden werden.

Bei Verdacht auf eine akute okklusive mesenteriale Ischämie ist die biphasische Kontrastmittel - CT mit multiplanarer Rekonstruktion (MPR) in drei Ebenen die Untersuchung der ersten Wahl. Die CT sollte sowohl in der arteriellen als auch in der venösen Phase das gesamte Abdomen abdecken.

Aus Gründen der Zeitersparnis und besseren Darstellung von Darmwandveränderungen ist hierbei auf eine orale Kontrastierung zu verzichten.

Die ubiquitäre Verfügbarkeit und Qualität der Multidetektor - CT erlaubt eine ausreichende Kontrastierung der Mesenterialgefäße und falls notwendig die Rekonstruktion im Sinne einer CT - Angiografie, wodurch die Katheterangiografie in den Hintergrund tritt. Vorteile der CT gegenüber der Katheterangiografie liegen,

neben der Darmwandbeurteilung vor allem im Ausschluss anderer Differenzialdiagnosen der AMI (Klar et al. 2012).

### **1.2.2 Angiografie**

Die Angiografie galt üblicherweise als die zuverlässigste Methode, um die Präsenz und Ausweitung eines okklusiven Befalles zu beurteilen (Sensitivität von 70 - 89 %). Die Angiografie ist aktuell durch die CT - Angiografie ersetzt worden (nicht invasiv und schneller verfügbar). Ist eine CT jedoch uneindeutig und besteht der dringende Verdacht auf AMI, dann könnte eine Angiografie zur Bestätigung der Diagnose durchgeführt werden.

Da die CT - Befunde einer NOMI unspezifisch sind, bietet sich hingegen die Angiografie an, welche diffuse Stenosen der mesenterialen Gefäße ohne okklusive Läsionen, sowie eine Verminderung der KM - Darmwandaufnahme zeigen kann (Mastoraki et al. 2016).

### **1.2.3 Laborparameter**

Bei einer fortgeschrittenen Darmischämie kann ein Anstieg der immunkompetenten Leukozyten sowie des C - reaktiven Proteins (CrP) im Blut nachgewiesen werden, dies als Entzündungsreaktion aufgrund der Darmwandnekrose und der dabei stattfindenden Translokation von Bakterien und Endotoxinen, sowie einer Laktatazidose mit Abfall des pH - Wertes auf unter 7,2 und einem Base Excess von - 7 bis - 8 mmol/l (Normalbereich: - 2 bis + 2 mmol/l) aufgrund der anaeroben Bedingungen im Rahmen einer Darmischämie.

Im frühen Stadium einer Darmischämie kann sich der Anstieg von Amylase, alkalischer Phosphatase, Laktatdehydrogenase, Kreatinkinase, mukosaler Diaminoxidase und D-Dimer zeigen. Jedoch ist kein Laborparameter sensitiv oder spezifisch genug, um eine Darmischämie sicher zu bestätigen oder auszuschließen. Bei Verdacht auf eine akute Darmischämie sollte nach den Leitlinien der Deutschen

Gesellschaft für Gefäßchirurgie und den Leitlinien der Amerikanischen Gesellschaft für Gastroenterologie (2000) der Laktatwert bestimmt werden (Göller 2012).

#### 1.2.4 Andere Untersuchungen

Im Rahmen der Differentialdiagnostik kann eine **konventionelle Röntgenaufnahme des Abdomens** durchgeführt werden, z. B. um Hohlorganperforation oder Cholezystitis bei Cholezystolithiasis zu diagnostizieren. Die folgenden unspezifischen Darmischämiezeichen können nachgewiesen werden: fixierte Darmschlingen, fokale submukosale ödematöse Schleimhautverdickungen („thumbprinting“), Darmwandverdickungen, freie Luft als Zeichen einer Perforation im Rahmen einer Darmnekrose, Ileuszeichen (Darmschlingen mit Spiegelbildung). Eine intramurale Pneumatosis intestinalis und Gasansammlungen sowohl in der Pfortader als auch in den Mesenterialvenen weisen auf eine fortgeschrittene Darmischämie hin, jedoch sind diese nur selten bei etwa 5 % der Fälle nachweisbar.

Die **Sonographie** ist als Untersuchungsmethode ungeeignet (Klasse III - Empfehlung mit Evidenzniveau C nach ACC/AHA - Leitlinien), jedoch zusammen mit der konventionellen Röntgenaufnahme bei primärer Unklarheit der Beschwerden, eine gute und schnelle Methode, um andere mögliche Ursachen des akuten Abdomens **auszuschließen**. Obwohl die **Duplexsonographie** hochspezifisch ist (92 - 100 %), mangelt es an Sensitivität aufgrund von intraperitonealem Gas, Adipositas und anatomischen Veränderungen nach abdominalen Operationen (Mastoraki et al. 2016).

Die **Magnetresonanztomografie (MRT)** ist prinzipiell zur Diagnostik verwendbar, sollte jedoch unter Berücksichtigung des Zeitfaktors gegenüber der CT zurücktreten (Klar et al. 2012).

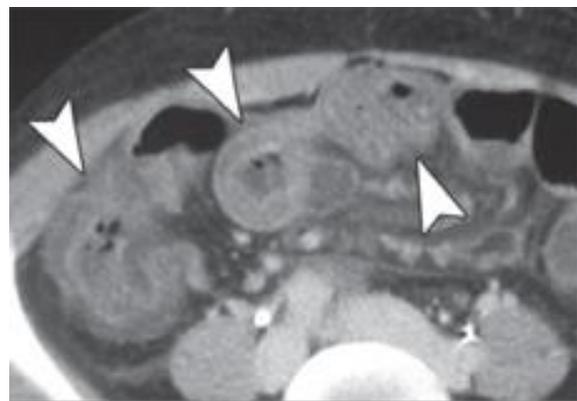
Die **Koloskopie** gilt seit langer Zeit als Standard in der Diagnostik der ischämischen Kolitis, erfasst aber in der Regel nur den Dickdarm oder Teile davon und gibt somit keinen Aufschluss über die Verhältnisse im Dünndarm, der ebenfalls häufig betroffen ist (Oldenburg et al. 2004).

### 1.3 Computertomografische Zeichen einer Darmischämie

Die CT - Zeichen einer AMI hängen von der Ursache, dem Schweregrad, der Lokalisation, der Ausdehnung, der Streuung derselben sowie dem Auftreten und dem Ausmaß einer submukösen oder intramuralen Hämorrhagie, einer Darminfektion und/oder einer Perforation ab. Deshalb sind diese Zeichen bei Patienten so heterogen und nicht spezifisch wie ihre klinischen und paraklinischen Angaben.

Nach Wiesner et al. 2003 und Göller 2012 wurden in dieser Studie 12 CT - Parameter berücksichtigt.

Eine **Darmwandverdickung** (Abbildung 1) ist besser darstellbar und erkennbar, wenn das Lumen dilatiert und gut mit Flüssigkeit oder Luft gefüllt ist. Allgemein liegt die Dicke der normalen Kolonwand zwischen 3 und 5 mm (je nach Distensionsgrad). Wenn das Lumen des gesunden Kolons distendiert ist, beträgt die normale Kolonwanddicke 1 bis 2 mm. Wenn das Lumen allerdings kollabiert ist, beträgt die Kolonwanddicke 3 bis 5 mm.

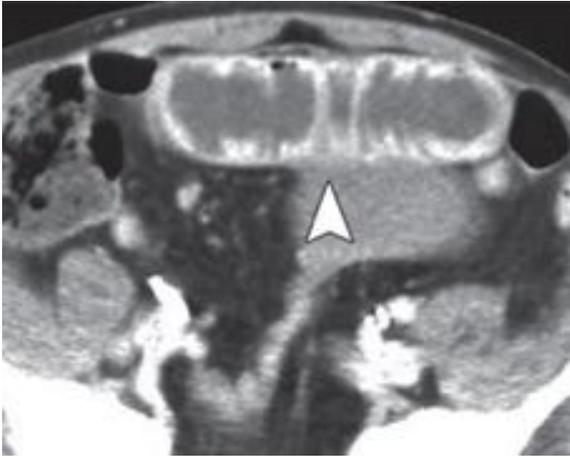


**Abbildung 1:** CT - Abdomen nach i.v. KM - Gabe einer 40-jährigen Patientin mit Thrombose der V. mesenterica superior und der Pfortader. Es zeigt sich Darmwandverdickung des Colons ascendens und transversum (Pfeile). Rarefizierung der mesenterialen Venen ist auch nachweisbar (Furukawa et al. 2009).

Dieser Parameter ist nicht sehr spezifisch, jedoch der am häufigsten gefundene CT - Parameter in AMI und kann durch Darmwandödem, Hämorrhagie oder eine Superinfektion der Darmwand verursacht sein. Eine Darmwandverdickung von ca. 8 bis 9 mm ist am häufigsten in venöser mesenterialer Okklusion, Strangulation, ischämischer Kolitis und mesenterialer arterieller Okklusion nach Reperfusion zu sehen. In einer reinen arteriellen okklusiven mesenterialen Ischämie oder Infarkt wird jedoch die Kolonwand feiner statt dicker, weil es keine arterielle Durchblutung mehr gibt und deshalb sich weder Ödem noch Hämorrhagie entwickeln.

Die Darmwandverdünnung oder „paper-thin-wall“ ist durch Volumenverlust des Gewebes und der Gefäße, sowie durch Verlust des muskulären Tonus der

Darmwand verursacht. Die Darmwandverdickung ist nicht der stärkste Befund in AMI und der Grad der Verdickung entspricht nicht der Schwierigkeit einer Wandläsion (Thoeni und Cello 2006, Furukawa et al. 2009).



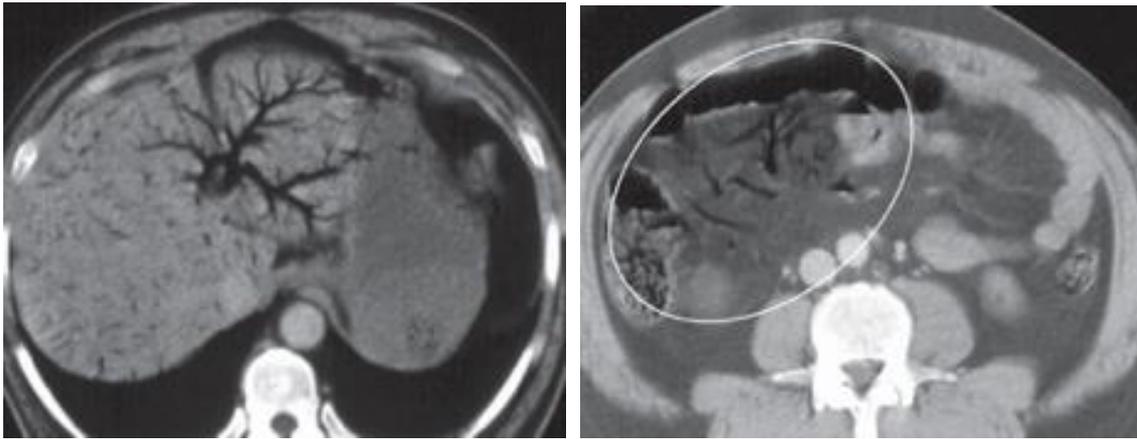
**Abbildung 2:** CT - (unteres) Abdomen nach i.v. KM - Gabe in der equilibrium Phase eines Patienten mit strangulierendem Darmverschluss. Es zeigt sich eine vermehrte KM - Darmwandaufnahme der betroffenen Darmschlingen (Pfeile) als Zeichen einer Darmischämie (Furukawa et al. 2009).

Die **KM - Darmwandaufnahme** (Abbildung 2 und 5) sollte immer in nativen sowie in KM - CT - Bildern verglichen werden, um falsche Auswertungen, wie eine hohe Densität der Darmwand, als positive KM - Aufnahme in Fällen von intramuraler Hämorrhagie zu vermeiden. In KM - CT - Bildern entspricht eine verminderte KM - Darmwandaufnahme einem Darmwandödem, welches normalerweise homogen ist und in mesenterialer arterieller Okklusion (nach Reperfusion),

mesenterialer venöser Okklusion (ausgeprägtes Darmwandödem), Strangulation und ischämischer Kolitis auftritt. Eine fehlende oder verminderte KM - Darmwandaufnahme ist ein hochspezifischer aber nicht sensitiver Befund einer AMI, die mittels einer KM - CT nachgewiesen werden kann.

Vermehrte KM - Darmwandaufnahme ist durch intramurale Hämorrhagie und hämorrhagischen Infarkt verursacht, eine intramurale Hämorrhagie kann diffus oder vorwiegend unter der Mukosa lokalisiert sein und in Fällen von arteriookklusiver und nicht okklusiver Darmischämie oder Infarkt gefunden werden.

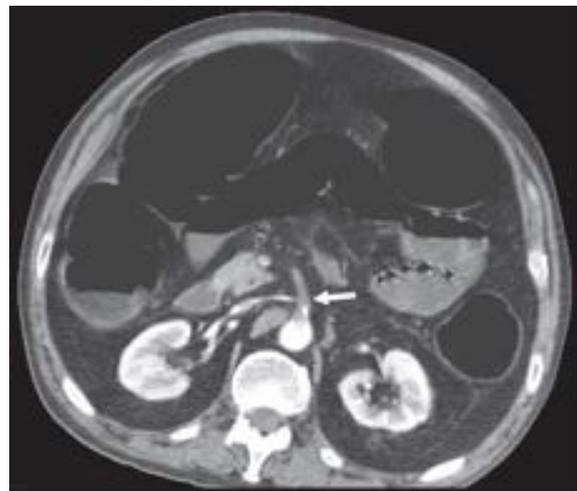
Obwohl es paradox erscheint, kann bei mesenterialer Ischämie eine vermehrte KM - Darmwandaufnahme durch Hyperämie (mesenteriale venöse Okklusion), Hyperperfusion (Reperfusion nach arterieller okklusiver oder nicht okklusiver Darmischämie) oder eine verlängerte KM - Darmwandaufnahme aufgrund der Reduktion der arteriellen Perfusion und des venösen Abflusses (strangulierende Darmobstruktion, nicht okklusive Darmischämie, „Schockdarm“) beobachtet werden (Furukawa et al. 2009).



**Abbildung 3:** CT-Abdomen nach i.v. KM - Gabe eines 56-jährigen Patienten mit mesenterialem Infarkt. Es zeigt sich Gas in Pfortaderästen (links) und in mesenterialen Venen (rechts) (Furukawa et al. 2009).

Nicht sehr häufige, aber spezifischere Befunde in einer AMI sind **Pneumatosis intestinalis** und **portomesenterisches venöses Gas** (Abbildung 3). Die Pneumatosis intestinalis zeigt sich wie kleine isolierende Gas - Bläschen in einer ischämischen Darmwand oder breite Gas - Ränder, die die gesamte Darmwand in 2 Schichten zerlegen. Portomesenterisches venöses Gas kann in Form von Gasbläschen in den mesenterialen Venen oder auch in den intrahepatischen Pfortaderästen (häufig in der Peripherie der Leber) gefunden werden. Im Rahmen einer AMI zeigt Pneumatosis intestinalis einen transmuralen Infarkt insbesondere zusammen mit portomesenterisch venösem Gas (Furukawa et al. 2009).

Der Durchmesser des **Kolonlumens** ist stark unterschiedlich (Abbildung 4 und 5). Der Durchmesser vom Zökum kann bis zu 9 cm reichen, während das Colon transversum normalerweise weniger als 6 cm im Durchmesser beträgt. Der Durchmesser des Restkolons ist geringer als der des Colons transversum. Dagegen ist der Durchmesser



**Abbildung 4:** CT - Abdomen nach i.v. KM - Gabe in arterieller Phase, mit Nachweis einer abgangsnahen Okklusion der A. mesenterica superior durch einen Embolus (Pfeil). Dilatation der dargestellten Darmanteile als Zeichen eines paralytischen Ileus sind auch zu sehen (Klar et al. 2012).

des Rektums, je nach Individuum, sehr unterschiedlich. Das Darmlumen dilatiert sich wegen der Unterbrechung der normalen Peristaltik (paralytischer oder mechanischer Ileus). Ursächlich für eine flüssige Dilatation der Darmschlingen ist eine zunehmende intestinale Sekretion und diese ist typisch bei venookklusiver Ischämie sowie strangulierender Darmobstruktion. In exklusiv arterieller Okklusion hat der Darm selten eine große Menge an luminaler Flüssigkeit (Furukawa et al. 2009).

Unter **Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes** (Abbildung 5) versteht man die Transsudation von Flüssigkeit in das Mesenterium, verursacht durch Erhebung von mesenterialem venösem Druck. Dieses Zeichen ist häufig bei strangulierender Darmobstruktion und venookklusiver Darmischämie gesehen. Es wird aber auch häufig bei ischämischer Kolitis auf Grund Superinfektion von ischämischen Darmsegmenten beobachtet (Furukawa et al. 2009).



**Abbildung 5:** CT - Abdomen nach i.v. KM - Gabe einer 57-jährigen Patientin mit AMI. Es zeigten sich dilatierte Darmschlingen mit und ohne KM - Darmwandaufnahme (Pfeile) im rechten Abdomen mit Fettimbibierung (\*) als Zeichen einer transmuralen Nekrose. Im linken Abdomen zeigt sich eine dilatierte Darmschlinge mit KM - Darmwandaufnahme, verdächtig für eine ischämische Läsion (Coppin et al. 2018).

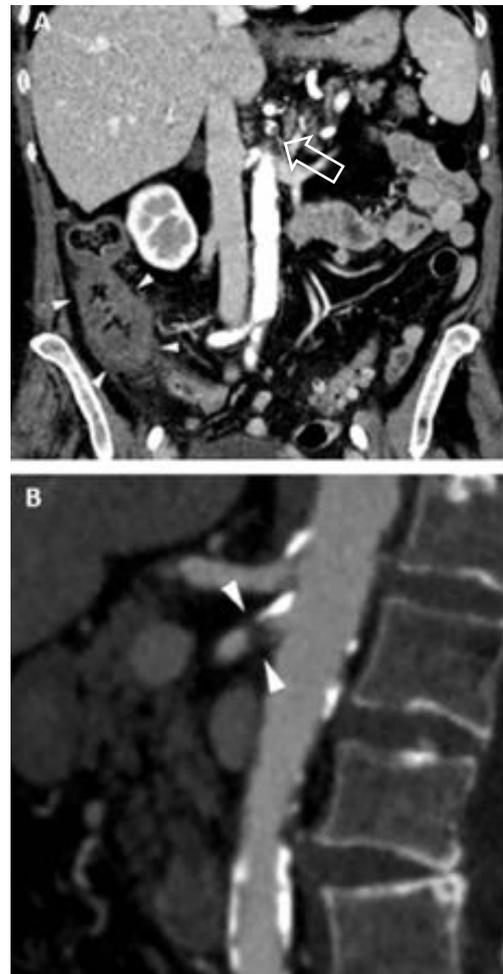
Eine **Mesenterialarterienstenose** (Abbildung 4 und 6) ist eine hämodynamisch relevante Verengung (Stenose) oder ein kompletter Verschluss einer Mesenterialarterie. Akute Verschlüsse der A. mesenterica superior können proximal oder distal sein und am häufigsten durch Thromboembolie verursacht werden, wo die Embolie aus dem linken Vorhof als Folge von einem VHF entsteht. Assoziierte Risikofaktoren sind Arteriosklerose, Thromboembolie aus der Aorta oder aus einer mesenterialen Arterie, spontan oder postoperativ durch Cholesterinembolie, vorausgegangene Gefäßeingriffe (z.B. Versorgung eines abdominalen Aortenaneurysmas, Stent - Implantation, etc). Während isolierte proximale Verschlüsse von nur einer viszerale Arterie eher gut durch kollateralen Anastomosen kompensiert sein können (solange die beiden anderen viszerale

Arterien intakt sind), führen distale Verschlüsse zu den schlimmsten ischämischen Schäden der Darmwand (Wiesner et al. 2003).

Unter **NOMI (nicht okklusive mesenteriale Ischämie)** versteht man eine Minderperfusion des mesenterialen Stromgebietes mit reaktivem Gefäßspasmus, ohne embolische oder atherosklerotische thrombotische Okklusion. Es kommt dabei zu unterschiedlich starkem Befall verschiedener Darmsegmente bis hin zur Gangrän. Die NOMI tritt am häufigsten in zwei völlig unterschiedlichen Szenarien auf: chronische Hämodialyse (Flüssigkeitsentzug mit Hypovolämie) oder einem Zustand nach kardiochirurgischem Eingriff mit extrakorporaler Zirkulation. Zum anderen kann die Herz - Lungen - Maschine (HLM) ihrerseits zu einer verminderten Splanchnikusdurchblutung beitragen. Hierbei spielen eine generalisierte inflammatorische Reaktion, der laminare Blutfluss ohne wesentliche systolisch - diastolische Druckunterschiede und Vasopressoren, die im Rahmen herzchirurgischer Eingriffe verabreicht werden müssen, eine Rolle.

Zu weiteren Risikofaktoren für eine NOMI zählen patientenbezogene Faktoren wie Alter,

eingeschränkte linksventrikuläre Pumpfunktion, periphere und zerebrovaskuläre Gefäßerkrankungen, Niereninsuffizienz sowie operative Faktoren wie Bypasszeit und Notwendigkeit einer intraaortalen Ballonpumpe. Erschwert wird die Diagnose der NOMI durch die Tatsache, dass die ersten Symptome meist unspezifisch sind und oft in einer instabilen Phase auftreten, in welcher der Patient häufig sediert,



**Abbildung 6:** CT - Abdomen nach i.v. KM - Gabe einer 87-jährigen Patientin mit ACVD und AMI. A) Es zeigt sich ein Thrombus in der Arteria mesenterica superior (dunkler Pfeil). Das Zökum und das Colon ascendens sind wandverdickt, ödematös und mit verminderter KM - Darmwandaufnahme (helle Pfeile). B) Der Thrombus in der Arteria mesenterica superior (Pfeile) ist deutlich zu sehen (Lehtimäki et al. 2015).

analgesiert und kontrolliert beatmet ist. Eine Laktaterhöhung ist nicht weiterführend, da diese nach HLM - Operation auch ohne mesenteriale Ischämie beobachtet werden kann (Klar et al. 2012).

Im Vergleich zu den gut bekannten Symptomen einer okklusiven mesenterialen Ischämie sind Symptome einer NOMI unterschiedlich und unspezifisch. Beispielsweise bestehen keine abdominellen Schmerzen oder diese sind von den Patienten auf Grund der Sedierung nicht berichtet worden. Außerdem ist NOMI häufig in fortgeschrittenem Stadium diagnostiziert.

## **2. Ziele der Arbeit**

Ziel dieser retrospektiven Analyse ist, die akute mesenteriale Ischämie nach kardiovaskulären Eingriffen frühzeitig und besser zu diagnostizieren und damit die hohe Mortalitätsrate zu senken. Bei dieser Studie wird untersucht, welchen Beitrag die Angio - CT dazu leisten kann.

Die CT ist im klinischen Alltag neben der klinischen und der Laboruntersuchung sowie der Koloskopie, eine wichtige und oft eingesetzte diagnostische Methode, um eine mesenteriale Ischämie zu beweisen oder auszuschließen. Dieser Untersuchung kommt im postoperativen Setting auf Intensivstation dadurch eine Schlüsselrolle zu, da eine Evaluierung der klinischen Situation bei den sedierten und intubierten Patienten oft nicht möglich ist und eine Koloskopie in der Regel nicht ordentlich vorbereitet und damit nur selten vollständig durchgeführt werden kann.

Da die Indikationsstellung zur Durchführung einer CT häufig aufgrund mehrerer Fragestellungen erfolgt, soll geklärt werden, ob die bekannten eine mesenteriale Ischämie anzeigenden CT - Parameter ausreichend beurteilbar sind, wenn parallel andere abdominelle pathologische Befunde vorliegen.

Deshalb ist es methodisch wichtig, nicht nur die CT - Parameter bei Patienten mit mesenterialer Ischämie zu verifizieren, sondern diese einer Gruppe gegenüberzustellen, die sich in einer klinisch vergleichbaren Situation befindet, bei der aber keine AMI diagnostiziert worden ist.

Im Einzelnen sollen mit dieser Studie folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche CT - Parameter zeigen in der Gruppe der Patienten mit mesenterialer Ischämie die Durchblutungsstörung am häufigsten und zuverlässigsten an?
- Sind diese Parameter bei Patienten ohne nachgewiesene mesenteriale Ischämie tatsächlich negativ?
- Gelingt es durch eine Zusammenfassung aller Parameter mit einer bekanntermaßen hohen Spezifität, die Aussagekraft der CT - Untersuchung in Bezug auf das Vorliegen einer AMI zu erhöhen?

Wenn die hier untersuchten CT - Parameter eine hohe positive oder negative Aussagekraft zum Vorliegen einer akuten mesenterialen Ischämie aufweisen, müsste dies eine schnellere, ausnahmslose und bei Risikofaktoren ggf. planmäßige Integration der CT - Untersuchung in die abdominelle Diagnostik nach kardiovaskulären Eingriffen nach sich ziehen.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Patienten**

In dieser retrospektiven Untersuchung wurden alle Patienten der chirurgischen ITS des Universitätsklinikums Jena erfasst, bei denen von Januar 2006 bis Dezember 2016 nach erfolgter Herzoperation (n = 14176) eine CT - Untersuchung des Abdomens (auch Kombinationen) aus unterschiedlicher Indikation durchgeführt wurde (n = 111). Der durchgeführte herzchirurgische Eingriff ließ sich einer der folgenden fünf Kategorien zuordnen: Koronararterienbypass mit HLM (CABG), Koronararterienbypass ohne HLM (OPCAB), Rekonstruktion oder Ersatz von Herzklappen mit HLM, Eingriffe an der thorakalen Aorta mit HLM und Kombinationsoperationen mit HLM.

Weitere 22 Patienten (16,5 % der GG und 33,8 % der KG) kamen hinzu und wurden später in die Kontrollgruppe integriert, bei denen ebenfalls eine Abdominal - CT auf der postoperativen Intensivstation durchgeführt wurde, welche jedoch eine

Allgemein- und Viszeraloperation (n = 18) oder eine Gefäßoperation (n = 4) als primäre Operation erhielten.

Zudem wurde die Datenbank des Universitätsklinikums Jena im entsprechenden Zeitraum nach folgenden Schlüsselwörtern der von dem Intensivmediziner angegebenen CT - Indikation (allein oder gruppiert und ohne bestimmte Reihenfolge) durchsucht:

- Akutes Abdomen / unklares Abdomen
- Sepsis / erhöhte Infektparameter / Fokussuche / Organversagen
- Darmischämie / ischämische Enterokolitis / Darminfarkt / Mesenterialischämie / Mesenterialinfarkt / Darmwandnekrose / Darmgangrän
- Laktatanstieg

Auf diese Weise konnten alle Patienten mit einer CT - Untersuchung des Abdomens und Verdacht auf eine Darmischämie, genauso wie Patienten, die keine Darmischämie aufwiesen und eine CT - Untersuchung aus anderer Indikation erhielten, ermittelt werden. In unserer Untersuchung ging bei allen Patienten mit einer Operation bei Kolonischämie oder dem Verdacht auf diese eine CT des Abdomens voraus.

### **3.1.1 Patientengruppen (n = 133)**

In der **Fallgruppe (FG) (n = 68)** wurden Patienten eingeschlossen, die die o. g. Kriterien erfüllten, bei denen eine Kolonischämie in einer CT oder Koloskopie nachgewiesen und zunächst abdominell operiert wurde. Es waren auch Patienten integriert, bei denen in einer CT oder einer Koloskopie der Verdacht auf Kolonischämie bestand, in Folge dessen abdominell operiert und intraoperativ makroskopisch die Diagnose bestätigt wurde. Eine Darmischämie galt als gesichert, wenn diese in der postoperativen histologischen Untersuchung oder in der Obduktion eindeutig als solche beschrieben wurde.

Ausgeschlossen wurden diejenigen Patienten, bei denen die CT später als 4 Wochen nach der ersten Operation durchgeführt wurde, sowie Patienten, deren CT zu der Diagnose einer isolierten Dünndarmischämie führte.

In der **Kontrollgruppe (KG) (n = 65)** wurden Patienten eingeschlossen, bei denen im postoperativen Verlauf nach der primären Operation eine Indikation zur CT - Abdomen gesehen wurde, bei denen jedoch kein sicherer Verdacht auf eine AMI vorlag, bzw. diese im Rahmen einer Laparotomie ausgeschlossen wurde (36 Patienten = 55,4 % erhielten eine Laparotomie nach der CT).

### **3.1.2 Erfasste Patientendaten**

Für alle Patienten wurden aus der Datenbank folgende Daten erhoben:

- Name und Vorname
- Geburtsdatum
- Alter bei der CT - Durchführung
- Geschlecht
- Entlassungsart: Entlassung, Verlegung oder Mortalität
- Operationen am Herzen, an der A. Aorta ascendens, Arcus aortae oder thoracica (83,5 % der GG) oder an abdominalen Organen (16,5 % der GG), die zur stationären Aufnahme führten (mit der Information: Art des Eingriffes und Zeitpunkt; Indikation des Eingriffes: Notfall, dringlich oder elektiv).  
Die Dringlichkeit einer Operation richtete sich nach der zeitlichen Notwendigkeit des operativen Handelns und ließ sich in drei Kategorien einteilen. Notfalloperationen definierten sich durch ein direktes operatives Eingreifen ohne zeitliche Verzögerung (maximal eine Stunde) nach Indikationsstellung. Dringliche Operationen tolerierten ein Zeitfenster von 24 Stunden. Zu den elektiven Eingriffen zählten geplante Operationen mit einem zeitlichen Abstand zur Indikationsstellung von über 24 Stunden.
- Medizinische Scores (ASA Klassifikation vom Tag der ersten Operation, SAPSII vom ITS - Aufnahmetag, SAPSII vom Tag der ersten Operation, SOFA und SAPSII vom Tag der CT).

- Katecholamingabe vom Tag der CT (Dosierung Dobutamin, Adrenalin und/oder Noradrenalin)
- Zeit von der ersten Operation zur CT (in Tagen) und von der CT zur nachfolgenden Operation (in Stunden).
- Diagnose der Darmischämie durch Koloskopie oder Laparotomie oder Bestätigung durch pathologische Untersuchung des intraoperativen Präparates oder Obduktion.

### **3.2 CT - Kriterien**

Die CTs wurden ausschließlich durch die Kollegen der hauseigenen radiologischen Abteilung durchgeführt, entweder mit einem 512 - Scheiben- oder 64 - Scheiben-Scanner (Revolution CT oder VCT, GE Healthcare, Boston, Massachusetts, USA) unter Verwendung von 70 ml Kontrastmittel (Imeron 400, Bracco Imaging, Mailand, Italien) gefolgt von 50 ml Kochsalzlösung durchgeführt (4 ml/s).

Bei der FG wurde nur die letzte CT vor der notfallmäßigen abdominalen Operation unter dem Verdacht auf eine AMI analysiert und beurteilt. CTs, die über 4 Wochen nach der ersten Operation durchgeführt worden waren, wurden ausgeschlossen.

Für alle CT - Untersuchungen des Abdomens wurden Datum und Uhrzeit, Indikation und Phase der CT (arteriell / venös und/oder mit oralem KM) erhoben.

Die Bilder wurden entweder in der arteriellen Phase (n = 9; 6,8 %), der venösen Phase (n = 3; 2,3 %) oder in beiden Phasen (n = 117; 87,9%) aufgenommen. Bei zwei Patienten (1,5 %) wurde kein Kontrastmittel angewendet. Zwei weitere Patienten erhielten nur orales Kontrastmittel.

#### **3.2.1 Einzelparameter**

Die ursprünglichen CT - Berichte (CT1) wurden erfasst, zunächst retrospektiv auf die AMI Kriterien hin untersucht und mit der Indikationsstellung für die CT in Zusammenhang gebracht, anschließend mit unserer erneuten Beurteilung (CT2) verglichen, um ihre Aussagekraft bezüglich einer AMI - Diagnose zu analysieren. Unabhängig von den originalen CT - Berichten wurden nachträglich alle CT -

Untersuchungen des Abdomens beider Gruppen von zwei unabhängigen Lesern auf einer PACS - Workstation verbunden und retrospektiv erneut beurteilt. Den Untersuchern war nicht bekannt, ob die vorliegende CT zu einem Patienten aus der Fall- oder Kontrollgruppe gehörte. Im Fall einer Diskrepanz wurden die Parameter besprochen und gemeinsam über das Ergebnis entschieden. Die CT - Parameter wurden rechts und links (Trennmarke mittleres Colon transversum) mit Hilfe unseres Formulars („Patienten - Formular“, als Anhang) getrennt ausgewertet, um differenzierte Ergebnisse zu den einzelnen Kolon - Abschnitten zu erhalten bzw. Informationsverluste zu minimieren.

Zusätzlich wurden die Prüfer gebeten, das Sicherheitsniveau ihrer Entscheidung nach dem Sicherheitsscore (SS) für radiologische Diagnosen (Schneider et al. 2008) zu bewerten. Der SS verwendet eine fünfstufige Skalierung wie folgend:

SS1: Sehr gut beurteilbar (keine Artefakte, ausgezeichnete Gefäß KM - Darmwandaufnahme)

SS2: Gut beurteilbar

SS3: Eingeschränkt beurteilbar

SS4: Nicht sicher beurteilbar

SS5: Nicht beurteilbar

Alle Parameter, die mit „SS3“ und höher bewertet wurden, wurden später als „nicht beurteilbar“ klassifiziert.

Die Beurteilung des Kolons, in rechter und linker Seite unterschieden, erfolgte nach folgenden Parametern (Göller 2012, Wiesner et al. 2003), vgl. Tabelle 1:

1. Dicke der Darmwand (max. Dicke in mm, wenn verdickt)
2. Pathologische KM - Darmwandaufnahme
3. Intramurale Gaseinschlüsse (Pneumatosis intestinalis)
4. Darmlumen (max. Durchmesser in mm, wenn dilatiert)
5. Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes
6. Aszites
7. Portomesenterisches venöses Gas

8. Stenose der A. mesenterica superior zentral und Durchmesser in mm (Messung und Beurteilung auf Höhe der Vena renalis sinistra)
9. Rarefizierung der A. mesenterica superior in der Peripherie
10. Atherosklerose der A. mesenterica superior
11. Kontrastierung der A. mesenterica inferior zentral
12. NOMI

Die Einzelparameter sind neben Tabelle 1 auch im „Patienten - Formular“ dargestellt. Nach Erfassung aller Parameter wurden diese mit verschiedenen mathematischen Modellen zusammengefasst, um klinisch anwendbare Scores zu entwickeln, denen eine höhere Aussagekraft zum Beweis oder Ausschluss des Vorliegens einer Ischämie in den beurteilten Kolonabschnitten zugerechnet werden kann.

<b>Parameter</b>	<b>Zusatzinformation</b>
<b>Darmwand Verdickung</b>	In unserer Studie lag eine Darmverdickung vor, wenn $\geq 5$ mm.
<b>Pathologische KM - Darmwandaufnahme</b>	Als pathologisch betrachtet, wenn abwesend, inhomogen oder vermehrt. Das Auftreten von einem Halo ist ein Hinweis von mesenterialer Ischämie und zeigt eine spätere Phase von Hyperämie und Hyperperfusion im Zusammenhang mit einem umliegenden muralen Ödem. Dies kann in arterieller Okklusion nach Reperfusion, nicht okklusiver und venösokklusiver Darmischämie, Strangulation und ischämischer Kolitis gefunden werden.
<b>Pneumatosis intestinalis und portomesenterisches venöses Gas</b>	Die angetretene Spezifität von Pneumatosis intestinalis und portal venösem Gas in einer AMI liegt bei fast 100 % (Wiesner et al. 2003).
<b>Dilatiertes Lumen</b>	Das Darmlumen dilatiert sich wegen der Unterbrechung der normalen Peristaltik (paralytischer oder mechanischer Ileus). Ursächlich für eine flüssige Distension der Darmschlingen ist eine zunehmende intestinale Sekretion, wie bei venookklusiver Ischämie sowie strangulierender Darmobstruktion.

<b>Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes</b>	<p>Eine Fettimbibierung kann ohne Darminfarkt auftreten (z.B. bei einer ischämischen Kolitis) und hat daher eine limitierende Bedeutung, um den Schweregrad einer Darmischämie in diesen Fällen zu beurteilen. Jedoch in Patienten mit einer arteriell okklusiven mesenterialen Ischämie ist die Fettimbibierung fast ausschließlich zusammen mit transmuralem Infarkt gesehen. Dieses Zeichen kann daher doch hilfreich sein, um den Schweregrad einer Darmischämie in diesen Fällen zu beurteilen (Furukawa et al. 2009).</p>
<b>A. mesenterica superior zentral - Stenose</b>	<p>Hämodynamisch relevanter Verschluss. Akute Verschlüsse der A. mesenterica superior durch Thrombose oder Embolie entsprechen ungefähr 60 - 70 % der A. mesenterica inferior - Fälle (Wiesner et al. 2003).</p>
<b>NOMI</b>	<p>Die Letalität der NOMI ist in den letzten Jahren mit 50 - 70 % auf einem konstant hohen Niveau beschrieben worden und tritt am häufigsten in zwei völlig unterschiedlichen Szenarien auf: chronische Hämodialyse oder postkardiale Chirurgie mit extrakorporaler Zirkulation. Die NOMI manifestiert sich nach etwa 0,5 - 1 % aller herzchirurgischen Eingriffen mit multifaktorieller Genese wie Verminderung des Herz - Zeit - Volumens oder einer perioperativ hypotonen Phase.</p>
<p><b>Andere Parameter:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aszites</b></li> <li>• <b>A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung</b></li> <li>• <b>A. mesenterica superior zentral - Sklerose</b></li> <li>• <b>A. mesenterica inferior zentral - Okklusion</b></li> </ul>	

**Tabelle 1:** Zusatzinformation über die CT - Parameter

### 3.2.2 Scores

Aus den Einzelparametern wurden drei verschiedene Punktwerte (Scores) berechnet:

Die „**Summe 12**“ ist die Summe der 12 oben genannten Parameter (spezifisch und unspezifisch), wobei bei Vorliegen, bzw. bei pathologischen Veränderungen, jeder Parameter mit einem Punkt bewertet wurde. Der „**spezifische Kolonischämie (KI) - Score**“ ergibt sich aus der Summe der hochspezifischen Parameter nach Göller 2012, wenn sie als pathologisch eingeschätzt wurden (jeweils 1 Punkt). Für den „**gewichteten KI - Score**“ wurden dieselben sieben Parameter verwendet. Diejenigen Parameter, die in der Untersuchung von Göller 2012 die höchsten

Spezifitätswerte aufwiesen (von über 90 %), wurden jedoch gewichtet (mit 2 Punkten) versehen. Die anderen Parameter erhielten bei Vorliegen pathologischer Kriterien wiederum 1 Punkt, womit eine Maximalpunktzahl von 10 Punkten möglich war. Die Unterscheidung für diesen Score wurde wie folgt vorgenommen:

1. Darmwandverdickung	Ja	= 1 Punkt
	Nein	= 0 Punkte
2. Kontrastmittelaufnahme der Darmwand	Keine	= 2 Punkte
	Verminderte	= 1 Punkt
	Gute	= 0 Punkte
3. Pneumatosis intestinalis und mesenterialvenöses bzw. portalvenöses Gas	Ja	= 2 Punkte
	Nein	= 0 Punkte
4. Dilatiertes Lumen	Ja	= 1 Punkt
	Nein	= 0 Punkte
5. Mesenteriales Ödem (Imbibierung des mesent. Fettgewebes)	Ja	= 1 Punkt
	Nein	= 0 Punkte
6. $\geq 50$ %ige Abgangsstenose der A. mesenterica superior zentral	Ja	= 2 Punkte
	Nein	= 0 Punkte
7. NOMI	Ja	= 1 Punkt
	Nein	= 0 Punkte

### 3.3 Statistische Auswertung

Für die **statistische Auswertung** wurden die klinischen und radiologischen Daten auf einem Personal Computer erfasst und ausgewertet. Die Tabellen und Diagramme wurden mit der Software Excel 2016 (Microsoft®) erstellt.

Patienten mit oder ohne mesenteriale Ischämie wurden zunächst mit univariaten Analysen hinsichtlich allgemeiner, chirurgischer und anderer perioperativer Parameter verglichen. Fishers Exakt oder Chi - Quadrat - Tests wurden für kategoriale Variablen durchgeführt und der Mann - Whitney U -Test für kontinuierliche Variablen. Kontinuierliche Daten wurden als Mittelwert mit Standardabweichung (SD) dargestellt,  $p < 0,05$  wurde als signifikant erachtet. Sensitivität und Spezifität und ihre 95 % Konfidenzintervalle (CI) von allen Parametern wurden basierend auf der binomialen Verteilung analysiert. Es wurde die Signifikanz, der Regressionskoeffizient sowie die Odds Ratio jedes eingeschlossenen Parameters gespeichert. Der Diagnosewert aller Einzelparameter, einschließlich unserer Scores („Summe 12“, „spezifischer KI - Score“ und „gewichteter KI - Score“), wurden anhand der Receiver - Operating - Characteristic (ROC) - Kurve und dem Youden - Index ermittelt. Die Analysen wurden mit Hilfe des statistischen Pakets IBM SPSS Statistics, Version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) durchgeführt.

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Patienten**

In diese Studie wurden 133 Patienten einbezogen, die innerhalb von 4 Wochen nach einer großen kardiovaskulären ( $n = 111$ ) oder abdominalen ( $n = 22$ ) Operation eine abdominale CT aus unterschiedlicher Indikation erhielten. Hauptsächlich jedoch, um pathologische Abdominalbefunde oder eine abdominale Ursache einer Sepsis, erhöhter Infektionsparameter oder einer Laktatämie auszuschließen.

Die Diagnose einer akuten mesenterialen Ischämie wurde bei 68 Patienten gestellt, die alle aus diesem Grund operiert wurden (FG). Bei weiteren 43 Patienten nach einer Herzoperation und bei 22 Patienten nach einer Abdominal-, oder Gefäßoperation wurden innerhalb des Zeitraumes auf der Intensivstation keine Anzeichen einer mesenterialen Ischämie festgestellt, die sie für die Einstufung in die

Kontrollgruppe (KG) qualifizierten. Die durchschnittliche Zeitspanne zwischen primärer Operation und diagnostischer CT betrug retrospektiv 7 Tage (Range: 5 Stunden bis 35 Tage). Bei Patienten, die auf Grund einer pathologischen CT eine Laparotomie benötigten (n = 104; 78,2 %), betrug die durchschnittliche Zeit zwischen CT und Laparotomie 6 Stunden und 19 Minuten (Range: 0:47 - 440:03 Stunden). Die Mehrheit der Patienten bekam eine Laparotomie innerhalb von 48 Stunden (n = 89; 85,6 %), und mehr als die Hälfte davon innerhalb von 24 Stunden (n = 76; 73,1 %).

Das Durchschnittsalter der Studiengruppe betrug 70 Jahre (SD = 12,22), 73 % der Patienten waren männlich. Beide Parameter unterschieden sich nicht zwischen FG und KG (Tabelle 2). Die Krankenhaus - Mortalität war in beiden Gruppen sehr hoch, ohne signifikante Unterschiede aufzuweisen (73,5 % für die FG und 66,2 % für die KG; p = 0,450).

Am Tag der ersten Operation zeigten sich die Parameter der ASA - Klassifikation (p = 0,07) und des SAPSII - Scores (p = 0,07) ohne signifikante Unterschiede.

Auch am CT - Tag waren der SAPSII - Score (p = 0,598) und der SOFA - Score (p = 0,416) beider Gruppen vergleichbar.

Kriterien	Fallgruppe (n= 68)	Kontrollgruppe (n= 65)	p
Durchschnittl. Alter (Range)	67,7 (18 - 85)	66,9 (16 - 87)	0,752
% Männer	45 (66,2 %)	52 (80,0 %)	0,082
Krankenhaus - Mortalität	50 (73,5 %)	43 (66,2 %)	0,450
ASA - am Tag der 1. Operation (SD)	3,31 (0,50)	3,15 (0,59)	0,073
SAPS II - am Tag der 1. Operation (SD)	50,82 (15,50)	48,81 (16,81)	0,072
SOFA - am Tag der CT (SD)	12,54 (3,07)	11,67 (4,22)	0,598
SAPS II - am Tag der CT (SD)	61,81 (16,28)	58,78 (20,55)	0,416
<b>Chirurgische Daten</b>			

<b>Diagnostik Kolonischämie</b>	68 (100 %)	0	
Rechts isoliert	19 (27,9 %)	0	
Links isoliert	8 (11,8 %)	0	
Beidseitig	41 (60,3 %)	0	
<b>Art der ersten Operation</b>			
Herz- und Thoraxchirurgie	68 (100 %)	43 (65 %)	
Allg.-, Visz.- und Gefäßchirurgie	0	22 (35 %)	
<b>Dringlichkeit der ersten Operation (laut der OP - Anmeldung)</b>			
Notfall	19 (27,9 %)	22 (33,5 %)	0,508
Dringlich	14 (20,6 %)	12 (18,5 %)	
Elektiv	35 (51,5 %)	31 (47,7 %)	
<b>Abdomen - CT</b>	68 (100 %)	65 (100 %)	
Durchschnitt. Zeit zwischen 1. OP und CT, in Tagen (SD)	7,15 (6,81 %)	7 (7,90 %)	0,003
<b>Laparotomie nach CT</b>	68 (100 %)	36 (55,4 %)	
Kolonresektion	59 (86,8 %)	15 (23,1 %)	
Gefäßeingriff (Bypass, Embolektomie)	2 (2,9 %)	3 (4,6 %)	
Explorative Laparotomie	7 (10,3 %)	18 (27,7 %)	
Durchschnitt. Zeit zwischen CT und Re-Operation, in Stunden (SD)	29,08 (52,3 %)	32,43 (77,2 %)	0,457

CT - Indikation			
Sepsis, Organversagen, ohne Verdacht auf AMI	21 (30,9 %)	23 (35,4 %)	0,928
Verdacht auf AMI, Laktatämie	33 (48,5 %)	28 (43,1 %)	
Andere	14 (20,6 %)	14 (21,5 %)	

**Tabelle 2:** Klinische Merkmale und chirurgische Daten zum Vergleich von Patienten mit mesenterialer Ischämie (n = 68) und ohne mesenteriale Ischämie (n = 65).

#### 4.1.1 Patientengruppen

##### Fallgruppe (FG)

Bei 35 von 68 Patienten (51,5 %) wurde elektiv eine Herzoperation durchgeführt, bei 14 (20,6 %) eine Dringlichkeitsoperation und bei 19 Patienten (27,9 %) eine Notoperation (Tabelle 2). Die Verteilung der ischämischen Teile des Dickdarmes war bei 41 Patienten bilateral (60,3 %), weitere 19 Patienten (27,9 %) zeigten eine isolierte Kolonischämie der rechten Seite. Ein Patient hatte vor Jahren eine rechte Hemikolektomie, somit war die Beurteilung der rechten Kolonseite nicht möglich. Eine isolierte Ischämie des linken Hemikolons einschließlich des Rektums wurde nur bei 8 Patienten (11,8 %) beobachtet. Demnach zeigten nur 8 von 49 Patienten mit linker Kolonischämie keine zusätzliche rechtsseitige Ischämie. Alle Patienten der Kontrollgruppe erhielten eine nachfolgende Laparotomie. Bei 59 Patienten (86,8 %) mussten ischämische Teile des Dickdarmes reseziert werden, zwei Patienten (2,9 %) wurden mit mesenterialer Embolektomie behandelt, und bei 7 Patienten (10,3 %) wurde das Verfahren als diagnostische Laparotomie aufgrund einer kompletten Gangrän des Darmes abgeschlossen.

Die vom Intensivmediziner angegebene Indikation für die CT - Untersuchung des Abdomens war die Abklärung von Sepsis, Organversagen und Erhöhung der Infektionsparameter ohne Nennung einer mesenterialen Ischämie als Differentialdiagnose in 21 Fällen (30,9 %). Die Möglichkeit einer mesenterialen

Ischämie mit oder ohne Laktatämie wurde bei 48,5 % der Patienten erwähnt (n = 33). Patienten mit anderen Indikationen wurden in einer dritten Gruppe zusammengefasst (n = 14; 20,6 %).

Die CT bestätigte in 44 Fällen eine akute mesenteriale Ischämie (15 beidseits). Bei weiteren 24 Patienten wurden mittels CT keine Anzeichen einer mesenterialen Ischämie festgestellt oder erwähnt. Die Diagnose einer Kolonischämie wurde jedoch entweder während einer Koloskopie oder einer anschließenden Laparotomie gestellt. Alle 68 Patienten mit diagnostizierter mesenterialer Ischämie wurden operiert.

### **Kontrollgruppe (KG)**

47,7 % (n = 31) der Patienten der Kontrollgruppe wurden elektiv, 18,5 % (n = 12) dringend und 33,8 % (n = 22) notfallmäßig operiert. Neben 43 Patienten nach Herz - Kreislauf - Operationen wurden 22 Patienten eingeschlossen, bei denen eine Abdominal-, oder Gefäßoperation als primäre Operation durchgeführt wurde. Dabei handelte es sich um eine Pankreasresektion (7), Leberresektion (3), Ösophagusresektion (2) oder Darmresektion (2), Hernienreparatur (3) oder Gefäßoperation (4).

Bei keinem Patienten der Kontrollgruppe wurde eine Kolonischämie diagnostiziert. Infolge der CT - Ergebnisse erhielten 36 Patienten (55,4 %) eine Laparotomie und 29 Patienten (44,6 %) keine. Von den operierten Patienten wurden 18 (27,7 % der KG) lediglich exploriert; 15 (23,1 %) erhielten eine Darmresektion und 3 Patienten (4,6 %) wurden abdominell vaskulär operiert.

Der Intensivmediziner erwähnte bei der CT - Indikationsstellung die Möglichkeit einer mesenterialen Ischämie bei 43,1% (n = 28) der CT - Anfragen. 23 CTs wurden durchgeführt, um systemische Infektionen / Sepsis unklarer Genese (35,4 %) ohne Differentialdiagnose einer mesenterialen Ischämie auszuschließen. 14 Patienten (21,5 %) erhielten aus anderen Gründen eine CT (Tabelle 2).

## 4.2 CT - Befunde

Die Bewertung der CT - Parameter erfolgte getrennt für das rechte und das linke Hemikolon. Als Grundlage für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität, sowie positiven und negativen Vorhersagewerten der CT - Parameter diente die Einschätzung, ob in den betroffenen Kolonabschnitten eine AMI vorlag oder nicht. Die seitengetrenten Häufigkeiten sind in Tabelle 3 aufgeführt.

AMI	ja	nein	nicht beurteilbar
Rechtes Hemikolon	60 (45,1 %)	70 (52,6 %)	3 (2,3 %)
Linkes Hemikolon	49 (36,8 %)	84 (63,2 %)	0 (0 %)

**Tabelle 3:** Häufigkeiten für AMI rechts und links der Gesamtgruppe (n = 133), nicht seitlich isoliert. 3 Patienten bekamen vorher eine Hemikolektomie rechts (nicht beurteilbar).

### 4.2.1 Erstbefundung (CT1)

Nach Erfassung und Nachschau der schriftlichen CT - Befunde der Patienten der GG wurde festgestellt, dass in 62,5 % der 133 CT - Berichte keiner der in dieser Studie beschriebenen CT - Parameter erwähnt wurde, unabhängig davon, ob der Parameter (in CT2) als pathologisch eingeschätzt wurde oder nicht. Die häufigsten Parameter, auf die eingegangen wurde, waren Aszites mit 88,0 % (n = 96 nachgewiesen und n = 21 nicht nachgewiesen), eine relevante Stenosierung der A. mesenterica superior zentral mit 63,2 % (n = 23 nachgewiesen und n = 61 nicht nachgewiesen), sowie eine Stenose der A. mesenterica inferior zentral in 45,2 % (n = 5 nachgewiesen und n = 55 nicht nachgewiesen).

Die getrennte Auswertung dieser Zahlen aus der Fall- und der Kontrollgruppe zeigte, dass keine wesentlichen Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeit der erwähnten Parameter zu verzeichnen waren (Tabelle 4).

Betroffenes Kolon	Fallgruppe (n= 68)		Kontrollgruppe (n = 65)	
	Rechtes Hemikolon	Linkes Hemikolon	Rechtes Hemikolon	Linkes Hemikolon
<b>Darmwandverdickung</b>	18 (26,4 %) * 2 n.b.	1 (30,9 %)	32 (49,2 %) * 2 n.b.	31 (47,7 %)
<b>Pathologische KM - Darmwandaufnahme</b>	13 (19,2 %) * 3 n.b.	12 (17,6 %) * 1 n.b.	16 (24,6 %) * 2 n.b.	16 (24,6 %)
<b>Pneumatosis intestinalis</b>	19 (28,0 %) * 1 n.b.	18 (26,5 %)	10 (15,4 %) * 2 n.b.	9 (13,8 %)
<b>Dilatiertes Lumen</b>	25 (36,7 %) * 1 n.b.	24 (35,3 %)	18 (27,7 %) * 1 n.b.	19 (29,2 %)
<b>Fettimbibierung</b>	8 (11,8 %) * 1 n.b.	8 (11,8 %)	9 (13,9 %) * 2 n.b.	9 (13,8 %)
<b>Aszites</b>	59 (86,8 %)		58 (89,2 %)	
<b>Portmosenterisches venöses Gas</b>	23 (33,8 %)		18 (27,7 %)	
<b>A. mesenterica superior zentral - Stenose</b>	45 (66,2 %)		39 (60,0 %)	
<b>A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung</b>	28 (41,2 %)		22 (33,8 %)	
<b>A. mesenterica superior - Sklerose</b>	17 (25 %)		18 (27,7 %)	
<b>A. mesenterica inferior zentral - Okklusion</b>	29 (42,6 %) * 1 n.b.		31 (47,7 %)	
<b>CT - Zeichen einer NOMI</b>	14 (20,6 %)		13 (20,0 %)	

**Tabelle 4:** Erstbefundung (CT1). Wie oft die CT - Kriterien der Gesamtgruppe bei CT1 erwähnt wurden (positiv oder negativ). Berichte (%); NOMI = nicht okklusive Mesenterialschämie; n.b.= nicht beurteilbar.

Die Nennung der Parameter im Erstbefund wurde auch mit den CT - Indikationen korreliert. Diese Häufigkeiten sind in Tabelle 5 für die GG dargestellt. Dabei zeigte sich, dass die Nennung einiger Parameter häufiger erfolgte, wenn die Möglichkeit einer mesenterialen Ischämie bzw. eine Laktaterhöhung in der CT - Indikation genannt worden war. Am deutlichsten waren diese Unterschiede für die Aussage des Radiologen, dass eine NOMI vorliegt (34,4 % vs. 8,3 %), für die portomesenterische Pneumatosis (42,6 % vs. 20,8 %) und die pathologische KM - Darmwandaufnahme (29,5 % vs. 18,1 %).

Eine isolierte Betrachtung der Patienten mit gesicherter mesenterialer Ischämie (FG) zeigte Unterschiede bei den gleichen Parametern, aber mit einer noch deutlicheren Ausprägung. Auf eine vergleichende statistische Auswertung dieser Befunde wurde aufgrund der seltenen Erwähnung der Parameter im CT1 verzichtet.

Erwähnte Parameter für CT1 (nachgewiesen oder nicht nachgewiesen)	CT - Indikation	
	Mit Nennung AMI / Laktatämie (n = 61)	Ohne Nennung AMI / Laktatämie (n = 72)
Darmwandverdickung	22 (36,1 %)	30 (41,6 %)
Pathologische KM - Darmwandaufnahme	18 (29,5 %)	13 (18,1%)
Pneumatosis intestinalis	15 (24,6 %)	14 (19,4 %)
Dilatiertes Lumen	20 (32,8 %)	25 (34,7 %)
Fettimbibierung	7 (11,5 %)	10 (13,9 %)
Aszites	54 (88,5 %)	63 (87,5 %)
Portomosenterisches venöses Gas	26 (42,6 %)	15 (20,8 %)
A. mesenterica superior zentral - Stenose	40 (65,6 %)	44 (61,1 %)
A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung	26 (42,6 %)	24 (33,3)

<b>A. mesenterica superior - Sklerose</b>	19 (31,1 %)	16 (22,2 %)
<b>A. mesenterica inferior zentral - Okklusion</b>	31 (50,8 %)	30 (41,6 %)
<b>CT - Zeichen einer NOMI</b>	21 (34,4 %)	6 (8,3 %)

**Tabelle 5:** Korrelation CT- Indikation und Nennung der CT - Parameter im Erstbefund (CT1) für die Gesamtgruppe (n= 133). AMI = akute mesenteriale Ischämie.

#### **4.2.2 Nachbefundung (CT2)**

Die Sensitivität und Spezifität, sowie der positive und negative Vorhersagewert für jeden Parameter sind in Tabellen 6a und 6b aufgeführt. Die Parameter mit der höchsten Spezifität einer Kolonischämie des rechten Hemikolons waren intestinale (69/70 Patienten) oder porto-venöse (67/70) Pneumatoxis, vermehrte KM - Darmwandaufnahme (62/70), fehlendes KM in der A. mesenterica inferior zentral (57/70),  $\geq 50$  % Stenose der A. mesenterica superior zentral (55/70), gefolgt von mesenterialer Fettimbibierung (54/70). Ähnliche Ergebnisse wurden für die linke Seite erhalten, in der das erweiterte Lumen des Dickdarmes ein zusätzlicher hochspezifischer Parameter war (70/84).

Die Sensitivität zeigte sich bei den meisten Parametern als gering. Der höchste Prozentsatz bei einer Ischämie auf der rechten Seite wurde für Aszites (42/60 Patienten), Lumendilatation (39/60), Sklerose der A. mesenterica superior (37/60) und pathologische Dicke der Wand des betroffenen Kolons (26/60) festgestellt.

Dieselben vier Parameter wurden auch für das linke Kolon als am sensitivsten nachgewiesen, jedoch mit etwas veränderten Werten und einer unterschiedlichen Reihenfolge: Aszites bei 34/49 Patienten, gefolgt von Darmwanddicke (31/49), arterieller Sklerose (31/84) und einem dilatierten Lumen bei weniger als einem Drittel der Patienten (15/49).

Hohe positive Vorhersagewerte wurden für Pneumatoxis intestinalis (93,3 %) und pathologische KM - Darmwandaufnahme (90 %) auf der rechten Seite und Pfortader-

oder Mesenterialvenengas (100 %) und Pneumatosis intestinalis (83,3 %) auf der linken Seite nachgewiesen.

Ein quantitativer Vergleich des Sensitivitätsniveaus von beiden Seiten zeigte, dass, abgesehen von der Wanddicke, bei doppelt so vielen Patienten mit betroffenem rechtem Dickdarm direkte Anzeichen der ischämischen Darmwand (pathologische KM - Darmwandaufnahme, Pneumatosis intestinalis, Lumendilatation und Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes) festgestellt wurden. Linksseitig hingegen waren diese schwer zu erkennen. Eine statistisch signifikante Assoziation zwischen akuter mesenterialer Ischämie und CT - Erscheinungsbild wurde für die einzelnen Parameter pathologische KM - Darmwandaufnahme ( $p = 0,001$ ) und Pneumatosis intestinalis ( $p < 0,001$ ) auf der rechten Seite und isolierte Pneumatosis intestinalis ( $p = 0,025$ ) auf der linken Seite nachgewiesen.

Bei der Gruppierung einzelner Parameter in direkte (Darmwand selbst) und indirekte Zeichen (Merkmale der arteriellen Perfusion und Aszites) zeigten die einzelnen Parameter der letzten Gruppe eine ähnliche Sensitivität und Spezifität im Vergleich zu den typischen direkten CT - Zeichen einer akuten mesenterialen Ischämie.

Betroffenes Kolon	Rechtes Hemikolon			
	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
<b>Darmwandverdickung</b>	43,3 % (30,6 - 56,8)	55,7 % (43,3 - 67,6)	45,6 % (32,3 - 59,3)	53,4 % (41,4 - 65,2)
<b>Pathologische KM - Darmwandaufnahme</b>	15,0 % (7,1 - 26,6)	88,6 % (78,7 - 94,9)	90,0 % (55,5 - 99,8)	62,0 % (51,8 - 71,5)
<b>Pneumatosis intestinalis</b>	23,3 % (13,4 - 36,0)	98,6 % (92,3 - 99,9)	93,3 % (68,0 - 99,8)	60,0 % (50,4 - 69,0)
<b>Dilatiertes Lumen</b>	65,0 % (51,6 - 76,9)	45,7 % (33,7 - 58,1)	50,6 % (39,0 - 62,2)	60,4 % (46,0 - 73,6)
<b>Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes</b>	35,0 % (23,1 - 48,4)	77,1 % (65,6 - 86,3)	60,0 % (42,1 - 76,1)	59,8 % (49,0 - 69,9)
<b>Aszites</b>	70,0 % (56,8 - 81,2)	30,0 % (19,6 - 42,1)	46,2 % (35,6 - 56,9)	53,8 % (37,2 - 69,9)
<b>Portomesenterisches venöses Gas</b>	11,7 % (4,8 - 22,6)	95,7 % (88,0 - 99,1)	70,0 % (34,8 - 93,3)	56,3 % (46,9 - 65,4)
<b>A. mesenterica superior zentral - Stenose</b>	16,7 % (8,3 - 28,5)	78,6 % (67,1 - 87,5)	71,4 % (41,9 - 91,6)	57,3 % (46,8 - 67,3)
<b>A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung</b>	18,3 % (9,5 - 30,4)	80,0 % (68,7 - 88,6)	52,4 % (29,8 - 74,3)	55,4 % (45,2 - 65,3)
<b>A. mesenterica superior - Sklerose</b>	61,7 % (48,2 - 73,9)	34,3 % (23,4 - 46,6)	44,6 % (33,7 - 55,9)	51,1 % (36,1 - 65,9)
<b>A. mesenterica inferior zentral - Okklusion</b>	3,3 % (0,4 - 11,4)	81,4 % (70,3 - 89,7)	25,0 % (3,2 - 65,1)	50,9 % (41,3 - 60,5)
<b>CT - Zeichen einer NOMI</b>	20,0 % (10,6 - 32,3)	82,9 % (72,0 - 90,8)	75,0 % (47,6 - 92,7)	56,9 % (46,7 - 66,6)

Betroffenes Kolon	Linkes Hemikolon			
	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
<b>Darmwandverdickung</b>	63,3 % (48,3 - 76,6)	39,8 % (29,2 - 51,1)	38,3 % (27,7 - 49,7)	64,7 % (50,1 - 77,6)
<b>Pathologische KM - Darmwandaufnahme</b>	6,1 % (1,3 - 16,9)	89,3 % (80,6 - 95,0)	50,0 % (11,8 - 88,2)	67,0 % (57,4 - 75,6)
<b>Pneumatosis intestinalis</b>	10,2 % (3,4 - 22,2)	98,8 % (93,5 - 100)	83,3 % (35,9 - 99,6)	65,4 % (56,4 - 73,6)
<b>Dilatiertes Lumen</b>	30,6 % (18,2 - 45,4)	83,3 % (73,6 - 90,6)	51,7 % (32,5 - 70,6)	67,3 % (57,4 - 76,2)
<b>Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes</b>	16,3 % (7,3 - 29,7)	82,1 % (72,3 - 89,6)	38,1 % (18,1 - 61,6)	63,3 % (53,5 - 72,3)
<b>Aszites</b>	69,4 % (54,6 - 81,8)	28,6 % (19,2 - 39,5)	36,2 % (26,5 - 46,7)	61,5 % (44,6 - 76,6)
<b>Portomesenterisches venöses Gas</b>	10,2 % (3,4 - 22,2)	94,0 % (86,6 - 98,0)	100 % (47,8 - 100)	64,8 % (55,6 - 73,2)
<b>A. mesenterica superior zentral - Stenose</b>	14,3 % (5,9 - 27,2)	75,0 % (64,4 - 83,8)	46,7 % (21,3 - 73,4)	64,3 % (54,0 - 73,7)
<b>A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung</b>	18,4 % (8,8 - 32,0)	79,8 % (69,6 - 87,8)	40,9 % (20,7 - 63,6)	65,0 % (55,0 - 74,2)
<b>A. mesenterica superior - Sklerose</b>	63,3 % (48,3 - 76,6)	36,9 % (26,6 - 48,1)	36,9 % (26,6 - 48,1)	63,3 % (48,3 - 76,6)
<b>A. mesenterica inferior zentral - Okklusion</b>	4,1 % (0,5 - 14,0)	84,5 % (75,0 - 91,5)	25,0 % (3,2 - 65,1)	61,7 % (52,2 - 70,6)
<b>CT - Zeichen einer NOMI</b>	20,4 % (10,2 - 34,3)	83,3 % (73,6 - 90,6)	62,5 % (35,4 - 84,8)	66,7 % (56,8 - 75,6)

**Tabellen 6a (oben) und 6b (unten):** Sensitivität, Spezifität, positive (PPV) und negative (NPV) Vorhersagewerte von CT - Parametern, die auf eine mesenteriale Ischämie des rechten (6a) und linken Hemikolons (6b) hinweisen (n = 133, 95 % Konfidenzintervalle in Klammern). NOMI = nicht okklusive Mesenterialischämie.

### 4.3 Kombinierte Auswertung der CT - Befunde

Unter Berücksichtigung aller 12 beobachteten Parameter für den "Summe 12 - Score" (jeweils 1 Punkt) betrug die niedrigste Punktzahl für Patienten mit Kolonischämie auf der rechten Seite 2. Im Gegensatz dazu zeigte ein Patient mit mesenterialer Ischämie des linken Hemikolons kein positives Zeichen und 7 Patienten zeigten nur ein auffälliges Kriterium (Daten nicht gezeigt). Mit Augenmerk auf die 7 Parameter des "spezifischen KI - Scores" (jeweils 1 Punkt) blieben bei den 60 Patienten mit mesenterialer Ischämie auf der rechten Seite 5 (8,3 %) ohne und weitere 21 Patienten (35 %) mit nur einem positiven Zeichen. Auf der linken Seite wurden keine großen Unterschiede festgestellt, wobei 9 von 49 Patienten (18,4 %) mit Ischämie kein positives CT - Zeichen zeigten und weitere 20 Patienten (40,8 %) nur 1 Punkt erhielten. Ähnliche Ergebnisse wurden für den "gewichteten KI - Score" erhalten (Abbildungen 7). Im Gegensatz zu den Einzelparametern wurde für die rechte Seite eine positive, statistisch signifikante Assoziation zwischen beiden Scores und dem Auftreten von Kolonischämie festgestellt, nicht jedoch für die linke Seite.

Der optimale Grenzwert (Cut - off) für die Anzahl der positiven CT - Parameter lag für beide Seiten bei 2,5, was hochspezifisch, aber immer noch mit einer geringen Sensitivität verbunden, ist. Der "gewichtete KI - Score" der rechten Seite zeigte die höchste Vorhersagbarkeit der Kolonischämie mit einer Sensitivität von 47 % und einer Spezifität von 86 % (Youden - Index 1,324).

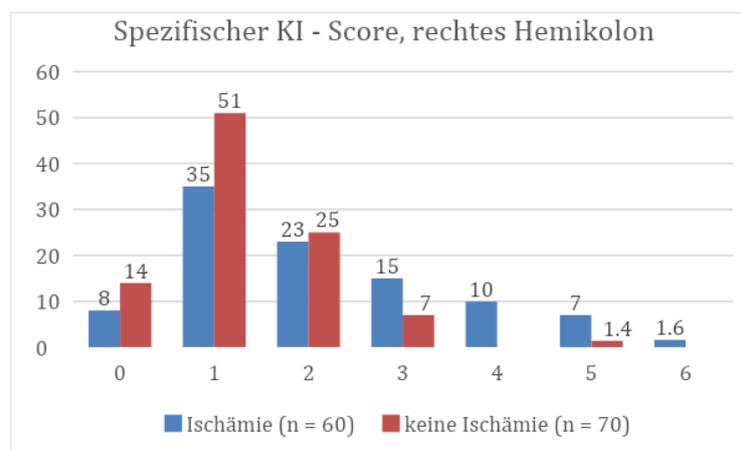


Abbildung 7a:  $p = 0,002$

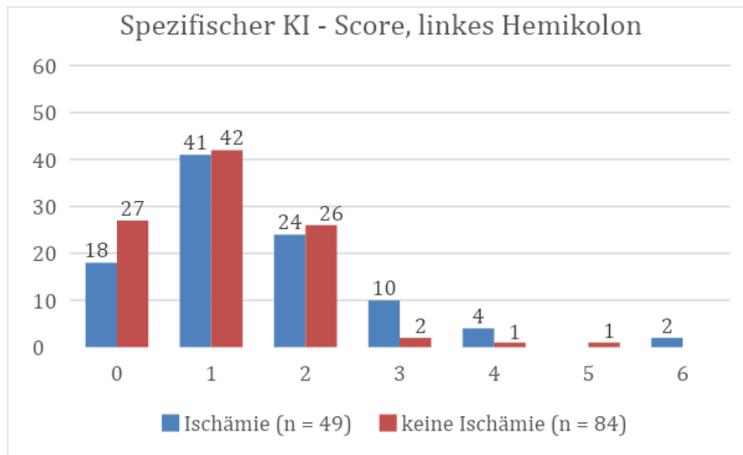


Abbildung 7b: p = 0,1

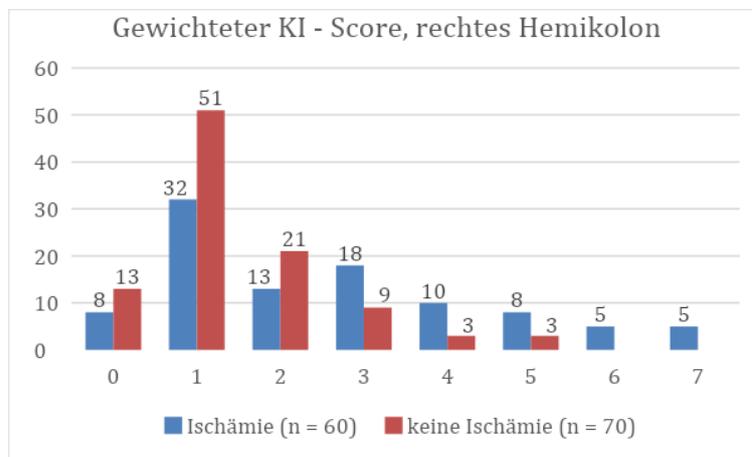


Abbildung 7c: p < 0,001

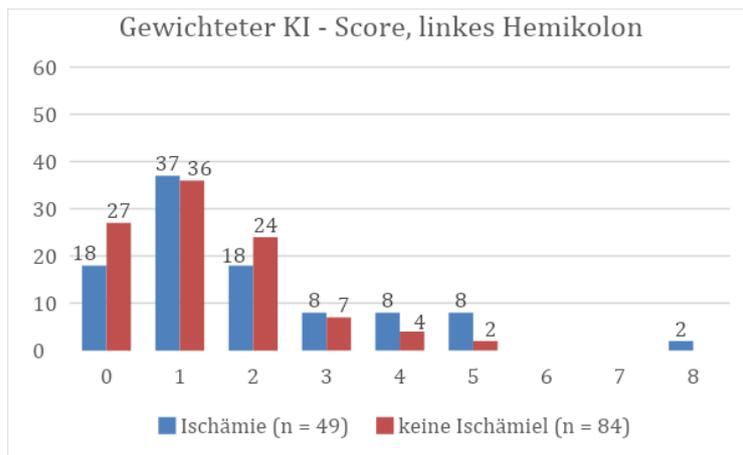


Abbildung 7d: p = 0,1

**Abbildungen 7:** spezifischer KI - Score (max. 7 Punkte) und gewichteter KI - Score (max. 10 Punkte) bei Patienten der Fallgruppe (blau) und der Kontrollgruppe (rot) getrennt für das rechte und das linke Hemikolon. KI = Kolonischämie.

#### **4.4 Assoziation zwischen CT - Parametern und akuter mesenterialer Ischämie (Odds Ratio)**

Zur Beurteilung der Assoziation zwischen der Positivität eines Parameters und dem Auftreten einer AMI wurde die Odds Ratio berechnet. Die höchsten Werte zeigten für das linke Hemikolon dabei eine pathologische KM - Darmwandaufnahme mit einem etwa 12mal erhöhten Risiko des Vorliegens einer AMI. Das Risiko einer Pneumatosis intestinalis zeigte sich 21fach erhöht und das Risiko einer Stenose der A. mesenterica superior zentral um den Faktor 3,3, sowie die Einschätzung des Untersuchers, dass eine NOMI vorliegt um den Faktor 4,1. Zu erwähnen sind auch die Fettimbibierung mit dem Faktor 2,2 und das portomesenterische venöse Gas mit 2,9 (Tabelle 7).

Bei der Beurteilung des linken Hemikolons waren die Werte weniger deutlich, hierbei zeigte sich die größte Odds Ratio für die Pneumatosis intestinalis mit einem 9,4mal erhöhten Risiko des Vorliegens einer AMI, gefolgt von der Einschätzung des Untersuchers, dass eine NOMI vorliegt um den Faktor 3,3. Zu erwähnen sind auch das dilatierte Lumen mit einem 2,2fach erhöhten Risiko einer AMI. Eine Signifikanz zeigte sich dabei nur für die Parameter pathologische KM - Darmwandaufnahme (95 % CI: 1,495 - 99,182), Pneumatosis intestinalis (95 % CI: 2,669 - 165,223) und das Auftreten einer NOMI (95 % CI: 1,254 - 13,574) für die rechte Seite und für die linke Seite nur für den Parameter Pneumatosis intestinalis (95 % CI: 1,068 - 83,263) und den geäußerten Verdacht einer NOMI (95 % CI: 1,129 - 9,842).

Bei der Beurteilung der Odds Ratio der Scores zeigte die Assoziation zwischen dem spezifischen KI - Score und dem Auftreten einer AMI ein 5,3fach erhöhtes Risiko, dass eine AMI auf der rechten Seite vorliegt (95 % CI: 1,973 - 14,413). Ähnliche Resultate zeigte der gewichtete KI - Score mit einer Odds Ratio von 5,25 (95 % CI: 2,267 - 12,160). Beide Werte weisen damit eine statistische Signifikanz auf. Wiederum etwas abgeschwächt, aber mit einem deutlich erhöhten Risiko, zeigten sich beide Scores auf der linken Seite. Die Odds Ratio für den spezifischen KI - Score betrug 3,902 (95 % CI: 1,109 - 13,729) und für den gewichteten KI - Score 2,396 (95 % CI: 0,978 - 5,875). Damit bestand zur Beurteilung der Assoziation auf

der linken Seite nur für den spezifischen KI - Score eine statistische Signifikanz, während diese für den gewichteten KI - Score knapp verpasst wurde (Tabelle 7).

Parameter	Rechts		Links	
	OR	95 % CI	OR	95 % CI
Darmwandverdickung	0,962	0,48 - 1,928	1,171	0,567 - 2,421
Pathologische KM - Darmwandaufnahme	12,176	1,495 - 99,182	1,761	0,341 - 9,084
Pneumatosis intestinalis	21,000	2,669 - 165,223	9,432	1,068 - 83,263
Dilatiertes Lumen	1,564	0,770 - 3,178	2,206	0,956 - 5,088
Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes	2,184	0,977 - 4,747	1,066	0,408 - 2,786
Aszites	1,0	0,471 - 2,122	0,907	0,420 - 1,959
Portomosenterisches venöses Gas	2,950	0,728 - 11,958	1,795	0,493 - 6,544
A. mesenterica superior zentral - Stenose	3,300	0,978 - 11,137	1,583	0,537 - 4,672
A. mesenterica superior - periphere Rarefizierung	1,347	0,528 - 3,434	1,229	0,483 - 3,127
A. mesenterica superior - Sklerose	0,939	0,410 - 1,720	1,007	0,485 - 2,091
A. mesenterica inferior zentral - Okklusion	0,368	0,071 - 1,895	0,553	0,107 - 2,854
CT - Zeichen einer NOMI	4,125	1,254 - 13,574	3,333	1,129 - 9,842
Spezifischer KI - Score	5,333	1, 973 - 14,413	3,902	1,109 - 13,729
Gewichteter KI - Score	5,250	2,267 - 12,160	2,396	0,978 - 5,875

**Tabelle 7:** Odds Ratio. Assoziation für die GG (n = 133) zwischen Einzelparameter und Scores, und AMI.

## 5. Diskussion

Diese retrospektive Analyse konzentrierte sich auf die Aussagekraft der CT - Parameter, um die Diagnose einer akuten mesenterialen Ischämie bei Patienten nach einer Herzoperation unter Intensivbedingungen zu ermöglichen, bei denen der Verdacht auf eine Darmischämie bestand oder zumindest nicht ausgeschlossen werden konnte. Abdominelle Komplikationen nach kardiochirurgischen Eingriffen treten nur bei 0,2 - 2 % auf (Caleb 2001, Ghosh et al. 2002, Göller 2012, Hasan et al. 2004, Klotz et al. 2001), von denen wiederum ein geringer Prozentsatz von 5 - 27 % eine mesenteriale Ischämie aufweist (Khan et al. 2006, Niederhäuser et al. 1996, Tsiotos et al. 1994) in (Göller 2012).

Die CT kann neben der klinischen Untersuchung und der Koloskopie als dritte Säule bei der Diagnosestellung einer Kolonischämie angesehen werden. Es wird berichtet, dass die Mehrschicht - CT eine Sensitivität und Spezifität von bis zu 90 % erreicht. Die Notwendigkeit einer aussagekräftigen bildgebenden Diagnostik bei Patienten nach einer Herzoperation in der Intensivtherapie steigt aus drei Gründen: 1) Die Wahrscheinlichkeit einer mesenterialen Ischämie ist bei dieser Untergruppe von Patienten höher, 2) klinische Zeichen sind möglicherweise schwer zu erkennen, weil die Patienten oft intubiert und beatmet sind oder kürzlich operiert wurden und unter Intensivtherapie - Bedingungen oft eine Darmparalyse oder jedenfalls kein normales Abdomen aufweisen und 3) eine vollständige Koloskopie gelingt nur selten, da eine optimale Darmvorbereitung auf der Intensivstation oft nicht durchgeführt werden kann.

Die Hauptfragestellung für diese Studie war daher, ob die CT - Parameter, die bekanntermaßen auf eine akute mesenteriale Ischämie hindeuten, auch bei dieser Untergruppe von Patienten unter Intensivbedingungen als solche erkennbar und interpretierbar sind. Studien, die diese CT - Parameter zwischen Patienten mit versus ohne AMI unter Intensivbedingungen vergleichen, sind aktuell in der Literatur kaum zu finden.

## 5.1 Patienten

Bei dieser Studie handelt sich um eine retrospektive Datenanalyse mit prospektiv erhobenen Daten. Von 14176 Patienten, die sich in dem Zeitraum zwischen Januar 2006 und Dezember 2016 nach einem herzchirurgischen Eingriff auf der Intensivtherapiestation befanden, bekamen 111 (0,8 %) eine CT - Abdomen aufgrund eines klinisch pathologischen abdominellen Befundes oder einer auffälligen Paraklinik. Weitere 22 (0,1 %) Patienten wurden in die Kontrollgruppe einbezogen, die ebenfalls aufgrund einer Verschlechterung des klinischen Zustandes auf der Intensivstation eine CT des Abdomens bekamen, zuvor aber viszeral- oder gefäßchirurgisch operiert worden waren. Wir entschlossen uns zu diesem Schritt, um Fall- und Kontrollgruppe in gleicher Größenordnung gegenüberzustellen. Für unsere Fragestellung sahen wir darin keinen Nachteil, da diese zur Beurteilung diente, ob die CT - Parameter bei Patienten unter Intensivtherapie - Bedingungen die bekannten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte aufweisen. Die Patienten der Fall- und Kontrollgruppe zeigten ähnliche Kenndaten sowie klinische und paraklinische Befunde, daher waren beide Gruppen gut vergleichbar. Die erfassten medizinischen Scores am Tag der ersten Operation und am CT - Tag zeigten keinen großen Unterschied zwischen beiden Gruppen, lagen aber sowohl für die Fallgruppe als auch für die Kontrollgruppe sehr hoch. Daraus wird erkennbar, dass es sich in unserer Studie um eine Kohorte handelt, die mit Patienten, die beispielsweise wegen einer mesenterialen Ischämie in der Notaufnahme aufgenommen werden, nicht vergleichbar ist. Der hohe SOFA - Score in beiden Gruppen am CT - Tag unterstreicht dies und deutet darauf hin, dass bei vielen Patienten eine Sepsis vorlag, deren Genese in unseren Untersuchungen nicht beschrieben ist. Zwar ist bekannt, dass der SOFA - Score in den letzten 24 Stunden vor einer NOMI - Diagnose ansteigt (Stahl et al. 2019). Ebenso bewiesen ist aber die Tatsache, dass die Laborparameter erst in einer fortgeschrittenen Phase der AMI signifikant ansteigen und deswegen für die rechtzeitige Diagnosestellung von untergeordneter Bedeutung sind.

Inwieweit die AMI für die Verschlechterung des Zustandes verantwortlich oder nur eine Folge des schlechten Allgemeinzustandes war (z.B. durch Katecholamingabe), kann nur für jeden Patienten individuell betrachtet und beantwortet werden.

## 5.2 CT - Befunde

Wir bewerteten zwölf Parameter bei Patienten mit einer diagnostizierten AMI und verglichen diese mit den gleichen CT - Befunden bei Patienten mit ähnlichem klinischem Status, jedoch ohne nachgewiesene Ischämie. Die Auswahl dieser Parameter erfolgte nach einer Literaturrecherche vor Beginn der Untersuchungen und schloss alle Parameter ein, die in anderen Studien zur Beurteilung einer mesenterialen Ischämie herangezogen worden waren (Furukawa et al. 2009, Göller 2012). Dabei wurde auch die dokumentierte Einschätzung des beschreibenden Radiologen einbezogen, unabhängig davon, ob es sich in der Gesamtbeurteilung um eine nicht okklusive mesenteriale Ischämie handelte oder nicht.

Die verwendeten Parameter lassen sich generell in zwei Gruppen einteilen: eine Gruppe zur Beurteilung der Kolonabschnitte selbst bzw. des Mesokolons, und die zweite Gruppe zur Beurteilung der mesenterialen Perfusion inklusive Aszites. Zwar gehören die Parameter der zweiten Gruppe nicht zu den hoch sensitiven CT - Parametern zur Beurteilung einer mesenterialen Ischämie, sind aber in verschiedenen Studien immer wieder einbezogen worden (u.a. Göller 2012, Furukawa et al. 2009, Wiesner et al. 2003, Ruedi und Coello 2006, Barrett et al. 2013).

An den Anfang unserer Untersuchungen stellten wir eine Analyse der im PACS - System vorliegenden originären CT - Befunde. Dabei war erkennbar, dass in mehr als 60 % der Erstbefundungen keiner der untersuchten Parameter erwähnt wurde. Selbst wenn der, die CT - Untersuchung indizierende Intensivmediziner den Ausschluss einer mesenterialen Ischämie bzw. einen unklaren Laktatanstieg in der CT - Anforderung angab, sank dieser Wert nur um etwa 10 %. Lediglich die Nennung des Aszites erfolgte in akzeptabler Häufigkeit, allerdings weist dieser Parameter eine geringe Spezifität auf. Dass die Beurteilung der mesenterialen Gefäße ebenfalls nur unzureichend erfolgte, kann auch darauf zurückgeführt werden, dass ein Teil der CT - Untersuchungen nur in der venösen Phase durchgeführt worden war. Insgesamt muss aber geschlussfolgert werden, dass die Diagnose der Kolonischämie in vielen der hier untersuchten Fälle hätte früher gestellt werden können, wenn die

wichtigsten der verwendeten zwölf Parameter obligatorisch in die Befundung einbezogen worden wären.

Einer der Gründe, weshalb auf die Parameter nicht explizit hingewiesen wurde, kann die Tatsache sein, dass die sonst für eine AMI hoch spezifischen Parameter auch bei Hypervolämie, Sepsis oder Organversagen pathologisch verändert sein können (Furukawa et al. 2009, Horton et al. 2000, Mayo-Smith et al. 1995, Sheedy et al. 2006, Stahl et al. 2019). Trotz der hohen Spezifität bei Patienten mit akuter mesenterialer Ischämie kann das Auftreten einiger Parameter durch zusätzliche Umstände beeinflusst sein. Zu nennen sind dabei die unterschiedliche Genese der AMI, auch nach herzchirurgischen Eingriffen (Copin et al. 2018, Chou 2002, Furukawa et al. 2009, Stahl et al. 2019), das Stadium der Ischämie (z. B. Gangrän oder Reperfusion) (Alpern et al. 1988, Salzano et al. 1999) oder die Ausprägung der Wandveränderungen (Wiesner et al. 2003). Taourel et al. 1996 weisen darauf hin, dass nicht nur eine verminderte, sondern auch eine vermehrte KM - Darmwandaufnahme auf eine AMI hindeuten kann; insbesondere im Stadium der Reperfusion oder bei einer venösen Abflussstörung. Dabei geben die Autoren eine Sensitivität von 33 % und eine Spezifität von 71 % an. Die Autoren dieser Studie weisen auch darauf hin, dass eine ausgeprägte KM - Darmwandaufnahme ein guter prognostischer Parameter ist, weil dieser als Hinweis auf die Viabilität der Darmwand gewertet werden kann. Interessanterweise wiesen in derselben Studie nur 18 % der untersuchten Patienten mit AMI eine verminderte (oder nicht mehr nachweisbare) KM - Darmwandaufnahme auf (Taourel et al. 1996). Dies widerspricht allerdings den meisten anderen Untersuchungen, in denen für die verminderte KM - Darmwandaufnahme eine Sensitivität über 60 % (Klein et al. 1995) und Spezifitätswerte um 90 % (Menke 2010, Barrett et al. 2013) angegeben werden. Die pathologische KM - Darmwandaufnahme ist auch bei unseren Ergebnissen der wertvollste Parameter, erreicht aber nicht die sonst in der Literatur beschriebene Sensitivität und Spezifität. Immerhin wurde aber ein guter positiver Vorhersagewert von 90 % erreicht. Die relativ niedrige negative Vorhersagekraft von 62 % rührt daher, dass auch viele Kolonabschnitte, bei denen keine mesenteriale Ischämie vorlag, trotzdem eine pathologische KM - Darmwandaufnahme aufwiesen (d.h. die in der KG ebenfalls pathologisch waren). Die Gründe hierfür sind vielfältig: der Hauptgrund ist ein modifiziertes hämodynamisches Volumen bei intensivpflichtigen

Patienten, welche möglicherweise kardiopulmonal kompromittiert sind, unter Katecholamingabe stehen oder einen reduzierten / kritischen Allgemeinzustand aufweisen, der der Grund für den aktuellen ITS - Aufenthalt ist. Die Schwere der Beeinträchtigung schlägt sich auch in einem hohen SAPS - Score nieder.

Auf die Sensitivität und Spezifität der in anderen Studien beschriebenen CT - Parameter wurde bereits in der Einleitung ausführlich eingegangen. Wir sehen den besonderen Wert unseres Studienansatzes darin, dass wir die Parameter der AMI - Patienten mit einer Patientengruppe verglichen, die ebenfalls aus verschiedenen Gründen in intensivmedizinischer Behandlung war, bei der aber keine mesenteriale Ischämie diagnostiziert wurde. Dieser direkte Vergleich ist nach kardiochirurgischen Eingriffen bislang nur in einer Studie (Barrett et al. 2013) und einer Fallserie (Kahn et al. 2006) durchgeführt worden. Allerdings bestand in der erstgenannten Studie die Kontrollgruppe lediglich aus 16 Patienten und ist damit von eingeschränkter Aussagekraft. Es sind dort aber ähnliche Inzidenzen bei den CT - Parametern berichtet worden. Trotzdem ist der bislang noch nicht geführte Vergleich mit einer korrespondierenden Kontrollgruppe für uns der Hauptgrund dafür gewesen, weshalb wir die Kontrollgruppe durch weitere 22 Patienten ergänzten. Diese wurden zuvor nicht kardiochirurgisch versorgt, sondern erhielten einen anderen, zumeist viszeralchirurgischen Eingriff. Dadurch waren beide Gruppen in ihrer Anzahl vergleichbar. Obwohl die Kontrollgruppe diesbezüglich heterogener wurde, sahen wir mehr Vorteile für den statistischen Vergleich der visuellen Analyse der CT - Parameter, deren Auftreten mit den Ursachen für die Darmischämie nicht in Zusammenhang gebracht werden sollte.

Trotzdem lagen in unserer Studie die Sensitivitäten im untersten Bereich der in der Literatur berichteten Bandbreite (zusammengefasst in Menke 2010), was schwer zu erklären ist. Am wahrscheinlichsten ist jedoch, dass die Parameter aufgrund der Fülle pathologischer CT - Parameter bei Patienten im postoperativen Status weniger mit einer akuten Ischämie in Zusammenhang gebracht wurden, als wenn eine segmentale Ischämie bei einem sonst gesunden Patienten diagnostiziert wird.

Im Gegensatz dazu kann eine verringerte Spezifität in dieser speziellen Situation auf eine höhere Inzidenz einer veränderten Darmwandkonfiguration aufgrund einer

Hypervolämie, eines Organversagens und einer Kapillarleckage infolge einer Sepsis zurückzuführen sein. Dieses Phänomen betrifft alle typischen Parameter der Darmischämie, die Veränderungen der Darmwand oder des Mesenterialgewebes anzeigen. Zu unserer Überraschung zeigte die zweite Gruppe von Parametern ähnliche Genauigkeitsgrade, von denen nur wenige in der Literatur als Hinweis auf eine mesenteriale Ischämie erwähnt wurden. Unter diesen weisen die Sklerose der mesenterialen Gefäße, die hämodynamisch relevante Stenose der A. mesenterica superior zentral und die Okklusion der A. mesenterica inferior zentral die höchsten Inzidenz- und Spezifitätsniveaus auf. Zwar konnten wir für einige dieser Parameter signifikante Unterschiede zwischen der Fallgruppe und der Kontrollgruppe nachweisen, ob eine tatsächliche Kausalität besteht, sollte angesichts der kleinen Fallzahl mit Vorsicht betrachtet werden. Es ist durchaus wahrscheinlich, dass diese Parameter eher als Hinweis für ein potenziell beeinträchtigtes Gefäßsystem zu werten sind, dessen Inzidenz in der Gruppe herzchirurgisch versorgter Patienten hoch sein dürfte. Selbst wenn kein kausaler Zusammenhang zwischen diesen pathologischen Parametern und dem Auftreten der AMI besteht, so legen unsere Ergebnisse doch nahe, dass der Untersucher bei Vorliegen einer Sklerose bzw. Durchblutungsminderung im Mesenterialstromgebiet an das höhere AMI - Risiko denkt und die Parameter obligatorisch in die Befundung integrieren sollte.

Die endoskopischen und operativen Kontrollen ermöglichten es uns, bei fast allen Patienten eine Information darüber zu erlangen, ob die Kolonischämie einseitig (rechts oder links) oder beidseits aufgetreten war. So konnte beispielsweise bei Patienten mit einer isolierten Kolonischämie rechts auch das normale linke Hemikolon in die Bewertung der CT - Parameter einbezogen werden.

Um die richtige operative Strategie bei Patienten mit einer mesenterialen Ischämie festlegen zu können, ist es wichtig und hilfreich, das Ausmaß der Ischämie präoperativ zu kennen. Dies gilt insbesondere für frühe Stadien oder einen isolierten Innenschichtschaden, welche intraoperativ nur schwer einzuschätzen sind. Durch unsere seitengetrennte Analyse stellten wir fest, dass, mit Ausnahme von acht Patienten, bei allen Patienten der Fallgruppe, die eine linksseitige Ischämie hatten, eine zusätzliche Ischämie des rechtsseitigen Dickdarmes auftrat. Dies hat im klinischen Umfeld eine große Bedeutung. Obwohl die meisten rechtsseitigen CT -

Parameter einer Ischämie für diese kleine Untergruppe negativ waren, zeigten 7 von 8 dieser Patienten ein erweitertes Darmlumen, was nicht als Zeichen einer Ischämie missverstanden werden sollte, sondern durch eine Paralyse des ischämischen linken Kolons erklärt werden kann. Wie die Tabellen 6a und 6b verdeutlichen, zeigt die quantitative Analyse der CT - Parameter die allgemein geringe Sensitivität einiger klassischer Parameter (Darmwandverdickung, pathologische KM - Darmwandaufnahme, Pneumatosis intestinalis und portalvenöses Gas, Lumendilatation und mesenteriale Fettimbibierung), welche jedoch auf der rechten Seite doppelt so hoch waren als auf der linken Seite. Dies ist nicht eindeutig zu erklären, zeigt jedoch, dass negative Ergebnisse besonders auf der linken Seite eine AMI nicht ausschließen und deshalb mit Vorsicht interpretiert werden sollten.

### **5.3 Kombinierte Auswertung der CT - Befunde**

Wenn, laut Literatur, die Vorhersagekraft der abdominalen Mehrschicht - CT in der Regel hoch ist, aber bei einzelnen Parametern häufig geringer ausfällt, stellt sich die Frage, ob die Sensitivität und Spezifität durch das Gruppieren der hier präsentierten zwölf Parameter gesteigert werden können. Dies wollten wir durch die Erstellung zweier Scores (spezifischer KI - Score und gewichteter KI - Score) belegen, die aus den spezifischsten CT - Parametern für mesenteriale Ischämie zusammen mit dem Nachweis der hochspezifischen Stenose der A. mesenterica superior zentral bestehen (Göller 2012).

Die zusammenfassenden Resultate konnten die Genauigkeit der Interpretation der CT - Ergebnisse nur geringfügig verbessern. Allerdings konnte durch die Gruppierung (im Gegensatz zu den Einzelparametern) eine kontinuierliche und statistisch signifikante Korrelation zwischen den Scores und dem Auftreten einer mesenterialen Ischämie nachgewiesen werden.

Der errechnete Grenzwert für beide Scores, mit dem sich Patienten mit versus ohne mesenteriale Ischämie unterscheiden ließen, lag bei 2.5 mit einem geringen Youden - Index von 1,32 auf der rechten Seite und von 1,13 links. In der klinischen Praxis ist dieser niedrige Cut - off wenig hilfreich und weist zudem extrem niedrige

Sensitivitäts- und Spezifitäts - Werte auf. Im Vergleich mit unseren Ergebnissen zeigte Göller 2012 sehr unterschiedliche Ergebnisse, wobei die Sensitivität bei 100 % und die Spezifität bei 92,04 % lagen. In seiner Untersuchung mit nur 20 bestätigten Fällen, konnte die Diagnose Darmischämie zu 100 % korrekt gestellt werden. Aus unserer Sicht bedürfen diese unterschiedlichen Ergebnisse eine nochmalige Analyse mit weitaus größeren Fallzahlen.

Zusammenfassend konnte (durch einfaches Zusammenfassen aller Einzelparameter mit relativ geringer Genauigkeit) in unserer Studie kein nützlicher Score definiert werden, der nach Analyse der CT - Untersuchung zur Vorhersage einer Kolonischämie bei Patienten nach einer Herzoperation herangezogen werden könnte.

#### **5.4 Limitierungen der Arbeit**

Neben dem retrospektiven Design dieser Studie gibt es einige Einschränkungen. Wir diskutierten die in unserer Studie nachgewiesenen relativ niedrigen Sensitivitätsniveaus und verglichen das Protokoll der Kontrastmittelverabreichung, es wurden jedoch keine Unterschiede zu anderen Studien festgestellt. Untypische KM - Anreicherungen sind am ehesten auf eine zum Teil erhebliche Beeinträchtigung des Herzzeitvolumens bzw. hohe Katecholamindosierungen zurückzuführen. Wir können nicht vollständig ausschließen, dass einige unserer Patienten, die in die Kontrollgruppe eingeordnet wurden, möglicherweise frühe Formen von mesenterialer Ischämie (z. B. Schleimhautischämie) entwickelten, da einige dieser Patienten nicht operiert wurden oder keine endoluminalen diagnostischen Untersuchungen zum Ausschluss von Ischämie erhalten hatten.

Die Tatsache, dass einige unserer Patienten der Fallgruppe auch eine Dünndarmischämie (n = 20; 29,4 %) hatten, wurde zwar dokumentiert, aber für die Analyse unserer Parameter nicht berücksichtigt. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass einige dieser Parameter (z. B. Aszites) davon beeinflusst wurden. Da sich diese Studie jedoch auf die Zuordnung von CT - Parametern und das Auftreten von Kolonischämie fokussiert und nicht auf den klinischen Verlauf oder die Prognose des Patienten, sollte dies als akzeptabel gelten.

## 6. Schlussfolgerungen

Diese retrospektive Analyse mit 133 Patienten konzentrierte sich auf die Aussagekraft der CT - Parameter, um die Diagnose einer akuten mesenterialen Ischämie bei Patienten nach einer Herzoperation unter Intensivbedingungen zu ermöglichen, bei denen der Verdacht auf eine Darmischämie bestand oder zumindest nicht ausgeschlossen werden konnte. Das Ziel dieser Arbeit war daher, die akute mesenteriale Ischämie nach kardiovaskulären Eingriffen frühzeitig und besser zu diagnostizieren und damit die hohe Mortalitätsrate zu senken. Bei dieser Studie wird untersucht, welchen Beitrag die Angio - CT dazu leisten kann.

Die Notwendigkeit einer aussagekräftigen bildgebenden Diagnostik bei Patienten nach einer Herzoperation in der Intensivtherapie steigt aus drei Gründen: 1) Die Wahrscheinlichkeit einer mesenterialen Ischämie ist bei dieser Untergruppe von Patienten höher, 2) klinische Zeichen sind möglicherweise schwer zu erkennen, weil die Patienten oft intubiert und beatmet sind oder kürzlich operiert wurden und unter Intensivtherapie - Bedingungen oft eine Darmparalyse oder jedenfalls kein normales Abdomen aufweisen und 3) eine vollständige Koloskopie gelingt nur selten, da eine optimale Darmvorbereitung auf der Intensivstation oft nicht durchgeführt werden kann.

Die Parameter mit der höchsten Spezifität einer Kolonischämie des rechten Hemikolons waren intestinale (69/70 Patienten) oder portovenöse (67/70) Pneumatoxisis, vermehrte KM - Darmwandaufnahme (62/70), fehlendes KM in der A. mesenterica inferior zentral (57/70),  $\geq 50\%$  Stenose der A. mesenterica superior zentral (55/70), gefolgt von mesenterialer Fettimbibierung (54/70). Ähnliche Ergebnisse wurden für die linke Seite erhalten, in der das erweiterte Lumen des Dickdarmes ein zusätzlicher hochspezifischer Parameter war (70/84).

Die Sensitivität zeigte sich bei den meisten Parametern als gering. Der höchste Prozentsatz bei einer Ischämie auf der rechten Seite wurde für Aszites (42/60 Patienten), Lumendilatation (39/60), Sklerose der A. mesenterica superior (37/60) und pathologische Dicke der Wand des betroffenen Kolons (26/60) festgestellt.

Dieselben vier Parameter wurden auch für das linke Kolon als am sensitivsten nachgewiesen, jedoch mit etwas veränderten Werten und einer unterschiedlichen Reihenfolge: Aszites, gefolgt von Darmwanddicke, arterieller Sklerose und einem dilatierten Lumen bei weniger als einem Drittel der Patienten. Hohe positive Vorhersagewerte wurden für Pneumatosis intestinalis (93,3 %) und pathologische KM - Darmwandaufnahme (90 %) auf der rechten Seite und Pfortader- oder Mesenterialvenengas (100 %) und Pneumatosis intestinalis (83,3 %) auf der linken Seite nachgewiesen.

In dieser Studie konnte kein nützlicher Score definiert werden, der nach Analyse der CT - Untersuchung zur Vorhersage einer Kolonischämie bei Patienten nach einer Herzoperation verwendet werden könnte.

Obwohl die CT bei Patienten mit pathologischen abdominellen Befunden nach einer Herzoperation die diagnostische Bildgebungsmethode der ersten Wahl bleibt, sollten negative Zeichen eine frühe explorative Laparotomie oder Laparoskopie nicht verhindern, wenn der klinische Verdacht einer AMI besteht.

## 7. Literaturverzeichnis

- Alpern M, Glazer G and Francis I. 1988. Ischemic or infarcted bowel: CT findings. *Radiology*, 166(1): 149 - 152.
- Barrett T, Upponi S, Benaglia T and Tasker A. 2013. Multidetector CT findings in patients with mesenteric ischaemia following cardiopulmonary bypass surgery. *The British journal of radiology*, 86(1030), 20130277.
- Caleb M. 2001. Acute bowel ischemia after coronary bypass surgery-a catastrophic event. *Singapore medical journal*, 42(1): 033 - 037.
- Copin P, Ronot M, Nuzzo A, Maggiori L, Bouhnik Y, Corcos O et al. 2018. Inter-reader agreement of CT features of acute mesenteric ischemia. *European journal of radiology*, 105: 87 - 95.
- Copin, P, Zins M, Nuzzo A, Purcell Y, Beranger-Gibert S, Maggiori L et al. 2018. Acute mesenteric ischemia: A critical role for the radiologist. *Diagnostic and interventional imaging*, 99(3): 123 - 134.
- Chou CK. 2002. CT manifestations of bowel ischemia. *American Journal of Roentgenology*, 178(1): 87 - 91.
- Furukawa A, Kanasaki S, Kono N, Wakamiya M, Tanaka T, Takahashi M et al. 2009. CT diagnosis of acute mesenteric ischemia from various causes. *American Journal of Roentgenology*, 192(2): 408 - 416.
- Gefäßchirurgie DGf. 2010. Akuter Intestinalarterienverschluss (S2). *Leitlinien zu Diagnostik und Therapie in der Gefäßchirurgie*, 47 - 55.
- Ghosh S, Roberts N, Firmin R, Jameson J and Spyt T. 2002. Risk factors for intestinal ischaemia in cardiac surgical patients. *European journal of cardio-thoracic surgery*, 21(3): 411 - 416.
- Göller C. 2012. Entwicklung und Optimierung eines CT-Scores zur objektiven Diagnosestellung einer Darmischämie bei intensivmedizinisch versorgten Patienten nach einer Herzoperation [Dissertation]. Leipzig: Universität Leipzig.

- Grotelüschen R, Bergmann W, Welte M, Reeh M, Izbicki J and Bachmann K. 2019. What predicts the outcome in patients with intestinal ischemia? A single center experience. *Journal of visceral surgery*, 156(5): 441 - 447.
- Hasan S, Ratnatunga C, Lewis C and Pillai R. 2004. Gut ischaemia following cardiac surgery. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*, 3(3): 475 - 478.
- Horton KM, Corl FM and Fishman EK. 2000. CT evaluation of the colon: inflammatory disease. *Radiographics*, 20(2): 399 - 418.
- Kärkkäinen JM and Acosta S. 2017. Acute mesenteric ischemia (part I) - Incidence, etiologies, and how to improve early diagnosis. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 31(1): 15 - 25.
- Khan JH, Lambert AM, Habib JH, Broce M, Emmett MS and Davis EA. 2006. Abdominal complications after heart surgery. *The Annals of thoracic surgery*, 82(5): 1796 - 1801.
- Klar E, Rahmanian PB, Bücken A, Hauenstein K, Jauch K-W and Luther B. 2012. Akute mesenteriale Ischämie - ein vaskulärer Notfall. *Dtsch Arztebl Int*, 109(14): 249 - 256.
- Klein H-M, Lensing R, Klosterhalfen B, Töns C and Günther R. 1995. Diagnostic imaging of mesenteric infarction. *Radiology*, 197(1): 79-82.
- Klotz S, Vestring T, Rötter J, Schmidt C, Scheld HH and Schmid C. 2001. Diagnosis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia after open heart surgery. *The Annals of thoracic surgery*, 72(5): 1583 - 1586.
- Kortmann B and Klar E. 2005. Recognizing acute mesenteric ischaemia too late: reasons and diagnostic approach from a surgical point of view. *Zentralblatt für Chirurgie*, 130(3): 223 - 226.
- Lehtimäki T, Kärkkäinen J, Saari P, Manninen H, Paajanen H and Vanninen R. 2015. Detecting acute mesenteric ischemia in CT of the acute abdomen is dependent on clinical suspicion: review of 95 consecutive patients. *European journal of radiology*, 84(12): 2444 - 2453.
- Mastoraki A, Mastoraki S, Tziava E, Touloumi S, Krinos N, Danias N et al. 2016. Mesenteric ischemia: pathogenesis and challenging diagnostic and therapeutic modalities. *World journal of gastrointestinal pathophysiology*, 7(1): 125.

- Mayo-Smith W, Wittenberg J, Bennett G, Gervais D, Gazelle GS and Mueller P. 1995. The CT small bowel faeces sign: description and clinical significance. *Clinical radiology*, 50(11): 765 - 767.
- Menke J. 2010. Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Radiology*, 256(1): 93 - 101.
- Niederhäuser U, Genoni M, von Segesser LK, Brühlmann W and Turina MI. 1996. Mesenteric ischemia after a cardiac operation: conservative treatment with local vasodilation. *The Annals of thoracic surgery*, 61(6): 1817 - 1819.
- Oldenburg WA, Lau LL, Rodenberg TJ, Edmonds HJ and Burger CD. 2004. Acute Mesenteric Ischemia: A Clinical Review. *JAMA Internal Medicine*, 164(10): 1054 - 1062.
- Ritz J-P and Buhr H. 2011. Akute mesenteriale Ischämie. *Der Chirurg*, 82(10): 863 - 870.
- Salzano A, De Rosa A, Carbone M, Muto M, Ginolfi F, Rossi E et al. 1999. Computerized tomography features of intestinal infarction: 56 surgically treated patients of which 5 with reversible mesenteric ischemia. *La Radiologia medica*, 97(4): 246 - 250.
- Schneider R, Leinung S, Klöppel R, Kahn T, Dieckmann T and Eichfeld U. 2008. Die präoperative Dünnschicht-Computertomografie im Management der Lungenmetastasen Chirurgie. *Zentralblatt für Chirurgie*, 133(06): 568 - 573.
- Sheedy SP, Earnest IV F, Fletcher JG, Fidler JL and Hoskin TL. 2006. CT of small-bowel ischemia associated with obstruction in emergency department patients: diagnostic performance evaluation. *Radiology*, 241(3): 729 - 736.
- Stahl K, Busch M, Maschke SK, Schneider A, Manns MP, Fuge J et al. 2019. A Retrospective Analysis of Nonocclusive Mesenteric Ischemia in Medical and Surgical ICU Patients: Clinical Data on Demography, Clinical Signs, and Survival. *Journal of intensive care medicine*, DOI: 0885066619837911.
- Taourel PG, Deneville M, Pradel JA, Régent D and Bruel JM. 1996. Acute mesenteric ischemia: diagnosis with contrast-enhanced CT. *Radiology*, 199(3): 632 - 636.
- Thoeni RF and Cello JP. 2006. CT imaging of colitis 1. *Radiology*, 240(3): 623 - 638.

Tsiotos G, Mullany C, Zietlow S and Van Heerden J. 1994. Abdominal complications following cardiac surgery. *The American journal of surgery*, 167(6): 553 - 557.

Wiesner W, Khurana B, Ji H and Ros PR. 2003. CT of acute bowel ischemia. *Radiology*, 226(3): 635 - 650.

## 8. Anhang

### 8.1 Patientenformular zur Auswertung einer CT - Abdomen

Patienten - ID	Name		Vorname	Geburtsdatum			
CT - Datum / Uhrzeit							
Arterielle Phase	Venöse Phase		Orales KM				
Indikation							
CT - Parameter	1. Darmwand	a. Dicke Re. max.: ____mm Li. max.: ____mm	0= nicht beschrieben 1= o.p.B., nicht verdickt 2= verdickt 9= nicht beurteilbar	Re. SS	Li. SS		
		b. KM - Aufnahme	0= nicht beschrieben 1= o.p.B. 2= vermindert 3= vermehrt 9= nicht beurteilbar				
		c. Pneumatosis intestinalis	0= nicht beschrieben 1= keine Pneumatosis 2= Pneumatosis 9= nicht beurteilbar				
	2. Dilatiertes Lumen Re. max.: ____mm Li. max.: ____mm			0= nicht beschrieben 1= o.p.B., nicht dilatiert 2= dilatiert 9= nicht beurteilbar			
	3. Imbibierung des mesenterialen Fettgewebes			0= nicht beschrieben 1= o.p.B. 2= Imbibierung 9= nicht beurteilbar			
	4. Aszites			0= nicht beschrieben 1= kein Aszites 2= Aszites 9= nicht beurteilbar	/		
	5. Portomesenterisches venöses Gas			0= nicht beschrieben 1= kein Gas 2= Gas 9= nicht beurteilbar	/		
	6. Gefäße	Art. mesent. sup. zentral Durchmesser: ____mm		0= nicht beschrieben 1= Abgang i. O. 2= Abgangsstenose $\geq$ 50% 9= nicht beurteilbar	/		
		Art. mesent. sup. peripher		0= nicht beschrieben 1= keine Rarefizierung 2= rarefiziert 9= nicht beurteilbar	/		
		Art. mesent. sup. Atherosklerose		0= nicht beschrieben 1= nein 2= ja 9= nicht beurteilbar	/		
		Vena mesent. sup.		Durchmesser:			
		Art. mesent. inf. zentral		0= nicht beschrieben 1= kontrastiert 2= nicht kontrastiert 9= nicht beurteilbar	/		
Positive Befunde	/ 12						
Kolon - Lokalisation der meisten Befunde							
NOMI	0= nicht beschrieben 1= keine NOMI 2= NOM				/		

## 8.2 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich - Schiller - Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst anfertigte und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützten: PD Dr. med. Henning Mothes (2. Betreuer),

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhielten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung einreichte und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation einreichte.

Jena 25.02.2020

Ort, Datum

Vetlana Müller-Mau

Unterschrift des Verfassers

### 8.3 Widmung und Danksagung

*An Henning für seine Geduld und seine große Unterstützung alle diese Jahre  
und an Florian für seine Hilfe, seinen Beistand und seine aufmunternden Wörter.*

*Ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich.*

*Vielen Dank auch an Professor Dr. med. Utz Settmacher und Ihre Klinik für Allgemein-,  
Viszeral und Gefäßchirurgie im Universitätsklinikum Jena, wo diese Doktorarbeit  
geschrieben wurde.*