

Aus der Medizinischen Klinik mit Schwerpunkt Hämatologie und
Onkologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Effekte eines 12-wöchigen Ausdauertrainings auf die
körperliche Leistungsfähigkeit und den psychischen Zustand
von Patienten mit isolierter systolischer Hypertonie

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Romy Meißner

aus Grimma

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. F. C. Dimeo
 2. Prof. Dr. med. H.-G. Predel
 3. Prof. Dr. med. M. van der Giet

Datum der Promotion: 09.09.2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Epidemiologie	7
1.2. Hypertonie und Sport.....	8
1.2.1. Akute Effekte körperlicher Aktivität	9
1.2.2. Chronische Effekte körperlicher Aktivität	10
1.3. Leistungsphysiologische Parameter: VO ₂ max, Laktat und Herzfrequenz	11
1.4. Die Borg-Skala (RPE).....	12
1.5. Fragestellung	14
2. Methodik	17
2.1. Untersuchungskollektiv	17
2.2. Eingangsuntersuchung	19
2.3. Randomisierung	20
2.4. Trainingsprogramm.....	21
2.5. Abschlussuntersuchung.....	23
2.6. Statistik	23
3. Ergebnisse	24
3.1. Maximale Leistungsfähigkeit.....	24
3.2. systolischer Blutdruck bei submaximaler Belastung	25
3.3. diastolischer Blutdruck bei submaximaler Belastung	25
3.4. Laktatwerte bei submaximaler Belastung	26
3.5. Herzfrequenz bei submaximaler Belastung	27
3.6. Werte auf der Borg-Skala bei submaximaler Belastung	28
3.7. Korrelationen	29
3.7.1. Beziehung zwischen systolischem Blutdruck und RPE	29
3.7.2. Beziehung zwischen Laktatkonzentration und RPE.....	30
3.7.3. Beziehung zwischen Herzfrequenz und RPE	31

3.8. Anzahl der Blutdruckspitzen während der Ein- und Ausgangsuntersuchung...	31
3.9. Anzahl der Blutdruckspitzen im Verlauf des Trainings.....	32
4. Diskussion	34
5. Zusammenfassung	43
6. Verzeichnis wiederkehrender Abkürzungen	44
7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	46
7.1. Abbildungen.....	46
7.2. Tabellen.....	47
8. Literaturverzeichnis	48
Danksagung	54
Erklärung.....	55
Lebenslauf.....	56

1. Einleitung

Die arterielle Hypertonie gehört zu den häufigsten chronischen Krankheiten und ist ein bedeutender Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen. Sie führt zu einem deutlichen Anstieg des Krankheits- und Sterblichkeitsrisikos insbesondere an zerebrovaskulärer Insuffizienz, chronischer Herzinsuffizienz, Niereninsuffizienz und peripherer arterieller Verschlusskrankheit (1). Die Wahrscheinlichkeit für zukünftige kardiovaskuläre Ereignisse steigt kontinuierlich mit der Höhe des arteriellen Blutdrucks, ein Schwellenwert existiert dabei nicht. Die Beziehung zwischen Blutdruck und den kardiovaskulären Krankheitsfolgen ist exponentiell (1, 2, 3).

Eine arterielle Hypertonie liegt vor, wenn erhöhte Blutdruckwerte in Ruhe bei wiederholten Messungen an verschiedenen Tagen festgestellt werden. Die Einteilung der Blutdruckwerte für Erwachsene ergeben sich aus den aktuellen WHO/ISH-Richtlinien (1) (Tabelle 1).

Laut WHO wird als isolierte systolische Hypertonie (ISH) ein systolischer Blutdruck über 140 mmHg bei einem diastolischen Blutdruckdruck unter 90 mmHg bezeichnet. Systolische Werte zwischen 140 mmHg und 160 mmHg bei normalen diastolischen Werten entsprechen der Borderline-ISH. Circa 80 Prozent dieser Patienten entwickeln im Verlauf einiger Jahre die manifeste Form der ISH mit entsprechendem kardiovaskulärem Risiko (4). Als Ursache dieser Erkrankung ist eine Sklerose der großen Gefäße mit verminderter Windkesselfunktion und daraus folgender großer Blutdruckamplitude anzusehen. Mit dieser Diagnose ist bereits die Manifestation eines Organschadens erfasst, womit auch verständlich wird, warum die ISH im klinischen Alltag schwieriger zu behandeln ist als andere Hypertonieformen (5).

Überhöhte Blutdruckwerte bei einer ergometrischen Belastung, die sogenannte Belastungshypertonie, liegen vor, wenn bei einer Leistung von 100 Watt ein Blutdruck von 200/100 mmHg beziehungsweise bei über 50-jährigen ein Blutdruck von 215/105 mmHg überschritten werden (6, 7).

Optimal	<120/<80 mmHg
Normal	<130/<85 mmHg
Hoch-Normal	130-139/85-89 mmHg
Hypertonie Grad 1	140-159/90-99 mmHg
Hypertonie Grad 2	160-179/100-109 mmHg
Hypertonie Grad 3	>180/110 mmHg
Isolierte systolische Hypertonie	>140/<90 mmHg

Tab. 1: Klassifikation der Blutdruckwerte nach den WHO/ISH-Richtlinien 1999
(J. Hypertension 17 (1999) 151)

Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit des Bluthochdruckes ist die Unterscheidung in die essenzielle Hypertonie (circa 90 Prozent aller Hypertonien) und die sekundären Formen der Hypertonie. Bei der essenziellen Hypertonie sind die Ursachen unbekannt. In der Regel manifestiert sie sich jenseits des 30. Lebensjahres und ist eine multifaktorielle, polygene Erkrankung. In circa 60 Prozent der Fälle wird diese Form der Hypertonie vererbt. Außerdem tragen Faktoren wie Konstitution, Ernährungsgewohnheiten wie Kaffee- und Alkoholkonsum, Übergewicht, Stress, Rauchen sowie endokrine Faktoren weiter zur Entstehung der Hypertonie bei (1).

Bei circa zehn Prozent der Patienten liegt der arteriellen Hypertonie eine spezifische Ursache zugrunde. Diese sogenannten sekundären Formen einer Hypertonie sollten durch eine sorgfältige Anamnese, körperliche Untersuchung und Routinelaboruntersuchungen erkannt werden. So kann eine sehr ausgeprägte Blutdrucksteigerung ein Hinweis auf eine sekundäre Hypertonie sein. Ebenso weisen ein plötzlicher Beginn der Hypertonie, eine fehlende Nachtabsenkung bei der 24-Stunden-Blutdruckmessung sowie ein therapieresistenter hoher Blutdruck auf eine sekundäre Form der Hypertonie hin. In diesen Fällen sollten spezifische diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden. Mögliche Ursachen einer sekundären Hypertonie

sind die renal-parenchymatöse Hypertonie, die renovaskuläre Hypertonie, das Phäochromozytom, der primäre Hyperaldosteronismus, das Cushing-Syndrom, eine Koarktation der Aorta, die medikamenteninduzierte Form, die Schwangerschaftshypertonie, das Schlafapnoesyndrom als Risikofaktor für eine Hypertonie sowie die seltene familiäre monogenetische Form der Hypertonie (1).

1.1. Epidemiologie

Eine genaue Aussage über die Prävalenz der Hypertonie ist aufgrund der hohen Dunkelziffer schwer zu treffen. In den westlichen Industrieländern wird sie auf insgesamt 20 bis 25 Prozent geschätzt, jenseits des 50. Lebensjahres sogar auf etwa 50 Prozent (8). Speziell zur ISH ist zu bemerken, dass sie fast ausschließlich Personen jenseits des 55. Lebensjahres betrifft. Frauen weisen dabei häufiger als Männer eine vollständig ausgeprägte Form auf. Vor dem 45. Lebensjahr kann man die ISH als Rarität bezeichnen, sie ist hier Ausdruck einer hyperdynamischen Herzaktion mit erhöhtem Schlagvolumen bei stimuliertem Sympathikotonus. Mit zunehmendem Lebensalter steigt die Prävalenz der arteriellen Hypertonie. Parallel dazu nimmt unter den älteren Hypertonikern der Anteil der Patienten mit ISH zu. Circa 60 Prozent der älteren Hypertoniepatienten sind davon betroffen. Das Auftreten der ISH ist allerdings deutlich von der Anzahl der Blutdruckmessungen und der Definition der diastolischen Grenzwerte abhängig. Außerdem ist zu erwähnen, dass gerade die ISH als Erkrankung des höheren Lebensalters häufig in Kombination mit anderen kardiovaskulären Risikofaktoren wie Fettstoffwechselstörungen, Adipositas und dem metabolischen Syndrom auftritt (9). Zahlreiche Untersuchungen konnten einen positiven Zusammenhang zwischen der Höhe des Blutdruckes und der Morbidität und Letalität an kardiovaskulären Erkrankungen feststellen. Körperliche Inaktivität gilt als ein gesicherter und bedeutender Risikofaktor für das Auftreten von kardiovaskulären Erkrankungen, was durch die Ergebnisse von mehr als 50 Untersuchungen dargelegt werden konnte (10). Dreißig Prozent aller Deutschen sind körperlich wenig aktiv, 45 Prozent treiben überhaupt keinen Sport und nur circa 13 Prozent bewegen sich so viel, dass dadurch ein präventiver Effekt erreicht wird (11).

1.2. Hypertonie und Sport

Die momentane Datenlage weist eine große Anzahl an unterschiedlichsten Studien und Metaanalysen zur Problematik der Blutdrucksenkung mittels Training auf.

Es ist festzustellen, dass in allen Studien ein positiver Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der Senkung des Blutdruckes aufgezeigt werden konnte, welcher sich bei Hypertonikern deutlicher als bei normotensiven Patienten zeigt. Problematisch ist jedoch, dass ein systematischer Vergleich der Arbeiten untereinander aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns nicht oder nur schlecht möglich ist. Kritisch ist hier vor allem die oft fehlende oder ungenaue Randomisierung in eine Trainings- bzw. Kontrollgruppe zu sehen, sowie große Unterschiede im Alter (18 bis 92 Jahre) und Trainingszustand der Probanden. Weiterhin gab es große Variationen hinsichtlich der Intensität und Dauer der körperlichen Belastung in den verschiedenen Untersuchungen. So wurden als körperliche Aktivität forciertes Gehen, Walking, Laufen, Schwimmen oder Radfahren sowie unterschiedliche Formen eines Krafttrainings genutzt. Die Trainingsintensität reichte von selbstgewähltem Tempo der Teilnehmer bis zu 80 Prozent der maximalen Herzfrequenz beziehungsweise beim Krafttraining von 30 bis 90 Prozent der Maximalkraft. Die Studiendauer variierte von 4 bis 52 Wochen, die Trainingsfrequenz zwischen ein bis fünfmal pro Woche. Wissenschaftliche Kriterien wie die Nachkontrolle der Teilnehmergruppen, Einbeziehung der Lebensstilfaktoren und die genauen Bedingungen der Blutdruckmessung wurden nicht immer einbezogen.

Eine bessere Analogie der Studien untereinander und eine genauere Aussagekraft hinsichtlich der blutdrucksenkenden Wirkung von körperlicher Aktivität sind mittels Metaanalysen möglich. Diese Art der Untersuchung ist besonders bedeutsam bei der Auswertung von Studien mit wenigen Teilnehmern beziehungsweise einer kleinen Anzahl von Studien, da sie diese aufsummiert und somit besser vergleichbar macht. *Fagard* beschreibt 2005 Zusammenhänge physischer Aktivität, Diät und deren Kombination auf den Blutdruck (56). In einer weiteren Studie zeigte er 2006 die positiven Effekte eines Trainings auf den Blutdruck und vergleicht dabei die Auswirkungen eines Ausdauertrainings mit denen eines Krafttrainings (57). In der Metaanalyse von *Murphy et al* werden die Effekte durch ein Ausdauertraining mittels Walking hinsichtlich Fitness, Übergewicht und Reduktion des Blutdruckes in randomisierten Studien untersucht (58). Die Auswirkungen von Ausdauertraining auf

den Blutdruck, die Blutdruckregulationsmechanismen und die kardiovaskulären Risikofaktoren fassten *Cornelissen* und *Fagard* 2005 in einer Metaanalyse zusammen (59). Eine weitere Literaturanalyse in Bezug auf die Wirkungen des dynamischen Ausdauertrainings auf die Reduktion des Blutdruckes bei Erwachsenen beschreibt *Kelley* bereits 1997, wobei er Studien von 1966 bis 1995 in seine Untersuchung einschloss (60). *Kelley* und *Kelley* veröffentlichten 2000 eine Überblicksanalyse zu kontrollierten, randomisierten Studien, die die Effekte eines Ausdauertrainings auf die Blutdruckreduktion darstellten (61).

1.2.1. Akute Effekte körperlicher Aktivität

Das Verhalten des Blutdruckes ergibt sich aus dem Produkt der Herzleistung und des totalen peripheren Gefäßwiderstandes, welche durch Faktoren beeinflusst werden, die die Blutdruckantwort unter Belastung bestimmen. Diese sind das Verhältnis von statischer zu dynamischer Herzarbeit, die Intensität der Belastung und der intrathorakale Druckanstieg bei Pressatmung (12).

Dynamische, aerobe Belastungen mit geringem bis mäßigem Krafteinsatz sind vorwiegend Volumenbelastungen, bei denen die Herzleistung mit der Intensität ansteigt, während der periphere Gefäßwiderstand abfällt. Entsprechend steigt der systolische Blutdruck linear an. Der diastolische Blutdruck ändert sich beim Laufen wenig, beim Radfahren kann er geringfügig ansteigen (13, 4).

Am Anfang einer körperlichen Belastung kommt es, neben dem Anstieg der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Belastungsintensität, zu einem Anstieg des arteriellen Druckes. Bei Patienten mit Hypertonie ist einerseits bereits der Ausgangsblutdruck erhöht, andererseits kann auch der Druckanstieg stärker ausgeprägt sein als bei einem Normotoniker. Dies erklärt sich aus einer eingeschränkten Gefäßcompliance, bei der sich die Arteriolen den Ansprüchen eines gesteigerten Sauerstoffbedarfs nicht adäquat durch Vasodilatation anpassen (5, 14, 15).

1.2.2. Chronische Effekte körperlicher Aktivität

Ein Ausdauertraining eignet sich zur Blutdrucksenkung bei Patienten mit arterieller Hypertonie sowie zur Prävention einer Hypertonie bei Menschen mit normalen Blutdruckwerten aber bereits vorliegender Disposition (15, 16, 17, 18). Diese Aussage ist auch für Senioren gültig (19).

Dass eine regelmäßige körperliche Aktivität sowohl den systolischen als auch den diastolischen Blutdruck senkt, ist in zahlreichen Studien aufgezeigt worden (50, 52, 53, 54, 55, 56, 57). In den meisten Untersuchungen ist der blutdrucksenkende Effekt nach drei Wochen bis drei Monaten Trainingsdauer nachweisbar. Danach erfolgt meist keine weitere Absenkung der zu Beginn erhöhten Blutdruckwerte. Eine bis zwei Wochen nach Unterbrechung des Trainings steigt der Blutdruck oft auf frühere Werte an. Ein regelmäßiges Training ist daher von großer Bedeutung. Die positiven Effekte körperlicher Aktivität sind, ähnlich wie bei der Einnahme von Medikamenten, nur so lange nachweisbar, wie das Training durchgeführt wird (18, 4). Bei langjährigem Training kommt es zu einer leichten Zunahme des blutdrucksenkenden Effektes.

Als Beispiel konnte in einer Langzeitstudie bei Hypertoniepatienten eine Senkung der mittleren Ruheblutdruckwerte von 139/96 mmHg in den ersten Jahren auf 130/87 mmHg nachgewiesen werden. Innerhalb von zehn Jahren fielen sie weiter auf 126/85 mmHg. Metaanalysen zur blutdrucksenkenden Wirkung körperlicher Aktivität bei Hypertonikern haben eine Senkung des systolischen Blutdruckes von bis zu 10 mmHg und eine Senkung des diastolischen Blutdruckes von bis zu 8 mmHg ergeben (14,15).

Laut einer Metaanalyse aus 44 randomisierten, kontrollierten Studien fällt der blutdrucksenkende Effekt des Ausdauertrainings bei Hypertonikern mit einer Absenkung von durchschnittlich 7,4/5,8 mmHg deutlich stärker aus als bei normotensiven Probanden mit einer Absenkung des Blutdruckes von durchschnittlich 2,6/1,8 mmHg (20). Vor allem bisher körperlich inaktive Hypertoniker profitieren von einem Ausdauertraining, wobei sich eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Dauer der körperlichen Aktivität pro Woche und dem Ausmaß der erzielten Blutdrucksenkung abzeichnet (16, 20, 21, 22).

1.3. Leistungsphysiologische Parameter: VO_{2max} , Laktat und Herzfrequenz

Eine Maximierung der Leistungsfähigkeit wie im Spitzensport wird im präventiven und rehabilitativen Bereich nicht angestrebt, trotzdem ist eine Verbesserung wichtiger leistungsphysiologischer Parameter wie eine Zunahme der kardialen Ejektionsfraktion, eine Verschiebung der anaeroben Schwelle und eine Zunahme der VO_{2max} möglich und von Bedeutung. Als Folge der Anpassung wird die kardiale Belastung reduziert und somit die Sauerstoffversorgung des Myokards verbessert (23). Weiterhin können durch eine Verbesserung dieser Parameter und damit der körperlichen Leistungsfähigkeit, die Patienten die Anforderungen des Alltages leichter bewältigen, was wiederum zu einer Steigerung der Lebensqualität führen kann.

Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) gilt seit Jahrzehnten als die klassische Messgröße der körperlichen Leistungsfähigkeit (24, 25, 26). Es handelt sich dabei um die Menge an Sauerstoff, die vom Organismus maximal aufgenommen und verwertet werden kann. Die Angabe von VO_2 erfolgt in Liter pro Minute, zu einer besseren Vergleichbarkeit erfolgt die Normierung auf das Körpergewicht (in ml/min/kg). Die VO_{2max} gilt als summative Messgröße für die sauerstoffaufnehmenden (pulmonale), sauerstofftransportierenden (kardiale und hämatologische) und sauerstoffverwertenden (muskuläre) Funktionssysteme des Organismus. Berechnet wird sie nach dem Fick'schen Prinzip aus dem Produkt des Herzminutenvolumens (HMV) und der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz (a-v- DO_2):

$$VO_{2max} = HMV_{max} \times a-v-DO_{2max}$$

Als leistungsbegrenzende Faktoren der VO_{2max} können interne Faktoren wie die Ventilation, die Diffusion in der Lunge, das Herzzeitvolumen, die Blutverteilung, die periphere Utilisation (a-v- DO_2), das Blutvolumen, das Total-Hämoglobin, die dynamische Leistungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur und der Ernährungszustand von den externen Faktoren Belastungsmodus, Größe und Art der eingesetzten Muskulatur, O_2 -Partialdruck der eingeatmeten Luft und den klimatischen Gegebenheiten unterschieden werden (27). Für die korrekte Bestimmung der VO_{2max} wird eine körperliche Ausbelastung vorausgesetzt. Dieser Punkt erschwert die

Evaluation der VO₂max vor allem bei der Arbeit mit Patienten, welche nicht immer ausbelastet werden können.

Misst man bei einem stufenförmigen Belastungstest die Blutlaktatkonzentration und die Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen, lässt sich aus den Werten eine Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurve erstellen. Bei einer typischen Kurve steigt die Herzfrequenz annähernd linear und knickt dann ab. Das Laktat, welches ein temporäres Endprodukt des anaeroben Stoffwechsels darstellt, zeigt einen hyperbelförmigen Kurvenverlauf. Je besser die Ausdauerleistungsfähigkeit ist, desto niedriger sind die Laktatwerte auf den einzelnen Belastungsstufen beziehungsweise umso weiter nach rechts verschoben liegt die Laktatkurve (28).

Bei der Bestimmung der Laktatkonzentration sind spezifische Besonderheiten wie der Entnahmeort, die Dauer der Belastungsstufen und der Einfluss der Ernährung auf die Laktatwerte zu beachten, damit die erhobenen Werte richtig interpretiert werden können. Die fixe Festlegung einer Intensität als Empfehlung für ein Training anhand von absolut gemessenen Laktatwerten ist problematisch. Die ventilatorische Antwort auf die zunehmende Azidose bei der Anhäufung von Laktat steht im Zusammenhang mit dem sogenannten Laktat-Umschlagpunkt und nicht mit einer fixen 2-mmol/l- oder 4-mmol/l-Schwelle (29). Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass bei Ausdauerbelastungen im Bereich der anaeroben wie der aeroben Schwelle sehr individuelle Laktatkurven entstehen (30). Aus praktischer Sicht, vor allem bei der Arbeit mit Patienten, bei der eine Ausbelastung eher die Ausnahme darstellt, dürfte die Beobachtung der Herzfrequenz ein bedeutenderer Kontrollparameter zur Verlaufsbeobachtung sein.

1.4. Die Borg-Skala (RPE)

Die Bestimmung der Anstrengungsempfindung mittels Borg-Skala (Rate of perceived exertion, RPE) bei körperlicher Leistung, vor allem bei Belastungsuntersuchungen, gilt seit der Einführung vor über 40 Jahren (31, 32) im angelsächsischen Sprachraum als Standard (33). In Deutschland erschienen bereits in den 70er und 80er Jahren Untersuchungen zum Anstrengungsempfinden (34, 35) und Standardlehrbücher führen diesen Parameter auf (36).

Das Anstrengungsempfinden ist die subjektive Antwort auf die Reizintensität einer physikalischen Leistung. Die Erfassung erfolgt mittels einer numerischen Skala (Borg-Skala, Rate of perceived exertion [RPE]). Die Leistung ist meist eine körperliche Belastung (Ergometrie), es lassen sich aber auch Empfindungen wie Schmerz, muskuläre Anstrengung oder Dyspnoe erfassen. Mit dem Anstrengungsempfinden können sowohl globale Empfindungen als auch regionale Empfindungen abgeschätzt werden. Die ursprünglich eingeführte Borg-Skala reichte von 1-20. Es zeigte sich jedoch eine nichtlineare Beziehung des Anstrengungsempfindens zur Leistung, woraus eine Änderung der Skala von 6-20 (Abb.1) resultierte. Durch Multiplikation mit zehn kann die zugehörige Herzfrequenz unter dynamischer Belastung näherungsweise bestimmt werden (Skalenwert mal 10 = Herzfrequenz) (37).

6	
7	sehr, sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	recht leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	sehr, sehr anstrengend
20	

Abb. 1: Skala des Anstrengungsempfindens (nach 31, 32); Copyright: © 1998 by Gunnar Borg

Vom Kindes- in das Jugendalter nimmt das Anstrengungsempfinden zu, bei Erwachsenen hingegen bleibt der Wert vom Alter unbeeinflusst (37).

Die Borg-Skala ist einfach zu handhaben und die Akzeptabilität ist sehr gut. Die Reproduzierbarkeit liegt bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,91-0,92, der Variationskoeffizient bei vier bis acht Prozent (31).

Die Borg-Skala ist ein häufig benutzter Parameter in klinischen und epidemiologischen Studien. Weiterhin wird sie in Trainingsstudien bei Sportlern und im Rahmen der Prävention und Rehabilitation eingesetzt. Bei Patienten mit elektrischer (Herzschrittmacher) oder medikamentöser (Betablocker) Beeinflussung der Herzfrequenz ist die Borg-Skala ein geeignetes Verfahren zur Steuerung der Belastungsintensität (37).

1.5. Fragestellung

Bisher existieren keine speziellen Richtlinien zur Trainingsintensität und -häufigkeit für Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie. Verschiedene Studien lassen die Schlussfolgerung zu, dass ein regelmäßiges Training von drei bis fünfmal pro Woche über jeweils 30 bis 60 Minuten, mit circa 50 bis 60 Prozent der maximalen Leistungsfähigkeit effektiv ist, um den Blutdruck zu senken (20). Als geeignete Trainingsherzfrequenz kann eine Herzfrequenz von 60 bis 70 Prozent der individuellen maximalen Herzfrequenz empfohlen werden, bei Hypertonikern mit asymptomatischen kardiovaskulären Hochdruckschäden 40 bis 60 Prozent der symptomlimitierten Herzfrequenzreserve (18).

Viele Studien die den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Hypertonie untersuchen, basieren auf einem normotensiven Probandenklientel. Es herrscht bis heute ein großes Informationsdefizit über Praktikabilität und die Effekte eines Ausdauertrainings bei älteren Hypertoniepatienten beziehungsweise Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie. Ältere Patienten mit arterieller Hypertonie stellen besondere Ansprüche hinsichtlich eines effektiven Trainingsprogrammes zur Senkung des Blutdruckes. Körperliche Aktivität kann hier vermehrt Blutdruckspitzen mit einem systolischen Druck über 210 mmHg auslösen, welche sich durch eine zunehmende arterielle Gefäßverkalkung beziehungsweise einer reduzierten vaskulären Compliance unter Belastung erklären lassen. Dies kann wiederum das Risiko für einen Schlaganfall

oder Myokardinfarkt erhöhen (38, 39). Des Weiteren ist zu beachten, dass bei älteren Patienten mit Hypertonie vermehrt Nebenerkrankungen auftreten, die ein körperliches Training einschränken können. Deshalb ist es sinnvoll, die Trainingsrichtlinien für ältere Hypertoniker, welche einen sehr großen Anteil an allen Patienten mit Hypertonie darstellen, zu differenzieren und zu modifizieren.

Aktuelle Richtlinien empfehlen ein Training bei Hypertoniepatienten, das auf einer Trainingssteuerung mittels kardiorespiratorischen Parametern beruht (38, 40). Die Trainingsintensität wird normalerweise als prozentualer Anteil der maximal erreichten Leistung, welche zum Beispiel mittels eines Ergometrietests ermittelt wurde, angegeben. Die gebräuchlichsten Parameter sind die Herzfrequenzreserve, die VO_{2max} und die VO_2 peak. Die Herzfrequenzreserve ist die Differenz zwischen der Ruheherzfrequenz und der maximalen Herzfrequenz. Eine weitere Möglichkeit die Herzfrequenzreserve zu ermitteln, ist einen festgesetzten prozentualen theoretischen Wert zu benutzen, der kalkuliert ist als $220 - \text{Lebensalter}$ (41, 42). Die VO_{2max} gibt den prozentualen Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme an. Als VO_2 peak wird die höchste registrierte Sauerstoffaufnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt bezeichnet, bei der die Herzfrequenz > 90 Prozent der zu erwarteten Herzfrequenz beträgt oder der Laktatwert > 6 mmol/l beziehungsweise die subjektive Befindlichkeit (Borg-Skala) > 18 ist (40). Die Inanspruchnahme dieser Parameter zur Trainingssteuerung setzt jedoch eine maximal erreichte Leistung als Berechnungsgrundlage beim Ergometrietest voraus (43). Als mögliche Alternative bei Patienten, die eine maximale Leistung nicht erreichen können oder wollen, ist die Nutzung der submaximalen Leistung, welche mittels anaerober Schwelle beziehungsweise einer festgelegten Laktatkonzentration bestimmt wird, als Grundlage einer Trainingssteuerung denkbar (44).

Es ist jedoch zu beachten, dass Patienten mit einer Hypertonie sogar bei einer submaximalen Trainingsintensität mit Blutdruckspitzen reagieren können. Der erhöhte Trainingsblutdruck steht in enger Beziehung zu dem Auftreten kardiovaskulärer Ereignisse. Laut einer Studie mit gesunden Männern steht der systolische Blutdruck bei einer Leistung von 100 Watt in einem engen Zusammenhang mit dem Auftreten kardiovaskulärer Erkrankungen und Myokardinfarkten (45, 46). Die heutigen Richtlinien raten davon ab, ein Training bei Patienten mit einem schlecht eingestellten beziehungsweise schweren Bluthochdruck durchzuführen (40), obwohl bisher keine

Untersuchungen zu den Effekten und Risikofaktoren eines Trainingsprogrammes mit älteren Hypertonikern mit erhöhten Blutdruckwerten während der körperlichen Aktivität vorhanden sind.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkungen eines zwölfwöchigen Trainingsprogramms auf den körperlichen Zustand, die kardiovaskuläre Funktion und das Wohlbefinden, sowie die Eignung von verschiedenen Methoden zur Festlegung der Intensität und Trainingssteuerung eines Trainingsprogrammes bei älteren Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie. Darüber hinaus wird das Auftreten hypertensiver Episoden bei Patienten mit oder ohne Blutdruckspitzen während der körperlichen Aktivität überprüft.

2. Methodik

2.1. Untersuchungskollektiv

Die Studie fand in einem Zeitraum von März bis Oktober 2005 an der Medizinischen Klinik III, Bereich Sportmedizin der Charité Campus Benjamin Franklin statt.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin genehmigt und ist unter <http://www.clinicaltrials.gov>, identification number NCT00315224 registriert.

Als Teilnehmer wurden Patienten der Hochschulambulanz/ Bluthochdrucksprechstunde der Charité rekrutiert.

Die Einschlusskriterien waren:

- Isolierter systolischer Bluthochdruck (systolisch > 140 mmHg, diastolisch ≤ 90 mmHg)
- Alter ≥ 60 Jahre

Als Ausschlusskriterien galten:

- Regelmäßige sportliche Betätigung innerhalb der letzten 12 Wochen vor Beginn der Studie
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit >IIa
- Aorteninsuffizienz bzw. Stenose > I. Grades
- Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie (HOCM)
- Herzinsuffizienz > NYHA II
- Absolute Arrhythmien mit hämodynamischer Relevanz
- Systolischer Blutdruck > 180 mmHg
- Ischämiezeichen im EKG der Eingangsuntersuchung
- Veränderungen der medikamentösen antihypertensiven Therapie in den letzten 6 Wochen.

Die Nebenerkrankungen der Studienteilnehmer sind in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt. Als Diabetes mellitus wurde ein Nüchtern-Blutzuckerwert von ≥ 126 mg/dl definiert. Für eine Hyperlipoproteinämie (HLP) liegt der Grenzwert von Cholesterin beziehungsweise Triglyzeriden bei ≥ 200 mg/dl.

Alle Patienten wurden mit mindestens einem und bis zu fünf antihypertensiven Medikamenten behandelt, durchschnittlich nahm jeder Teilnehmer drei verschiedene Antihypertensiva ein. Die Medikation beinhaltete Diuretika, Kalziumkanalblocker, ACE-Hemmer, Nitrate, β -Blocker, α -Blocker, AT1-Blocker, Clonidin, Moxonidin und Minoxidil. Die antihypertensive Therapie wurde während des Studienablaufes nicht verändert.

	Trainingsgruppe (n=24)	Kontrollgruppe (n=27)
Frauen	11	16
Männer	13	11
Alter	67.2 \pm 4.8	68.9 \pm 5.2
Anzahl der antihypertensiven Medikamente als Mittelwert (Gesamtanzahl)	3 (1-5)	3 (1-5)
Nebenerkrankungen		
Diabetes mellitus	5	5
KHK	2	3
HLP	14	11
Rauchen	2	2
Positive Familienanamnese für Herz- Kreislauf-Erkrankungen	2	3
LVH/diastolische Dysfunktion	16	13

Tab. 2: Patientencharakteristik: Alter der Patienten als Mittelwert \pm SD, Anzahl der antihypertensiven Medikamente als Mittelwert und Gesamtzahl

Insgesamt wurden 57 Patienten für die Teilnahme an der Studie in Betracht gezogen. Ausgewertet wurden die Daten von 51 Teilnehmern (27 Kontrollgruppe, davon 11 Männer und 16 Frauen; 24 Trainingsgruppe mit 13 Männern und 11 Frauen). Drei

Patienten sind bereits im Vorfeld von der Studie ausgeschlossen worden, da sie entweder den Einschlusskriterien nicht entsprachen oder mittels Ausschlusskriterien ausschieden.

Aus der Trainingsgruppe wurden drei Patienten während der Studie ausgeschlossen. Ein Patient schied aufgrund einer gastrointestinalen Erkrankung mit stationären Krankenhausaufenthalt aus, ein Patient musste die Studie aufgrund von belastungsinduzierten Schmerzen in beiden Kniegelenken abbrechen und ein weiterer Untersuchungsabbruch wurde durch einen Autounfall des Patienten und darauf folgenden Verletzungen verursacht.

Die Patienten erhielten schriftliche sowie persönliche Informationen über die Teilnahme an der Studie und wurden über die Ziele, die Durchführung und eventuelle Nebenwirkungen des Trainings aufgeklärt. Alle Teilnehmer lieferten eine schriftliche Einverständniserklärung ab.

2.2. Eingangsuntersuchung

Vor Aufnahme des Trainingsprogrammes beziehungsweise Beginn der Studie erfolgte bei allen Teilnehmern eine Eingangsuntersuchung. Diese beinhaltete eine Untersuchung der kardiorespiratorischen Funktion mittels Ruhe- und Belastungs-EKG, eine Laufband-Spiroergometrie, eine 24-Stunden-Langzeitblutdruckmessung und eine Echokardiografie des Herzens.

Zur Erhebung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Festlegung der Trainingsintensität wurde eine Laufbandspiroergometrie nach einem modifizierten Balke-Protokoll durchgeführt. Die Teilnehmer liefen zunächst bei einer Geschwindigkeit von drei Meilen pro Stunde und einer Steigung von 0 Prozent auf dem Laufband. Bei gleichbleibender Geschwindigkeit wurde die Steigung alle drei Minuten um jeweils 2,5 Prozent erhöht. Die Patienten wurden instruiert, bis zur vollständigen Erschöpfung zu laufen. Am Ende jeder Stufe beziehungsweise unmittelbar nach Belastungsabbruch wurden Blutdruck, Herzfrequenz, Laktatkonzentration und die subjektive Befindlichkeit nach der Borg-Skala bestimmt. Die Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme (in ml/kg/min) erfolgte während des Tests mittels Spirometer der Firma Cortex Biophysik, Leipzig. Zur Bestimmung der Laktatkonzentration wurde in Ruhe und am Ende jeder

Belastungsstufe und sofort nach Abbruch der Belastung 20 µl Blut aus dem Ohrläppchen in eine geeichte Kapillare entnommen und in ein Eppendorfhütchen gegeben. Die anschließende Messung der Laktatkonzentration erfolgte mit einem standardisierten enzymatisch-amperometrischen Verfahren mit einem Gerät der Firma Eppendorf (EBIO plus). Zur Ermittlung der Herzfrequenz diente das in Ruhe und bei Belastung kontinuierlich registrierte 12-Kanal-EKG. Die Blutdruckmessung erfolgte ebenfalls in Ruhe, in den letzten 30 Sekunden jeder Belastungsstufe sowie eine beziehungsweise drei Minuten nach Ende des Tests unblutig nach Riva-Rocci. Der systolische Blutdruck wurde in der I. Phase des Korotkoff-Geräusches gemessen, der diastolische Druck wurde zwischen der IV. und V. Phase bestimmt. Um dabei Artefakte zu vermeiden, konnten die Probanden wenn nötig, während der Messung ihre Hand an der Schulter der messenden Person auflegen. Außerdem wurden am Ende jeder Belastungsstufe die Borgskala beziehungsweise Rating of Perceived Exertion (RPE [67]) zur Erfassung der subjektiven Befindlichkeit bestimmt.

Die Ausbelastung beziehungsweise vollständige Erschöpfung der Patienten wurde bei einer Herzfrequenz von > 90 Prozent der zu erwarteten Frequenz, einem respiratorischen Quotienten (RQ) von > 1.0 , einer Laktatkonzentration > 6 mmol/l oder einen Wert auf der Borgskala von > 18 festgelegt. Die VO_2 peak ist definiert als die am höchsten registrierte Sauerstoffaufnahme zu dem Zeitpunkt, in dem einer der oben genannten Kriterien erfüllt war. Die zu erwartende Herzfrequenz ist mittels der Formel $220 - \text{Lebensalter}$ bestimmt worden. Die anaerobe Schwelle wurde bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l im Kapillarblut festgelegt (48). Die individuelle anaerobe Schwelle wurde kalkuliert als eine Laktatkonzentration von 1,5 mmol/l über der Laktatschwelle, definiert als erster Anstieg der Laktatkonzentration beziehungsweise als der kleinste Quotient zwischen der Laktatkonzentration und der Sauerstoffaufnahme (49).

2.3. Randomisierung

Die Randomisierung erfolgte unmittelbar nach Abschluss der Eingangsuntersuchung mittels einer am Computer erstellten Zufallsliste. Dabei wurden die Teilnehmer entweder der Trainings- oder der Kontrollgruppe zugewiesen (Abb.2). Die Patienten der

Trainingsgruppe führten ein 12-wöchiges Training auf dem Laufband durch, während die Kontrollgruppe kein Training absolvierte.

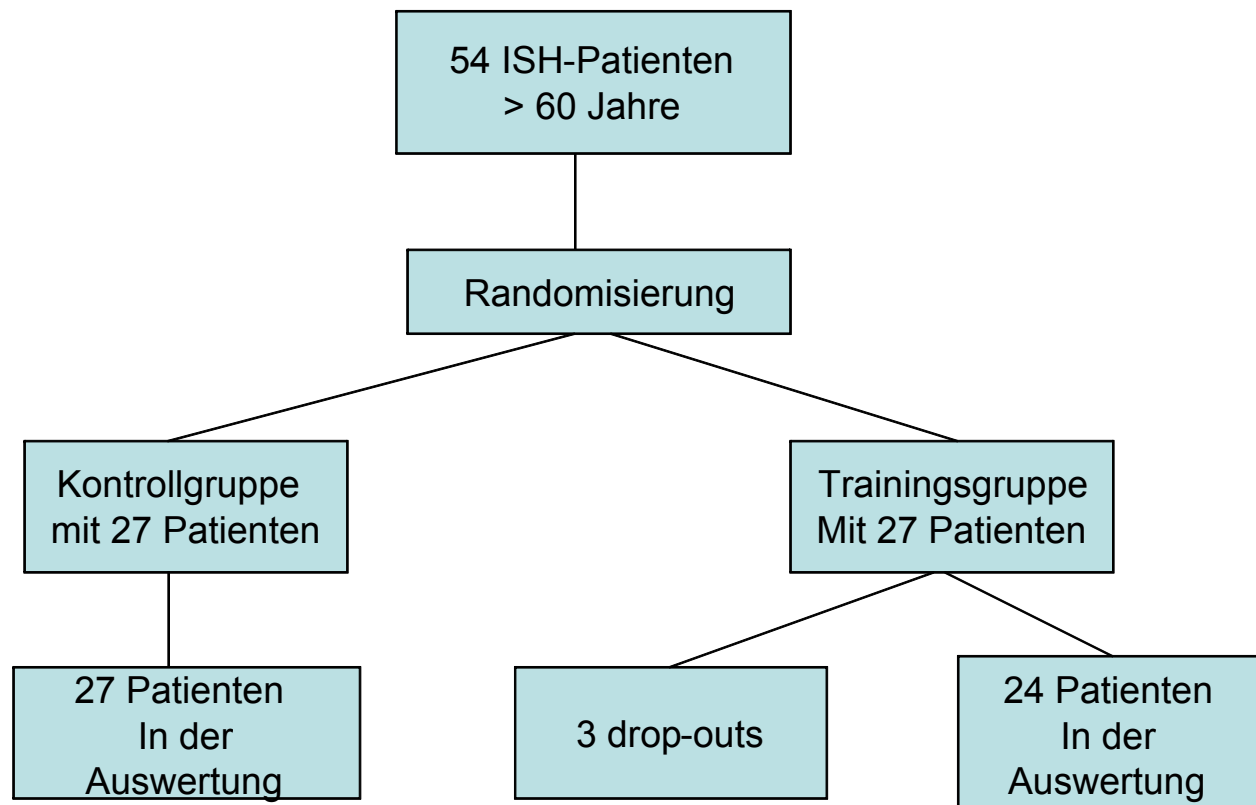


Abb. 2: Ablauf der Untersuchung

2.4. Trainingsprogramm

Das 12-wöchige Ausdauertraining wurde dreimal pro Woche durchgeführt und ergab somit 36 Trainingstage. Das Trainingsprogramm wurde nach einem Intervall-Schema durchgeführt. Dabei wurden die Belastungszeit beziehungsweise der Belastungsumfang systematisch gesteigert. In den ersten fünf Einheiten erfolgten Trainingsintervalle von 5 mal 3 Minuten, in den zweiten von 4 mal 5 Minuten, in den dritten von 3 mal 8 Minuten, in den vierten von 3 mal 10 Minuten, in den fünften von 2 mal 15 Minuten und in den letzten fünf Trainingseinheiten fand eine durchgehende Belastung von 30 bis 40 Minuten statt. Zwischen den einzelnen Belastungen pausierten die Patienten über drei Minuten. Die Pause wurde in der Regel aktiv gestaltet, das heißt die Teilnehmer gingen

in der Hälfte ihrer Trainingsgeschwindigkeit weiter. Nur wenn die Trainingsgeschwindigkeit unter 4 km/h betrug, erfolgte die Pause sitzend (Abb. 3).

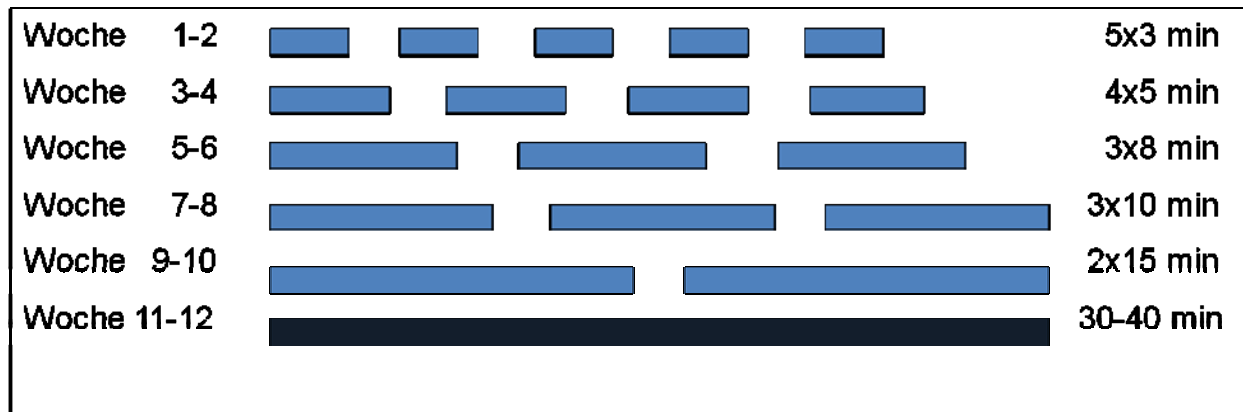


Abb. 3: Ablauf des Trainings: Graue Blöcke: Zeiten der Belastung
Weiße Blöcke: Pausen

Die Trainingssteuerung erfolgte mittels Laktatkonzentration (Zielwert: $2,0 \pm 0,5$ mmol/l im Kapillarblut), welche jeden fünften Trainingstag gemessen wurde. Bei Abweichungen wurde die Geschwindigkeit (Erhöhung um 0,5 km/h) beziehungsweise Steigung (Erhöhung um drei Prozent) im Training entsprechend angepasst. Weiterhin dienten die gemessenen Herzfrequenzen (Polar Sport Tester, Finnland) und die subjektive Befindlichkeit der Patienten, die mittels Borg-Skala erhoben wurde, der Steuerung des Trainings.

Pausiert beziehungsweise abgebrochen wurde das Training bei Krankheit, Schmerzen und Blutdruckwerten systolisch über 220 mmHg. Bei längerfristiger Krankheit oder Schmerzen, die ein weiteres Training nicht ermöglichten, kam es zum Abbruch des Trainings und damit zu einem Ausschluss aus der Studie (drei Teilnehmer). Waren die Blutdruckwerte kurzfristig erhöht, wurde das Training nach einer Pause und unter engmaschiger Blutdruckkontrolle weitergeführt beziehungsweise am nächsten Trainingstermin wieder aufgenommen.

Die Teilnehmer wurden während des gesamten Trainings von medizinischem Personal beaufsichtigt.

2.5. Abschlussuntersuchung

Nach Beendigung des Trainings erfolgte bei den Teilnehmern der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe eine Abschlussuntersuchung um die möglichen Veränderungen der Herz-Kreislauf-Funktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit zu erfassen. Diese bestand, genau wie die Eingangsuntersuchung, aus Ruhe- und Belastungs-EKG, einer Laufband-Spiroergometrie, einer 24-Stunden-Langzeit-blutdruckmessung und einer Echokardiografie.

2.6. Statistik

Sämtliche statistische Berechnungen erfolgten mit der Software Prism 5.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, USA).

Veränderungen der maximalen Leistungsfähigkeit, des submaximalen systolischen und diastolischen Blutdruckes, des submaximalen Laktatwertes, der submaximalen Herzfrequenz und des submaximalen Borg-Wertes wurden im Vergleich beider Gruppen mit dem Student t-Test und der Verlauf innerhalb einer Gruppe während der Untersuchung mit dem gepaarten t-Test untersucht. Die Werte wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. Dabei galt jeweils $p < 0.05$ als signifikant.

Die Zusammenhänge zwischen dem Borg-Wert und dem systolischen Blutdruck, der Herzfrequenz und dem Laktatwert wurden mittels Spearman-Korrelationstest analysiert.

Die Berechnung der maximal erreichten Leistung erfolgte mittels folgender Formel:

$$W [\text{Watt}] = (V \cdot \text{Körpergewicht} \cdot (2,05 + g \cdot 0,29) - 0,6 \cdot \text{Körpergewicht} - 151).$$

Die grafische Darstellung der untersuchten Parameter erfolgte in Form von Balkendiagrammen und Kurven.

3. Ergebnisse

3.1. Maximale Leistungsfähigkeit

Als ein Parameter der Leistungsfähigkeit wurde die maximal erreichte Leistung in Watt beim Eingangs- beziehungsweise Ausgangstest gewertet.

Bei der Trainingsgruppe wurde eine signifikante Verbesserung ($p < 0.01$) der Leistung von durchschnittlich erreichten $153,4 \pm 12,4$ Watt in der Eingangsuntersuchung auf durchschnittlich $197,7 \pm 11,1$ Watt in der Ausgangsuntersuchung beobachtet. In der Kontrollgruppe kam es dagegen nur zu einer sehr geringfügigen Verbesserung der Leistung von $122,6 \pm 10,0$ Watt auf $127,5 \pm 10,8$ Watt ($p < 0,7$). In der Ausgangsuntersuchung besteht zwischen der Trainings- und Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Leistung von 66,5 Watt. In der Eingangsuntersuchung ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der maximal erreichten Leistung zu verzeichnen (Abb. 4).

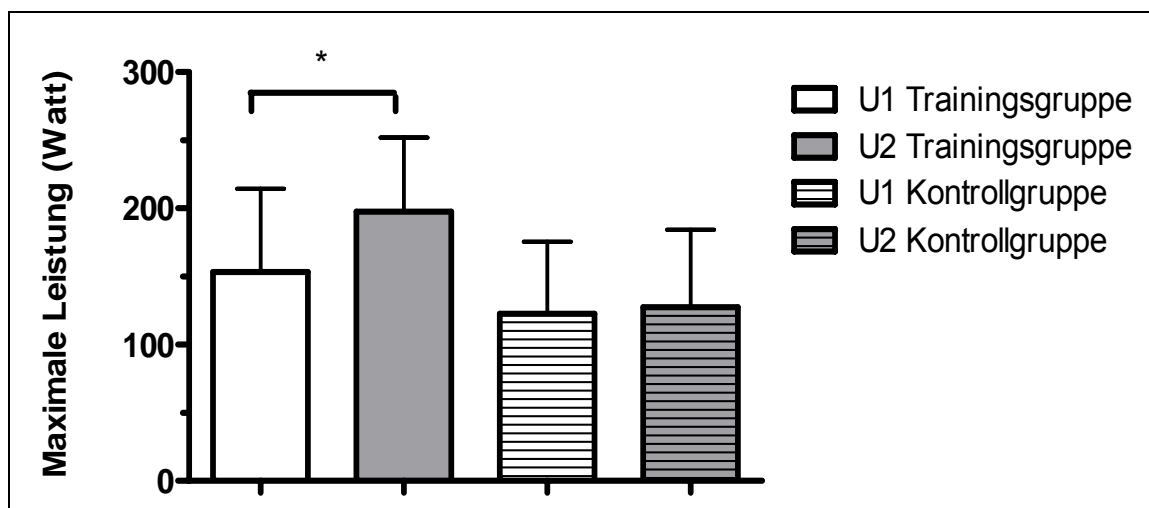


Abb. 4: Maximal erreichte Leistung bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung (in Watt). U1=Eingangsuntersuchung/ U2=Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Vergleiche innerhalb einer Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.2. systolischer Blutdruck bei submaximaler Belastung

Als eine mögliche Alternative bei älteren Patienten mit einer ISH, die eine maximale Ausbelastung in der Laufband-Spiroergometrie nicht erreichen, hat sich die Nutzung der submaximalen Leistung, welche hier auf der zweiten Belastungsstufe (R2) der Ergometrie festgelegt wurde, erwiesen. Hinsichtlich des systolischen Blutdruckwertes bei R2 kam es in der Trainingsgruppe zu einem signifikanten ($p < 0.0004$) Absinken von $185,2 \pm 5,7$ mmHg im Eingangstest auf $153,8 \pm 5,9$ mmHg im Ausgangstest. In der Kontrollgruppe konnte ein signifikantes Absinken des systolischen Blutdruckes von $189,3 \pm 5,6$ mmHg in der Eingangsuntersuchung auf $167,1 \pm 5,3$ mmHg ($p < 0,0063$) beobachtet werden (Abb. 5a).

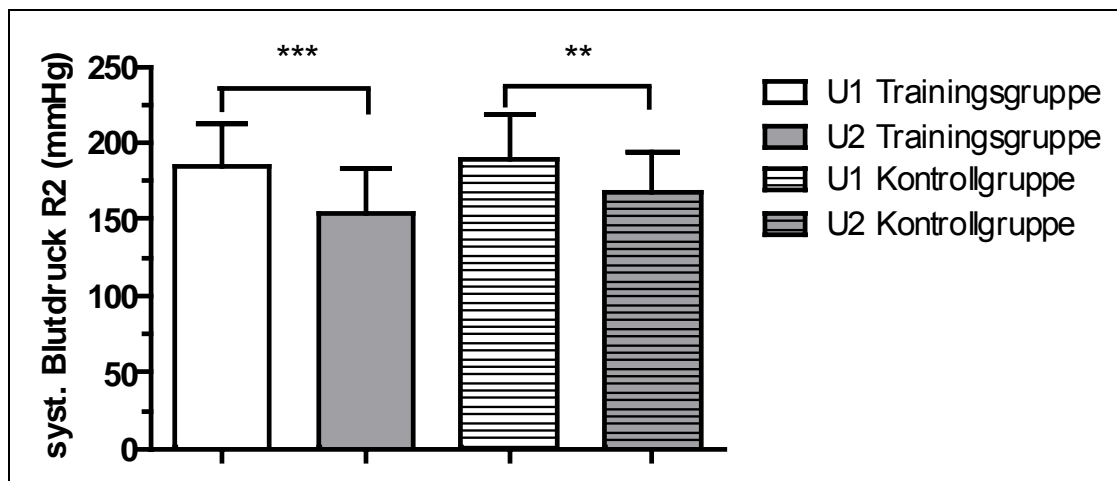


Abb. 5a: systolischer Blutdruckwert (in mmHg) auf der 2. Belastungsstufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. U1=Eingangsuntersuchung/ U2=Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Trainingsgruppe $n=24$ und Kontrollgruppe $n=27$. Vergleich innerhalb einer Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.3. diastolischer Blutdruck bei submaximaler Belastung

Hinsichtlich des diastolischen Blutdruckwertes bei R2 gab es weder in der Trainings- noch in der Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen. Es ist lediglich ein leichtes Absinken des Wertes in der Trainingsgruppe von $82 \pm 3,3$ mmHg auf $74 \pm 3,5$ mmHg (p

< 0,1) und in der Kontrollgruppe von $78,7 \pm 2,7$ mmHg auf $73,7 \pm 2,9$ mmHg ($p < 0,2$) festzustellen (Abb. 5b).

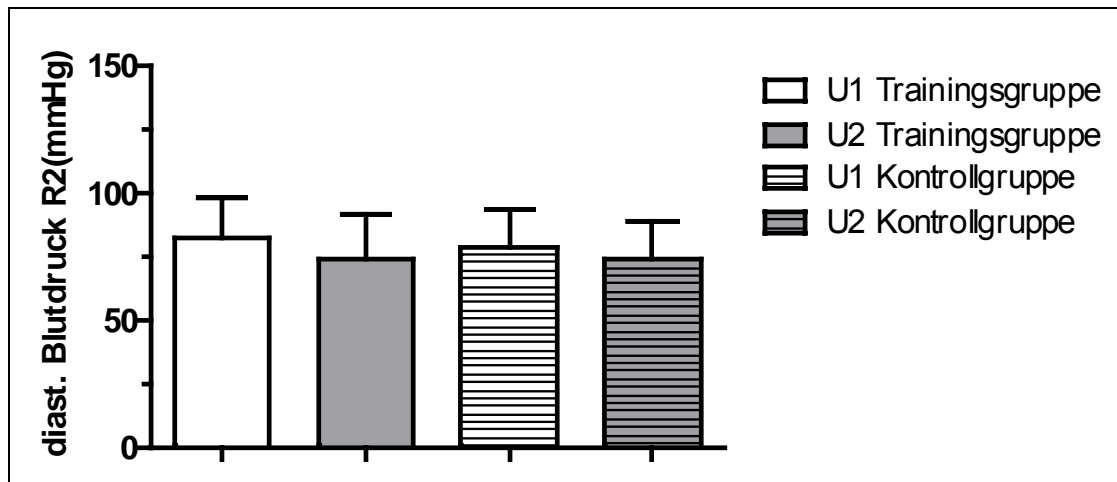


Abb. 5b: diastolischer Blutdruckwert (in mmHg) auf der 2. Belastungsstufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. U1=Eingangsuntersuchung/ U2=Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Trainingsgruppe $n=24$ und Kontrollgruppe $n=27$. Vergleich innerhalb einer Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.4. Laktatwerte bei submaximaler Belastung

Eine signifikante ($p < 0.003$) Verbesserung bezüglich des Laktatwertes während der 2. Belastungsstufe trat in der Trainingsgruppe auf. Es kam zu einem deutlichen Absinken des Laktats von $1,6 \pm 0,2$ mmol/l in der Eingangsuntersuchung auf $0,9 \pm 0,04$ mmol/l in der Ausgangsuntersuchung. Bei der Kontrollgruppe konnte keine signifikante Verbesserung zwischen dem Eingangs- bzw. Ausgangstests festgestellt werden. Weiterhin konnte ein signifikanter Unterschied ($p < 0.02$) hinsichtlich des Laktatwertes von $0,44$ mmol/l zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe bei der Abschlussuntersuchung festgestellt werden (Abb. 6).

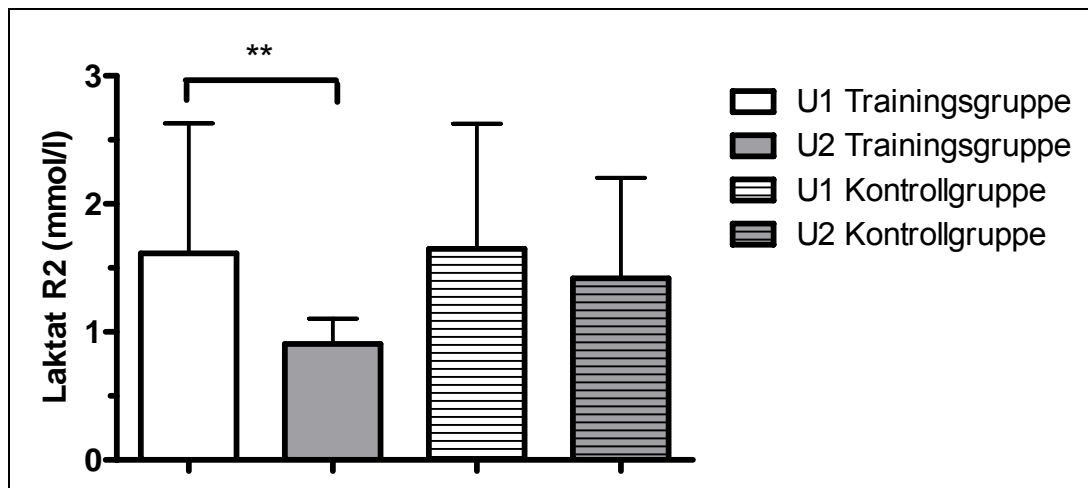


Abb. 6: Laktatwert (mmol/l) auf der 2. Belastungsstufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. U1=Eingangsuntersuchung/ U2=Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Trainingsgruppe n=24, Kontrollgruppe n=27. Vergleich innerhalb der Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test.

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

3.5. Herzfrequenz bei submaximaler Belastung

In der Trainingsgruppe konnte eine signifikante Senkung der Herzfrequenz in der zweiten Belastungsstufe ($p < 0.0003$) festgestellt werden. Es kam zu einer Abnahme der Herzfrequenz in der zweiten Belastungsstufe bei der Eingangsuntersuchung von $111,4 \pm 3,7$ /min auf $92,9 \pm 2,8$ /min bei der Ausgangsuntersuchung. In der Kontrollgruppe kam es nicht zu einem signifikanten Absinken der Herzfrequenz in der zweiten Belastungsstufe ($p < 0,4$) (Abb. 7).

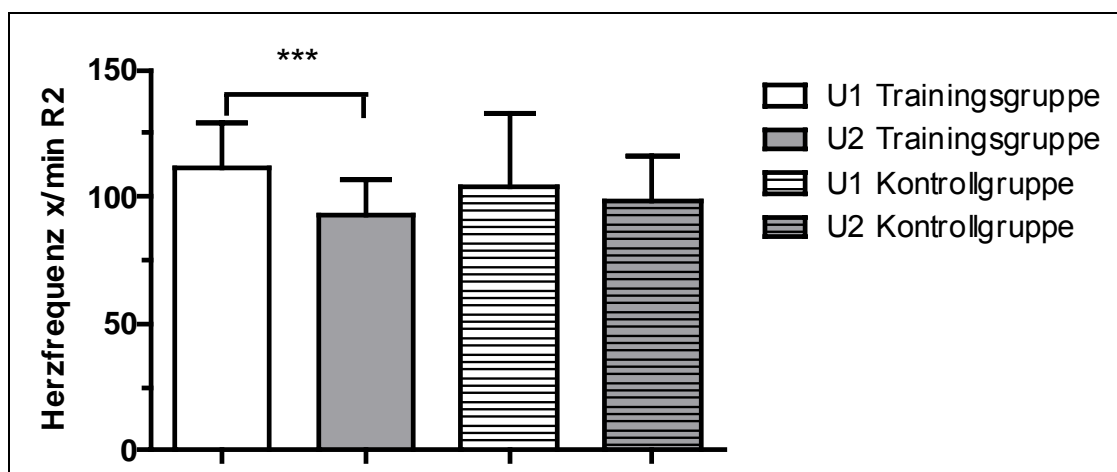


Abb. 7: Herzfrequenz auf der 2. Belastungsstufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. U1=Eingangsuntersuchung/ U2=Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Trainingsgruppe n=24, Kontrollgruppe n=27. Vergleich innerhalb der Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.6. Werte auf der Borg-Skala bei submaximaler Belastung

Es konnte eine signifikante ($p < 0.0001$) Veränderung hinsichtlich des Borg-Wertes in der zweiten Belastungsstufe (R2) in der Trainingsgruppe festgestellt werden. Der Borg-Wert betrug in der Eingangsuntersuchung $11,9 \pm 0,3$ und in der Ausgangsuntersuchung $8,4 \pm 0,5$. In der Kontrollgruppe kam es zu keiner signifikanten Veränderung des Borg-Wertes während der zweiten Belastungsstufe. Weiterhin bestand auch ein signifikanter Unterschied ($p < 0.0001$) zwischen der Trainings- und Kontrollgruppe in der Ausgangsuntersuchung während der zweiten Belastungsstufe (Abb. 8).

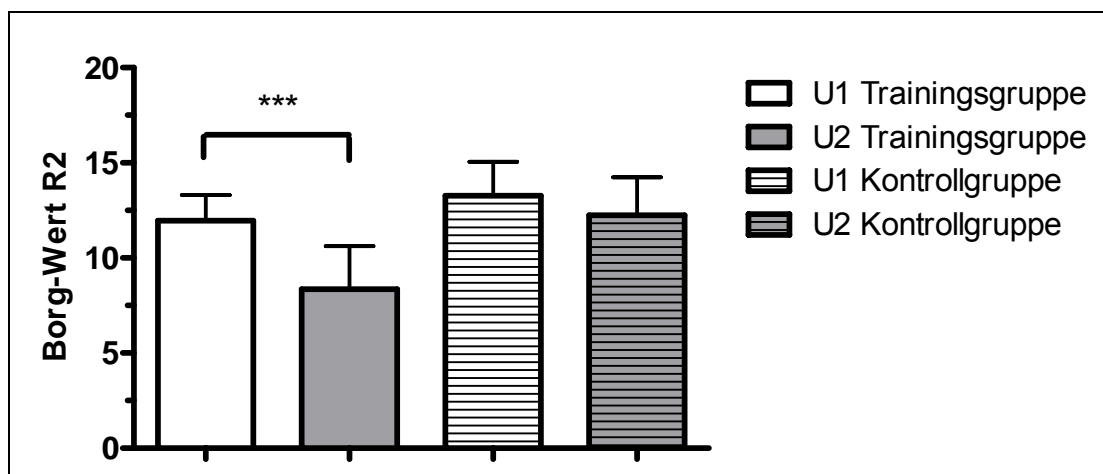


Abb. 8: Wert der Borgskala bei der 2. Belastungsstufe der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. Darstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung. Trainingsgruppe n=24, Kontrollgruppe n=27. Vergleich innerhalb der Gruppe mit dem Student t-Test. Vergleiche der Gruppen innerhalb einer Untersuchung mit dem gepaarten t-Test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.7. Korrelationen

Die folgende Tabelle (Tab. 3) zeigt die Korrelationen zwischen dem systolischen Blutdruck, der Laktatkonzentration, der Herzfrequenz und dem Borg-Wert. Die Zusammenhänge werden in den nachfolgenden drei Abbildungen (9a-c) erklärt.

	RRsys und Borg-Wert	Laktatkonzentration und Borg-Wert	Hf und Borg-Wert
Pearson r^2	0.2856	0.4276	0.4129
95% Confidence Intervals			
- Slope	4.017 to 5.885	0.2537 to 0.3362	3.623 to 4.807
- Y intercept when $x = 0.0$	111.1 to 134.2	-2.015 to -0.9920	54.93 to 69.71
- X intercept when $y = 0.0$	-33.34 to -18.91	3.877 to 6.045	-19.19 to 11.45
P value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Tab. 3: Korrelationen

3.7.1. Beziehung zwischen systolischem Blutdruck und RPE

Bei der Analyse der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung zeigt sich ein signifikanter positiver Zusammenhang ($p < 0,0001$) im Sinne einer Korrelation zwischen den Merkmalen „systolischer Blutdruck“ und „Borg-Wert“ bei 272 Wertepaaren (Abb. 9a).

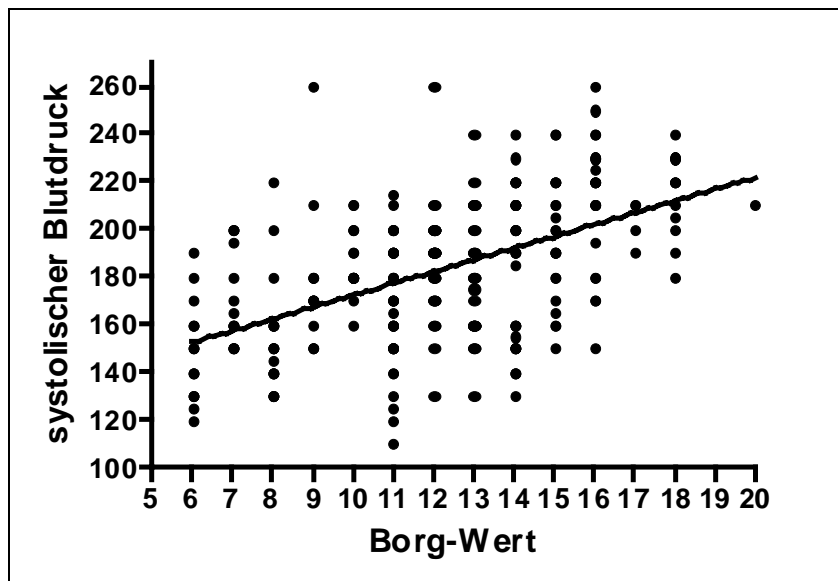


Abb. 9a: Korrelation zwischen Borg-Wert und maximal erreichtem Blutdruckwert (mmHg) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung

3.7.2. Beziehung zwischen Laktatkonzentration und RPE

Es zeigt sich ein signifikant positiver Zusammenhang ($p < 0,0001$) im Sinne einer Korrelation zwischen den Merkmalen „Laktatkonzentration“ und „Borg-Wert“ bei 265 Wertepaaren in der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung (Abb. 9b).

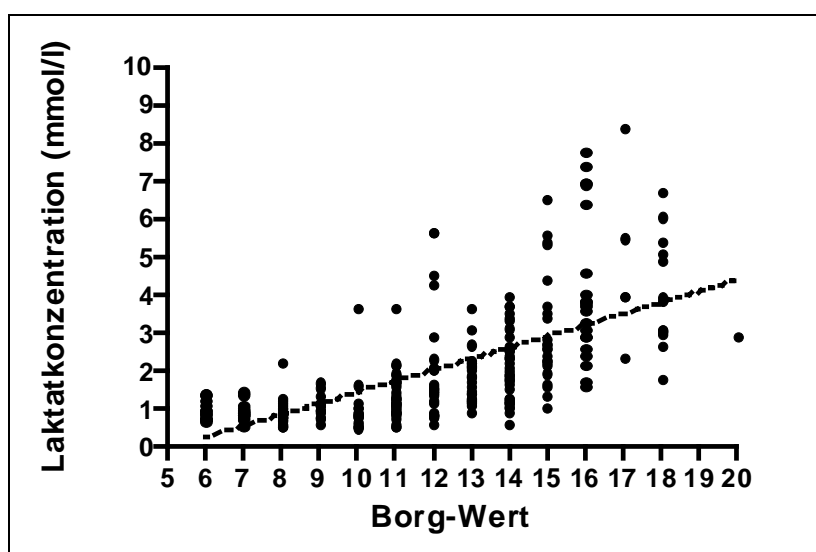


Abb. 9b: Korrelation zwischen Borg-Wert und maximal erreichter Laktatkonzentration (mmol/l) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung

3.7.3. Beziehung zwischen Herzfrequenz und RPE

Bezüglich der Merkmale „Herzfrequenz“ und „Borg-Wert“ in der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung konnte ein signifikanter positiver Zusammenhang ($p < 0,0001$) im Sinne einer Korrelation bei 279 Wertepaaren nachgewiesen werden (Abb. 9c).

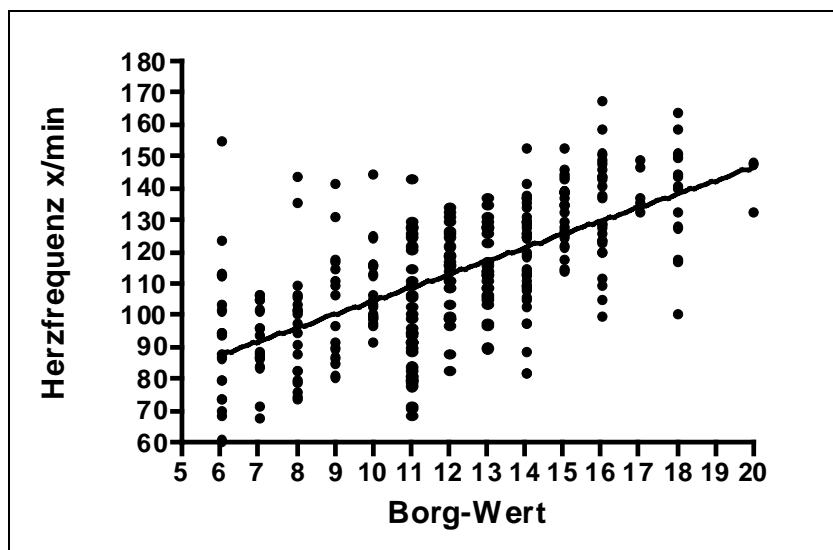


Abb. 9c: Korrelation Borg-Wert und maximal erreichter Herzfrequenz bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung

3.8. Anzahl der Blutdruckspitzen während der Ein- und Ausgangsuntersuchung

Während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung hatten 21 von 24 Teilnehmern (88 Prozent) der Trainingsgruppe einen systolischen Blutdruckwert von > 180 mmHg bei maximaler Belastung. Achtzehn Teilnehmer (75 Prozent) der Trainingsgruppe wiesen einen systolischen Wert von > 200 mmHg auf und 17 (71 Prozent) davon einen systolischen Blutdruckwert von > 220 mmHg ebenfalls bei maximaler Belastung.

In der Kontrollgruppe hatten 21 von insgesamt 27 Teilnehmern (78 Prozent) einen systolischen Blutdruck von > 180 mmHg während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. 18 Teilnehmer (67 Prozent) wiesen dabei einen Wert von > 200 mmHg auf, sowie 13 Teilnehmer (48 Prozent) einen systolischen Blutdruckwert von > 220 mmHg.

In der Trainingsgruppe hatten 92 Prozent der Männer (12 von 13 Teilnehmern) sowie 81 Prozent der Frauen (9 von 11 Teilnehmerinnen) erhöhte Werte über 180 mmHg. In der Kontrollgruppe zeigte sich ein deutlicherer Unterschied zwischen den Männern und Frauen bezüglich der Blutdruckspitzen. Bei den männlichen Teilnehmern traten in 91 Prozent (10 von 11 Teilnehmern) erhöhte Werte auf, bei den Frauen kam es bei 69 Prozent (11 von 16 Teilnehmerinnen) zu Blutdruckspitzen (Tab. 4).

	140-180 mmHg	180-200 mmHg	200-220Hg	>220 mmHg
U1 TG	3	3	7	11
U2 TG	5	5	7	7
U1 KG	6	3	7	11
U2 KG	8	4	8	7

Tab. 4: Anzahl der Blutdruckspitzen (>180 bis >220 mmHg) während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung in der Trainings- und Kontrollgruppe

3.9. Anzahl der Blutdruckspitzen im Verlauf des Trainings

Während des Trainings zeigten sich in der Trainingsgruppe (n=24) bei 36 Trainingstage pro Teilnehmer, insgesamt 66 Episoden von Blutdruckspitzen > 180 mmHg. Die Anzahl der Blutdruckspitzen der einzelnen Teilnehmer variierte dabei stark. Fünfzig Prozent (12) aller Teilnehmer der Gruppe wiesen während des Trainings keinen Wert von > 180 mmHg auf. Siebzehn Prozent (4) hatten einen Wert von > 180 mmHg während aller Trainingstage, ein Teilnehmer (vier Prozent) wies drei Blutdruckspitzen auf. Dreizehn Prozent (3) der Teilnehmer hatten fünfmal einen systolischen

Blutdruckwert von > 180 mmHg, ein Teilnehmer (vier Prozent) wies sechsmal erhöhte Werte auf und zwei Teilnehmer (acht Prozent) zeigten im Verlauf des Trainings acht Werte > 180 mmHg. Bei einem Teilnehmer (vier Prozent) wurden 18 Blutdruckspitzen nachgewiesen (Abb. 10). In diesem einen Fall, konnte ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Blutdruck-Werten in der Eingangsuntersuchung und den gehäuft auftretend en erhöhten Werten im Training gefunden werden.

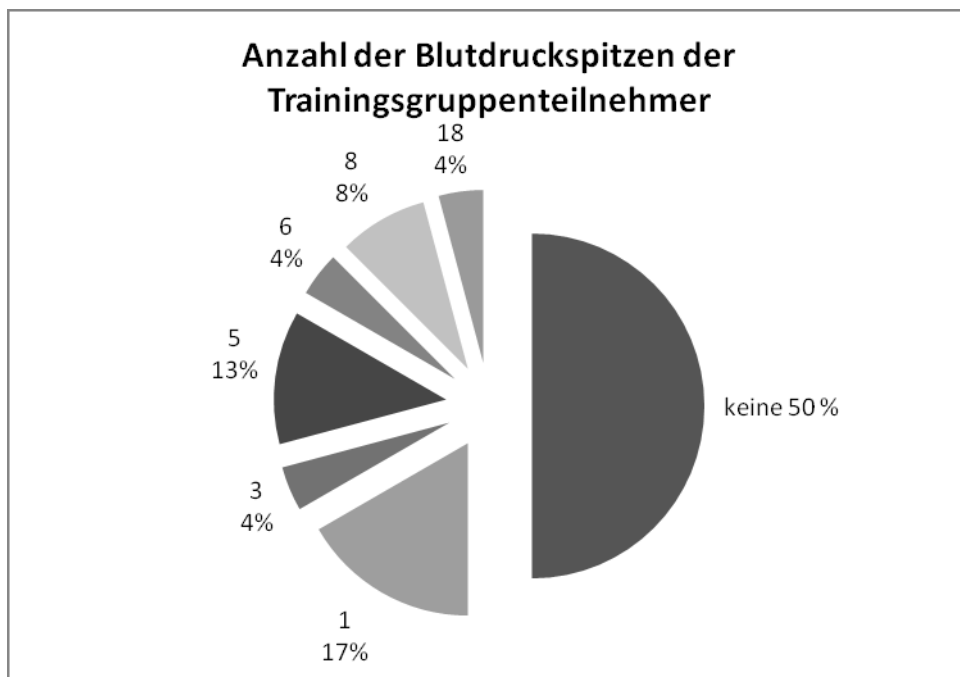


Abb. 10: Anzahl der Blutdruckspitzen (>180 mmHg) pro Teilnehmer im Verlauf des gesamten Trainings mit 36 Trainingstagen pro Teilnehmer

4. Diskussion

In dieser Studie konnte eine signifikante Verbesserung der Leistungsfähigkeit nach einem zwölfwöchigen Training belegt werden. Die Teilnehmer der Trainingsgruppe verbesserten ihre maximale Leistung um durchschnittlich 44 Watt von der Eingangs- zur Ausgangsuntersuchung. In der Kontrollgruppe kam es zu einem nicht signifikanten Anstieg der Leistung um 5,5 Watt der Ausgangsuntersuchung, welcher sich mit einer Gewöhnung an die Testbedingungen der Ergometrie, einer verbesserten Koordination bei den Bewegungsabläufen auf dem Laufband sowie den natürlichen Schwankungen bei den Messungen erklären lassen könnte.

Mit der verbesserten Leistungsfähigkeit durch ein Ausdauertraining gehen weitere Veränderungen der erhobenen leistungsphysiologischen Parameter einher. So verbesserten sich in der Trainingsgruppe der submaximale systolische Blutdruck, der submaximale Laktatwert, die submaximale Herzfrequenz und der submaximale Borg-Wert teilweise erheblich. Als submaximal wurde bei der Erhebung der Daten die zweite Stufe (R2) in der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung festgelegt, da sich das Erreichen der maximalen Leistungsfähigkeit beziehungsweise einer vollständigen Ausbelastung in diesen Probandenklientel als zu schwierig erwies. Diese Stufe wurde von allen Teilnehmern erreicht, womit eine genügend große Anzahl an Daten als Berechnungsgrundlage vorausgesetzt werden konnte.

Hinsichtlich des systolischen Blutdruck-Wertes bei der zweiten Belastungsstufe kam es zu einem signifikanten Absinken um 31,4 mmHg. Erwartet wurde ein Absinken des systolischen Wertes um etwa 7-10 mmHg, was laut aktueller Studienlage den durchschnittlichen Wert einer Absenkung des Blutdruckes durch ein Ausdauertraining entspricht (20) und hiermit eindeutig übertroffen wurde. Es ist zu beachten, dass in den Analysen meist die Absenkung des Ruheblutdruckes beschrieben wird, in dieser Studie jedoch ein Wert unter Belastung untersucht wurde, was einen Vergleich mit der aktuellen Datenlage erschwert. In der Kontrollgruppe kam es zu einem signifikanten Absinken des Blutdruckes um 22,2 mmHg in der Ausgangsuntersuchung. Eine mögliche Erklärung für diese Veränderung könnte die Motivation zu einer besseren Lebensführung aufgrund der Teilnahme an dieser Studie sein. Weiterhin ist an eine

verbesserte Koordination der Bewegungsabläufe auf dem Laufband und eine Gewöhnung an die Testbedingungen bei der Ausgangsuntersuchung zu denken.

Wie erwartet, veränderte sich der diastolische submaximale Blutdruckwert bei Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie geringfügig. Es konnte ein nicht signifikantes Absinken des Wertes in der Trainingsgruppe von 82,0 mmHg auf 74,0 mmHg und in der Kontrollgruppe von 78,7 mmHg auf 73,7 mmHg festgestellt werden.

Da ein Ausdauertraining zu einer Verbesserung der leistungsphysiologischen Parameter führen kann (23,28), wurde ein Absinken des Laktatwertes und der Herzfrequenz erwartet. Bezüglich des Laktatwertes in der Trainingsgruppe während der zweiten Stufe der Spiroergometrie konnte ein signifikantes Absinken des Wertes von 1,613 mmol/l in der Eingangsuntersuchung auf 0,9073 mmol/l in der Ausgangsuntersuchung festgestellt werden, welches sich mit dem durchgeführten Ausdauertraining begründen lässt. In der Kontrollgruppe kam es nicht zu einer signifikanten Veränderung des Laktatwertes. Es ist anzumerken, dass es sich in dieser Studie um ältere Patienten handelt, die zahlreiche Nebenerkrankungen und damit Veränderungen im Stoffwechsel aufweisen, was die niedrigen Laktatwerte, die erreicht wurden, erklären könnte. Außerdem ist die erreichte Leistung in Watt in der Ergometrie im Vergleich zu jüngeren, gesunden Probanden deutlich geringer, beziehungsweise eine Ausbelastung im Sinne einer maximalen Leistung nicht möglich, woraus sich ein geringerer Anstieg des Laktatwertes und der Herzfrequenz ergibt. In der Literatur gibt es unterschiedlich festgelegte Laktat-schwellenwerte. Die anaerobe Schwelle, die von einigen Autoren bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l im Kapillarblut festgelegt wurde (48), sowie die individuelle anaerobe Schwelle, die kalkuliert wurde als eine Laktatkonzentration von 1,5 mmol/l über der Laktatschwelle beziehungsweise definiert als kleinster Quotient zwischen Sauerstoffaufnahme und Laktatkonzentration (49), konnten somit nicht erreicht werden. Ein Vergleich, wie im Leistungssport üblich, mit aktuellen Laktat-Schwellenkonzepten, welche die aerobe und anaerobe Ausdauerleistungsfähigkeit beschreiben (49, 64, 65, 66) ist hier nicht möglich und auch nicht notwendig. Eine deutliche Verbesserung der altersentsprechenden Ausdauerleistungsfähigkeit und ein Absinken des submaximalen Laktatwertes bei Patienten mit einer isolierten arteriellen Hypertonie konnte aufgezeigt werden. Als mögliche Alternative in der Trainingssteuerung bei Patienten die eine maximale

Leistung in der Ergometrie nicht erreichen können, ist die Nutzung einer individuell bestimmten submaximalen Leistung, welche mittels einer festgelegten Laktatkonzentration ermittelt wird.

Hinsichtlich der submaximalen Herzfrequenz während der zweiten Belastungsstufe (R2), konnte in der Trainingsgruppe eine signifikante Veränderung festgestellt werden. Es kam zu einem Absinken der Herzfrequenz auf der zweiten Belastungsstufe von 111,4 / min in der Eingangsuntersuchung auf 92,9 / min in der Ausgangsuntersuchung, welches sich wiederum auf das durchgeführte Ausdauertraining zurückführen lassen könnte. In der Kontrollgruppe kam es nicht zu einem signifikanten Absinken der Herzfrequenz während der zweiten Belastungsstufe der Spiroergometrie R2. Anzumerken ist, dass in dieser Studie die Herzfrequenz bei einer bestimmten Belastungsstufe (R2) ausgewertet wurde, bei der Literaturrecherche meist eine Veränderung der Ruheherzfrequenz gefunden wurde (50,56,57), was eine Vergleichbarkeit erschwert. Bei der Arbeit mit älteren Patienten mit einer ISH, bei denen eine Ausbelastung eher die Ausnahme darstellt, ist die Nutzung der Herzfrequenz ein geeigneter Kontrollparameter zur Verlaufsbeobachtung beziehungsweise Trainingssteuerung. Die Trainingsherzfrequenz kann dabei an die in der Laufband-Spiroergometrie erhobenen submaximalen Werte individuell angepasst werden. Eine Messung und Dokumentation der Herzfrequenz während des Trainings ist lückenlos und unproblematisch mittels einer Pulsuhr möglich. Außerdem ist die Erhebung der Herzfrequenz kein invasives Verfahren wie die Bestimmung des Laktatwertes und somit in der Praxis einfacher anzuwenden. Die Medikation der Patienten, vor allem die Gruppe der Betablocker, ist in der Trainingssteuerung unbedingt zu berücksichtigen, da sich mit der Einnahme dieser Medikamente nicht nur die Ruhe- sondern auch die Belastungsherzfrequenz verändert. In dieser Studie wurde nicht speziell auf den Unterschied in der Medikamenteneinnahme zwischen den einzelnen Teilnehmern eingegangen. Dies könnte ein wichtiger Aspekt weiterführender Studien sein.

Bei der Auswertung der Daten des submaximalen Borg-Wertes zeigte sich eine signifikante Veränderung in der Trainingsgruppe. In der Eingangsuntersuchung betrug der ermittelte Borg-Wert auf der zweiten Belastungsstufe durchschnittlich 11,9 und in der Ausgangsuntersuchung wurde ein Wert von durchschnittlich 8,4 durch die Patienten

angegeben. In der Kontrollgruppe kam es zu keinem signifikanten Absinken des Wertes (13,3 in der Eingangsuntersuchung auf 12,2 in der Ausgangsuntersuchung).

Wie die Verbesserungen bezüglich des Laktatwertes und der Herzfrequenz während der zweiten Belastungsstufe R2 könnte man auch die Verringerung des Belastungsempfindens und damit die Zunahme der Leistungsfähigkeit auf ein erfolgreich durchgeführtes Ausdauertraining zurückführen. Die Patienten empfinden durch die verbesserte körperliche Leistungsfähigkeit bei gleicher Leistung weniger Anstrengung.

Der Skalenwert der Borg-Skala kann ein geeignetes Mittel zur Beurteilung der Belastung bei einer Ergometrie sein, sowie zur Trainingssteuerung genutzt werden. In der Literatur werden enge Korrelationen zu physiologischen Parametern über die Herzfrequenz hinaus, so zu Laktatwerten, Sauerstoffaufnahme oder Atemfrequenz während einer Belastung beschrieben (31, 33, 35). Diese Beobachtungen zeigen, dass die Borg-Skala zur Einschätzung des Anstrengungsempfindens während körperlicher Aktivität eine zuverlässige und preiswerte Messgröße ist. Gerade im Bereich der Prävention und Rehabilitation sind aufwändige Testverfahren wie Laktatmessung oder Spiroergometrie nicht immer möglich. Bei der Arbeit mit älteren Patienten mit einer medikamentös behandelten isolierten systolischen Hypertonie, kann sich die Skala zur Ermittlung des Belastungsempfindens während einer Ergometrie zur Trainingssteuerung unter Umständen besser eignen als die Nutzung der Herzfrequenz oder des Laktatwertes.

Die Eignung der Borg-Skala zur Trainingssteuerung bei Patienten mit einer ISH kann auch durch die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen dem Borg-Wert und dem systolischen Blutdruck, der Laktatkonzentration sowie der Herzfrequenz bestätigt werden. In allen drei Fällen wurde in der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung ein positiver Zusammenhang nachgewiesen.

Die Bestimmung der Anstrengungsempfindung während körperlicher Belastung mit Hilfe der Borg-Skala ermöglicht es, die subjektiv empfundene Anstrengung eines Patienten zu erfassen und zu beurteilen. Die Skala kann in allen Belastungsuntersuchungen sowie im Training schnell und unproblematisch angewandt werden. Sie ist einfach in der Anwendung, sehr zuverlässig und aussagekräftig. Zahlreiche Untersuchungen

belegen, dass die Borg-Skala Bestandteil jeder Belastungsuntersuchung sein sollte (37).

Es ist zu beachten, dass es sich um einen subjektiven Parameter handelt, das heißt, dass er von jedem Individuum unterschiedlich empfunden werden kann. Patienten mit einer KHK oder einer obstruktiven Atemwegserkrankung empfinden die gleiche Belastungsstärke als anstrengender als Patienten mit anderen Erkrankungen oder gesunde Normalpersonen, geübte Patienten schätzen diese Belastungsstufe wiederum geringer ein als ungeübte Patienten (37). Auch die Anzahl der Nebenerkrankungen der jeweiligen Person sowie die eingenommenen Medikamente können eine subjektive Skala beeinflussen. Weiterhin sind alltägliche Umstände wie Tagesform, Raumtemperatur und Motivation bei der Beeinflussung der Beurteilung mittels Borg-Skala zu beachten. Hier sind zahlreiche Ansätze für weitere Untersuchungen bezüglich der Einflussfaktoren und die Anwendbarkeit der Borg-Skala bei der Arbeit mit Patienten gegeben.

In dieser Untersuchung erwies sich die Einschätzung der Belastungsempfindung mittels Borg-Skala während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung sowie während des 12-wöchigen Trainings als verlässlicher Parameter. Positive Zusammenhänge zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden, dem systolischen Blutdruck, der Herzfrequenz und dem Laktatwert, wie in verschiedenen Untersuchungen bereits beschrieben (31, 33, 35), konnten nachgewiesen werden.

Die Problematik des Auftretens von Blutdruckspitzen, das heißt von Werten größer als 180 mmHg, sollte jedoch nicht außeracht gelassen werden. Während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung traten häufig Werte größer 180 mmHg beziehungsweise bis zu 220 mmHg auf. In der Kontrollgruppe zeigte sich ein deutlicherer Unterschied zwischen den Männern und Frauen bezüglich der Blutdruckspitzen. Bei den männlichen Teilnehmern traten bei 10 von 11 Teilnehmern erhöhte Werte auf, bei den Frauen kam es bei 11 von 16 Teilnehmerinnen zu Blutdruckspitzen. Auf eine weitere geschlechtsspezifischere Analyse der Daten wurde in dieser Untersuchung nicht eingegangen, da hier eine zu geringe Anzahl an Probanden für eine geeignete Untersuchung vorlag. In weiterführenden Studien könnte die Untersuchung der

geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der erhöhten Blutdruckwerte bei körperlicher Aktivität einen weiteren wichtigen Aspekt darstellen.

Zum Teil sind die erhöhten Werte auf die ungewohnte Belastung während der Spiro-Ergometrie zurückzuführen, da die Teilnehmer dieser Studie in der Regel länger an keiner adäquaten sportlichen Aktivität teilgenommen haben. Für gesunde Probanden oder Sportler erweisen sich kurzfristig erhöhte Blutdruckwerte in der Regel als unproblematisch. Bei Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie, einer unterschiedlichen Anzahl an Nebenerkrankungen und einer eventuellen Vorschädigung des Herzens, können sie sich jedoch bei länger anhaltendem oder wiederholtem Auftreten als Problem erweisen. Überproportionale Blutdruckanstiege unter körperlicher Belastung, können unter Umständen zu Herzinsuffizienz, Herzrhythmusstörungen und Gefäßverletzungen durch Ruptur eines Plaques mit den Folgen Myokardinfarkt und Apoplex, führen. Um derartige Risiken weitgehend zu vermeiden, sollten eine ärztlich kontrollierte Belastungsuntersuchung vor Beginn des Trainings durchgeführt werden und das Trainingsprogramm sowie die Einnahme der antihypertensiven Medikamente fortlaufend überwacht werden. Eine vorherige allgemeinmedizinische und sportmedizinische Untersuchung der Patienten vor der Durchführung eines Trainingsprogrammes ist selbstverständlich Voraussetzung (1).

Kurzfristige Anstiege der Blutdruckwerte über 180 mmHg, mit raschem Abfall in der Erholungszeit, scheinen auch bei älteren Hypertonikern relativ unproblematisch zu sein, da in dieser Studie keine ernsthaften Komplikationen auftraten. Zu beachten sind längerfristig erhöhte Werte während der Belastung beziehungsweise anhaltend hohe Werte nach Belastungsende, welche in weiterführenden Studien unbedingt mitefassen werden sollten. Hier sollten unbedingt längerfristig durchgeführte Nachuntersuchungen Bestandteil der entsprechenden Studien sein.

Ein weiterer Aspekt bezüglich des Auftretens von Blutdruckspitzen bei sportlicher Aktivität, ist die Eignung der Sportart an sich. Grundsätzlich sind Ausdauersportarten zu bevorzugen. Auf die individuellen Bedürfnisse, Vorlieben und vor allem Vorkenntnisse des Einzelnen bei der Wahl der Sportart sollte eingegangen werden.

Während des Trainings zeigten sich bei den 24 Teilnehmern der Trainingsgruppe insgesamt sechszwanzigmal systolische Blutdruckwerte von über 180 mmHg. Die Anzahl der Blutdruckspitzen pro Teilnehmer variierte dabei stark. Die Hälfte der Teilnehmer dieser Studie hat das Trainingsprogramm ohne nennenswerte Probleme bezüglich des Belastungsblutdruckwertes durchführen können. Elf Patienten hatten ein bis achtmal erhöhte Blutdruckwerte während des Trainings, was bezogen auf die insgesamt 36 Trainingstage pro Teilnehmer, als akzeptabel gelten kann. Lediglich bei einem Teilnehmer traten achtzehnmal Werte über 180 mmHg während des Trainings auf.

Ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Blutdruckwerten während des Belastungstests und der Anzahl der Blutdruckspitzen im Training konnte beim oben genannten Teilnehmer hergestellt werden. Bei diesem Patienten traten während des Eingangstests mehrere Blutdruckwerte über 180 mmHg bis zu 240 mmHg auf. Diese erhöhten Werte konnten während des zwölfwöchigen Trainings achtzehnmal nachgewiesen werden. In diesem Einzelfall ist zu überdenken, ob ein Training weiter durchgeführt werden sollte oder zunächst die Einstellung der Blutdruckwerte zu optimieren ist. Bei den restlichen Teilnehmern konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Blutdruckspitzen während des Belastungstests und der Anzahl der erhöhten Werte im Training hergestellt werden.

Die Problematik des Auftretens von erhöhten Blutdruckwerten bei Patienten mit einer ISH sollte bei der Planung und Durchführung eines Trainings sowie bei Belastungsuntersuchungen nicht vernachlässigt werden. Risikofaktoren sind zu erheben und abzuklären und es ist eine genaue Medikamentenanamnese durchzuführen. Weiterhin ist eine optimale Betreuung durch geschultes Personal während des Trainings und der Spiro-Ergometrien sowie die Anwesenheit eines Arztes sicherzustellen. Außerdem ist eine ständige Überwachung und, wenn erforderlich, Anpassung des Trainings zu gewährleisten, um die Anzahl an Blutdruckspitzen möglichst gering zu halten.

Als eine einfache und wirkungsvolle Methode zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit beziehungsweise Befindlichkeit während körperlicher Aktivität, hat sich in dieser Studie die Nutzung der Borg-Skala gezeigt. Positive Zusammenhänge zu den physiologischen

Parametern Herzfrequenz, Laktat und systolischem Blutdruck konnten nachgewiesen werden. Eine Schulung der Patienten hinsichtlich des Umganges mit der Borg-Skala zur Einschätzung ihres Belastungsempfindens und zu einer Vermeidung von Blutdruckspitzen kann sich für ein optimal durchgeführtes Training als geeignet erweisen.

Allgemein kann festgestellt werden, sofern keine kardiovaskulären Hochdruckfolgen vorliegen, sind bei einer milden bis mittelschweren Hypertonie (Blutdruck < 180/100 mmHg) nach den Empfehlungen des American College of Cardiology (1) dynamische, ausdauerorientierte, sportliche Betätigungen möglich. Auch ein Kraftausdauertraining, welches mit circa 40-60 Prozent der Maximalkraft und hoher Wiederholungszahl durchgeführt wird, kann den Blutdruck ähnlich einem herkömmlichen Ausdauertraining senken (2). Liegen bereits kardiovaskuläre Schäden vor, so ist eine vertretbare, das heißt akut und chronisch nicht gefährdende Belastbarkeit von ärztlicher Seite regelmäßig neu zu definieren.

Empfehlungen zu einem Ausdauertraining speziell bei älteren Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie existieren bisher nur wenige (62,63). Ältere Patienten mit dieser besonderen Form der Hypertonie stellen besondere Ansprüche hinsichtlich eines effektiven Trainingsprogrammes zur Senkung des Blutdruckes. Körperliche Aktivität kann hier vermehrt Blutdruckspitzen auslösen, welche das Risiko für einen Schlaganfall oder Myokardinfarkt erhöhen können (38,39). Des Weiteren ist zu beachten, dass vermehrt Begleiterkrankungen auftreten, die ein körperliches Training weiter einschränken können. Deshalb ist es sinnvoll, dass die Trainingsrichtlinien für ältere Hypertoniker mit einer isolierten systolischen Hypertonie, welche einen immer größer werdenden Anteil an allen Patienten mit Hypertonie darstellen, zu modifizieren.

Nahezu alle in der Literatur gefundenen Studien, beziehen sich auf die Hypertonie im Allgemeinen und beschreiben die Veränderungen von Herzfrequenz, Laktatwert und Blutdruckwerten in Ruhe beziehungsweise bei maximaler Ausbelastung. In dieser Studie wird besonders auf die Veränderungen der physiologischen Parameter bei einer submaximalen Belastungsstufe eingegangen.

Ein weiterer Unterschied zu anderen Studien besteht darin, dass von allen Teilnehmern ein Ausdauertraining ausschließlich auf dem Laufband durchgeführt wurde und nicht mehrere Ausdauersportarten in einer Untersuchung zusammengefasst wurden. Weiterhin wurde ein Intervalltraining mit langsamer, individuell angepasster Steigerung der Leistung durchgeführt, welches in dieser Art und Weise, in keiner anderen Studie gefunden wurde.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich körperliche Aktivität bei Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie als eine geeignete Möglichkeit der Blutdrucksenkung erwiesen hat. Außerdem konnte der positive Effekt eines zwölfwöchigen Ausdauerprogrammes auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit, wie bereits in Studien bei anderen Erkrankungen erfolgreich durchgeführt (68, 69), nachgewiesen werden.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Auswirkungen eines zwölfwöchigen Trainingsprogramms, auf die körperliche Leistungsfähigkeit von älteren Patienten mit einer ISH. Darüber hinaus wurde das Auftreten von Blutdruckspitzen während des Trainings und der Spiroergometrien kritisch untersucht.

Die 51 Patienten wurden aus der Blutdrucksprechstunde der Charité-Universitätsmedizin Berlin rekrutiert. Die Untersuchungen beinhalteten ein Ruhe- und Belastungs-EKG, eine Laufbandspiroergometrie, eine Langzeit-Blutdruckmessung und eine Echokardiografie des Herzens. Die Teilnehmer wurden in eine Trainings- und Kontrollgruppe randomisiert. Die Probanden der Trainingsgruppe (24 Teilnehmer) trainierten für insgesamt 12 Wochen dreimal wöchentlich auf dem Laufband nach einem Intervallschema. Die Kontrollgruppe (27 Teilnehmer) führte kein Sportprogramm durch. Die maximale Leistungsfähigkeit der Patienten hat sich nach dem 12-wöchigen Training, wie erwartet, signifikant (von $153,4 \pm 12,4$ auf $197,7 \pm 11,1$ Watt, $p < 0.01$) verbessert. Bezüglich des systolischen Blutdruckes (von $185,2 \pm 5,7$ auf $153,8 \pm 5,9$ mmHg, $p < 0.0004$), des Laktatwertes (von $1,6 \pm 0,2$ auf $0,9 \pm 0,04$ mmol/l, $p < 0.003$), der Herzfrequenz (von $111,4 \pm 3,7$ auf $92,9 \pm 2,8$ /min, $p < 0.0003$) sowie des Borg-Wertes (von $11,9 \pm 0,3$ auf $8,4 \pm 0,5$, $p < 0.0001$) während der zweiten Belastungsstufe, zeigten sich signifikante Veränderungen bei den Patienten der Trainingsgruppe. In der Kontrollgruppe trat nur bezüglich des systolischen Blutdruckwertes eine signifikante Veränderung (von $189,3 \pm 5,6$ auf $167,1 \pm 5,3$ mmHg) auf. Außerdem konnte ein positiver Zusammenhang zwischen dem Borg-Wert und dem systolischen Blutdruck (r^2 : 0.2856), der Laktatkonzentration (r^2 : 0.4276) sowie der Herzfrequenz (r^2 : 0.4129) nachgewiesen werden. Ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Blutdruckwerten während des Belastungstests und der Anzahl der Blutdruckspitzen im Training konnte bei einem Teilnehmer hergestellt werden. Das Auftreten von Blutdruckspitzen während körperlicher Aktivität bedarf genauester Kontrolle sowie Sorgfalt bei der Durchführung und Planung der Belastungsuntersuchungen beziehungsweise des Trainings der Patienten.

Die Durchführung dieser Studie gibt Anlass zu weiteren Untersuchungen bezüglich des positiven Effektes körperlicher Aktivität bei Patienten mit einer isolierten systolischen Hypertonie.

6. Verzeichnis wiederkehrender Abkürzungen

Abb.	Abbildung
a-v-DO ₂	arterio-venöse Sauerstoffdifferenz
diast.	diastolisch
dl	Deziliter
EKG	Elektrokardiogramm
g	Steigung in Prozent
HLP	Hyperlipoproteinämie
HMV	Herzminutenvolumen
HOCM	hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
ISH	isolierte systolische Hypertonie
kg	Kilogramm
KHK	koronare Herzkrankheit
km/h	Kilometer pro Stunde
LVH	left ventricular hypertrophy
max.	maximal
mg	Milligramm
min	Minute
ml	Milliliter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol/l	Millimol pro Liter
µl	Mikroliter
n	Teilnehmeranzahl
NYHA	New York Heart Association
O ₂	Sauerstoff
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
R2	zweite Belastungsstufe

RPE	Rating of Perceived Exertion
RQ	Respiratorischer Quotient
SD	Standardabweichung
syst.	systolisch
Tab.	Tabelle
U1	Eingangsuntersuchung
U2	Ausgangsuntersuchung
V	Geschwindigkeit
Vol.	Volumen
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO ₂ peak	höchste registrierte Sauerstoffaufnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt
VO ₂ R	difference between VO _{2max} and resting VO ₂
WHO	World Health Organization
x/min	Frequenz pro Minute

7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

7.1. Abbildungen

Abb. 1	Skala des Anstrengungsempfindens.....	13
Abb. 2	Ablauf der Untersuchung.....	21
Abb. 3	Ablauf des Trainings.....	22
Abb. 4	Maximal erreichte Leistung bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	24
Abb. 5a	systolischer Blutdruckwert (in mmHg) auf der 2. Stufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	25
Abb. 5b	diastolischer Blutdruckwert (in mmHg) auf der 2. Stufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	26
Abb. 6	Laktatwert (mmol/l) auf der 2. Stufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	27
Abb. 7	Herzfrequenz auf der 2. Stufe (R2) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	27
Abb. 8	Wert der Borgskala bei der 2. Stufe der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	28
Abb. 9a	Korrelation Borg-Wert und maximal erreichter Blutdruckwert (mmHg) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	30
Abb. 9b	Korrelation Borg-Wert und maximal erreichte Laktatkonzentration (mmol/l) bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	30
Abb. 9c	Korrelation Borg-Wert und maximal erreichter Herzfrequenz bei der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	31
Abb. 10	Anzahl der Blutdruckspitzen (>180 mmHg) pro Teilnehmer im Verlauf des gesamten Trainings mit 36 Trainingstagen pro Teilnehmer.....	33

7.2. Tabellen

Tab. 1	Klassifikation der Blutdruckwerte nach den WHO/ISH-Richtlinien 1999.....	6
Tab. 2	Patientencharakteristik.....	18
Tab. 3	Korrelationen.....	29
Tab. 4	Anzahl der Blutdruckspitzen (> 180 bis >220 mmHg) während der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung in der Trainings- und Kontrollgruppe.....	32

8. Literaturverzeichnis

1. Deutsche Hochdruckliga. Leitlinien für die Prävention, Erkennung, Diagnostik und Therapie der arteriellen Hypertonie (2003)
<http://www.paritaet.org/hochdruckliga/guidline.htm>
2. Hollmann W, Hettinger T: Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer Verlag, Stuttgart/ New York, 4. Auflage, 2000
3. Neaton JD, Wentworth D: Serum cholesterol, blood pressure, cigarette smoking, and death from coronary heart disease: overall findings and differences by age or 316.099 white men. *Archive of Internal Medicine*, 152: 56-64, 1992
4. Schmid P, Pilz H, Pokan R: Bewegungstherapie bei arterieller Hypertonie, *Journal of Hypertension* 2000, 4 (Sonderheft 3A), 19-25, 2000
5. Ketelhut RG: Ausdauertraining in der Hypertoniebehandlung erfolgreich, *Fortschritte der Medizin* 34, 26-32, 1998
6. Franz I W: Blutdruckverhalten während Ergometrie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54: 55-56, 2003
7. Franz I W: Ergometrie bei Hochdruckkranken. Springer, Berlin/ Heidelberg/New York, 1982
8. Kearney PM, Whelton M, Reynolds K, Munter P, Whelton PK, He J. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. *Lancet*. 365(9455): 17-23, 2005
9. Pilz H: Isolierte systolische Hypertonie – ein Überblick, *Journal für Kardiologie*; 6 (10-11), 566-572, 1999
10. Löllgen H: Primärprävention kardialer Erkrankungen. *Deutsches Ärzteblatt* 100 (15), 987-996, 2003
11. Mensink G: Körperliches Aktivitätsverhalten in Deutschland. In: Samitz G, Mensink G (Hrsg.): *Körperliche Aktivität in Prävention und Therapie*. München, Hans Marseille Verlag, 35-44, 2002
12. Kindermann W, Dickhuth HH, Niess A, Roecker K, Urhausen A: *Sportkardiologie – Körperliche Aktivität bei Herzerkrankungen*, Steinkopf Verlag Darmstadt, 2003
13. Middeke M: *Arterielle Hypertonie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2003
14. Ketelhut RG: Körperliche Aktivität zur Behandlung des arteriellen Hochdrucks, *Deutsches Ärzteblatt* 101: A-3426-3432, Heft 50, 2004

15. Ketelhut RG: Sport in der Prävention und Therapie des Blutdrucks und assoziierter kardiovaskulärer Risikofaktoren. Habilitationsschrift, 2006
16. Cononie CC, Graves JE, Pollock ML: Effect of exercise training on BP in 70- to 79-year-old men and woman. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23, 505-511, 1991
17. Jeschke D, Zeilberger K: Altern und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt* 101: A, 789-798, 2004
18. Huonker M: Sekundärprävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankungen - Pathophysiologische Aspekte und Belastungssteuerung von körperlichem Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, Jahrgang 55, Nr. 5, 118-123, 2004
19. Kisters K, Funke C, Franitza P: Ältere Hypertoniker und Sport. *Nieren- und Hochdruckerkrankungen* 11: 506-510, 2006
20. Fagard RH: exercise characteristics and the blood pressure response to dynamic physical training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33: 484-492, 2001
21. Ishikawa-Takata K, Ohta T, Tanaka H: How much exercise is required to reduce blood pressure in essential hypertensives: a dose-response study. *American Journal of Hypertension*, 16 (8), 629-633, 2003
22. Whelton SP, Chin A, Xin X, He J: Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Annals of Internal Medicine* 136 (7), 493-503, 2002
23. Hollmann W, Rost R, Liesen H: Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. *International Journal of Sports Medicine*, 2: 67-80, 1981
24. Åstrand PO, Saltin B: Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, 16: 977-981, 1961
25. Hermansen J, Saltin B: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercises. *Journal of Applied Physiology*, 26:31-37, 1969
26. Noakes TD: Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. A rebuttal. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30: 1381-1398, 1998
27. Pokan R, Förster H, Hofmann P, Hörtnagl H, Ledl-Kurkowski E, Wonisch M (Hrsg.): *Kompodium der Sportmedizin: Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie*, 137, Springer Wien, New York 2004

28. Rost R (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin, 64-66, Deutscher Ärzteverlag Köln 2001
29. Davis JA, Caiozzo VJ, Lamarra N, Ellis JF, Vandagriff R, Prietto CA, McMaster WC: Does the gas exchange anaerobic Threshold occur at a fixed blood lactate concentration of 2 or 4 mM? *International Journal of Sports Medicine* 4:89-93, 1983
30. Oyono-Enguelle S, Heitz A, Marbach J, Ott C, Gartner M, Pape A, Vollmer JC, Freund H: Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology*, 60: 321-330, 1990
31. Borg G: Borgs perceived exertion and pain scales. Human Kinetics Champaign Il., 1998
32. Borg G: Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt* 101, A 1016-102, 2004
33. Froelicher V, Myers JN: Exercise and the heart. Saunders, Philadelphia, 4. Auflage, 2000
34. Löllgen H, Ulmer HV, von Nieding G: Heart rate and perceptual response to exercise with different pedaling speed in normal subjects and patients. *European Journal of Applied Physiology* 37, 297-304, 1977
35. Löllgen H, Graham T, Sjogaard G: Muscle metabolites, force and perceived exertion bicycling at varying pedal rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 12, 345-351, 1980
36. Löllgen H, Erdmann E (Hrsg.): Ergometrie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2000
37. Löllgen H: Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala), *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, Jahrgang 55, Nr. 11, 299-300, 2004
38. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, Ray CA. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* ; 36 (3), 533-553, 2004
39. Steward KJ, Sung J, Silber HA, Fleg JL, Kelemen MD, Turner KL: Exaggerated exercise blood pressure is related to impaired endothelial vasodilator function. *Am J Hypertens*; 17 (4), 314-320, 2004
40. Williams B, Poulter NR, Brown MJ, Davis M, McInnes GT, Potter JF: British Hypertension Society guidelines for hypertension management 2004 (BHS-IV): summery. 328 (7440): 634-640, *BMJ* 2004

41. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia: Lea & Feibiger, 1995
42. Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annals of Medicine and Experimental Biology Fenn*, 35 (3); 307-315, 1957
43. Tanaka H, West KA, Duncan GE, Bassett DR: Changes in plasma tryptophan/branched chain amino acid ratio in responses to training volume variation. *International Journal of Sports Medicine*, 18 (4), 270-275, 1997
44. Bosquet L, Leger L, Legros P: Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine*; 32 (11), 675-700, 2002
45. Mundal R, Kjeldsen SE, Sandvik L, Erikssen G, Thaulow E, Erikssen J: Exercise blood pressure predicts cardiovascular mortality in middle-aged men. *Hypertension*; 24 (1), 56-62, 1994
46. Mundal R, Kjeldsen SE, Sandvik L, Erikssen G, Thaulow E, Erikssen J: Exercise blood pressure predicts mortality from myocardial infarction. *Hypertension* 27 (3 Pt 1), 324-329, 1996
47. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*; 3: 92-98, 1970
48. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*; 2 (1), 23-26, 1981
49. Dickhut HH, Huonker M, Münzel T, Drexler H, Berg A, Keul J. Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In: Bachl TG, Loellgen H (Hrsg.): *Advances in Ergometry*, 173-179, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1991
50. Norris R, Carroll D, Cochrane R: The effects of aerobic and anaerobic training on fitness, blood pressure, and psychological stress and well-being, *Journal of Psychosomatic Research*, Vol 34, No 4, 367-375, 1990
51. Seals DR, Tanaka H, Clevenger CM, Monahan KD, Reiling MJ, Hiatt WR, Davy KP, DeSouza CA: Blood pressure reductions with exercise and sodium restriction in postmenopausal woman with elevated systolic pressure role of arterial stiffness, *Journal of the American College of Cardiology*, Volume 38, Issue 2, 506-513, 2001

52. Murphy MH, Murtagh EM, Boreham C AG, Hare LG, Nevill AM: The effect of a worksite based walking programme on cardiovascular risk in previously sedentary civil servants, *BMC Public Health*, 6:136, 1-8, 2006
53. Tully MA, Cupples ME, Chan WS, McGlade K, Young IS: Brisk walking, fitness, and cardiovascular risk: A randomized controlled trial in primary care, *Preventive Medicine* 41, 622-628, 2005
54. Cooper AR, Moore LA R, McKenna J, Riddoch CJ: What is the magnitude of blood pressure response to a programme of moderate intensity exercise? Randomised controlled trial among sedentary adults with unmedicated hypertension, *British Journal of General Practice*, 50: 958-962, 2000
55. Fuzhong L, Fisher KJ, Harmer P: Improving Physical Function and Blood Pressure in Older Adults Through Cobblestone Mat Walking: A Randomized Trial, *Journal of the American Geriatrics Society*, August; 53 (8): 1305-12., 2005
56. Fagard RH: Effects of exercise, diet and their combination on blood pressure. *Journal of Human Hypertension* 19: 20-24, 2005
57. Fagard RH: Exercise is good for your blood pressure: effects of endurance training and resistance training, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 33: 853-856, 2006
58. Murphy MH, Nevill AM, Murtagh EM, Holder RL: The effect of walking on fitness, fatness and resting blood pressure: A meta-analysis of randomized, controlled trials, *Preventive Medicine* 44: 377-385, 2007
59. Cornelissen VA, Fagard RH: Effects of Endurance Training on Blood Pressure-Regulating Mechanisms, and Cardiovascular Risk Factors, *Hypertension*, 46: 667-675, 2005
60. Kelly G: Dynamic resistance exercise and resting blood pressure in adults: A meta-analysis. *Journal of Applied Physiology* 82: 1559-1565, 1997
61. Kelley GA, Kelley KS: Progressive Resistance Exercise and Resting Blood Pressure: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials, *Hypertension* 35: 838-843, 2000
62. Westhoff TH, Franke N, Schmidt, S, Vallbracht-Israng K, Meissner R, Yildirim H, Schlattmann P, Zidek W, Dimeo FD, van der Giet M: Too old to benefit from sports? The Cardiovascular Effects of Exercise Training in Elderly Subjects Treated for Isolated Systolic Hypertension. *Kidney Blood Press Res*; 30 (4): 240-247, 2007

63. Westhoff TH, Franke N, Schmidt S, Vallbracht-Israng K, Zidek W, Dimeo FD, van der Giet, M: Beta-blockers do not impair the cardiovascular benefits of endurance training in hypertensives, *Journal of Human Hypertension* 2007 June; 21 (6): 486-93. Epub March 1, 2007
64. Kindermann W: Anaerobe Schwelle, *Standards der Sportmedizin, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55 (6): 161-162
65. Wassermann K: The Anaerobic Threshold: Definition, Physiological Significance and Identification. *Advanced Cardiology* 35: 1-23
66. Billat L: Use of Blood Lactat Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training, *Sports Medicine* (22): 157-175, 1996
67. Physical fitness as a predictor of mortality among healthy, middle-aged Norwegian men. *The New England Journal of Medicine*; 328: 533-537. OS, 1993
68. Dimeo FD, Tilmann MH, Bertz H, Kanz L, Mertelsmann R, Keul L: Aerobic exercise in the rehabilitation of cancer patients after high dose chemotherapy and autologous peripheral stem cell transplantation. *Cancer*; 79: 1717-1722, 1997
69. Dimeo FD: Auswirkung eines körperlichen Trainings auf Rehabilitation, Herzkreislauffunktion und Leistungsfähigkeit von Tumorpatienten nach Hochdosischemotherapie, *Dissertationsschrift, Freiburg* 1995

Danksagung

Ein großer Dank geht an meinen Betreuer und Doktorvater PD Dr. med. Fernando Carlos Dimeo für die Möglichkeit, dieses Dissertationsvorhaben realisieren zu können, für seine vielfältige Unterstützung sowie die exzellente Betreuung meiner Arbeit.

Ich danke weiterhin Dr. Timm Westhoff für die Unterstützung und die zahlreichen Anregungen und Diskussionen.

Weiterhin danke ich Nancy Bock für die exzellente Organisation und Durchführung der Belastungstests und des Trainings im Institut für Sportmedizin.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Vinzenz Boos für die Hilfe bei der grafischen Erstellung der Abbildungen, der kritischen Durchsicht der Arbeit und den unzähligen fruchtbaren Diskussionen. Ebenso danke ich Mareike Rau für ihre fachliche und praktische Unterstützung bei meiner Arbeit.

Darüber hinaus gilt mein Dank meinen Eltern für ihre stetige Unterstützung während des Studiums und des Promotionsvorhabens.

Außerdem möchte ich meinen Freunden für ihre Geduld und Anteilnahme während meines Promotionsvorhabens danken.

Erklärung

Ich, Romy Meißner, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Effekte eines 12-wöchigen Ausdauertrainings auf die körperliche Leistungsfähigkeit und den psychischen Zustand von Patienten mit isolierter systolischer Hypertonie“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.