

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
und Nuklearmedizin

Prof. Dr. med. Gerhard Adam

Einfluss der viszeralen Adipositas auf die Genauigkeit der Computertomographie bei der Diagnostik und Stadieneinteilung der akuten Divertikulitis

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Layal Sabour

aus Damaskus

Hamburg 2023

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 31.08.2023**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Anna Duprée

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Frank Oliver Henes

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Fragestellung.....	5
1.2. Divertikulitis	6
1.2.1. Epidemiologie und Ätiopathogenese.....	6
1.2.2. Klassifikationen/Stadieneinteilung der Divertikulitis	8
1.2.3. Klinik und Komplikationen	11
1.2.4. Laborchemische Diagnostik	12
1.2.5. Bildgebende Diagnostik.....	13
1.2.6. Stadien angepasste Therapie	13
1.3. Computertomographie.....	14
1.3.1. Technische Grundlagen	15
1.3.2. Computertomographische Befunde der akuten Divertikulitis (ACD)	17
1.4. Sonographie	18
1.5. Viszerales Fett.....	19
2. Material und Methode	22
2.1. Patientenkollektiv.....	22
2.2. Computertomographien (CT).....	23
2.2.1. Vorbereitung und Durchführung der Computertomographie	23
2.3. Auswertung der Computertomographie und Einteilung der akuten Divertikulitis nach CDD	24
2.4. Quantifizierung des viszeralen Fettanteils (V/S-Verhältnis)	26
2.5. Statistische Auswertung	27
3. Ergebnisse	28
3.1. Deskriptive Statistik	28

3.2.	Gesamtgenauigkeit des CT-Stagings	29
3.3.	Einfluss des V/S-Verhältnisses auf die Genauigkeit des CT-Stagings .	33
3.4.	Einfluss des V/S-Verhältnisses auf Prävalenz und Befundssicherheit von Divertikulitis assoziierten CT-Befunden	34
4.	Diskussion	37
4.1.	Patientenkollektiv und Lokalisation der Divertikulitis	37
4.2.	Genauigkeit der CT bei der Einteilung der ACD	37
4.2.1.	Mögliche Ursachen einer fehlerhaften Stadieneinteilung im CT	38
4.2.2.	Vergleich zu vorherigen Studien	39
4.2.3.	Relevanz bezüglich Therapie und Ausblick.....	40
4.3.	Einfluss des V/S-Verhältnisses auf das CT-Staging der ACD	41
4.4.	Limitationen	43
5.	Zusammenfassung	44
6.	Summary	45
7.	Abkürzungsverzeichnis	46
8.	Literaturverzeichnis	47
9.	Abbildungsverzeichnis	54
10.	Tabellenverzeichnis	55
11.	Danksagung.....	56
12.	Lebenslauf	57
13.	Publikationen.....	58
14.	Eidesstattliche Erklärung	59

1. Einleitung

1.1. Fragestellung

Kolondivertikulose ist eine Erkrankung, bei der sich im Dickdarm Ausstülpungen, sog. Divertikel entwickeln. Die Divertikulitis ist gekennzeichnet durch Entzündung einer oder mehrerer benachbarter Divertikel. Die Symptome sind typischerweise akute oder subakute Bauchschmerzen, welche vermehrt im linken unteren Quadranten lokalisiert werden (Swanson, 2018).

Für die Stadieneinteilung der Divertikulitis gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Klassifikationen. Im Jahr 2018 wurde in Zusammenarbeit verschiedener Fachgesellschaften eine neue Klassifikation, die sog. Classification of diverticular disease (CDD) herausgebracht und in der aktuellen S3-Leitlinie der Divertikulitis verankert. Da die Stadieneinteilung für die weitere Therapieentscheidung von großer Bedeutung ist, bedarf es einer Bildgebung mit der das Erkrankungsstadium genau und reproduzierbar diagnostiziert werden kann. Die Computertomographie (CT) wird hierfür als die Methode der Wahl angesehen. Dennoch gibt es bisher nur wenige Arbeiten, in denen die Genauigkeit der CT bei der Stadieneinteilung nach der neuen CDD-Klassifikation untersucht wurde. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Adipositas einen negativen Einfluss auf den Verlauf der Divertikulitis hat (Strate, 2019; Makar et al., 2021). Dezidiertere Studien legen nahe, dass ein hoher viszeraler Fettanteil im Vergleich zum subkutanen Fettgewebe längere und komplikationsreichere Verläufe einer akuten Kolondivertikulitis begünstigt (Jh et al., 2011; Docimo et al., 2017). Auf der anderen Seite muss angenommen werden, dass vermehrtes viszerale Fett einen positiven Einfluss auf die diagnostische Genauigkeit der CT bei entzündlichen Prozessen im Bauchraum hat (Kielar et al., 2016).

In der folgenden Arbeit sollte deshalb die Genauigkeit der CT bei der Stadieneinteilung der akuten Divertikulitis nach der CDD-Klassifikation untersucht und überprüft werden, ob das Ausmaß von viszeralem Fettgewebe einen Effekt auf die diagnostische Genauigkeit der CT bei akuter Kolondivertikulitis hat.

1.2. Divertikulitis

1.2.1. Epidemiologie und Ätiopathogenese

Die Divertikulose stellt ein wachsendes Problem in Ländern des globalen Nordens dar (Bharucha et al., 2015; Hupfeld et al., 2018). In den Jahren 2011 bis 2013 wurden in deutschen Krankenhäusern jährlich etwa 130.000 Fälle von Divertikulitis stationär behandelt (Schnitzbauer et al., 2016). Durch die ständige Verfügbarkeit von ballaststoffarmer Nahrung mit hohem Fett- und Fleischanteil ist die Divertikulose eine Zivilisationserkrankung. Sie ist seltener in Asien und Afrika anzutreffen (Ochsenkühn und Göke, 2002; Herold, 2022).

Die Häufigkeit der Divertikulose nimmt mit höherem Alter zu und ist schätzungsweise bei zwei Drittel der über 80-jährigen Bevölkerung vorhanden, doch wird auch zunehmend ein Anstieg bei jüngeren Patienten beobachtet (Vather et al., 2015; Lee et al., 2018). Die fehlende klinische Symptomatik der Divertikulose führt zu einer ungenauen Angabe über die Häufigkeit der Divertikelkrankheit (Leifeld et al., 2021). In vorangegangenen Studien wurde die Prävalenz auf etwa 25 % geschätzt (Tursi et al., 2020). Obwohl die Mehrheit der Dickdarmdivertikel klinisch asymptomatisch bleibt, wird angenommen, dass im Laufe der Jahre etwa 20 % der Divertikel akute klinische Symptome einer Divertikulitis aufzeigen (Vather et al., 2015).

Bei der Entstehung der Divertikel hernieren Mucosa und Teile der Submucosa durch eine Schwachstelle der Längsmuskulatur, welche durch die die Darmwand versorgenden Blutgefäße verursacht und auch als Locus minoris resistientiae bezeichnet wird (siehe Abb. 1) (Ochsenkühn und Göke, 2002; Simpson et al., 2002; Leifeld et al., 2021). Da nicht alle Darmwandschichten prolabieren, bezeichnet man diese Divertikel als Pseudodivertikel. Sie sind in 90 % aller Fälle im Sigma lokalisiert (Leifeld et al., 2021). Als Ursachen für das gehäufte Vorkommen der Divertikel im Sigma werden das große Vorkommen von Vasa recta, der hohe intraluminale Druck und die peristaltischen Wellen, die vor dem Rektum gebrochen werden, vermutet (Leifeld et al., 2021).

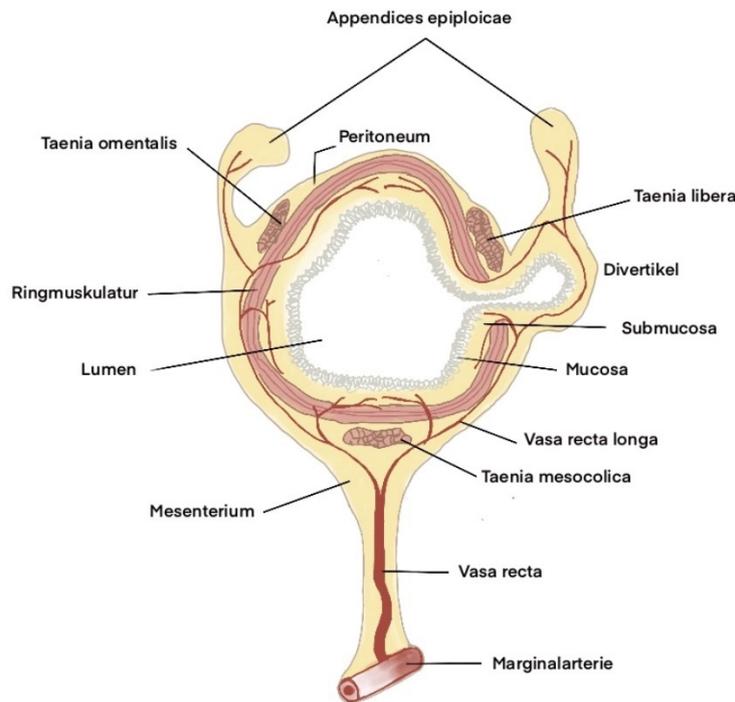


Abbildung 1: Querschnitt durch den Dickdarm mod. nach (Skandalakis, 2021). Mucosa und Teile der Submucosa hernieren durch die Längsmuskulatur der Darmwand. Die auffällige Flaschenform der Divertikel stellt eine Prädisposition zur Retention von Stuhl, Schleim und Eiter dar und führt zu Entzündungen des Divertikels (Hoffmann und Kruis, 2005).

Makroskopisch erinnert die Divertikulose wegen ihrer deutlich verdickten Darmwandmuskeln und der Divertikel an eine Ziehharmonika (Hoffmann und Kruis, 2005). Die Verdickung der Darmwandmuskulatur ist ein häufiger Befund bei der Divertikulose und der Divertikelkrankheit. Dabei wurde beobachtet, dass das Ausmaß des Divertikelbefalls in Beziehung zur Verdickung steht, aber nicht zum Schweregrad der klinischen Symptomatik (Leifeld et al., 2021). Die auffällige Flaschenform der Divertikel stellt eine Prädisposition zur Retention von Stuhl, Schleim und Eiter dar und führt zu Entzündungen des Divertikels (Hoffmann und Kruis, 2005). Begünstigt wird eine Entzündung der Divertikel zusätzlich durch eine Zunahme des intraluminalen Drucks und Strukturveränderung der Darmwand, welche im Alter durch die zunehmende Muskel- und Bindegewebsschwäche verstärkt wird und wahrscheinlich genetisch determiniert ist (Ochsenkühn und Göke, 2002) (siehe Abb.2).

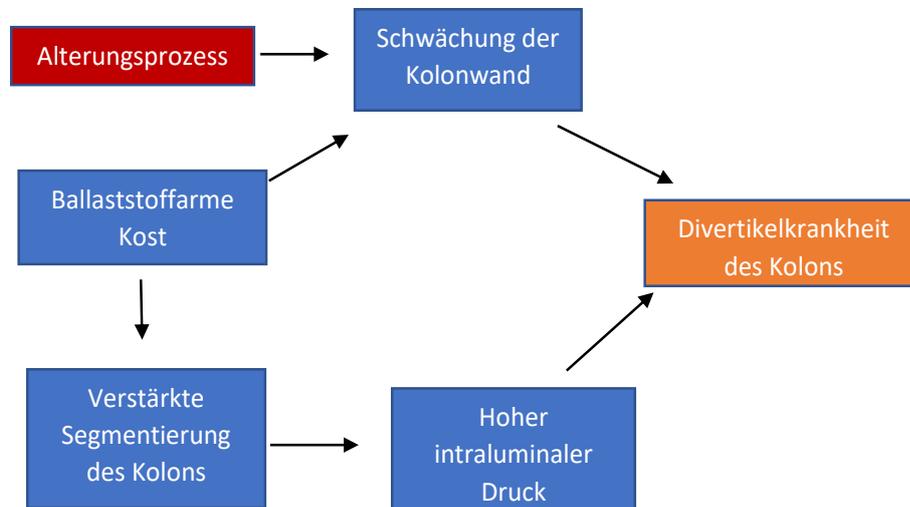


Abbildung 2: Pathophysiologische Mechanismen der Divertikelentstehung. Abbildung mod. nach (Hoffmann und Kruis, 2005). Beziehung der einzelnen Faktoren zueinander, welche die Entstehung eines Divertikels begünstigen.

1.2.2. Klassifikationen/Stadieneinteilung der Divertikulitis

Im deutschsprachigen Raum wurde in der Vergangenheit die Klassifikation nach Hansen und Stock verwendet. Diese Klassifikation unterteilt die Divertikulitis in die asymptomatische Divertikulose und in unterschiedliche Stadien einer akuten unkomplizierten und komplizierten Divertikulitis (Klarenbeek et al. 2012; Lock et al. 2018). Im Jahr 2014 entwickelten im Rahmen der Leitlinienarbeit die Deutsche Gesellschaft für Gastroenterologie, Verdauungs- und Stoffwechselerkrankungen (DGVS) und die Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie (DGAV) in Zusammenarbeit mit weiteren Fachgesellschaften eine neue Klassifikation, welche in der S2k-Leitlinie „Divertikelkrankheit“ veröffentlicht wurde (Lock et al. 2018). 2021 wurde eine überarbeitete Auflage der S2k-Leitlinie herausgebracht, die S3-Leitlinie „Divertikelkrankheit/Divertikulitis“ (Leifeld et al., 2021). Die Leitlinien empfehlen die Verwendung der Classification of diverticular disease (CDD) zur Einteilung der Divertikelkrankheit (siehe Tabelle 1) (Leifeld et al., 2021). Der wesentliche Unterschied zur Einteilung von Hansen und Stock ist,

dass durch die Verwendung der CDD die Behandlung der symptomatisch unkomplizierten Divertikelkrankheit (SUDD) und die Diagnostik der Divertikulitis miteinbezogen werden (Leifeld et al., 2021). Hansen und Stock bezogen die chronisch-rezidivierende Divertikulitis mit ein, machten jedoch keinen Unterschied zwischen der chronisch-rezidivierenden Divertikulitis ohne Komplikation und der chronisch-rezidivierenden Divertikulitis mit Komplikation, wobei erstere eine individuelle Indikation zur elektiven Operation und zweitere eine obligate Indikation zur Operation darstellt (Leifeld et al., 2021). Ein weiterer Unterschied zeigt sich bei der Klassifikation der akuten Divertikulitis mit Begleitphlegmone. Nach Hansen und Stock als komplizierte Divertikulitis klassifiziert, wird sie in der CDD-Klassifikation als unkompliziert mit guter Prognose unter konservativer Therapie eingeteilt (Leifeld et al., 2021).

Die Einteilung nach CDD erfolgt in fünf Typen (siehe Tabelle 1). Typ 0 wird als asymptomatische Divertikulose definiert. Typ 1 beschreibt die akute unkomplizierte Divertikelkrankheit/Divertikulitis, wobei die Divertikulitis mit einer Entzündung der Ausstülpungen einhergeht. Eine Divertikulitis, bei der die entzündlichen Divertikel lediglich eine Wandverbreiterung ohne eine phlegmonöse Umgebungsreaktion aufweisen, entspricht Typ 1a. Wenn zusätzlich noch eine diffuse perifokale Entzündungsreaktion besteht, spricht man von Typ 1b. Die akut komplizierte Divertikulitis, definiert als Typ 2, geht mit Komplikationen wie Mikroabszessen ($\leq 3\text{cm}$), Makroabszessen ($> 3\text{cm}$), freier Perforation, eitriger Peritonitis und/oder fäkaler Peritonitis einhergehen. Die chronische Divertikulitis mit und ohne Komplikationen entspricht Typ 3 und eine Divertikelblutung Typ 4 (Leifeld et al., 2021).

Tabelle 1: Klassifikation der Divertikelkrankheit (classification of diverticular disease) (CDD) und stadienangepasste Therapie mod. nach (Leifeld et al., 2021).

Typ/CDD	Definition	klinischer / bildgebender Befund	Therapie
Typ 0	asymptomatische Divertikulose		
		Zufallsbefund, asymptomatisch	keine Therapie
Typ 1	unkomplizierte Divertikelkrankheit / Divertikulitis		
Typ 1a	Divertikulitis / Divertikelkrankheit	typischer linksseitiger (Druck-)Schmerz im Unterbauch, häufig bewegungsabhängig; klinische und bildgebende Entzündungszeichen (Wandverbreiterung, entzündetes Divertikel)	stat. Aufnahme; i.v. Antibiose
Typ 1b	Divertikulitis mit phlegmonöser Umgebungsreaktion	klinisch Entzündungszeichen; phlegmonöse Divertikulitis (Kolonwand, Mesenterium) in der Bildgebung; ggfs. mit Flüssigkeitsstraße (ohne Luft)	stat. Aufnahme; i.v. Antibiose
Typ 2	akute komplizierte Divertikulitis: wie 1b, zusätzlich:		
Typ 2a	Mikroabszess	gedeckte Perforation, kleiner Abszess ($\leq 3\text{cm}$); minimale parakolische Luft	stat. Aufnahme; i.v. Antibiose
Typ 2b	Makroabszess	para- oder mesokolischer Abszess ($> 3\text{cm}$)	CT-Drainage/i.v. Antibiose; elektive Koloskopie (ca. 4 Wochen nach Entzündungsschub); prim. lap. ass. Sigmaresektion ohne protektives Ileostoma (ca. 6 Wochen nach Entzündungsschub)
Typ 2c	freie Perforation	freie Perforation, freie Luft/Flüssigkeit; generalisierte Peritonitis	Notfall OP; i.v. Antibiose
Typ 2c1	eitrige Peritonitis		Sigmaresektion
Typ 2c2	fäkale Peritonitis		
Typ 3	chronische Divertikelkrankheit: rezidivierende oder anhaltende symptomatische Divertikelkrankheit		
Typ 3a	symptomatische unkomplizierte Divertikelkrankheit (SUDD)	Klinik: wie Typ 1 und 2; laborchemische Entzündungswerte können erhöht sein	ambulante Therapie
Typ 3b	rezidivierende Divertikulitis ohne Komplikationen	Klinik: wie Typ 1 und 2; laborchemische Entzündungswerte erhöht Schnittbildgebung: wie bei Typ 1/2	individuelle Therapie (ggf. Sigmaresektion)
Typ 3c	rezidivierende Divertikulitis mit Komplikationen	Nachweis von Stenosen, Fisteln, Konglomerat	prim. lap. ass. Sigmaresektion
Typ 4	Divertikelblutung	Nachweis der Blutungsquelle	prim. endoskopische Blutstillung Angio-CT Notfall OP

1.2.3. Klinik und Komplikationen

Klinisch äußert sich die Divertikulitis durch plötzlich auftretende Schmerzen, bevorzugt im linken Unterbauch, weswegen auch die Bezeichnung „Linksappendizitis“ verwendet wird. Hinzu kommen Stuhlgangunregelmäßigkeiten wie Obstipation/Diarrhö und Flatulenz. Es können eine erhöhte Körperkerntemperatur und tastbare druckschmerzhaftige Walzen im linken Unterbauch auftreten (Herold, 2022). Differentialdiagnostisch sollte an chronisch entzündliche Darmerkrankungen (z.B. M. Crohn), ein Kolonkarzinom, ein Reizdarm-Syndrom oder gynäkologische Erkrankungen gedacht werden. Ein Karzinom wird nach Abklingen der Entzündung endoskopisch ausgeschlossen (Leifeld et al., 2021).

Der Abszess ist die häufigste Form der Komplikation der akuten Divertikulitis und macht etwa 70 % aller Komplikationen aus (Strate, 2019). Weitere mögliche Komplikationen sind eine Darmperforation und/oder Peritonitis (Swanson, 2018). Allgemein sind Komplikationen bei etwa 15 % aller Patienten zu finden (Leifeld et al., 2021). In einer Untersuchung in Großbritannien lag die Sterblichkeit im ersten Jahr nach einer perforierten Divertikulitis sechsmal höher als im allgemeinen Bevölkerungsvergleich (Humes et al., 2009). Die Rezidivrate beträgt nach der erstmaligen Behandlung einer Divertikulitis etwa 15 % bis 30 %. Bei der chronischen Divertikulitis, definiert dauerhafte Beschwerden, können die wiederkehrenden und bleibenden Entzündungsschübe zu Stenosen und Fisteln führen (Leifeld et al., 2021). Abbildung 3 bietet einen Überblick über mögliche Komplikationen.

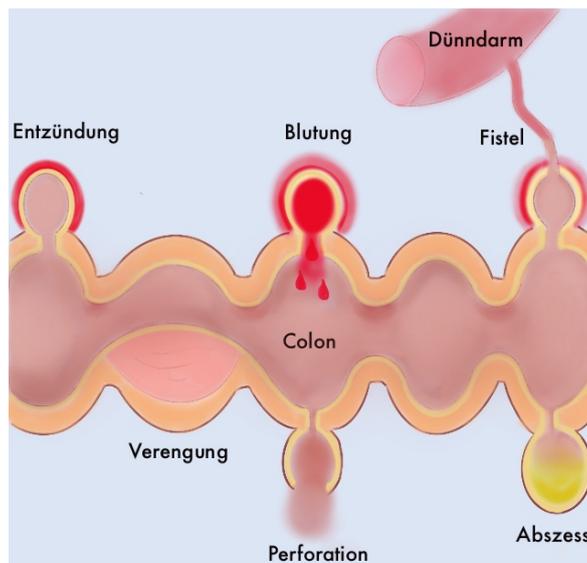


Abbildung 3: Mögliche Komplikationen der Divertikulitis. Abbildung mod. nach (W&B/Swen Sallwey, 2013). Der Abszess ist die häufigste Form der Komplikation der akuten Divertikulitis, er macht etwa 70 % aller Komplikationen aus (Strate, 2019).

1.2.4. Laborchemische Diagnostik

Eine akute Kolondivertikulitis kann mit einer Temperaturerhöhung von über 37°C, erhöhtem CRP > 5mg/100 ml (C-reaktives Protein) und einer Leukozytose > 10-12.000/ μ l einhergehen (Leifeld et al., 2021). Diese Werte manifestieren sich meist in den ersten 1 bis 2 Tagen (Leifeld und Kruis, 2021). Laurell et al. zeigte jedoch in seiner Studie, dass 16 % der Patienten mit Divertikulitis keinen erhöhten CRP-Wert aufweisen (Laurell et al., 2007). Weitere 25 % zeigten keinen Leukozytenanstieg im Blut und 29 % keine erhöhte Körpertemperatur (Laurell et al., 2007), so dass bei normwertigen Parametern eine akute Divertikulitis keineswegs ausgeschlossen ist.

Eine Urinuntersuchung wird zur differentialdiagnostischen Abklärung einer Harnwegserkrankung (z.B. Cystitis, Ureterolithiasis) oder Komplikationen der Divertikulitis (Sigma-Blasenfistel, Begleitzystitis) herangezogen (Leifeld et al., 2021).

1.2.5. Bildgebende Diagnostik

Da, wie oben beschrieben, Klinik und laborchemische Untersuchung allein in der Regel keine sichere Diagnose einer akuten Kolondivertikulitis zulassen, ist die bildgebende Diagnostik essentiell (Werner et al., 2003). Erkrankungen, die klinisch mit einer Divertikulitis verwechselt werden können, umfassen die Appendizitis, Karzinome, das Reizdarmsyndrom, extraintestinale Erkrankungen wie z.B. Nierenentzündungen oder gynäkologische Ursachen (Werner et al., 2003; Weinrich et al., 2020).

Der bis in die 1980er Jahre übliche Barium-Kontrasteinlauf ist heute obsolet und durch die Schnittbildverfahren (CT, Sonographie) ersetzt worden (Balthazar et al., 1986). Ein großer Vorteil der Schnittbildgebung ist die Abgrenzbarkeit von reizlosen Divertikeln und perikolischen Entzündungen sowie auch die Detektion von Komplikationen, wie z.B. Abszessen, Infiltration benachbarter Organe und Beteiligung des Urogenitaltraktes (Werner et al., 2003). Eine überwiegende Zahl nationaler und internationaler Leitlinien empfiehlt die CT als bildgebendes Mittel der Wahl zur Diagnostik der akuten Kolondivertikulitis (ACD) (Galetin et al., 2018).

1.2.6. Stadien angepasste Therapie

Die Therapie der asymptomatischen Divertikulose liegt in der Stuhlregulierung, welche durch ballaststoffreiche Kost mit reichlich Flüssigkeit und Bewegung erreicht wird (Herold, 2022).

Meist konservativ mittels einer antibiotischen Therapie werden Typ 1a, 1b, 2a und 2b nach CDD behandelt (Leifeld et al., 2021; Herold, 2022). Bei Typ 2b kann zusätzlich eine CT-gesteuerte Abszessdrainage durchgeführt werden (Leifeld et al., 2021). Typ 2c stellt eine dringende Indikation für eine Operation dar (Herold, 2022). Stationär aufgenommen werden sollten alle Patienten mit Typ 2a, b und c, um eine engmaschige Kontrolle zu gewährleisten und bei Komplikationen ggf. sofort operieren zu können (Leifeld et al., 2021).

Die symptomatische unkomplizierte Divertikelkrankheit Typ 3a stellt eine Ausschlussdiagnose dar und wird ambulant therapiert (Leifeld et al., 2021). Zwar

steigt das Rezidivrisiko bei der chronisch rezidivierenden Divertikulitis Typ 3b nach CDD bei jedem Schub, aber gleichzeitig sinkt das Perforationsrisiko (Leifeld et al., 2021). Dieser Umstand lässt nur eine individuelle Therapie mit elektiver Resektion zu, da im Falle eines Versagens der konservativen Therapie die Lebensqualität durch die immer wiederkehrenden Schübe stark eingeschränkt werden kann (Leifeld et al., 2021). Typ 3c und Typ 4 stellen beide die Indikation für eine Operation dar (Leifeld et al., 2021).

1.3. Computertomographie

Die CT gilt als die empfindlichste und spezifischste bildgebende Technik zur Diagnose einer akuten Divertikulitis mit einer Sensitivität von bis zu 100 % (Kircher et al., 2002). Das American College of Radiology bewertet die CT daher als bevorzugtes Verfahren bei der Diagnostik von akuten Schmerzen im linken Unterbauch mit oder ohne Fieber und für übergewichtige Patienten (Galgano et al., 2019).

In der folgenden Tabelle 2 ist die Häufigkeit der möglichen computertomographischen Befunde einer akuten Divertikulitis dargestellt.

Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung der CT-Zeichen bei akuter Divertikulitis mod. nach (Kircher et al., 2002).

Anteil CT-Befunde bei akuter Divertikulitis	%
Wandverdickung des betroffenen Kolonabschnitts	96
Verdichtung des parakolischen Fettgewebes (Peridivertikulitis)	91
Faszienverdickung	45
Freie Flüssigkeit	43
Freie Luft	16
Abszesse	4
Intramurale Lufteinschlüsse	2

Darüber hinaus kann die CT andere Erkrankungen detektieren, die eine akute Divertikulitis imitieren können. In der retrospektiven Studie von Weinrich et al.

wurden bei der Untersuchung von 1069 Patienten in der Zeitspanne von 2009 bis 2017 insgesamt 427 Patienten mit einer Differentialdiagnose vorgestellt (Weinrich et al., 2020). Die häufigste Differentialdiagnose mit 12,6 % (54/427) war die Appendizitis, gefolgt von der Colitis Ulcerosa (10,5 %), Gastroenteritis (8,2 %), Urolithiasis (6,1 %) und Pyelonephritis (4,9 %) (Weinrich et al., 2020).

1.3.1. Technische Grundlagen

Die tomographische Röntgentechnik, bei der der Patient aus verschiedenen Richtungen von einem Röntgenstrahl abgetastet wird, ist die Grundlage der CT, (Prokop et al., 2013). Die Scan-Einheit wird als Gantry bezeichnet und die zirkuläre Öffnung des CT-Scanners als Gantry-Öffnung. Die parallele Kollimation formt den Röntgenstrahl in einen dünnen Fächer, welcher auch die Schichtdicke bestimmt (Prokop et al., 2013). Beim Durchdringen des Körpers werden die Röntgenstrahlen abgeschwächt. Die abgeschwächte Röntgenstrahlung wird von Detektoren erfasst, mittels eines Computers für jeden Bildpunkt (Pixel) im Körper rekonstruiert (invers Radon-Transformation) und in einen CT-Wert übersetzt. Die dadurch entstehenden Graustufen werden als Bild sichtbar gemacht (Prokop et al., 2013).

Die CT-Werte werden in Hounsfield-Einheiten (HE) angegeben. Die Hounsfield-Einheit wurde nach seinem Erfinder Sir Godfrey Hounsfield (HE) benannt und gibt für jedes Körpergewebe oder Material einen Wert an, welcher mit dem Schwächungswert von Wasser (0) verglichen wird (siehe Abb.4) (Jackson et al., 2009). Somit hat Wasser den Wert 0 HE und Luft -1000 HE, während die Skala nach oben keine Grenze aufweist (Prokop et al., 2013). Auf dieser Skala entspricht jeder Wert einer Graustufe, +1000 entspricht weiß und -1000 entspricht schwarz (Jackson et al., 2009). Die Spanne der vom Computer erfassten CT-Werte beträgt 2000, jedoch ist das menschliche Auge nicht in der Lage, 2000 Graustufen zu unterscheiden. Für die Begutachtung des Bildes wird eine kleinere Anzahl an HE dargestellt. Die Fensterlage definiert die zentrale HE aller CT-Werte und bestimmt damit die Helligkeit des Bildes, die Weite des Fensters und

den Kontrast. Gewebe mit einer Dichte oberhalb des Fensters werden weiß, Gewebe mit niedrigerer Dichte unterhalb des Fensters schwarz dargestellt (Jackson et al., 2009; Prokop et al., 2013).

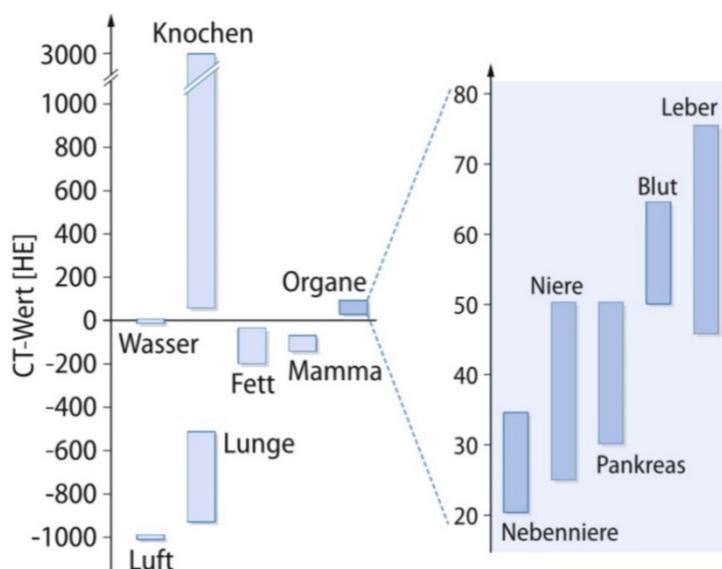


Abbildung 4: Graphische Darstellung wichtiger Referenzwerte in Hounsfield-Einheiten (HU) (Märtz, 2019).

Ein weiterer Parameter ist der Pitch in Millimeter, welcher den Vorschub des Untersuchungstisches während des gesamten Laufs der Röntgenröhre geteilt durch die Schichtdicke in Millimeter angibt. Wird der Pitch erhöht, bewegt sich der Tisch schneller (siehe Abb.5), dies führt zu einer geringeren Dosis und Aufnahmezeit, jedoch zu einer schlechteren Bildauflösung (Jackson et al., 2009).

Das Multiplanare Reformatieren ermöglicht die Bildrekonstruktion in transaxialer, sagittaler, koronarer und schräger Ebene. Eine 3D-Rekonstruktion der Organe kann ebenfalls erstellt werden (Jackson et al., 2009).

Artefakte können unter anderem durch Bewegung des Patienten oder durch Objekte mit einer hohen Dichte, wie z. B. Zahnamalgame und Gelenkersatz aus Metall entstehen (Jackson et al., 2009).

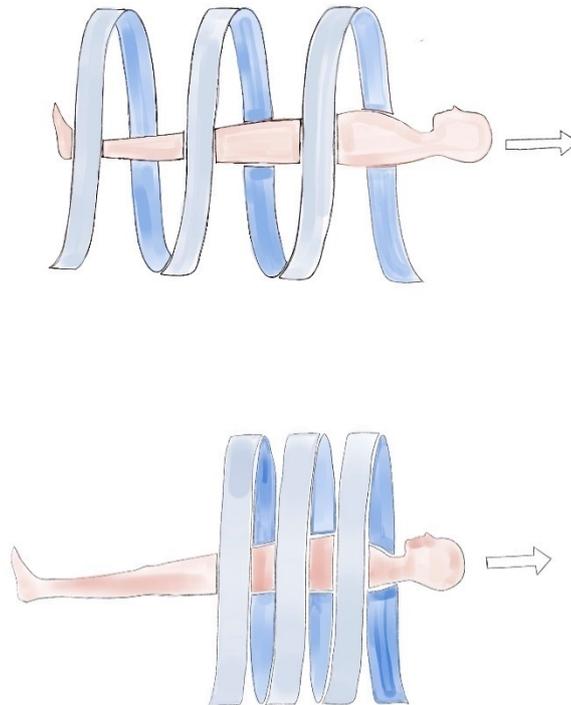


Abbildung 5: Spiral-CT. Abbildung mod. Nach (Jackson et al., 2009). Der Patient wird mit einer konstanten Geschwindigkeit durch den Röntgenstrahl bewegt, während sich die Röntgenröhre ununterbrochen weiterdreht. Wird der Pitch erhöht, bewegt sich der Tisch schneller, dies führt zu einer geringeren Dosis und Aufnahmezeit, jedoch zu einer schlechteren Bildauflösung (Jackson et al., 2009).

1.3.2. Computertomographische Befunde der akuten Divertikulitis (ACD)

Im CT zeigt sich eine Kolondivertikulitis unter anderem durch eine Verdickung der Kolonwand auf mehr als 4mm (Rotert et al., 2003) und eine entzündliche Infiltration des benachbarten Fettgewebes mit erweiterten Vasa recta (Ferstl et al., 2005). Nach Chintapalli et al. ist die streifige Verdichtung (Imbibierung) des perikolischen Fettgewebes ein sicheres Zeichen einer Divertikulitis, wobei immer differentialdiagnostisch ein Karzinom ausgeschlossen werden muss (Chintapalli et al., 1999; Rotert et al., 2003).

Die CT ist vor allem bei der Erkennung von Komplikationen einer Divertikulitis sehr hilfreich (Ferstl et al., 2005). Intramurale Abszesse können sich als Folge einer Durchwanderung der Darmwand durch Darmkeime bilden (Rotert et al.,

2003). Abszesse stellen sich im CT mit einem verdickten Randsaum und hypodensem Zentrum mit möglichen Lufteinschlüssen dar, welche durch gasbildende Keime erzeugt werden (Rotert et al., 2003). Für die Diagnostik von Abszessen größer 1cm bei einer akuten Divertikulitis werden Sensitivitäten von bis zu 100 % beschrieben (Werner et al., 2003). In nur etwa 50 % der Fälle finden sich Faszienverdickungen, welche durch die Menge an Differentialdiagnosen, wie z.B. Pankreatitis, nur als Bestätigung bei vorheriger Verdachtsdiagnose einer akuten Divertikulitis hilfreich sind (Rotert et al., 2003). Durch die Schwächung der dünnwandigen Kuppe des Divertikels kann es zu einer Perforation und nachfolgenden Peritonitis kommen (Leifeld et al., 2021). Bei einer gedeckten Perforation zeigt sich extraluminal Luft im parakolischen Fettgewebe, während sich bei einer freien Perforation die Luft in der Peritonealhöhle sammelt und eine generalisierte Peritonitis entstehen kann (Rotert et al., 2003).

1.4. Sonographie

Die Sonographie bietet bei Verdacht auf eine unkomplizierte Divertikulitis eine alternative, nicht invasive und strahlenlose Möglichkeit zur Diagnosestellung (Fürst und Koischwitz, 2000). Die Sensitivität der Sonographie liegt bei 98,6 % und die Spezifität bei 96,5 % (Schwerk et al., 1993). Der Sonographie sind insofern Grenzen gesetzt, dass die Schallbedingungen ausschlaggebend für die Diagnostik sind. Diese können durch Adipositas und Meteorismus soweit vermindert werden, dass eine Entzündung nicht mehr detektiert werden kann (Schumpelick und Kasperk, 2001). Ein weiterer Nachteil der Sonographie ist die Abhängigkeit von der Expertise des Untersuchers (Galetin et al., 2018). Hieraus resultiert, dass bei septischen Patienten, komplizierteren Verläufen und Zeichen einer Peritonitis ein Abdomen-CT empfohlen wird (Fürst und Koischwitz, 2000), um den Schweregrad der Erkrankung sicher zu bestimmen und die daraus resultierende Therapie abzuleiten (Ambrosetti et al., 2002; Leifeld et al., 2021).

1.5. Viszerales Fett

Zur Bewertung des Körpergewichtes und damit zur Risikoeinschätzung von Begleiterkrankungen durch Adipositas wird im klinischen Alltag der Body-Mass-Index (BMI) herangezogen (Sciomer et al., 2020).

Der BMI (Body-Mass-Index) wird wie folgt berechnet:

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{\text{Größe in m}^2}$$

Tabelle 3: Gewichtsklassifikation anhand des BMI (nach WHO 2000).

Kategorie	BMI	Risiko für Begleiterkrankungen
Untergewicht	< 18,5	niedrig
Normalgewicht	18,5 – 24,9	durchschnittlich
Übergewicht	≥ 25	
Präadipositas	25 – 29,9	gering erhöht
Adipositas Grad I	30 – 34,9	erhöht
Adipositas Grad II	35 – 39,9	hoch
Adipositas Grad III	≥ 40	sehr hoch

Übergewicht (BMI von 25-30 kg/m²) und Adipositas (BMI > 30 kg/m²) (siehe Tabelle 3) sind ein belegtes Risiko für die Divertikelkrankheit (Strate, 2019; Sciomer et al., 2020) und gehen mit einem erhöhten Risiko der akuten Divertikulitis einher (Aune et al., 2017). Doch sollte der BMI eher als Maß für das Gewicht des Patienten betrachtet werden, da er nicht unbedingt Aufschluss über die Fettverteilung und Körperzusammensetzung gibt. So bedeutet ein erhöhter BMI nicht unbedingt

eine erhöhte Fettmasse, da Sportler ebenfalls einen hohen BMI aufweisen können (Sciomer et al., 2020).

Als viszerales Fettgewebe bezeichnet man das intrathorakale und abdominale Fett. Dieses Fettgewebe umgibt die viszerale Organe wie Leber, Magen und Darm (Aparecida Silveira et al., 2020). Das viszerale Fett wird manchmal als „aktives Fett“ bezeichnet, da es das Risiko für gesundheitliche Beeinträchtigungen erhöhen kann (Aparecida Silveira et al., 2020).

Das subkutane Fett ist sehr variabel und unterliegt exogenen Einflussfaktoren, wie Ernährung und Bewegung, während das viszerale Fett bei schlanken wie auch bei übergewichtigen Personen weniger davon beeinflusst wird (Blüher und Paschke, 2003). Die viszerale Fettmasse und Fettverteilung werden durch genetische Faktoren (z.B. Geschlecht), aber auch Alter, Gesamtkörperfettmasse und Energiebilanz bestimmt (Blüher und Paschke, 2003; Klötting et al., 2007). Während das subkutane Fett nur zu 5 % genetischen Faktoren unterliegt, ist das viszerale Fettgewebe zu 50 % genetisch determiniert (Klötting et al., 2007).

Fettgewebe ist ein kritischer Regulator des systemischen Stoffwechsels und der Körperhomöostase, da es eine Vielzahl von Adipokinen (Fettgewebshormonen wie Leptin, Adiponectin, Resistin, Visfatin und Hecpidin) absondert, einschließlich entzündlicher und entzündungshemmender Zytokine (Klötting et al., 2007). Als Hauptspeicherpool für Lipide unterliegen subkutanes und viszerales Fettgewebe als Reaktion auf einen Nährstoffüberschuss einer ausgeprägten Hypertrophie und Hyperplasie, was zu Hypoxie, Adipokin-Dysregulation und nachfolgender geringgradiger Entzündung führt, die durch eine erhöhte Infiltration und Aktivierung von angeborenen und adaptiven Immunzellen gekennzeichnet ist (AlZaim et al., 2020).

Vor allem das viszerale Fettgewebe produziert eine Vielzahl an bioaktiven Peptiden (Adipokine), welche lokal (autokrin) wie auch systemisch (endokrin) eine Reihe an Krankheiten und Stoffwechselstörungen hervorrufen, die in Verbindung mit hoher Morbidität und Mortalität stehen (Pi-Sunyer, 2002; Klötting et al., 2007). Dazu gehören Hyperinsulinämie, Insulinresistenz, Typ-2-Diabetes, Bluthochdruck, Dyslipidämie, koronare Herzkrankheit, Gallenblasenerkrankung und bestimmte bösartige Erkrankungen (Pi-Sunyer, 2002). Hinweis für eine viszerale

Adipositas ist die Vergrößerung von Taillenumfang und Taillen-Hüftverhältnis, welche das Risiko einer Divertikulitis und Divertikelblutung signifikant erhöht (Strate et al., 2009). Die CT kann die Diagnose einer viszeralen Adipositas sichern (Klötting et al., 2007). Für die Berechnung wird das Verhältnis von viszeraler (V) zu subkutaner (S) Fettmenge auf einer Höhe von Wirbelkörper L4/5 verwendet (Klötting et al., 2007). Das Verhältnis von viszeraler zu subkutaner Fettgewebsmasse (V/S-Ratio) von $> 0,4$ bedeutet ein höheres metabolisches Risiko als eine V/S-Ratio von $< 0,4$ (Klötting et al., 2007).

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Adipositas einen negativen Einfluss auf den Verlauf der Divertikulitis hat (Strate, 2019; Makar et al., 2021). Dezieltere Studien legen nahe, dass ein hoher viszeraler Fettanteil im Vergleich zum subkutanen Fettgewebe längere und komplikationsreichere Verläufe einer akuten Kolondivertikulitis begünstigen (Dobbins et al., 2006; Jeong et al., 2011; Docimo et al., 2017). Im Detail wiesen Patienten mit erhöhtem V/S-Verhältnis eine größere Wahrscheinlichkeit auf, eine Komplikation wie z.B. Divertikelblutung, Perforation und Rezidive zu entwickeln (Dobbins et al., 2006; Docimo et al., 2017).

Die Studie von Kielar et al. zeigt, dass vermehrtes viszerale Fett die diagnostische Genauigkeit der Computertomographie (CT) bei unklaren Bauchschmerzen verbessern kann (Kielar et al., 2016). Es wird angenommen, dass durch die Zunahme von intraabdominellem Fett die Darmschlingen voneinander separiert werden und sich dadurch der Kontrast und die Befundunsicherheit erhöhen (González-Moreno et al., 2019). Eine Arbeit von Alabousi et al. bei Patienten mit einem BMI $> 25 \text{ kg/m}^2$ konnte auf orales Kontrastmittel bei der abdominalen CT hinsichtlich der Abklärung akuter abdominaler Beschwerden verzichtet werden, ohne dass eine verminderte Befundunsicherheit zu verzeichnen war (Alabousi et al., 2015). Ob das Ausmaß von viszeralem Fettgewebe einen Effekt auf die diagnostische Genauigkeit der CT bei der akuten Kolondivertikulitis hat, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

2. Material und Methode

2.1. Patientenkollektiv

Diese Studie wurde bei der zuständigen Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg angemeldet. Aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie und der Anonymisierung der Patientendaten war eine Beratung durch die Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg nicht erforderlich.

Das radiologische Informationssystem und das Krankenhausinformationssystem des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf wurde nach Patienten durchsucht, bei denen zwischen Februar 2009 und November 2019 ein Abdomen-CT bei Verdacht auf ACD durchgeführt wurde. Von den ursprünglichen 164 Patienten (n = 164) wurden 155 in unsere Studie eingeschlossen (94,5 %; 85 Frauen; mittleres Alter 58 ± 13 Jahre) passend zu folgenden Einschlusskriterien: i.) klinisch vermutete ACD basierend auf der ärztlichen Beurteilung, ii.) CT mit intravenösem Kontrastmittel, iii.) Operation bei ACD innerhalb einer Woche nach CT, iv.) histopathologischer Befund passend zu ACD. Insgesamt wurden 9 Patienten (5,5 %) ausgeschlossen, 3 Patienten wegen unzureichender histopathologischer Befunde und 6 Patienten, bei denen das CT ohne intravenöse Kontrastmittelgabe durchgeführt wurde (siehe Abb.6).

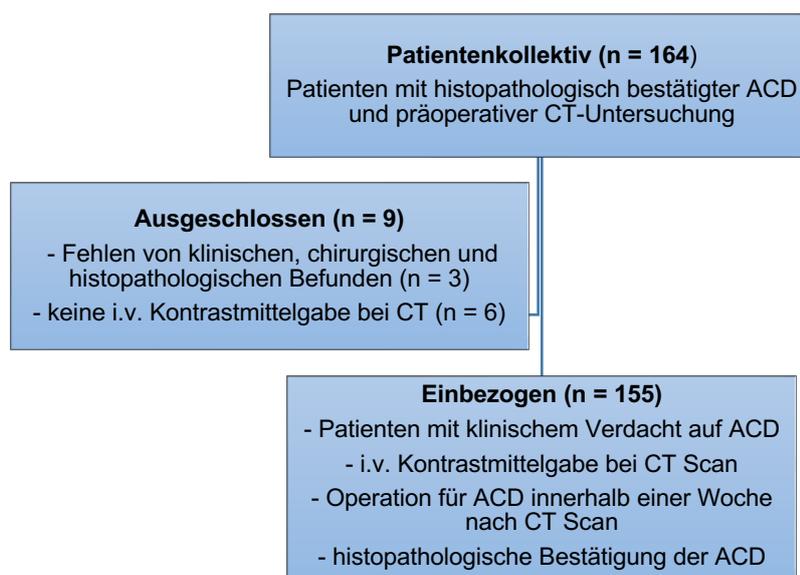


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Ein- und Ausschlusskriterien

2.2. Computertomographien (CT)

2.2.1. Vorbereitung und Durchführung der Computertomographie

Alle Untersuchungen wurden mit einem 256-Slice-MDCT-Scanner (Brilliance iCT; Philips Medical Systems, Best, Niederlande) oder einem Dual-Source-CT der dritten Generation mit 192 Schichten im Single-Energy-Modus (SOMATOM Force, Siemens Healthcare, Forchheim, Deutschland) durchgeführt.

Folgende Geräteparameter wurden eingesetzt:

1. 256-Zeilen-MDCT: Röhrenspannung 120kV, Referenzröhrenstrom 80mAs, Kollimation $2 \times 128 \times 0,625$ mm, Pitch 0,985, Gantry-Rotationszeit von 0,33 s
2. Dual-Source-CT: automatische Dosismodulation für Röhrenspannung und Röhrenstrom basierend auf einer Referenz von 147 mAs, daraus resultierend Röhrenspannung von entweder 90 oder 100 kV, Kollimation von $192 \times 0,6$ mm, Pitch von 0,6, Gantry-Rotationszeit von 0,5 s

Für das Standard-Abdominalprotokoll wurden 100 ml Iomeron 300 (Bracco Altana Pharma, Mailand, Italien) und 20 ml Kochsalzlösung mit einer Rate von 2ml/s intravenös injiziert und der CT-Scan mit einer Verzögerung von 90 s nach der Injektion gestartet, um eine portalvenöse Phase zu erhalten. Der Scanbereich umfasste das Abdomen vom Zwerchfell bis zur Schambeinfuge. In 93 von 155 Patienten (60 %) wurde vor der CT-Untersuchung ein rektaler Wassereinlauf durchgeführt.

Die Bilder wurden in axialer, sagittaler und koronaler Ausrichtung rekonstruiert, wobei ein Weichteilfenster mit einer Schichtdicke von 5 mm und einem Inkrement von 1 mm zur weiteren Auswertung verwendet wurde.

2.3. Auswertung der Computertomographie und Einteilung der akuten Divertikulitis nach CDD

Zur Bestimmung des endgültigen Stadiums der ACD mussten die chirurgischen und histopathologische Berichte von jedem Patienten überprüft und unter Verwendung der Klassifikation der Divertikelkrankheit (CDD) bewertet werden. Die chirurgische und histopathologische CDD-Kategorie diente als Referenzstandard.

Alle 155 CT-Untersuchungen wurden retrospektiv durch zwei Radiologen mit sechs und zwölf Jahren Berufserfahrung in der Abdominaldiagnostik ausgewertet. Beiden Ärzten waren die endgültigen chirurgischen und histopathologischen Stadien der ACD vor der CT-Auswertung nicht bekannt. Folgende Divertikulitis assoziierte CT-Befunde (Ambrosetti et al., 2002; Werner et al., 2003; Andeweg et al., 2014) wurden von beiden Untersuchern unabhängig bewertet:

- Lokalisierung der ACD (Colon sigmoideum, rektosigmoidaler Übergang, Colon descendens, transversum und ascendens),
- Darmwandverdickung,
- Imbibierung des perikolischen Fettgewebes,
- gedeckte und freie Perforation („frei“ mit extraluminale Luft > 5 cm Abstand zum entzündeten Kolonsegment (Sartelli et al., 2015)),
- lokale und generalisierte Peritonitis,
- Abszess und Abszessgröße

Vorhandensein oder Fehlen eines Befunds mit Ausnahme der Lokalisation und der Darmwandverdickung wurde mittels einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet (1, definitiv nicht vorhanden; 2, wahrscheinlich nicht vorhanden; 3, mehrdeutig; 4, wahrscheinlich vorhanden; 5, definitiv vorhanden (Laqmani et al., 2016)) (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: fünfstufige Likert-Skala, Vorhandensein oder Fehlen eines Befundes, Befundssicherheit

Likert Wert		Binäre Variable	Befundssicherheit
1	definitiv nicht vorhanden	Fehlen des Befundes	Hohe Sicherheit
2	wahrscheinlich nicht vorhanden		Mittlere Sicherheit
3	mehrdeutig		Geringe Sicherheit
4	wahrscheinlich vorhanden	Vorhandensein des Befundes	Mittlere Sicherheit
5	definitiv vorhanden		Hohe Sicherheit

Für die Berechnung der Häufigkeit von ACD-bezogenen Befunden und der Bewertung der Interrater-Übereinstimmung wurde die 5-Punkte-Likert-Skala in eine binäre Variable übertragen (Fehlen des Befundes Werte 1–3 vs. Vorhandensein des Befundes Werte 4 und 5) (Lee et al., 2011). Um die Befundssicherheit des Untersuchers zu analysieren, wurde die 5-Punkte-Likert-Skala für die sechs Befunde in drei Kategorien umklassifiziert (hohe Sicherheit für die Likert-Werte 1 und 5, mittlere Sicherheit für Werte 2 und 4 und geringe Sicherheit für Wert 3) (Laqmani et al., 2016).

Beide Untersucher teilten unabhängig voneinander die ACD gemäß der CDD-Klassifikation ein. Dabei wurde eine isolierte peridivertikuläre Schwellung der Dickdarmwand als CDD-Stadium 1a klassifiziert. Ein CDD-Stadium 1b lag vor, wenn zusätzlich eine Imbibierung des umgebenden Gewebes und/oder lokale Peritonitis bestand, aber keine Zeichen einer Perforation abzugrenzen waren. Eine gedeckte Perforation (bei perikolischen Luftbläschen) und/oder ein Abszess von ≤ 1 cm wurden als CDD-Stadium 2a klassifiziert. War der Abszess größer als > 1 cm, wurde er als CDD-Stadium 2b eingestuft. Zur Zeit der Durchführung der Studie wurde noch die alte CDD-Einteilung nach der S2k-Leitlinie verwendet, nach der Abszesse ≤ 1 cm als Typ 2a und Abszesse > 1 cm als Typ 2b eingeteilt wurden (Leifeld et al., 2014; Schreyer und Layer, 2015). Die Stadien 2a und 2b wurden hierbei zusammengefasst, da die Abszessgröße histopathologisch nicht weiter differenziert wurde. Da eine Differenzierung von eitriger und fäkaler Peritonitis im CT nicht möglich ist (Ünlü et al., 2014; Pustelnik et al., 2017), wurden

die Kategorien 2c¹ und 2c² zu einem CDD-Stadium 2c zusammengefasst (Pustelnik et al., 2017). Unterschiedlich das CDD-Stadium der beiden Beobachter, wurde ein Konsens durch die Konsultation eines dritten Radiologen mit 15 Jahren Erfahrung in der Abdominaldiagnostik erreicht.

2.4. Quantifizierung des viszeralen Fettanteils (V/S-Verhältnis)

Um die Menge an viszeralem und subkutanem Fett in jedem Patienten zu messen, verwendeten wir eine einzelne axiale Schicht des Abdomen-CT in Höhe von Wirbel L4 wie vorbeschrieben (Jh et al., 2011). Durch ein hausintern programmiertes Plugin von ImageJ, einer Open-Source-Imaging-Software (Schneider et al., 2012), wurde der viszerale Fettanteil bestimmt. Das Programm ermöglicht es, auf einer CT-Schicht mittels Einzeichnen so genannter Regions of Interest (ROI) das viszerale Fettgewebe (VFA) und das gesamte abdominelle Fettgewebe (TFA) zu segmentieren (siehe Abb.8). Davon ausgehend ist es möglich, das subkutane Fettareal (SFA) als die Differenz von TFA und VFA ($SFA = TFA - VFA$) und das Verhältnis von VFA und SFA ($V/S \text{ Verhältnis} = VFA/SFA$) zu berechnen (siehe Abbildung 7)(Docimo et al. 2017).

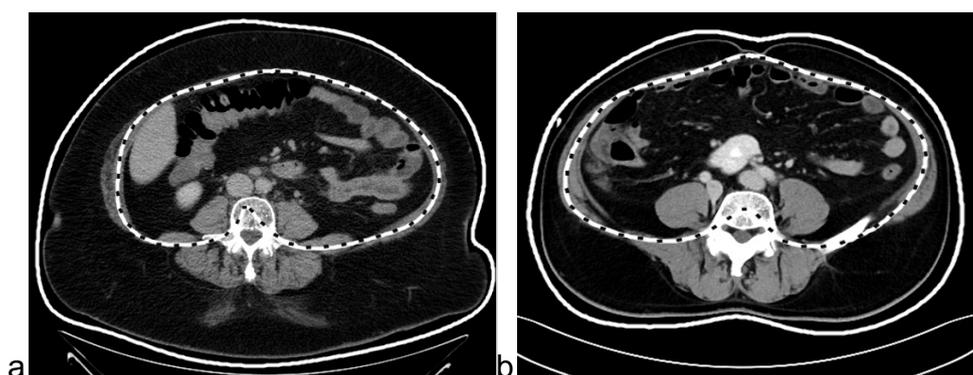


Abbildung 7: Berechnung des Verhältnisses von viszeralem zu subkutanem Fettgewebe (V/S-Verhältnis). Das V/S-Verhältnis wurde berechnet durch Dividieren des viszeralen Fettanteils (gestrichelte Linie: innere Region of Interest, ROI,) von dem subkutanen Fettanteil (äußere durchgängige Linie: äußere ROI – innere ROI). Die ROI wurden auf einer axialen Schichtebene in Höhe L4 gezeichnet. Voxel mit Hounsfield Einheiten von -190 bis -30 wurden als Fett klassifiziert. a) 52-jährige Frau mit einem V/S-Verhältnis von 0.35 b) V/S-Verhältnis von 0.97 bei einem 50-jähriger Mann. Abbildung mod. nach (Rausch et al., 2021).

2.5. Statistische Auswertung

Für die deskriptive Statistik und Berechnung der diagnostischen Genauigkeit der CT werden Mittelwert und Standardabweichung (standard deviation SD) oder Odds Ratios (OR) und das 95%-Konfidenzintervall (KI) angegeben.

Um zu ermitteln, ob das V/S-Verhältnis einen signifikanten Einfluss auf die diagnostische Genauigkeit der CT hat, wurde ein logistisches Regressionsmodell mit der diagnostischen Genauigkeit (korrektes Staging versus falsches Staging der ACD im CT) als abhängige Variable und V/S-Verhältnis als unabhängige Variable aufgesetzt. Berichtet wird der Effekt auf die Wahrscheinlichkeit des richtigen Stagings, wenn sich das V/S-Verhältnis um 0,1 erhöht. Dieser Effekt wird mittels OR, Konfidenzintervall (KI) und p-Wert dargestellt. Unterschiede in der Prävalenz von Divertikulitis assoziierten CT-Befunden und der darauf bezogenen Befundssicherheit wurden unter Verwendung eines Random-Intercept-Modells mit dem Radiologen als Zufallseffekt (Radiologe A, Radiologe B) und dem V/S-Verhältnis als festem Effekt berechnet. Die Wahrscheinlichkeit für ein korrektes CDD-Staging wurde durch eine binäre logistische Regression analysiert. P-Werte < 0.05 wurden als signifikant angesehen.

Zur Beurteilung der Interobserver-Übereinstimmung bezüglich des ACD-Stagings wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) mittels eines einfachen Intraklassen-Korrelationsmodell vom Konsistenz-Typ errechnet. Paarweise Interreader-Reliabilität für den Nachweis von ACD-bezogenen CT-Befunden wurde mittels Cohens Kappa Test ermittelt und nach Landis und Koch (Landis, 1977) interpretiert.

Alle statistischen Berechnungen wurden mit R (Version 4.0.4, R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich, 2021) durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1. Deskriptive Statistik

Für die deskriptive Statistik und die CDD-Stadien des Gesamtkollektivs (siehe Tabelle 5). Hervorzuheben ist, dass eine Mehrheit der Patienten eine akute Divertikulitis vom Typ 2a/b (77%) zeigten, welche zum Großteil im Colon sigmoideum und rektosigmoidalen Übergang (kumulativ 88%) zu finden war. Außerdem auffällig ist ein vergleichsweise hohes mittleres V/S-Verhältnis von 0,71.

Tabelle 5: Statistische Aufteilung der 155 Patienten nach Alter, Geschlecht, CDD, Lokalisation und V/S Verhältnis

Alter	Mittelwert	58±13 Jahre (Spanne: 28-90 Jahre)
Geschlecht	Männer Frauen	45 % (n=70) 55 % (n=85)
CDD-Stadium nach chirurgischem und histopathologische Befund	1b 2a/b 2c	5 % (n=7) 77 % (n=120) 18 % (n=28)
Lokalisation der ACD	Colon sigmoideum Rektosigmoid. Übergang Colon descendens Colon transversum Colon ascendens	62 % (n=96) 26 % (n=40) 10 % (n=16) 1 % (n=1) 1 % (n=2)
V/S Verhältnis	Mittelwert	0,71 ± 0,36

3.2. Gesamtgenauigkeit des CT-Stagings

Die Gesamtgenauigkeit des CT-Stagings für ACD mit der chirurgischen und histopathologischen Bewertung als Referenzstandard war wie folgt: Stadium 1b, 100 % (7/7); Stadium 2a/b, 91,7 % (110/120); Stadium 2c, 100 % (28/28, siehe Tabelle 6). Die Gesamtgenauigkeit war mit 93,5 % hoch (95%-KI: 88,5–96,9 %). Die Interobserver-Übereinstimmung zur Beurteilung der CT-Stadien von CDD war ausgezeichnet (ICC 0,96; 95%-KI: 0,94–0,97). Auch bei der Differenzierung der CDD-Stadien 2a und 2b im CT konnte eine gute Interrater-Übereinstimmung ermittelt werden ICC 0,80 (ICC 0,80; 95%-KI: 0,72-0,86).

Tabelle 6: Vergleich von CT und chirurgischer/histopathologischer Einteilung der ACD nach CDD. Die Zahlen geben den absoluten Wert an. Die Zahlen in den Klammern geben das Stadium 2a und 2b an, welche im CT zwar differenziert werden konnten, aber für die weitere Analyse zusammengefasst wurden. Übereinstimmende Befunde von CT und Histopathologie sind fett hervorgehoben.

Patienten (n=155)		chirurgisches/histopathologisches Stadium			
		1b	2a/b	2c	n
CT-Stadium	1b	7	6	-	13
	2a/b	-	110 (49/61)	-	110
	2c	-	4	28	32
	n	7	120	28	155

Abbildung 8 zeigt die typischen CT-Befunde der akuten Divertikulitis und die daraus resultierenden CDD-Stadien.

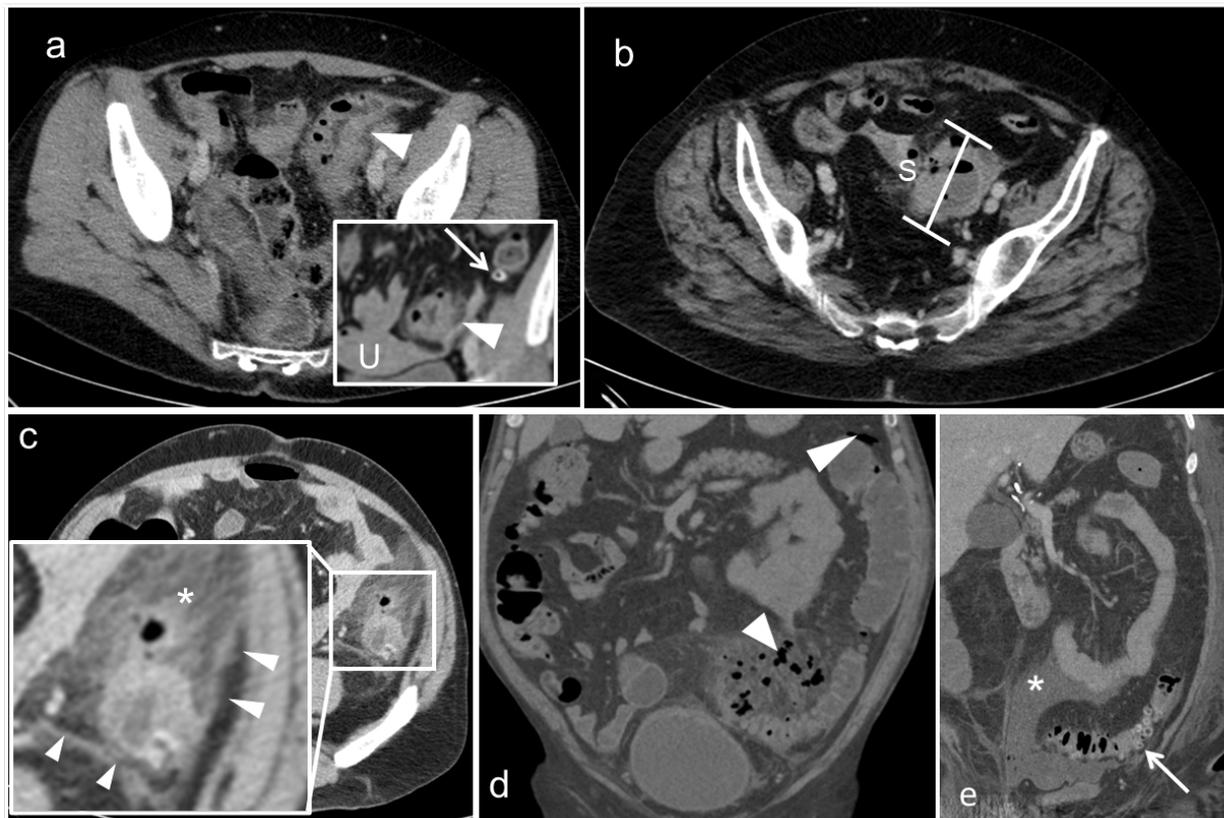


Abbildung 8: Beispiele für radiologische Zeichen einer akuten Kolondivertikulitis mod. Nach (Rausch et al., 2021)

- a. CT-graphisch und histopathologisch CDD 1b mit verdickter Darmwand am descendosigmoidalen Übergang und umgebender Fettgewebsimbibierung (Pfeilspitzen). Kleines Bild-im-Bild: koronare Rekonstruktion; Pfeil, nicht entzündetes Divertikel des C. descendens. U, Uterus; 51 Jahre, weiblich, V/S-Ratio 0,45
- b. CT-graphisch CDD 2b bei perikolischem Abszess von etwa 4 cm. Dieser zeigt sich durch einen perikolischen Flüssigkeitsverhalt mit Lufteinschlüssen und verdicktem Randsaum. Der histopathologische Befund ergab ein Stadium 2a/b. S, C. sigmoideum; 66 Jahre, weiblich, V/S-Ratio 0,62.
- c. CT-graphisch und histopathologisch CDD 2a. Stern, gedeckte Perforation. Pfeilspitzen, Verdickung und Kontrastverstärkung des lokalen Peritoneums. 56 Jahre, männlich, V/S-Ratio 1,3.
- d. CT-graphisch und histopathologisch CDD 2c bei extraluminarer Luft im Mesokolon und im Bereich der linken Kolonflexur (Pfeilspitzen). 76 Jahre, männlich, V/S-Ratio 1,22
- e. CT-graphisch und histopathologisch CDD 2c bei extraluminarer Flüssigkeit (*). Der Pfeil zeigt den entzündlich verdickten descendosigmoidalen Übergang mit zahlreichen Divertikeln. 74 Jahre, männlich, V/S-Ratio 0,9

In insgesamt zehn Fällen war die Stadieneinteilung von CT und Histopathologie nicht übereinstimmend. Hiervon wurden sechs Patienten durch die CT als Stadium 1b (phlegmonöse Divertikulitis) bewertet und somit unterschätzt, da histopathologisch eine ausgedehnte Entzündung mit gedeckter Perforation nachgewiesen wurde (Stadium 2 a/b). In vier Fällen überschätzte die CT die ACD mit Stadium 2c, wobei der histopathologische Befund nur Stadium 2a/b zeigte (in zwei Fällen wurde im CT mit hoher Sicherheit freie Luft erkannt und in zwei weiteren Fällen wurde mit moderater Sicherheit eine generalisierte Peritonitis diagnostiziert).

Abbildung 9 und 10 zeigen Beispiele für korrekte und inkorrekte Stadieneinteilung der ACD im CT.

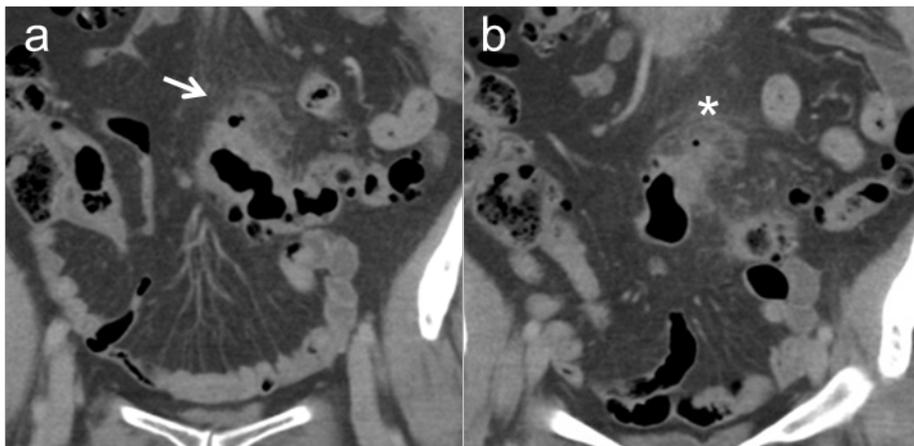


Abbildung 9: Korrektes Staging im CT Bei einer 60 Jahre alten Frau (V/S-Verhältnis 0,74). Die koronaren Rekonstruktionen der CT zeigen eine Entzündung eines Sigmadivertikels (Pfeil) mit ausgedehnter Peridivertikulitis (a). Zwei Schichten weiter dorsal konnte eine extraluminale Luftperle im Mesokolon ausgemacht werden (b, Stern). Der CT-Befund wurde als eine Divertikulitis Typ 2a nach CDD gewertet, was sich intraoperativ und histopathologisch bestätigte.

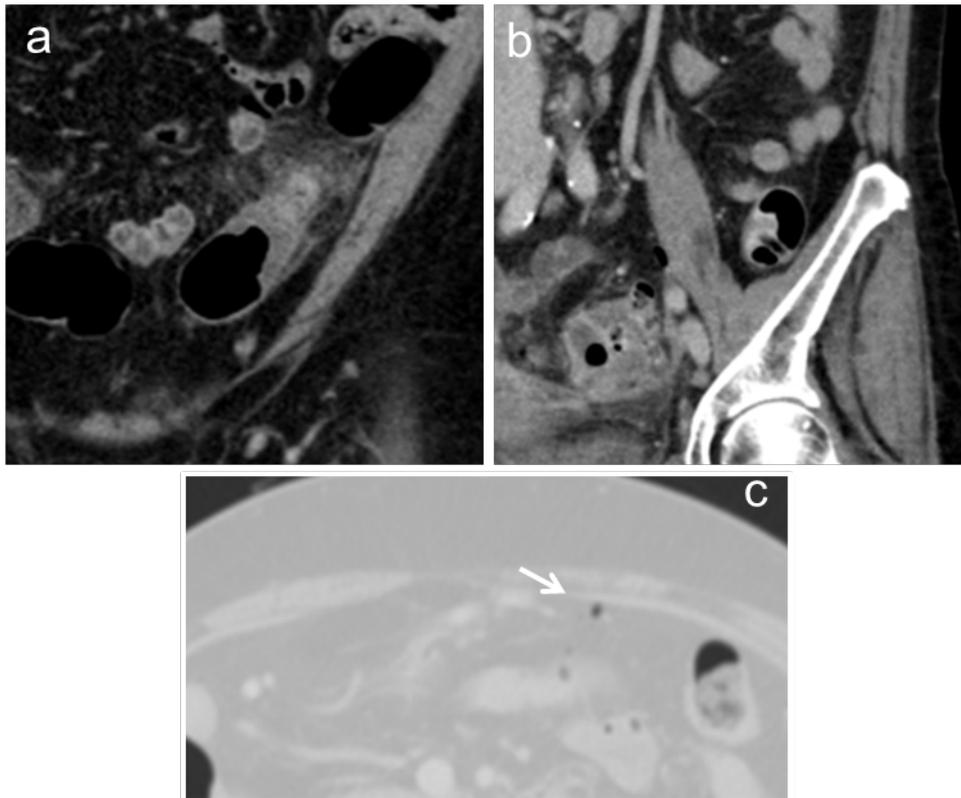


Abbildung 10: Inkorrektes Staging im CT

a) Koronare Rekonstruktion einer CT bei einer 48-jährigen Patientin (V/S-Verhältnis 0,67). Die Divertikulitis am descendsigmoidalen Übergang wurde CT-graphisch bei fehlenden extraluminalen Luftperlen und ohne Nachweis eines Abszesses als CDD Typ 1b gewertet. Die histopathologische Auswertung der vier Tage nach der CT durchgeführten Operation ergab eine Divertikulitis Typ 2a/b.

b und c) Sigmadivertikulitis bei einer 67-jährigen Patientin (V/S-Verhältnis 0,72). Die koronare Rekonstruktion der CT (b) zeigte eine erhebliche Verdickung der Darmwand mit fraglichen intramuralen Luftperlen als möglicher Ausdruck einer intramuralen Abszedierung. In den transversalen Schichten im Lungenfenster (c) konnten extraluminale Luftperlen (Pfeil) im linken paramedianen Oberbauch nachgewiesen werden. Auf Grund dieser Befunde wurde CT-graphisch die Diagnose einer frei perforierten Divertikulitis gestellt (Typ 2c nach CDD) und die Patientin am selben Tag operiert. Der chirurgische und der histopathologische Bericht beschreiben eine Divertikulitis Typ 2a/b ohne generalisierte Peritonitis.

3.3. Einfluss des V/S-Verhältnisses auf die Genauigkeit des CT-Stagings

Das mittlere V/S-Verhältnis betrug $0,71 \pm 0,36$ (Spannweite 0,1–1,86) (s. Tabelle 5). Das V/S-Verhältnis hatte keinen signifikanten Einfluss auf das CDD-Stadium ($F \{1,143\} = 0,745$, $p = 0,39$).

Ein erhöhtes V/S-Verhältnis war vorteilhaft für die diagnostische Genauigkeit (OR: 1,41, 95%-KI: 1,09–1,95, $p = 0,02$), d.h. eine Erhöhung des V/S-Verhältnisses um 0,1 erhöhte die Wahrscheinlichkeit eines korrekten CT-Stagings der ACD um 1,41 (siehe Abb.11).

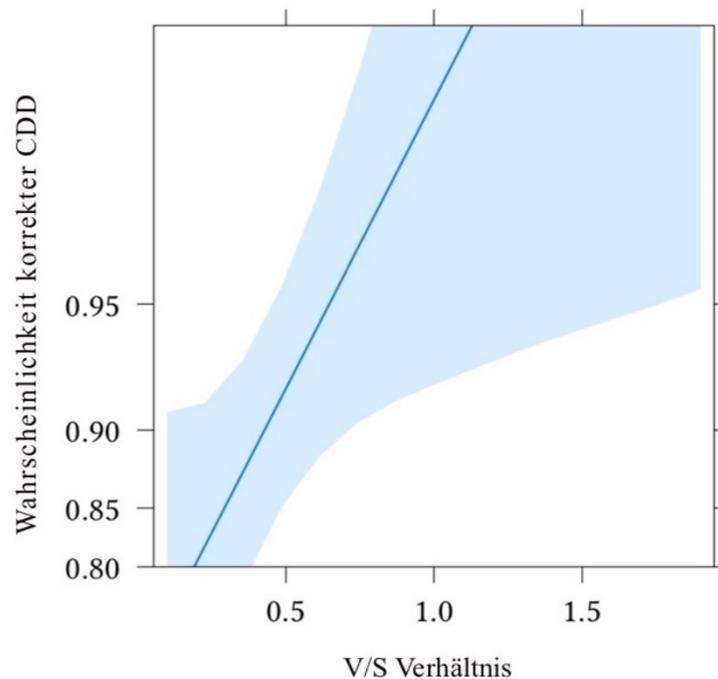


Abbildung 11: Effektdiagramm. Eine Erhöhung des V/S-Verhältnisses verbessert die Wahrscheinlichkeit für ein korrektes CDD-Staging einer akuten Kolondivertikulitis im CT signifikant (OR: 1,41, 95%-KI: 1,09–1,95, $p = 0,02$). (Rausch et al., 2021).

3.4. Einfluss des V/S-Verhältnisses auf Prävalenz und Befundssicherheit von Divertikulitis assoziierten CT-Befunden

Die Prävalenz und Befundssicherheit der Divertikulitis assoziierten CT-Befunde wurde für beide Beobachter zusammengeführt (n = 310, s. Tabelle 7). Hervorzuheben ist, dass die meisten Patienten eine perikolische Imbibierung und lokale Peritonitis aufwiesen (98,7 % bzw. 89 %), während eine generalisierte Peritonitis bei nur 5,2 % der Fälle vorlag. Die im CT gemessene mittlere Abszessgröße betrug 3,1 cm (Bereich 0,5–17 cm). 14 von 151 (9,3 %) erfassten Abszessen waren ≤ 1 cm groß. Bezüglich der Detektion einer freien Perforation zeigten beide Untersucher eine vollständige Übereinstimmung (Kappa-Wert von 1, siehe Tabelle 7). Auch bei dem Nachweis der gedeckten Perforation (0,61), der Fettgewebsimbibierung (0,8) und der Abszessbildung (0,73) konnte eine starke Übereinstimmung zwischen beiden Untersuchern beobachtet werden. Weiter konnte bei der Differenzierung zwischen Abszessen > 1 cm und Abszessen ≤ 1 cm Durchmesser eine sehr hohe Interrater-Übereinstimmung mit einem Kappa von 0,85 festgestellt werden. Die Übereinstimmungen bei Befundung der Peritonitis war hingegen mit einem Kappa-Wert von 0,48 bei der generalisierten und einem Kappa-Wert von 0,22 bei der lokalen Form nur mäßig bzw. schwach. Das V/S-Verhältnis hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz von Divertikulitis assoziierten CT-Befunden (p-Werte $> 0,05$).

Mit hoher Befundssicherheit wurden perikolische Imbibierung, freie Perforation und Peritonitis diagnostiziert (alle mit einer durchschnittlichen Sicherheit von $\geq 2,9/3$, siehe Tabelle 7). Mit einer mittleren bis hohen Sicherheit wurden gedeckte Perforation (durchschnittliche Sicherheit 2,42) und Abszessbildung (mittlere Sicherheit 2,48) erkannt. Die Nachweissicherheit für lokale Peritonitis stieg mit Zunahme des V/S-Verhältnisses an (OR: 0,014, 95%-KI: 0 – 0,03, p = 0,049). Eine Erhöhung des V/S-Verhältnisses um 0,1 ging mit einem Anstieg der Befundssicherheit um 0,014 einher. Auf die Befundssicherheit der übrigen Divertikulitis assoziierten CT-Befunde hatte V/S-Verhältnis keinen signifikanten Einfluss (alle p $> 0,05$) (siehe Tabelle 7).

Abbildung 12 zeigt beispielhaft, wie ein erhöhtes V/S Verhältnis die Abgrenzbarkeit und Befundssicherheit der lokalen Peritonitis verbessert. Bei einem Patienten mit einer hohen V/S-Ratio von 1,3 haben beide Auswerter das Vorliegen einer

lokalen Peritonitis mit hoher Sicherheit bewertet (Abb. 12a). Hingegen waren sich beide Befunder bei einem zweiten Patienten mit einer niedrigen V/S-Ratio von 0,24 unsicher, ob eine lokale Peritonitis vorlag (Abb. 12b).

Tabelle 7: Prävalenz und Nachweissicherheit der ACD-bezogenen CT-Befunde mit Interrater-Übereinstimmung

CT-Befunde	Prävalenz						Nachweissicherheit				Interrater Übereinst. κ(95%-CI)
	1	2	3	4	5	(SD)	1	2	3	Ø (SD)	
1. perikolische Imbibierung	-	4	-	13	293	4.92 (0.39)	-	17	293	2.95 (0.23)	0.8 (0.41-1)
2. gedeckte Perforation	56	29	23	105	97	3.51 (1.47)	23	134	153	2.42 (0.63)	0.61 (0.48-0.73)
3. freie Perforation	239	11	4	4	52	1.77 (1.52)	4	15	291	2.93 (0.31)	1 (1-1)
4. lokale Peritonitis	12	18	4	24	252	4.57 (1.04)	4	42	264	2.84 (0.4)	0.22 (0.01-0.43)
5. generalisierte Peritonitis	273	18	3	8	8	1.26 (0.82)	3	26	281	2.9 (0.34)	0.48 (0.18-0.78)
6. Abszess	70	76	13	58	93	3.09 (1.59)	13	134	163	2.48 (0.58)	0.73 (0.63-0.84)

Anmerkungen: Prävalenz, Wert 1-3 = Fehlen des Befundes, Wert 4-5= Vorhandensein des Befundes. Nachweissicherheit, Wert 1 = geringe Sicherheit, Wert 2 = mittlere Sicherheit, Wert 3 = hohe Sicherheit.

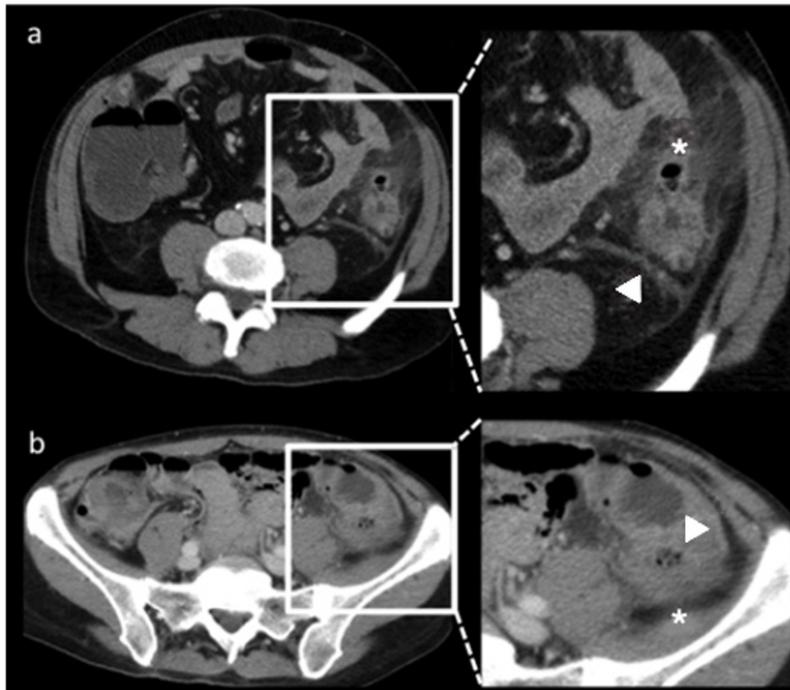


Abbildung 12: Einfluss der viszeralen Adipositas auf die Befundunsicherheit der lokalen Peritonitis. Beispiel von zwei Patienten mit einem a) hohen (1,3) und b) niedrigen (0,24) V/S-Verhältnis und abweichender Befundunsicherheit in Bezug auf das Vorhandensein einer lokalen Peritonitis. Die jeweils rechtsseitige Abbildung zeigt einen vergrößerten Ausschnitt. a) 56-jähriger Mann mit ACD und gedeckter Perforation (Stern; CDD 2a). Die Verdickung und vermehrte Kontrastierung des lokalen Peritoneums sind gut abzugrenzen (Pfeilspitze), so dass eine lokale Peritonitis von beiden Beobachtern als definitiv vorhanden gewertet wurde (Befundunsicherheit 3). b) 57-jähriger Mann mit komplizierter ACD. CT-Befund mit Imbibierung des perikolischen Fettgewebes (Stern) und kleiner Abszessformation (Pfeilspitze), gemäß CDD 2b. Das Vorhandensein einer lokalen Peritonitis wurde von beiden Beobachtern als unsicher gewertet (Befundunsicherheit 1) mod. nach (Rausch et al., 2021).

4. Diskussion

Meine Arbeit liefert folgende Ergebnisse: 1) Das CT beweist eine hohe diagnostische Genauigkeit bei der präoperativen Stadieneinteilung der akuten Divertikulitis nach der Klassifikation der Divertikelkrankheit (CDD). 2) Die diagnostische Genauigkeit und Befundssicherheit steigen signifikant mit dem Grad der viszeralen Adipositas.

4.1. Patientenkollektiv und Lokalisation der Divertikulitis

Das Patientenkollektiv in dieser Studie umfasste 155 Patienten mit der histologisch gesicherten Diagnose einer akuten Divertikulitis. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung konnten ein minimal größerer Anteil an Frauen nachgewiesen werden (Männer 45 %, Frauen 55 %). Der Altersdurchschnitt lag bei 58 Jahren, mit einem relativ breiten Altersspektrum (28 – 90 Jahre). Vorherige Studien zeigten eine ähnliche Geschlechter- und Altersverteilung bei der akuten Divertikulitis (Etzioni et al., 2009; Weinrich et al., 2020).

Am häufigsten war das Colon sigmoideum von der Divertikulitis betroffen (62 %). Diese Beobachtung deckt sich mit den Angaben aus der Literatur, in der das Colon sigmoideum ebenfalls am häufigsten von der Divertikelkrankheit bzw. Divertikulitis betroffen ist (Leifeld et al., 2021). Hoffmann und Kruis et al. beschreiben in ihrer Studie, dass bei 95 % der Fälle einer Divertikulitis das Sigma beteiligt ist (Hoffmann und Kruis, 2005).

4.2. Genauigkeit der CT bei der Einteilung der ACD

Generell konnten hohe Befundssicherheiten und Übereinstimmungen zwischen den Auswertern für die CT-Zeichen einer Divertikulitis festgestellt werden (siehe Tabelle 7). Im CT wurden alle 28 Patienten mit einer frei perforierten Divertikulitis (CDD-Stadium 2c) und alle sieben Fälle einer unkomplizierten phlegmonösen Divertikulitis (CDD-Stadium 1b) richtig diagnostiziert. Eine nur geringe Abweichung wurde bei der Diagnostik der gedeckten Perforation und/oder Abszessbildung (CDD-Stadium 2a/b) festgestellt. Die Übereinstimmungen bei der Aufdeckung

der Peritonitis war mit einem Kappa-Wert von 0,48 bei der generalisierten und einem Kappa-Wert von 0,22 bei der lokalen Form nur mäßig bzw. schwach.

4.2.1. Mögliche Ursachen einer fehlerhaften Stadieneinteilung im CT

In der Gruppe der Patienten mit einer ACD vom Stadium CDD 2a/b wurden sechs der 120 Patienten mit einem CDD-Stadium von 1b im CT im Vergleich zur Referenz falsch niedrig eingestuft (der histopathologische Befund ergab ein Stadium CDD 2a/b). Zum einen könnten in diesen Fällen im CT nicht nachweisbare intramurale Mikroabszesse vorgelegen haben, was auf Grund des retrospektiven Designs der Studien nicht geklärt werden kann. Zum anderen könnte es im Intervall von bis zu einer Woche zwischen der initialen CT und der chirurgischen Operation zu einem Fortschreiten der Erkrankung gekommen sein, wodurch ein Understaging im CT wie in vorhergegangenen Studien erklärt werden könnte (Morris et al., 2002; Gielens et al., 2012).

Bei vier von 120 Patienten (3 %) wurde im CT ein zu hohes CDD-Stadium im Vergleich zur Referenz diagnostiziert (CT 2c; Referenz 2a/b). Bei zwei dieser Patienten wurde von beiden Beobachtern mit hoher Sicherheit intraperitoneale Luft in der CT detektiert. Ein Pneumoperitoneum gilt als starker Indikator für eine Perforation eines Hohlorgans mit der möglichen Folge einer diffusen Peritonitis, wenn keine iatrogene oder benigne Ursache ausgemacht werden kann (Pinto et al., 2016; Ross et al., 2018). Beide Patienten wurden noch am selben Tag operiert. Es ist möglich, dass die Perforation so akut war, dass sich zum Zeitpunkt der Notoperation noch keine generalisierte Peritonitis entwickelt hatte. Bei den restlichen zwei fehlerhaft mit einem zu hohen CDD-Stadium bewerteten Fällen wurde mit mittlerer Sicherheit freie abdominelle Flüssigkeit in der CT gesehen und als generalisierte Peritonitis interpretiert. Freie intraperitoneale Flüssigkeit im CT kann, bei Fehlen von anderen Ursachen eines Aszites, auf eine Peritonitis hindeuten (van Baal et al., 2017; Ross et al., 2018). Beide Patienten zeigten in ihrer medizinischen Historie keinerlei andere mögliche Ursachen für Aszites. Die präoperative antibiotische Therapie, welche über eine Dauer von zwei bis vier

Tagen durchgeführt wurde, könnte zu einem erfolgreichen Rückgang der Entzündung und damit zu einem niedrigen CDD-Stadium zum Zeitpunkt der Operation geführt haben (Ritz et al., 2010).

4.2.2. Vergleich zu vorherigen Studien

Die hohen Genauigkeitswerte der computertomographischen Stadieneinteilung der ACD in unserer Studie stimmen mit den Daten früheren Studien überein, die andere Klassifikationssysteme verwendet haben (Lohrmann et al., 2005; Ünlü et al., 2014):

Eine hohe Genauigkeit der CT für die Einteilung der akuten Divertikulitis mit der Hinchey-Klassifikation wurde in einer 30 Patienten umfassenden Kohorte nachgewiesen, in der nur zwei Patienten falsch klassifiziert wurden (Lohrmann et al., 2005). In der genannten Studie wurde ein Patient mit chirurgisch nachgewiesener diffuser fäkaler Peritonitis (Hinchey-Stadium IV) fälschlicherweise im CT als Stadium III (diffuse eitrige Peritonitis) eingestuft. Der andere Patient, im CT als Divertikulitis mit intraabdominellem Abszess (Hinchey-Stadium II) klassifiziert, zeigte sich schließlich als Divertikulitis mit diffuser Peritonitis (Hinchey-Stadium III). Im Gegensatz zu unserer Studie haben Lohrmann et al. die akute Divertikulitis mit diffuser Peritonitis in eitrige und fäkale Subtypen unterteilt. Wie auch andere Kollegen halten wir die Differenzierung, ob es sich bei einer generalisierten Peritonitis um eine eitrige oder eine fäkale Form handelt, für eine chirurgische und nicht für eine radiologische Diagnose (Ünlü et al., 2014; Pustelnik et al., 2017). Auch scheint die präoperative Differenzierung zwischen eitriger und fäkaler diffuser Peritonitis wenig von Bedeutung zu sein, da beide eine notfallchirurgische Behandlung erfordern (Gielens et al., 2012).

Die Klassifikation von Hansen und Stock wurde von Ritz et al. verwendet. Dort zeigte sich eine hohe Übereinstimmung zwischen der präoperativen CT-Klassifikation und dem chirurgischen Befund einer akuten Divertikulitis (Ritz et al., 2010). Vergleichbar zu unseren Ergebnissen wurde eine hundertprozentige Übereinstimmung bei der freien Perforation beobachtet. Bezüglich phlegmonöser Divertikulitis (Hansen-Stock IIa) wurde nur in 52 % der Fälle eine Übereinstimmung zwischen CT und histologischem Befund nachgewiesen (Ritz et al., 2010). Die

akute Divertikulitis wurde durch die CT in 36 % zu schwer und in 11 % zu leicht eingestuft. Allerdings im Vergleich zu unserer Studienpopulation mit nur sieben von 155 Patienten (4,5 %) mit unkomplizierter Divertikulitis, beschrieb Ritz et al. einen hohen Anteil (36,8 %) der Patienten mit phlegmonösen Divertikulitis, die nach Antibiotikabehandlung einer elektiven Operation unterzogen wurden.

Anders als die vorgenannten Untersuchungen zeigen zwei Studien eine geringe Genauigkeit der CT in der präoperativen Diagnostik einer akuten Divertikulitis (Gielens et al., 2012; La Torre et al., 2020). So wird von einer schwachen Korrelation zwischen radiologischem und chirurgischem Befund unter Verwendung von CDD (La Torre et al., 2020) bzw. der Hinchey-Klassifikation berichtet (Gielens et al., 2012). Beide genannten Untersuchungen unterschieden jedoch zwischen eitriger und fäkaler Peritonitis in ihrer CT-Auswertung. Wie bereits erwähnt, ist eine Unterscheidung zwischen eitriger und fäkaler Peritonitis im CT nicht zuverlässig. Dies könnte die schlechte Korrelation zwischen CT und chirurgischer Diagnose erklären. Darüber hinaus umfassten beide Studien Single- oder 4-Slice CT-Scanner, die aufgrund der begrenzten räumlichen Auflösung die diagnostische Genauigkeit der CT beeinträchtigt haben könnten.

4.2.3. Relevanz bezüglich Therapie und Ausblick

Wichtigstes Ziel der CT bei ACD ist der Ausschluss von Komplikationen, die chirurgische oder perkutane Eingriffe erfordern. Unsere Studie zeigt die hohe diagnostische Treffsicherheit der CT bei der Differenzierung von unkomplizierter (CDD 1) und fortgeschrittener komplizierter akuter Divertikulitis (CDD 2c) mit einer Genauigkeit von 100 %.

Eine aktuelle Studie bezüglich der Langzeitlebensqualität nach akuter Sigmadivertikulitis legt nahe, dass die Abszessgröße die Entscheidung zwischen konservativer und interventioneller oder chirurgischer Therapie bestimmen sollte (Brandlhuber et al., 2018). In unserer Studie haben wir zwischen CDD-Stadium 2a (Mikroabszess ≤ 1 cm) und 2b (Abszess > 1 cm) im CT unterschieden, aber in den chirurgischen und histopathologischen Ergebnissen wurden die Abszessgrößen nicht systematisch erwähnt, so dass die Genauigkeit des CT-Stagings für diese beiden Stadien nicht getrennt berechnet werden konnte. Dennoch weist

eine hohe Interrater-Korrelation in unserer Studie für die Abszessgrößen auf ein zuverlässiges CT-Staging der CDD-Kategorien 2a und 2b hin. Das ist wichtig für die therapeutische Entscheidung, da elektive Operationen die Lebensqualität verbessern können, wenn der Abszess 1 cm überschreitet (Brandlhuber et al., 2018). Laut neuer S3-Leitlinie steigt die Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen perkutanen Drainage bei Abszessen größer 3 cm und die Rezidivrate nimmt ab, so dass erst ab dieser Grenze von einem CDD-Stadium 2b gesprochen werden sollte (Leifeld et al., 2021).

In Anbetracht der Empfehlungen zur konservativen Behandlung als Therapie der Wahl bei Patienten mit Divertikulitis im Stadium 2a und 2b (Francis et al., 2019) fanden wir eine relativ große Anzahl von Patienten mit diesen Stadien in unserer Studiengruppe, die einer Operation unterzogen wurden. Generell wird auch bei Typ 2a/b-Divertikulitiden im Falle eines Versagens der konservativen Therapie oder bei Abszessen, die nicht perkutan drainiert werden können, eine Operation empfohlen (Schreyer und Layer, 2015; Brandlhuber et al., 2018). In unserem Krankenhaus beobachten wir solche Patienten häufiger, was daran liegen könnte, dass es sich um ein Krankenhaus der Maximalversorgung handelt. Aufgrund des retrospektiven Designs unserer Studie können wir jedoch nicht im Einzelfall den Grund für eine Operation auch bei CT-graphisch niedrigen CDD-Stadien angeben.

4.3. Einfluss des V/S-Verhältnisses auf das CT-Staging der ACD

Aufgrund einer höheren Menge an perikolischem Fett sowie einem besseren Kontrast für perifokale Imbibierung und Abszesse stellten wir vor der Studie die Hypothese auf, dass viszerale Adipositas einen positiven Einfluss auf das CT-Staging und die Befundsicherheit bei der Diagnostik der ACD haben würde (Rao et al., 1998; Kielar et al., 2016). Tatsächlich korreliert eine Erhöhung des V/S-Verhältnisses mit einem verbesserten ACD-Staging und einer höheren Befundsicherheit für lokale Peritonitis im CT. Unsere Studie ist die erste, die diese Hypothese bestätigte. Warum eine Zunahme an viszeralem Fett nicht die Befundsicherheit für die übrigen CT-Zeichen einer Divertikulitis wie die gedeckte oder freie Perforation, den Abszess oder die freie peritoneale Flüssigkeit

verbessert, bleibt spekulativ. Zum einen wird angenommen, dass das retroperitoneale Fettgewebe mit steigendem Adipositasgrad nicht so stark zunimmt wie das intraperitoneale Fettgewebe (Abate et al., 1995). Das Colon ascendens und Colon descendens und damit ein Teil des descendosigmoidalen Übergangs liegen jedoch sekundär retroperitoneal, so dass zumindest in diesen Abschnitten der Einfluss eines zunehmenden V/S-Verhältnisses vermindert oder aufgehoben sein könnte. In den genannten Kolonabschnitten waren in der vorliegenden Arbeit immerhin kumulativ 37 % der akuten Divertikulitiden zu finden. Zum anderen besteht das intraperitoneale Fettgewebe zum Hauptteil aus omentalem und mesenterialem Fettgewebe (Wajchenberg, 2000). Bei freier Perforation und/oder generalisierter Peritonitis sammelt sich die extraluminale Luft und Flüssigkeit häufig in der Koller- oder Morison-Grube, also zwischen Milz und Niere bzw. zwischen Leber und Niere. Dort befinden sich in der Regel keine größeren Anteile von Omentum oder Mesenterium, so dass vermehrtes viszerale Fettgewebe möglicherweise keinen signifikanten Einfluss auf die Detektion von freier Luft und Flüssigkeit hat.

Im Gegensatz zu früheren Forschungsergebnissen, die darauf hindeuten, dass das Verhältnis von viszeralem zu subkutanem Fett mit dem Schweregrad der ACD korreliert (Landis, 1977; Schneider et al., 2012), zeigt unsere Studie keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen den CDD-Stadien und dem V/S-Verhältnis. Es gibt drei mögliche Erklärungen für diese Beobachtung: a) Das insgesamt hohe V/S-Verhältnis in unserer Kohorte. Es besteht der Konsens, dass ein V/S-Verhältnis von $>0,4$ auf viszerale Adipositas hinweist (Landis, 1977). Bemerkenswerterweise zeigte unsere Kohorte ein hohes V/S-Verhältnis (Mittelwert 0,7), so dass ein potenzieller Zusammenhang von Adipositas und Schweregrad der ACD verzerrt sein könnte. b) Die Dominanz der Frauen in unserer Studienpopulation (55 %). Frauen weisen tendenziell niedrigere V/S-Verhältnisse auf als Männer, was zu einem „birnenförmigen“ Körperhabitus führt (Ng et al., 2021). c) Ein Fehlen von unkomplizierten ACD-Stadien. Da ein Einschlusskriterium die Notwendigkeit einer chirurgischen Operation war, um eine histopathologische Referenz für die Auswertung zu haben, fanden wir nur in 5 % der Patienten ein Stadium CDD 1a/b in unserer Kohorte. All diese Aspekte

können die potenziellen Auswirkungen der viszeralen Adipositas auf den Grad der akuten Divertikulitis beeinflusst haben.

4.4. Limitationen

Die geringe Patientenzahl und die relativ hohen CDD-Stadien, welche durch das Einschlusskriterium einer nachfolgenden Operation zu erklären sind, können als Limitationen der vorliegenden Arbeit gewertet werden. Das retrospektive Studiendesign ist eine weitere Einschränkung, da nicht alle Parameter aus der Histopathologie (wie z.B. die Abszessgrößen) erfasst werden konnte. Die Voreingenommenheit der Untersucher, die bei der Auswertung wussten, dass eine Divertikulitis bei den Patienten vorliegt, ist als weitere Einschränkung zu werten.

Weiter wurden die CT-Untersuchungen in unserer Studie mit einer standardisierten intravenösen Kontrastmittelmenge durchgeführt. In letzter Zeit wurde die Verwendung des fettfreien Körpergewichts (Lean Body Weight = LBW) zur Dosisadaptation von intravenösem Kontrastmittel insbesondere bei adipösen Patienten empfohlen (Nyman, 2016; Caruso et al., 2018). Insofern könnte eine nicht körperrgewichtsadaptierte Menge an intravenösem Kontrastmittel in unserem Protokoll zu einer Über- oder Unterdosierung und damit Einschränkung des Bildkontrasts in der CT bei Patienten geführt haben.

Als letzter Punkt ist noch zu nennen, dass die Auswertung der Ergebnisse auf Basis der alten S2-Leitlinie vorgenommen wurde, vor Veröffentlichung der neuen S3-Leitlinie im Jahr 2021.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Evaluierung der Genauigkeit der präoperativen Computertomographie (CT) beim Staging der akuten Kolondivertikulitis (ACD) unter Verwendung der Klassifikation der Divertikelkrankheit (CDD) und Untersuchung der diagnostischen Bedeutung der viszeralen Adipositas.

Dazu wurden retrospektiv das Radiologie- und Krankenhausinformationssystem nach Patienten durchsucht, die sich zwischen 2009 und 2019 einer CT wegen klinischem Verdacht auf ACD vor der Operation unterzogen haben. Von den anfangs 164 Patienten schlossen wir 155 Patienten (94,5 %) (85 Frauen; mittleres Alter 58 ± 13 Jahre) ein, welche folgende Kriterien erfüllten: klinisch vermutete ACD, iv. kontrastverstärkte CT, Operation bei ACD innerhalb einer Woche nach CT, histopathologischer Befund bestätigt ACD. Die restlichen 9 Patienten (5,5 %) wurden ausgeschlossen, da entweder die histopathologischen Befunde fehlten ($n=3$) oder die CT ohne intravenöse Kontrastmittelgabe durchgeführt wurde ($n=6$). Das Verhältnis von viszeralem zu subkutanem Fett (V/S-Ratio) wurde für jeden Patienten bestimmt. Zwei Radiologen, die unabhängig voneinander die Diagnose stellten, klassifizierten die ACD nach CDD und bewerteten die Prävalenz und Befundsicherheit von ACD-bezogenen CT-Befunden wie perikolische Imbibierung, gedeckte und freie Perforation, lokale und generalisierte Peritonitis und Abszess. Der Effekt der V/S-Ratio auf die diagnostische Genauigkeit der CT mit chirurgischen und histopathologischen Befunden als Referenz wurde mittels eines logistischen Regressionsmodells errechnet und zusätzlich die Interreader-Reliabilität mittels Cohens Kappa Test bestimmt.

Die CT wies eine hohe Genauigkeit (94 %) beim Staging der ACD nach CDD mit einer ausgezeichneten Interrater-Korrelation (ICC 0,96) auf. Die Befundsicherheit für die Beurteilung einer lokalen Peritonitis verbesserte sich signifikant mit höherem V/S-Ratio ($p = 0,049$). Der Anstieg der V/S-Ratio korrelierte signifikant mit der Wahrscheinlichkeit für ein korrektes CDD-Staging von ACD im CT ($p = 0,023$).

Als Schlussfolgerung ist zu nennen, dass die diagnostische Genauigkeit der CT beim präoperativen Staging der akuten Kolondivertikulitis hoch ist und mit dem Grad der viszeralen Adipositas signifikant zunimmt.

6. Summary

The aim of this work was to evaluate the accuracy of preoperative CT in staging of acute colonic diverticulitis (ACD) using the classification of diverticular disease (CDD) and investigate the diagnostic significance of visceral obesity.

For this purpose, the radiology and hospital information systems were retrospectively searched for patients who underwent a CT scan between 2009 and 2019 due to clinical suspicion of ACD before surgery. From the initial 164 patients, 155 were included (94.5 %) (85 women; mean age 58 ± 13 years) with the following criteria: clinically suspected ACD, iv. contrast-enhanced CT and histopathological confirmation of ACD by surgery within one week after CT. The remaining 9 patients (5.5 %) were excluded because either the histopathological reports were missing (n=3) or the CT was performed without intravenous contrast agent administration (n=6). The ratio of visceral to subcutaneous fat (V/S ratio) was determined for each patient. Two radiologists independently classified ACD by CDD and assessed the prevalence and confidence of ACD-related CT findings, namely pericolic fat stranding, covered and free perforation, local and generalized peritonitis and abscess. The interobserver agreement of CT findings was assessed by using Cohens' Kappa Test and the effects of V/S ratio on the diagnostic accuracy of CT with surgical and histopathological findings as reference were calculated by using a logistic regression model.

CT showed a high accuracy (94 %) in staging ACD using CDD and an excellent interrater correlation (ICC 0.96). Confidence scores for assessing local peritonitis improved significantly with higher V/S ratios ($p = 0.049$). The increase in V/S ratio significantly correlated with the probability of correct CDD staging of ACD on CT ($p = 0.023$).

In conclusion, CT accuracy in preoperative staging ACD according to CDD is high and is significantly improved with increased visceral obesity.

7. Abkürzungsverzeichnis

ACD	Akute Kolondivertikulitis
BMI	Body-Mass-Index
C.	Colon
CDD	Classification of diverticular disease
CRP	C-reaktives Protein (Entzündungsparameter)
CT	Computertomographie
DGAV	Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie
DGVS	Deutsche Gesellschaft für Gastroenterologie, Verdauungs- und Stoffwechselerkrankungen
et al.	Lateinische Abkürzung für „und andere“
HE	Hounsfield-Einheiten
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
i.v.	Intra venös
κ	Kappa
KI	Konfidenz-Intervall
mod. nach	modifiziert nach
OR	Odds Ratio
OP	Operation
p	p-Wert (Maß des statistischen Signifikanzniveaus)
prim. lap. ass.	primär laparoskopisch assistiert
ROI	Region of Interest
S	Subkutan
S2k-Leitlinie	Konsensbasierte Leitlinie
S3-Leitlinie	Überarbeitete Konsensbasierte Leitlinie
SD	Standard Deviation
SFA	Subkutanes Fettareal
SUDD	Symptomatisch unkomplizierte Divertikelkrankheit
UKE	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
V	Viszeral
VFA	Viszerales Fettgewebe

8. Literaturverzeichnis

Abate N, Garg A, Peshock RM, Stray-Gundersen J, Grundy SM (1995) Relationships of generalized and regional adiposity to insulin sensitivity in men. *J Clin Invest* 96(1): 88–98. doi:10.1172/JCI118083.

Alabousi A, Patlas MN, Sne N, Katz DS (2015) Is Oral Contrast Necessary for Multidetector Computed Tomography Imaging of Patients With Acute Abdominal Pain? *Can Assoc Radiol J J Assoc Can Radiol* 66(4): 318–322. doi:10.1016/j.carj.2015.03.003.

AlZaim I, Hammoud SH, Al-Koussa H, Ghazi A, Eid AH, El-Yazbi AF (2020) Adipose Tissue Immunomodulation: A Novel Therapeutic Approach in Cardiovascular and Metabolic Diseases. *Front Cardiovasc Med* 7 doi:10.3389/fcvm.2020.602088.

Ambrosetti P, Becker C, Terrier F (2002) Colonic diverticulitis: impact of imaging on surgical management – a prospective study of 542 patients. *Eur Radiol* 12(5): 1145–1149. doi:10.1007/s00330-001-1143-y.

Andeweg CS, Wegdam JA, Groenewoud J, Wilt GJ van der, Goor H van, Bleichrodt RP (2014) Toward an evidence-based step-up approach in diagnosing diverticulitis. *Scand J Gastroenterol* 49(7): 775–784. doi:10.3109/00365521.2014.908475.

Aparecida Silveira E, Vaseghi G, Carvalho Santos AS de, Kliemann N, Masoudkabar F, Noll M, Mohammadifard N, Sarrafzadegan N, Oliveira C de (2020) Visceral Obesity and Its Shared Role in Cancer and Cardiovascular Disease: A Scoping Review of the Pathophysiology and Pharmacological Treatments. *Int J Mol Sci* 21(23): E9042. doi:10.3390/ijms21239042.

Aune D, Sen A, Leitzmann MF, Norat T, Tonstad S, Vatten LJ (2017) Body mass index and physical activity and the risk of diverticular disease: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur J Nutr* 56(8): 2423. doi:10.1007/s00394-017-1443-x.

Baal JO a. M van, Van de Vijver KK, Nieuwland R, Noorden CJF van, Driel WJ van, Sturk A, Kenter GG, Rikkert LG, Lok C a. R (2017) The histophysiology and pathophysiology of the peritoneum. *Tissue Cell* 49(1): 95–105. doi:10.1016/j.tice.2016.11.004.

Balthazar E, Megibow A, Hulnick D, Gordon R, Naidich D, Beranbaum E (1986) CT of appendicitis. *Am J Roentgenol* 147(4): 705–710. doi:10.2214/ajr.147.4.705.

Bharucha AE, Parthasarathy G, Ditah I, Fletcher JG, Ewelukwa O, Pendlimari R, Yawn BP, Melton LJ, Schleck C, Zinsmeister AR (2015) Temporal Trends in the Incidence and Natural History of Diverticulitis: A Population-Based Study. *Am J Gastroenterol* 110(11): 1589–1596. doi:10.1038/ajg.2015.302.

Blüher M, Paschke R (2003) [Visceral adipose tissue and metabolic syndrome]. *Dtsch Med Wochenschr* 128(44): 2319–2323. doi:10.1055/s-2003-43190.

Brandlhuber M, Genzinger C, Brandlhuber B, Sommer WH, Müller MH, Kreis ME (2018) Long-term quality of life after conservative treatment versus surgery for different stages of acute sigmoid diverticulitis. *Int J Colorectal Dis* 33(3): 317–326. doi:10.1007/s00384-018-2969-y.

Caruso D, Santis DD, Rivosecchi F, Zerunian M, Panvini N, Montesano M, Biondi T, Bellini D, Rengo M, Laghi A (2018) Lean Body Weight-Tailored Iodinated Contrast Injection in Obese Patient: Boer versus James Formula. *BioMed Res Int* 2018: 6:2. doi:10.1155/2018/8521893.

Chintapalli KN, Chopra S, Ghiatas AA, Esola CC, Fields SF, Dodd GD (1999) Diverticulitis versus colon cancer: differentiation with helical CT findings. *Radiology* 210(2): 429–435. doi:10.1148/radiology.210.2.r99fe48429.

Dobbins C, Defontgalland D, Duthie G, Wattchow DA (2006) The relationship of obesity to the complications of diverticular disease. *Colorectal Dis Off J Assoc Coloproctology G B Irel* 8(1): 37–40. doi:10.1111/j.1463-1318.2005.00847.x.

Docimo S, Lee Y, Chatani P, Rogers AM, Lacqua F (2017) Visceral to subcutaneous fat ratio predicts acuity of diverticulitis. *Surg Endosc* 31(7): 2808–2812. doi:10.1007/s00464-016-5290-2.

Etzioni DA, Mack TM, Beart RW, Kaiser AM (2009) Diverticulitis in the United States: 1998-2005: changing patterns of disease and treatment. *Ann Surg* 249(2): 210–217. doi:10.1097/SLA.0b013e3181952888.

Ferstl FJ, Obert R, Cordes M (2005) Computertomographische Diagnostik der akuten linksseitigen Kolondivertikulitis und ihre Differenzialdiagnostik. *Radiol* 45(7): 597–607. doi:10.1007/s00117-003-0972-x.

Francis NK, Sylla P, Abou-Khalil M, Arolfo S, Berler D, Curtis NJ, Dolejs SC, Garfinkle R, Gorter-Stam M, Hashimoto DA, Hassinger TE, Molenaar CJL, et al. (2019) EAES and SAGES 2018 consensus conference on acute diverticulitis management: evidence-based recommendations for clinical practice. *Surg Endosc* 33(9): 2726. doi:10.1007/s00464-019-06882-z.

Fürst G, Koischwitz D (2000) *Moderne Sonographie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York. 199-200.

Galetin T, Galetin A, Vestweber K-H, Rink AD (2018) Systematic review and comparison of national and international guidelines on diverticular disease. *Int J Colorectal Dis* 33(3): 261–272. doi:10.1007/s00384-017-2960-z.

Galgano SJ, McNamara MM, Peterson CM, Kim DH, Fowler KJ, Camacho MA, Cash BD, Chang KJ, Feig BW, Gage KL, Garcia EM, Kambadakone AR, et al. (2019) ACR Appropriateness Criteria® Left Lower Quadrant Pain-Suspected Diverticulitis. *J Am Coll Radiol* 16(5): S141–S149. doi:10.1016/j.jacr.2019.02.015.

Gielens MPM, Mulder IM, Harst E van der, Gosselink MP, Kraal KJ, Teng HT, Lange JF, Vermeulen J (2012) Preoperative staging of perforated diverticulitis by computed tomography scanning. *Tech Coloproctology* 16(5): 363. doi:10.1007/s10151-012-0853-2.

González-Moreno IM, Plasencia-Martínez JM, Blanco-Barrio A, Moreno-Pastor A (2019) Is positive oral contrast material necessary for computed tomography in patients with suspected acute abdomen? *Radiologia* 61(2): 161–166. doi:10.1016/j.rx.2018.10.006.

Graffy PM, Pickhardt PJ (2016) Quantification of hepatic and visceral fat by CT and MR imaging: relevance to the obesity epidemic, metabolic syndrome and NAFLD. *Br J Radiol* 89(1062): 20151024. doi:10.1259/bjr.20151024.

Herold G (2022) Innere Medizin: eine vorlesungsorientierte Darstellung: 2022: unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges für die Ärztliche Prüfung, mit ICD 10-Schlüssel im Text und Stichwortverzeichnis. Gerd Herold, Köln. 486-488.

Hoffmann RM, Kruis W (2005) Divertikulose und Divertikulitis. *Internist* 46(6): 671–684. doi:10.1007/s00108-005-1403-z.

Humes DJ, Solaymani-Dodaran M, Fleming KM, Simpson J, Spiller RC, West J (2009) A population-based study of perforated diverticular disease incidence and associated mortality. *Gastroenterology* 136(4): 1198–1205. doi:10.1053/j.gastro.2008.12.054.

Hupfeld L, Pommergaard H-C, Burcharth J, Rosenberg J (2018) Emergency admissions for complicated colonic diverticulitis are increasing: a nationwide register-based cohort study. *Int J Colorectal Dis* 33(7): 879–886. doi:10.1007/s00384-018-3078-7.

Jackson SA, Thomas RM, Harrison SN, Ihle U (2009) CT, MRT, Ultraschall auf einen Blick. Elsevier, Urban & Fischer, München. 7.

Jeong JH, Lee HL, Kim JO, Tae HJ, Jung SH, Lee KN, Jun DW, Lee OY, Yoon BC, Choi HS, Hahm JS, Song SY (2011) Correlation between complicated diverticulitis and visceral fat. *J Korean Med Sci* 26(10): 1339–1343. doi:10.3346/jkms.2011.26.10.1339.

Kielar AZ, Patlas MN, Katz DS (2016) Oral contrast for CT in patients with acute non-traumatic abdominal and pelvic pain: what should be its current role? *Emerg Radiol* 23(5): 477–481. doi:10.1007/s10140-016-1403-4.

Kircher MF, Rhea JT, Kihiczak D, Novelline RA (2002) Frequency, Sensitivity, and Specificity of Individual Signs of Diverticulitis on Thin-Section Helical CT with Colonic Contrast Material: Experience with 312 Cases. *Am J Roentgenol* 178(6): 1313–1318. doi:10.2214/ajr.178.6.1781313.

Klötting N, Stumvoll M, Blüher M (2007) Biologie des viszeralen Fetts. *Internist* 48(2): 126–133. doi:10.1007/s00108-006-1781-x.

La Torre M, Mingoli A, Brachini G, Lanciotti S, Casciani E, Speranza A, Mastriacovo I, Frezza B, Cirillo B, Costa G, Sapienza P (2020) Differences between computed tomography and surgical findings in acute complicated diverticulitis. *Asian J Surg* 43(3): 476–481. doi:10.1016/j.asjsur.2019.07.016.

Landis JR GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33(1): 159–174.

Laqmani A, Veldhoen S, Dulz S, Derlin T, Behzadi C, Schmidt-Holtz J, Wassenberg F, Sehner S, Nagel H-D, Adam G, Regier M (2016) Reduced-dose abdominopelvic CT using hybrid iterative reconstruction in suspected left-sided colonic diverticulitis. *Eur Radiol* 26(1): 216–224. doi:10.1007/s00330-015-3810-4.

Laurell H, Hansson L-E, Gunnarsson U (2007) Acute diverticulitis--clinical presentation and differential diagnostics. *Colorectal Dis Off J Assoc Coloproctology G B Irel* 9(6): 496–501; discussion 501-502. doi:10.1111/j.1463-1318.2006.01162.x.

Lee SJ, Park SH, Kim AY, Yang S-K, Yun S-C, Lee SS, Jung GS, Ha HK (2011) A Prospective Comparison of Standard-Dose CT Enterography and 50% Reduced-Dose CT Enterography With and Without Noise Reduction for Evaluating Crohn Disease. *Am J Roentgenol* 197(1): 50–57. doi:10.2214/AJR.11.6582.

Lee TH, Setty PT, Parthasarathy G, Bailey KR, Wood-Wentz CM, Fletcher JG, Takahashi N, Khosla S, Moynagh MR, Zinsmeister AR, Bharucha AE (2018) Aging, Obesity, and the Incidence of Diverticulitis: A Population-Based Study. *Mayo Clin Proc* 93(9): 1256-.

Leifeld L, Germer CT, Böhm S, Dumoulin FL, Frieling T, Kreis ME, Meining A, Labenz J, Lock JF, Ritz J-P, Schreyer AG, Kruis W (2021) S3-Leitlinie Divertikelkrankheit/Divertikulitis. 14-115.

Leifeld L, Germer CT, Böhm S, Dumoulin FL, Häuser W, Kreis ME, Labenz J, Lembcke B, Post S, Reinshagen, Ritz J-P, Sauerbruch T, et al. (2014) S2k-Leitlinie Divertikelkrankheit/Divertikulitis. *Z Für Gastroenterol* 52(07): 663–710. doi:10.1055/s-0034-1366692.

Leifeld L, Kruis W (2021) [Diverticular disease. Clinical appearance, conservative treatment, primary and secondary prophylaxis]. *Chir Z Alle Geb Oper Medizen* 92(8): 683–687. doi:10.1007/s00104-021-01401-0.

Lohrmann C, Ghanem N, Pache G, Makowiec F, Kotter E, Langer M (2005) CT in acute perforated sigmoid diverticulitis. *Eur J Radiol* 56(1): 78–83. doi:10.1016/j.ejrad.2005.03.003.

Makar M, Pisano TJ, Xia W, Greenberg P, Patel AV (2021) The Impact of Obesity on Mortality and Clinical Outcomes in Patients with Acute Diverticulitis in the United States. *J Gastrointest Liver Dis JGLD* 30(1): 73–80. doi:10.15403/jgld-2988.

Märtz F (2019) Dosisreduktion in der CT-Bildgebung des Thorax mittels iterativer Bildrekonstruktionsverfahren. Medizinische Dissertation, Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München, 19.

Morris C, Harvey I, Stebbings W, Speakman C, Kennedy H, Hart A (2002) Epidemiology of perforated colonic diverticular disease. *Postgrad Med J* 78(925): 654. doi:10.1136/pmj.78.925.654.

Ng ZQ, Wijesuriya R, Misur P, Tan JH, Moe KS, Theophilus M (2021) The role of quantitative radiological measures of visceral adiposity in diverticulitis. *Surg Endosc* 35(2): 636–643. doi:10.1007/s00464-020-07427-5.

Nyman U (2016) James Lean Body Weight Formula Is Not Appropriate for Determining CT Contrast Media Dose in Patients with High Body Mass Index. *Radiology* 278(3): 956–957. doi:10.1148/radiol.2016152031.

Ochsenkühn T, Göke B (2002) [Pathogenesis and epidemiology of sigmoid diverticulosis]. *Chir Z Alle Geb Oper Medizin* 73(7): 665–669. doi:10.1007/s00104-002-0495-4.

Pinto A, Miele V, Schillirò ML, Nasuto M, Chiaese V, Romano L, Guglielmi G (2016) Spectrum of Signs of Pneumoperitoneum. *Semin Ultrasound CT MR* 37(1): 3–9. doi:10.1053/j.sult.2015.10.008.

Pi-Sunyer FX (2002) The obesity epidemic: pathophysiology and consequences of obesity. *Obes Res* 10 Suppl 2: 97S-104S. doi:10.1038/oby.2002.202.

Prokop M, Galanski M, Engelke C (2013) Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT ; 328 Tabellen. Thieme, Stuttgart. 2-5, 200.

Pustelnik D, Elsholtz FHJ, Bojarski C, Hamm B, Niehues SM (2017) The CDD System in Computed Tomographic Diagnosis of Diverticular Disease. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr* 189(08): 740–747. doi:10.1055/s-0043-110770.

Rao PM, Rhea JT, Novelline RA, Dobbins JM, Lawrason JN, Sacknoff R, Stuk JL (1998) Helical CT with only colonic contrast material for diagnosing diverticulitis: prospective evaluation of 150 patients. *AJR Am J Roentgenol* 170(6): 1445–1449. doi:10.2214/ajr.170.6.9609151.

Rausch VH, Weinrich JM, Schön G, Sabour L, Özden C, Kaul MG, Adam G, Bannas P, Henes FO (2021) Accuracy of preoperative CT staging of acute colonic diverticulitis using the classification of diverticular disease (CDD) - Is there a beneficial impact of water enema and visceral obesity? *Eur J Radiol* 141: 109813. doi:10.1016/j.ejrad.2021.109813.

Ritz J-P, Lehmann KS, Loddenkemper C, Frericks B, Buhr HJ, Holmer C (2010) Preoperative CT staging in sigmoid diverticulitis—does it correlate with intraoperative and histological findings? *Langenbecks Arch Surg* 395(8): 1009–1015. doi:10.1007/s00423-010-0609-2.

Ross JT, Matthay MA, Harris HW (2018) Secondary peritonitis: principles of diagnosis and intervention. *BMJ* 361: k1407. doi:10.1136/bmj.k1407.

Rotert H, Nöldge G, Encke J, Richter GM, Dux M (2003) Der Stellenwert der CT in der Akutdiagnostik der Divertikulitis. *Radiol* 43(1): 51–58. doi:10.1007/s00117-002-0849-4.

Sartelli M, Moore FA, Ansaloni L, Saverio SD, Coccolini F, Griffiths EA, Coimbra R, Agresta F, Sakakushev B, Ordoñez CA, Abu-Zidan FM, Karamarkovic A, et al. (2015) A proposal for a CT driven classification of left colon acute diverticulitis. *World J Emerg Surg WJES* 10 doi:10.1186/1749-7922-10-3.

Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of Image Analysis. *Nat Methods* 9(7): 671. doi:10.1038/nmeth.2089.

Schnitzbauer AA, Pieper D, Neugebauer E a. M, Bechstein WO (2016) [Sigmoid colon diverticulitis : Treatment modalities 2011-2013]. *Chir Z Alle Geb Oper Medizen* 87(8): 688–694. doi:10.1007/s00104-016-0188-z.

Schreyer AG, Layer G (2015) S2k Guidelines for Diverticular Disease and Diverticulitis: Diagnosis, Classification, and Therapy for the Radiologist. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr* 187(08): 676–684. doi:10.1055/s-0034-1399526.

Schumpelick V, Kasperk R (2001) Divertikulitis Eine Standortbestimmung. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 173.

Schwerk WB, Schwarz S, Rothmund M, Arnold R (1993) [Colon diverticulitis: imaging diagnosis with ultrasound--a prospective study]. *Z Gastroenterol* 31(5): 294–300.

Sciomer S, Moscucci F, Salvioni E, Marchese G, Bussotti M, Corrà U, Piepoli MF (2020) Role of gender, age and BMI in prognosis of heart failure. *Eur J Prev Cardiol* 27(2 Suppl): 46. doi:10.1177/2047487320961980.

Simpson J, Scholefield JH, Spiller RC (2002) Pathogenesis of colonic diverticula. *Br J Surg* 89(5): 546–554. doi:10.1046/j.1365-2168.2002.02076.x.

Skandalakis LJ (2021) *Surgical Anatomy and Technique: A Pocket Manual.*

Strate L Arden (2019) Epidemiology, Pathophysiology, and Treatment of Diverticulitis. *Gastroenterol N Y N* 1943 156(5): 1282-1298.e1.

Strate LL, Liu YL, Aldoori WH, Syngal S, Giovannucci EL (2009) Obesity increases the risks of diverticulitis and diverticular bleeding. *Gastroenterology* 136(1): 115-122.e1. doi:10.1053/j.gastro.2008.09.025.

Swanson S Lisa (2018) Acute Colonic Diverticulitis. *Ann Intern Med* 168(9): ITC65–ITC80.

Tursi A, Scarpignato C, Strate LL, Lanas A, Kruis W, Lahat A, Danese S (2020) Colonic diverticular disease. *Nat Rev Dis Primer* 6(1): 20. doi:10.1038/s41572-020-0153-5.

Ünlü Ç, Beenen LFM, Fauquenot JMB, Jensch S, Bemelman WA, Dijkgraaf MGW, Vrouwenraets BC, Boermeester MA, Stoker J (2014) Inter-observer reliability of computed tomographic classifications of diverticulitis. *Colorectal Dis* 16(6): O212–O219. doi:10.1111/codi.12533.

Vather R, Broad JB, Jaung R, Robertson J, Bissett IP (2015) Demographics and trends in the acute presentation of diverticular disease: a national study. *ANZ J Surg* 85(10): 744–748. doi:10.1111/ans.13147.

Wajchenberg BLO (2000) Subcutaneous and Visceral Adipose Tissue: Their Relation to the Metabolic Syndrome. *21(6): 42.*

W&B/Swen Sallwey (2013) Apotheken-Umschau. <https://www.apotheken-umschau.de/krankheiten-symptome/magen-und-darmerkrankungen/divertikulitis-entzuendete-darmdivertikel-734329.html>. Accessed October 7, 2021.

Weinrich JM, Bannas P, Avanesov M, Schlichting F, Schmitz L, Adam G, Henes FO (2020) MDCT in the Setting of Suspected Colonic Diverticulitis: Prevalence and Diagnostic Yield for Diverticulitis and Alternative Diagnoses. *Am J Roentgenol* 215(1): 39–49. doi:10.2214/AJR.19.21852.

Werner A, Diehl SJ, Farag-Soliman M, Düber C (2003) Multi-slice spiral CT in routine diagnosis of suspected acute left-sided colonic diverticulitis: a prospective study of 120 patients. *Eur Radiol* 13(12): 2596–2603. doi:10.1007/s00330-003-1887-7.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Querschnitt durch den Dickdarm	7
Abbildung 2:	Pathophysiologische Mechanismen der Divertikelentstehung	8
Abbildung 3:	Mögliche Komplikationen der Divertikulitis	12
Abbildung 4:	Graphische Darstellung wichtiger Referenzwerte in Hounsfield-Einheiten (HU)	16
Abbildung 5:	Spiral-CT	17
Abbildung 6:	Grafische Darstellung der Ein- und Ausschlusskriterien	22
Abbildung 7:	Berechnung des Verhältnisses von viszeralem zu subkutanem Fettgewebe (V/S-Verhältnis)	26
Abbildung 8:	Beispiele für radiologische Zeichen einer akuten Kolondivertikulitis.....	30
Abbildung 9:	Korrektes Staging im CT	31
Abbildung 10:	Inkorrektes Staging im CT	32
Abbildung 11:	Effektdiagramm	33
Abbildung 12:	Einfluss der viszeralen Adipositas auf die Befundsicherheit der lokalen Peritonitis	36

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifikation der Divertikelkrankheit (classification of diverticular disease) (CDD) und stadienangepasste Therapie	10
Tabelle 2:	Häufigkeitsverteilung der CT-Zeichen bei akuter Divertikulitis	14
Tabelle 3:	Gewichtsklassifikation anhand des BMI	19
Tabelle 4:	fünfstufige Likert-Skala, Vorhandensein oder Fehlen eines Befundes, Befundssicherheit	25
Tabelle 5:	Statistische Aufteilung der 155 Patienten nach Alter, Geschlecht, CDD, Lokalisation und V/S Verhältnis	28
Tabelle 6:	Vergleich von CT und chirurgischer/histopathologischer Einteilung der ACD nach CDD	29
Tabelle 7:	Prävalenz und Nachweissicherheit der ACD-bezogenen CT-Befunde mit Interrater-Übereinstimmung	35

11. Danksagung

Mein erster Dank geht an Herrn Prof. Dr. med. Gerhard Adam, Direktor der Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin am UKE, für die Möglichkeit, diese Dissertation in seiner Abteilung durchführen zu dürfen.

Meinem Doktorvater PD Dr. med. Frank Oliver Henes möchte ich danken für die gute Zusammenarbeit und die hilfreichen Anmerkungen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Betreuerin Dr. med. Vanessa Rausch. Die schnellen Rückmeldungen, die Telefonate und die hilfreiche Kritik während der Erarbeitung dieser Dissertation waren eine großartige Unterstützung und haben dazu beigetragen, dass ich die Arbeit auch wirklich fertigstellen konnte.

Meine Korrekturleserinnen Prof. Dr. Claudia Schulz und Dr. med. Esther Schulz haben die Endphase der Arbeit begleitet und mit dem nötigen Abstand den Text noch einmal geprüft. Vielen Dank.

Abschließend möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie bedanken: bei Okan, meinem Mann, und meinen Söhnen Elian und Louay. Eure Geduld und lieben Worte auf diesem Weg haben es einfacher gemacht durchzuhalten!

12. Lebenslauf

Lebenslauf entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen.

13. Publikationen

Seit 03/2020:

Promotion zum Thema „Einfluss der viszeralen Adipositas auf die Genauigkeit der CT bei der Diagnostik und Stadieneinteilung der akuten Divertikulitis“

Die Ergebnisse dieser Dissertation sind Teil einer Originalarbeit, die im Jahr 2021 publiziert wurde (doi:10.1016/j.ejrad.2021.109813).

Originalarbeit:

Rausch VH, Weinrich JM, Schön G, Sabour L, Özden C, Kaul MG, Adam G, Bananas P, Henes FO (2021) Accuracy of preoperative CT staging of acute colonic diverticulitis using the classification of diverticular disease (CDD) - Is there a beneficial impact of water enema and visceral obesity? Eur J Radiol 141: 109813. doi:10.1016/j.ejrad.2021.109813.

14. Eidesstattliche Erklärung

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

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

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

Unterschrift: