

Aus dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin  
- Abteilung für präventive und rehabilitative Sport- und Leistungsmedizin -  
der Deutschen Sporthochschule Köln

Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Georg Predel

Die Auswirkungen eines präoperativen aeroben Ausdauertrainings bei  
alten Patienten (CAB,  $\geq 70$  Jahren) mit Indikation zu einer Bypass-  
Operation auf die Entwicklung der Gefäßelastizität und Endothelfunktion  
(EndoPAT, Pulswellenanalyse), der funktionalen Kapazität (6 MWT),  
der Lebensqualität und der Aktivität des täglichen Lebens (ADL)

von der Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktorin der Sportwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von:

Carolin Teresa Steinmetz  
aus Bad Nauheim

Köln 2018

Erste Referentin: Prof.´in Dr. Sportwiss. Birna Bjarnason-Wehrens

Zweite Referentin: Priv.-Doz.´in Dr. med. Claudia Walther

Vorsitzender des

Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. Mario Thevis

Tag der mündlichen Prüfung: 22. November 2018

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich diese Dissertationsarbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitat kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

---

Carolin Teresa Steinmetz

Bad Nauheim, 26.07.2018

## **Danksagung**

Danken möchte ich von ganzem Herzen Frau Prof.´in Dr. Sportwiss. Birna Bjarnason-Wehrens, die mich über die ganze Zeit der Dissertation unterstützt hat und mir bei jeglichen Fragen immer helfend zur Seite stand.

Mein Dank gilt auch Frau Priv.-Doz.´in Dr. med. Claudia Walther, die mir bei der Durchführung und Umsetzung der Studie eine sehr große Hilfe war.

Ebenso danke ich dem ärztlichen Leiter des Kerckhoff Rehabilitationszentrums Bad Nauheim, Herrn Prof. Dr. med. Thomas Mengden, ohne dessen Zustimmung und Unterstützung das gesamte Vorhaben nicht hätte umgesetzt werden können.

Bedanken möchte ich mich zudem bei allen Kollegen und vor allem auch Patienten, die an der Umsetzung der Studie als auch bei der Ergebnisbereitstellung mitgewirkt haben.

Weiterhin danke ich der Deutschen Stiftung für Herzforschung, der William G. Kerckhoff-Stiftung und der Willy Robert Pitzer Stiftung ohne deren finanzielle Unterstützung eine Realisierung der Studie nicht möglich gewesen wäre.

Mein abschließender Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und meinem Lebensgefährten, für ihre langjährige Unterstützung.

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>METHODIK</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Studiendesign</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Experimentelles Design</b>	<b>8</b>
2.2.1	Einschlusskriterien	9
2.2.2	Ausschlusskriterien	9
<b>2.3</b>	<b>Stichprobengröße</b>	<b>10</b>
2.3.1	Fallzahlrationale	10
2.3.2	Powerberechnung	11
2.3.3	Randomisierung	11
2.3.4	Ethikvotum	13
<b>2.4</b>	<b>Untersuchungsgang</b>	<b>13</b>
2.4.1	Anamnese und körperliche Untersuchung	13
2.4.2	Assessment	13
2.4.2.1	EndoPAT	13
2.4.2.2	Pulswellenanalyse	14
2.4.2.3	Spiroergometrie	15
2.4.2.4	6-Minuten-Gehtest	16
2.4.2.5	Timed up and go Test	16
2.4.2.6	Fragebogenerhebung	17
<b>2.5</b>	<b>Inhalte der Bewegungstherapie</b>	<b>18</b>
2.5.1	Therapieprogramm der Interventionsgruppe	18
2.5.1.1	Präoperativer Trainingsplan der Interventionsgruppe	20
2.5.2	Therapieprogramm der Kontrollgruppe	20
<b>2.6</b>	<b>Statistische Auswertung</b>	<b>21</b>
2.6.1	Deskriptive Statistik	21
2.6.2	Signifikanzniveau	21
2.6.3	Test auf Normalverteilung	22
2.6.4	Unabhängiger T-Test	22
2.6.5	Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest	22
2.6.6	Varianzanalyse	22

---

	2.6.7	Effektstärke nach Cohen	23
<b>2.7</b>		<b>Fragestellungen, Hypothesen und Nebenhypthesen</b>	24
<b>3.</b>		<b>ERGEBNISSE</b>	26
<b>3.1</b>		<b>Ergebnisdarstellung der untersuchten Kohorte</b>	26
	3.1.1	Patientencharakteristika	26
	3.1.2	Anthropometrische Daten der Gesamtgruppe	28
	3.1.3	Kardiovaskuläre Diagnosen	29
	3.1.4	Echokardiographischer Befund	31
	3.1.5	Kardiovaskuläre Risikofaktoren	32
	3.1.6	Begleiterkrankungen	33
	3.1.7	Medikation	34
<b>3.2</b>		<b>Ergebnisdarstellung der untersuchten Parameter</b>	36
	3.2.1	Gefäßelastizität und Endothelfunktion	37
	3.2.1.1	EndoPAT	37
	3.2.1.2	Pulswellenanalyse	40
	3.2.1.2.1	Systolischer Blutdruck	40
	3.2.1.2.2	Diastolischer Blutdruck	42
	3.2.1.2.3	Zentraler systolischer Blutdruck	44
	3.2.1.2.4	Zentraler diastolischer Blutdruck	47
	3.2.1.2.5	Pulswellengeschwindigkeit	50
	3.2.2	Kardiopulmonale Kapazität	53
	3.2.2.1	Maximal erreichte Ergometerleistung	53
	3.2.2.2	Relative maximal erreichter Ergometerleistung	56
	3.2.2.3	Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	59
	3.2.2.4	Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	62
	3.2.3	Funktionale Kapazität	65
	3.2.3.1	6-Minuten-Gehtest	65
	3.2.3.2	Timed up and go Test	68
	3.2.4	Fragebogenerhebung	70
	3.2.4.1	MacNew-Fragebogen	70
	3.2.4.1.1	MacNew-Score „global“	70
	3.2.4.1.2	MacNew-Score „physical“	72
	3.2.4.1.3	MacNew-Score „emotional“	74
	3.2.4.1.4	MacNew-Score „social“	76

---

3.2.4.2	HADS-Fragebogen	78
3.2.4.2.1	HADS Summenskala für Angst	78
3.2.4.2.2	HADS-Angst-Kategorie	80
3.2.4.2.3	HADS Summenskala für Depression	81
3.2.4.2.4	HADS-Depressions-Kategorie	83
3.2.4.3	MOSES-Fragebogen	84
3.2.5	Gefäßelastizität und Endothelfunktion (altersspezifische Analysen)	87
3.2.5.1	EndoPAT	87
3.2.5.2	Pulswellenanalyse	91
3.2.5.2.1	Systolischer Blutdruck	91
3.2.5.2.2	Diastolischer Blutdruck	94
3.2.5.2.3	Zentraler systolischer Blutdruck	98
3.2.5.2.4	Zentraler diastolischer Blutdruck	101
3.2.5.2.5	Pulswellengeschwindigkeit	105
3.2.6	Kardiopulmonale Kapazität (altersspezifische Analysen)	109
3.2.6.1	Maximal erreichte Ergometerleistung	109
3.2.6.2	Relative maximal erreichter Ergometerleistung	114
3.2.6.3	Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	117
3.2.6.4	Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	120
3.2.7	Funktionale Kapazität (altersspezifische Analysen)	123
3.2.7.1	6-Minuten-Gehtest	123
3.2.7.2	Timed up and go Test	128
3.2.8	Fragebogenerhebung (altersspezifische Analysen)	131
3.2.8.1	MacNew-Fragebogen	131
3.2.8.1.1	MacNew-Score „global“	131
3.2.8.1.2	MacNew-Score „physical“	134
3.2.8.1.3	MacNew-Score „emotional“	137
3.2.8.1.4	MacNew-Score „social“	140
3.2.8.2	HADS-Fragebogen	143
3.2.8.2.1	HADS Summenskala für Angst	143
3.2.8.2.2	HADS-Angst-Kategorie	147
3.2.8.2.3	HADS Summenskala für Depression	149
3.2.8.2.4	HADS-Depressions-Kategorie	153

---

3.2.8.3	MOSES-Fragebogen	155
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	157
<b>4.1</b>	<b>Evaluation der Untersuchungsmethoden</b>	157
4.1.1	Untersuchungsdesign	157
4.1.2	Fallzahl und Powerberechnung	159
4.1.3	Patientengruppe	159
4.1.4	Trainingsintervention	160
4.1.5	Bestimmung der Gefäßelastizität	162
4.1.5.1	EndoPAT	162
4.1.5.2	Pulswellenanalyse	163
4.1.6	Spiroergometrie	165
4.1.7	6-Minuten-Gehtest	167
4.1.8	Timed up and go Test	171
4.1.9	Fragebogenerhebung	172
<b>4.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	175
4.2.1	Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die Gefäßelastizität und Endothelfunktion	175
4.2.1.1	EndoPAT	175
4.2.1.2	Pulswellenanalyse	177
4.2.2	Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die kardiopulmonale Kapazität	179
4.2.2.1	Maximal erreichte Ergometerleistung	179
4.2.2.2	Relative maximal erreichte Ergometerleistung	182
4.2.2.3	Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	184
4.2.2.4	Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme	186
4.2.2.5	Fazit der präoperativen Trainingsintervention auf die kardiopulmonale Kapazität	189
4.2.3	Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die funktionale Kapazität	191
4.2.3.1	6-Minuten-Gehtest	191
4.2.3.2	Timed up and go Test	194
4.2.4	Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die verschiedenen Fragebögen	197
4.2.4.1	Lebensqualität	197



---

4.2.4.2	Angst und Depression	201
4.2.4.3	ICF-Kategorien Mobilität und Selbstversorgung	205
4.2.5	Fazit	207
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>212</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>216</b>
<b>7.</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	<b>230</b>
7.1	Abkürzungsverzeichnis	230
7.2	Tabellenverzeichnis	233
7.3	Abbildungsverzeichnis	240
<b>8.</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>241</b>
<b>9.</b>	<b>ABSTRACT</b>	<b>244</b>

## 1. EINLEITUNG

Die Evidenz für die Effektivität der Phase-II-Rehabilitation für Patienten im Zustand nach aortokoronarer Bypass-Operation ist ausreichend belegt. Dabei scheinen ältere und multimorbide Patienten am meisten von der Anschlussheilbehandlung (AHB) zu profitieren (Spiroski et al. 2017; Vanhees et al. 2012; Busch et al. 2012; Scrutinio/Giannuzzi, 2008; Bjarnason-Wehrens et al. 2007). Primäre Rehabilitationsziele dieser Patientengruppe sind die Wiederherstellung und Sicherung der Teilhabe am alltäglichen Leben als auch die Vermeidung der Pflegebedürftigkeit (Eder et al. 2013). Um diese Ziele bestmöglich zu erreichen, tritt das Thema der Prärehabilitation vor elektiven Operationen immer stärker in den Fokus der Wissenschaft. Die Grundidee der Prärehabilitation besteht darin, durch eine präoperative Trainingsintervention gezielt die körperliche Leistungsfähigkeit im Vorfeld auf einen geplanten operativen Eingriff zu verbessern, um anschließend ein möglichst hohes Maß an Funktionsfähigkeit und Wiederherstellung zu erreichen (Punt et al. 2017; Cabilan et al. 2016; Topp et al. 2002). Die meisten Prärehabilitationsstudien haben die Wirksamkeit eines präoperativen Trainings vor Knie- oder Hüftgelenkserersatz analysiert. Es existieren zahlreiche randomisiert-kontrollierte Studien, die eindeutig nachweisen, dass ein körperliches Training die Schmerzintensität, die selbsteingeschätzte körperliche Funktionsfähigkeit und die gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Patienten mit Knie- und Hüftarthrose vor einer geplanten Gelenkersatzoperation verbessert (Calatayud et al. 2017; Ferrara et al. 2008; Gilbey et al. 2003). Der körperliche Fitness- und Funktionszustand vor schweren Operationen steht in engem Zusammenhang mit einem perioperativ erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko, einer verlängerten Klinikverweildauer, einer verzögerten Wiederherstellung der Alltagsfunktionen und höheren Krankenhauskosten (Giesche et al. 2017). Vor allem bei älteren und fragilen Patienten wird der Abbau physischer Funktionen vor, während und nach dem Krankenhausaufenthalt als größter negativer Effekt angesehen (Hulzebos et al. 2016). Bei älteren Patienten als auch Hochrisikopatienten sind oftmals postoperative Probleme zu verzeichnen, die im Vorfeld durch Verbesserung der physischen Funktionen und des Leistungszustands positiv beeinflusst werden können (Levett et al. 2016; Le Roy et al. 2016). „Frailty“ beschreibt das geriatrische Syndrom, welches sich aus den drei Hauptkomponenten von Verlust an Muskelmasse, Muskelkraft und Muskelausdauer zusammensetzt (Fried et al. 2001). Pa-

tienten mit diesem Syndrom haben ein dreifach erhöhtes postoperatives Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko (Afilalo et al. 2010). Zudem ist bei diesen Patienten das Risiko deutlich erhöht, während oder nach der Operation ein zerebrovaskuläres oder kardiologisches Ereignis zu erleiden (Sepehri et al. 2014). In Abbildung 1 ist der Verlauf der körperlichen Leistungsfähigkeit vor, während und nach einer Operation dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der Unterschied der Verlaufskurve bei fragilen Hochrisikopatienten ohne Prärehabilitation und denen mit vorheriger Intervention. Unter Berücksichtigung des demographischen Wandels wird Prärehabilitation zukünftig immer mehr an Bedeutung gewinnen. Laut Statistischem Bundesamt sind aktuell bereits 21% der Bevölkerung 65 Jahre alt oder älter. Im Jahre 2060 wird in dieser Altersgruppe bereits von einer Erhöhung auf 33% ausgegangen (Pötsch/Rößger, 2015).

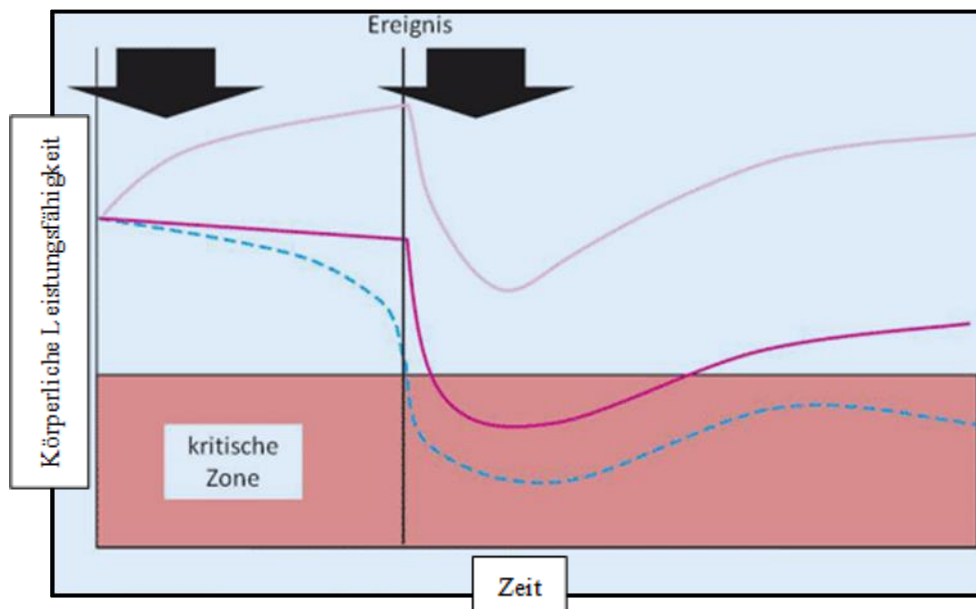


Abb. 1: Darstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei älteren Patienten vor, während und nach einer elektiven Operation. Violett dargestellt der Normalverlauf, lila der Verlauf bei Durchführung einer prärehabitativen Intervention und blau-gestrichelt der Verlauf bei fragilen Hochrisikopatienten. Die beiden schwarzen Pfeile zeigen den Beginn der Prähabilitation bzw. Rehabilitation (Modifiziert nach Punt et al. 2017).

In der Herzchirurgie macht sich der demographische Wandel deutlich bemerkbar und damit einhergehend steigt das wissenschaftliche Interesse an kardiologischen präoperativen Interventionsstudien. Lange Wartezeiten auf eine Operation, das steigende Alter als auch der im Vorfeld oftmals schlechte körperliche Allgemeinzustand der Patienten sind prädestinierend für die Durchführung einer prärehabitativen Intervention. Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 428 973 Eingriffe am Herzen durchgeführt, 17% (72 761) davon waren koronare Bypass-Operationen. Die Altersgruppe der 65-

bis 80-Jährigen bildete mit 58,4% den größten Anteil der bypassoperierten Patienten (Statistisches Bundesamt, 2017). Entsprechend der aktuellen Leitlinien gilt bei Patienten mit einer koronaren Mehrgefäßerkrankung und einem SYNTAX-Score von  $\geq 23$  oder einer höhergradigen Hauptstammstenose die aortokoronare Bypass-Operation als Therapie der Wahl (Nationale Versorgungsleitlinie KHK, 2016). In der 2009 veröffentlichten SYNTAX-Studie wurde zudem nachgewiesen, dass Patienten mit einem erhöhten SYNTAX Score von einer aortokoronaren Bypass-Operation hinsichtlich des Auftretens kardiovaskulärer Ereignisse mehr profitieren als von einer perkutanen transluminalen koronaren Angioplastie (PTCA) mit einem medikamentenbeschichteten Stent (Serruys et al. 2009). Durch die Bypass-Operation wird zum einen die Revaskularisierung des Myokards und zum anderen die damit einhergehende Steigerung der Lebensqualität erzielt (Boudrez/De Backer, 2001). Laut Deutschem Herzbericht lag die Überlebensrate nach kardiochirurgischen Operationen trotz des steigenden Alters und der damit einhergehenden Zunahme an Begleiterkrankungen bei 97% (Deutscher Herzbericht, 2017). Dennoch haben viele Patienten Angst, sich vor einer elektiven Bypass-Operation körperlich zu belasten, so dass eine kardiovaskuläre Dekonditionierung bereits in der Wartezeit beginnt (Mooney et al. 2007). Wissenschaftlich belegt ist, dass die Länge der Wartezeit auf eine Bypass-Operation mit einer Zunahme von Ängsten und Depressionen assoziiert ist (McCormick et al. 2006), die postoperative Mortalität im Krankenhaus steigt (Sobolev et al. 2008) und die physische Kapazität deutlich abnimmt (Arthur et al. 2000). Eine schlechte körperliche Verfassung im präoperativen Zustand vor koronarer Bypass-Operation korreliert ebenfalls mit einem späteren längeren Krankenhausaufenthalt (Cook et al. 2001). Snowdon et al. veröffentlichten 2014 eine erste Metaanalyse, welche einen Überblick über die existierenden präoperativen Interventionsstudien vor Bypass- oder Herzklappenoperationen liefert. Eingeschlossen wurden 17 randomisiert-kontrollierte Studien mit insgesamt 2 689 Patienten. Die Interventionsprogramme variierten stark und beinhalteten sowohl inspiratorisches Atemtraining, allgemeines Training, Entspannungsübungen als auch edukative Einheiten über die bevorstehende Operation. Das Review belegt Evidenz dafür, dass ein präoperatives Training postoperative pulmonale Komplikationen signifikant reduziert und bei älteren Patienten die Krankenhausverweildauer signifikant abnimmt (Snowdon et al. 2014). Problematisch ist nicht nur die stark variierende Qualität der Studien, sondern auch die Heterogenität, welche eine Vergleichbarkeit erschwert. Belegt ist weiterhin, dass eine verminderte kardiorespiratorische Fitness bei älteren

Patienten vor koronarer Bypass-Operation mit einer erhöhten Inzidenz an perioperativer Morbidität und Mortalität einhergeht (Dronkers et al. 2013). Smith et al. (2013) zeigen, dass eine präoperative kardiorespiratorische Fitness unter fünf metabolischen Äquivalenten (MET) in enger Verbindung mit einer signifikanten operativen und 30-Tage-Mortalität steht. Es stellt sich somit die Frage, inwiefern der präoperative Zeitraum durch ein aerobes Ausdauertraining genutzt werden kann, um dieses Patientenklientel optimal auf die Operation vorzubereiten. Die Auswirkung von Ausdauertraining auf die Endothelfunktion und deren molekulare Mechanismen bei Patienten mit koronarer Mehrgefäßerkrankung und Indikation zur elektiven aortokoronaren Bypass-Operation wurde erstmals in der prospektiv randomisierten LIMA-Studie analysiert. Ein vierwöchiges aerobes Ausdauertraining führte, gemessen an der ecNOS-Proteinexpression, zu einer signifikanten Verbesserung der endothelabhängigen vasodilatatorischen Funktionen (Hambrecht et al. 2003). In einer retrospektiven Auswertung hinsichtlich der klinischen Ereignisse der LIMA-Studie konnte aufgezeigt werden, dass die perioperative Ereignisrate in der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant geringer ist (Event free survival 65% vs. 33%). Ebenfalls bestand bei Aufnahme in die Anschlussheilbehandlung bei Patienten der Interventionsgruppe eine bessere ergometrische Belastbarkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe (Walther et al. 2010). Mehrere Studien belegen außerdem die Effektivität einer kurzzeitigen Trainingsintervention bei KHK- als auch Herzinsuffizienz-Patienten auf die Endothelfunktion und Gefäßelastizität (Ozasa et al. 2012; Monshausen et al. 2006; Kakiyama et al. 2005; Edwards et al. 2004; Hambrecht et al. 2000<sup>1</sup>; Hambrecht et al. 2000<sup>2</sup>; Hambrecht et al. 1998). In weiteren bisherigen Prärehabilitationsstudien wurden Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation entweder über einen längeren Zeitraum konditioniert (Stammers et al. 2015; Sawatzky et al. 2014; Rosenfeld et al. 2011; Arthur et al. 2000) oder es wurde ein tägliches Interventionsprogramm durchgeführt, sofern der Trainingsumfang unter zwei Wochen lag (Herdy et al. 2008). Neu bei der vorliegenden Studie ist die Reduktion der Trainingshäufigkeit auf dreimal pro Woche und die kurze Programmdauer von zwei Wochen als auch der Schwerpunkt der Effektivität auf die Evaluation der Endothelfunktion/Gefäßelastizität. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss eines zweiwöchigen präoperativen aeroben Ausdauertrainings bei vor allem älteren Patienten mit koronarer Mehrgefäßerkrankung und Indikation zur elektiven aortokoronaren Bypass-Operation auf die Endothelfunktion/Gefäßelastizität, funktionale Kapazität, Lebens-

qualität und Aktivität des täglichen Lebens im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit konventioneller Betreuung durch den Hausarzt zu analysieren.

## **2. METHODIK**

### **2.1 Studiendesign**

Die vorliegende Studie ist eine prospektive randomisierte Interventionsstudie. Untersuchungsziel war es, die Effektivität und Nachhaltigkeit eines zweiwöchigen präoperativen Ausdauertrainings auf die Gefäßelastizität, Endothelfunktion, funktionale Kapazität, Lebensqualität und Aktivität des täglichen Lebens bei älteren Patienten mit Indikation zur elektiven aortokoronaren Bypass-Operation zu evaluieren. Patienten der Interventionsgruppe nahmen an einem individuell angepassten präoperativen aeroben Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer teil. Postoperativ wurde eine dreiwöchige Anschlussheilbehandlung (AHB) mit Standardtherapieprogramm für Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation in den jeweiligen Rehabilitationseinrichtungen absolviert. Die Patienten der Kontrollgruppe erhielten kein präoperatives Training und durchliefen postoperativ die gleichen standardisierten Anwendungen wie die Interventionsgruppe (siehe Abb. 2). In Tabelle 1 sind die Inhalte der bewegungstherapeutischen Maßnahmen beider Gruppen aufgelistet. Die Beschreibung der postoperativen Interventionen während der AHB bezieht sich auf die Anwendungen, welche im Kerckhoff Rehabilitationszentrum standardisiert bei Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation durchgeführt werden. Die Studie wurden in der Zeit vom 17.12.2014 bis 31.03.2018 in der Kerckhoff-Klinik und dem Kerckhoff Rehabilitationszentrum in Bad Nauheim durchgeführt.

**Tab. 1:** Inhalte der bewegungstherapeutischen Maßnahmen beider Gruppen.

	<b>Interventionsgruppe (n = 115)</b>	<b>Kontrollgruppe (n = 115)</b>
präoperativ	3x/Woche Ergometertraining 3x/Woche Atem-/Lockerungsübungen	Keine Anwendungen
postoperativ (AHB)	4x/Woche Ergometertraining 3x/Woche Atemgymnastik 3x/Woche Gymnastik 2x/Woche MTT 2x/Woche Terraintraining ab 2. Wo.	4x/Woche Ergometertraining 3x/Woche Atemgymnastik 3x/Woche Gymnastik 2x/Woche MTT 2x/Woche Terraintraining ab 2. Wo.



## 2.2 Experimentelles Design

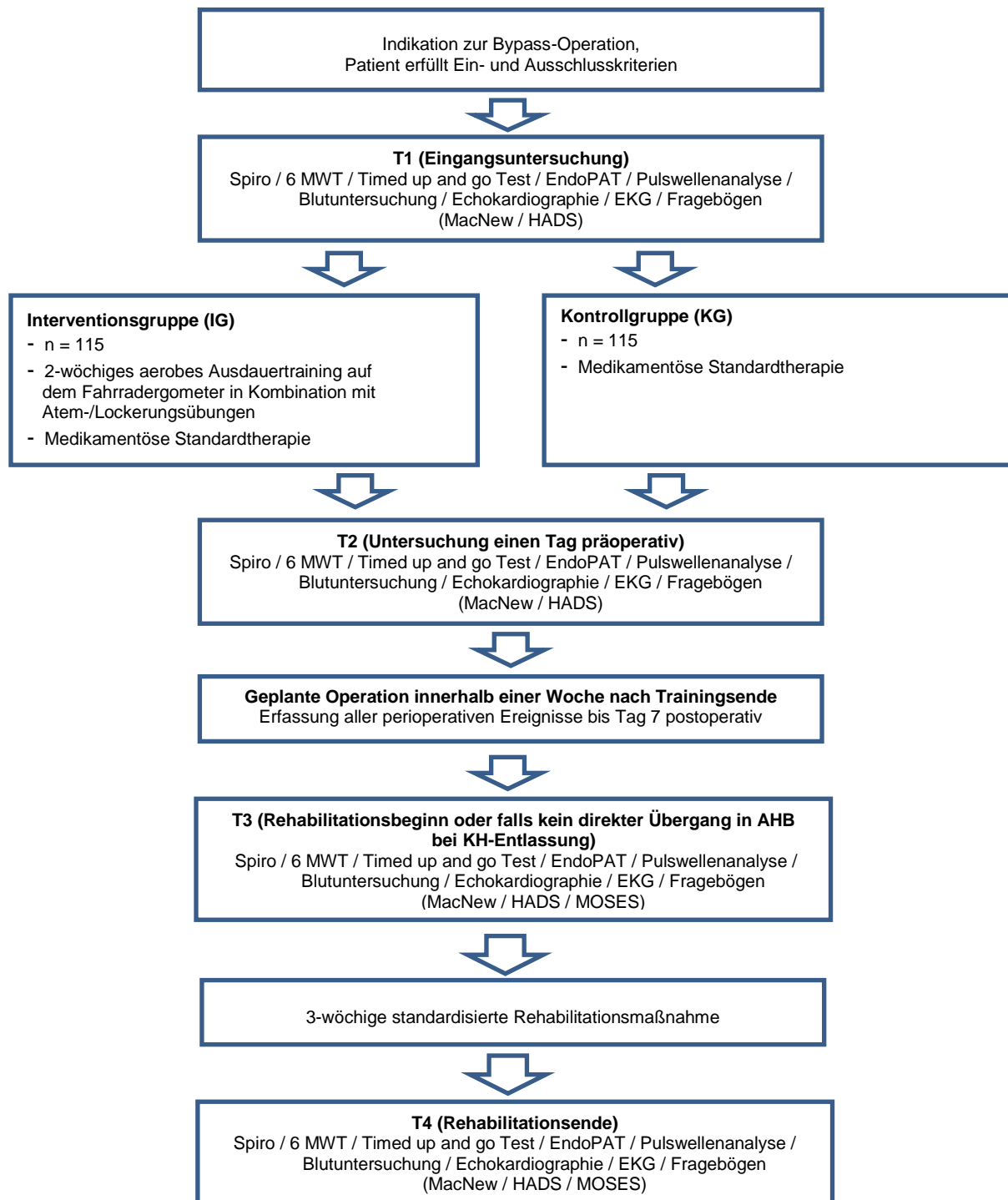


Abb. 2: Darstellung des Studiendesigns.

### 2.2.1      **Einschlusskriterien**

In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten, die folgende Kriterien erfüllten:

- ✓ Stabile koronare Herzkrankheit (KHK) mit typischer Angina Pectoris (AP) (CCS I - III)
- ✓ Indikation zur aortokoronaren Bypass-Operation nach aktuellen Leitlinien (ESC, AHA, DGK)
- ✓ AP-Schwelle  $\geq 50$  Watt (Fahrradergometer)
- ✓ Patienten aus der unmittelbarer Nähe von Bad Nauheim (maximale einfache Wegzeit von 60 Minuten)
- ✓ Bereitschaft zur freiwilligen Studienteilnahme mit unterschriebener Einwilligungserklärung

### 2.2.2      **Ausschlusskriterien**

Für die Integration in die Studie galten folgende Ausschlusskriterien:

- ∅ Instabile AP oder Myokardinfarkt innerhalb der letzten zwei Wochen
- ∅ Neurologische, orthopädische oder rheumatische beeinträchtigende Komorbiditäten, die gegen ein körperliches Ausdauertraining sprechen
- ∅ AP-Schwelle oder Ischämie  $< 50$  Watt (Fahrradergometer)
- ∅ Herzinsuffizienz NYHA IV (EF  $< 35\%$ )
- ∅ Patienten mit höhergradigen ventrikulären Herzrhythmusstörungen
- ∅ Hämodynamisch signifikante Herzklappenerkrankung
- ∅ Myokarditis, hypertroph-obstruktive Kardiomyopathie (HOCM), Hauptstammstenose  $\geq 50\%$
- ∅ PAVK Stadium IIb und größer nach Fontaine
- ∅ Nichtkardiale Erkrankungen, die mit einer Einschränkung der Lebensdauer unter einem Jahr verbunden sind
- ∅ Kognitive und sprachliche Defizite
- ∅ Chronischer Alkohol- oder Drogenabusus
- ∅ Bypass-Operation in den letzten sechs Monaten
- ∅ Teilnahme an einer anderen Studie

## **2.3 Stichprobengröße**

### **2.3.1 Fallzahlrationale**

Für die Fallzahlberechnung der vorliegenden Studie wurde eine mittlere Effektstärke von  $d = 0,5$  nach Cohen (1992) zwischen der nichttrainierenden Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe angenommen. Mit diesen Werten und unter der Annahme entsprechender Verteilungseigenschaften ergeben sich bei einem einseitigen t-Test für den Vergleich der mittleren Änderung der Endothelfunktion (zwei ungepaarte Gruppen) die in den angefügten Berechnungen dargestellten Fallzahlszenarien, wenn Unterschiede bei vorgegebener Power von 95% auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  statistisch abgesichert werden sollen. Bei einer mittleren Effektstärke von  $d = 0,5$  sind pro Studienarm 88 Patienten, insgesamt also vollständige Daten von 176 Patienten für die Auswertung nötig. Bei einer konservativ geschätzten Drop-Out-Rate von 20% entspricht dies einer Fallzahl von insgesamt  $n = 220$  Patienten, um die genannte Zahl auswertbarer Patientendaten zu erreichen. Die Fallzahlbestimmung erfolgt in Anlehnung an die japanische Pilotstudie von Ozasa et al. (2012). Unter Verwendung der Standardabweichung aus den EndoPAT®-Messungen der konventionellen Trainingsgruppe ( $SD = 0,56$ ) berechneten Ozasa et al. (2012) bei einer Power von 95% eine Gesamtgruppengröße von 226 Probanden, um klinisch aussagekräftige Veränderungen in der Endothelfunktion aufzudecken. Um die Fallzahlberechnung von Ozasa et al. (2012) mit zu integrieren, werden bei der geplanten Studie 115 Patienten pro Gruppe eingeschlossen.

### 2.3.2 Powerberechnung

Die Powerberechnung orientiert sich an den zu erwartenden Ergebnissen der Endo-PAT<sup>®</sup>-Messungen (Endoscore). Die Kalkulation wurde mit dem Programm G-Power Version 3.1 (Uni Düsseldorf) mit folgenden Annahmen durchgeführt: Effektgröße = 0,5,  $\alpha$ -Fehler = 5%, Power = 95%. Aufgrund der aufgestellten Hypothesen war ein einseitiger t-Test für zwei unabhängige Gruppen die Grundlage der Berechnung. Das Programm errechnete eine Gesamtgruppengröße von 176 bzw. 88 pro Gruppe.

### 2.3.3 Randomisierung

Patienten, die auf der Warteliste zur elektiven Bypass-Operation standen und eine Mindestwartezeit von drei Wochen aufzeigten, wurden nach dem ersten Screening (Befundansicht) telefonisch kontaktiert und über die Möglichkeit der Studienteilnahme aufgeklärt. Nach mündlicher Zusage des Patienten wurde ein Termin zur Eingangsuntersuchung vereinbart. Zu Beginn der Eingangsuntersuchung wurden die Patienten von der Studienärztin über das Projekt genauestens informiert und die Einverständniserklärung zur Studienteilnahme von beiden Parteien unterzeichnet. Im Anschluss daran erfolgte die Randomisierung mittels Losverfahren in die jeweilige Gruppe. Das Ergebnis der Randomisierung wurde in einer Randomisierungsliste mit einer Patienten-ID, Datum und der Gruppenzugehörigkeit festgehalten. Sie wurde bei der Studienleitung ohne Einsichtmöglichkeit von Prüfern und von unmittelbar am Screening potentieller Studienteilnehmer beteiligten Personen unter Verschluss aufbewahrt. Zwischen dem 17.12.2014 und 31.01.2018 wurden 1 471 reine Bypass-Operationen in der Kerckhoff-Klinik durchgeführt. Darunter waren 647 (44%) Notfälle, welche unmittelbar nach Krankenhauseinlieferung operiert wurden und somit für die Studie nicht in Frage kamen. Insgesamt standen 824 (56%) Patienten auf der Warteliste und erhielten je nach Schwere des Koronarbefundes einen Operationstermin. Kurze Wartezeiten sowie die Distanz zur Klinik führten zu weiteren Ausschlüssen. Von den potentiell geeigneten Patienten konnten 239 eingeschlossen werden (29%).

Randomisiert wurden 230 Patienten, da trotz bestätigtem Termin zur Eingangsuntersuchung 3,8% (n = 9) den Termin aus diversen Gründen spontan absagten. Die Abbildung 3 gibt einen Überblick über die exakte Verteilung der Patienten.

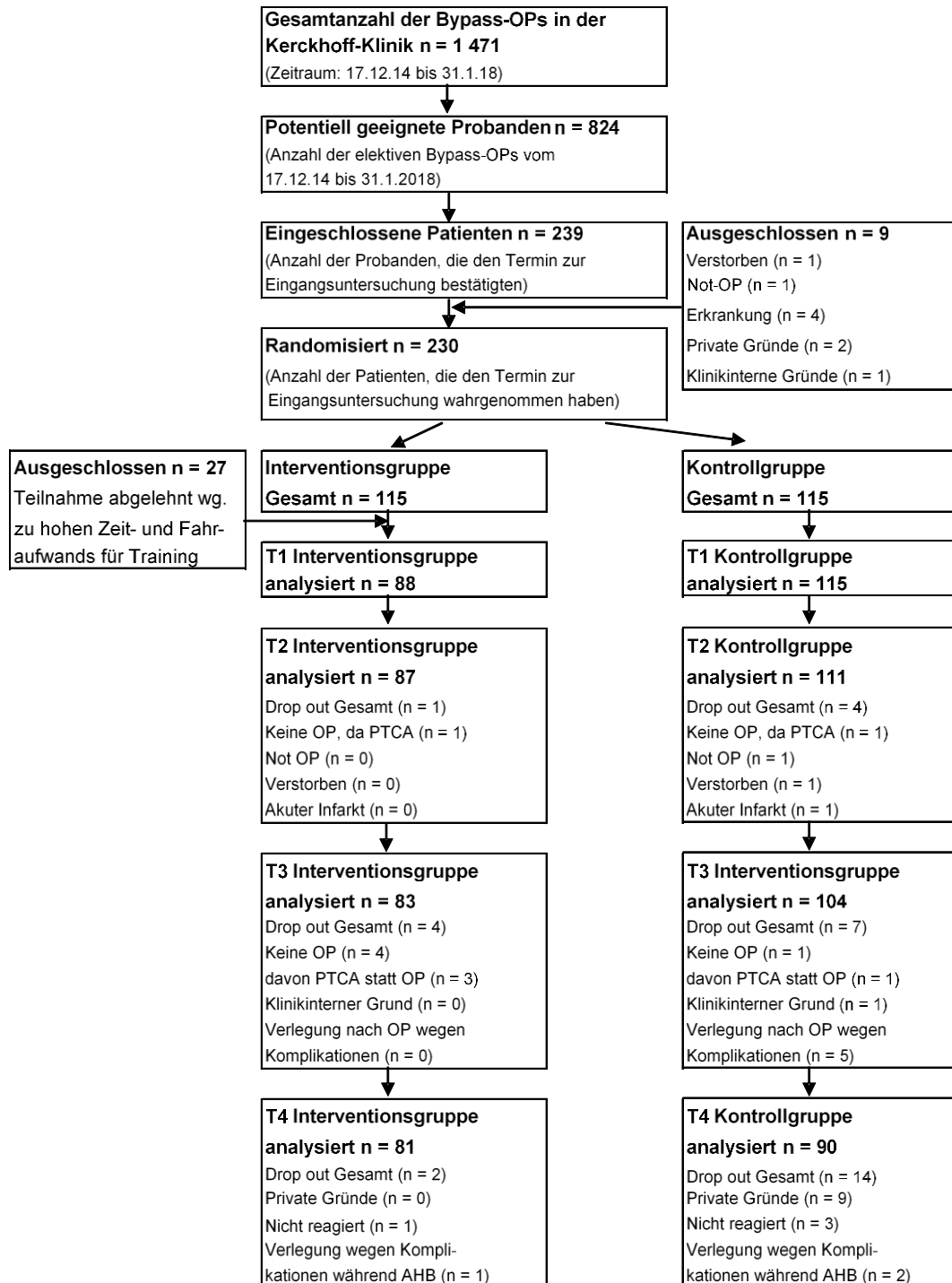


Abb. 3: Flow Chart Patientenverteilung.

### **2.3.4 Ethikvotum**

Der Ethikantrag wurde von der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln am 25.02.2013 durch Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. E. Meinberg genehmigt.

## **2.4 Untersuchungsgang**

Die Trainingsintervention und alle diagnostischen Maßnahmen wurden in der Kerckhoff-Klinik und im Kerckhoff Rehabilitationszentrum Bad Nauheim durchgeführt.

Die Patienten wurden an vier Messzeitpunkten untersucht:

**T1:** Eingangsuntersuchung

**T2:** Untersuchung einen Tag präoperativ

**T3:** Rehabilitationsbeginn bzw. bei nicht direktem Übergang in AHB ein Tag vor Klinikentlassung

**T4:** Rehabilitationsende

Die Inhalte der einzelnen Untersuchungszeitpunkte sind in Abbildung 2 ersichtlich.

### **2.4.1 Anamnese und körperliche Untersuchung**

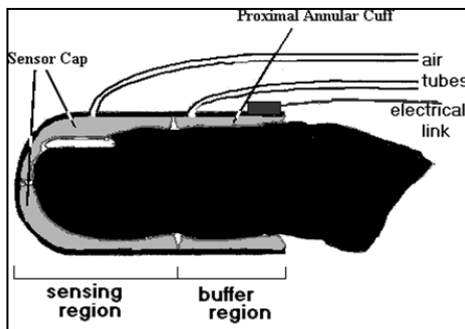
Die Patientenaufnahme und die Anamnese erfolgten durch die Studienärztin. Die erhobenen Daten wurden in der Patientenakte dokumentiert und digital in einer Datenbank angelegt.

### **2.4.2 Assessment**

#### **2.4.2.1 EndoPAT**

Das EndoPAT<sup>®</sup>-2000 System der Firma Itamar Medical ist eine nicht invasive Messmethode, welche Auskunft über die Endothelfunktionsfähigkeit gibt. PAT steht für Puls-Amplituden-Tonometrie. Über einen mit kleinen Sensoren ausgekleideten Fingerclip (siehe Abb. 4) wird der periphere arterielle Tonus am nicht dominanten Arm in Ruhe und nach reaktiver Hyperämie der A. brachialis gemessen. Die Messung ist un-

tersucherunabhängig und stellt die endothelabhängige flussmeditierte Dilatation der A. radialis dar.



**Abb. 4:** Darstellung des EndoPAT®-Fingerclips (Celermajer, 2008)

Nach der 15-minütigen Untersuchung ermittelt das EndoPAT®-2000 System einen so genannte Endoscore, der unmittelbar Auskunft über den Endothelzustand gibt. Bei einem Endoscore  $\leq 1,67$  sollten weitere diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden, um eine mögliche endotheliale Dysfunktion auszuschließen. Ein Endoscore zwischen 1,68 bis zwei ist ein Hinweis dafür, dass das Endothel aktuell keine Veränderungen aufzeigt. Es sollten allerdings präventive Maßnahmen eingeleitet werden, um einer endothelialen Dysfunktion entgegenzuwirken. Zu den Präventionsmaßnahmen zählt die Aufgabe des Rauchens, die Gewichts-, Blutdruck-, Blutcholesterin- und Stressreduktion. Endoscore-Werte  $> 2,1$  sprechen für eine optimale Endothelfunktion. Die aktuelle Studienlage bestätigt, dass das EndoPAT®-2000 System reliabel und valide ist (Rubinshtein et al. 2010; Selamet Tierney et al. 2009; Bonetti et al. 2004; Kurvin et al. 2003).

#### 2.4.2.2 Pulswellenanalyse

Die Pulswellengeschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit, mit der sich die durch den linken Ventrikel ausgeworfene Druckwelle über das arterielle Gefäßsystem ausbreitet. Die Pulswellenanalyse gilt als Goldstandard der arteriellen Gefäßsteifigkeit (Baulmann et al. 2010). Es handelt sich um ein Blutdruckmessgerät mit Oberarmmanschette und integrierter Pulswellenanalyse der Firma IEM Healthcare®. Mit der erweiterten Blutdruckmessung lassen sich folgende Parameter ermitteln: systolischer und diastolischer Blutdruck, MAD (mittlerer arterieller Druck), Herzfrequenz, Pulsdruck, zentraler systolischer und diastolischer Blutdruck, zentraler Pulsdruck, Herz-

minutenvolumen, peripherer Widerstand, Herzindex, Körperoberfläche, Augmentationsdruck, Augmentationsindex, Reflexionskoeffizient und PWV (Pulswellengeschwindigkeit). Regelmäßiges körperliches Ausdauertraining kann dem Prozess des Elastizitätsverlustes bei Patienten mit KHK vorbeugen (Edwards et al. 2004; Cameron et al. 1994). Diese Effekte konnten bereits nach kurzem Ausdauertraining bei jungen Männern nachgewiesen werden (Kakiyama et al. 2005).

### **2.4.2.3 Spiroergometrie**

Als Belastungsuntersuchung wurde eine Spiroergometrie in halbliegender Position auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Die Probanden wurden gemäß Leitlinien (Wassermann et al. 2005; Revall et al. 2002; Trappe et al. 2000) auf dem Fahrradergometer Ergoline 900 der Firma Ergoline® mittels einer Rampenbelastung von 10 Watt pro Minute Steigerung maximal ausbelastet. Die Anfangsbelastung lag bei allen Patienten bei 50 Watt. Die spirometrische Untersuchung erfolgte mit dem Spirometer METALYZER® der Firma Cortex. Vor Beginn des Belastungstestes wurde eine zweiminütige Ruhereferenzphase eingehalten, um eine Atemgashomöostase zu gewährleisten. Im Anschluss wurden die Patienten darauf hingewiesen, kontinuierlich eine Umdrehungszahl von 60 bis 70 Umdrehungen pro Minute einzuhalten.

Erhoben wurden folgende Parameter:

#### Ruhe- und Belastungsherzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde mit Hilfe der EKG-Elektroden sowohl vor der Belastung, minütlich während der Belastung und nach einer zwei- und vierminütigen Erholungsphase dokumentiert.

#### Arterieller Blutdruck

Zu Beginn der Belastungsuntersuchung wurde der Blutdruck in Ruhe und während der Untersuchung minütlich gemessen. In der Erholungsphase wurde der Blutdruck nach zwei und vier Minuten erneut ermittelt.



### EKG

Das EKG wurde über den gesamten Verlauf der Belastungsuntersuchung abgeleitet und gespeichert. Es war über den kompletten Zeitraum am Monitor ersichtlich.

### Spiroergometrie

Die spirometrische Untersuchung erfolgte unter Anwendung des Spirometers METALYZER® der Firma Cortex. Erhoben wurden die maximale Sauerstoffaufnahme, die Kohlenstoffdioxidabgabe und der respiratorische Quotient.

#### **2.4.2.4 6-Minuten-Gehtest**

Die funktionale Kapazität wurde anhand des 6-Minuten-Gehtests beurteilt. Dieser wurde in Anlehnung an die Empfehlungen der American Thoracic Society (American Thoracic Society, 2002) durchgeführt. Die Patienten gingen auf einem 30 Meter langen ebenen Korridor innerhalb von sechs Minuten soweit, wie es ihnen möglich war. Pausen waren zu jeder Zeit erlaubt, wurden aber protokolliert. Der Prüfer befand sich während des Tests immer am Anfang des Korridors und gab den Patienten beim Passieren Rückmeldung über die verbleibende Zeit. Die Patienten wurden verbal nicht unterstützt, um eine Abhängigkeit vom Prüfer so gering wie möglich zu halten und die Reliabilität zu gewährleisten. Nach Ablauf der Zeit wurden die Patienten gebeten, stehen zu bleiben. Die in Metern zurückgelegte Strecke wurde im Anschluss auf dem Dokumentationsbogen vermerkt. Vor und nach der Belastung wurde die Herzfrequenz sowie der Blutdruck mittels Blutdruckmessgerät der Firma bosomedicus® (Modell: bosomedicus) gemessen und dokumentiert.

#### **2.4.2.5 Timed up and go Test**

Der Timed up and go Test (TUG-Test) wurde zur Beurteilung der Sturzneigung und Basismobilität eingesetzt (Podsiadlo/Richardson, 1991). Der Test fand vor dem 6-Minuten-Gehtest auf dem Korridor im Kerckhoff Rehabilitationszentrum statt. Jeder Patient wurde aufgefordert, von einem 42 cm hohen Stuhl aufzustehen, drei Meter bis zu einem auf dem Boden gekennzeichneten Punkt zu gehen, umzukehren und wieder auf dem Stuhl Platz zu nehmen. Der Test wurde auf einem ebenen PVC-Boden durchgeführt. Jedem Patienten wurde der Testablauf erst erklärt und im Anschluss

vorgeführt. Die Aufgabe des Prüfers bestand darin, die Zeit mittels einer gewöhnlichen Stoppuhr zu messen. Mit dem Kommando „fertig und los“ begann die Zeitmessung und der Patient absolvierte seine Aufgabe. Sobald er sich wieder setzte wurde die Zeit angehalten. Die benötigte Zeit wurde auf dem entsprechenden Dokumentationsbogen protokolliert. „Cut off“ Werte sind nach Podsiadlo und Richardson (1991) definiert. Bei Patienten, die für den Test zwischen 10 bis 30 Sekunden benötigten, kann mit einer eingeschränkten Mobilität gerechnet werden. Bei Patienten, mit einem Zeitaufwand von über 30 Sekunden, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass eine erhebliche Einschränkung der Mobilität und vor allem auch der Selbstständigkeit vorliegt.

#### **2.4.2.6 Fragebogenerhebung**

Die Fragebogenerhebung des MacNew und HADS erfolgte zu allen vier Messzeitpunkten. Der MOSES-Fragebogen wurde nur zu T3 und T4 vorgelegt. Alle Fragebögen wurden den Patienten zum Untersuchungszeitpunkt ausgehändigt, so dass diese ihn selbstständig mittels Ankreuzen ausfüllen konnten. Bei Bedarf half der jeweilige Untersucher beim Ausfüllen.

##### MacNew

Der MacNew-Fragebogen dient zur Erhebung der gesundheitsbezogenen Einschätzung der subjektiven Lebensqualität bei Herzpatienten (Hofer et al. 2004). Die Fragen beziehen sich unmittelbar auf den Zeitraum der letzten zwei Wochen. Der Fragebogen besteht aus 27 Fragen, welche in vier Subitems aufgeteilt sind: physische, emotionale, soziale und globale Gesundheit. Zu jeder Frage kann eine von sieben Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Die Bearbeitungszeit beträgt ungefähr zehn Minuten. Der Fragebogen ermöglicht die Berechnung eines globalen Werts zur Lebensqualität sowie einen itemsbezogenen Wert. Referenzwerte existieren für Patienten nach Herzinfarkt, mit Herzinsuffizienz und mit Angina Pectoris (Dixon et al. 2009). Die Reliabilität und Validität der deutschen Übersetzung des MacNew-Fragebogens zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität ist bestätigt (Hofer et al. 2004).

##### HADS

Die Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) wird als Screeninginstrument für Angst und Depression im klinischen Alltag verwendet. Der Fragebogen enthält 14

Fragen bezüglich Angst und Depressivität. Es gibt jeweils vier Antwortmöglichkeiten. Die Bearbeitungszeit beträgt in etwa fünf Minuten. Das Ergebnis des Tests kann nicht als Diagnose gewertet werden. Es dient lediglich als diagnostische Basis für weiterführende Untersuchungen. Werte der Subskalen von kleiner oder gleich sieben gelten als unauffällig, Werte zwischen acht bis zehn als grenzwertig und Werte größer oder gleich elf als auffällig. Nur bei 13 von 14 beantworteten Fragen, kann der Test ausgewertet werden (Hermann et al. 1995).

## MOSES

Der MOSES-Fragebogen wurde speziell für die Domäne Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben von Farin et al. (2006) entwickelt. Er besteht aus insgesamt 58 Items, die sich auf die 12 Skalen des Fragebogens verteilen. Jede Skala umfasst drei bis acht Einzelfragen. Auswertbar ist der Fragebogen nur, wenn 20% beantwortet werden. Pro Item gibt es fünf Antwortmöglichkeiten, die von „ohne Schwierigkeiten“, dem Wert „1“ entsprechend, bis „unmöglich“, dem Wert „5“ entsprechend, reichen. Für jedes Item kann ein eigener Mittelwert errechnet und zum Vergleich herangezogen werden. Zu den 12 Skalen gehören: Körperposition wechseln, Körperposition verbleiben, Gegenstände tragen, untere Extremität, Hand- und Armgebrauch, Gehen ohne Hilfsmittel, Fortbewegen mit Hilfsmittel, Körperpflege, Ankleiden, Essen und Trinken, Beschaffen von Lebensnotwendigkeiten und Haushaltsaufgaben. Der MOSES-Fragebogen wird bei Rehabilitationsbeginn und -ende ausgefüllt. Die Bearbeitungszeit liegt bei ca. 20 Minuten. Der Fragebogen gibt eine valide und reliable Auskunft über die Veränderungen der ICF-Kategorien im Rehabilitationsverlauf.

## **2.5 Inhalte der Bewegungstherapie**

### **2.5.1 Therapieprogramm der Interventionsgruppe**

Die Interventionsgruppe absolvierte ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer in Kombination mit Atem- und Lockerungsübungen (siehe Tab. 2). Aus Sicherheitsgründen erfolgte das Training auf dem Fahrradergometer mit telemetrischer EKG-Überwachung. Das Training fand dreimal in der Woche über jeweils 60 Minuten statt. Die erste Trainingseinheit begann mit einem 10-minütigen aeroben Ausdauertraining. Anschließend folgte eine 15-minütige standardi-

sierte Hockergymnastik mit Lockerungsübungen, Atemgymnastik (Erlernen der Lippenbremse, Bauch-, Flanken- und Brustatmung), Mobilisations- und Koordinationsübungen. Nach der Hockergymnastik erfolgte eine zweite zehnmütige Ausdauertrainingseinheit auf dem Fahrradergometer. In der zweiten und dritten Trainingseinheit wurde die Fahrzeit auf 15 Minuten während der vierten und fünften auf jeweils 20 Minuten und in der letzten auf 25 Minuten erhöht. Die Trainingssteuerung für das aerobe Ausdauertraining basierte auf den Ergebnissen der Spiroergometrie. Falls möglich wurde die Trainingsintensität bei 70% der maximalen Sauerstoffaufnahme festgelegt und mit der dazugehörigen Herzfrequenz gesteuert. Diese wurde grundsätzlich mindesten zehn Schläge unterhalb der ggf. während der Belastungsuntersuchung festgestellten Ischämie-Schwelle angesetzt. Postoperativ absolvierten alle Patienten, die ihre dreiwöchige AHB im Kerckhoff Rehabilitationszentrum durchführten, viermal pro Woche ein individuell angepasstes aerobes Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer und zweimal pro Woche eine medizinische Trainingstherapie an Kraftgeräten. Der Schwerpunkt des Krafttrainings lag auf der Stärkung der unteren Extremitäten, um der postoperativen Muskelathropie entgegenzuwirken. Zudem nahmen die Patienten zweimal wöchentlich an einem Terraintraining im nahegelegenen Kurpark teil. Ergänzt wurde das AHB-Programm durch dreimal wöchentliche Atemübungen und Gymnastik (siehe Tab. 1).

### 2.5.1.1 Präoperativer Trainingsplan der Interventionsgruppe

In Tabelle 2 ist der präoperative Trainingsplan des aeroben Ausdauertrainings der Interventionsgruppe dargestellt.

**Tab. 2:** Darstellung der wöchentlichen präoperativen Trainingseinheiten der Interventionsgruppe. (LÜ: Lockerungsübungen; Min.: Minuten; VO<sub>2</sub>max.: maximale Sauerstoffaufnahmekapazität).

Einheit	Zeit	Intensität
1.	2 x 10 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle
2.	2 x 15 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle
3.	2 x 15 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle
4.	2 x 20 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle
5.	2 x 20 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle
6.	2 x 25 Min. + 15 Min. LÜ	70% VO <sub>2</sub> max. bzw. 10 Schläge unter Ischämieschwelle

### 2.5.2 Therapieprogramm der Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe absolvierte kein präoperatives Training und durchlief, sofern die AHB im Kerckhoff Rehabilitationszentrum stattfand, im Anschluss an die Operation das standardisierte AHB-Programm (siehe Tab. 1).

## 2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der vorliegenden Arbeit erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS® Version 21. Alle Diagramme und Tabellen wurden in Microsoft Office EXCEL® erstellt.

### 2.6.1 Deskriptive Statistik

Bei der Deskriptivstatistik werden bestimmte Charakteristika einer Stichprobe beschrieben, ohne etwas über die dahinterstehende Grundgesamtheit auszusagen. Die Darstellung kann sowohl über Maßzahlen und Häufigkeitsverteilungen als auch grafisch erfolgen (Raab-Steiner/Benesch, 2012). In dieser Arbeit wurden die gängigsten deskriptivstatistischen Maßzahlen, wie das arithmetische Mittel (Mittelwert) und die Standardabweichung (SD) verwendet. Der Mittelwert (MW) stellt die Summe der Werte aller Fälle, dividiert durch die Anzahl der Fälle ( $n$ ) dar. Die Quadratwurzel aus der Varianz bildet die SD. Eine Übereinstimmung der Daten mit dem MW führt zu einer SD von Null. Je größer die SD, desto größer die Streuung. Unter der Varianz wird die Summe der quadrierten Abweichungen der Einzelwerte vom MW, geteilt durch die Anzahl der Werte verstanden. Auch hier gilt die gleiche Interpretation wie bei der SD. Allerdings lässt sich die SD besser interpretieren, da sie die identische Maßeinheit wie die Originaldaten verwendet. Meist wird die Varianz als Zwischenergebnis für weitere Berechnungen verwendet (Janssen/Laatz, 2017).

### 2.6.2 Signifikanzniveau

Unter dem Signifikanzniveau ( $\alpha$ ) versteht man die prozentuale Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ) bei Annahme der Alternativhypothese (Raab-Steiner/Benesch, 2012). Gängige statistische Werte sind  $\alpha = 5\%$  (signifikant) oder  $\alpha = 1\%$  (hoch signifikant) (Janssen/Laatz, 2017). In der vorliegenden Arbeit gilt  $\alpha = 5\%$ . Demzufolge kann die Alternativhypothese von 95% angenommen werden. Ein signifikantes Ergebnis liegt also bei  $p \leq 0,05$  vor.

### **2.6.3 Test auf Normalverteilung**

Die Normalverteilung ist eine mathematische Basisverteilung, welche eingipflig oder symmetrisch sein kann (Raab-Steiner/Benesch, 2012). Viele statistische Tests setzen die Normalverteilung der Daten einer Grundgesamtheit voraus, so dass diese vorab überprüft werden muss (Janssen/Laatz, 2017). In der vorliegenden Arbeit wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung auf Normalverteilung verwendet. Sofern  $p > 0,05$  liegt eine Normalverteilung vor. Der Kolmogorov-Smirnov-Test ist auf metrische Variablen anwendbar und überprüft, ob die Verteilung einer Stichprobenvariable einer theoretischen Verteilung entspricht oder nicht (Janssen/Laatz, 2017).

### **2.6.4 Unabhängiger T-Test**

Mit Hilfe des T-Tests für zwei unabhängige Stichproben werden die Mittelwerte zweier Gruppen auf Signifikanz überprüft. Voraussetzungen für diese Art von Test sind: Intervallskalierung, Normalverteilung und Homogenität der Varianz (Janssen/Laatz, 2017). Unter unabhängigen Stichproben versteht man die Tatsache, dass zwei Stichproben nicht eindeutig zugeordnet werden können (Raab-Steiner/Benesch, 2012). In der vorliegenden Arbeit wurde der T-Test für zwei unabhängige Stichproben unter anderem bei den anthropometrischen Daten benutzt.

### **2.6.5 Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest**

Der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ist ein nicht-parametrischer Test und überprüft, ob zwei in einer Stichprobe erhobene kategoriale Variablen voneinander unabhängig sind oder nicht (Janssen/Laatz, 2017). In dieser Arbeit wurde der Test für den Vergleich von Häufigkeiten beider Gruppen verwendet.

### **2.6.6 Varianzanalyse**

Varianzanalytische Verfahren sind einzusetzen, wenn mehr als zwei MW innerhalb einer Untersuchungsgruppe analysiert werden sollen. Um diese auf ihren Unterschied hin zu überprüfen, müssen mindestens drei MW vorliegen. Prinzipiell wird zwischen

ein-, zwei- und mehrfaktoriellen Verfahren unterschieden. Hiermit wird die Anzahl der unabhängigen Merkmalsausprägungen beschrieben (Hoffmann, 2004). In der vorliegenden Arbeit wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung im gemischten Design durchgeführt. Bei der sogenannten ANOVA (Analysis of Variance) wird eine abhängige Variable von zwei unabhängigen Variablen (Faktoren) beeinflusst. Zudem werden zwei Haupteffekthypothesen und eine Interaktionshypothese geprüft. Von einem gemischten Modell wird gesprochen, wenn feste als auch zufällige Effekte beinhaltet sind (Bortz, 2005). Ziel der Berechnung in der vorliegenden Arbeit war es, einen Parameter in Hinblick auf den Faktor Zeit (T1 bis T4) und den Faktor Gruppe (IG und KG) zu überprüfen. Anhand des Faktors Interaktion kann die Entwicklung des Parameters zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten ermittelt werden. Bei den altersspezifischen Analysen wurde eine rmANOVA (repeated measurement ANOVA) durchgeführt. Hierbei wurde ein Parameter auf den Faktor Zeit (T1 bis T4), den Faktor Gruppe (IG und KG) und zusätzlich auf den Faktor Alter ( $\leq$  oder  $>$  70 Jahre) untersucht. Es konnten zusätzlich zwei Interaktionen (Interaktion 1: Gruppe und Alter; Interaktion 2: Zeit und Gruppe) bestimmt werden. Der Post-hoc-Test überprüft, ob beim Vergleich der MW mehrerer Gruppen die Differenz zwischen mindestens einem der Vergleichspaare signifikant ist (Janssen/Laatz, 2017). Mittels der Bonferroni-Korrektur kann der Alphafehler bei mehreren Einzelhypothesen zur Überprüfung einer Gesamthypothese korrigiert werden. Er wurde in der Arbeit verwendet, um festzustellen, ob zwischen den Untersuchungszeitpunkten Unterschiede entstanden sind. Lag eine signifikante Interaktion vor, so wurde eine zusätzliche Auswertung des Post-hoc-Tests mittels rmANOVA zwischen den jeweiligen beiden Messzeitpunkten durchgeführt, um die Gruppenentwicklung festzustellen. Wurde ein signifikanter Altersgruppenunterschied ermittelt, so folgte eine zusätzliche Post-hoc-Analyse mittels einfaktorieller ANOVA, um exakte Auskunft über die Altersgruppenentwicklung zu erhalten.

### **2.6.7 Effektstärke nach Cohen**

Bei der Powerberechnung unter 2.3.1 wurde die Effektstärke (d) nach Cohen berücksichtigt. Ein schwacher Effekt liegt vor, wenn  $d = 0,2$  beträgt, ein mittlerer Effekt bei  $d = 0,5$  und ein starker Effekt bei  $d = 0,8$  (Cohen, 1992).



## 2.7 Fragestellungen, Hypothesen und Nebenhypothesen

Folgende Fragestellungen galt es zu klären:

- Hat ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining einen positiven Einfluss auf die Endothelfunktion/Gefäßelastizität im präoperativen Zustand als auch im postoperativen Verlauf im Vergleich zur Kontrollgruppe?
- Hat ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining nachhaltig einen positiven Einfluss auf die spiroergometrisch ermittelte kardiopulmonale Leistungsfähigkeit im präoperativen Zustand als auch im postoperativen Verlauf im Vergleich zur Kontrollgruppe?
- Hat ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining nachhaltig einen positiven Einfluss auf die funktionale Kapazität (6MWD) im präoperativen Zustand als auch im postoperativen Verlauf im Vergleich zur Kontrollgruppe?
- Hat ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining einen nachhaltigen Effekt auf die Lebensqualität und die ADL´s der ICF Kategorien Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben im präoperativen Zustand und insbesondere im postoperativen Verlauf im Vergleich zur Kontrollgruppe?

Aus diesen Fragestellungen ergaben sich folgende Hypothesen:

- I. Ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining vor einer geplanten Bypass-Operation führt unmittelbar präoperativ (T2) zu einer Verbesserung der Endothelfunktion/Gefäßelastizität (gemessen anhand EndoPAT<sup>®</sup>-2000/IEM Pulswellenanalyse<sup>®</sup>).
- II. Die Endothelfunktion der Interventionsgruppe (gemessen anhand des Endoscore mithilfe EndoPAT<sup>®</sup>-2000) ist zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) besser im Vergleich zur Kontrollgruppe.
- III. Die Pulswellengeschwindigkeit und der zentrale Blutdruck (gemessen mithilfe IEM-Pulswellenanalyse<sup>®</sup>) sind zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) geringer als bei der Kontrollgruppe.
- IV. Ein zweiwöchiges aerobes Ausdauertraining ist ausreichend, um die maximale 6-Minuten-Gehstrecke der Interventionsgruppe (gemessen mit Hilfe des 6-Minuten-Gehtests) unmittelbar präoperativ im Vergleich zu Kontrollgruppe zu verbessern (T2).

- V. Die Verbesserung der 6-Minuten-Gehstrecke der Interventionsgruppe lässt sich auch zu T3 (Klinikentlassung /Rehabilitationsaufnahme) im Vergleich zur Kontrollgruppe aufzeigen.
- VI. Die Leistung des 6-Minuten-Gehtests ist aufgrund des präoperativen Trainings in der Interventionsgruppe zu allen Messzeitpunkten deutlich besser als in der Kontrollgruppe.
- VII. Durch das präoperative Trainingsprogramm verbessert sich die subjektive Lebensqualität (gemessen anhand des MacNew-Fragebogens) zu allen Messzeitpunkten im Vergleich zur nichttrainierenden Kontrollgruppe.
- VIII. Durch das präoperative Trainingsprogramm reduziert sich die Angst und Depressivität (gemessen anhand des HADS-Fragebogens) unmittelbar präoperativ (T2) im Vergleich zur nichttrainierenden Kontrollgruppe.

Darüber hinaus stellen sich weitere Nebenhypothesen:

1. Ein zweiwöchiges aerobes Ausdauertraining ist ausreichend, um die maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der Interventionsgruppe (gemessen mithilfe einer Spiroergometrie) unmittelbar präoperativ im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verbessern (T2).
2. Die Verbesserung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit ( $Watt_{max}$  und  $VO_{2peak}$ ) der Interventionsgruppe lässt sich auch zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) im Vergleich zur Kontrollgruppe aufzeigen.
3. Durch das präoperative Trainingsprogramm verbessert sich die ICF-Domäne Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben gemessen mit dem MOSES-Fragebogen (T4).
4. Durch das präoperative Trainingsprogramm kommt es zu einer nachhaltigen Kraftsteigerung der unteren Extremitäten, so dass die Zeiten des TUG-Tests zu allen Messzeitpunkten im Vergleich zur Kontrollgruppe abnehmen.

### **3. ERGEBNISSE**

#### **3.1 Ergebnisdarstellung der untersuchten Kohorte**

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die untersuchte Patientenpopulation. Es wird sowohl die Gruppenzusammensetzung der Gesamt- als auch der jeweiligen Untersuchungsgruppen hinsichtlich der anthropometrischen Daten, der kardiovaskulären Diagnosen, der echokardiographischen Befunde, der kardiovaskulären Risikofaktoren, der Begleiterkrankungen als auch der Mediaktionen detailliert dargestellt.

##### **3.1.1 Patientencharakteristika**

Insgesamt erschienen 230 Patienten zur Eingangsuntersuchung. Die Patienten wurden anschließend in zwei Untergruppen randomisiert, so dass 115 Patienten der Interventionsgruppe (IG) und 115 der Kontrollgruppe (KG) zugeteilt werden konnten. Trotz im Vorfeld stattgefundener telefonischer Studienaufklärung und Einwilligung der Patienten zur Studienteilnahme haben 27 Patienten (11,7%) zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung und nach Randomisierung in die Trainingsgruppe eine weitere Teilnahme abgelehnt. Hauptgrund war der zu hohe Zeit- und Fahraufwand als auch der damit verbundene Stress, der für das präoperative Training hätte aufgewendet werden müssen. Auch eine finanzielle Unterstützung mittels Fahrtkostenerstattung über Stiftungsgelder konnte diese Patienten nicht davon überzeugen, weiterhin an der Studie teilzunehmen. Letztendlich wurde bei 203 Patienten, 21 Frauen (10,3%) und 182 (89,7%) Männer die Eingangsuntersuchung durchgeführt. Das Durchschnittsalter lag bei  $67,1 \pm 8,4$  Jahren. Das im Ethikantrag angegebene Einschlusskriterium, dass Patienten mindestens 70 Jahre alt sein müssen, wurde nach den ersten Monaten revidiert. Hauptgrund war die Schwierigkeit, ältere Patienten für die Studie zu gewinnen, so dass nach anfänglichen Problemen bei der Rekrutierung die Alterslimitation aufgehoben wurde. Im Ergebnisteil wird sowohl die Auswertung der Gesamtgruppe als auch eine altersspezifische Analyse erfolgen. Aus diversen Gründen (Kooperationsverträge der Krankenkassen, fehlende Zulassung der Rentenversicherungsträger etc.) konnte die Anschlussheilbehandlung der Patienten nicht ausschließlich im Kerckhoff-Rehabilitationszentrum ( $n = 113$ ; 55,7%) absolviert werden. Weitere Einrichtungen, in denen ein Großteil der Patienten untergebracht wurde, waren: MEDIAN Klinik am Südpark,

Bad Nauheim (n = 26; 12,8%), Rehabilitationszentrum am Sprudelhof, Bad Nauheim (n = 25; 12,3%), Reha-Klinik Küpelsmühle, Bad Orb (n = 10; 4,9%) und Klinik Wetterau, Bad Nauheim (n = 10; 4,9%). Während des kompletten Studienzeitraumes widerriefen in der IG sieben Patienten (8%) und in der KG fünfundzwanzig Patienten (21,7%) ihre Teilnahme an der Studie. Vier Patienten der IG mussten aufgrund einer katheterinterventionellen Revaskularisierung der Koronarstenosen ausgeschlossen werden, da sie nicht operiert wurden und eine PTCA mit Stentimplantation erhielten. Die Operation eines weiteren Patienten wurde wegen einer Erkältung verschoben und im Anschluss gab der Patient private Gründe an, weshalb er sich gegen eine Operation entschieden hatte. Ein weiterer Patient wurde während des AHB-Aufenthalts aufgrund von Komplikationen (Wundheilungsproblemen) verlegt und einer reagierte nicht auf die Einladung zur Abschlussuntersuchung. In der KG lag die Drop-Out-Rate deutlich über der in der IG. Während der Wartezeit kam es bereits zu vier Ausstiegen. Ein Patient verstarb (plötzlicher Herztod), einer wurde mittels PTCA und Stentimplantation revaskularisiert, ein weiterer erhielt eine notfallmäßige Bypass-Operation (akute AP-Beschwerden) und einer erlitt einen Herzinfarkt (Revaskularisierung in externer Klinik). Im postoperativen Zeitraum kam es zu weiteren sieben Ausfällen. Fünf Patienten wurden wegen Komplikationen (Verdacht auf Schlaganfall, Wundheilungsproblemen) in umliegende Krankenhäuser verlegt, ein Patient erhielt statt einer Operation eine PTCA mit Stents und ein weiterer Patient wurde aufgrund von klinikinternen Gründen ausgeschlossen. Zwölf Patienten lehnten die Abschlussuntersuchung (T4) aus privaten Gründen ab oder nahmen den vereinbarten Termin ohne Angabe von Gründen nicht wahr und zwei weitere Patienten wurden während der Rehabilitation wegen Komplikationen (Wundheilungsproblemen) verlegt. Somit liegen 171 komplette Datensätze (IG = 81; KG = 90) der Studienteilnehmer vor. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Studienteilnehmer sowie die exakten Gründe eines Ausstiegs zu den jeweiligen vier Messzeitpunkten.

### 3.1.2 Anthropometrische Daten der Gesamtgruppe

Tabelle 3 zeigt die nach Geschlecht stratifizierte anthropometrischen Daten der Gesamtgruppe. Männer und Frauen unterscheiden sich signifikant sowohl hinsichtlich der Größe als auch des Gewichts. Es wurden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede beim Alter als auch dem Body-Maß-Index (BMI) festgestellt. In der IG lag das Verhältnis männlich zu weiblich bei 9 zu 79 und in der KG bei 12 zu 103.

**Tab. 3:** Vergleich der anthropometrischen Daten der Untersuchungsgruppen differenziert nach Geschlecht (m: männlich; w: weiblich; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; kg: Kilogramm; BMI: Body-Maß-Index; m<sup>2</sup>: Quadratmeter; \*: geprüft mit unabhängigen T-Test).

	<b>Gesamt (n = 203)</b> (MW ± SD)	<b>m (n = 182)</b> (MW ± SD)	<b>w (n = 21)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert*</b>
<b>Alter [Jahre]</b>	67,1 ± 8,4	67,0 ± 8,6	68,2 ± 6,7	p = 0,524
<b>Größe [m]</b>	1,75 ± 8,1	1,76 ± 7,1	1,62 ± 4,4	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>Gewicht [kg]</b>	87,8 ± 15,2	89,0 ± 14,9	77,4 ± 14,1	<b>p = 0,001</b>
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	28,7 ± 4,4	28,7 ± 4,3	29,5 ± 5,3	p = 0,433

Tabelle 4 zeigt die anthropometrischen Daten differenziert nach der Gruppenzugehörigkeit. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der IG und der KG festgestellt.

**Tab. 4:** Vergleich der anthropometrischen Daten differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; kg: Kilogramm; BMI: Body-Maß-Index; m<sup>2</sup>: Quadratmeter; \*: geprüft mit unabhängigen T-Test).

	<b>IG (n = 88)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 115)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert*</b>
<b>Alter [Jahre]</b>	66,1 ± 9,0	67,9 ± 7,9	p = 0,127
<b>Größe [m]</b>	1,74 ± 8,6	1,75 ± 7,7	p = 0,294
<b>Gewicht [kg]</b>	88,2 ± 16,1	87,5 ± 14,4	p = 0,758
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	29,1 ± 4,7	28,5 ± 4,2	p = 0,372

### 3.1.3 Kardiovaskuläre Diagnosen

Tabelle 5 zeigt die koronarangiographischen Befunde und die CCS-Klassifikationen der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt.

**Tab. 5:** Koronarangiographischer Befund zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; CCS-Klassifikation: Klassifikation der Canadian Cardiovascular Society; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	<b>Gesamt (n = 203)</b>	<b>IG (n = 88)</b>	<b>KG (n = 115)</b>	<b>p-Wert<sup>#</sup></b>
<b>Koronarbefund</b>				
Eingefäßerkrankung	10 (4,9%)	3 (3,4%)	7 (6,1%)	p = 0,382
Zweigefäßerkrankung	37 (18,2%)	15 (17%)	22 (19,1%)	p = 0,703
Dreigefäßerkrankung	156 (76,8%)	70 (79,5%)	86 (74,8%)	p = 0,425
<b>CCS-Klassifikation</b>				
keine AP	90 (44,3%)	37 (42%)	53 (46,1%)	p = 0,566
CCS I	11 (5,4%)	4 (4,5%)	7 (6,1%)	p = 0,631
CCS II	78 (38,4%)	38 (43,2%)	40 (34,8%)	p = 0,223
CCS III	15 (7,4%)	6 (6,8%)	9 (7,8%)	p = 0,786
unbekannt	9 (4,4%)	3 (3,4%)	6 (5,2%)	p = 0,535

In Tabelle 6 sind die kardiovaskulären Diagnosen zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen dargestellt. Der Anteil der Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit ist in der Kontrollgruppe im Vergleich zur Interventionsgruppe signifikant höher. Hinsichtlich der anderen Erkrankungen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

**Tab. 6:** Detaillierte Darstellung der kardiovaskulären Diagnosen zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; Z.n.: Zustand nach; TIA: Transitorische ischämische Attacke; PAVK: Periphere arterielle Verschlusskrankheit; NYHA: New York Heart Association; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	<b>Gesamt (n = 203)</b>	<b>IG (n = 88)</b>	<b>KG (n = 115)</b>	<b>p-Wert<sup>#</sup></b>
<b>Z.n. Myokardinfarkt</b>	65 (32%)	34 (38,6%)	31 (27%)	p = 0,077
<b>Z.n. Cerebrovaskulärer Arteriosklerose</b>				
Apoplex	8 (3,9%)	2 (2,3%)	6 (5,2%)	p = 0,285
TIA	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
unbekannt	5 (2,5%)	3 (3,4%)	2 (1,7%)	p = 0,477
<b>PAVK</b>	26 (12,8%)	6 (6,8%)	20 (17,4%)	<b>p = 0,025</b>
<b>Carotisstenose</b>	12 (5,9%)	7 (8%)	5 (4,3%)	p = 0,280
<b>Phlebothrombose</b>	3 (1,5%)	0	3 (2,6%)	p = 0,127
<b>Niereninsuffizienz</b>	14 (6,9%)	5 (5,7%)	9 (7,8%)	p = 0,565
<b>Herzinzuffizienz</b>				
keine	148 (72,9%)	64 (72,7%)	84 (73%)	p = 0,960
NYHA Stadium I	4 (2%)	2 (2,3%)	2 (1,7%)	p = 0,786
NYHA Stadium II	41 (20,2%)	17 (19,3%)	24 (20,9%)	p = 0,785
NYHA Stadium III	10 (4,9%)	5 (5,7%)	5 (4,3%)	p = 0,663
<b>Z.n. Defiimplantation</b>	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
<b>Z.n. Schrittmacherimplantation</b>	3 (1,5%)	2 (2,3%)	1 (0,9%)	p = 0,412

### 3.1.4 Echokardiographischer Befund

In Tabelle 7 sind die wichtigsten Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung dargestellt. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt.

**Tab. 7:** Echokardiographischer Befund der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; EF: Ejektionsfraktion; \*: geprüft mit unabhängigen T-Test; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	<b>Gesamt (n = 179)</b>	<b>IG (n = 76)</b>	<b>KG (n = 103)</b>	<b>p-Wert*</b>
<b>EF [%]</b>	56,06 ± 7,64	55,82 ± 7,23	56,24 ± 7,96	p = 0,342
	<b>Gesamt (n = 188)</b>	<b>IG (n = 81)</b>	<b>KG (n = 107)</b>	<b>p-Wert#</b>
<b>Linksventrikuläre Funktion</b>				
Normal	142 (75,5%)	61 (69,3%)	81 (70,4%)	p = 0,863
Leichtgradig eingeschränkt	31 (16,5%)	15 (17%)	16 (13,9%)	p = 0,539
Mittelgradig eingeschränkt	15 (8%)	5 (5,7%)	10 (8,7%)	p = 0,416
Hochgradig eingeschränkt	0	0	0	0



### 3.1.5 Kardiovaskuläre Risikofaktoren

Tabelle 8 zeigt die kardiovaskulären Risikofaktoren der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt.

**Tab. 8:** Verteilung der Häufigkeiten kardialer Risikofaktoren differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	<b>Gesamt (n = 203)</b>	<b>IG (n = 88)</b>	<b>KG (n = 115)</b>	<b>p-Wert<sup>#</sup></b>
<b>Hyperlipidämie</b>	175 (86,2%)	77 (87,5%)	98 (85,2%)	p = 0,640
<b>Hypertonie</b>	178 (87,7%)	81 (92%)	97 (84,3%)	p = 0,098
<b>Diabetes mellitus</b>	74 (36,5%)	29 (33%)	45 (39,1%)	p = 0,600
davon Typ 1	4 (2%)	2 (2,3%)	2 (1,7%)	p = 0,786
davon Typ 2	70 (34,5%)	27 (30,7%)	43 (37,4%)	p = 0,319
<b>Familiäre Disposition</b>	144 (70,9%)	65 (73,9%)	79 (68,7%)	p = 0,422
<b>Raucherstatus</b>				
Nie geraucht	77 (37,9%)	34 (38,6%)	43 (37,4%)	p = 0,856
Exraucher	116 (57,1%)	49 (55,7%)	67 (58,3%)	p = 0,713
Raucher	10 (4,9%)	5 (5,7%)	5 (4,3%)	p = 0,663

### 3.1.6 Begleiterkrankungen

In Tabelle 9 werden die Begleiterkrankungen der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen dargestellt. Die Gruppen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich des Auftretens von COPD.

**Tab. 9:** Verteilung der Begleiterkrankungen differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; COPD: Chronisch obstruktive pulmonale Erkrankung; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	<b>Gesamt (n = 203)</b>	<b>IG (n = 88)</b>	<b>KG (n = 115)</b>	<b>p-Wert<sup>#</sup></b>
<b>COPD</b>	9 (4,4%)	1 (1,1%)	8 (7%)	<b>p = 0,046</b>
<b>Asthma bronchiale</b>	3 (1,5%)	1 (1,1%)	2 (1,7%)	p = 0,724
<b>Schlafapnoe</b>	14 (6,9%)	4 (4,5%)	10 (8,7%)	p = 0,248
<b>Chronische Bronchitis</b>	7 (3,4%)	3 (3,4%)	4 (3,5%)	p = 0,979
<b>Gastrointestinale Erkrankungen</b>	23 (11,3%)	12 (13,6%)	11 (9,6%)	p = 0,364
<b>Neurologische Erkrankungen</b>	17 (8,4%)	6 (6,8%)	11 (9,6%)	p = 0,484
<b>Rheumatischer Formenkreis</b>	16 (7,9%)	8 (9,1%)	8 (7%)	p = 0,576
<b>Degenerative Gelenkerkrankungen</b>	91 (44,8%)	39 (44,3%)	52 (45,2%)	p = 0,898
<b>Gynäkologisch/Urologische Erkrankungen</b>	32 (15,8%)	15 (17%)	17 (14,8%)	p = 0,661
<b>Hals-Nasen-Ohren/Augen Erkrankungen</b>	16 (7,9%)	6 (6,8%)	10 (8,7%)	p = 0,623
<b>Psychische Erkrankungen</b>	8 (3,9%)	4 (4,5%)	4 (3,5%)	p = 0,699
<b>Sucht/Abhängigkeit</b>	3 (1,5%)	1 (1,1%)	2 (1,7%)	p = 0,724
<b>Endokrine Erkrankungen</b>	28 (13,8%)	12 (13,6%)	16 (13,9%)	p = 0,955
<b>Onkologische Erkrankungen</b>	14 (6,9%)	7 (8%)	7 (6,1%)	p = 0,603
<b>keine Begleiterkrankung</b>	29 (14,3%)	12 (13,6%)	17 (14,8%)	p = 0,817

### 3.1.7 Medikation

In Tabelle 10 wird die kardiale Medikation der Gesamtgruppe als auch differenziert nach Gruppen zu Studienbeginn dargestellt. Es waren keine Unterschiede zwischen den Gruppen ersichtlich.

**Tab. 10:** Übersicht der kardialen Medikation differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; ASS: Acetylsalicylsäure; ACE-Hemmer: Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer; AT-I-Antagonisten: Angiotensin-I-Rezeptorblocker; AT-II-Antagonisten: Angiotensin-II-Rezeptorblocker; #: geprüft mit Chi-Quadratstest).

	Gesamt (n = 203)	IG (n = 88)	KG (n = 115)	p-Wert <sup>#</sup>
<b>Gerinnungshemmung</b>				
ASS	155 (76,4%)	63 (71,6%)	92 (80%)	p = 0,162
Clopidogrel	6 (3%)	3 (3,4%)	3 (2,6%)	p = 0,739
Rivaroxaban	3 (1,5%)	0	3 (2,6%)	p = 0,172
Apixaban	4 (2%)	2 (2,3%)	2 (1,7%)	p = 0,786
Dabigatran	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
ASS+Clopidogrel	17 (8,4%)	8 (9,1%)	9 (7,8%)	p = 0,747
ASS+Ticagrelor	4 (2%)	3 (3,4%)	1 (0,9%)	p = 0,197
ASS+Prasugrel	3 (1,5%)	2 (2,3%)	1 (0,9%)	p = 0,412
ASS+Marcumar	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
ASS+Apixaban	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,849
<b>Betablocker</b>				
Metoprolol	27 (13,3%)	13 (14,8%)	14 (12,2%)	p = 0,589
Bisoprolol	100 (49,3%)	44 (50%)	56 (48,7%)	p = 0,854
Carvedilol	4 (2%)	1 (1,1%)	3 (2,6%)	p = 0,454
Nebivolol	4 (2%)	2 (2,3%)	2 (1,7%)	p = 0,786
Atenolol	1 (0,5%)	0	1 (0,9%)	p = 0,381
<b>Diuretika</b>	72 (35,5%)	35 (39,8%)	37 (32,2%)	p = 0,262
<b>ACE-Hemmer</b>				
Ramipril	73 (36%)	34 (38,6%)	39 (33,9%)	p = 0,487
Lisinopril	8 (3,9%)	4 (4,5%)	4 (3,5%)	p = 0,699
Enalapril	7 (3,4%)	3 (3,4%)	4 (3,5%)	p = 0,979
Perindopril	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
<b>AT-I-Antagonisten</b>				
Valsartan	14 (6,9%)	6 (6,8%)	8 (7%)	p = 0,969
Candesartan	24 (11,8%)	7 (8%)	17 (14,8%)	p = 0,135
Losartan	7 (3,4%)	4 (4,5%)	3 (2,6%)	p = 0,454
Telmisartan	8 (3,9%)	6 (6,8%)	2 (1,7%)	p = 0,065
Irbesartan	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
<b>AT-II-Antagonisten</b>	3 (1,5%)	1 (1,1%)	2 (1,7%)	p = 0,724
<b>Nitrate</b>	1 (0,5%)	0	1 (0,9%)	p = 0,381
<b>Antiarrhythmikum</b>	1 (0,5%)	0	1 (0,9%)	p = 0,381
<b>Kalziumantagonisten</b>	45 (22,2%)	20 (22,7%)	25 (21,7%)	p = 0,867
<b>Sympatikolythika</b>	1 (0,5%)	0	1 (0,9%)	p = 0,381
<b>Arteriöläre Vasodilatatoren</b>	3 (1,5%)	0	3 (2,6%)	p = 0,127
<b>Hormonersatztherapie</b>	28 (13,8%)	11 (12,5%)	17 (14,8%)	p = 0,640
<b>Lipidsenker</b>				
Statine	158 (77,8%)	70 (79,5%)	88 (76,5%)	p = 0,607
Ezetimib	1 (0,5%)	1 (1,1%)	0	p = 0,252
Statine+Ezetimib	7 (3,4%)	4 (4,5%)	3 (2,6%)	p = 0,454
<b>Diabetesbehandlung</b>				
nur Diät	7 (3,4%)	3 (3,5%)	4 (3,5%)	p = 0,979
orale Antidiabetika	34 (16,7%)	15 (17%)	19 (16,5%)	p = 0,921
Insulin	10 (4,9%)	3 (3,4%)	7 (6,1%)	p = 0,382
orale Antidiabetika+Insulin	22 (10,8%)	8 (9,1%)	14 (12,2%)	p = 0,484

### 3.2 Ergebnisdarstellung der untersuchten Parameter

Im Folgenden werden die Ergebnisse hinsichtlich ihrer zeitlichen und gruppenspezifischen Entwicklung dargestellt. Der erste Teil befasst sich mit den Ergebnissen der Gesamtgruppe. Im zweiten Teil werden die Ergebnisse der altersspezifischen Auswertung der Testvariablen dargestellt. Die vier Messzeitpunkte werden mit T1 bis T4 beschrieben:

- T1: Eingangsuntersuchung
- T2: Untersuchung einen Tag präoperativ
- T3: Rehabilitationsbeginn
- T4: Rehabilitationsende

Der Vergleich der vier Untersuchungszeitpunkte wird in der rmANOVA (repeated measurement ANOVA) gesondert durch einen nach Bonferroni adjustierten Post-hoc-Test aufgezeigt. Für die Beantwortung einzelner Hypothesen, Nebenhypothesen, die Ermittlung von Gruppenunterschieden bei signifikanter Interaktion als auch bei vorliegendem signifikanten Altersgruppenunterschied wurden einfache ANOVAs und rmANOVAs mit einem Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten durchgeführt. Die graphische Darstellung ist unter dem jeweiligen Messparameter zu finden, sofern die Berechnung für die Beantwortung von Hypothesen oder Nebenhypothesen notwendig war bzw. eine signifikante Entwicklung vorlag. Die einzelnen Auswertungen variieren zum Teil stark hinsichtlich der Gruppengrößen. Gründe hierfür waren die zum einen im Methodikteil unter 2.3.3 und Abbildung 3 beschriebenen und dargestellten Drop-out-Raten als auch die Tatsache, dass vereinzelt nicht bei jedem Probanden alle Messungen zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt durchgeführt werden konnten. Zum Teil waren Messapparaturen kurzzeitig defekt, Messungen wurden vom Patienten abgelehnt oder ein Messzeitpunkt konnte aus organisatorischen klinikinternen Gründen nicht absolviert werden. Zudem berechnete die Statistiksoftware IBM SPSS Statistics® bei den rmANOVAs lediglich die Daten der Probanden, welche zu allen Untersuchungszeitpunkten vollständig in der Datenbank vorhanden waren. So kam es zum Beispiel, dass Analysen der rmANOVAs zwischen T1 und T2 deutlich größere Stichproben beinhalteten als in den rmANOVAs zwischen T1 bis T4. Oftmals fehlten Werte erst zu T3 oder T4.

### 3.2.1 Gefäßelastizität und Endothelfunktion

#### 3.2.1.1 EndoPAT

Tabelle 11 zeigt die mittlere Veränderung der Endoscores aus der EndoPAT®-Messung differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 11:** Entwicklung der mittleren Endoscores im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 58)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 57)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1,85 ± 0,59	1,87 ± 0,66	
<b>T2</b>	1,74 ± 0,45	1,85 ± 0,61	p < 0,001
<b>T3</b>	1,51 ± 0,48	1,59 ± 0,56	
<b>T4</b>	1,59 ± 0,46	1,69 ± 0,57	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,274		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,884		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p = 0,757		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,007		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,070		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Werte der Endoscores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,274$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,884$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte signifikante operationsbedingt Verschlechterung der Werte von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ), T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T4 ( $p = 0,007$ ).

Tabelle 12 zeigt die mittlere Entwicklung der Endoscores zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 12:** Entwicklung der mittleren Endoscores im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 72)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 90)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1,80 ± 0,57	1,81 ± 0,63	
<b>T2</b>	1,74 ± 0,44	1,76 ± 0,57	p = 0,208
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,847		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,892		

In beiden Gruppen wurde in der Zeit zwischen T1 und T2 keine Veränderung der Endoscores festgestellt ( $p = 0,208$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,847$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,892$ ) vor.

Tabelle 13 zeigt die mittlere Veränderung der Endoscores zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 13:** Entwicklung der Endoscores zu T3 differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 72)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 77)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	1,48 ± 0,45	1,60 ± 0,57
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,142	

Zu Rehabilitationsbeginn lag kein signifikanter Gruppenunterschied vor (p = 0,142).



### 3.2.1.2 Pulswellenanalyse

#### 3.2.1.2.1 Systolischer Blutdruck

Tabelle 14 zeigt die mittlere Veränderung der systolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 14:** Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 76)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	139,0 ± 17,6 mmHg	140,3 ± 18,6 mmHg	
<b>T2</b>	130,8 ± 17,3 mmHg	137,1 ± 16,3 mmHg	p < 0,001
<b>T3</b>	117,5 ± 17,1 mmHg	118,5 ± 15,1 mmHg	
<b>T4</b>	121,8 ± 14,7 mmHg	121,9 ± 17,0 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,263		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,166		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p = 0,037		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelten sich die systolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,263$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,166$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ von T1 zu T2 eine signifikante Abnahme ( $p < 0,001$ ) der systolischen Blutdruckwerte. Auch postoperativ nahmen die Werte weiterhin signifikant ab (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Erhöhung der systolischen Blutdruckwerte erzielt werden ( $p = 0,037$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte signifikant unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 15 zeigt die mittlere Entwicklung der systolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 15:** Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 107)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	138,7 ± 17,1 mmHg	139,1 ± 18,1 mmHg	
<b>T2</b>	131,3 ± 16,9 mmHg	136,3 ± 16,7 mmHg	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,243		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,020		

In beiden Gruppen kam es zu einer signifikanten Reduktion der systolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,243$ ), allerdings eine signifikante Interaktion ( $p = 0,020$ ) vor. Präoperativ nahmen die systolischen Blutdruckwerte der IG signifikant stärker ab als die der KG.

### 3.2.1.2.2 Diastolischer Blutdruck

Tabelle 16 zeigt die mittlere Veränderung der diastolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 16:** Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 76)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	88,9 ± 12,0 mmHg	88,7 ± 12,5 mmHg	
<b>T2</b>	83,3 ± 10,6 mmHg	87,5 ± 11,3 mmHg	p < 0,001
<b>T3</b>	74,3 ± 11,5 mmHg	73,0 ± 10,1 mmHg	
<b>T4</b>	79,2 ± 10,6 mmHg	77,6 ± 11,6 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,841		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,016		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelten sich die diastolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,841$ ). Es konnte jedoch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,016$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Abnahme der diastolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt nahmen die Werte weiterhin stetig ab (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Erhöhung der diastolischen Blutdruckwerte beobachtet werden (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die diastolischen Blutdruckwerte unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ). Die zusätzlichen Post-hoc Analysen mittels rmANOVA (T1 zu T2) zeigten, dass die diastolischen Blutdruckwerte der IG präoperativ stärker abnahmen als die der KG ( $p = 0,003$ ). Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass die diastolischen Blutdruckwerte der KG von T2 zu T3 ( $p = 0,016$ ) und T2 zu T4 ( $p = 0,021$ ) signifikant stärker abnahmen als in der IG.

Tabelle 17 zeigt die mittlere Entwicklung der diastolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 17:** Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 107)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	89,0 ± 11,7 mmHg	87,7 ± 12,1 mmHg	
<b>T2</b>	83,9 ± 10,8 mmHg	86,5 ± 11,0 mmHg	$p < 0,001$
<b>Gruppe (p)</b>	$p = 0,686$		
<b>Interaktion (p)</b>	$p = 0,003$		

In beiden Gruppen entwickelten sich die diastolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,686$ ), allerdings eine signifikante Interaktion ( $p = 0,003$ ) vor. Präoperativ nahmen die diastolischen Blutdruckwerte der IG signifikant stärker ab als die der KG.

### 3.2.1.2.3 Zentraler systolischer Blutdruck

Tabelle 18 zeigt die mittlere Veränderung der zentralen systolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 18:** Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	148,4 ± 23,8 mmHg	153,0 ± 26,8 mmHg	
<b>T2</b>	140,5 ± 22,2 mmHg	147,0 ± 21,0 mmHg	p < 0,001
<b>T3</b>	122,1 ± 19,7 mmHg	124,6 ± 16,7 mmHg	
<b>T4</b>	127,0 ± 16,9 mmHg	130,1 ± 19,1 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,094		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,659		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p = 0,005		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelten sich die zentralen systolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,094$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,659$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Abnahme von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt kam es zu einer weiteren stetigen Reduktion der Werte (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Zunahme des zentralen systolischen Blutdrucks beobachtet (T3 zu T4,  $p = 0,005$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die zentralen systolischen Blutdruckwerte unter denen aus dem präoperativen Zeitraum (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 19 zeigt die mittlere Entwicklung der zentralen systolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 19:** Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 107)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	147,9 ± 22,9 mmHg	150,2 ± 25,4 mmHg	
<b>T2</b>	140,9 ± 21,6 mmHg	145,4 ± 20,6 mmHg	$p < 0,001$
<b>Gruppe (p)</b>	$p = 0,260$		
<b>Interaktion (p)</b>	$p = 0,418$		

In beiden Gruppen veränderte sich der zentrale systolische Blutdruck von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,260$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,418$ ) vor.

Tabelle 20 zeigt den Vergleich der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 20:** Vergleich der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 95)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	121,7 ± 19,4 mmHg	125,3 ± 16,5 mmHg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,192	

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,192) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.1.2.4 Zentraler diastolischer Blutdruck

Tabelle 21 zeigt die mittlere Veränderung der zentralen diastolischen Blutdruckwerte (mmHG) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 21:** Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	91,7 ± 11,7 mmHg	93,0 ± 14,9 mmHg	
<b>T2</b>	86,4 ± 11,1 mmHg	89,5 ± 11,1 mmHg	p < 0,001
<b>T3</b>	76,1 ± 11,3 mmHg	74,9 ± 9,9 mmHg	
<b>T4</b>	80,5 ± 10,8 mmHg	79,5 ± 11,7 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,672		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,127		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		



In beiden Gruppen entwickelten sich die zentralen diastolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,672$ ). Es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,127$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Abnahme von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt kam es zu einer weiteren stetigen Reduktion der zentralen diastolischen Blutdruckwert (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Zunahme der Werte beobachtet (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die zentralen diastolischen Blutdruckwerte unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 22 zeigt die Veränderung der mittlere zentralen diastolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 22:** Veränderung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 107)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	91,7 ± 11,6 mmHg	91,3 ± 14,2 mmHg	
<b>T2</b>	86,8 ± 11,3 mmHg	88,3 ± 11,0 mmHg	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,714		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,247		

In beiden Gruppen wurde der zentrale diastolische Blutdruck zwischen T1 und T2 signifikant ( $p < 0,001$ ) gesenkt. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,714$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,247$ ) vor.

Tabelle 23 zeigt den Vergleich der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 23:** Vergleich der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 95)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	76,1 ± 11,5 mmHg	75,2 ± 9,6 mmHg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,565	

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,565) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.1.2.5 Pulswellengeschwindigkeit

Tabelle 24 zeigt die mittlere Veränderung der Pulswellengeschwindigkeit (m/s) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 24:** Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	10,8 ± 1,9 m/s	11,3 ± 1,8 m/s	
<b>T2</b>	10,5 ± 1,8 m/s	10,9 ± 1,6 m/s	p < 0,001
<b>T3</b>	10,0 ± 1,6 m/s	10,3 ± 1,5 m/s	
<b>T4</b>	10,1 ± 1,5 m/s	10,4 ± 1,5 m/s	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,117		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,509		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p = 0,604		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Pulswellengeschwindigkeiten über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,117$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,509$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Senkung der Pulswellengeschwindigkeit von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Zudem konnte eine operationsbedingte Abnahme der Pulswellengeschwindigkeit von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) festgestellt werden. Auch zu Rehabilitationsende lagen die Pulswellengeschwindigkeiten unterhalb der im präoperativen Zeitraum erhobenen Werte (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 25 zeigt die mittlere Entwicklung der Pulswellengeschwindigkeit zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 25:** Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 107)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	10,7 ± 1,9 m/s	11,1 ± 1,8 m/s	
<b>T2</b>	10,5 ± 1,8 m/s	10,8 ± 1,6 m/s	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,136		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,620		

In beiden Gruppen entwickelte sich die Pulswellengeschwindigkeit von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,136$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,620$ ) vor.

Tabelle 26 zeigt die mittlere Veränderung der Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 26:** Vergleich der mittleren Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 81)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 95)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	9,9 ± 1,6 m/s	10,2 ± 1,6 m/s
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,212	

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,212) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.2 Kardiopulmonale Kapazität

#### 3.2.2.1 Maximal erreichte Ergometerleistung

Tabelle 27 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Ergometerleistung (Watt) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 27:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 64)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 60)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	97,7 ± 23,2 Watt	100,4 ± 22,6 Watt	
<b>T2</b>	100,6 ± 22,3 Watt	99,3 ± 23,8 Watt	p < 0,001
<b>T3</b>	77,8 ± 22,6 Watt	74,3 ± 19,0 Watt	
<b>T4</b>	96,0 ± 28,3 Watt	92,9 ± 21,1 Watt	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,723		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,201		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,056		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,008		

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximal erreichte Ergometerleistung über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,723$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,201$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte operationsbedingt eine signifikante Abnahme der maximal erreichten Ergometerleistung von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet. Zum Abschluss der Rehabilitation war die Leistungsfähigkeit jedoch immer noch signifikant niedriger als vor der Operation (T2 zu T4,  $p = 0,008$ ).

Tabelle 28 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Ergometerleistung zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 28:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 79)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 101)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	99,2 ± 24,3 Watt	98,2 ± 25,6 Watt	
<b>T2</b>	102,1 ± 24,4 Watt	98,3 ± 26,8 Watt	p = 0,111
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,523		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,137		

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximale Leistungsfähigkeit von T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,111$ ). Es wurde kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,523$ ) und auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,137$ ) festgestellt.

Tabelle 29 zeigt die mittlere maximal erreichte Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 29:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 70)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 69)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	77,3 ± 22,1 Watt	73,1 ± 18,6 Watt
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,231	

Zu Rehabilitationsbeginn unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant (p = 0,231)



### 3.2.2.2 Relative maximal erreichte Ergometerleistung

Tabelle 30 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung (Watt/kg Körpergewicht) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 30:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 64)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 60)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1,15 ± 0,31 Watt/kg	1,19 ± 0,31 Watt/kg	
<b>T2</b>	1,18 ± 0,30 Watt/kg	1,18 ± 0,32 Watt/kg	p < 0,001
<b>T3</b>	0,93 ± 0,28 Watt/kg	0,89 ± 0,25 Watt/kg	
<b>T4</b>	1,16 ± 0,37 Watt/kg	1,12 ± 0,28 Watt/kg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,827		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,160		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,326		

In beiden Gruppen entwickelte sich die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,827$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,160$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante operationsbedingte Abnahme der maximal erreichten Ergometerleistung von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachten werden.

Tabelle 31 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 31:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 79)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 101)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1,15 ± 0,30 Watt/kg	1,14 ± 0,32 Watt/kg	
<b>T2</b>	1,19 ± 0,30 Watt/kg	1,15 ± 0,33 Watt/kg	p = 0,102
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,616		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,178		

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative maximal erreichte Ergometerleistung von T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,102$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,616$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,178$ ) vor.

Tabelle 32 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 32:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 70)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 69)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	0,92 ± 0,28 Watt/kg	0,87 ± 0,24 Watt/kg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,275	

Zu Rehabilitationsbeginn (T3) wurde kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,275) festgestellt.

### 3.2.2.3 Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

Tabelle 33 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme (Peak VO<sub>2</sub>, ml/min) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 33:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 47)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 52)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1326,7 ± 328,4 ml/min	1362,3 ± 311,5 ml/min	
<b>T2</b>	1373,1 ± 346,0 ml/min	1369,6 ± 326,1 ml/min	p < 0,001
<b>T3</b>	1053,2 ± 359,4 ml/min	1021,1 ± 263,7 ml/min	
<b>T4</b>	1282,9 ± 381,5 ml/min	1255,5 ± 315,7 ml/min	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,907		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,515		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,038		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelte sich die Peak VO<sub>2</sub> über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,907$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,515$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine operationsbedingte signifikante Abnahme der Peak VO<sub>2</sub> von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Steigerung der Peak VO<sub>2</sub> von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Zu Rehabilitationsende lag die Peak VO<sub>2</sub> nach wie vor signifikant unterhalb der präoperativen Werte (T1 zu T4,  $p = 0,038$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 34 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 34:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 67)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 93)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1359,6 ± 335,7 ml/min	1322,0 ± 337,9 ml/min	
<b>T2</b>	1398,9 ± 355,8 ml/min	1349,4 ± 353,4 ml/min	p = 0,032
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,415		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,701		

In beiden Gruppen entwickelte sich die Peak VO<sub>2</sub> von T1 zu T2 signifikant ( $p = 0,032$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,415$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,701$ ) vor.

Tabelle 35 zeigt die mittlere maximal erreichte Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 35:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 66)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 68)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	1055,5 ± 314,3 ml/min	1004,0 ± 258,5 ml/min
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,301	

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,301) der Peak VO<sub>2</sub> zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.2.4 Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

Tabelle 36 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme (relative Peak VO<sub>2</sub>, ml/min/kg Körpergewicht) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 36:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 47)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 52)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	15,7 ± 4,08 ml/min/kg	16,2 ± 4,12 ml/min/kg	
<b>T2</b>	16,3 ± 4,38 ml/min/kg	16,3 ± 4,04 ml/min/kg	p < 0,001
<b>T3</b>	12,5 ± 4,06 ml/min/kg	12,3 ± 3,16 ml/min/kg	
<b>T4</b>	15,6 ± 4,76 ml/min/kg	15,2 ± 3,78 ml/min/kg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,964		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,520		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 0,921		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,625		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,027		

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative Peak VO<sub>2</sub> (ml/min/kg) über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,964$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,520$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigt eine operationsbedingte Reduktion der relativen Peak VO<sub>2</sub> von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Steigerung der Peak VO<sub>2</sub> von T3 zu T4 beobachtet werden ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte jedoch nach wie vor signifikant niedriger als unmittelbar präoperativ (T2 zu T4,  $p = 0,027$ ).

Tabelle 37 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 37:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 67)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 93)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	15,6 ± 3,7 ml/min/kg	15,5 ± 4,1 ml/min/kg	
<b>T2</b>	16,1 ± 4,2 ml/min/kg	15,8 ± 4,1 ml/min/kg	p = 0,028
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,729		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,615		

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme vom T1 zu T2 signifikant ( $p = 0,028$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,729$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,615$ ) vor.



Tabelle 38 zeigt die mittlere relative Peak VO<sub>2</sub> zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 38:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 66)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 68)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	12,4 ± 3,6 ml/min/kg	11,9 ± 3,2 ml/min/kg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,387	

Zu Rehabilitationsbeginn (T3) wurde kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,387) der relativen Peak VO<sub>2</sub> festgestellt.

### 3.2.3 Funktionale Kapazität

#### 3.2.3.1 6-Minuten-Gehtest

Tabelle 39 zeigt die mittlere Veränderung der maximalen 6-Minuten-Gehstrecke (m) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 39:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag prä-operativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 85)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	443,0 ± 80,1 m	445,6 ± 105,6 m	
<b>T2</b>	493,5 ± 75,5 m	459,8 ± 110,1 m	p < 0,001
<b>T3</b>	378,3 ± 109,5 m	344,8 ± 105,6 m	
<b>T4</b>	490,2 ± 85,2 m	451,3 ± 106,4 m	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,063		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,003		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 1,000		

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximale Gehstrecke über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,063$ ). Es konnte jedoch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,003$ ) aufgezeigt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte über den zeitlichen Verlauf eine signifikante Verbesserung von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ), T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt wurde eine signifikante Abnahme der 6-Minuten-Gehstrecke zwischen T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet. Die zusätzlichen Analysen der Post-hoc-Vergleiche mittels rmANOVA zeigten, dass sich die Gehstrecke der IG von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ) verlängerte, sie zudem zwischen T1 und T3 signifikant ( $p = 0,013$ ) weniger abnahm und sich von T1 zu T4 signifikant ( $p < 0,001$ ) stärker verbesserte als die der KG.

Tabelle 40 zeigt die mittlere Veränderung der 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 40:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 86)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 109)</b> (MW ± SD)
<b>T2</b>	485,9 ± 85,8 m	445,3 ± 115,3 m
<b>Gruppe (p)</b>	$p = 0,007$	

Es lag ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,007$ ) zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) vor. Die mittlere 6-Minuten-Gehtstrecke der IG lag zu T2 signifikant über der der KG.

Tabelle 41 zeigt die mittlere Veränderung der 6-Minuten-Gehstrecke zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 41:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG).

	<b>IG (n = 80)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 98)</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	377,1 ± 107,6 m	337,2 ± 114,1 m
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,018	

Es lag ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,018$ ) zu Rehabilitationsbeginn (T3) vor. Die mittlere 6-Minuten-Gehtstrecke der IG lag zu T3 signifikant über der der KG. Auch zu Rehabilitationsende (T4) zeigte sich ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,018$ ). Die Werte der IG lagen signifikant über denen der KG (IG,  $n = 81$ :  $489,9 \pm 86,3$ ; KG,  $n = 90$ :  $454,3 \pm 106,6$ ).

### 3.2.3.2 Timed up and go Test

Tabelle 42 zeigt die mittlere Veränderung der Zeiten aus dem Timed up an go Test (s) differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 42:** Entwicklung der mittleren Zeiten aus dem Timed up an go Test im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; s: Sekunden; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 74)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 84)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	6,9 ± 2,0 s	7,4 ± 2,4 s	
<b>T2</b>	6,1 ± 1,8 s	7,3 ± 2,5 s	p < 0,001
<b>T3</b>	8,3 ± 2,6 s	10,0 ± 4,0 s	
<b>T4</b>	6,4 ± 2,1 s	7,5 ± 2,4 s	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,001		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,018		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,853		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,400		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Zeiten des Timed up and go Tests über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Auch die Gruppen unterschieden sich signifikant voneinander ( $p = 0,001$ ) und es konnte eine signifikante Interaktion ( $p = 0,018$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) und T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt konnte eine signifikante Zunahme der TUG-Zeiten zwischen T2 und T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Die zusätzlichen Analysen der Post-hoc-Vergleiche mittels rmANOVA zeigten, dass sich die Zeiten aus dem TUG-Test in der IG von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) signifikant stärker verkürzten und zusätzlich von T1 zu T3 signifikant ( $p = 0,003$ ) geringer verlängerten als in der KG. Weiterhin wurden sowohl zu T2 ( $p < 0,001$ ), T3 ( $p < 0,001$ ) und T4 ( $p = 0,001$ ) mittels einfaktorieller ANOVA signifikante Gruppenunterschiede festgestellt. Die TUG-Zeiten waren zu allen Messzeitpunkten in der IG signifikant kürzer als in der KG.

**3.2.4 Fragebogenerhebung**

**3.2.4.1 MacNew-Fragebogen**

**3.2.4.1.1 MacNew-Score „global“**

Tabelle 43 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „global“ differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 43:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,2 ± 0,9	5,3 ± 1,0	
<b>T2</b>	5,5 ± 0,8	5,3 ± 1,1	p < 0,001
<b>T3</b>	4,8 ± 1,1	4,7 ± 1,2	
<b>T4</b>	5,4 ± 1,1	5,4 ± 1,0	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,732		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,137		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,158		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 1,000		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,732$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,137$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung der Scores von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) und T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt konnte eine signifikante Reduktion von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden.

Tabelle 44 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „global“ von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 44:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 87)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,1 ± 0,9	5,3 ± 1,0	
<b>T2</b>	5,4 ± 0,9	5,3 ± 1,0	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,935		
<b>Interaktion (p)</b>	p < 0,001		

Der MacNew Score „global“ entwickelte sich von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,935$ ) vor. Es wurde allerdings eine signifikante Interaktion ( $p < 0,001$ ) zwischen Messzeitpunkt und Gruppe beobachtet. Präoperativ verbesserte sich der Score der IG (T1 zu T2) im Gegensatz zur KG signifikant.



**3.2.4.1.2 MacNew-Score „physical“**

Tabelle 45 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „physical“ differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 45:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; †: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 76)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,1 ± 1,0	5,3 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,5 ± 0,9	5,3 ± 1,2	p < 0,001
<b>T3</b>	4,5 ± 1,2	4,5 ± 1,3	
<b>T4</b>	5,3 ± 1,1	5,2 ± 1,2	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,748		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,150		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 1,000		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,748$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,150$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) und T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zudem konnte eine operationsbedingte signifikante Reduktion von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden.

Tabelle 46 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „physical“ von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 46:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 86)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,0 ± 1,0	5,2 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,4 ± 1,0	5,3 ± 1,1	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,745		
<b>Interaktion (p)</b>	p < 0,001		

Der MacNew Score „physical“ entwickelte sich von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,745$ ) vor. Es wurde allerdings eine signifikante Interaktion ( $p < 0,001$ ) zwischen Messzeitpunkt und Gruppe beobachtet. Präoperativ verbesserte sich der Score der IG (T1 zu T2) im Gegensatz zur KG signifikant.

**3.2.4.1.3 MacNew-Score „emotional“**

Tabelle 47 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „emotional“ differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 47:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag prä-operativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,3 ± 1,0	5,4 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,6 ± 0,9	5,4 ± 1,1	p < 0,001
<b>T3</b>	5,1 ± 1,1	5,0 ± 1,2	
<b>T4</b>	5,6 ± 1,2	5,6 ± 1,1	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,608		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,146		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,066		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 1,000		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,608$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,146$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung von T1 zu T2 ( $p = 0,001$ ) und T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zudem konnte eine operationsbedingte signifikante Abnahme von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden.

Tabelle 48 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „emotional“ von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 48:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 87)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,2 ± 1,0	5,3 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,5 ± 1,0	5,3 ± 1,1	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,785		
<b>Interaktion (p)</b>	p < 0,001		

Der MacNew Score „emotional“ entwickelte sich von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,785$ ) vor. Es wurde allerdings eine signifikante Interaktion ( $p < 0,001$ ) zwischen Messzeitpunkt und Gruppe beobachtet. Präoperativ verbesserte sich der Score der IG (T1 zu T2) im Gegensatz zur KG signifikant.

**3.2.4.1.4 MacNew-Score „social“**

Tabelle 49 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „social“ differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 49:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; †: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 76)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,3 ± 0,9	5,4 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,6 ± 0,9	5,4 ± 1,2	p < 0,001
<b>T3</b>	4,7 ± 1,2	4,7 ± 1,3	
<b>T4</b>	5,5 ± 1,1	5,4 ± 1,1	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,595		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,141		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,891		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 1,000		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,595$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,141$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) und T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zudem konnte eine signifikante operationsbedingte Abnahme von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden.

Tabelle 50 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „social“ von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 50:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 87)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,2 ± 1,0	5,4 ± 1,1	
<b>T2</b>	5,5 ± 1,0	5,4 ± 1,1	p < 0,001
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,957		
<b>Interaktion (p)</b>	p < 0,001		

Der MacNew Score „social“ entwickelte sich von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,957$ ) vor. Es wurde allerdings eine signifikante Interaktion ( $p < 0,001$ ) zwischen Messzeitpunkt und Gruppe beobachtet. Präoperativ verbesserte sich der Score der IG (T1 zu T2) im Gegensatz zur KG signifikant.

### 3.2.4.2 HADS-Fragebogen

#### 3.2.4.2.1 HADS Summenskala für Angst

Tabelle 51 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Angst differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 51:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,4 ± 3,4	5,4 ± 3,6	
<b>T2</b>	4,9 ± 3,5	5,4 ± 3,7	p < 0,001
<b>T3</b>	4,5 ± 3,7	5,0 ± 3,8	
<b>T4</b>	3,3 ± 3,3	3,6 ± 3,1	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,506		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,663		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 0,465		
<b>T2 vs. T3</b>	p = 0,484		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p = 0,086		
<b>T1 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T2 vs. T4</b>	p < 0,001		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Summenskala für Angst über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,506$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,663$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte signifikant unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 52 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Angst zu T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 52:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 87)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,6 ± 3,6	5,5 ± 3,8	
<b>T2</b>	5,3 ± 3,8	5,4 ± 3,9	p = 0,063
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,988		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,265		

In beiden Gruppen entwickelte sich die Summenskala für Angst von T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,063$ ). Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,988$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,265$ ) vor.



### 3.2.4.2.2 HADS-Angst-Kategorie

Tabelle 53 zeigt die Verteilung der einzelnen Kategorien der HADS-Angst-Skala differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 53:** Kategorische Entwicklung der HADS-Angst-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; #: Chi-Quadrat-Test).

	T1		T2		T3		T4	
	IG (n=87)	KG (n=114)	IG (n=87)	KG (n=111)	IG (n=80)	KG (n=99)	IG (n=80)	KG (n=93)
<b>Unauffällig</b>	62 (70,5%)	81 (70,4%)	63 (71,6%)	78 (67,8%)	60 (68,2%)	72 (62,6%)	69 (78,4%)	82 (71,3%)
<b>Grenzwertig</b>	16 (18,2%)	22 (19,1%)	15 (17%)	22 (19,1%)	16 (18,2%)	17 (14,8%)	9 (10,2%)	8 (7,0%)
<b>Auffällig</b>	9 (10,2%)	11 (9,6%)	9 (10,2%)	11 (9,6%)	4 (4,5%)	10 (8,7%)	2 (2,3%)	3 (2,6%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,977		p = 0,898		p = 0,428		p = 0,817	

Zu Studienbeginn lagen 70,5% der IG und 70,4% der KG im unauffälligen Bereich der HADS-Angst-Werte. Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede. Postoperativ lagen sowohl zu T3 und T4 die prozentualen Werte im unauffälligen Bereich in der IG (T3: 68,2%; T4: 78,4%) deutlich höher als in der KG (T3: 62,6%; T4: 71,3%).

### 3.2.4.2.3 HADS Summenskala für Depression

Tabelle 54 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Depression differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 54:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG (n = 77)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 91)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	3,7 ± 3,0	3,3 ± 3,1	
<b>T2</b>	3,5 ± 3,0	3,4 ± 3,3	p = 0,001
<b>T3</b>	3,7 ± 3,2	4,3 ± 4,0	
<b>T4</b>	3,2 ± 2,9	3,0 ± 3,0	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,947		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,128		
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>			
<b>T1 vs. T2</b>	p = 1,000		
<b>T2 vs. T3</b>	p = 0,060		
<b>T3 vs. T4</b>	p < 0,001		
<b>T1 vs. T3</b>	p = 0,201		
<b>T1 vs. T4</b>	p = 0,355		
<b>T2 vs. T4</b>	p = 0,610		

In beiden Gruppen entwickelten sich die Summenskala für Depression über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p = 0,001$ ). Die Gruppen unterschieden sich nicht ( $p = 0,947$ ) und es konnte auch keine signifikante Interaktion ( $p = 0,128$ ) festgestellt werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung der Werte durch die Rehabilitation (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 55 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Depression zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 55:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

	<b>IG (n = 87)</b> (MW ± SD)	<b>KG (n = 111)</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	4,0 ± 3,3	3,4 ± 3,0	
<b>T2</b>	3,8 ± 3,2	3,4 ± 3,2	p = 0,450
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,254		
<b>Interaktion (p)</b>	p = 0,183		

In der präoperativen Phase wurden keine Veränderungen der Summenskala für Depression festgestellt (T1 zu T2,  $p = 0,450$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,254$ ) noch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,183$ ) vor.

### 3.2.4.2.4 HADS-Depressions-Kategorie

Tabelle 56 zeigt die Verteilung der einzelnen Kategorien der HADS-Depressions-Skala differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 56:** Kategorische Entwicklung der HADS-Depressions-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; #: Chi-Quadrat-Test).

	T1		T2		T3		T4	
	IG (n=87)	KG (n=114)	IG (n=87)	KG (n=111)	IG (n=80)	KG (n=99)	IG (n=80)	KG (n=93)
<b>Unauffällig</b>	72 (81,8%)	99 (86,1%)	75 (85,2%)	98 (85,2%)	68 (77,3%)	78 (67,8%)	71 (80,7%)	86 (74,8%)
<b>Grenzwertig</b>	12 (13,6%)	12 (10,4%)	8 (9,1%)	9 (7,8%)	8 (9,1%)	14 (12,2%)	8 (9,1%)	5 (4,3%)
<b>Auffällig</b>	3 (3,4%)	3 (2,6%)	4 (4,5%)	4 (3,5%)	4 (4,5%)	7 (6,1%)	1 (1,1%)	2 (1,7%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,723		p = 0,900		p = 0,567		p = 0,475	

Zu Studienbeginn lagen 81,8% der IG und 86,1% der KG im unauffälligen Bereich der HADS-Depressions-Werte. Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede. Präoperativ konnte in der IG von T1 zu T2 eine prozentuale Zunahme um 3,4% im unauffälligen Bereich beobachtet werden. Postoperativ lagen sowohl zu T3 als auch zu T4 die prozentualen Werte im unauffälligen Bereich in der IG (T3: 77,3%; T4: 80,7%) deutlich höher als in der KG (T3: 67,8%; T4: 74,8%).

### **3.2.4.3 MOSES-Fragebogen**

Tabelle 57 zeigt die mittleren Veränderungen der einzelnen Items aus dem MOSES-Fragebogen differenziert nach Untersuchungsgruppen.

**Tab. 57:** Entwicklung der Items aus dem MOSES-Fragebogen zwischen T3 und T4 differenziert nach Untersuchungsgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T3-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe).

Kategorie	T3 IG (MW ± SD)	T4 IG (MW ± SD)	T3 KG (MW ± SD)	T4 KG (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)	p-Wert (Gruppe)	p-Wert (Interaktion)
Körperpos. wechseln (n = 73/93)	2,1 ± 1,3	1,0 ± 1,1	2,1 ± 1,4	0,9 ± 1,1	p < 0,001	p = 0,700	p = 0,875
Körperpos. beibehalten (n = 74/93)	2,1 ± 1,6	1,1 ± 1,3	2,2 ± 1,6	1,0 ± 1,3	p < 0,001	p = 0,694	p = 0,490
Tragen (n = 73/93)	4,3 ± 1,4	3,7 ± 1,8	4,4 ± 1,2	3,7 ± 2,0	p < 0,001	p = 0,643	p = 0,860
Untere Extremität (n = 73/93)	0,9 ± 1,3	0,4 ± 1,0	1,2 ± 1,5	0,3 ± 0,7	p < 0,001	p = 0,575	p = 0,034
Hand und Arm (n = 74/93)	0,4 ± 0,9	0,2 ± 0,6	0,4 ± 1,0	0,1 ± 0,4	p < 0,001	p = 0,875	p = 0,473
Gehen ohne Hilfe (n = 73/93)	2,9 ± 1,4	1,3 ± 1,4	3,0 ± 1,4	1,7 ± 1,4	p < 0,001	p = 0,193	p = 0,351
Gehen mit Hilfe (n = 74/87)	0,3 ± 0,9	0,1 ± 0,4	0,6 ± 1,4	0,2 ± 0,7	p < 0,001	p = 0,105	p = 0,231
Körperpflege (n = 74/93)	0,5 ± 1,1	0,1 ± 0,4	0,4 ± 1,0	0	p < 0,001	p = 0,318	p = 0,762
Sich kleiden (n = 73/93)	0,8 ± 1,3	0,1 ± 0,6	0,9 ± 1,5	0,1 ± 0,5	p < 0,001	p = 0,922	p = 0,720
Essen und Trinken (n = 74/93)	0,4 ± 1,0	0,1 ± 0,4	0,3 ± 0,7	0,04 ± 0,3	p < 0,001	p = 0,253	p = 0,551
WohnKauf (n = 74/89)	3,2 ± 1,4	2,1 ± 1,1	3,1 ± 1,2	2,1 ± 1,0	p < 0,001	p = 0,891	p = 0,901
Haushalt (n = 74/89)	2,8 ± 1,3	1,8 ± 0,8	2,8 ± 1,3	1,9 ± 0,8	p < 0,001	p = 0,962	p = 0,730

In beiden Gruppen wurde eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Verbesserung bei allen Items durch die Rehabilitation erzielt. Die Gruppen unterschieden sich in keinem der untersuchten Items. Es konnte eine signifikante Interaktion ( $p = 0,034$ ) bei dem Item „Untere Extremität“ festgestellt werden. Die KG entwickelte sich über den Rehabilitationsverlauf signifikant stärker als die IG.

### **3.2.5 Gefäßelastizität und Endothelfunktion (altersspezifische Analysen)**

#### **3.2.5.1 EndoPAT**

Tabelle 58 zeigt die mittlere Veränderung der Endoscores aus der EndoPAT®-Messung differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.



**Tab. 58:** Entwicklung der mittleren Endoscores im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 37</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 21</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 32</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 25</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	1,93 ± 0,65	1,69 ± 0,46	2,00 ± 0,70	1,71 ± 0,58	p < 0,001
<b>T2</b>	1,70 ± 0,38	1,80 ± 0,56	1,86 ± 0,62	1,84 ± 0,62	
<b>T3</b>	1,52 ± 0,51	1,51 ± 0,42	1,63 ± 0,58	1,53 ± 0,54	
<b>T4</b>	1,67 ± 0,51	1,44 ± 0,32	1,71 ± 0,60	1,65 ± 0,53	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,250
<b>Alter (p)</b>					p = 0,151
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,887
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,899
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p = 1,000
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p = 0,013
<b>T2 vs. T4</b>					p = 0,027

In beiden Gruppen entwickelten sich die Werte der Endoscores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,151$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,250$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,887$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,899$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine operationsbedingte Verschlechterung der Endoscores von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte nach wie vor signifikant unterhalb denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p = 0,013$ ; T2 zu T4,  $p = 0,027$ ).

Tabelle 59 zeigt die mittlere Entwicklung der Endoscores zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 59:** Entwicklung der mittleren Endoscores im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG ≤ 70 J. n = 46 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 26 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 53 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 37 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	1,90 ± 0,61	1,63 ± 0,45	1,94 ± 0,64	1,63 ± 0,56	p = 0,612
T2	1,72 ± 0,40	1,79 ± 0,52	1,80 ± 0,55	1,70 ± 0,60	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,887			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,052			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,525			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,845			

In beiden Gruppen entwickelte sich die Endoscores von T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,612$ ). Auch die Altersgruppen unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,052$ ). Es konnte weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,887$ ) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,525$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,845$ ) gefunden werden.

Tabelle 60 zeigt die mittlere Veränderung der Endoscores zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 60:** Entwicklung der Endoscores zu T3 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 46</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 26</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 44</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 33</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	1,51 ± 0,47	1,43 ± 0,43	1,61 ± 0,56	1,59 ± 0,58
<b>Gruppe (p)</b>	$p = 0,127$			
<b>Alter (p)</b>	$p = 0,581$			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	$p = 0,744$			

Es konnte kein signifikanter Gruppen- ( $p = 0,127$ ) beziehungsweise Altersgruppenunterschied ( $p = 0,581$ ) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,744$ ) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.5.2 Pulswellenanalyse

#### 3.2.5.2.1 Systolischer Blutdruck

Tabelle 61 zeigt die mittlere Veränderung der systolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 61:** Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	IG ≤ 70 J. n = 47 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 29 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 45 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 36 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	137,3 ± 17,2 mmHg	141,8 ± 18,3 mmHg	141,9 ± 19,3 mmHg	138,4 ± 17,8 mmHg	p < 0,001
T2	129,3 ± 18,5 mmHg	133,2 ± 15,3 mmHg	137,9 ± 15,6 mmHg	136,1 ± 17,3 mmHg	
T3	116,2 ± 14,3 mmHg	119,5 ± 21,0 mmHg	116,2 ± 13,6 mmHg	121,4 ± 16,5 mmHg	
T4	123,3 ± 14,5 mmHg	119,3 ± 14,8 mmHg	120,8 ± 14,4 mmHg	123,4 ± 19,8 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,317
<b>Alter (p)</b>					p = 0,526
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,753
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,254
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p = 0,112
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T4</b>					p < 0,001

In beiden Gruppen entwickelten sich die systolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,526$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,317$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,753$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,254$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Verbesserung der systolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Eine operationsbedingte weitere Abnahme der Werte konnte von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) als auch von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Zu Rehabilitationsende lagen die systolischen Blutdruckwerte weiterhin signifikant unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 62 zeigt die mittlere Entwicklung der systolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 62:** Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG ≤ 70 J. n = 54 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 31 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 59 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 48 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	137,5 ± 16,5 mmHg	140,7 ± 18,2 mmHg	139,1 ± 18,3 mmHg	139,1 ± 18,1 mmHg	p < 0,001
T2	130,1 ± 17,9 mmHg	133,4 ± 14,9 mmHg	136,0 ± 15,8 mmHg	136,7 ± 18,0 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,337
<b>Alter (p)</b>					p = 0,442
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,542
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,024

In beiden Gruppen entwickelte sich die mittleren systolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ) und es konnte zudem eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,024$ ) aufgezeigt werden. Beide Altersgruppen der IG zeigten präoperativ signifikant stärkere Reduktionen der systolische Blutdruckwerte als die KG. Es wurde kein signifikanter Gruppen- ( $p = 0,337$ ) und Altersgruppenunterschied ( $p = 0,442$ ) beziehungsweise Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,542$ ) gefunden.

### **3.2.5.2.2 Diastolischer Blutdruck**

Tabelle 63 zeigt die mittlere Veränderung der diastolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 63:** Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 47 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 29 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 45 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 36 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	89,8 ± 10,9 mmHg	87,4 ± 13,6 mmHg	92,6 ± 13,4 mmHg	83,9 ± 9,5 mmHg	p < 0,001
<b>T2</b>	84,1 ± 11,2 mmHg	82,1 ± 9,8 mmHg	90,5 ± 10,7 mmHg	83,7 ± 11,0 mmHg	
<b>T3</b>	75,0 ± 10,3 mmHg	73,1 ± 13,2 mmHg	74,3 ± 9,7 mmHg	71,4 ± 10,4 mmHg	
<b>T4</b>	81,8 ± 10,8 mmHg	75,0 ± 8,8 mmHg	78,2 ± 11,0 mmHg	76,8 ± 12,4 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,744
<b>Alter (p)</b>					p = 0,002
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,533
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,035
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T4</b>					p < 0,001

In beiden Gruppen entwickelten sich die diastolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant (p < 0,001). Es lag zudem ein signifikanter Altersgruppenunterschied vor (p = 0,002). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der > 70-Jährigen zu T1 (p = 0,007), T2 (p = 0,005) und T4 (p = 0,007) signifikant niedrigere Werte vorwiesen als die ≤ 70-Jährigen. Zu T3 konnte kein signifikanter



Zusammenhang festgestellt werden. Weiterhin wurde eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,035$ ) gefunden. Es lag jedoch weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,744$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,533$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) eine signifikante Abnahme der diastolischen Blutdruckwerte. Operationsbedingt kam es zu einer weiteren signifikanten Reduktion der Werte (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation stiegen die diastolischen Blutdruckwerte signifikant an (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte nach wie vor unter denen aus dem präoperativen Zeitraum (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ). Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T1 und T2 zeigten beide Altersgruppen der IG im Vergleich zur KG eine signifikant stärkere Abnahme der diastolischen Blutdruckwerte ( $p = 0,004$ ). Ebenfalls konnte zwischen T2 und T3 eine operationsbedingte signifikant weniger starke Abnahme der diastolischen Blutdruckwerte in der IG beider Altersgruppen beobachtet werden als in der KG ( $p = 0,023$ ).

Tabelle 64 zeigt die mittlere Entwicklung der diastolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 64:** Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 54 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 31 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 59 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 48 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	90,2 ± 10,6 mmHg	87,0 ± 13,3 mmHg	90,8 ± 12,9 mmHg	83,9 ± 9,8 mmHg	p < 0,001
<b>T2</b>	85,1 ± 11,3 mmHg	82,0 ± 9,6 mmHg	89,2 ± 10,5 mmHg	83,2 ± 10,9 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,641				
<b>Alter (p)</b>	p = 0,002				
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,282				
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)	p = 0,004				

In beiden Gruppen entwickelte sich die mittleren diastolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 signifikant (p < 0,001). Zudem konnte eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,004) aufgezeigt werden. Die diastolischen Blutdruckwerte beider Altersgruppen der IG nahmen zwischen T1 und T2 signifikant stärker ab im Vergleich zu denen der KG. Weiterhin konnte ein signifikanter Altersgruppenunterschied (p = 0,002) gefunden werden. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der > 70-Jährigen signifikant niedrigere Werte zu T1 (p = 0,007) und T2 (p = 0,005) vorwiesen als die ≤ 70-Jährigen. Abschließend wurde kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,641) gefunden.

### 3.2.5.2.3 Zentraler systolischer Blutdruck

Tabelle 65 zeigt die mittlere Veränderung der zentralen systolischen Blutdruckwerte (mmHg) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 65:** Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch post-operativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	IG ≤ 70 J. n = 48 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 29 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 45 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 36 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
<b>T1</b>	145,0 ± 21,6 mmHg	154,1 ± 26,4 mmHg	154,6 ± 28,1 mmHg	151,0 ± 25,4 mmHg	p < 0,001
<b>T2</b>	139,1 ± 23,2 mmHg	142,8 ± 20,7 mmHg	145,6 ± 19,1 mmHg	148,8 ± 23,3 mmHg	
<b>T3</b>	121,3 ± 16,3 mmHg	123,3 ± 24,7 mmHg	121,0 ± 15,9 mmHg	128,9 ± 17,0 mmHg	
<b>T4</b>	128,5 ± 16,8 mmHg	124,5 ± 17,2 mmHg	128,0 ± 16,8 mmHg	132,7 ± 21,7 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,115
<b>Alter (p)</b>					p = 0,256
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,942
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,747
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p = 0,015
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T4</b>					p < 0,001

In beiden Gruppen entwickelten sich die zentralen systolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,256$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,115$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,942$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,747$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Verbesserung der zentralen systolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Eine weitere Reduktion der Werte konnte operationsbedingt zwischen T2 und T3 ( $p < 0,001$ ) als auch zwischen T1 und T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) kam es zu einer signifikanten Erhöhung der zentralen systolischen Blutdruckwerte ( $p = 0,015$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Werte signifikant unterhalb denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 66 zeigt die mittlere Entwicklung der zentralen systolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 66:** Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG ≤ 70 J. n = 54 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 31 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 59 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 48 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	145,1 ± 20,6 mmHg	152,7 ± 26,1 mmHg	149,8 ± 26,5 mmHg	150,8 ± 24,2 mmHg	p < 0,001
T2	139,5 ± 22,3 mmHg	143,3 ± 20,3 mmHg	143,1 ± 19,3 mmHg	148,2 ± 22,1 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,366
<b>Alter (p)</b>					p = 0,162
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,667
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,293

In beiden Gruppen entwickelten sich die zentralen systolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,162$ ). Es konnte weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,366$ ) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,667$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,293$ ) gefunden werden.

Tabelle 67 zeigt den Vergleich der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 67:** Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 51 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 30 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 55 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 40 (MW ± SD)
<b>T3</b>	121,2 ± 15,9 mmHg	122,6 ± 24,5 mmHg	121,5 ± 15,0 mmHg	130,4 ± 17,2 mmHg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,141			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,060			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,174			

Es konnte kein signifikanter Gruppen- ( $p = 0,141$ ) beziehungsweise Altersgruppenunterschied ( $p = 0,060$ ) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,174$ ) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.5.2.4 Zentraler diastolischer Blutdruck

Tabelle 68 zeigt die mittlere Veränderung der zentralen diastolischen Blutdruckwerte (mmHG) gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 68:** Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch post-operativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	IG ≤ 70 J. n = 48 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 29 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 45 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 36 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
<b>T1</b>	91,8 ± 10,8 mmHg	91,5 ± 13,3 mmHg	98,0 ± 16,1 mmHg	86,9 ± 10,6 mmHg	p < 0,001
<b>T2</b>	87,5 ± 11,4 mmHg	84,5 ± 10,5 mmHg	92,4 ± 10,7 mmHg	85,9 ± 10,7 mmHg	
<b>T3</b>	77,1 ± 9,9 mmHg	74,3 ± 13,3 mmHg	75,9 ± 9,5 mmHg	73,6 ± 10,4 mmHg	
<b>T4</b>	83,0 ± 11,0 mmHg	76,3 ± 9,1 mmHg	80,3 ± 11,4 mmHg	78,4 ± 12,1 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,618
<b>Alter (p)</b>					p = 0,001
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,406
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,219
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T4</b>					p < 0,001

In beiden Gruppen entwickelten sich die zentralen diastolischen Blutdruckwerte über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,001$ ) unterschieden sich ebenfalls signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $> 70$ -Jährigen zu T1 ( $p = 0,016$ ), T2 ( $p = 0,005$ ) und T4 ( $p = 0,006$ ) signifikant niedrigere Werte vorwiesen als die  $\leq 70$ -Jährigen. Zu T3 konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Weiterhin lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,618$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,406$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,219$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte präoperativ eine signifikante Verbesserung der Werte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt kam es zu einer weiteren Reduktion der zentralen diastolischen Blutdruckwerte (T2 zu T3,  $p < 0,001$ ; T1 zu T3,  $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) zeigte sich eine signifikante Erhöhung der Werte ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die zentralen diastolischen Blutdruckwerte signifikant unter denen, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 69 zeigt die Veränderung der mittlere zentralen diastolischen Blutdruckwerte zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 69:** Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 54 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 31 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 59 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 48 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	92,1 ± 10,7 mmHg	90,8 ± 13,1 mmHg	95,2 ± 15,6 mmHg	86,6 ± 10,6 mmHg	p < 0,001
<b>T2</b>	88,2 ± 11,6 mmHg	84,4 ± 10,5 mmHg	90,7 ± 10,8 mmHg	85,4 ± 10,6 mmHg	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,719			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,003			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,165			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,146			

In beiden Gruppen entwickelte sich die zentralen diastolischen Blutdruckwerte von T1 zu T2 signifikant (p < 0,001). Die Altersgruppen unterschieden sich ebenfalls signifikant (p = 0,003). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der > 70-Jährigen signifikant niedrigere Werte zu T1 (p = 0,016) und T2 (p = 0,005) vorwiesen als die ≤ 70-Jährigen. Es konnte allerdings weder ein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,719) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,165) oder Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,146) gefunden werden.



Tabelle 70 zeigt den Vergleich der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 70:** Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; mmHg: Millimeter Quecksilbersäule; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 51</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 30</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 55</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 40</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	77,3 ± 10,3 mmHg	73,9 ± 13,2 mmHg	76,4 ± 9,2 mmHg	73,5 ± 9,9 mmHg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,662			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,052			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,890			

Es konnte kein signifikanter Gruppen- (p = 0,662) beziehungsweise Altersgruppenunterschied (p = 0,052) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,890) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### **3.2.5.2.5 Pulswellengeschwindigkeit**

Tabelle 71 die mittlere Veränderung der Pulswellengeschwindigkeit gemessen mit dem Mobil-O-Graphen® (m/s) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 71:** Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; 1: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 48 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 29 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 45 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 36 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	9,8 ± 1,4 m/s	12,5 ± 1,3 m/s	10,6 ± 1,8 m/s	12,2 ± 1,3 m/s	p < 0,001
<b>T2</b>	9,5 ± 1,5 m/s	12,1 ± 0,9 m/s	10,4 ± 1,3 m/s	12,0 ± 1,2 m/s	
<b>T3</b>	9,1 ± 1,3 m/s	11,3 ± 1,0 m/s	9,3 ± 1,2 m/s	11,5 ± 0,7 m/s	
<b>T4</b>	9,3 ± 1,2 m/s	11,4 ± 0,8 m/s	9,4 ± 1,1 m/s	11,4 ± 1,0 m/s	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,276
<b>Alter (p)</b>					p < 0,001
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,187
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,862
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p = 0,944
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T2 vs. T4</b>					p < 0,001

In beiden Gruppen entwickelten sich die PWV über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p < 0,001$ ) unterschieden sich ebenfalls signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ) niedrigere Werte vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen. Weiterhin lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,276$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,187$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,862$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante Verbesserung der Pulswellengeschwindigkeit von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Operationsbedingt kam es zu einer weiteren Reduktion der Werte zwischen T2 und T3 ( $p < 0,001$ ) als auch T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Pulswellengeschwindigkeiten nach wie vor unterhalb denen, welche im präoperativen Zeitraum gemessen wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 72 zeigt die mittlere Veränderung der Pulswellengeschwindigkeit zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 72:** Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG <math>\leq 70</math> J.</b> n = 54 (MW $\pm$ SD)	<b>IG <math>&gt; 70</math> J.</b> n = 31 (MW $\pm$ SD)	<b>KG <math>\leq 70</math> J.</b> n = 59 (MW $\pm$ SD)	<b>KG <math>&gt; 70</math> J.</b> n = 48 (MW $\pm$ SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	9,7 $\pm$ 1,4 m/s	12,5 $\pm$ 1,3 m/s	10,2 $\pm$ 1,7 m/s	12,3 $\pm$ 1,2 m/s	p < 0,001
<b>T2</b>	9,5 $\pm$ 1,5 m/s	12,2 $\pm$ 1,0 m/s	9,8 $\pm$ 1,3 m/s	12,0 $\pm$ 1,1 m/s	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,526				
<b>Alter (p)</b>	p < 0,001				
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,130				
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)	p = 0,757				

In beiden Gruppen entwickelte sich die Pulswellengeschwindigkeit von T1 zu T2 signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen unterschieden sich ebenfalls signifikant ( $p < 0,001$ ). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen signifikant niedrigere Werte zu T1 ( $p < 0,001$ ) und T2 ( $p < 0,001$ ) vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen. Es konnte allerdings weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,526$ ) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,130$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,757$ ) gefunden werden.

Tabelle 73 zeigt die mittlere Veränderung der Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 73:** Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m/s: Meter pro Sekunde; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG <math>\leq 70</math> J.</b> <b>n = 51</b> (MW $\pm$ SD)	<b>IG <math>&gt; 70</math> J.</b> <b>n = 30</b> (MW $\pm$ SD)	<b>KG <math>\leq 70</math> J.</b> <b>n = 55</b> (MW $\pm$ SD)	<b>KG <math>&gt; 70</math> J.</b> <b>n = 40</b> (MW $\pm$ SD)
<b>T3</b>	9,1 $\pm$ 1,3 m/s	11,3 $\pm$ 1,0 m/s	9,2 $\pm$ 1,2 m/s	11,6 $\pm$ 0,8 m/s
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,251			
<b>Alter (p)</b>	p < 0,001			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,677			

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,251$ ) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,677$ ) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden. Allerdings lag ein signifikanter Altersgruppenunterschied ( $p < 0,001$ ) vor. Zu T3 zeigten die  $> 70$ -Jährigen beider Gruppen signifikant höhere Pulswellengeschwindigkeiten als die  $\leq 70$ -Jährigen.

### **3.2.6 Kardiopulmonale Kapazität (altersspezifische Analysen)**

#### **3.2.6.1 Maximal erreichte Ergometerleistung**

Tabelle 74 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Ergometerleistung (Watt) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 74:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 39 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 25 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 36 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 24 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	102,7 ± 24,4 Watt	90,0 ± 19,4 Watt	101,9 ± 24,5 Watt	98,1 ± 19,6 Watt	p < 0,001
<b>T2</b>	105,3 ± 23,4 Watt	93,2 ± 18,4 Watt	101,9 ± 26,7 Watt	95,2 ± 18,3 Watt	
<b>T3</b>	81,3 ± 24,3 Watt	72,4 ± 19,0 Watt	76,4 ± 20,2 Watt	71,3 ± 17,0 Watt	
<b>T4</b>	100,9 ± 30,4 Watt	88,4 ± 23,0 Watt	93,3 ± 22,3 Watt	92,3 ± 19,7 Watt	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,902			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,035			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,320			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,193			
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>		p = 1,000			
<b>T2 vs. T3</b>		p < 0,001			
<b>T3 vs. T4</b>		p < 0,001			
<b>T1 vs. T3</b>		p < 0,001			
<b>T1 vs. T4</b>		p = 0,087			
<b>T2 vs. T4</b>		p = 0,017			

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximale Leistungsfähigkeit über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Ebenfalls unterschieden sich die Altersgruppen ( $p = 0,035$ ) signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant höhere Werte der maximal erreichten Ergometerleistung vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen (T1:  $p = 0,001$ ; T2:  $p = 0,002$ ; T3:  $p = 0,043$ ; T4:  $p = 0,012$ ). Die Gruppen entwickelten sich altersspezifisch analog. Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,902$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,320$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,193$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte operationsbedingt eine signifikante Abnahme der maximal erreichten Ergometerleistung von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet. Zum Abschluss der Rehabilitation war die Leistungsfähigkeit jedoch immer noch signifikant niedriger als vor der Operation (T2 zu T4,  $p = 0,017$ ).



Tabelle 75 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Ergometerleistung zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 75:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 50 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 29 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 58 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 43 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	104,7 ± 25,6 Watt	89,7 ± 18,4 Watt	101,4 ± 26,7 Watt	94,0 ± 23,6 Watt	p = 0,134
<b>T2</b>	107,5 ± 26,0 Watt	92,8 ± 18,5 Watt	102,2 ± 29,4 Watt	93,0 ± 22,2 Watt	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,787			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,002			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,378			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,125			

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximale erreichte Ergometerleistung von T1 zu T2 nicht signifikant (p = 0,134). Hingegen unterschieden sich die Altersgruppen signifikant (p = 0,002). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der ≤ 70-Jährigen signifikant höhere Werte der maximal erreichten Ergometerleistung zu T1 (p = 0,001) und T2 (p = 0,002) vorwiesen als die > 70-Jährigen. Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,787) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,378) oder Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,125) vor.

Tabelle 76 zeigt die mittlere maximal erreichte Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 76:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 43</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 27</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 41</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 28</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	80,2 ± 23,7 Watt	72,6 ± 18,7 Watt	75,9 ± 19,1 Watt	69,1 ± 17,5 Watt
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,265			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,043			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,899			

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,265$ ) oder eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,899$ ) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden. Allerdings unterschieden sich die Altersgruppen ( $p = 0,043$ ) signifikant. Die IG als auch die KG der ≤ 70-Jährigen zeigten in beiden Gruppen signifikant höhere Werte der maximal erreichten Ergometerleistung zu T3 als die > 70-Jährigen.

### 3.2.6.2 Relative maximal erreichte Ergometerleistung

Tabelle 77 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung (Watt/kg Körpergewicht) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 77:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	IG ≤ 70 J. n = 39 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 25 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 36 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 24 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
<b>T1</b>	1,17 ± 0,31 Watt/kg	1,13 ± 0,30 Watt/kg	1,21 ± 0,31 Watt/kg	1,16 ± 0,32 Watt/kg	p < 0,001
<b>T2</b>	1,20 ± 0,32 Watt/kg	1,16 ± 0,26 Watt/kg	1,21 ± 0,34 Watt/kg	1,13 ± 0,30 Watt/kg	
<b>T3</b>	0,94 ± 0,30 Watt/kg	0,91 ± 0,27 Watt/kg	0,91 ± 0,24 Watt/kg	0,87 ± 0,26 Watt/kg	
<b>T4</b>	1,19 ± 0,40 Watt/kg	1,13 ± 0,32 Watt/kg	1,12 ± 0,28 Watt/kg	1,13 ± 0,29 Watt/kg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,842
<b>Alter (p)</b>					p = 0,404
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,978
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,210
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T4</b>					p = 0,532

In beiden Gruppen entwickelte sich die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,404$ ) unterschieden sich nicht. Es lag zudem weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,842$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,978$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,210$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante operationsbedingte Abnahme der relativen maximal erreichten Ergometerleistung von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet.

Tabelle 78 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 78:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG ≤ 70 J. n = 50 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 29 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 58 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 43 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	1,18 ± 0,30 Watt/kg	1,11 ± 0,30 Watt/kg	1,17 ± 0,33 Watt/kg	1,11 ± 0,32 Watt/kg	p = 0,132
T2	1,21 ± 0,32 Watt/kg	1,15 ± 0,25 Watt/kg	1,18 ± 0,36 Watt/kg	1,10 ± 0,30 Watt/kg	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,669			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,142			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,904			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,170			

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative maximal erreichte Ergometerleistung von T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,132$ ). Es lag kein signifikanter Alters- ( $p = 0,142$ ) oder Gruppenunterschied ( $p = 0,669$ ) vor. Ebenfalls konnte keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,904$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,170$ ) aufgezeigt werden.

Tabelle 79 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 79:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; Watt/kg: Watt pro Kilogramm Körpergewicht; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 43 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 27 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 41 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 28 (MW ± SD)
<b>T3</b>	0,92 ± 0,29 Watt/kg	0,91 ± 0,26 Watt/kg	0,89 ± 0,23 Watt/kg	0,84 ± 0,26 Watt/kg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,259			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,462			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,699			

Es konnte kein signifikanter Gruppen- (p = 0,259) beziehungsweise Altersunterschied (p = 0,462) oder eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,699) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### 3.2.6.3 Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

Tabelle 80 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme (Peak VO<sub>2</sub>, ml/min) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 80:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch post-operativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	IG ≤ 70 J. n = 29 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 18 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 30 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 22 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
<b>T1</b>	1386,5 ± 358,1 ml/min	1230,3 ± 254,3 ml/min	1362,1 ± 350,9 ml/min	1362,6 ± 256,3 ml/min	p < 0,001
<b>T2</b>	1456,5 ± 372,9 ml/min	1238,7 ± 253,0 ml/min	1408,1 ± 378,5 ml/min	1317,1 ± 235,4 ml/min	
<b>T3</b>	1144,8 ± 385,8 ml/min	905,6 ± 258,8 ml/min	1069,2 ± 291,7 ml/min	955,6 ± 208,8 ml/min	
<b>T4</b>	1362,7 ± 416,6 ml/min	1154,4 ± 282,1 ml/min	1309,7 ± 322,8 ml/min	1181,7 ± 297,1 ml/min	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,853
<b>Alter (p)</b>					p = 0,015
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,295
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,516
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p = 0,018
<b>T2 vs. T4</b>					p = 0,001

In beiden Gruppen entwickelte sich die Peak VO<sub>2</sub> über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Ebenfalls unterschieden sich die Altersgruppen ( $p = 0,015$ ) signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant höhere Werte der Peak VO<sub>2</sub> vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen (T1:  $p = 0,003$ ; T2:  $p = 0,012$ ; T3:  $p = 0,013$ ; T4:  $p = 0,003$ ). Es lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,853$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,295$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,516$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte einen operationsbedingten signifikanten Abfall von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) erzielt werden. Zum Abschluss der Rehabilitation lagen die Werte dennoch signifikant unter denen aus dem präoperativen Zeitraum (T2 zu T4,  $p = 0,001$ ; T1 zu T4,  $p = 0,018$ ).

Tabelle 81 zeigt die mittlere Veränderung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 81:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG $\leq 70$ J. n = 44 (MW $\pm$ SD)	IG $> 70$ J. n = 23 (MW $\pm$ SD)	KG $\leq 70$ J. n = 54 (MW $\pm$ SD)	KG $> 70$ J. n = 39 (MW $\pm$ SD)	p-Wert (Zeit)
T1	1429,8 $\pm$ 356,4 ml/min	1225,4 $\pm$ 247,6 ml/min	1336,1 $\pm$ 382,6 ml/min	1302,5 $\pm$ 267,7 ml/min	p = 0,082
T2	1483,7 $\pm$ 375,6 ml/min	1236,5 $\pm$ 249,1 ml/min	1384,7 $\pm$ 408,1 ml/min	1300,4 $\pm$ 256,8 ml/min	
<b>Gruppe (p)</b>			p = 0,812		
<b>Alter (p)</b>			p = 0,009		
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)			p = 0,126		
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)			p = 0,772		

In beiden Gruppen entwickelte sich die Peak VO<sub>2</sub> von T1 zu T2 nicht signifikant (p = 0,082). Die Altersgruppen unterschieden sich hingegen signifikant (p = 0,009). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der ≤ 70-Jährigen signifikant höhere Werte der Peak VO<sub>2</sub> zu T1 (p = 0,003) und T2 (p = 0,012) vorwiesen als die > 70-Jährigen. Es konnte weder ein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,812) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,126) oder Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,772) gefunden werden.

Tabelle 82 zeigt die mittlere maximal erreichte Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 82:** Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min: Milliliter pro Minute; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	IG ≤ 70 J. n = 40 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 26 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 40 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 28 (MW ± SD)
<b>T3</b>	1125,7 ± 335,9 ml/min	947,6 ± 246,6 ml/min	1033,1 ± 279,2 ml/min	962,3 ± 223,8 ml/min
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,435			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,013			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,282			

Es konnte kein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,435) oder eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,282) der Peak VO<sub>2</sub> zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden. Hingegen unterschieden sich die Altersgruppen (p = 0,013) signifikant. Die IG als auch die KG der ≤ 70-Jährigen zeigten in beiden Gruppen signifikant höhere Werte der Peak VO<sub>2</sub> zu T3 als die > 70-Jährigen.



**3.2.6.4 Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme**

Tabelle 83 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme (relative Peak VO<sub>2</sub>, ml/min/kg Körpergewicht) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 83:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 29 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 18 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 30 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 22 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	15,8 ± 4,3 ml/min/kg	15,5 ± 3,8 ml/min/kg	16,1 ± 4,1 ml/min/kg	16,3 ± 4,2 ml/min/kg	p < 0,001
<b>T2</b>	16,7 ± 4,9 ml/min/kg	15,5 ± 3,5 ml/min/kg	16,8 ± 4,5 ml/min/kg	15,7 ± 3,4 ml/min/kg	
<b>T3</b>	13,1 ± 4,2 ml/min/kg	11,5 ± 3,6 ml/min/kg	12,7 ± 3,2 ml/min/kg	11,7 ± 3,1 ml/min/kg	
<b>T4</b>	16,0 ± 5,1 ml/min/kg	15,0 ± 4,1 ml/min/kg	15,7 ± 3,6 ml/min/kg	14,6 ± 4,0 ml/min/kg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,968
<b>Alter (p)</b>					p = 0,227
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,856
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,547
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T3 vs. T4</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T3</b>					p < 0,001
<b>T1 vs. T4</b>					p = 0,376
<b>T2 vs. T4</b>					p = 0,040

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative Peak VO<sub>2</sub> (ml/min/kg) über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,227$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,968$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,856$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,547$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte operationsbedingt einen signifikanten Abfall von T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation konnte eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Zu Rehabilitationsende lagen die Werte dennoch signifikant unter denen, welche unmittelbar einen Tag präoperativ erhoben wurden (T2 zu T4,  $p = 0,040$ ).

Tabelle 84 zeigt die mittlere Veränderung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme von T1 zu T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 84:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	IG ≤ 70 J. n = 44 (MW ± SD)	IG > 70 J. n = 23 (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. n = 54 (MW ± SD)	KG > 70 J. n = 39 (MW ± SD)	p-Wert (Zeit)
T1	15,7 ± 3,8 ml/min/kg	15,3 ± 3,6 ml/min/kg	15,5 ± 4,4 ml/min/kg	15,4 ± 3,9 ml/min/kg	p = 0,084
T2	16,5 ± 4,5 ml/min/kg	15,4 ± 3,3 ml/min/kg	16,1 ± 4,6 ml/min/kg	15,3 ± 3,4 ml/min/kg	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,843
<b>Alter (p)</b>					p = 0,357
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,782
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,722

In beiden Gruppen entwickelte sich die relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme vom T1 zu T2 nicht signifikant ( $p = 0,084$ ). Auch die Altersgruppen unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,357$ ). Es konnte weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,843$ ) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,782$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,722$ ) gefunden werden.

Tabelle 85 zeigt die mittlere relative Peak VO<sub>2</sub> zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 85:** Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 40 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 26 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 40 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 28 (MW ± SD)
<b>T3</b>	12,9 ± 3,8 ml/min/kg	11,8 ± 3,3 ml/min/kg	12,1 ± 3,2 ml/min/kg	11,6 ± 3,2 ml/min/kg
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,467			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,196			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,614			

Bei der relativen Peak VO<sub>2</sub> konnte kein signifikanter Gruppen- (p = 0,467) beziehungsweise Altersgruppenunterschied (p = 0,196) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,614) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden.

### **3.2.7 Funktionale Kapazität (altersspezifische Analysen)**

#### **3.2.7.1 6-Minuten-Gehtest**

Tabelle 86 zeigt die mittlere Veränderung der maximalen 6-Minuten-Gehstrecke (m) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 86:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 47 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 30 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 47 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 38 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	453,9 ± 86,0 m	426,0 ± 67,9 m	450,7 ± 109,5 m	439,2 ± 101,8 m	p < 0,001
<b>T2</b>	506,7 ± 76,2 m	472,8 ± 70,6 m	468,6 ± 111,2 m	448,9 ± 109,4 m	
<b>T3</b>	397,8 ± 96,7 m	347,8 ± 122,4 m	358,1 ± 99,1 m	328,4 ± 112,3 m	
<b>T4</b>	510,6 ± 73,7 m	458,4 ± 93,2 m	461,3 ± 111,5 m	438,8 ± 99,8 m	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,108			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,028			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,470			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,006			
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>		p < 0,001			
<b>T2 vs. T3</b>		p < 0,001			
<b>T3 vs. T4</b>		p < 0,001			
<b>T1 vs. T3</b>		p < 0,001			
<b>T1 vs. T4</b>		p < 0,001			
<b>T2 vs. T4</b>		p = 1,000			

In beiden Gruppen entwickelte sich die maximale Gehstrecke über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Es konnte auch ein signifikanter Altersgruppenunterschied ( $p = 0,028$ ) festgestellt werden. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen zu T3 ( $p = 0,011$ ) und T4 ( $p = 0,009$ ) signifikant höhere Werte der 6-Minuten-Gehstrecke vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen. Zwischen T1 und T2 konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Weiterhin konnte eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,006$ ) aufgezeigt werden. Es lag weder ein Gruppenunterschied ( $p = 0,108$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,470$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Verlängerung der 6-Minuten-Gehstrecke von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ) als auch eine rehabilitationsbedingte Zunahme von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Durch die Operation kam es zu einer signifikanten Reduktion der 6-Minuten-Gehstrecke von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ). Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Beide Altersgruppen der IG verbesserten sich präoperativ (T1 zu T2) signifikant stärker gegenüber der KG hinsichtlich der 6-Minuten-Gehstrecken ( $p < 0,001$ ). Ebenfalls konnte beobachtet werden, dass die Gehstrecke von T1 zu T3 operationsbedingt in beiden Altersgruppen der IG im Gegensatz zur KG signifikant ( $p = 0,015$ ) weniger abnahm. Zu Rehabilitationsende entwickelten sich die Distanzen beider Altersgruppen der IG im Vergleich zur KG signifikant stärker und lagen deutlich über den Werten der Eingangsuntersuchung (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 87 zeigt die mittlere Veränderung der 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 87:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 55</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 31</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 61</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)
<b>T2</b>	498,6 ± 83,2 m	463,4 ± 87,0 m	455,2 ± 119,7 m	432,8 ± 109,5 m
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,016			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,061			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,672			

Es konnte kein signifikanter Altersgruppenunterschied ( $p = 0,061$ ) oder Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,672$ ) zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ festgestellt werden. Allerdings lag ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,016$ ) vor. Dementsprechend lagen die 6-Minuten-Gehtstrecken der IG zu T2 signifikant über denen der KG.

Tabelle 88 zeigt die mittlere Veränderung der 6-Minuten-Gehstrecke zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 88:** Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; m: Meter; T3: Rehabilitationsbeginn; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 49</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 31</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 57</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 41</b> (MW ± SD)
<b>T3</b>	395,2 ± 95,6 m	348,5 ± 120,4 m	354,2 ± 105,6 m	313,7 ± 122,4 m
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,026			
<b>Alter (p)</b>	p = 0,011			
<b>Interaktion (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,856			

Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,856) zu Rehabilitationsbeginn (T3) festgestellt werden. Allerdings lag ein signifikanter Gruppen- und Altersgruppenunterschied vor. Die 6-Minuten-Gehtstrecken der IG lagen zu T3 signifikant (p = 0,026) über denen der KG und die ≤ 70-Jährigen zeigten in beiden Gruppen signifikant (p = 0,011) höhere Werte in der Distanzlänge als die > 70-Jährigen.



### **3.2.7.2 Timed up and go Test**

Tabelle 89 zeigt die mittlere Veränderung der Zeiten aus dem Timed up an go Test (s) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 89** Entwicklung der mittleren Zeiten aus dem Timed up an go Test im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; s: Sekunden; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; 1: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 45</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 47</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 37</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	6,3 ± 1,7 s	7,7 ± 2,2 s	6,8 ± 2,3 s	8,2 ± 2,4 s	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,6 ± 1,5 s	6,8 ± 1,9 s	6,8 ± 2,1 s	8,0 ± 2,8 s	
<b>T3</b>	7,7 ± 2,2 s	9,2 ± 2,9 s	9,2 ± 3,9 s	11,1 ± 3,8 s	
<b>T4</b>	5,8 ± 1,7 s	7,3 ± 2,3 s	6,7 ± 2,0 s	8,5 ± 2,5 s	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,001</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,738</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,019</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p = 0,223</b>

In beiden Gruppen entwickelten sich die Zeiten des Timed up and go Tests über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Zudem unterschieden sich die Altersgruppen ( $p < 0,001$ ) signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant kürzere TUG-Zeiten vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen ( $p < 0,001$ ). Auch die Untersuchungsgruppen unterschieden sich signifikant ( $p = 0,001$ ). Die IG wies zu allen Untersuchungszeitpunkten signifikant kürzere TUG-Zeiten auf als die KG. Weiterhin konnte eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,019$ ) beobachtet werden. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Verbesserung der Werte von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Durch die Rehabilitation kam es zu einer signifikanten Verkürzung der TUG-Zeiten von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zudem konnte eine operationsbedingte signifikante Zunahme der Werte von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) in beiden Gruppen beobachtet werden. Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Beide Altersgruppen der IG verbesserten sich präoperativ im Gegensatz zur KG (T1 zu T2) signifikant stärker hinsichtlich der TUG-Zeiten ( $p < 0,001$ ). Ebenfalls konnte zwischen T1 und T3 in beiden Altersgruppen der IG operationsbedingt eine signifikant geringere Zunahme der TUG-Zeiten aufgezeigt werden als in der KG ( $p = 0,003$ ). Bei allen zusätzlichen Post-hoc-Analysen entwickelten sich die TUG-Zeiten in den jeweiligen Altersgruppen analog.

### **3.2.8 Fragebogenerhebung (altersspezifische Analysen)**

#### **3.2.8.1 MacNew-Fragebogen**

##### **3.2.8.1.1 MacNew-Score „global“**

Tabelle 90 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „global“ differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 90:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 53</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 38</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,1 ± 0,9	5,4 ± 0,8	5,2 ± 1,1	5,5 ± 0,8	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,4 ± 0,9	5,7 ± 0,7	5,2 ± 1,2	5,5 ± 0,9	
<b>T3</b>	4,7 ± 1,2	5,0 ± 0,9	4,8 ± 1,2	4,8 ± 1,1	
<b>T4</b>	5,5 ± 1,1	5,4 ± 1,0	5,5 ± 1,0	5,3 ± 1,1	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,662</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p = 0,226</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,798</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,154</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p = 0,772</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,226$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,662$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,798$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,154$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Verbesserung von T1 zu T2 ( $p < 0,001$ ). Auch durch die Rehabilitation entwickelten sich die Werte von T3 zu T4 signifikant positiv ( $p < 0,001$ ). Zwischen T2 zu T3 ( $p > 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) kam es operationsbedingt zu signifikanten Verschlechterungen der Scores. Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T1 zu T2 kam es jedoch zu einer signifikanten ( $p < 0,001$ ) Verbesserung der Scores in beiden Altersgruppen der IG. Zudem zeigten in beiden Gruppen die  $> 70$ -Jährigen signifikant höhere Scores im präoperativen Zeitraum als die  $\leq 70$ -Jährige ( $p = 0,007$ ). Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) kam es in beiden Gruppen zu einer signifikant höheren Zunahme der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen als bei den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,003$ ). Operationsbedingt wurde zwischen T1 und T3 signifikant geringere Werte der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen ( $p = 0,046$ ) als bei den  $> 70$ -Jährigen beobachtet. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich eine analoge Entwicklung der Scores.

### 3.2.8.1.2 MacNew-Score „physical“

Tabelle 91 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „physical“ differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 91:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 47</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 53</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 38</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	4,9 ± 1,0	5,4 ± 0,8	5,1 ± 1,2	5,5 ± 1,0	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,4 ± 1,0	5,6 ± 0,7	5,1 ± 1,2	5,5 ± 1,1	
<b>T3</b>	4,4 ± 1,3	4,6 ± 1,1	4,5 ± 1,3	4,5 ± 1,3	
<b>T4</b>	5,4 ± 1,1	5,2 ± 1,0	5,3 ± 1,1	5,1 ± 1,3	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,714</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p = 0,248</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,953</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,234</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p = 0,001</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p = 0,512</b>



In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,248$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,714$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,953$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,234$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative (T1 zu T2,  $p = 0,001$ ) als auch rehabilitationsbedingte Verbesserung (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ) der Scores. Zudem konnte eine signifikante operationsbedingte Verschlechterung von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) beobachtet werden. Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels *rmANOVA* zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T1 zu T2 kam es jedoch zu einer signifikanten ( $p < 0,001$ ) Verbesserung der Scores in beiden Altersgruppen der IG. Zudem zeigten die  $> 70$ -Jährigen in beiden Gruppen signifikant höhere Scores im präoperativen Zeitraum als die  $\leq 70$ -Jährige ( $p = 0,004$ ). Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) kam es in beiden Gruppen zu einer signifikant höheren Zunahme der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen als bei den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,025$ ). Operationsbedingt wurde zwischen T1 und T3 signifikant geringere Werte der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen ( $p = 0,039$ ) als bei den  $> 70$ -Jährigen beobachtet. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich eine analoge Entwicklung der Scores.

### 3.2.8.1.3 MacNew-Score „emotional“

Tabelle 92 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „emotional“ differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 92:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 53</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 38</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,2 ± 1,0	5,4 ± 0,9	5,2 ± 1,2	5,6 ± 0,8	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,5 ± 1,0	5,8 ± 0,8	5,2 ± 1,3	5,5 ± 0,9	
<b>T3</b>	5,0 ± 1,2	5,3 ± 1,0	4,9 ± 1,3	5,0 ± 1,1	
<b>T4</b>	5,6 ± 1,2	5,4 ± 1,1	5,7 ± 1,0	5,4 ± 1,1	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,575</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p = 0,387</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,897</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,114</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p = 0,001</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p = 0,288</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,387$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,575$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,897$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,114$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Verbesserung von T1 zu T2 ( $p = 0,001$ ). Auch durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet. Zudem wurde eine signifikante operationsbedingte Verschlechterung der Scores von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) festgestellt. Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T1 zu T2 kam es jedoch zu einer signifikanten ( $p < 0,001$ ) Verbesserung der Scores in beiden Altersgruppen der IG. Zudem zeigten die  $> 70$ -Jährigen in beiden Gruppen signifikant höhere Scores im präoperativen Zeitraum als die  $\leq 70$ -Jährigen ( $p = 0,032$ ). Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) kam es in beiden Gruppen zu einer signifikant höheren Zunahme der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen als bei den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,002$ ). Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich eine analoge Entwicklung der Scores.

#### **3.2.8.1.4 MacNew-Score „social“**

Tabelle 93 zeigt die mittlere Veränderung der MacNew-Scores „social“ differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 93:** Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 47</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 53</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 38</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,1 ± 1,0	5,6 ± 0,8	5,2 ± 1,2	5,7 ± 0,9	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,5 ± 1,0	5,8 ± 0,7	5,2 ± 1,2	5,6 ± 1,0	
<b>T3</b>	4,6 ± 1,3	5,0 ± 1,0	4,7 ± 1,3	4,7 ± 1,3	
<b>T4</b>	5,6 ± 1,2	5,5 ± 1,0	5,5 ± 1,0	5,3 ± 1,3	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,506</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p = 0,116</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,662</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,210</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p = 0,001</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p = 1,000</b>

In beiden Gruppen entwickelten sich die Scores über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,116$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,506$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,662$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,210$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante präoperative Verbesserung von T1 zu T2 ( $p = 0,001$ ). Auch durch die Rehabilitation wurde eine signifikante Steigerung von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) beobachtet. Zudem wurde eine signifikante operationsbedingte Verschlechterung der Scores von T2 zu T3 ( $p < 0,001$ ) und T1 zu T3 ( $p < 0,001$ ) festgestellt. Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T1 zu T2 kam es jedoch zu einer signifikanten ( $p < 0,001$ ) Verbesserung der Scores in beiden Altersgruppen der IG. Zudem zeigten die  $> 70$ -Jährigen in beiden Gruppen signifikant höhere Scores im präoperativen Zeitraum als die  $\leq 70$ -Jährigen ( $p = 0,001$ ). Weiterhin konnte beobachtet werden, dass zwischen T1 und T2 die  $\leq 70$ -Jährigen in beiden Gruppen eine signifikante stärkere Zunahme der Scores im Gegensatz zu den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,006$ ) aufzeigten. Durch die Rehabilitation (T3 zu T4) kam es in beiden Gruppen zu einer signifikant höheren Zunahme der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen als bei den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,017$ ). Operationsbedingt wurden zwischen T1 und T3 signifikant geringere Werte der Scores bei den  $\leq 70$ -Jährigen ( $p = 0,016$ ) als bei den  $> 70$ -Jährigen beobachtet. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich eine analoge Entwicklung der Scores.

### **3.2.8.2 HADS-Fragebogen**

#### **3.2.8.2.1 HADS Summenskala für Angst**

Tabelle 94 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Angst differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.



**Tab. 94:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 54</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 37</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	5,5 ± 3,2	5,2 ± 3,7	6,3 ± 3,8	4,0 ± 2,9	<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2</b>	5,1 ± 3,4	4,7 ± 3,7	6,2 ± 3,9	4,1 ± 3,1	
<b>T3</b>	5,0 ± 3,9	3,7 ± 3,3	5,5 ± 4,0	4,2 ± 3,3	
<b>T4</b>	3,3 ± 3,3	3,3 ± 3,5	3,6 ± 3,1	3,6 ± 3,2	
<b>Gruppe (p)</b>					<b>p = 0,616</b>
<b>Alter (p)</b>					<b>p = 0,044</b>
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					<b>p = 0,322</b>
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					<b>p = 0,476</b>
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					<b>p = 0,555</b>
<b>T2 vs. T3</b>					<b>p = 0,443</b>
<b>T3 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T1 vs. T3</b>					<b>p = 0,084</b>
<b>T1 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>
<b>T2 vs. T4</b>					<b>p &lt; 0,001</b>

In beiden Gruppen entwickelte sich die Summenskala für Angst über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p < 0,001$ ). Auch die Altersgruppen ( $p = 0,044$ ) unterschieden sich signifikant. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen zu T1 ( $p = 0,006$ ), T2 ( $p = 0,034$ ) und T3 ( $p = 0,034$ ) signifikant höhere Werte der Summenskala vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen. Zu T4 konnte kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. Es lag auch weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,616$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,322$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,476$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante rehabilitationsbedingte Verbesserung der Werte von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen die Summenskalen signifikant unter denen, welche im präoperativen Zeitraum ermittelt wurden (T1 zu T4,  $p < 0,001$ ; T2 zu T4,  $p < 0,001$ ). Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte zeigten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T3 und T4 wurde rehabilitationsbedingt in beiden Gruppen eine signifikant stärkere Abnahme der Summenskala für Angst bei den  $\leq 70$ -Jährigen beobachtet als bei den  $> 70$ -Jährigen ( $p = 0,004$ ). Zudem entwickelten sich die Werte der  $\leq 70$ -Jährigen in beiden Gruppen zu Rehabilitationsende im Vergleich zu den im präoperativen Zeitraum erhobenen Werte (T1 zu T4,  $p = 0,009$ ; T2 zu T4,  $p = 0,009$ ) signifikant besser im Gegensatz zu denen der  $> 70$ -Jährigen.

Tabelle 95 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Angst zu T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 95:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> n = 55 (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> n = 32 (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> n = 63 (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> n = 48 (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	6,0 ± 3,5	5,0 ± 3,6	6,2 ± 4,1	4,5 ± 3,1	p = 0,095
<b>T2</b>	5,6 ± 3,7	4,8 ± 3,9	6,1 ± 4,2	4,5 ± 3,2	
<b>Gruppe (p)</b>		p = 0,992			
<b>Alter (p)</b>		p = 0,017			
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)		p = 0,450			
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)		p = 0,295			

In beiden Gruppen entwickelte sich die Summenskala für Angst von T1 zu T2 nicht signifikant (p = 0,095). Es konnte weder ein signifikanter Gruppenunterschied (p = 0,992) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,450) oder Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,295) gefunden werden. Allerdings lag ein signifikanter Altersgruppenunterschied (p = 0,017) vor. Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der ≤ 70-Jährigen signifikant höhere Werte zu T1 (p = 0,006) und T2 (p = 0,034) vorwiesen als die > 70-Jährigen.

**3.2.8.2.2 HADS-Angst-Kategorie**

Tabelle 96 zeigt die Verteilung der einzelnen Kategorien der HADS-Angst-Skala differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 96:** Kategorische Entwicklung der HADS-Angst-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; #: Chi-Quadrat-Test).

	T1				T2			
	IG ≤ 70 J. n = 55	IG > 70 J. n = 32	KG ≤ 70 J. n = 64	KG > 70 J. n = 50	IG ≤ 70 J. n = 55	IG > 70 J. n = 32	KG ≤ 70 J. n = 63	KG > 70 J. n = 48
<b>Unauf- fällig</b>	37 (66,1%)	25 (78,1%)	39 (60,0%)	42 (84,0%)	41 (73,2%)	22 (68,8%)	40 (61,5%)	38 (76,0%)
<b>Grenz- wertig</b>	12 (21,4%)	4 (12,5%)	16 (24,6%)	6 (12,0%)	8 (14,3%)	7 (21,9%)	14 (21,5%)	8 (16,0%)
<b>Auf- fällig</b>	6 (10,7%)	3 (9,4%)	9 (13,8%)	2 (4,0%)	6 (10,7%)	3 (9,4%)	9 (13,8%)	2 (4,0%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,023				p = 0,326			

	T3				T4			
	IG ≤ 70 J. n = 50	IG > 70 J. n = 30	KG ≤ 70 J. n = 57	KG > 70 J. n = 42	IG ≤ 70 J. n = 50	IG > 70 J. n = 30	KG ≤ 70 J. n = 55	KG > 70 J. n = 38
<b>Unauf- fällig</b>	35 (62,5%)	25 (78,1%)	40 (61,5%)	32 (64,0%)	43 (76,8%)	26 (81,3%)	49 (75,4%)	33 (66,0%)
<b>Grenz- wertig</b>	12 (21,4%)	4 (12,5%)	10 (15,4%)	7 (14,0%)	6 (10,7%)	3 (9,4%)	4 (6,2%)	4 (8,0%)
<b>Auf- fällig</b>	3 (5,4%)	1 (3,1%)	7 (10,8%)	3 (6,0%)	1 (1,8%)	1 (3,1%)	2 (3,1%)	1 (2,0%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,382				p = 0,985			

Zwischen den Gruppen wurde lediglich zu T1 ein signifikanter Unterschied festgestellt ( $p = 0,023$ ). Zu Studienbeginn lagen die HADS-Angst-Werte in der IG bei den > 70-Jährigen zu 78,1% und in der KG zu 84,0% im unauffälligen Bereich. Die ≤ 70-Jährigen unterschieden sich diesbezüglich deutlich. Im unauffälligen Bereich lagen nur 66,1% der IG und 60,0% der KG. Präoperativ kam es von T1 zu T2 zu einer Zunahme im unauffälligen Bereich in der IG der ≤ 70-Jährigen (7,1%). Auch die KG (1,5%) verbesserte sich marginal. Bei den > 70-Jährigen kam es in beiden Gruppen bei T2 zu einer Abnahme des unauffälligen Bereiches (IG: 9,3%; KG: 8%). Die Zu- als auch Abnahme im unauffälligen Bereich spiegelte sich mit der gegenläufigen Entwicklung im grenzwertigen Bereich wider. Der auffällige Bereich veränderte sich präoperativ nicht. Postoperativ lagen bei den > 70-Jährigen sowohl zu T3 und T4 die prozentualen Werte des unauffälligen Bereiches in der IG (T3: 78,1%; T4: 81,3%) deutlich höher als in der KG (T3: 64,0%; T4: 66,0%). Mit prozentual etwas geringeren Unterschieden lässt sich die gleiche Entwicklung bei den ≤ 70-Jährigen beobachten (IG: T3: 62,5%, T4: 76,8%; KG: T3: 61,5%, T4: 75,4%). Der grenzwertige als auch auffällige Bereich ist zu T3 und T4 weitestgehend unverändert.

### **3.2.8.2.3 HADS Summenskala für Depression**

Tabelle 97 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Depression differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 97:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; <sup>1</sup>: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 29</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 54</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 37</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	3,7 ± 2,9	3,7 ± 3,4	4,0 ± 3,4	2,3 ± 2,3	p = 0,003
<b>T2</b>	3,7 ± 3,1	3,0 ± 2,8	3,9 ± 3,6	2,7 ± 2,7	
<b>T3</b>	4,0 ± 3,6	3,3 ± 2,3	4,4 ± 4,0	4,2 ± 3,9	
<b>T4</b>	3,0 ± 2,8	3,4 ± 3,0	2,6 ± 2,5	3,5 ± 3,5	
<b>Gruppe (p)</b>					p = 0,914
<b>Alter (p)</b>					p = 0,359
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)					p = 0,745
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)					p = 0,059
<b>Post hoc<sup>1</sup> (Zeit)</b>					
<b>T1 vs. T2</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T3</b>					p = 0,036
<b>T3 vs. T4</b>					p = 0,002
<b>T1 vs. T3</b>					p = 0,158
<b>T1 vs. T4</b>					p = 1,000
<b>T2 vs. T4</b>					p = 1,000

In beiden Gruppen entwickelten sich die Summenskala für Depression über den Untersuchungszeitraum hinweg signifikant ( $p = 0,003$ ). Die Altersgruppen ( $p = 0,359$ ) unterschieden sich nicht. Es lag weder ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,914$ ) noch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter ( $p = 0,745$ ) oder Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,059$ ) vor. Der Post-hoc-Vergleich zeigte eine signifikante rehabilitationsbedingte Verbesserung der Werte von T3 zu T4 ( $p = 0,002$ ) und eine signifikante operationsbedingte Verschlechterung von T2 zu T3 ( $p = 0,036$ ). Die zusätzlichen Post-hoc-Analysen mittels rmANOVA zweier Untersuchungszeitpunkte offenbarten zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Zwischen T3 und T4 wurde jedoch in beiden Gruppen eine signifikant bessere rehabilitationsbedingte Entwicklung der Werte der  $\leq 70$ -Jährigen als bei den  $> 70$ -Jährigen beobachtet ( $p = 0,026$ ).



Tabelle 98 zeigt die mittlere Veränderung der HADS Summenskala für Depression zwischen T1 und T2 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 98:** Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T1 und T2; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal).

	<b>IG ≤ 70 J.</b> <b>n = 55</b> (MW ± SD)	<b>IG &gt; 70 J.</b> <b>n = 32</b> (MW ± SD)	<b>KG ≤ 70 J.</b> <b>n = 63</b> (MW ± SD)	<b>KG &gt; 70 J.</b> <b>n = 48</b> (MW ± SD)	<b>p-Wert</b> (Zeit)
<b>T1</b>	4,2 ± 3,2	3,7 ± 3,4	3,9 ± 3,3	2,7 ± 2,4	p = 0,311
<b>T2</b>	4,2 ± 3,3	3,2 ± 2,9	3,8 ± 3,5	2,9 ± 2,6	
<b>Gruppe (p)</b>	p = 0,295				
<b>Alter (p)</b>	p = 0,053				
<b>Interaktion 1 (p)</b> (Gruppe*Alter)	p = 0,797				
<b>Interaktion 2 (p)</b> (MZP*Gruppe)	p = 0,077				

In beiden Gruppen entwickelte sich die Summenskala für Depression von T1 zu T2 nicht signifikant (p = 0,311). Es konnte weder ein signifikanter Gruppen- (p = 0,295) beziehungsweise Altersgruppenunterschied (p = 0,053) noch eine Interaktion zwischen Gruppe und Alter (p = 0,797) oder Messzeitpunkt und Gruppe (p = 0,077) gefunden werden.

### 3.2.8.2.4 HADS-Depressions-Kategorie

Tabelle 99 zeigt die Verteilung der einzelnen Kategorien der HADS-Depressions-Skala differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 99:** Kategorische Entwicklung der HADS-Depressions-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Eingangsuntersuchung; T2: Untersuchung einen Tag präoperativ; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; #: Chi-Quadrat-Test).

	T1				T2			
	IG ≤ 70 J. n = 55	IG > 70 J. n = 32	KG ≤ 70 J. n = 64	KG > 70 J. n = 50	IG ≤ 70 J. n = 55	IG > 70 J. n = 32	KG ≤ 70 J. n = 63	KG > 70 J. n = 48
<b>Unauf- fällig</b>	45 (80,4%)	27 (84,4%)	52 (80,0%)	47 (94,0%)	46 (82,1%)	29 (90,6%)	53 (81,5%)	45 (90,0%)
<b>Grenz- wertig</b>	8 (14,3%)	4 (12,5%)	9 (13,8%)	3 (6,0%)	6 (10,7%)	2 (6,3%)	7 (10,8%)	2 (4,0%)
<b>Auf- fällig</b>	2 (3,6%)	1 (3,1%)	3 (4,6%)	0	3 (5,4%)	1 (3,1%)	3 (4,6%)	1 (2,0%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,199				p = 0,202			

	T3				T4			
	IG ≤ 70 J. n = 50	IG > 70 J. n = 30	KG ≤ 70 J. n = 57	KG > 70 J. n = 42	IG ≤ 70 J. n = 50	IG > 70 J. n = 30	KG ≤ 70 J. n = 55	KG > 70 J. n = 38
<b>Unauf- fällig</b>	40 (71,4%)	28 (87,5%)	46 (70,8%)	32 (64,0%)	45 (80,4%)	26 (81,3%)	53 (81,5%)	33 (66,0%)
<b>Grenz- wertig</b>	6 (10,7%)	2 (6,3%)	7 (10,8%)	7 (14,0%)	5 (8,9%)	3 (9,4%)	1 (1,5%)	4 (8,0%)
<b>Auf- fällig</b>	4 (7,1%)	0	4 (6,2%)	3 (6,0%)	0	1 (3,1%)	1 (1,5%)	1 (2,0%)
<b>p-Wert<sup>#</sup></b>	p = 0,664				p = 0,318			

Zwischen den Gruppen wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Alle Signifikanzniveaus lagen bei  $p \geq 0,05$ . Zu Studienbeginn waren die HADS-Depressionswerte in der IG bei den  $> 70$ -Jährigen zu 84,4% und in der KG zu 94,0% im unauffälligen Bereich. Die  $\leq 70$ -Jährigen lagen in der IG mit 80,4% und in der KG mit 80,0% in vergleichbaren prozentualen Bereichen. Präoperativ kam es zu einer minimalen Zunahme im unauffälligen Bereich in der IG der  $\leq 70$ -Jährigen (1,7%) und der KG (1,5%). Bei den  $> 70$ -Jährigen kam es präoperativ in der IG zu einer Steigerung im unauffälligen Bereich von 6,2%, wohingegen die KG um 4,0% abnahm. Die Zu- als auch Abnahme im unauffälligen Bereich spiegelte sich mit der gegenläufigen Entwicklung im grenzwertigen Bereich wider. Unmittelbar postoperativ (T3) lagen in der IG der  $> 70$ -Jährigen 87,5% im unauffälligen Bereich im Gegensatz zu 64,0% in der KG. Die KG (14,0%) zeigte in diesem Fall bei den älteren Patienten weiterhin höhere Werte im grenzwertigen Bereich als die IG (6,3%). Bis auf die KG der  $> 70$ -Jährigen (66,0%) lagen alle Gruppen zwischen 80,4 und 81,5% im unauffälligen Bereich zu T4. Der grenzwertige als auch auffällige Bereich war zu T3 und T4 weitestgehend unverändert.

### 3.2.8.3 MOSES-Fragebogen

Tabelle 100 zeigt die mittleren Veränderungen der einzelnen Items aus dem MOSES-Fragebogen differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen.

**Tab. 100:** Entwicklung der Items aus dem MOSES-Fragebogen zwischen T3 und T4 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; J.: Jahre; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T3: Rehabilitationsbeginn; T4: Rehabilitationsende; p-Wert (Zeit): Unterschiede zwischen T3-T4; Gruppe (p): Unterschied zwischen IG und KG; Alter (p): Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen; Interaktion 1 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Gruppe und Alter; Interaktion 2 (p): Unterschied in der Entwicklung der Faktoren Zeit und Gruppe; \*: mal; 1: adjustiert nach Bonferroni; vs.: versus).

Kategorie	T3				T4				p-Wert (Zeit)	p-Wert (Gruppe)	p-Wert (Alter)	p-Wert (Interaktion 1)	p-Wert (Interaktion 2)
	IG ≤ 70 J. (MW ± SD)	IG > 70 J. (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. (MW ± SD)	KG > 70 J. (MW ± SD)	IG ≤ 70 J. (MW ± SD)	IG > 70 J. (MW ± SD)	KG ≤ 70 J. (MW ± SD)	KG > 70 J. (MW ± SD)					
Körperpos. wechseln (n = 47,26/54,39)	2,0 ± 1,4	2,3 ± 1,2	2,2 ± 1,4	1,9 ± 1,4	0,8 ± 1,2	1,2 ± 1,1	0,8 ± 1,1	1,0 ± 1,2	p < 0,001	p = 0,479	p = 0,468	p = 0,200	p = 0,975
Körperpos. beibehalten (n = 47,27/54,39)	2,0 ± 1,7	2,1 ± 1,5	2,3 ± 1,5	2,1 ± 1,7	0,8 ± 1,2	1,4 ± 1,3	1,0 ± 1,3	1,1 ± 1,3	p < 0,001	p = 0,867	p = 0,518	p = 0,406	p = 0,374
Tragen (n = 46,27/54,39)	4,2 ± 1,5	4,5 ± 1,2	4,5 ± 1,0	4,3 ± 1,5	3,9 ± 1,5	3,3 ± 2,2	3,6 ± 2,0	3,9 ± 1,9	p < 0,001	p = 0,561	p = 0,803	p = 0,569	p = 0,791
Untere Extremität (n = 46,27/54,39)	0,9 ± 1,4	1,0 ± 1,3	1,4 ± 1,5	1,0 ± 1,4	0,4 ± 0,9	0,4 ± 1,1	0,4 ± 0,8	0,2 ± 0,6	p < 0,001	p = 0,716	p = 0,549	p = 0,315	p = 0,060
Hand und Arm (n = 47,27/54,39)	0,4 ± 0,9	0,4 ± 0,9	0,5 ± 1,0	0,3 ± 0,9	0,2 ± 0,6	0,2 ± 0,7	0,1 ± 0,5	0,1 ± 0,4	p = 0,001	p = 0,835	p = 0,608	p = 0,697	p = 0,487
Gehen ohne Hilfe (n = 47,26/54,39)	3,0 ± 1,4	2,7 ± 1,6	3,1 ± 1,3	3,0 ± 1,5	1,1 ± 1,3	1,7 ± 1,5	1,6 ± 1,4	1,8 ± 1,4	p < 0,001	p = 0,230	p = 0,562	p = 0,929	p = 0,628
Gehen mit Hilfe (n = 47,27/51,36)	0,2 ± 0,8	0,4 ± 1,1	0,5 ± 1,2	0,8 ± 1,6	0	0,2 ± 0,7	0,05 ± 0,3	0,3 ± 1,0	p < 0,001	p = 0,120	p = 0,040	p = 0,763	p = 0,255
Körperpflege (n = 47,27/54,39)	0,7 ± 1,2	0,2 ± 0,6	0,5 ± 1,1	0,2 ± 0,8	0,1 ± 0,5	0	0	0	p < 0,001	p = 0,519	p = 0,009	p = 0,357	p = 0,920
Sich kleiden (n = 47,26/54,39)	1,0 ± 1,4	0,5 ± 1,0	1,0 ± 1,5	0,6 ± 1,4	0,2 ± 0,7	0,07 ± 0,4	0,1 ± 0,5	0,06 ± 0,4	p < 0,001	p = 0,775	p = 0,031	p = 0,815	p = 0,621
Essen und Trinken (n = 47,27/54,39)	0,5 ± 1,1	0,2 ± 0,7	0,4 ± 0,9	0,1 ± 0,4	0,1 ± 0,5	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,4	0	p < 0,001	p = 0,282	p = 0,033	p = 0,745	p = 0,567
Wohnkauf (n = 47,27/51,38)	3,3 ± 1,3	3,0 ± 1,4	3,2 ± 1,1	3,0 ± 1,3	2,2 ± 1,1	2,0 ± 1,1	1,9 ± 1,0	2,3 ± 1,1	p < 0,001	p = 0,880	p = 0,571	p = 0,231	p = 0,815
Haushalt (n = 47,27/51,38)	2,9 ± 1,3	2,7 ± 1,3	2,8 ± 1,3	2,8 ± 1,3	1,9 ± 0,9	1,7 ± 0,7	1,8 ± 0,7	1,9 ± 0,9	p < 0,001	p = 0,774	p = 0,511	p = 0,340	p = 0,717

Beide Gruppen verbesserten sich rehabilitationsbedingt signifikant in allen Items von T3 zu T4 ( $p \leq 0,001$ ). Die Altersgruppen unterschieden sich signifikant bei den Items „Gehen mit Hilfe“ ( $p = 0,040$ ), „Körperpflege“ ( $p = 0,009$ ), „Sich kleiden“ ( $p = 0,031$ ) und „Essen und Trinken“ ( $p = 0,033$ ). Eine zusätzliche Post-hoc-Auswertung mittels einfaktorieller ANOVA zeigte, dass in beiden Gruppen sowohl die IG als auch die KG der  $\leq 70$ -Jährigen zu T4 ( $p = 0,012$ ) bei dem Item „Gehen mit Hilfe“ signifikant niedrigere Werte vorwiesen als die  $> 70$ -Jährigen. Im Gegensatz dazu kam es zu T3 bei den Items „Körperpflege“ ( $p = 0,017$ ) als auch „Essen und Trinken“ ( $p = 0,045$ ) bei den  $> 70$ -Jährigen in beiden Gruppen zu einer signifikant besseren Entwicklung als bei

den  $\leq 70$ -Jährigen. Bei den restlichen Untersuchungszeitpunkten als auch bei dem Item „Sich kleiden“ konnten keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden.

## **4. DISKUSSION**

### **4.1 Evaluation der Untersuchungsmethoden**

#### **4.1.1 Untersuchungsdesign**

Die vorliegende Studie ist eine prospektive randomisierte Interventionsstudie (RCT = Randomized Controlled Trial). Um die Wirksamkeit und Sicherheit einer Intervention zu belegen, sind RCTs der Goldstandard und die Voraussetzung für eine evidenzbasierte Medizin (Kabisch et al. 2011). Qualitativ hochwertige RCTs mit geringem Risiko für systematische Bias haben neben Metaanalysen den höchsten Evidenzgrad (Kabisch et al. 2011; Harbour et al. 2001). Bei dieser klinischen Studie wurde eine präoperative Trainingsintervention hinsichtlich des postoperativen Effekts auf die kardiopulmonale und funktionale Kapazität sowie die Gefäßelastizität im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne vorherige Intervention untersucht. Idealerweise erfolgt in klinischen Studien eine Randomisierung. Ziel der zufälligen Gruppenzuordnung ist es, eine gleichmäßige Verteilung der Patienten zu erreichen, so dass mögliche Einflussgrößen wie Risikofaktoren und Komorbiditäten nicht gehäuft in einer Gruppe auftreten und dadurch die Ergebnisse verfälscht werden. Eine zusätzliche Technik zur Verhinderung von Ergebnisverzerrungen ist die sogenannte Verblindung. Hierbei weiß entweder der Patient (einfache Verblindung) oder der Patient als auch der Untersucher (doppelte Verblindung) nicht, welche Gruppenzugehörigkeit der Patient aufweist (Röhrig et al. 2009). Eine einfache oder sogar doppelte Verblindung war wegen des gewählten Studiendesigns als auch aufgrund von klinikinternem Kapazitätenmangel nicht realisierbar. Dieser Aspekt sollte bei der Interpretation der Ergebnisse nicht außer Acht gelassen werden. Bei RCT-Designs bestehen oftmals zwei Hauptprobleme: „noncompliance“ und „missing outcomes“. Um diese Probleme zu beheben, kann das statistische Konzept „Intention-To-Treat“ (ITT) benutzt werden, von dem auch in der vorliegenden Arbeit Gebrauch gemacht wurde. Dabei werden nach Studienabschluss alle Daten der Patienten hinsichtlich der im Vorfeld randomisierten Gruppenzugehörigkeit statistisch ausgewertet, egal, ob diese vorab ausgestiegen sind, auf die Intervention reagiert oder sich an das Protokoll gehalten haben (Gupta, 2011). Durch das ITT-Prinzip wird der klinische Alltag widergespiegelt und einer zu optimistischen

Interventionseffektivität entgegengewirkt (Heritier et al. 2003). Die Auswertungsstrategie ist nach dem ITT-Prinzip eher konservativ, d.h. tendenziell wird der Therapieeffekt unterschätzt (Ellenberg, 2001). Bei der hier aufgezeigten Studie wurden alle Patientendaten der im Vorfeld zugelosten Gruppenzugehörigkeit ausgewertet. Vereinzelt berichteten Patienten aus der Kontrollgruppe, dass sie im präoperativen Zeitraum vermehrt Spaziergänge ausgeführt oder sogar auf dem Ergometer trainiert hatten. Selbstverständlich wurde während der Studienaufklärung davon abgeraten, da die Sicherheit nicht gewährleistet werden konnte. Dennoch trainierten einige Patienten selbstständig. Im Gegenzug nahmen nicht alle Patienten aus der Interventionsgruppe an allen sechs präoperativen Trainingseinheiten teil. Gründe hierfür waren u.a. Zeitmangel, Arztbesuche oder Infekte. Auch Patienten, die während des Studienverlaufs ihre Teilnahme widerriefen oder sogar keine Operation erhielten, wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Zudem sollte beachtet werden, dass nicht alle Patienten die AHB im Kerckhoff Rehabilitationszentrum (KRZ) ( $n_{KRZ} = 113$ ; 55,7%) absolvierten. Das KRZ verfügt nicht über Zulassung der Rentenversicherungsträger, so dass vor allem Berufstätige in umliegende AHB-Einrichtungen untergebracht wurden. Auch einige ältere Patienten absolvierten aufgrund von Kooperationsverträgen der jeweiligen Krankenkassen die AHB in anderen Einrichtungen. Diese Umstände sollten bei der Interpretation der Ergebnisse zu T4 berücksichtigt werden. Durch die im Vorfeld festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien ist eine Übertragbarkeit des präoperativen Trainingskonzepts in den Klinikalltag der Kerckhoff-Klinik problemlos möglich. Das Konzept ist valide und lässt sich ebenfalls in externen Einrichtungen etablieren. Zudem besteht Bedarf an prärehabilitativen Interventionen, wenn das steigende Alter der Patienten in der Herzchirurgie als auch deren Komorbiditäten und schlechte körperliche Allgemeinzustände im präoperativen Zeitraum beachten werden. Festzuhalten bleibt, dass die Kombination aus RCT und ITT-Prinzip in der vorliegenden Arbeit das höchstmögliche Design für die experimentelle Hypothesenprüfung abbildet, welches im Klinikalltag realisierbar war.

#### 4.1.2 Fallzahl und Powerberechnung

Die Powerberechnung orientierte sich an den zu erwartenden Ergebnissen der EndoPAT®-Messungen. Die Fallzahlbestimmung erfolgte in Anlehnung an die japanische Pilotstudie von Ozasa et al. (2012). Unter Verwendung der Standardabweichung aus den dortigen EndoPAT®-Messungen ( $SD = 0,56$ ) berechneten Ozasa et al. (2012) eine Gesamtgruppengröße von 226 Probanden, um klinisch aussagekräftige Veränderungen in der Endothelfunktion aufzudecken. In der vorliegenden Arbeit wurde eine mittlere Effektstärke von  $d = 0,5$  zwischen der IG und der nicht-trainierenden KG angenommen. Unter der Berücksichtigung einer Power von 95% und einem  $\alpha$ -Fehler von 5% ergab sich bei einem einseitigen T-Test für zwei unabhängige Gruppen pro Studienarm eine Gruppengröße von  $n = 88$  Patienten. Bei einer kalkulierten Drop-Out-Rate von 20% und unter Berücksichtigung der Berechnung von Ozasa et al. (2012) ergab sich eine Gesamtgruppengröße von  $n = 230$ . Die Kriterien hinsichtlich der Planung und Durchführung der klinischen Studie wurden somit erfüllt. Die im Vorfeld geschätzte mittlere Effektstärke von  $d = 0,5$  wurde bestätigt. Die Power der Post-hoc-Daten lag bei 97%, so dass die Studie trotz der hohen Drop-out-Quote mit diesen Ergebnissen nicht „underpowered“ ist.

#### 4.1.3 Patientengruppe

Insgesamt konnten 239 Patienten von dem Studienkonzept überzeugt werden und bestätigten den Termin zur Eingangsuntersuchung. Den Termin nahmen nur 230 Patienten wahr und wurden randomisiert. 59 Patienten stiegen während des kompletten Studienzeitraums aus diversen Gründen aus (siehe Abb. 3 und 3.1.1 Patienteneigenschaften). Die im Vorfeld ermittelte Drop-Out-Quote von 20% wurde mit 25,7% leicht überboten. Die mittels Powerberechnung festgelegte jeweilige Gruppengröße von  $n = 115$  Patienten wurde zu Studienbeginn sowohl in der KG als auch in der IG erreicht. In der IG kam es unmittelbar nach der Randomisierung zu  $n = 27$  (23,5%) Ausstiegen, da die Patienten nicht bereit waren, die Zeit für ein präoperatives Training aufzubringen. Die Geschlechterverteilung lag in beiden Gruppen prozentual im identischen Bereich ( $IG_{\text{weibl.}}: 10,2\%$ ;  $KG_{\text{weibl.}}: 10,4\%$ ). Beide Gruppen unterschieden sich nicht gravierend hinsichtlich der anthropometrischen Daten, der kardiovaskulären



Diagnosen, der echokardiographischen Befunde, der kardiovaskulären Risikofaktoren, Begleiterkrankungen oder Medikation. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass die Gruppenzusammensetzung keinen Einfluss auf die Ergebnisse hatte.

#### **4.1.4 Trainingsintervention**

Die aktuelle Studienlage bestätigt, dass vor allem ältere Herzpatienten von einer kardialen Rehabilitation, insbesondere der Trainingstherapie, effektiv profitieren (Menezes et al. 2012; Irons et al. 2012; Bjarnason-Wehrens et al. 2007; Macchi et al. 2007; Gielen et al. 2005). Hauptproblem älterer Herzpatienten ist der meist im Vorfeld bestehende schlechte körperliche Allgemeinzustand, welcher von Zusatzerkrankungen, multikausaler Behinderung und kognitiver Dysfunktion geprägt ist (Likosky et al. 2008; Ferrara et al. 2006). Bedeutsam sind ebenfalls die mit steigendem Lebensalter einhergehenden physiologischen Veränderungen, wie die Reduktion der muskulären, kardiovaskulären, respiratorischen und neurologischen Eigenschaften, welche den Zustand zusätzlich negativ beeinflussen und die körperliche Funktions- und Leistungsfähigkeit reduzieren können (Hollmann et al. 2007; Leenders, 2003). Die übergeordneten Rehabilitationsziele in dieser Patientengruppe sind die Wiederherstellung und Sicherung der Teilhabe als auch die Vermeidung der Pflegebedürftigkeit (Eder et al. 2013). Für ältere Patienten bedeutet dies insbesondere die Erhaltung der Mobilität und die Wiedererlangung der Selbstständigkeit, um eine Rückkehr in ihre gewohnte Umgebung nach der AHB zu gewährleisten. Dies gilt nicht zuletzt auch für ältere Patienten nach kardiochirurgischen Eingriffen (Busch et al. 2012). Bekannt ist zudem, dass ältere postoperative Herzpatienten deutlich längere Regenerationsphasen aufweisen als jüngere (Miller/Grindel, 2001). An diesem Punkt setzt die Prärehabilitation an. Die Frage ist, inwiefern der präoperative Zeitraum genutzt werden kann, um vor allem ältere Herzpatienten auf das bevorstehende Ereignis vorzubereiten. In der vorliegenden Arbeit lag der Schwerpunkt auf der Ausführung eines präoperativen aeroben Ausdauertrainings nach der Dauer- und Intervallmethode auf dem Fahrradergometer. Untersucht wurde der Effekt eines zweiwöchigen Trainings mit drei Trainingseinheiten pro Woche. Das Fahrradergometertraining wurde ausgewählt, da es eine exakte Dosierbarkeit, gute Kontrolle der Belastungsintensität und optimale Möglichkeit des Monitorings bietet (Vanhees et al. 2012; Bjarnason-Wehrens et al. 2009). Wenn möglich wurde die Trainingsintensität bei 70% der  $VO_2max$  festgelegt. Grundsätzlich lag sie jedoch zehn

Schläge unterhalb der ggf. während der Spiroergometrie aufgetretenen Ischämieschwelle. Der klinische Effekt von regelmäßigem aeroben Ausdauertraining bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit ist wissenschaftlich bestens belegt. Das aerobe Ausdauertraining bildet die Basis für alle weiterführenden gesundheitsfördernden Aktivitäten dieses Patientenlientels (Vanhees et al. 2012). Der Großteil der Evidenz bezieht sich auf die Untersuchung der Dauerperiode über 10 bis 30 Minuten bei Intensitäten zwischen 40 bis 80% der  $VO_2max$ . Diese Art und Weise der Trainingsform gilt bei stabilen KHK-Patienten als sicher und effektiv (Bjarnason-Wehrens et al. 2009; Leon et al. 2005). Weiterhin belegen Studien, dass der Trainingseffekt sowohl von der Trainingsfrequenz, -intensität, -dauer, -typ und -volumen (Dosis: Intensität x Dauer) abhängig ist (Vanhees et al. 2012). Stärkere Effekte konnten bei höherer Intensität und Häufigkeit aufgezeigt werden (Uddin et al. 2016; Sandercock et al. 2013; Vanhees et al. 2004). Hingegen gibt es auch Evidenz dafür, dass ein moderates regelmäßiges aerobes Ausdauertraining (Dauer: 40 Minuten, Typ: Dauerperiode, Frequenz: 3x pro Woche, Intensität: 65%  $VO_2max$ ) bei KHK-Patienten ( $n = 134$ ; 60-Minuten Gruppen:  $63,4 \pm 8,9$  vs. 40-Minuten Gruppen  $62,9 \pm 10,3$ ) ausreicht, um nach sieben Wochen eine Steigerung der körperlichen Belastbarkeit und Optimierung der Blutfettwerte zu erzielen. Ebenfalls konnte eine Verbesserung der anthropometrischen Parameter beobachtet werden. Ein Vergleich mit der Gruppe, die 60 statt 40 Minuten trainierte, zeigte keinen Unterschied (Hansen et al. 2008). Die Vermutung liegt nahe, dass ein Ausdauertraining mit niedrigen bis moderaten Belastungsbereichen zu einer weitaus höheren Compliance beiträgt und Gesundheitseffekte langfristig erzielt als ein Training mit hoher Dauer und intensiver Frequenz. Der physiologische Vorteil, welches das intensivere Ausdauertraining mit sich führt, könnte durch die niedrigere Compliance revidiert werden. Um diese Vermutung zu bestätigen, sind weitere Langzeitstudien nötig (Vanhees et al. 2012).

Ziel der präoperativen Trainingsintervention war die Verbesserung der symptomlimitierten körperlichen Belastbarkeit, die Steigerung der Lebensqualität durch gezielte OP-Aufklärung als auch der Abbau kardiovaskulärer Risikofaktoren. Die Ziele wurden aus Studienergebnissen, welche Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation während der Wartezeit untersuchten, abgeleitet. Belegt ist die Zunahme von Ängsten, Depressionen als auch die Abnahme der physischen Kapazität und die Tatsache, dass eine schlechte körperliche Verfassung mit längeren postoperativen Krankenhausverweildauern assoziiert ist (McCormick et al. 2006; Cook et al. 2001; Arthur et al. 2000).

In bisherigen Prärehabilitationsstudien wurden Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation entweder über einen längeren Zeitraum konditioniert (Stammers et al. 2015; Sawatzky et al. 2014; Rosenfeld et al. 2011; Arthur et al. 2000) oder es wurde ein tägliches Interventionsprogramm durchgeführt, sofern der Trainingsumfang unter zwei Wochen lag (Herdy et al. 2008). Neu bei der vorliegenden Studie ist die Reduktion der Trainingshäufigkeit auf dreimal pro Woche und die kurze Trainingsdauer von zwei Wochen. Während der Trainingseinheiten kam es zu keinen Komplikationen. Das Training wurde von allen Patienten geschätzt und gut toleriert. Vereinzelt zeigten Patienten leichte Symptome von Angina Pectoris, welche durch Reduktion der Belastungsintensität verschwanden und das Training fortgeführt werden konnte. Demzufolge haben nicht alle Patienten exakt bei 70% der  $VO_2$ max trainiert, ein Großteil lag darunter. Diese Erkenntnis als auch die Tatsache, dass 79,5% der Patienten aus der IG eine schwere koronare Dreigefäßerkrankung aufzeigten (CCS II: 43,2%), sollten bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

#### **4.1.5 Bestimmung der Gefäßelastizität**

##### **4.1.5.1 EndoPAT**

Bei der nicht invasiven Messmethode mit dem EndoPAT<sup>®</sup>-2000 wird die Endothelfunktionsfähigkeit überprüft. Die endotheliale Dysfunktion gilt als Frühstadium von Gefäßerkrankungen, welche durch kardiovaskuläre Risikofaktoren zusätzlich negativ beeinträchtigt werden (Moerland et al. 2012; Rosenkranz, 2009). Eine gestörte Endothelfunktion konnte bei Patienten mit KHK, Diabetes Typ II, Hypertonie, Übergewicht, Niereninsuffizienz als auch Hypercholesterinämie nachgewiesen werden (Vanhoutte, 2009; Hartge et al. 2007; Meyers/Gokce, 2007; Bolad/Delafontaine, 2005; Kawano et al. 2002). Körperliches Training führt bei Patienten mit KHK bereits nach wenigen Wochen zu Verbesserungen der endothelabhängigen Dilatation epikardialer Gefäße. Es ist naheliegend, dass funktionelle Gefäßadaptationen bereits kurz nach Beginn eines Trainingsprogramms eintreten (Walther/Hambrecht, 2001). Die Reliabilität und Validität dieses Verfahrens sind durch ausreichende Evidenz belegt (Rubinsthein et al. 2010; Selamet Tierney et al. 2009; Bonetti et al. 2004; Kurvin et al. 2003). In der vorliegenden Arbeit wurde diese Messapparatur verwendet, um zu überprüfen, inwiefern ein präoperatives aerobes Ausdauertraining Einfluss auf die Entwicklung der Endothel-

funktion im prä- als auch postoperativen Verlauf hat. Cut-off Werte orientieren sich an den Studienergebnissen von Bonetti et al. (2004). Untersucht wurden hier 94 Patienten (normale Endothelfunktion:  $n = 39$ , 50 Jahre; endotheliale Dysfunktion:  $n = 55$ , 49 Jahre) mit dem EndoPAT®-2000. Der sogenannte Endoscore lag bei Patienten mit normaler Endothelfunktion bei  $1,78 \pm 0,08$  und bei denen mit Endotheldysfunktion bei  $1,27 \pm 0,05$ . Ein Cut-off Wert von 1,67 liefert eine 82%ige Sensitivität und eine 77%ige Spezifität, um eine endotheliale Dysfunktion zu diagnostizieren (Bonetti et al. 2004). Ozasa et al. (2012) zeigten bei Herzinsuffizienten ( $n = 27$ , 79,5 Jahre) eine signifikante Verbesserung des Endoscores bei  $\leq 80$ -Jährigen von  $1,55 \pm 0,33$  auf  $1,93 \pm 0,62$  ( $p = 0,035$ ) durch ein zweiwöchiges Ausdauertraining auf. Aktuell gibt es keine Vergleichswerte aus anderen Arbeiten, welche den Endoscore älterer Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation untersuchten. Bei der Ergebnisinterpretation sollte darauf geachtet werden, dass die Messungen nicht zu identischen Tageszeiten durchgeführt werden konnten und nicht jeder Patient sich an das vorherige Rauch- und Koffeinverbot hielt. Zudem können Messungenauigkeiten wegen Begleiterkrankungen, wie z.B. Morbus Parkinson oder Raynaud Syndrom der Finger, entstanden sein. Ebenfalls kam es gelegentlich zu technischen Problemen, so dass der EndoPAT®-2000 nicht bei allen Patienten und zu allen Messzeitpunkten zur Verfügung stand.

#### **4.1.5.2 Pulswellenanalyse**

Der Schwerpunkt der erweiterten Blutdruckmessung lag in der nichtinvasiven Bestimmung der Pulswellengeschwindigkeit (PWV), dem zentralen systolischen und zentralen diastolischen Blutdruck. Ermittelt wurden die Messwerte durch Oszillation anhand einer Blutdruckmanschette am Oberarm. Die Ergebnisse des Mobil-O-Graphs® sind sowohl invasiv als auch nichtinvasiv validiert (Hametner et al. 2013; Weber et al. 2011; Wassertheurer et al. 2010). Die PWV gilt als Maß der arteriellen Gefäßsteifigkeit und spiegelt pathophysiologische Veränderungen wieder. Steifere Gefäße führen zu einer Erhöhung der PWV (Baulmann et al. 2010; Laurent et al. 2006). Aufgrund der stetigen Dauerbelastung kommt es im Alterungsprozess zu Umbauten in der Aorta. Elastin wird brüchig und durch unelastisches Kollagen ersetzt (Mengden et al. 2016). Querschnittstudien belegen eine Verdopplung der cf-PWV (PWV zwischen A. Carotis und A. Femoralis) um 1,8 Meter pro Sekunde (m/s) zwischen dem siebzigsten und achtzigsten Lebensjahr (Weber, 2010). In den Leitlinien der Europäischen

Hochdruckliga wird bei einer PWV von über 10 m/s von einem Endorganschaden ausgegangen (ESH/ESC Pocket Guidelines, 2013). Durch die Kontraktion des linken Ventrikels entsteht eine Druckwelle, die an Orten mit Impedanzänderung zurück nach zentral reflektiert wird und zu einer Erhöhung des zentralen Blutdrucks führt (Baulmann et al. 2010). Bei steigendem Alter und hoher PWV erreicht die reflektierte Pulswelle die ascendierende Aorta bereits in der Systole, erhöht die kardiale Nachlast und beeinträchtigt die Koronarperfusion negativ (Weber et al. 2008). Die Arbeit von Roman et al. (2007) belegt eine höhere Wertigkeit der zentralen Blutdruckmessung im Hinblick auf die Entwicklung kardiovaskulärer Ereignisse im Vergleich zu der Messung an der A. Brachialis. Der zentrale-aortale Blutdruck nimmt zudem einen hohen prognostischen Stellenwert ein, da er unmittelbar am Herzen und dem zentralen Nervensystem wirksam ist (Baulmann et al. 2010). Alle Parameter der Gefäßsteifigkeit können sowohl medikamentös als auch nicht-medikamentös durch z.B. Kochsalz- und Gewichtsreduktion als auch durch Nikotinverzicht und körperliches Training positiv beeinflusst werden (Tanaka/Safar, 2005). Durch die Einmalmessungen mit dem Mobil-O-Graphen® wurde in der vorliegenden Arbeit der Effekt eines präoperativen aeroben Ausdauertrainings auf die Entwicklung der Gefäßsteifigkeit im prä- als auch postoperativen Verlauf bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation ermittelt. Aktuell existieren für dieses Patientenkontingent keine relevanten Vergleichswerte. Lediglich eine Arbeit von de la Sierra et al. (2018) gibt eine Übersicht über die erhobenen Mobil-O-Graph® 24h-Mittelwerte von 178 Hypertonikern mit ( $n = 92, 63 \pm 10$  Jahre) und ohne ( $n = 86, 52,5 \pm 11,5$  Jahre) Endorganschaden. Bei Patienten mit Endorganschaden lag der zentrale systolische Blutdruck bei  $122,8 \pm 15$  mmHG, der zentrale diastolische Blutdruck bei  $85,5 \pm 10,6$  mmHG, die PWV bei  $9,3 \pm 1,6$  m/s. Die Werte der Hypertoniker ohne bisherigen Endorganschaden lagen hinsichtlich zentralem systolischem Blutdruck ( $115,5 \pm 10,2$  mmHG) und der PWV ( $7,6 \pm 1,2$  m/s) signifikant unter denen der Patienten mit Endorganschaden. Der zentrale diastolische Blutdruck ( $81,2 \pm 7,6$  mmHG) unterschied sich nur marginal (de Sierra et al. 2017). Bei der Ergebnisinterpretation ist zu berücksichtigen, dass die Einmalmessungen aus organisatorischen Gründen nicht zu den gleichen Tageszeiten stattfanden.

#### 4.1.6 Spiroergometrie

Die Spiroergometrie stellt den Goldstandard zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit dar und kann bei einer gegebenenfalls verminderten körperlichen Funktionsfähigkeit limitierende Faktoren aufdecken (Rassouli/Thurnheer, 2015). In der kardiologischen Klinik werden Spiroergometrien vor allem bei Patienten mit Herzinsuffizienz, vor und nach Herztransplantation, Klappenvitien und kongenitalen Herzfehlern als auch zur optimalen Programmierung von Herzschrittmachern eingesetzt (Wonisch et al. 2003). In der vorliegenden Studie wurde eine Spiroergometrie in halbliegender Position auf dem Fahrradergometer durchgeführt, um einen möglichen Effekt des präoperativen aeroben Ausdauertrainings im prä- und postoperativen Verlauf auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit aufzudecken. Die Startbelastung lag bei 50 Watt und wurde in Form eines Rampenprotokolls pro Minute um jeweils zehn Watt gesteigert. Die Steigerung der Belastung wurde bewusst gering gewählt, da die Patienten auch unmittelbar sieben bis zehn Tage postoperativ in der Lage sein sollten, eine Spiroergometrie zu absolvieren. In der Literatur wird eine Gesamtbelastungszeit von acht bis zwölf Minuten angestrebt, um ausreichend valide Daten zur Auswertung und vor allem zur Bestimmung der  $VO_2\text{max}$  vorliegen zu haben (Scharhag-Rosenberger, 2010). Aktuelle Evidenz lässt sogar vermuten, dass Belastungszeiten zwischen 7 bis 26 Minuten auf dem Fahrradergometer eine valide Bestimmung der  $VO_2\text{max}$  ermöglichen (Midgley et al. 2008). Die durchschnittliche maximale Leistungsfähigkeit der in der vorliegenden Studie untersuchten Population lag zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung bei  $98,4 \pm 25,0$  Watt. Dementsprechend lag die Dauer mit ca. fünf bis sechs Minuten sogar unterhalb der angestrebten spiroergometrischen Belastungszeit, was bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden sollte. Hauptabbruchgründe waren periphere muskuläre Erschöpfung, Dyspnoe, ST-Senkungen und hypertone Blutdruckentgleisungen. Bei kurzen Belastungszeiten unter acht Minuten besteht eine nichtlineare Beziehung zwischen der  $VO_2$  und der Ergometerleistung mit eventuellem vorzeitigem Belastungsabbruch durch Dyspnoe ohne Erreichen der  $VO_2\text{max}$  (Will/Walter, 1999; Myers et al. 1991; Buchfuhrer et al. 1983). Die Bestimmung der  $VO_2\text{max}$  gilt als Prädiktor für die Ermittlung der kardialen Mortalität und Gesamtmortalität (Keteyian et al. 2008; Kavanagh et al. 2002). Bei KHK-Patienten ( $n = 2\ 812$ ) führt eine Zunahme der  $VO_2\text{max}$  um  $1\ \text{ml}/\text{min}/\text{kg}$  zu einer ca.

15-prozentigen Abnahme der Gesamtmortalität. Wiesen Männer allerdings eine  $VO_2\text{max} < 15 \text{ ml/min/kg}$  auf bzw. Frauen eine  $< 12 \text{ ml/min/kg}$ , so ging das einher mit einem maximal vorliegenden Mortalitätsrisiko. Zeigten Männer  $VO_2\text{max}$  Werte über  $19 \text{ ml/min/kg}$  und Frauen über  $16,5 \text{ ml/min/kg}$ , lag nur ein sehr geringes Mortalitätsrisiko vor (Keteyian et al. 2008). Die beschriebenen Werte gehen zum größten Teil mit denen aus der Untersuchung von Kavanagh et al. (2002; 2003) konform. Er beschrieb lediglich für Frauen mit einer  $VO_2\text{max} < 13 \text{ ml/min/kg}$  eine erhöhte Assoziation der Gesamtmortalität (Kavanagh et al. 2002; Kavanagh et al. 2003). Normwerte der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität orientieren sich grob an den Empfehlungen von Meyer und Kindermann (1999). Sie beschreiben  $VO_2\text{max}$  Werte von nicht ausdauertrainierten Erwachsenen zwischen 30 bis  $50 \text{ ml/min/kg}$ . Herzkranken hingegen liegen mit 15 bis  $20 \text{ ml/min/kg}$  deutlich darunter (Meyer/Kindermann, 1999). Eine Erhebung spiroergometrischer Referenzwerte der Normalbevölkerung ( $n = 43$ , 60 - 79 Jahre) über 60-jähriger Probanden belegen altersbedingte Abhängigkeiten in der Bruttoleistungsfähigkeit, körpergewichtsbezogenen Leistungsfähigkeit,  $VO_2\text{max}$  und körpergewichtsbezogene  $VO_2\text{max}$  bei Männern. Folgende Durchschnittswerte wurden erhoben: Maximale Leistungsfähigkeit:  $155 \pm 26 \text{ Watt}$  ( $\geq 70$  Jahre:  $139 \pm 25 \text{ Watt}$ ), körpergewichtsbezogene Leistungsfähigkeit:  $1,92 \pm 0,46 \text{ Watt/kg}$  ( $\geq 70$  Jahre:  $1,77 \pm 0,37 \text{ Watt/kg}$ ),  $VO_2\text{max}$ :  $2292 \pm 245 \text{ ml/min}$  ( $\geq 70$  Jahre:  $2134 \pm 237 \text{ ml/min}$ ), körpergewichtsbezogene  $VO_2\text{max}$ :  $28,4 \pm 4,6 \text{ ml/min/kg}$  ( $\geq 70$  Jahre:  $27,4 \pm 4,5 \text{ ml/min/kg}$ ) (Funk/Schneider, 2012). Hambrecht et al. (2004) ermittelten bei Patienten ( $n = 101$ ,  $\leq 70$ ) mit stabiler KHK  $VO_2\text{max}$  Werte zu Studienbeginn von  $22,6 \pm 0,7 \text{ ml/min/kg}$  in der Trainingsgruppe (TG) und  $22,3 \pm 0,6 \text{ ml/min/kg}$  in der Kontrollgruppe (KG). Nach einem Jahr mit täglich 20-minütigem aeroben Ausdauertraining verbesserte sich die TG signifikant auf  $26,2 \pm 0,8 \text{ ml/min/kg}$ , die mit PCI und Stent versorgte KG blieb bei  $22,8 \pm 0,9 \text{ ml/min/kg}$  unverändert (Hambrecht et al. 2004). Es existiert bislang nur eine prärehabilitative Studie, welche die gleiche Kohorte untersuchte und die funktionale Kapazität mittels Spiroergometrie ermittelte (IG:  $n = 123$ ,  $61,8 \pm 8,4$ ; KG:  $n = 123$ ,  $63,8 \pm 7,8$ ). Zu Prärehabilitationsbeginn bemaß sich die  $VO_2\text{max}$  der IG auf  $1327,6 \text{ ml/min}$  und in der KG auf  $1201,2 \text{ ml/min}$ . Entwicklungen der  $VO_2\text{max}$  nach der Prärehabilitation als auch im postoperativen Verlauf gehen aus der Arbeit nicht hervor, da sich der primäre Endpunkt auf die Krankenhausverweildauer bezog (Arthur et al. 2000). Aktuell gibt es keine Studien, die Auskunft über die funktionale Kapazität von vor allem älteren Patienten im prä- als auch postoperativen Zustand nach aortokoronarer Bypass-Ope-

ration und vorangegangener prärehabitativer Intervention gibt. Bei der Ergebnisinterpretation sollten die operationsbedingten körperlichen Einbußen als auch die kurzen Abstände zwischen den Messzeitpunkten beachtet werden.

#### **4.1.7 6-Minuten-Gehtest**

Der 6-Minuten-Gehtest (Six Minute Walking Test = 6MWT) ist ein leicht durchzuführender Test, der kein zusätzliches Equipment und vorbereitendes Training der Probanden erfordert. Anwendung findet er vor allem, um durch Interventionen hervorgerufene Vergleiche aufzuzeigen, den funktionalen Status zu erheben oder um das Risiko der Morbidität und Mortalität abzuschätzen (Fiorina et al. 2007; American Thoracic Society, 2002). Es existiert ausreichend Evidenz dafür, dass der 6MWT reliabel und valide ist (Du et al. 2009; Gayda et al. 2004; Enright et al. 2003; American Thoracic Society, 2002; Hamilton, 2000). Nicht zu vernachlässigen sind bei der Interpretation der Ergebnisse des 6MWT die untersucherabhängigen und personenbezogenen Einflussfaktoren wie u.a. Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht und Motivation (Rasekaba et al. 2009; Opasich et al. 2004; Gibbons et al. 2001; Troosters et al. 1999; Enright/Sherrill, 1998). Umso wichtiger ist die Einhaltung der standardisierten Testdurchführung des Untersuchers. In der vorliegenden Studie hielten sich alle Untersucher an das Protokoll der American Thoracic Society (2002) und verzichteten auf zusätzliche Motivation. Gruppenspezifische Unterschiede wurden im Vorfeld durch Randomisierung auf beide Gruppen gleichmäßig verteilt, so dass dies bei der Interpretation der Ergebnisse kein Problem darstellt. Die funktionale Kapazität ist ein wichtiger prognostischer Faktor, um zukünftige kardiologische Ereignisse zu verhindern und Mortalität zu vermeiden (Sawatzky et al. 2014). Eine Studie von Beatty et al. (2012) zeigt, dass bei Patienten mit stabiler KHK eine 6-Minuten-Gehstrecke unter 419 m mit einem zweifach erhöhten Risiko einhergeht, ein kardiales Ereignis zu erleiden, im Gegensatz zu den Patienten, die über 481 m zurücklegten. Die Möglichkeit, den 6MWT bei älteren und vor allem frisch operierten Herzpatienten zu verwenden, wurde durch die Arbeit von Fiorina et al. (2007) als praktikabel und sicher eingestuft. Untersucht wurden 348 Patienten ( $65 \pm 11$  Jahre) im Zustand nach Herzoperation (CABG:  $n = 215$ ; 62%) zum Zeitpunkt Rehabilitationsbeginn und -ende. Es konnte eine signifikante Zunahme in der 6-Minuten-Gestrecke von  $281 \pm 90$  m auf  $411 \pm 107$  m ( $p < 0,001$ ) zwischen beiden Messzeitpunkten festgestellt werden (Fiorina et al. 2007).



Es gibt zahlreiche Untersuchungen mit alters-, geschlechts- und BMI-spezifischen Referenzwerten für Gesunde zur Bewertung der absolvierten Gehstrecke im 6MWT (Enright et al. 2003; Gibbons et al. 2001; Troosters et al. 1999; Enright/Sherrill 1998). Diese wurden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht zum Vergleich herangezogen, da der Schwerpunkt vor allem in der Gegenüberstellung der 6-Minuten-Gehstrecken von Studien lag, welche die gleiche Kohorte untersuchten oder die zeitlich zu identischen Messzeitpunkten sowohl prä- als auch postoperativ erhoben wurden. Opasich et al. (2004) geben eine Übersicht an Referenzwerten von 6-Minuten-Gehstrecken herzoperierter Männer und Frauen. Auf Basis von 2 555 Patientendaten (CABG: 73%) ermittelten die Forscher die 6-Minuten-Gehstrecke zu AHB-Beginn (Mittlere 6-Minuten-Gehstrecke:  $296 \pm 11$  m) und kategorisierten diese nach Geschlecht, Alter, Komorbiditäten und linksventrikulärer Auswurfraction (siehe Abb. 5). Es konnten hinsichtlich der 6-Minuten-Gehstrecke signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern, dem Alter und den Komorbiditäten aufgezeigt werden.

	Distance Walked, m	p Value
Gender		
Male	$319.9 \pm 105.5$	< 0.0001
Female	$229.3 \pm 99.2$	
Age, yr		
< 61	$324.6 \pm 99.9$	< 0.0001
61–70	$293.95 \pm 103.6$	
> 70	$251.9 \pm 112.6$	
Comorbidity		
No	$310.7 \pm 108.3$	< 0.0001
Yes	$278.9 \pm 112.1$	
LVEF		
$\geq 50\%$ and male gender	$331.6 \pm 107.9$	0.016
< 50% and male gender	$316.9 \pm 94.9$	
LVEF		
$\geq 50\%$ and female gender	$232.9 \pm 102.9$	0.85
< 50% and female gender	$231.2 \pm 86.4$	

**Abb. 5:** Darstellung der postoperativen Referenzwerte des 6MWT herzchirurgischer Patienten zu AHB-Beginn stratifiziert nach Geschlecht, Alter, Komorbiditäten und linksventrikulärer Ejektionsfraktion (LVEF) (Opasich et al. 2004).

Weiterhin haben sich viele Studien mit dem Minimal Clinically Important Difference (MCID) des 6MWT auseinandergesetzt. Die Ergebnisse unterscheiden sich hinsichtlich der untersuchten Patientenpopulation und dem Zeitpunkt der erhobenen Gehstreckentestungen. Eine Übersichtsarbeit von Bohannon und Crouch (2017) fasst sechs Studien zusammen, welche die MCID bei pathologisch auffälligen Patienten (u.a. Patienten mit COPD, Lungenkrebs, KHK) ermittelten. Sie geben einen MCID zwischen 14 bis 30,5 m an (Bohannon/Crouch, 2017). Germeaux et al. (2011) legen

für KHK-Patienten nach akutem Koronarsyndrom ( $n = 81$ ;  $58,1 \pm 8,7$  Jahre) zu AHB-Ende ein MCID im 6MWT von 25 m fest. Perera et al. (2006) bestätigen einen geringen MCID bei älteren Patienten von 20 m und einen substantiellen von 50 m. Zum jetzigen Zeitpunkt besteht keine Datengrundlage für eine Empfehlung des MCID und die Entwicklung der 6-Minuten-Gehstrecke im präoperativen Verlauf nach vorheriger Trainingsintervention bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation. Aktuell hat nur eine Pilotstudie ( $n = 15$ ) von Sawatzky et al. (2014) den 6MWT bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation verwendet, um die funktionale Kapazität nach einer präoperativen Trainingsintervention zu analysieren. Es konnten signifikante ( $p < 0,05$ ) Verbesserungen der 6-Minuten-Gehstrecken sowohl im prä- als auch postoperativen Verlauf aufgezeigt werden (Sawatzky et al. 2014). Tabelle 101 zeigt eine Übersicht an Prärehabilitationsstudien älterer Patientenpopulationen, welche den 6MWT zur Bestimmung der funktionalen Kapazität präsentierten. Festzuhalten bleibt, dass der 6MWT in der vorliegenden Arbeit zur Ermittlung der interventionsbedingten Ergebniskontrolle zwischen der IG und KG herangezogen wurde. Eine zu kritische Interpretation ist aufgrund der kurzen Messabstände und dem durch die Operation stark funktionell eingeschränkten Patientenklimentel nicht empfehlenswert.

**Tab. 101:** Überblick der aktuellen Prärehabilitationsstudien mit dem Schwerpunkt der Untersuchung älterer Patienten, die den 6-Minuten-Gehtest durchführten (CABG: Coronary Artery Bypass Grafting; VS: Valve Surgery; TEP: Totalendoprothese; IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; m: Meter; Min.: Minuten; Mind.: Mindestens).

Autor/Jahr/OP-Art	Anzahl	Alter	Prehab Art	Ergebnis 6MWT
<i>Carli et al. 2010</i> Kolorektal-OP	n = 133	60,5 Jahre	Kraft-/Ausdauertraining Dauer: 4 Wochen 14 Std. pro Woche	Signifikante Reduktion der postoperativen Gehstrecke in IG um 34,4 m ( $p < 0,001$ ) Kein präoperativer Effekt in IG nach Trainingsintervention
<i>Hoogeboom et al. 2010</i> Hüft-TEP Ersatz	n = 21	76 Jahre	Kraft-/Ausdauertraining Dauer: 2 - 4 Wochen Täglich 30 Min.	Kein präoperativer Effekt in IG nach Trainingsintervention
<i>Li et al. 2013</i> Darmkrebs-OP	n = 87	IG: 67,4 Jahre KG: 66,4 Jahre	Kraft- Ausdauertraining Dauer: 4 Wochen Dreimal pro Woche mind. 30 Min.	Signifikante Verbesserung in IG prä- als auch postoperativ ( $422 \pm 87$ m Baseline; $464 \pm 92$ m Präop; $407 \pm 111$ m Postop) Postoperativ signifikanter Unterschied zw. KG und IG (KG: $356 \pm 71$ m)
<i>Sawatzky et al. 2014</i> CABG	n = 15	IG: 64 Jahre KG: 63 Jahre	Kraft-/Ausdauertraining Dauer: 4 Wochen Zweimal pro Woche 60 Min.	Signifikante Verbesserung in IG prä- als auch postoperativ, KG nahezu unverändert (IG: $342 \pm 79$ m Baseline; $474 \pm 101$ m Präop; $487 \pm 106$ m Postop; $p < 0,05$ )
<i>Gillis et al. 2014</i> Darmkrebs-OP	n = 77	IG: 65,7 Jahre KG: 66 Jahre	Heimtraining mit Kraft-/ Ausdauertraining Dauer: 4 Wochen Dreimal pro Woche 50 Min.	Signifikante Verbesserung in IG um 25,2 m und Abnahme der KG um 16,4 m präoperativ Signifikante Verbesserung der IG um 23,4 m im Vergleich zur KG zwischen Baseline und 8 Wochen post OP (IG: Prähab-Gruppe; KG: Reha-Gruppe)
<i>Chen et al. 2017</i> Darmkrebs-OP	n = 116	IG: 67,9 Jahre KG: 67,3 Jahre	Kraft-/Ausdauertraining Dauer: 4 Wochen Dreimal pro Woche 40 Min.	Signifikante Verbesserung präoperativ in IG von $23,7 \pm 6,9$ m im Vergleich zur KG, die $5,4 \pm 6,2$ m verlor ( $p = 0,002$ )
<i>Waite et al. 2017</i> CABG/VS	n = 22	> 65 Jahre	Heimtraining mit Kraft-/Balanceübungen Dauer: $\geq 6$ Wochen je nach OP-Termin Mind. einmal pro Woche	Signifikante Verbesserung der Gehstrecke um 18 % im präoperativen Vergleich von 236,6 m auf 279,2 m ( $p < 0,001$ )

#### 4.1.8 Timed up and go Test

Der Timed up and go Test (TUG-Test) zählt zu den international am häufigsten verwendeten Verfahren zur Beurteilung der Mobilität (Shumway-Cook et al. 2000; Zampieri et al. 2010). Mobilität stellt eine der Hauptkategorien der Internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (International Classification of Functioning, Disability and Health = ICF) dar und nimmt hinsichtlich des demographischen Wandels einen hohen Stellenwert ein, um vor allem Pflegebedürftigkeit zu vermeiden und Selbstständigkeit zu erhalten (Kaczmarek et al. 2016; Eder et al. 2013). Evident ist die Reliabilität und Validität des TUG-Tests als Instrument zur Bestimmung der funktionalen Mobilität (Steffen et al. 2002; Morris et al. 2001; Rockwood et al. 2000; Schoppen et al. 1999; Podsiadlo/Richardson, 1991). Die Ergebnisse des TUG-Tests korrelieren sowohl mit der „Berg Balance Scale“ ( $r = -0,81$ ), dem „Gait Speed“ ( $r = -0,61$ ) als auch dem „Barthel Index of ADL“ ( $r = -0,78$ ) (Podsiadlo/Richardson, 1991). Thrane et al. (2007) belegten einen statistischen Zusammenhang zwischen den TUG-Zeiten von älteren männlichen Patienten ( $n = 414$ ; 77,4 Jahre), die bereits gestürzt und denen, die noch nie gestürzt waren (11,1 Sekunden versus 13 Sekunden). Der Unterschied konnte bei weiblichen Testpersonen des gleichen Alters nicht bestätigt werden. Hingegen gelang es Gunter et al. (2000), 71,2% der bereits gestürzten älteren Patienten ( $n = 157$ ; 77,4 Jahre) anhand der TUG-Zeiten von gestürzten und nicht gestürzten Probanden (7,5 Sekunden vs. 8,9 Sekunden) korrekt zu klassifizieren. Der TUG-Test kann somit Veränderungen in der Mobilität bei sturzgefährdeten Älteren aufzeigen (Gunter et al. 2000). Eine 2013 publizierte Metaanalyse (53 Studien;  $n = 12\ 832$ ) zeigt, dass der TUG-Test einen höheren Nutzen hinsichtlich der Vorhersage des Sturzrisikos für ältere Probanden mit geringer körperlicher Funktionalität und schlechtem Allgemeinzustand hat als für gesunde Gleichaltrige (Schoene et al. 2013). Eine in Deutschland durchgeführte Untersuchung über die körperliche und geistige Funktionsfähigkeit bei Personen zwischen 65 bis 79 Jahren ( $n = 1\ 829$ ) stellt mittlere TUG-Zeiten von 10,7 Sekunden (Frauen: 11 Sekunden; Männer: 10,4 Sekunden;  $p = 0,129$ ) fest. Mit steigendem Alter kam es zu signifikanten Erhöhungen der absolvierten Testzeiten (Frauen: max. 12 Sekunden; Männer: max. 11,4) (Fuchs et al. 2013). Cut-off-Werte variieren stark hinsichtlich der untersuchten Populationen und können nicht eindeutig formuliert wer-

den. Bei TUG-Zeit von 20 Sekunden oder länger wird allerdings von einer alltagsrelevanten Mobilitätstörung ausgegangen (Shumaway-Cook et al. 2000). Der TUG-Test wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet, um die Sturzneigung und Basis-mobilität der Patienten zu bestimmen. Bei der Ergebnisinterpretation muss aufgrund der wechselnden Untersucher, trotz vorgegebenem Testprotokoll, die damit einhergehende motivationsbedingte Ausführung der Patienten berücksichtigt werden.

#### **4.1.9 Fragebogenerhebung**

##### MacNew

Mit dem MacNew-Fragebogen wird die gesundheitsbezogene Einschätzung der subjektiven Lebensqualität der Herzpatienten untersucht. Die Erhebung der Lebensqualität gilt als Indikator für den Erfolg einer Behandlungsmethode (Benzer/Hofer, 2004). Der Fragebogen ist reliabel und valide (Hofer et al. 2004). Es existieren Referenzwerte für Patienten mit unterschiedlichen Herzerkrankungen, gestaffelt in Altersgruppen (Dixon et al. 2002). Ein MCID wird in der Arbeit von Dixon et al. (2002) mit 0,5 Punkten angegeben. Untersuchungen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem erhöhten globalen MacNew-Wert und einer Abnahme an Rehospitalisierungen nach koronarer Revaskularisierung (CABG oder PCI) in einem Untersuchungszeitraum von drei Jahren (De Veccis/Ariano, 2016). Deaton et al. (1998) beobachteten, dass drei Monate nach CABG bei Patienten mit geringem globalen MacNew-Wert ein Trend zu vermehrten Krankenhauswiedereinlieferungen bestand (Deaton et al. 1998). Die Ergebnisse wurden von Pedersen et al. (2007) durch die Feststellung bestätigt, dass niedrige globale MacNew-Werte mit einem erhöhten Risiko einhergehen, eine schwere kardiovaskuläre Erkrankung zu erleiden. Es gibt aktuell nur wenig Literatur über die Entwicklung der Lebensqualität von älteren Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation. Pfaffenberger et al. (2010) stellt vom präoperativen Zeitpunkt bis zu vier Wochen postoperativ eine Verschlechterung der körperlichen und emotionalen Rollenfunktion fest. Erst drei Monate nach der Operation lassen sich signifikante Verbesserungen in allen Domänen im Vergleich zum präoperativen Zeitraum aufzeigen (Pfaffenberger et al. 2010). In einer Interventionsstudie mit älteren Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation ( $n = 121; 78,6 \pm 3,2$ ) konnten Busch et al. (2012) belegen, dass sich die Lebensqualität in allen Domänen während der Rehabilitation signifikant verbesserte. Allerdings nahm die Le-

bensqualität drei Monate nach AHB-Ende signifikant ab. Die Werte lagen jedoch nach wie vor signifikant über denen, welche zu AHB-Beginn erhoben wurden (Busch et al. 2012). Der MacNew-Fragebogen wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet, um die Entwicklung der Lebensqualität bei kardiochirurgischen Patienten im präoperativen Zeitraum bis hin zur Entlassung aus der AHB nach vorangegangener Trainingsintervention während der Wartezeit zu eruieren.

### HADS

Der Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) wird als Screeninginstrument für Angst und Depression im klinischen Alltag verwendet. Ziel in der vorliegenden Arbeit war die Erhebung der Angst- und Depressionsrate von Patienten vor und nach kardiochirurgischem Eingriff. Die Frage war, inwiefern die präoperative Trainingsintervention Einfluss auf das Angst- und Depressionsverhalten der Patienten hatte. Die Reliabilität und Validität des HADS-Fragebogens ist belegt (Bjelland et al. 2002; Herrmann, 1997). Untersuchungen zeigen, dass 16 bis 42% der Patienten mit einer stabilen koronaren Herzerkrankung unter Angst leiden (Fan et al. 2008; Rothenbacher et al. 2007). Es existiert sogar Evidenz darüber, dass Angst das Mortalitätsrisiko verdreifacht und das Risiko eines wiederkehrenden koronaren Ereignisses verdoppelt (Januzzi et al. 2000). Depressive Störungen lassen sich bei einem Drittel aller kardialen Erkrankungen als Komorbiditäten beobachten und beeinflussen das körperliche Befinden, die Leistungsfähigkeit und den Krankheitsverlauf negativ (Herrmann-Lingen, 2001). Pfaffenberger et al. (2010) beschreiben einen u-förmigen Verlauf der Angstentwicklung bei Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation vom präoperativen Zeitraum bis drei Monate postoperativ. Litten vor der Operation noch 14,3% der Patienten unter Angst, so verbesserte sich der Wert vier Wochen postoperativ auf 6,7% und stieg nach drei Monaten auf 13,3% erneut an. Der Abfall unmittelbar postoperativ wird mit der Gabe von angstlösenden Medikamenten argumentiert. Die Depressionsrate lag präoperativ bei 10,2% und stagnierte postoperativ bei 6,7% (Pfaffenberger et al. 2010). Weitere Studien mit ähnlichem Testdesign und gleicher untersuchter Population belegen erhöhte Angst- und Depressionswerte sowohl im prä- als auch postoperativen Zeitraum (Connerney et al. 2001; Carney et al. 1999; Duits et al. 1997). Bei der Normalbevölkerung liegen die prozentualen Angstwerte bei circa sieben Prozent und die für Depression bei fünf bis zehn Prozent (Laux, 2001; Deister, 2001).

### MOSES

Der MOSES-Fragebogen wird eingesetzt, um zu Rehabilitationsbeginn und -ende die Domänen Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben abzufragen. Die Reliabilität als auch Validität wird von Farin et al. (2006) bestätigt. Der Test erfüllt die Anforderungen des Rasch-Modells, ist änderungssensitiv und praktikabel einsetzbar. Die methodischen Gütekriterien des MOSES-Fragebogens wurden sowohl in der orthopädischen, kardiologischen (n = 212; Durchschnittsalter: 68,6 Jahre) und neurologischen Rehabilitation erfolgreich getestet (Farin et al. 2007). Aktuell existiert nur eine Dissertation, welche den MOSES-Fragebogen bei älteren Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation einsetzte. Zu AHB-Ende kam es zu signifikanten Verbesserungen des MOSES-Scores in sieben von zwölf Items. Allerdings erzielte ein spezielles Interventionsprogramm (Kraft- und Gleichgewichtstraining) während der AHB keine signifikanten Gruppenunterschiede (KG versus IG) (Busch et al. 2012). In der vorliegenden Arbeit wurde der MOSES-Fragebogen verwendet, um zu überprüfen, ob eine präoperative Trainingsintervention zu einem Gruppenunterschied der MOSES-Scores führt.

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die Gefäßelastizität und Endothelfunktion

#### 4.2.1.1 EndoPAT

Die Messung der Endothelfunktionsfähigkeit mit Hilfe des EndoPAT<sup>®</sup>-2000 wurde in der vorliegenden Studie angewandt, um einen möglichen Effekt durch das präoperative aerobe Ausdauertraining im prä- als auch postoperativen Verlauf aufzudecken. Aktuell gibt es keine prärehabilitativen Vergleichsstudien. Die vorliegende Untersuchung ist die erste, welche die Endothelfunktion mittels nicht-invasiver Messapparatur vor und nach prärehabilitativer Trainingsintervention, zu AHB-Beginn und -Ende als auch vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation ermittelte. Vergleichs- und Cut-Off-Werte liefern die Studie von Bonetti et al. (2004) und Ozasa et al. (2012). Die Ergebnisse der hier aufgezeigten Untersuchung lieferten über den Untersuchungszeitraum nicht die erhofften Entwicklungen der Endoscores. Es konnte zu keinem Zeitpunkt eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe oder Gruppe und Alter festgestellt werden. Signifikante operationsbedingte Reduktionen der Werte konnten zwischen T1 zu T3 und T2 zu T3 festgestellt werden ( $p < 0,001$ ). Zu AHB-Ende lagen die Endoscores beider Gruppen sogar unterhalb den Werten aus der Eingangsuntersuchung. Bei der altersspezifischen Auswertung konnte kein signifikanter Unterschied aufgedeckt werden, auch wenn die Mittelwerte zwischen T1 bis T4 vermuten lassen, dass in beiden Gruppen die  $> 70$ -Jährigen tendenziell niedrigere Endoscores als die  $\leq 70$ -Jährigen ( $> 70$ -Jährigen: 1,44 - 1,84;  $\leq 70$ -Jährigen: 1,52 - 2,00) aufzeigten. Zudem zeigte die altersspezifische Auswertung zu AHB-Ende sowohl signifikant schlechtere Werte im Vergleich zu T1 ( $p = 0,013$ ) und T2 ( $p = 0,027$ ). Die Endoscores beider Gruppen aus dem präoperativen Zeitraum (IG: T1:  $1,85 \pm 0,59$ , T2:  $1,74 \pm 0,45$ ; KG: T1:  $1,87 \pm 0,66$ , T2:  $1,85 \pm 0,61$ ) lagen deutlich über den Cut-Off-Werten von Bonetti et al. (2004), obwohl der Großteil aller Patienten eine hochgradige koronare Dreifäßerkrankung aufwies und deutlich älter war. Auch die  $> 70$ -Jährigen beider Gruppen lagen über dem Cut-Off-Wert von 1,67 (IG: T1:  $1,69 \pm 0,46$ , T2:  $1,80 \pm 0,56$ ; KG: T1:  $1,71 \pm 0,58$ , T2:  $1,84 \pm 0,62$ ). Im postoperativen Verlauf lagen zu T3 beide Gruppen



unabhängig von der Altersgruppe unter dem Wert von 1,67 (1,51 - 1,63). Ursächlich dafür könnte möglicherweise der negative Effekt der reduzierten Mobilität auf die Gefäßelastizität während des Krankenhausaufenthaltes sein. Zu Rehabilitationsende zeigte die Gesamtgruppenanalyse lediglich in der KG Endoscore-Werte über 1,67. Hingegen deckte die altersspezifische Auswertung zu T4 erreichte Sollwerte der  $\leq 70$ -Jährigen in der IG ( $1,67 \pm 0,51$ ) und KG ( $1,71 \pm 0,60$ ) auf. Die Werte der  $> 70$ -Jährigen lagen in beiden Gruppen zu T4 unter 1,67 (IG:  $1,44 \pm 0,32$ ; KG:  $1,65 \pm 0,53$ ). Dementsprechend scheint das Nichterreichen der Cut-Off-Werte zu T4 altersbedingt zu sein. Bekannt ist, dass sich mit steigendem Alter signifikant die endothelabhängige Dilatation reduziert und die Entstehung einer endothelialen Dysfunktion gefördert wird (Widlansky et al. 2003; Smith/Hagen, 2003; Weinsaft/Edelberg, 2001; Taddei et al. 2001; Taddei et al. 2000). Beides könnte sich in einer Abnahme der Endoscores widerspiegeln. Eine signifikante trainingsbedingte Verbesserung der Endscore-Werte, wie diese in der Arbeit von Ozasa et al. (2012) bei herzinsuffiziente Patienten ( $n = 27$ ; 79,5 Jahre) erzielt wurden, ließ sich in der vorliegenden Studie nicht erreichen. Der Trainingszeitraum war in beiden Studien mit zwei Wochen identisch. Die Patienten bei Ozasa et al. (2012) trainierten jedoch häufiger (fünfmal vs. dreimal) mit einer niedrigeren Intensität (30% unterhalb der prognostizierten HRR vs. 70%  $VO_2max$ ) und Dauer (15 Min. vs. 20-50 Min.) als die IG in der hier vorliegenden Studie. Nach zwei Wochen stellten Ozasa et al. (2012) eine signifikante Verbesserung der Endoscores bei den  $\leq 80$ -Jährigen von  $1,55 \pm 0,33$  auf  $1,93 \pm 0,62$  ( $p = 0,035$ ) fest. Zu Studienbeginn lagen die Endoscore-Werte deutlich unter denen aus der vorliegenden Untersuchung. Da die Kohorte von Ozasa et al. (2012) ein höheres Durchschnittsalter aufzeigte, ist es naheliegend, dass das Alter der Grund für diese Entwicklung darstellen könnte. Zudem könnte der mögliche schlechte körperliche Allgemeinzustand der älteren herzinsuffizienten Patienten dazu geführt haben, dass bereits ein niedrigdosiertes Training ausreichte, um messbare Effekte der Gefäßelastizität zu erzielen. Diese Vermutung könnte durch die Studien von Chodzko-Zajko et al. (2009), Leon et al. (2005) und Mazzeo et al. (1998) bestärkt werden, die der Auffassung sind, dass vor allem ältere, nichttrainierte und deconditionierte Personen am besten von Trainingsinterventionen in diesem Bereich profitieren. Anzumerken ist, dass es sich bei Ozasa et al. (2012) nur um eine Pilotstudie handelt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die präoperative Trainingsintervention kein Effekt auf die Endothelfunktion sowohl prä- als auch postoperativ erzielt werden konnte. Die von Walther

und Hambrecht (2001) gestützte These, dass funktionelle Gefäßadaptationen bereits kurz nach Beginn eines Trainingsprogramms eintreten, konnte durch das zweiwöchige präoperative Training anhand der EndoPAT-Ergebnisse nicht bestätigt werden. Die Vermutung liegt nahe, dass dies am geringeren Trainingsumfang der hier vorliegenden Studie im Vergleich zu der von Hambrecht et al. (2004) liegt. Als neues Erkenntnis kann jedoch der Effekt der signifikanten Abnahme der Gefäßelastizität durch den Krankenhausaufenthalt gewertet werden, der so bislang noch nicht aufgezeigt wurde. Diese Entwicklung als auch die Tatsache, dass ältere Patienten zu geringeren Endoscores tendieren, bestärkt die Durchführung einer präoperativen und ggf. kombinierten Trainingsintervention bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation, um den postoperativen Effekt zu verstärken.

#### 4.2.1.2 Pulswellenanalyse

Die erweiterte nichtinvasive Blutdruckmessung mittels Mobil-O-Graphen® wurde in der vorliegenden Studie eingesetzt, um einen möglichen Effekt des präoperativen aeroben Ausdauertrainings auf den systolischen, diastolischen, zentralen systolischen und zentralen diastolischen Blutdruck (BD) als auch auf die Pulswellengeschwindigkeit prä- und postoperativ aufzudecken. Zurzeit existieren keine prärehabilitativen Vergleichsstudien, die diese Werte der gleichen Kohorte zu identischen Messzeitpunkten erhoben haben. Um die Ergebnisse adäquat diskutieren zu können werden die Werte mit Referenzdaten aus der Leitlinie der Europäischen Hochdruckliga (ESH/ESC Pocket Guidelines, 2013), der Metaanalyse von Cornelissen und Smart (2013) als auch der Studie von de la Sierra et al. (2018) verglichen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigten eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe zu T1 und T2 sowohl bei den systolischen ( $p = 0,020$ ) als auch diastolischen ( $p = 0,003$ ) Blutdruckwerten. Beide Gruppen entwickelten sich präoperativ signifikant ( $p < 0,001$ ). Jedoch konnte in der IG durch die präoperative Trainingsintervention eine signifikant stärkere Reduktion beider Blutdruckwerte (systolischer BD:  $-8,2$  mmHg; diastolischer BD:  $-5,6$  mmHg) als in der KG (systolischer BD:  $-3,2$  mmHg; diastolischer BD:  $-1,2$  mmHg) erzielt werden. Die Metaanalyse von Cornelissen und Smart (2013) gibt signifikante Reduktionen des systolischen und diastolischen Blutdrucks durch aerobes Ausdauertraining von  $-3,5/-2,5$  mmHg an ( $p < 0,0001$ ). Dabei zeigten die Hypertoniker den größten Effekt von  $-8,3/-5,2$  mmHg ( $p < 0,0001$ ). Die Metaanalyse inkludiert 105 Aus-

dauerstudien, welche Trainingsdauern von  $\geq 4$  Wochen, Intensitäten von 35 - 95% der Peak  $VO_2$  und eine Frequenz von ein- bis siebenmal pro Woche à 30 bis 60 Minuten reines Ausdauertraining beinhalteten (Cornelissen/Smart, 2013). In der vorliegenden Studienkohorte bestand bei 92% eine diagnostizierte Hypertonie. Die positive Entwicklung der Blutdruckwerte der IG aus der hier aufgezeigten Studie lagen in vergleichbaren Bereichen, wie die Angaben der Referenzwerte für Hypertoniker aus der Metaanalyse von Cornelissen und Smart (2013). Dies unterstreicht den präoperativen Trainingseffekt durch das aerobe Ausdauertraining der IG in der vorliegenden Untersuchung. Sowohl beim zentralen systolischen Blutdruck, zentralen diastolischen Blutdruck und der Pulswellengeschwindigkeit konnten keine signifikanten Interaktionen bedingt durch das präoperative Training erreicht werden. Jedoch wurden signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen beim zentralen diastolischen Blutdruck ( $p = 0,001$ ) als auch bei der PWV ( $p < 0,001$ ) festgestellt. Der zentrale diastolische Blutdruck lag in beiden Gruppen bei den  $> 70$ -Jährigen zu T1, T2 und T4 ( $> 70$ -Jährige: 76,3 - 91,5 mmHg;  $\leq 70$ -Jährige: 80,3 - 98,0 mmHg) signifikant unter denen der  $\leq 70$ -Jährige. Die Pulswellengeschwindigkeit wies bei den älteren Patienten (11,3 - 12,5 m/s) über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant höhere Wert als bei den jüngeren (9,1 - 10,6 m/s) auf. Dies bestätigt die Studienlage, welche besagt, dass es durch pathophysiologische Prozesse im Alter zu einer Versteifung der Gefäße und somit zu einer Erhöhung der PWV kommt (Mengden et al. 2016; Baulmann et al. 2010; Laurent et al. 2006). Die Gesamtanalyse zeigt bei allen Patienten beider Gruppen eine PWV von  $\geq 10$  m/s über alle Messzeitpunkte auf und bestätigt den Referenzwert der Europäischen Hochdruckliga, welcher von einem Endorganschaden ausgeht (ESH/ESC Pocket Guidelines, 2013). Werden die von de la Sierra et al. (2018) erhobenen Werte der PWV ( $9,3 \pm 1,6$  m/s), des zentralen systolischen ( $122,8 \pm 15,0$  mmHg) und zentralen diastolischen Blutdrucks ( $85,5 \pm 10,6$  mmHg) der Patienten mit Endorganschaden in Relation zu den Ergebnissen der hier aufgezeigten Untersuchung gesetzt, so fällt auf, dass diese Werte deutlich niedriger sind. Das kann daran liegen, dass es 24h-Mittelwerte sind und die Population etwas jünger war ( $63 \pm 10$  vs.  $67,1 \pm 8,4$ ). Zudem untersuchten de la Sierra et al. (2018) Hypertoniker, welche gut medikamentös eingestellt waren und keine Anzeichen einer Koronarsklerose aufzeigten. Die in der vorliegenden Studie untersuchte Kohorte wies zu Studienbeginn oftmals schlecht eingestellte Blutdruckwerte auf und zu 76,8% lag eine koronare Dreifäßerkrankung vor. Dies könnte den Unterschied der Werte zu denen von la Sierra et al. (2018)

erklären. Abschließend kann resümiert werden, dass ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation (T1 zu T2) signifikant den systolischen als auch diastolischen Blutdruck senkt. Neu ist die Aufdeckung der Entwicklung der PWV als auch der zentralen diastolischen und zentralen systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Vergleich bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation.

#### **4.2.2 Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die kardio-pulmonale Kapazität**

Unter anderem war das Ziel des präoperativen zweiwöchigen aeroben Ausdauertrainings auf dem Fahrradergometer die Verbesserung der kardio-pulmonalen und muskulären Leistungsfähigkeit, insbesondere der unteren Extremitäten. Durch die kurze Zeitspanne zwischen Feststellung der Indikation und der Operation werden in der Literatur intensive prärehabilitative Trainingsprogramme mit überschwelligem Reizen empfohlen, um eine biopositive Anpassung zu erzeugen (Weston et al. 2016; Chodzko-Zajko et al. 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde jedoch aufgrund der Schwere der KHK des Patientenkollektivs eine moderate Belastungsintensität mittels Dauerperiode bei maximal 70% der  $VO_2max$  gewählt. Bekannt ist, dass vor allem ältere, nichttrainierte und dekonditionierte Personen am besten von Trainingsinterventionen profitieren (Chodzko-Zajko et al. 2009; Leon et al. 2005; Mazzeo et al. 1998). Diese Faktoren treffen auf die meisten Patienten vor elektiver Bypass-Operation zu (Mooney et al. 2007). Die Frage bleibt, ob sechs präoperative Trainingseinheiten ausreichen, um einen Effekt in der untersuchten Population zu erzielen.

##### **4.2.2.1 Maximal erreichte Ergometerleistung**

Inwiefern ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation Einfluss auf die maximal erreichte Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum hat, ist wenig untersucht. Bis jetzt hat keine Studie Ergebnisse zur Veränderung der maximal erreichten Leistungsfähigkeit in Watt publiziert. Arthur et al. (2000) führten zwar vor und nach einem präoperativen aeroben Ausdauertraining eine Spiroergometrie durch, veröffentlichten jedoch nur die Werte der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme aus dem präoperativen Zeitraum. Einige wenige Studien haben die Entwicklung der maxi-

mal erreichten Ergometerleistung im postoperativen Zeitraum bei Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation untersucht, so dass zumindest die in der vorliegenden Studie erhobenen Werte von T3 und T4 in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet werden können (Spiroski et al. 2017; Busch et al. 2012; Hansen et al. 2008; Chludilova et al. 2007). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die körperliche Leistungsfähigkeit zwei Wochen vor koronarer Bypass-Operation durch ein aerobes Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer zu verbessern. Eine signifikante Steigerung der maximal erreichten Ergometerleistung durch die präoperative Trainingsintervention konnte in der IG zwischen T1 zu T2 weder im Gesamtgruppenvergleich noch in der altersspezifischen Auswertung aufgezeigt werden. Die > 70-Jährigen wiesen lediglich in beiden Gruppen signifikant niedrigere  $Watt_{max}$ -Werte auf als die  $\leq 70$ -Jährigen. Operationsbedingt wurde eine signifikante Reduzierung der Leistungsfähigkeit (T1 zu T3,  $p < 0,001$ ; T2 zu T3,  $p < 0,001$ ) beobachtet. Durch die Rehabilitation (T3 und T4,  $p < 0,001$ ) konnte eine signifikante Steigerung festgestellt werden. Zu Rehabilitationsende lagen die Werte nach wie vor signifikant unter denen, welche unmittelbar präoperativ erhoben wurden (T2 zu T4,  $p = 0,008$ ). Bei den älteren Patienten wurde über alle Messzeitpunkte hinweg eine vergleichbare Entwicklung der Leistungsfähigkeit im Gegensatz zu den jüngeren Patienten beobachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse von T3 und T4 im wissenschaftlichen Kontext diskutiert.

Es gibt ausreichend Evidenz dafür, dass vor allem KHK-Patienten nach akutem Myokardinfarkt, PCI oder aortokoronarer Bypass-Operation von einer AHB mit bewegungstherapeutischem Schwerpunkt profitieren. Signifikante Effekte konnten sowohl bei Älteren, Männern und Frauen hinsichtlich der Erhöhung der symptomfreien körperlichen Belastbarkeit aufgezeigt werden (Spiroski et al. 2017; Vanhees et al. 2012; Bjarnason-Wehrens et al. 2007). Insbesondere ältere und multimorbide Patienten scheinen von frührehabilitativen AHB-Programmen nach aortokoronarer Bypass-Operation zu profitieren (Busch et al. 2012; Scrutinio/Giannuzzi, 2008). Spiroski et al. (2017) untersuchten die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit mittels Spiroergometrie bei Patienten im Zustand nach aortokoronarer Bypass-Operation ( $n = 54$ ;  $57,7 \pm 7,6$ ) zu AHB-Beginn, nach drei Wochen Rehabilitation und sechs Monaten nach Rehabilitationsende. Die Patienten nahmen drei Wochen an einem „inpatient“ und danach an einem sechsmonatigen „outpatient“ Rehabilitationsprogramm teil. Während der ersten drei Wochen wurde an sieben Tagen pro Woche ein 30-minütiges Ergometer- und ein tägliches 45-minütiges Walkingtraining absolviert. Das „outpatient“ Programm beinhaltete dreimal

pro Woche ein 45-minütiges Ergometertraining und fünfmal pro Woche eine 45-minütige Walkingeinheit. Die Trainingsintensität lag zwischen 60 bis 85% der  $VO_2max$ . Durch die AHB wurde die maximal erreichte Ergometerleistung im Mittel von  $97,4 \pm 18,9$  Watt auf  $107,2 \pm 28,1$  Watt ( $p < 0,05$ ) gesteigert (Spiroski et al. 2017). Eine Pilotstudie ( $n = 9$ ;  $64 \pm 7$ ) von Chludilova et al. (2007) analysierte den Effekt eines 12-wöchigen „outpatient“ Rehabilitationsprogramms bei älteren Männern nach aortokoronarer Bypass-Operation. Das Training fand dreimal pro Woche über 60 Minuten statt und beinhaltete in den ersten beiden Wochen ein reines aerobes Ausdauertraining. Ab der dritten Woche erfolgte ein ergänzendes Krafttraining. Zu Studienbeginn als auch nach 12 Wochen wurde eine Spiroergometrie durchgeführt. Das Programm startete sechs Wochen postoperativ. Durch die AHB wurde die maximal erreichte Leistungsfähigkeit im Mittel von  $89 \pm 16,6$  Watt auf  $123 \pm 36,2$  Watt ( $p < 0,05$ ) gesteigert. Hansen et al. (2008) untersuchten den Einfluss von einem siebenwöchigem AHB-Programm bei 134 KHK-Patienten ( $63 \pm 10$ ; Z.n.: PCI 65%; CABG: 28%; Medikation: 7%). Das Training beinhaltete dreimal wöchentlich eine 40- bis 60-minütige aerobe Ausdauerinheit bei 65% der  $VO_2max$ . Durch die Rehabilitation wurde die maximal erreichte Ergometerbelastung im Mittel von  $124 \pm 44$  Watt auf  $140 \pm 48$  Watt ( $p < 0,001$ ) gesteigert. Busch et al. (2012) untersuchten in einer RCT den Effekt einer besonderen Trainingsintervention während einer dreiwöchigen AHB bei älteren Patienten im Zustand nach aortokoronarer Bypass-Operation ( $n = 121$ ;  $78,5 \pm 3,1$ ). Zu AHB-Beginn und nach drei Wochen wurde die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit mittels Spiroergometrie getestet. Die maximal erreichten Ergometerleistungen verbesserten sich über die Rehabilitation in beiden Gruppen signifikant. Es konnte allerdings keine Interaktion zwischen Gruppe und Messzeitpunkt aufgezeigt werden (IG: T1:  $39,2 \pm 12,1$  Watt, T2:  $50,8 \pm 15,2$  Watt; KG: T1:  $41,8 \pm 12,8$  Watt, T2:  $51,2 \pm 13,6$  Watt;  $p < 0,001$ ). Die Werte der vorliegenden Arbeit lagen in der IG zu AHB-Beginn bei  $77,8 \pm 22,6$  Watt und in der KG bei  $74,3 \pm 19,0$  Watt. Zu AHB-Ende entwickelten sich die Werte signifikant ( $p < 0,001$ ) in der IG auf  $96,0 \pm 28,3$  Watt und in der KG auf  $92,9 \pm 21,1$  Watt. Auch bei den  $> 70$ -Jährigen ließ sich diese Entwicklung aufzeigen. Die Werte der Älteren lagen in beiden Gruppen jedoch zu T3 ( $p = 0,043$ ) und T4 ( $p = 0,012$ ) signifikant unter denen der  $\leq 70$ -Jährigen. Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter oder Messzeitpunkt und Gruppe aufgezeigt werden. Anhand der Werteentwicklung kann der Effekt der AHB auf die maximal erreichte Ergometerleistung aus den oben beschriebenen Studien bestätigt werden. Ein weiterer Vergleich

mit diesen Studien, welche ebenfalls Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation untersuchten, erweist sich als schwierig, da keine Kohorte zu 100 Prozent der aus der vorliegenden Studie entsprach. Die erhobenen Werte von Chludilova et al. (2007), Hansen et al. (2008) und Spiroski et al. (2017) liegen deutlich über den ermittelten Werten der maximal erreichten Ergometerleistung als in der hier beschriebenen Studie. Gründe dafür sind zum einen das deutlich niedrigere Patientenalter, die Tatsache, dass nicht nur Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation untersucht wurden, und dass der AHB-Beginn zum Teil erst sechs Wochen postoperativ stattfand. Der Messzeitpunkt zu T3 erfolgte in der vorliegenden Studie bereits sieben bis zehn Tage postoperativ und damit deutlich früher als in den beschriebenen Studien. Es ist naheliegend, dass zu diesem Zeitpunkt die körperliche Belastbarkeit nach einem operativen Eingriff deutlich reduziert ist. In Relation zu den Werten aus der Studie von Busch et al. (2012) liegen die der vorliegenden Kohorte deutlich darüber. Möglicherweise ist das auf das höhere Alter der Population in der Untersuchung von Busch et al. (2012) zurückzuführen. Nichtsdestotrotz zeigen die erhobenen Mittelwerte der IG in der vorliegenden Studie Tendenzen auf, welche die These stützen, dass eine präoperative Trainingsintervention vor allem bei > 70-Jährigen sinnvoll erscheint, um die maximal erreichte Ergometerbelastung prä- als auch postoperativ zu optimieren.

#### 4.2.2.2 Relative maximal erreichte Ergometerleistung

Aktuell gibt es keine Studien, welche die Auswirkungen eines zweiwöchigen präoperativen aeroben Ausdauertrainings auf dem Fahrradergometer bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation auf die relative maximal erreichte Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum analysierten. Lediglich zu den Untersuchungszeitpunkten T3 und T4 können Vergleichsstudien herangezogen werden, welche Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation untersuchten und zu AHB-Beginn als auch -Ende eine Spiroergometrie durchführten (Busch et al. 2012; Chludilova et al. 2007). In der vorliegenden Untersuchung konnte keine signifikante Steigerung der mittleren relativen maximalen Leistungsfähigkeit durch die präoperative Trainingsintervention in der IG zwischen T1 zu T2 weder im Gesamtgruppenvergleich noch in der altersspezifischen Auswertung aufgezeigt werden. Operationsbedingt wurde eine signifikante Reduktion der Werte (T1 zu T3,  $p < 0,001$ ; T2 zu T3,  $p < 0,001$ ) festgestellt. Durch die Rehabilitation wurde hingegen eine signifikante

Steigerung der Werte (T3 zu T4,  $p < 0,001$ ) beobachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse von T3 und T4 im wissenschaftlichen Kontext diskutiert. Chludilova et al. (2007) stellten durch die 12-wöchige AHB eine Steigerung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung von  $1,0 \pm 0,25$  Watt/kg auf  $1,4 \pm 0,49$  Watt/kg ( $p < 0,05$ ) fest. Busch et al. (2012) fanden in beiden Gruppen als Effekt der Rehabilitation eine signifikante Zunahme der relativen maximal erreichten Ergometerleistungen ( $p < 0,001$ ). Allerdings entwickelte sich die IG durch die zusätzliche Intervention während der AHB signifikant stärker als die KG ( $p = 0,024$ ). Die Werte lagen zu Studienbeginn in der IG bei  $0,47 \pm 0,14$  Watt/kg und verbesserten sich auf  $0,68 \pm 0,26$  Watt/kg. Die KG wies zu AHB-Beginn  $0,55 \pm 0,18$  Watt/kg auf und steigerte sich ebenfalls auf  $0,68 \pm 0,18$  Watt/kg. In den Studien von Spiroski et al. (2017) und Hansen et al. (2008) wurde die relative maximale Leistungsfähigkeit nicht angegeben. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen in der IG zu AHB-Beginn Werte von  $0,93 \pm 0,28$  Watt/kg und in der KG von  $0,89 \pm 0,25$  Watt/kg. Zu AHB-Ende wurde in beiden Gruppen eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Steigerung der Werte beobachtet, in der IG auf  $1,16 \pm 0,37$  Watt/kg und in der KG auf  $1,12 \pm 0,28$  Watt/kg. Eine vergleichbare Entwicklung wurde in beiden Altersgruppen festgestellt. Die relativen maximal erreichten Ergometerleistungen der  $> 70$ -Jährigen entwickelten sich analog zu denen der  $\leq 70$ -Jährigen (IG: T3:  $0,91 \pm 0,27$  Watt/kg, T4:  $1,13 \pm 0,32$  Watt/kg; KG: T3:  $0,87 \pm 0,26$  Watt/kg, T4:  $1,13 \pm 0,29$  Watt/kg). Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter oder Messzeitpunkt und Gruppe aufgezeigt werden. In Relation zu den Ergebnissen von Chludilova et al. (2007) liegen die Werte in der vorliegenden Studie zu AHB-Beginn nur marginal niedriger, obwohl die Zeitspanne zwischen OP und AHB-Beginn deutlich kürzer war (7-10 Tage vs. 6 Wochen). Außerdem wies die untersuchte Kohorte ein jüngeres Durchschnittsalter auf ( $67,1 \pm 8,4$  vs.  $64 \pm 7$ ). Die Entwicklung der relativen maximalen Leistungsfähigkeit fällt hingegen stärker aus, da der Untersuchungszeitraum 12 Wochen umfasste. Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich bei Chludilova et al. (2007) nur um eine Pilotstudie ( $n = 9$ ) handelte. Die Resultate der relativen maximal erreichten Ergometerleistungen aus der Studie von Busch et al. (2012) zeigten deutlich niedrigere Werte. Ein Vergleich der Werte der IG der  $> 70$ -Jährigen zu T3 mit diesen, bestärkt den möglichen Nutzen älterer Patienten von einer prärehabilitativen Trainingsintervention vor aortokoronarer Bypass-Operation. In der Studie von Busch et al. (2012) als auch in der hier aufgezeigten Untersuchung entwickelten sich die Werte der relativen maximalen Leistungs-



fähigkeit während der AHB vergleichbar. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass eine präoperative Trainingsintervention vor allem bei > 70-Jährigen effektiv scheint, um die relative maximal erreichte Ergometerbelastung zu Rehabilitationsbeginn zu optimieren. Interessant ist, dass zu T3 kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,462$ ) zwischen den Altersgruppen aufgezeigt wurde.

#### 4.2.2.3 Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

Erstmals können auch Werte aus dem präoperativen Zeitraum in Relation zu den in der vorliegenden Studie erhobenen Peak  $VO_2$  Werten gesetzt werden. Es existieren zwei Prärehabilitationsstudien, die ebenfalls Spiroergometrien als diagnostische Maßnahme zur Ermittlung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme durchführten (Carli et al. 2010; Arthur et al. 2000). In der Studie von Arthur et al. (2000) lagen die Peak  $VO_2$  Werte vor Trainingsaufnahme in der IG bei  $1327,6 \pm 320$  ml/min und in der KG bei  $1201,2 \pm 288$  ml/min. Beide Gruppen ( $n = 249$ ; IG:  $61,8 \pm 8,4$ ; KG:  $63,8 \pm 7,8$ ) unterschieden sich signifikant ( $p = 0,009$ ). Möglicherweise liegt die niedrigere Peak  $VO_2$  in der KG an dem etwas höheren Durchschnittsalter. Die weitere Entwicklung der Werte wurde im Artikel nicht näher beschrieben. Ein Review von Lemanu et al. (2013) gibt jedoch Auskunft darüber, dass in dieser Studie nach Abschluss der präoperativen Trainingsintervention (8 Wochen) keine signifikanten Veränderungen in der Peak  $VO_2$  in einer der beiden Gruppen festgestellt wurden. In der Untersuchung von Carli et al. (2010) konnte nach der präoperativen Trainingsperiode (4 Wochen) bei Patienten vor Kolorektal-OP ( $n = 133$ ; 65,5 Jahre) eine signifikante Verbesserung der Peak  $VO_2$  sowohl in der IG um 134 ml/min ( $p = 0,003$ ) als auch in der KG um 112 ml/min ( $p = 0,007$ ) beobachtet werden. Ungeachtet dessen unterschied sich das Trainingsprogramm (Kraft- und Ausdauertraining) als auch die Frequenz (14 Std./Woche) bei Carli et al. (2010) deutlich von dem schwerpunktmäßig durchgeführten aeroben Ausdauertraining (90 Min. 2x pro Woche) bei Arthur et al. (2000) und der hier vorliegenden Studie (60 Min. 3x pro Woche). Die erhobenen Werte von Arthur et al. (2000) gehen mit den Ergebnissen der hier beschriebenen Untersuchung weitestgehend konform. Die Peak  $VO_2$  Werte der IG liegen zur Eingangsuntersuchung (T1) sogar im vergleichbaren Bereich ( $1326,7$  ml/min vs.  $1327,6$  ml/min). Durch die präoperative zweiwöchige Trainingsintervention konnte von T1 zu T2 in der vorliegenden Studie keine signifikante Verbesserung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme erzielt werden. Die Werte

der IG entwickelten sich von  $1326,7 \pm 328,4$  ml/min auf  $1373,1 \pm 346,0$  ml/min und die der KG von  $1362,3 \pm 311,5$  ml/min auf  $1369,6 \pm 326,1$  ml/min. Beide Gruppen unterschieden sich nicht signifikant und es konnte auch keine signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe festgestellt werden. In der altersspezifischen Auswertung ließ sich jedoch ein signifikanter Altersgruppenunterschied ( $p = 0,015$ ) beobachten. Die Peak  $VO_2$  Werte der  $> 70$ -Jährigen lagen zwischen T1 ( $p = 0,003$ ) und T2 ( $p = 0,012$ ) signifikant unter denen der  $\leq 70$ -Jährigen. In der IG der  $> 70$ -Jährigen lag die Peak  $VO_2$  zu T1 mit  $1230,3 \pm 254,3$  ml/min im ähnlichen Bereich wie die der älteren KG  $1201,2 \pm 288$  ml/min aus der Untersuchung von Arthur et al. (2000). Um die im postoperativen Zeitraum erhobenen Werte in den wissenschaftlichen Kontext zu setzen, werden nachfolgend Studien herangezogen, welche zu AHB-Beginn und -Ende bei älteren Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation eine Spiroergometrie präsentieren. Es existieren nämlich zurzeit keine Studienergebnisse prärehabilitativer Untersuchungen, welche im postoperativen Zeitraum spiroergometrische Referenzwerte zu T3 und T4 veröffentlichten. Zu Rehabilitationsbeginn lagen die Ergebnisse von Hansen et al. (2008) und Chludilova et al. (2007) mit  $1406 \pm 494$  ml/min bzw.  $1452 \pm 292,2$  ml/min in nahezu identischen Bereichen. Sie waren allerdings deutlich über den Werten aus der vorliegenden Arbeit zu T3 (IG:  $1053,2 \pm 359,4$  ml/min; KG:  $1021,1 \pm 263,7$  ml/min). Gründe hierfür sind das weitaus geringere Durchschnittsalter als auch die längere Zeitspanne zwischen Krankenhausentlassung und AHB-Beginn in den Untersuchungen von Hansen et al. (2008) und Chludilova et al. (2007). Die Werte zu AHB-Beginn von Hansen et al. (2008) und Chludilova et al. (2007) gleichen vielmehr denen der vorliegenden Studie aus dem präoperativen Zeitraum zu T2 (IG:  $1373,1 \pm 346,0$  ml/min; KG:  $1369,6 \pm 326,1$  ml/min). Die Ergebnisse von Busch et al. (2012) lagen hingegen zu Rehabilitationsbeginn (IG:  $870,2 \pm 220,6$  ml/min; KG:  $867,6 \pm 239,5$  ml/min) deutlich niedriger. In der vorliegenden Untersuchung lagen die Werte beider Gruppen der  $> 70$ -Jährigen zu T3 (IG:  $905,6 \pm 258,8$  ml/min; KG:  $955,6 \pm 208,8$  ml/min) etwas über den Werten der Kohorte von Busch et al. (2012). Der marginale Unterschied könnte an dem höheren Durchschnittsalter der von Busch et al. (2012) untersuchten Population liegen. Die Ergebnisse der Peak  $VO_2$  Werte beider Studien zu AHB-Ende (Hansen et al. (2008):  $1579 \pm 495$  ml/min; Chludilova et al. (2007):  $1789 \pm 459,6$  ml/min) können nur bedingt zum Vergleich herangezogen werden, da der Interventionszeitraum von sieben bis zwölf Wochen die in Deutschland übliche AHB-Dauer von drei Wochen deutlich überschreitet. Es ist naheliegend, dass die Zunahme der

körperlichen Leistungsfähigkeit bei längerer Interventionsdauer mehr ansteigt. In allen Vergleichsstudien wurde, wie auch in der hier vorgelegten Untersuchung, durch die Rehabilitation eine signifikante Verbesserung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme erzielt (Busch et al. 2012; Hansen et al. 2008; Chludilova et al. 2007). Ein Vergleich der Peak  $VO_2$  Werte der > 70-Jährigen aus der vorliegenden Studie zeigte deutlich höhere Werte zu T4 (AHB-Ende) (IG:  $1154,4 \pm 282,1$  ml/min, KG:  $1181,7 \pm 297,1$  ml/min) als die bei der Population aus der Studie von Busch et al. (2012) (IG:  $1048,0 \pm 235,3$  ml/min, KG:  $996,1 \pm 280,9$  ml/min). Da keine signifikante Interaktion vorlag und auch kein Gruppenunterschied aufgezeigt werden konnte, ist weniger die präoperative Trainingsintervention für die besseren Werte als das höhere Durchschnittsalter bei der in der Studie von Busch et al. (2012) untersuchten Patientenkohorte ausschlaggebend. Trotz der guten Rehabilitationserfolge erreichten beide Gruppen der vorliegenden Studie zu Rehabilitationsende die Peak  $VO_2$  Werte nicht, welche präoperativ zu Studienbeginn erhoben wurden. Dies lässt vermuten, dass die Länge der AHB von drei Wochen nicht ausreichend war, um den präoperativen körperlichen Ausgangszustand nach aortokoronarer Bypass-Operation wiederherzustellen. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Rekonvaleszenz vor allem bei älteren Patienten eine längere Zeit in Anspruch nimmt.

#### 4.2.2.4 Relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

Bei KHK-Patienten besteht eine Assoziation zwischen der Höhe der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme und der Gesamtmortalität (Keteyian et al. 2008; Kavanagh et al. 2002). Diese wird zudem ermittelt, um die körperliche Leistungsfähigkeit zu beurteilen oder den Nutzen von Trainingsinterventionsstudien zu belegen. Aktuell gibt es keine prärehabilitative Interventionsstudie, welche im prä- und postoperativen Zeitraum die relative Peak  $VO_2$  bei Patienten vor und nach koronarer Bypass-Operation präsentiert. Um die zu T3 und T4 erhobenen Werte diskutieren zu können, werden wie in den vorhergehenden Abschnitten Vergleichsstudien aus der Phase-II-Rehabilitation herangezogen, die Patienten u.a. nach aortokoronarer Bypass-OP untersuchten (Spiroski et al. 2017; Uddin et al. 2016; Busch et al. 2012; Chludilova et al. 2007; Hambrecht et al. 2004). In der vorliegenden Untersuchung konnte keine signifikante Steigerung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme durch die präoperative Trainingsintervention in der IG zwischen T1 zu T2 festgestellt werden. Dies galt sowohl für die Auswertung des Gesamtgruppenvergleichs

als auch für die der altersspezifischen Auswertung. Operationsbedingt ließ sich eine signifikante Senkung der Werte (T1 zu T3,  $p < 0,001$ ; T2 zu T3,  $p < 0,001$ ) und zwischen T3 und T4 ( $p < 0,001$ ) eine rehabilitationsbedingt signifikante Steigerung beobachten. Zu Rehabilitationsende lagen die Ergebnisse signifikant unter den Werten, welche unmittelbar präoperativ erhoben wurden (T2 zu T4,  $p = 0,027$ ). Im Folgenden werden die Ergebnisse von T3 und T4 im wissenschaftlichen Kontext diskutiert. Uddin et al. (2016) belegen in einer Metaregressionsanalyse, dass die Teilnahme von KHK-Patienten an einer trainingsbasierten Rehabilitation zu einer mittleren Verbesserung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme von 3,43 ml/min/kg führt. Die Ergebnisse von Spiroski et al. (2017), Busch et al. (2012) und Chludilova et al. (2007) zeigen ebenfalls positive Entwicklungen der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme über den AHB-Zeitraum auf. Tabelle 102 stellt eine Übersicht an Ergebnissen von Trainingsinterventionsstudien dar, welche zu Veränderungen der relativen maximal erreichten Peak  $VO_2$  führten. Zudem werden Referenzwerte gesunder > 70-Jähriger zum Vergleich aufgezeigt.

**Tab. 102:** Darstellung von Studien, welche bei KHK-Patienten vor und nach Trainingsintervention eine durch Spiroergometrie ermittelte mittlere relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme präsentierten (IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; n: Stichprobengröße; ml/min/kg: Milliliter pro Minute und Kilogramm Körpergewicht; T1: Messung vor Aufnahme der Intervention; T2: Messung nach Abschluss der Intervention; p: Signifikanzniveau).

Autor/ Jahr	n	Alter [Jahren]	Interventions- dauer	T1 [ml/min/kg]	T2 [ml/min/kg]	Änderung [%]	p
Chludilova et al. 2007	9	64	12 Wochen	16,5 ± 3,3	20,3 ± 5,9	23	< 0,05
Busch et al. 2012	121	78,5	3 Wochen	IG: 10,5 ± 2,2 KG: 11,2 ± 2,7	IG: 13,2 ± 2,8 KG: 13,1 ± 3,2	25,7 17	< 0,001 < 0,001
Funk/Schneider 2012	43	> 70	keine Intervention Referenzwerte der Normalbevölkerung	27,4 ± 4,5			
Spiroski et al. 2017	54	57,7	3 Wochen	16,4 ± 3,8	17,9 ± 4,3	9,1	< 0,05
Steinmetz 2018 (vorliegende Daten)	203	67,1	3 Wochen	IG: 12,5 ± 4,1 KG: 12,3 ± 3,2	IG: 15,6 ± 4,8 KG: 15,2 ± 3,8	24,8 23,6	< 0,001 < 0,001

Alle Studien zeigen bei Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation eine signifikante Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit gemessen anhand der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme durch die jeweilige Trainingsintervention.

Eine längere Interventionsdauer führte zu höheren relativen Peak  $\text{VO}_2$  Werten. Ältere Kohorten wiesen deutlich niedrigere Ausgangswerte auf als jüngere, profitierten jedoch im vergleichbaren Maße von der Intervention. Die Ergebnisse der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme der vorliegenden Untersuchung liegen zwar über denen von Busch et al. (2012) allerdings deutlich unter den Referenzwerten gesunder > 70-Jährigen und denen der anderen Studien. Die prozentualen Entwicklungen zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten liegen bei Busch et al. (2012) und der hier aufgezeigten Studie in vergleichbaren Bereichen (17 bis 25,7%). Grund dafür, dass Spiroski et al. (2017) lediglich eine 9,1%ige Steigerung innerhalb von drei Wochen erzielen konnte, könnte an der jüngeren Patientenkohorte und dem damit einhergehenden postoperativen besseren Ausgangszustand liegen. Zu Rehabilitationsende lagen die Werte beider Gruppen der vorliegenden Untersuchung signifikant unterhalb denen, welche einen Tag präoperativ erhoben wurden (IG: T2:  $16,3 \pm 4,4$  ml/min/kg; T4:  $15,6 \pm 4,8$  ml/min/kg; KG: T2:  $16,3 \pm 4,0$  ml/min/kg, T4:  $15,2 \pm 3,8$  ml/min/kg). Werden die Ergebnisse von T4 in Relation zu denen aus der Untersuchung von Keteyian et al. (2008) gesetzt, so ist festzustellen, dass in beiden Gruppen die Patienten die relativen Peak  $\text{VO}_2$  Grenzwerte von 15 ml/min/kg gerade so erreichten. Eine relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme von < 15 ml/min/kg ist mit einem maximal vorliegenden Mortalitätsrisiko assoziiert. Werte über 19 ml/min/kg stehen mit einem reduzierten Mortalitätsrisiko in Verbindung (Keteyian et al. 2008). Das unterstreicht die Wichtigkeit der Phase-III-Rehabilitation, in welcher KHK-Patienten nach AHB-Abschluss zu regelmäßiger und lebenslanger Ausübung moderater Aktivität animiert werden sollen. Bei KHK-Patienten ist eine Zunahme der relativen Peak  $\text{VO}_2$  um 1 ml/min/kg mit einer bis zu 15-prozentigen Abnahme der Gesamtmortalität assoziiert (Keteyian et al. 2008). Durch die präoperative Trainingsintervention konnte kein signifikanter Effekt aufgezeigt werden, welcher sich auch postoperativ widerspiegelte. Nichtsdestoweniger scheint ein präoperatives Training vor allem bei älteren Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation empfehlenswert zu sein, denn im Vergleich zu den  $\leq 70$ -Jährigen zeigte sich unmittelbar nach OP in den Werten der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme kein signifikanter Altersgruppenunterschied. Beide Gruppen zeigten Werte zwischen 11,6 bis 12,9 ml/min/kg auf und lagen somit in vergleichbaren Bereich.

#### 4.2.2.5 Fazit der präoperativen Trainingsintervention auf die kardiopulmonale Kapazität

Tabelle 103 zeigt die Ergebnisse der Trainingsdokumentation des präoperativen Trainings. Hier wird u.a. deutlich, dass die errechnete maximale Trainingsintensität von 70% der  $VO_2\text{max}$  nicht von allen Patienten während der präoperativen Trainingsintervention erreicht wurde. Die Differenz zwischen  $\text{Watt}_{\text{soll}}$  und  $\text{Watt}_{\text{ist}}$  lag bei 17,8%. Demzufolge trainierte die IG im Mittel knapp 20% unterhalb der angestrebten Belastungsintensität. Gründe dafür waren unter anderem EKG-Auffälligkeiten, Angina Pectoris Beschwerden oder Dekonditionierung aufgrund von peripherer muskulärer Erschöpfung. Die angestrebte maximale Trainingsherzfrequenz wurde hingegen erreicht und sogar im Mittel minimal um 4,9% überschritten. Die Entwicklung der Herzfrequenz im Trainingsverlauf spiegelt einen Effekt auf das Herz-Kreislaufsystem wider. Zu T3 (unmittelbar postoperativ) unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant. Lediglich die > 70-Jährigen zeigten in beiden Gruppen signifikant niedrigere maximale Leistungen in Watt als die  $\leq$  70-Jährigen auf.

**Tab. 103:** Übersicht der erhobenen präoperativen Trainingsparameter der IG (IG: Interventionsgruppe; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; THF: Trainingsherzfrequenz; Min.: Minute; TE: Trainingseinheit; HF: Herzfrequenz; VES: Ventrikuläre Extrasystolen; VHF: Vorhofflimmern, AP: Angina Pectoris).

<b>Übersicht der erhobenen Trainingsparameter der IG im präoperativen Zeitraum (n = 84) (MW ± SD)</b>	
<b>Watt<sub>soll</sub></b>	74,1 ± 16,5 Watt
<b>THF<sub>soll</sub></b>	101,5 ± 13,5 Schläge/Min.
<b>Watt<sub>ist</sub></b>	62,9 ± 17,0 Watt
<b>THF<sub>ist</sub></b>	106,5 ± 14,2 Schläge/Min.
<b>Anzahl TE<sub>Gesamt</sub></b>	5,6 ± 0,7
<b>HF<sub>Ruhe</sub></b>	82,9 ± 12,0 Schläge/Min.
<b>HF<sub>Belastung</sub></b>	106,5 ± 14,2 Schläge/Min.
<b>HF<sub>Erholung</sub></b>	86,7 ± 13,6 Schläge/Min.
<b>Auftreten<sub>VES</sub></b>	17,9%
<b>Auftreten<sub>VHF</sub></b>	2,4%
<b>Auftreten<sub>AP</sub></b>	15,5%

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass ein präoperatives aerobes Ausdauertraining vor aortokoronarer Bypass-Operation durchführbar und sicher ist. Die präoperative Trainingsintervention zeigte keine signifikante Verbesserung im prä- als auch postoperativen Verlauf. Jedoch konnten Tendenzen der Mittelwerte in der IG vor allem bei den > 70-Jährigen aufgezeigt werden, die ein solches Training befürworten.

### 4.2.3 Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die funktionale Kapazität

#### 4.2.3.1 6-Minuten-Gehtest

Die funktionale Kapazität ist ein wichtiger prognostischer Faktor, um zukünftige kardiologische Ereignisse zu verhindern und Mortalität zu vermeiden (Sawatzky et al. 2014). In der vorliegenden Studie wurde der 6-Minuten-Gehtest (6MWT) durchgeführt, um Veränderungen der 6-Minuten-Gehstrecke (6MWD), hervorgerufen durch die präoperative Trainingsintervention, unmittelbar vor der OP als auch im postoperativen Verlauf aufzuzeigen. Einige wenige prärehabilitative Studien benutzten ebenfalls die 6MWD als diagnostische Methode. Analysen, welche nicht-kardiologische Populationen beinhalteten, wurden in der Diskussion aufgrund der Gruppenheterogenität und der damit einhergehenden Schwere der Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt (Chen et al. 2017; Gillis et al. 2014; Li et al. 2013; Carli et al. 2010; Hoogeboom et al. 2010). Aktuell gibt es nur zwei Studien, in denen eine Trainingsintervention vor aortokoronarer Bypass- oder Herzklappenoperation absolviert und die funktionale Kapazität anhand der 6MWD dokumentiert wurden (Waite et al. 2017; Sawatzky et al. 2014). Die Veränderungen der 6-Minuten-Gehstrecke werden in der vorliegenden Studie ergänzend mit Ergebnissen von Studien verglichen, die ältere Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation zu AHB-Beginn und -Ende mittels 6MWT untersuchten (Busch et al. 2012; Fiorina et al. 2007; Opasich et al. 2004). Im präoperativen Zeitraum entwickelten sich die 6-Minuten-Gehstrecke von T1 zu T2 in beiden Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ) und es konnte eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,003$ ) festgestellt werden. Das bedeutet, dass die IG durch die präoperative Trainingsintervention eine stärkere Zunahme der 6-Minuten-Gehstrecke aufzeigte (T1:  $443,0 \pm 80,1$  m, T2:  $493,5 \pm 75,5$  m;  $\Delta 50,5$ m) als die KG (T1:  $445,6 \pm 105,6$  m, T2:  $459,8 \pm 110,1$  m;  $\Delta 14,2$  m). Der MCID lag in der IG bei 50,5 m und in der KG bei 14,2 m. Somit lag die Entwicklung des MCID in der IG sogar in dem von Perera et al. (2006) beschriebenen klinisch bedeutsamen Bereich von 50 m. Zwischen T1 und T3 (T3: IG:  $378,3 \pm 109,5$  m; T3: KG:  $344,8 \pm 105,6$  m) wurde in der IG im Vergleich zur KG eine signifikant geringere operationsbedingte Abnahme der Gehstrecke beobachtet ( $p = 0,013$ ). Durch die Rehabilitation kam es in beiden Gruppen zu einer signifikanten Verlängerung



( $p < 0,001$ ) der 6MWD (MCID IG: 111,9 m; KG: 106,5 m). Zu AHB-Ende lagen die Werte beider Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ) über denen der Eingangsuntersuchung. In der IG wurde im Vergleich zur KG eine signifikant größere Verlängerung der 6MWD von T1 zu T4 beobachtet (MCID: IG: 47,2 m; KG: 5,7 m;  $p < 0,001$ ). Die altersspezifische Analyse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen auf. Die IG und KG der  $\leq 70$ -Jährigen wiesen zu T3 ( $p = 0,011$ ) und T4 ( $p = 0,009$ ) signifikant höhere Werte auf als die der  $> 70$ -Jährigen. Beide herangezogenen prä-rehabilitativen Vergleichsstudien zeigen ebenfalls eine signifikante Verlängerung der 6MWD durch die präoperative Trainingsintervention. Waite et al. (2017) fanden eine Verlängerung von 236,6 m auf 279,2 m (+42,6 m,  $p < 0,001$ ) und Sawatzky et al. (2014) eine von 342 m auf 474 m (+132 m,  $p < 0,05$ ). In beiden Studien lagen die Werte der 6MWD vor der präoperativen Intervention deutlich unter denen, die in der hier vorliegenden Studie gemessen wurden. Gründe hierfür könnten insbesondere bei Waite et al. (2017) das höhere Alter der Kohorte, aber auch das oftmals damit verbundene höhere Ausmaß an Komorbiditäten sein. Nicht zu vernachlässigen ist auch die Tatsache, dass es sich bei beiden Untersuchungen (Waite et al. 2017; Sawatzky et al. 2014) um Pilotstudien mit geringen Stichprobengrößen handelt, welche kaum aussagekräftige Daten über die untersuchte Population darstellen. Trotzdem liegen die Werte der IG bei Sawatzky et al. (2014) nach der prärehabilitativen Intervention im vergleichbaren Bereich wie in der hier aufgezeigten Untersuchung ( $474 \pm 101$  m vs.  $493,5 \pm 75,5$  m). Möglicherweise ist dieser Effekt auf die längere präoperative Trainingsintervention von mindestens vier Wochen zurückzuführen. Postoperativ lassen sich die 6-Minuten-Gehstrecken aus den beiden Vergleichsstudien nicht in den Kontext zu der hier vorliegenden Studie setzen, da Waite et al. (2017) keine postoperativen 6MWT durchführte und Sawatzky et al. (2014) erst nach drei Monaten eine erneute Messung absolvierten. Allerdings lagen die nach drei Monaten erzielten Werte in vergleichbaren Bereichen wie die, welche zu T4 in der IG der vorliegenden Arbeit erzielt wurden ( $487 \pm 106$  m vs.  $490,2 \pm 85,2$  m). Die Vergleichsstudien aus der Phase-II-Rehabilitation, welche Patienten nach kardiochirurgischer Operation untersuchten, zeigen zu AHB-Beginn deutlich niedrigere 6-Minuten-Gehstrecken als die hier erhobenen Werte (Busch et al. 2012; Fiorina et al. 2007; Opasich et al. 2004). Gründe hierfür könnten prärehabilitations-, alters- bzw. operationsbedingt sein, denn vor allem die Herzchirurgie hat sich in den letzten zehn Jahren weiterentwickelt. Der Fortschritt macht sich in kürzeren Operations-, Narkose- und Beatmungszeiten bemerkbar und

auch eine frühere Mobilisation der Patienten auf Intensivstation begünstigt die Entwicklung der funktionalen Kapazität. In der Kohorte bei Fiorina et al. (2007) wurde mit +130 m die größte Verlängerung der 6MWD durch die Rehabilitation erzielt. In der Untersuchung von Busch et al. (2012) wurde in der IG eine Verlängerung der 6MWD um 67 m und in der KG um 44,9 m beobachtet. Zusammenfassend belegen alle Studien den signifikanten Effekt der AHB auf die 6MWD bei Patienten nach kardiochirurgischen Eingriffen. Busch et al. (2012) konnten zeigen, dass ein spezielles additives Trainingsprogramm während der AHB für ältere Patienten der IG effektiver war, um die funktionale Kapazität innerhalb von drei Wochen zu verbessern im Vergleich zu einem AHB-Standardprogramm der KG (IG: T1: 298,3 ± 79,7 m, T2: 365,3 ± 82,1 m; KG: T1: 306,0 ± 77,5 m, T2: 350,9 ± 82,3 m;  $p = 0,037$ ). Die guten Effekte in der Untersuchung von Fiorina et al. (2007) könnten auf die schlechteren Ausgangssituationen der Patienten zu AHB-Beginn zurückzuführen sein. Womöglich profitierten ältere, nichttrainierte und/oder dekonditionierten Patienten stärker von der AHB als Patienten mit einer besseren Ausgangssituation (Chodzko-Zajko et al. 2009; Leon et al. 2005; Mazzeo et al. 1998). In der Studie von Beatty et al. (2012) wurde ein zweifach erhöhtes Risiko für Patienten mit einer 6MWD unter 419 m festgestellt, ein kardiales Ereignis zu erleiden, im Gegensatz zu denen, die 481 m zurücklegen. In Relation zu den Ergebnissen von Beatty et al. (2012) liegen die Werte der IG der vorliegenden Untersuchung zu Rehabilitationseende deutlich über den Referenzwerten von 481 m. Die KG erreichte den angestrebten Wert zu T4 nicht (IG: 490,2 ± 85,2 m; KG: 451,3 ± 106,4 m). Die > 70-Jährigen beider Gruppen blieben auch zu T4 unterhalb von 481 m (IG: 458,4 ± 93,2 m; KG: 438,8 ± 99,8 m). Anhand der Ergebnisse kann die Effektivität der zweiwöchigen präoperativen Trainingsintervention bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation auf die funktionale Kapazität (6MWT) bestätigt werden. Zu T2 ( $p = 0,007$ ) und T3 ( $p = 0,018$ ) lag sogar ein signifikanter Gruppenunterschied vor, was bedeutet, dass die IG zu beiden Zeitpunkten höhere Werte als die KG erreichte. Die Gruppen unterschieden sich zu T1 nicht, was zum einen den unmittelbar präoperativen (T2) und zum anderen den unmittelbar postoperativ (T3) nachhaltigen Effekt des Trainings bekräftigt. Eine kurze Trainingsintervention mit drei Trainingseinheiten pro Woche war ausreichend, um signifikante Steigerungen der 6-Minuten-Gehstrecke im prä- als auch postoperativen Verlauf zu erzielen. Vergleicht man die Ergebnisse von Busch et al. (2012) so scheinen die Kombination einer präoperativen Trainingsintervention und ein an ältere Patienten angepasstes AHB-Programm das Optimum der Versor-

gung von Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation abzubilden. Dadurch kann sowohl der präoperative körperliche Zustand verbessert, die operationsbedingten körperlichen Einbußen reduziert und in der AHB auf die Bedürfnisse der älteren Patienten gezielt eingegangen werden. Im Fokus sollte vor allem die Kräftigung der unteren Extremitäten liegen, welche durch eine Kombination aus Ausdauer- und Gleichgewichtsübungen zu ergänzen sind, um die Sturzneigung zu verhindern und die Selbstständigkeit zu erhalten.

#### 4.2.3.2 Timed up and go Test

International wird der Timed up and go Test (TUG-Test) verwendet, um die Patientenmobilität zu beurteilen (Shumway-Cook et al. 2000; Zampieri et al. 2010). Dieses Testverfahren wurde auch in der vorliegenden Studie angewandt, um die Auswirkungen eines präoperativen aeroben Ausdauertrainings auf die Mobilität bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation zu bestimmen. Es gibt zurzeit keine randomisierte kontrollierte Prärehabilitationsstudie, welche die gleiche Kohorte der hier beschriebenen Population untersucht und sowohl prä- als auch postoperativ TUG-Zeiten ermittelt hat. Lediglich zwei Pilotstudien nutzten den TUG-Test, um den Effekt einer prärehabilitativen Intervention bei älteren Patienten vor und nach Hüft-TEP-Ersatz bzw. abdominaler Krebsoperation zu bestimmen (Hoogeboom et al. 2010; Dronkers et al. 2010). Für die postoperative Einschätzung der TUG-Zeiten wird sowohl die Studie von Busch et al. (2012) als auch Referenzwerte älterer gesunder Probanden herangezogen. In der vorliegenden Studie wurde ein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,001$ ) als auch eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe festgestellt ( $p = 0,018$ ). Alle TUG-Zeiten der IG lagen zwischen T2 bis T4 signifikant unter denen der KG. Im präoperativen Verlauf entwickelten sich die TUG-Zeiten von T1 zu T2 in beiden Gruppen signifikant. Durch die präoperative Trainingsintervention kam es jedoch in der IG (T1:  $6,9 \pm 2,0$  s, T2:  $6,1 \pm 1,8$  s,  $p < 0,001$ ,  $\Delta 0,8$  s) zu einer stärkeren Abnahme der TUG-Zeiten als in der KG (T1:  $7,4 \pm 2,4$  s, T2:  $7,3 \pm 2,5$  s;  $p < 0,001$ ,  $\Delta 0,1$  s). Zwischen T1 und T3 (IG:  $+1,4$  s; KG:  $+2,6$  s) wurde in der IG im Vergleich zur KG eine signifikant ( $p = 0,003$ ) geringere operationsbedingte Zunahme der TUG-Zeiten beobachtet. Der präoperative Trainingseffekt lässt sich somit nicht nur zu T2 mittels TUG-Test aufzeigen, sondern auch postoperativ zu T3 feststellen. Die altersspezifische Analyse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Alters-

gruppen ( $p < 0,001$ ). Sowohl in der IG als auch in der KG wurde bei den  $\leq 70$ -Jährigen über alle Untersuchungszeitpunkte hinweg signifikant kürzere TUG-Zeiten als bei den  $> 70$ -Jährigen beider Gruppen aufgezeigt. Diese Resultate bestätigen die Ergebnisse der Metaanalyse von Bohannon (2006), der für  $> 80$ -Jährige deutlich höhere mittlere TUG-Referenzzeiten (11,3 s) bestimmte als für 70 bis 79-Jährige (9,2 s). Dronkers et al. (2010) und Hoogeboom et al. (2010) fanden keine signifikanten Abnahmen der TUG-Zeiten im präoperativen Zeitraum (Dronkers et al.: IG: -0,2 s vs. KG: +0,2 s; Hoogeboom et al.: IG: -1,7 s vs. KG: +2,5 s). Postoperative Werte wurden von beiden Studien nicht veröffentlicht. Es wurde jedoch erwähnt, dass hier keine signifikanten Veränderungen erzielt wurden. Möglicherweise konnten keine präoperativen Effekte erzielt werden, da die Stichprobengröße von  $n = 21$  Patienten (76 Jahre) bei Hoogeboom et al. (2010) und  $n = 42$  ( $> 60$  Jahre) bei Dronkers et al. (2010) zu gering war. In der vorliegenden Studie konnte in der IG von T1 zu T2 eine signifikant ( $p < 0,001$ ) stärkere Verkürzung der mittleren TUG-Zeiten um 0,8 s festgestellt werden als in der KG. Die deutliche Verkürzung der IGs von Hoogeboom et al. (2010) und Dronkers et al. (2010) ist möglicherweise auf die längere präoperative Trainingsintervention von zwei bis sechs Wochen bzw. auf das kombinierte Kraft- und Ausdauertraining zurückzuführen. Ansonsten lagen die TUG-Zeiten zwischen T1 (IG:  $6,9 \pm 2,0$  s; KG:  $7,4 \pm 2,4$  s) und T2 (IG:  $6,1 \pm 1,8$  s; KG:  $7,3 \pm 2,5$  s) im vergleichbaren Bereich wie bei Dronkers et al. (2010) (T1: IG  $8,0 \pm 3,6$  s, T2:  $7,8 \pm 3,3$  s; KG: T1:  $6,4 \pm 1,3$  s, T2:  $6,6 \pm 1,2$  s) allerdings deutlich unter denen aus der Studie von Hoogeboom et al. (2010) (T1: IG  $11,3 \pm 4,7$  s, T2:  $9,6 \pm 2,8$  s; KG: T1:  $10,9 \pm 4,5$  s, T2:  $13,4 \pm 11,5$  s). Hoogeboom et al. (2010) untersuchten eine weitaus ältere Kohorte als die in der vorliegenden Untersuchung bzw. der Studie von Dronkers et al. (2010), was mit steigenden TUG-Zeiten einherging. Durch die Rehabilitation können TUG-Zeiten positiv beeinflusst werden. Dies zeigen sowohl die Ergebnisse von Busch et al. (2012) als auch die in der hier aufgezeigten Studie. In der Untersuchung von Busch et al. (2012) konnte durch die AHB eine Steigerung der IG um 25% und in der KG um 10,5% erreicht werden. Allerdings wurde keine Gruppeninteraktion festgestellt, so dass die zusätzliche Trainingsintervention während des AHB-Verlaufs keinen additiven Effekt auf die TUG-Zeiten aufdeckte. Auch in der hier beschriebenen Studie konnten in beiden Gruppen eine Verbesserung in der IG von 22,9% und der KG von 25% erzielt werden. Die KG wies zu T3 (IG:  $8,3 \pm 2,6$  s; KG:  $10,0 \pm 4,0$  s) deutlich längere TUG-Zeiten auf als die IG, weshalb möglicherweise eine deutlichere Verbesserung durch die AHB entstand. Die

TUG-Zeiten der IG zwischen T3 ( $8,3 \pm 2,6$  s) und T4 ( $6,4 \pm 2,1$  s) lagen in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu denen der Kohorte von Busch et al. (2012) deutlich darunter (T3:  $10,5 \pm 3,1$  s, T4:  $8,4 \pm 1,9$  s). Hingegen lagen beide KGs zu T3 ( $10,5 \pm 3,2$  s vs.  $10,0 \pm 4,0$  s) in vergleichbaren Bereichen. Auch die Veränderung der TUG-Zeiten der IGs über den Rehabilitationszeitraum sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Busch et al. (2012) ( $2,1$  s vs.  $1,9$  s). Zu Rehabilitationsende lagen die TUG-Zeiten beider Gruppen (IG:  $6,4 \pm 2,1$  s; KG:  $7,5 \pm 2,4$  s) der vorliegenden Untersuchung deutlich unterhalb der Referenzwerte ( $9,2$  s) aus der Metaanalyse von Bohannon (2006) und der Erhebung ( $10,7$  s) von Fuchs et al. (2013). In beiden Gruppen lagen die gemessenen Werte der TUG-Zeiten unterhalb denen aus der Untersuchung von Gunter et al. (2000). Diese belegten, dass TUG-Zeiten von unter  $7,5$  s mit einem signifikant geringeren Sturzrisiko bei Patienten einhergehen, als Zeiten von  $8,9$  s. Festzuhalten bleibt, dass durch das zweiwöchige präoperative Training der TUG-Test einen signifikanten Effekt aufzeigte, welcher auch postoperativ zu AHB-Beginn Bestand hatte.

#### **4.2.4 Einfluss der präoperativen Trainingsintervention auf die verschiedenen Fragebögen**

##### **4.2.4.1 Lebensqualität (MacNew-Fragebogen)**

Ziel der präoperativen Trainingsintervention der vorliegenden Studie war nicht nur die Verbesserung der funktionalen und kardiopulmonalen Funktionen, sondern auch die Erhöhung der Lebensqualität während der Wartezeit als auch im postoperativen Verlauf. Belegt ist, dass vor allem ängstliche und depressive Patienten vor herzchirurgischen Operationen postoperative Komplikationen erleiden (Székely et al. 2007). Pfaffenberger et al. (2010) konnten feststellen, dass je höher die Angst- und Depressionswerte gemessen mit dem HADS-D-Fragebogen lagen, desto stärker war die Reduktion der Lebensqualität. Vor allem präoperativ ermittelte hohe Angstwerte korrelierten signifikant mit einer eingeschränkten Lebensqualität von bis zu drei Monaten postoperativ (Pfaffenberger et al. 2010). Das unterstreicht die Wichtigkeit, Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation physisch als auch psychisch auf das bevorstehende Ereignis vorzubereiten. Die aktuelle Studienlage weist keine Prärehabilitationsstudien auf, welche anhand des MacNew-Fragebogens die Entwicklung der Lebensqualität im prä- als auch postoperativen Zeitraum untersuchten. In den prärehabilitativen Interventionsstudien von Arthur et al. (2000) und Rosenfeldt et al. (2011) wurde die Auswirkung einer Trainingsintervention auf die Lebensqualität unmittelbar vor kardiochirurgischer Operation mit dem SF-36 erhoben. Obwohl Arthur et al. (2000) im präoperativen Zeitraum eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität in der IG aufzeigten, eignen sich beide Studien nicht zum Vergleich mit den hier vorliegenden Studienergebnissen, da ein anderer Fragebogen eingesetzt wurde. Die erhobenen Ergebnisse werden mit Hilfe der Studien von Busch et al. (2012), Pfaffenberger et al. (2010) und Dixon et al. (2002) diskutiert. Busch et al. (2012) und Pfaffenberger et al. (2010) untersuchten eine vergleichbare Kohorte wie in der hier aufgezeigten Studie. Pfaffenberger et al. (2010) ermittelten die Lebensqualität zwei bis vier Tage präoperativ (n = 54; 64,8 Jahre), nach vier Wochen und drei Monaten postoperativ. Busch et al. (2012) haben den MacNew-Fragebogen zu AHB-Beginn, AHB-Ende und nach drei Monaten der Rehabilitation eingesetzt. Dixon et al. (2002) liefern altersspezifische Referenzwerte für Patienten vier Monate nach Myokardinfarkt und einen MCID von 0,5

Punkten. In der hier vorgelegten Studie konnte in allen Rollenfunktionen „global“, „emotional“, „sozial“ und „körperlich“ eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p < 0,001$ ) zu T1 und T2 festgestellt werden. Die präoperative Trainingsintervention führte in der IG zu einer signifikanten Zunahme der MacNew-Scores aller Domänen ( $p \leq 0,001$ ) bei unveränderten Werten in der KG. Im postoperativen Verlauf entwickelten sich beide Gruppen vergleichbar. Operationsbedingt kam es zu einer signifikanten Reduktion der Werte (T1 zu T3,  $p < 0,001$ ; T2 zu T3,  $p < 0,001$ ) und von T3 zu T4 ( $p < 0,001$ ) durch die Rehabilitation zu einer signifikanten Verbesserung. Wie in der vorliegenden Studie konnte auch Busch et al. (2012) eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität beider Gruppen in allen Domänen des MacNew-Fragebogens durch die Rehabilitation belegen ( $p < 0,001$ ). Tabelle 104 zeigt die mittleren Werte aller MacNew-Domänen und Studien, die den MacNew-Fragebogen bei ähnlichen Kohorten einsetzten. Dick unterlegt sind die exakten prozentualen Steigerungen durch die Rehabilitation der hier erhobenen Werte im Vergleich mit denen aus der Arbeit von Busch et al. (2012). Die ältere Kohorte aus der Untersuchung von Busch et al. (2012) zeigte durch die AHB prozentual größere Veränderungen in beiden Gruppen. In der hier aufgezeigten Studie wurden in beiden Gruppen die Referenzwerte (MCID von 0,5 Punkten) von Dixon et al. (2002) durch die Rehabilitation (T3 zu T4) erzielt. Durch die präoperative Trainingsintervention konnte der MCID nicht erreicht werden. Er lag in der IG bei 0,3 - 0,4 Punkten. Weiterhin lagen zu AHB-Ende die Werte der vorliegenden Studie in beiden Gruppen marginal über den mittleren Referenzwerten für Patienten nach Myokardinfarkt (65 - 74 Jahre), welche vier Monate nach dem Ereignis erhoben wurden. Grund für die besseren Entwicklungen in der Arbeit von Busch et al. (2012) könnte das höhere Alter der Population sein, denn auch in der hier vorliegenden Studie zeigte die altersspezifische Analyse eine Tendenz von niedrigeren Scores der  $\leq 70$ -Jährigen zu T3 im Vergleich zu den  $> 70$ -Jährigen. Auch wenn kein signifikanter Altersgruppenunterschied festgestellt wurde, zeigten die Mittelwerte der Scores zu T4 bei den Jüngeren vergleichbare bzw. tendenziell bessere Werte auf als bei den Älteren. Vergleicht man die Werte von Pfaffenberger et al. (2010) mit denen von Busch et al. (2012) und der hier erläuterten Studie, so fällt auf, dass die mittleren Scores deutlich unter denen der beiden anderen Studien liegen. Es scheint naheliegend zu sein, dass sowohl die präoperative Betreuung als auch die AHB deutliche Auswirkungen auf die Lebensqualität zeigen. Der MCID beider Studien war in beiden Gruppen zu AHB-Ende im Vergleich zu den Ergebnissen von Pfaffenberger et al.

(2010) in allen Domänen zwischen 0,4 bis 1,4 Punkten besser. Das bedeutet zusammenfassend, dass eine zweiwöchige prärehabilitative Trainingsintervention mittels aeroben Ausdauertraining vor aortokoronarer Bypass-Operation ausreichend ist, um signifikant die Lebensqualität unmittelbar präoperativ zu steigern. Postoperativ entwickelten sich beide Gruppen aufgrund der Schwere der Operation hinsichtlich der Lebensqualität analog, so dass der im Vorfeld erzielte Effekt keinen weiteren Bestand hatte.



**Tab. 104:** Übersicht an Studien, welche den MacNew-Fragebogen zur Beurteilung der Lebensqualität bei KHK-Patienten im Zustand nach Myokardinfarkt oder aortokoronarer Bypass-Operation benutzten (T-1: Zwei Wochen präoperativ; T0: 1-4Tage präoperativ; T1: AHB-Beginn; T2: AHB-Ende; T3: Nach 3 Monaten; T3: Nach 3 Monaten; MI: Myokardinfarkt; CABG: Coronary Artery Bypass Grafting; G.: Global; P.: Physical; E.: Emotional; S.: Social).

Autor/ Jahr	n	Alter [Jahre]	Indika- tion	Interventions- dauer	T-1	T0	T1	T2	T3	Änderung [%]	p
Dixon et al. 2002	77	65-74	MI	keine			G.: 5,0 ± 0,9 P.: 4,8 ± 1,0 E.: 5,2 ± 1,0 S.: 5,0 ± 1,0	G.: 5,0 ± 1,1 P.: 4,8 ± 1,2 E.: 5,2 ± 1,2 S.: 4,9 ± 1,2	G.: 5,3 ± 1,2 P.: 5,1 ± 1,3 E.: 5,4 ± 1,2 S.: 5,4 ± 1,4	keine	Nicht ermittelt, da es sich um altersspezifische Referenzwerte handelt!
Pfaffenberger et al. 2010	54	64,8	CABG	keine		G.: 5,0 ± 0,9 P.: 4,8 ± 1,0 E.: 5,2 ± 1,0 S.: 5,0 ± 1,0	G.: 5,0 ± 1,1 P.: 4,8 ± 1,2 E.: 5,2 ± 1,2 S.: 4,9 ± 1,2	G.: 5,5 ± 1,1 P.: 5,4 ± 1,2 E.: 5,5 ± 1,2 S.: 5,5 ± 1,3	0; 10% 0; 12,5% 0; 5,8% 2%; 12,2%	$p_{T2:T3} = 0,005$ ; $p_{T3:T0} = 0,005$ $p_{T2:T3} = 0,003$ ; $p_{T3:T0} = 0,001$ $p_{T2:T3} = 0,100$ ; $p_{T3:T0} = 0,022$ $p_{T2:T3} = 0,005$ ; $p_{T3:T0} = 0,026$	
Busch et al. 2012	121	78,5	CABG	3 Wochen		G.: 5,0 ± 1,0 G <sub>KG</sub> : 5,1 ± 1,1 P <sub>IG</sub> : 4,7 ± 1,1 P <sub>KG</sub> : 4,8 ± 1,2 E <sub>IG</sub> : 5,1 ± 1,0 E <sub>KG</sub> : 5,2 ± 1,2 S <sub>IG</sub> : 5,2 ± 1,1 S <sub>KG</sub> : 5,2 ± 1,2	G <sub>IG</sub> : 6,1 ± 0,7 G <sub>KG</sub> : 6,0 ± 0,7 P <sub>IG</sub> : 6,0 ± 0,9 P <sub>KG</sub> : 5,9 ± 0,8 E <sub>IG</sub> : 6,1 ± 0,7 E <sub>KG</sub> : 6,0 ± 0,8 S <sub>IG</sub> : 6,3 ± 0,7 S <sub>KG</sub> : 6,2 ± 0,8	G <sub>IG</sub> : 5,5 ± 1,0 G <sub>KG</sub> : 5,6 ± 1,0 P <sub>IG</sub> : 5,4 ± 1,1 P <sub>KG</sub> : 5,6 ± 1,0 E <sub>IG</sub> : 5,5 ± 1,2 E <sub>KG</sub> : 5,6 ± 1,1 S <sub>IG</sub> : 5,6 ± 1,1 S <sub>KG</sub> : 5,7 ± 1,1	22%; 9,8% 17,6%; 6,7% 27,7%; 10% 22,9%; 5,1% 19,6%; 9,8% 15,4%; 6,7% 21,2%; 11,1% 19,2%; 8,1%	$p < 0,001$	
Steinmetz 2018 (vorliegende Daten)	203	67,1	CABG	2 Wochen Prehab	G <sub>IG</sub> : 5,2 ± 0,9 G <sub>KG</sub> : 5,3 ± 1,0 P <sub>IG</sub> : 5,1 ± 1,0 P <sub>KG</sub> : 5,3 ± 1,1 E <sub>IG</sub> : 5,3 ± 1,0 E <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,1 S <sub>IG</sub> : 5,3 ± 0,9 S <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,1	G <sub>IG</sub> : 5,5 ± 0,8 G <sub>KG</sub> : 5,3 ± 1,1 P <sub>IG</sub> : 5,5 ± 0,9 P <sub>KG</sub> : 5,3 ± 1,2 E <sub>IG</sub> : 5,6 ± 0,9 E <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,1 S <sub>IG</sub> : 5,6 ± 0,9 S <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,2	G <sub>IG</sub> : 4,8 ± 1,1 G <sub>KG</sub> : 4,7 ± 1,2 P <sub>IG</sub> : 4,5 ± 1,2 P <sub>KG</sub> : 4,5 ± 1,3 E <sub>IG</sub> : 5,1 ± 1,1 E <sub>KG</sub> : 5,0 ± 1,2 S <sub>IG</sub> : 4,7 ± 1,2 S <sub>KG</sub> : 4,7 ± 1,3	G <sub>IG</sub> : 5,4 ± 1,1 G <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,0 P <sub>IG</sub> : 5,3 ± 1,1 P <sub>KG</sub> : 5,2 ± 1,2 E <sub>IG</sub> : 5,6 ± 1,2 E <sub>KG</sub> : 5,6 ± 1,1 S <sub>IG</sub> : 5,5 ± 1,1 S <sub>KG</sub> : 5,4 ± 1,1	5,8%; 12,7%; 12,5% 0; 11,3%; 14,9% 7,8%; 18,2%; 17,8% 0; 15,1%; 15,6% 5,7%; 8,9%; 9,8% 0; 7,4%; 12% 5,7%; 16,1%; 17,0% 0; 13,0%; 14,9%	$p < 0,001$	

#### 4.2.4.2 Angst und Depression (HADS-Fragebogen)

Studien belegen, dass ca. 20 bis 50% der Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation in den letzten Tagen der Wartezeit eine signifikante Zunahme an Angst vorweisen (Krannich et al. 2007; Rymaszewska et al. 2003; Koivula et al. 2002). Aktuell existieren ein paar wenige Prärehabilitationsstudien, die den HADS-D-Fragebogen als Messinstrument einsetzten. In Studien, die nicht-kardiologische Kohorten untersuchten, fanden Gillis et al. (2014) und Li et al. (2013) keine signifikanten Reduktionen der Angst- und Depressionswerte. Carli et al. (2010) zeigten eine signifikante präoperative Abnahme der Depressionswerte in der IG (0,8,  $p = 0,045$ ) und eine Reduktion der Angst- als auch Depressionswerte im postoperativen Zeitraum beider Gruppen (IG: 1,8,  $p = 0,007$ ; KG: 2,0,  $p < 0,001$ ). Lediglich Arthur et al. (2000) verwandten den HADS-D-Fragebogen bei der gleichen Population, wie der hier aufgezeigten. Sie konnten jedoch keine Auswirkungen der präoperativen Trainingsintervention auf die HADS-Summenskalen für Angst und Depression aufzeigen (Lemanu et al. 2013; Arthur et al. 2000). In allen drei Publikationen wurden die exakten mittleren HADS-Summenskalenwerte nicht veröffentlicht. Nur bei Carli et al. (2010) wurde die mittlere Reduktion der Summenskala angegeben. Für die Diskussion der vorliegenden Ergebnisse werden die Untersuchungen von Busch et al. (2012), Pfaffenberger (2010) und Krannich et al. (2007) herangezogen. Alle drei Analysen haben in ihren Arbeiten den HADS-D-Fragebogen eingesetzt, um bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation die Angst- und Depressionswerte zu verschiedenen Zeitpunkten abzubilden (vgl. Tab. 105). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen keine signifikante Interaktion hinsichtlich der HADS-Summenskala für Angst und Depression auf. Dementsprechend konnte durch die präoperative Intervention keine Abnahme der Angst- und Depressionswerte erzielt werden. Während der Rehabilitation verbesserten sich beide Gruppen signifikant in beiden HADS-Skalen ( $p < 0,001$ ). Zu Rehabilitationsende lagen beide Gruppen mit den HADS-Summenskalen für Angst signifikant unter den Werten, welche im präoperativen Zeitraum erhoben wurden ( $p < 0,001$ ). Die altersspezifische Analyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen bei der HADS-Summenskala für Angst ( $p = 0,044$ ). Beide Gruppen zeigten bei den > 70-Jährigen geringere Summenskalen für Angst zwischen T1 und T3 auf als bei den  $\leq 70$ -Jährigen. Zwischen T3 zu T4 entwickelten sich beide

Gruppen der jüngeren Patienten signifikant ( $p = 0,004$ ) besser, so dass zu T4 kein Altersgruppenunterschied mehr bestand. Die Verteilung der einzelnen Kategorien für Angst und Depression der Gesamtgruppenauswertung zeigte keine signifikanten Gruppenunterschiede auf. Beide Gruppen entwickelten sich zwischen T1 und T4 vergleichbar. Durch die Rehabilitation konnte in beiden Gruppen ein Zuwachs der prozentualen Werte im „unauffälligen“ Bereich erzielt werden. Bei der altersspezifischen Analyse kam es zu T1 bei der Verteilung der einzelnen Kategorien für Angst zu einem signifikanten ( $p = 0,023$ ) Unterschied. Die > 70-Jährigen beider Gruppen zeigten deutlich höhere prozentuale Werte im „unauffälligen“ Bereich als die  $\leq 70$ -Jährigen. Innerhalb der Altersgruppen war eine vergleichbare Entwicklung zu beobachten. Tabelle 105 zeigt einen Überblick ausgewählter Studien, welche den HADS-D-Fragebogen zur Bestimmung der Angst- und Depressionswerte bei Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation einsetzten. Der Vergleich der präoperativ erhobenen Daten aus der vorliegenden Studie mit den Referenzwerten aus der Untersuchung von Pfaffenberger et al. (2010) zeigt, dass die Angstwerte unmittelbar präoperativ in der IG deutlich niedriger sind ( $5,6 \pm 3,6$  vs.  $4,9 \pm 3,5$ ). Die KG hingegen lag im vergleichbaren Bereich von  $5,4 \pm 3,7$  Punkten. Möglicherweise spricht diese Tendenz und Zunahme von 0,5 Punkten für den Effekt der präoperativen Trainingsintervention. Die Depressionswerte lagen in der hier aufgezeigten Studie in beiden Gruppen deutlich unter den Werten (DIG:  $3,5 \pm 3,0$ , DKG:  $3,4 \pm 3,3$  vs. D:  $4,6 \pm 3,6$ ) von Pfaffenberger et al. (2010) und veränderten sich präoperativ so gut wie kaum. Zu Rehabilitationsbeginn lagen die Angst- als auch Depressionswerte, die in der Studie von Krannich et al. (2007) erhoben wurden, deutlich über denen aus der Untersuchung von Busch et al. (2012) und der hier vorliegenden Arbeit. Busch et al. (2012) erklärte dies mit dem höheren Alter seiner Kohorte. Auch Krannich et al. (2007) belegte eine Korrelation zwischen steigendem Alter und niedrigen Angst- bzw. Depressionswerten. Diese Entwicklung bestätigen die Ergebnisse der altersspezifischen Analysen der hier aufgezeigten Studie. Zudem könnten in der vorliegenden Arbeit die niedrigeren Angst- und Depressionswerte der IG tendenziell einen Effekt der präoperativen Trainingsintervention vermuten lassen, auch wenn keine signifikante Interaktion aufgezeigt werden konnte. Die KG liegt mit beiden Werten um 0,5 bis 0,6 Punkte über den Werten der IG. Zu AHB-Ende waren die Ergebnisse von Busch et al. (2012) niedriger als bei Pfaffenberger et al. (2010) und der hier vorliegenden Studie, was wohl auf das höhere Alter der Population von Busch et al. (2012) zurückzuführen ist. Sowohl die Ergebnisse von Busch et al. (2012) als

auch die hier aufgezeigten Ergebnisse bestätigen eine signifikante Reduktion der Angst- und Depressionswerte im Rehabilitationsverlauf ( $p \leq 0,001$ ). Drei Monate nach Rehabilitationsende lagen in den Untersuchungen von Busch et al. (2012) und Pfaffenberger et al. (2010) die Werte für Angst (3,5 - 4,0 Punkte) und für Depression (3,5 - 3,9 Punkte) in vergleichbaren Bereichen. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ein zweiwöchiges reines aerobes Ausdauertraining nicht ausreicht, um die Angst- und Depressionswerte signifikant zu beeinflussen. Möglicherweise lassen sich signifikante Verbesserungen der Angst- und Depressionswerte prä- und postoperativ durch eine prärehabilitative Kombination aus psychotherapeutischen Einheiten, Entspannungsverfahren und aerobem Ausdauertraining erzielen. Trotz alledem liefert die vorliegende Interventionsstudie erstmals eine Übersicht von engmaschig erhobenen Angst- und Depressionswerten vor und nach Prä- als auch Rehabilitation von Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation.

**Tab. 105:** Übersicht an Studien, welche den HADS-D-Fragebogen zur Beurteilung der Angst- und Depressionswerte bei Patienten im Zustand vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation einsetzen (T-1: Zwei Wochen präoperativ; T0: 1-4Tage präoperativ; T1: AHB-Beginn; T2: AHB-Ende; T3: Nach 3 Monaten; CABG: Coronary Artery Bypass Grafting; A: Mittlere Summenskala für Angst; D: Mittlere Summenskala für Depression; IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe; \*: Abnahme; n.s.: nicht signifikant)

Autor/ Jahr	n	Alter [Jahre]	Indika- tion	Interventions- dauer	T-1	T0	T1	T2	T3	Änderung [Punkte]	p
Krannich et al. 2007	16	73-78	CABG	keine	A: 5,3 ± 3,5 D: 5,8 ± 2,5	A: 5,4 ± 4,1 D: 5,4 ± 4,8				nicht erhoben	Nicht ermittelt, da es sich um Referenzwerte älterer Patienten handelt!
Pfaffenberger et al. 2010	54	64,8	CABG	keine	A: 5,6 ± 3,6 D: 4,6 ± 3,6	A: 4,4 ± 3,9 D: 4,7 ± 3,3	A: 4,0 ± 3,9 D: 3,9 ± 3,6			1,2*; 0,4* 0,1; 0,8*	$P_{T0:T2} = 0,049$ ; $P_{T3:T0} = 0,004$ n.s.
Busch et al. 2012	121	78,5	CABG	3 Wochen		A <sub>IG</sub> : 3,9 ± 3,5 D <sub>IG</sub> : 4,1 ± 3,1 A <sub>KG</sub> : 3,4 ± 3,6 D <sub>KG</sub> : 3,3 ± 3,7	A <sub>IG</sub> : 2,3 ± 2,7 D <sub>IG</sub> : 2,0 ± 2,1 A <sub>KG</sub> : 2,1 ± 2,5 D <sub>KG</sub> : 2,1 ± 2,7	A <sub>IG</sub> : 3,5 ± 3,6 D <sub>IG</sub> : 3,9 ± 3,7 A <sub>KG</sub> : 3,7 ± 3,4 D <sub>KG</sub> : 3,5 ± 3,8		1,6*; 1,2 2,1*; 1,9 1,3*; 1,6 1,2*; 1,4	$p \leq 0,001$
Steinmetz 2018 (vorliegende Daten)	203	67,1	CABG	2 Wochen Prehab	A <sub>IG</sub> : 5,4 ± 3,4 D <sub>IG</sub> : 3,7 ± 3,0 A <sub>KG</sub> : 5,4 ± 3,6 D <sub>KG</sub> : 3,3 ± 3,1	A <sub>IG</sub> : 4,9 ± 3,5 D <sub>IG</sub> : 3,5 ± 3,0 A <sub>KG</sub> : 5,4 ± 3,7 D <sub>KG</sub> : 3,4 ± 3,3	A <sub>IG</sub> : 4,5 ± 3,7 D <sub>IG</sub> : 3,7 ± 3,2 A <sub>KG</sub> : 5,0 ± 3,8 D <sub>KG</sub> : 4,3 ± 4,0	A <sub>IG</sub> : 3,3 ± 3,3 D <sub>IG</sub> : 3,2 ± 2,9 A <sub>KG</sub> : 3,6 ± 3,1 D <sub>KG</sub> : 3,0 ± 3,0		0,5*; 0,4*; 1,2* 0,2*; 0,2; 0,5* 0; 0,4*; 1,4* 0,1; 0,9; 1,3*	$p \leq 0,001$

#### 4.2.4.3 ICF-Kategorien Mobilität und Selbstversorgung (MOSES-Fragebogen)

Mit Hilfe des MOSES-Fragebogens wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht, ob eine präoperative Trainingsintervention vor aortokoronarer Bypass-Operation einen nachhaltigen Effekt zu Rehabilitationsbeginn und -ende in den Domänen Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben aufzeigt. Die aktuelle Studienlage liefert keine prärehabilitativen Vergleichsstudien, die den MOSES-Fragebogen als Assessment-Methode einsetzen. Um die Ergebnisse diskutieren zu können, wird die Arbeit von Busch et al. (2012) herangezogen. Der MOSES-Fragebogen wurde in dieser Studie eingesetzt, um einen möglichen Effekt durch ein zusätzliches Kraft- und Gleichgewichtstraining bei älteren Patienten im Zustand nach aortokoronarer Bypass-Operation zu AHB-Beginn und -Ende aufzudecken. In der hier vorliegenden Untersuchung verbesserten sich durch die Rehabilitation die Werte aller Items beider Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ). Bis auf die Items „Tragen“, „Gehen ohne Hilfe“, „WohnKauf“ und „Haushalt“ lagen alle Scores unter 2,5. Das bedeutet, dass in allen anderen Bereichen keine nachhaltigen Beeinträchtigungen durch die Operation entstanden. Die Ergebnisse von Busch et al. (2012) bestätigen diese Befunde. Sie konnten bei sieben von zwölf Items signifikante Verbesserungen der Werte in beiden Gruppen durch die AHB feststellen ( $p < 0,01$ ). Bei den fünf nicht signifikanten Items lagen die Werte zu AHB-Beginn bereits in niedrigen und unauffälligen Bereichen, so dass durch die Rehabilitation kein Effekt erzielt wurde. Die postoperativen Einschränkungen der untersuchten Kohorte lagen ebenfalls in den Items „Tragen“, „Gehen ohne Hilfe“ und „WohnKauf“. Die Werte der Kategorie „Haushalt“ lagen bei Busch et al. (2012) zu Rehabilitationsbeginn unter (Busch et al.: IG:  $1,8 \pm 1,1$ ; KG:  $1,9 \pm 1,1$ ) denen der vorliegenden Studie (IG:  $2,8 \pm 1,3$ ; KG:  $2,8 \pm 1,3$ ). Möglicherweise liegt dies an der Tatsache, dass in der hier aufgezeigten Untersuchung die Fragebögen zu T3 zum Teil aus organisatorischen Gründen bereits während des Krankenhausaufenthaltes verteilt wurden und nicht wie bei Busch et al. (2012) zu AHB-Beginn. Schwerpunkt der stationären Patienten ist in der ersten postoperativen Woche die Mobilisation auf Stations-ebene und das Erlangen der Selbstständigkeit bei den täglichen Notwendigkeiten. Für viele stellt das vor allem bedingt durch die Folgen der Narkose bereits eine enorme körperliche Belastung dar. Es ist naheliegend, dass diese Patienten die Bewältigung des Haushalts als herausfordernder einschätzten als diejenigen, welche bereits

wenige Tage vor AHB-Beginn Zeit zu Hause verbrachten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe bei dem Item „Untere Extremität“ auf ( $p = 0,034$ ). Zusätzliche Analysen belegten eine signifikant stärkere Entwicklung in der KG als in der IG. Grund dafür könnten die höheren Scores zu AHB-Beginn der KG sein. Bei der IG wurde zu Rehabilitationsbeginn ein um 0,3 Punkte geringerer Score ermittelt als in der KG (IG: T3:  $0,9 \pm 1,3$ , T4:  $0,4 \pm 1,0$ ; KG: T3:  $1,2 \pm 1,5$ , T4:  $0,3 \pm 0,7$ ). Möglicherweise lässt sich hier eine Tendenz aufzeigen, die für das präoperative Training spricht. Bei den altersspezifischen Analysen konnten zudem signifikante Unterschiede in den Items „Gehen mit Hilfe“, „Körperpflege“ und „Essen und Trinken“ festgestellt werden. Die  $> 70$ -Jährigen zeigten zu T3 bei „Körperpflege“ ( $p = 0,017$ ) und „Essen und Trinken“ ( $p = 0,040$ ) signifikant bessere Werte als die  $\leq 70$ -Jährige. Begründung hierfür könnte sein, dass jüngere Patienten eine Bypass-Operation als stärkeren biografischen Einschnitt empfinden und durch die operationsbedingten Folgen subjektiv eine größere Einschränkung wahrnehmen als ältere Patienten, für die es naheliegender erscheint, Hilfen bei alltäglichen Gegebenheiten anzunehmen. Lindsay et al. (2000) beschreiben das Phänomen des operationsbedingten biografischen Einschnitts durch eine aortokoronare Bypass-Operation bei Patienten, die jedoch nicht auf den Altersvergleich bezogen war. Weiterhin entwickelten sich die jüngeren Patienten zu T4 in beiden Gruppen bei dem Item „Gehen mit Hilfe“ signifikant besser als die älteren Patienten ( $p = 0,012$ ). Vor allem  $\leq 70$ -Jährige benutzten während des stationären Aufenthalts einen Rollator, um erste Unsicherheiten zu überbrücken, benötigten diesen aber zum Zeitpunkt der Krankenhausentlassung nicht mehr. Es konnte beobachtet werden, dass besonders  $> 70$ -Jährige, die sich postoperativ einmal an den Rollator gewöhnten, diesen auch während der AHB nach wie vor gebrauchten. Abschließend kann zusammengefasst werden, dass durch das präoperative Training kein nachhaltiger Effekt mit Hilfe des MOSES-Fragebogens festgestellt werden konnte.

#### 4.2.5 Fazit

Folgende Hypothesen galt es durch die vorliegende Arbeit zu klären:

- I. Ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining vor einer geplanten Bypass-Operation führt unmittelbar präoperativ (T2) zu einer Verbesserung der Endothelfunktion/Gefäßelastizität (gemessen anhand EndoPAT®-2000/ IEM-Pulswellenanalyse®).
- II. Die Endothelfunktion der Interventionsgruppe (gemessen anhand des Endo-scores mithilfe EndoPAT®-2000) ist zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) besser im Vergleich zur Kontrollgruppe.
- III. Die Pulswellengeschwindigkeit und der zentrale Blutdruck (gemessen mithilfe IEM-Pulswellenanalyse®) sind zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) geringer als bei der Kontrollgruppe.
- IV. Ein zweiwöchiges aerobes Ausdauertraining ist ausreichend, um die maximale 6-Minuten-Gehstrecke der Interventionsgruppe (gemessen mit Hilfe des 6-Minuten-Gehtests) unmittelbar präoperativ im Vergleich zu Kontrollgruppe zu verbessern (T2).
- V. Die Verbesserung der 6-Minuten-Gehstrecke der Interventionsgruppe lässt sich auch zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) im Vergleich zur Kontrollgruppe aufzeigen.
- VI. Die Leistung des 6-Minuten-Gehtests ist aufgrund des präoperativen Trainings in der Interventionsgruppe zu allen Messzeitpunkten deutlich besser als in der Kontrollgruppe.
- VII. Durch das präoperative Trainingsprogramm verbessert sich die subjektive Lebensqualität (gemessen anhand des MacNew-Fragebogens) zu allen Messzeitpunkten im Vergleich zur nichttrainierenden Kontrollgruppe.
- VIII. Durch das präoperative Trainingsprogramm reduziert sich die Angst und Depressivität (gemessen anhand des HADS-Fragebogens) unmittelbar präoperativ (T2) im Vergleich zur nichttrainierenden Kontrollgruppe.



Darüber hinaus stellen sich weitere Nebenhypothesen:

1. Ein zweiwöchiges aerobes Ausdauertraining ist ausreichend, um die maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der Interventionsgruppe (gemessen mithilfe einer Spiroergometrie) unmittelbar präoperativ im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verbessern (T2).
2. Die Verbesserung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit ( $Watt_{max}$  und Peak  $VO_2$ ) der Interventionsgruppe lässt sich auch zu T3 (Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme) im Vergleich zur Kontrollgruppe aufzeigen.
3. Durch das präoperative Trainingsprogramm verbessern sich die ICF-Domänen Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben gemessen mit dem MOSES-Fragebogen (T4).
4. Durch das präoperative Trainingsprogramm kommt es zu einer nachhaltigen Kraftsteigerung der unteren Extremitäten, so dass die Zeiten des TUG-Tests zu allen Messzeitpunkten im Vergleich zur Kontrollgruppe abnehmen.

Zu I.)

Zu T2 konnte keine signifikante Verbesserung der Endothelfunktion/Gefäßelastizität bei den Parametern Endoscore, PWV, zentraler systolischer und zentraler diastolischer Blutdruck erzielt werden. Es lag jedoch eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe zu T1 und T2 sowohl bei den systolischen ( $p = 0,020$ ) als auch diastolischen ( $p = 0,003$ ) Blutdruckwerten vor. Beide Gruppen entwickelten sich präoperativ signifikant ( $p < 0,001$ ). Jedoch konnte in der IG durch die präoperative Trainingsintervention eine signifikant ( $p < 0,001$ ) stärkere Reduktion beider Blutdruckwerte erzielt werden (systolischer BD:  $-8,2$  mmHg; diastolischer BD:  $-5,6$  mmHg) als in der KG (systolischer BD:  $-3,2$  mmHg; diastolischer BD:  $-1,2$  mmHg). Die altersspezifischen Analysen zeigten zu T2 bei den  $> 70$ -Jährigen signifikant ( $p = 0,005$ ) niedrigere zentrale diastolische Blutdruckwerte als bei den  $\leq 70$ -Jährigen. Zudem lag die PWV zu T2 bei den älteren Patienten signifikant ( $p < 0,001$ ) über denen der jüngeren.

Zu II.)

Zu T3 lag kein signifikanter Gruppenunterschied ( $p = 0,142$ ) der Endoscore-Werte vor. Das präoperative Training zeigte keinen nachhaltigen Effekt auf die Endothelfunktion.

Zu III.)

Zu T3 konnte kein signifikanter Gruppenunterschied hinsichtlich des zentralen systolischen Blutdrucks ( $p = 0,192$ ), des zentralen diastolischen Blutdrucks ( $p = 0,565$ ) oder der PWV ( $p = 0,212$ ) ermittelt werden. Jedoch zeigte die IG beim zentralen systolischen Blutdruck und der PWV zu T3 tendenziell niedrigere Mittelwerte auf. Die altersspezifische Analyse ergab zudem einen signifikanten Unterschied der Altersgruppen bei der PWV zu T3. In beiden Gruppen zeigten die  $> 70$ -Jährigen signifikant ( $p < 0,001$ ) höhere Pulswellengeschwindigkeiten als die  $\leq 70$ -Jährigen.

Zu IV.)

Im präoperativen Zeitraum entwickelten sich die 6-Minuten-Gehstrecken von T1 zu T2 in beiden Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ) und es konnte eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ( $p = 0,003$ ) festgestellt werden. Das bedeutet, dass die IG durch die präoperative Trainingsintervention eine signifikant ( $p < 0,001$ ) stärkere Zunahme der 6-Minuten-Gehstrecke aufzeigte (T1:  $443,0 \pm 80,1$  m, T2:  $493,5 \pm 75,5$  m;  $\Delta 50,5$  m) als die KG (T1:  $445,6 \pm 105,6$  m, T2:  $459,8 \pm 110,1$  m;  $\Delta 14,2$  m). Zudem lag der MCID in der IG bei 50,5 m und in der KG bei 14,2 m.

Zu V.)

Zu T3 lagen die in der IG erreichten 6-Minuten-Gehstrecken signifikant ( $p = 0,018$ ) über denen der KG (T3: IG:  $377,1 \pm 107,6$  m; T3: KG:  $337,2 \pm 114,1$  m). Somit ließ sich auch zu Klinikentlassung/Rehabilitationsaufnahme ein nachhaltiger Effekt der präoperativen Trainingsintervention nachweisen. Die altersspezifische Auswertung zeigte zu T3 weiterhin einen signifikanten Unterschied in den Altersgruppen auf. In beiden Gruppen waren die Gehstrecken der  $> 70$ -Jährigen zu T3 signifikant ( $p = 0,011$ ) geringer als bei den  $\leq 70$ -Jährigen.

Zu VI.)

Zu T2 ( $p = 0,007$ ), T3 ( $p = 0,018$ ) und T4 ( $p = 0,018$ ) unterschieden sich die 6-Minuten-Gehstrecken der IG signifikant von denen der KG. Bedingt durch das präoperative Training lagen die Werte der IG zu allen Messzeitpunkten signifikant über denen der KG. Die altersspezifische Auswertung zeigt zudem bei den  $\leq 70$ -Jährigen in beiden Gruppen zu T3 ( $p = 0,011$ ) und T4 ( $p = 0,009$ ) signifikant längere 6-Minuten-Gehstrecken als bei den  $> 70$ -Jährigen.

Zu VII.)

Die subjektive Lebensqualität verbesserte sich in der IG im Vergleich zur KG nicht signifikant zu allen Messzeitpunkten. Durch die präoperative Trainingsintervention ließ sich jedoch zwischen T1 und T2 in der IG eine signifikante ( $p \leq 0,001$ ) Erhöhung aller Domänen des MacNew-Fragebogens erzielen, wohingegen die Werte der KG unverändert blieben. Postoperativ entwickelten sich beide Gruppen analog und ein nachhaltiger Effekt bedingt durch das präoperative Training konnte nicht belegt werden.

Zu VIII.)

Zu T2 konnte durch die präoperative Trainingsintervention in der IG keine signifikante Reduktion der Angst- und Depressionswerte im Vergleich zur KG erzielt werden. Die altersspezifische Analyse zeigte allerdings in beiden Gruppen bei den  $\leq 70$ -Jährigen zu T2 signifikant ( $p = 0,034$ ) höhere Angstwerte als bei den  $> 70$ -Jährigen.

Zu 1.)

Die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der IG konnte durch das zweiwöchige aerobe Ausdauertraining nicht signifikant gesteigert werden. Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen T1 und T2 bei der maximal erreichten Ergometerleistung ( $p = 0,137$ ), relativen maximal erreichten Ergometerleistung ( $p = 0,178$ ), maximal erreichten Sauerstoffaufnahme ( $p = 0,701$ ) oder relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ( $p = 0,615$ ) aufgezeigt werden. Tendenziell zeigten die Mittelwerte der IG im Vergleich zur KG präoperativ von T1 zu T2 bessere Werteentwicklungen auf. Zudem deckte die altersspezifische Auswertung zu T2 bei den  $> 70$ -Jährigen signifikant geringere  $Watt_{max}$  ( $p = 0,002$ ) und Peak  $VO_2$  ( $p = 0,012$ ) Werte auf als bei den  $\leq 70$ -Jährigen.

Zu 2.)

Zu T3 konnten in der IG im Vergleich zur KG keine signifikant besseren  $Watt_{max}$  ( $p = 0,231$ ) oder Peak  $VO_2$  ( $p = 0,301$ ) Werte erfasst werden, auch wenn die Mittelwerte der IG tendenziell höhere Werte aufzeigten. Zudem deckte die altersspezifische Auswertung zu T3 bei den  $> 70$ -Jährigen signifikant geringere  $Watt_{max}$  ( $p = 0,043$ ) und Peak  $VO_2$  ( $p = 0,013$ ) Werte auf als bei den  $\leq 70$ -Jährigen.

Zu 3.)

Zu T4 konnte in der IG im Vergleich zur KG kein signifikanter bzw. nachhaltiger Effekt der präoperativen Trainingsintervention auf die ICF-Domänen Mobilität, Selbstversorgung und häusliches Leben aufgezeigt werden. Beide Gruppen entwickelten sich durch die Rehabilitation von T3 zu T4 signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Es wurde jedoch eine signifikante Interaktion ( $p = 0,034$ ) bei dem Item „Untere Extremität“ aufgedeckt. Weitere Analysen zeigten eine signifikant stärkere Entwicklung von T3 zu T4 in der KG. Allerdings lag die IG zu T3 bereits 0,3 Punkte unterhalb der KG und zu AHB-Ende waren beide im vergleichbaren Bereich. Der Altersgruppenvergleich zeigte zu T4 bei dem Item „Gehen mit Hilfe“ in beiden Gruppen bei den  $\leq 70$ -Jährigen signifikant ( $p = 0,012$ ) niedrigere Werte als bei den  $> 70$ -Jährigen.

Zu 4.)

Zu T2 ( $p < 0,001$ ), T3 ( $p < 0,001$ ) und T4 ( $p = 0,001$ ) unterschieden sich die TUG-Zeiten der IG signifikant von denen der KG. Bedingt durch das präoperative Training kam es zu einer nachhaltigen Kraftsteigerung der unteren Extremitäten, so dass die Zeiten der IG zu allen Messzeitpunkten signifikant unter denen der KG lagen. Die altersspezifische Auswertung zeigte bei den  $\leq 70$ -Jährigen in beiden Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ) geringere TUG-Zeiten als bei den  $> 70$ -Jährigen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Der demografische Wandel macht sich nicht nur in der gesellschaftlichen Entwicklung, sondern auch in der Herzchirurgie bemerkbar. Laut dem Deutschen Herzbericht liegen die Überlebensraten in der Herzchirurgie trotz des ansteigenden Alters und der damit einhergehenden Zunahme an Begleiterkrankungen des Patientenguts bei ca. 97%. Essentiell für die hohe Quote ist die stetige Weiterentwicklung in der Herzchirurgie und die Etablierung schonenderer Operationsverfahren (Deutscher Herzbericht, 2016). Eine erfolgreiche Operation bildet jedoch nur die Basis in der Versorgung von Patienten mit koronarer Mehrgefäßerkrankung. Problematisch ist vor allem bei älteren Herzpatienten die Kombination aus einem präoperativen schlechten körperlichen Allgemeinzustand und einer bei diesen Patienten bekannten längeren postoperativen Regenerationsphase. Beides erhöht die Gefahr einer möglichen Pflegebedürftigkeit (Eder et al. 2013; Likosky et al. 2008; Ferrara et al. 2006; Miller/Grindel, 2001). Oberstes Ziel nach überstandener Operation stellt bei diesem Patientenklimentel die Erhaltung der Mobilität und die Wiedererlangung der Selbstständigkeit im Rehabilitationsverlauf dar, um eine Rückkehr in ein möglichst selbstbestimmtes Leben in gewohnter Umgebung zu gewährleisten (Busch et al. 2012). Es ist bekannt, dass vor allem ältere und multimorbide Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation von einer frührehabilitativen AHB in der Phase-II-Rehabilitation profitieren. Positive Effekte konnten bei der Erhöhung der symptomfreien körperlichen Belastbarkeit, Verbesserung der ADLs, Steigerung der Lebensqualität, Reduktion depressiver Symptomatik und Abnahme von psychologischem Stress beobachtet werden (Spiroski et al. 2017; Vanhees et al. 2012; Busch et al. 2012; Scrutinio/Giannuzzi, 2008; Bjarnason-Wehrens et al. 2007). Inwieweit eine prärehabilitative Intervention bei Patienten vor aortokoronarer Bypass-Operation Auswirkungen auf die oben beschriebenen Faktoren hat, ist weitestgehend unerforscht. Arthur et al. (2000) veröffentlichten im Jahr 2000 die erste größere randomisierte kontrollierte Interventionsstudie zu diesem Thema und bestätigten die Sicherheit der Trainierbarkeit von „low risk“ Patienten während der Wartezeit vor elektiver aortokoronarer Bypass-Operation. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag allerdings weniger in der Verbesserung der funktionalen und kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit, sondern vielmehr in der Erhebung der Krankenhausverweildauer und der damit einhergehenden Kostenersparnis. Alle weiteren nachfol-

genden prärehabilitativen Interventionsstudien, welche eine vergleichbare Population untersuchten, umfassen lediglich geringe Stichprobengrößen und zeigen somit nur mögliche Tendenzen auf (Sawatzky et al. 2014; Rosenfeld et al. 2011; Herdy et al. 2008). Ausstehend sind nach wie vor die Ergebnisse der multizentrischen randomisierten PREHAB-Studie (n = 244) von Stammers et al. (2015), welche den Schwerpunkt ebenfalls auf die Untersuchung älterer Patienten vor aortokoronarer Bypass- und Herzklappenoperation setzt. Laut Projektbeschreibung war das Ende der einjährigen Follow-Up Untersuchung für Mai 2017 geplant.

Gegenstand der vorliegenden Studie war es, die Auswirkungen eines präoperativen aeroben Ausdauertrainings bei alten Patienten mit Indikation zu einer elektiven aortokoronaren Bypass-Operation auf die Entwicklung der Gefäßelastizität und Endothelfunktion, der funktionalen Kapazität, der Lebensqualität und der Aktivität des täglichen Lebens zu untersuchen. Dieses interdisziplinäre Projekt wurde am Campus der Kerckhoff-Klinik GmbH (Bad Nauheim) in Zusammenarbeit mit der herzchirurgischen Abteilung, der Abteilung für Kardiologie und dem Kerckhoff Rehabilitationszentrum sowie in Kooperation mit der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte in der Zeit vom 17.12.2014 bis 31.03.2018. Eingeschlossen wurden 203 Patienten (21 w; 182 m) mit einem Durchschnittsalter von  $67,1 \pm 8,4$  Jahren. Die Patienten wurden in eine Interventions- (IG: n = 88; 9 w; 79 m) und eine Kontrollgruppe (KG: n = 115; 12 w; 103 m) randomisiert. Während des kompletten Studienzeitraumes widerriefen insgesamt 32 Patienten (IG: n = 7; KG: n = 25) ihre Teilnahme an der Studie. Hauptgründe waren nicht stattgefundene Operationen wegen Versorgung mittels PCI und Stent, operationsbedingte Komplikationen oder die Ablehnung der Abschlussuntersuchung bei nicht durchgeführter kliniknaher AHB. Es lagen somit 171 komplette Datensätze (IG = 81; KG = 90) der Studienteilnehmer vor, welche zwischen T1 und T4 erhoben wurden. Die Patientencharakteristik beider Gruppen zeigte eine weitestgehend homogene Verteilung. Die IG absolvierte ein zweiwöchiges präoperatives aerobes Ausdauertraining dreimal pro Woche auf dem Fahrradergometer bei 70% der  $VO_2\text{max}$  in Kombination mit Atem- und Lockerungsübungen. Wurde bei der Eingangsuntersuchung während der Spiroergometrie eine Ischämie-Schwelle festgestellt, so wurde die Trainingsherzfrequenz um mindestens zehn Schläge darunter festgelegt. Die Trainingsdauer begann mit zweimal zehn Minuten und wurde pro Trainingseinheit stetig auf bis zu maximal zweimal fünfundzwanzig Minuten erhöht. Die Intensität blieb hingegen konstant. Aus Sicherheitsgründen erfolgte das Training auf dem Fahrrad-

ergometer mit telemetrischer EKG-Überwachung. Die Kontrollgruppe absolvierte kein präoperatives Training und durchlief postoperativ die gleiche standardisierte AHB für Patienten nach aortokoronarer Bypass-Operation wie die IG. Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss einer zweiwöchigen prärehabilitativen Trainingstherapie auf die Endothelfunktion/Gefäßelastizität (EndoPAT<sup>®</sup>-2000, Mobil-O-Graph<sup>®</sup>), die funktionale Kapazität (6MWT, TUG) und die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit (Watt<sub>max</sub>, rel. Watt<sub>max</sub>, Peak VO<sub>2</sub> und rel. Peak VO<sub>2</sub>) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit Standardtherapie im prä- als auch postoperativen Zeitraum zu untersuchen. Weiterhin sollte die Wirksamkeit des aeroben Ausdauertrainings auf die Lebensqualität (Mac-NEW-Fragebogen), Angst und Depressivität (HADS-D-Fragebogen) als auch die Mobilität, Selbstversorgung und das häusliche Leben (MOSES-Fragebogen) analysiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass ein präoperatives aerobes Ausdauertraining ausreicht, um in der IG im Vergleich zur KG unmittelbar einen Tag vor der Operation die Lebensqualität in allen Domänen des MacNew-Fragebogens ( $p \leq 0,001$ ) signifikant stärker zu verbessern, die 6-Minuten-Gehstrecken signifikant stärker zu verlängern ( $p < 0,001$ ), die TUG-Zeiten ( $p < 0,001$ ) signifikant stärker zu verkürzen und den systolischen ( $p < 0,001$ ) als auch diastolischen Blutdruck ( $p < 0,001$ ) signifikant stärker zu reduzieren. Nachhaltige Effekte des präoperativen Trainings zeigten sich im 6MWT und TUG-Test. Die 6-Minuten-Gehstrecke nahm in der IG von T1 zu T3 signifikant ( $p = 0,013$ ) weniger ab und entwickelte sich von T1 zu T4 signifikant ( $p < 0,001$ ) stärker als die der KG. Zudem lagen die 6-Minuten-Gehstrecken zu T2 ( $p = 0,007$ ), T3 ( $p = 0,018$ ) und T4 ( $p = 0,018$ ) signifikant über denen der KG. Auch die TUG-Zeiten waren zu T3 und T4 signifikant unter denen der KG ( $p \leq 0,001$ ). Von T1 zu T3 ( $p = 0,003$ ) verlängerten sich die TUG-Zeiten der IG signifikant geringer als die der KG. In den anderen Vergleichsparametern konnten keine signifikanten Entwicklungen gezeigt werden. Jedoch wiesen vor allem die Mittelwerte der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit in der IG Tendenzen auf, die einen Effekt der präoperativen Trainingsintervention zwischen T1 und T2 andeuten. Hinsichtlich der altersspezifischen Auswertung ließ sich über alle Messzeitpunkte hinweg bei keinem Parameter eine Interaktion zwischen Alter und Gruppe feststellen. Prinzipiell zeigten die > 70-Jährigen signifikant niedrigere diastolische und zentrale diastolische Blutdruckwerte, höhere Pulswellengeschwindigkeiten, kürzere 6-Minuten-Gehstrecken, längere TUG-Zeiten, geringere Watt<sub>max</sub> als auch Peak VO<sub>2</sub> Werte, höhere Scores bei dem Item „Gehen mit Hilfe“ und niedrigere Angstwerte als die  $\leq 70$ -Jährigen.

Die Daten der vorliegenden Studie belegen, dass ein präoperatives individuell dosiertes aerobes Ausdauertraining bei älteren Patienten (Dreigefäßkrankung: 79,5%; CCS II: 43,2%) vor elektiver aortokoronarer Bypass-Operation durchführbar und sicher ist. Eine zweiwöchige Trainingsdauer mit insgesamt sechs Einheiten war ausreichend, um signifikante prä- als auch postoperative Effekte zu erzielen. Es gilt weiter zu untersuchen, ob eine kombinierte präoperative Trainingsintervention gegebenenfalls über einen längeren Zeitraum (4 - 6 Wochen) mit psychologischer Betreuung, Entspannungsverfahren und gezieltem aeroben Ausdauer- als auch Krafttraining einen additiven Effekt auf die gemessenen Parameter ausüben kann, die in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Entwicklungen aufzeigen konnten. Um die Ergebnisse von Busch et al. (2012) zu berücksichtigen, scheinen die Fusionierung einer präoperativen Trainingsintervention und ein an ältere Patienten angepasstes AHB-Programm das Optimum der Versorgung von Patienten vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation abzubilden. Dadurch kann sowohl der präoperative körperliche Zustand verbessert, die operationsbedingten körperlichen Einbußen reduziert und in der AHB auf die Bedürfnisse der älteren Gesellschaft gezielt eingegangen werden. Nicht zuletzt könnte die Prärehabilitation, wenn sie entsprechende Ergebnisse in weiteren zukünftigen Analysen aufzeigt, ein fester Bestandteil bei der Planung und Behandlung von herzchirurgischen Patienten werden.



## 6. LITERATUR

Afilalo J, Eisenberg MJ, Morin JF. Gait speed as an incremental predictor of mortality and major morbidity in elderly patients undergoing cardiac surgery. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:1668-1676.

American thoracic society. ATS Statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:111-117.

Arthur HM, Daniels C, McKelvie R, Hirsh J, Rush B. Effect of a preoperative intervention on preoperative and postoperative outcomes in low-risk patients awaiting elective coronary artery bypass graft surgery. A randomized controlled trial. *Ann Intern Med* 2000;133(4):253-262.

Baulmann J, Nürnberger J, Slany J, Schmieder R, Schmidt-Trucksäss A, Baumgart D, Cremerius P, Hess O, Mortensen K, Weber T. Arterielle Gefäßsteifigkeit und Pulswellenanalyse. Positionspapier zu Grundlagen, Methodik, Beeinflussbarkeit und Ergebnisinterpretation. *Dtsch Med Wochenschr* 2010;135:4-14.

Beatty AL, Schiller NB, Whooley MA. Six-minute walk test as a prognostic tool in stable coronary heart disease: Data from the heart and soul study. *Arch Intern Med* 2012;172(14):1096-1102.

Benzer W, Hofer S. Effekte der kardiologischen Rehabilitation auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Patienten nach einem kardialen Ereignis. *J Kardiol* 2004;11(11):463-468.

Bjarnason-Wehrens B et al. Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clin Res Cardiol Suppl* 2009;4(3):19.

Bjarnason-Wehrens B et al. Deutsche Leitlinien zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislauferkrankungen (DLL-KardReha). *Clin Res Cardiol Suppl* 2007;3.

Bjelland I et al. The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale: An updated literature review. *J Psychoso Res* 2002;52(2):69-77.

Bohannon RW and Crouch R. Minimal clinically important difference for change in 6-minute walking distance of adults with pathology: a systematic review. *J Eval Clin Pract* 2017;23(2):377-381.

Bohannon RW. Reference values for the timed up and go test: a descriptive meta-analysis. *J Geriatr Phys Ther* 2006;29(2):64-8.

Bolad I and Delafontaine P. Endothelial dysfunction: its role in hypertensive coronary disease. *Curr Opin Cardiol* 2005;20(4):270-274.

Bonetti PO, Pumper GM, Higano ST, Holmes DR Jr, Kuvin JT, Lerman A. Non-invasive identification of patients with early coronary atherosclerosis by assessment of digital reactive hyperemia. *J Am Coll Cardiol* 2004;44(11):2137-2141.

Bortz J. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. Auflage ed. Vol. 6. 2005, Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

Boudrez H and De Backer G. Psychological status and the role of coping style after coronary artery bypass graft surgery. Results of a prospective study. *Qual Life Res* 2001;10(1):37-47.

Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983;55:1558-1564.

Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). Nationale VersorgungsLeitlinie Chronische KHK – Kurzfassung. 2016.4(1) [cited 2018 14.2.18]; Available from: <http://www.khk.versorgungsleitlinien.de>.

Busch JC, Lillou D, Wittig G, Bartsch P, Willemsen D, Oldridge N, Bjarnason-Wehrens B. Resistance and balance training improves functional capacity in very old participants attending cardiac rehabilitation after coronary bypass surgery. *J Am Geriatr Soc* 2012;60(12):2270-2276.

Cabilan CJ, Hines S, Munday J. The impact of prehabilitation on postoperative functional status, healthcare utilization, pain and quality of life: a systemic review. *Orthop Nurs* 2016;35(4):224-237.

Calatayud J, Casana J, Ezzatvar Y, Jakobsen MD, Sundstrup E, Andersen LL. High-intensity preoperative training improves physical and functional recovery in the early postoperative periods after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25(9):2864-2872.

Cameron J and Dart A. Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *Am J Physiol* 1994;266:693-701.

Carli F, Charlebois P, Stein B et al. Randomized clinical trial of prehabilitation in colorectal surgery. *Br J Surg* 2010;97:1187-1197.

Carney RM, Freeland KE, Veith RC, et al. Can treating depression reduce mortality after acute myocardial infarction? *Psychosom Med* 1999;61:666-675.

Celermajer DS. Reliable endothelial function testing at our fingertips? *Circ* 2008.117:2428-2430.

Chen BP, Awasthi R, Sweet SN, Minnella EM, Bergdahl A, Santa Mina D, Carli F, Scheede-Bergdahl, C. Fourweek prehabilitation program is sufficient to modify exercise behaviours and improve preoperative functional walking capacity in patients with colorectal cancer. *Support Care Cancer* 2017;25(1):33-40.

Chludilova V, Mifkova L, Pochmonova J, Varnay F, Pohanka M, Al-Mahmodi NAI, Hashim MKA, Al Fadhli AK, Anbais FH, Erajhi AA, Havelkova A, Siegelova J. Functional capacity in men after coronary artery bypass surgery influenced by physical training. *Scr Med (BRNO)* 2007;80(5):203-210.

Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, Skinner JS. ACSM Position Stand. Exercise and Physical Activity for Older Adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;1510-1530.

Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin* 1992;112:155-159.

Connerney I, Shapiro PA, McLaughlin JS, et al. Relation between depression after coronary artery bypass surgery and 12-month outcome: a prospective study. *Lancet* 2001;358:1766-1771.

Cook JW, Pierson LM, Herbert WG. The influence of patients strength, aerobic capacity and body composition upon outcomes after coronary artery bypass grafting. *Thorac Cardiovasc Surg* 2001;49(2):89-93.

Cornelissen VA and Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and metaanalysis. *J Am Heart Assoc* 2013;2(1):e004473.

Deaton C, Weintraub WS, Ramsay J, Przykucki R, Zellinger M, Causey K. Patient perceived health status, hospital length of stay, and readmission after coronary artery bypass surgery. *J Cardiovasc Nurs* 1998;12(4):62-71.

Deister A. Krankheiten. Angst- und Panikstörungen. In: Möller HJ, Laux G, Diester A. (Hrsg) *Psychiatrie und Psychotherapie*. 2001, Stuttgart: Thieme Verlag.

De la Sierra A, Pareia J, Yun S, Acosta E, Aiello F, Oliveras A, Vázquez S, Armario P, Blanch P, Sierra C, Calero F, Fernández-Llama P. Central blood pressure variability is increased in hypertensive patients with target organ damage. *J Clin Hypertens* 2018;20(2):266-272.

De Veccis R and Ariano C. The MacNew Questionnaire: A tool to predict unplanned rehospitalization after coronary revascularization. *Int J Cardiovas Sci* 2016;29(4): 303-313.

Deutscher Herzbericht 2016. 2017 [cited 2018 10.5.18]; Available from: <http://www.dgthg.de/de/node/304>.

Dixon T, Lim LL, Oldridge NB. The MacNew heart disease health-related quality of life instrument: reference data for users. *Qual Life Res* 2002;11(2):173-183.

Dronkers JJ, Chorus AMJ, van Meeteren NLU, Hopman-Rock M. The association of pre-operative physical fitness and physical activity with outcome after scheduled major abdominal surgery. *Anaesthesia* 2013;68(1):67-73.

Dronkers JJ, Lamberts H, Reutelingsperger IM, et al. Preoperative therapeutic programme for elderly patients scheduled for elective abdominal oncological surgery: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil* 2010;24:614-622.

Du H et al. A review of the six-minute walk test: its implication as a self-administered assessment tool. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2009;8(1):2-8.

Duits AA, Boeke S, Taams MA et al. Prediction of quality of life after coronary artery bypass graft surgery: a review and evaluation of multiple, recent studies. *Psychosom Med* 1997;59:257-268.

Eder B, Hofmann P, Hödl R, Wonisch M, Schmid P, Pokan R. Ist die kardiale Rehabilitation beim alten Menschen noch effektiv? *J Kardiologie* 2013;20(9-10):262-268.

Edwards D, Schofield R, Magyari P, Nichols W, Braith R. Effect of exercise training on central aortic pressure wave reflection in coronary artery disease. *Am J Hypertens* 2004;17(6):540-543.

Ellenberg JH. Intention-to Treat Analysis. In: Redmond, C., Colton, T. editors. Biostatistics in Clinical Trials. 2001, New Jersey: John Wiley & Sons.

Enright PL et al. The 6-min walk test: a quick measure of functional status in elderly adults. *Chest* 2003;123(2):387-398.

Enright PL and Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158(5 Pt 1):1384-1387.

ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J* 2013; 34:2159-2219.

Fan AZ, Strine TW, Jiles R, Mokdad AH. Depression and anxiety associated with cardiovascular disease among persons aged 45 years and older in 38 states of the United States, 2006. *Prev Med* 2008;46:445-450.

Farin E, Fleitz A, Frey C. Psychometric properties of an ICF-oriented, adaptive questionnaire for the assessment of mobility, self care and domestic life. *J Rehabil Med* 2007;39:537-546.

Farin E, Fleitz A, Follert A. Entwicklung eines ICF-orientierten Patientenfragebogens zur Erfassung von Mobilität und Selbstversorgung. *Phys Med Rehab Kuror* 2006;16: 197-211.

Ferrara N, Corbi G, Bosimini E et al. Cardiac rehabilitation in the elderly: Patient selection and outcomes. Review paper. *Am J Geriatr Cardiol* 2006;15:22-27.

Ferrara PE, Rabini A, Maggi L, Piazzini DB, Logroscino G, Magliocchetti G, Lombi GM, Amabile E, Tancredi G, Aulisa AG, Padua L, Aprile I, Bertolini C. Effect of pre-operative physiotherapy in patients with end-stage osteoarthritis undergoing hip arthroplasty. *Clin Rehabil* 2008;22(10-11):977-986.

Fiorina C, Vizzardì E, Lorusso R. The 6-min walking test early after cardiac surgery. reference values and the effects of rehabilitation program. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007;32(5):724-729.

Fried LP, Tangen CM, Walston J. Frailty in older adults evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 200;56:146-157.

Fuchs J, Busch MA, Gößwald A, Hölling H, Kuhnert R, Scheidt-Nave C. Körperliche und geistige Funktionsfähigkeit bei Personen im Alter von 65 bis 79 Jahren in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland. *Bundesgesundheitsbl* 2013;56:723-732.

Funk M und Schneider J. Spiroergometrische Referenzwerte für die sozialmedizinische Leistungsbeurteilung bei Erwachsenen im Alter über 60 Jahre. *Pneumologie* 2012;66:329-337.

Gayda M et al. Cardiorespiratory requirements and reproducibility of the six-minute walk test in elderly patients with coronary artery disease. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(9):1538-1543.

Gibbons WJ et al. Reference values for a multiple repetition 6-minute walk test in healthy adults older than 20 years. *J Cardiopulm Rehabil* 2001;21(2):87-93.

Gielen S, Adams V, Niebauer J, Schuler G, Hambrecht R. Aging and heart failure - Similar syndromes of exercise tolerance? Implications for exercisebased interventions. *Heart Fail Monit* 2005;4:130-136.

Giesche F, Kalo K, Vogt L. Präoperatives Training bei künstlichem Knie- und Hüft-Ersatz. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport* 2017;33:282-286.

Gilbey HJ, Ackland TR, Wang AW, Morton AR, Trouchet T, Tapper J. Exercise improves early functional recovery after total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2003;408:193-200.

Gillis C, Li C, Lee L, Awasthi R, Augustin B, Gamsa A, Liberman AS, Stein B, Charlebois P, Feldman LS, Carli F. Prehabilitation versus rehabilitation: a randomized control trial in patients undergoing colorectal resection for cancer. *Anesthesiology* 2014;121(5):937-947.

Greameaux V, Troisgros O, Benaim S, Hannequin A, Laurent Y, Casillas JM, Benaim C. Determining the minimal clinically important difference for the six-minute walk test and the 200-meter fast-walk test during cardiac rehabilitation program in coronary artery disease patients after acute coronary syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 92(4):611-619.

Gunter KB, White KN, Hayes WC, Snow CM. Functional mobility discriminates nonfallers from one-time and frequent fallers. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55: 672-676.

Gupta SK. Intension-to-treat concept: A review. *Perspect Clin Res* 2011;2(3):109-112.

Hambrecht R, Walther C, Möbius-Winkler S, Gielen S, Linke A, Conradi K, Erbs S, Kluge R, Kendziorra K, Sabri O, Sick P, Schuler G. Percutaneous Coronary Angioplasty Compared With Exercise Training in Patients With Stable Coronary Artery Disease. A Randomized Trial. *Circ* 2004;109:1371-1378.

Hambrecht R et al. Regular physical activity improves endothelial function in patients with coronary artery disease by increasing phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase. *Circ* 2003;107(25):3152-3158.

Hamrecht R, Gielen S, Linke A, Fiehn E, Yu J, Walther C et al. Effects of exercise training on left ventricular function and peripheral resistance in patients with chronic heart failure: a randomized trial. *Jama* 2000<sup>1</sup>;283:2709-2715.

Hambrecht R, Wolf A, Gielen S, Linke A, Hofer J, Erbs S, Schoene N, Schuler G. Effect of exercise on coronary endothelial function in patients with coronary artery disease. *N Engl J Med* 2000<sup>2</sup>;342(7):454-460.

Hambrecht R, Fiehn E, Weigl C, Gielen S, Hamann C, Kaiser R et al. Regular physical exercise corrects endothelial dysfunction and improves exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Circ* 1998;98:2709-2715.

Hametner B, Wassertheurer S, Kropf J, Mayer C, Eber B, Weber T. Oscillometric estimation of aortic pulse wave velocity: comparison with intra-aortic catheter measurements. *Blood Press Monit* 2013;18(3):173-176.

Hamilton DM and Haennel RG. Validity and reliability of the 6-minute walk test in a cardiac rehabilitation population. *J Cardiopulm Rehabil* 2000;20(3):156-64.

Hansen D, Dendale P, Berger J et al. Importance of exercise training sessions duration in the rehabilitation of coronary artery disease patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15:453-459.

Harbour R, Miller J. A new system for grading recommendations in evidence based guidelines. *BMJ* 2001;323:334-336.

Hartge MM, Unger T, Knitscher U. The endothelium and vascular inflammation in diabetes. *Diabetes Vasc Dis Res* 2007;4(2):84-88.

Herdy AH, Marcchi PL, Vila A, Tavares C, Collaco J, Niebauer J, Ribeiro JP. Pre- and postoperative cardiopulmonary rehabilitation in hospitalized patients undergoing coronary artery bypass surgery: a randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil* 2008;87(9):714-719.

Heritier SR, Gebiski VJ, Keech AC. Inclusion of patients in clinical trial analysis: The intention-to-treat principle. *Med J Aust* 2003;179:438-440.

Hermann C, Buss U, Snaith R. HADS-D Hospital Anxiety and Depression Scale. Deutsche Version. Ein Fragebogen zur Erfassung von Angst und Depressivität in der somatischen Medizin. Bern, 1995.

Herrmann C. International experiences with the Hospital Anxiety and Depression Scale - A review of validation data and clinical results. *J Psychosom Res* 1997;42(1): 17-41.

Herrmann-Lingen C. Angst und Depressivität bei Herzpatienten - wie erkennen, wie behandeln? *Herz, Urban und Vogel*, 2001;26:326-334.

Hofer S et al. The MacNew Heart Disease health-related quality of life instrument: a summary. *Health Qual Life Outcomes* 2004;2:3.

Hoffmann U. Schnellkurs Statistik: mit Hinweisen zur SPSS-Benutzung. 5. Auflage ed. Vol. 5. 2004, Köln: Sport und Buch Strauß.

Hollmann W, Strüder HK, Tagarakis CVM, King G. Physical activity and the elderly. Review. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14:730-739.

Hoogeboom TJ, Dronkers JJ, van den Ende CHM et al. Preoperative therapeutic exercise in frail elderly scheduled for total hip replacement: a randomized pilot trial. *Clin Rehabil* 2010;24:901-910.

Hulzebos E and van Meeteren N. Making the elderly fit for surgery. *Br J Surg* 2016; 103(2):12-15.

Irons SL, Julie E, Hoffman JE, Elliott S, Linnaus M. Functional outcomes of patients with sternectomy after cardiothoracic surgery: a case series. *Cardiopulm Phys Ther J* 2012;23:5-11.

Janssen J und Laatz W. Statistische Datenanalyse mit SPSS: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. 9. Auflage ed. Vol. 9. 2017, Berlin: Springer Gabler.

Januzzi JL, Stern TA, Pasternak RC, De Sanctis RW. The influence of anxiety and depression on outcomes of patients with coronary artery disease. *Arch Intern Med*; 2000;160:1913-1921.

Kabisch M, Ruckes C, Seibert-Grafe M, Blettner M. Randomized controlled trials: part 17 of series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int* 2011;108(39):663-668.

Kaczmarek C, Schwarz M, Wydra G. Mobilitätskonzept in der Sporttherapie und -wissenschaft – Neue Perspektiven. *Sportwissenschaft* 2016;46(4):268-274.

Kakiyama T, Sugawara J, Murakami H, Maeda S, Kuno S, Matsuda M. Effects of short-term endurance training on aortic distensibility in young males. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(2):267-271.

Kavanagh T et al. Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *J Am Coll Cardiol* 2003;42(12):2139-2143.

Kavanagh T et al. Prediction of long-term prognosis in 12 169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circ* 2002;106(6):666-671.

Kawano H, Motoyama T, Hirai N, Kugiyama K, Yasue H, Ogawa H. Endothelial dysfunction in hypercholesterolemia is improved by L-arginine administration: possible role of oxidative stress. *Atherosclerosis* 2002;161(2):375-380.

Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G, Aldred H, Ophaug K, Ades PA. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am Heart J* 2008;156(2):292-300.

Koivula M, Tarkka M-T, Tarkka M, Laippala P, Paunonen-Ilmonen M. Fear and in-hospital social support for coronary artery bypass grafting patients on the day before surgery. *Int J Nurs Stud* 2002;39:415-427.

Krannich J-HA, Weyers P, Lueger S, Herzog M, Bohrer T, Elert O. Presence of depression and anxiety before and after coronary artery bypass surgery and their relationship to age. *BMC Psychiatry* 2007;7:47.

Kuvin JT, Patel AR, Sliney KA, Pandian NG, Sheffy J, Schnall RP, Karas RH, Udelson JE. Assessment of peripheral vascular endothelial function with finger arterial pulse wave amplitude. *Am Heart J* 2003;146(1):168-174.

Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannatasio C, Hayoz D, Pannier B, Vlachopoulos C, Wilkinson I, Struijker-Boudier H. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J* 2006;27:2588-2605.

Laux G. Krankheiten. Affektive Störungen. In: Möller HJ, Laux G, Deister A (Hrsg) *Psychiatrie und Psychotherapie*. 2001, Stuttgart: Thieme Verlag.

Leenders NYJM. The elderly. In: Ehrman JK, Gordon PM, Visich PS, Keteyian S (eds). *Clinical Exercise Physiology*. Human Kinetics, Champaign, IL, 2003;571-588.

Lemanu DP, Singh PP, MacCormick AD, Arroll B, Hill AG. Effect of preoperative exercise on cardiorespiratory function and recovery after surgery: a systematic review. *World J Surg* 2013;37:711-720.

Leon AS, Franklin BA, Costa F, Balady GJ, Berra KA, Stewart KJ, Thompson PD, Williams MA, Lauer MS. Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease: an American Heart Association scientific statement from the Council on Clinical Cardiology (Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention) and the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity), in collaboration with the American association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circ* 2005;111:369-376.

Le Roy B, Selvy M, Slim K. The concept of prehabilitation: what the surgeon needs to know? *J Visc Surg* 2016;153(2):109-112.

Levett DZ, Edwards M, Grocott M, Mythen M. Preparing the patient for surgery to improve outcomes. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2016;30(2):145-157.

Li C, Carli F, Lee L, Charlebois P, Stein B, Libermann AS, Kaneva P, Augustin B, Wongyingsinn M, Gamsa A, Kim DJ, Vassiliou MC, Feldmann LS. Impact of a trimodal prehabilitation program on functional recovery after colorectal cancer surgery: a pilot study. *Surg Endosc* 2013;27(4):1072-1082.

Likosky DS, Dacey LJ, Baribeau YR et al. and Northern New England Cardiovascular Disease Study Group. Long-term survival of the very elderly undergoing coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2008;85:1233-1237.

Lindsay GM, Smith LN, Hanlon P, Wheatley DJ. Coronary artery disease patients perception of their health and expectations of benefit following coronary artery bypass grafting. *J Adv Nurs* 2000;32:1412-1421.

Macchi C, Fattiroli F, Lova RM et al. Early and late rehabilitation and physical training in elderly patients after cardiac surgery. *Am J Phys Med Rehabil* 2007;86: 826-834.

Mazzeo RS et al. ACSM Position Stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(6):992-1008.

McCormick KM, Naimark BJ, Tate RB. Uncertainty, symptom distress, anxiety, and functional status in patients awaiting coronary artery bypass surgery. *Heart Lung* 2006;35(1):34-45.

Menezes AR, Lavie CJ, Milani RV, Arena RA, Church TS. Cardiac rehabilitation and exercise therapy in the elderly: should we invest in the aged? *J Geriatr Cardiol* 2012; 9:68-75.

Mengden T, Hausberg M, Heiss C, Mitchell A, Nixdorff U, Ott C, Schmidt-Trucksäss A, Wassertheurer S. Arterielle Gefäßsteifigkeit - Ursachen und Konsequenzen. Empfehlungen der Deutschen Hochdruckliga e.V. DHL® - Deutsche Gesellschaft für Hypertonie und Prävention. *Kardiologie* 2016;10:38-46.

Meyer T und Kindermann W. Die maximale Sauerstoffaufnahme (Vo<sub>2</sub>max). *Dtsch Z Sportmed* 1999;50:285-286.



Meyers MR, Gokce N. Endothelial dysfunction in obesity: etiological role in atherosclerosis. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 2007;14(5):365-369.

Midgley AW, Bentley DJ, Luttikholt H, McNaughton LR, Millet GP. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO<sub>2</sub>max determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med* 2008; 38(6):441-447.

Miller KH and Grindel CG. Recovery from coronary artery bypass surgery: age-related outcomes. *Outcomes Manag Nurs Pract* 2001;5:127-133.

Moerland M, Kales AJ, Schrier L, van Dongen MGJ, Bradnock D, Burggraaf J. Evaluation of the EndoPAT as a Tool to Assess Endothelial Function. *International Journal of Vascular Medicine* 2012;Article ID 904141:1-8.

Monshausen M, Uen S, Mengden T. Akuteffekt von Training auf die arterielle Pulswellenreflektion und Gefäßsteifigkeit. *Deutsch Med Wschr* 2006;131:183.

Mooney M, Fitzsimons D, Richardson G. "No more couch-potato!" Patients experiences of a pre-operative programme of cardiac rehabilitation for those awaiting coronary artery bypass surgery. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2007;6(1):77-83.

Morris S, Morris ME, Iansek R. Reliability of measurements obtained with the Timed "Up & Go" test in people with Parkinson disease. *Phys Ther* 2001;81:810-818.

Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1334-1342.

Opasich C, De Feo S, Pinna GD, Furgi G, Pedretti R, Scrutinio D, Tramarin R. Distance walked in the 6-minute test soon after cardiac surgery: toward an efficient use in the individual patient. *Chest* 2004;126(6):1796-1801.

Ozasa N, Morimoto T, Bao B, Shioi T, Kimura T. Effects of machine-assisted cycling on exercise capacity and endothelial function in elderly patients with heart failure. *Circ J* 2012;76:1889-1894.

Pedersen SS, Martens EJ, Denollet J, Appels A. Poor health-related quality of life is a predictor of early, but not late, cardiac events after percutaneous coronary intervention. *Psychosomatics* 2007;48(4):331-337.

Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA. Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *J Am Geriatr Soc* 2006;54(5):743-749.

Pfaffenberger N, Doering S, Puffinger P, Höfer S, Alber H, Ruttman E, Günther V, Kopp M. Gesundheitsbezogene Lebensqualität, Angst und Depression vor und nach einer aortokoronaren Bypass-Operation. *Wien Med Wochenschr* 2010;160(1-2):44-53.

Podsiadlo D and Richardson S. The timed Up & Go: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991;39:142-148.

Pötsch O und Rößger F. Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt, 2015.

Punt I, van der Most R, Bongers B, Didden A, Hulzebos E, Dronkers J, van Meeteren N. Verbesserung des prä- und postoperativen Behandlungskonzepts. Große elektiv-chirurgische Eingriffe. Bundesgesundheitsbl 2017;60:410-418.

Raab-Steiner E und Benesch M. Der Fragebogen: Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung. 3. Auflage ed. Vol. 3. 2012, Wien: Facultas Verlag- und Buchhandels AG.

Rasekaba T et al. The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient. J Intern Med 2009;39:495-501.

Rassouli F und Thurnheer R. Spiroergometrie - Indikation, Durchführung und Interpretation. Schweizerisches Medizin-Forum 2015;15(14-15):315-321.

Revil SM, Beck KE, Morgan MDL. Comparison of the peak exercise response measured by the ramp and 1-min step cycle exercise protocols in patients with exertional dyspnea. Chest 2002;121:1099-1105.

Rockwood K, Awalt E, Carver D, MacKnight C. Feasibility and measurement properties of the functional reach and the timed up and go tests in the Canadian study of health and aging. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2000;55:70-73.

Röhrig B, du Prel J-B, Wachtlin D, Blettner M. Types of study in medical research: part 3 of a series on evaluation of scientific publications. Dtsch Arztebl Int 2009;106(15):262-268.

Roman MJ, Devereux RB, Kizer JR, Lee ET, Galloway JM, Ali T, Umans JG, Howard BV. Central pressure more strongly relates to vascular disease and outcome than does brachial pressure: the strong heart study. Hypertension 2007;50:197-203.

Rosenfeldt F, Braun L, Spitzer O, Bradley S, Shepherd J, Bailey M, van der Merwe J, Leong JY, Esmore D. Physical conditioning and mental stress reduction - a randomised trial in patients undergoing cardiac surgery. BMC Complement Altern Med 2011;11(3):20.

Rosenkranz S. Hat die endotheliale Dysfunktion eine klinische Relevanz? Effekte von PDE-5-Hemmern und Testosteron. Blickpunkt der Mann 2009;7(1):9-10.

Rothenbacher D, Hahmann H, Wüsten B, Koenig W, Brenner H. Symptoms of anxiety and depression in patients with stable coronary heart disease: Prognostic value and consideration of pathogenetic links. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2007; 14:547-554.

Rubinshtein R, Kuvin JT, Soffler M, Lennon RJ, Lavi S, Nelson RE, Pumper GM, Lerman LO, Lerman A. Assessment of endothelial function by non-invasive peripheral arterial tonometry predicts late cardiovascular adverse events. Eur Heart J 2010;31(9):1142-1148.

Rymaszewska J, Kiejna A, Hadrys T. Depression and anxiety in coronary artery bypass grafting patients. Eur Psychiatry 2003;18:155-160.

Sandercock GR, Cardoso F, Almodhy M, Pepera G. Cardiorespiratory fitness changes in patients receiving comprehensive outpatient cardiac rehabilitation in the UK: a multicenter study. Heart 2013;99(11):785-790.

Sawatzky JA, Kehler DS, Ready AE, Lerner N, Boreskie S, Lamont D et al. Prehabilitation program for elective coronary artery bypass graft surgery patients: a pilotrandomized controlled study. *Clin Rehabil* 2014;28(7):648-657.

Scharhag-Rosenberger F. Spiroergometrie zur Ausdauerleistungsdiagnostik. *Dtsch Z Sportmed* 2010;61:6.

Schoene D, Wu SM, Mikolaizak AS, Menant JC, Smith ST, Delbaere K, Lord SR. Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 2013; 61(2):202-208.

Schoppen T, Boonstra A, Groothoff JW, de Vries J, Goeken LN, Eisma WH. The Timed "up and go" test: reliability and validity in persons with unilateral lower limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil* 1999;80:825-828.

Scrutinio D, Giannuzzi P. Comorbidity in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: impact on outcome and implications for cardiac rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15:379-385.

Selamet Tierney ES, Newburger JW, Gauvreau K, Geva J, Coogan E, Colan SD, Ferranti SD. Endothelial amplitude testing: feasibility and reproducibility in adolescents. *J Pediatr* 2009;154(6):901-905.

Sepehri A, Beggs T, Hassan A. The impact of frailty on outcomes after cardiac surgery: a systemic review. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014;148:3110-3117.

Serruys PW et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease. *N Engl J Med* 2009;360(10):961-972.

Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical therapy*, 2000;80:896-903.

Smith AR and Hagen TM. Vascular endothelial dysfunction in aging: loss of Akt-dependent endothelial nitric oxide synthase phosphorylation and partial restoration by lipoic acid. *Biochem Soc* 2003;31:1447-1449.

Smith JL, Verrill TA, Boura JA, Sakwa MP, Shannon FL, Franklin BA. Effect of cardiorespiratory fitness on short-term morbidity and mortality after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 2013;112:1104-1109.

Snowdon D, Haines TP, Skinner EH. Preoperative intervention reduces postoperative pulmonary complications but not length of stay in cardiac surgical patients: a systematic review. *J Physiother* 2014;60(2):66-77.

Sobolev BG, Fradet G, Hayden R, Kuramoto L, Levy AR, Fitz Gerald MJ. Delay in admission for elective coronary-artery bypass grafting is associated with increased in-hospital mortality. *BMC Health Serv Res* 2008;8(1):185.

Spiroski D, Andijc M, Stojanovic OI, Lazovic M, Dikic AD, Ostojic M, Beleslin B, Kostic S, Zdravkovic M, Lovic D. Very short/short-term benefit of inpatient/outpatient cardiac rehabilitation programs after coronary artery bypass grafting surgery. *Clin Cardiol* 2017;40:281-286.

Stammers AN, Kehler DS, Afilalo J, Avery LJ, Bagshaw SM, Grocott HP et al. Protocol for the PREHAB study - pre-operative rehabilitation for reduction of hospitalization after coronary Bypass and valvular surgery: a randomised controlled trial. *BMJ Open* 2015;5(3):e007250.

Statistisches Bundesamt. Fallpauschalbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern bis zum kodierbaren Endpunkt - 2016. Erschienen am 23.10.2017, korrigiert am 15.01.2017. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2017.

Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six- Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther* 2002;82:128-137.

Székely A, Balog P, Benkö E, Breuer T, Székely J, Kertai MD, Horkay F, Kopp MS, Thayer JF. Anxiety predicts mortality and morbidity after coronary artery and valve surgery – a 4-year follow-up study. *Psychosom Med* 2007;69:625-631.

Taddei S, Viridis A, Ghiadoni L, Salvetti G, Bernini G, Magagna A, Salvetti A. Age-related reduction of NO availability and oxidative stress in humans. *J Hypertens* 2001; 38:274-279.

Taddei S, Galetta F, Viridis A, Ghiadoni L, Salvetti G, Franzoni F, Giusti C, Salvetti A. Physical activity prevents age-related impairment in nitric oxide availability in elderly athletes. *Circ* 2000;101:2896-2901.

Tanaka H and Safar ME. Influence of lifestyle modification on arterial stiffness and wave reflections. *Am J Hypertens* 2005;18:137-144.

Thrane G, Joakimsen RM, Thornquist E. The association between timed up and go test and history of falls: The Tromso study. *BMC Geriatr* 2007;7(1):1-7.

Topp R, Ditmyer M, King K, Doherty K, Hornyak J. The effect of bed rest and potential of prehabilitation on patients in intensive care unit. *AACN Clin Issues* 2002; 13(2):263-276.

Trappe HJ, Löllgen H. Leitlinien zur Ergometrie. *Z Kardiol* 2000;89:821-837.

Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 1999;14(2):270-274.

Uddin J, Zwisler A-D, Lewinter C, Moniruzzaman M, Lund K, Tang LH, Taylor RS. Predictors of exercise capacity following exercise-based rehabilitation in patients with coronary heart disease and heart failure: A meta-regression analysis. *Eur J Prev Cardiol* 2016;23(7):683-693.

Vanhees L, Rauch B, Piepoli M, van Buuren F, Takken T, Börjesson M, Bjarnason-Wehrens B, Doherty P, Dugmore D, Halle M. Importance of characteristics and modalities of physical activity and exercise in the management of cardiovascular health in individuals with cardiovascular disease (Part III). *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19(6):1333-1356.

Vanhees L, Stevens A, Schepers D et al. Determinants of the effects of physical training and of the complications requiring resuscitation during exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004;11:304-312.

Vanhoutte PM. Endothelial dysfunction - the first step toward coronary arteriosclerosis. *Circ* 2009;73(4):595-601.

Waite I, Deshpande R, Baghai M, Massey T, Wendler O, Greenwood S. Home-based preoperative rehabilitation (prehab) to improve physical function and reduce hospital length of stay for frail patients undergoing coronary artery bypass graft and valve surgery. *J Cardiothorac Surg* 2017;12(1):91.

Walther C, Fieß A, Möbius-Winkler S, Linke A, Erbs S, Hambrecht R, Mohr FW, Walther T, Schuler G. Preoperative exercise training is associated with less postoperative adverse events but did not affect long term outcome in patients with stable coronary artery disease. Posterpräsentation, Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, 2010.

Walther C und Hambrecht R. Endotheliale Dysfunktion bei kardiovaskulären Erkrankungen: Einfluss von körperlicher Aktivität. *Dtsch Z Sportmed* 2001;52(6):215-221.

Wassermann K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Exercise Testing and Interpretation. Including pathophysiology and clinical applications. 4<sup>th</sup> edition. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, 2005.

Wassertheurer S, Kropf J, Weber T, van der Giet M, Baulmann J, Ammer M, Hametner B, Mayer CC, Eber B, Magometschnigg D. A new oscillometric method for pulse wave analysis: comparison with a common tonometric method. *J Hum Hypertens* 2010;24(8):498-504.

Weber T, Wassertheurer S, Rammer M, Maurer E, Hametner B, Mayer CC, Kropf J, Eber B. Validation of a brachial cuff-based method for estimating central systolic blood pressure. *J Hyperton* 2011;58(5):825-832.

Weber T. Grundlagen: Zentraler Blutdruck, Pulswellenreflexion, Pulswellengeschwindigkeit. *J Hyperton* 2010;14(2):9-13.

Weber T, Eber B, Zweiker R, Horn S, Sock S, Grüner P, Pichler M, Mayer G, Eisserer G, Magometschnigg D, Illyes M. Pulswellengeschwindigkeit zentraler Blutdruck und Augmentationsindex - "neue" Parameter zur Beschreibung eines Endorganschadens der arteriellen Strombahn bei Hypertonie. *Pathophysiologie, Methodik, Prognostische Bedeutung, Empfehlungen. J Hyperton* 2008;12:7-13.

Weinsaft JW and Edelberg JM. Aging-associated changes in vascular activity: a potential link to geriatric cardiovascular disease. *Am J Geriatr Cardiol* 2001;10:348-354.

Weston M, Weston KL, Prentis JM, Snowden CP. High-intensity interval training (HIT) for effective and time-efficient pre-surgical exercise interventions. *Perioper Med* 2016;5(2):1-9.

Widlansky ME, Gokce N, Keaney Jr JF, Vita JA. The clinical implications of endothelial dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1149-1160.

Will PN and Walter JD. Exercise testing: improving performance with a ramped Bruce protocol. *Am Heart J* 1999;138:1033-1037.

Wonisch M, Fruhwald FM, Hofmann P, Hödl R, Klein W, Kraxner W, Maier R, Pokan R, Scherr D, Watzinger N. Spiroergometrie in der Kardiologie - Klinische Anwendungsmöglichkeiten. J Kardiol 2003;10(10):440-446.

Zampieri C, Salarian A, Carlson-Kuhta P, Nutt J, Horak F. Assessing mobility at home in people with early Parkinson's disease using an instrumented Timed Up and Go test. Parkinsonism rel disord 2010;17:277-280.

## 7. VERZEICHNISSE

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

$\Delta$	Differenz zwischen zwei Zeitpunkten (Delta)
6MWT	Sechs-Minuten-Gehtest
6MWD	Sechs-Minuten-Gehstrecke
A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ACE-Hemmer	Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer
ADL	Activity of Daily Living
AHB	Anschlussheilbehandlung
ANOVA	Einfaktorielle Varianzanalyse
AP	Angina Pectoris
ASS	Acetylsalicylsäure
AT-I-Antagonisten	Angiotensin-I-Rezeptorblocker
AT-II-Antagonisten	Angiotensin-II-Rezeptorblocker
ATS	American Thoracic Society
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAB	Coronary Artery Bypass
CABG	Coronary Artery Bypass Grafting
CCS	Classification of Canadian Cardiovascular Society
cm	Zentimeter
COPD	Chronisch Obstruktive Pulmonale Erkrankung
d	Effektstärke
EF	Ejektionsfraktion
EKG	Elektrokardiogramm

---

et al.	et alia
etc.	et cetera
HADS	Hospital Anxiety and Depression Scale
HADS-D	Hospital Anxiety and Depression Scale - Deutsche Version
ICF	International Classification of Functioning
IG	Interventionsgruppe
ITT	Intention to treat
kg	Kilogramm
KG	Kontrollgruppe
KHK	Koronare Herzkrankheit
LVEF	linksventrikulärer Ejektionsfraktion
m	Meter
m	männlich
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MCID	Minimal Clinical Important Difference
MET	metabolische Äquivalente
min	Minute
ml	Milliliter
MTT	Medizinische Trainingstherapie
MW	Mittelwert
MZP	Messzeitpunkt
n	Stichprobengröße
n.s.	nicht signifikant
NYHA	New York Heart Association
OP	Operation
p	Signifikanzniveau
pAVK	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
PTCA	Perkutane transluminale Koronarangioplastie
QoL	Lebensqualität
rmANOVA	repeated measurement ANOVA



---

s	Sekunde
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
T1	Eingangsuntersuchung
T2	Untersuchung einen Tag präoperativ
T3	Untersuchung zu AHB-Beginn bzw. bei nicht direktem Übergang ein Tag vor Klinikentlassung
T4	Untersuchung zu AHB-Ende
TIA	Transitorische Ischämische Attacke
TUG	Timed Up and Go Test
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
vs.	versus
VO <sub>2</sub> max	maximale Sauerstoffaufnahme
w	weiblich
Wo.	Woche
z.B.	zum Beispiel

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhalte der bewegungstherapeutischen Maßnahmen beider Gruppen	7
Tabelle 2: Darstellung der wöchentlichen präoperativen Trainingseinheiten der Interventionsgruppe	20
Tabelle 3: Vergleich der anthropometrischen Daten der Untersuchungsgruppen differenziert nach Geschlecht	28
Tabelle 4: Vergleich der anthropometrischen Daten differenziert nach Untersuchungsgruppen	28
Tabelle 5: Koronarangiographischer Befund zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen	29
Tabelle 6: Detaillierte Darstellung der kardiovaskulären Diagnosen zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen	30
Tabelle 7: Echokardiographischer Befund der Eingangsuntersuchung differenziert nach Untersuchungsgruppen	31
Tabelle 8: Verteilung der Häufigkeiten kardialer Risikofaktoren differenziert nach Untersuchungsgruppen	32
Tabelle 9: Verteilung der Begleiterkrankungen differenziert nach Untersuchungsgruppen	33
Tabelle 10: Übersicht der kardialen Medikation differenziert nach Untersuchungsgruppen	34
Tabelle 11: Entwicklung der mittleren Endoscore im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	37
Tabelle 12: Entwicklung der mittleren Endoscore im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	38
Tabelle 13: Entwicklung der Endoscore zu T3 differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	39
Tabelle 14: Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	40
Tabelle 15: Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	41
Tabelle 16: Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	42
Tabelle 17: Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	43

---

Tabelle 18: Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	44
Tabelle 19: Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	45
Tabelle 20: Vergleich der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	46
Tabelle 21: Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	47
Tabelle 22: Veränderung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	48
Tabelle 23: Vergleich der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	49
Tabelle 24: Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	50
Tabelle 25: Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	51
Tabelle 26: Vergleich der mittleren Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	52
Tabelle 27: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	53
Tabelle 28: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	54
Tabelle 29: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	55
Tabelle 30: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	56
Tabelle 31: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	57
Tabelle 32: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	58
Tabelle 33: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	59

Tabelle 34: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	60
Tabelle 35: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	61
Tabelle 36: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	62
Tabelle 37: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	63
Tabelle 38: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	64
Tabelle 39: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	65
Tabelle 40: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	66
Tabelle 41: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungsgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	67
Tabelle 42: Entwicklung der mittleren Zeiten aus dem Timed up an go Test im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	68
Tabelle 43: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	70
Tabelle 44: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	71
Tabelle 45: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	72
Tabelle 46: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	73
Tabelle 47: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	74
Tabelle 48: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	75
Tabelle 49: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	76

---

Tabelle 50 Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	77
Tabelle 51: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	78
Tabelle 52: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	79
Tabelle 53: Kategorische Entwicklung der HADS-Angst-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	80
Tabelle 54: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	81
Tabelle 55: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	82
Tabelle 56: Kategorische Entwicklung der HADS-Depressions-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungsgruppen	83
Tabelle 57 Entwicklung der Items aus dem MOSES-Fragebogen zwischen T3 und T4 differenziert nach Untersuchungsgruppen	85
Tabelle 58: Entwicklung der mittleren Endoscore im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	88
Tabelle 59: Entwicklung der mittleren Endoscore im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	89
Tabelle 60: Entwicklung der Endoscore zu T3 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	90
Tabelle 61: Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	91
Tabelle 62: Entwicklung der mittleren systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	92
Tabelle 63: Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	95
Tabelle 64: Entwicklung der mittleren diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	97
Tabelle 65: Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	98
Tabelle 66: Entwicklung der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	99

---

Tabelle 67: Vergleich der mittleren zentralen systolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	100
Tabelle 68: Entwicklung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	101
Tabelle 69: Veränderung der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	103
Tabelle 70: Vergleich der mittleren zentralen diastolischen Blutdruckwerte zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	104
Tabelle 71: Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	106
Tabelle 72: Entwicklung der mittleren Pulswellengeschwindigkeit im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	107
Tabelle 73: Vergleich der mittleren Pulswellengeschwindigkeit zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	108
Tabelle 74: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	110
Tabelle 75: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	112
Tabelle 76: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	113
Tabelle 77: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	114
Tabelle 78: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	115
Tabelle 79: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Ergometerleistung zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	116
Tabelle 80: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	117

Tabelle 81: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	118
Tabelle 82: Entwicklung der mittleren maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	119
Tabelle 83: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	120
Tabelle 84: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	121
Tabelle 85: Entwicklung der mittleren relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme zu Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	122
Tabelle 86: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	124
Tabelle 87: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Tag präoperativ (T2) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	126
Tabelle 88: Entwicklung der mittleren 6-Minuten-Gehstrecke zum Zeitpunkt Rehabilitationsbeginn (T3) differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen. Berechnet mittels einfacher ANOVA	127
Tabelle 89: Entwicklung der mittleren Zeiten aus dem Timed up an go Test im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	129
Tabelle 90: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „global“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	132
Tabelle 91: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „physical“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- Altersgruppen	135
Tabelle 92: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „emotional“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	138
Tabelle 93: Entwicklung der mittleren MacNew-Scores „social“ im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	141
Tabelle 94: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	144
Tabelle 95: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Angst im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	146

---

Tabelle 96: Kategorische Entwicklung der HADS-Angst-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	147
Tabelle 97: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	150
Tabelle 98: Entwicklung der mittleren HADS Summenskala für Depression im präoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	152
Tabelle 99: Kategorische Entwicklung der HADS-Depressions-Werte im prä- als auch postoperativen Zeitraum differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	153
Tabelle 100: Entwicklung der Items aus dem MOSES-Fragebogen zwischen T3 und T4 differenziert nach Untersuchungs- und Altersgruppen	155
Tabelle 101: Überblick der aktuellen Prärehabilitationsstudien mit dem Schwerpunkt der Untersuchung älterer Patienten, die den 6-Minuten-Gehtest durchführten	170
Tabelle 102: Darstellung von Studien, welche bei KHK-Patienten vor und nach Trainingsintervention eine durch Spiroergometrie ermittelte mittlere relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme präsentierten	187
Tabelle 103: Übersicht der erhobenen präoperativen Trainingsparameter der IG	190
Tabelle 104: Übersicht an Studien, welche den MacNew Fragebogen zur Beurteilung der Lebensqualität bei KHK-Patienten im Zustand nach Myokardinfarkt oder aortokoronarer Bypass-Operation benutzten	200
Tabelle 105: Übersicht an Studien, welche den HADS-D-Fragebogen zur Beurteilung der Angst- und Depressionswerte bei Patienten im Zustand vor und nach aortokoronarer Bypass-Operation einsetzten	204



### 7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei älteren Patienten vor, während und nach einer elektiven Operation	2
Abbildung 2: Darstellung des Studiendesigns	8
Abbildung 3: Flow Chart Patientenverteilung	12
Abbildung 4: Darstellung des EndoPAT®-Fingerclips	14
Abbildung 5: Darstellung der postoperativen Referenzwerte des 6MWT herzchirurgischer Patienten zu AHB-Beginn stratifiziert nach Geschlecht, Alter, Komorbiditäten und linksventrikulärer Ejektionsfraktion	168

## 8. LEBENS LAUF

### Persönliche Angaben

Name: Steinmetz  
Vorname: Carolin Teresa  
Geburtsdatum/-ort: 29.07.1985, Groß-Umstadt  
Familienstand: ledig  
Staatsbürgerschaft: deutsch

### Studium und Schulische Bildung

2013 – 2018 Promotionsstudium an der DSHS Köln  
2005 – 2009 Studium der Sportwissenschaften mit der Spezialisierung  
Rehabilitation und Prävention an der DSHS Köln  
Abschluss: Diplom Sportwissenschaftlerin  
2002 – 2005 Landrat Gruber Schule Dieburg  
Abschluss: Abitur

### Wissenschaftlicher und beruflicher Werdegang

Juni 2017 Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft  
für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislauf-  
erkrankungen (DGPR, Berlin) zum Thema: „The influence of a  
preoperative exercise training on hemodynamics in pa-  
tients awaiting CABG surgery“  
Mai 2017 Steinmetz C, Bjarnason-Wehrens B, Walther C, Mengden  
T. The influence of a preoperative exercise training on he-  
modynamics in patients awaiting CABG surgery. Herzmedi-  
zin 2017;3:58-FV09.

- Februar 2017 Aufbau einer neuen Herzsportgruppe für herzinsuffiziente Patienten in Kooperation mit dem Kerckhoff Rehabilitationszentrum und dem Kneipp Verein Bad Nauheim e.V.
- Oktober 2016 Vortrag auf dem Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation (DGPMR, Gießen) zum Thema: „Krafttraining bei Herzinsuffizienz - die Sicht des Sportwissenschaftlers“
- Oktober 2016 Steinmetz C. Krafttraining bei Herzinsuffizienz - die Sicht des Sportwissenschaftlers. Phys Med Rehab Kuror 2016; 26-A64.
- September 2016 Vorträge auf dem gemeinschaftlichen Kongress der DGPR und der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP) zu den Themen: „Risikofaktoren und körperliche Aktivität älterer Patienten mit KHK zwei Jahre nach stationärer AHB“ und „Preoperative aerobic exercise training in patients scheduled for CABG: a feasibility study“
- August 2016 Steinmetz C, Bjarnason-Wehrens B, Mengden T. Risikofaktoren und körperliche Aktivität älterer Patienten mit KHK zwei Jahre nach stationärer AHB. Dtsch Z Sportmed 2016 Juli/Aug;67:187.
- August 2016 Steinmetz C, Bjarnason-Wehrens B, Walther C, Walther T, Mengden T. Preoperative aerobic exercise training in patients scheduled for CABG: a feasibility study. Germ J Sport Med 2016 Juli/Aug;67:188.
- Juni 2015 Posterpräsentation auf dem Kongress der DGPR in Berlin zum Thema „Klinischer Verlauf und Bewegungsverhalten älterer Patienten zwei Jahre nach stationärer Anschlußheilbehandlung (AHB) - Ergebnisse einer deskriptiven Fragebogenanalyse“

---

November 2014	Projektförderung „Prä-Rehabilitation vor Bypass-Operation“ der Deutschen Herzstiftung e.V. als Nachwuchswissenschaftlerin in Höhe von 30.000 €
November 2014	Tai Chi Diplom an der Beijing Sportsuniversity in China
Mai 2012	Heilpraktiker (Erlaubnis zur berufsmäßigen Ausübung der Heilkunde ohne Bestallung)
Seit 2011	Leitung der Sport- und Bewegungstherapie am Kerckhoff Rehabilitationszentrums Bad Nauheim
2009 – 2011	Sportwissenschaftlerin bei Medical Park City Med Frankfurt GmbH
seit 2009	Betreuung von diversen Herzgruppen
2009	Diplomarbeit zu dem Thema „Der Effekt unterschiedlicher Vibrationsstimuli auf die Zelldichte und Cartilage Oligometric Matrix Protein in der Achillessehne von Ratten“. Betreut durch Hr. Prof. Dr. Brüggemann, Institut für Biomechanik, DSHS Köln

## 9. ABSTRACT

**Introduction:** The majority of patients awaiting coronary artery bypass graft surgery (CABG) are physically inactive to avoid further risks. Aim of this randomized controlled trial was to investigate the effect of a preoperative supervised two week endurance training on the pre-, peri- and postoperative outcomes of patients awaiting elective CABG.

**Methods:** 203 patients (21 female; 182 male;  $67.1 \pm 8.4$  years) were randomly assigned to either an intervention group (IG,  $n = 88$ , 9 female; 79 male;  $66.1 \pm 9.0$ ) or a control group (CG,  $n = 115$ , 12 female; 103 male;  $67.9 \pm 7.9$  years). There has been no major significant difference between the groups at baseline. 59 patients (25,7%) did not finish the study for reasons not related to preoperative intervention. Patients of IG participated in a preoperative aerobic endurance exercise program on a cycle ergometer with monitoring with six training sessions within two weeks. Exercise intensity was 70% of  $VO_{2peak}$ . Patients of CG were physically inactive. At baseline (T1), one day before surgery (T2), at the beginning (T3) and at the end (T4) of cardiac rehabilitation (CR) measurements of endothelial function using finger plethysmography (peripheral arterial tonometry [PAT]), pulse wave analysis (values obtained by Mobil-O-Graph®) as well as cardiopulmonary exercise test, six minute walking test (6MWD) and timed up and go test (TUG) were performed. In addition patients were asked to fill in following questionnaires: the MacNew questionnaire for quality of life (QoL), the HADS-D for anxiety and depression and the MOSES for mobility and self-care.

**Results:** In the IG the preoperative aerobic exercise training was well tolerated. No adverse symptoms occurred during exercise sessions. In both groups functional capacity improved significantly during preoperative period. The benefits were significantly more pronounced in the IG (6MWD IG:  $\Delta 50.5$  m,  $p < 0.001$ ; CG:  $\Delta 14.2$  m,  $p < 0.001$ ;  $p = 0.003$ ; TUG: IG:  $\Delta 0.8$  s,  $p < 0.001$ ; CG:  $\Delta 0.1$  s,  $p < 0.001$ ;  $p = 0.018$ ). During the preoperative period significant interaction between groups was also found in systolic and diastolic BP with greater benefits in the IG (systolic BP: IG:  $\Delta 8.2$  mmHg,  $p < 0.001$ ; CG:  $\Delta 3.2$  mmHg;  $p < 0.001$ ;  $p = 0.020$ ; diastolic BP: IG:  $\Delta 5.6$  mmHg,  $p < 0.001$ ; CG:  $\Delta 1.2$  mmHg,  $p < 0.001$ ;  $p = 0.003$ ). Significant interaction between groups during preoperative period was found in all domains of QoL too. IG was showing more pronounced improvements than CG (IG:  $\Delta 0.3 - 0.4$ ,  $p \leq 0.001$ ; CG:  $\Delta 0 - 0.1$ ;  $p \leq 0.001$ ;

$p < 0.001$ ). Similar and sustained effects could be demonstrated in the postoperative period with better developments in 6MWD (T1 vs. T3: IG:  $\Delta$  -64.7 m; CG:  $\Delta$  -100.8 m;  $p = 0.013$ ; T1 vs. T4: IG:  $\Delta$  +47.2 m; CG:  $\Delta$  +5.7 m;  $p < 0.001$ ) and TUG (T1 vs. T3: IG:  $\Delta$  +1.4 s; CG:  $\Delta$  +2.6 s;  $p = 0.003$ ) in IG compared to CG. An age-related analysis of over 70 years old patient showed no significant interaction but significant lower values in diastolic BP (T1, T2, T4:  $p < 0.01$ ), central diastolic BP (T1, T2, T4:  $p < 0.02$ ), 6MWD (T3, T4:  $p < 0.02$ ), cardiopulmonary exercise test ( $Watt_{max}$ , T1-T4:  $p < 0.05$ ;  $VO_{2peak}$ , T1-T4:  $p < 0.02$ ), anxiety score (T1-T3:  $p < 0.04$ ) and higher ones in TUG (T1-T4:  $p < 0.001$ ), pulse wave velocity (T1-T4:  $p < 0.001$ ) and mobility and self care in the item „moving around using equipment“ (T4:  $p < 0.02$ ) in comparison to younger patients. The preoperative exercise training had no impact on the endothelial function, pulse wave analysis or the results of cardiopulmonary exercise test. Furthermore no significant changes were found in questionnaires for anxiety and depression or mobility and self-care.

**Discussion:** A short-term endurance training in elderly patients (> 67 years) with stable coronary artery disease awaiting CABG is feasible and effective to improve preoperative functional capacity (6MWD, TUG), hemodynamic parameters, quality of life and to show even positive effects in CR in 6MWD and TUG. Further studies are needed to evaluate the efficacy of a prerehabilitation with longer duration (2 - 4 weeks) and/or a combined relaxation program, psychological treatment and individually dosed strength and aerobic exercise training. The focus of prerehabilitation in elderly patients should be set on enhancement of functional capacity in phase II CR to prevent care dependency and support the possibility of independent living.

**Einleitung:** Die meisten Patienten vor elektiver aortokoronarer Bypass-Operation sind während der Wartezeit inaktiv, um weitere Risiken zu vermeiden. Ziel dieser prospektiven randomisierten kontrollierten Interventionsstudie war es, die Auswirkungen eines zweiwöchigen präoperativen überwachten aeroben Ausdauertraining auf die Gefäßelastizität und Endothelfunktion, funktionale Kapazität, Lebensqualität und Aktivität des täglichen Lebens bei Patienten mit stabiler koronarer Herzkrankheit (KHK) und Indikation zur aortokoronaren Bypass-Operation zu untersuchen.

**Methodik:** Insgesamt wurden  $n = 203$  Patienten ( $n = 21$  Frauen;  $n = 182$  Männer;  $67,1 \pm 8,4$  Jahre) randomisiert einer Interventions- (IG,  $n = 88$ , 9 Frauen; 79 Männer;  $66,1 \pm 9,0$  Jahre) oder Kontrollgruppe (KG,  $n = 115$ , 12 Frauen; 103 Männer;  $67,9 \pm 7,9$

Jahre) zugeordnet. Zum Zeitpunkt der Randomisierung bestand kein bedeutender Unterschied zwischen den Gruppen. Die Drop-Out-Rate betrug 25,7% (n = 59). Die Gründe für den Drop-Out waren nicht auf das präoperative Training zurückzuführen. Das präoperative Interventionsprogramm bestand aus einem zweiwöchigen aeroben Ausdauertraining mit Monitoring, bei dem die Patienten sechs Trainingseinheiten mit einer Intensität von 70% der Peak  $VO_2$  auf dem Fahrradergometer absolvierten. Die KG trainierte nicht. Zu Beginn (T1), einen Tag präoperativ (T2), zu Rehabilitationsbeginn (T3) und -ende (T4) wurden folgende Untersuchungen durchgeführt: EndoPAT®-Messung (Periphere Arterielle Tonometrie), Pulswellenanalyse (Mobil-Graph®), Spiroergometrie, Sechs-Minuten-Gehtest (6MWT) und Timed up and go Test (TUG). Ergänzend wurde der MacNew-Fragebogen (T1-T4) verwendet, um die Lebensqualität (QoL) zu überprüfen, der HADS-D-Fragebogen, um Angst und Depression (T1-T4) zu erfassen sowie der MOSES-Fragebogen zur Bestimmung der Mobilität, Selbstversorgung und des häuslichen Lebens (T3,T4).

**Ergebnisse:** Das präoperative aerobe Ausdauertraining verlief komplikationslos und wurde von den Patienten gut toleriert. Präoperativ wurde in beiden Gruppen eine signifikante Veränderung der funktionalen Kapazität festgestellt, die in der IG signifikant deutlicher war (6MWD: IG:  $\Delta$  50,5 m,  $p < 0,001$ ; KG:  $\Delta$  14,2 m,  $p < 0,001$ ;  $p = 0,003$ ; TUG: IG:  $\Delta$  0,8 s,  $p < 0,001$ ; KG:  $\Delta$  0,1 s,  $p < 0,001$ ;  $p = 0,018$ ). Patienten der IG zeigten präoperativ eine signifikant höhere Reduktion der Blutdruckwerte im Vergleich zur KG (systolischer Blutdruck (sysBD): IG:  $\Delta$  8,2 mmHg,  $p < 0,001$ ; KG:  $\Delta$  3,2 mmHg;  $p < 0,001$ ;  $p = 0,020$ ; diastolischer BD (diasBD): IG:  $\Delta$  5,6 mmHg,  $p < 0,001$ ; KG:  $\Delta$  1,2 mmHg,  $p < 0,001$ ;  $p = 0,003$ ). Weiterhin wurde präoperativ in allen Domänen der QoL eine signifikant bessere Entwicklung in der IG festgestellt (IG:  $\Delta$  0,3 - 0,4,  $p \leq 0,001$ ; KG:  $\Delta$  0 - 0,1;  $p \leq 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Zu Beginn der Rehabilitation (T3) zeigten sich insbesondere bei der funktionalen Kapazität positive Effekte der präoperativen Intervention (6MWT: T1 vs. T3: IG:  $\Delta$  -64,7 m; KG:  $\Delta$  -100,8 m;  $p = 0,013$ ; T1 vs. T4: IG:  $\Delta$  +47,2 m; KG:  $\Delta$  +5,7 m;  $p < 0,001$ ; TUG: T1 vs. T3: IG:  $\Delta$  +1,4 s; KG:  $\Delta$  +2,6 s;  $p = 0,003$ ). Eine altersspezifische Analyse der > 70-Jährigen zeigte bei keinem Parameter eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Alter. Die älteren Patienten zeigten jedoch im Vergleich zu den  $\leq 70$ -Jährigen signifikant niedrigere Werte bei folgenden Parametern: diasBD (T1, T2, T4:  $p < 0,01$ ), zentraler diastolischer Blutdruck (T1, T2, T4:  $p < 0,02$ ), Sechs-Minuten-Gehstrecke (T3, T4:  $p < 0,02$ ), maximal erreichte Ergometerleistung ( $Watt_{max}$ , T1-T4:  $p < 0,05$ ), maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

(Peak VO<sub>2</sub>, T1-T4:  $p < 0,02$ ) und HADS-D Summenskala für Angst (T1-T3:  $p < 0,04$ ). Signifikant höhere Werte zeigten sich bei den älteren im Vergleich zu den jüngeren Patienten sowohl beim TUG (T1-T4:  $p < 0,001$ ), in der Pulswellengeschwindigkeit (T1-T4:  $p < 0,001$ ) und dem MOSES-Item „Gehen mit Hilfe“ (T4:  $p < 0,02$ ). Das präoperative Ausdauertraining zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Endothelfunktion und Gefäßelastizität, die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, Angst und Depression oder auf die Ergebnisse des MOSES-Fragebogens.

**Diskussion:** Ein kurzzeitiges aerobes Ausdauertraining bei älteren Patienten (> 65 Jahre) mit stabiler KHK vor aortokoronarer Bypass-Operation konnte komplikationslos durchgeführt werden. Die Trainingsintervention war ausreichend, um präoperativ die funktionale Kapazität (6MWT, TUG), hämodynamische Parameter und die Lebensqualität signifikant zu verbessern. Positive Effekte der Intervention zeigten sich zu Rehabilitationsbeginn im 6MWT und TUG. Die Durchführung weiterer prärehabilitativer Studien über eine längere Dauer (2 bis 4 Wochen) und mit einer kombinierten Trainingsintervention, bestehend aus Kraft- und Ausdauertraining, Entspannungstherapie und einem psychologischen Setting, ist empfehlenswert, um die Effektivität multimodaler Prärehabilitationsmodelle zu überprüfen. Der Schwerpunkt der Prärehabilitation sollte bei älteren Patienten vor allem auf der Verbesserung der präoperativen funktionalen Kapazität liegen, um eine Pflegebedürftigkeit zu vermeiden und ein selbstständiges Leben nach dem Eingriff zu gewährleisten.