

Diplomarbeit

***Der Einfluss von Sarkopenie auf das Ergebnis von  
elektiv, offen operierten infrarenalen  
Aortenaneurysmen***

eingereicht von

**Korbinian Bernhard Hindermayr**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Chirurgie  
Klinische Abteilung für Gefäßchirurgie**

unter der Anleitung von

Univ.-Ass. Dr. med. univ. Stephan Koter

und

Univ.-Prof.<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup> med. Tina Ulrike Cohnert

Graz, 23.04.2018

## Eidesstattliche Erklärung

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 23.04.2018*

*Korbinian Hindermayr eh*

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt Univ.-Ass. Dr. med. univ. Stephan Koter für die lehrreiche und außerordentlich gute Betreuung und Unterstützung.

Ein herzliches Dankeschön an Univ.-Prof.in Dr.in med. Tina Ulrike Cohnert, ihre wertvollen Ratschläge haben das Gelingen der Arbeit erst ermöglicht.

Ebenso möchte ich mich bei Dennis Freuer, M.Sc. für die herausragende statistische Beratung bedanken.

Weiter möchte ich mich bei Priv.-Doz.in Dr.in med. univ. Doris Wagner für die kompetente Beratung und Unterstützung bedanken.

Außerdem danke ich meinen Eltern, die mir das Medizinstudium ermöglicht haben und die mich während meiner gesamten Studienzzeit unterstützten. Ein besonderer Dank gilt auch meinen Großeltern für die Unterstützung während meines Studiums.

Eine weitere große Stütze ist meine Partnerin Martina, deren Interesse an dem Thema meiner Arbeit, mich immer wieder motivieren konnte.

Neben Familie waren auch Freunde sehr wichtige Begleiter auf meinem bisherigen Lebensweg, denen ich hiermit auch danken möchte.

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Sarkopenie, der Verlust der Skelettmuskelmasse, betrifft circa 10 % der über 60-jährigen Bevölkerung. In tumorchirurgischen Studien wurde bereits mehrfach gezeigt, dass die Sarkopenie einen Einfluss auf das Ergebnis von Operationen hat und ein präoperatives Sarkopeniescreening sinnvoll wäre, um das individuelle Operationsrisiko besser abschätzen zu können. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Zusammenhang der Sarkopenie und dem Behandlungsergebnis von gefäßchirurgischen Patientinnen und Patienten, die offen chirurgisch wegen eines Bauchaortenaneurysmas elektiv operiert wurden.

**Methoden:** Eine retrospektive Studie von gefäßchirurgischen Patientinnen und Patienten, welche von 01.01.2008 bis 31.05.2017 am LKH-Universitätsklinikum Graz elektiv auf Grund eines infrarenalen Bauchaortenaneurysmas (AAA) mittels medianer Laparotomie und Implantation einer Rohrprothese versorgt wurden, wurde durchgeführt. Die Sarkopenie wurde anhand dreier morphometrischer Parameter quantifiziert, welche an präoperativen CT-Schnittbildern gemessen wurden. Verwendet wurden der Total Psoas Index (TPI), Skelettmuskelindex (SMI) und Hounsfield Unit Average Calculation (HUAC). Die geschlechtsspezifischen unteren Quartile der jeweiligen Parameter wurden als „sarkopen“ definiert. Der Einfluss von Sarkopenie auf die Krankenhausaufenthaltsdauer, Intensivstationsliegedauer, Reoperationen aufgrund Komplikationen und 30-Tage Mortalität wurde bewertet.

**Ergebnisse:** 156 Patientinnen und Patienten erfüllten die Studienkriterien. Deskriptiv war die Krankenhausliegedauer bei den durch HUAC identifizierten sarkopenen Patientinnen und Patienten deutlich länger als in der Vergleichsgruppe. Adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA-Wert konnte gezeigt werden, dass Sarkopenie kein unabhängiger Prädiktor für die Krankenhausaufenthaltsdauer oder Intensivliegedauer darstellt. Eine signifikante Aussage bzgl. Reoperationen oder 30-Tages-Mortalität konnte nicht getroffen werden.

**Schlussfolgerung:** Diese Daten legen nahe, dass Sarkopenie, gemessen durch HUAC, TPI oder SMI, keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis nach Opera-

tion des AAA hat. Es gibt allerdings Indizien dafür, dass Sarkopenie nach HUAC die Krankenhausliegedauer verlängert.

**Schlüsselworte:** Abdominelles Aortenaneurysma, AAA, Sarkopenie, Total Psoas Index, TPI, Skelettmuskelindex, SMI, Hounsfield Unit Average Calculation, HUAC

## Abstract

**Background:** Sarcopenia, the loss of skeletal muscle mass is affecting about 10 % of persons 60 years of age or older. Studies in tumor patients have shown, that sarcopenia has an influence on the outcome of surgeries, and that preoperative sarcopenia screening could improve the evaluation of the individual surgical risk. This study addresses the relationship between sarcopenia and the outcome of vascular surgical patients undergoing elective open surgery for abdominal aortic aneurysm.

**Methods:** A retrospective study of patients was implemented analyzing the result of elective open infrarenal abdominal aortic aneurysm repair by median laparotomy and implantation of a tube graft at the LKH-University Hospital Graz between 01-01-2008 and 31-05-2017. Sarcopenia was quantified using the three morphometric parameters total psoas index (TPI), skeletal muscle index (SMI), and Hounsfield Unit Average Calculation (HUAC), measured on preoperative CT-scans. The gendered lower quartiles of each parameter were defined as sarcopenia. The impact of sarcopenia on length of hospital stay, the ICU duration, the reoperations, and 30-day mortality rate were compared.

**Results:** 156 patients were included in the study. The length of hospital stay was significantly longer for sarcopenic patients identified by HUAC. Adjusted for age, gender and ASA-score, it could be shown that sarcopenia is no independent predictor of hospital stay or ICU duration. No significant differences in reoperations or 30-day mortality were detected.

**Conclusion:** The data show that sarcopenia, defined by HUAC, TPI or SMI, has no significant impact on the outcome of elective open AAA surgery. However, there are indications that sarcopenia defined by HUAC could be an independent predictor of length of stay.

**Key words:** abdominal aortic aneurysm, AAA, sarcopenia, total psoas index, TPI, skeletal muscle index, SMI, Hounsfield Unit Average Calculation

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	i
Danksagungen.....	ii
Zusammenfassung.....	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis .....	vi
Abkürzungsverzeichnis .....	viii
Abbildungsverzeichnis .....	x
Tabellenverzeichnis .....	xi
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Aorta .....	3
2.1.1 Definition.....	3
2.1.2 Anatomie der Aorta.....	3
2.1.3 Wandaufbau einer Arterie .....	5
2.1.4 Erkrankungen der Aorta.....	6
2.2 Aneurysma .....	6
2.2.1 Definition.....	6
2.2.2 Entitäten.....	7
2.3 Aortenaneurysma.....	7
2.3.1 Definition.....	7
2.3.2 Klinische Einteilung.....	7
2.3.3 Ätiologie und Risikofaktoren .....	8
2.4 Spezifische Grundlagen eines infrarenalen Aortenaneurysma .....	8
2.4.1 Definition.....	8
2.4.2 Ätiologie und Risikofaktoren .....	9
2.4.3 Prävalenz.....	10
2.4.4 Klinik und Diagnostik.....	10
2.4.5 Behandlungsmöglichkeiten, Screening, Überwachung und Operationsindikation.....	10
2.4.6 Klassifikation .....	12
2.4.7 Therapeutischer Algorithmus .....	13
2.4.8 Konventionelle Sanierung (operativ).....	14
2.4.8.1 Indikation und Operationsvorbereitung.....	14
2.4.8.2 Techniken und Zugangswege/ Operationstechnik.....	15
2.4.8.3 Komplikationen.....	17

2.4.8.4	Verlauf und postoperative Versorgung .....	17
2.5	Sarkopenie .....	18
2.5.1	Definition/Begriffsklärung .....	18
2.5.2	Prävalenz .....	18
2.5.3	Pathophysiologischer Mechanismus .....	19
2.5.4	Klinik und Forschung .....	19
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>21</b>
3.1	Datenerhebung .....	21
3.2	Verwendete Software .....	21
3.3	PatientInnencharakteristik .....	21
3.3.1	Einschluss- und Ausschlusskriterien .....	21
3.3.2	Erhobene PatientInnen spezifische Daten .....	22
3.4	Vermessung der Computertomographie Bilder .....	23
3.5	Quantifizierung der Sarkopenie .....	24
3.6	Statistische Auswertung .....	26
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>27</b>
4.1	Demographie und Charakteristik der Studienpopulation .....	27
4.2	Sarkopenie anhand morphometrischer Parameter .....	28
4.3	Krankenhausaufenthalts- und Intensivaufenthaltsdauer .....	32
4.4	Reoperationen und Mortalität .....	34
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>41</b>

## Abkürzungsverzeichnis

2D	2-dimensional
3D	3-dimensional
A.	Arterie
Aa.	Arterien
AAA	Abdominelles Aortenaneurysma
abd.	abdominis
ACC	American College of Cardiology
AHA	American Heart Association
ASA	<i>American Society of Anesthesiologists</i>
BIA	Bioelektrische-Impedanz-Analyse
BSA	Körperoberfläche
bzgl.	bezüglich
ca.	circa
CCI	Charlson-Komorbiditäts-Index
CT	Computertomographie
d	Tag(e)
DXA	Dual-Röntgen-Absorptiometrie
EKG	Elektrokardiogramm
ESVS	European Society for Vascular Surgery
et. al.	et alia
ext.	externus
EZM	Extrazellulär Matrix
HUAC	Hounsfield Unit Average Calculation
HUC	Hounsfield Unit Calculation
i.v.	intravenös
ICD-10_CM	International Classification of Diseases, 10 Revision Clinical Modification
ICU	Intermediate Care Unit
IE	Internationale Einheiten
int.	internus
LKH	Landeskrankenhaus
LWK	Lendenwirbelkörper

M.	Muskel
mm	Millimeter
Mm.	Muskeln
MRT	Magnetresonanztomographie
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
Q25	erste Quartile
Q75	letzte Quartile
ROI	Region of Interest
SMI	Skeletal Muskel Index
TPI	Total Psoas Index

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aorta; Quelle [10].....	4
Abbildung 2: Wandaufbau Arterie Quelle [4] .....	5
Abbildung 3: Allenberg-Klassifikation Quelle [30] .....	13
Abbildung 4: Therapeutischer Entscheidungsbaum infrarenales AAA Quelle [17] 14	
Abbildung 5: Pathophysiologischer Mechanismus der Sarkopenie Quelle [40] ....	19
Abbildung 6: Auswahl Patientinnen und Patienten .....	22
Abbildung 7: Bauchwand- und Rückenmuskulatur CT-Schnittbild Höhe L4 .....	23
Abbildung 8: eingezeichnete ROIs eines Patienten auf Höhe L4 .....	24
Abbildung 9: CT-Grafik zur Veranschaulichung der Parameter für die Berechnung von TPI und HUAC .....	25
Abbildung 10: TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] getrennt nach Geschlecht .....	28
Abbildung 11: SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] getrennt nach Geschlecht .....	29
Abbildung 12: HUAC [HU] getrennt nach Geschlecht .....	29

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ASA-Klassifikation zur Beurteilung des Operationsrisiko (mod. nach Keats [32]) .....	15
Tabelle 2: Studienpopulationscharakteristik .....	27
Tabelle 3: Grenzwerte der Sarkopenie nach Indikator und Geschlecht.....	30
Tabelle 4: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] .....	31
Tabelle 5: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch HUAC [HU] .....	31
Tabelle 6: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] .....	32
Tabelle 7: Krankenhausaufenthalt in Tagen .....	32
Tabelle 8: Krankenhausaufenthaltsdauer Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI, adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA .....	33
Tabelle 9: Intensivaufenthaltsdauer Regressionsmodell für HUAC, TPI UND SMI; adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA.....	33
Tabelle 10: komplikationsbedingte Reoperation Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI, adjustiert auf Alter und ASA-Wert .....	35
Tabelle 11: 30-Tages-Mortalität Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI, adjustiert auf Alter.....	35

# 1 Einleitung

Der demographische Wandel nimmt zunehmend Einfluss auf das medizinische Versorgungssystem. Der Altersdurchschnitt der wachsenden Weltbevölkerung nimmt stetig zu. Studien zufolge werden 2050 doppelt so viele über 60-Jährige Menschen auf der Welt leben, als noch 2015 [1]. Viele Erkrankungen des menschlichen Organismus treten vermehrt bei Personen im fortgeschrittenen Lebensalter auf. Bei vielen Erkrankungen wurde deshalb das Alter als Risikofaktor eingestuft. So auch bei Aortenerkrankungen, zu denen auch in dieser Diplomarbeit behandelte Bauchaortenaneurysmas zählen. Sarkopenie, der Verlust der Skelettmuskelmasse, betrifft circa 10 % der über 60-jährigen Bevölkerung [2]. In tumorchirurgischen Studien wurde bereits mehrfach gezeigt, dass die Sarkopenie einen Einfluss auf das Ergebnis von Operationen hat [3–7] und ein präoperatives Sarkopeniescreening sinnvoll wäre, um das individuelle Operationsrisiko abschätzen zu können. In dieser Diplomarbeit soll ein Zusammenhang zwischen Sarkopenie und dem Therapie-Ergebnis von gefäßchirurgischen Patientinnen und Patienten hergestellt werden, welche auf Grund eines Bauchaortenaneurysmas elektiv operiert wurden.

Die Aorta ist über die Aortenklappe direkt mit der linken Herzkammer verbunden. Sie übernimmt als das größte und wichtigste Blutgefäß im menschlichen Organismus die Aufgabe, das sauerstoffreiche Blut an die von ihr abgehenden Arterien, und somit zu den Organen, den Muskeln und den Gewebestrukturen zu verteilen. Eine Erkrankung dieses lebensnotwendigen Gefäßes kann schwerwiegende Folgen für die einzelnen Organe und in Folge dessen auch für den gesamten Organismus hervorrufen. Dabei zählt ein Aortenaneurysma, eine Aussackung der Aorta, zu den lebensbedrohlichsten Erkrankungen. Dies ist zum einen der Tatsache geschuldet, dass viele Aneurysmen asymptomatisch sind und dementsprechend oft nur durch Zufall befundet werden, und zum anderen eine Ruptur des Aneurysmas innerhalb weniger Minuten zum Tode führen kann und somit einen sofortigen chirurgischen Eingriff erfordert. Wird ein Aortenaneurysma rechtzeitig entdeckt, kann dieses durch einen chirurgischen Eingriff stabilisiert und somit eine lebensbedrohliche Ruptur verhindert werden.

Seit über 50 Jahren ist der Goldstandard in der Therapie des Bauchaortenaneurysmas der prothetische Aortenersatz durch eine offene Operation mittels medianer Laparotomie. Während in den letzten Jahren zunehmend auch die interventionelle endovaskuläre Therapie gehäuft zum Einsatz kommt, stellt sich die Frage, was für die individuelle Patientin/den individuellen Patienten die Therapieoption mit dem besten Ergebnis darstellt. Um der Antwort auf diese Frage näher zu kommen, sollte man das individuelle Operationsrisiko möglichst genau abschätzen können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Sarkopenie als Surrogatmarker für Altersgebrechlichkeit mittels präoperativer CT-Bilder von Patientinnen und Patienten, welche elektiv offen transperitoneal an einem infrarenalen Aortenaneurysma im Zeitraum von 2008 bis 2017 an dem LKH-Universitätskrankenhaus Graz operiert wurden, zu ermitteln und in Bezug zu dem postoperativen Ergebnis zu setzen, welches mit Hilfe der Krankenhausaufenthaltsdauer, Intensivliegedauer, Reoperationen aufgrund von Komplikationen und 30-Tages-Mortalität charakterisiert wird.

Dazu sollen in dieser Arbeit insbesondere folgende Fragen geklärt werden:

- Welcher morphometrische Parameter eignet sich am besten für die klinische Quantifizierung der Sarkopenie?
- Wie viele der untersuchten Patientinnen und Patienten sind als sarkopen einzustufen?
- Haben sarkopene Patientinnen und Patienten einen verlängerten Krankenhausaufenthalt, und/oder eine verlängerte Intensivaufenthaltsdauer?
- Treten Reoperationen aufgrund einer Komplikation oder postoperative Mortalität gehäuft bei sarkopenen Patientinnen und Patienten auf?

## 2 Grundlagen

Im folgenden Abschnitt wird auf die medizinischen Grundlagen eingegangen, die für die Bearbeitung der Fragestellung der Diplomarbeit wichtig sind. Behandelt werden insbesondere die Aorta und deren Erkrankung das infrarenale Aneurysma. Entsprechend der Fragestellung der Diplomarbeit wird auch auf die Sarkopenie, den Verlust von Muskelmasse und Muskelkraft besonders eingegangen.

### 2.1 Aorta

#### 2.1.1 Definition

Die Aorta ist die Hauptschlagader des Körpers und entspringt mit ihrem aufgetriebenen Anfangsteil, dem Bulbus aortae, an der linken Herzkammer und wird durch die Aortenklappe vom Herzen getrennt. Über die Aorta werden Organen, Muskeln und Gewebestrukturen mit sauerstoffreichem Blut versorgt.

#### 2.1.2 Anatomie der Aorta

Die Aorta lässt sich durch ihren anatomischen Verlauf in folgende drei Abschnitte gliedern und ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die **Aorta ascendens** ist nahezu ganz im Herzbeutel gelegen und erstreckt sich als aufsteigender Teil von der Aortenklappe bis zum Abgang des Truncus brachiocephalicus. Dieser Teil ist ungefähr 6 cm lang. Von ihm gehen für die Versorgung des Herzmuskels die A. coronaria dextra und sinistra im Bulbus aortae ab. [8]

Als **Arcus aortae (Aortenbogen)** wird der von ventral nach dorsal verlaufende Teil der Aorta bezeichnet. Er liegt außerhalb des Herzbeutels und beginnt am Ursprung des Truncus brachiocephalicus und erstreckt sich bis zum normalerweise etwas verjüngtem Endteil, dem sogenannten Isthmus aortae, welcher sich unmittelbar nach dem Abgang der linken A. subclavia befindet. Neben den beiden genannten Gefäßen geht auch die A. carotis communis sinistra aus dem Aortenbogen ab. [8]

Die **Aorta descendens** steigt im Körper ab und lässt sich aufgrund ihrer anatomischen Lage in zwei Abschnitte unterteilen. Als Fortsetzung des Arcus aortae er-

streckt sich die **Aorta thoracica (Brustaorta)** vom Isthmus aortae bis zum Zwerchfelldurchtritt (Hiatus aorticus). Nach dem Durchtritt des Diaphragmas spricht man von der **Aorta abdominalis (Bauchaorta)**, welche sich auf Höhe des vierten Lendenwirbelkörpers in die paarigen Aa. iliacae communes teilt. Diese Aufteilung wird als Bifurcatio aortae bezeichnet Ihre eigentliche Fortsetzung ins kleine Becken wird durch die kleine A. sacralis mediana ermöglicht. [8]

Aus gefäßchirurgischer Sicht unterteilt sich die Aorta in fünf Abschnitte: [9]

- Abschnitt I Aorta ascendens
- Abschnitt II Arcus aortae
- Abschnitt III Pars thoracica
- Abschnitt IV Pars abdominalis bis einschließlich der Nierenarterienabgänge
- Abschnitt V Pars abdominalis unterhalb der Nierenarterien

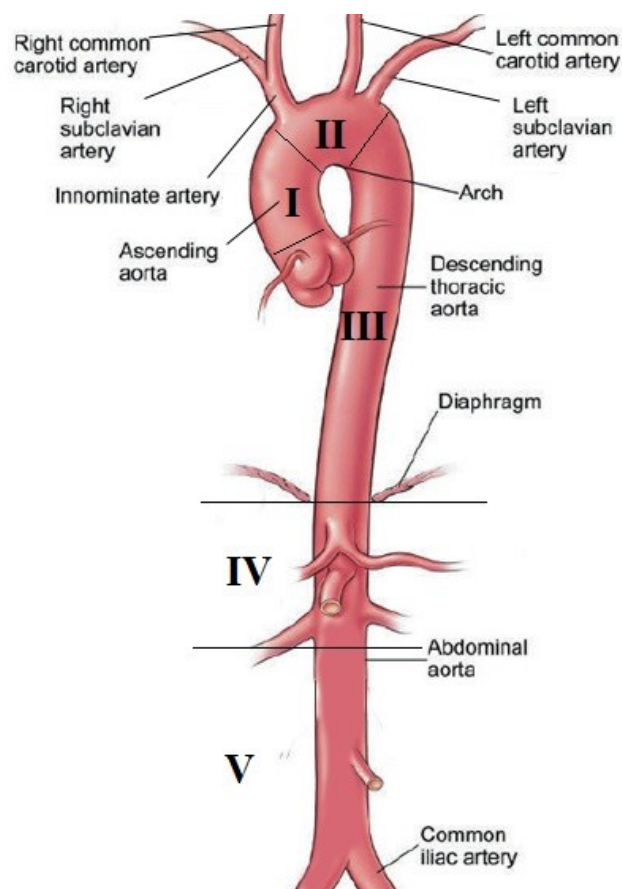


Abbildung 1: Aorta; nach Quelle [10]

### 2.1.3 Wandaufbau einer Arterie

Die Wände von Arterien, und somit auch die Wand der Aorta, haben einen dreischichtigen Aufbau. Von innen nach außen unterscheidet man, wie Abbildung 2 zeigt, die Tunica intima, die Tunica media und die Tunica adventitia. Meist wird die Bezeichnung Tunica weggelassen, sodass von der Intima, Media und Adventitia gesprochen wird.

**Die Intima** besteht aus einem Endothel (Reihe flacher Endothelzellen auf einer Basalmembran), dem Stratum subendotheliale (vor allem Extrazellulärmatrix und der Membrana elastica interna (Flechtwerk überwiegend elastischer Fasern)).

**Die Media** besteht aus einer dicken Muskelschicht (insbesondere glatte Muskulatur und Extrazellulärmatrix) und einer Membrana elastica externa (elastische Fasern).

**Die Adventitia** stellt ein Bindegewebe aus elastischen und kollagenen Fasern dar und verankert das Gefäß in der Umgebung. In ihr finden sich Nerven, Lymphknoten und Blutgefäße (Vasa vasorum).

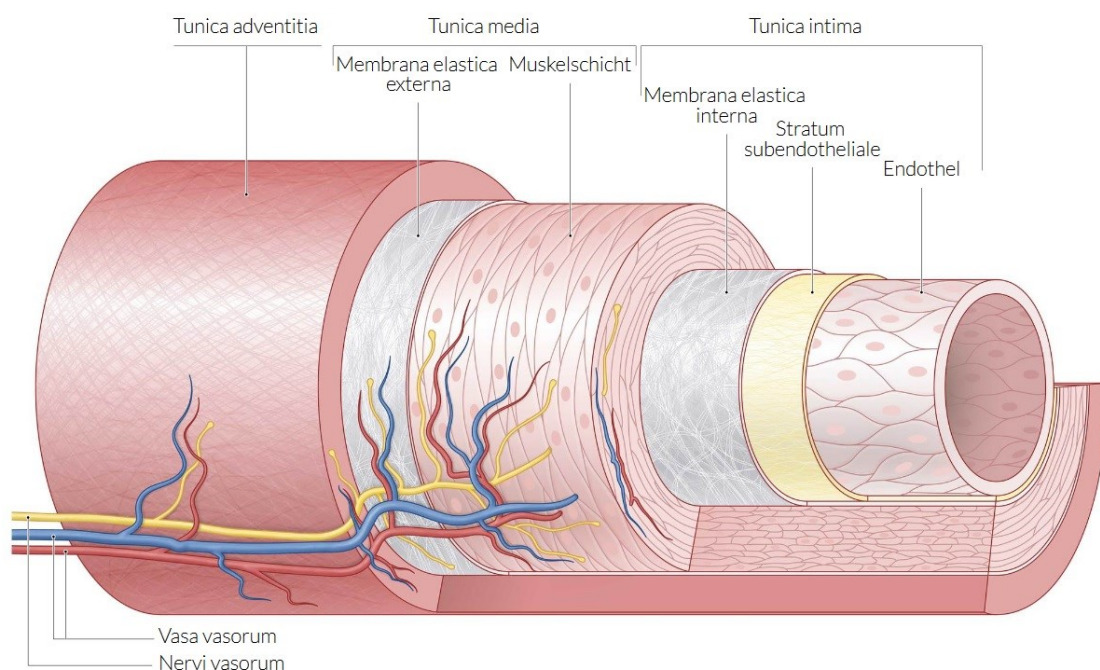


Abbildung 2: Wandaufbau Arterie Quelle [4]

### 2.1.4 Erkrankungen der Aorta

Erkrankungen der Aorta, können den Blutdurchfluss durch dieses lebensnotwendige Gefäß stören und die Funktion einschränken. Die Aorta kann bereits von Geburt an geschädigt sein, oder im Laufe der Jahre Schaden nehmen. Im Fall der Schädigung bei Neugeborenen handelt es sich meist um Gefäßmissbildungen.

Bei der altersbedingten Schädigung liegen meist folgende Erkrankungen vor: [11]

- Arteriosklerotische Ablagerungen
- Bindegewebserkrankungen
- Tumoren
- altersbedingte Schwachstellen an den Aortenwänden
- Einengungen (Isthmusstenosen)
- Aussackungen (Aneurysmen)

Ebenso können folgende Schädigungen auftreten:

- stumpfe Traumata
- Stich- und Schussverletzungen
- Entzündungen

Im Folgenden wird auf die wohl häufigste Erkrankung der Aorta, das Aneurysma, insbesondere in der Form des infrarenalen Aneurysmas genauer eingegangen.

## 2.2 Aneurysma

### 2.2.1 Definition

Ein Aneurysma ist im pathologischen Sinn eine permanente Erweiterung des Gefäßquerschnitts, welche jedes Gefäß betreffen kann. Aus diesem Grund spricht man bei einem Aneurysma auch von einer Arterienerweiterung oder einer arteriellen Aussackung. Meisten finden sich entsprechende Erweiterungen an Arterien, wobei Aortenaneurysmen am häufigsten vorkommen. [12]

## 2.2.2 Entitäten

Bei einem Aneurysma werden drei Entitäten unterschieden. Das **Aneurysma verum**, das **Aneurysma spurium** und das **Aneurysma dissecans**.

Bei einem **Aneurysma verum (echtes Aneurysma)** ist die gesamte Gefäßwand erkrankt (alle 3 Wandschichten). Morphologisch wird zwischen einem sackförmigen (sakkiforme), einem spindelförmigen (fusiform) und einer gemischten Form unterschieden. Nicht immer leicht abzugrenzen ist die Gefäßektasie, wobei ab einer Erweiterung um das 1,5-fache des normalen Gefäßlumens meist von einem Aneurysma gesprochen wird. [9, 13]

Bei einem **Aneurysma spurium (falsches Aneurysma)** handelt es sich um ein mit der Arterie in Verbindung stehendes meist pulsierendes Hämatom, welches meist iatrogen nach Entfernung von großlumigen Schleusensystemen auftritt. Aber auch i.v. Drogenabusus kann eine Ursache sein. [9, 13]

Als **Aneurysma dissecans** wird eine Aortendissektion bezeichnet, wobei ein Riss der Intima zu einer Blutansammlung in der Media führt. Ein Aneurysma dissecans ist eine mögliche Folge der Aortendissektion. [9, 13]

## 2.3 Aortenaneurysma

### 2.3.1 Definition

Beim Aortenaneurysma handelt es sich um ein Aneurysma der Hauptschlagader. Im medizinischen Kontext werden permanente Aussackungen an der Aorta, auf mindestens das 1,5-fache der Norm, Aortenaneurysmen genannt, wobei der normale Durchmesser vom Geschlecht abhängt. Er beträgt ca. 2 cm, kann individuell variieren und nimmt mit dem Alter und der Körpergröße zu. [14]

### 2.3.2 Klinische Einteilung

Aortenaneurysmen unterteilt man klinisch anhand ihrer Lage in drei Arten. Das thorakale Aortenaneurysma (im Brustraum oberhalb des Zwerchfelles), das supra-renale Aortenaneurysma (oberhalb der Abgänge der Nierenarterien) und das infra-renale Aortenaneurysma (unterhalb der Abgänge der Nierenarterien).

95 % der Aortenaneurysmata sind infrarenal, der Rest ist thorakal oder suprarenal lokalisiert. Es können auch kombinierte Aneurysmata vorliegen, ebenso sind bei einem infrarenalen Aneurysma oft die Iliakalgefäße mitbetroffen.

### 2.3.3 Ätiologie und Risikofaktoren

Die Ursachenforschung auf dem Gebiet der Aortenaneurysmata dauert noch an und die Ursache, die schlussendlich zu dieser Aussackung führt, ist noch nicht abschließend erforscht. Eine Schwächung der Aortenwand kann auf den Abbau der Strukturproteine der Wand sowie auf eine chronische Entzündung zurückgeführt werden. Auch eine genetische Komponente kann, insbesondere bei thorakalen Aortenaneurysmen nicht ausgeschlossen werden. [14]

Folgende Risikofaktoren sind bisher bekannt: [14]

- fortschreitendes Alter (insbesondere > 65 Jahre)
- männliches Geschlecht
- ehemaliger oder aktueller Nikotinkonsum
- positive Familienanamnese (das Auftreten eines Aneurysmas bei einem nahen Verwandten, insbesondere bei Verwandten 1./2. Grades)
- fortgeschrittener Arteriosklerose (Koronare Herzerkrankung, periphere AVK),
- arterieller Hypertonie
- Aneurysma an einer anderen Körperstelle (z.B. im Bereich der Kniekehlenarterie)

Die Diplomarbeit bezieht sich nur auf die häufigste Aneurysmaform, das infrarenale Aortenaneurysma. Im folgenden Abschnitt wird deshalb das infrarenale Aortenaneurysma genauer behandelt.

## 2.4 Spezifische Grundlagen eines infrarenalen Aortenaneurysma

### 2.4.1 Definition

95 % der Aortenaneurysmata sind infrarenal, der Rest ist thorakal oder suprarenal lokalisiert. Unabhängig von Geschlecht, Alter und Körpergröße wird eine Erweite-

rung des Querdurchmessers der infrarenalen Aorta auf mindestens 3,0 cm als infrarenales Aortenaneurysma (AAA) bezeichnet. Andere Wissenschaftler sprechen, um individuelle Schwankungen im Durchmesser auszugleichen, ab einer Erweiterung des Gefäßvolumens um das 1,5-fache des erwarteten normalen Durchmessers der infrarenalen Aorta von einem AAA. Etwa jedes fünfte infrarenale Aneurysma fasst auch eine Erweiterung der Beckenarterien mit ein. [15–18]

### 2.4.2 Ätiologie und Risikofaktoren

Am häufigsten liegt für ein Aneurysma ursächlich ein degenerativer Prozess vor. Seltener und spezieller sind kongenitale (angeborenen) und inflammatorische (entzündliche) Aneurysmata, welche hier nicht behandelt werden. Ähnlich wie bei der Entstehung von Arteriosklerose stellen fortgeschrittenes Alter, familiäre Disposition, männliches Geschlecht und Nikotinkonsum die wichtigsten Risikofaktoren dar. Aber auch arterielle Hypertonie, Hyperlipidämie, chronisch obstruktive Atemwegserkrankungen, periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) oder angeborene Bindegewebserkrankungen wie das Marfan-Syndrom oder Ehlers-Danlos-Syndrom erhöhen das Risiko der Entstehung eines Aortenaneurysmas deutlich. Während Diabetes mellitus als Risikofaktor für eine Arteriosklerose als gesichert gilt, ist dieser bei der Entstehung eines Aneurysmas laut aktueller Studienlage eher protektiv zu werten. [9, 18]

Generell wird der Verlust der strukturellen Integrität des Gefäßes als Mechanismus für die Entstehung eines Aneurysmas angesehen. Bei einem echten Aneurysma sind alle drei Wandschichten betroffen, wobei die Wandstabilität vorwiegend von Media und Adventitia bestimmt wird. Die extrazelluläre Matrix (EZM) der Gefäßmedia besteht überwiegend aus Elastin, Kollagenen und Proteoglykanen in regelhafter lamellärer Schichtung. Dieses 3D-Konstrukt gibt der Aorta die nötige Stabilität, um dem pulsatilen Druck standzuhalten. Ein Funktionsverlust der EZM wird durch Matrix-metalloproteasen, welche enzymatisch Elastin und Kollagen degradieren, sowie durch chronische Entzündungsprozesse mit einer transmuralen Infiltration von Makrophagen, T- und B-Lymphozyten und letztendlich auch der Reduktion von Fibroblasten und glatten Muskelzellen bedingt. [9]

### 2.4.3 Prävalenz

Die Prävalenz (Krankheitshäufigkeit) eines abdominalen Aortenaneurysmas wurde in mehreren Populationsstudien untersucht und liegt je nach Studie in der Altersklasse über 55 Jahre zwischen 4,0 % und 8,9 % bei Männern und zwischen 0,7 % und 2,2 % bei Frauen [18]. Studien haben gezeigt, dass die Prävalenz von geographischer Lage, Geschlecht und Alter beeinflusst wird [19].

### 2.4.4 Klinik und Diagnostik

Man unterscheidet grundsätzlich asymptomatische, symptomatische und rupturierte Aneurysmen.

Ein **asymptomatisches Aortenaneurysma** ist in den meisten Fällen ein Zufallsbefund, da es lange Zeit subklinisch verläuft. Entdeckt wird es meistens im Rahmen einer Ultraschalluntersuchung, eines CTs oder MRTs. Durchschnittlich expandiert ein Aneurysma 1-6 mm pro Jahr. [20, 21]

Das **symptomatische Aneurysma** charakterisiert sich meist durch diffuse abdominelle Beschwerden und oder auch Rückenschmerzen, welche in die Flanke ausstrahlen können.

Die Ruptur eines Aneurysmas stellt die Hauptgefahr dar. Man unterscheidet eine **gedeckte Ruptur** von einer **freien Ruptur**. Während die gedeckte Ruptur sich durch eine dauerhaft schmerzhaft pulsierende Resistenz im Abdomen mit oder ohne Schmerzausstrahlung in den Rücken und die Flanke kennzeichnet, kommt es bei der freien Ruptur zu einem akuten Abdomen mit plötzlich einsetzenden Schmerzen und einem rapiden Volumenmangelschock. [22, 23]

### 2.4.5 Behandlungsmöglichkeiten, Screening, Überwachung und Operationsindikation

Behandlungsmöglichkeiten ergeben sich anhand der klinischen Symptomatik. Während ein klinisch symptomatisches Aneurysma eine dringliche ärztliche Intervention benötigt, und ein rupturiertes Aneurysma eine Notfalloperation indiziert, kann man bei einem asymptomatischen Aneurysma elektiv eine Behandlung planen. Zur elektiven Behandlung stehen momentan die konventionelle operative Sa-

nierung oder eine endovaskuläre Sanierung mittels Stentgraftimplantation zur Verfügung. Die Behandlung eines asymptomatischen abdominalen Aneurysmas (AAA) richtet sich vor allem nach dem Durchmesser (Größe), der Form und der Wachstumsgeschwindigkeit. Ziel einer Behandlung ist die Vermeidung der lebensgefährlichen Ruptur. Um die Indikation einer prophylaktischen Intervention durch eine Operation oder eine endovaskuläre Sanierung zu stellen, muss das potenzielle Rupturrisiko gegen das Interventionsrisiko abgewogen werden. [24]

Die Praxisleitlinien der European Society for Vascular Surgery (ESVS) geben dazu aktuell folgende Empfehlung: [18]

- Bei kleinen Aneurysmen von 3,0 – 3,9 cm ist das Rupturrisiko zu vernachlässigen, eine regelmäßige Überwachung mittels Sonographie wird empfohlen.
- Asymptomatische Aneurysmen von 4,0 – 5,5 cm sollten ebenfalls Ultraschall überwacht werden.
- Bei Männern wird eine gefäßchirurgische Intervention empfohlen, wenn ein asymptomatisches Aneurysma  $\geq 5,5$  cm vorliegt, Symptome auftreten oder ein schnelles Aneurysmawachstum ( $>1$  cm/Jahr) besteht.
- Bei Frauen sollte schon bei einem maximalen Durchmesser von 5,2 cm eine Versorgung in Betracht gezogen werden.

In einem aktuellen Cochrane Review wurde analysiert, dass weder eine offene Operation noch eine endovaskuläre Intervention bei Aneurysmen mit einem Durchmesser zwischen 4,0 und 5,5 cm gegenüber einer abwartenden Haltung einen Vorteil bietet. Ein Eingriff unterhalb 5,5 cm Durchmesser wird durch gegenwärtige Evidenz nicht gestützt [25]. Die amerikanische Society for Vascular Surgery empfiehlt bei Männern ab 65 Jahren beziehungsweise ab 55 Jahren, falls die Familienanamnese eines abdominalen Aortenaneurysmas positiv ist, ein Einmal-Screening [26].

Als Untersuchungsmethode für die Diagnostik und Verlaufskontrollen hat sich inzwischen flächendeckend die Sonographie durchgesetzt, da sie eine günstige, nicht invasive und strahlungsfreie Untersuchungsmethode darstellt. Damit lässt

sich der maximale Aortendurchmesser messen, und man erhält zusätzlich noch Informationen über Verkalkungen und Stenosierungen. [17, 27]

Limitationen für die Beurteilung eines Aortenaneurysmas mittels Sonographie können Adipositas, Luftüberlagerung des Gastrointestinaltraktes oder Artefakte darstellen. Ebenso neigt die Sonographie zu einer Überschätzung des Aortendurchmessers, wenn der Querschnitt nicht genau im rechten Winkel zur Längsachse der Aorta gemessen wird. [17, 27]

Empfehlungen für die Überwachung werden ebenfalls abgegeben: [26]

- Nachuntersuchung in 5 Jahren, wenn der Durchmesser zwischen 2,6 – 2,9 cm liegt.
- Nachuntersuchung in 3 Jahren, wenn der Durchmesser zwischen 3,0 - 3,4 cm liegt.
- Jährliche Kontrolle, wenn der Durchmesser zwischen 3,5 – 4,4 cm liegt.
- Halbjährlicher Kontrolle, wenn der Durchmesser zwischen 4,5 – 5,4 cm liegt.

Zur weiteren Therapieplanung muss auf genauere bildgebende Verfahren zurückgegriffen werden. Die Computertomographie (CT) mit Kontrastmittel gilt als Methode der Wahl, sofern keine Niereninsuffizienz vorliegt, da sie für die spätere Therapieplanung eine genaue Angabe des Abstandes zu den Nierenarterien und eine genaue Vermessung des Aneurysmas ermöglicht. Des Weiteren erlaubt die CT eine differenzierte Beurteilung der Seitenäste im Aneurysmabereich, der großen Viszeralgefäße sowie der Becken- und Leistenarterien. Als Alternative wird auch die Magnetresonanztomographie (MRT) und eine Kombination von MRT und Angiographie eingesetzt. [17]

#### **2.4.6 Klassifikation**

Zur Einteilung des abdominalen Aortenaneurysmas hat sich die Heidelberger Klassifikation durchgesetzt, welche auch Allenberg-Klassifikation genannt wird. Diese stellt eine Indikationshilfe für die endovaskuläre Aneurysmachirurgie dar und typisiert die Morphologie des Bauchaortenaneurysmas, siehe Abbildung 3. [27–29]

Während alle Typen mit Hilfe einer offenen Operation saniert werden können, kommen nur Typ I, II A, II B für eine endovaskuläre Intervention in Betracht [30].

Die Allenberg-Klassifikation unterteilt sich in folgende fünf Typen: [27–29]

- Typ I Proximaler und distaler Aneurysmahals erhalten
- Typ II A Proximaler Aneurysmahals erhalten, Aortendilatation reicht distal bis zur Bifurkation
- Typ II B Proximaler Aneurysmahals erhalten, proximale A. iliaca communis ist dilatiert.
- Typ II C Proximaler Aneurysmahals erhalten, Aneurysma der A. iliaca reicht bis zur Iliakalgabel
- Typ III Kein proximaler Aneurysmahals vorhanden, Aortendilatation beginnt unmittelbar distal der Nierenarterien

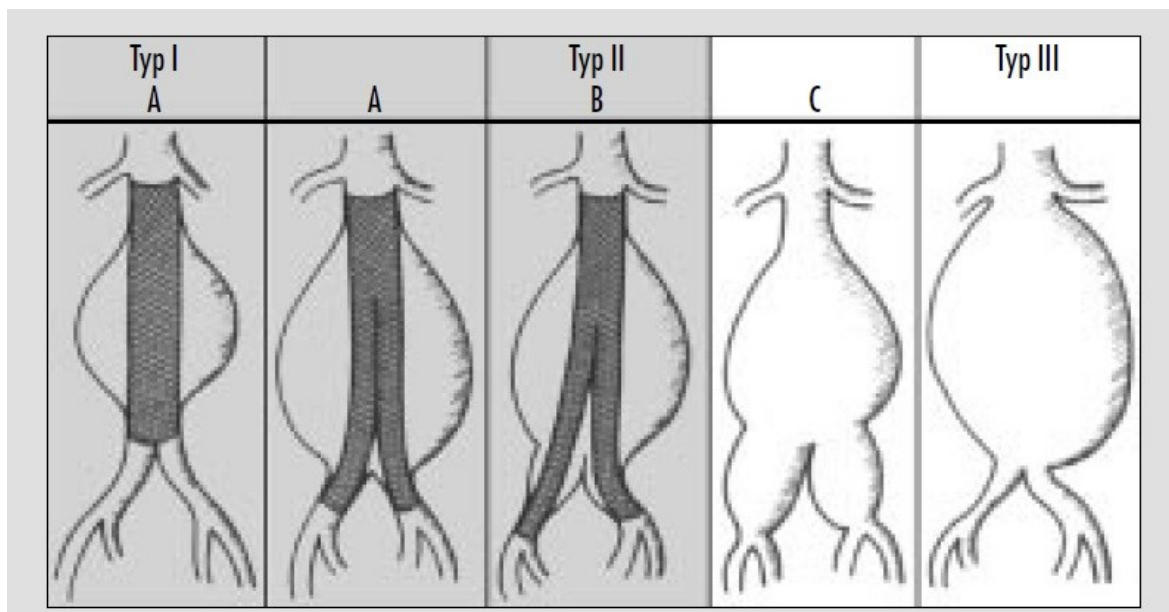


Abbildung 3: Allenberg-Klassifikation Quelle [30]

### 2.4.7 Therapeutischer Algorithmus

Anlehnend an die AHA/ACC- Guidelines [31] kann den Ärzten mit Hilfe folgender Baumgraphik, siehe Abbildung 4, die Entscheidungsfindung zur therapeutischen Intervention erleichtert werden.

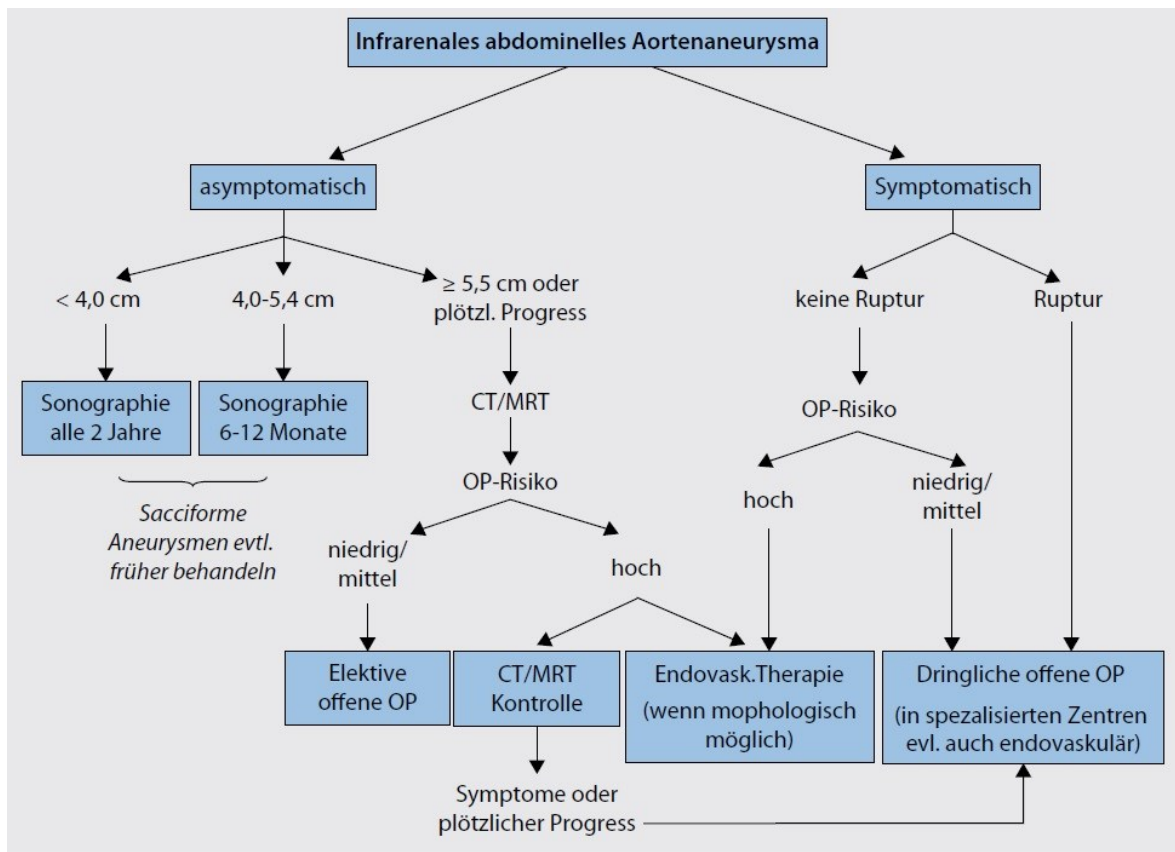


Abbildung 4: Therapeutischer Entscheidungsbaum infra-renales AAA Quelle [17]

## 2.4.8 Konventionelle Sanierung (operativ)

### 2.4.8.1 Indikation und Operationsvorbereitung

Neben der Größe des Aneurysmas und der damit steigenden Rupturgefahr sowie der Morphologie muss auch für jede Patientin/ jeden Patienten das individuelle Operationsrisiko vor einer Behandlung überprüft werden. Dazu wird die Patientin/ der Patient nach klinischen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung des Alters, der Größe, des Gewichts und seiner Grunderkrankungen nach der ASA-Klassifikation beurteilt, siehe Tabelle 1.

Eine ausführliche Diagnostik der Risikofaktoren und Begleiterkrankungen, sowie deren Therapieoptimierung sollte vor einer elektiven Operation veranlasst werden. Routinemäßig wird ein 12-Kanal EKG und eine Echokardiografie zur Beurteilung der kardialen Situation durchgeführt. Bei Verdacht einer kardiovaskulären Erkrankung sollte präoperativ eine Koronarangiographie mit möglicher Myokardrevaskularisation diskutiert werden, da kardiovaskuläre Erkrankungen postoperativ die häufigste Todesursache darstellen.

**Tabelle 1: ASA-Klassifikation zur Beurteilung des Operationsrisiko (mod. nach Keats [32])**

<b>ASA</b>	<b>Beschreibung</b>
ASA I	Gesunder Patient ohne wesentliche Risikofaktoren
ASA II	Patient mit leichten Allgemeinerkrankungen ohne Leistungseinschränkung
ASA III	Patient mit schweren Allgemeinerkrankungen und Leistungseinschränkungen
ASA IV	Patient mit schweren Allgemeinerkrankungen, die das Leben bedrohen
ASA V	Moribunder Patient

## **2.4.8.2 Techniken und Zugangswege/ Operationstechnik**

### **Lagerung und Vorbereitung**

Die Patientin oder der Patient wird in Intubationsnarkose in Rückenlage gelagert und auf Höhe des thorakoabdominellen Übergangs leicht rekliniert, damit der Abstand zwischen Rippenbogen und Beckenkamm vergrößert wird. Meist wird der linke Arm an- und der rechte Arm ausgelagert. Von den Mamillen bis zum Oberschenkel wird steril abgewaschen und abgedeckt. Eine prophylaktische i.v. Antibiotikagabe findet parallel statt. Ein Cell-Saver zur schnellen Retransfusion des abgesaugten Blutes sollte zur Verfügung stehen. [33]

### **Zugangsweg**

Eine mediane Laparotomie mit Linksumschneidung des Nabels stellt die Methode der Wahl dar. Bei sehr adipösen oder abdominell voroperierten Patientinnen oder Patienten stellt der retroperitoneale Zugang von links eine gute Alternative dar. [33]

### **Präparation des Aortenaneurysmas**

Es folgt ein schichtweises Durchtrennen der Bauchdecke und Eröffnen des Peritoneums. Zur Retraktion der Wundränder wird eine selbthaltende Hakenvorrichtung eingerichtet. Das Omentum majus und das Dünndarmkonvolut werden nach rechts verlagert. Die infrarenale Aorta mit dem Aneurysma ist nun einsehbar, so dass über dem Aneurysma das Retroperitoneum eröffnet werden kann. Nun wird primär auf der avaskulären Schicht der Adventitia der Aneurysmahals bis zu den Nierenarterien präpariert. Anschließend folgt die Präparation nach distal und die Darstellung jeweils beider Abgänge der A. iliaca communis. [33]

### **Abklemmen der Aorta**

In Rücksprache mit der Anästhesie werden nun 30 IE/kg Körpergewicht Heparin i.v. verabreicht. Die Aorta wird direkt unterhalb der Nierenarterienabgänge sagittal geklemmt. Der zu erwartende Blutdruckanstieg nach der Klemmung wird von der Anästhesie medikamentös auf einen suffizienten Mitteldruck eingestellt. Die distale Aorta wird ebenfalls geklemmt. Bei verkalkten Gefäßen kann auch mithilfe eines Blasenkatheters geblockt werden, sodass ein Klemmschaden vermieden werden kann. [33]

### **Implantation der Prothese**

Das Aneurysma wird mittels Längsschnitt eröffnet und der intraluminale Thrombus wird entfernt. Die Aorta wird distal der proximalen Klemme nach Schaffung einer Nahtebene gemessen und eine geeignete Rohrprothese (Durchmesser meist 16 – 18 mm) mittels monofilem, nicht resorbierbaren Faden (meist Prolene 4x0) in fortlaufender Nahttechnik eingenäht. Nach Fertigstellung der proximalen End-zu-End Anastomose wird diese auf Dichtigkeit geprüft und mögliche Leckagen nachgenäht. Jetzt wird die Prothese distal auf die richtige Länge zugeschnitten und ebenfalls fortlaufend eingenäht. Vor dem Knüpfen der Naht wird, um gegebenenfalls thromboembolisches Material zu entfernen, nacheinander aus den distalen Gefäßen und der Prothese/Aorta der Zustrom und Rückstrom überprüft. Im Anschluss an das Knüpfen der Naht und die Kontrolle der Dichtigkeit folgt die primäre Freigabe des Blutstroms, zuerst in die linke und dann in die rechte untere Extremität. [33]

### **Abschluss der Operation**

Es werden die Leistenpulse beidseits kontrolliert. Bei Bedarf wird ein Fibrinkleber oder ein lokales Hämostyptikum auf die Anastomosen appliziert und dann der Aneurysmasack mittels Fortlaufnaht verschlossen. Es folgen die Retroperitoneum-Fortlaufnaht, eine ausreichende Spülung mit warmer Kochsalzlösung, die Entfernung aller Tücher und des Retraktors, die Repositionierung des Dünndarmkonvulutes, der Verschluss der Bauchdecke mittels Peritoneum-Fortlaufnaht und Fasziennaht, die Subcutannaht, die Intracutannaht, Steristrips und die Anlage eines Schutzverbandes. Abschließend werden nochmals die Leistenpulse getastet und die periphere Perfusion mittels Fußpulse und Kapillarfüllung überprüft. Dann ist die

Operation beendet, und die Patientin/ der Patient kann von der Anästhesie in den Aufwachraum oder auf die Intensivstation gebracht werden. [33]

### **2.4.8.3 Komplikationen**

Die perioperative Mortalität bei der elektiv offenen Rohrprothesenimplantation liegt in spezialisierten Zentren bei ca. 1 – 2 % [34, 35]. Bei ausgeprägten abdominellen Verwachsungen durch Voroperationen steigt das Risiko für intraoperative Verletzungen von Darm und größeren Venen. Kreislaufbelastungen, welche durch das Klemmen und Abklemmen entstehen, können zu Komplikationen wie Herzinfarkt, Herzkreislaufstillstand oder Rhythmusstörungen führen. Beim Klemmen kommt es durch deutliche Erhöhung des vaskulären Widerstandes zu einem mittleren arteriellen Druckanstieg. In der Abklemmphase kommt es zu umgekehrten Veränderungen. Ein starker Blutdruckanfall kann eine Limitation für die koronare Durchblutung darstellen. Kardiale oder pulmonale Komplikationen treten in ca. 4 – 12 % auf. [36, 33]

Eine operative Revision ist bei postoperativen Gefäßverschlüssen oder starken Nachblutungen notwendig. 2 - 10 % der Patientinnen und Patienten erleiden ein transientes Nierenversagen, etwa 3 % werden dauerhaft dialysepflichtig [36].

Eine ischämische Kolitis tritt in etwas mehr als 1 % der Fälle auf, gehört aber mit einer Letalität von über 50 % auch zu den gefährlichsten Komplikationen [36, 37].

### **2.4.8.4 Verlauf und postoperative Versorgung**

Im Anschluss an die Operation erfolgt ein Monitoring der Kreislauf- und Laborparameter auf einer intensivmedizinischen Überwachungsstation. Meist kann nach einer Nacht, falls keine Komplikationen auftreten und Katecholamine zur Kreislaufunterstützung nicht mehr benötigt werden, die Patientin/ der Patient auf die Normalstation verlegt werden. Eine Thromboseprophylaxe sollte zusätzlich zur Mobilisation und Atemgymnastik durchgeführt werden. Bei Verdacht auf eine abdominelle Komplikation ist eine Sonographie oder CT-Diagnostik indiziert. Nach ca. einer Woche auf der Normalstation ohne Komplikationen erfolgt, nach einer abschließenden Untersuchung, die Entlassung mit anschließender Rehabilitationsbehandlung. Eine Wiedervorstellung zur Kontrolluntersuchung wird nach ei-

nem Monat, nach sechs und nach 12 Monaten und anschließend jährlich empfohlen. [38]

## **2.5 Sarkopenie**

### **2.5.1 Definition/Begriffsklärung**

1989 wurde der Begriff Sarkopenie erstmals von Irwin H. Rosenberg eingeführt. Dieser wurde aus dem Griechischen Wort „Sarx“, was Fleisch bedeutet und „penia“, was für Mangel steht, abgeleitet, um den altersbedingten Rückgang von Muskelmasse zu beschreiben [39].

Sarkopenia ist ein Syndrom, das durch progressiven und generalisierten Verlust von Muskelmasse und Kraft definiert wird, ein Risiko für körperliche Behinderung und eingeschränkte Lebensqualität darstellt und letztendlich bis zum Tode führen kann. 2010 hat die European Working Group on Sarcopenia in older People (EWGSOP) Diagnosekriterien empfohlen, welche neben der verminderten Muskelmasse auch entweder verminderte Muskelkraft oder verminderte körperliche Leistungsfähigkeit miteinschließt [40]. Der Grund für die Verwendung von zwei Kriterien ist, dass die Muskelkraft nicht allein von der Muskelmasse abhängt, und dass die Beziehung von Muskelstärke zu Muskelmasse nicht linear ist [41, 42]. Eine Reihe von Studien belegte die Gültigkeit der Definitionen, sodass im Oktober 2016 die Sarkopenie als Krankheitsentität ICD-10-CM (M62.84) codiert wurde [2].

### **2.5.2 Prävalenz**

Abhängig von der Literatur und Definition der Sarkopenie wurde die Prävalenz der 60- bis 70-jährigen Bevölkerung mit ca. 5 – 13 % angegeben, während die Prävalenz der über 80-jährigen zwischen 11 und 50 % liegen soll [43].

Eine Metaanalyse von Shafiee G. et al., welche 2017 publiziert wurde, untersuchte die Gesamtprävalenz von Sarkopenie abhängig von Geschlecht und den verschiedenen Regionen der Welt und kam sowohl bei Frauen als auch Männern auf eine Gesamtprävalenz von 10 % der gesunden Erwachsenen im Alter von  $\geq 60$  Jahren [44].

Die Weltbevölkerung wächst und wird immer älter. Während 2012 nur in Japan die über 60-jährigen bereits mehr als 30 % der dort lebenden Bevölkerung ausmach-

ten, wird 2050 in großen Teilen Europas, in Nordamerika, aber auch in Asien die Gruppe der über 60-jährigen mehr als 30 % ausmachen. So wird erwartet, dass bis 2050 die Anzahl der über 60-jährigen lebenden Personen sich verdoppelt haben wird [1]. Dies wird sich auch auf die Prävalenz von Aortenaneurysmen auswirken.

### 2.5.3 Pathophysiologischer Mechanismus

Es werden mehrere Mechanismen diskutiert, welche möglicherweise für den Beginn und Verlauf der Sarkopenie verantwortlich sind, siehe Abbildung 5. Diese Mechanismen beziehen sich unter anderem auf die Proteinsynthese, die Proteolyse, die neuromuskuläre Integrität und den Muskelfettgehalt. Da bei einer Patientin/ einem Patienten mit Sarkopenie mehrere Mechanismen dazu geführt haben könnten, gilt es, die Mechanismen und ihre Ursachen zu erforschen, um in Zukunft eine zielgerichtete individuelle Therapie entwickeln zu können. [40]

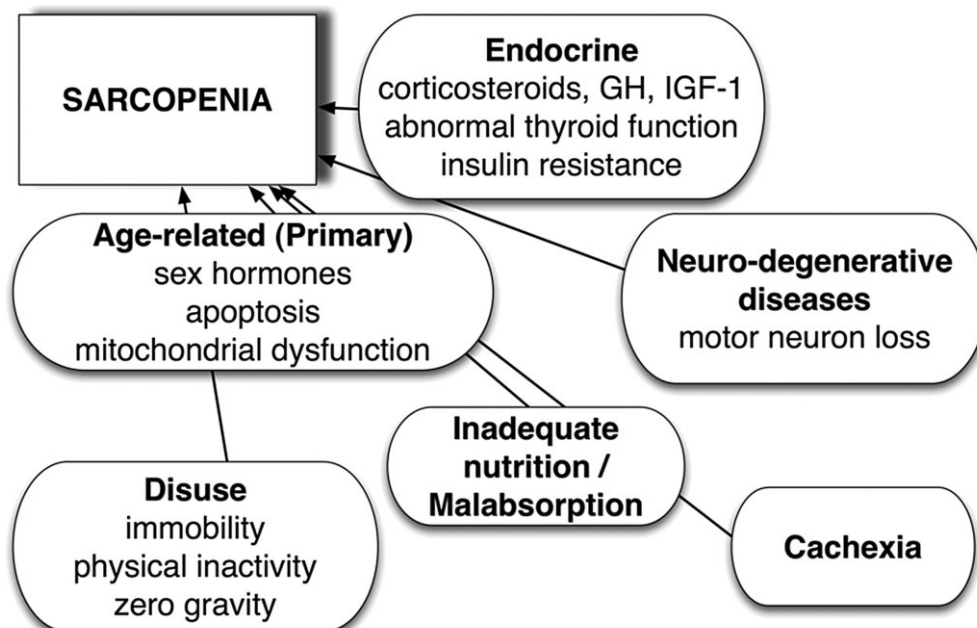


Abbildung 5: Pathophysiologischer Mechanismus der Sarkopenie Quelle [40]

### 2.5.4 Klinik und Forschung

Um Sarkopenie zu diagnostizieren, ist die Messung der Muskelmasse erforderlich. Dabei besteht die Herausforderung darin, die geeignetste Messmethode zu finden und die Genauigkeit der Messung zu erhöhen. Im folgenden Abschnitt wird auf die verschiedenen Messmethoden genauer eingegangen, die in Klinik und Forschung

bereits Einzug gefunden haben. Verfügbarkeit, Kosten und Anwenderfreundlichkeit bestimmen, ob die Messmethoden nur für Forschungszwecke möglich sind, oder ob sie sich auch in der klinischen Praxis durchsetzen können. [40]

Magnetresonanztomographie (MRT), Computertomographie (CT) und Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA) stehen als bildgebende Verfahren zur Verfügung. CT und MRT sind sehr präzise bildgebende Verfahren, welche Fett von anderen Weichteilen des Körpers gut trennen können und deswegen als Goldstandards für die Schätzung der Muskelmasse in der Forschung gelten. Hohe Kosten, eingeschränkter Zugang und Strahlenexposition beschränken die Anwendung für die routinemäßige klinische Praxis. DXA ist eine alternative strahlungsarme Methode sowohl für Forschung als auch klinische Praxis, um Fett, Knochen und Weichteil zu unterscheiden. Die Bioelektrische-Impedanz-Analyse (BIA) eignet sich ebenfalls für die Abschätzung von Muskelmasse und ist sehr preiswert, einfach zu verwenden, mobil einsetzbar und stellt eine gute Alternative für die Dual-Röntgen-Absorptiometrie dar. [45, 46]

In den meisten bisherigen Studien zum postoperativen Outcome wurden CT-Bilder zur Quantifizierung der Sarkopenie verwendet. So auch in der vorliegenden Diplomarbeit.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Datenerhebung**

Eine systematische Literaturrecherche zu den Themen Sarkopenie und infrarenales Aortenaneurysma wurde durchgeführt. Fundierte Lehrbücher wurden herangezogen und deren einzelne Kapitel entsprechend gekennzeichnet. Viel Wert wurde auf aktuelle Guidelines und neuste Studien gelegt, welche mittels Datenbanken wie Uptodate und Pubmed gefunden wurden.

Den eigentlichen Kern dieser Diplomarbeit stellt jedoch die retrospektive Analyse der Patientinnen und Patienten mit infrarenalem Aortenaneurysma dar. Hierfür wurden Daten der betroffenen Personen aus der Datenbank, den Arztbriefen und Ambulanzkarten der Klinischen Abteilung für Gefäßchirurgie (LKH-Universitätsklinikum Graz), sowie aus dem Patientensystem openMEDOCS erhoben und analysiert. Die präoperativen CT-Bilder wurden für jede Patientin und jeden Patienten im Patientensystem angefordert und heruntergeladen. CT-Bilder, welche nicht im Patientensystem openMEDOCS hinterlegt waren, wurden extern bei den entsprechenden Instituten angefordert. Für die Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission 29 - 451 ex 16/17 vor.

### **3.2 Verwendete Software**

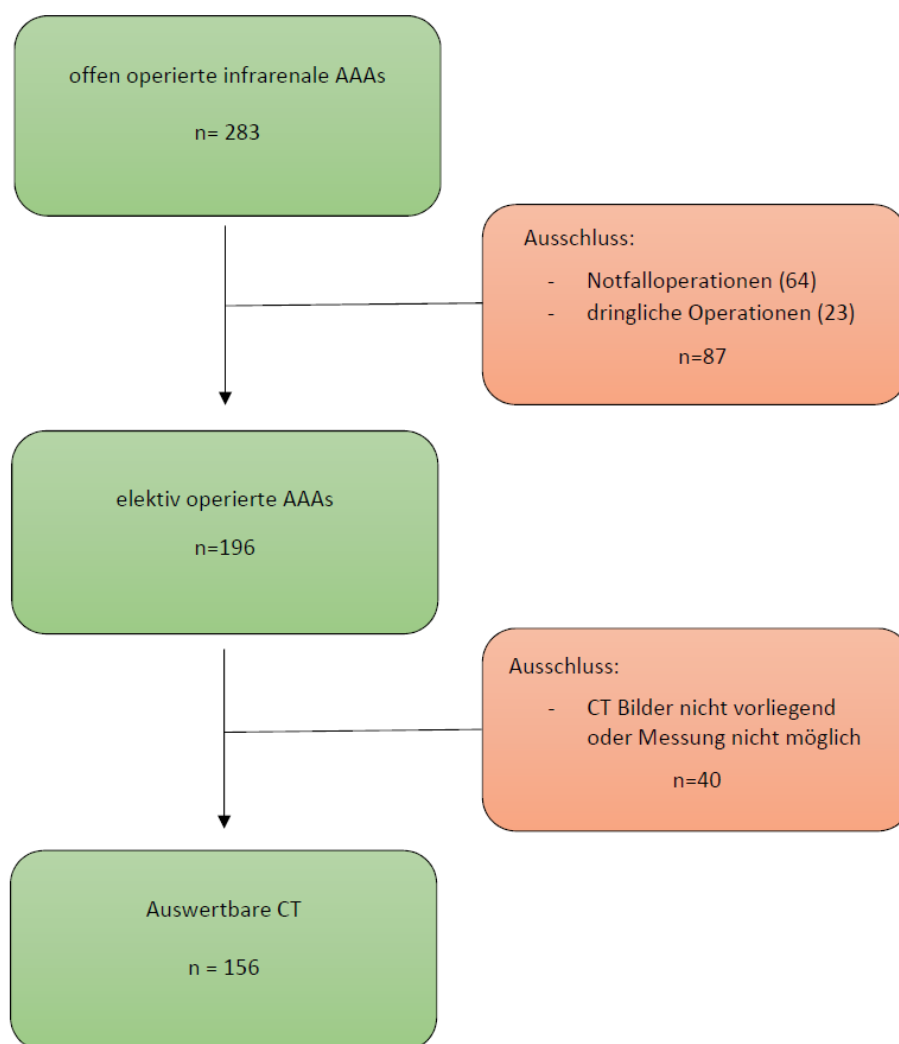
Die Daten wurden in Microsoft Excel 2016 anonymisiert dokumentiert. Für die Vermessung der CT-Bilder wurde auf OsiriX 9.0 zurückgegriffen. OsiriX ist ein DICOM-Viewer, welcher einfache und fortschrittliche Nachbearbeitungstechniken in 2D und 3D ermöglicht [47]. Anschließend wurden die Messergebnisse in die Exceltabelle übertragen und in dieser weiter verrechnet. Zuletzt wurden die Daten in IBM SPSS Statistics Version 23 exportiert und statistisch ausgewertet.

### **3.3 PatientInnencharakteristik**

#### **3.3.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien**

Für diese retrospektive Studie wurden alle Patientinnen und Patienten, welche im Zeitraum vom 01.01.2008 bis zum 31.05.2017 im LKH-Universitätskrankenhaus Graz, durch die Gefäßchirurgie, wegen eines infrarenalen Aortenaneurysmas mittels medianer Laparotomie und Anlage einer Rohrprothese operiert wurden, ein-

geschlossen (n=283). Aus der Studie wurden alle dringlichen Operationen (n=23) und Notfalloperationen (n=64) ausgeschlossen. Behandelte Personen, für die keine präoperativer CT-Bilder vorlagen, welche maximal 90 Tage vor Operation angefertigt wurden, wurden von der Studie ausgeschlossen. Patientinnen oder Patienten mit Aufnahmen, deren Auswertung wegen fehlender Schnittebene oder Artefakten nicht möglich war, wurden ebenso nicht verwendet (n=40). Nach dem Ausschluss wurden von den ursprünglich 283 erhobenen Patientinnen und Patienten 156 weiterführend betrachtet, siehe Abbildung 6.



**Abbildung 6: Auswahl Patientinnen und Patienten**

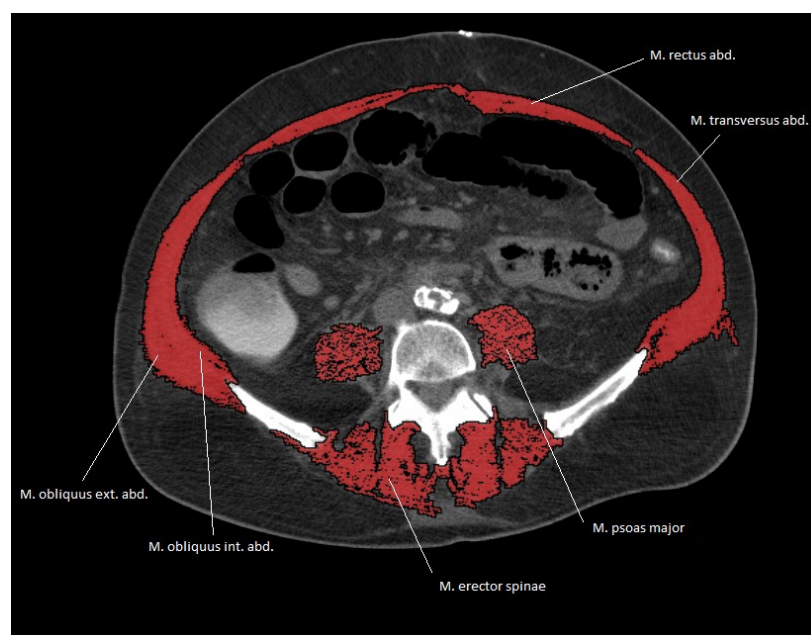
### 3.3.2 Erhobene PatientInnen spezifische Daten

Von den 156 verbliebenen Patientinnen und Patienten wurden, zusätzlich zu den präoperativen CT-Bildern, folgende klinische und epidemiologische Daten erho-

ben: Geschlecht, Alter bei Operation, Größe, Gewicht, BMI, ASA-Klassifikation, max. präoperativer transversaler Aneurysmadurchmesser, Reoperationen aufgrund Komplikationen, Todesdatum und Ursache falls bekannt, Krankenhausaufenthaltsdauer, Intensivaufenthaltsdauer und die Laborwerte bei Aufnahme. Ebenso wurde der Charlson Komorbiditäts-Index für jede Patientin/jeden Patienten anhand des Prämedikation-Anästhesieprotokolls und der Vordiagnosen ermittelt. Dieser Index kann für die Abschätzung der Morbidität und Mortalität von Patientinnen und Patienten anhand 19 prognostisch relevanter Vorerkrankungen (u.a. Herzinfarkt, -insuffizienz, pAVK, Leber- oder Nierenerkrankung) mit einer standardisierten Punktebewertung erfasst werden [48, 49].

### 3.4 Vermessung der Computertomographie Bilder

Die präoperativen CT-Bilder wurden als DICOM-Daten mit Hilfe dem auf MacOS basierenden Programm OsiriX 9.0 vermessen. Es wurde manuell die Schichtaufnahme auf Höhe von Lendenwirbelkörper 3/4 zur weiteren Bearbeitung ausgewählt, auf dem die Cristae iliacae sichtbar waren und die Querschnitte folgender Muskeln (M. psoas major, M. erector spinae, Mm. obliquus int. et ext. abdominis, M. rectus abdominis, M. transversus abdominis) händisch umrandet. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die markierte, beschriebene Bauchwand- und Rückenmuskulatur in der ausgewählten Schnittbildebene.



**Abbildung 7: Bauchwand- und Rückenmuskulatur CT-Schnittbild Höhe L4**

Anschließend wurden die Ränder mit dem Verdränger korrigiert. Aus den generierten Regions of Interest (ROI) wurden die Flächen der einzelnen Muskeln in Quadratcentimeter und die Mittelwerte der Hounsfield-Einheiten (HU) durch das Programm automatisch berechnet. Abbildung 8 zeigt alle eingezeichneten ROIs am Beispiel eines Patienten.

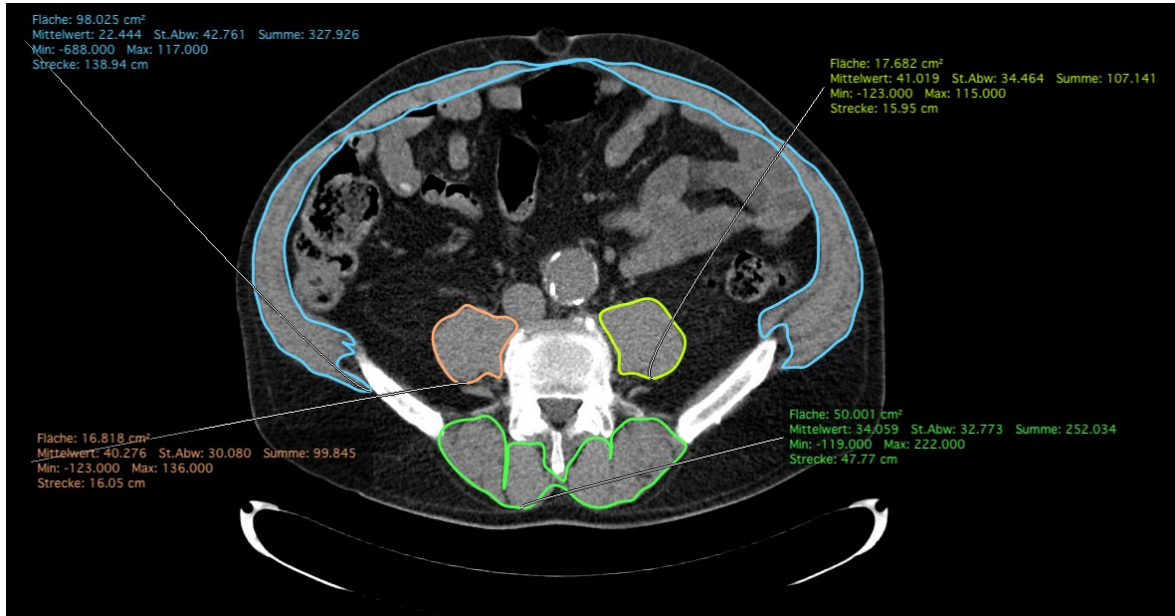


Abbildung 8: eingezeichnete ROIs eines Patienten auf Höhe L4

### 3.5 Quantifizierung der Sarkopenie

Die Sarkopenie wurde anhand von drei Indikatoren quantifiziert. Dem **Total Psoas Index (TPI)**, der **Hounsfield Unit Average Calculation (HUAC)** des M. psoas und dem **Skeletal Muscle Index (SMI)**. Geschlechtsspezifische Quartile der einzelnen Ansätze wurden erzeugt. Als sarkopen wurden jeweils die Patientinnen und Patienten des untersten Quartils innerhalb jedes Indikators definiert. So entstanden die geschlechtsspezifischen Grenzwerte.

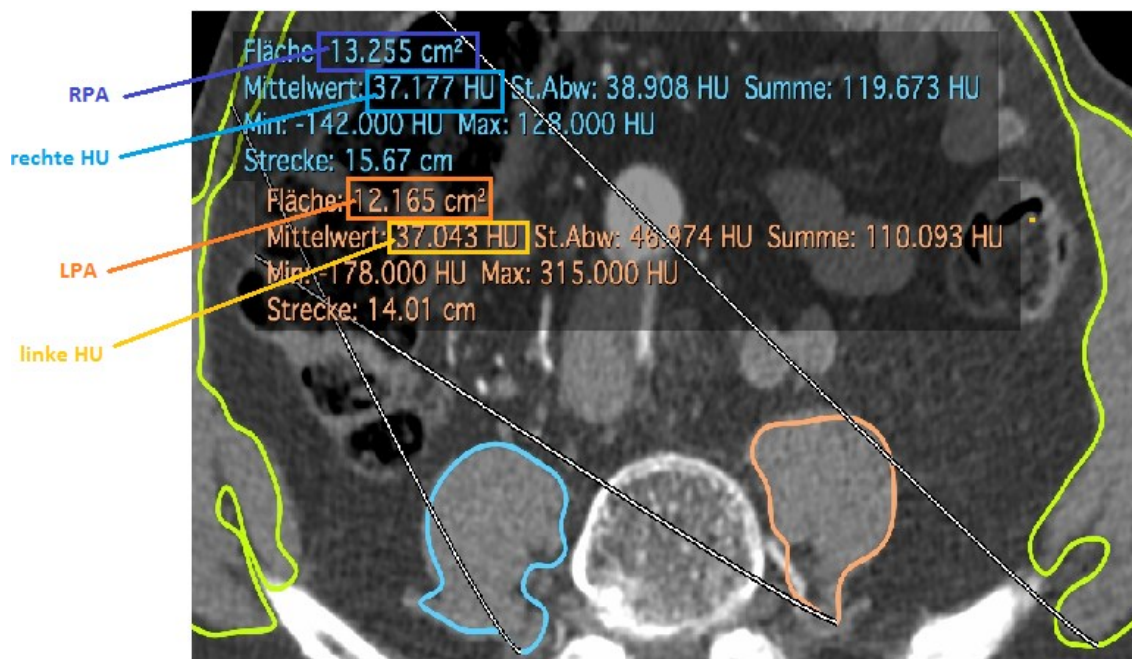
Der **TPI** [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] berechnet sich aus der Total Psoas Area (TPA), welche die Summe der rechten und linken Psoas Fläche [cm<sup>2</sup>] darstellt, normiert auf die Körpergröße.

$$TPI [cm^2/m^2] = \frac{TPA (rechte Psoas Fläche (RPA) [cm^2] + linke Psoas Fläche (LPA) [cm^2])}{(Körpergröße [m])^2}$$

Mit Hilfe der Hounsfield Einheit, als Maß für die Abschwächung von Röntgenstrahlung in Gewebe, kann man mit der **HUAC** des Psoas Muskels dessen tatsächliche Muskeldichte und Fettinfiltration abschätzen. Die Mittelwerte der HU vom linken und rechten M. psoas wurden für die Berechnung der jeweiligen Hounsfield Unit Calculation (HUC) verwendet und daraus die endgültige HUAC des M. psoas als arithmetischen Mittel berechnet.

*Rechte Hounsfield Calculation (RHUC) = (rechte HU \* RPA [cm<sup>2</sup>]) / (TPA [cm<sup>2</sup>]),  
linke Hounsfield Calculation (LHUC [HU]) = (linke HU \* LPA [cm<sup>2</sup>]) / (TPA [cm<sup>2</sup>]) und  
daraus ergibt sich die HUAC [HU] = (RHUC [HU] + LHUC [HU]) / 2.*

Abbildung 9 zeigt graphisch jene Parameter, welche für die TPI- und HUAC-Berechnung am Beispiel eines Patienten benötigt wurden.



**Abbildung 9: CT-Grafik zur Veranschaulichung der Parameter für die Berechnung von TPI und HUAC**

Der **SMI** wurde als Indikator für die gesamte Muskelmasse der Patientinnen und Patienten berechnet. Dazu wurden alle Muskelquerschnittsflächen der eingezeichneten ROIs zusammengerechnet und als Fläche L3/4 (AREA-L3/4) bezeichnet.

*AREA-L3/4 [cm<sup>2</sup>] = Summe aller ausgemessenen Muskelflächen auf Höhe Wirbelkörper-L3/4 (Mm. psoas major, Mm. erector spinae, Mm. obliquus int. et ext. abd., Mm. transversus abd. und M. rectus abd.)*

Der SMI wurde dann auf die Körperoberfläche (BSA) normiert, welche mit Hilfe der Mosteller-Formel [50] abgeschätzt wurde.

*Mosteller-Formel: Körperoberfläche [m<sup>2</sup>] = (Körpergröße [cm] x Gewicht [kg]/3600)<sup>1/2</sup>*

*SMI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] = AREA-L3/4 [cm<sup>2</sup>] / Körperoberfläche [m<sup>2</sup>]*

### **3.6 Statistische Auswertung**

Es wurden alle Variablen mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet. Lag eine Normalverteilung vor, wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben und nach Überprüfung der Varianzhomogenität, mit Hilfe des Levene-Tests, die p-Werte mittels t-Test für unabhängige Stichproben berechnet. Lag keine Normalverteilung vor, wurde der Median und der Interquartilsabstand (Q25-Q75) angegeben und mittels Mann-Whitney-U Test auf Signifikanz überprüft. Zweiseitige p-Werte mit einem Signifikanzniveau  $\alpha < 0,05$  wurden als statistisch signifikant erachtet. Für die p-Werte der Parameter Reoperationen und Postoperative 30-Tages-Mortalität wurde der exakte Test nach Fischer angewandt. Bei einem Nullwert wurde kein Test durchgeführt und deshalb auch kein p-Wert angegeben.

Zur Modellierung des Behandlungsergebnisses wurde für die stetigen Variablen Krankenhausaufenthaltsdauer und Intensivaufenthaltsdauer eine lineare multivariable Regressionsanalyse durchgeführt und für die kategorischen Variablen Reoperationen und 30-Tages-Mortalität eine binär logistische Regression.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Demographie und Charakteristik der Studienpopulation

Zwischen Januar 2008 und Juni 2017 wurden im LKH-Universitätskrankenhaus Graz an der Abteilung für Gefäßchirurgie 196 Personen elektiv an einem infra-renalen Aortenaneurysma offen chirurgisch operiert. 156 Patientinnen und Patienten mit verfügbaren präoperativen CT-Schichtbildaufnahmen, die maximal 90 Tage vor der Operation erstellt wurden, wurden in die Studie eingeschlossen und analysiert. 82,7 % davon waren Männer (n= 129) und 17,3 % Frauen (n=27). Die Eigenschaften der Studienpopulation sind in Tabelle 2 geschlechtsspezifisch dargestellt.

**Tabelle 2: Studienpopulationscharakteristik**

Charakteristik	Männer (n=129)	Frauen (n=27)	p-Wert
Alter (Jahre)	71,3 (65,9-75,6)	73,9 (69,6-78,7)	0,054
Gewicht (kg)	82,0 (74,0-90,0)	72,0 (64,0-83,0)	0,001
Größe (cm)	174,5 ± 6,1	164,8 ± 7,4	<0,001
BMI (kg/m)	26,9 (24,7-29,2)	26,6 (23,0-31,1)	0,750
BSA (m <sup>2</sup> )	1,99 ± 0,16	1,84 ± 0,19	<0,001
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	8,93 ± 1,82	6,45 ± 1,57	<0,001
HUAC [HU]	17,28 (14,12 -20,93)	15,23 (11,14-19,12)	0,181
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	67,05 (62,40-72,73)	54,00 (50,65-58,03)	<0,001
max. AAA-Durchmesser (cm)	6,0 (5,5-6,5)	5,5 (5,0-6,0)	0,011
CCI	2 (1-3)	2 (1-2)	0,041
ASA gesamt (I-IV)	3 (3-4)	3 (3-4)	0,625
Hämoglobin (g/dL)	14,4 ± 1,4	13,41 ± 1,85	0,002
CRP (g/dL)	4,6 (2,2-10,0)	6,4 (2,5-9,0)	0,518
Gesamteiweiß (g/dL)	7,6 (7,2-8,0)	7,4 (7,1-7,7)	0,079
Serumalbumin (g/dL)	4,3 (4,1-4,6)	4,2 (4,0-4,4)	0,111
Krankenhausaufenthalt (Tage)	13 (11-16)	17 (13-21)	0,002
ICU (Tage)	1 (1-2)	2 (1-4)	0,069
Reoperation	5 (3,2 %)	0 (0 %)	
Postoperative 30 Tage-Mortalität	2 (1,3 %)	0 (0 %)	
Nachbeobachtungszeitraum [d]	349 (37-744)	76 (39-760)	0,791

\* signifikant,

Signifikante Unterschiede zwischen Frauen und Männern ergaben sich für die Variablen Gewicht, Größe, BSA, TPI, SMI, max. AAA-Durchmesser, Charlson-Komorbiditäts-Index (CCI), Hämoglobin und Krankenhausaufenthalt. So waren die Männer deutlich größer und schwerer als die operierten Frauen und erzielten höhere BSA Werte, max. AAA Durchmesser, CCI und Hämoglobinwerte. Ein signifi-

kanter Unterschied zeigte sich auch in der Krankenhausaufenthaltsdauer. Bei den Männern lag diese bei mehr als 50 % bei 13 Tagen und mehr, bei 50 % der Frauen lag diese bei 17 Tagen und mehr. Der nicht signifikante Unterschied beim BMI, welcher das Gewicht in Relation zur Körpergröße darstellt, zeigt jedoch, dass sich Männer und Frauen hinsichtlich ihres Körpermasseindexes nicht signifikant unterscheiden.

## 4.2 Sarkopenie anhand morphometrischer Parameter

Die Sarkopenie wurde anhand der Variablen TPI, HUAC und SMI bestimmt. Wie Tabelle 2, die Abbildung 10 und die Abbildung 11 verdeutlichen, sind die Sarkopenieindikatoren TPI und SMI zwischen den Geschlechtern hoch signifikant unterschiedlich ( $p < 0,001$ ). Dies konnte für den HUAC nicht belegt werden, wie Abbildung 12 zeigt.

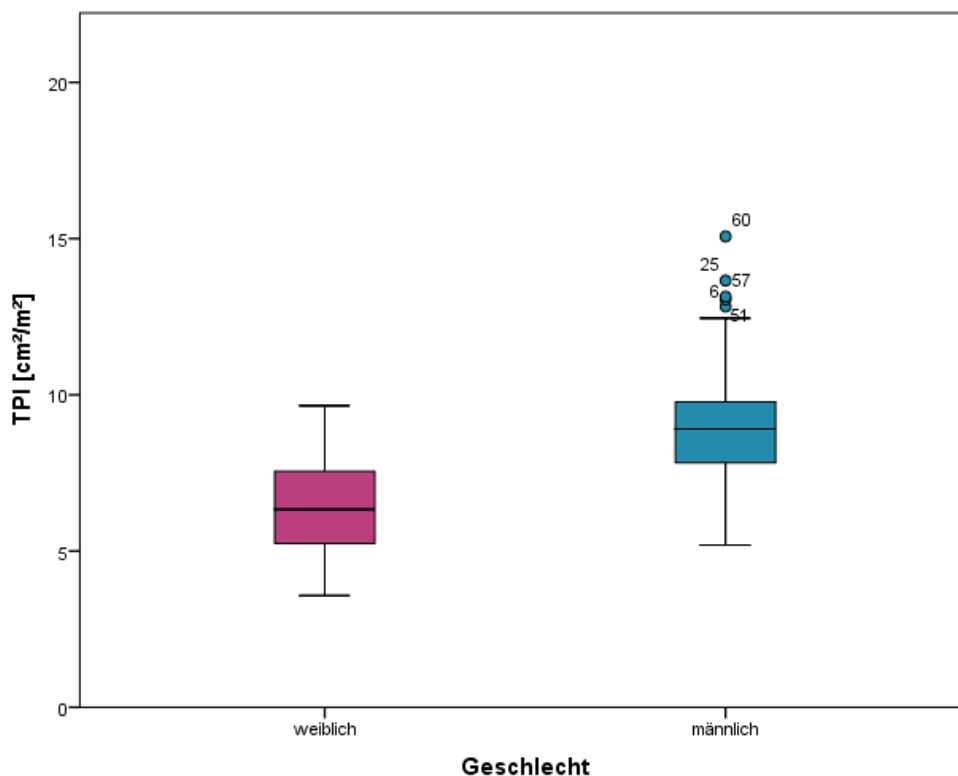


Abbildung 10: TPI [cm²/m²] getrennt nach Geschlecht

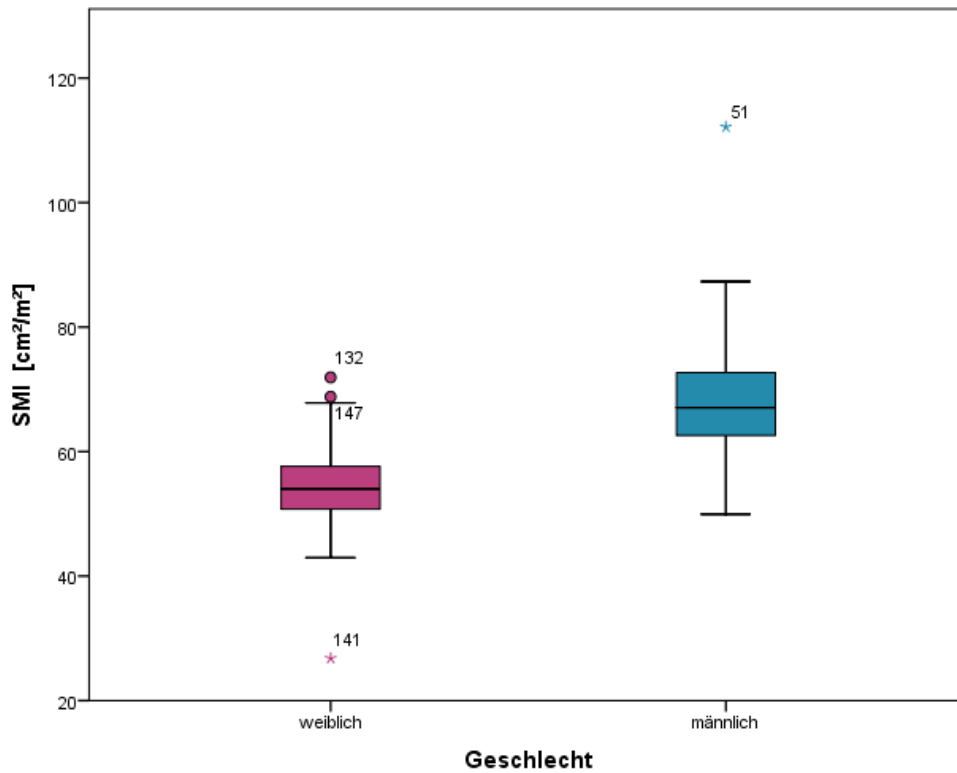


Abbildung 11: SMI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] getrennt nach Geschlecht

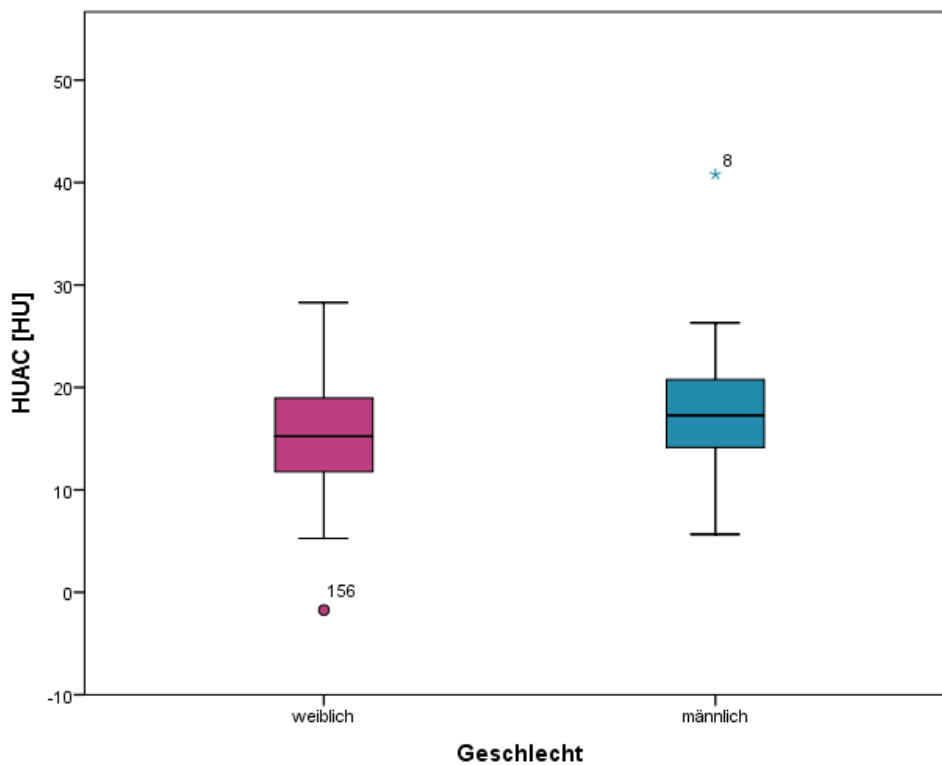


Abbildung 12: HUAC [HU] getrennt nach Geschlecht

Für alle drei Indikatoren, wurden geschlechtsspezifische Grenzwerte definiert. Es wurden diejenigen Männer und Frauen als sarkopen charakterisiert, deren TPI-,

HUAC- oder SMI-Wert innerhalb der niedrigsten geschlechtsspezifischen Quartile lag. Die Grenzwerte lagen beim TPI für Frauen bei 5,08 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> und für Männer bei 7,82 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Der Grenzwert des HUACs lag für Frauen bei 11,14 HU und für Männer bei 14,12 HU. Frauen mit einem SMI-Wert unter 50,65 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> und Männer mit einem SMI-Wert unter 62,40 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> wurden als sarkopen eingestuft. Die Einstufung ist in Tabelle 3 abgebildet.

**Tabelle 3: Grenzwerte der Sarkopenie nach Indikator und Geschlecht**

Indikator	Grenzwerte	
	Frauen (n=27)	Männer (n=129)
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	5,08	7,82
HUAC [HU]	11,14	14,12
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	50,65	62,4

Die als muskelschwach identifizierten Patientinnen und Patienten der einzelnen Parameter unterscheiden sich deutlich. So wurden 3,2 % (n=5) von allen Parametern, 14,7 % (n=23) von zwei Parametern und 35,9 % (n=56) von einem der drei Parameter als sarkopen eingestuft.

Sarkopene Patientinnen und Patienten, welche mittels TPI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] identifiziert wurden, waren mit 74,8 (70,5 – 78,9) Jahren signifikant älter, als ihre Vergleichsgruppe (nicht sarkopene Patientinnen und Patienten nach TPI) mit 70,9 (65,6 – 75,3) Jahren. Ebenso war das Gewicht, der BMI, die Körperoberfläche, HUAC und SMI signifikant unterschiedlich, wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist.

Die Patientinnen und Patienten, welche nach HUAC [HU] als muskelschwach deklariert wurden, waren ebenfalls signifikant älter. Hier waren im Gegensatz zu den anderen Klassifikationen auch die Krankenhausaufenthaltsdauer und die Intensiv-aufenthaltsdauer signifikant erhöht, wie Tabelle 5 zeigt.

Wenn man sich die Gruppen der SMI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] Klassifizierten anschaut, stellt man fest, dass dort kein signifikanter Altersunterschied zwischen nicht-sarkopenen und sarkopenen Personen besteht (p=0,493), siehe Tabelle 6.

**Tabelle 4: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch TPI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]**

Charakteristik	Keine Sarkopenie (n=117)	Sarkopenie (n=39)	p-Wert
Alter (Jahre)	70,9 (65,6 - 75,3)	74,8 (70,5 - 78,9)	0,001
Gewicht (kg)	82,5 ± 12,2	76,1 ± 10,9	0,004
Größe (cm)	172,2 ± 7,6	174,7 ± 6,2	0,062
BMI (kg/m)	28,1 (24,8 - 30)	25,1 (23 - 27,6)	<0,001
BSA (m <sup>2</sup> )	1,98 ± 0,17	1,92 ± 0,17	0,045
HUAC [HU]	17,74 (14,18 - 21,11)	15,53 (11,1 - 18,61)	0,031
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	67,91 (60,63 - 73,45)	60,8 (54,01 - 65,36)	<0,001
max. AAA-Durchmesser (cm)	6 (5 - 6,3)	6 (5,5 - 7)	0,236
CCI	2 (1 - 3)	2 (1 - 3)	0,523
ASA gesamt (I-IV)	3 (3 - 4)	3 (3 - 4)	0,939
Hämoglobin (g/dL)	14,4 (13,5 - 15,3)	14,1 (12,9 - 14,8)	0,132
CRP (g/dL)	4,4 (2,1 - 9,4)	6,5 (2,6 - 12,8)	0,142
Gesamteiweiß (g/dL)	7,6 (7,1 - 7,9)	7,4 (7,2 - 8)	0,672
Serumalbumin (g/dL)	4,3 (4,1 - 4,6)	4,2 (3,9 - 4,5)	0,076
Krankenhausaufenthalt (Tage)	13 (11 - 17)	14 (11 - 17)	0,804
ICU (Tage)	1 (1 - 2)	2 (1 - 3)	0,108
Reoperationen	4 (3,4 %)	1 (2,6 %)	0,633
Postoperative 30 Tage-Mortalität	1 (0,9%)	1 (2,6%)	0,439
Nachbeobachtungszeitraum [d]	351 (42 - 758)	77 (16 - 727)	0,276

\* signifikant

**Tabelle 5: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch HUAC [HU]**

Charakteristik	Keine Sarkopenie (n=117)	Sarkopenie (n=39)	p-Wert
Alter (Jahre)	69,9 ± 7,6	74,8 ± 5,8	<0,001
Gewicht (kg)	80,6 ± 12,4	81,7 ± 11,7	0,643
Größe (cm)	173,1 ± 6,7	172 ± 8,8	0,416
BMI (kg/m)	26,6 (24,2 - 29,1)	27,6 (25,2 - 30,1)	0,210
BSA (m <sup>2</sup> )	1,96 ± 0,17	1,97 ± 0,18	0,813
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	8,71 ± 2,03	7,89 ± 1,85	0,027
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	65,99 (58,74 - 71,55)	65,17 (58,08 - 72,69)	0,865
max. AAA-Durchmesser (cm)	6 (5 - 6)	6 (5,6 - 7)	0,017
CCI	2 (1 - 3)	3 (1 - 4)	0,396
ASA gesamt (I-IV)	3 (3 - 4)	3 (3 - 4)	0,171
Hämoglobin (g/dL)	14,5 (13,5 - 15,2)	14,1 (12,9 - 14,9)	0,341
CRP (g/dL)	4,6 (2,2 - 9,6)	4,8 (2,9 - 11,3)	0,344
Gesamteiweiß (g/dL)	7,6 (7,2 - 8)	7,4 (7,1 - 7,8)	0,202
Serumalbumin (g/dL)	4,4 (4 - 4,6)	4,2 (4,1 - 4,4)	0,159
Krankenhausaufenthalt (Tage)	13 (11 - 16)	15 (12 - 21)	0,012
ICU (Tage)	1 (1 - 2)	2 (1 - 4)	0,015
Reoperationen	3 (2,6 %)	2 (5,1 %)	0,599
Postoperative 30 Tage-Mortalität	2 (1,7 %)	0 (0 %)	
Nachbeobachtungszeitraum [d]	292 (33 - 792)	380 (44 - 742)	0,507

\* signifikant

**Tabelle 6: Vergleich Sarkopenie und Nicht-Sarkopenie klassifiziert durch SMI [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]**

Charakteristik	Keine Sarkopenie (n=117)	Sarkopenie (n=39)	p-Wert
Alter (Jahre)	70,9 ± 7,5	71,8 ± 7,4	0,493
Gewicht (kg)	81,5 ± 12,4	79 ± 11,3	0,263
Größe (cm)	173 (167,5 - 177)	175 (170 - 179)	0,120
BMI (kg/m)	27,5 (7,57 - 29,4)	25,7 (24,2 - 27,7)	0,020
BSA (m <sup>2</sup> )	1,97 ± 0,18	1,95 ± 0,16	0,601
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	8,81 ± 2,03	7,58 ± 1,64	0,001
HUAC [HU]	16,97 (13 - 20,4)	17,49 (14,42 - 21,92)	0,155
max. AAA-Durchmesser (cm)	6 (5 - 6,5)	6 (5,5 - 6)	0,371
CCI	2 (1 - 3)	2 (1 - 3)	0,435
ASA gesamt (I-IV)	3 (3 - 4)	3 (3 - 4)	0,091
Hämoglobin (g/dL)	14,3 (13,5 - 15,2)	14,4 (13 - 15,2)	0,652
CRP (g/dL)	4,6 (2,1 - 9,1)	7 (2,7 - 15)	0,107
Gesamteiweiß (g/dL)	7,5 (7,1 - 7,9)	7,5 (7,2 - 8)	0,661
Serumalbumin (g/dL)	4,3 (4,1 - 4,5)	4,3 (3,9 - 4,6)	0,333
Krankenhausaufenthalt (Tage)	14 (11 - 17)	13 (11 - 17)	0,844
ICU (Tage)	2 (1 - 3)	1 (1 - 2)	0,210
Reoperation	5 (4,3 %)	0 (0 %)	
Postoperative 30 Tage-Mortalität	1 (0,9%)	1 (2,6%)	0,439
Nachbeobachtungszeitraum [d]	292 (41 - 736)	357 (12 - 829)	0,944

\* signifikant

### 4.3 Krankenhausaufenthalts- und Intensivaufenthaltsdauer

50 % aller Patientinnen und Patienten mussten 14 Tage stationär betreut werden, wobei sie davon einen Tag auf der Intensivstation waren. Die Hälfte der Frauen waren mit 17 (13-21) Tagen signifikant ( $p=0,002$ ) länger im Krankenhaus als 50 % der Männer mit 13 (11-16) Tagen, wie auch in Tabelle 2 ersichtlich ist. Ein signifikanter Unterschied in der Krankenhausaufenthaltsdauer zwischen allen männlichen und weiblichen Sarkopeniepatientinnen/-patienten und den Nicht-Sarkopeniepatientinnen/-patienten konnte nur in der nach HUAC klassifizierten Gruppen belegt werden ( $p=0,012$ ).

**Tabelle 7: Krankenhausaufenthalt in Tagen**

Klassifiziert	Keine Sarkopenie n=117	Sarkopenie n=39	p-Wert
nach TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	13 (11 - 17)	14 (11 - 17)	0,804
nach HUAC [HU]	13 (11 - 16)	15 (12 - 21)	0,012
nach SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	14 (11 - 17)	13 (11 - 17)	0,844

Um die Effekte der Sarkopenie auf die Krankenhausaufenthaltsdauer und Intensivaufenthaltsdauer genauer zu charakterisieren und dabei bedeutende Einflussfaktoren wie das Alter, Geschlecht und den ASA-Score nicht unberücksichtigt zu lassen, wurde folgende multivariable lineare Regressionsanalyse durchgeführt:

$$\ln(Y) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Alter} + \beta_2 \text{Geschlecht} + \beta_3 \text{ASA} + \beta_4 \text{Sarkopenieparameter}(X)$$

Für Y wurde entsprechend die Krankenhausaufenthaltsdauer [d] bzw. die Intensivaufenthaltsdauer [d] eingesetzt. Für den Sarkopenieparameter X entsprechend TPI, HUAC oder SMI (alle stetig). Um die prozentuelle Änderung in Y ( $\Delta Y$ ) in diesem logarithmierten Modell anzugeben wurde nach dieser Formel  $\Delta Y = (e^\beta - 1) * 100$  [%] die notwendige Transformation zur Entlogarithmierung verwendet [51]. Die Krankenhausaufenthaltsdauer und Intensivaufenthaltsdauer wurde logarithmiert, um die Normalverteilung der Residuen sicher zu stellen. Alle anderen nötigen Annahmen wurden ebenfalls erfüllt.

**Tabelle 8: Krankenhausaufenthaltsdauer Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI; adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA**

	$\beta$	$\Delta Y$	p-Wert	CI	R-Quadrat
HUAC [HU]	-0,010	-1,00 %	0,085	-0,021 - 0,001	0,165
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,009	0,90 %	0,612	-0,025 - 0,042	0,150
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,004	0,40 %	0,207	-0,002 - 0,010	0,157

Tabelle 8 zeigt den regressierten Einfluss von HUAC, TPI und SMI auf die Krankenhausaufenthaltsdauer, adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA-Wert. Es wird deutlich, dass keiner der Sarkopenieparameter einen signifikanten Einfluss auf die Verweildauer im Krankenhaus hat.

**Tabelle 9: Intensivaufenthaltsdauer Regressionsmodell für HUAC, TPI UND SMI; adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA**

	$\beta$	$\Delta Y$	p-Wert	CI	R-Quadrat
HUAC [HU]	-0,020	-1,98 %	0,090	-0,042 - 0,003	0,116
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	-0,051	-4,97 %	0,136	-0,119 - 0,016	0,112
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,003	0,30 %	0,658	-0,009 - 0,015	0,100

Tabelle 8 zeigt den regressierten Einfluss von HUAC, TPI und SMI auf die Krankenhausaufenthaltsdauer, adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA-Wert. Es wird

deutlich, dass keiner der Sarkopenieparameter einen signifikanten Einfluss auf die Verweildauer im Krankenhaus hat.

Tabelle 9 zeigt weiter, dass auch kein signifikanter Einfluss auf die Intensivverweildauer durch HUAC, SMI oder TPI identifizierten sarkopenen Patientinnen und Patienten besteht.

Betrachtet man nun die Regressionsanalyse für die Aufenthaltsdauer am Beispiel des HUAC-Parameters, sieht man, dass ein um eine HU-Einheit höherer HUAC-Wert die Krankenhausaufenthaltsdauer um 1% im Durchschnitt senken würde. Unter Berücksichtigung, dass keine Signifikanz vorliegt, kann man von einer Tendenz zur Signifikanz ( $p=0,085$ ) sprechen. Frauen sind durchschnittlich 20,5% länger im Krankenhaus als Männer ( $p=0,002$ ) und ein um eine Stufe höherer ASA-Wert führt zu einer durchschnittlichen Krankenhausaufenthaltsverlängerung um 15,8 % ( $p=0,002$ ). Das Alter hat keinen Einfluss auf die Aufenthaltsdauer.

#### 4.4 Reoperationen und Mortalität

Die Reoperationsrate aufgrund einer Komplikation war sehr gering. 3,2 % ( $n=5$ ) aller Patientinnen und Patienten mussten reoperiert werden, wobei davon 100% männlich waren. 1,2 % ( $n=2$ ) verstarben innerhalb der ersten 30 Tage nach Operation.

Ein binär logistisches Regressionsmodell soll den Einfluss der Sarkopenie auf die Reoperationsrate, wegen einer Komplikation und die 30-Tages-Mortalität abbilden. Hierzu wurde ein Modell nachfolgendem Ansatz erstellt:

$$P(Y) \sim \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 \text{Alter} + \beta_2 \text{ASA} + \beta_3 X)}}$$

Y ist je nach Modell die kategorische Variable für komplikationsbedingte Reoperation oder 30-Tages-Mortalität. Für X wurde TPI, HUAC oder SMI (alle stetig) eingesetzt. Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigen die Ergebnisse der Regressionsmodelle. In dem Modell für komplikationsbedingte Reoperation liegt für die Variable TPI [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ] eine Signifikanz vor ( $p=0,046$ ). Steigt der TPI um eine Einheit, so nimmt

die relative Wahrscheinlichkeit einer Reoperation aufgrund einer Komplikation um 61,9 % zu.

Das *R*-Quadrat nach Nagelkerke beträgt 0,18, was einem starken Effekt entspricht ( $f=0,46$ ) [52]. Die Regressionsanalysen zeigten, dass die Modelle allerdings als Ganzes nicht signifikant sind.

**Tabelle 10: komplikationsbedingte Reoperation Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI, adjustiert auf Alter und ASA-Wert**

	Odds Ratio	p-Wert	95 % CI
HUAC [HU]	0,909	0,315	0,754 - 1,095
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,619	0,046	1,008-2,603
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,024	0,499	0,956-1,096

**Tabelle 11: 30-Tages-Mortalität Regressionsmodell für HUAC, TPI und SMI, adjustiert auf Alter**

	Odds Ratio	p-Wert	95 % CI
HUAC [HU]	1,146	0,333	0,869-1,512
TPI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,647	0,299	0,285-1,470
SMI [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,96	0,574	0,831-1,108

Insgesamt sind 5,6 % (n=9) Personen innerhalb ihres Beobachtungszeitraumes verstorben. Eine Cox-Regression zur Modellierung der Überlebenszeit wurde durchgeführt, allerdings lässt dieses Modell aufgrund zu geringer Datenlage keine valide Aussage zu und wird deswegen nicht weiter aufgeführt.

## 5 Diskussion

Die Morbidität und Mortalität im Rahmen der Behandlung von Bauchaortenaneurysmen werden viel diskutiert. Oft stehen Ärzte und Kranke vor der Entscheidung, ob eine konventionelle Operation mittels medianer Laparotomie oder eine endovaskuläre Sanierung für die einzelne Patientin/ den einzelnen Patienten Vorteile bringt. Schlussendlich bestimmen das Ergebnis und die postoperativen Komplikationen, ob die gewählte klinische Behandlungsoption für die Patientin/ den Patienten die beste war. Präoperative verlässliche Vorhersagen bezüglich des Operationsergebnisses und der Komplikationsraten könnten bei der Auswahl der individuell besten Behandlungsmöglichkeit hilfreich sein. Sarkopenie, der degenerative Verlust der Skelettmuskelmasse und Surrogatmarker für Gebrechlichkeit, hat als wichtiger Prädiktor für Komplikationen und Mortalität bei tumorchirurgischen Eingriffen bereits an Bedeutung gewonnen. Obwohl Sarkopenie inzwischen ICD codiert wurde und neben einer verminderten Muskelmasse auch verminderte Muskelkraft oder verminderte körperliche Leistungsfähigkeit als Diagnosekriterien vorliegen, wurde Sarkopenie in etlichen wissenschaftliche Studien anhand reiner morphologischer Parameter gemessen und quantifiziert. Die Mehrzahl dieser Studien hat, ebenso wie die vorliegende Arbeit, CT-Schichtbildaufnahmen halbautomatisch vermessen und die Sarkopenie mit Hilfe der Muskelquerschnittsflächen definiert. Es wurden dabei verschiedene Messungen der Muskulatur zur Quantifizierung der Sarkopenie verwendet. Überwiegend wurde auf Höhe der Lendenwirbelkörper 3/4 gemessen.

Ziel dieser Arbeit war es, sarkopene Patientinnen und Patienten, welche elektiv offen chirurgisch wegen eines abdominellen Bauchaortenaneurysmas, an der Abteilung für Gefäßchirurgie des LKH-Universitätskrankenhaus Graz zwischen 01.01.2008 und 31.05.2017, operiert wurden, anhand präoperativer CT-Schichtbildaufnahmen zu identifizieren und die Ergebnisse der Operationen anhand von Krankenhausaufenthaltsdauer, Intensivaufenthaltsdauer, komplikationsbedingten Reoperationen, Morbidität und Mortalität zu vergleichen. Dazu wurden die Daten von 283 Patientinnen und Patienten retrospektiv erfasst. Nach Anwendung definierter Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Daten von 156 Personen ausgewertet.

Während andere Studien in der Regel nur einen Parameter, wie den Skeletal Muscle Index (SMI) oder den Total Psoas Index (TPI) oder die Hounsfield Unit Average Calculation (HUAC) verwendeten, wurden für diese Arbeit alle drei Parameter bestimmt und untereinander verglichen. Da in bereits veröffentlichten Studien die drei Parameter als gleichwertig behandelt werden, wurde angenommen, dass sich die drei Parameter gleichermaßen für die Identifikation von Sarkopenie eignen und so jedes Verfahren zu ähnlichen Ergebnissen führen müsste. Die Parameter TPI und SMI ergeben sich durch die Querschnittsfläche der Muskeln normiert auf die Körpergröße bzw. beim SMI auf die Körperoberfläche. In der Computertomographie ruft Muskelmasse eine andere Abschwächung der Röntgenstrahlen, gemessen in Hounsfield-Einheiten (HU), hervor, als z.B. Fettgewebe oder Blutgefäße. Bei der Berechnung der HUAC wird sich dies zum Vorteil gemacht, und die Fetteinlagerungen und Blutgefäße im Muskel werden herausgerechnet, sodass sich die HUAC auf die reine Muskelmasse bezieht. Wie es aufgrund der geschlechtsspezifisch unterschiedlichen Muskel- und Fettmassenverteilung zu erwarten war, haben Männer durchschnittlich einen höheren TPI und SMI als Frauen, was signifikant gezeigt werden konnte. Die vorliegende Studie zeigt, dass sich für geschlechtsunabhängige Betrachtung am ehesten die HUAC als Quantifizierungsmethode der Sarkopenie eignet, da sich die HUAC von Männern und Frauen nicht signifikant unterscheidet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die reine Muskelmasse, abzüglich Fetteinlagerungen und Blutgefäße zur Berechnung verwendet wird. Ein fettdurchzogener Muskel wird folglich als schwächer definiert als ein fettarmer Muskel mit identischer Querschnittsfläche. Die vorliegende Studie zeigt weiter, dass die Annahme, dass alle drei Parameter gleichermaßen zur Definition von Sarkopenie geeignet sind, nicht belegt werden kann. Im hier ausgewerteten Datensatz (n=156) stimmen nur 3,2 % (n=5) aller als sarkopen definierten Personen in allen drei Parametern überein. 14,7 % (n=23) der sarkopenen Personen wurden von je zwei Parametern als sarkopen eingestuft. Der größte Anteil der als sarkopen eingestuften Personen, insgesamt 35,9 % (n=56) wurden nur von einem der drei Parameter als sarkopen eingestuft.

In den meisten veröffentlichten Studien wurden onkologische Patientinnen und Patienten in die Studien eingeschlossen, was zu einer Verzerrung (Bias) führt. Zudem ist bei dieser Patientengruppe ein weiterer nicht unwichtiger Einflussfaktor,

die maligne Tumorerkrankung zu berücksichtigen. Tumorerkrankte neigen dazu, mit dem Fortschreiten der Erkrankung kachektisch und sarkopen zu werden. Durch die Berücksichtigung des onkologischen Einflusses, kann bei diesen Studien keine valide Aussage bezüglich nicht onkologischen Patientinnen und Patienten getroffen werden. In der vorliegenden Studie wurden alle Patientinnen und Patienten eingeschlossen die elektiv an einem infrarenalen Bauchaortenaneurysma operiert wurden, und deren Daten aufgrund einer ausreichenden Dokumentation ausgewertet werden konnten. Eine Tumorerkrankung stellte bei der Auswahl der Studienpopulation kein Einschluss- und auch kein Ausschlusskriterium dar. Dies führt zu einer geringeren Verzerrung und damit zu einer aussagekräftigeren Studie.

Für die klinische Praxis ist es besonders wichtig, Sarkopenie als Prädiktor einfach erkennen zu können, um gegebenenfalls effektiv entgegensteuern und damit das Ergebnis von Operationen für die Behandelten individuell verbessern zu können. Während onkologische Studien anhand des TPI, SMI oder HUAC beeindruckend demonstrieren, dass die Sarkopenie anhand genannter Parameter einen Einfluss auf die Krankenhausaufenthaltsdauer, Komplikationen und die postoperative Mortalität hat, kann dies in der vorliegenden Arbeit nicht für gewählte AAA-Patientinnen und -Patienten gezeigt werden. Deskriptiv signifikant konnte zwar gezeigt werden, dass die nach HUAC identifizierten sarkopenen Personen eine längere Krankenhausaufenthaltsdauer und Intensivliegedauer hatten, was für die nach TPI und SMI identifizierten Personen nicht gezeigt werden konnte. Allerdings konnte dieser Effekt in einer multivariablen Regressionsanalyse nicht bestätigt werden, da adjustiert auf Alter, Geschlecht und ASA-Klassifikation, der Effekt, dass eine um eine HU-Einheit höhere HUAC die Krankenhausaufenthaltsdauer um 1 % im Durchschnitt senken würde, sehr klein wurde und mit einem p-Wert von 0,085 lediglich zur Signifikanz tendierte.

Im Vergleich zwischen TPI, SMI und HUAC identifizierten Patientinnen und Patienten konnte gezeigt werden, dass die HUAC von allen drei betrachteten Parametern am besten für eine mögliche klinische Risikostratifizierung geeignet ist, da diese geschlechtsunabhängig angewandt werden kann, da kein signifikanter Unterschied zwischen Frauen und Männern besteht. Die HUAC zeigt einen tendenzi-

ellen, aber dennoch nicht signifikanten Einfluss auf die Krankenhausaufenthaltsdauer, ist klinisch einfach und mit wenig Aufwand zu erheben und berücksichtigt zudem neben der Querschnittsfläche der Psoasmuskulatur auch die Fett- und Gefäßinfiltration.

Ein Effekt der Sarkopenie auf die komplikationsbedingte Reoperationsrate und die 30-Tages Mortalität lässt sich wegen zu geringer Datenlage nicht signifikant modellieren. Somit konnte mit dieser Studie kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden. Eine Cox-Regressionsanalyse zur Modellierung der Überlebenszeiten erbrachte ebenfalls keine validen Ergebnisse und wurde deswegen nicht weiter betrachtet. Es konnte aber bereits in ähnlichen Studien gezeigt werden, dass eine größere Querschnittsfläche der Psoas Muskulatur sich positiv auf die Überlebenszeit nach einer offenen AAA Sanierung auswirkt [53, 54].

Limitierend ist zu nennen, dass die Sarkopenie nur anhand von morphometrischen Parametern charakterisiert wurde und die Gebrechlichkeit (Frailty) nicht erfasst wurde und somit keine Korrelation zum funktionellen Status möglich war. Der funktionelle Status umfasst den Grad der Beeinträchtigung der Alltagsfunktionen einer Patientin/ eines Patienten [55]. In einer großen amerikanischen gefäßchirurgischen Studie (n=13432) wurde bereits eindrucksvoll gezeigt, dass Pflegebedürftige, welche elektiv endovaskulär aufgrund eines AAAs behandelt wurden ein schlechteres Behandlungsergebnis, mit einem erhöhten 30-Tage-Mortalitätsrisiko und einen längeren Krankenhausaufenthalt zu erwarten haben [56].

In einer weiteren gefäßchirurgischen randomisierten kontrollierten Studie konnte gezeigt werden, dass ein präoperativ weiterführendes geriatrisches Assessment und die Optimierung des individuellen Behandlungsplanes durch z.B. Physiotherapie und/oder Ergotherapie den Krankenhausaufenthalt signifikant verkürzt. Ebenso wurden eine geringere Komplikationsrate und eine geringe Pflegebedürftigkeit nach Entlassung beobachtet. [57]

Bei dieser Studie gibt es noch weitere Limitationen zu beachten. So ist das retrospektive Design der Studie zu nennen. Die Messungen der morphometrischen Parameter wurden von nur einem verblindeten Untersucher durchgeführt. Es wurden nur offen chirurgische Patientinnen und Patienten in die vorliegende Studie eingeschlossen, dies macht aber nur ca. 60 % der elektiv behandelten Patientin-

nen und Patienten aus. Diese Gruppe stellt im Vergleich zu den elektiv endovaskulär sanierten Patientinnen und Patienten die physisch und klinisch fitteren Patientinnen und Patienten dar. Die Reoperationsrate aufgrund einer Komplikation und die 30-Tages-Mortalität war zwar aus Sicht der behandelten Personen erfreulich gering, jedoch konnte aufgrund der geringen Anzahl statistisch kein aussagekräftiges Ergebnis erbracht werden. Eine weitere Limitation stellt die Situation dar, dass die Operationen von verschiedenen Gefäßchirurgen durchgeführt wurden und so die Vergleichbarkeit teilweise eingeschränkt ist. Limitierend ist auch die Geschlechterverteilung in der Studie. So wurden deutlich mehr Männer als Frauen in die Studie eingeschlossen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Männer deutlich öfters als Frauen an einem Aortenaneurysma erkranken. Die geringe Fallzahl von 27 Frauen reduziert somit die statistische Aussagekraft.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die HUAC zur Quantifizierung der Sarkopenie besser geeignet ist als der SMI und der TPI. Sie ist als einziger Parameter geschlechtsunabhängig und kann mit wenig Aufwand bestimmt werden. Obwohl nach Regression keine statistisch signifikante Aussage möglich war, gibt es Indizien dafür, dass Sarkopenie nach HUAC die Krankenhausliegedauer verlängern könnte. Dies sollte Gegenstand einer größeren prospektiven Studie werden.

## 6 Literatur

1. World report on ageing and health. Geneva: WHO, 2015
2. Anker SD, Morley JE, Haehling S von. Welcome to the ICD-10 code for sarcopenia. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle* 2016; 7: 512–514
3. Joglekar S, Asghar A, Mott SL, et al. Sarcopenia is an independent predictor of complications following pancreatectomy for adenocarcinoma. *Journal of Surgical Oncology* 2015; 111: 771–775
4. Harimoto N, Shirabe K, Yamashita Y-I, et al. Sarcopenia as a predictor of prognosis in patients following hepatectomy for hepatocellular carcinoma. *The British Journal of Surgery* 2013; 100: 1523–1530
5. Miyamoto Y, Baba Y, Sakamoto Y, et al. Sarcopenia is a Negative Prognostic Factor After Curative Resection of Colorectal Cancer. *Annals of Surgical Oncology* 2015; 22: 2663–2668
6. Sabel MS, Lee J, Cai S, Englesbe MJ, Holcombe S, Wang S. Sarcopenia as a prognostic factor among patients with stage III melanoma. *Annals of Surgical Oncology* 2011; 18: 3579–3585
7. Iritani S, Imai K, Takai K, et al. Skeletal muscle depletion is an independent prognostic factor for hepatocellular carcinoma. *Journal of Gastroenterology* 2015; 50: 323–332
8. W de G. Waldeyer Anatomie des Menschen (19. Aufl. 2012)
9. Debus, ES, Gross-Fengels, W (Hrsg.). Operative und interventionelle Gefäßmedizin. Berlin Heidelberg: Springer, 2012
10. Aneurysms - Cardiac Health. <https://www.cardiachealth.org/vascular-diseases/aneurysms/> (letzter Zugriff am: 05.11.2017)
11. Erkrankungen der Hauptschlagader (Aorta) - Asklepios Klinik St. Georg. <https://www.asklepios.com/hamburg/sankt-georg/experten/angiologie/hauptschlagader-aorta/> (letzter Zugriff am: 05.01.2018)
12. Gesundheitsinformation, DVf, Heidelberg, Germany. Aneurysma | Ursachen, Symptome, Diagnose und Therapie. <http://www.leading-medicine-guide.de/Medizinische-Fachartikel/Aneurysma> (letzter Zugriff am: 05.01.2018)
13. Hepp, W (Hrsg.). Gefäßchirurgie. München: Elsevier Urban & Fischer, 2007
14. Eckstein, H. H. (Hrsg.) Erkrankungen der Hauptschlagader (Aorta). München, Mai 2017

15. Wilminck AB, Pleumeekers HJ, Hoes AW, et al. The infrarenal aortic diameter in relation to age. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 1998; 16: 431–437
16. Singh K. Prevalence of and Risk Factors for Abdominal Aortic Aneurysms in a Population-based Study. *American Journal of Epidemiology* 2001; 154: 236–244
17. Espinola-Klein C, Neufang A, Düber C. Infrarenales Aortenaneurysma. *Der Internist* 2008; 49: 955-64; Quiz 965-6
18. Moll FL, Powell JT, Fraedrich G, et al. Management of abdominal aortic aneurysms clinical practice guidelines of the European society for vascular surgery. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery* 2011; 41 Suppl 1: S1-S58
19. Heider P, Wolf O, Reeps C, et al. Aneurysmen und Dissektionen der thorakalen und abdominellen Aorta. *Chirurg* 2007; 78: 600, 602-6, 608-10
20. Badger SA, Jones C, McClements J, Lau LL, Young IS, Patterson CC. Surveillance strategies according to the rate of growth of small abdominal aortic aneurysms. *Vascular Medicine (London, England)* 2011; 16: 415–421
21. Brady AR, Thompson SG, Fowkes FGR, Greenhalgh RM, Powell JT. Abdominal aortic aneurysm expansion. *Circulation* 2004; 110: 16–21
22. Management of Abdominal Aortic Aneurysms Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery - pdf. <http://www.ejves.com/article/S1078-5884%2810%2900560-5/pdf> (letzter Zugriff am: 25.01.2018)
23. Leitlinie zum Bauchaortenaneurysma. Leitlinie zu Diagnostik und Therapie der Aneurysmen der infrarenalen Aorta abdominalis. Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Gefäßchirurgie (Hrsg.). *Gefäßchirurgie* 2003; 8: 213–216
24. Debus ES, Grundmann RT. *Evidenzbasierte Gefäßchirurgie*. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015
25. Filardo G, Powell JT, Martinez MA-M, Ballard DJ. Surgery for small asymptomatic abdominal aortic aneurysms. *The Cochrane database of systematic reviews* 2015: CD001835
26. Chaikof EL, Brewster DC, Dalman RL, et al. The care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *Journal of Vascular Surgery* 2009; 50: S2-49
27. Pfeiffer T, Sandmann W. Infrarenales Aortenaneurysma. In: Bauch J, Betzler M, Lobenhoffer P (Hrsg.). *Chirurgie upgrade* 2004. Berlin: Springer, 2004: 155–170

28. Schumacher H, Eckstein HH, Kallinowski F, Allenberg JR. Morphometry and classification in abdominal aortic aneurysms. *Journal of Endovascular Surgery : the official journal of the International Society for Endovascular Surgery* 1997; 4: 39–44
29. Allenberg JR, Schumacher H, Eckstein HH, Kallinowski F. Das infrarenale abdominelle Aortenaneurysma (AAA). *Zentralblatt für Chirurgie* 1996; 121: 721–726
30. Deutscher Ärzteverlag GmbH, Ärzteblatt, RD. Stand der Chirurgie des infrarenalen Aortenaneurysmas: Prävalenz und Versorgungssituation. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/8223/Stand-der-Chirurgie-des-infrarenalen-Aortenaneurysmas-Praevalenz-und-Versorgungssituation> (letzter Zugriff am: 25.01.2018)
31. Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, et al. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic). *Circulation* 2006; 113: e463-654
32. Keats AS. The ASA classification of physical status--a recapitulation. *Anesthesiology* 1978; 49: 233–236
33. Dünschede F, Vahl CF, Dorweiler B. Technik des offenen Bauchaortenersatzes. *Z Herz- Thorax- Gefäßschir* 2012; 26: 356–365
34. Hertzner NR, Mascha EJ, Karafa MT, O'Hara PJ, Krajewski LP, Beven EG. Open infrarenal abdominal aortic aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery* 2002; 35: 1145–1154
35. Pfeiffer T, Reiher L, Grabitz K, Sandmann W. Ergebnisse der konventionellen chirurgischen Therapie des abdominellen Aortenaneurysmas seit Beginn der „endovasculären Ära“. *Chirurg* 2000; 71: 72–79
36. Flessenkämper I. Über 50 Jahre AAA-Therapie. *Gefäßschirurgie* 2004; 9: 316–323
37. Kaiser MM, Wenk H, Sassen R, Müller G, Bruch HP. Ischämische Colitis nach gefäßchirurgischer Rekonstruktion des Bauchaortenaneurysmas. *Chirurg* 1996; 67: 380–386
38. Erbel R, Eggebrecht H, Falk V, Haverich A, Nienaber C, Sechtem U. Kommentar zur 2014-Leitlinie der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) zur Diagnose und Therapie von Aortenerkrankungen. *Kardiologie* 2015; 9: 348–353
39. Rosenberg IH. Sarcopenia. *The Journal of Nutrition* 1997; 127: 990S-991S
40. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al. Sarcopenia. *Age and Ageing* 2010; 39: 412–423

41. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 2006; 61: 1059–1064
42. Janssen I, Baumgartner RN, Ross R, Rosenberg IH, Roubenoff R. Skeletal muscle cutpoints associated with elevated physical disability risk in older men and women. *American Journal of Epidemiology* 2004; 159: 413–421
43. Morley JE. Sarcopenia. *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 2008; 12: 452–456
44. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, Ahadi Z, Larijani B, Heshmat R. Prevalence of sarcopenia in the world. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders* 2017; 16: 21
45. Chien M-Y, Huang T-Y, Wu Y-T. Prevalence of sarcopenia estimated using a bioelectrical impedance analysis prediction equation in community-dwelling elderly people in Taiwan. *Journal of the American Geriatrics Society* 2008; 56: 1710–1715
46. NIH Consensus statement. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. December 12-14, 1994. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)* 1996; 12: 749–762
47. OsiriX | OsiriX MD. <http://www.osirix-viewer.com/osirix/osirix-md/> (letzter Zugriff am: 01.02.2018)
48. Pschyrembel Online | Charlson-Komorbiditätsindex. <https://www.pschyrembel.de/Charlson-Komorbidit%C3%A4tsindex/K0PUP> (letzter Zugriff am: 01.02.2018)
49. charlson comorbidity index. <https://www.onkopedia.com/de/wissensdatenbank/wissensdatenbank/wissensdatenbank/geriatrische-onkologie/CharlsonKomorbidittsindex.pdf> (letzter Zugriff am: 01.02.2018)
50. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *The New England Journal of Medicine* 1987; 317: 1098
51. Linear Regression Models with Logarithmic Transformations - Semantic Scholar. <https://www.semanticscholar.org/paper/Linear-Regression-Models-with-Logarithmic-Transformations-Benoit/169cc9bbbd77cb7cec23481f6ecb2ce071e4e94e?tab=abstract> (letzter Zugriff am: 19.03.2018)
52. Cohen J. Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science* 1992; 1: 98–101

53. Lee JS-J, He K, Harbaugh CM, et al. Frailty, core muscle size, and mortality in patients undergoing open abdominal aortic aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery* 2011; 53: 912–917
54. Shah N, Abeysundara L, Dutta P, et al. The association of abdominal muscle with outcomes after scheduled abdominal aortic aneurysm repair. *Anaesthesia* 2017; 72: 1107–1111
55. Wedding U, Höffken K. Funktioneller Status. In: Höffken K, Kolb G, Wedding U (Hrsg.). *Geriatrische Onkologie*. Berlin: Springer Berlin, 2013: 129–140
56. Harris DG, Bulatao I, Oates CP, et al. Functional status predicts major complications and death after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *Journal of Vascular Surgery* 2017; 66: 743–750
57. Partridge JSL, Harari D, Martin FC, et al. Randomized clinical trial of comprehensive geriatric assessment and optimization in vascular surgery. *The British Journal of Surgery* 2017; 104: 679–687