

Lehrstuhl und Poliklinik für  
Präventive und Rehabilitative Sportmedizin  
der Technischen Universität München  
Klinikum rechts der Isar  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. D. Jeschke)

Auswirkungen eines zusätzlichen ausdauer- und kraftorientierten Trainings während eines 3-wöchigen stationären Heilverfahrens bei Patienten mit einem chronisch degenerativen Wirbelsäulensyndrom

Paul Stei

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Medizin (Dr.med.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. D. Jeschke

2. Univ.-Prof. Dr. R. Gradinger

Die Dissertation wurde am 06.06.2001 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.11.2001 angenommen.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1. Einleitung und Problemdarstellung</b>	5
<b>2. Ziele und Fragestellungen</b>	9
<b>3. Überblick über die Literatur</b>	10
3.1. Stellenwert der sportmedizinischen Trainings- therapie	10
3.2. Grundlegendes Training	11
3.2.1. Trainingsziel	11
3.3. Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit	12
3.4. Belastbarkeits- und Leistungsdiagnostik	12
3.4.1. Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungs- diagnostik	13
3.4.2. Laktatschwellenkonzepte	15
3.4.3. Stellenwert der Herzfrequenz in der Leistungs- diagnostik	17
3.4.4. Stellenwert der PWC in der Leistungsdiagnostik	18
3.4.5. Spiroergometrische Messgrößen	19
3.4.6. Subjektives Belastungsempfinden	20
3.5. Trainingssteuerung	20
3.6. Methodische Problematik	22
3.7. Kraftdiagnostik	22
3.7.1. Funktionelles Muskelgleichgewicht	23
<b>4. Methodik</b>	24
4.1. Probandengut	24
4.2. Therapieregime	25
4.2.1. Basistherapie für alle Gruppen	25
4.2.2. Ergometergruppe	26
4.2.3. MTT-Gruppe	26
4.3. Untersuchungsverfahren	28
4.3.1. Fahrradergometrischer Stufentest	28
4.3.2. Messgeräte, Meßmethoden	29
4.3.3. Gemessene und errechnete Leistungsparameter	30
4.3.4. Trainingssteuerung	31
4.3.5. Isokinetische Muskelkraftmessungen	32
4.3.6. Erhebung subjektiver Daten	32

4.4.	Statistik	33
4.4.1.	Deskriptive Statistik	33
4.4.2.	Analytische Statistik	34
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>36</b>
7.1.	Veränderungen von Leistungsparametern vor und nach 3-wöchigem Heilverfahren	36
5.1.1.	Ergebnisse der ergometrischen Diagnostik	36
5.1.1.1.	Herzfrequenz- und Blutdruckwerte in Ruhe	36
5.1.1.2.	Maximale Leistungsfähigkeit und PWC 130	38
5.1.1.3.	Parameter an der aeroben Schwelle	40
5.1.1.4.	Parameter an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle	42
5.1.1.5.	Parameter an der anaeroben Schwelle	43
5.1.2.	Ergebnisse der isokinetischen Muskelkraftmessungen	45
5.1.3.	Veränderungen des Body-Mass-Index	48
5.1.4.	Veränderungen des Schmerzverhaltens	48
5.2.	Gruppenvergleich	50
5.2.1.	Ergebnisse der ergometrischen Diagnostik	50
5.1.1.1.	Herzfrequenz- und Blutdruckwerte in Ruhe	50
5.2.1.2.	Maximale Leistungsfähigkeit und PWC 130	51
5.2.1.3.	Parameter an der aeroben Schwelle	52
5.2.1.4.	Parameter an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle	53
5.2.1.5.	Parameter an der anaeroben Schwelle	54
5.2.2.	Ergebnisse der isokinetischen Muskelkraftmessungen	55
5.2.3.	Veränderungen des Schmerzverhaltens	56
5.3.	Zusammenhang zwischen Verbesserungen der maximalen Leistungsfähigkeit und der Schmerzempfindung	57
<b>6.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>58</b>
6.1.	Zur Wertigkeit eines stationären Heilverfahrens	58
6.2.	Zum Leistungszuwachs	59
6.3.	Zum Blutdruckverhalten	62
6.4.	Zur Muskelkraftverbesserung	63
6.5.	Zum Schmerzverhalten	65

<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	68
7.1.	Ziel der Arbeit	68
7.2.	Probandengut	68
7.3.	Untersuchungsgruppen	68
7.4.	Untersuchungsergebnisse der gesamten Gruppe	69
7.5.	Untersuchungsergebnisse in den einzelnen Gruppen	70
7.6.	Schmerzverhalten	70
7.7.	Schlussfolgerungen	71
<b>8.</b>	<b>Anhang</b>	72
<b>9.</b>	<b>Literatur</b>	79

# 1. Einleitung und Problemdarstellung

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts kam es mit wachsendem Wohlstand zu einem kontinuierlichen Anstieg von Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems und des Stützs- und Bewegungsapparates. Überkalorische, fehlerhafte Ernährung und Genussmittelkonsum einerseits sowie der durch Automatisierung verursachte Bewegungsmangel andererseits sind in den letzten Jahrzehnten als pathogene Hauptfaktoren erkannt worden. Die Hypokinese stellt einen eigenständigen Risikofaktor für arteriosklerotische Herzkreislauferkrankungen dar (BLAIR 1996/PAFFENBARGER 1996) und ist zu dem ein wesentlicher Risikofaktor einer Osteoporose. Diese Krankheiten dominieren heute als Problem im Gesundheitswesen und haben volkswirtschaftliche Auswirkungen.

Die positive Wirkung von Training und Sport gilt als das am besten geeignete präventive Mittel zur Erhaltung von körperlicher Leistungsfähigkeit und Gesundheit. Systematische Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Lebenserwartung haben das in den letzten Jahren zunehmend belegt (MORRIS 1996/PAFFENBARGER 1996/BLAIR 1996).

Ausdauertraining hat präventive Wirkungen bei verschiedenen organischen und funktionellen Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, Adipositas, Fettstoffwechselstörungen, Diabetes mellitus sowie obstruktiven Atemwegserkrankungen. Im Hinblick auf funktionelle und organische Leiden des Stütz- und Bewegungsapparates ist das Krafttraining von hoher Wertigkeit. Körperliche Aktivität verstärkt eine positive Lebenseinstellung und wird erfolgreich zur Krankheitsbewältigung und sozialen Eingliederung eingesetzt (BOUCHARD 1994/ MELLEROWICZ 1984/ SHEPHARD 1993).

Gerade ältere Menschen profitieren vom präventiven und rehabilitativen Training, da so ihre Selbständigkeit länger und besser erhalten bleibt. Biologische Altersphänomene sind offensichtlich zu einem großen Teil verursacht durch eine physiologische Unterforderung der alternden Organismen. Vor

diesem Hintergrund ist eine Modifikation unserer traditionellen Einstellung gegenüber dem motorischen Verhalten von Älteren notwendig. Die Propagierung von regelmäßiger Bewegung auch und gerade für den älteren Menschen stellt daher eine wichtige gesundheits- und sozialpolitische Herausforderung dar (BRAUMANN 1998/ LAVIE 1993/ WALDMANN 1996).

Die Forschungsergebnisse der Sportmedizin über die gesundheitlich negativen Folgen von Bewegungsmangel einerseits und die positiven von geeignetem körperlichen Training andererseits führten in der zweiten Hälfte der 60er Jahre und in der ersten Hälfte der 70er zu neuen Behandlungskonzepten verschiedener Krankheiten. Die mehrwöchige, absolute Ruhigstellung des Herzinfarktpatienten wurde in Frühmobilisation, Bewegungs- und Sporttherapie in der Rehabilitation verändert. Im Sog dieser Maßnahmen revolutionierte sich auch die Kurorttherapie. Anstelle von passiven Kurmaßnahmen (Trink- und Diätkuren, Bäder, Massagen etc.) traten körperliche Trainingsmaßnahmen mehr und mehr in den Vordergrund (HOLLMANN 1998). Rehabilitationserfolge mit Verbesserung der Leistungsfähigkeit um ca. 25% wurde in einem Modellprojekt der LVA-Rheinprovinz zur ambulanten/teilstationären kardiologischen Rehabilitation gezeigt (BJARNASON-WEHRENS 1999).

Eine wesentliche wirtschaftliche Bedeutung hat die Effektivität der Rehabilitationsmaßnahmen gleichfalls bei chronischen Wirbelsäulenerkrankungen. Der chronische Rückenschmerz stellt eines der schwierigsten und kostenintensivsten Probleme in der industrialisierten Welt dar. „Nach den Statistiken der bundesdeutschen Krankenkassen und Rentenversicherungsanstalten suchen etwa 80% der Bevölkerung mindestens einmal im Verlauf ihres Lebens wegen Rückenschmerzen den Arzt auf; 20% aller Krankschreibungen und 50% aller Anträge auf vorzeitige Berentung enthalten die Diagnose einer degenerativen Wirbelsäulenerkrankung“ (NENTWIG 1990). „5% der Patienten mit Rückenschmerzen unterziehen sich einer Operation. Ein Viertel davon muss anschließend den Arbeitsplatz wechseln bzw. aufgeben“ (TANNER, 1988). Die Entscheidung zu einem operativen Vorgehen sollte immer am

Schluss der therapeutischen Überlegungen stehen, da nur in etwa 70 bis 80% der Fälle eine dauernde Beschwerdelinderung oder Beschwerdefreiheit durch eine operative Maßnahme zu erreichen ist (DAHMEN 1994).

Es ist unbestritten, dass Sport und körperliche Aktivität wichtiger Bestandteil einer gesunden Lebensführung sind und damit zur Prävention vieler Erkrankungen beitragen können. Im Vergleich zu anderen Risikofaktoren beraten Ärzte noch zu selten fachgerecht zur sportlichen Lebensführung. Körperliches Training ist kein Allheilmittel, jedoch eine wichtige Ergänzung zur Primär- und Sekundärprävention (DICKHUTH 1996).

Nach diesen Schilderungen sollte man annehmen, dass die Ärzteschaft und die Politik gemeinsam tätig werden, um dem Gedanken der Gesundheitserhaltung und Leistungsförderung durch vorbeugende Maßnahmen in immer breiterem Umfang zum Durchbruch zu verhelfen. Bedauerlicherweise ist das nicht der Fall. Die Finanzierung des Arztes geschieht wie vor 100 Jahren weitaus dominierend nach diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen, nicht durch präventive. Die Politik hat am 28. Juni 1996 durch einen entsprechenden Beschluss des Deutschen Bundestages das Ihre dazu beigetragen, die im Aufblühen befindliche Prävention einzudämmen (HOLLMANN 1998).

Bekannt sind die zunehmenden Schwierigkeiten in der Finanzierung des Gesundheitswesens. Diese „Kostenexplosion“ ist nicht zuletzt bedingt durch die schnellen Fortschritte der hochtechnisierten Akutmedizin mit ihren unmittelbaren, für jeden sichtbaren Erfolg. Die Effekte einer präventiven und rehabilitativen Medizin stellen sich demgegenüber nur allmählich ein und sind oft wenig spektakulär. Die Bedeutung sowie die Effektivität der Bäder- und Kurmedizin wird gegenwärtig deswegen angezweifelt (HEIDMANN 1992). Ein Problem ist dabei, dass „die „Kurortmedizin“ nach wie vor an den Universitäten unzureichend vertreten ist und es auch an kontinuierlich arbeitenden Forschungsinstituten an den Kurorten selbst fehlt“ (HEIDMANN 1992).

Erfolge der „Kurortmedizin“ beruhen auf der Auslösung von Prozessen im Sinne der Adaptation und Readaptation, die durch Anregung, Training und Erziehung ausgelöst werden (HILDEBRANDT 1985). Wesentlich dabei ist die psychische und soziale Situation des Patienten. Bereitschaft zur Mitarbeit, Unterstützung durch Angehörige und Freunde, Einstellung zur Therapie, zum Arzt und zu den Therapeuten sind nur eine kleine Auswahl an Faktoren, die den Verlauf des Heilverfahrens beeinflussen.

## 2. Ziele und Fragestellungen

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zur Beurteilung der derzeit umstrittenen Bedeutung der „Kurortmedizin“ geleistet werden.

Ziel der Arbeit ist die Ermittlung objektiver und subjektiver Veränderungen, die durch ein 3-wöchiges stationäres Heilverfahren bei Patienten mit chronischen degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen in der Rehabilitationsklinik „Johannesbad“, Bad Füssing, bewirkt werden.

Diese globale Zielvorstellung sollte durch Bearbeitung folgender Fragen realisiert werden:

1. Welche Veränderungen der energetischen muskulären Leistungsfähigkeit lassen sich innerhalb einer 3-wöchigen stationären Rehabilitationsmaßnahme objektiv feststellen?
2. Welche kardiopulmonalen und muskulären Auswirkungen hat ein zusätzliches 3-wöchiges kraft- und ausdauerorientiertes Training im Rahmen einer Rehabilitationsmaßnahme?
3. Welche Therapiemaßnahmen sind für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit am besten geeignet?
4. Wie wirken sich Veränderungen der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit auf das Schmerzverhalten bei Patienten mit chronischen degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen nach einem 3-wöchigen Heilverfahren aus?

### 3. Überblick über die Literatur

#### 3.1. Stellenwert der sportmedizinischen Trainings- therapie

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass eine große Zahl von biologischen Funktionen und organischen Strukturen durch Training positiv beeinflusst wird. Es ließ sich zeigen, dass Training zu sympathisch-parasympathischen, metabolischen, peripher-muskulären, pulmonalen, kardiovaskulären und ossären Anpassungserscheinungen führt. Daneben hat Training günstige Auswirkungen auf hämostatische, fibrinolytische sowie autonome kardiale Funktionen (DREXLER 1992/LÖLLGEN 1989/SHEPHARD 1993/WANG 1994/STEINACKER 1999).

Die Folge vieler Erkrankungen ist ein körperlicher Leistungsverlust aufgrund krankheitsbedingter Einbußen der funktionellen Kapazität und/oder körperlicher Schonung des aktiven und passiven Bewegungsapparates. Übungsbehandlungen und Sport werden deshalb als symptomatische und kausale Therapie eingesetzt. Durch Trainingstherapie bessert sich deutlich das subjektive Befinden und objektivierbar die Belastbarkeit (STEINACKER 1999). Deswegen kommt der sportmedizinischen Trainingstherapie in der orthopädischen Rehabilitation eine besondere Bedeutung zu. Chronische Rückenschmerzpatienten weisen in den Hauptfunktionsmuskeln der Wirbelsäule muskuläre Defizite und/oder muskuläre Dysbalancen auf. WEISHAUPT (1999) hat bei derartigen Patienten gezeigt, dass die Rückenmuskulatur durch ein progressives dynamisches Krafttraining eine durchschnittliche Kraftzunahme von 33% aufwies. Bei 100% der Trainingsteilnehmer reduzierte sich die Schmerzintensität. Die Tage mit Rückenbeschwerden reduzierten sich um 64%.

Die Ergebnisse einer anderen Studie (WENZLAFF 1999) zeigen, dass aus der Behandlungskombination von sportmedizinischer Trainingstherapie und apparativer Entlastung der Wirbelsäule eine signifikante Verbesserung der Körperhaltung und der

Mobilität resultiert. Ebenso waren eine Abnahme der Schmerzintensität und eine verbesserte Einstellung zur Gesunderhaltung des Körpers zu verzeichnen.

### **3.2. Grundlegendes Training**

Im Mittelpunkt des gesundheitsfördernden Sports steht meistens das Training der allgemeinen aeroben Ausdauer. Schon nach wenigen Trainingswochen ist eine Ökonomisierung von Herz-Kreislaufarbeit und Stoffwechsel zu beobachten. Von zumindest gleicher Wertigkeit ist ein Krafttraining zur Erhaltung bzw. Verbesserung des Muskelkorsetts. Im Gesundheitssport kommen zwei Arten des Krafttrainings im Betracht: das Kraftausdauertraining (Beanspruchungsintensität 40-60% der Maximalkraft) und das Muskelaufbautraining (Beanspruchungsintensität 50-80% der Maximalkraft).

Die zellulären Mechanismen der Trainingswirkung werden heute immer besser verstanden. Körperliche Belastung führt zu einer verstärkten endothelialen NO-Produktion und Vasodilatation und damit zu einer Verbesserung der peripheren Durchblutung und zum Absenken des Blutdruckes. Es induziert lokale Wachstumsfaktoren. Training erhöht die zellulären Enzymkapazitäten, die Membrantransportfunktionen und die Stoffwechselaktivität. Die Synthese von myofibrillären Proteinen und Heat Shock Proteinen erhöht die Belastungstoleranz (STEINACKER 1999).

#### 3.2.1. Trainingsziel

Trainingsziel ist die Verbesserung sowohl von Ausdauer als auch der neuromuskulären Funktionen: Koordination, Kraft, Flexibilität und Reaktionsschnelligkeit. Die Trainingswirkung hängt vom Trainingsreiz (Reizintensität, Reizdauer, Reizdichte), der Fähigkeit der Reizverarbeitung und der individuellen Trainierbarkeit ab. Wirksame Trainingsreize setzen eine Mindesthäufigkeit und -dauer des Trainings voraus.

Auch im Alter ist ein regelmäßiges Training wirksam; der Trainingszuwachs erfolgt jedoch langsamer und ist geringer als bei jüngeren Personen (DICKHUTH 1996).

### **3.3. Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit**

Für Patienten sind Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit zu unterscheiden. Unter Leistungsfähigkeit versteht man die maximal erreichbare psychophysische Leistung für eine gegebene Beanspruchungsform. Belastbarkeit ist die höchste psychophysische Belastung, die noch ohne pathologische Funktionsstörungen oder Symptome bewältigt werden kann. Aus kardiopulmonaler Sicht beschreibt Belastbarkeit somit die höchste Dauerbelastung, die ohne eine kardiopulmonale Gefährdung besteht (BOUCHARD 1994/ HOLLMANN 1993/LÖLLGEN 1989). Aus Sicht des Stütz- und Bewegungsapparates ist Belastbarkeit pragmatisch als diejenige Kraftbeanspruchung zu verstehen, die ohne Schmerzen toleriert wird.

### **3.4. Belastbarkeits- und Leistungsdiagnostik**

Die Belastbarkeitsdiagnostik wird unter der Fragestellung durchgeführt, ob bestimmte Organsysteme funktionelle Limitierungen aufweisen, die ein vorhersehbares, klinisches Risiko bei motorischen Beanspruchungen beinhalten. In der Leistungsdiagnostik interessiert die qualitative, besonders aber quantitative Ausprägung der wesentlichen funktionellen Komponenten einer motorischen Leistung, nämlich von Koordination, Kraft, Flexibilität, Schnelligkeit und Ausdauer (JESCHKE 1998). Über den gegenwärtigen Leistungszustand eines Probanden geben verschiedenste Parameter Auskunft.

Das Messprinzip ist im wesentlichen bei beiden Fragestellungen das gleiche. Es werden standardisierte Arbeitsformen der Muskulatur (statisch, dynamisch) mit Hilfe von Apparaten (Labortests) oder sportartspezifisch (Feldtests) vorgegeben, wobei Arbeit bei physikalisch definierter Leistung submaximal

und/oder maximal zu erbringen ist (JESCHKE 1998). Maximale/submaximale Reaktionen biologischer Parameter (Herzfrequenz, EKG, EMG, Laktat etc.) sowie subjektive Angaben der Probanden dienen als Beurteilungskriterien (HOLLMANN 1990/LÖLLGEN 1983/MELLEROVICZ 1975/NEUMANN 1994).

Dosierte körperliche Belastung unter standardisierten Bedingungen mit Registrierung eines Elektrokardiogramms, der Herzfrequenz und von Blutdruck wird als Ergometrie bezeichnet. Die Einbeziehung der Laktatmessung ermöglicht Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit des Stoffwechsels. Ergometrische Testverfahren haben sich in der Sportmedizin deshalb bei der individuellen energetischen Leistungsdiagnose etabliert, wobei die stufenweise ansteigenden Belastungstests im Leistungssport möglichst sportartspezifisch sein sollten (HOLLMANN 1985).

#### 3.4.1. Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik

Aufgrund seiner zentralen Stellung beim Übergang vom rein oxidativen Stoffwechsel zur verstärkten Glykolyse hat Laktat eine besondere Bedeutung erlangt. Die scheinbar einfache "Messgröße Laktat" wird teilweise unkritisch überschätzt, da die zugrundeliegende Physiologie unzureichend beachtet wird (BOUCHARD 1994/LÖLLGEN 1989/SHEPHARD 1993).

Die laktatorientierte Leistungsdiagnostik setzt die Konzentration des Laktats im Kapillarblut als Indikator für die Inanspruchnahme der anaeroben Glykolyse ein. Durch eine spezielle Wahl des Testprotokolls wird dabei für die zeit-, bzw. protokollabhängige Aktivierung der jeweiligen Stoffwechselmechanismen gesorgt, so dass aus der Regulation von Laktatkonzentration und Belastungsprotokoll - basierend auf empirischen Erkenntnissen - Rückschlüsse auf die energetische Leistungsfähigkeit gezogen werden können (KEUL 1979/MADER 1976, 1983, 1986).

Eine Basislaktatkonzentration ist immer im Blut vorhanden. Sie schwankt um 1 mmol/l, kann aber auch Werte über 2 mmol/l erreichen. Bei der ansteigenden ergometrischen Belastung kommt es beim Übergang von der überwiegend aeroben zur anaeroben Energiebereitstellung zu einem Anstieg der Laktatproduktion und -konzentration zunächst im Muskel und durch rasche Diffusion auch im Blut. Dieser erste Anstieg über die normale Basalkonzentration wird auch als aerobe Schwelle bezeichnet, da ab dieser Belastungsintensität die anaerobe Energiebereitstellung erkennbar zunimmt. Bei dieser Belastungsintensität beginnt ebenfalls ein erkennbarer Stresshormonanstieg und ein Abfall des pH (DICKHUTH 1998). Für eine gewisse Spanne ist der über der aeroben Schwellenleistung liegende Arbeitsbereich noch durch ein steady state der gesamten Parameter gekennzeichnet (HAGBERG 1984/RÖCKER 1994/WHIPP 1989). Beim Überschreiten einer maximalen steady state Intensität, die als individuelle anaerobe Schwelle bezeichnet wird (KEUL 1979/STEGMANN 1981), tritt eine Akkumulation von Laktat wie auch der anderen Parameter bei gleicher Leistung ein.

Folgende Leistungsparameter aus dem Energiemetabolismus während stufenweiser Ergometerbelastung können abgeleitet werden (KINDERMANN 1978):

- aerobe Schwelle:  $\approx$  2 mmol/l Laktat,
- aerob-anaerober Übergang: 2-4 mmol/l Laktat,
- anaerobe Schwelle:  $\approx$  4 mmol/l Laktat.

Die anaerobe Schwelle wurde empirisch bei 4 mmol/l festgelegt und hat sich bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen bewährt. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Laktatkonzentration im Blut von 4 mmol/l Dauerleistungen von 70-90% der maximalen Sauerstoffaufnahme möglich sind (KEUL 1973, 1974/PESSENHOFER 1989).

Der Laktatdiagnostik wird in der Rehabilitation zur Bestimmung der Belastbarkeit nur wenig Beachtung geschenkt. HALLE et al. (1999) haben in einem multizentrischen Studiendesign die Wertigkeit der Laktatmessung hinsichtlich Belastbarkeit und

Trainierbarkeit von Patienten in der stationären kardialen Rehabilitation überprüft. Hierbei zeigte sich, dass die symptomlimitierte Leistungsfähigkeit durch die Rehabilitationsmaßnahme um  $14 \pm 24$  Watt ( $20 \pm 34\%$ ) zunahm; nach Laktatstandardisierung aber nur eine durchschnittliche Verbesserung um  $6 \pm 21$  Watt ( $10 \pm 30\%$ ) feststellbar war. Änderungen der maximalen symptomlimitierten Leistungsfähigkeit überschätzen dennoch die tatsächliche aerobe metabolische Adaptation. Mit Hilfe der Leistungsdiagnostik ist somit eine objektive Beurteilung der durch den Rehabilitationsaufenthalt veränderten Leistungsfähigkeit möglich (HALLE 1999).

### 3.4.2. Laktatschwellenkonzepte

Es wurden verschiedene Schwellenkonzepte zur Beurteilung der aeroben Ausdauer entwickelt, um den aktuellen Trainingszustand zu ermitteln und somit Hilfen bei Trainingsplanung und -gestaltung zu geben. Die anaerobe Schwelle nach Mader basiert auf einer fixen, empirisch ermittelten Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l (MADER 1976). In der Literatur werden noch weitere Schwellenkonzepte beschrieben: z.B. die individuell anaerobe Schwelle nach Kindermann, Keul, Stegmann, Dickhuth usw. Allen Schwellenkonzepten ist gemeinsam, dass sie mittels eines stufenförmigen Belastungsverfahrens das maximale Laktat-steady-state indirekt bestimmen wollen.

JESCHKE et al. (1983) analysierten den Einfluss des Belastungsanstiegs auf die Schwellenwerte mit vier verschiedenen Tests. Die Belastung wurde nach jeweils 1, 2, 3 oder 10 Minuten um 50 Watt gesteigert. Sie fanden mit schnellerem Belastungsanstieg eine Überhöhung der Schwellenwerte. HECK et al. (1990) kamen zur Schlussfolgerung, dass alle Schwellen vom Belastungsanstieg abhängig und deshalb nur bei annähernd gleichem Testprotokoll vergleichbar sind.

WEICKER et al. (1994) haben darauf hingewiesen, dass die Blutlaktatwerte von der belastungsabhängigen Laktatproduktion, dem Laktatrelease und der oxidativen und glukoneogenetischen

Laktatelimination abhängig sind. Obwohl der Skelettmuskel mit 20-30% der Körpermasse sowohl in Ruhe, vor allem aber unter Belastung der wichtigste Laktatproduzent ist, darf man die Laktatelimination anderer Organe, z.B. Herz, Leber (STRYER 1988) nicht vernachlässigen, da sie die Höhe des Laktatspiegels mitbestimmen. Aber auch bei erhöhter alimentärer Kohlenhydratzufuhr kann der Laktatspiegel des Blutes um 2-4 mmol/l ansteigen, da die Glucose in Laktat umgewandelt wird (BROOKS 1986, 1991).

MAASSEN et al. (1994) haben weiter gezeigt, dass die Laktatkonzentration bei Belastung von der Größe des muskulären Glykogenspeichers abhängig ist. Ist der Glykogenspeicher nicht ausreichend gefüllt, sinkt bei einer bestimmten Belastungsstufe die Laktatkonzentration. Bei Glykogenverarmung wird die Laktatleistungskurve nach rechts verschoben, d.h. es wird eine falsch zu hohe Ausdauerleistungsfähigkeit vorgetäuscht. Bei Glykogenbeladung wird hingegen die Kurve nach links verschoben und eine schlechtere Leistungsfähigkeit abgeleitet (MAASSEN 1989, 1994).

Zur Validierung von Schwellenkonzepten haben HECK et al. (1994) vergleichende Untersuchungen zwischen maximale Laktat-steady-state und den verschiedenen Schwellen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Orientierung an der ursprünglichen fixen 4 mmol/l-Laktatschwelle wie auch an verschiedenen sogenannten individuellen Schwellen keine allgemein übertragbaren Informationen für das Ausdauertraining zulassen. Die Umsetzung leistungsdiagnostischer Daten in die Trainingssteuerung ist so nicht ohne weiteres möglich. Es wird deshalb sogar empfohlen, alle Schwellenkonzepte im Hinblick auf die Trainingssteuerung aufzugeben (HECK 1994).

BÖNING (1994) hat zusammengefasst:

1. Bildung, Abbau und Verteilung des Laktats hängen von so vielen Einflussgrößen einschließlich der Ernährung ab, dass die augenblickliche Konzentration in der Durchgangsstation Blut Ergebnis verschiedenster Reaktionen sein kann.

2. Weiterhin ist nicht bekannt, ob und wie die Laktatkonzentration die Leistungsfähigkeit begrenzt. Ein und derselbe Sportler kann je nach Glykogenvorrat mit 8 mmol/l Laktat länger als mit 3 mmol/l bis zur Erschöpfung arbeiten.

3. Es besteht eine zu große Methodenvielfalt. Allein die Belastungsdauer auf den einzelnen Stufen führt zu verschiedenen Laktatleistungskurven.

4. Es gibt eine Fülle von Empirie über die Laktatleistungskurven, und der Erfahrene kann meist relevante Schlüsse über die Leistungsfähigkeit der Sportler ziehen. Da aber die Ursache für Änderungen nach dem oben Gesagten nicht erkennbar sind, ist eine Trainingssteuerung mit Hilfe von Laktattests häufig zum Scheitern verurteilt.

Ebenso gilt nach DICKHUTH et al. (1998) die Schlussfolgerung, dass die anaerobe Schwelle nicht bei einem fixen absoluten Laktatwert angegeben werden kann, wie ursprünglich angenommen, sondern sie zeigt eine Abhängigkeit u.a. vom Trainingszustand, von der Höhe des Basislaktats, vom Belastungsprotokoll und von der Masse der eingesetzten Muskulatur.

Trotz dieser berechtigten Kritik vermittelt die Laktatdiagnostik dennoch brauchbare, wenn auch grobe Informationen über den energetischen Leistungszustand der Muskulatur. Wie die Empirie im Leistungs- und Breitensport zeigt, wird sie auch erfolgreich zur Trainingssteuerung eingesetzt. Für eine sinnvolle Leistungsdiagnostik des Gesamtkörpers müssen aber komplexe Methoden eingesetzt werden, zu denen seit Jahren vor allem Herzfrequenzanalysen und Spirometrie mit Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme gehören.

### 3.4.3. Stellenwert der Herzfrequenz in der Leistungsdiagnostik

Die Herzfrequenz ist ein leicht zugänglicher biologischer Parameter, der begleitend zu metabolischen Messgrößen üblicherweise bestimmt wird. In der Sportmedizin gilt als

gesichert, dass die Herzfrequenz zumindest bei submaximalen Anforderungen feste Beziehungen zur Stoffwechselaktivität zeigt (JESCHKE 1990/ISRAEL 1995). Deswegen kommt der Herzfrequenz für die Leistungsbeurteilung und für die Gestaltung des Trainings besondere Bedeutung zu. Mit Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit sinkt die Herzfrequenz auf vergleichbaren Belastungsstufen ab (ÅSTRAND 1986/HOLLMANN 1963/ MELLEROVICZ 1972/REINDELL 1960).

Im Unterschied zum Laktat zeigt die Herzfrequenz beim Stufentest bis 60-70% der maximalen Intensität einen linearen Anstieg (ZINTL 1990). Oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle kommt es mit zunehmender Azidose und im Bereich metabolischen Ausbelastung meist zu einem Abflachen der Herzfrequenz, was wahrscheinlich an dem weniger wirksamen Antrieb der Stresshormone bei stärkerer Azidose liegt (DICKHUTH 1998). Es wurde versucht, diesen „Knickpunkt“ der Herzfrequenz-Leistungskurve festzulegen (die sogenannte Conconi-Schwelle). Das ist aber häufig nicht zuverlässig möglich (SCHWARZ 1993). Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass die „Conconi-Schwelle“ die „Laktat-Schwelle“ nicht ersetzen kann.

#### 3.4.4. Stellenwert der PWC in der Leistungsdiagnostik

Zur Beurteilung der allgemeinen körperlichen und kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit dient in der Regel die bei ergometrischen Untersuchungen erreichte maximale Leistung (KEUL 1978/KINDERMANN 1987/ROST 1980). Daneben hat die Leistungsbeurteilung anhand einer submaximalen Ausbelastung, z.B. bei einer Herzfrequenz von 130-, 150- oder 170/min, weite Verbreitung gefunden, in Anlehnung an WAHLUND (1948) als PWC (Physical Working Capacity) bezeichnet.

Verschiedene Studien zeigen, dass bei ergometrischen leistungsdiagnostischen Untersuchungen (SCHWABERGER 1983, 1985) die Ermittlung von PWC 150 und PWC 170 zur exakten Beurteilung des Trainingzustandes für Leistungssportler nicht geeignet ist. Offensichtlich ist es nicht möglich, im

einzelnen mit ausreichender Sicherheit von kardialen Leistungsparametern auf metabolische Parameter zu schließen. Die korrespondierende Laktatkonzentrationen bei PWC 150 und PWC 170 stehen nach Studienergebnissen (SCHWABERGER 1985) im Gegensatz zur individuellen anaeroben Schwelle in keinem Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit bzw. dem Trainingszustand der Probanden.

Ebenso erscheint ein direkter Vergleich der Leistungsbreite anhand PWC bereits bei Probandengruppen mit einem Altersunterschied von 10 Jahren nicht zulässig, da wegen des physiologischen Altersganges der Herzfrequenz eine relative Überschätzung älterer und Unterschätzung jüngerer Probanden resultiert (DRESCHER 1989). Insgesamt erscheint die PWC als individueller Beurteilungsmaßstab allenfalls für Verlaufskontrollen geeignet (DRESCHER 1989). Die PWC ist eher als „Leistung bei einer Herzfrequenz“ zu betrachten (HOLMGREN 1967) und nicht mit „der Leistungsfähigkeit“ gleichzusetzen. Die Bestimmung von PWC kann nur als orientierendes Verfahren zur Prüfung der kardiovaskulären Regulationsqualität angesehen werden.

#### 3.4.5. Spiroergometrische Messgrößen

Mit modernen Methoden kann die Gaskonzentration von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> eines jeden Atemzuges analysiert werden. Bei ansteigender Belastung kommt es ab einer bestimmten, individuellen Belastungsintensität zu einer zunehmenden Inanspruchnahme der anaeroben Energiebereitstellung mit Zunahme der Laktatazidose und Abfall des Blut-pH-Wertes. Dies führt zur vermehrten Stimulierung der Atmung mit Abfall der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration. Dieser Bereich kann deshalb über die Messgrößen Ventilation oder endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Konzentration bestimmt werden und wird der respiratorische Kompensationspunkt genannt (WASSERMAN 1973). Der respiratorische Kompensationspunkt charakterisiert eine submaximale Belastungsintensität, die im Bereich der Langzeitausdauer (Ausdauerleistungsgrenze) und damit in der gleichen Größenordnung wie die laktatbestimmte

anaerobe Schwelle liegt (COYLE 1995/HAGBERG 1984/WASSERMANN 1973). Diese so bestimmte Dauerleistungsgrenze zeigt eine enge Korrelation zur maximalen O<sub>2</sub>-Aufnahme/kg und damit zur aeroben Kapazität. Weiterhin berücksichtigt sie auch mögliche Kompensationsmechanismen und Einflussgrößen wie die Pufferkapazität, den Laktatmetabolismus und die hormonell vegetative Reaktion (COYLE 1995/RÖCKER 1994/WHIPP 1989).

#### 3.4.6. Subjektives Belastungsempfinden

Den objektiv messbaren Parametern steht das subjektive Leistungs- oder Belastungsempfinden der belasteten Personen gegenüber. Bei einem Großteil von Sport- oder Leistungssporttreibenden besteht eine gut reproduzierbare Beziehung zwischen der inneren Belastungsintensität und dem subjektiven Belastungsempfinden, was aufgrund der physiologischen Abläufe insbesondere im aerob-anaeroben Übergang gut verständlich ist. Bei Untrainierten und Rehabilitanden sind zum Teil die objektiven Messdaten und die subjektive Empfindung jedoch auffallend dissoziiert. Die Ursache kann eine bewusste Dissimulation oder tatsächlich eingeschränkte Sensibilität sein, was entsprechend individuell zu bewerten ist (DICKHUTH 1998).

### **3.5. Trainingssteuerung**

Das Ziel der Trainingssteuerung ist es, die Belastung des Organismus so zu gestalten, dass Training- und Gesundheitseffekte optimiert werden. Ein Ausdauertraining soll unterhalb der anaeroben Schwelle erfolgen. Dieser aerob-anaerobe Übergang ist - vereinfacht definiert - der Krümmungsbereich des exponentiellen Anstiegs der Laktatkonzentration bei stufenweise ansteigender Belastung (DICKHUTH 1996).

Die Vorgaben für die Trainingsbelastung können als prozentualer Anteil der anaeroben Schwelle in Geschwindigkeit, als Herzfrequenz oder auch als anzustrebende Laktat-

konzentration angegeben werden. In der Praxis wird eine Belastungsintensität vorgegeben und das Einhalten selten anhand des Laktatverhaltens überwiegend mittels der Herzfrequenz überprüft.

Unter Laborbedingungen kann die anaerobe Schwelle, also die Zunahme des Laktatspiegels auf 4 mmol/l Blut, festgestellt und zugleich die entsprechende Herzfrequenz ermittelt werden, so dass diese Herzfrequenz als Regelgröße für den Trainingsaufbau verwandt werden kann.

Die Herzfrequenz eignet sich für differenzierte Belastungsvorgaben vor allem für den Zustand bereits unterhalb und mäßig oberhalb der anaeroben Schwelle, da hier der Laktat-Leistungsanstieg meist steil verläuft. Gerade in diesen Bereichen kann eine Feineinstellung von großer Bedeutung sein, da hier aufgrund der hohen inneren Belastung eher auch die Gefahr der Überlastung oder des Übertrainings besteht (DICKHUTH 1998). Dagegen sind durch den flachen Verlauf der Laktat-Leistungskurve unterhalb von 2-3 mmol/l Laktat Differenzierungen der Belastung schwer möglich.

Zunehmend werden leistungsdiagnostische Untersuchungen auch im Rehabilitationsbereich genutzt. Bei einer Reihe von Erkrankungen ist es wünschenswert, dass die Ausdauerleistungsgrenze nicht überschritten wird, da die Trainingsbelastung sich sonst negativ auf den Krankheitsverlauf auswirken könnte.

Bei gleichzeitiger Herzfrequenz- und Laktatbestimmung kann festgestellt werden, ob sich die trainierende Person in dem gemessenen Herzfrequenzbereich aerob oder anaerob belastet. Anhand des Laktatwertes kann die Herzfrequenz nach oben bzw. unten korrigiert werden. Der Belastungspuls kann also durch gleichzeitige Laktatkontrollen individuell so „zugeschnitten“ werden, dass durch Vermeidung von Über- und Unterbelastung wirksame Trainingsreize erzielt werden.

### **3.6. Methodische Problematik**

Für alle Belastungsmethoden stellt sich die Frage, ob sie valide die interessierende Zielgröße messen. Die Motivierbarkeit des Probanden entscheidet oft, ob eine Ausbelastung erreicht wird. Sie kann objektiv nur an registrierten Funktionsabläufen, nicht aber anhand von fixen Zahlenwerten (z.B. maximale altersentsprechende Herzfrequenz) erkannt werden. Eindeutige klinische Symptome und/oder objektive pathologische Befunde stellen ein Ausbelastungskriterium dar. Daneben kann man z.B. davon ausgehen, dass die Anwendbarkeit und Aussagekraft eines Tests von personenbezogenen, klimatischen, apparativen und hygienischen Faktoren abhängig ist. Anthropometrische Grunddaten, Gesundheitszustand, Trainingszustand, psycho-physische Vorbelastung, Ernährung, Medikamenteneinnahme Motivation sind Faktoren, die die Ergebnisse eines Tests beeinflussen (JESCHKE 1998).

Bei wiederholten Tests muss der Interpret die inter-, wenn möglich intraindividuelle Variabilität berücksichtigen, ehe Konsequenzen aus dem Testergebnis gezogen werden (HECK 1998/ LÖLLGEN, MELLEROVICZ 1983).

Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung sind nur ein - wenn auch hilfreicher - Baustein in der Trainingsbewertung und -gestaltung (DICKHUTH 1998).

### **3.7. Kraftdiagnostik**

Kraft wird als die Fähigkeit eines Menschen definiert, eine Masse zu bewegen, einen Widerstand zu überwinden oder einem Widerstand durch Muskeleinsatz entgegenzuwirken. Die Trainingswissenschaft unterteilt die Kraft in drei Subkategorien: die Maximalkraft, die Kraftausdauer und die Schnellkraft. Die Maximalkraft wird als die bei einer maximalen statischen Muskelkontraktion gegen einen unüberwindlichen Widerstand einsetzbare Kraft definiert. Unter Kraftausdauer versteht man die Widerstandsfähigkeit gegen

Ermüdung bei langandauernden oder sich häufig wiederholenden Kraftleistungen, die mehr als 30% der individuellen Maximalkraft beanspruchen. Die Schnellkraft ist die Fähigkeit, die Widerstände mit höchstmöglicher Kontraktionsgeschwindigkeit überwindet. Die Entwicklung der Kraftkategorien ist von einander abhängig und kann nicht isoliert trainiert werden (EINSINGBACH 1990).

Der individuelle Maximalkraftwert eines Rehabilitanden wird normalerweise durch einen Maximalkrafttest ermittelt. Wird dieser Test analog der genannten Definition durchgeführt, ergibt sich der statische Maximalkraftwert. Das isokinetische Testsystem misst die Kraft- und Leistungsverhältnisse zwischen Muskelgruppen bei konstanter Winkelgeschwindigkeit nach dem Prinzip der Zentrifugalbremse. Es wird vor allem zur Beurteilung der Kniebeuger- und -streckmuskulatur eingesetzt. Testparameter wie Drehmoment, Leistung, Beschleunigungszeit, Winkelgeschwindigkeit und Bewegungssektor werden protokolliert und analysiert sowie der Therapiefortschritt dokumentiert.

### 3.7.1. Funktionelles Muskelgleichgewicht

Das physiologische Muskelgleichgewicht ist einer der entscheidenden Aspekte im Krafttraining. Wird das Training der Hauptbewegungsmuskeln einseitig überbetont, ist die Gefahr der Ausbildung muskulärer Dysbalancen groß. Im Berufsalltag verstärken bestehende Dysbalancen Fehlhaltungen und können chronische Überlastungen in der betroffenen und in benachbarten Körperregionen hervorrufen. Einen ungefähren Anhaltspunkt in der Frage nach dem funktionellen Muskelgleichgewicht geben Untersuchungen von EINSINGBACH et al. (1990). So sollen z.B. die Knieflexoren in isokinetischen Muskelkraftanalysen etwa 60-70% der Extensorenkraftwerte erreichen. Im rehabilitativen Muskelaufbautraining soll durch gezielten Trainingsaufbau die normale Relation zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln angestrebt werden.

## 4. Methodik

### 4.1. Probandengut

Aus dem Patientengut der Klinik „Johannesbad“ wurden im Zeitraum von 2/1997 bis 6/1999 alle Patienten in die Studie aufgenommen, bei denen folgende Ausschlusskriterien nicht vorlagen:

- akute Krankheitsbilder,
- Alter < als 40, bzw.> 60 Jahre,
- mittelschwere und schwere Begleiterkrankungen,
- Einnahme von Medikamenten, die das Herz-Kreislaufverhalten unter Belastungsbedingungen beeinflussen,
- aktiver Sport in der jüngeren Vergangenheit,
- weibliches Geschlecht.

Es handelte sich um 60 männliche Probanden im Alter von 40 bis 60 Jahren aus dem Spektrum unspezifischer chronischer Wirbelsäuleerkrankungen. Die Diagnosen sind in Tabelle I im Anhang dargestellt. Die Dauer des stationären Heilverfahrens betrug 3 Wochen. 13,3% der Teilnehmer bezeichneten sich als Raucher. Bis auf wenige Ausnahmen hatten alle Patienten nie regelmäßig in der Vergangenheit Sport betrieben.

Die Untersuchten wiesen ein Durchschnittsalter von 48,7±6,9 Jahren, eine Körpermasse am Anfang der Rehabilitationsmaßnahme von 85,1±12,8 kg und eine Körperhöhe von 174,9±6,2 cm auf. Zu weiteren Erfassung der anthropometrischen Daten wurde der Body-Mass-Index (BMI) jedes Patienten zum Beginn und zum Abschluss des Heilverfahrens berechnet. Dafür gilt die Formel:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Gewicht in kg}}{(\text{Körperlänge in m})^2}$$

Der BMI-Mittelwert zum Beginn der Rehabilitationsmaßnahme betrug 27,7±4,3 kg/m<sup>2</sup>.

Die Probanden wurden per Zufallauswahl einer Ergometer- (ERG), einer sogenannten „Medizinischen“ Trainingstherapie - (MTT) bzw. einer Kontrollgruppe (KTR) zugewiesen. Dabei entfielen auf die Gruppen je 20 Teilnehmer. Die anthropometrischen Daten der einzelnen Gruppen sind in Tabelle II im Anhang dargestellt.

Mit dem KRUSKAL-WALLIS-Test konnte festgestellt werden, dass zwischen den Gruppen bezüglich Alter, Körpergröße und Körpergewicht der Patienten keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen waren (Tabelle III im Anhang).

## **4.2. Therapieregime**

### 4.2.1. Basistherapie für alle Gruppen

Die Probanden erhielten eine standardisierte Behandlung:

- täglich: Wärmebehandlung und eigenständige Bewegungen gegen isokinetische Wasserwiderstände durch Serien im Thermalbewegungsbad;
- 2 x pro Woche: Krankeneinzelgymnastik , indikationsbezogene, spezifische Übungen zur Haltungsschulung und Rumpfstabilisation mit Therabandübungen, Heimübungen mit der Möglichkeit eines individuellen Therapieplanes;
- 2 x pro Woche: Krankeneinzelgymnastik im Bewegungsbad, Ausnutzung des Auftriebes zur gezielten Rumpfstabilisation unter Entlastung;
- 3 x pro Woche: Massagetherapie, Vor- und Nachbereitung, Lockerung myofaszialer Störungen, Triggerpunkt -Release;
- 2 x pro Woche: Elektrotherapie zur Schmerzreduktion (Nemec-Ströme);
- 2 x pro Woche: rehabilitative Rückenschule mit Haltungskorrekturen mit Schwerpunkten in berufs-/alltags- und sportspezifischen Übungselementen;
- 2 x pro Woche: verhaltenstherapeutische Bausteine wie Schmerzbewältigungstraining, progressive Muskelentspannung etc.

#### 4.2.2. Ergometergruppe

Bei den Probanden der Ergometergruppe wurde zusätzlich zu der standardisierten Behandlung ein Ergometertraining durchgeführt. Das Fahrradergometertraining erfolgte 3 Tage in der Woche an einem pulsüberwachten und elektrisch gebremsten, drehzahlunabhängigen Ergometer. In der ersten Woche wurde eine Trainingsdauer von 20 min verordnet, die wöchentlich um 5 min gesteigert wurde, so dass in der zweiten Woche 25 min und in der dritten 30 min belastet wurde. Die Belastungsintensität wurde anhand der Laktat- und Herzfrequenzkurve individuell vorgegeben, wie im Absatz 4.3.4. beschrieben.

#### 4.2.3. MTT-Gruppe

Bei den Untersuchten der MTT-Gruppe wurde neben dem standardisierten balneophysiotherapeutischen Behandlungskonzept 3 mal wöchentlich eine „Medizinische“ Trainingstherapie angewendet. Die Behandlung betrug mindestens 30 Min. pro Patient und bestand aus:

- Aufwärmprogramm,
- Dehnung und Relaxation verspannter bzw. verkürzter Muskeln,
- Kraftausdauertraining (Sequenz-Training und Funktionstherapie).

Als Erwärmung vor dem rehabilitativen Krafttraining wurde ein 5-minütiges Radfahren auf einem Ergometer gewählt. Spezifische Dehnübungen schufen den Übergang zum Hauptteil des Aufbautrainings, das aus Sequenz-Training und Funktionstherapie bestand. Der Einsatz von Sequenztrainingsgeräten dient der Funktions- und Haltungsverbesserung des Bewegungsapparates. Jeder Patient der MTT-Gruppe wurde zu Beginn mit der ersten Sequenz behandelt, bevor funktionelle Seilzugübungen folgten.

Das Sequenz-Training bestand aus:

- Beinpresse (Leg press, trainiert Hüft- und Oberschenkelmuskulatur),

- Druck nach unten (Dips, trainiert die Oberkörpermuskulatur),
- Rückentrainer (Hyperextension, trainiert Rücken- und Hüftmuskulatur),
- Zug nach unten (Pull down, trainiert die Armmuskulatur und die Muskeln um den Schultergürtel),
- Abdominaltrainer (trainiert isoliert die Bauchmuskulatur).

Die Belastung im Sequenztraining sowie in der Funktionstherapie betrug 30-40% der maximalen Kraft mit 5 Wiederholungen bei ca. 4 Serien in der ersten, 6 in der zweiten und 8 in der dritten Woche. Eine Dokumentation einer trainingstherapeutischen Behandlung ist im Anhang dargestellt.

Die Ermittlung der individuellen Maximalkraft erfolgte mit der Methode des „Repetition counting“, dem Zählen der Wiederholungen einer bestimmten Übung. Bei diesem Verfahren übt der Rehabilitand gegen einen beliebig hohen Widerstand so lange, bis Ermüdung, Schmerzen oder Kraftlosigkeit eine weitere Fortführung der Bewegung nicht mehr zulassen. Die in diesem Test erreichte Zahl der Übungswiederholungen wird entsprechend zur Reizintensitäts-Reizhäufigkeitskurve (Abbildung 1) in Bezug gesetzt und so der Maximalkraftwert hochgerechnet (EINSINGBACH 1990).

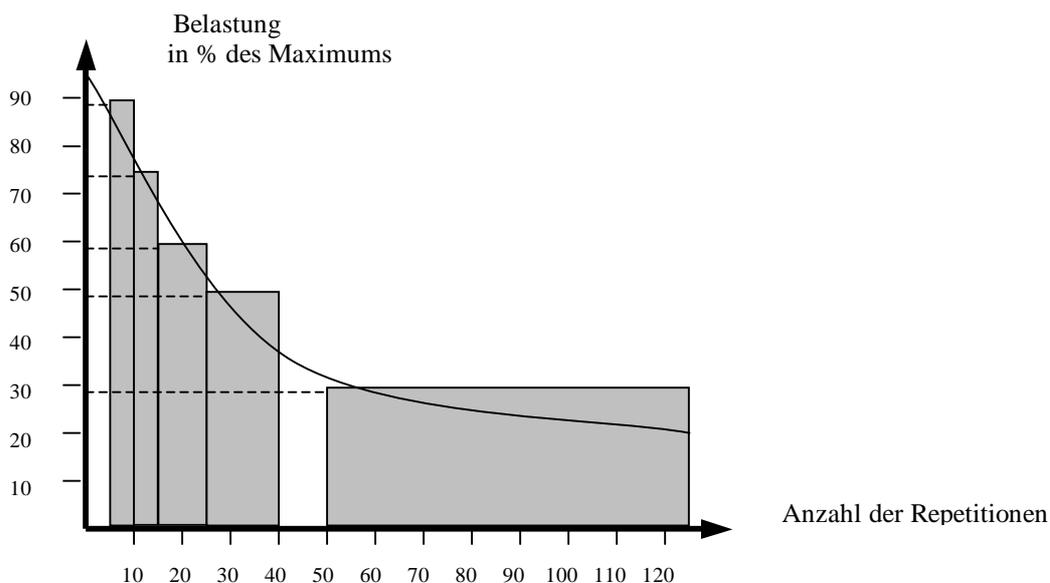


Abbildung 1: Die Reizintensität-Reizhäufigkeitskurve zeigt die Abhängigkeit der Belastung von der Anzahl der Übungswiederholungen.

Da das durchgeführte Trainingsprogramm neben der Verbesserung von Kraft und Kraftausdauer auch auf die Verbesserung der allgemeinen aeroben Ausdauer abzielte, wurde die Belastungsintensität so gewählt, dass die Herzfrequenz während des Trainings der fahrradergometrisch ermittelten Trainingsfrequenz entsprach.

### **4.3. Untersuchungsverfahren**

Um die Auswirkung der Rehabilitationsmaßnahme hinsichtlich der Trainingswirkungen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit zu objektivieren, wurden am Anfang und zum Schluss fahrradergometrische Standardtests (Stufentest) sowie isokinetische Muskelkraftmessungen (Kniestrecker, -beuger) durchgeführt. Die subjektiven Daten über die Schmerzempfindung der Patienten wurden mittels Fragebögen erhoben.

#### 4.3.1. Fahrradergometrischer Stufentest

Der Eingangs- bzw. Abschluss-Stufentest umfasste dosierte körperliche Belastungen unter standardisierten Bedingungen mit der gleichzeitigen Bestimmung von Herzfrequenz, Blutdruck und Laktatkonzentration.

Einen Tag vor der ergometrischen Untersuchung wurden die Probanden ausführlich über den Sinn, Zweck und Ablauf der Untersuchung aufgeklärt sowie mit der ergometrischen Methodik vertraut gemacht. Mit den Patienten wurde vereinbart, am Vortage größere physische und psychische Beanspruchungen zu meiden. Um hypoglykämische Zustände auszuweichen, wurde die Leistungsdiagnostik nach einem leichten Frühstück durchgeführt.

Da es sich überwiegend um leistungsschwache Probanden handelte, wurde das folgende Schema verwendet:

- Fahrradergometrie in sitzender Position, ausgehend von 50 Watt, stufenweise Erhöhung der Belastungsintensität um 25

Watt alle zwei Minuten bis zur subjektiven Erschöpfung der Patienten oder bis zum Auftreten medizinisch begründeter Abbruchkriterien,

- Drehzahl 50-60/min.,
- EKG-Registrierung sowie Messung der Funktionsparameter: Herzfrequenz, Blutdruck und Laktat im Ruhezustand, in den letzten 15 Sekunden jeder Belastungsstufe und sofort nach dem Abbruch.

#### 4.3.2. Messgeräte, Meßmethoden

Folgende Ausstattung war für die Durchführung eines Belastungstests vorhanden:

- Fahrradergometer,
- EKG-Gerät,
- Blutdruckmessgerät,
- Laktatmessgerät,
- Notfallausrüstung einschließlich Defibrillator.

Für die ergometrische Untersuchung wurde ein mikroprozessor-gesteuertes, drehzahlunabhängiges Fahrradergometer vom Typ ERGOMED 840 der Firma Siemens benutzt, welches Fußkurbelarbeit im Sitzen ermöglicht. Das gewählte Ergometrieprogramm lief automatisiert ab.

Die Herzfrequenz wurde aus dem am Ende jeder Belastungsstufe registrierten EKG ermittelt. Beim EKG-Gerät handelte sich um ein Sechskanal-Registriersystem vom Typ CARDISUNY 600 AX. Ein Oszilloskop ermöglichte eine Dauerbeobachtung. Die Extremitätenelektroden wurden am Rücken angebracht.

Die Blutdruckmessung erfolgte indirekt nach Riva-Rocci-Korotkow. Es wurden nur systolische Werte ermittelt.

Für die Ermittlung des Blutlaktatspiegels wurde in den letzten 15 Sekunden jeder Wattstufe Blut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen der Probanden entnommen. Die Laktatbestimmung

geschah vollenzymatisch mit Hilfe des Messgerätes Photometer ECOM 6122.

#### 4.3.3. Gemessene und errechnete Leistungsparameter

Folgende Messwerte wurden aus der ergometrischen Diagnostik erhoben:

- Herzfrequenz sowie Blutdruck in Ruhe,
- maximale Leistungsfähigkeit (Watt),
- die maximale Leistung/kg Körpergewicht ( $\text{Watt}_{\text{max}}/\text{kg}$ ),
- Wattleistung, Herzfrequenz sowie Blutdruck bei 2, 3 und 4 mmol/l Blutlaktatkonzentration,
- Wattleistung/kg Körpergewicht ( $\text{Watt}/\text{kg}$ ) bei Herzfrequenz 130/min für jeden Probanden (PWC 130).

Die maximale Herzfrequenz der Gesamtgruppe lag im Durchschnitt  $146 \pm 14$  Schläge/min. Der maximale Laktatwert betrug  $4,8 \pm 1,3$  mmol/l.

Bei der Ermittlung der Wattleistung, des systolischen Blutdrucks sowie der Herzfrequenz bei 2, 3 und 4 mmol/l Laktat fand das Verfahren der graphischen Interpolation Anwendung, das in der Abbildung 2 demonstriert wird.

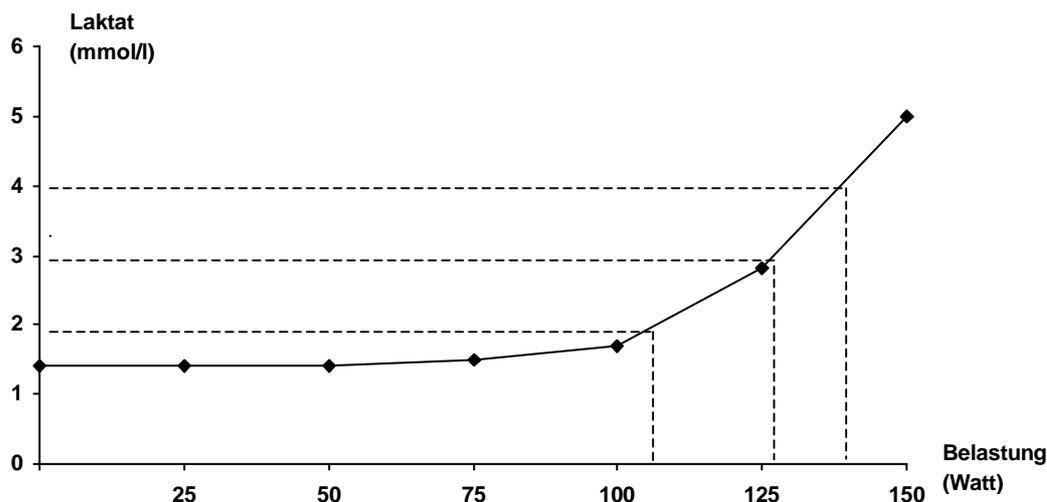


Abbildung 2: Beispiel der graphischen Ermittlung der Wattleistung bei definierten Laktatwerten. Im vorliegenden Beispiel wurde die Wattleistung bei 2, 3 und 4 mmol/l Laktat mit 107, 129 und 139 Watt ermittelt.

Die PWC 130 wurde rechnerisch ermittelt:

$$PWC\ 130 = W_1 + (W_2 - W_1) \frac{(P - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

In dieser Gleichung ist P die Ziel-Herzfrequenz, also 130/min, W<sub>1</sub> die Wattstufe auf der eine Frequenz P<sub>1</sub> erreicht wird, die gerade unter 130/min liegt. W<sub>2</sub> und P<sub>2</sub> liegen oberhalb der Ziel-Herzfrequenz 130/min.

#### 4.3.4. Trainingssteuerung

Die Belastungsintensität wurde anhand der Laktat- und Herzfrequenzkurve individuell vorgegeben. Die Trainingspulsfrequenz und die Belastung wurden durch Laktatkontrollen während des Trainings zusätzlich korrigiert, um eine Über- oder Unterbelastung zu vermeiden.

Die optimale Trainingspulsfrequenz für die Probanden der ERG- und MTT-Gruppe wurde zwischen 2 und 3 mmol/l festgelegt (Abbildung 3).

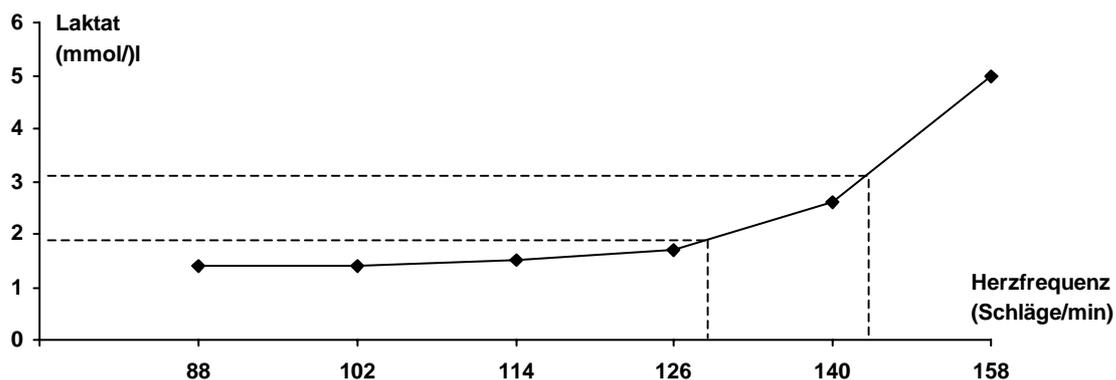


Abbildung 3: Beispiel der Ermittlung der Herzfrequenz zur Trainingssteuerung. Im Bereich von 2-3 mmol/l Laktat liegt die Herzfrequenz zwischen 133 - 143 Schläge/min.

#### 4.3.5. Isokinetische Muskelkraftmessungen

Objektive Aussagen über die Kraftfähigkeit der Beinmuskulatur wurden mittels Messung des maximalen Drehmomentes am isokinetischen Gerät erfasst. Das maximale Drehmoment wurde als Parameter zur Messung der Kraftfähigkeit der Knieextensoren und -flexoren gewählt und am Anfang sowie zum Schluss der Rehabilitationsmaßnahme am „KINCOM H<sub>2</sub>-Dynamometer“ Firma Kaphingst bestimmt.

Nach FROBÖSE (1993) ergibt sich das maximale Drehmoment „aus dem Kurvenmaximum eines isokinetischen Kraftverlaufes und entspricht also der größten Kraft, die in Abhängigkeit von einer bestimmten Bewegungsgeschwindigkeit von der getesteten Muskelgruppe aufgebracht werden kann“. Das maximale Drehmoment wird in Newtonmeter (Nm) angegeben.

Bei den Muskelkraftmessungen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht nur die maximalen Drehmomente nach Muskelgruppen und Seite gemessen, sondern auch die Relation zwischen Knieextensoren und -flexoren beiderseits überprüft. Die normale Relation liegt etwa bei 100% zu 65% (1.54). Das zu Beginn und zum Abschluss der Rehabilitation erfasste Verhältnis diente auch zur Darstellung eines Therapieerfolges, da die Verbesserung des Ungleichgewichtes zu den Zielen eines Heilverfahrens insbesondere bei chronischen Erkrankungen des Bewegungsapparates zählt.

#### 4.3.6. Erhebung subjektiver Daten

Angaben über subjektives Schmerzempfinden der Patienten bezogen auf Wirbelsäulenbeschwerden wurden mittels Fragebögen erhoben. Die Fragebögen wurden den Patienten jeweils beim ersten bzw. letzten Termin übergeben. Es handelt sich um eine visuelle Analog-Skala. Die Untersuchten sollten dabei ihren Wirbelsäulenschmerz in Schweregrade von 0 bis 10 dokumentieren.

Schmerzskala zur Ermittlung der Schmerzstärke:

kein Schmerz	0
geringer Schmerz	1
geringer Schmerz	2
mäßiger Schmerz	3
mäßiger Schmerz	4
mittelstarker Schmerz	5
starker Schmerz	6
starker Schmerz	7
sehr starker Schmerz	8
sehr starker Schmerz	9
unerträglicher Schmerz	10

#### **4.4. Statistik**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Softwaresystem „STATISTICA für Windows, Version 5.1“. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Maße und Verfahren:

##### 4.4.1. Deskriptive Statistik

###### Arithmetisches Mittel, Mittelwert

Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der Messwerte. Er berechnet sich aus der Summe der Messwerte geteilt durch ihre Anzahl.

###### Standardabweichung

Die Standardabweichung ist das Maß für die Streuung der Messwerte. Sie ist die Quadratwurzel aus der Varianz, die sich wiederum aus der Division der Summe der Abweichungsquadrate durch den um eins verminderten Stichprobenumfang errechnet.

#### 4.4.2. Analytische Statistik

Die analytische Statistik ist neben der deskriptiven der zweite Teilaspekt der Statistik. Sie befasst sich mit der Überprüfung von Hypothesen und ermöglicht objektive Entscheidungen über deren Brauchbarkeit.

##### Irrtumswahrscheinlichkeit (p)

Sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit man sich irren würde, wenn man die fragliche Hypothese akzeptiert. Um die Hypothese annehmen zu können, sollte p möglichst klein sein. Die Grenze, die von p nicht überschritten werden darf, wird als „Signifikanzniveau“ bezeichnet und wird üblicherweise auf 5% festgelegt. Daraus ergibt sich:

$p > 0,05$  - nicht signifikant  
 $p \leq 0,05$  - signifikant  
 $p \leq 0,01$  - hoch signifikant

##### WILCOXON-Test

Das ist ein nichtparametrischer Test für gepaarte Stichproben. Es werden neben der Richtung der Unterschiede innerhalb der Datenpaare auch die Größe der Unterschiede in Betracht gezogen, wobei ein Paar mit größerer Differenz stärker gewichtet wird als ein Paar mit geringerem Unterschied. Daraus lässt sich eine Rangordnung ableiten. Weiterhin wird die Irrtumswahrscheinlichkeit p berechnet.

##### H-Test nach KRUSKAL und WALLIS

Bei diesem nichtparametrischen Test handelt es sich um eine Auswertung des U-Testes von MANN und WHITNEY beim Vorliegen von mehr als zwei unabhängigen Stichproben. Man testet, ob zwischen den Stichproben ein signifikanter Unterschied vorliegt.

## U-Test nach MANN und WHITNEY

Dieser ist der geläufige Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier unabhängiger Stichproben und basiert auf einer gemeinsamen Rangreihe der Werte beider Stichproben. Nachdem mit dem H-Test nach KRUSKAL und WALLIS zunächst eruiert wird, ob zwischen mehreren Stichproben ein signifikanter Unterschied besteht, kann damit festgestellt werden, zwischen welchen Stichproben der Unterschied besteht.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Veränderungen von Leistungsparametern vor und nach 3-wöchigem Heilverfahren

#### 5.1.1. Ergebnisse der ergometrischen Diagnostik

Mit dem KRUSKAL-WALLIS-Test konnte festgestellt werden, dass zwischen den Gruppen in Bezug auf Leistungsparameter am Anfang der Rehabilitationsmaßnahme keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) zu verzeichnen waren (Tabelle IV und V im Anhang).

Die leistungsdiagnostischen Größen zeigten eine eindeutige Beeinflussung durch die Rehabilitationsmaßnahme. Im Vergleich zwischen Eingangs- und Abschluss-Stufentest konnte eine Verbesserung der untersuchten Parameter festgestellt werden (Tabelle VI im Anhang).

##### 5.1.1.1. Herzfrequenz- und Blutdruckwerte in Ruhe

Die vor der Fahrradergometrie gemessene Herzfrequenz im Ruhezustand lag im Durchschnitt im Vor- und Nachtest der Gesamtgruppe nahezu gleich. Auch in den einzelnen Gruppen zeigte die Ruheherzfrequenz keine eindeutige Beeinflussung durch die Rehabilitationsmaßnahme (Abbildung 4). Die mittlere Herzfrequenz in Ruhe fiel im Nachtest lediglich um 1,6% ab (Tabelle VI im Anhang).

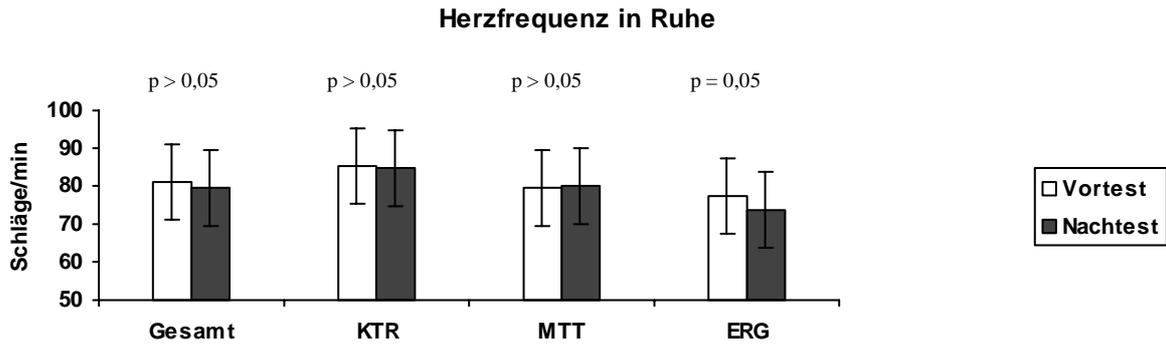


Abbildung 4: Mittelwerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz in Ruhe vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

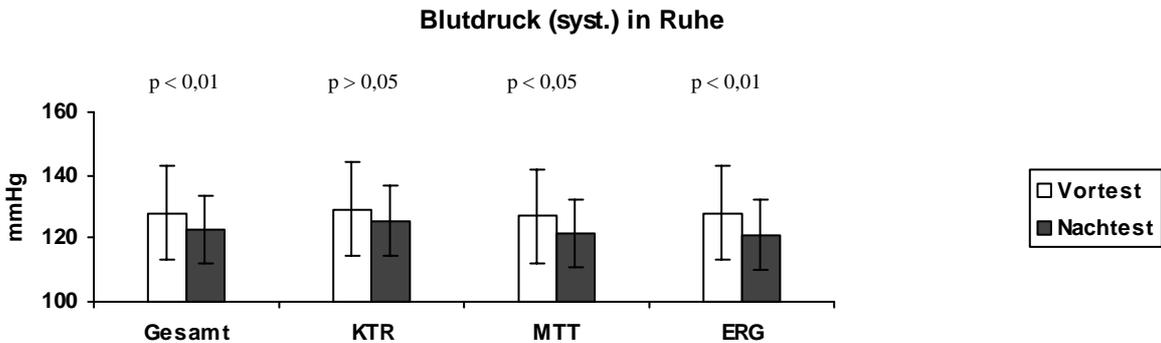


Abbildung 5: Mittelwerte mit Standardabweichung des systolischen Blutdruckes in Ruhe vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Im Abschlusstest wurde eine Reduktion des Blutdruckes festgestellt. Die Veränderungen des systolischen Blutdruckes wiesen hochsignifikante Unterschiede zwischen Vor- und Nachttest in der Gesamtgruppe auf. Die Signifikanzprüfung in den einzelnen Gruppen ergab, dass der Unterschied zwischen Vor- und Nachttest nur in der Kontrollgruppe nicht signifikant war (Abbildung 5). Die mittleren systolischen Blutdruckwerte fielen in der Gesamtgruppe gegenüber dem Vortest um  $5,4 \pm 10,4$  mm/Hg (4,2%) niedriger aus (Tabelle VI im Anhang).

### 5.1.1.2. Maximale Leistungsfähigkeit und PWC 130

Die Untersuchten wiesen bezüglich der maximalen Leistungsfähigkeit in Watt und der auf die Körpermasse bezogenen Daten in Watt/kg vor der Behandlung nahezu gleiche Mittelwerte auf. Die maximale Leistungsfähigkeit der untrainierten, männlichen Personen lag im Durchschnitt bei  $151 \pm 14,1$  Watt bzw.  $1,80 \pm 0,3$  Watt/kg. Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen sind in Tabelle IV im Anhang dargestellt. Die Entwicklung der maximalen Leistungsfähigkeit der 60 Patienten nach der 3-wöchigen Rehabilitationsmaßnahme ist in den Abbildungen 6-8 und detailliert in Tabelle VI im Anhang dargestellt.

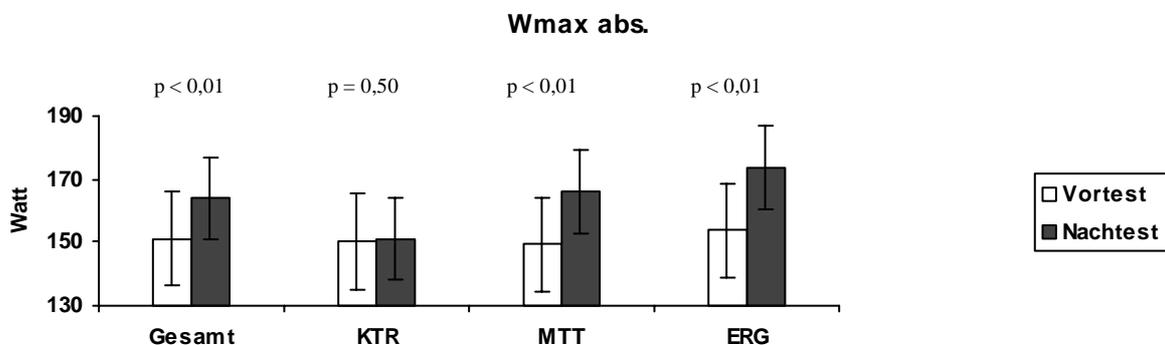


Abbildung 6: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Leistungsfähigkeit (absolute Wmax) zu Beginn und am Ende eines stationären Heilverfahrens; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

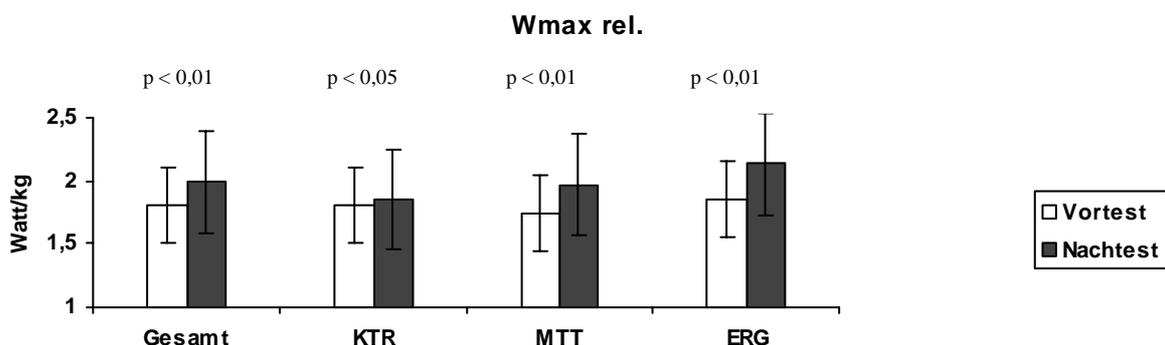


Abbildung 7: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Leistungsfähigkeit (relative Wmax) zu Beginn und am Ende eines stationären Heilverfahrens; WILCOXON-Test.

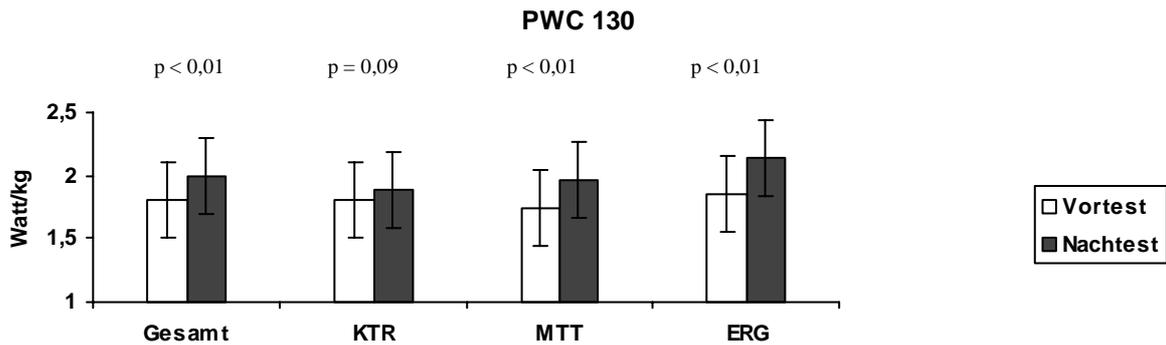


Abbildung 8: Mittelwerte mit Standardabweichung der PWC 130 zu Beginn und am Ende eines stationären Heilverfahrens; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Aus den Abbildungen 6-8 wird deutlich, dass am Ende des Heilverfahrens eine hoch signifikante Verbesserung dieser Leistungsparameter in der Gesamtgruppe sowie in der MTT- und ERG-Gruppe eintrat. In der Kontrollgruppe war lediglich die relative Leistungsfähigkeit signifikant verbessert. In der Gesamtgruppe konnte die maximale Leistungsfähigkeit um 12,7 Watt (8,4%) bzw. um 0,2 Watt/kg (11,1%) gesteigert werden. Die PWC 130 verbesserte sich um 0,2 Watt/kg (14,3%) (Tabelle VI im Anhang).

### 5.1.1.3. Parameter an der aeroben Schwelle (2 mmol/l Laktat)

Die Veränderungen der Wattleistung, der Herzfrequenz und des Blutdruckes bei 2 mmol/l Blutlaktat wird in den Abbildungen 9-11 grafisch veranschaulicht:

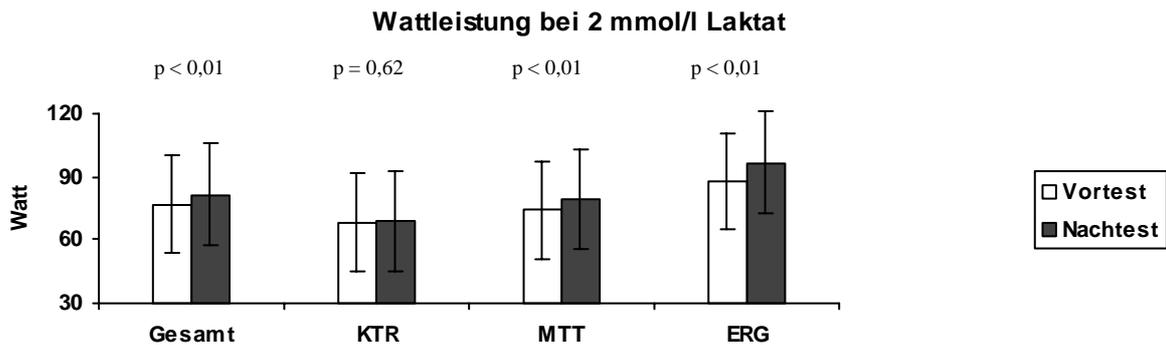


Abbildung 9: Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung an der 2 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

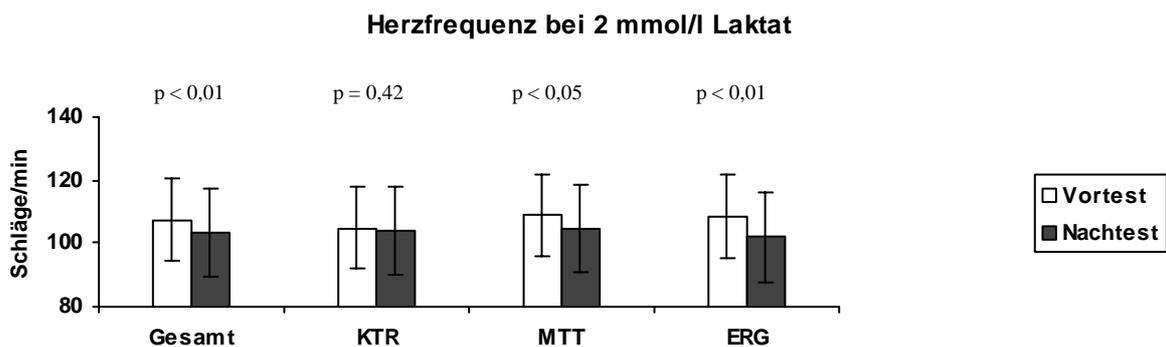


Abbildung 10: Mittelwerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz an der 2 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

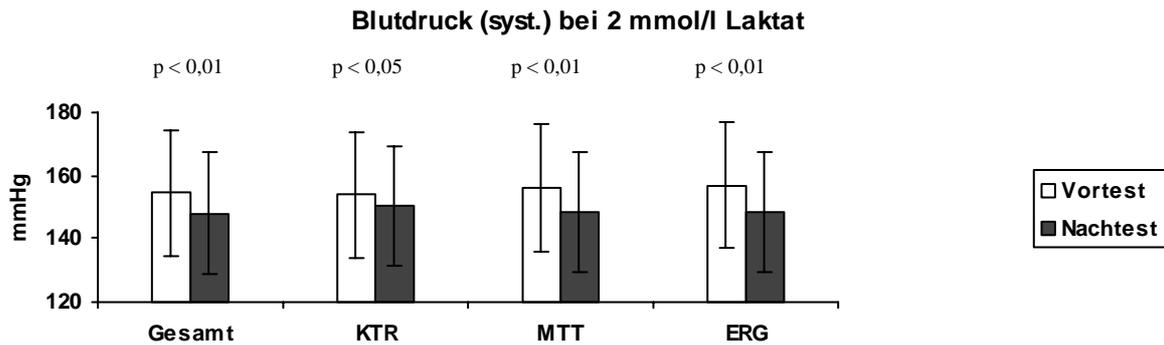


Abbildung 11: Mittelwerte mit Standardabweichung des systolischen Blutdruckes an der 2 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Bis auf die Wattleistung und Herzfrequenz in der Kontrollgruppe wurde eine signifikante Verbesserung der untersuchten Parameter in der Gesamtgruppe und in den einzelnen Gruppen festgestellt (Abbildungen 9-11).

In der Gesamtgruppe lag die mittlere Wattleistung an der aeroben Schwelle (2 mmol/l) im Nachttest 6,2% signifikant über dem Ausgangsniveau. Die mittlere Herzfrequenz fiel im Nachttest um 3,6% signifikant ab. Die systolischen Blutdruckwerte wurden gegenüber dem Vortest ebenfalls (4,2%) signifikant niedriger gemessen (Tabelle VI im Anhang).

#### 5.1.1.4. Parameter an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle

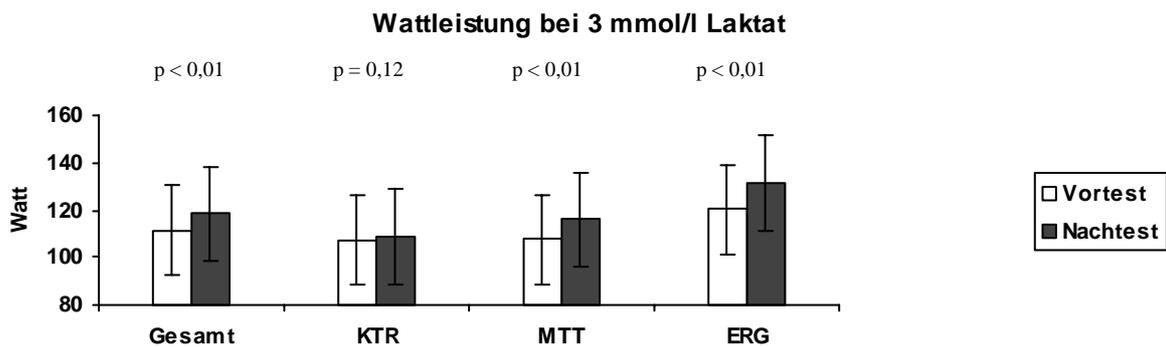


Abbildung 12: Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung an der 3 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test.

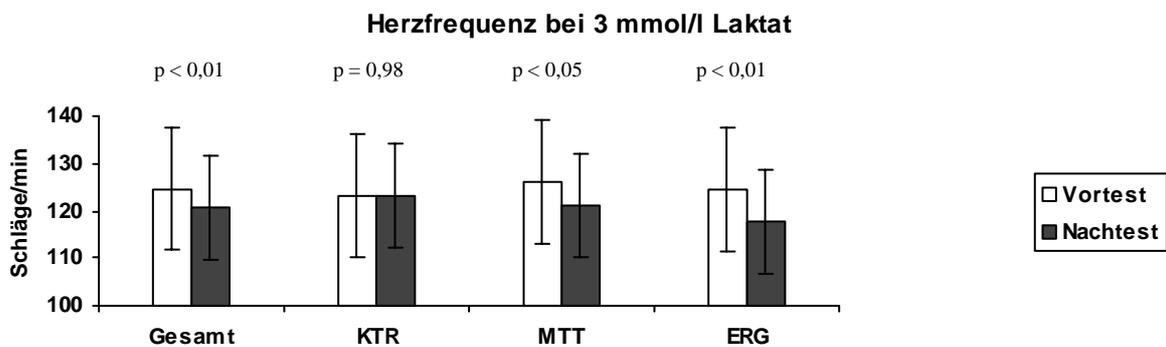


Abbildung 13: Mittelwerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz an der 3 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test.

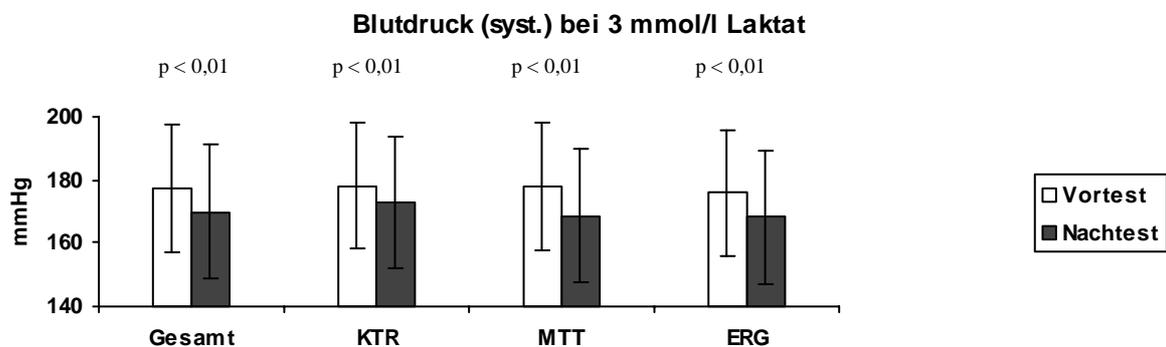


Abbildung 14: Mittelwerte mit Standardabweichung des systolischen Blutdruckes an der 3 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test.

Gleiche Ergebnisse wie bei der aeroben Schwelle konnten auch an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle nachgewiesen werden. Die Signifikanzprüfung ergab, dass der Unterschied zwischen Vor- und Nachtest für alle drei Parameter hochsignifikant ( $p < 0,01$ ) in der Gesamtgruppe war. Bis auf die Wattleistung und Herzfrequenz in der Kontrollgruppe wurde der Unterschied aller Parameter in den einzelnen Gruppen ebenso hochsignifikant dokumentiert (Abbildungen 12-14).

Die mittlere Leistung in der Gesamtgruppe erhöhte sich um 7 Watt (6.3%). Die Reduktion der Herzfrequenz und des Blutdruckes betragen 3,2% bzw. 4,1% (Tabelle VI im Anhang).

#### 5.1.1.5. Parameter an der anaeroben Schwelle (4 mmol/l Laktat)

Die Veränderungen der Wattleistung, der Herzfrequenz und des systolischen Blutdruckes bei 4 mmol/l Blutlaktat sind in den Abbildungen 15-17 dargestellt:

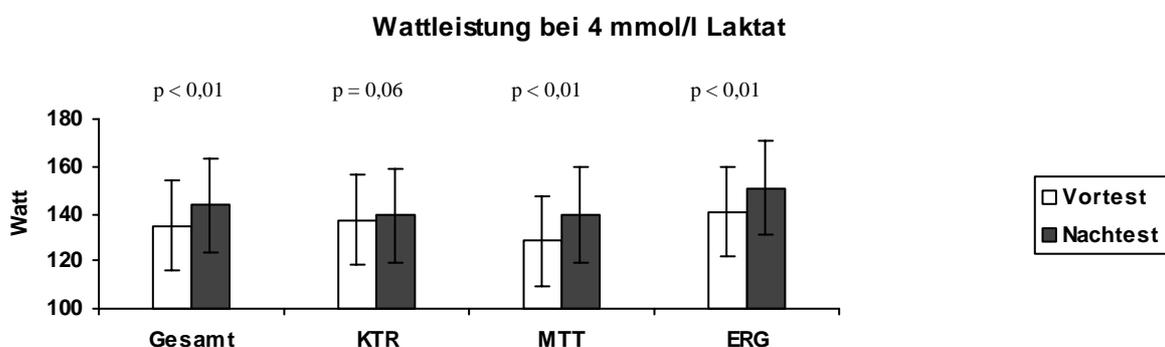


Abbildung 15: Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung an der 4 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

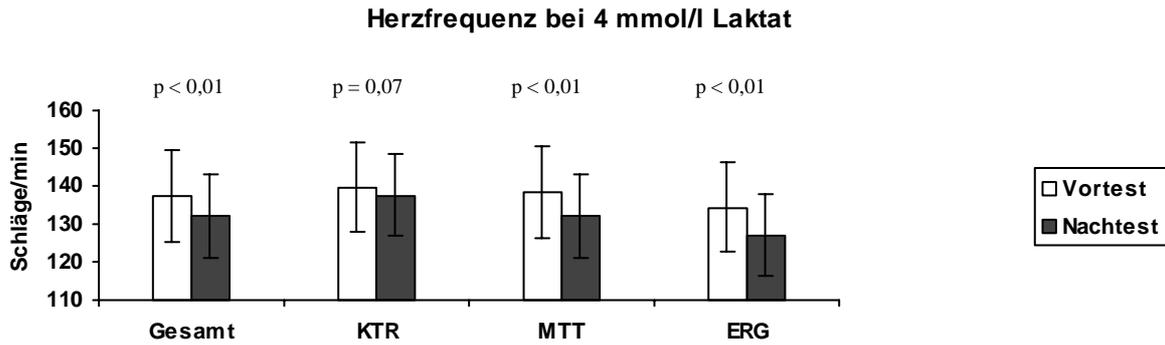


Abbildung 16: Mittelwerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz an der 4 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

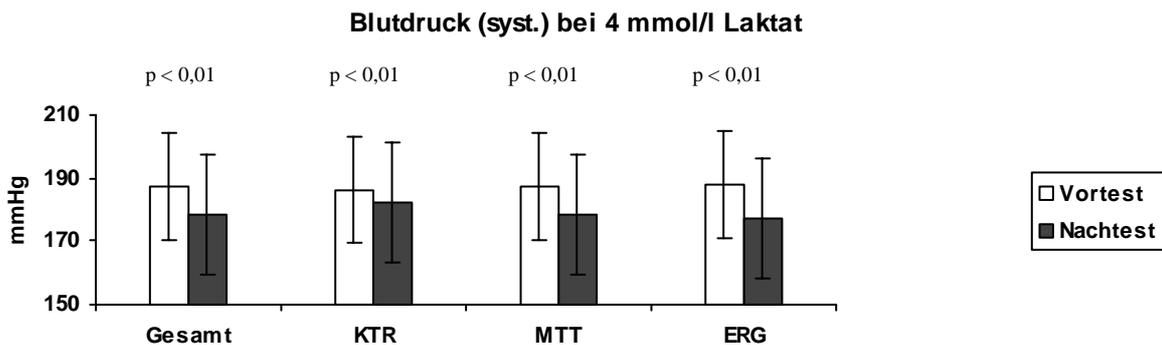


Abbildung 17: Mittelwerte mit Standardabweichung des systolischen Blutdruckes an der 4 mmol/l Lactat-Schwelle vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Auch hier stellte sich eine Verbesserung der Parameter heraus. Die Veränderungen der Parameter an der anaeroben Schwelle wiesen hochsignifikante Unterschiede zwischen Vor- und Nachtest in der Gesamtgruppe auf. Die Signifikanzprüfung in den einzelnen Gruppen ergab, dass der Unterschied zwischen Vor- und Nachtest für die Wattleistung und Herzfrequenz bei 4 mmol/l Blutlaktat nicht signifikant in der Kontrollgruppe war (Abbildungen 15-17).

Die Leistungsfähigkeit in der Gesamtgruppe konnte bei 4 mmol/l Blutlaktat um 8,2 Watt (6,1%) vergrößert werden. Die mittlere Herzfrequenz lag bei 4 mmol/l Blutlaktat im Nachtest um 5,3 Schläge/min (3,8%) niedriger als im Vortest. Die mittleren systolischen Blutdruckwerte fielen gegenüber dem Vortest um 9,0 mm/Hg (4,8%) niedriger aus (Tabelle VI im Anhang).

### 5.1.2. Ergebnisse der isokinetischen Muskelkraftmessungen

Bei den Maximalkraftmessungen konnte im Vergleich zwischen Eingangs- und Abschlusstest sowohl bei den Kniestreckern als auch -beugern eine hochsignifikante Erhöhung des Mittelwertes der maximalen Drehmomente in der Gesamtgruppe festgestellt werden. Aus den Abbildungen 18-21 wird deutlich, dass am Ende des Heilverfahrens eine signifikante Verbesserung der Muskelkraftwerte in den einzelnen Gruppen bis auf Kontrollgruppe eintrat.

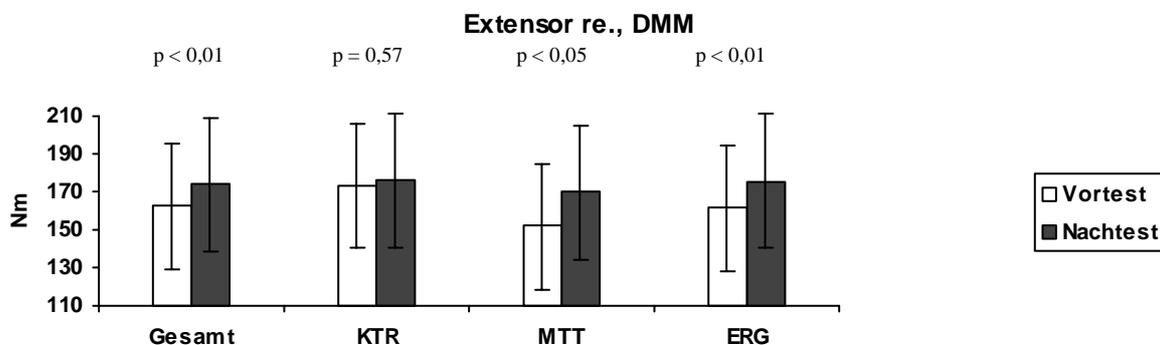


Abbildung 18: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Drehmomente (DMM) der Beinstrecker re. zwischen Vortest und Nachtest; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

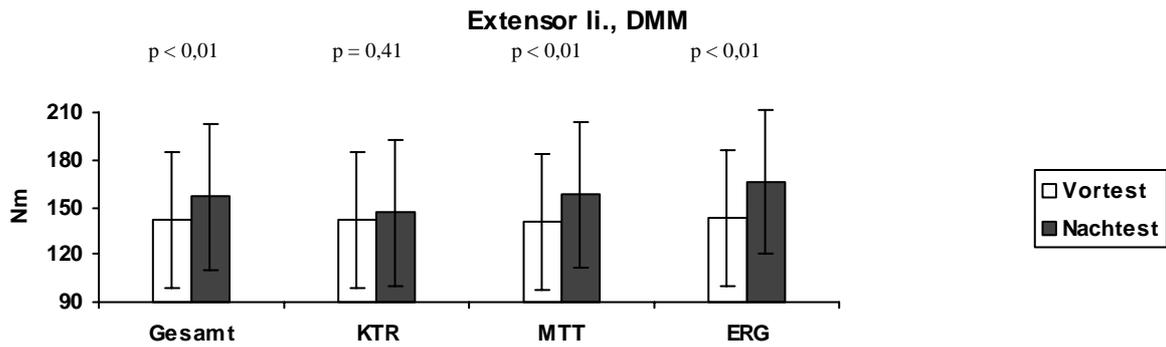


Abbildung 19: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Drehmomente (DMM) der Beinstrecker li. zwischen Vortest und Nachtest; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

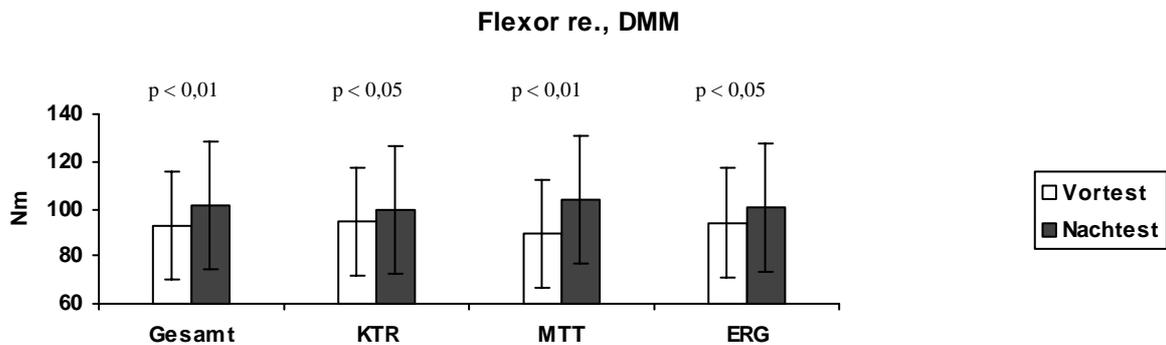


Abbildung 20: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Drehmomente (DMM) der Beinbeuger re. zwischen Vortest und Nachtest; WILCOXON-Test

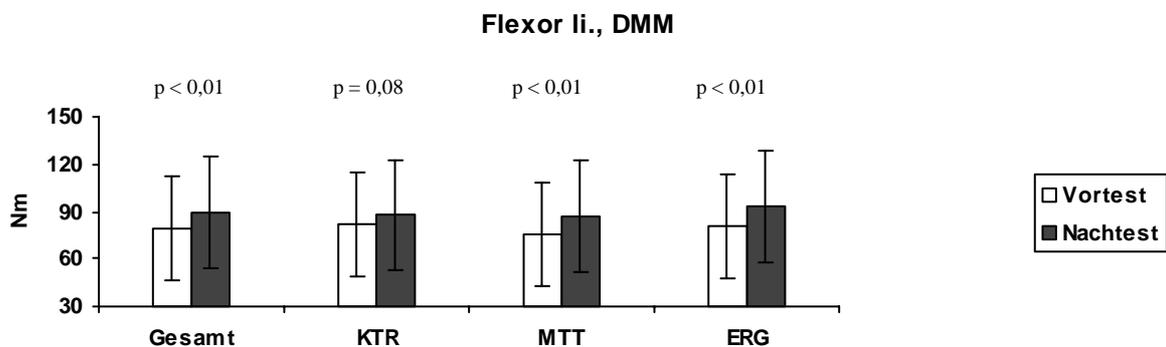


Abbildung 21: Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Drehmomente (DMM) der Beinbeuger li. zwischen Vortest und Nachtest; WILCOXON-Test.

Die positiven Veränderungen der Durchschnittswerte betragen in der Gesamtgruppe 9% für die Beinstrecker und 12% für die Beinbeuger (Tabelle VII im Anhang).

Die Verhältnisse zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln zu Beginn und zum Abschluss der Rehabilitationsmaßnahme sind in den Abbildungen 22-23 dargestellt.

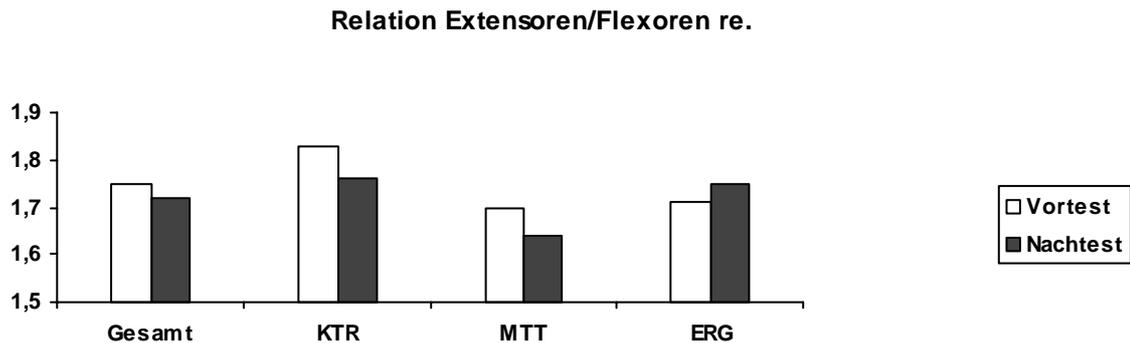


Abbildung 22: Relation zwischen Knieextensoren und -flexoren rechts zwischen Vortest und Nachttest, (normale Relation: 100% zu 65% = 1.54); Mittelwerte; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

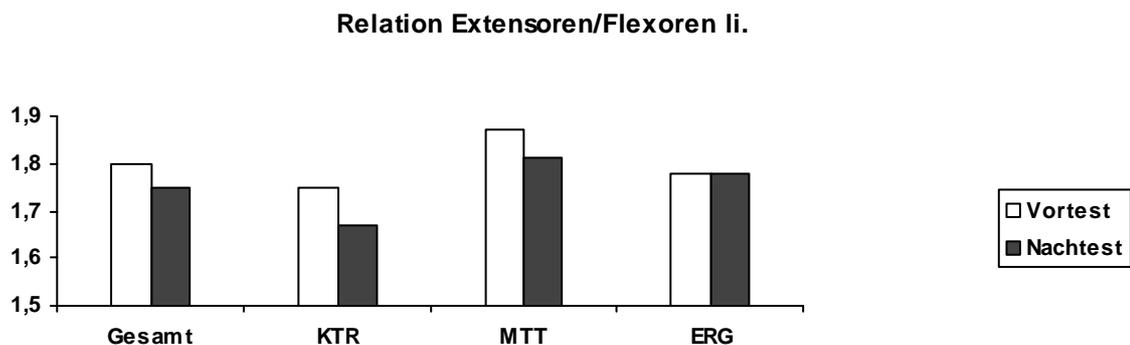


Abbildung 23: Relation zwischen Knieextensoren und -flexoren links zwischen Vortest und Nachttest, (normale Relation: 100% zu 65% = 1.54); Mittelwerte.

Aus den Abbildungen 22-23 wird deutlich, dass offensichtliche muskuläre Dysbalancen bei den untersuchten Patienten bestanden. Bis auf Ergometergruppe war im Durchschnitt in den

Gruppen zum Abschluss des Heilverfahrens eine Verbesserung des bestehenden Ungleichgewichts zu verzeichnen.

### 5.1.3. Veränderungen des Body-Mass-Index

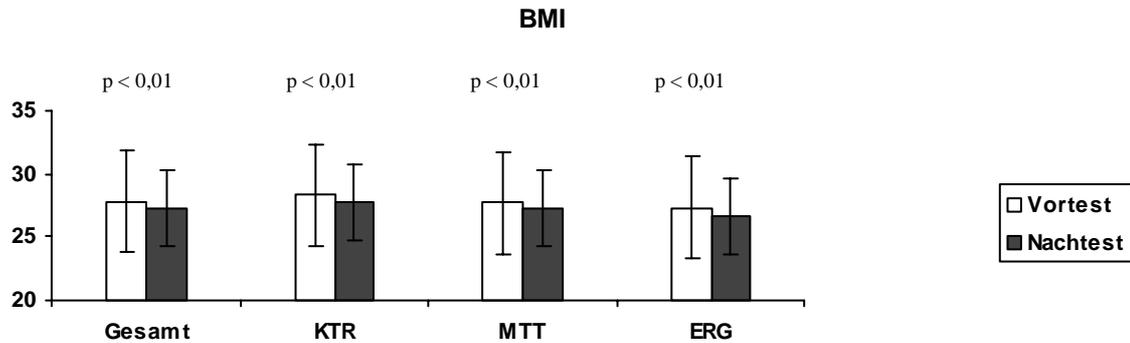


Abbildung 24: Mittelwerte mit Standardabweichung des Body-Mass-Index vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Es wurde eine Reduzierung des Körpergewichtes beobachtet. In der Gesamtgruppe sowie in den einzelnen Gruppen nahmen die Patienten zum Abschluss der Rehabilitationsmaßnahme hoch signifikant ab (Abbildung 24). In der Gesamtgruppe reduzierte sich der BMI um 1,8% (Tabelle VI im Anhang).

### 5.1.4. Veränderungen des Schmerzverhaltens

Die Auswertung der Schmerzfragebögen mit Hilfe einer visuellen Analogskala zeigte, dass die Schmerzempfindung am Ende des Heilverfahrens deutlich (42,9%) niedriger lag als zu Beginn. Die Werte der Schmerzskala des Gesamtkollektivs fielen im Durchschnitt ausgehend von  $4,9 \pm 2,0$  Skalenpunkte bis auf  $2,8 \pm 1,9$  Punkte höchst signifikant ( $p < 0,01$ ) ab (Abbildung 25). Vergleichbare Ergebnisse wurden auch in den einzelnen Gruppen beobachtet.

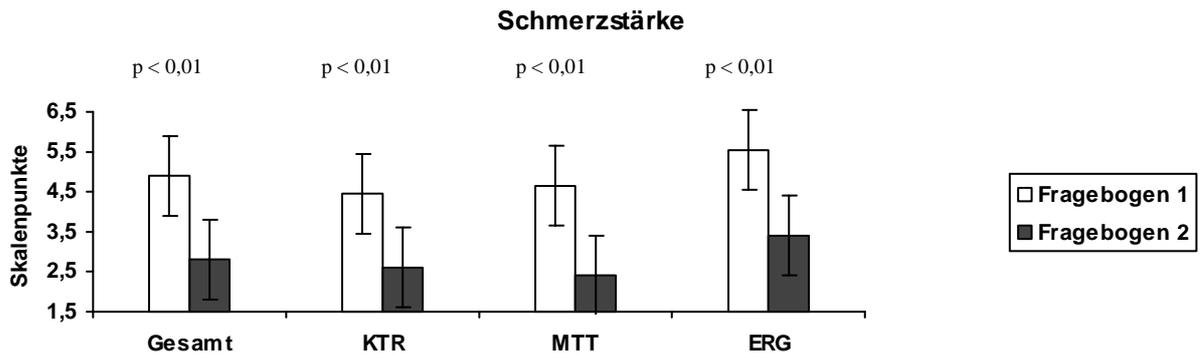


Abbildung 25: Mittelwerte mit Standardabweichung der Schmerzempfindung vor und nach der Rehabilitationsmaßnahme; WILCOXON-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

## 5.2. Gruppenvergleich

Die Differenzen der Mittelwerte im Gruppenvergleich sind in der Tabelle VIII im Anhang dargestellt. Die Prüfung mittels KRUSKAL-WALLIS-Test zwischen den Gruppen ergab zum größten Teil signifikante Unterschiede.

### 5.2.1. Ergebnisse der ergometrischen Diagnostik

#### 5.2.1.1. Herzfrequenz- und Blutdruckwerte in Ruhe

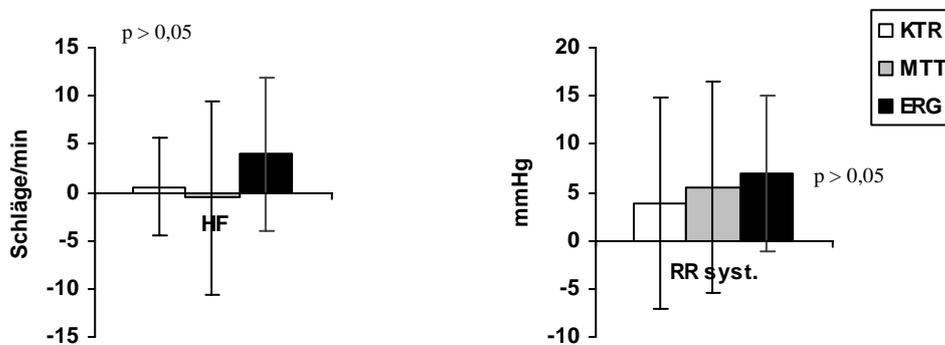


Abbildung 26: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz (HF) und des systolischen Blutdruckes (RR syst.) in Ruhe zwischen Vortest und Nachtest im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Wie oben dargestellt wies die vor der Fahrradergometrie gemessene Herzfrequenz in Ruhe im Durchschnitt im Vor- und Nachtest der Gesamtgruppe nahezu gleiche Werte auf. Im Gruppenvergleich ergab die Untersuchung auf Unterschiede keine signifikanten Veränderungen.

Die Reduktion des systolischen Ruhe-Blutdruckes der MTT- und Ergometergruppe erschien höher als bei der Kontrollgruppe. Der KRUSKAL-WALLIS-Test ergab aber, dass keine signifikanten Abweichungen der durchschnittlichen Verbesserungen zwischen den Gruppen bestanden (Abbildung 26).

## 5.2.1.2. Maximale Leistungsfähigkeit und PWC 130

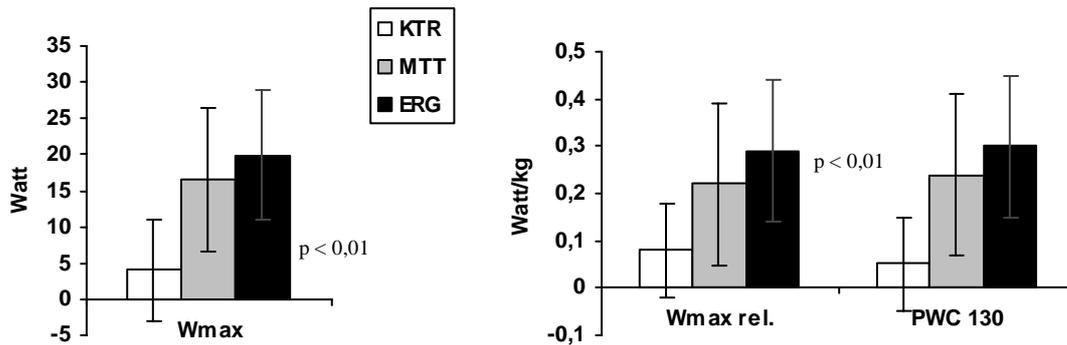


Abbildung 27: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Leistungsfähigkeit ( $W_{max}$ ) und der PWC 130 zwischen Vortest und Nachtest im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Die Abbildung 27 zeigt, dass die Verbesserungen der maximalen Leistungsfähigkeit und der PWC 130 der MTT- und der Ergometergruppe deutlich höher als die der Kontrollgruppe waren. Die Untersuchung auf Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf diese Parameter mittels KRUSKAL-WALLIS-Test ergaben, dass hoch signifikante ( $p < 0,01$ ) Abweichungen der durchschnittlichen Verbesserungen bestanden.

Um zu klären, wie die Therapiemaßnahmen sich in der Wirkung im Einzelnen unterscheiden, wurden für die Stichproben der MANN-WHITNEY U-Test angewandt. Die Tabelle IX im Anhang zeigt die Ergebnisse detailliert. Wie aus der Tabelle IX und der Abbildung 27 hervorgeht, kam es durch das zusätzliche Ergometer- bzw. Muskeltraining zu einer signifikanten Verbesserung der maximalen Leistungsfähigkeit und der PWC 130.

Vergleicht man die Mittelwertdifferenzen zwischen der MTT- und Ergometergruppe, so waren keine signifikante ( $p > 0,05$ ) Unterschiede zwischen den Kollektiven festzustellen.

### 5.2.1.3. Parameter an der aeroben Schwelle (2 mmol/l Laktat)

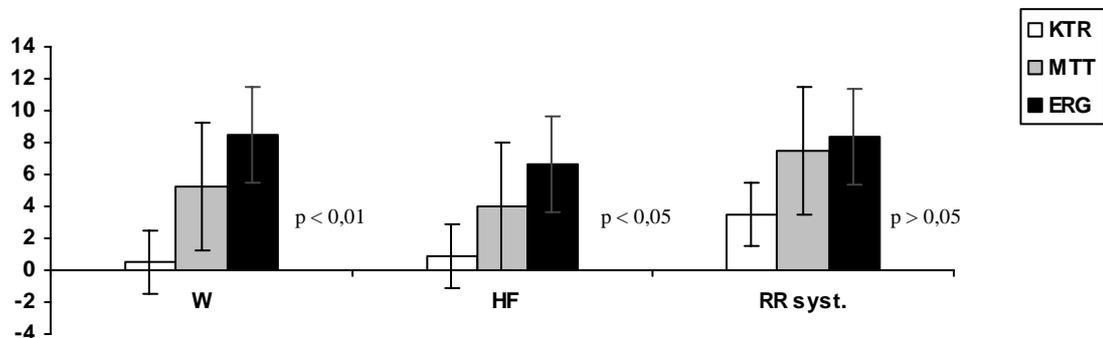


Abbildung 28: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung (W), der Herzfrequenz (HF) und des systolischen Blutdruckes (RR syst.) bei 2 mmol/l Laktat zwischen Vortest und Nachtest im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Die Verbesserungen der leistungsdiagnostischen Parameter an der aeroben Schwelle der MTT- und Ergometergruppe lagen auch hier höher als bei der Kontrollgruppe. Der KRUSKAL-WALLIS-Test ergab, dass signifikante Abweichungen der durchschnittlichen Verbesserungen der Wattleistung und der Herzfrequenz zwischen den Gruppen bestanden. Die Verbesserung des Blutdruckes war im Gruppenvergleich als nicht signifikant zu bewerten.

Eine weitere Prüfung mit dem MANN-WHITNEY U-Test zeigte, dass der Mittelwertunterschied der Wattleistung und der Herzfrequenz zwischen der MTT- und der Kontrollgruppe signifikant ( $p < 0,05$ ) hoch war. Noch deutlicher konnte die Unterschiede zwischen der Ergometer- und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Da  $p < 0,01$  war, kann hier von einem hoch signifikanten Ergebnis ausgegangen werden. Signifikante Unterschiede zwischen der MTT- und Ergometergruppe konnten nicht festgestellt werden.

#### 5.2.1.4. Parameter an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle

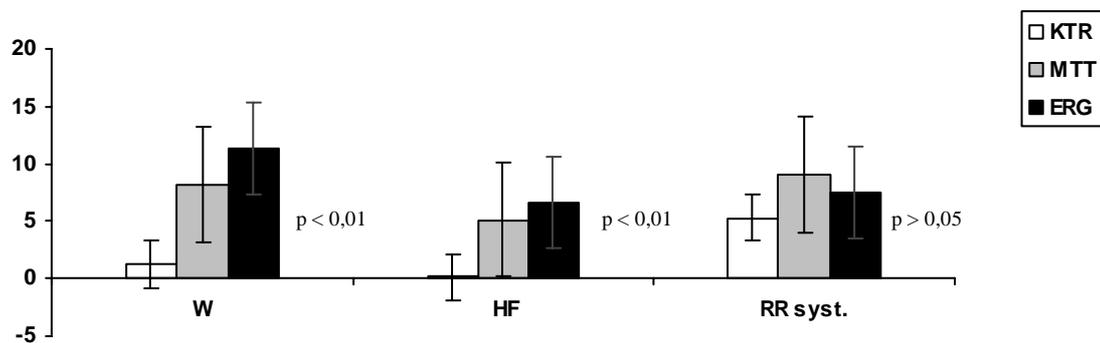


Abbildung 29: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung (W), der Herzfrequenz (HF) und des systolischen Blutdruckes (RR syst.) bei 3 mmol/l Laktat zwischen Vortest und Nachtest im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Die Betrachtung der Werte in der Tabelle VIII im Anhang und in der Abbildung 29 zeigt, dass bezüglich der Wattleistung und der Herzfrequenz an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle hoch signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen bestanden. Für den Blutdruck ergab sich zwischen den Gruppen keine Signifikanz.

Die MTT- und Ergometergruppe erzielten bezüglich der Wattleistung und Herzfrequenz an der 3 mmol/l Laktat-Schwelle hoch signifikant bessere Ergebnisse im Vergleich zur Kontrollgruppe. Keine signifikanten Abweichungen waren zwischen der MTT- und Ergometergruppe zu verzeichnen.

### 5.2.1.5. Parameter an der anaeroben Schwelle (4 mmol/l Laktat)

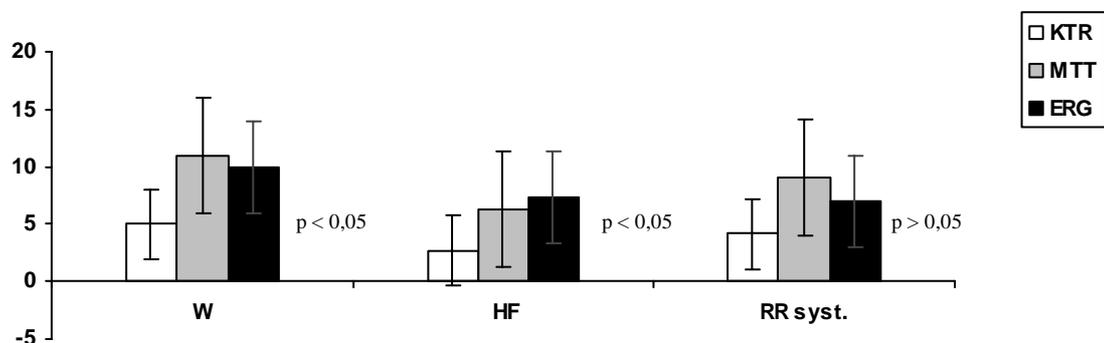


Abbildung 30: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der Wattleistung (W), Herzfrequenz (HF) und des systolischen Blutdruckes (RR syst.) bei 4 mmol/l Laktat zwischen Vortest und Nachtest im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Die Signifikanzprüfung für die leistungsdiagnostischen Parameter an der anaeroben Schwelle führte hier zur gleichen Interpretation wie für die Parameter an der 2 und 3 mmol/l Laktat-Schwelle. Die Unterschiede waren für die Wattleistung und die Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle zwischen den Gruppen statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). Für den Blutdruck ergab sich kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ).

Der Vergleich zwischen den einzelnen Gruppen zeigte signifikante Unterschiede bezüglich der Wattleistung und der Herzfrequenz zu Gunsten der Trainingsgruppen. Die Medizinische Trainingstherapie wies auch hier keine Vorteile gegenüber dem Ergometertraining auf.

## 5.2.2. Ergebnisse der isokinetischen Muskelkraftmessungen

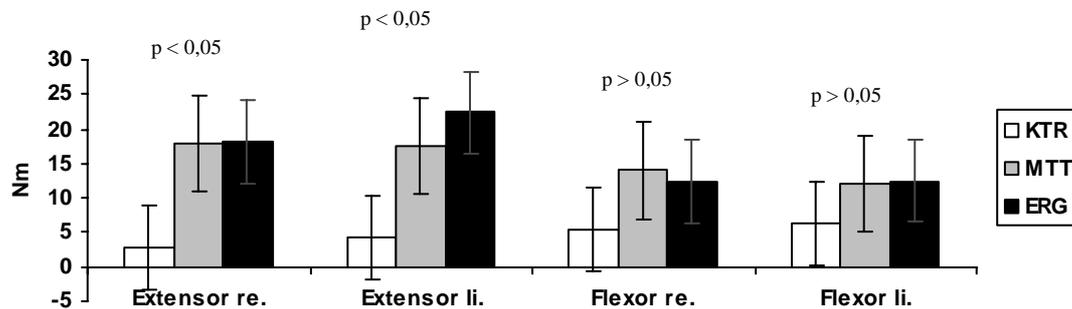


Abbildung 31: Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichung der maximalen Drehmomente zwischen Vortest und Nachtest nach Muskelgruppen im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

Die Untersuchung auf Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die isokinetischen Parameter ergaben, dass signifikante ( $p < 0,05$ ) Abweichungen der durchschnittlichen Verbesserungen der maximalen Drehmomente der Kniestrecke bestanden. Im Hinblick auf die Kraftverbesserungen der Flexoren waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen im Verlauf der Rehabilitationsmaßnahme zu verzeichnen (Abbildung 31).

Die Tabelle IX im Anhang zeigt, dass durch das zusätzliche Ergometer- bzw. MTT-Training signifikante Unterschiede der maximalen Drehmomente der Extensoren rechts und links im Vergleich zur Kontrollgruppe erreicht wurden. Wesentliche Abweichungen der Kraftverbesserung zwischen der Ergometer- und MTT-Gruppe konnte nicht beobachtet werden.

### 5.2.3. Veränderungen des Schmerzverhaltens

Wie schon dargestellt wurde, lag die Schmerzempfindung des Gesamtkollektivs sowie der einzelnen Gruppen am Ende des Heilverfahrens signifikant niedriger als zu Beginn. Die Untersuchung auf Unterschiede zwischen den Gruppen ergab, dass keine signifikante Abweichung in der Beurteilung des Schmerzempfindens bestand (Abbildung 32).

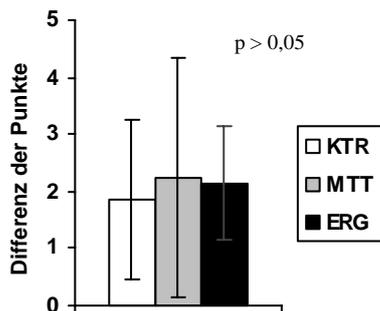


Abbildung 32: Punktedifferenz zwischen Fragebogen 1 und 2 der Mittelwerte der Schmerzstärke im Gruppenvergleich; KRUSKAL-WALLIS-Test; KTR = Kontrollgruppe, MTT = MTT-Gruppe, ERG = Ergometergruppe.

### 5.3. Zusammenhang zwischen Verbesserungen der maximalen Leistungsfähigkeit und Schmerzempfindung

Die Auswirkungen von Veränderungen der maximalen Leistungsfähigkeit auf das Schmerzverhalten bei Patienten mit chronisch degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen nach einem 3-wöchigen Heilverfahren wurden durch das statistische Verfahren der Korrelationsanalyse überprüft. Wie die Abbildung 33 zeigt, bestand eine hochsignifikante Korrelation zwischen der Abnahme der Schmerzstärke und des Anstiegs der maximalen relativen Wattleistung in den Trainingsgruppen.

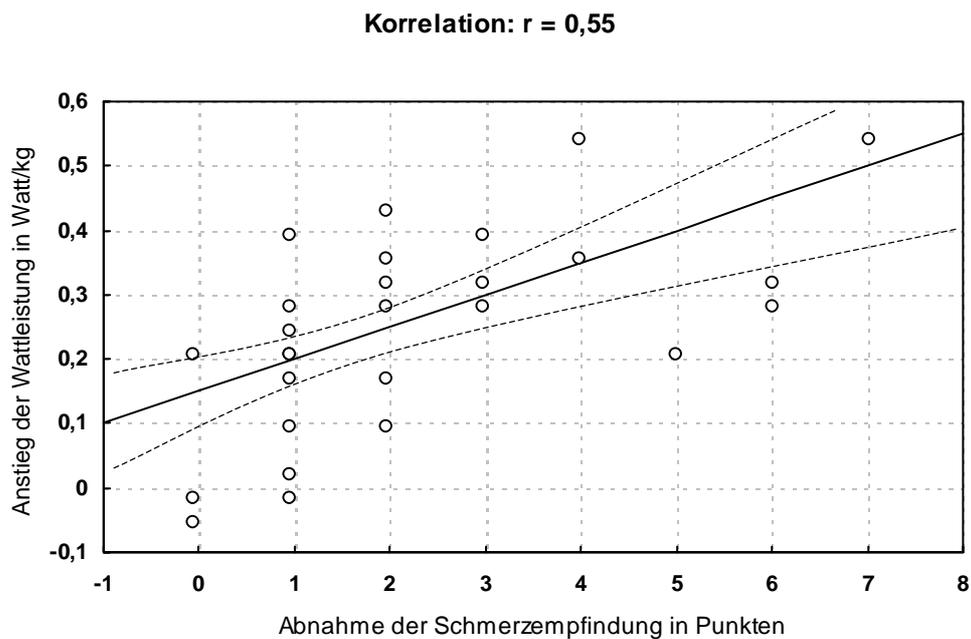


Abbildung 33: Orthogonale lineare Korrelation zwischen des Anstiegs der maximalen Wattleistung und der Abnahme der Schmerzstärke in der MTT- und Ergometergruppe.

## 6. Diskussion der Ergebnisse

### 6.1. Zur Wertigkeit eines stationären Heilverfahrens

Nach wie vor wird die Wirksamkeit eines stationären Heilverfahrens zur Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit sehr kontrovers diskutiert. Zunehmend wird sogar eine ambulante, ortsnahe Rehabilitation in den Vordergrund gestellt. In einer Befragung niedergelassener Ärzte über Erfahrungen mit medizinischen stationären Rehabilitationsmaßnahmen äußerten nur 36.8% der Allgemeinärzte, gute Erfahrung gemacht zu haben. Orthopäden waren deutlich kritischer. Die getroffenen Einschätzungen und Bewertungen zu den durchgeführten Behandlungsmaßnahmen bezogen sich auf Informationen und Befragung der behandelten Patienten und nicht auf objektive Leistungseinschätzungen (HEIDMANN et al. 1992).

Unser Anliegen war es deshalb, durch eine objektive Beurteilung der Leistungsfähigkeit vor und nach einem stationären Heilverfahren zu eruieren, welche Wirksamkeit unserer Behandlung auf die aerobe und Kraft-Leistungsfähigkeit sowie das Schmerzverhalten der Patienten zugeordnet werden kann. In der Rehabilitationsforschung wird zunehmend auf objektive Untersuchungen verzichtet und eine Beurteilung durch Fragebögen und Scores vorgenommen (FALLER 2000). In diesem praktizierten Vorgehen ist aus unserer Sicht keine ausreichende Möglichkeit gegeben, die Ergebnisse der Rehabilitation zu bewerten. Wir stützten uns deshalb auf exakte Testverfahren, die zu Beginn und am Ende eines Heilverfahrens zur Objektivierung des zu erwartenden Leistungszuwachses unserer Patienten eingesetzt wurden. Seitens der Sportmedizin (HOLLMANN et al. 1995) wird ein solches Vorgehen schon seit vielen Jahren realisiert.

Unsere Ergebnisse belegen, dass durch ein zielgerichtet durchgeführtes Heilverfahren deutliche Verbesserungen der aeroben Leistungsfähigkeit zu erreichen sind. So fanden wir eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit an der 2 mmol/l Laktatschwelle um 6,2%, an der 3 mmol/l-Schwelle um 6,3%. Die

maximale Leistungsfähigkeit nahm am Ende des Heilverfahrens im Durchschnitt um  $12,7 \pm 12,4$  Watt (8,4%) zu. Diese Ergebnisse stimmen mit dem aus der Literatur bekannten Resultat hinsichtlich Belastbarkeit und Trainierbarkeit von Patienten in der kardialen Rehabilitation überein (HALLE 1999/BJARNASON-WEHRENS 1999).

Es besteht deshalb kein Grund, sich der negativen Beurteilung zur Wirksamkeit eines stationären Heilverfahrens anzuschließen (HEIDMANN et al. 1992). Eine entscheidende Bedeutung kommt bei Erzielen eines positiven Resultats aus unserer Sicht dem gut abgestimmten Therapieprogramm, der subjektiven Einstellung der Patienten und der exakten Testdurchführung zu. Ähnlich äußerten sich auch SCHMIDT und OTT (1995).

## 6.2. Zum Leistungszuwachs

Nach SENN (1988) kann davon ausgegangen werden, dass durch ein Heilverfahren dem Organismus Belastungen abgefordert werden, die eine komplexe biologische Beantwortung in unterschiedlichen Strukturen des Organismus induzieren. Dies betrifft funktionelle, physiologische, biochemische und strukturelle Antworten auf die zugeführte Beanspruchung in Form unserer komplexen Therapie. Die biologische Reaktion in der Art von funktionellen und strukturellen Adaptationsvorgängen betrifft Umstrukturierungs-, Lern- und Wachstumsvorgänge. Die Therapie während eines stationären Heilverfahrens stellt somit eine funktionell ausgerichtete ganzheitliche Therapie dar (JORDAN 1980).

Das von uns abgezielte Behandlungsprogramm für die Patienten mit einem chronisch rezidivierenden Wirbelsäulensyndrom basierte auf den genannten Zielstellungen von JORDAN und SENN. Wir verordneten eine komplexe balneophysikalische Therapie mit Krankengymnastik, Wasseranwendungen, elektrotherapeutischen Maßnahmen und Massagen. Schwerpunkte unserer Behandlungen waren funktionsverbessernde, kräftigende, stabilisierende, detonisierende und die Koordination sowie die Bewegung

fördernde Maßnahmen. Diese Basistherapie erhielten alle von uns untersuchten und betreuten Patienten. In der Ergometer- bzw. MTT-Gruppe wurde die Basistherapie mit einem zusätzlichen Training ergänzt. Wir erwarteten in Anlehnung an die Untersuchungen von HEIDMANN, JORDAN und SENN einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit der Patienten und auf eine Reduktion des Schmerzverhaltens. Unsere Ergebnisse belegen, dass durch ein solches Vorgehen während eines 3-wöchigen Heilverfahrens vor allem mit Einbeziehung eines Trainingsprogramms eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit erreicht werden kann und eine deutliche Verminderung der Schmerzsymptomatik ausgelöst wird. Die von uns erzielten Ergebnisse können deshalb die negativen Aussagen eines stationären Heilverfahrens nicht bestätigt werden (HEIDMANN et al. 1992).

Kurorttherapie ist nach SCHMIDT (1995) eine komplexe Reizserientherapie mit charakteristischen Kenngrößen, wie im sportlichen Training. So sind Be- und Entlastungsphasen bedeutsam, darüber hinaus müssen die Reizintensität, -dauer und der Reizumfang beachtet werden. Die von uns stationär behandelnden Patienten wurden zum Teil über Jahre keiner komplexen balneophysikalischen oder sportlichen Therapie unterzogen. Es war deshalb wichtig, durch einen entsprechenden Behandlungsaufbau die Belastungen langsam und nicht sprunghaft zu steigern. Der Behandlungsablauf und die Anzahl der Therapiemaßnahmen sind so zu planen und zu realisieren, dass in der zu Verfügung stehenden Zeitdauer ein positiver therapeutischer Effekt zu Stande kommt. Anhand unserer Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass eine solche Zielstellung realisiert werden kann.

Von HILDEBRAND (1985) und anderen wird darauf hingewiesen, dass durch ein stationäres Heilverfahren keine Verbesserung der Ausdauerfähigkeit zu erreichen ist. HEIDMANN, JORDAN und SENN sehen im Unterschied zu den dargestellten Ergebnissen von HILDEBRAND und anderen durchaus die Möglichkeit, dass ein stationäres Heilverfahren zur Auslösung funktioneller Adaptationsvorgänge mit Verbesserung der Ausdauerleistungs-

fähigkeit beitragen kann. Vor allem durch die Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination sind Leistungssteigerungen zu erwarten (HOLLMANN et al. 1995). In unseren Untersuchungen sind wir von einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch ein stationäres Heilverfahren ausgegangen und konnten wie in den vorgelegten Ergebnissen diese Zielstellungen bestätigen. Darüber hinaus wollten wir klären, ob durch eine zusätzliche Ausdauer- und Trainingstherapie die Leistungsfähigkeit unserer stationär betreuenden Patienten weiter gesteigert werden kann. Wir setzen deshalb neben dem Basisprogramm ein gezieltes Ergometer- und Muskelaufbautraining zur Behandlung ein. Aus der Sportmedizin ist bekannt, dass das Erreichen einer Leistungsverbesserung in einem erheblichen Maß einer optimalen Belastungsanpassung abhängig ist (HOLLMANN et al. 1995). Diese grundlegenden Erkenntnisse sind in der balneophysikalischen Therapie noch keine allgemeine Behandlungsgrundlage. Deshalb haben wir bei der Durchführung unserer zusätzlichen Therapie mit Ergometer- und Medizinischen Trainingsbehandlung an diese sportmedizinische Erkenntnisse orientiert, das heißt der Belastungsumfang und die Intensität wurden während des Heilverfahrens kontinuierlich und systematisch erhöht. Damit wurde eine ansteigende Belastung sowie eine individuelle Dosierung des Trainings gewählt. Die Belastungsdosierung ist aus unserer Sicht eine der entscheidenden Kriterien des Trainings. Sie ist von der Belastungs- und Motivierungsfähigkeit des Patienten und von der Erfahrung des Behandlers abhängig. Die Erfahrungen aus der Sportmedizin belegen außerdem (DICKHUTH et al. 1998), dass ein wichtiger Bestandteil des Trainings die individuelle Steuerung darstellt. In der balneophysikalischen Therapie haben sich solche wesentliche Erkenntnisse der Sportmedizin in der täglichen Behandlung der Patienten bisher ungenügend durchgesetzt. Im Rahmen unserer Studie wurde auch diesem wichtigen Aspekt der Trainingssteuerung ein großer Wert gelegt. Wir ermittelten die Herzfrequenz bei einer Laktatkonzentration zwischen 2 und 3 mmol/l aus dem Bereich der aeroben Belastungsfähigkeit. Wir gingen davon aus, dass sich die Herzfrequenz in einem größeren Belastungsbereich

proportional zum Laktatanstieg verändert. Die ermittelte Herzfrequenz bei unserer Ergometerausgangsuntersuchung bei einer Laktatkonzentration zwischen 2 und 3 mmol/l konnte deshalb zur Belastungssteuerung der von uns untersuchten Patienten genutzt werden. Entsprechend diesen sportmedizinisch orientierenden Vorgängen mit einem komplexen Therapieprogramm erzielten die Gruppen mit einem zusätzlichen Training am Ende der Heilmaßnahme signifikante Verbesserungen der maximalen Leistungsfähigkeit, der PWC 130 und der Wattleistung. Es kam zu einer bedeutsamen Ökonomisierung der Kreislaufregulation mit Senkung der Herzfrequenz auf gleichen Belastungsstufen. Darüber hinaus wurde eine Zunahme der Muskelkraft für die Extensoren im Vergleich mit der Kontrollgruppe ermittelt. Mit unseren Ergebnissen kann deshalb der Nachweis geführt werden, dass bei Beachtung sportmedizinischer Kenntnisse der Belastungsgestaltung (DICKHUTH et al. 1998) auch in der balneophysikalischen Therapie während eines stationären Heilverfahrens deutliche Leistungsverbesserungen bei den von uns betreuten Patienten zu erreichen sind.

### 6.3. Zum Blutdruckverhalten

Wiederholt wird in der Literatur diskutiert, ob durch ein Ausdauertraining der Blutdruck im Sinne einer Blutdrucksenkung positiv beeinflusst werden kann. Je nach Zusammensetzung und Größe des Untersuchungsgutes findet man eindrucksvolle (DREWS 1967/ FRANZ 1983/ HALHUBER 1966/ SCHWAB 1974/ WEIDENER 1970/ MELLEROWICZ 1981) oder fehlende (JOHNSON 1967/ ROST 1976) Senkungen des Ruhe- und Belastungsblutdruckes. Die Blutdruckerhöhungen z.B. während Ergometrie müssen überwiegend durch das erhöhte Herzminutenvolumen erklärt werden. Hochdruckkranke aber weisen im Vergleich zu Normotonikern während dynamischer Belastung eine eingeschränkte metabolische Gefäßweitstellung auf. D.h., die Arteriolen können sich den Ansprüchen eines gesteigerten O<sub>2</sub>-Bedarfs der Muskulatur im Sinne einer Gefäßweitstellung nicht adäquat anpassen. KETELHUT et al. (1985) zeigten, dass es im Verlauf einer akuten 60-minütigen dynamischen Belastung zu einem kontinuierlichen

Abfall des systolischen und diastolischen Blutdrucks kommt. Dieses lässt sich durch einen zunehmenden Abfall des totalen peripheren Widerstandes erklären, d.h., die Arteriolen werden aufgrund metabolischen Prozesse und/oder Veränderungen der Empfindlichkeit der  $\alpha$ -Rezeptoren weitgestellt (FRANZ 1982). Diese kompensatorische Weitstellung der Arteriolen, die bei Hochdruckkranken während kurzer ergometrischer Belastung eingeschränkt ist (FRANZ 1982/ LUND-JOHANSEN 1981/ SANNERSTEDT 1966), bewirkt, dass auch der Ruheblutdruck der Hypertoniker zumindest über 1 Stunde nach der Ausdauerbelastung gesenkt bleibt.

Bei unseren untrainierten Probanden ohne positive Hochblutdruckanamnese fand sich für den systolischen Blutdruck nur eine geringe Blutdrucksenkung am Ende des Heilverfahrens. Verschiedene Autoren (HECK 1984/ HOLLMANN 1959/ ROST 1979) fanden ebenfalls bei Normotonikern keine oder nur eine geringe trainingsabhängige Senkung des systolischen Blutdruckes während körperlicher Belastung. Dies kann dadurch erklärt werden, dass trotz Erniedrigung der Herzfrequenz das Herzzeitvolumen, welches wesentlich die Höhe des systolischen Blutdrucks bestimmt, durch einen trainingsbedingten, kompensatorischen Anstieg des Schlagvolumens gleich bleibt oder nur gering im submaximalen Bereich während dynamischer körperlicher Leistung absinkt (ROST 1979). Eine mäßige Blutdrucksenkung im Mittel in Ruhe und auf allen Belastungsebenen bei allen Gruppen ist wahrscheinlich auch auf die entspannende Wirkung der Bädertherapie mit Gefäßerweiterung und damit Absinken des peripheren Widerstandes zurückzuführen.

#### 6.4. Zur Muskelkraftverbesserung

Für die Veränderungen der maximalen Muskelkraft der Kniegelenksmuskulatur war festzustellen, dass im Bezug auf die Mittelwerte eine Erhöhung des maximalen Drehmomentes für alle Patienten- und Muskelgruppen zu verzeichnen war. Signifikante Verbesserungen im Gruppenvergleich ließen sich für die

Patienten mit Medizinischer Trainingstherapie und Ergometertraining am Ende der Rehabilitation nachweisen. Das betraf ausschließlich die Extensoren.

Einer der entscheidenden Aspekte im Krafttraining ist das physiologische Muskelgleichgewicht. Das zu Beginn und zum Abschluss der Rehabilitation erfasste Verhältnis dient auch zur Darstellung eines Therapieerfolges, da die Verbesserung des Ungleichgewichtes zu den Zielen eines Heilverfahrens insbesondere bei chronischen Erkrankungen des Bewegungsapparates zählt (EINSINGBACH 1990). Aus unseren Ergebnissen wird offensichtlich, dass deutliche muskuläre Dysbalancen bei den untersuchten Patienten bestanden. In der MTT-Gruppe war im Durchschnitt zum Abschluss des Heilverfahrens eine Verbesserung des bestehenden Ungleichgewichts zu verzeichnen. Keine Verbesserung wurde dagegen in der Ergometergruppe festgestellt. Dieses Ergebnis erklären wir mit speziell angepassten Trainingsprogramm bei den Patienten in der MTT-Gruppe mit Einflussnahme auf die muskulären Dysbalancen. Es ist anzunehmen, dass dabei ein forciertes Training der Knieextensoren erfolgte.

Bei den untersuchten untrainierten Probanden stiegen in Maximalkrafttests erzielte Kraftwerte bereits nach kurzer Zeit deutlich über Ausgangsniveau. Eine mögliche Begründung für die Kraftsteigerung liegt sicherlich in der Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination, die besonders in den ersten Trainingswochen für die Erhöhung der Kraftleistungsfähigkeit verantwortlich ist. Dem koordinativen Lerneffekt liegt die Steigerung der Kraftwerte ohne objektivierbare morphologische Prozesse zugrunde. Der koordinative Lerneffekt ist Ausdruck einer spezifischen Koordinationsschulung, die eine Reduzierung des Energieaufwandes während muskulärer Aktion bei gleichbleibender oder höherer Effizienz zur Folge hat. Durch die Ökonomisierung der vorhandenen Energien wird der Zeitpunkt der Ermüdung hinausgeschoben (EINSINGBACH 1990).

Eventuell sind die Anforderungen an die intermuskuläre Koordination beim Ergometertraining zu gering, so dass

Adaptationen auf diesem Gebiet weitgehend fehlen. Das könnte dazu führen, dass keine Verbesserungen der Relation zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln bei den Patienten der Egometergruppe auftrat.

Bei aller Objektivität der Darstellung der gemessenen und registrierten Werte stellt sich bei isokinetischen Kraftanalysen das Problem der Motivation des Probanden. Beim Test muss der Patient 100% der augenblicklich möglichen individuellen Leistungsfähigkeit einsetzen. Eventuell mangelnde Motivation stellen in dieser Untersuchung eine mögliche Fehlerquelle dar. Jedoch gehen wir davon aus, dass der mündliche Zuspruch der testdurchführenden Therapeuten zu einer maximalen Intensität motiviert hat.

## 6.5. Zum Schmerzverhalten

Aus den Ergebnissen der Untersuchung war zu schließen, dass im Durchschnitt eine Schmerzreduktion der Probanden im Verlaufe des stationären Heilverfahrens erreicht wurde. Das zeigte sich in den Aussagen der Patienten über die Schmerzempfindungen. So ergab sich eine signifikante Abnahme des Schmerzes für die Gesamtheit der Patienten. Die Untersuchten bekamen in der Regel keine Analgetika verordnet.

Vertebragene Beschwerden zählen zu den häufigsten schmerzhaften Erkrankungen (HEYDENREICH 1983). Ersterkrankungen mit einem vertebralem Schmerzsyndrom werden zumeist durch funktionelle Störungen ausgelöst. Morphologisch degenerative Veränderungen haben nicht die ursächliche Bedeutung, die ihnen zugeschrieben wird (LEWIT 1987). Eine entscheidende Bedeutung kommt bei diesem Geschehen einer intakten Muskulatur zu. Wirbelsäule und Extremitätengelenke werden durch die zugehörige Muskulatur gesichert. Die planmäßige Entwicklung der Muskulatur ist somit ein wesentlicher Beitrag für positive Anpassungsvorgänge im Bereich des Halte- und Bewegungsapparates, denn eine kräftige

Muskulatur ist in der Lage, Druckeinwirkungen auf Gelenke und Zwischenwirbelscheiben weitgehend abzufangen (SCHMIDT 1988).

Bei den von uns untersuchten Patienten mit einem pseudoradikulären chronisch-rezidivierenden Wirbelsäulensyndrom bestanden muskuläre Dysbalancen mit einer abgeschwächten Bauch- und Rückenmuskulatur im Vordergrund. Die gestörten muskulären Verhältnisse erzeugten aus unserer Sicht eine ausgeprägte Schmerzsymptomatik. Das Ziel unseres Behandlungsprogrammes war es deshalb, zu einem Ausgleich der muskulären Dysbalancen beizutragen und damit die ausgeprägte Schmerzsymptomatik zu reduzieren. Wir sind davon ausgegangen, dass ein gutes arthromuskuläres Gleichgewicht die besten Voraussetzungen für die Belastbarkeit in den Bewegungssegmenten der Wirbelsäule darstellt (LEWIT 1987/ SCHMIDT 1988).

Unsere Ergebnisse zum Schmerzverhalten belegen, dass nach dem 3-wöchigen Heilverfahren mit der verbesserten Leistungsfähigkeit auch eine Reduktion der Schmerzsymptomatik erreicht werden kann. Wie aus der Untersuchung von HEYDENREICH LEWIT und SCHMIDT hervorgeht, ist für die Vermeidung von Fehlbelastungsschäden ein abgestimmtes Verhältnis zwischen Beanspruchung und individueller Belastbarkeit des Halte- und Bewegungsapparates notwendig. Unsere Ergebnisse zeigen, dass das angewendete Behandlungsprogramm zu einer Verbesserung der Belastbarkeit der Patienten beiträgt und damit die Schmerzsymptomatik signifikant reduziert werden kann.

Unsere Untersuchungsergebnisse ergeben weiterhin, dass im Gruppenvergleich die größte Abnahme der Schmerzsymptomatik in der Tendenz bei der MTT-Gruppe zu erkennen war. Dieses Ergebnis erklären wir mit speziell angepassten Trainingsprogramm für die wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur mit Einflussnahme auf die verbessernde Körperhaltung, der Mobilität, der Koordination und des Körperempfindens.

Wir sind in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (WEISHAUPT 1999/ WENZLAFF 1999), die gleichfalls

feststellten, dass ein enger Zusammenhang zwischen einer verbesserten körperlichen Leistungsfähigkeit und einer Reduktion des Schmerzverhaltens von Wirbelsäulenpatienten besteht. Dies unterstreicht die Bedeutung einer nicht medikamentösen Therapie, wenn sie die balneophysikalische Therapie in Verbindung mit der von uns benutzten Sporttherapie zur Behandlung von Patienten mit chronischen Rückenschmerzen nutzt.

## 7. Zusammenfassung

### 7.1. Ziel der Arbeit

Der Wert der körperlichen Aktivität für die Verbesserung der Lebenserwartung und -qualität ist unbestritten. Die Wirksamkeit des Einsatzes in der Bäder- und Kurmedizin wird nach wie vor kontrovers diskutiert. Das Hauptziel der Untersuchung war die Beurteilung der Effektivität einer Rehabilitationsmaßnahme sowie des Stellenwertes eines zusätzlichen Trainings für die Verbesserung der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit bei Patienten mit chronischen degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen im Rahmen des 3-wöchigen Heilverfahrens. Zum weiteren Ziel gehörten die Auswirkungen der positiven Veränderungen der Leistungsfähigkeit auf das Schmerzverhalten des Patienten.

### 7.2. Probandengut

Für die Untersuchungen standen 60 Patienten mit chronischen Rückenbeschwerden zur Verfügung. Es handelte sich um männliche Probanden im Alter von 40 bis 60 Jahren. Zwischen den verschiedenen behandelten Gruppen waren bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und Leistungsfähigkeit am Anfang der Rehabilitationsmaßnahme keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen.

### 7.3. Untersuchungsgruppen

Die Patienten wurden in drei Gruppen zu je 20 Probanden aufgeteilt: MTT-(Medizinische Trainingstherapie), Ergometer- und Kontrollgruppe. Alle Probanden erhielten eine standardisierte gut abgestimmte Behandlung bestehend aus Serien im Thermalbewegungsbad, Krankeneinzelgymnastik, Massage-, Elektro- Verhaltens-Therapie und Rückenschule. Schwerpunkte unserer Behandlungen waren funktionsverbessernde,

kräftigende, stabilisierende, detonisierende und die Koordination sowie die Bewegung fördernde Maßnahmen.

Zu Beginn wurde bei allen Untersuchten verschiedene Leistungsparameter mittels einer fahrradergometrischen Untersuchung bestimmt und die individuelle Trainingsherzfrequenz für die Probanden der MTT- und Ergometergruppe berechnet.

Das Training der Testpersonen mit einer zusätzlichen Maßnahme wurde über 3 Wochen mit 3 Einheiten pro Woche absolviert: das Sequenz-Training für die MTT-Gruppe und das Fahrradergometertraining für die Ergometergruppe.

Nach diesen 3 Wochen wurde die Ergometrie bei allen Untersuchten wiederholt. Weiterhin wurden vor und nach der Therapie isokinetische Muskelkraftmessungen (Kniestrecker, -beuger) sowie Ermittlungen des Schmerzempfindens mittels Fragebögen durchgeführt.

#### 7.4. Untersuchungsergebnisse der gesamten Gruppe

Bei den untersuchten Patienten zeigte sich nach 3 Wochen eine signifikante Verbesserung der maximalen Wattleistung von  $151,1 \pm 14,1$  Watt auf  $163,8 \pm 18,4$  Watt bzw. von  $1,8 \pm 0,3$  Watt/kg auf  $2,0 \pm 0,3$  Watt/kg. Die maximale Leistungsfähigkeit nahm also durch die Rehabilitationsmaßnahme im Durchschnitt um  $12,7 \pm 12,4$  Watt (8,4%) bzw. um  $0,2 \pm 0,2$  Watt/kg (11,1%) zu. Ebenso konnte eine signifikante Verbesserung der Wattleistung bei 130 Herzfrequenz/kg Körpergewicht (PWC 130) um  $0,2 \pm 0,2$  Watt/kg (14,3%) festgestellt werden.

Die mittlere Leistungsfähigkeit, gemessen an der aeroben Schwelle (2 mmol/l), lag im Nachtest 6,2% bzw. 6,3% und 6,1% bei 3 und 4 mmol/l Blutlaktat über dem Ausgangsniveau. Die mittlere Herzfrequenz und der systolische Blutdruck reduzierten sich bei den oben genannten Schwellen um 3,5% bzw.

um 4,4%. Die Kraft der Kniemusculatur nahm nach 3-wöchiger stationärer Rehabilitationsmaßnahme um 10.5% zu.

## 7.5. Untersuchungsergebnisse in den einzelnen Gruppen

Es zeigte sich, dass eine deutliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit eintritt, wenn ein zusätzliches Training in Form von Ergometertraining oder Medizinischer Trainings-therapie durchgeführt wird. So lagen die Verbesserungen der leistungsdiagnostischen Parameter, isokinetischen Maximal-kraftmessungen der Knieextensoren und -flexoren der MTT- und Ergometergruppe höher als die der Kontrollgruppe. Die Probanden in den Ausdauertrainingsgruppen verbesserten signifikant ihre maximale Leistungsfähigkeit, Wattleistung bei 130 Herzfrequenz sowie Leistung und Herzfrequenz bei 2, 3 und 4 mmol/l Blutlaktat im Unterschied zu den Patienten ohne zusätzliches Training. Ebenso wurde eine signifikante Erhöhung der maximalen Drehmomente der Kniestrecker festgestellt. Bis auf die Ergometergruppe war im Durchschnitt in den Gruppen zum Abschluss des Heilverfahrens eine Verbesserung des Verhältnisses zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln zu verzeichnen. Ein Wirkungsunterschied zwischen der MTT- und Ergometergruppe konnten wir nicht ermitteln.

## 7.6. Schmerzverhalten

Im Durchschnitt wurde eine Schmerzreduktion der Probanden im Verlaufe des stationären Heilverfahrens erreicht. Die Schmerzempfindung am Ende der Therapie lag deutlich (42,9%) niedriger als zu Beginn des Heilverfahrens.

Im Gruppenvergleich war tendenziell die größte Abnahme der Schmerzsymptomatik in der MTT-Gruppe zu erkennen. Wir registrierten einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen einer verbesserten körperlichen Leistungsparameter und einer Reduktion des Schmerzverhaltens von Wirbelsäulenpatienten in den Trainingsgruppen.

## 7.7. Schlussfolgerungen

Unsere Untersuchungen bestätigen damit den positiven Effekt einer Rehabilitationsmaßnahme. Bei der Betrachtung der Leistungsdaten wird deutlich, dass am Ende einer Rehabilitationsmaßnahme eine Verbesserung der aeroben Arbeitskapazität, eine positive Veränderung des Herz-Kreislaufverhaltens in Richtung einer Ökonomisierung der Herzarbeit und der Kraftleistungsfähigkeit bei der Mehrzahl der Untersuchten nur eintritt, wenn balneophysikalische Basismaßnahmen mit einer gezielten Trainingstherapie ergänzt werden.

Aufgrund der gemessenen hämodynamischen und metabolischen Auswirkungen muss das zusätzliche Training im Rahmen einer Rehabilitationsmaßnahme bei Patienten mit Wirbelsäulenerkrankungen auch als eine präventivmedizinische Maßnahme angesehen werden.

## 8. Anhang

Tabelle I: Diagnoseverteilung der 60 männlichen Probanden bezogen auf das Gesamtpatientengut bzw. auf die einzelnen Gruppen

Diagnose	gesamt	Kontroll-Gruppe	MTT-Gruppe	Ergometer-Gruppe
Chronisches pseudoradikuläres Lumbalsyndrom bei degenerativen Veränderungen, Fehlstatik und muskulären Dysbalancen	40	14	13	13
Chronisches Postnucleotomie-Syndrom Grad I	4	1	2	1
Chronisches pseudoradikuläres Lumbalsyndrom bei Spondylolisthesis 1. Grades nach Meierding	1	-	1	-
Chronisches pseudoradikuläres Cervikalsyndrom bei degenerativen Veränderungen, Fehlstatik und muskulären Dysbalancen	3	3	-	-
Chronisches pseudoradikuläres Cervikal- und Lumbalsyndrom bei degenerativen Veränderungen und muskulären Dysbalancen	12	2	4	6

Tabelle II: Minimum (Min.), Maximum (Max.) und Mittelwerte (MW) von Alter, Körpergröße und -gewicht zum Zeitpunkt des Heilverfahrensbeginns des Gesamtpatientengutes bzw. der einzelnen Gruppen

	Alter (Jahre)			Größe (cm)			Gewicht (kg)		
	Min.	Max.	MW	Min.	Max.	MW	Min.	Max.	MW
<b>Gesamtdaten</b> n = 60	40	60	48,7	164	192	174,9	58	137	85,1
<b>Kontroll-Gruppe</b> n = 20	40	60	47,7	164	192	174,3	68	137	85,4
<b>MTT-Gruppe</b> n = 20	40	60	47,1	167	182	174,5	68	98	84,9
<b>Ergometer-Gruppe</b> n = 20	40	60	51,4	165	190	176,0	58	128	85,0

Tabelle III: Signifikanzprüfung des Alters, Gewichtes und der Größe zwischen der Kontroll-(KTR), Medizinische Trainingstherapie-(MTT) und Ergometer-(ERG) Gruppe mittels Kruskal-Wallis-Test

Abh.:	Unabhängige Variablen Rangsumme			Prüfgröße H	Irrtumswahrscheinlichkeit P
	KTR	MTT	ERG		
Alter	563,5	529,0	737,5	4,1	p>0,05
Größe	568,5	600,0	661,5	0,7	p>0,05
Gewicht/kg	569,0	645,5	615,5	0,5	p>0,05
BMI	603,5	672,0	554,5	1,1	p>0,05

Tabelle IV: Minimum (Min.), Maximum (Max.) und Mittelwerte (MW) von maximaler Wattleistung zum Zeitpunkt des Heilverfahrenbeginns bezogen auf das Gesamtpatientengut bzw. auf die einzelnen Gruppen

	maximale Wattleistung					
	Watt			Watt/kg		
	Min.	Max.	MW	Min.	Max.	MW
<b>Gesamtdaten</b>	125	175	151,1	0,9	2,7	1,8
<b>Kontroll-Gruppe</b>	125	175	150,1	0,9	2,4	1,8
<b>MTT-Gruppe</b>	125	175	149,4	1,5	2,1	1,8
<b>Ergometer-Gruppe</b>	125	175	153,7	1,2	2,7	1,9

Tabelle V: Signifikanzprüfung der maximalen Wattleistung vor der Therapie zwischen der Kontroll-, MTT- und Ergometergruppe mittels Kruskal-Wallis-Test

Abh.: maximale Wattleistung	Unabhängige Variablen Rangsumme			Prüfgröße H	Irrtumswahrscheinlichkeit P
	KTR	MTT	ERG		
Watt	498,0	525,0	630,0	1,9	p>0,05
Watt/kg	553,5	501,0	598,5	1,8	p>0,05

Tabelle VI: Differenz der Mittelwerte (MW) der leistungsdiagnostischen Parameter zwischen dem Vor- und Nachtest; Gesamtdaten

	n	MW Vortest	MW Nachtest	Diffe- renz der MW	Verbes- serung in %	
Herzfrequenz in Ruhe /min	60	80,8±10,7	79,5±10,6	1,3±8,7	1,6	
Blutdruck in Ruhe syst (mmHg)	60	128,1±15,2	122,7±11,6	5,4±10,4	4,2	
max. Wattleistung (Watt)	57	151,1±14,1	163,8±18,4	12,7±12,4	8,4	
max. Wattleistung (Watt/kg)	57	1,8±0,3	2,0±0,3	0,2±0,2	11,1	
PWC 130 (Watt/kg)	58	1,4±0,3	1,6±0,3	0,2±0,2	14,3	
Wattleistung (Watt)	60	bei 2 mmol/l Laktat	76,7±23,2	81,4±24,1	4,7±7,8	6,2
Herzfrequenz /min			107,4±13,3	103,7±12,0	3,8±6,9	3,6
Blutdruck syst (mmHg)			154,5±19,1	148,1±18,0	6,4±8,9	4,2
Wattleistung (Watt)	59	bei 3 mmol/l Laktat	111,5±20,1	118,5±21,8	7,0±7,7	6,3
Herzfrequenz /min			124,6±12,7	120,7±10,9	3,9±7,0	3,2
Blutdruck syst (mmHg)			177,2±21,9	170,0±20,4	7,2±8,6	4,1
Wattleistung (Watt)	44	bei 4 mmol/l Laktat	134,8±20,2	143,0±21,2	8,2±6,6	6,1
Herzfrequenz /min			137,6±12,2	132,3±12,0	5,3±5,2	3,8
Blutdruck syst (mmHg)			187,2±18,3	178,2±19,7	9,0±6,3	4,8
Gewicht kg	60	85,1±12,8	83,5±11,5	1,6±2,3	1,9	
BMI $\frac{\text{Gewicht(kg)}}{(\text{Körperlänge in m})^2}$	60	27,7±4,3	27,2±3,9	0,5±0,7	1,8	

Tabelle VII: Differenz der Mittelwerte (MW) der maximalen Drehmomente (DMM) der Knieextensoren und -flexoren beider Seiten zwischen Vortest und Nachtest; Gesamtdaten

DMM (Nm) n = 49	MW Vortest	MW Nachtest	Differenz der MW	Verbesserung in %	
<b>Extensoren rechts</b>	162,3±34,4	173,8±35,3	12,7±18,9	7,8	9,0
<b>Extensoren links</b>	142,0±44,0	156,5±46,1	14,5±21,4	10,2	
<b>Flexoren rechts</b>	92,7±24,0	101,2±27,5	10,5±12,6	11,3	12,1
<b>Flexoren links</b>	79,1±10,1	89,2±25,9	10,1±13,1	12,8	

Tabelle VIII: Differenz der Mittelwerte und Signifikanzniveau (p) der Veränderungen im Gruppenvergleich; Kruskal-Wallis-Test; n.s. = nicht signifikant

Parameter		Differenz der Mittelwerte			n	p<
		KTR	MTT	ERG		
<b>Herzfrequenz in Ruhe</b> /min		0,6±5,2	-0,6±11,3	4,0±8,3	60	n.s.
<b>Blutdruck in Ruhe syst</b> (mmHg)		3,8±11,3	5,5±11,5	7,0±8,5	60	n.s.
<b>max. Wattleistung</b> (Watt)		4,0±8,8	16,6±11,5	19,9±9,6	57	0,01
<b>max. Wattleistung</b> (Watt/kg)		0,1±0,1	0,2±0,2	0,3±0,1	57	0,01
<b>PWC 130</b> (Watt/kg)		0,1±0,1	0,2±0,2	0,3±0,2	58	0,01
<b>Wattleistung</b> (Watt)	<b>bei 2</b> <b>mmol/l</b> <b>Laktat</b>	0,5±3,9	5,3±9,4	8,5±7,2	60	0,01
<b>Herzfrequenz</b> /min		0,9±5,1	4,0±7,2	6,6±7,3		0,05
<b>Blutdruck syst</b> (mmHg)		3,5±6,7	7,5±10,7	8,4±8,4		n.s.
<b>Wattleistung</b> (Watt)	<b>bei 3</b> <b>mmol/l</b> <b>Laktat</b>	1,3±3,3	8,2±9,3	11,3±5,3	59	0,01
<b>Herzfrequenz</b> /min		0,2±4,4	5,2±8,7	6,6±5,8		0,01
<b>Blutdruck syst</b> (mmHg)		5,3±7,8	9,1±9,9	7,5±8,1		n.s.
<b>Wattleistung</b> (Watt)	<b>bei 4</b> <b>mmol/l</b> <b>Laktat</b>	5,7±5,9	13,2±8,5	11,0±6,9	44	0,05
<b>Herzfrequenz</b> /min		2,9±3,5	6,6±4,0	7,3±5,6		0,05
<b>Blutdruck syst</b> (mmHg)		4,1±5,4	9,4±7,8	7,1±4,8		n.s.
<b>DMM</b> <b>Extensoren rechts</b>		2,8±15,6	17,8±21,9	18,2±15,2	49	0,05
<b>DMM</b> <b>Extensoren links</b>		4,3±18,9	17,5±21,0	22,4±21,3		0,05
<b>DMM</b> <b>Flexoren rechts</b>		5,5±10,1	14,0±15,1	12,4±11,1		n.s.
<b>DMM</b> <b>Flexoren links</b>		6,2±12,3	12,0±12,1	12,4±14,6		n.s.
<b>Schmerzempfindung</b> (Skalenpunkte)		1,9±1,4	2,3±2,1	2,2±1,0	60	n.s.

Tabelle IX: Signifikanzniveau der Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen; Ergebnisse des MANN-WHITNEY U-Tests; n.s. = nicht signifikant

Differenz der Mittelwerte		KTR zu MTT			KTR zu ERG			MTT zu ERG		
		gült. n		p<	gült. n		p<	gült. n		p<
		KTR	MTT		KTR	ERG		MTT	ERG	
max. Wattleistung (Watt)		18	20	0,01	18	19	0,01	20	19	n.s.
max. Wattleistung (Watt/kg)		18	20	0,01	18	19	0,01	20	19	n.s.
PWC 130 (Watt/kg)		19	20	0,05	19	19	0,01	20	19	n.s.
Wattleistung (Watt)	bei 2 mmol/l Laktat	20	20	0,05	20	20	0,01	20	20	n.s.
Herzfrequenz /min				0,05			0,01			n.s.
Wattleistung (Watt)	bei 3 mmol/l Laktat	20	20	0,01	20	19	0,01	20	19	n.s.
Herzfrequenz /min				0,01			0,01			n.s.
Wattleistung (Watt)	bei 4 mmol/l Laktat	15	15	0,05	15	14	0,05	15	14	n.s.
Herzfrequenz /min				0,05			0,05			n.s.
DMM Extensoren rechts		17	16	0,05	17	16	0,05	16	16	n.s.
DMM Extensoren links				0,05			0,05			n.s.

**JOHANNESBAD REHA-KLINIKEN AG • 94072 Bad Füssing**

MTT/OFT-Therapiekarte													
Name:				Geb.-Jahr:				Zi.-Nr.:					
Arzt:				Therapeut:									
Diagnose: Chronisch rezidivierendes pseudoradikuläres Lumbalsyndrom bei Osteochondrose und Spondylarthrose L4-S1, Fehlhaltung, muskuläre Dysbalancen													
Datum: 07.02., 09.02., 11.02., 14.02., 16.02., 18.02., 21.02., 23.02., 25.02.98													
Sequenz-Training							Funktionstherapie						
Datum der Th.-Änderung/Serie	1x		14.	02. 1x	21.	02. 2x	Datum/Serie			14.	02.	21.	02.
Nr.Gerätebez.	Ge-wicht	Anzahl	Ge-wicht	Anzahl	Ge-wicht	Anzahl	Funktionen	Ge-wicht	Anzahl	Ge-wicht	Anzahl	Ge-wicht	Anzahl
1 Beinpresse		20		30		20	Seilzug		15		20		25
2 Armpresse		20		30		20	Vertikalzug		15		20		25
3 Oberkörper-hebung	Beine	li/re/je5	diag.	je7		je10	Ganzkörperstabilisation im						
4 Zug nach unten		20		30		20	Vierfüßlerstand		5		5		5
5 Bauchtrainer	grade li/re	je5		je7		je10							
6 Press Back													
7 Latissimua-trainer													
8 Rücken-/Hüft-trainer													
9 Arm-Brust-trainer													
10 Beintrainer Abd/Add													
11 Kniebeuger													
11 Kniestrecker													
12 Beintrainer													
13 Bein-Funktions-stemme													
Bemerkungen zum Therapieverlauf/-ergebnis:							Begleitende Therapieformen:						
I Ergometertraining 5 min II Dehnungsübungen (lumbale Muskulatur und Hüftbeuger, je 3 Wiederholungen) III Aufbautraining  Belastung: 30-40% der max. Kraft													

Dokumentation einer trainingstherapeutischen Behandlung.

## 9. Literatur

- Åstrand, P. O., K. Rodahl  
"Textbook of work physiology"  
McGraw-Hill, Düsseldorf, 1986, 2. Auflage
- Bjarnason-Wehrens, B., Bennesch, L., Bischoff, K., Buran-  
Kilian, B., Gysan, D., Hollenstein, U., Sauer, G.  
Modellprojekt der LVA-Rheinprovinz und der rheinischen  
Krankenkassen zur ambulanten/teilstationären kardiologischen  
Rehabilitation. Erste Zwischenergebnisse.  
Dtsch Z Sportmed. 50 (1999) 90 - 92
- Blair, S.N.  
Körperliche Aktivität, körperliche Fitness und Gesundheit.  
In: „Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität (WHO u.  
FIMS)“,  
Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW  
u. Club of Cologne (Hrsg.), Verlag Sport und Buch Strauß, Köln  
1996, 45 - 48
- Bouchard, C., Shephard, R.J., Stephens, T. (Hrsg.)  
Physical activity, fitness and health. Human Kinetics,  
Champaign, III, 1994
- Böning, D.  
Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.  
In: „Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungs-  
diagnostik“,  
Clasing, D., Weicker, H., Böning, D. (Hrsg.), Gustav Fischer  
Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1994, 219 - 220
- Braumann, K. M.  
Sport und Trainierbarkeit im Alter.  
In: „Training im Alterssport“,  
Mecheling, H. (Hrsg.), Verlag Karl Hofmann, Schorndorf, 1998,  
228 - 235
- Brooks, G.A.  
The lactate shuttle during exercise and recovery.  
Med Sci Sports Ex. 18 (1986) 360 - 368
- Brooks, G.A.  
Current concepts in lactate exchange.  
Med Sci Sports Ex. 18 (1991) 895 - 906
- Coyle, E.F.  
Integration of the physiological factors determining endurance  
performance ability.  
Exerc Sport Sci Rev. 23 (1995) 25 - 63

Dahmen, G.  
„Tiefsitzender Rückenschmerz“  
CIBA-GEIGY VERLAG, Wehr, 1994

Dickhuth, H.H., Löllgen, H.  
Trainingsberatung für Sporttreibende.  
Dt Ärztebl 93, (1996) A-1192-1198

Dickhuth, H.H., Röcker, K., Nieß, A. Striegel, H., Heitkamp, H.C.  
Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung.  
Sportorthopädie - Sporttraumatologie 14.4 (1998) 176 - 180

Drescher, H., Simon, G.  
Maximale Leistung und PWC 170.  
In: „Sport Rettung oder Risiko für die Gesundheit?“,  
Böning, D., Braumann, K.M., Busse, M.W., Maassen, N., Schmidt, W.,  
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1989, 404 - 408

Drews, A.  
Bedeutung und Ergebnisse ergometrischer Leistungskontrollen  
bei aktiver Bewegungstherapie.  
Arbeitsmed Sozialmed Arbeitshyg. 2 (1967) 441 - 442

Drexler, H.  
Bewegungstherapie bei chronischer Herzinsuffizienz.  
Dtsch Z Sportmed. 43: (1992) 587 - 589

Faller, H.  
Möglichkeiten und Grenzen experimenteller Designs in der  
Rehabilitationsforschung.  
In: „9.Rehabilitationswissenschaftliches Kolloquium vom 13.  
bis 15. März in Würzburg“,  
Schliehe, F., Schuntermann, M.F. (Hrsg.), Postverlagsort  
Frankfurt am Main, 2000, 205 - 206

Franz, I.-W.  
„Ergometrie bei Hochdruckkranken - Diagnostische und  
therapeutische Konsequenzen für die Praxis“  
Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1982

Franz, I.-W., Eismann, D., Mellerowicz, H.  
Einfluß von Training und Gewichtsabnahme auf koronare  
Risikofaktoren.  
In: „Sport: Leistung und Gesundheit“,  
Heck, H., Hollmann, W., Liesen, H., Rost, R. (Hrsg.),  
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1983, 373 - 375

Froböse, I.  
„Isokinetisches Training in Sport und Therapie: Steuerung des  
Trainingsaufbaus nach Sport- und Unfallverletzungen“  
Academia, Sankt Augustin, 1993

Greul, W., Kuppardt, B., Leopold, I., Ostarek, G.  
„Rehabilitative Medizin systematisch“  
UNI-MED Verlag AG, Lorch, 1995, 1 Auflage

Hagberg, J.M.  
Physical implications of the lactate threshold.  
Int J Sports Med 5 (1984) 106 - 109

Halhuber, M.J.  
Längsschnittuntersuchungen an Hochdruckkranken während einer  
Klima- und Terrainkur in 2000 m Höhe.  
Sportarzt Sportmed 17 (1966) 473 - 474

Halle, M., Freitag, N., Grathwohl, D., Keul, J., Berg, A.  
Beurteilung des Therapieerfolgs in der kardialen  
Rehabilitation über laktatstandardisierte Bestimmung der  
Leistungsfähigkeit.  
Dtsch Z Sportmed. 50 (1999) 92 - 95

Heck, H.  
„Laktat in der Leistungsdiagnostik“  
Verlag Karl Hofmann, Schorndorf, 1990

Heck, H., Roskopf, P.  
Grundlagen verschiedener Laktatschwellenkonzepte und ihre  
Bedeutung für die Trainingssteuerung.  
In: „Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungs-  
diagnostik“,  
Clasing, D., Weicker, H., Böning, D. (Hrsg.), Gustav Fischer  
Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1994, 1994, 111 - 119

Heck, H., Rost, R., Hollmann, W.  
Normalwerte des Blutdrucks bei der Fahrradergometrie.  
Dtsch. Z Sportmed. 35 (1984) 243 - 245

Heck, H., Schulz, H.  
Kriterien in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik.  
In: „Sportartspezifische Leistungsdiagnostik - energetische  
Aspekte“,  
Jeschke, D., R. Lorenz, R. (Hrsg.), Bundesinstitut für Sport-  
wissenschaft 6, 1998, 13 - 26

Heidmann, H.-M., Blaumeiser, G., Ortseifen, E.  
„Orthopädisch-rheumatologische Kurmedizin“  
Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, 1992

Heydenreich, A.  
Die ökonomische Bedeutung der gezielten Reflextherapie bei  
akuten lumbosacralen Erkrankungen unterschiedlicher Ätiologie.  
Z. Physiotherapie 35 (1983) 159 - 165

Hildebrandt, G., Gutenbrunner, C.  
Sozialmedizinische Aspekte der Kurortbehandlung.

In: „Balneologie und medizinische Klimatologie“,  
Amelung, W., Hildebrandt, G. (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin  
- Heidelberg, 1985, Band 3

Hollmann, W.

„Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit der Sportlers“

Johann-Ambrosius Barth Verlag, München, 1963

Hollmann, W., Venrath, U., Valentin, H., Spellenberg, H.

Über den arteriellen Blutdruck beim Menschen während dosierter  
körperlicher Arbeit.

Z. Kreisl.-Forsch. 48 (1959) 162 - 165

Hollmann, W., Mader, A., Heck, H., Liesen, H., Olbrecht, J.

Laktatdiagnostik - Die Entwicklung und praktische Bedeutung in  
der Sportmedizin und klinischen Leistungsdiagnostik.

Medizintechnik 105 (1985) 154 - 162

Hollmann, W.

„Sportmedizin, Arbeits- und Trainingsgrundlagen“

Schattauer, Stuttgart, 1990

Hollmann, W.

Definitionen und Grundlagen zur Trainingslehre.

Dtsch Z Sportmed. 44 (1993) 383 - 385

Hollmann, W., Liesen, H., Heck, H., Mader, A., Rost, R.

Leistungsdiagnostische Untersuchungsmethoden.

In: „Lehrbuch der Physikalischen Medizin und Rehabilitation“,

Schmidt, K.L., Drexel, H., Jochheim, K.-A. (Hrsg.), Gustav  
Fischer Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1995, 254 -256

Hollmann, W.

Sportmedizin aus berufs- und gesundheitspolitischer Sicht.

Sportorthopädie - Sporttraumatologie 14.4 (1998) 165 - 167

Holmgren, A.

Cardiorespiratory determinants of cardiovascular fitness.

Canad Medizin Ass J 96 (1967) 697 - 699

Jeschke, D., Heitkamp, H.C., Locher, R., Schneider, D., Simon,  
M., Zintl, W.

Aerobe Kapazität und anaerobe Schwelle bei unterschiedlichen  
Belastungsmethoden auf dem Fahrradergometer.

In: „Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der  
Ergometrie“,

Mellerowicz H., Franz, J.W. (Hrsg.), Perimed, Erlangen, 1983,  
184 - 192

Jeschke, D.

Möglichkeiten und Grenzen des Sports im höheren Lebensalter.

In: „Älter werden - Fit bleiben“,

Baumann, H. (Hrsg.), Perimed, Erlangen, 1990, 141 - 153

- Jeschke, D.  
Probleme der Belastbarkeits- und Leistungsdiagnostik.  
Sportorthopädie - Sporttraumatologie 14.4 (1998) 172 - 175
- Johnson, W., Grover, J.  
Hemodynamic and metabolic effects of physical training in four patients with essential hypertension.  
Canad Mes Ass J 96 (1967) 842 - 847
- Jordan, H.  
„Kurorttherapie“  
Gustav Fischer Verlag, Jena, 1980, 2. Auflage
- Israel, S.  
„Sport mit Senioren“  
Barth-Verlag-Hüthig GmbH, Leipzig - Heidelberg, 1995
- Ketelhut, R., Franz, I.-W.  
Zur Wirkung einer akuten und chronischen Ausdauerleistung auf das Blutdruckverhalten bei Hochdruckkranken.  
In: „Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt“,  
Franz, I.-W., Mellerowicz, H., Noack, W., Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, 1985, 704 - 708
- Keul, J., Doll, E., Keppler, D.  
„Muskelstoffwechsel“  
Johann-Ambrosius Barth Verlag, München, 1969
- Keul, J.  
The relationship between circulation and metabolism during exercise.  
Medicine and Science in Sports 5 (1973) 209 - 219
- Keul, J., Haralambie, G., Arnold, T., Schumann, W.  
Heart rate and energy-yielding substrates in blood during longlasting running.  
Europ J. Appl. Physiol. 32 (1974) 279 - 289
- Keul, J., Kindermann, W., Simon, G.  
Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik.  
Leistungssport 8 (1978) 22 - 32
- Keul, J.; Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H.-H., Goertler, I., Kürbel, R.  
Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung.  
Dtsch Z Sportmed. 30 (1979) 212 - 213
- Kindermann, W., Simon, G., Keul, J.

Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit.

Leistungssport 1 (1978) 22 - 32

Kindermann, W.

Ergometrie - Empfehlungen für die ärztliche Praxis.

Dtsch Z Sportmed. 38 (1987) 244 - 245

Lampe, L., Wienhold, K., Meyer, G., Iillmann, W.

Der Einfluss unterschiedlicher Trainingsqualitäten auf die Blutfluidität.

Dtsch Z Sportmed. 41 (1990) 78 - 79

Lavie, C.J., Milani, R.V., Littman, A.B.

Benefits of cardiac rehabilitation and exercise training in secondary coronary prevention in the elderly.

J Am Coll Cardiol 22 (1993) 678 - 683

Lewit, K.

„Manuelle Medizin im Rahmen der medizinischen Rehabilitation“

Johann-Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1987, 2. Auflage

Löllgen, H.

„Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik“

Documenta Geigy, Wehr - Baden, 1983

Löllgen, H., Mellerovicz, H.

„Progress in ergometry: quality control and test criteria“

Springer Verlag, Berlin, 1983

Löllgen, H., Dirschedl, P.

Die kardiovaskuläre Gefährdung im Breitensport.

Dtsch Z Sportmed. 40 (1989) 212 - 221

Lund-Johansen, P.

Hämodynamik bei der essentiellen Hypertonie in Ruhe und während Ergometrie und deren Beeinflussung durch Diuretika,  $\beta$ -Rezeptorenblocker und Vasodilatoren.

In: „Belastungsblutdruck bei Hochdruckkranken“,

Franz, I.-W. (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1981, 107 - 111

Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P., Hollmann, W.

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.

Sportarzt Sportmed 4 (1976) 80 - 88

Mader, A., Heck, H., Liesen, H., Hollmann, W.

Simulative Berechnungen der dynamischen Änderungen von Phosphorylierungspotential, Laktatbildung und Laktatverteilung beim Sprint.

Dtsch Z Sportmed. 34 (1983) 14 - 22

Mader, A., Heck, H.

A theory of the metabolic origin of „anaerobic threshold“.

Int J Sports Med 7 (1986) 45 - 65

Maassen, N., Busse, M.W.

The relationship between lactic acid and work load: a measure for endurance capacity or an indicator of carbohydrate deficiency?

Eur J Appl Physiol 58 (1989) 728 - 737

Maassen, G., Schneider, G., Caspers, A., Matthews, J., Busse, M.W.

Einfluss von Maßnahmen zur Glykogenbeladung auf die Dauerleistungsfähigkeit und auf die Bestimmung der Laktatleistungskurve.

In: „Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik“,

Clasing, D., Weicker, H., Böning, D. (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1994, 189 - 198

Mellerowicz, H.

„Ergometrie“

Urban und Schwarzenberg, München, 1972

Mellerowicz, H.

„Ergometrie“

Urban und Schwarzenberg, München, 1975

Mellerowicz, H., Franz, I.W.

„Training als Mittel der präventiven Medizin“

Perimed, Erlangen, 1981

Mellerowicz, H., Meller, W.

„Training“

Springer Verlag, . Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, 1984, 5. Auflage

Morris, J.N.

Körperliche Aktivität gegen Herzinfarkt.

In: „Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität (WHO u. FIMS)“,

Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW u. Club of Cologne (Hrsg.), Verlag Sport und Buch Strauß, Köln, 1996, 51 - 54

Nentwig, C.G., Krämer, J., Ullrich, C.H.

„Die Rückenschule: Aufbau und Gestaltung eines Verhaltenstrainings für Wirbelsäulenpatienten“

Enke, Stuttgart, 1990

- Neumann, G., Schüler, K.  
 „Sportmedizinische Funktionsdiagnostik“  
 Johann-Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1994
- Rost, R.  
 „Kreislaufreaktion und -adaptation unter körperlicher Belastung“  
 Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Schriftenreihe Medizin, Osnabrück, 1979
- Rost, R., Hollmann, W.  
 „Belastungsuntersuchungen in der Praxis“  
 Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1980
- Rost, R., Hollmann, W.  
 „Belastungsuntersuchungen in der Praxis“  
 Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1982
- Rost, R., Hollmann, W., Liesen, H.  
 Körperliches Training mit Hochdruckpatienten, Ziele und Probleme.  
 Herz/Kreislauf 2 (1976) 680 - 684
- Rost, R., Lagerström, D., Völker, K.  
 „Die Fahrradergometrie und körperliches Training bei Herz-Kreislauf Patienten“  
 Echo Verlags-GmbH, Köln, 1996
- Röcker, K., Striegel, H., Freund, T., Dickhuth, H.H.  
 Relative functional buffering capacity in 400-meter runners, long-distance runners and untrained individuals.  
 Eur J Appl Physiol 68 (1994) 430 - 434
- Paffenbarger, R.S.  
 Beeinflussung der Lebenserwartung durch Änderung der körperlichen Aktivität und anderer Lebensstilfaktoren  
 In: „Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität (WHO u. FIMS)“,  
 Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW u. Club of Cologne (Hrsg.), Verlag Sport und Buch Strauß, Köln 1996, 62 - 65
- Paffenbarger, R.S., Wing, A.L., Hyde, R.T., Jung, D.  
 Physical activity and incidence of hypertension in college alumni.  
 Am J Epidemiol 117 (1983) 245 - 246
- Pessenhofer, H., Schwabberger, G., Sauseng, N.  
 Modell-theoretische Ermittlung der Validität verschiedener methodischer Ansätze zur Bestimmung des aerob-anaeroben Übergangs.  
 In: „Sport - Rettung oder Risiko für die Gesundheit“,

Böning, D., Braumann, K.-M., Busse, M.W., Maassen, N., Schmidt, W. (Hrsg.), Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1989, 395 - 399

Reindell, H.

„Herz- und Kreislaufkrankheiten und Sport“  
Johann-Ambrosius Barth Verlag, München, 1960

Sannerstedt, R.

Hemodynamic response to exercise in patients with arterial hypertension.

Act Med Scand [Suppl] 180 (1966) 458 - 462

Scals, R., Hagberg, J.

The effect of exercise training on human hypertension, a review.

Med Sci Sports Exerc 16 (1984) 207 - 212

Schmidt, H.

„Orthopädische Grundlagen für sportliches Üben und Trainieren“  
Johann-Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1988, 2. Auflage

Schmidt, K.L., Ott, V.R.

Aufgaben und Wirkungsprinzipien der Physikalischen Medizin in Prävention, Therapie und Rehabilitation.

In: „Lehrbuch der Physikalischen Medizin und Rehabilitation“

Schmidt, K.L., Drexel, H., Jochheim, K.-A. (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1995

Schön, A., Hollmann, W., Liesen, H., Waterloh, E.

Elektronen-mikroskopische Befunde am M.vastus lateralis bei Untrainierten und Marathonläufern sowie ihre Beziehung zur relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und Lactatproduktion.

Dtsch Z Sportmed. 31 (1980) 143 - 147

Schwab, H.

Training bei Hypertonikern.

In: „Rehabilitative Kardiologie“,

Mellerowicz, H., Weidener, J., Jokl, E. (Hrsg.), Karger, Basel, 1974, 105 - 109

Schwabberger, G., Pessenhofer, H., Sauseng, N., Schmid, P.

Die Beziehung der PWC170 zum aerob-anaeroben Übergang (Laufbandergometrische Untersuchungen).

In: „Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie“,

Mellerowicz, H., Franz, I.-W. (Hrsg.), Perimed, Erlangen, 1983, 246 - 252

Schwabberger, G., Pessenhofer, H., Sauseng, N., Schmid, P., Kenner, T.

PWC170 und aerob-anaerober Übergang (fahrradergo-metrische Untersuchungen).

In: „Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt“,  
Mellerowicz, H., Noack, W., Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, 1985, 655 - 659

Schwarz, L.  
„Sport und Lactat“  
Boehringer Mannheim GmbH, 1993

Senn, E.  
Stellenwert der Kurortmedizin im Rahmen der Rehabilitation als Ergänzung zur wohnortnahen Versorgung  
Kurzeitung Bad Füssing 10 (1988) 6 - 8

Shephard, R.J., strand, P.O.  
„Ausdauer im Sport“  
Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1993

Stegmann, H., Kindermann, W., Schnabel, A.  
Lactate kinetics and individual anaerobic threshold.  
Int J Sports Med 2 1(1981) 60 - 165

Steinacker, J.M.  
Sport als Therapie bei internistischen Erkrankungen.  
Dtsch Z Sportmed. 50 (1999) 96 - 99

Stryer, L.  
„Biochemie“  
Publisher Freeman & Co NY, 1988, 3. Edition

Tanner, J.  
„Rüchenschmerzen: Ein Ratgeber aus ganzheitlicher Sicht“  
Otto Maier Ravensburg, Kempten, 1988

Treumann, F., Schroeder, W.  
Der Trainingseinfluß auf Muskeldurchblutung und Herzfrequenz.  
Z. Kreisl.-Forsch. 57 (1968) 1024 - 1028

Wahlund, H.  
Determination of the physical working capacity.  
Acta Medizina Scand 132 (1948) 215 - 218

Waldmann, M.L., Meyer, W.L.  
Skeletal muscle and cardiovascular adaptations to exercise conditioning in older coronary patients.  
Circulation 94 (1996) 323 - 330

Wang, J., Jen, C., Kung, H., Lin, L., Hsiue, T., Chen, H.  
Different effects of strenuous exercise and moderate exercise on platelet function in man.  
Circulation 90 (1994) 2877 - 2885

Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyl, S.N., Beaver, W.L.  
Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during  
exercise.

J Appl Physiol 35 (1973) 236 - 237

Weicker, H., Braumann, K.M.

Zusätzliche Untersuchungsparameter, die die Interpretationen  
des Laktatschwellenbereichs unterstützen.

In: „Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungs-  
diagnostik“,

Clasing, D., Weicker, H., Böning, D. (Hrsg.), Gustav Fischer  
Verlag, Stuttgart - Jena - New York, 1994, 229 - 232

Weidener, J., Mellerowicz, H.

Dosiertes Training bei Hypertonen Kreislaufregulations-  
störungen.

Internist 11 (1970) 287 - 290

Weishaupt, P.

Trainingsbedingte Adaptation der Rumpfmuskulatur bei Patienten  
mit chronischen Rückenschmerzen.

Dtsch Z Sportmed. 50 (1999) 122 - 123

Wenzlaff, A., Lazik, D., Badtke, G.

Evaluation von neuen Wegen der Entlastung und  
Schmerzreduzierung der Wirbelsäule bei lumbalgieformen  
Beschwerden.

Dtsch Z Sportmed. 50 (1999) 123 - 124

Whipp, B.J., Davis, J.A., Wasserman, K.

Ventilatory control of the „isocapnic buffering“ region in  
rapidly-incremental exercise.

Resp Physiol 76 (1989) 357 - 367

Zintl, F.

„Ausdauertraining“

BLV Verlagsgesellschaft, München - Wien - Zürich, 1990

#### DANKSAGUNG

Allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, danke ich sehr herzlich.

Insbesondere gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr. med. D. Jeschke und Herrn Priv. Doz. Dr. med. H. Kuppardt für die Orientierung auf das Thema und die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit.