

W. Hollmann

## Leistungen der Sportmedizin für die Kardiologie

### *Sports medical achievements for cardiology*

Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln

#### Zusammenfassung

Nach der Definition des Begriffes Sportmedizin folgt die Darstellung der apparativen sportmedizinischen Entwicklung von kardiologischer Bedeutung. Die klinische Routinebenutzung des Fahrradergometers, die ergometrische Blutdruckmessung, die ergometrische EKG-Untersuchung, die Entwicklung von Leistungs- und Belastbarkeitsbestimmungen durch submaximale Belastungen über aerob-anaerobe Schwellen, Leistungsparameter und Ergometerentwicklungen werden beschrieben. Ergebnisse sportmedizinischer Forschungen fanden dementsprechend Berücksichtigung in der kardiologischen Diagnostik, Prävention, Therapie und Rehabilitation. Auswirkungen von Bewegungsmangel einerseits, von Minimal-Trainingsprogrammen andererseits im Hinblick auf die Prävention und Rehabilitation werden ebenso erwähnt wie die Einführung ambulanter koronarer Trainingsgruppen.

**Schlüsselwörter:** apparative sportmedizinische Entwicklungen, Bewegungsmangel, Trainingsprogramme, epidemiologische Studien, Ergometer, aerob-anaerobe Schwelle, Laktat

#### Definition des Fachgebietes Sportmedizin

Aus Anlass der Gründung des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin 1958 in Köln erfolgte die international erstmalige Definition des Fachgebietes Sportmedizin. Sie lautete: Sportmedizin beinhaltet diejenige theoretische und praktische Medizin, welche den Einfluss von Bewegung, Training und Sport sowie den von Bewegungsmangel auf den gesunden und kranken Menschen jeder Altersstufe untersucht, um die Befunde der Prävention, Therapie und Rehabilitation sowie dem Sporttreibenden dienlich zu machen (Hollmann). Diese Erklärung wurde 1977 von dem Weltverband für Sportmedizin (FIMS) anlässlich einer Tagung in Tokio offiziell übernommen (34).

Damit ist Sportmedizin identisch mit Maßnahmen zur Funktions- und Leistungsdiagnostik, Prävention, Bewegungstherapie und Rehabilitation mittels körperlichem Training.

#### Summary

Following the definition of „sports medicine“, description of the development of sports medical devices which have gained importance in cardiology will be presented. The clinical routine use of bicycle ergometers, ergometric measurement of blood pressure, ergometric ECG-check, development of the determination of physical performance and load capacity using submaximal exercise loads and aerobic-anaerobic thresholds, performance parameters and the development of ergometers will be shown. The results of sports medical investigations have consequently influenced cardiological diagnostics, prevention, therapy and rehabilitation. The impact of lack of exercise as well as of minimal training programs on prevention and rehabilitation are mentioned as well as the introduction of exercise groups for cardiac patients.

**Key words:** sports medical devices, lack of exercise, training programs, epidemiological studies, ergometer, anaerobic threshold, lactate

#### Apparativ-methodische sportmedizinische Entwicklungen von kardiologischer Bedeutung

Eine der wichtigsten kardiologischen Maßnahmen ist die Frühdiagnose einer ungenügenden körperlichen Belastbarkeit (Arbeitsinsuffizienz). Hierzu bedarf es einer exakt dosierbaren, jederzeit präzise reproduzierbaren Untersuchungstechnik. Sie wurde in Form der Spiroergometrie 1929 von *Knipping und Brauer* in Hamburg entwickelt (52). Die apparative Technik war damals jedoch nicht in der Lage, wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Apparaturen herzustellen. Das gelang erstmals 1949. Mit einer Spirographenanlage der Firma Dargatz, Hamburg, konnten zuverlässig der Gasstoffwechsel und die Atmung kontinuierlich bis zu ca. 3500 ml O<sub>2</sub>-Aufnahme/min registriert werden. Nachfolgende technische Verbesserungen gestatteten 1953 die Entwicklung einer Apparatur, welche maximale Sauerstoffaufnahme

mewerte von 5000 ml/min zuverlässig messen ließ. Durch eigene weitere Verbesserungen konnten 1954 bereits Maximalwerte um 6000 ml/min erreicht werden, womit auch weltbeste Hochleistungssportler in Ausdauersportarten nunmehr im Grenzbereich ihrer kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit beurteilt werden konnten (28).

*Knipping* und seine Schule in Köln benutzten für die Spiroergometrie ein Wirbelstrom-Drehkurbelergometer mit weit ausholender Drehkurbelarbeit im Stehen. Damit waren übliche Blutdruckmessungen während dosierter Arbeit unmöglich. Wir ersetzten daher 1954 in der Medizinischen Universitätsklinik Köln das Drehkurbelergometer durch ein Fahrradergometer (nach E.A. Müller, Zentralwerkstatt Göttingen). Nach Angaben des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie in Dortmund existierten damals 14 Fahrradergometer in Deutschland, von denen sich 8 im Max-Planck-Institut befanden. Sie wurden ausschließlich für Forschung, nicht für Patientenuntersuchungen eingesetzt. In Ländern wie in den USA waren Fahrradergometer für Patientenuntersuchungen nicht bekannt. Die Kettengeräusche unseres Fahrradergometers übertrugen sich jedoch so stark auf den Organismus, dass eine Blutdruckmessung nach Riva-Rocci mittels Stethoskop nicht möglich war. Deshalb konstruierte uns unser technischer Mitarbeiter *Sander* die auch international erste halbautomatische Blutdruckmessanlage mit Mikrophon in der Ellenbeuge, drei hintereinander geschalteten Membranpumpen zum Aufpumpen und Luftabsaugen mit optischer und akustischer Anzeige von systolischem und diastolischem Wert (28, 36). Auf der elektronischen Weltausstellung für Medizin im Jahr 1960 in New York war dieses die einzige, mittlerweile von der Firma Elag in Köln serienmäßig hergestellte Apparatur dieser Art. Aus ihr entwickelten sich die Blutdruckmessgeräte zur Eigenmessung durch den Patienten, was wir ab Anfang der 60er Jahre wegen des „Weißkittelfeffekts“ forcierten, z.T. gegen den Widerstand verschiedener Ärztesgruppen wegen „Eingriffs in ärztliche Aufgaben“.

Nunmehr konnte der Begriff „Arbeits- oder Belastungshypertonie“ geprägt bzw. auf eine messbare Grundlage gestellt werden. Darüber hinaus bot die Fahrradergometrie als solche die Möglichkeiten zu Druckmessungen in den verschiedensten Herz- und Gefäßabschnitten während körperlicher Arbeit. In unserem Kölner Arbeitskreis erfolgte dies vor allem durch die Mitarbeit des Nobelpreisträgers von 1956, *Werner Forßmann*, der 1929 in Eigenversuchen die Herzkatheterung durchgeführt hatte (52). In der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg bedienten sich die Sportärzte *Reindell* und Mitarbeiter dieser Methode (74). *Roskamm* formulierte auf dieser Basis exakte Kriterien zur Beurteilung einer Belastungsinsuffizienz des Herzens (77). Es waren also sportmedizinische Arbeitsgruppen in kardiologischer Tätigkeit, die diese Fortschritte entwickelten.

Bei der Einführung der fahrradergometergestützten Ergometrie in die Medizinische Universitätsklinik Köln 1954 war der damalige Leibarzt von *Präsident Eisenhower* für einige Wochen als Gast dort tätig, *Pauli D. White*. Als Vorsitzender verschiedener amerikanischer kardiologischer Organisatio-

nen machte er dann die fahrradergometrische Untersuchung in den USA populär, wo man sich bisher dominierend des Master-Tests (Kisten-Besteigungstest) oder - selten - der Quinton-Laufbänder bedient hatte.

So konnten später von sportmedizinischer Seite Normwerte für das Verhalten des unblutig gemessenen systolischen Blutdrucks bei ansteigender Fahrradergometerbelastung für die verschiedenen Lebensdezenien erarbeitet werden (15, 16, 26).

Auf der Basis dieser Entwicklungen beschrieb *Franz* (15, 16) die prädiktive Bedeutung von ergometrischen Blutdruckmessungen für die Diagnose einer späteren Ruhe-Hypertonie.

*Reindell et al.* (73, 74) setzten die röntgenologisch in zwei Ebenen an der liegenden Person ermittelten Herzvolumina in Beziehung zum maximalen Sauerstoffpuls, eine Methode zur Beurteilung physiologischer oder pathologischer Beziehungen zwischen Herzgröße und Herzleistungsfähigkeit (Herzvolumenäquivalentwert oder Hervolumenvolumenleistungsquotient). Der Sauerstoffpuls (Sauerstoffaufnahme in ml dividiert durch die Pulsfrequenz in derselben Minute) beträgt bei männlichen Normalpersonen im dritten Lebensjahrzehnt maximal 15 ml, bei Frauen 10 ml. Bei ausdauertrainierten Leistungssportlern steigt er auf 20-30 ml an. Für die Beurteilung des myokardialen Funktionszustandes werden Herzgröße und maximaler O<sub>2</sub>-Puls in Beziehung gesetzt. Nimmt die Herzgröße durch körperliches Training zu, steigt physiologischerweise auch der maximale O<sub>2</sub>-Puls und dementsprechend die Leistungsfähigkeit an. Ist die Größenzunahme des Herzvolumens adäquat der Größenzunahme des maximalen O<sub>2</sub>-Pulses, liegen physiologische Bedingungen vor. Normwerte des Herzvolumenleistungsquotienten betragen zwischen 40 und 60, bei ausdauertrainierten Sportlern oft unter 50 oder sogar unter 40. Ein Missverhältnis zwischen Herzgröße und maximalem O<sub>2</sub>-Puls weist auf eine gestörte Herzfunktion hin (1974). Bei einem Herzvolumenleistungsquotienten über 70 besteht bei Männern und Frauen aller Altersklassen durchweg der Verdacht auf eine beginnende Myokardinsuffizienz.

Ende der 50er Jahre entwickelten sportmedizinische Gruppen in USA, Schweden und Deutschland die ergometrische EKG-Untersuchung. Nun wurde es erstmals möglich, Durchblutungsstörungen des Herzens per EKG bei körperlicher Arbeit diagnostizieren zu können. Diese dominierend an das Fahrradergometer gekoppelte Untersuchungsmethode verbreitete sich in wenigen Jahren weltweit, heute eine Standardmethode für die Kardiologie (13, 75, 76, 77, 81).

1959 berichtete *Hollmann* über die Ermittlung einer ventilatorischen und einer Laktatschwelle (Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung, PoW, und O<sub>2</sub>-Ausdauergerenze; 29, 30, 31). Bis dahin stand zur objektiven Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit als Parameter nur die Bestimmung der maximalen O<sub>2</sub>-Aufnahme zur Verfügung. Sie war jedoch durch zwei Nachteile gekennzeichnet, einerseits die Abhängigkeit von der Motivation des Patienten, andererseits die potentielle Gefährdungsmöglichkeit des Patienten durch eine hohe Belastungsintensität bei Vorliegen ei-

ner organischen Herzerkrankung. Nunmehr konnte objektiv ohne eine Abhängigkeit von der Motivation und ohne die Notwendigkeit hoher Belastungsintensitäten das kardiopulmonale Leistungsvermögen beurteilt werden. So kann z.B. in der rehabilitativen Kardiologie die Belastung über diese submaximalen Parameter zuverlässig gesteuert werden. Das hat vor allem für Patienten mit krankhaft oder medikamentös veränderter Herzfrequenz eine Bedeutung. – Während das Grundprinzip des Schwellengedankens unverändert blieb, konnten weiterführende Arbeiten von sportmedizinischer Seite (9, 18, 22, 23, 24, 25, 27, 40, 43, 47, 48, 50, 51, 60, 61, 97, 98) die kardiologische und sportartspezifische Leistungsdiagnostik bereichern.

Im Jahre 1962 entwickelte der Schwede *Bergström* in Stockholm die Nadelbiopsie der Skelettmuskulatur (5). Nunmehr konnten ohne nennenswerte Beeinträchtigung für den Untersuchten lokale Stoffwechselvorgänge in Ruhe und nach körperlicher Arbeit sowie vor und nach Training in der Skelettmuskulatur untersucht werden. Auch *Bergström* ist ein Sportmediziner, der die Methodik primär zur Verbesserung von energetischen Grundlagen bei Arbeit und Training erdachte. Alle kardiologischen metabolischen Gesichtspunkte profitierten hiervon. Das gilt vor allem auch für die Beziehungen zwischen Herzfunktion, arterio-venöser  $O_2$ -Differenz, Qualität der eingesetzten Skelettmuskelfasern (z.B. langsame oder schnelle und deren prozentuale Zusammensetzung) sowie Kapillarisation der Skelettmuskulatur (83, 84, 88).

Die Anwendung radioaktiver Isotope während Ergometerarbeit, heute eine kardiologische Routinemethode, wurde erstmals von sportmedizinischer Seite in den 50er Jahren zur Bestimmung der zirkulierenden Blutmenge eingesetzt (93).

Sportärzte waren die ersten, welche die Echokardiographie zur Beurteilung der Funktionsweise und morphologischer Strukturen des Sportherzens einsetzten (87). So ließ sich mit dem eindimensionalen Echokardiogramm beim vergrößerten Sportherzen eine Größenzunahme beider Herzkammern und des linken Vorhofs nachweisen, ebenso eine geringe Zunahme der absoluten Wanddicke des Septums und der Hinterwand des linken Ventrikels. In Relation zum Körpergewicht lässt sich eine Massenzunahme des linken Ventrikels zwischen 50 % und 75 % nachweisen. Daraus errechnet sich für den linken Ventrikel ein maximales physiologisches Myokardgewicht von 3,5 g/kg (Normalwert 2,1 g/kg). Ein „relatives kritisches Herzgewicht“ kann in einem Bereich von 7 g/kg Körpergewicht angenommen werden (10). Sportmedizinische Untersuchungen sicherten auch den physiologischen Charakter des Sportherzens (73, 78, 79, 80, 82).

Die Ergometerentwicklung selbst ging ab den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts vielfältige Wege. Die Sportmedizin entwarf zahlreiche sportarttypische Ergometer (z.B. Ruderergometer, Kajakergometer, neue Formen von Dreh- und Trekkurbelarbeit im Liegen und Stehen, Verbesserungen von Laufbandapparaturen, u.a.). 1972 trat die US-amerikanische Autofirma Chrysler (Detroit) an uns heran mit der Bitte, mit ihrer finanziellen Unterstützung ein Fahrradergometer zu entwickeln, welches keine äußere Ähnlichkeit mit einem

Fahrrad mehr aufweisen sollte, ferner voll elektronisiert und computerisiert sein sollte. Im Zuge einer zweijährigen Entwicklungsarbeit konnten wir bis 1974 ein solches Gerät fertigstellen. Es wurde von Chrysler an die Firma Keiper (Kaiserslautern) weitergegeben (Bezeichnung „Dynavit“, 34). Dieses Gerät stellte den Startschuss dar für viele ähnliche Ergometerapparaturen im Laufe der nachfolgenden Jahre.

Mit den unterschiedlichen Ergometertypen verband sich die Entwicklung ergometerspezifischer Untersuchungsverfahren mit unterschiedlichen Untersuchungszielen. Das galt insbesondere für Untersuchungsprotokolle für Fahrradergometerarbeit einerseits, Laufbandbelastung andererseits. Die erhobenen Befunde dienten besonders der Kardiologie.

### Sportmedizinische Untersuchungen zum Bewegungsmangel sowie von Minimal-Trainingsprogrammen und ihr kardiologischer Bezug

Die gesundheitliche positive oder negative Bedeutung von mehrtägiger oder mehrwöchiger Bettruhe wurde vor allem sportmedizinisch in den 50er und 60er Jahren untersucht. Schon eine einwöchige absolute Bettruhe bewirkte hochsignifikante Verringerungen der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, der Herzgröße, des Blutvolumens, einen Anstieg des Pulsfrequenz-systolischer Blutdruck-Produktes auf gegebenen Belastungsstufen als Ausdruck eines vergrößerten myokardialen  $O_2$ -Bedarfs, ein in Relation zur Belastungsintensität deutlich gesteigertes Atemminutenvolumen, verbunden mit einem erhöhten Atemäquivalentwert als Ausdruck einer verschlechterten Leistungsökonomie und verringerten Leistungsfähigkeit (32). Gleichzeitig begann der Kalziumspiegel im Blut durch einen Entkalkifizierungsprozess in den Knochen anzusteigen mit logischerweise erhöhter Gefahr von Nierensteinbildungen. Heutige sogenannte Risikofaktoren des Blutes nahmen zu (84).

Neben der Hämodynamik zeigte sich auch die metabolische Regulation durch Bewegungsarmut verändert. 1963 beobachteten wir an 19, mehrwöchig inaktiviert gewesenen orthopädischen Patienten eine pathologische Kurvenverlaufsform beim Staub-Traugott-Zuckerbelastungstest. Der Befund normalisierte sich nach 2-4wöchiger mäßiger Bewegungstherapie. Da damals die Zusammenhänge zwischen Rezeptorenzahl und -sensitivität sowie Insulinproduktion bei körperlichem Training noch nicht erarbeitet waren, konnten wir für unsere Beobachtungen keine pathophysiologische Erklärung abgeben (32).

Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre ergänzten sportmedizinische Untersuchungen mittels Nadelbiopsien der Skelettmuskulatur das Wissen um die unterschiedlichen Muskelfaserkategorien hinsichtlich ihrer Beeinflussung durch Bewegungsmangel einerseits, qualitativ und quantitativ unterschiedlichem Training andererseits. Bestimmungen des Mitochondrienvolumens, der Enzymaktivitäten und der Kapillarisation vor und nach Training rundeten von sport-

medizinischer Seite das kardiologisch wichtige Wissensbild ab (83, 84, 88). Ergänzt wurden diese Befunde durch sportmedizinische Mitteilungen über die Effekte von Bewegungsmangel einerseits, aerobem Training andererseits auf Details des Lipidstoffwechsels wie LDL- und HDL-Cholesterin (2, 3, 14, 44, 45, 46).

Nach der experimentell fundierten Sicherstellung des aus kardiologischer Sicht gesundheitlich negativen Einflusses von Bettruhe und Bewegungsmangel erfolgten von sportmedizinischer Seite Untersuchungen zur Frage der Eignung der häufigsten Sportarten für präventive und rehabilitative Zwecke auf dem Herz-Kreislauf-Sektor. Als effektiv für den Herz-Kreislauf-Bereich erwies sich aerobes dynamisches Ausdauertraining im Gegensatz zu statischem Krafttraining. Systematisch erfolgten experimentelle Untersuchungen zur Trainingsdosis (Intensität, Dauer, Häufigkeit) für ein präventives und rehabilitatives kardiologisches Training. Dabei konnte u.a. gezeigt werden, daß bei untrainiert gewesenen Personen schon eine täglich 10minütige Belastung mit 60-70 % der individuellen Leistungsfähigkeit ausreicht, um präventiv bzw. therapeutisch wünschenswerte Adaptationen zu erreichen (35). Allerdings war zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen die Existenz der Differenzierung zwischen LDL-Cholesterin und HDL-Cholesterin noch nicht bekannt. Darum wurden die sportmedizinisch-kardiologischen Empfehlungen zur Trainingsdurchführung in den 70er Jahren den neuen metabolischen Erkenntnissen angepasst, indem wir die notwendige Belastungsdauer auf mindestens 20-30 min verlängerten. So lernte man im Verlaufe der 60er Jahre mehr und mehr, körperliches Training wie die Wahl eines Medikaments hinsichtlich Auswahl, Dosis und Zeitpunkt der Verabfolgung zu handhaben.

Bis Ende der 60er Jahre bestand die international übliche Standardtherapie beim Patienten nach Herzinfarkt in einer 4-6wöchigen, absoluten Bettruhe. Der Patient war „wie ein rohes Ei“ zu behandeln. Die erwähnten sportmedizinischen Forschungsergebnisse über die gesundheitlich bedenklichen Auswirkungen von absoluter Bettruhe (inklusive Thrombose- und Emboliegefahr) auf der einen Seite, die gesundheitlich positiven Adaptationen durch ein aerobes dynamisches Ausdauertraining auf der anderen Seite bewirkten ein langsames Umdenken in der Kardiologie. Wesentliche Trainingsbegründungen schon 1965 lauteten: Umstellung vom Sympathikotonus auf einen Vagotonus, Verminderung der Herzschlagfrequenz, damit Senkung des myokardialen  $O_2$ -Bedarfs, Verlängerung der Diastolendauer mit entsprechend verbesserter Myokarddurchblutung, Verringerung des Arbeitsblutdrucks auf gegebenen Belastungsstufen, Reduzierung des Katecholamingehalts im Herzmuskel, verbesserte Vaskularisierung, Förderung eines Kollateralkreislaufs, positive Beeinflussung der Blutgerinnungsverhältnisse bei Arbeit, Senkung des Cholesterinspiegels (32).

Auch erste epidemiologische Befunde zur kardiologischen Bedeutung eines Ausdauertrainings erschienen von sportmedizinischer Seite in den 50er und 60er Jahren (66, 67). Es ergab sich eine signifikant geringere Sterblichkeit an koronarer Herzkrankheit unter aktiven als unter körperlich inak-

tiven Personen. Allerdings kritisierte man einen Teil dieser Studien wegen methodischer Unzulänglichkeiten

Aufgrund dieser experimentellen und epidemiologischen Befundlage stellte der Weltkongress für Sportmedizin in Hannover 1966 eine siebenköpfige Expertengruppe aus fünf Nationen zusammen: Král (CSSR, Vorsitzender), Gottheiner (Israel), Hollmann (Deutschland), Ikai (Japan), Letunov (Sowjetunion), Raab (USA) und Wolffe (USA). Die Kommission wandte sich mit einem Schreiben an die WHO in Genf mit der Bitte um Überprüfung der Richtigkeit einer mehrwöchigen, absoluten Bettruhe im Zustand nach Herzinfarkt im Vergleich gegenüber Frühmobilisation und Bewegungstherapie. Dieses war der Auftakt zur vermutlich größten Therapieevolution in der Kardiologie des 20. Jahrhunderts.

Eine weitere kardiologische Konsequenz therapeutischer Art, ausgelöst durch die Sportmedizin, betraf die ärztlichen Maßnahmen in Kurorten und Kurbädern. Bereits 1953 hatte der Sportarzt *Beckmann* (Ohlstadt) gymnastische und Wanderübungen für Patienten mit vegetativen Herzfunktionsstörungen aufgenommen (1). Auf sportmedizinisches Drängen hin wurden kardiologische Rehabilitationskliniken eingerichtet, deren Chefärzte meistens sportmedizinischen Zentren entstammten.

Ein weiterer entscheidender sportmedizinischer Schritt im kardiologischen Sinne war die Einführung ambulanter koronarer Trainingsgruppen. Der Internist und Sportarzt *Hartmann* in Schorndorf gründete 1965 die erste ambulante Herztrainingsgruppe (21). Ihr folgte 1970 das sogenannte flächendeckende Hamburger Modell (12, 53, 54), dem sich ab 1974 mehrere unterschiedlich strukturierte Modelle anschlossen (Köln, Freiburg u.a.; 4, 6, 40, 41, 44). In Voruntersuchungen experimenteller Art an jahre- bis jahrzehntelang untrainiert gewesenen männlichen Personen des 55.-70. Lebensjahres ermittelten wir Anfang der 70er Jahre die qualitativ und quantitativ gleiche Trainierbarkeit des älteren Menschen im Vergleich zum jungen. Die innerhalb von 8-10 Wochen erreichten, hochsignifikanten kardiopulmonalen und metabolischen Funktionsverbesserungen ließen sich später auch bei Patienten im Zustand nach Herzinfarkt nachweisen. Die guten Erfolge ermunterten verschiedene sportmedizinische Zentren zum Ausbau der Übungs- und Trainingsgruppen zunächst in Richtung Hypertoniker, Diabetiker und Adipöse, später auch Myokardinsuffiziente, Herzklappenoperierte und Patienten nach Bypassoperationen sowie nach koronaren Dilatationen einbeziehend. Die endgültige Erweiterung betraf Patienten mit Diagnosen aus den verschiedensten medizinischen Fachgebieten, betreffend Organe wie Lunge, Leber, Nieren oder auch neuerdings Gehirn (Einzelheiten in 34). Auch die praktische Vorgehensweise (aerobes Training, Dauer- und Intervallmethode, Krafttraining, koordinative Übungen, Belastungshäufigkeit, -intensität und -dauer) sowie die Abgrenzung zu Indikationen und Kontraindikationen erarbeitete maßgeblich die Sportmedizin (11, 16, 17, 19, 20, 37, 38, 44, 45, 49, 50, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 73, 75, 76, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99).

## Epidemiologische sportmedizinische Studien zu körperlicher Aktivität mit kardiologischer Bedeutung

Experimentell erhobene Befunde können gegebenenfalls anekdotischer Natur sein. Darum sind prospektive und randomisierte epidemiologische Studien erforderlich, um die im Labor erarbeiteten Befunde an größeren Bevölkerungskreisen auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Hier waren es vor allem US-amerikanische, englische, schwedische und finnische Sportmediziner, welche derartige epidemiologische Untersuchungen durchführten. Die wesentlichsten dieser Befunde lauten: Bewegungsmangel ist als Risikofaktor mindestens genauso bedeutend wie das Zigarettenrauchen. Dementsprechend wurde auch auf einer gemeinsamen Tagung von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und dem Weltverband für Sportmedizin (FIMS) in Deutschland 1994 Bewegungsmangel an die Spitze aller Risikofaktoren gestellt (33).

Das Risiko der Herzinfarktentstehung jenseits des 40. Lebensjahres sinkt um 40–50 % bei mehrfach wöchentlich durchgeführten aeroben dynamischen Aktivitäten, die einen wöchentlichen kalorischen Mehrumsatz von ca. 2000 kcal bedingen (7, 8, 69, 70).

In einer finnischen Zwillingsstudie – also Personen gleichen Erbguts – wurde zwischen dem 25. und 64. Lebensjahr eine Reduzierung von kardialen Ereignissen um 43 % beobachtet, wenn mehr als sechs Mal pro Monat Sport getrieben wurde. Bei weniger als sechs Mal pro Monat, aber mehr als drei Mal pro Monat ergab sich eine um 29 % günstigere Quote (42, 96). In einer anderen US-amerikanischen Studie ermittelte man den Einfluss körperlicher Aktivität bei 72.488 Krankenschwestern im Alter von 40–65 Jahren in einem Zeitraum von acht Jahren. Regelmäßiges Walking reduzierte Herz-Kreislaufereignisse um 37 %, Aerobics um 36 %. Wurde ein tägliches Zwei-Meilen-Walking absolviert (= 3,2 km), sank bei 707 kontrollierten gesunden männlichen Nichtrauchern die Gesamt-Mortalitätsquote um ca. 50 %. Ein darüber hinaus gehender Aktivitätsgrad ließ nur noch einen geringen zusätzlichen gesundheitlichen Effekt erkennen (7) Ähnliche Daten erarbeiteten Lee et al. (55) für Frauen.

Die Lebenserwartung z.B. eines körperlich aktiven 70jährigen im Vergleich zu einem gleichaltrigen körperlich Inaktiven fiel bis über das 90. Lebensjahr signifikant höher aus (69, 86). Zahlreiche weitere Studien stimmten inhaltlich mit den genannten Resultaten überein.

Diese zwangsweise lückenhafte Darstellung lässt erkennen, dass die Sportmedizin wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Kardiologie liefern konnte.

### Danksagung

Die Arbeit wurde unterstützt vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Köln, der Krupp-von-Bohlen-und-Halbach-Stiftung, Essen, der Oertel-Stiftung, Mülheim/Ruhr und der Eckloff-Winterstein-Stiftung, Bad Kissingen

## Literatur

1. Beckmann P: Internistische Übungsbehandlung. Hippokrates, Stuttgart, 1961.
2. Berg A: Effekte körperlichen Trainings auf die altersabhängigen Lipoproteinveränderungen. Herz-Kreisl 8 (1983) 393.
3. Berg A, Keul J: Die biochemischen Veränderungen durch körperliches Ausdauertraining. In: Weidemann H, Samek L (Hrsg.): Bewegungstherapie in der Kardiologie. Steinkopff, Darmstadt, 1982.
4. Berg A, Keul J, Ringwald G, Stippig J, Schraub E: Bewegungstherapie und ambulante Koronargruppen. II. Auswirkungen der Bewegungstherapie auf den Stoffwechsel, insbesondere die Lipoproteinverteilung. Dtsch Z Sportmed 31 (1980) 205–212.
5. Bergström J: Muscle electrolytes in man. Scand J Clin Lab Invest 14 (Suppl. 68) (1962): 1–8.
6. Bjarnason-Wehrens B, Predel HG, Graf C, Rost R: Das Kölner Modell der ambulanten kardialen Rehabilitation. Herz/Kreisl 29 (1997) 224–230.
7. Blair SN: Physical activity, physical fitness, and health. In: WHO/FIMS (eds.): Health promotion and physical activity – Joint Meeting of WHO and FIMS. Sport u. Buch Strauß, Köln, 1996.
8. Blair SN, Kohl HW, Barlow CE, Paffenbarger RS, Gibbons LW, Macera CA: Changes in physical fitness and all-cause mortality. JAMA 273 (1995) 1093.
9. Bunc V, Heller J, Novak J, Leso J: Determination of the individual anaerobic threshold. Acta Univ Carolinae, Gymnica 21 (1985) 73–81.
10. Dickhuth HH, Gharieb K, Korsten-Reck U, Köllner H, Keul J: Zweidimensionale Größenbestimmung und Schlagvolumenbestimmung des Herzens. In: Heck H, Hollmann W, Liesen H, Rost R (Hrsg.): Sport: Leistung und Gesundheit. Dt Ärzte-Verlag, Köln 1983.
11. Diehm C, Zimmermann R, Möhrli H, Harenberg J, Wirth A, Halhuber MJ, Böckling R, Michel D, Schettler G: Der Einfluß eines Ausdauertrainings auf Homöostase und fibrinolytische Aktivität bei Patienten mit ischämischer Herzkrankheit. In: Kindermann W (Hrsg.): Sport- und Leistungsmedizin. Dt Sportärztekongreß, Saarbrücken 1980.
12. Donat K (Hrsg.): Kardiologische Prävention und Rehabilitation am Wohnort. Perimed, Erlangen, 1975.
13. Drews A, Halhuber MJ, Hofmann H, Milz H: Erfahrungen mit der Bewegungstherapie bei chronisch Herzkranken. Internist 11 (1970) 290.
14. Dufaux B, Liesen H, Rost R, Heck H, Hollmann W: Über den Einfluß eines Ausdauertrainings auf die Serum-Lipoproteine unter besonderer Berücksichtigung der Alpha-Lipoproteine (HDL) bei jungen und älteren Personen. Dtsch Z Sportmed 30 (1979) 123–130.
15. Franz IW: Belastungsblutdruck bei Hochdruckkranken. Springer, Berlin, 1981.
16. Franz IW: Ergometrie bei Hochdruckkranken. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1982.
17. Franz IW, Mellerowicz H, Noak W (Hrsg.): Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt. Springer, Berlin/Heidelberg/New York/Tokio, 1985.
18. Gaisl G, König H, Pessenhofer H, Schwaberg G: Trainingsoptimierung im Mittel- und Langstreckenlauf mit Hilfe der Bestimmung des aerob-anaeroben Schwellenbereiches. Dtsch Z Sportmed 31 (1980) 131–140.
19. Gottheiner V: Die Renaissance der Zivilisationskrankheiten und die Wiederherstellung des Herz-Gefäß-Leidenden durch maximale körperliche Übung. Die Rehabilitation 3 (1964) 172; 5 (1966) 104.
20. Halhuber MJ: Rehabilitation des Koronarkranken. Perimed, Erlangen, 1982.
21. Hartmann KO: Herzgruppe des VfL Schorndorf, 1965 gegründet. In: Schatz E (Hrsg.): 25 Jahre Versehrtensportgruppe – 24 Jahre Sport für Herzkranken. Schorndorf, 1989.
22. Heck H: Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf, 1990.
23. Heck H, Liesen H, Mader A, Hollmann W: Der Einfluß der Stufendauer und der Pausendauer bei Laufbanduntersuchungen auf die Sauerstoffaufnahme und das Laktatverhalten. In: Kindermann W, Hort W (Hrsg) Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport. Demeter, Gräfelfing, 1981.
24. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W: Justification of the 4-mmol/l-lactate threshold. Int J Sports Med 6 (1985) 117–130.
25. Heck H, Mader A, Müller R, Hollmann W: Laktatschwellen und Trainingssteuerung. Dt Z Sportmed 38 (Sonderheft) (1986) 72–78.
26. Heck H, Rost R, Hollmann W: Normwerte des Blutdrucks bei der Fahrradergometrie. Dt Z Sportmed 35 (1984): 243–249.

27. Heck H, Strasser M, Liesen H, Mader A, Hollmann W: Der Einfluß von belastungsinduziertem Laktat auf die aerob-anaerobe Schwelle beim Stufentest auf dem Fahrradergometer. In: Heck H, Hollmann W, Liesen H, Rost R (Hrsg) Sport: Leistung und Gesundheit. Dt Ärzte-Verlag, Köln 1983.
28. Hollmann W: Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung. Steinkopff, Stuttgart, 1959.
29. Hollmann W: The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial and venous blood, the ventilation, PoW and pulse frequency during increasing spirometric work in endurance-trained and untrained persons. Pan-American Congress for Sports Medicine, Chicago, 1959.
30. Hollmann W: Zur Frage der Dauerleistungsfähigkeit. Fortschr. Med. 79 (1961) 439-445.
31. Hollmann W: Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Spirometrische Befunde von der ersten bis achten Lebensdekade. Barth, München, 1963.
32. Hollmann W: Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankheiten durch körperliches Training. Hippokrates, Stuttgart, 1965.
33. Hollmann W, Gyárfás I: Gesundheit und körperliche Aktivität (WHO und FIMS). Dt Ärztebl 91 (50) (1994): 3511-3512.
34. Hollmann W, Hettinger Th: Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer, Stuttgart/New York, 2000, 4. Aufl.
35. Hollmann W, Schwarz TG: Über den Einfluß von Minimal-Trainingsprogrammen auf das kardio-pulmonale System und den Metabolismus. In: Bouchard C, Hollmann W, Venrath H, Herkenrath G, Schlüssel H: Minimal amount of physical training for the prevention of cardio-vascular diseases. In: Hanekopf G (Hrsg.): 16. Weltkongreß für Sportmedizin, Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1966.
36. Hollmann W, Venrath H, Valentin H, Spellerberg B: Über den arteriellen Blutdruck beim Menschen während dosierter körperlicher Arbeit. Z Kreislaufforsch 48 (1959): 162-167.
37. Hüllemann KD: Sporttherapie bei Herzinfarktpatienten. In: Mellerowicz H, Weidener J, Jokl E (Hrsg): Rehabilitative Kardiologie. Karger, Basel, 1974.
38. Hüllemann KD: Das Heidelberger Modell der Infarktrehabilitation. In: Donat K (Hrsg): Kardiologische Prävention und Rehabilitation am Wohnort. Perimed, Erlangen, 1975.
39. Israel S: Sport und Herzschlagfrequenz. Barth, Leipzig, 1982.
40. Jeschke D, Brühl D, Heitkamp HCH, Schmiechen U: Dynamische und kardiale Belastbarkeit von Koronarkranken nach Übungs- und Trainingstherapie in einer ambulanten Koronargruppe. In: Heck H, Hollmann W, Liesen H, Rost R (Hrsg.): Sport: Leistung und Gesundheit. Dt Ärzte-Verlag, Köln, 1983.
41. Jeschke D, Caesar K, Kaufmann W: Frühmobilisation von Herzinfarktkranken. Dtsch Med Wschr 97 (1972) 344.
42. Kaprio J, Kujala UM, Koskenvuo M, Sarna S: Physical activity and other risk factors in male twin-pairs discordant for coronary heart disease. Atherosclerosis 150 (2000) 193-200.
43. Karlsson J, Jacobs I: Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept. I. Theoretical considerations. Int J Sports Med 3 (1982) 190-201.
44. Keul J: Körperliches Training in der Prophylaxe und Therapie der koronaren Herzkrankheit. VI. Interdisziplinäres Forum der Bundesärztekammer. Dt Ärzte-Verlag, Köln, 1982.
45. Keul J, Dickhuth HH, Simon G, Lehmann M: Das Sportherz: Anpassung an statische und dynamische Belastungen. In: Rieckert H (Hrsg.): Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit. Springer, Berlin, 1981.
46. Keul J, Doll E, Keppeler D: Muskelstoffwechsel. Barth, München, 1969.
47. Keul J, Kindermann W, Simon G: Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik. Leistungssport 8 (1978) 22-32.
48. Keul J, Simon G, Berg A, Dickhuth HH, Goertler I, Kübel R: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dt Z Sportmed 30 (1979) 212-218.
49. Kindermann W: Chronische Herzkrankheiten und Sport. In: Lübs ED (Hrsg.): Chronische Erkrankungen und Sport. Perimed, Erlangen, 1983.
50. Kindermann W, Keul J: Anaerobe Energiebereitstellung im Hochleistungssport. Hofmann, Schorndorf, 1977.
51. Kindermann W, Simon G, Keul J: The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. Eur J Appl Physiol 42 (1979) 25-34.
52. Knipping HW, Bolt W, Valentin H, Venrath H: Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken. Enke, Stuttgart, 1955 (2. Aufl. 1960).
53. Krasemann EO: Herzinfarkt-Rehabilitation. Perimed, Erlangen, 1976.
54. Krasemann EO: Die Geschichte der kardiologischen Rehabilitation unter besonderer Berücksichtigung der Bewegungstherapie. Kirchheim, Mainz, 1993.
55. Lee IM: One hour walking per week keeps the heart of women fit. JAMA 285 (2001) 1447-1453.
56. Lehmann M, Keul J, Huber G, Da-Prada M: Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graded exercise. Int J Sports Med 2 (1981) 143-147.
57. Liesen H, Rost R, Heck H, Fleischer H, Hollmann W: Der Hochdruckkranke als Leistungssportler. In: Holzgreve H, Rost R (Hrsg.): Aktuelles und Kontroverses aus der Hochdruckforschung. Medizin, München, 1984.
58. Liesen H, Stein N, Heinsberg KE, Völker K, Hollmann W: Über Wertigkeit und Bedeutung der PWC zur Leistungsbeurteilung im Alter und von Trainingsanpassungen. In: Mellerowicz H, Franz IW (Hrsg.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Perimed, Erlangen, 1983.
59. Löllgen H: Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik. Ciba-Geigy, Wehr-Baden, 1990.
60. Mader A, Heck H: A theory of the metabolic origin of „Anaerobic threshold“. Int J Sports Med 7 (Suppl 1) (1986) 45-65.
61. Mader A, Heck H, Föhrenbach R, Hollmann W: Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400- und 800-m-Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. Dtsch Z Sportmed 30 (1979) (7) 203-211, (8) 249-261.
62. Manson JE, Hu FB, Rich-Edwards JW, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC, Speizer FE, Hennekens CH: A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. NEJM 341 (1999) 650-658.
63. Mellerowicz H, Reindell H, Hollmann W, Mies H, Roskamm H: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. 1. Mitt. Z Kreislaufforsch 50 (1961) 274.
64. Mellerowicz H, Roskamm H, Hettinger Th, Hollmann W, Klaus EJ, König K, Mies H, Reindell H, Stoboy E: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. 2. Mitt. Z Kreislaufforsch 53 (1964) 856.
65. Meyer K, Schwaibold M, Westbrook R, Beneke R, Hajric L, Gornerdt L, Lehmann M, Roskamm H: Effects of short-time-exercise training and activity restriction on functional capacity in patients with severe chronic congestive heart failure. Am J Cardiol 78 (1996) 1017-1023.
66. Morris JN: Körperliche Aktivität gegen Herzinfarkt. In: The Club of Cologne (Hrsg.): Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität. Sport u. Buch Strauß, Köln, 1996.
67. Morris JN, Clayton DG, Everett MG, Semmence AM, Vurgess EH: Exercise in leisure time: Coronary attack and death rates. Br Heart J 63 (1990) 325-334.
68. Neumann G, Schüler KP: Sportmedizinische Funktionsdiagnostik. Barth, Leipzig, 1989.
69. Paffenbarger RS: Beeinflussung der Lebenserwartung durch Änderung der körperlichen Aktivität und anderer Lebensstilfaktoren. In: The Club of Cologne (Hrsg.): Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität. Sport u. Buch Strauß, Köln, 1996.
70. Paffenbarger RS, Wing AL, Hyde RT: Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. Am J Epidemiol 108 (1978) 161-175.
71. Predel HG, Kramer HJ, Rost R: Einfluß einer aeroben ergometrischen Belastung auf vasoaktive Peptide und hämodynamische Parameter bei gesunden Freizeitsportlern. In: Tittel K, Arndt KH, Hollmann W (Hrsg.): Sportmedizin gestern – heute – morgen. Barth, Leipzig, 1993.
72. Raab W (ed): Prevention of ischemic heart disease. Thomas Publ, Springfield/III, 1966.
73. Reindell H, Bubenheimer P, Dickhuth HH, Görnandt I (Hrsg.): Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens. Thieme, Stuttgart/New York, 1988.
74. Reindell H, Klepzig H, Steim H, Musshoff K, Roskamm H, Schildge E: Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport. Barth, München, 1960.
75. Roskamm H: Hämodynamik und Kontraktilität des gesunden und kranken Herzens bei körperlicher Belastung. Verh Dtsch Ges Kreisf-Forsch 37 (1971) 42-48.
76. Roskamm H, Reindell H, König K: Körperliche Aktivität und Herz- und Kreislaufkrankungen. Barth, München, 1966.
77. Roskamm H, Reindell H: Herzkrankheiten. Springer, Berlin, 1982.
78. Rost R: Kreislaufreaktion und -adaptation unter körperlicher Belastung. Osang, Bonn, 1979.
79. Rost R: Das Herz des Sportlers im Ultraschall. Hofmann, Schorndorf, 1982.

80. Rost R: Herz und Sport. Eine Standortbestimmung der modernen Sportkardiologie. Perimed, Erlangen, 1984 (2. Aufl. 1990).
81. Rost R, Hollmann W: Elektrokardiographie in der Sportmedizin. Thieme, Stuttgart/New York, 1980.
82. Rost R, Webering F (Hrsg.): Kardiologie im Sport. Dt Ärzte-Verlag, Köln 1987.
83. Saltin B, Gollnick PD: Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Peachey LD, Adrian R, Geiger SR (eds.): Handbook of Physiology, Section 10: Skeletal Muscle. Williams u. Wilkins, Baltimore, 1983.
84. Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essén B, Gollnick PD: The nature of the training response: peripheral and central adaptations to one-legged exercise. Acta Physiol Scand 96 (1976): 289-297.
85. Samek L: Frühmobilisation nach Herzinfarkt und Koronaroperation. In: Roskamm H (Hrsg.): Koronarerkrankungen. In: Buchborn E (Hrsg.): Handbuch der Inneren Medizin. Bd. IX/3, Springer, Berlin, 1984
86. Sarna S, Shai T, Koskenvuo M, Kaprio J: Increased life expectancy of world class male athletes. Med Sci Sports Exerc 25 (1993): 237-244.
87. Schneider KW, Rost R, Gattenlöhner W: Kreislauffunktion beim Sportler. Schattauer, Stuttgart, 1970.
88. Schön FA, Hollmann W, Leresen H, Waterloh E: Elektronenmikroskopische Befunde am M. vastus lateralis von Untrainierten und Marathonläufern sowie ihre Beziehung zur relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und Laktatproduktion. Dt Sportärztekongreß, 1978, Bad Nauheim.
89. Steinacker JM, Ward SA (eds): The physiology and pathophysiology of exercise tolerance. Plenum Press, New York/London, 1996.
90. Strüder HK, Hollmann W, Platen P, Donike M, Gotzmann A, Weber K: Influence of paroxetine, branched-chain aminoacids and tyrosine on neuroendocrine system responses and fatigue in men. Horm Metab Res 30 (1998) 188-196.
91. Tittel K, Arndt KH, Hollmann W (Hrsg.): Sportmedizin gestern – heute – morgen. Barth, Leipzig, 1993.
92. Urhausen A, Kindermann W: Echokardiographie zur Differentialdiagnostik zwischen sport- und krankheitsbedingter Herzhypertrophie. Dt Z Sportmed 47 (Sonderheft) (1996) 144-152.
93. Venrath H, Bolt W, Hollmann W, Valentin H, Kesteloot H: Untersuchungen zur Frage der Blutdepots beim Menschen. Z Kreislauff 46 (1957) 612-615.
94. Völker K: Das Blutdruckverhalten im statischen Stufentest und im ambulanten 24-h-Profil in Beziehung zur Blutdruckreaktion im Fahrradergometerstest sowie das ANP-Verhalten bei unterschiedlichen Belastungsbedingungen. Habil-Schrift Deutsche Sporthochschule, Köln, 1990.
95. Völker K, Roskopf P, Feuerbach U, Krestin M, Prinz U, Hollmann W: Der ANP-Spiegel bei unterschiedlicher Art körperlicher Beanspruchung im Vergleich zwischen Frauen und Männern. Dtsch Z Sportmed 43 (1992) 450-458.
96. Vuori I: Körperliche Aktivität und Gesundheit – Finnische Erfahrungen der 90er Jahre. In: The Club of Cologne (Hrsg.): Gesundheitsförderung und körperliche Aktivität. Sport u. Buch Strauß, Köln, 1996.
97. Wasserman K, McIlroy MB: Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am J Cardiol 14 (1964) 844-852.
98. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35 (1973) 236-243.
99. Weidemann H, Meyer K: Lehrbuch der Bewegungstherapie mit Herzkranken. Steinkopff, Darmstadt, 1991.

**Korrespondenzadresse:**  
**Univ.-Prof. mult. Dr. med. Dr. h.c. Wildor Hollmann**  
**Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin**  
**Deutsche Sporthochschule Köln**  
**50933 Köln**  
**Fax: 0221/4912882**