

Auswirkungen verschiedener Intensitäten des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling direkt nach akutem Myokardinfarkt

Alexander Sigl

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der Technischen Universität München zur Erlangung eines
Doktors der Medizin (Dr. med.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: apl. Prof. Dr. Ute Reuning

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Martin Halle
2. Priv.-Doz. Dr. Lorenz Bott-Flügel

Die Dissertation wurde am 06.06.2023 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am 20.12.2023 angenommen.

Ich widme diese Arbeit meiner Ehefrau Katrin, meinen Töchtern Clara und
Amelie sowie meinen Eltern Rosmarie und Helmut

Abkürzungsverzeichnis

3D dreidimensional	LDL-C <i>Low density lipoprotein-Cholesterin</i>
ACE <i>Angiotensin-Converting Enzyme</i>	LV Linker Ventrikel
BMI Body-Mass-Index	LVEDD linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser
EDTA Ethylendiamintetraazetat	LVEDV linksventrikuläres enddiastolisches Volumen
EDV Enddiastolisches Volumen	LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion
EF Ejektionsfraktion	LVESV linksventrikuläres endsystolisches Volumen
EG <i>Exercise group</i>	MCH <i>Mean corpuscular haemoglobin</i>
EKG Elektrokardiographie	MCHC <i>Mean corpuscular haemoglobin concentration</i>
ESV Endsystolisches Volumen	MCV <i>Mean corpuscular volume</i>
EU Europäische Union	MCT Moderates kontinuierliches Ausdauertraining
Ex-AMI <i>Exercise training after acute myocardial infarction</i>	MHC Myosin-Schwerketten
HDL-C <i>High density lipoprotein-Cholesterin</i>	MI Myokardinfarkt
HFrEF <i>Heart failure with reduced ejection fraction</i>	MRT Magnetresonanztomographie
HIIT Höher- bis hochintensives Intervalltraining	NSTEMI Nicht-ST-Hebungsinfarkt
HMG-CoA Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzym-A	NT-pro-BNP <i>N terminales pro brain natriuretic peptide</i>
KHK Koronare Herzkrankheit	
KI Konfidenzintervall	

OR Odds Ratio

RPE *rating of perceived exertion*

PCI Perkutane transluminale
Intervention

STEMI ST-Hebungsinfarkt

PET Positronenemissionstomographie

SV Schlagvolumen

RAAS Renin-Angiotensin-Aldosteron-
System

UC *Usual Care*

VO₂peak maximale Sauerstoffaufnahme

RCT *randomized controlled trial*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Definition und Epidemiologie des Myokardinfarktes.....	1
1.2	Ventrikuläres Remodeling nach Myokardinfarkt	2
1.3	Ventrikuläres Remodeling in der Echokardiographie.....	3
1.4	Körperliches Training nach akutem Myokardinfarkt	5
2	Zielsetzung	10
3	Material und Methoden	11
3.1	Patientenkollektiv	11
3.2	Studien- und Untersuchungsablauf	13
3.2.1	Studiendesign der Ex-AMI-Pilotstudie	13
3.2.2	Untersuchungsablauf	14
3.3	Trainingskonzept	18
3.4	Statistische Methoden	21
4	Ergebnisse	22
4.1	Patientencharakteristika und grundlegende Ergebnisse.....	22
4.2	Ergebnisse der Echokardiographie	24
4.3	Ergebnisse weiterer sekundärer Endpunkte	32
5	Diskussion	36
5.1	Zusammenfassung der wesentlichen Studienergebnisse	36
5.2	Einordnung der Ex-AMI-Pilotstudie in die aktuelle Literatur	36
5.2.1	Patientenkollektiv	36
5.2.2	Studien- bzw. Trainingskonzept.....	37
5.2.3	Studienergebnisse	38
5.2.4	Potentielle zugrundeliegende Mechanismen	42
5.3	Limitationen der Ex-AMI-Pilotstudie.....	43
5.4	Fazit der Ex-AMI-Pilotstudie	45

5.5	Ausblick	45
6	Zusammenfassung (deutsch/englisch).....	47
6.1	Zusammenfassung deutsch	47
6.2	Zusammenfassung englisch	49
7	Abbildungsverzeichnis	51
8	Tabellenverzeichnis.....	52
9	Literaturverzeichnis.....	53
10	Anhang	61
10.1	Trainingsprotokoll HIIT	61
10.2	Trainingsprotokoll MCT.....	87
	Danksagung	113

1 Einleitung

1.1 Definition und Epidemiologie des Myokardinfarktes

Definition des Myokardinfarktes

Laut der 4. allgemeingültigen Definition des Myokardinfarktes (Thygesen et al., 2019) wird das Absterben von Myokardzellen aufgrund einer myokardialen Ischämie (Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot zu Sauerstoffverbrauch) als Myokardinfarkt (MI) bezeichnet. Der Untergang von Myokardzellen wird dabei laborchemisch durch die Erhöhung des kardialen Troponins objektiviert. Bei akuter Schädigung werden steigende bzw. fallende Troponin-Werte oberhalb der 99. Perzentile des oberen Referenzlimits im Blut gemessen. (Apple et al., 2015; Thygesen et al., 2012; Thygesen et al., 2010) Die myokardiale Ischämie äußert sich häufig durch krankheitsassoziierte Symptome (Dyspnoe, Brustschmerzen mit Ausstrahlung in obere Extremität, Unterkiefer, Epigastrium, etc.) bzw. mit Veränderungen in der Elektrokardiographie (EKG). Mittels EKG kann dabei eine Unterscheidung zwischen ST-Hebungsinfarkt (STEMI) und Nicht-ST-Hebungsinfarkt (NSTEMI) getroffen werden. (Thygesen et al., 2019) Als STEMI wird ein MI bezeichnet, der mit einer charakteristischen Erhöhung der ST-Strecke im EKG in mindestens zwei benachbarten Ableitungen einhergeht (Ibanez et al., 2018). Beim NSTEMI sind diese charakteristischen EKG-Veränderungen nicht zu beobachten.

Epidemiologie des Myokardinfarktes

Kardiovaskuläre Erkrankungen sind nach wie vor die führende Todesursache innerhalb Europas (Timmis et al., 2022, p. 765). Innerhalb der Europäischen Union (EU) fordern Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems jährlich ca. 1,8 Millionen Tote. Kardiovaskuläre Erkrankungen sind damit für 37 % aller Todesfälle in der EU (34% bei Männern, 40 % bei Frauen) verantwortlich. (Wilkins et al., 2017, p. 11) Zwischen 1990 und 2015 stieg die absolute Zahl von kardiovaskulären Erkrankungen innerhalb der EU um 32 % bei Männern und 26% bei Frauen auf insgesamt 49 Millionen Erkrankte. Nach Adjustierung an die demographischen Entwicklungen (Anstieg der Gesamtbevölkerung, steigendes Durchschnittsalter) zeigte sich dagegen ein Rückgang der Prävalenz um 12%

bei Männern und 9% bei Frauen. Der stärkste Rückgang innerhalb Europas war mit 16,6% innerhalb der männlichen Bevölkerung in Deutschland zu verzeichnen. (Wilkins et al., 2017, pp. 52-53) In mehreren Studien konnte zudem ein Rückgang der Mortalität bei STEMI-Patienten aufgrund der umfassenden Nutzung von Reperfusionstherapie, inkl. perkutaner transluminaler Intervention (PCI), moderner antithrombotischer Therapie und Sekundärprävention, bestätigt werden (Gale et al., 2014; Puymirat et al., 2012). Trotz des Rückgangs bleibt die Mortalität bei STEMI-Patienten nach PCI mit ca. 10 % hoch (Yan et al., 2023).

1.2 Ventrikuläres Remodeling nach Myokardinfarkt

Ventrikuläres Remodeling bezeichnet einen kardialen Umbauprozess nach MI, bei dem die ventrikuläre Größe, Form und Funktion u.a. von mechanischen und neurohormonellen Faktoren reguliert wird (Sutton & Sharpe, 2000). Zugrunde liegende Mechanismen werden initial von der Infarzierung an sich abgeleitet und beinhalten Zelltod und Kontraktilitätsverlust in dem infarzierten Bereich. Aufgrund einer höheren hämodynamischen Belastung kommt es sekundär zu Ventrikeldilatation und Remodeling auch in nicht-infarzierten Bereichen. (Burchfield et al., 2013, p. 391)

Das ventrikuläre Remodeling nach MI läuft in mehreren Phasen ab. Zunächst kommt es unmittelbar nach Verschluss eines Koronargefäßes mit konsekutiver kardialer Ischämie zum Absterben kardialer Myozyten. Die kardialen Myozyten gehen via Nekrose, Apoptose oder Autophagie zugrunde. In der nächsten Phase setzen absterbende kardiale Myozyten intrazelluläre Proteine in den Kreislauf frei und triggern so eine inflammatorische Antwort. Inflammatorische Zellen (Neutrophile, Monozyten, Makrophagen und Lymphozyten) infiltrieren das myokardiale Gewebe. Diese Immunzellen entfernen abgestorbene Myozyten und ebnen den Weg für die Abheilung. Nach Abklingen der inflammatorischen Antwort kommt es zur Proliferation der kardialen Fibroblasten. Diese sezernieren extrazelluläre Matrixproteine, wie Kollagen Typ I, um eine fibrotische Narbe zu formen, die abgestorbene Myozyten ersetzt. Die resultierende fibrotische Narbe soll mit hoher Zugfestigkeit eine Ruptur verhindern. Das Remodeling des linken Ventrikels (LV) führt aufgrund des erhöhten Wandstress zu einer Hypertrophie der kardialen Myozyten in der Grenzzone des Infarktes, außerdem

zu einer Wandausdünnung und zu einer Ventrikeldilatation. (Burchfield et al., 2013, p. 392)

Die Hypertrophie der kardialen Myozyten stellt einen Schlüsselfaktor innerhalb des ventrikulären Remodelings dar, indem es der Volumenbelastung entgegenwirkt, die progressive Ventrikeldilatation abschwächt und die kontraktile Funktion zunächst stabilisiert. Aus diesem Grund handelt es sich bei der myokardialen Hypertrophie nach MI initial um einen adaptiven, funktionserhaltenden Prozess. (Sutton & Sharpe, 2000) Allerdings kommt es mit der Zeit durch chronische neurohormonelle Aktivierung, myokardiale Dehnung, erhöhte Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS)-Aktivität und verschiedene para- und autokrine Faktoren zu einer exzentrischen, pathologischen Hypertrophie. Durch o.g Faktoren resultiert eine progressive Verschlechterung der LV-Funktion bis zur Entwicklung einer Herzinsuffizienz. (Garza et al., 2015)

1.3 Ventrikuläres Remodeling in der Echokardiographie

Die initiale Phase des ventrikulären Remodelings nach MI ist gekennzeichnet durch eine fibrotische Abheilung des nekrotischen Areals mit Narbenbildung, Dehnung und Ausdünnung (Konstam et al., 2011). Die exzentrische hypertrophe Ventrikeldilatation ist dabei zunächst als Kompensationsmechanismus zu verstehen, der es erlaubt, trotz abnehmender Pumpfunktion das Schlagvolumen (SV) aufgrund erhöhter Ventrikeldimensionen konstant zu halten (Ross, 1983). Trotz des kompensatorischen Effekts der chronischen Ventrikeldilatation hinsichtlich des SV hat die exzentrische Hypertrophie nachteilige Effekte durch erhöhten Wandstress, neurohormonelle Aktivierung und proarrhythmische Mechanismen (Mann & Bristow, 2005). Diese Veränderungen, zusammen mit einer Verschlechterung der Funktion der pathologisch hypertrophierten Myozyten und der interstitiellen Fibrose im nicht-infarzierten Areal, resultieren in einer progressiven Abnahme der ventrikulären Funktion (Konstam et al., 2011, p. 99).

Die zweidimensionale Echokardiographie stellt ein breit verfügbares, non-invasives und etabliertes Verfahren zur Beurteilung des ventrikulären Remodelings dar. Allerdings unterliegen die geschätzten Volumina, die aus den zweidimensionalen Daten erhoben

werden, einer hohen Variabilität und Fehleranfälligkeit. Dies kommt durch Wahl der Bildebene, Ungenauigkeiten bei der Identifizierung der endokardialen Grenze, geometrischen Annahmen und durch Variabilität der LV-Volumina zwischen den einzelnen Herzschlägen zustande. (Konstam et al., 2011, pp. 99-100)

Die dreidimensionale (3D-) Echokardiographie stellt eine moderne Methode dar, um Volumina via Sonographie darzustellen. Durch die dreidimensionale Darstellung werden falsche geometrische Annahmen und Probleme mit der Positionierung der Bildebene vermieden. (Konstam et al., 2011, p. 100) Die dreidimensionale Echokardiographie hat, verglichen mit der zweidimensionalen Darstellung, eine höhere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Beurteilung der Ventrikel. Einige Studien konnten zeigen, dass die Messungen von ventrikulären Volumina, Masse und Ejektionsfraktion (EF) aus der dreidimensionalen Echokardiographie gut mit Messungen aus der kardialen Magnetresonanztomographie (MRT) korrelierten. (Jenkins et al., 2004; Takeuchi et al., 2008)

Die Messung der linksventrikulären EF vereint Elemente der systolischen Funktion und die Messung der exzentrischen Hypertrophie in einer Messung (Bristow et al., 2017, p. 773). Der Begriff EF wurde zuerst von Kennedy et al. (1966) benutzt, um die ausgeworfene Komponente des ventrikulären Blutvolumens zu beschreiben, gemessen als $EF = \frac{SV}{EDV}$. In der formelhaften Beschreibung der EF steht das SV für die kontraktile Funktion und das enddiastolische Volumen (EDV) für den Grad der Ventrikeldilatation aufgrund der exzentrischen Hypertrophie (Bristow et al., 2017, p. 773). Das EDV, gemessen in der dreidimensionalen Echokardiographie, korreliert stark (Korrelationskoeffizient: >0.90) mit der myokardialen Masse (Lee et al., 2001). Dies suggeriert, dass das EDV ein geeigneter Parameter zur Beurteilung von exzentrischer Hypertrophie ist (Bristow et al., 2017, p. 776). Das SV ist das Ergebnis von $EDV-ESV$, sodass das SV mit der Änderung des endsystolischen Volumens (ESV) [ein guter Marker für die intrinsische kontraktile Funktion (Grossman et al., 1977)] im Verhältnis zum EDV verknüpft ist (Bristow et al., 2017, p. 773). Es konnte gezeigt werden, dass EF, EDV und ESV jeweils unabhängige Prädiktoren für Tod oder Krankenhauseinweisungen aufgrund von Herzinsuffizienz bei Patienten nach MI waren (Solomon et al., 2005). Somit erscheinen o.g. echokardiographische Parameter, akquiriert in der dreidimensionalen Darstellung, prädestiniert zur Objektivierung des ventrikulären Remodelings nach MI.

1.4 Körperliches Training nach akutem Myokardinfarkt

Definition des körperlichen Trainings

Körperliches Training meint ein methodisches Konzept, das geplante und strukturierte Körperbewegungen beinhaltet, mit dem Ziel die körperliche Leistungsfähigkeit zu verbessern (Moraes-Silva et al., 2017, p. 142). Viele Arten des körperlichen Trainings sind möglich, z.B. moderates kontinuierliches Ausdauertraining (MCT), höher- bis hochintensives Intervalltraining (HIIT) und Krafttraining. Im Gegensatz zum MCT mit moderater aerober Intensität beinhaltet das Prinzip des Intervalltrainings mehrere Abschnitte höher- bis hochintensiver aerober körperlicher Belastung, die alternierend mit Perioden niedrigerer Intensität absolviert werden. Beispielsweise kann ein HIIT aus viermal vier Minuten hoher Intensität mit drei Minuten niedriger Intensität zwischen den Belastungsphasen bestehen. (Karlsen et al., 2017) Als Variablen des körperlichen Trainings gelten Frequenz, Dauer und Intensität (Piepoli et al., 2016, p. 2344). Als absolute Intensität bezeichnet man die Summe der Energie, die pro Minute verbraucht wird. Der Energieverbrauch wird mittels Sauerstoffaufnahme pro Minute (mlO_2/min) beurteilt. Eine andere Möglichkeit den Energieverbrauch zu quantifizieren, ist die Berechnung mittels metabolischem Äquivalent (MET). Ein MET entspricht dabei dem Energieverbrauch in Ruhe, im Sitzen. Dies entspricht einer Sauerstoffaufnahme von $3,5 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. (Vanhees et al., 2012) Die Messung in absoluten Werten berücksichtigt dabei keine individuellen Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Fitnesszustand. So können z.B. sechs MET für eine untrainierte, ältere Person die maximale Intensität darstellen, während eine junge, trainierte Person dies als moderat empfindet.

Die relative Intensität bezeichnet den Anstrengungsgrad, der notwendig ist, um eine bestimmte Aktivität durchzuführen. Untrainierte müssen einen höheren Anstrengungsgrad aufbringen als Trainierte, um die gleiche Aktivität durchzuführen. Der Anstrengungsgrad wird beispielsweise durch den Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\% \text{VO}_2\text{peak}$) oder den prozentualen Anteil der maximalen Herzfrequenz einer Person festgelegt. Auch die Angabe des individuellen Anstrengungsgrades mittels Einschätzung der subjektiv wahrgenommenen Belastung (*rating of perceived exertion* = RPE) ist möglich. (Visseren et al., 2021, p. 47) Zur besseren Trainingssteuerung bzw. individuellen Anpassung der Trainingsintensität an

den Fitnesszustand des Patienten ist daher die Steuerung mittels relativer Intensität von Vorteil.

Ein körperliches Training sollte folgende Bestandteile aufweisen: Warm-Up, Hauptteil (z.B. HIIT) und Cool-Down. Allmähliches Warm-Up bzw. Cool-down kann Verletzungen und unerwünschten kardialen Ereignissen vorbeugen. (Piepoli et al., 2016, p. 2345)

Trainingsbasierte Rehabilitationsprogramme bei kardiovaskulären Erkrankungen

In der Vergangenheit konnte gezeigt werden, dass eine trainingsbasierte Rehabilitation das Outcome nach MI verbessert. So konnte in einer großen Metaanalyse [34 randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) mit 6111 Patienten] festgestellt werden, dass eine trainingsbasierte Rehabilitation nach MI mit einem geringeren Risiko der Reinfarzierung [Odds Ratio (OR) 0,53], geringerer kardial bedingter Mortalität (OR 0,64) und reduzierter Gesamtsterblichkeit (OR 0,74) einherging. (Lawler et al., 2011) In einer weiteren großen Metaanalyse (71 RCTs mit 13824 Patienten) zeigten sich ebenfalls positive Effekte der trainingsbasierten Rehabilitation bei Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen. Die trainingsbasierte Rehabilitation führte zu einer verminderten Gesamtsterblichkeit (im Mittel 18,5%ige relative Risikoreduktion), einer reduzierten kardial bedingten Sterblichkeit (im Mittel 19,7%ige relative Risikoreduktion), einer reduzierten Reinfarzierung (im Mittel 15%ige relative Risikoreduktion) und zu geringeren Hospitalisierungsraten (31%ige relative Risikoreduktion). Zudem zeigten sich positive Veränderungen von modifizierbaren Risikofaktoren (Gesamtcholesterin, Triglyceride und systolischer Blutdruck). Die signifikante Reduktion von Gesamtsterblichkeit und kardial-bedingter Sterblichkeit kann mit anderen sekundärprophylaktischen Maßnahmen verglichen werden. (Oldridge, 2012) In einer 2011 veröffentlichten Metaanalyse (76 RCTs mit 170255 Patienten) zur Statintherapie als Primär- bzw. Sekundärprävention konnte eine Reduktion der Gesamtsterblichkeit bzw. der kardial bedingten Sterblichkeit von 10% bzw. 20% beobachtet werden (Mills et al., 2011). In einer Metaanalyse (46 Studien mit 87654 Patienten) zur Thrombozytenaggregationshemmung mit Aspirin konnte eine 20%ige Reduktion der Gesamtsterblichkeit gesehen werden (Lièvre & Cucherat, 2010). Mittels Nikotinverzicht konnte sogar eine Reduktion der Gesamtsterblichkeit um bis zu 36% beobachtet werden (Critchley & Capewell, 2003).

Aktuelle Konzepte des körperlichen Trainings nach Myokardinfarkt

Eine trainingsbasierte kardiale Rehabilitation wird allen MI-Patienten empfohlen. Dieses Rehabilitationsprogramm sollte an die individuelle Leistungsfähigkeit angepasst werden. Körperliches Training sollte dabei integraler Bestandteil des Rehabilitationsprogrammes sein. (Ibanez et al., 2018) Wie bereits erwähnt, konnten für eine trainingsbasierte kardiale Rehabilitation nach MI positive Effekte auf das Outcome (kardiale Mortalität und Gesamtsterblichkeit) beobachtet werden (Lawler et al., 2011; Oldridge, 2012). Bei der Untersuchung von Effekten des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling nach MI kamen verschiedene Studien zunächst zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während in einigen Studien positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling bestätigt werden konnten (Giallauria et al., 2013; Giallauria et al., 2008; Giannuzzi et al., 1997), wurde in anderen Studien kein (Dubach et al., 1997; Giannuzzi et al., 1993) oder sogar ein nachteiliger Effekt (Jugdutt et al., 1988; Kubo et al., 2004) beobachtet. Welche Faktoren des körperlichen Trainings nach MI einen positiven Einfluss auf das ventrikuläre Remodeling haben, wurde in einer Metaanalyse von 2011 untersucht (M. Haykowsky et al., 2011). Anhand von 12 RCTs mit insgesamt 647 Patienten wurde untersucht, wie körperliches Training das ventrikuläre Remodeling nach frischem MI (<3 Monate zurückliegend) beeinflusst und welche Faktoren dabei entscheidend sind. Diese Metaanalyse kam zu dem Ergebnis, dass körperliches Training insgesamt positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling nach akutem MI hat. Das Ausmaß des Effektes war im Wesentlichen abhängig vom Zeitpunkt des Trainingsbeginns und von der Dauer des Trainingsprogramms. Die größten Effekte wurden mit Beginn des körperlichen Trainings ca. eine Woche nach Krankenhausentlassung und bei einer Dauer des Trainingsprogramms von über drei Monaten beobachtet. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam eine weitere Metaanalyse aus dem Jahr 2016 (Zhang et al., 2016). In diese Metaanalyse wurden 22 RCTs mit insgesamt 1137 Patienten nach akutem MI eingeschlossen. Hierbei zeigte sich ebenfalls die größte Beeinflussung des ventrikulären Remodelings, wenn das körperliche Training während der Akutphase nach MI begann.

Intensität des körperlichen Trainings bei koronarer Herzkrankheit

Welchen Einfluss die Trainingsintensität auf das ventrikuläre Remodeling nach akutem MI hat, bleibt dagegen umstritten. Aus mehreren Metaanalysen bei stabilen Patienten mit koronarer Herzkrankheit (KHK) ist bekannt, dass HIIT die kardiopulmonale

Leistungsfähigkeit, gemessen an der VO_2 peak, gegenüber MCT signifikant mehr verbessert (Elliott et al., 2015; Hannan et al., 2018; Liou et al., 2016; Pattyn et al., 2014). Bei Verwendung von isokalorischen Trainingsprotokollen zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen HIIT und MCT bei stabilen KHK-Patienten (Gomes-Neto et al., 2017).

Intensität des körperlichen Trainings bei Herzinsuffizienz

Die Herzinsuffizienz ist die häufigste Komplikation und eine der wichtigsten Prognosefaktoren nach MI (Desta et al., 2015; Velagaleti et al., 2008). Bei stabilen Herzinsuffizienzpatienten wurde in einer kleineren Metaanalyse von 2013 mit sieben RCTs ein signifikant höherer Anstieg der VO_2 peak mit HIIT im Vergleich zu MCT beobachtet (M. J. Haykowsky et al., 2013). In einer weiteren Metaanalyse von 2018 konnte ebenfalls ein größerer Anstieg der VO_2 peak bei HIIT gezeigt werden, jedoch bestand kein Unterschied zwischen HIIT und MCT bei isokalorischen Trainingsprotokollen (Gomes Neto et al., 2018). In weiteren Studien konnten keine Unterschiede bzgl. der Auswirkung auf das ventrikuläre Remodeling, gemessen an der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF) oder dem linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LVEDD), festgestellt werden. (Iellamo et al., 2013; Tucker et al., 2019). Eine große multizentrische RCT mit 261 Herzinsuffizienzpatienten kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass HIIT dem MCT hinsichtlich VO_2 peak und LVEDD nicht überlegen war (Ellingsen et al., 2017).

Intensität des körperlichen Trainings nach akutem Myokardinfarkt

In den letzten Jahren wurde eine zunehmende Anzahl an Studien publiziert, die den Einfluss von unterschiedlichen Trainingsintensitäten auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit bzw. das ventrikuläre Remodeling bei Patienten nach akutem MI untersuchten. In einer Studie von 2015 wurde die Effektivität des HIIT im Vergleich zu MCT hinsichtlich der Verbesserung der VO_2 peak untersucht. Die Studie schloss 28 Patienten mit akutem MI nach PCI mit Drug-eluting Stent-Implantation ein. Nach sechs Wochen Training zeigte sich eine signifikant höhere VO_2 peak bei HIIT im Vergleich zu MCT. (Kim et al., 2015) Eine 2018 publizierte randomisierte, prospektive Studie mit 44 Patienten nach MI konnte ebenfalls eine signifikante Verbesserung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit nach HIIT im Vgl. zu MCT zeigen (Choi et al., 2018). In einer weiteren, größeren Studie mit 107 Patienten wurde HIIT mit der Standardbehandlung nach MI hinsichtlich der Verbesserung der VO_2 peak verglichen.

Hier zeigten die HIIT-Patienten ebenfalls eine größere Verbesserung der VO₂peak gegenüber den Patienten mit der Standardbehandlung. (Moholdt et al., 2012)

Im Jahr 2019 wurde von Trachsel et al. eine Studie mit 19 Patienten nach akutem MI ohne eingeschränkte Pumpfunktion (STEMI und NSTEMI, nicht älter als sechs Wochen) zu Auswirkungen des HIIT auf das ventrikuläre Remodeling nach akutem MI publiziert. Die Patienten wurden in eine HIIT-Gruppe und eine Kontrollgruppe (Standardbehandlung nach MI) randomisiert. Nach dreimonatiger Intervention zeigte sich bei der HIIT-Gruppe ein günstigeres ventrikuläres Remodeling im Vergleich zu der Kontrollgruppe, gemessen an echokardiographischen Parametern der LV-Funktion. In einer weiteren kürzlich publizierten Studie von Eser et al. (2022) mit 73 STEMI-Patienten fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen MCT und HIIT bezüglich der kardiorespiratorischen Fitness nach dreimonatigem körperlichen Training mit isokalorischen Trainingsprotokollen. Hinsichtlich der echokardiographischen Parameter fanden sich für HIIT teilweise sogar nachteilige Effekte im Vergleich zu MCT. Eine 2022 publizierte Metaanalyse untersuchte die Effektivität von HIIT bei MI-Patienten. Es wurden insgesamt Daten von 387 Patienten aus acht Studien ausgewertet. Dort konnte ein signifikant höherer Anstieg der VO₂peak nach HIIT im Vgl. zu MCT bzw. Standardbehandlung nach MI dargestellt werden. Dagegen konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich LVEF u. linksventrikulärem enddiastolischem Volumen (LVEDV) zwischen den o.g. Vergleichsgruppen nachgewiesen werden. (Qin et al., 2022)

Aufgrund der aktuellen Studienlage bleibt weiterhin unklar, wie sich unterschiedliche Trainingsintensitäten nach akutem MI auf das ventrikuläre Remodeling auswirken. Die Auswirkungen von HIIT auf das ventrikuläre Remodeling im Vergleich zu MCT und Standardtherapie wurden bisher kaum nach akutem STEMI untersucht. Bei der im Folgenden beschriebenen Ex-AMI (*Exercise training after acute myocardial infarction*)- Pilotstudie handelte es sich um eine der ersten Studien, die eine solche Fragestellung bei diesem hoch-vulnerablen Patientenkollektiv untersuchte.

2 Zielsetzung

Kardiovaskuläre Erkrankungen sind aktuell die führende Todesursache innerhalb Europas (Timmis et al., 2022, p. 765). Trotz eines Rückgangs der Mortalität in den vergangenen Jahren (Gale et al., 2014; Puymirat et al., 2012) bleibt die Mortalität bei STEMI-Patienten nach PCI mit ca. 10 % hoch (Yan et al., 2023). Nach einem akuten MI kommt es zu einem ventrikulären Remodelingprozess, der zu einer progressiven Verschlechterung der LV-Funktion bis zur Entwicklung einer Herzinsuffizienz führt (Garza et al., 2015). Die Herzinsuffizienz stellt wiederum die häufigste Komplikation nach STEMI dar und ist eine der wichtigsten Prognosefaktoren nach MI (Desta et al., 2015; Velagaleti et al., 2008).

In mehreren Übersichtsarbeiten wurden die positiven Auswirkungen des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling nach MI dargelegt (Garza et al., 2015; Moraes-Silva et al., 2017). Eine Metaanalyse von 2011 konnte diese positiven Effekte bestätigen. Die größten Effekte zeigten sich bei Beginn des körperlichen Trainings ca. eine Woche nach Krankenhausentlassung und bei einer Dauer des Trainingsprogramms von über drei Monaten. (M. Haykowsky et al., 2011) Der Einfluss der Trainingsintensität auf das ventrikuläre Remodeling nach akutem MI ist zum momentanen Zeitpunkt unklar. Die Auswirkungen von HIIT auf das ventrikuläre Remodeling im Vergleich zu MCT und Standardtherapie direkt nach akutem STEMI sind dabei bisher kaum untersucht worden.

Die Hypothese der Ex-AMI-Pilotstudie war, dass ein 24-wöchiges körperliches Training direkt nach STEMI gegenüber der Standardbehandlung, hinsichtlich der positiven Auswirkungen auf das ventrikuläre Remodeling (gemessen an dreidimensionalen echokardiographischen Parametern), überlegen sei. Zudem wurde angenommen, dass HIIT effektiver sei als MCT.

Mit der Ex-AMI-Pilotstudie sollte gezeigt werden, dass ein körperliches Training bei diesem vulnerablen Patientenkollektiv in der Akutphase machbar ist. Darüber hinaus sollten die positiven Auswirkungen des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling nach akutem MI bestätigt und eine Aussage zur optimalen Trainingsintensität nach akutem STEMI getroffen werden.

3 Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv der Ex-AMI-Pilotstudie bestand aus 19 Patienten mit akutem STEMI [nach 4. allgemeingültiger Definition (Thygesen et al., 2019)]. 18 der 19 Patienten waren männlich, das mittlere Alter bei Studienbeginn lag bei 58 ± 7 Jahren. Alle Patienten erhielten eine leitliniengerechte medikamentöse Therapie nach STEMI. Lediglich ein Patient erhielt keine Betablocker. Die leitliniengerechte Pharmakotherapie nach STEMI beinhaltete eine doppelte Thrombozytenaggregationshemmung, Angiotensin-Converting Enzyme (ACE)-Inhibitoren bzw. Angiotensin-II-Rezeptorantagonisten (Sartane), eine Betablocker-Therapie und bei Bedarf eine lipidsenkende Therapie vorzugsweise mit Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzym-A (HMG-CoA)-Reduktasehemmern (Ibanez et al., 2018, pp. 149-153). Die Patienten wurden im Anschluss an die Eingangsuntersuchung, stratifiziert nach Infarktlokalisierung (Vorderwand- oder Hinter-/Seitenwandinfarkt), 1:1:1 in drei Gruppen randomisiert. Sechs Patienten wurden der HIIT-Gruppe, weitere sechs der MCT-Gruppe und sieben der Kontrollgruppe (*usual care*, UC) zugewiesen. Die detaillierten gruppenbezogenen Patientencharakteristika können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Gruppenbezogene Patientencharakteristika

	HIIT (n=6)	MCT (n=6)	UC (n=7)
Alter in Jahren	58 ± 6	58 ± 6	58 ± 10
Geschlecht, männlich/weiblich	6/0	5/1	7/0
Vorderwandinfarkt	3	3	4
Hinter-/Seitenwandinfarkt	3	3	3
Body-Mass-Index in kg/m^2	$26,1\pm 3,6$	$28\pm 4,8$	$28,8\pm 3,6$
Systolischer Blutdruck in mmHg	110 ± 11	122 ± 13	121 ± 15
Diastolischer Blutdruck in mmHg	75 ± 10	82 ± 9	74 ± 5
Acetylsalicylsäure	6	6	7
P2Y ₁₂ -Antagonisten	6	6	7

Betablocker	6	5	7
ACE-Inhibitor/Sartane	6	6	7
HMG-CoA-Reduktasehemmer	6	6	7

Die Werte sind als Patientenzahl (n) oder als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. HIIT, höher-intensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, *usual care*; ACE-Inhibitoren, *Angiotensin-Converting Enzyme*-Inhibitoren; HMG-CoA-Reduktasehemmer, Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzym-A-Reduktasehemmer

Die Ein- und Ausschlusskriterien der Ex-AMI-Pilotstudie sind in Tabelle 2 aufgeführt. Bei den Einschlusskriterien ist besonders hervorzuheben, dass ausschließlich STEMI-Patienten mit einer reduzierten LV-Pumpfunktion (EF <55%) eingeschlossen wurden. Die Patienten wurden noch während der Akutphase nach akutem STEMI aus den kardiologischen Stationen des Klinikums rechts der Isar, Technische Universität München, Deutschland rekrutiert. Die Rekrutierungsphase ging von April 2016 bis Juli 2017. Der letzte Patient schloss die Studie am 09. Februar 2018 ab. Die Studie wurde von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Technischen Universität München, Deutschland genehmigt (Projektnummer 5271/11). Alle Patienten wurden schriftlich über die Teilnahmebedingungen der Ex-AMI-Pilotstudie aufgeklärt. Jeder Patient unterschrieb eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie.

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> • Erstmaliger STEMI • Reduzierte EF (<55%) • PCI ohne relevante Reststenose • Unterschriebene Einverständniserklärung des Patienten • Einwilligungsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Koronararterienbypass • Akute systemische Erkrankungen • Hämodynamisch relevante Klappenitien • Orthopädische Erkrankungen mit Sportuntauglichkeit • Alkohol-, Drogen-, oder Medikamentenabhängigkeit • Lebensbedrohliche Arrhythmien • Lebenserwartung <6 Monate

STEMI, ST-Hebungsinfarkt; EF, Ejektionsfraktion; PCI, Perkutane transluminale Intervention

3.2 Studien- und Untersuchungsablauf

3.2.1 Studiendesign der Ex-AMI-Pilotstudie

Bei der Ex-AMI-Pilotstudie handelte es sich um eine prospektive, monozentrische, randomisierte und kontrollierte Interventionsstudie. In Abbildung 1 wird der Rekrutierungsprozess dargestellt. Insgesamt wurden 116 STEMI-Patienten im Rahmen des Rekrutierungsprozesses während des Akutkrankenhausaufenthalts visitiert, von denen schließlich 19 Patienten eingeschlossen werden konnten. Die 19 Patienten wurden anschließend in eine der drei Studiengruppen randomisiert.

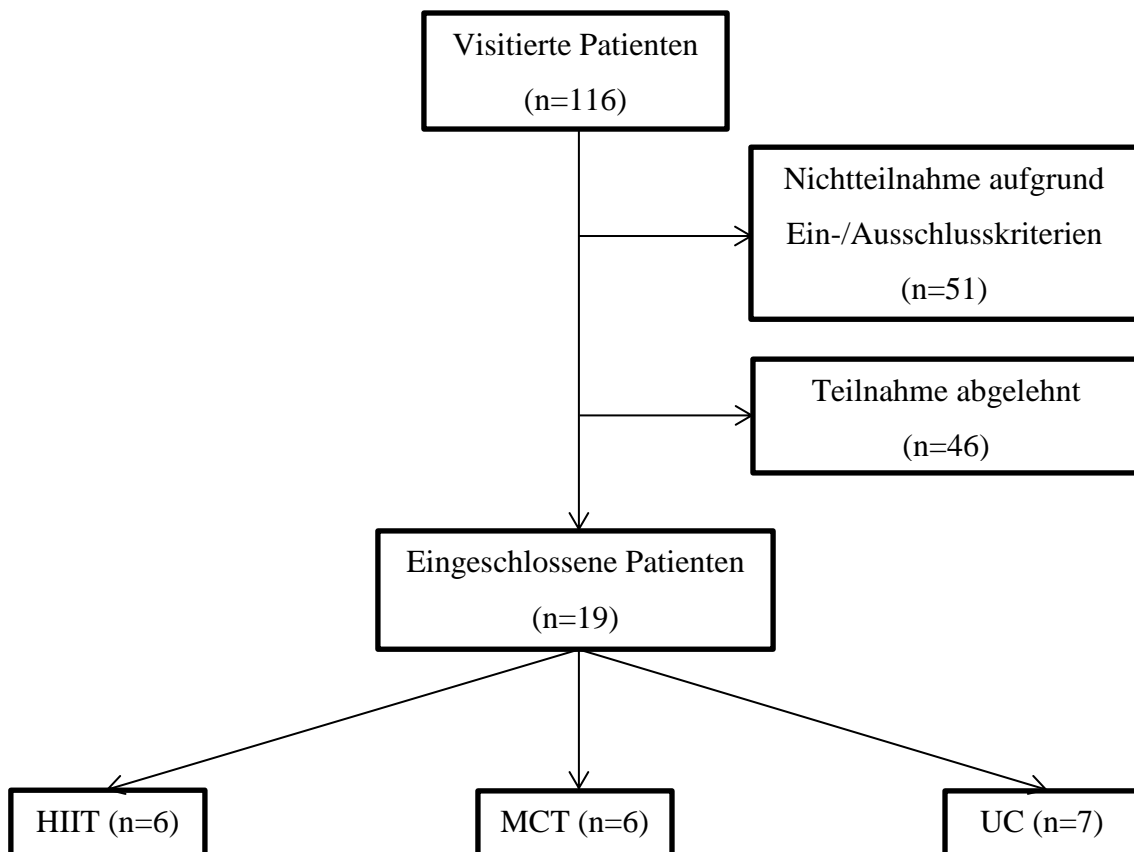


Abbildung 1: Flowchart zu Rekrutierungsprozess der Ex-AMI-Pilotstudie. HIIT, höher-intensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, usual care; n, Patientenzahl

Die Patienten der HIIT-Gruppe führten ein höher-intensives Intervalltraining (mehrere Abschnitte höher-intensiver aerober körperlicher Belastung, abwechselnd mit Abschnitten niedrigerer Intensität) mit einer Intensität von bis zu 80-85% der VO_2 peak

durch. Die Patienten der MCT-Gruppe absolvierten ein moderates kontinuierliches Training mit 50-60 % der VO_2 peak. Die UC-Gruppe erhielt kein supervidiertes körperliches Training. Die Trainingsgruppen (HIIT und MCT) trainierten dreimal wöchentlich auf einem Fahrradergometer über einen Zeitraum von 24 Wochen.

Bei der Eingangsuntersuchung, die unmittelbar nach dem stationären Aufenthalt stattfand, wurden die anthropometrischen, laborchemischen und echokardiographischen Ausgangsparameter erhoben. Außerdem erfolgte ein kardiopulmonaler Belastungstest zur Festlegung der individuellen Trainingsintensität sowie die Randomisierung in eine der drei Studiengruppen. Zwölf Wochen nach der Randomisierung fand eine Zwischenuntersuchung statt, bei der analog zur Eingangsuntersuchung o.g. Parameter erhoben wurden und wiederum ein kardiopulmonaler Belastungstest stattfand. Auf Grundlage der Ergebnisse des Belastungstests zur Zwischenuntersuchung erfolgte die Anpassung der individuellen Trainingsintensität. In der Abschlussuntersuchung, 24 Wochen nach der Randomisierung, wurden erneut die Parameter der Eingangs- und Zwischenuntersuchung ermittelt. Eine Zusammenfassung des zeitlichen Ablaufs der Studie ist in Abbildung 2 dargestellt.

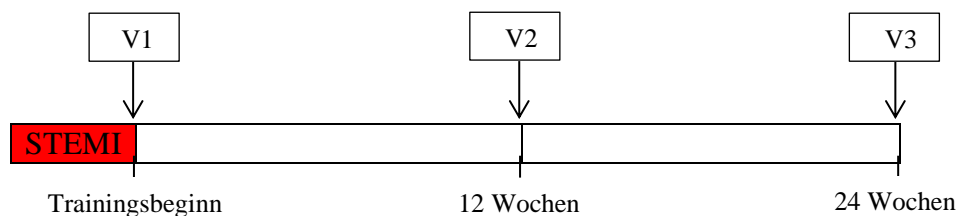


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf der Ex-AMI-Pilotstudie. STEMI, ST-Hebungsinfarkt; V1, Eingangsuntersuchung mit Randomisierung und Trainingsbeginn im Anschluss an den Akutkrankenhausaufenthalt (7 Tage nach STEMI); V2, Zwischenuntersuchung 12 Wochen nach Randomisierung; V3, Abschlussuntersuchung mit Trainingsende 24 Wochen nach Randomisierung

3.2.2 Untersuchungsablauf

Alle Untersuchungen fanden in der Abteilung Präventive Sportmedizin und Sportkardiologie, Klinikum rechts der Isar, TU München, Deutschland statt. Alle Patienten nahmen an einer Eingangs-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung teil. Der Untersuchungsablauf zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten war jeweils identisch. Er bestand aus Anamnese, körperlicher Untersuchung, sowie

anthropometrischen, laborchemischen und echokardiographischen Erhebungen in Kombination mit einem kardiopulmonalen Belastungstest.

Anamnese, körperliche Untersuchung und Anthropometrie

In der Anamnese wurden die Patienten von einem erfahrenen Facharzt bzw. einer erfahrenen Fachärztin für Kardiologie und Sportmedizin zum Auftreten kardiopulmonaler (Angina pectoris, Dyspnoe, etc.) bzw. orthopädischer Beschwerden (z.B. Verletzungen) im Rahmen des Trainingsprogramms befragt. In der anschließenden körperlichen Untersuchung erfolgte die internistisch-kardiologische sowie eine orthopädische Untersuchung.

Im Rahmen der körperlichen Untersuchung wurde der systolische und diastolische Blutdruck durch medizinisches Assistenzpersonal erhoben. Dabei wurde, nach vierminütiger Ruhephase, in sitzender Position eine manuelle Blutdruckmessung mittels Blutdruckmanschette (angepasst an den Oberarmumfang) und Stethoskop an beiden Armen durchgeführt. Der Mittelwert aus den systolischen bzw. diastolischen Werten beider Arme bildete den Blutdruckwert (systolisch/diastolisch in mmHg) des Patienten. In der Anthropometrie wurden Größe und Gewicht des Patienten bestimmt. Mithilfe der Formel $\frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$ wurde der Body-Mass-Index (BMI) berechnet.

Labordiagnostik

Jeder Patient erhielt eine venöse Blutentnahme durch medizinisches Fachpersonal. Hierzu erfolgte die Punktion einer Vene des Unterarms mit Abnahme von 7,5 ml venösem Blut zur Gewinnung von Blutserum und 2,7 ml zur Gewinnung von Ethylendiamintetraazetat (EDTA)-Blut. Die Blutproben wurden im Labor des Klinikums rechts der Isar, Technische Universität München, Deutschland analysiert. Das EDTA-Blut diente der Erhebung eines kleinen Blutbilds [Erythrozyten, Thrombozyten, Leukozyten, Hämoglobin, *mean corpuscular haemoglobin (MCH)*, *mean corpuscular haemoglobin concentration (MCHC)* und *mean corpuscular volume (MCV)*]. Im Blutserum wurden die Werte für Gesamtcholesterin, *low density lipoprotein*-Cholesterin (LDL-C), *high density lipoprotein*-Cholesterin (HDL-C) und *N terminales pro brain natriuretic peptide* (NT-pro-BNP) bestimmt. Bis zwölf Stunden vor der Blutentnahme waren keine Nahrungsaufnahme und keine Einnahme von kalorienhaltigen Getränken erlaubt.

Echokardiographie

Die Echokardiographie wurde von kardiologischen Fachärztinnen und Fachärzten mit langjähriger Erfahrung in der echokardiographischen Diagnostik durchgeführt. Die echokardiographischen Daten wurden mit dem Ultraschallgerät EPIQ 7 via X5-1 xMATRIX-Schallkopf (Philips, Amsterdam, Niederlande) akquiriert. Die Bildakquisition erfolgte transthorakal in Linksseitenlage. Während der echokardiographischen Untersuchung wurde ein EKG mit drei Ableitungen aufgezeichnet. Zunächst wurde zur Orientierung der Vierkammerblick im apikalen Schallfenster dargestellt. Die exakte Position des Ultraschallkopfes wurde dabei abhängig von der Kontur des LV und dessen Lage im Thorax gewählt. Ziel war es, das gesamte Volumen des LV inkl. endokardialer Grenzen zu umfassen, um eine bestmögliche dreidimensionale Darstellung zu gewährleisten. Ausgehend vom Vierkammerblick wurden automatisch zwei zusätzliche Ansichten bei 60° und 120° generiert. Computergestützt wurde dann ein dreidimensionales Bild aus o.g. Ansichten berechnet (Guta et al., 2019). In dem 3D-Quantifizierungsmodul Qlab 10, Softwareversion 10.2 (Philips, Amsterdam, Niederlande) wurden die am Probanden akquirierten dreidimensionalen Bilddaten analysiert. Zunächst wurde EKG-gestützt das enddiastolische bzw. endsystolische Einzelbild identifiziert. Danach erfolgte die Kennzeichnung von fünf Referenzpunkten. Vier Referenzpunkte wurden jeweils im enddiastolischen und endsystolischen Zustand am Mitralklappenring (septal, lateral, anterior und inferior) und ein Referenzpunkt am Apex platziert. Ausgehend von diesen Punkten berechnete die Software durch automatisierte Grenzdetektion ein vorläufiges dreidimensionales Modell des LV (sh. Abb.3).

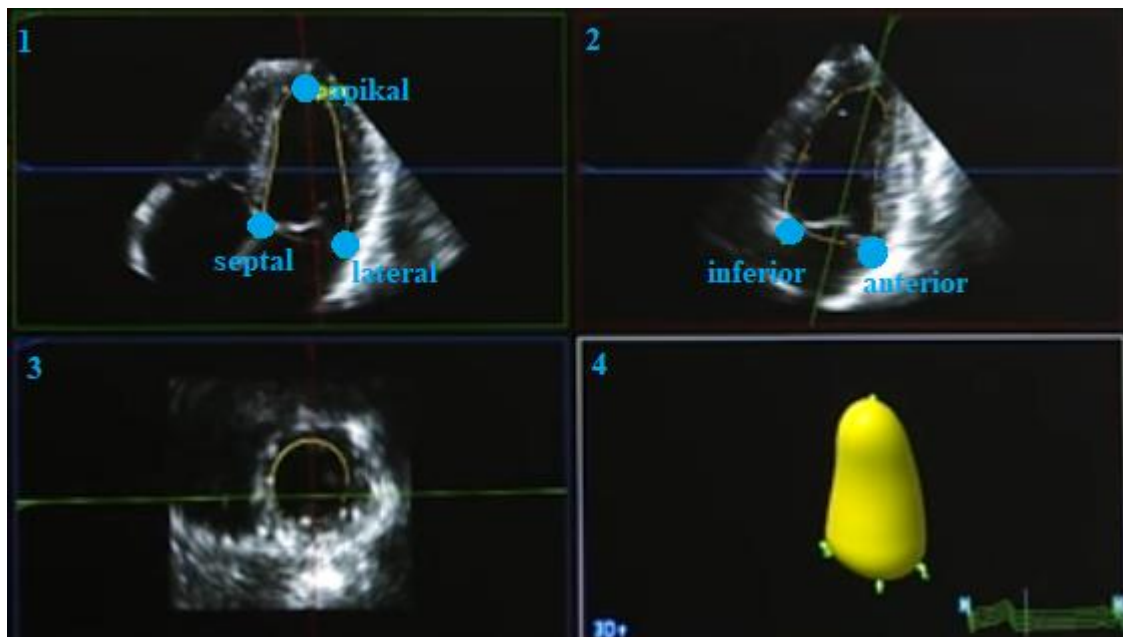


Abbildung 3: Quantifizierung des linksventrikulären Volumens mittels 3D-Quantifizierungsmodul Qlab 10, basierend auf Screenshot aus (Philips Healthcare, 2016, Min. 4:15). 1. Vierkammerblick mit Festlegung von drei Referenzpunkten; 2. Zweikammerblick mit Festlegung von zwei Referenzpunkten; 3. Parasternal kurze Achse; 4. 3D-Modell des linken Ventrikels endsystolisch

Danach bestand die Möglichkeit das vorläufige Modell zur präziseren Messung an die exakten endokardialen Grenzen anzupassen. Aus dem modifizierten dreidimensionalen Modell wurden dann das linksventrikuläre endsystolische Volumen (LVESV), LVEDV und die LVEF berechnet.

Kardiopulmonaler Belastungstest

Der kardiopulmonale Belastungstest erfolgte in Form einer Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer. Vor Belastungsbeginn wurden eine Blutdruckmanschette (angepasst an den Oberarmumfang), ein 12-Kanal-EKG und eine Atemmaske angelegt. Die spiroergometrischen Daten wurden mit dem System meta control 3000 (Cortex, Leipzig, Deutschland) erhoben. Die Atemgasanalyse wurde via METALYZER[®]3B (Cortex, Leipzig, Deutschland) durchgeführt. Das 12-Kanal-EKG während des Belastungstest wurde mit dem custo cardio 110 BT- EKG-Gerät (custo med, Ottobrunn, Deutschland) registriert. Der Blutdruck wurde manuell, mithilfe eines Stethoskops, von einer medizinischen Fachkraft gemessen. Zudem gaben die Patienten während der Belastung den subjektiven Anstrengungsgrad an, der durch die Borg 6-20-Skala (Borg, 1982) erfasst wurde. Als Belastungsprofil wurde ein individuell angepasstes Rampenprotokoll (kontinuierliche Steigerung des Belastungswiderstands) mit dem Ziel

einer maximalen Ausbelastung nach acht bis zwölf Minuten gewählt. Die Spiroergometrie diente neben der kardiopulmonalen Diagnostik insbesondere auch der Beurteilung der körperlichen Belastbarkeit sowie der Trainingssteuerung. Die Trainingsintensität wurde dabei anhand der erreichten VO_2 peak während der Belastung festgelegt. VO_2 peak bezeichnet nach Mezzani et al. (2013) die Sauerstoffaufnahme, die bei maximaler Anstrengung erreicht wird und über einen Zeitraum von 20 bis 30 Sekunden gemittelt wird. Der kardiopulmonale Leistungstest wurde durch einen Facharzt bzw. durch eine Fachärztin für Kardiologie und Sportmedizin supervidiert.

Primäre und sekundäre Endpunkte der Ex-AMI-Pilotstudie

Der primäre Endpunkt der Ex-AMI-Pilotstudie war die 3D-echokardiographisch bestimmte Änderung des LVEDV in Millilitern nach 24 Wochen. Sekundäre Endpunkte waren die Veränderung der LVEF, des LVESV anhand 3D-Echokardiographie nach 24 Wochen, sowie die Veränderung der körperlichen Leistungsfähigkeit (Bestimmung der VO_2 peak mittels Spiroergometrie nach 24 Wochen) und die Änderung des Herzinsuffizienzparameters NT-pro-BNP nach 24 Wochen.

Das Auftreten schwerwiegender unerwünschter Ereignisse wurde kontinuierlich überwacht. Als trainingsbezogen wurden Ereignisse definiert, die während oder bis zu drei Stunden nach dem Training auftraten.

3.3 Trainingskonzept

Sieben Tage nach STEMI begannen die beiden Trainingsgruppen (HIIT- und MCT-Gruppe) ihr 24-wöchiges Trainingsprogramm. Das Training wurde von kardiologisch-sportmedizinisch geschultem Personal in der Abteilung Präventive Sportmedizin und Sportkardiologie, Klinikum rechts der Isar, TU München, Deutschland durchgeführt. Hierbei wurde unter ärztlicher Aufsicht trainiert, um eine größtmögliche Sicherheit des Trainings gewährleisten zu können. Während der Trainingseinheiten wurden die Patienten mittels EKG überwacht. Die EKG-Registrierung erfolgte mittels custo cardio 110 BT- EKG-Gerät (custo med, Ottobrunn, Deutschland). Alle Trainingseinheiten fanden auf einem Fahrradergometer statt. Zu jeder Trainingseinheit wurde ein Trainingsprotokoll angefertigt (sh. Anhang). In das Trainingsprotokoll wurden vor der

Belastung Herzfrequenz und Blutdruck notiert. Während der Belastung wurden in definierten Zeitabständen Herzfrequenz, Widerstand (in Watt), der subjektive Anstrengungsgrad anhand der Borg 6-20-Skala und die Trittfrequenz erfasst. Fünf Minuten nach der Belastung wurden erneut Herzfrequenz und Blutdruck notiert. Der Patient konnte zudem das subjektive Befinden nach der Trainingseinheit von 1 („sehr gut“) bis 5 („sehr schlecht“) bewerten. Auf jedem Trainingsprotokoll wurde außerdem die Compliance des Patienten bzgl. der absolvierten Trainingseinheit vermerkt.

Für beide Trainingsgruppen begann das Trainingsprogramm mit einer zweiwöchigen Run-In-Phase (sh. Abb. 4) .Die Run-In-Phase bestand aus insgesamt sechs Trainingseinheiten innerhalb der ersten zwei Wochen. Die Trainingsintensität wurde basierend auf der $VO_2\text{peak}$ festgelegt, die bei der Eingangsuntersuchung mittels Spiroergometrie erhoben wurde. Die erste Trainingseinheit hatte einen Umfang von 20 min und wurde mit einer Intensität von 50-60% der $VO_2\text{peak}$ durchgeführt. Die sechste bzw. letzte Einheit der Run-In-Phase hatte bereits einen Umfang von 40 min. Die Intensität blieb bei 50-60% der $VO_2\text{peak}$. Die Run-In-Phase hatte den Zweck die Patienten langsam an die Trainingsintensität zu gewöhnen, um Überlastungserscheinungen und unerwünschten kardialen Ereignissen vorzubeugen.

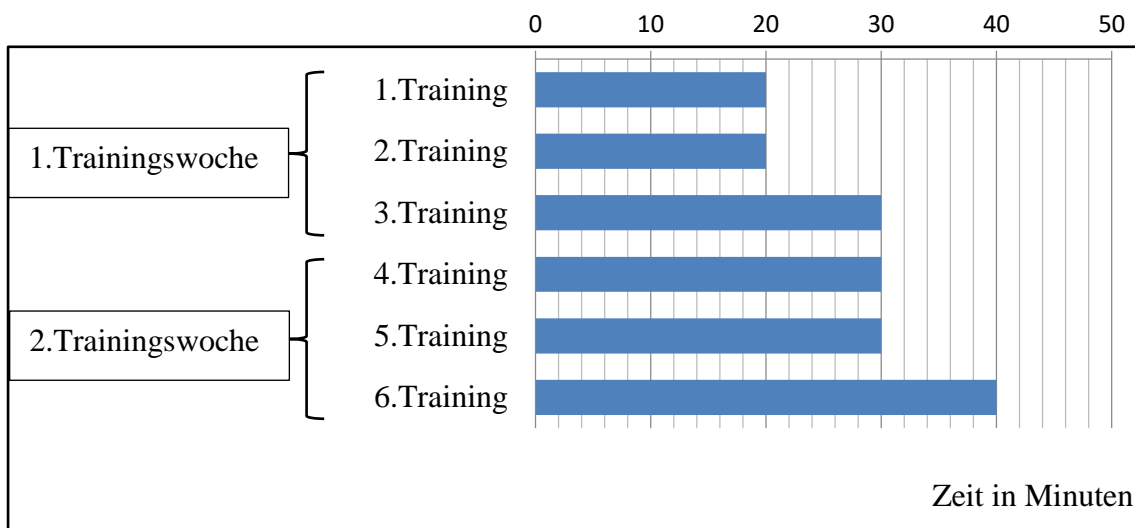


Abbildung 4: Run-In-phase der Trainingsgruppen mit 50-60% der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{peak}$)

Ab der dritten Woche nach Trainingsbeginn trainierten die Patienten entweder am Trainingszentrum weiter oder nahmen an einer stationären dreiwöchigen kardialen

Rehabilitationsmaßnahme teil. An den verschiedenen Standorten wurde jeweils das identische, zur initialen Gruppenzuweisung (HIIT, MCT bzw. UC) zugehörige Studienprotokoll absolviert. Nach drei Wochen stationärer Rehabilitation kehrten die Teilnehmer der HIIT- und MCT-Gruppe an den Trainingsstandort der Abteilung Präventive Sportmedizin und Sportkardiologie, TU München zurück und trainierten dort bis Woche 24 nach Trainingsbeginn. Beide Trainingsgruppen trainierten jeweils dreimal pro Woche.

Die Trainingseinheit der HIIT-Gruppe begann mit einem zehnminütigen Warm-Up, das mit einer Intensität von 50-60% der VO_2 peak durchgeführt wurde. Danach folgten vier Intervalle mit 80-85% der VO_2 peak für jeweils vier Minuten. Zwischen den Intervallen fanden dreiminütige aktive Erholungsphasen mit 50-60% der VO_2 peak statt. Die Gesamtdauer des HIIT betrug 38 Minuten pro Trainingseinheit (sh. Abb.5).

Die MCT-Gruppe absolvierte für 47 Minuten ein moderates kontinuierliches aerobes Ausdauertraining, mit einer Intensität von 50-60% der VO_2 peak (sh. Abb.5).

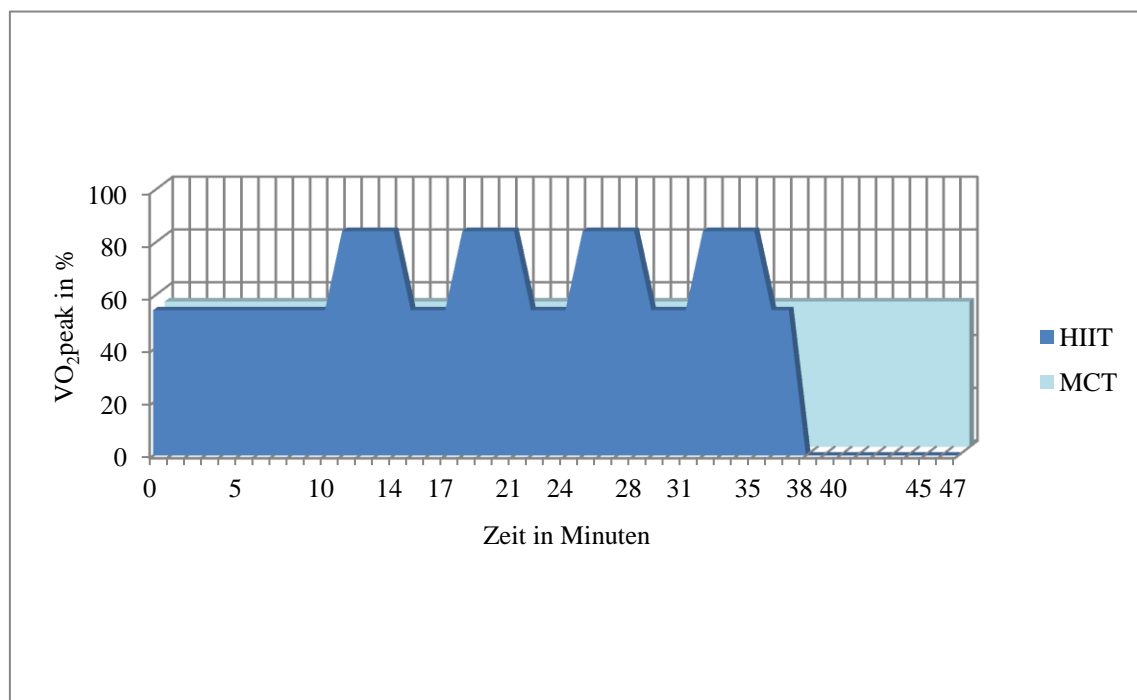


Abbildung 5: Trainingsintensität und Trainingsdauer beider Trainingsgruppen ab der dritten Trainingswoche. VO_2 peak, maximale Sauerstoffaufnahme; HIIT, höher intensives Intervalltraining, MCT, moderates kontinuierliches Training

Nach zwölf Wochen Training fand im Rahmen der Zwischenuntersuchung eine Reevaluation der VO₂peak mittels kardiopulmonalem Belastungstest statt. Die Reevaluation der VO₂peak und ggf. Anpassung der Trainingsintensität sollte gewährleisten, dass die Patienten weiterhin mit der optimalen individuellen Trainingsintensität trainierten.

Den STEMI-Patienten der UC-Gruppe wurde gemäß den aktuellen Leitlinien (Vgl. Ibanez et al., 2018, p. 148) empfohlen, an einer trainingsbasierten Rehabilitationsmaßnahme teilzunehmen. Darüber hinaus wurde den Patienten empfohlen, im Anschluss an die Rehabilitation weiter körperlich aktiv zu bleiben. Sie nahmen jedoch nicht an einem supervidierten Trainingsprogramm teil.

3.4 Statistische Methoden

Aufgrund der geringen Anzahl an Patienten wurde eine modifizierte Intention-to-treat-Analyse mit einfacher Verblindung des Untersuchers durchgeführt. Alle Variablen des primären Endpunkts sowie der sekundären Endpunkte waren verhältnisskaliert, sodass der T-Test für unverbundene Stichproben benutzt werden konnte. Zum Zweck der statistischen Analyse wurden die Patienten der HIIT- und MCT-Gruppe zur Trainingsgruppe (*exercise group*, EG) zusammengefasst. Der T-Test diente der Untersuchung von Unterschieden zwischen EG und UC. Darüber hinaus wurde eine Varianzanalyse (*analysis of variance*, ANOVA) verwendet, um Unterschiede zwischen den drei Gruppen zu entdecken (HIIT vs. MCT vs. UC). Bei einem signifikanten Unterschied zwischen EG und UC wurde ein Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen (HIIT vs. MCT) mittels T-Test für unverbundene Stichproben untersucht. Das p-Signifikanzniveau wurde für jeden Test auf 0,05 festgelegt. Die statistische Analyse wurde mit Microsoft Excel 2016 (Microsoft, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika) und SPSS Statistics Version 24 (IBM, Armonk, New York, Vereinigte Staaten von Amerika) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Patientencharakteristika und grundlegende Ergebnisse

Die Ausgangswerte für demographische, anthropometrische, laborchemische, spiroergometrische und echokardiographische Parameter sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Hinsichtlich dieser Parameter gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Studiengruppen bei Studienbeginn.

Tabelle 3: *Baselinecharakteristika der Studienpopulation*

	HIIT (n=6)	MCT (n=6)	UC (n=7)	p-Wert
Alter in Jahren	58±6	58±6	58±10	0,987
Body-Mass-Index in kg/m ²	26,1±3,6	28±4,8	28,8±3,6	0,485
Systolischer Blutdruck in mmHg	110±11	122±13	121±15	0,242
Diastolischer Blutdruck in mmHg	75±10	82±9	74±5	0,198
Gesamtcholesterin in mg/dl	150 ±26	155 ±32	164 ±20	0,625
LDL-C in mg/dl	99±23	99±29	108 ±13	0,700
HDL-C in mg/dl	38±8	43±9	43±16	0,701
NT-pro-BNP in ng/L	1460 ±1159	777 ±830	711 ±495	0,260
VO ₂ peak in ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	18,4 ±2,8	16,4±2,5	18,7±6,3	0,613
3D-LVEDV in ml	114,9±15,3	146,5 ±47,3	145,1±37,9	0,255
3D-LVESV in ml	62,9 ±13,2	77,0 ±32,3	81,4 ±30,2	0,461
3D-LVEF in %	45,7 ±7,0	48,4 ±6,2	45,0 ±6,7	0,641

Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben. LDL-C, *Low density lipoprotein*-Cholesterin; HDL-C, *High density lipoprotein*-Cholesterin; NT-pro-BNP, *N terminales pro brain natriuretic peptide*; VO₂peak, maximale Sauerstoffaufnahme; 3D-LVEDV, dreidimensionales linksventrikuläres enddiastolisches Volumen; 3D-LVESV, dreidimensionales linksventrikuläres endsystolisches Volumen; 3D-LVEF, dreidimensionale linksventrikuläre Ejektionsfraktion; HIIT, höherintensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, *usual care*

15 von 19 eingeschlossenen Patienten konnten die Studie nach 24 Wochen vollständig abschließen. Aus Abbildung 6 wird deutlich, dass alle Patienten der UC-Gruppe, fünf von sechs Patienten der HIIT-Gruppe und drei von sechs Patienten der MCT-Gruppe die Studie zu Ende führen konnten. Bei zwei Patienten führte eine ausgeprägte Sprachbarriere zum Abbruch der Studie. Ein Patient gab mangelnde Motivation als Grund für den Abbruch der Studie an. Ein Studienteilnehmer der MCT-Gruppe verstarb aufgrund einer nicht-trainingsassoziierten Ursache (Lungenembolie) ohne Zusammenhang mit der Trainingsintervention. Während der Trainingsintervention traten bei keinem Patienten unerwünschte kardiale Ereignisse auf.

Zur Testung von signifikanten Unterschieden wurden die Ergebnisse der beiden Interventionsgruppen (HIIT und MCT) zu einer EG zusammengefasst (sh. Abb. 6) und den Ergebnissen der Standardbehandlung (UC-Gruppe) gegenübergestellt. Im Falle von signifikanten Unterschieden zwischen der EG und UC wurden die beiden Trainingsgruppen HIIT und MCT miteinander verglichen. Die Parameter, die nach zwölf Wochen im Rahmen der Zwischenuntersuchung erhoben wurden, dienten der Adjustierung der Trainingsintensität. Diese Daten wurden daher nicht statistisch ausgewertet.

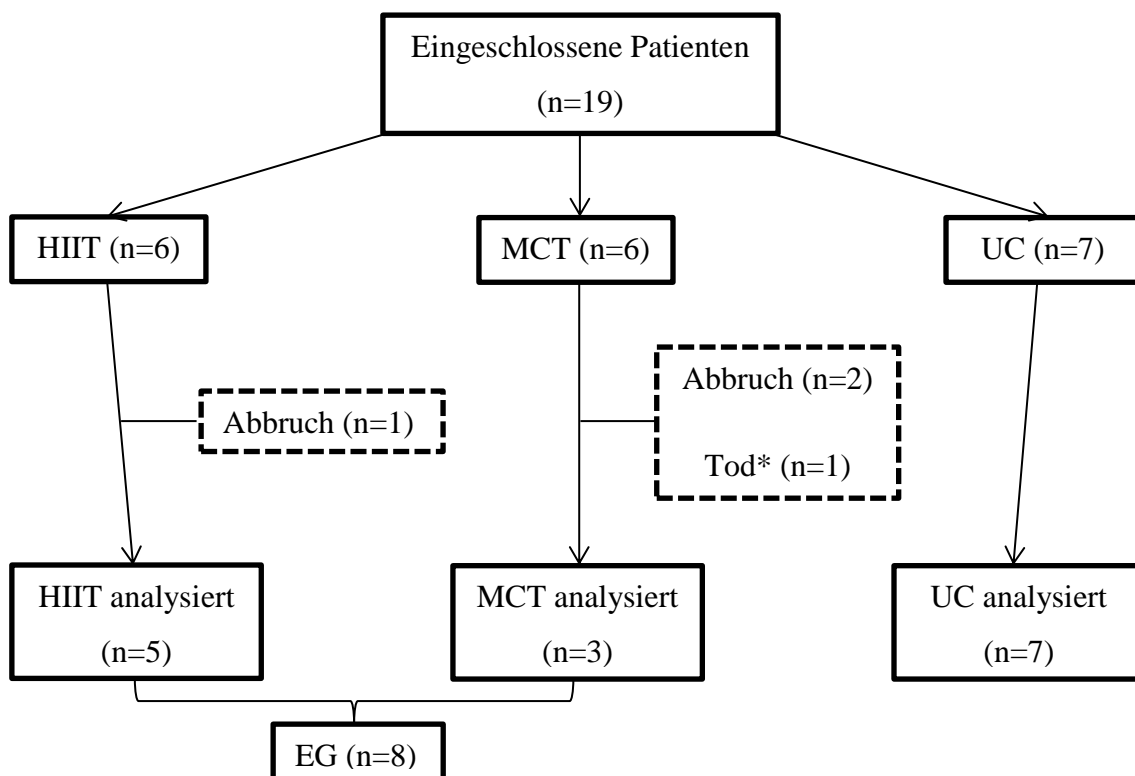


Abbildung 6: Flowchart zu Follow-Up nach 24 Wochen. HIIT, höher-intensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, usual care; EG, exercise group; n, Patientenzahl

*nicht-trainingsassoziiertes Tod

4.2 Ergebnisse der Echokardiographie

In der dreidimensionalen Echokardiographie wurden die Parameter LVEDV, LVESV und LVEF erhoben. Die Änderung des LVEDV nach 24 Wochen stellte den primären Endpunkt der Ex-AMI-Pilotstudie dar. Die Änderungen des LVESV und der LVEF nach 24 Wochen zählten zu den sekundären Endpunkten der Studie.

In Tabelle 4 sind alle echokardiographischen Ergebnisse zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (Eingangs-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung) aufgeführt. Des Weiteren enthält Tabelle 4 die Änderungen der jeweiligen echokardiographischen Parameter innerhalb von 24 Wochen (zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung).

Tabelle 4: Echokardiographische Ergebnisse

	Zeitpunkt	HIIT	MCT	UC
3D-LVEDV in ml	V1	114,9±15,3	146,5 ±47,3	145,1±37,9
	V2	108,7±13,2	141,9±47,9	139,4±37,7
	V3	108,5±14,3	140,9±63,4	137,0 ±34,2
	ΔV3-V1	-2,9±2,9	-11,2±5,3	-8,0±6,0
3D-LVESV in ml	V1	62,9±13,2	77,0 ±32,3	81,4 ±30,2
	V2	54,0±6,7	71,6 ±33,2	76,5 ±28,4
	V3	52,0±9,6	67,7 ±46,3	72,5 ±22,8
	ΔV3-V1	-10,3±5,4	-13,6±5,0	-8,8±9,8
3D-LVEF in %	V1	45,7 ±7,0	48,4 ±6,2	45,0 ±6,7
	V2	50,1 ±4,3	50,7 ±7,4	46,1 ±6,4
	V3	52,1 ±5,2	54,9 ±10,2	47,3 ±6,1
	ΔV3-V1	+7,6±3,6	+6,7±4,1	+2,3±2,3

Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben. 3D-LVEDV, dreidimensionales linksventrikuläres enddiastolisches Volumen; 3D-LVESV, dreidimensionales linksventrikuläres endsystolisches Volumen; 3D-LVEF, dreidimensionale linksventrikuläre Ejektionsfraktion; HIIT, höherintensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, *usual care*; V1, Eingangsuntersuchung; V2, Zwischenuntersuchung nach 12 Wochen; V3, Abschlussuntersuchung nach 24 Wochen; ΔV3-V1, Änderung zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung

In allen drei Studiengruppen zeigte sich eine Abnahme des LVEDV. In der HIIT-Gruppe konnte eine Abnahme des LVEDV um $-2,9 \pm 2,9$ ml, in der MCT-Gruppe um $-11,2 \pm 5,3$ ml und in der UC-Gruppe um $-8,0 \pm 6,0$ ml nach 24 Wochen nachgewiesen werden. Analog zu den Ergebnissen des LVEDV konnte hinsichtlich des LVESV ebenfalls eine Abnahme in allen drei Studiengruppen nach 24 Wochen verzeichnet werden. In der HIIT-Gruppe verkleinerte sich das LVESV um $-10,3 \pm 5,4$ ml, in der MCT-Gruppe um $-13,6 \pm 5,0$ ml und in der UC-Gruppe um $-8,8 \pm 9,8$ ml. In allen Studiengruppen konnte darüber hinaus eine Verbesserung der LVEF beim Vergleich von Eingangs- und Abschlussuntersuchung beobachtet werden. Die Patienten der HIIT-Gruppe zeigten innerhalb von 24 Wochen eine Verbesserung der LVEF von $45,7 \pm 7,0$ % auf $52,1 \pm 5,2$ % (Zunahme um $+7,6 \pm 3,6$ %). In der MCT-Gruppe konnte eine Zunahme der LVEF um $+6,7 \pm 4,1$ % in 24 Wochen verzeichnet werden, während sich die LVEF der UC-Gruppe um $+2,3 \pm 2,3$ % verbesserte.

Es erfolgte die statistische Analyse der Veränderungen des primären Endpunktes (LVEDV) sowie der sekundären, echokardiographischen Endpunkte (LVESV und LVEF) nach 24 Wochen. Tabelle 5 gibt hierzu einen Überblick über die Veränderungen der echokardiographischen Parameter in den jeweiligen Gruppen (EG vs. UC) inklusive der p-Werte.

Tabelle 5: Änderung echokardiographischer Parameter nach 24 Wochen - Vergleich von Trainingsgruppe mit Kontrollgruppe

	EG	UC	p-Wert
$\Delta 3D$ -LVEDV in ml	$-6,0 \pm 5,6$	$-8,0 \pm 6,0$	0,516
$\Delta 3D$ -LVESV in ml	$-11,5 \pm 5,2$	$-8,8 \pm 9,8$	0,533
$\Delta 3D$ -LVEF in %	$+7,3 \pm 3,5$	$+2,3 \pm 2,3$	0,007

Die Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. $\Delta 3D$ -LVEDV, Änderung des dreidimensionalen linksventrikulären enddiastolischen Volumens nach 24 Wochen; $\Delta 3D$ -LVESV, Änderung des dreidimensionalen linksventrikulären endsystolischen Volumens nach 24 Wochen; $\Delta 3D$ -LVEF, Änderung der dreidimensionalen linksventrikulären Ejektionsfraktion nach 24 Wochen; EG, exercise group

LVEDV – EG vs. UC

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede des LVEDV nach 24 Wochen zwischen EG und UC (EG: $-6,0 \pm 5,6$ ml; UC: $-8,0 \pm 6,0$ ml; $p=0,516$). In Abbildung 7 sind diese Ergebnisse als Boxplot dargestellt.

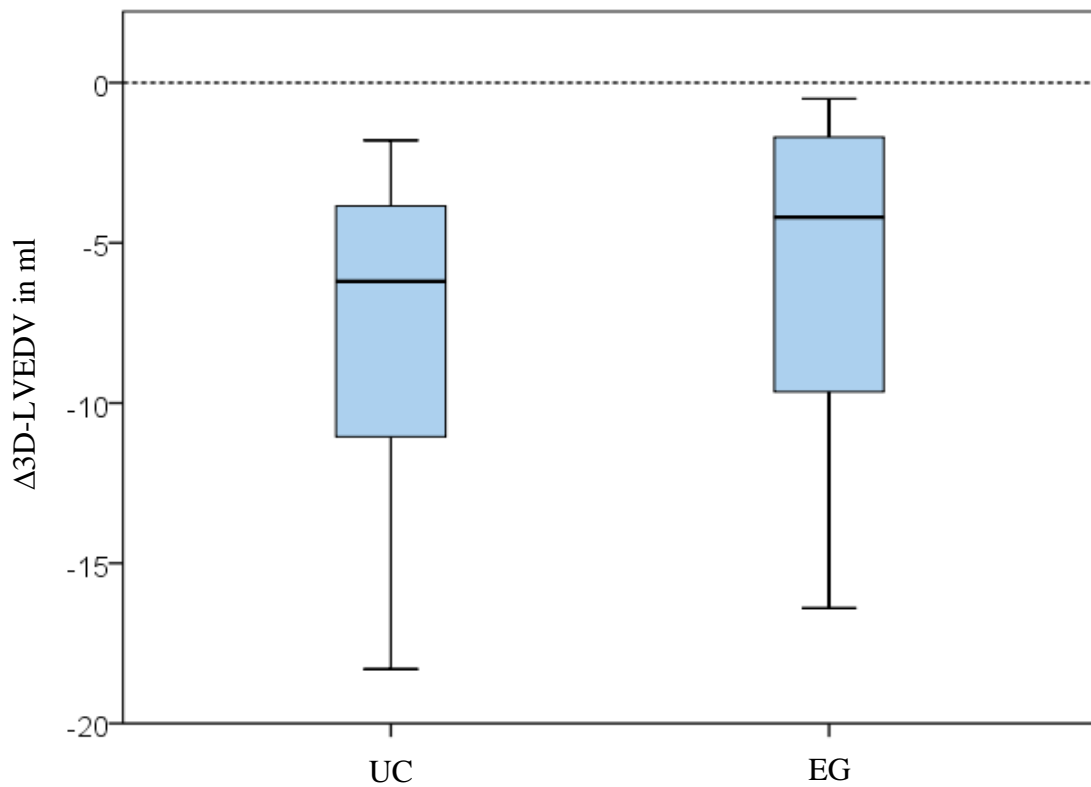


Abbildung 7: Boxplot zu Änderung des 3D-LVEDV nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe. $\Delta 3D$ -LVEDV, Änderung des dreidimensionalen linksventrikulären enddiastolischen Volumens nach 24 Wochen; UC, *usual care*; EG, *exercise group*

LVESV – EG vs. UC

Für das LVESV ließen sich zwischen EG und UC ebenfalls keine signifikanten Unterschiede nach 24 Wochen objektivieren (EG: $-11,5 \pm 5,2$ ml; UC: $-8,8 \pm 9,8$ ml; $p=0,512$; sh. Abb.8).

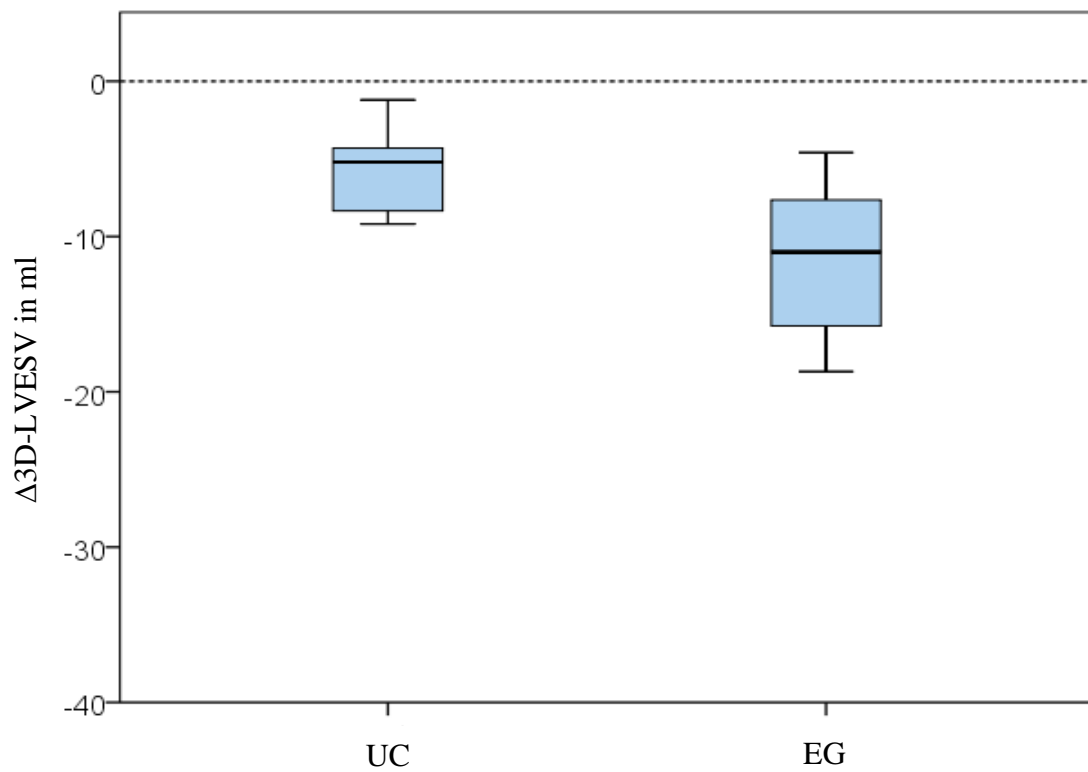


Abbildung 8: Boxplot zu Änderung des 3D-LVESV nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe. Δ 3D-LVESV, Änderung des dreidimensionalen linksventrikulären endsystolischen Volumens nach 24 Wochen; UC, *usual care*; EG, *exercise group*

LVEF – EG vs. UC

Bei Auswertung der LVEF zeigte sich dagegen ein signifikanter Unterschied zwischen der EG und UC nach 24 Wochen (EG: $+7,3 \pm 3,5\%$; UC: $+2,3 \pm 2,3\%$; $p=0,007$). Der Anstieg der LVEF in der EG war signifikant höher als in der UC-Gruppe (sh. Abb. 9).

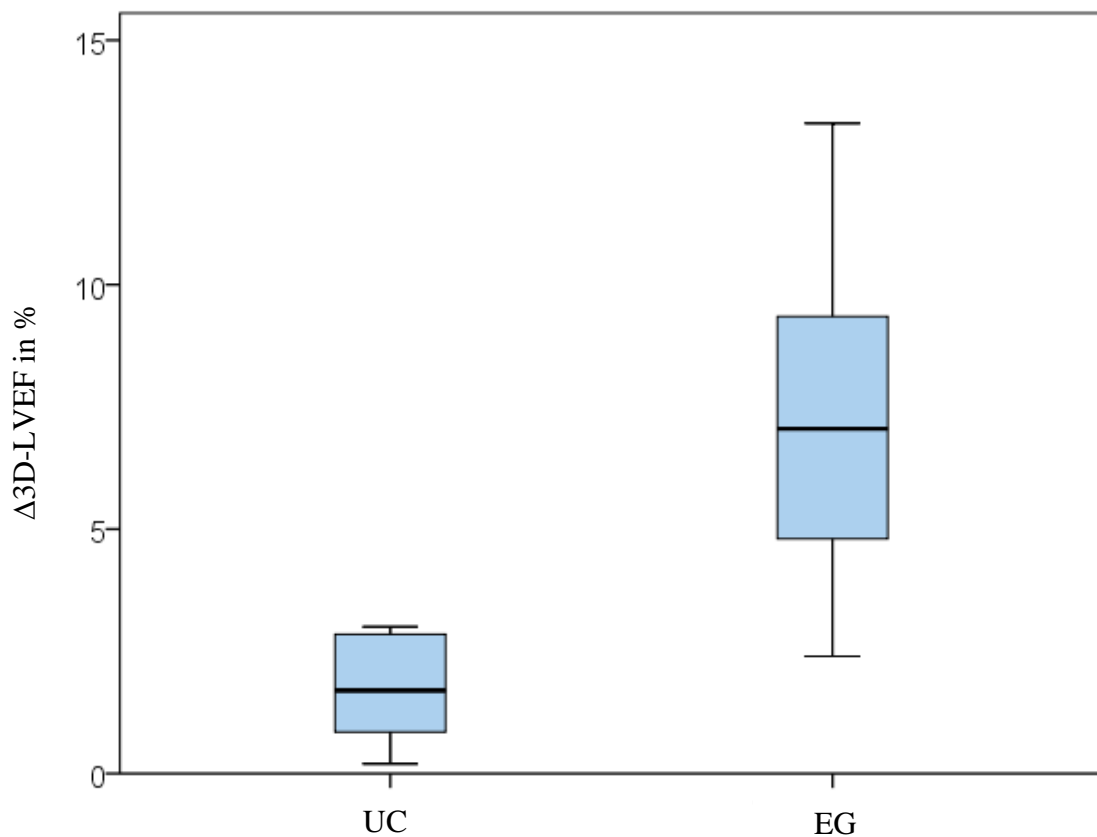


Abbildung 9: Boxplot zu Änderung der 3D-LVEF nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe. Δ 3D-LVEF, Änderung der dreidimensionalen linksventrikulären Ejektionsfraktion nach 24 Wochen; UC, *usual care*; EG, *exercise group*

LVEF – HIIT vs. MCT

Beim anschließenden Vergleich zwischen HIIT und MCT, hinsichtlich der Veränderung der LVEF nach 24 Wochen, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden (HIIT: $+7,6 \pm 3,6\%$; MCT: $6,7 \pm 4,1\%$; $p=0,755$). In Abbildung 10 sind alle drei Studiengruppen in Form eines Boxplot (Änderung der 3D-LVEF nach 24 Wochen) nebeneinander aufgeführt.

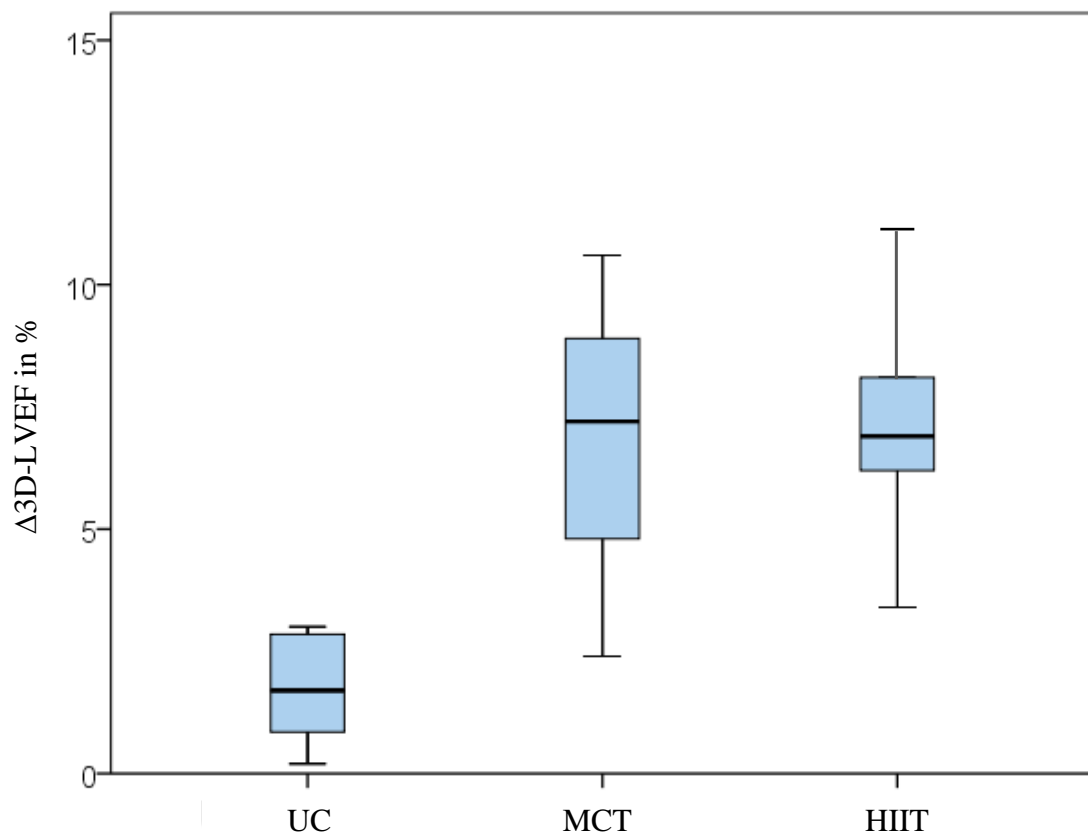


Abbildung 10: Boxplot zu Vergleich der Änderung der 3D-LVEF nach 24 Wochen in allen drei Studiengruppen. Δ 3D-LVEF, Änderung der dreidimensionalen linksventrikulären Ejektionsfraktion nach 24 Wochen; UC, *usual care*; MCT, moderates kontinuierliches Training; HIIT, höher-intensives Intervalltraining

Patientenbezogene Ergebnisse für LVEF

Zur weiteren Veranschaulichung sind im Folgenden (Abb. 11-13) die Messwerte der LVEF für die einzelnen Patienten der jeweiligen Studiengruppen aufgeführt. Abbildung 11 zeigt die einzelnen Ergebnisse der UC-Gruppe, in Abbildung 12 sind die einzelnen Ergebnisse der MCT-Gruppe dargestellt und in Abbildung 13 sind die LVEF-Werte der HIIT-Gruppe zu finden.

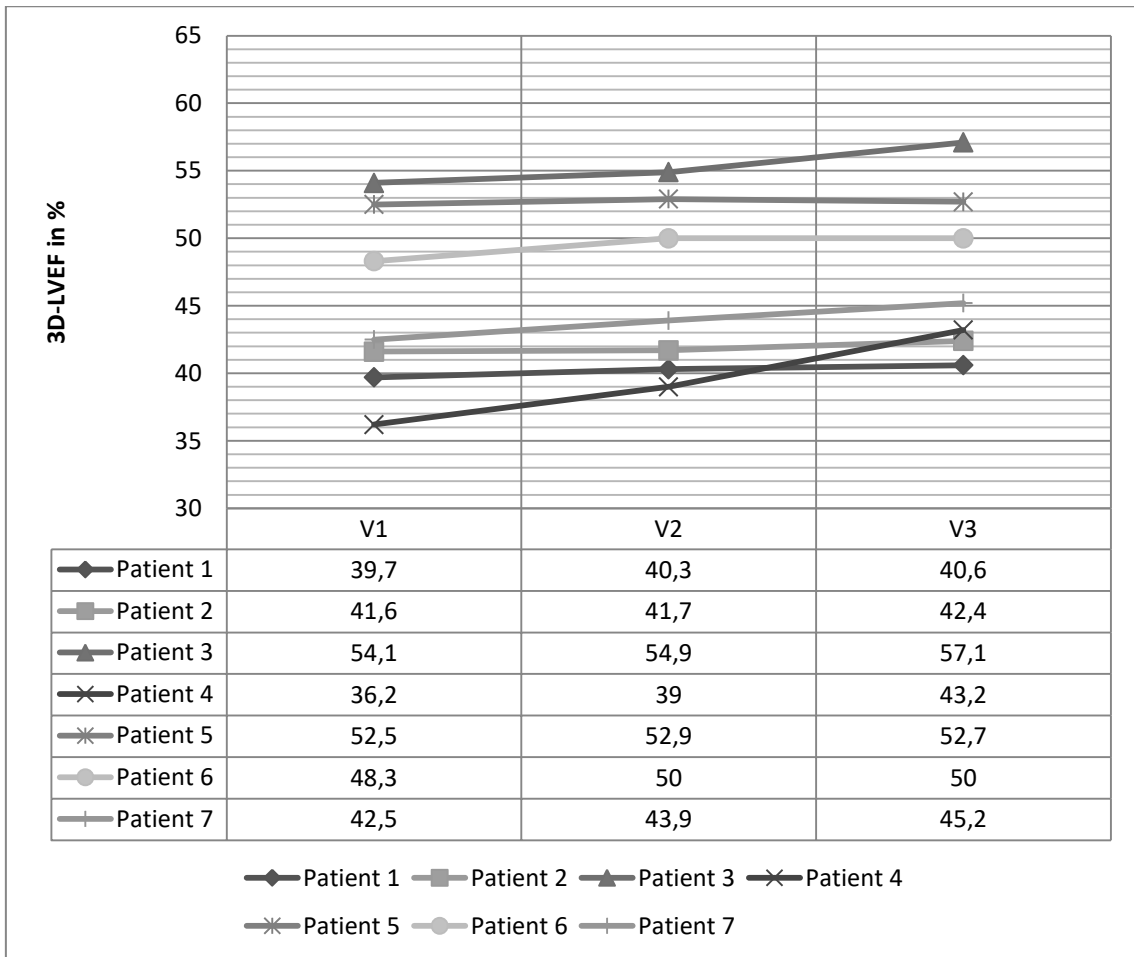


Abbildung 11: 3D-LVEF der Patienten in der UC-Gruppe. 3D-LVEF in %, dreidimensionale linksventrikuläre Ejektionsfraktion in Prozent; V1, Eingangsuntersuchung; V2, Zwischenuntersuchung; V3, Abschlussuntersuchung

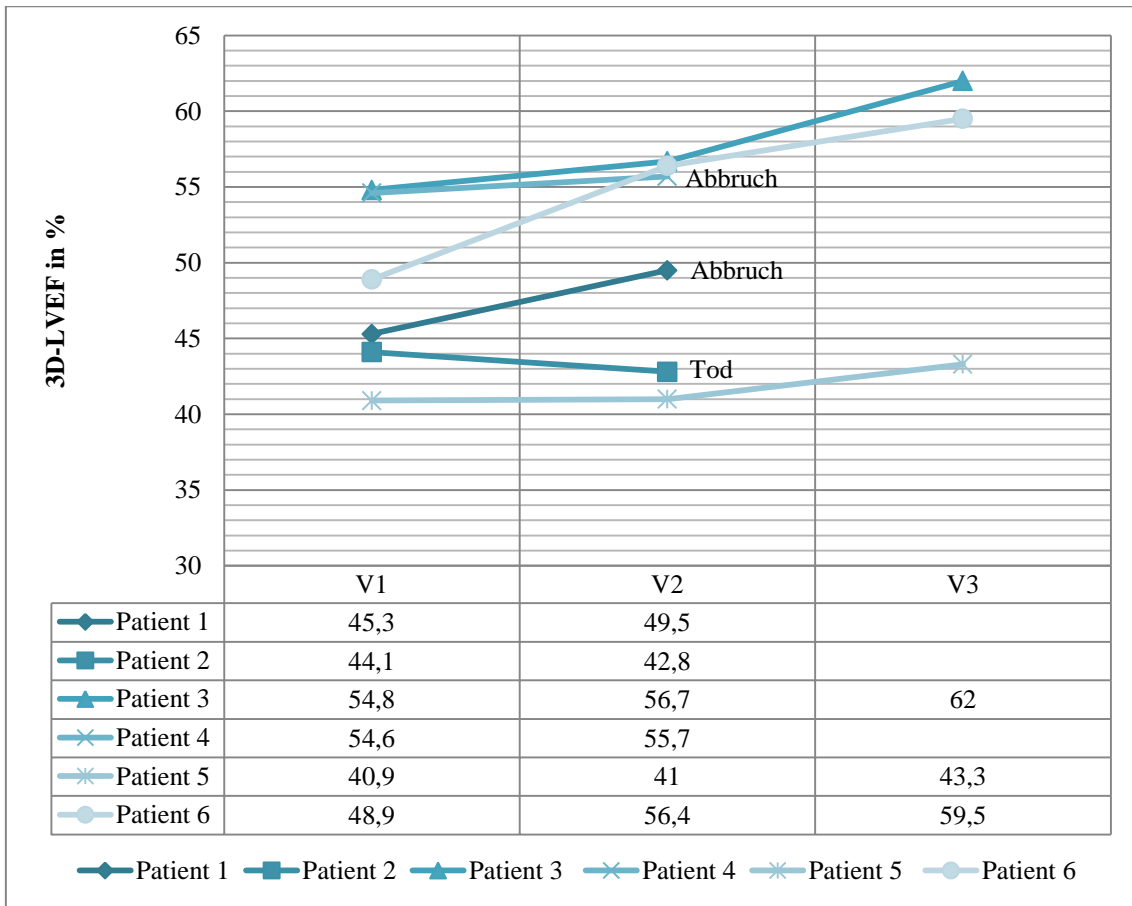


Abbildung 12: 3D-LVEF der Patienten in der MCT-Gruppe. 3D-LVEF in %, dreidimensionale linksventrikuläre Ejektionsfraktion in Prozent; V1, Eingangsuntersuchung; V2, Zwischenuntersuchung; V3, Abschlussuntersuchung

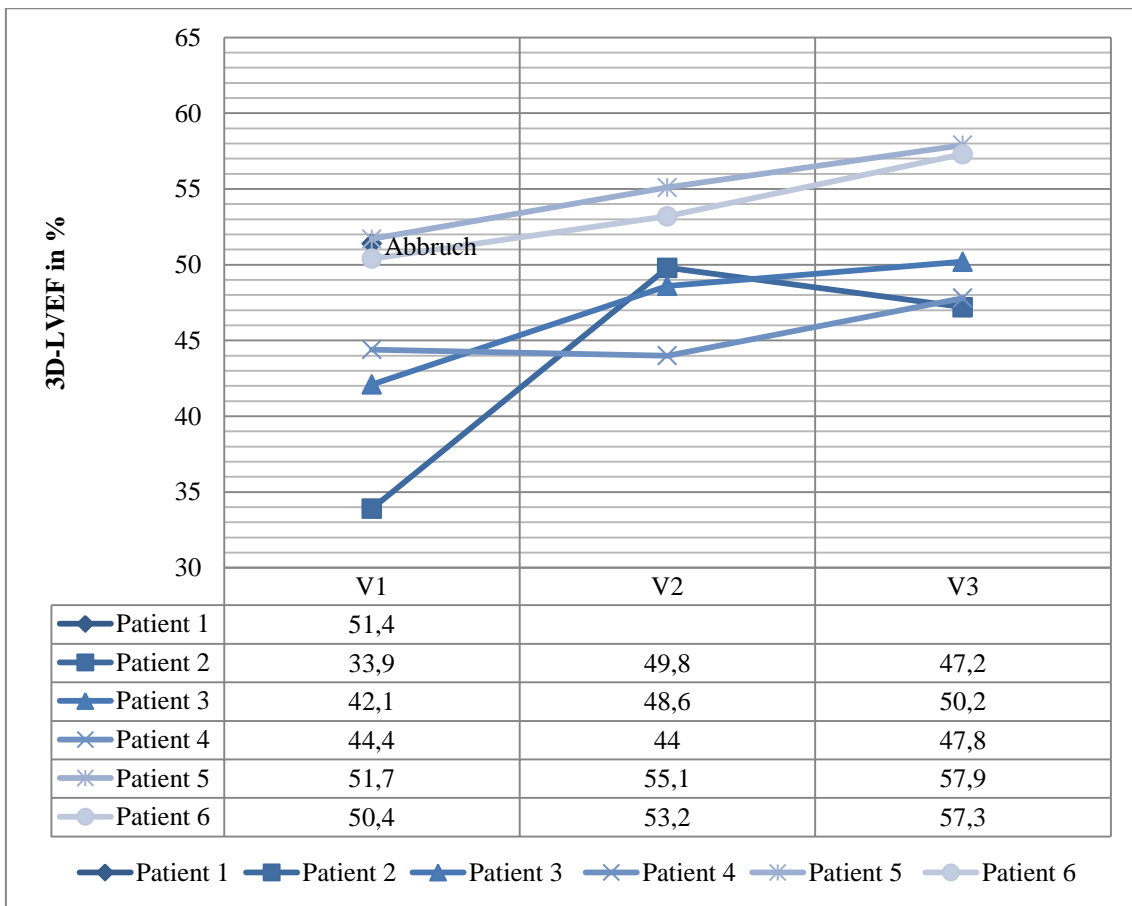


Abbildung 13: 3D-LVEF der Patienten in der HIIT-Gruppe. 3D-LVEF in %, dreidimensionale linksventrikuläre Ejektionsfraktion in Prozent; V1, Eingangsuntersuchung; V2, Zwischenuntersuchung; V3, Abschlussuntersuchung

4.3 Ergebnisse weiterer sekundärer Endpunkte

Als weitere, nicht echokardiographische, sekundäre Endpunkte wurden die Veränderungen des NT-pro-BNP und der VO_2 peak nach 24 Wochen erfasst. In Tabelle 6 sind alle Ergebnisse des NT-pro-BNP und der VO_2 peak zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (Eingangs-, Zwischen- und Abschlussuntersuchung) aufgeführt. Außerdem sind hier die Änderungen der jeweiligen Parameter innerhalb von 24 Wochen (zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung) angegeben.

Tabelle 6: Ergebnisse weiterer sekundärer Endpunkte

	Zeitpunkt	HIIT	MCT	UC
NT-pro-BNP in ng/L	V1	1460 ±1159	777 ±830	711 ±495
	V2	411 ±299	533 ±725	303 ±262
	V3	560 ±664	211 ±291	183 ±115
	ΔV3-V1	-613±674	-248±252	-528±392
VO ₂ peak in ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	V1	18,4 ±2,8	16,4±2,5	18,7±6,3
	V2	21,9 ±4,9	19,8±3,0	21,0±6,1
	V3	25,8 ±5,6	23,3 ±1,5	21,7 ±6,2
	ΔV3-V1	+6,8±5,0	+6,6±2,7	+3,5±3,1

Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben. VO₂peak, maximale Sauerstoffaufnahme; NT-pro-BNP, *N terminales pro brain natriuretic peptide*; HIIT, höher-intensives Intervalltraining; MCT, moderates kontinuierliches Training; UC, *usual care*; V1, Eingangsuntersuchung; V2, Zwischenuntersuchung nach 12 Wochen; V3, Abschlussuntersuchung nach 24 Wochen; ΔV3-V1, Änderung zwischen Eingangs- und Abschlussuntersuchung

In allen Studiengruppen zeigte sich eine Abnahme des NT-pro-BNP (HIIT, -613±674 ng/L; MCT, -248±252 ng/L; UC, -528±392 ng/L) und eine Zunahme der VO₂peak (HIIT:+6,8±5,0 ml·kg⁻¹·min⁻¹; MCT:+6,6±2,7 ml·kg⁻¹·min⁻¹; UC:+3,5±3,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹).

VO₂peak – EG vs. UC

In der EG war gegenüber der Kontrollgruppe tendenziell eine größere Zunahme der VO₂-peak zu beobachten, jedoch ohne statistische Signifikanz (EG: +6,8±4,0ml·kg⁻¹·min⁻¹; UC: +3,5±3,1ml·kg⁻¹·min⁻¹; p=0,145). In Abbildung 14 ist die Veränderung der VO₂peak nach 24 Wochen in den jeweiligen Gruppen (EG vs. UC) grafisch dargestellt.

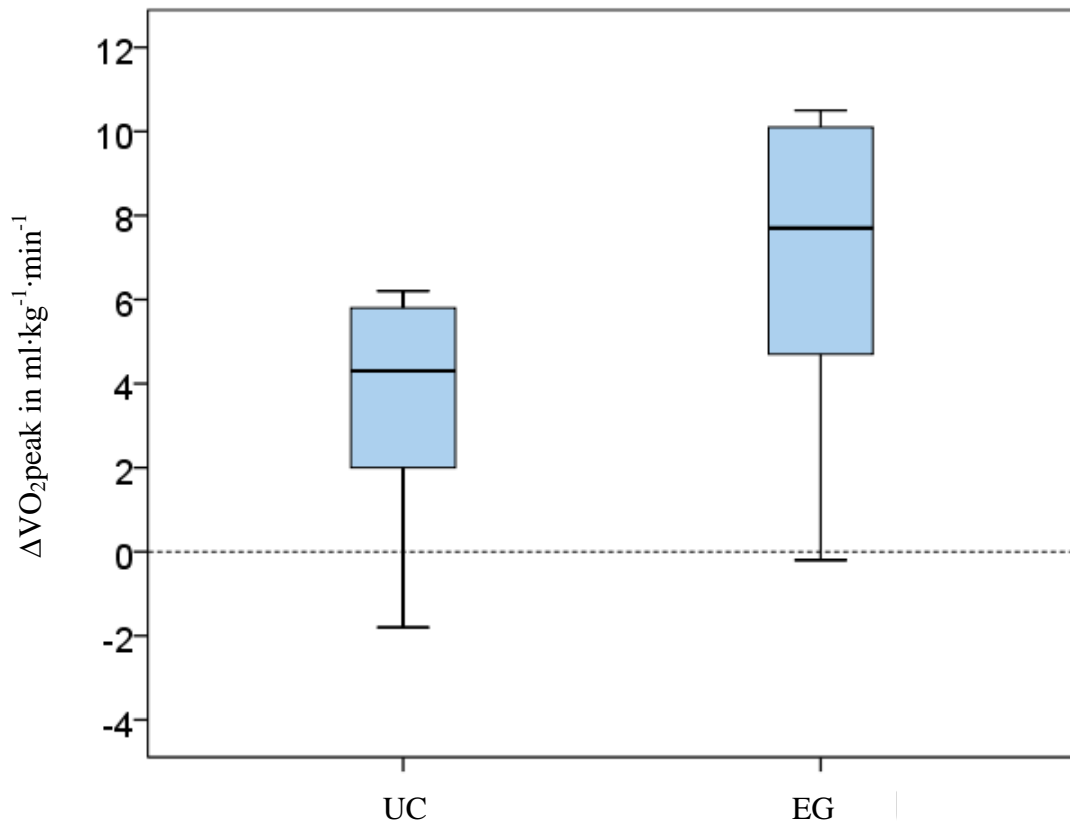


Abbildung 14: Boxplot zu Veränderung der VO₂peak nach 24 Wochen in Kontroll- und Trainingsgruppe. ΔVO₂peak, Änderung der maximalen Sauerstoffaufnahme nach 24 Wochen; UC, *usual care*; EG, *exercise group*

NT-pro-BNP – EG vs. UC

Gemessen am NT-pro-BNP fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen der EG und der UC-Gruppe nach 24 Wochen (EG: -457 ± 535 ng/L; UC: -528 ± 392 ng/L; $p=0,78$). In Abbildung 15 ist die Veränderung des NT-pro-BNP nach 24 Wochen in der Kontroll- bzw. Trainingsgruppe grafisch als Boxplot dargestellt.

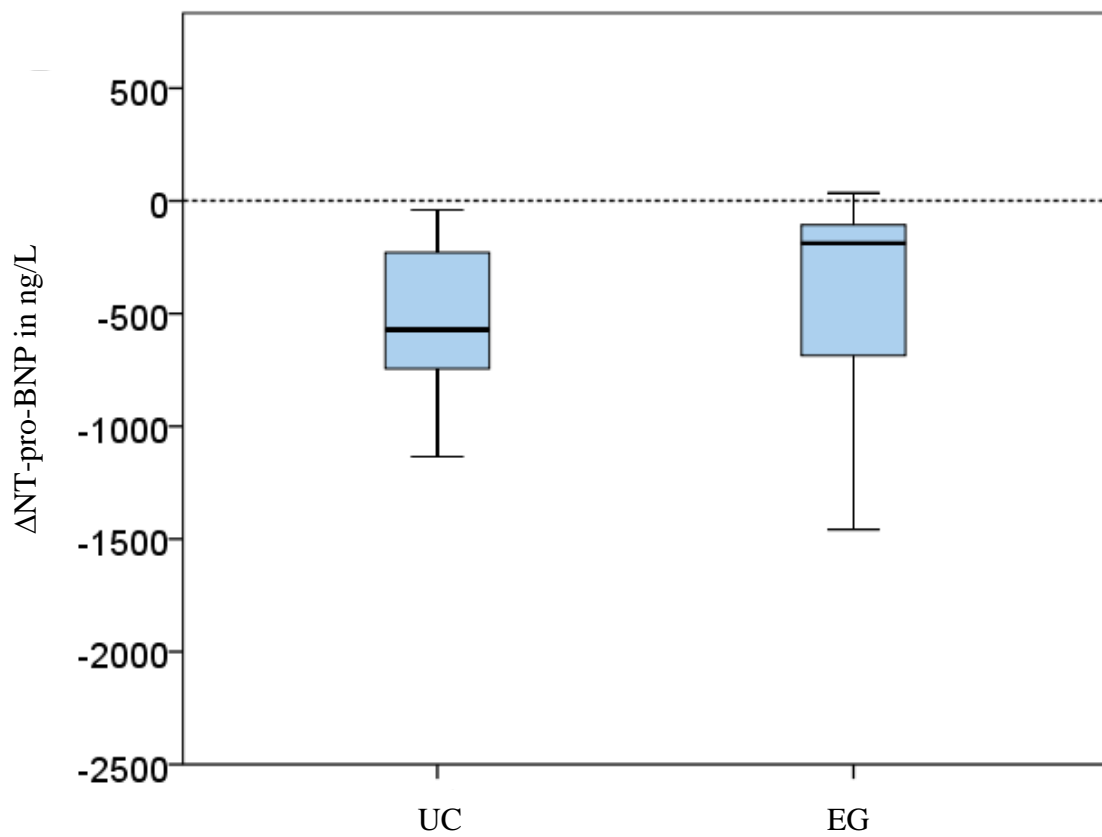


Abbildung 15: Boxplot zu Veränderung des NT-pro-BNP nach 24 Wochen in Kontroll- und Trainingsgruppe. Δ NT-pro-BNP, Änderung des *N terminalen pro brain natriuretic peptides* nach 24 Wochen; UC, *usual care*; EG, *exercise group*

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassung der wesentlichen Studienergebnisse

In der Ex-AMI-Pilotstudie mit 19 STEMI-Patienten konnten positive Effekte des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling (gemessen an echokardiographischen Parametern) beobachtet werden. Das körperliche Training wurde in einer sehr frühen Phase nach STEMI (sieben Tage nach akutem STEMI) begonnen und für insgesamt 24 Wochen fortgeführt. Nach 24 Wochen fand sich ein signifikant höherer Anstieg der LVEF in der EG im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dagegen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der HIIT-Gruppe und der MCT-Gruppe hinsichtlich der Veränderung der LVEF festgestellt werden. Darüber hinaus zeigte sich in der EG tendenziell eine größere Zunahme der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, gemessen an der VO₂peak, gegenüber der Kontrollgruppe, jedoch ohne statistische Signifikanz. Ein Studienteilnehmer verstarb im Studienzeitraum aufgrund eines nicht-trainingsassoziierten Ereignisses (Lungenembolie). Daneben traten bei keinem der Studienteilnehmer unerwünschte Ereignisse während der Trainingsphase auf.

Nach aktuellem Wissensstand handelte es sich bei der Ex-AMI-Pilotstudie um die erste Studie bei der unterschiedliche Trainingsintensitäten (inkl. HIIT) bei einem solch hochvulnerablen Patientenkollektiv (STEMI mit eingeschränkter linksventrikulärer Pumpfunktion) und gleichzeitig so früh (sieben Tage) nach STEMI untersucht wurden.

5.2 Einordnung der Ex-AMI-Pilotstudie in die aktuelle Literatur

5.2.1 Patientenkollektiv

An der Ex-AMI-Pilotstudie nahmen insgesamt 19 Patienten nach MI teil. Die Studiengröße ist vergleichbar mit anderen Studien, die erstmalig Effekte des HIIT bei klinisch stabilen Herzinsuffizienzpatienten mit reduzierter Ejektionsfraktion (HFrEF) nach MI untersucht hatten (Iellamo et al., 2013; Wisloff et al., 2007). Von den 19 STEMI-Patienten, die in die Ex-AMI-Pilotstudie eingeschlossen wurden, brachen drei

Patienten die Studie vorzeitig ab (Drop-Out-Quote: ca. 16%). Diese Drop-Out-Quote war vergleichbar mit denen aus anderen Trainingsinterventionsstudien bei Herzinsuffizienz- bzw. MI-Patienten (Ellingsen et al., 2017; Moholdt et al., 2012) . So betrug die Drop-Out-Quote bei Moholdt et al. beispielsweise ca. 17%.

Das mittlere Alter der Studienteilnehmer lag bei Studienbeginn bei 58 ± 7 Jahren, zudem waren 18 der 19 und somit ca. 95% der Studienteilnehmer männlich. Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2016 zu Effekten des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling nach Myokardinfarkt umfasste ein ähnliches Patientenkollektiv. In den 22 analysierten Studien nahmen ebenfalls überwiegend Männer teil (Männeranteil ca. 93%) und das mittlere Alter der insgesamt 1137 Studienteilnehmer lag ebenfalls bei 58 Jahren. (Zhang et al., 2016)

Die Studienteilnehmer erhielten eine leitliniengerechte medikamentöse Sekundärprophylaxe nach STEMI (Vgl. Ibanez et al., 2018, pp. 149-153), sodass eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse durch Unterschiede in der medikamentösen Sekundärprophylaxe minimiert werden konnte.

5.2.2 Studien- bzw. Trainingskonzept

Ein wesentliches Charakteristikum der Ex-AMI-Pilotstudie war der sehr frühe Trainingsbeginn nach akutem STEMI. Eine Metaanalyse aus 2011 kam zu dem Ergebnis, dass körperliches Training u.a. dann positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling hatte, wenn dieses früh nach MI begonnen wurde. Haykowsy et al. analysierten dabei insgesamt zwölf RCTs mit Trainingsbeginn bis zu sieben Wochen nach MI, wobei der früheste Trainingsbeginn bei zwei RCTs bei ca. einer Woche nach MI lag. Zudem kam o.g. Metaanalyse zu dem Ergebnis, dass ein körperliches Training insbesondere dann positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling hatte, wenn es länger als drei Monate durchgeführt wurde. (M. Haykowsky et al., 2011) Mit einem Trainingsbeginn sieben Tage nach STEMI und einer Trainingsdauer von 24 Wochen wies die Ex-AMI-Pilotstudie somit zwei wesentliche Merkmale auf, die in der Vergangenheit mit positiven Effekten auf das ventrikuläre Remodeling vergesellschaftet waren.

In der Ex-AMI-Pilotstudie wurden unterschiedliche Intensitäten des körperlichen Trainings (HIIT und MCT) mit der Standardbehandlung nach akutem MI verglichen. Ein HIIT wurde bisher selten bei Patienten unmittelbar nach MI untersucht. Eine größere RCT mit 107 Patienten untersuchte Auswirkungen von HIIT mit Beginn des

Trainings zwei bis zwölf Monate nach MI. Während des Studienzeitraums kam es zu keinen kardialen Ereignissen oder anderen wesentlichen Komplikationen. (Moholdt et al., 2012) Eine Metaanalyse zu Auswirkungen von körperlichem Training bei 387 Patienten ordnete HIIT nach MI ebenfalls als scheinbar sicher ein (Qin et al., 2022). Aufgrund der unzureichenden Studienlage hinsichtlich der Sicherheit des HIIT früh nach STEMI wurde die Intensität des HIIT auf 80-85% der VO_2 peak festgelegt und statt hoch-intensives Intervalltraining als höher-intensives Intervalltraining bezeichnet. Nach den Leitlinien der European Society of Cardiology zu Sportkardiologie und Training bei Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen entspricht dies jedoch immer noch einer hohen Trainingsintensität (Pelliccia et al., 2020, p. 30). Daher wurde aus Sicherheitsgründen vor Beginn des HIIT bzw. des MCT eine zweiwöchige Run-In-Phase mit niedrigerer Intensität durchgeführt.

5.2.3 Studienergebnisse

Echokardiographische Ergebnisse

In der Ex-AMI-Pilotstudie konnte in der EG eine signifikant größere Zunahme der LVEF nach 24 Wochen Training beobachtet werden ($+7,3 \pm 3,5\%$) im Vergleich zur UC-Gruppe ($+2,3 \pm 2,3\%$). Diese Beobachtung reiht sich in Ergebnisse früherer Studien zu sechsmonatigem körperlichen Training nach MI ein, bei denen ebenfalls eine Zunahme der LVEF in den Trainingsgruppen beobachtet werden konnte (Giallauria et al., 2009; Giannuzzi et al., 1997). Die LVEF kann nach Bristow et al. (2017) als geeigneter Parameter zur Beurteilung des ventrikulären Remodeling nach MI angesehen werden. Vor diesem Hintergrund konnte die Ex-AMI-Pilotstudie die Hypothese bestätigen, dass 24-wöchiges körperliches Training, begonnen früh nach STEMI, positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling hat. In den Abbildungen 11-13 sind die Messwerte der LVEF für die einzelnen Patienten der jeweiligen Studiengruppen dargestellt. Hier war graphisch bei sieben von acht Patienten (ca. 88%) der EG (sh. Abb.12 und 13) ein weiterer, deutlicher Anstieg der LVEF zwischen 12 und 24 Wochen nach MI zu beobachten. Wohingegen bei Patienten der UC-Gruppe (sh. Abb. 11) in diesem Zeitraum nur bei drei von sieben Patienten (ca. 43%) graphisch ein solcher Anstieg in diesem Zeitraum zu verzeichnen war. Somit scheint körperliches Training, früh begonnen nach MI, im Vergleich zur Standardbehandlung nach MI auch nach Fortführung über einen Zeitraum von mehr als drei Monaten noch zusätzliche positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling zu haben. Diese Beobachtung deckt sich mit Ergebnissen aus einer Metaanalyse von Haykowsky et al. (2011), in der festgestellt

werden konnte, dass körperliches Training insbesondere dann positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling hatte, wenn dies länger als drei Monate durchgeführt wurde.

Neben einem Anstieg der LVEF kam es in den Trainingsgruppen nach 24 Wochen ebenfalls zu einer Verbesserung des LVEDV und des LVESV ($-6,0 \pm 5,6$ ml bzw. $-11,5 \pm 5,2$ ml). Dies spricht ebenfalls für positive Effekte hinsichtlich des ventrikulären Remodelings. Allerdings konnte bzgl. der linksventrikulären Volumina kein signifikanter Unterschied gegenüber UC beobachtet werden. Das LVESV wurde in der Vergangenheit als geeignete Messgröße für die intrinsische kontraktile Funktion des Myokards beschrieben (Grossman et al., 1977). Das LVEDV wiederum gilt als Merkmal für den Grad der Ventrikeldilatation aufgrund exzentrischer Hypertrophie während des ventrikulären Remodelings. Im Rahmen der Entwicklung einer Herzinsuffizienz nach MI durch ventrikuläres Remodeling kommt es zu einer exzentrischen, pathologischen Hypertrophie mit Zunahme der linksventrikulären Volumina. Zudem kommt es zu einer progressiven kontraktilen Dysfunktion mit Abnahme der Kontraktilität. Die LVEF vereint Elemente der systolischen Funktion und Messung der exzentrischen Hypertrophie in einer Messung. (Bristow et al., 2017)

Bei der Ex-AMI-Pilotstudie ließen sich bzgl. der einzelnen linksventrikulären Volumina keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich von EG und UC feststellen. Bei Betrachtung der LVEF zeigten sich dagegen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Daher wäre es grundsätzlich denkbar, dass der signifikante Unterschied bzgl. der LVEF erst durch eine Kombination aus Verbesserung der kontraktilen Funktion des Myokards und der Reduktion der exzentrischen Hypertrophie durch das körperliche Training zustande kam.

Ergebnisse weiterer sekundärer Endpunkte

In der Ex-AMI-Pilotstudie konnte nach 24 Wochen ein Anstieg der VO_2 peak um $+6,8 \pm 4,0$ ml \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ in den Trainingsgruppen beobachtet werden. Dieser Anstieg war tendenziell höher als in der UC-Gruppe ($+3,5 \pm 3,1$ ml \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$), jedoch ohne statistische Signifikanz. In mehreren Studien konnten bereits positive Effekte des körperlichen Trainings auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, gemessen an der VO_2 peak, nach MI nachgewiesen werden (Mitchell et al., 2019). Die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit ist neben dem ventrikulären Remodeling ein weiterer wichtiger prognostischer Parameter nach MI. In einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 12169 Patienten war die VO_2 peak ein starker Prädiktor für Mortalität u.a. nach MI.

Dabei hatten Patienten mit einer $VO_2\text{peak} >22 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ eine 55% niedrigere Wahrscheinlichkeit in einem Zeitraum von ca. acht Jahren zu versterben, im Vergleich zu Patienten mit einer $VO_2\text{peak} < 15 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. (Kavanagh et al., 2002) Die Patienten der Trainingsgruppen hatten nach 24 Wochen körperlichen Trainings jeweils im Mittelwert eine $VO_2\text{peak} >22 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, während Patienten der UC-Gruppe im Mittelwert eine $VO_2\text{peak} <22 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ hatten. Dies untermauert die Bedeutung des körperlichen Trainings hinsichtlich positiver Effekte auf die Prognose nach MI.

Sowohl in den Trainingsgruppen als auch in der UC-Gruppe konnte eine deutliche Reduktion des NT-pro-BNP beobachtet werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Studiengruppen fand sich jedoch nicht. Die Plasmakonzentration des NT-pro-BNP unterliegt zahlreichen Einflussfaktoren (linksventrikuläre Hypertrophie, Alter, Nierenfunktion, etc.). Daher scheint eine exakte Bestimmung von Unterschieden zwischen den Effekten des körperlichen Trainings im Vergleich zur Standardbehandlung anhand des NT-pro-BNP nicht sicher möglich. Aufgrund des niedrigen positiven prädiktiven Wertes für die gängigen Grenzwerte des NT-pro-BNP (0,44-0,57 bei NT-pro-BNP $>125\text{ng/L}$) eignet sich dieser Wert insbesondere zum Ausschluss einer Herzinsuffizienz, jedoch nicht zur Bestätigung bzw. Verlaufsbeurteilung der Diagnose. (Ponikowski et al., 2016) Hier stellt die Echokardiographie die Methode der Wahl dar (Fabijanovic et al., 2019). In der Echokardiographie konnten in der Ex-AMI-Pilotstudie signifikante Unterschiede zwischen den Studiengruppen beobachtet werden.

Vergleich der Trainingsmodalitäten

In der Ex-AMI-Pilotstudie konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen HIIT und MCT nach 24 Wochen körperlichen Trainings nach STEMI festgestellt werden. Insbesondere bzgl. der LVEF, in der sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und UC zeigte, fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen HIIT und MCT. In einer kürzlich durchgeführten Metaanalyse (387 Patienten aus 8 RCTs) fanden sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede bzgl. der echokardiographischen Remodelingparameter (LVEF und LVEDV) bei dem Vergleich von HIIT und MCT nach MI. Dagegen fand sich eine signifikant größere Zunahme der $VO_2\text{peak}$ bei HIIT gegenüber MCT. (Qin et al., 2022)

Aus Metaanalysen mit KHK- bzw. Herzinsuffizienz-Patienten wurde gleichermaßen ersichtlich, dass HIIT im Vergleich zu MCT zu einem signifikant größeren Anstieg der

VO₂peak führt (Elliott et al., 2015; Hannan et al., 2018; M. J. Haykowsky et al., 2013; Pattyn et al., 2014). Allerdings fand sich kein signifikanter Unterschied mehr, sobald isokalorische Trainingsprotokolle benutzt wurden. (Gomes-Neto et al., 2017; Gomes Neto et al., 2018) Unter Annahme eines 80 kg schweren Durchschnittspatienten und einer Konstante von 5 kcal pro Liter Sauerstoffaufnahme (vgl. Howley, 2001) errechnete sich für die Trainingsprotokolle der Ex-AMI-Pilotstudie ein Energieverbrauch von 171-193 kcal pro Trainingseinheit für das HIIT und 169-203 kcal pro Trainingseinheit für das MCT. Es lagen damit nahezu isokalorische Trainingsprotokolle vor. Dies könnte analog zu den Beobachtungen aus o.g. Metaanalysen eine mögliche Erklärung dafür sein, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Trainingsintensitäten gefunden werden konnten.

Sicherheit des körperlichen Trainings nach MI

Bei KHK-Patienten wurde das Risiko eines kardiovaskulären Ereignisses sowohl bei MCT als auch bei HIIT als gering eingeschätzt. So konnte eine Metaanalyse mit 4846 KHK-Patienten zeigen, dass die Komplikationsrate des körperlichen Trainings bei MCT bei einer pro 129456 Trainingsstunden und bei HIIT bei einer pro 23182 Trainingsstunden lag. (Rognmo et al., 2012) In einer weiteren Metaanalyse mit 633 Patienten nach MI konnten während der Trainingsphasen von vier Wochen bis zwölf Monaten keine Todesfälle oder kardiovaskuläre Ereignisse, die zu einer Hospitalisierung führten, beobachtet werden (Hannan et al., 2018). In der Ex-AMI-Pilotstudie traten während der 24-wöchigen Trainingsphase ebenfalls keine trainingsassoziierten, unerwünschten kardiovaskulären Ereignisse auf. In der MCT-Gruppe verstarb ein Teilnehmer aufgrund einer nicht-trainingsassoziierten Todesursache (Lungenembolie). Das Patientenkollektiv der Ex-AMI-Pilotstudie umfasste ein hochvulnerables Patientenkollektiv (STEMI-Patienten nach PCI mit eingeschränkter LV-Pumpfunktion). In einer Studie aus 2014 lag die 30-Tages-Mortalität bei ca. 8% und die 1-Jahres-Mortalität bei ca. 11% nach erfolgter PCI nach STEMI (Pedersen et al., 2014). Gemessen an o.g. Mortalitätsraten dieses hochvulnerablen Patientenkollektives scheint der nicht-trainingsassoziierte Todesfall während der Ex-AMI-Pilotstudie damit keine spezielle, interventionsbedingte Häufung darzustellen. Die Ex-AMI-Pilotstudie konnte zeigen, dass ein körperliches Training früh nach STEMI ohne das Auftreten von unerwünschten kardialen Ereignissen durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus konnte bei den STEMI-Patienten ein HIIT nach

zweiwöchiger Run-In-Phase ebenfalls ohne unerwünschte kardiale Ereignisse durchgeführt werden. Für die endgültige Bewertung hinsichtlich der Sicherheit des körperlichen Trainings nach akutem STEMI, insbesondere mit höherer Trainingsintensität, bedarf es jedoch noch weiterer größerer RCTs.

5.2.4 Potentielle zugrundeliegende Mechanismen

Bei der Ex-AMI-Pilotstudie ließen sich positive Effekte des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling beobachten. Ventrikuläres Remodeling beschreibt dabei einen komplexen Prozess nach MI, der u.a. Untergang bzw. Umbau von kardialen Myozyten, Fibrosierung und Inflammation beinhaltet (Burchfield et al., 2013). Das ventrikuläre Remodeling wurde in der Ex-AMI-Pilotstudie vorrangig anhand echokardiographischer Parameter beurteilt. Ein signifikanter Unterschied fand sich hinsichtlich der Verbesserung der LVEF nach 24 Wochen körperlichen Trainings im Vgl. zu UC. Die LVEF wiederum vereint Elemente der systolischen Funktion und Messung der exzentrischen Hypertrophie nach MI in einem Parameter (Bristow et al., 2017). Dabei existieren mehrere potentielle Mechanismen, die den Beobachtungen der Ex-AMI-Pilotstudie zugrunde liegen könnten.

Ein wesentliches Charakteristikum der Ex-AMI-Pilotstudie war der frühe Beginn des körperlichen Trainings nach STEMI. In einer Studie mit Mäusen wurden die Effekte eines frühen Trainingsbeginns auf das ventrikuläre Remodeling nach MI untersucht. Der Trainingsbeginn lag hierbei bei sechs Tagen nach MI und die Trainingsdauer umfasste vier Wochen nach MI. Hier konnte gezeigt werden, dass körperliches Training, früh begonnen nach MI, positive Effekte auf ventrikuläres Remodeling hat, indem es Inflammation, Fibrose und Wandausdünnung vermindert. Diese Effekte waren assoziiert mit einer geringeren inflammatorischen Aktivität, die über Tumornekrosefaktor-alpha, Interleukin-1beta und Interleukin-6 vermittelt wurde. Zudem konnte eine geringere Aktivität der Metalloproteinase 9 nachgewiesen werden. (Puhl et al., 2015) Die Metalloproteinase 9 führt dabei über einen Abbau von Kollagen zu einer Infiltration von inflammatorischen Zellen in das infarzierte Gewebe (Spinale, 2007).

In der Ex-AMI-Pilotstudie konnten in den Trainingsgruppen eine Reduktion der LVESV und eine Verbesserung der LVEF nach 24 Wochen körperlichen Trainings festgestellt werden. Dies kann wiederum als Zeichen einer verbesserten kontraktilen Funktion des Myokards interpretiert werden (Bristow et al., 2017). In einer Studie aus

dem Jahr 2002 wurden Auswirkungen eines achtwöchigen körperlichen Trainings bei Ratten nach MI untersucht. Hier zeigte sich, dass körperliches Training nach MI die kontraktile Funktion, den intrazellulären Calciumhaushalt und die Calciumsensitivität in Kardiomyozyten verbessern konnte. Neben den positiven Effekten auf die Kontraktilität konnte nach körperlichem Training eine geringere pathologische ventrikuläre Hypertrophie mit 15% geringerer linksventrikulärer Masse und 12% bzw. 20% geringerer Länge bzw. Breite der Myozyten nachgewiesen werden. (Wisløff et al., 2002) Ebenfalls wichtig für die Kontraktilität sind Myosin-Schwerketten (MHC), denn sie dienen der chemisch-mechanischen Umsetzung von Bewegung in den Muskelfasern (Nadal-Ginard & Mahdavi, 1989). Die Isoform alpha-MHC ist im Vergleich zu beta-MHC mit einer 2-3mal schnelleren aktin-aktivierten ATP-ase Aktivität bzw. Gleitgeschwindigkeit der Aktinfilamente assoziiert. Nach MI konnte bei Ratten durch körperliches Training eine günstige Verteilung von alpha- zu beta-MHCs auf Gen- und Proteinebene gefunden werden. (Wan et al., 2014) Diese Tatsache könnte assoziiert sein mit dem Erhalt der kardialen Funktion, Abschwächung des ventrikulären Remodelings und einer gesteigerten myokardialen bzw. kontraktile Funktion (Hashimoto et al., 2004).

5.3 Limitationen der Ex-AMI-Pilotstudie

Eine Limitation der Ex-AMI-Pilotstudie stellte die geringe Studiengröße mit 19 Studienteilnehmern dar. Bei den Studienteilnehmern handelte es sich um Patienten nach STEMI mit eingeschränkter LV-Pumpfunktion und somit ein hoch-vulnerables Studienkollektiv. Bei Studienbeginn waren keine Studien bekannt, die sowohl einen sehr frühen Trainingsbeginn (sieben Tage nach MI) als auch ein HIIT neben einem MCT bei einem vergleichbar vulnerablen Patientenkollektiv durchgeführt hatten. Daher erschien eine geringere Patientenanzahl zweckmäßig, bevor größere Studien mit dieser Fragestellung durchgeführt werden konnten. Eine weitere Einschränkung bestand in der ungleichen Geschlechterverteilung der Ex-AMI-Pilotstudie. Es nahm lediglich eine Frau an der ExAMI-Pilotstudie teil, daher können die Ergebnisse nicht gänzlich auf die Gesamtpopulation übertragen werden. Aus diesem Grund sollten in zukünftige Studien mit ähnlicher Fragestellung mehr Frauen eingeschlossen werden.

In der Ex-AMI-Pilotstudie wurden die Patienten 24 Wochen lang begleitet. Dieser Zeitraum war ausreichend lang, um Effekte auf das ventrikuläre Remodeling nach MI beurteilen zu können. Allerdings war der Zeitraum zu kurz, um langfristige Effekte des körperlichen Trainings auf die Mortalität nach MI zu beobachten. Nichtsdestotrotz konnte in der Vergangenheit gezeigt werden, dass echokardiographische Parameter wie LVEF und LV-Volumina starke Prädiktoren für das Outcome nach MI waren (Solomon et al., 2005).

Während der Ex-AMI-Pilotstudie erfolgte keine systematische Erfassung des körperlichen Trainings der Patienten der UC-Gruppe. Den Patienten der UC-Gruppe wurde regelmäßiges körperliches Training empfohlen, jedoch ohne professionelle Supervision, wie bei der EG. In der UC-Gruppe wurden ebenfalls positive Veränderungen der echokardiographischen Parameter und der kardiopulmonalen Belastbarkeit festgestellt. Inwieweit körperliches Training neben einer optimalen Pharmakotherapie nach MI dafür verantwortlich war, blieb ohne systematische Erfassung des körperlichen Trainings in der UC-Gruppe unklar. Daher sollten zukünftige Studien körperliches Training sowohl in den Trainingsgruppen als auch in den Kontrollgruppen systematisch erfassen.

Das ventrikuläre Remodeling wurde in der Ex-AMI-Pilotstudie anhand von Parametern aus der 3D-Echokardiographie beurteilt. Die Messung in der 3D Darstellung ist dabei präziser als die zweidimensionale Darstellung (Dorosz et al., 2012). Bei der 3D-Echokardiographie kann es zu einer leichten Unterschätzung der LV-Volumina aufgrund der geringeren räumlichen Auflösung im Vergleich zur MRT kommen (Shimada & Shiota, 2011). Außerdem werden in der MRT die Trabekel des linken Ventrikels mitgerechnet, während sich eine Unterscheidung zwischen Trabekel- bzw. Endokardgrenze in der echokardiographischen Darstellung oft schwierig gestaltet (Mor-Avi et al., 2008). Die erhöhte Reproduzierbarkeit macht die MRT als Forschungsinstrument für klinische Studien attraktiv (Konstam et al., 2011). Darüber hinaus bietet die Kombination einer Positronenemissionstomographie (PET) und einer MRT die Möglichkeit, Prozesse wie Narbenbildung oder Inflammation im Sinne eines ventrikulären Remodeling nach MI darzustellen (Wilk et al., 2020). Aus diesem Grund sollten diese bildgebenden Untersuchungsverfahren in zukünftige Studien, die Effekte des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling nach MI untersuchen eingebaut werden.

5.4 Fazit der Ex-AMI-Pilotstudie

Die Ex-AMI-Pilotstudie konnte die Ergebnisse früherer Studien (M. Haykowsky et al., 2011; Zhang et al., 2016) bestätigen, dass körperliches Training früh nach MI positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling (gemessen an echokardiographischen Parametern) zu haben scheint. Dabei zeigte sich ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Verbesserung der LVEF zwischen der EG und der Kontrollgruppe. Dies spricht wiederum für einen positiven Effekt des körperlichen Trainings auf die systolische Funktion bzw. auf die exzentrische Hypertrophie nach MI, die mit der LVEF gleichzeitig erfasst werden. Das körperliche Training konnte dabei bei STEMI-Patienten nach Reperfusionstherapie und bei optimaler medikamentöser Therapie unter ärztlicher Aufsicht ohne trainingsassoziierte unerwünschte Ereignisse durchgeführt werden. Darüber hinaus zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Trainingsmodalitäten MCT und HIIT. Eine generelle Empfehlung bezüglich der Trainingsintensität nach MI ist derzeit jedoch nicht möglich. Es sind weitere größere RCTs notwendig, um die optimale Trainingsintensität in Hinblick auf das ventrikuläre Remodeling bzw. auf das Outcome nach MI beurteilen zu können.

5.5 Ausblick

In der Ex-AMI-Pilotstudie konnten positive Effekte des körperlichen Trainings früh nach STEMI bei einem kleinen Patientenkollektiv beobachtet werden. Zudem kam es zu keinen trainingsassoziierten unerwünschten Ereignissen während der Trainingsdauer von 24 Wochen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse sollten nun weitere RCTs initiiert werden, die Effekte des körperlichen Trainings nach MI untersuchen. Dabei sollte das körperliche Training früh (ca. sieben Tage nach MI) begonnen und für mindestens drei Monate durchgeführt werden. Wünschenswert wäre eine ausgeglichene Geschlechterverteilung, um Empfehlungen hinsichtlich des körperlichen Trainings nach MI möglichst auf die Gesamtbevölkerung übertragen zu können. Zudem sollten die Auswirkungen von unterschiedlichen Trainingsmodalitäten nach MI inkl. HIIT untersucht werden. Dabei sollten beim Vergleich von MCT und HIIT isokalorische Trainingsprotokolle benutzt werden, um den Effekt der Trainingsmodalität an sich

besser beurteilen zu können. Bei dem Vergleich von Trainingsgruppen und Kontrollgruppe könnte eine systematische Erfassung des körperlichen Trainings hilfreich sein, um dessen Einfluss auf die Ergebnisse insbesondere in der Kontrollgruppe besser beurteilen zu können. Zur besseren Beurteilung des ventrikulären Remodelings sollten neben echokardiographischen Parametern auch zusätzliche bildgebende Verfahren wie PET und MRT eingebaut werden. Neben den Effekten auf das ventrikuläre Remodeling sollten auch die psychosozialen Auswirkungen des körperlichen Trainings in Form von Fragebögen zur Lebensqualität erfasst werden. Das Ziel zukünftiger Studien sollte sein, den Einfluss des körperlichen Trainings bzw. unterschiedlicher Trainingsmodalitäten auf das ventrikuläre Remodeling, das Outcome und die Lebensqualität nach MI zu beurteilen. Hieraus sollten sich wiederum konkrete Empfehlungen für das körperliche Training ableiten lassen, von denen Patienten neben einer optimalen medikamentösen Therapie nach MI profitieren könnten.

6 Zusammenfassung (deutsch/englisch)

6.1 Zusammenfassung deutsch

Auswirkungen verschiedener Intensitäten des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling direkt nach akutem Myokardinfarkt

Hintergrund:

Eine Verschlechterung der linksventrikulären Funktion nach akutem Myokardinfarkt (MI) ist häufig, insbesondere nach ST-Hebungsinfarkt (STEMI). Durch ventrikuläre Remodelingprozesse nach MI resultiert häufig eine Herzinsuffizienz mit reduzierter Ejektionsfraktion (HFrEF). In der Vergangenheit konnten durch körperliches Training positive Effekte auf den ventrikulären Remodelingprozess nach MI nachgewiesen werden. Die Effekte von unterschiedlichen Intensitäten des körperlichen Trainings während sehr früher Phasen nach MI wurden jedoch bisher selten untersucht.

Zielsetzung:

Bei der Ex-AMI-Pilotstudie sollten die Auswirkungen des körperlichen Trainings auf das ventrikuläre Remodeling und die körperliche Leistungsfähigkeit früh nach akutem STEMI untersucht werden. Hierbei sollten die Effekte verschiedener Trainingsintensitäten, inklusive höher-intensivem Intervalltraining, mit der Standardbehandlung nach STEMI verglichen werden. Die Hypothese der Studie war, dass ein 24-wöchiges körperliches Training direkt nach STEMI gegenüber der Standardbehandlung, hinsichtlich Verbesserung echokardiographischer Parameter und körperlicher Leistungsfähigkeit, überlegen sei. Zudem wurde angenommen, dass ein höher-intensives Intervalltraining effektiver sei als moderates kontinuierliches Ausdauertraining.

Methoden:

Es wurden 19 Patienten mit STEMI (58.0 ± 7.1 Jahre, 5% weiblich) und einer linksventrikulären Ejektionsfraktion von $<55\%$ in folgende Gruppen randomisiert:

1. Moderates kontinuierliches Ausdauertraining (MCT)
2. Höher-intensives Intervalltraining (HIIT)

3. Kontrollgruppe (*Usual Care* = UC)

Die Trainingsgruppe (*exercise group* = EG: MCT und HIIT) begann ihr Training sieben Tage nach MI. Zunächst wurde eine zweiwöchige Run-In-Phase durchgeführt, gefolgt von einem supervidierten Trainingsprogramm für insgesamt 24 Wochen. Zu Beginn und nach der Trainingsphase wurden 3D-echokardiographische Parameter erhoben und kardiopulmonale Belastungstests durchgeführt.

Ergebnisse:

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Änderung des LVEDV (EG: $-6,0 \pm 5,6$ ml; UC: $-8,0 \pm 6,0$ ml; $p=0,516$) und des LVESV (EG: $-11,5 \pm 5,2$ ml; UC: $-8,8 \pm 9,8$ ml; $p=0,512$) nach 24 Wochen zwischen der EG und UC. Bei der EG verbesserte sich jedoch die LVEF signifikant mehr als bei UC (mittlere Veränderung $+7,3 \pm 3,5\%$ in EG gegenüber $+2,3 \pm 2,3\%$ in UC; $p=0,007$). In der EG war gegenüber UC tendenziell ebenfalls eine größere Zunahme der VO_2 -peak zu beobachten, jedoch ohne statistische Signifikanz (EG: $+6,8 \pm 4,0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; UC: $+3,5 \pm 3,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $p=0,145$)

Darüber hinaus war HIIT dem MCT bzgl. der Zunahme der LVEF nicht überlegen (mittlere Veränderung $+7,6 \pm 3,6\%$ bei HIIT gegenüber $+6,7 \pm 4,1\%$ bei MCT; $p=0,78$). Es wurden keine trainingsassoziierten Komplikationen beobachtet.

Zusammenfassung:

Körperliches Training früh nach akutem STEMI scheint positive Effekte auf das ventrikuläre Remodeling zu haben. Es bedarf jedoch größerer randomisierter kontrollierter Studien, um die optimale Trainingsintensität bzw. den optimalen Trainingszeitraum nach MI beurteilen zu können.

6.2 Zusammenfassung englisch

Different intensities of exercise training early after acute myocardial infarction and its effects on ventricular remodeling

Background:

Deterioration of left ventricular function after acute myocardial infarction (MI) is common, particular in ST-elevation myocardial infarction (STEMI). Ventricular remodeling processes after MI often leads to heart failure with reduced ejection fraction (HFrEF). In the past, exercise training has been shown to have positive effects on the ventricular remodeling process after MI. However, effects of exercise training have been rarely investigated during very early phases of STEMI.

Purpose:

The Exercise in Acute Myocardial Infarction (Ex-AMI) pilot study aimed to investigate the effects of exercise training on ventricular remodeling and exercise capacity early after acute STEMI. Therefore the study investigates effects of different training intensities, including higher-intensity interval training, compared with the effects of standard treatment after STEMI. The hypothesis of this study was that exercise training early after acute myocardial infarction performed for 24 weeks is superior to usual care, regarding the improvement of echocardiographic parameters and exercise capacity. It was also assumed that higher-intensity interval training is more effective than moderate continuous training.

Methods:

Therefore, we randomized 19 patients with STEMI (58.0 ± 7.1 years, 5% female) and left ventricular ejection fraction (LVEF) $< 55\%$ to:

1. Moderate continuous training (MCT)
2. Higher intensity interval training (HIIT)
3. Usual care (UC)

Exercise group (EG: MCT and HIIT) started seven days after STEMI (run-in period for two weeks, followed by a supervised exercise program for overall 24 weeks). Three-dimensional echocardiography and cardiopulmonary exercise testing were performed at the beginning and at the end of the training period. Patients were also continuously monitored for adverse events.

Results:

There were no significant differences in the change of LVEDV (EG: -6.0 ± 5.6 ml; UC: -8.0 ± 6.0 ml; $p=0.516$) and LVESV (EG: -11.5 ± 5.2 ml; UC: -8.8 ± 9.8 ml; $p=0.512$) after 24 weeks between the EG and UC. However, LVEF improved significantly more in the EG than in UC (mean change $+7.3 \pm 3.5\%$ in EG vs. $+2.3 \pm 2.3\%$ in UC; $p = 0.007$). There was also a greater increase of VO_2 peak in the EG compared to UC, but without statistical significance (EG: $+6.8 \pm 4.0$ ml kg^{-1} min^{-1} ; UC: $+3.5 \pm 3.1$ ml kg^{-1} min^{-1} ; $p=0.145$)

Furthermore HIIT was not superior to MCT (mean change $7.6 \pm 3.6\%$ in HIIT vs. $6.7 \pm 4.1\%$ in MCT; $p=0.78$) in terms of LVEF. There were no training associated adverse events.

Conclusion:

Exercise training early after acute STEMI seems to have positive effects on ventricular remodeling. However, there is a need for larger randomized controlled trials to confirm these findings, in order to find the optimal timing and dose of exercise after STEMI.

7 **Abbildungsverzeichnis**

<i>Abbildung 1:</i> Flowchart zu Rekrutierungsprozess der Ex-AMI-Pilotstudie	13
<i>Abbildung 2:</i> Zeitlicher Ablauf der Ex-AMI-Pilotstudie	14
<i>Abbildung 3:</i> Quantifizierung des linksventrikulären Volumens mittels 3D-Quantifizierungsmodul Qlab 10	17
<i>Abbildung 4:</i> Run-In-phase der Trainingsgruppen mit 50-60% der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO ₂ peak).....	19
<i>Abbildung 5:</i> Trainingsintensität und Trainingsdauer beider Trainingsgruppen ab der dritten Trainingswoche	20
<i>Abbildung 6:</i> Flowchart zu Follow-Up nach 24 Wochen	23
<i>Abbildung 7:</i> Boxplot zu Änderung des 3D-LVEDV nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	26
<i>Abbildung 8:</i> Boxplot zu Änderung des 3D-LVESV nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	27
<i>Abbildung 9:</i> Boxplot zu Änderung der 3D-LVEF nach 24 Wochen bei der Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	28
<i>Abbildung 10:</i> Boxplot zu Vergleich der Änderung der 3D-LVEF nach 24 Wochen in allen drei Studiengruppen.....	29
<i>Abbildung 11:</i> 3D-LVEF der Patienten in der UC-Gruppe.....	30
<i>Abbildung 12:</i> 3D-LVEF der Patienten in der MCT-Gruppe.....	31
<i>Abbildung 13:</i> 3D-LVEF der Patienten in der HIIT-Gruppe	32
<i>Abbildung 14:</i> Boxplot zu Veränderung der VO ₂ peak nach 24 Wochen in Kontroll- und Trainingsgruppe.....	34
<i>Abbildung 15:</i> Boxplot zu Veränderung des NT-pro-BNP nach 24 Wochen in Kontroll- und Trainingsgruppe.....	35

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Gruppenbezogene Patientencharakteristika</i>	11
Tabelle 2: <i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	12
Tabelle 3: <i>Baselinecharakteristika der Studienpopulation</i>	22
Tabelle 4: <i>Echokardiographische Ergebnisse</i>	24
Tabelle 5: <i>Änderung echokardiographischer Parameter nach 24 Wochen - Vergleich von Trainingsgruppe mit Kontrollgruppe</i>	25
Tabelle 6: <i>Ergebnisse weiterer sekundärer Endpunkte</i>	33

9 Literaturverzeichnis

- Apple, F. S., Jaffe, A. S., Collinson, P., Mockel, M., Ordonez-Llanos, J., Lindahl, B., Hollander, J., Plebani, M., Than, M., & Chan, M. H. (2015). IFCC educational materials on selected analytical and clinical applications of high sensitivity cardiac troponin assays. *Clin Biochem*, 48(4-5), 201-203. doi:10.1016/j.clinbiochem.2014.08.021
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Bristow, M. R., Kao, D. P., Breathett, K. K., Altman, N. L., Gorcsan, J., 3rd, Gill, E. A., Lowes, B. D., Gilbert, E. M., Quaife, R. A., & Mann, D. L. (2017). Structural and Functional Phenotyping of the Failing Heart: Is the Left Ventricular Ejection Fraction Obsolete? *JACC Heart Fail*, 5(11), 772-781. doi:10.1016/j.jchf.2017.09.009
- Burchfield, J. S., Xie, M., & Hill, J. A. (2013). Pathological ventricular remodeling: mechanisms: part 1 of 2. *Circulation*, 128(4), 388-400. doi:10.1161/circulationaha.113.001878
- Choi, H. Y., Han, H. J., Choi, J. W., Jung, H. Y., & Joa, K. L. (2018). Superior Effects of High-Intensity Interval Training Compared to Conventional Therapy on Cardiovascular and Psychological Aspects in Myocardial Infarction. *Ann Rehabil Med*, 42(1), 145-153. doi:10.5535/arm.2018.42.1.145
- Critchley, J. A., & Capewell, S. (2003). Mortality risk reduction associated with smoking cessation in patients with coronary heart disease: a systematic review. *Jama*, 290(1), 86-97. doi:10.1001/jama.290.1.86
- Destaf, L., Jernberg, T., Löfman, I., Hofman-Bang, C., Hagerman, I., Spaak, J., & Persson, H. (2015). Incidence, temporal trends, and prognostic impact of heart failure complicating acute myocardial infarction. The SWEDHEART Registry (Swedish Web-System for Enhancement and Development of Evidence-Based Care in Heart Disease Evaluated According to Recommended Therapies): a study of 199,851 patients admitted with index acute myocardial infarctions, 1996 to 2008. *JACC Heart Fail*, 3(3), 234-242. doi:10.1016/j.jchf.2014.10.007
- Dorosoz, J. L., Lezotte, D. C., Weitzenkamp, D. A., Allen, L. A., & Salcedo, E. E. (2012). Performance of 3-dimensional echocardiography in measuring left ventricular volumes and ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*, 59(20), 1799-1808. doi:10.1016/j.jacc.2012.01.037
- Dubach, P., Myers, J., Dziekan, G., Goebels, U., Reinhart, W., Vogt, P., Ratti, R., Muller, P., Miettunen, R., & Buser, P. (1997). Effect of exercise training on myocardial remodeling in patients with reduced left ventricular function after myocardial infarction: application of magnetic resonance imaging. *Circulation*, 95(8), 2060-2067. doi:10.1161/01.cir.95.8.2060
- Ellingsen, O., Halle, M., Conraads, V., Stoylen, A., Dalen, H., Delagardelle, C., Larsen, A. I., Hole, T., Mezzani, A., Van Craenenbroeck, E. M., Videm, V., Beckers, P., Christle, J. W., Winzer, E., Mangner, N., Woitek, F., Hollriegel, R., Pressler, A., Monk-Hansen, T., Snoer, M., Feiereisen, P., Valborgland, T., Kjekshus, J., Hambrecht, R., Gielen, S., Karlsen, T., Prescott, E., & Linke, A. (2017). High-Intensity Interval Training in Patients With Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *Circulation*, 135(9), 839-849. doi:10.1161/circulationaha.116.022924
- Elliott, A. D., Rajopadhyaya, K., Bentley, D. J., Beltrame, J. F., & Aromataris, E. C. (2015). Interval training versus continuous exercise in patients with coronary

- artery disease: a meta-analysis. *Heart Lung Circ*, 24(2), 149-157. doi:10.1016/j.hlc.2014.09.001
- Eser, P., Trachsel, L. D., Marcin, T., Herzig, D., Freiburghaus, I., De Marchi, S., Zimmermann, A. J., Schmid, J. P., & Wilhelm, M. (2022). Short- and Long-Term Effects of High-Intensity Interval Training vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Left Ventricular Remodeling in Patients Early After ST-Segment Elevation Myocardial Infarction-The HIIT-EARLY Randomized Controlled Trial. *Front Cardiovasc Med*, 9, 869501. doi:10.3389/fcvm.2022.869501
- Fabijanovic, D., Milicic, D., & Cikes, M. (2019). Left Ventricular Size and Ejection Fraction: Are They Still Relevant? *Heart Fail Clin*, 15(2), 147-158. doi:10.1016/j.hfc.2018.12.012
- Gale, C. P., Allan, V., Cattle, B. A., Hall, A. S., West, R. M., Timmis, A., Gray, H. H., Deanfield, J., Fox, K. A., & Feltbower, R. (2014). Trends in hospital treatments, including revascularisation, following acute myocardial infarction, 2003-2010: a multilevel and relative survival analysis for the National Institute for Cardiovascular Outcomes Research (NICOR). *Heart*, 100(7), 582-589. doi:10.1136/heartjnl-2013-304517
- Garza, M. A., Wason, E. A., & Zhang, J. Q. (2015). Cardiac remodeling and physical training post myocardial infarction. *World J Cardiol*, 7(2), 52-64. doi:10.4330/wjc.v7.i2.52
- Giallauria, F., Acampa, W., Ricci, F., Vitelli, A., Torella, G., Lucci, R., Del Prete, G., Zampella, E., Assante, R., Rengo, G., Leosco, D., Cuocolo, A., & Vigorito, C. (2013). Exercise training early after acute myocardial infarction reduces stress-induced hypoperfusion and improves left ventricular function. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 40(3), 315-324. doi:10.1007/s00259-012-2302-x
- Giallauria, F., Cirillo, P., Lucci, R., Pacileo, M., De Lorenzo, A., D'Agostino, M., Moschella, S., Psaroudaki, M., Del Forno, D., Orio, F., Vitale, D. F., Chiariello, M., & Vigorito, C. (2008). Left ventricular remodelling in patients with moderate systolic dysfunction after myocardial infarction: favourable effects of exercise training and predictive role of N-terminal pro-brain natriuretic peptide. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 15(1), 113-118. doi:10.1097/HJR.0b013e3282f00990
- Giallauria, F., Galizia, G., Lucci, R., D'Agostino, M., Vitelli, A., Maresca, L., Orio, F., & Vigorito, C. (2009). Favourable effects of exercise-based Cardiac Rehabilitation after acute myocardial infarction on left atrial remodeling. *Int J Cardiol*, 136(3), 300-306. doi:10.1016/j.ijcard.2008.05.026
- Giannuzzi, P., Tavazzi, L., Temporelli, P. L., Corrà, U., Imparato, A., Gattone, M., Giordano, A., Sala, L., Schweiger, C., & Malinverni, C. (1993). Long-term physical training and left ventricular remodeling after anterior myocardial infarction: results of the Exercise in Anterior Myocardial Infarction (EAMI) trial. EAMI Study Group. *J Am Coll Cardiol*, 22(7), 1821-1829. doi:10.1016/0735-1097(93)90764-r
- Giannuzzi, P., Temporelli, P. L., Corrà, U., Gattone, M., Giordano, A., & Tavazzi, L. (1997). Attenuation of unfavorable remodeling by exercise training in postinfarction patients with left ventricular dysfunction: results of the Exercise in Left Ventricular Dysfunction (ELVD) trial. *Circulation*, 96(6), 1790-1797. doi:10.1161/01.cir.96.6.1790
- Gomes-Neto, M., Duraes, A. R., Reis, H., Neves, V. R., Martinez, B. P., & Carvalho, V. O. (2017). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on exercise capacity and quality of life in patients with coronary artery

- disease: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*, 24(16), 1696-1707. doi:10.1177/2047487317728370
- Gomes Neto, M., Duraes, A. R., Conceicao, L. S. R., Saquetto, M. B., Ellingsen, O., & Carvalho, V. O. (2018). High intensity interval training versus moderate intensity continuous training on exercise capacity and quality of life in patients with heart failure with reduced ejection fraction: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol*, 261, 134-141. doi:10.1016/j.ijcard.2018.02.076
- Grossman, W., Braunwald, E., Mann, T., McLaurin, L. P., & Green, L. H. (1977). Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation*, 56(5), 845-852. doi:10.1161/01.cir.56.5.845
- Guta, A. C., Badano, L. P., Ochoa-Jimenez, R. C., Genovese, D., Previtro, M., Civera, S., Ruocco, A., Bettella, N., Parati, G., & Muraru, D. (2019). Three-dimensional echocardiography to assess left ventricular geometry and function. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, 17(11), 801-815. doi:10.1080/14779072.2019.1697234
- Hannan, A. L., Hing, W., Simas, V., Climstein, M., Coombes, J. S., Jayasinghe, R., Byrnes, J., & Furness, J. (2018). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training within cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Open Access J Sports Med*, 9, 1-17. doi:10.2147/oajsm.S150596
- Hashimoto, T., Kambara, N., Nohara, R., Yazawa, M., & Taguchi, S. (2004). Expression of MHC-beta and MCT1 in cardiac muscle after exercise training in myocardial-infarcted rats. *J Appl Physiol (1985)*, 97(3), 843-851. doi:10.1152/jappphysiol.01193.2003
- Haykowsky, M., Scott, J., Esch, B., Schopflocher, D., Myers, J., Paterson, I., Warburton, D., Jones, L., & Clark, A. M. (2011). A meta-analysis of the effects of exercise training on left ventricular remodeling following myocardial infarction: start early and go longer for greatest exercise benefits on remodeling. *Trials*, 12, 92. doi:10.1186/1745-6215-12-92
- Haykowsky, M. J., Timmons, M. P., Kruger, C., McNeely, M., Taylor, D. A., & Clark, A. M. (2013). Meta-analysis of aerobic interval training on exercise capacity and systolic function in patients with heart failure and reduced ejection fractions. *Am J Cardiol*, 111(10), 1466-1469. doi:10.1016/j.amjcard.2013.01.303
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl), S364-369; discussion S419-320. doi:10.1097/00005768-200106001-00005
- Ibanez, B., James, S., Agewall, S., Antunes, M. J., Bucciarelli-Ducci, C., Bueno, H., Caforio, A. L. P., Crea, F., Goudevenos, J. A., Halvorsen, S., Hindricks, G., Kastrati, A., Lenzen, M. J., Prescott, E., Roffi, M., Valgimigli, M., Varenhorst, C., Vranckx, P., & Widimsky, P. (2018). 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J*, 39(2), 119-177. doi:10.1093/eurheartj/ehx393
- Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Castagna, C., Massaro, M., Franchini, A., Rosano, G., & Volterrani, M. (2013). Matched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *Int J Cardiol*, 167(6), 2561-2565. doi:10.1016/j.ijcard.2012.06.057
- Jenkins, C., Bricknell, K., Hanekom, L., & Marwick, T. H. (2004). Reproducibility and accuracy of echocardiographic measurements of left ventricular parameters using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol*, 44(4), 878-886. doi:10.1016/j.jacc.2004.05.050

- Jugdutt, B. I., Michorowski, B. L., & Kappagoda, C. T. (1988). Exercise training after anterior Q wave myocardial infarction: importance of regional left ventricular function and topography. *J Am Coll Cardiol*, *12*(2), 362-372. doi:10.1016/0735-1097(88)90407-x
- Karlsen, T., Aamot, I. L., Haykowsky, M., & Rognmo, Ø. (2017). High Intensity Interval Training for Maximizing Health Outcomes. *Prog Cardiovasc Dis*, *60*(1), 67-77. doi:10.1016/j.pcad.2017.03.006
- Kavanagh, T., Mertens, D. J., Hamm, L. F., Beyene, J., Kennedy, J., Corey, P., & Shephard, R. J. (2002). Prediction of long-term prognosis in 12 169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circulation*, *106*(6), 666-671. doi:10.1161/01.cir.0000024413.15949.ed
- Kennedy, J. W., Baxley, W. A., Figley, M. M., Dodge, H. T., & Blackmon, J. R. (1966). Quantitative angiocardiology. I. The normal left ventricle in man. *Circulation*, *34*(2), 272-278. doi:10.1161/01.cir.34.2.272
- Kim, C., Choi, H. E., & Lim, M. H. (2015). Effect of High Interval Training in Acute Myocardial Infarction Patients with Drug-Eluting Stent. *Am J Phys Med Rehabil*, *94*(10 Suppl 1), 879-886. doi:10.1097/phm.0000000000000290
- Konstam, M. A., Kramer, D. G., Patel, A. R., Maron, M. S., & Udelson, J. E. (2011). Left ventricular remodeling in heart failure: current concepts in clinical significance and assessment. *JACC Cardiovasc Imaging*, *4*(1), 98-108. doi:10.1016/j.jcmg.2010.10.008
- Kubo, N., Ohmura, N., Nakada, I., Yasu, T., Katsuki, T., Fujii, M., & Saito, M. (2004). Exercise at ventilatory threshold aggravates left ventricular remodeling in patients with extensive anterior acute myocardial infarction. *Am Heart J*, *147*(1), 113-120. doi:10.1016/s0002-8703(03)00521-0
- Lawler, P. R., Filion, K. B., & Eisenberg, M. J. (2011). Efficacy of exercise-based cardiac rehabilitation post-myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am Heart J*, *162*(4), 571-584.e572. doi:10.1016/j.ahj.2011.07.017
- Lee, D., Fuisz, A. R., Fan, P. H., Hsu, T. L., Liu, C. P., & Chiang, H. T. (2001). Real-time 3-dimensional echocardiographic evaluation of left ventricular volume: correlation with magnetic resonance imaging--a validation study. *J Am Soc Echocardiogr*, *14*(10), 1001-1009. doi:10.1067/mje.2001.113647
- Lièvre, M., & Cucherat, M. (2010). Aspirin in the secondary prevention of cardiovascular disease: an update of the APTC meta-analysis. *Fundam Clin Pharmacol*, *24*(3), 385-391. doi:10.1111/j.1472-8206.2009.00769.x
- Liou, K., Ho, S., Fildes, J., & Ooi, S. Y. (2016). High Intensity Interval versus Moderate Intensity Continuous Training in Patients with Coronary Artery Disease: A Meta-analysis of Physiological and Clinical Parameters. *Heart, Lung and Circulation*, *25*(2), 166-174. doi:10.1016/j.hlc.2015.06.828
- Mann, D. L., & Bristow, M. R. (2005). Mechanisms and models in heart failure: the biomechanical model and beyond. *Circulation*, *111*(21), 2837-2849. doi:10.1161/circulationaha.104.500546
- Mezzani, A., Hamm, L. F., Jones, A. M., McBride, P. E., Moholdt, T., Stone, J. A., Urhausen, A., & Williams, M. A. (2013). Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *Eur J Prev Cardiol*, *20*(3), 442-467. doi:10.1177/2047487312460484
- Mills, E. J., Wu, P., Chong, G., Ghement, I., Singh, S., Akl, E. A., Eyawo, O., Guyatt, G., Berwanger, O., & Briel, M. (2011). Efficacy and safety of statin treatment

- for cardiovascular disease: a network meta-analysis of 170,255 patients from 76 randomized trials. *Qjm*, 104(2), 109-124. doi:10.1093/qjmed/hcq165
- Mitchell, B. L., Lock, M. J., Davison, K., Parfitt, G., Buckley, J. P., & Eston, R. G. (2019). What is the effect of aerobic exercise intensity on cardiorespiratory fitness in those undergoing cardiac rehabilitation? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, 53(21), 1341-1351. doi:10.1136/bjsports-2018-099153
- Moholdt, T., Aamot, I. L., Granoien, I., Gjerde, L., Myklebust, G., Walderhaug, L., Brattbakk, L., Hole, T., Graven, T., Stolen, T. O., Amundsen, B. H., Molmen-Hansen, H. E., Stoylen, A., Wisloff, U., & Slordahl, S. A. (2012). Aerobic interval training increases peak oxygen uptake more than usual care exercise training in myocardial infarction patients: a randomized controlled study. *Clin Rehabil*, 26(1), 33-44. doi:10.1177/0269215511405229
- Mor-Avi, V., Jenkins, C., Köhl, H. P., Nesser, H. J., Marwick, T., Franke, A., Ebner, C., Freed, B. H., Steringer-Mascherbauer, R., Pollard, H., Weinert, L., Niel, J., Sugeng, L., & Lang, R. M. (2008). Real-time 3-dimensional echocardiographic quantification of left ventricular volumes: multicenter study for validation with magnetic resonance imaging and investigation of sources of error. *JACC Cardiovasc Imaging*, 1(4), 413-423. doi:10.1016/j.jcmg.2008.02.009
- Moraes-Silva, I. C., Rodrigues, B., Coelho-Junior, H. J., Feriani, D. J., & Irigoyen, M. C. (2017). Myocardial Infarction and Exercise Training: Evidence from Basic Science. *Adv Exp Med Biol*, 999, 139-153. doi:10.1007/978-981-10-4307-9_9
- Nadal-Ginard, B., & Mahdavi, V. (1989). Molecular basis of cardiac performance. Plasticity of the myocardium generated through protein isoform switches. *J Clin Invest*, 84(6), 1693-1700. doi:10.1172/jci114351
- Oldridge, N. (2012). Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: meta-analysis outcomes revisited. *Future Cardiol*, 8(5), 729-751. doi:10.2217/fca.12.34
- Pattyn, N., Coeckelberghs, E., Buys, R., Cornelissen, V. A., & Vanhees, L. (2014). Aerobic interval training vs. moderate continuous training in coronary artery disease patients: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 44(5), 687-700. doi:10.1007/s40279-014-0158-x
- Pedersen, F., Butrymovich, V., Kelbæk, H., Wachtell, K., Helqvist, S., Kastrup, J., Holmvang, L., Clemmensen, P., Engstrøm, T., Grande, P., Saunamäki, K., & Jørgensen, E. (2014). Short- and long-term cause of death in patients treated with primary PCI for STEMI. *J Am Coll Cardiol*, 64(20), 2101-2108. doi:10.1016/j.jacc.2014.08.037
- Pelliccia, A., Sharma, S., Gati, S., Bäck, M., Börjesson, M., Caselli, S., Collet, J.-P., Corrado, D., Drezner, J. A., Halle, M., Hansen, D., Heidebuchel, H., Myers, J., Niebauer, J., Papadakis, M., Piepoli, M. F., Prescott, E., Roos-Hesselink, J. W., Graham Stuart, A., Taylor, R. S., Thompson, P. D., Tiberi, M., Vanhees, L., Wilhelm, M., & Group, E. S. D. (2020). 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease: The Task Force on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 42(1), 17-96. doi:10.1093/eurheartj/ehaa605 %J European Heart Journal
- Philips Healthcare. (2016). How to perform 3D quantification using Philips QLAB 3DQA application [Screenshot, Min. 4:15]. Abgerufen am 01.06.2023 von <https://www.youtube.com/watch?v=-FVyxKTBon4>
- Piepoli, M. F., Hoes, A. W., Agewall, S., Albus, C., Brotons, C., Catapano, A. L., Cooney, M. T., Corra, U., Cosyns, B., Deaton, C., Graham, I., Hall, M. S., Hobbs, F. D. R., Lochen, M. L., Lollgen, H., Marques-Vidal, P., Perk, J.,

- Prescott, E., Redon, J., Richter, D. J., Sattar, N., Smulders, Y., Tiberi, M., van der Worp, H. B., van Dis, I., Verschuren, W. M. M., & Binno, S. (2016). 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J*, *37*(29), 2315-2381. doi:10.1093/eurheartj/ehw106
- Ponikowski, P., Voors, A. A., Anker, S. D., Bueno, H., Cleland, J. G. F., Coats, A. J. S., Falk, V., Gonzalez-Juanatey, J. R., Harjola, V. P., Jankowska, E. A., Jessup, M., Linde, C., Nihoyannopoulos, P., Parissis, J. T., Pieske, B., Riley, J. P., Rosano, G. M. C., Ruilope, L. M., Ruschitzka, F., Rutten, F. H., & van der Meer, P. (2016). 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*, *37*(27), 2129-2200. doi:10.1093/eurheartj/ehw128
- Puhl, S. L., Müller, A., Wagner, M., Devaux, Y., Böhm, M., Wagner, D. R., & Maack, C. (2015). Exercise attenuates inflammation and limits scar thinning after myocardial infarction in mice. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, *309*(2), H345-359. doi:10.1152/ajpheart.00683.2014
- Puymirat, E., Simon, T., Steg, P. G., Schiele, F., Guéret, P., Blanchard, D., Khalife, K., Goldstein, P., Cattan, S., Vaur, L., Cambou, J. P., Ferrières, J., & Danchin, N. (2012). Association of changes in clinical characteristics and management with improvement in survival among patients with ST-elevation myocardial infarction. *Jama*, *308*(10), 998-1006. doi:10.1001/2012.jama.11348
- Qin, Y., Kumar Bundhun, P., Yuan, Z. L., & Chen, M. H. (2022). The effect of high-intensity interval training on exercise capacity in post-myocardial infarction patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*, *29*(3), 475-484. doi:10.1093/eurjpc/zwab060
- Rognmo, O., Moholdt, T., Bakken, H., Hole, T., Molstad, P., Myhr, N. E., Grimsmo, J., & Wisloff, U. (2012). Cardiovascular risk of high- versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation*, *126*(12), 1436-1440. doi:10.1161/circulationaha.112.123117
- Ross, J., Jr. (1983). Mechanisms of cardiac contraction. What roles for preload, afterload and inotropic state in heart failure? *Eur Heart J*, *4 Suppl A*, 19-28. doi:10.1093/eurheartj/4.suppl_a.19
- Shimada, Y. J., & Shiota, T. (2011). A meta-analysis and investigation for the source of bias of left ventricular volumes and function by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol*, *107*(1), 126-138. doi:10.1016/j.amjcard.2010.08.058
- Solomon, S. D., Skali, H., Anavekar, N. S., Bourgoun, M., Barvik, S., Ghali, J. K., Warnica, J. W., Khrakovskaya, M., Arnold, J. M., Schwartz, Y., Velazquez, E. J., Califf, R. M., McMurray, J. V., & Pfeffer, M. A. (2005). Changes in ventricular size and function in patients treated with valsartan, captopril, or both after myocardial infarction. *Circulation*, *111*(25), 3411-3419. doi:10.1161/circulationaha.104.508093
- Spinale, F. G. (2007). Myocardial Matrix Remodeling and the Matrix Metalloproteinases: Influence on Cardiac Form and Function. *Physiological Reviews*, *87*(4), 1285-1342. doi:10.1152/physrev.00012.2007
- Sutton, M. G., & Sharpe, N. (2000). Left ventricular remodeling after myocardial infarction: pathophysiology and therapy. *Circulation*, *101*(25), 2981-2988. doi:10.1161/01.cir.101.25.2981

- Takeuchi, M., Nishikage, T., Mor-Avi, V., Sugeng, L., Weinert, L., Nakai, H., Salgo, I. S., Gerard, O., & Lang, R. M. (2008). Measurement of left ventricular mass by real-time three-dimensional echocardiography: validation against magnetic resonance and comparison with two-dimensional and m-mode measurements. *J Am Soc Echocardiogr*, *21*(9), 1001-1005. doi:10.1016/j.echo.2008.07.008
- Thygesen, K., Alpert, J. S., Jaffe, A. S., Chaitman, B. R., Bax, J. J., Morrow, D. A., White, H. D., & E. S. C. Scientific Document Group. (2019). Fourth universal definition of myocardial infarction *Eur Heart J*, *40*(3), 237-269. doi:10.1093/eurheartj/ehy462
- Thygesen, K., Mair, J., Giannitsis, E., Mueller, C., Lindahl, B., Blankenberg, S., Huber, K., Plebani, M., Biasucci, L. M., Tubaro, M., Collinson, P., Venge, P., Hasin, Y., Galvani, M., Koenig, W., Hamm, C., Alpert, J. S., Katus, H., & Jaffe, A. S. (2012). How to use high-sensitivity cardiac troponins in acute cardiac care. *Eur Heart J*, *33*(18), 2252-2257. doi:10.1093/eurheartj/ehs154
- Thygesen, K., Mair, J., Katus, H., Plebani, M., Venge, P., Collinson, P., Lindahl, B., Giannitsis, E., Hasin, Y., Galvani, M., Tubaro, M., Alpert, J. S., Biasucci, L. M., Koenig, W., Mueller, C., Huber, K., Hamm, C., & Jaffe, A. S. (2010). Recommendations for the use of cardiac troponin measurement in acute cardiac care. *Eur Heart J*, *31*(18), 2197-2204. doi:10.1093/eurheartj/ehq251
- Timmis, A., Vardas, P., Townsend, N., Torbica, A., Katus, H., De Smedt, D., Gale, C. P., Maggioni, A. P., Petersen, S. E., Huculeci, R., Kazakiewicz, D., de Benito Rubio, V., Ignatiuk, B., Raisi-Estabragh, Z., Pawlak, A., Karagiannidis, E., Treskes, R., Gaita, D., Beltrame, J. F., McConnachie, A., Bardinet, I., Graham, I., Flather, M., Elliott, P., Mossialos, E. A., Weidinger, F., & Achenbach, S. (2022). European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics 2021. *Eur Heart J*, *43*(8), 716-799. doi:10.1093/eurheartj/ehab892
- Trachsel, L. D., David, L. P., Gayda, M., Henri, C., Hayami, D., Thorin-Trescases, N., Thorin, E., Blain, M. A., Cossette, M., Lalonge, J., Juneau, M., & Nigam, A. (2019). The impact of high-intensity interval training on ventricular remodeling in patients with a recent acute myocardial infarction-A randomized training intervention pilot study. *Clinical Cardiology*, *42*(12), 1222-1231. doi:10.1002/clc.23277
- Tucker, W. J., Beaudry, R. I., Liang, Y., Clark, A. M., Tomczak, C. R., Nelson, M. D., Ellingsen, O., & Haykowsky, M. J. (2019). Meta-analysis of Exercise Training on Left Ventricular Ejection Fraction in Heart Failure with Reduced Ejection Fraction: A 10-year Update. *Prog Cardiovasc Dis*, *62*(2), 163-171. doi:10.1016/j.pcad.2018.08.006
- Vanhees, L., Geladas, N., Hansen, D., Kouidi, E., Niebauer, J., Reiner, Z., Cornelissen, V., Adamopoulos, S., Prescott, E., Börjesson, M., Bjarnason-Wehrens, B., Björnstad, H. H., Cohen-Solal, A., Conraads, V., Corrado, D., De Sutter, J., Doherty, P., Doyle, F., Dugmore, D., Ellingsen, Ø., Fagard, R., Giada, F., Gielen, S., Hager, A., Halle, M., Heidbüchel, H., Jegier, A., Mazic, S., McGee, H., Mellwig, K. P., Mendes, M., Mezzani, A., Pattyn, N., Pelliccia, A., Piepoli, M., Rauch, B., Schmidt-Trucksäss, A., Takken, T., van Buuren, F., & Vanuzzo, D. (2012). Importance of characteristics and modalities of physical activity and exercise in the management of cardiovascular health in individuals with cardiovascular risk factors: recommendations from the EACPR. Part II. *Eur J Prev Cardiol*, *19*(5), 1005-1033. doi:10.1177/1741826711430926
- Velagaleti, R. S., Pencina, M. J., Murabito, J. M., Wang, T. J., Parikh, N. I., D'Agostino, R. B., Levy, D., Kannel, W. B., & Vasan, R. S. (2008). Long-term trends in the incidence of heart failure after myocardial infarction. *Circulation*, *118*(20), 2057-2062. doi:10.1161/circulationaha.108.784215

- Visseren, F. L. J., Mach, F., Smulders, Y. M., Carballo, D., Koskinas, K. C., Bäck, M., Benetos, A., Biffi, A., Boavida, J.-M., Capodanno, D., Cosyns, B., Crawford, C., Davos, C. H., Desormais, I., Di Angelantonio, E., Franco, O. H., Halvorsen, S., Hobbs, F. D. R., Hollander, M., Jankowska, E. A., Michal, M., Sacco, S., Sattar, N., Tokgozoglu, L., Tonstad, S., Tsioufis, K. P., van Dis, I., van Gelder, I. C., Wanner, C., Williams, B., & Group, E. S. D. (2021). 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the Task Force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies With the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur J Prev Cardiol*, 29(1), 5-115. doi:10.1093/eurjpc/zwab154 %J European Journal of Preventive Cardiology
- Wan, W., Xu, X., Zhao, W., Garza, M. A., & Zhang, J. Q. (2014). Exercise training induced myosin heavy chain isoform alteration in the infarcted heart. *Appl Physiol Nutr Metab*, 39(2), 226-232. doi:10.1139/apnm-2013-0268
- Wilk, B., Wisenberg, G., Dharmakumar, R., Thiessen, J. D., Goldhawk, D. E., & Prato, F. S. (2020). Hybrid PET/MR imaging in myocardial inflammation post-myocardial infarction. *J Nucl Cardiol*, 27(6), 2083-2099. doi:10.1007/s12350-019-01973-9
- Wilkins, E., Wilson, L., Wickramasinghe, K., Bhatnagar, P., Leal, J., Luengo-Fernandez, R., Burns, R., Rayner, M., & Townsend, N. (2017). European Cardiovascular Disease Statistics 2017. Retrieved 16.04.2020, from European Heart Network
- Wisløff, U., Loennechen, J. P., Currie, S., Smith, G. L., & Ellingsen, Ø. (2002). Aerobic exercise reduces cardiomyocyte hypertrophy and increases contractility, Ca²⁺ sensitivity and SERCA-2 in rat after myocardial infarction. *Cardiovasc Res*, 54(1), 162-174. doi:10.1016/s0008-6363(01)00565-x
- Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, O., Haram, P. M., Tjonna, A. E., Helgerud, J., Slordahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Ellingsen, O., & Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086-3094. doi:10.1161/circulationaha.106.675041
- Yan, F., Zhang, Y., Pan, Y., Li, S., Yang, M., Wang, Y., Yanru, C., Su, W., Ma, Y., & Han, L. (2023). Prevalence and associated factors of mortality after percutaneous coronary intervention for adult patients with ST-elevation myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *J Res Med Sci*, 28, 17. doi:10.4103/jrms.jrms_781_21
- Zhang, Y. M., Lu, Y., Tang, Y., Yang, D., Wu, H. F., Bian, Z. P., Xu, J. D., Gu, C. R., Wang, L. S., & Chen, X. J. (2016). The effects of different initiation time of exercise training on left ventricular remodeling and cardiopulmonary rehabilitation in patients with left ventricular dysfunction after myocardial infarction. *Disabil Rehabil*, 38(3), 268-276. doi:10.3109/09638288.2015.1036174

10 Anhang

10.1 Trainingsprotokoll HIIT

Trainingsprotokoll HIIT Ex-AMI-Pilotstudie

Patient ID: _____

Patient Name: _____

Abkürzungsverzeichnis Trainingsprotokoll HIIT

BORG Angabe der subjektiv wahrgenommenen Belastung anhand Borg-Skala

Bpm *beats per minute*

FQ Frequenz

HF Herzfrequenz

HIIT Höher-intensives Intervalltraining

INT Intensität

mmHg Millimeter Quecksilbersäule (Messeinheit Blutdruck)

Rpm *revolutions per minute*

RR *Riva-Rocci*

Run-In-Phase

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 1						
Protokoll	Run-In					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						

Besonderheiten: _____

Run-In-Phase

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 2						
Protokoll	Run-In					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 3				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 4				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 5				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 6				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 7				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 8				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 9				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 10				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 11				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 12				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 13				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 14				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 15				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 16				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 17				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 18				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 19				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 20				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 21				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 22				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 23				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT				Soll-HF (bpm)	
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

Name						
Woche 24				Warm-Up/ Erholung		Intervalle
Protokoll	HIIT		Soll-HF (bpm)			
Session 1	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 2	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
35-38						
+5						
Session 3	HF(bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
0-10						Compliant?
10-14						J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
14-17						Befinden?
17-21						☺1-2-3-4- 5☹
21-24						
24-28						
28-31						
31-35						
+5						

Besonderheiten: _____

10.2 Trainingsprotokoll MCT

Trainingsprotokoll MCT Ex-AMI-Pilotstudie

Patient ID: _____

Patient Name: _____

Abkürzungsverzeichnis Trainingsprotokoll MCT

BORG Angabe der subjektiv wahrgenommenen Belastung anhand Borg-Skala

Bpm *beats per minute*

FQ Frequenz

HF Herzfrequenz

INT Intensität

MCT Moderates kontinuierliches Ausdauertraining

mmHg Millimeter Quecksilbersäule (Messeinheit Blutdruck)

Rpm *revolutions per minute*

RR *Riva-Rocci*

Run-In-Phase

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 1						
Protokoll	Run-In					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						

Besonderheiten: _____

Run-In-Phase

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 2						
Protokoll	Run-In					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 3						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 4						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 5						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 6						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 7						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 8						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 9						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 10						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 11						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 12						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 13						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 14						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 15						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 16						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 17						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 18						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 19						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 20						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 21						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 22						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 23						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Name			Soll HF (bpm)			
Woche 24						
Protokoll	MCT					
Session 1	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 2	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						
Session 3	HF (bpm)	RR (mmHg)	INT (Watt)	BORG	FQ (rpm)	
Pre						
10						Compliant? J <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
20						
30						Befinden? ☺1-2-3-4- 5☹
40						
+5						

Besonderheiten: _____

Danksagung

Im Folgenden möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt haben.

Zuallererst möchte ich meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. med. Martin Halle für die ausgezeichnete Betreuung und die Überlassung des Dissertationsthemas danken. Mein ganz besonderer Dank gilt auch meiner Mentorin, Frau Dr. med. Katrin Esefeld für stetige Unterstützung, den regelmäßigen Austausch und die konstruktive Zusammenarbeit. Zudem möchte ich Herrn PD Dr. rer. nat. Bernhard Haller für die Beratung in statistischen Fragestellungen danken. Daneben gilt mein Dank dem gesamten Assistenzpersonal der Abteilung Präventive Sportmedizin und Sportkardiologie des Klinikums rechts der Isar, TU München, die mir bei der Untersuchung der Patienten und der Durchführung des Trainings tatkräftig zur Seite standen.

Meiner Ehefrau Katrin Sigl danke ich von ganzem Herzen für die liebevolle Begleitung und Motivation während der Verfassung dieser Dissertation. Ein herzlicher Dank gilt auch meinen Eltern, die mich jederzeit vollumfänglich unterstützt haben.