

## Kongresse

# Ergometrie – Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung ergometrischer Untersuchungen

Ergebnisbericht einer Klausurtagung in Titisee am 7. und 8. 12. 1984

Gastherausgeber: H. Löllgen<sup>1</sup> und H.-V. Ulmer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Medizinische Klinik, St. Vincenz-Krankenhaus, Limburg

<sup>2</sup> Abteilung Sportphysiologie, Universität Mainz

Teilnehmer: N. Bachl (Wien), H. Dickhuth (Freiburg), I.-W. Franz (Berlin), I. Heidelberg (Freiburg), H.G. Hirzel (Zürich), J. Horak (Prag), B.-K. Jüngst (Mainz), H. Just (Freiburg), W. Kanaan (Hamburg), W. Kindermann (Saarbrücken), F. Kraus (München), H. Löllgen (Limburg), H.H. Renemann (Frankfurt), R. Rost (Köln/Dortmund), K.-H. Rühle (Freiburg), L. Samek (Bad Krozingen), F. Schnellbacher (Leverkusen), J. Schulte (Essen), U. Smidt (Moers), H.-V. Ulmer (Mainz), E. Weis (Bad Soden-Allendorf), sowie unter Mitarbeit von M. Pfisterer (Basel), E. Sauer (Landshut), A. v. Ungern-Sternberg (Höxter)

### Einführung

Hauptanliegen der Tagung war es, Mediziner verschiedener Disziplinen zusammenzubringen, die sich innerhalb ihres Fachgebietes mit der Ergometrie befassen. Die Teilnehmer vertraten folgende Gebiete:

Physiologie, Arbeitsmedizin, Innere Medizin mit Kardiologie, Pneumologie und Nuklearmedizin, Sportmedizin, Flugmedizin sowie Pädiatrie. Ziel dieser Tagung, der ersten dieser Art, war die Beantwortung folgender Fragen:

- Was ist gesichert in der Ergometrie, was ist umstritten?
- Welche Empfehlungen können dem praktisch tätigen Arzt gegeben werden?
- Welche Punkte bedürfen der weiteren Bearbeitung?

Auf dieser ersten Tagung wurden fünf Punkte zur Diskussion gestellt:

- Indikationsliste zur Ergometrie
- Untersuchungsprogramm
- Standardisierung
- Qualitätskontrolle
- Referenzwerte.

Es bestand Übereinstimmung darüber, daß nicht für alle Fragestellungen ein einziges Untersuchungsprogramm angewendet werden kann. Es sollten aber Varianten erarbeitet werden, die dem in Praxis, Klinik und bei arbeits- und sportmedizi-

nischen Untersuchungen tätigen Arzt empfohlen werden können.

### Indikationen zur Ergometrie

#### Diagnostische Indikation

- Beurteilung des Funktionszustandes des Gesunden, Kranken und Sportlers
- Eignungstests (Sportmedizin, Arbeitsmedizin, Flugmedizin)
- Wissenschaftliche Untersuchungen
- Fahndung nach latenten Krankheiten (klinische Indikation)

#### – Nichtinvasiv:

Koronare Herzkrankheit  
Arterieller Hochdruck  
Hyperkinetisches Syndrom  
Belastungs-Asthma

#### – Invasiv:

Herzinsuffizienz unterschiedlicher Genese  
Pulmonalarterieller Hochdruck  
Störung des respiratorischen Gasaustausches

- Empfehlungen für Leistungsintensitäten im täglichen Leben:

bei sportlicher Betätigung (z.B. Koronargruppe), bei Gesunden vor Aufnahme eines Trainings, bei Patienten mit kardialen oder pulmonalen Erkrankungen, bei Hochdruckpatienten.

**Indikationen zur Kontrolle von Interventionen**

- Medikamentöse Behandlung
- Physikalische Maßnahmen
- Koronargruppenteilnahme
- Operative Maßnahmen (Bypass – Op., Katheterdilatation)

**Prognostische Indikation**

Beurteilung des spontanen Verlaufes, des Eintretens einer neuen Erkrankung oder von Komplikationen.

*Kommentar:* Es bestand weitgehende Übereinstimmung darüber, daß die ergometrische Untersuchung nicht als reiner Leistungstest, sondern stets als „Provokationstest“ vorgenommen werden sollte, abgesehen von wissenschaftlichen Fragestellungen in Sport- und Arbeitsmedizin. Die Leistungsvorgabe beim Provokationstest sollte stets so hoch sein, daß bis zum Erreichen der altersentsprechenden Leistung oder maximalen Herzfrequenz belastet wird, sofern keine Kriterien vorliegen, die einen früheren Abbruch rechtfertigen.

Die vorliegende *Indikationsliste* ist deshalb besonders wichtig, da *vor* einer ergometrischen Untersuchung eine eindeutige Fragestellung und somit eine klare Indikation gegeben sein muß.

**Untersuchungsprogramm**

Zur Beschreibung eines vorgegebenen Untersuchungsablaufes wurde der Begriff „Untersuchungsprogramm“ anstelle von „Untersuchungsprotokoll“ übereinstimmend empfohlen. Unter Protokoll sollten die Aufzeichnungen *während* und *nach* einer Untersuchung verstanden werden.

**Tabelle 2.** Empfehlungen für ein Untersuchungsprogramm für die Laufbandergometrie

Anwendungsbereich	Eingangsbelastung	Steigerung
Klinik (Patienten)	4 km/h, 2,5% oder 4–6 km/h (0%) (Gehen)	2,5%/3 min 1 km/h/3 min
	ab 7 km/h (0%) Laufen.	
Sportmedizin	8–10 km/h, (2–2,5 m/s) 1–1,5% bzw. 5%	2 km/h/3 min (0,5 m/s)
Angiologie	3,6 km/h (12,5%) oder 4,0 km/h (10%)	Bis Schmerzempfinden
Pneumologie	4–6 km/h (5,0%) mehr als 6 min oder 8–10 km/h (0%)	Bis Belastungsdyspnoe

Für das Untersuchungsprogramm in der Ergometrie werden folgende Empfehlungen gegeben (Tabelle 1, Tabelle 2).

**Hinweise zum methodischen Vorgehen**

Alle Messungen sollen jeweils in den letzten 45–60 s einer jeden Belastungsminute durchgeführt werden, die Blutdruckmessungen in den letzten 30 s einer jeden Belastungsstufe, ebenso die Blutentnahme zur Laktat- und Blutgasbestimmung.

Nach Belastungsende kann für eine Minute leer getreten werden. Dies wird besonders bei Belastun-

**Tabelle 1.** Empfehlungen für ein Untersuchungsprogramm für die Fahrradergometrie

Anwendungsbereich	Eingangsstufe	Steigerung
Praxis, Klinik, („Routineergometrie“) Arbeitsmedizin	50 Watt (bei erhöhter Leistungsfähigkeit 75–100 Watt)	25 Watt/2 min
Praxis, Klinik, Begutachtung, Nuklearmed. Untersuchungen	50 Watt (bei eingeschränkter Leistungsfähigkeit: 25 Watt)	25 Watt/2 min
Pneumologie, (bei Bestimmung der Blutgase, evtl. bei Rechtskatheter)	(25) 50 Watt	25 Watt/5 min
Pädiatrie	1 W/kg KG*	0.5 W/kg KG* für 3 min
Sportmedizin	50 Watt (♀) 100 Watt (♂) [evtl. 150 Watt]	50 Watt/3 min Im Bereich der Ausbelastung evtl. Steigerung um 25 Watt.

*Vorbedingungen:* Vorphase: 5 min. Als Ruhewerte werden die Messungen der letzten 3 min vor Belastungsbeginn herangezogen, jedoch alle Meßwerte in Ruhe notiert.  
Nachphase: 6 min. In dieser Zeit Messung von Blutdruck und Herzfrequenz, Registrierung des EKG. (\* = Körpergewicht)

**Tabelle 3a.** Programm zur Laufbandbelastung für Normalpersonen (Bruce-Programm). [6]

Stufe	Bandgeschwindigkeit (km/h)	Neigungswinkel (%)	Dauer (min)
1	2,75	10	3
2	4,0	12	3
3	5,5	14	3
4	6,75	16	3
5	8,0	18	3
6	8,85	20	3
7	9,65	22	3

**Tabelle 3b.** Entsprechendes Programm für Rehabilitationsuntersuchungen bzw. Patienten (Bruce-Programm)

Stufe	Bandgeschwindigkeit (km/h)	Neigungswinkel (%)	Dauer (min)
1	2,75	0	3
2	3,2	0	3
3	3,2	3,75	3
4	3,2	7,75	3
5	4,8	5,0	3
6	4,8	7,5	3
7	4,8	10,0	3

gen im Sitzen empfohlen und hier wiederum nach Maximalbelastungen, um orthostatische Reaktionen (Kollaps durch vagale Stimulation) nach Belastungsende zu vermeiden.

Bei einem Untersuchungsprogramm für spe-

**Tabelle 4.** Programm nach Naughton für Laufbandergometrie [34]

Stufe	Bandgeschwindigkeit (km/h)	Neigungswinkel (%)	Dauer (min)
1	3,2	0	3
2	3,2	3,5	3
3	3,2	7	3
4	3,2	10,5	3
5	3,2	14	3
6	3,2	17,5	3
7	4,8	12,5	3
8	4,8	15	3
9	4,8	17,5	3
10	4,8	20	3
11	4,8	22,5	3
12	5,5	20	3
13	5,5	22	3
14	5,5	24	3
15	5,5	26	3

**Tabelle 5.** Vergleich verschiedener Belastungsintensitäten bei verschiedenen Belastungsformen und bei Bezug auf die Sauerstoffaufnahme. Ein Met entspricht einem metabolischen Äquivalent, wobei 1 Met = 3,5 ml/kg/min. Sauerstoffaufnahme entspricht [28]

Funktions Grad	Klinisch. Status	O <sub>2</sub> -Bedarf (MET) (ml/kg/min)	Laufband-Test			Fahrrad-Ergometer für 70 kg Körpergewicht (Watt)
			Bruce 3-min Stufen	Kattus 3-min Stufen	Balke % Steigung bei 5,5 km/h	
Normal und I	körperl. aktive Person	56,0	km/h % Steigung			24
		52,5				
		49,0	6,4	22	22	250
		45,5	6,7	16	20	
		42,0	6,4	18	18	225
		38,5			16	200
		35,0	6,4	14	14	175
		31,5	5,5	14	12	150
		28,0	6,4	10	10	125
		24,5	4,8	10	8	100
II	Gesund, inaktive P.	21,0			6	75
		17,5	2,75	10	3,2	10
III	krank, Erholung	14,0			2	25
		10,5				
IV	krank, Symptomat.	7,0				
		3,5				

zielle Fragestellungen in der Arbeitsmedizin kann auch mit einer Eingangsstufe von 0 Watt begonnen werden mit einer rampenförmigen Steigerung um 30 Watt/min. Einige Autoren empfehlen auch 75 Watt als Eingangsstufe (Nichtsportler) bzw. 125 Watt (Sportler). Bei nuklearmedizinischen Untersuchungen sollte die Belastung alle 2 (bis 3) min gesteigert werden. Entscheidend ist das Erreichen einer maximalen Beanspruchung. Bei der Thalliumszintigraphie muß 30–60 s vor Belastungsabbruch Thallium injiziert werden.

Bei der Nuklidangiographie ist die Belastung bei Auftreten der Symptomatik oder bei Erreichen der Ausbelastung noch für 30–60 s fortzuführen, um ausreichende Impulse für eine Auswertung zu erhalten.

Einige dieser Hinweise gelten in entsprechender Weise für die Laufbandergometrie (Tabelle 2).

Für die klinische Routine sind ferner die Programme nach Bruce (Tabelle 3) und nach Naughton (Tabelle 4) zu empfehlen. Diese werden in den USA als Routineverfahren eingesetzt und sind international anerkannt. Zur Vergleichbarkeit bei wissenschaftlichen Untersuchungen sind diese Testprogramme empfehlenswert, Umrechnung evtl. über das metabolische Äquivalent (MET) (Tabelle 5).

#### *Kommentar zu den Untersuchungsprogrammen*

Die aufgeführten Empfehlungen entsprechen weitgehend denen der ICSSPE (siehe Anlage 1). Gewichtsbezogene Belastungsprogramme werden *nicht* empfohlen, da diese für die Routine nicht erforderlich sind. Allerdings kann man je nach Fragestellung *nachträglich* die Leistung auf das Körpergewicht oder die Körperoberfläche beziehen und mit den entsprechenden Referenzwerten vergleichen. So spielt beim Tragen schwerer Lasten primär die absolute Leistungsfähigkeit eine Rolle. Wird nur das eigene Körpergewicht transportiert, sollte die Leistung auf das Gewicht bezogen werden. Steht die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Muskulatur im Vordergrund, sollte auf das fettfreie Körpergewicht bezogen werden [47].

Bedingt durch die unterschiedliche Hämodynamik lassen sich die Ergebnisse fahrradergometrischer Untersuchungen im Liegen mit denen im Sitzen nicht oder nur begrenzt vergleichen [46].

#### **Qualitätskontrolle**

Eine Qualitätskontrolle in der Ergometrie ist wird übereinstimmend als notwendig angesehen. Der

aktuelle Stand ist in neueren Veröffentlichungen ausführlich dargestellt worden. [20, 29] (Anlage 2).

- Empfehlungen der Klausurtagung (s. u.).
- Checkliste (s.S. 655)
- Qualitätsrichtlinien für die Belastungselektrokardiographie (Deutsche Gesellschaft für Kreislaufforschung (Anlage 2).

Die Qualitätskontrolle sollte auch Aspekte der allgemein akzeptierten Gütekriterien einschließen (Anhang 3). die Durchsicht der Literatur zeigt, daß diese Gütekriterien noch nicht in vollem Umfang für alle Meßgrößen der Ergometrie geprüft wurden. Lediglich für das Belastungs-EKG sind diese Gütekriterien weitgehend untersucht. In den Bereich der Qualitätskontrolle gehören auch die Kenntnis und Beachtung der Deklaration von Helsinki. Auch Aufklärungsbögen und Einverständniserklärungen für Probanden und Patienten sollten bekannt sein und eingesetzt werden. Aufgrund der niedrigen Komplikationsrate dürfte für die Ergometrie in Klinik und Praxis eine mündliche Aufklärung genügen. Für wissenschaftliche Untersuchungen außerhalb der Klinik wird eine schriftliche Bestätigung der Aufklärung empfohlen (Muster in der Anlage 4, 5).

#### *Maßnahmen zur Verbesserung der Qualitätskontrolle von ergometrischen Untersuchungen (Vorschlag der Klausurtagungs-Teilnehmer)*

1. Nur *Ergometer* mit einem Kalibrierprotokoll sollten in Klinik, Instituten und Praxen eingesetzt werden. Dieses Protokoll sollte von einer amtlichen Prüfanstalt stammen oder von einer Firma, deren Kalibrierprotokolle einer regelmäßigen, neutralen Kontrolle unterliegen, wie zum Beispiel der Physikalisch-technischen Prüfanstalt (Bauartenanforderung, Anlage 6)

2. Regelmäßige Kalibrierungen sollten alle 2 Jahre erfolgen.

3. Einrichtung von Fort- und Weiterbildungseminaren für solche Ärzte und technische Assistentinnen, die regelmäßig ergometrische Untersuchungen durchführen.

4. Bei den Untersuchungsbedingungen der Ergometrie (s. S. 656) sollten die von den Standardisierungsvorschriften *abweichenden* Bedingungen festgehalten werden (z.B. Temperatur, Luftfeuchte).

5. Die Meßbedingungen für Herzfrequenz, Blutdruck und sonstige Parameter sollten den o.a. (s. S. 652) Richtlinien folgen.

6. Vor Belastungsbeginn ist ein Ruhe-EKG abzuleiten und die Unbedenklichkeit der Ergometrie vom überwachenden Arzt zu erklären.

### Geräte

1. Ergometer: Typ/Hersteller: Erstkalibrierung am: %  
Letzte Kalibrierung am: Mittlere Abweichung der Leistung: %
2. Blutdruckmeßgerät: Letzte Eichung am:
3. Registriergerät: EKG: Überprüfung am: Nullpunktdrift ( );  
Synchrone Einstellung der Kanäle ( ); Einstellzeit ( );  
Frequenzfilter bei Registrierung eingeschaltet (ja/nein).  
Kontrolle der Papiervorschubgeschwindigkeit (ja/nein)
4. Elektrodenkontrolle: Letzte Kontrolle am:
5. Registrierqualität des Belastungs-EKG: Gut ( ) Ausreichend ( ) Unzureichend ( )
6. Atemstromrezeptor: Kennlinie geprüft am: mit dem Gerät der Fa.  
Linearität zwischen l/s und l/s gegeben.  
Korrekturfaktor für Fluß von bis l/s:
7. Oszilloskop: Funktion überprüft am: Mängel (ja/nein)
8. Defibrillator: Funktion überprüft am:  
Einweisung des Personals am: Übung mit Personal am:  
Gerät während Ergometrie eingeschaltet (ja/nein)

### Untersuchungsbedingungen

9. Labordaten: Luftfeuchte (Zweipunkteichung): notiert (ja/nein)  
Raumtemperatur: notiert  
(Registrierung sofern außerhalb der Standardisierungsbedingungen).
10. Notfall: Notfallmaßnahmen schriftlich festgelegt (ja/nein)  
(Tel.Nr. NAW, Krankenhaus, Intensivstation)  
Notfallausrüstung und -medikamente vorhanden (ja/nein)  
Letzte Überprüfung am: ;  
Letzte Notfallübung durchgeführt am:
11. Untersuchungsprogramm: Schriftlich fixiert (ja/nein); Anfang- und Endbelastung festgelegt (ja/nein);  
Abbruchkriterien festgelegt (ja/nein);  
Symptome während Belastung und Abbruchgründe dokumentiert (ja/nein);  
EKG-Erfassung und Dokumentation möglich (ja/nein).
12. Voruntersuchungen: Patienten regelmäßig informiert (ja/nein);  
Anforderungsschein mit Fragestellung liegt vor (ja/nein);  
Klinische Untersuchung vor Untersuchung erfolgt (ja/nein)  
Ruhe-EKG vor Untersuchung registriert und vom Arzt beurteilt (ja/nein);  
Einverständniserklärung
13. Weiterbildung: Letzte Weiterbildung des techn. Personals am:  
des ärztl. Personals am:
14. Anwesenheit des Arztes gegeben (Klinik, Praxis) (ja/nein);  
Arzt sofort erreichbar (Arbeits- und Sportmedizinische Untersuchungen) (ja/nein);
- Hinweis: Zweijährliche Kontrolle: Ergometer und Blutdruckmeßgerät.  
Jährliche Kontrolle: Registriergerät(e), Oszilloskop, Weiterbildung,  
Halbjährliche Kontrolle: Elektroden, Untersuchungsprogramm, Voruntersuchungen durchgeführt.  
3monatliche Kontrollen: Atemstromrezeptor, Defibrillator, Notfallmaßnahmen.  
Monatliche Kontrolle: Punkt 5, Punkt 9 (Labordaten).

7. Bei klinischer Indikation zur Ergometrie muß ein Arzt anwesend sein, bei arbeits- oder sportmedizinischer Indikation muß ein Arzt sofort erreichbar sein.

8. Bei der Ergometrie in Klinik und Praxis (Patienten) sollte der Arzt die Basismaßnahmen der kardiopulmonalen Wiederbelebung beherrschen (ABC-Maßnahmen, Gabe von Adrenalin, Einführen des Safar-Tubus, evtl. Intubation). Bei Untersuchungen von Patienten muß ein Defibrillator vorhanden sein.

*Kommentar:*

Über die Möglichkeit, die Qualitätskontrolle durch Ringversuche zu verbessern, wurde diskutiert, eine Empfehlung hierzu wurde nicht gegeben. Eine solche Untersuchung sollte für die Zukunft geplant werden. Die Kontrolle betrifft vor allem:

- Qualität der EKG-Registrierung
- Qualität der Beurteilung der Ergometrieergebnisse.

Ein Vorschlag für einen Dokumentationsbogen für die Qualitätskontrolle ist auf S. 655 dargestellt.

*Bedingungen zur Durchführung eines Ergometer-tests*

<i>Voruntersuchung:</i>	Anamnese, körperliche Untersuchung, Ruhe-EKG; Ruhe-Blutdruck. Medikamentenanamnese.
<i>Methodik:</i>	Raumtemperatur (18–23° C), Abweichung notieren. Relative Luftfeuchte (40–60%), Abweichung notieren. Kalibriertes Ergometer. Monitorkontrolle oder fortlaufende EKG-Registrierung. Drehzahl im empfohlenen Bereich (60 U/min bis 75 U/min). Blutdruckmessung während Belastung.
<i>Proband:</i>	Normale Körpertemperatur. Mindestens 2 h Abstand zur letzten Mahlzeit und zu schweren körperlichen Belastungen. 12 h Abstand nach Alkohol und Nikotin.
<i>Medikamente:</i>	Ausreichend lange Pause (z.B. $\beta$ -Blocker, Digitalis).
<i>Untersucher:</i>	Erfahrener Arzt (Qualifikationsnachweis) anwesend.

*Kommentar:* Bei Gutachten, sport- und arbeitsmedizinischen Untersuchungen, aber auch in der Klinik bei Verlaufsbeobachtungen und Erfolgskontrollen können Fehler bei Wiederholungsuntersuchungen auftreten.

*Häufige Störfaktoren bei der Beurteilung von wiederholten Belastungsuntersuchungen*

- Zirkadianer Rhythmus nicht beachtet
- Untersuchung vor oder kurz nach einer Mahlzeit
- Ungleiche Intervalle zwischen zwei Tests
- Änderungen der individuellen Leistungsfähigkeit oder
- Spontanvariation der Symptomatik im Beobachtungszeitraum
- Aufwärmen vor dem Test
- Unterschiedliche Raumtemperatur oder Luftfeuchte
- Fehlende Angabe und Berücksichtigung von Medikamenten
- Unzureichende Berücksichtigung der Pharmakokinetik der verschiedenen Medikamente
- Unterschiedliche Ergometer
- Unterschiedliche Elektrodenposition.
- Vorausgegangene schwere körperliche Belastung.

*Notfallausrüstung*

**Geräte**

Stethoskop  
Blutdruckmeßgerät  
Mundspatel,  
Lampe (geladen, funktionstüchtig)  
Spritzen, Punktionskanülen, Verweilkanülen,  
Stauschlauch,  
Guedeltubus, Safartubus, Beatmungsmaske  
Beatmungsbeutel  
evtl. Intubationsbesteck  
evtl. Sauerstoffflasche mit Reduzierventil  
Absauggerät  
Defibrillator  
(Telefon)

**Medikamente**

Sympathikomimetika:  
Adrenalin, Dopamin, Dobutamin  
Vagolytika:  
Ipratropiumbromid, Atropin  
Antiarrhythmika:  
Lidocain, Propafenon  
 $\beta$ -Blocker, Verapamil  
(Digoxin) (Orciprenalin evtl. bei Bradykardien)  
Antianginosa:  
Nitroglycerin (Spray, Kapsel)  
Nifedipin (Kapsel zu 10 mg)  
Antihypertensiva:  
Nifedipin (Kapsel, 10 mg)  
Urapidil  
Clonidin  
Sedativa und Analgetika  
Diazepam, Opiate,  
Tilidin

Diuretika:  
 Furosemid  
 Bronchodilatoren:  
 Aminophyllin, Fenoterol  
 Infusionslösungen:  
 Natriumbikarbonat,  
 Glukose (5%)  
 Sauerstoff

### Kontraindikationen zur Ergometrie

Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems mit erheblicher Beeinträchtigung der kardiopulmonalen Funktion.

(Herzinsuffizienz bei Vitien, Kardiomyopathien, koronarer Herzkrankheit), schwere Arrhythmien, Thrombosen, Maligner Hochdruck, schwere pulmonale Hypertonie, symptomatische Aortenstenose

Schwere Erkrankungen anderer Organsysteme (Pneumonie, Cholecystitis, floride Hepatitis, Nephritis)

Allgemein gilt:

- In der Praxis sind strengere Kriterien für die Kontraindikationen anzulegen als in der Klinik;  
 In der Klinik, besonders in Spezialabteilungen, ist die Ergometrie auch bei manifesten Erkrankungen oder schweren Befunden (Vitien, koronare Herzkrankheit) mitunter notwendig, um über das weitere therapeutische Vorgehen entscheiden zu können.
- Kontraindikationen und Abbruchkriterien richten sich in erster Linie nach
  - Erfahrung des untersuchenden Arztes und
  - den Möglichkeiten, bei Komplikationen die adäquaten Sofortmaßnahmen einleiten zu können.

### Abbruchkriterien der Ergometrie

#### Subjektive Symptome

Schwindel, Ataxie,  
 Progrediente Angina pectoris (\*)  
 Progrediente Dyspnoe (\*)

#### Objektive Befunde

EKG-Veränderungen:

#### Progrediente Arrhythmien

Couplets, Salven, Kammertachykardien, zunehmende supraventrikuläre Extrasystolen, Vorhoftachykardien, Vorhofflattern. Neu auftretendes Vorhofflimmern.

#### Progrediente Erregungsleitungsstörungen

Zunehmende QRS-Verbreiterung, Auftreten eines Linksschenkelblockes (\*\*).

#### Progrediente Erregungsrückbildungsstörung

(ST-Streckensenkung) Horizontale Senkung über 0,2 mV (\*\*\*) Progrediente ST-Hebung Monophasische Deformierung (Immer Abbruch)

Hämodynamik:

Progredienter Blutdruckabfall  
 Unzureichender Blutdruckanstieg (weniger als 10 mmHg pro Belastungsstufe).  
 Übermäßiger Blutdruckanstieg (\*\*\*\*)

*Kommentar:* Die Abbruchkriterien richten sich nach der Erfahrung des Untersuchers und seinen Möglichkeiten, an der Untersuchungsstelle, evtl. Komplikationen zu beherrschen. Vor allem in Spezialabteilungen (Kardiologie, Pneumologie) ist das Fortführen der Ergometrie trotz erreichter Abbruchkriterien bei bestimmten Fragestellungen und unter entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen möglich oder sogar notwendig.

In der Praxis wird man eher die Ergometrie auch bei fraglich pathologischen Werten abbrechen und bei komplexen kardialen Erkrankungen (Vitien, koronare Herzkrankheit mit Linksinsuffizienz oder Linksschenkelblock) die Ergometrie nicht durchführen.

(\*) Für diesen Punkt gilt: In der Klinik evtl. Fortsetzung der Ergometrie möglich (z.B. Frage des Durchgephänomens), in der Praxis eher Abbruch der Belastung.

(\*\*) Patienten mit Linksschenkelblock sollten nur submaximal belastet werden, in der Klinik höhere Belastung eher vertretbar.

(\*\*\*) Fortsetzung der Belastung bei stärkerer ST-Senkung nur bei speziellen klinischen Fragestellungen, z.B. wenn bestimmte Interventionen (Medikamente, Angioplastie) überprüft werden sollen.

(\*\*\*\*) Aus der bisherigen Literatur sind Komplikationen durch zu hohen Blutdruck während der Ergometrie nicht bekannt. Daher ist die Angabe eines oberen Grenzwertes schwierig. Bei Trainierten werden systolische Druckwerte über 250 mmHg nicht selten beobachtet, für Leistungen oberhalb 300 Watt sind sie typisch.

Für die Praxis gilt als Richtwert, daß bei Druckwerten systolisch über 250 mmHg, diastolisch über 130 mmHg abgebrochen werden sollte, falls bestimmte Begleitumstände (Alter, Krankheiten, Hochdruck, koronare Herzkrankheit etc.) vorliegen.

Das Erreichen der maximalen Herzfrequenzwerte ist *kein* Abbruchgrund, sondern zeigt lediglich das Erreichen des Ausbelastungsbereiches an, die Ergometrie kann fortgesetzt werden.

### Referenzwerte

#### Leistung

Eine einheitliche Empfehlung für Referenzwerte der Leistung wurde nicht gegeben, vielmehr wurden vier Vorschläge akzeptiert:

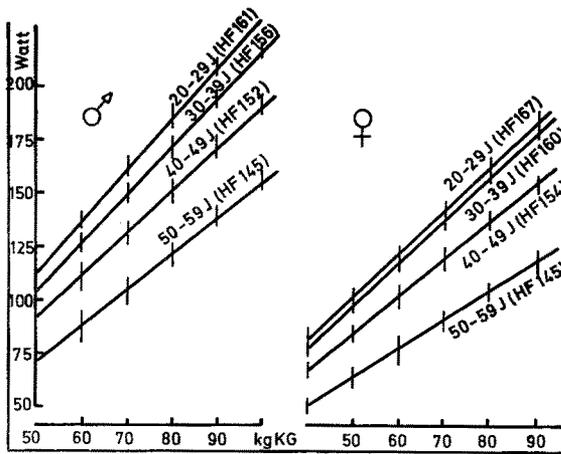


Abb. 1. Nomogramm zur Ermittlung der Soll-Leistung (75% der Maximalleistung) für Frauen und Männer in Abhängigkeit von Alter und Gewicht (WHO-Nomogramm [26])

- WHO-Schema (Abb. 1)
- Empfehlung nach Rost et al. (s.u.) [39].
- Referenzwerte nach Arstila [2] (Tabelle 6)
- Nomogramm nach Bühlmann (Abb. 2).

Allgemein wurden die Werte nach der WHO-Studie als brauchbar angesehen, die Abb. 1 beinhaltet aber nur die Werte für 75% der maximalen Leistungsfähigkeit. Für die ansteigende Ergometrie im Liegen haben sich diese Zahlen bewährt.

Für die Routine sind die Werte nach Rost [39] brauchbar:

*Solleistung* ( $W_{max}$ )(Männer): 3 W/kg Körpergewicht für 20–30jährige, Abzug von 10% pro Lebensdekade.  
 (Frauen): 2,5 W/kg Körpergewicht, Abzug von 10% pro Lebensdekade.

Der Bezug der erzielten Leistung auf das Körpergewicht erfolgt *nach* der Ergometrie.

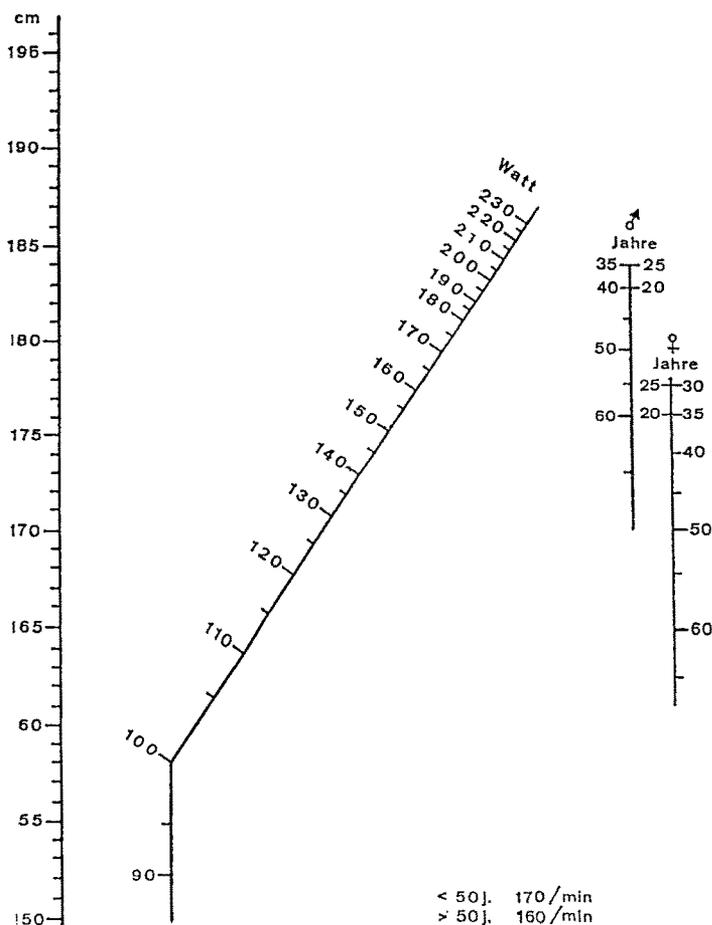
Die Referenzwerte (Tabelle 6) für Männer sind etwas zu hoch, für Frauen eher zu niedrig. Ihr Vorteil ist, daß sie die *maximalen* Werte für die Leistung angeben.

In der Schweiz werden Referenzwerte nach Bühlmann (Abb. 2) häufig verwendet.

Sollwerte für die Leistung an der *Kletterstufe* finden sich bei Kaltenbach [22], solche für Sportler

Tabelle 6. Soll-Werte für die maximale Leistung bei ansteigender Belastung nach Alter, Geschlecht und Körpergröße [2]

Gewicht	Alter (J.)									
	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	
<i>Männer</i>										
60–65	220	210	200	185	175	170	155	150	135	
66–69	225	215	205	195	180	175	160	155	140	
70–73	230	220	210	200	190	180	165	160	145	
74–77	235	225	215	205	195	185	170	165	150	
78–81	240	230	220	200	190	180	170	160	150	
82–85	245	235	225	215	205	195	185	175	160	
86–89	250	240	230	220	210	200	190	180	170	
90–93	255	245	235	225	215	205	195	185	175	
94–97	260	250	240	230	220	210	200	190	180	
98–101	265	255	245	235	225	215	205	195	185	
102–105	270	260	250	240	230	220	210	200	190	
106–109	280	270	260	250	235	225	215	205	195	
<i>Frauen</i>										
40–45	110	105	100	95	90	90	85	75	75	
46–49	115	110	105	100	100	95	90	85	80	
50–53	120	115	110	105	100	100	95	90	85	
54–57	125	120	120	115	110	105	100	100	95	
58–61	130	125	125	120	115	110	105	100	100	
62–65	135	135	130	125	120	120	115	110	105	
66–69	140	140	135	130	130	125	120	115	110	
70–73	150	145	140	135	130	130	125	120	115	
74–77	155	150	145	140	135	135	130	125	120	
78–81	160	155	150	150	145	140	135	130	130	
82–85	165	160	155	150	150	145	140	140	135	
86–89	170	165	160	160	155	150	145	140	140	



**Abb. 2.** Nomogramm zur Bestimmung des Soll-Wertes der Arbeitskapazität nach Bühlmann. Die ermittelten Werte ergeben in Abhängigkeit von Körpergröße, Alter und Geschlecht die maximale Soll-Leistung [5]

bei Szögy [44] sowie Rost [39]. Sollwerte für die *Laufbandergometrie* finden sich bei Ellestadt [11] neuere Werte sind von Bachl [4] (Tabelle 7) vorgeschlagen worden.

Umrechnungsmöglichkeiten und Bezug auf die klinische Beurteilung enthält die Tabelle 5. Über das metabolische Äquivalent sind hier Umrechnungen auch auf Laufbandbelastungen möglich. Die Benutzung dieser Darstellung ist insbesondere bei vergleichenden Untersuchungen sinnvoll.

Referenzwerte für Kinder finden sich bei Rost et al. [39].

### Herzfrequenz

Referenzwerte für die Herzfrequenz während Fahrradergometrie sind von verschiedenen Autoren mitgeteilt worden [11, 26, 28, 30, 39]. Einheitliche Empfehlungen wurden bisher nicht gegeben. Für maximale und submaximale Frequenzwerte werden die Angaben nach Tabelle 8 weitgehend akzeptiert. Als Faustregel für die Fahrradergometrie im Sitzen gilt:  $HF_{max} = 220 - \text{Alter}$ . Nach

Lange-Andersen kann die folgende Formel benutzt werden:  $HF_{max} = 210 - 0,8 \text{ Alter}$  [26].

Empfehlungen für Werte bei submaximaler Belastung können nicht ohne Einschränkung gegeben werden, da die Methodik der jeweiligen Untersuchung (Probandenauswahl, apparatives Vorgehen und Methodik der Ergometrie) erheblich variiert. Werte nach Hollmann sind weit verbreitet [21, 39]. Weitere Referenzwerte finden sich bei Mellerowicz [30] und bei Löllgen [28]. Referenzwerte für die Laufbandergometrie bei Ellestadt [11] und Fröhlicher [15], Referenzwerte für Sportler bei Bachl [4].

### Arterieller Blutdruck

#### Methodische Hinweise

Ablesen des diastolischen Druckes in Ruhe bei Phase 5 (Verschwinden der Korotkov Töne), während Belastung bei Phase 4, (Leiserwerden!) Ungeklärt ist, inwieweit Ergebnisse halb- oder vollautomatische Blutdruckmeßgeräte verglichen werden können.

**Tabelle 7.** Referenzwerte für die maximale Leistung in Watt sowie für die maximale Laufgeschwindigkeit, bezogen auf das Körpergewicht. Belastungsprogramm mit 5% Steigung und Standardempfehlung wie Tabelle 2. Die Werte für Sportler gelten nur als Richtwerte [4]

	Körperlich inaktive Personen	Körperlich aktive Personen (Trainingszustand)			
		mäßig	gut	sehr gut	Höchstleistung
NP ♂	-3	3,1-3,5	3,6-4,1	4,2-4,7	4,8-
NP ♀	-2,5	2,6-2,9	3,0-3,3	3,4-3,8	3,9-
(Watt/kg max.)					
Ausdauersportler ♂		4,1-4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-
Ausdauersportler ♀		3,3-3,7	3,8-4,2	4,3-4,7	4,7-
(Watt/kg max.)					
Radrennfahrer ♂		4,5-5,0	5,1-5,6	5,7-6,1	6,2-
Radrennfahrer ♀		3,7-4,2	4,3-4,8	4,9-5,3	5,4-
(Watt/kg max.)					
NP ♂	9,5-10,5	10,6-12	12,1-14	14,1-16	
NP ♀	7,3- 8,4	8,5-9,7	9,8-11,6	11,7-13,4	
(km/h max. bei 5% Steigung)					
Ausdauersportler (LA) ♂		14-16	16,1-18,0	18,1-20	20,1-22
Ausdauersportler (LA) ♀		11,5-12,5	12,6-14,1	14,2-16,0	16,1-18
(km/h max. bei 5% Steigung)					

**Tabelle 8.** Maximale und submaximale Herzfrequenzwerte für verschiedene Altersgruppen

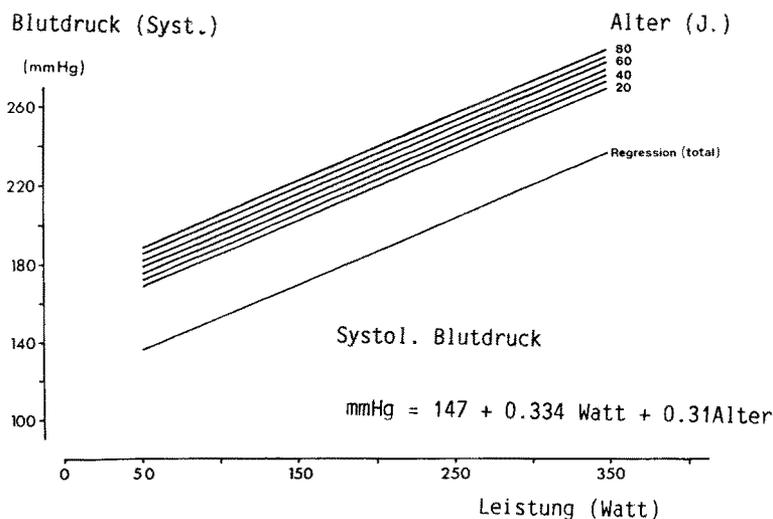
	Altersdekade (Jahre)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
Maximale Herzfrequenz	190	182	179	171	164
85% der maximalen Herzfrequenz	162	155	152	145	139

Die Zahlen entstammen Arbeiten von 10 verschiedenen Untersuchern (AHA Committee Report, Circulation, 1979). Für die submaximalen Frequenzwerte muß eine Standardabweichung von 10% angenommen werden

Die Bestimmung des Blutdruckes bei Arbeit erfordert Erfahrung und Übung. Eine gründliche Überprüfung des Meßvorganges beim medizinischen Hilfspersonal ist erforderlich.

Die Referenzwerte für den arteriellen Blutdruck sind widersprüchlich. Einheitliche Empfehlungen sind wegen unterschiedlicher Methodik noch nicht zu geben.

*Faustregel:* Bei 100 Watt sollte der arterielle Blutdruck 200/100 mmHg (Sitzen) und 210/105 (Liegen) bei 30-50jährigen nicht überschreiten. Für über 50jährige gilt ein Grenzwert von 215/105 (Sitzen) [12]. Neue Referenzwerte wurden kürzlich



**Abb. 3.** Altersabhängige Referenzwerte für den systolischen Blutdruck in Abhängigkeit von der Leistung. Angegeben sind die oberen Grenzwerte (zweifache Standardabweichung). Ausführliche Angaben bei Heck [18]

**Tabelle 9.** Referenzwerte für den systolischen und diastolischen Blutdruck sowie die Herzfrequenz für Männer und Frauen unterschiedlichen Alters. Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichungen \*[13]

Leistung	20–50 j. Männer (n=173)			20–50 j. Frauen (n=150)			55–80 j. Männer (n=50)		
	HF	Ps	Pd	HF	Ps	Pd	HF	Ps	Pd
50 Watt	98,1 *11,4	154,5 *12,3	86,2 *6,5	116,4 *11,9	156,7 *14,6	87,1 *8,3	89,1 *4,9	165,9 *16,8	91,1 *8,9
60 Watt	102,9 *10,6	163,3 *11,8	87,1 *7,1	123,6 *12,9	164,3 *14,2	88,7 *8,6	93,3 *11,5	173,5 *18,4	93,2 *8,1
70 Watt	108,3 *11,3	167,7 *12,1	88,1 *7,3	131,8 *14,1	172,3 *15,0	90,1 *8,9	96,6 *13,1	178,3 *19,5	93,8 *9,2
80 Watt	113,9 *13,8	174,5 *13,3	89,5 *7,7	138,8 *12,9	178,8 *14,7	91,5 *8,3	101,1 *16,0	184,2 *19,5	94,6 *8,7
90 Watt	120,5 *13,1	180,8 *13,5	90,7 *8,2	142,6 *12,3	184,3 *14,3	91,2 *8,3	106,3 *16,0	191,1 *20,2	95,4 *8,6
100 Watt	126,3 *13,4	187,7 *14,1	91,9 *8,8	144,6 *10,4	185,5 *15,0	93,2 *7,3	110,3 *16,8	196,3 *19,5	96,1 *8,2

von Heck et al. [18] vorgelegt (Abb. 3). Allgemein wurde bemerkt, daß diese Werte wahrscheinlich zu niedrig liegen. Bei ihrer Anwendung würden fälschlicherweise zu viele einen Belastungshochdruck haben.

Die Sollwerte nach Franz [13] (Tabelle 9) lassen sich nach Abziehen von 5 mmHg auch auf Werte bei sitzender Ergometrie übertragen.

Weitere Referenzwerte finden sich bei Rost [39] und Löllgen [28], Referenzwerte des arteriellen Blutdruckes während Laufbandergometrie bei Ellestadt [11] und Fröhlicher [15]. Grenzwerte für Belastungsabbruch: Siehe Abbruchkriterien.

Entscheidend für den Abbruch aufgrund des Blutdruckwertes sind Anamnese und klinischer Befund.

Bei älteren Probanden oder Risikopatienten wird man sich aber nach den bisherigen Empfehlungen richten: Abbruch bei einem Blutdruckwert von 250 mmHg systolisch bzw. 130 diastolisch.

#### Blutgaswerte

Referenzwerte für den arteriellen Sauerstoffpartialdruck sind von verschiedenen Autoren mitgeteilt worden.

Allgemein empfohlen wird für den Ruhepartialdruck der Wert nach W.T. Ulmer [48]:

$$P_{aO_2} = 109,4 - 0,26 A - 0,098 BI^* \text{ (Männer)}$$

$$= 108,9 - 0,26 A - 0,073 BI \text{ (Frauen)}$$

$$(\pm 14,14)$$

mit A = Alter in Jahre und \* BI als Broca-Index.

Als Faustregel gilt, daß Werte bis 70 mmHg auch bei älteren noch normal sind, Werte darunter sicher pathologisch.

Für die Belastungsuntersuchung gilt:

Ein Sauerstoffpartialdruck ist dann pathologisch, wenn der Wert unter Belastung um mehr als 5 mmHg und unter den Sollwert abfällt. Diese Feststellung gilt streng genommen nur für solche Belastungsuntersuchungen, bei denen eine Belastungsstufe 4–5 min dauert, da der arterielle  $P_{O_2}$  ein relativ träges Einstellverhalten zeigt. Folgende Sollwerte für die Belastung werden vorgeschlagen [40].

$$P_{aO_2} = 76,4 + 0,027 \text{ Watt } (\pm 4,9) \text{ oder}$$

$$= 76,1 + 2,03 \dot{V}_{O_2} \text{ (ml/min)} (\pm 5,0)$$

Für die arteriell-alveoläre Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaD02) gelten folgende Empfehlungen (41):

Alter (in Jahren) unter 40 J.: <25 mmHg,  
unter 50 J.: <30 mmHg,  
über 50 J.: <35 mmHg oder weniger.

Regressionsgeraden für pulmonale Größen in Abhängigkeit von der Leistung finden sich ebenfalls bei Rühle et al. [40].

#### Kohlensäurepartialdruck

Der Referenzwert in Ruhe beträgt 44 mmHg als obere Grenze, ein Anstieg in Ruhe oder während Arbeit über diesen Wert gilt als pathologisch.

#### $P_H$ -Wert und Basen-Excess

Allgemein verbindliche Referenzwerte wurden nicht angegeben. Angaben aus der Literatur sind in Tabelle 10 enthalten. Korrelationen und Regres-

**Tabelle 10.** Referenzwerte für pH und Basenexzess in Ruhe und während Belastung [28]

Leistung (Watt)	pH		BE	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
Ruhe	7,41 ± 0,53	7,41 ± 1,07	+0,5 ± 0,56	+0,5 ± 0,99
50	7,39 ± 0,53	7,39 ± 0,96	-1,3 ± 0,35	-2,4 ± 0,99
100	7,37 ± 0,75	7,36 ± 1,09	-2,9 ± 0,55	-4,8 ± 0,90
125	7,36 ± 0,64	7,335 ± 1,2	-3,5 ± 0,61	-7,1 ± 1,10
150	7,35 ± 0,64	7,315 ± 1,4	-5,0 ± 0,66	-8,2 ± 1,36
175	7,33 ± 0,64	-	-6,1 ± 0,72	-
200	7,32 ± 1,39	-	-7,4 ± 0,81	-

sionsgeraden für die Beziehung Basenexzess zu Laktat finden sich bei Hollmann [21] sowie Kindermann (BE = -0,2 -1,1 Laktat) [24].

### Laktat

Die Bestimmung der Laktatkonzentration im arteriellen oder arterialisierten Blut hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Laktatwerte dienen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und zur Steuerung der Belastungsintensität bei Gesunden und Kranken und Trainingsüberwachung bei Trainierten und Patienten sowie als ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Asubelastung.

Das Konzept der aerob-anaeroben Schwelle hat sich als brauchbar erwiesen.

### Definitionen

Literaturhinweise bei Heck et al. und bei Bachl [19, 3].

**Punkt des optimalen Wirkungsgrades (Hollmann):** Belastung in Watt, die dem Berührungspunkt der Tangente an die Beziehung Ventilation - Sauerstoffaufnahme entspricht. Tangente von Null ausgehend. Entspricht in der Regel dem minimalen Atemäquivalent.

**Anaerobe Schwelle (Wassermann):** Beginn des exponentiellen Anstiegs der Atemminutenvolumina-Kurve während Belastung. Der Bezug erfolgt ebenfalls auf die Sauerstoffaufnahme, die Messung ist aber auch alleine aus der Kurve des Atemminutenvolumens möglich.

Definition entspricht der „Respiratory compensation threshold“, der Schwelle der dekompensierten metabolischen Azidose (Bachl).

**Sauerstoff-Dauerleistungsgrenze (Hollmann):** Die höchste Leistung in Watt, die ohne eine exponen-

tiellen Anstieg des Atemminutenvolumens oder ohne einen Anstieg der arteriellen Laktatkonzentration möglich ist.

**Aerobe Schwelle (Kindermann):** Punkt des ersten Laktatanstieges (im Mittel bei 2 mmol/l).

**Kommentar:** Die Definitionen anaerobe Schwelle, Sauerstoff-Dauerleistungsgrenze und aerobe Schwelle beschreiben weitgehend den gleichen physiologischen Mechanismus: Die obere Grenze des aeroben Stoffwechsels bei Beginn des Laktatanstieges und Beginn der nichtlinearen Zunahme von Atemminutenvolumen und/oder Kohlendioxidabgabe.

**Individuell anaerober Übergang (Pessenhofer):** Beginn der kontinuierlichen Zunahme der Netto-Laktatbildungsgeschwindigkeit.

**Aerob-Anaerobe Schwelle (Mader):** Übergang zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten Energiestoffwechselleistung. Kriterium: Laktatanstieg auf 4 mmol/l. Auch: Punkt des steilen (i.e. exponentiellen) Anstiegs der Laktatkonzentration bei stufenweise ansteigender Leistung.

**Anaerobe Schwelle (Kindermann) und OBLA - Onset of Blood Lactate Accumulation (Karlsson):** Identisch mit aerob-anaeroben Schwelle.

**Individuelle anaerobe Schwelle:** Hierunter wird die Belastungsintensität verstanden, bei der ein Anstieg der Laktatkurve von mehr als 51° 34' (i.e.  $\tan \alpha = 1,26$ ) beobachtet wird (Keul). Bestimmung über Laufbandergometrie. Nach Simon liegt der Wert bei 45° oder  $\tan \alpha = 1$ . Diese Schwelle ist nur bedingt individuell, da eine Vorgabe fester Kenngrößen erfolgt.

Nach Stegmann wird die individuelle anaerobe Schwelle definiert als Zeitpunkt, an dem die maximale Eliminationsrate und die Diffusionsrate des Blutlaktates in Gleichgewicht stehen.

Das Konzept der individuellen Schwelle wird damit begründet, daß der exponentielle Anstieg der Laktatwerte von verschiedenen Faktoren abhängt (Alter (?), Geschlecht, Trainingszustand).

Eine kritische Analyse ist kürzlich von Heck et al. mitgeteilt worden [19].

Referenzwerte finden sich in den o.a. Arbeiten sowie bei Löllgen [28], sowie bei Bachl [3, 4].

**Methodische Hinweise:** Die Blutentnahme zur Laktatbestimmung sollte am Ende einer jeden Belastungsstufe erfolgen sowie 3 und 5 min nach Belastungsende. Bei Laufbandbelastung werden üblicherweise 20 s Pause bei jeder Blutentnahme eingelegt.

**Tabelle 11.** Ausbelastungskriterien bei der spiroergometrischen Untersuchung für gesunde Probanden unterschiedlichen Alters sowie nach Trainingszustand [37]

	20.-40. LJ	Senioren 40.-60. LJ		Senioren 60.-80. LJ	
	Untrainierte	untrainiert	trainiert	untrainiert	trainiert
Laktat (mmol/l)	8 -12	6 -11	7 -12	5 -10	6 -11
BE (mmol/l)	-9 → -15	-7 → -13	-8 → -14	-6 → -11	-7 → -13
Δ BE (mmol/l)	9 → 14	6 → 12	7,5 → 14	5 → 12	6 → 12
pH	7,30 -7,20	7,35 -7,23	7,32 -7,20	7,35 -7,25	7,35 -7,23
RQ	1 -1,05	0,98 -1,02	1 -1,15	0,96 -1,05	0,98 -1,10
AEO <sub>2</sub>	30 -35	30 -35	27 -37	25 -35	27 -47

Die Laktatwerte liegen bei Laufbandbelastung etwa 1–2 mmol/l niedriger als bei Fahrradergometerbelastung. Der Basenexcess ist etwa 1–2 mmol/l größer als der entsprechende Laktatwert.

Als *Referenzwerte* für einen Laktatwert bei beginnender Ausbelastung gelten (nach Kindermann):

Kinder	≥ 6 mmol/l
Normalpersonen	20–30 J.: ≥ 7 mmol/l,
	30–50 J.: ≥ 8–10 mmol/l,
	50 J.: ≥ 7 mmol/l,
	60 J.: ≥ 6 mmol/l

Weitere Referenzwerte sind in der Tabelle 11 aufgeführt (Bachl [2]).

#### *Anwendungsgebiete der Laktatmessung während Ergometerarbeit*

Sport- und Leistungsmedizin, Patienten mit Hochdruck, koronarkranke Patienten im Rahmen der Rehabilitation, Gutachten, Patienten unter  $\beta$ -Blockade, Patienten mit Schrittmachern. Anwendung in der Klinik nur begrenzt zu notwendig. Eine allgemeine Empfehlung zur Einführung in die Klinik kann noch nicht gegeben werden.

#### *Belastungs-Elektrokardiogramm*

Methodik und Beurteilung des Belastungs-EKG sind in zahlreichen Monographien und Abhandlungen dargestellt [11, 13, 15, 22, 28, 34, 39]. Die Kommission für Klinische Kardiologie der Deutschen Gesellschaft für Herz- und Kreislaufforschung hat inzwischen Qualitätsrichtlinien für die Belastungselektrokardiographie erarbeitet und publiziert (Anlage 2). Diese Richtlinien betreffen aber nur die Diagnostik der koronaren Herzkrankheit. Weitere Qualitätsrichtlinien und Hinweise zur Durchführung können der Empfehlung

der American Heart Association [20] entnommen werden.

Fünf Punkte spielen eine Rolle:

- Personelle Voraussetzungen
- Apparative Voraussetzungen  
EKG-Gerät  
EKG-Ableitungen
- Untersuchungsprogramm
- Beurteilung der Ergebnisse und Protokoll.

Die *personellen Voraussetzungen* sind in den Qualitätsrichtlinien (Anhang 2) dargestellt. Nur ein erfahrener Arzt mit entsprechenden Kenntnissen sollte ergometrische Untersuchungen durchführen und auswerten.

Entsprechend den Voraussetzungen für Sonographie oder ähnliche Untersuchungsverfahren sollten auch Kriterien vorgelegt werden, die ein Untersucher erfüllen muß, bevor er Untersuchungen mit Belastungs-EKG durchführt (z.B. Lehrgang oder Kurs oder Nachweis einer bestimmten Anzahl von Ergometrien unter Anleitung).

Kenntnisse werden vorausgesetzt für *Indikation, Kontraindikation, Abbruchkriterien und Notfallmaßnahmen*, für die Beurteilung des Ruhe-EKG, des Belastungs-EKG einschließlich evtl. Rhythmusstörungen. Allgemeine Kenntnisse in der Notfallmedizin sollte jeder Arzt haben. Sie sind obligat, wenn man ergometrische Untersuchungen durchführt.

Fachkenntnisse werden auch beim technischen Personal vorausgesetzt, regelmäßige Weiterbildung ist wünschenswert. Technische Assistentinnen sollten Situationen erkennen können, die zum Abbruch führen, sie sollten die wichtigsten Maßnahmen beim Notfall beherrschen. Hierzu sind spezielle Weiterbildungskurse auch für technische Assistenten notwendig.

#### Geräte

Die *EKG-Überwachung* sollte obligat mit Monitor oder mit besser fortlaufender Registrierung bei langsamen Papiervorschub erfolgen. Das letztere

**Tabelle 12.** Hinweise für pathologische Veränderungen im Belastungs-EKG [28]

Das pathologische Elektrokardiogramm während Belastung	Pathologische Rhythmusstörungen im Belastungs-EKG
<p><i>ST-Senkung</i> (Ischämieaktion)</p> <p>→ horizontal, deszendierend            J-Senkung &gt; 0,1 mV und            ST-Senkung &gt; 0,1 mV            zwischen 0,06 und 0,08 s nach J</p> <p>→ langsam aszendierend            ST-Strecke 0,06–0,08 nach J &gt; 0,2 mV            unter der isoelektrischen Linie</p> <p>J-Punkt-Senkung            Senkung um mehr als 0,2 mV wahrscheinlich patholog.</p> <p><i>ST-Hebung</i></p> <p>Patholog. Kriterium: &gt; 0,1 mV            Differentialdiagnose:</p> <p>→ ohne vorausgegangenen Infarkt:            proximale RIVA-Stenose            Koronarspasmus (Prinzmetal-Angina)</p> <p>→ nach abgelaufenem Infarkt            segmentale Wandbewegungsstörungen            (A-, Hypo-, Dyskinesie, Aneurysma)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Supraventrikuläre Extrasystolen            &gt; 5/min            Polytopes Auftreten            Intermittierende (belastungs-induzierte) absolute            Arrhythmie mit Vorhofflimmern oder -flattern            Supraventrikuläre Tachykardie</li> <li>● Ventrikuläre Extrasystolen            Lown ≥ 3            Idioventrikuläre Rhythmen</li> <li>● Reizbildungs- und Überleitungsstörungen            SA-Block, II, III            AV-Block, I–III            Rechtsschenkelblock            Hemiblöcke            Bifaszikuläre Blöcke            Linksschenkelblock            (sofern sie während Belastung neu auftreten,            auch frequenzabhängig)</li> </ul>

Vorgehen ermöglicht eine Dokumentation von Arrhythmien unter Belastung.

### EKG-Ableitungen

Für ein jedes Belastungs-EKG sind mindestens drei simultane EKG-Ableitungen zu fordern (V2, V4, V5). Der Informationsgehalt ist hierbei ungleich größer als bei einer Ableitung (78 zu 95%). Bei leistungsphysiologischen und arbeitsmedizinischen Untersuchungen werden gelegentlich Einkanalregistrierungen herangezogen. Wegen der niedrigen Prävalenz kardialer Erkrankungen in diesen Kollektiven erscheint dies tolerabel [14, 15], doch ist stets eine Dreikanalregistrierung anzustreben.

In jedem Fall ist für die Klinik eine gleichzeitige Aufzeichnung von 6 mindestens Brustwandableitungen während Belastung zu fordern. Am Ende einer jeden Belastungsstufe sollten auch die Extremitätenableitungen registriert werden.

Ein Defibrillator gehörte heute obligat zu jedem Ergometriemeßplatz, dazu aktuelle Kenntnisse auf dem Gebiet der Notfall- und Reanimationsmaßnahmen [32]. Die Beherrschung der Intubationstechnik ist nicht unbedingt erforderlich, da im Notfall zumindest vorübergehend mit Maske, Guedel- oder Safartubus beatmet werden kann. Auch die Technik der Punktion zentraler Venen braucht nicht beherrscht zu werden, da im Notfall mit Defibrillation, evtl. Adrenalin intratracheal und Natriumbicarbonat intravenös (periphere Vene) die notwendigen Erstmaßnahmen durchgeführt werden können.

Entsprechend der allgemeinen Aufzeichnungspflicht ärztlicher Maßnahmen ist auch ein korrektes Untersuchungsprotokoll obligat für Belastungsuntersuchungen. Beispiele von Untersuchungsbögen sind im Anhang aufgeführt (Anlagen 7, 8).

Die Beurteilung der klinischen Ergometrie sollte umfassen:

- Bewertung der erzielten Leistung
- Verhalten von Pulsfrequenz
- Verhalten von Blutdruck
- Verhalten von ST-Strecke
- Verhalten von QRS-Komplexe
- Bewertung etwaiger Rhythmusstörungen.

Protokolliert werden müssen

- Mitarbeit
- Subjektive und objektive Symptome während Belastung
- Abbruchgründe
- Beurteilung der Ausbelastung

Bezüglich der Beurteilung des Belastungs-EKG sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen. Einige Hinweise enthält die Tabelle 12.

Nach dem bisherigen Wissensstand kann kein Zweifel daran bestehen, daß mit einer rechnergestützten EKG-Auswertung auch unter Belastung die Aussagekraft eindeutig verbessert werden kann.

Mit Hilfe des Bayes-Theorem [38] kann die Beurteilung des Belastungs-EKG verbessert werden. Der erfahrene Untersucher wird aber in der Regel auch ohne dieses Schema zum gleichen Ergebnis kommen. Bei Verwendung von Kleinrechnern bietet das Bayes-Theorem Vorteile. Die Vortest-Wahrscheinlichkeit muß aus dem Handbuch der American Heart Association entnommen werden [1].

In jedem Fall sollen auch anfallende Rhythmusstörungen im Belastungs-EKG erfaßt und beurteilt werden (Tabelle 12). Die hierarchische Einteilung nach Lown genügt nicht, die Arrhythmien sollten quantitativ erfaßt werden.

### Rechtsherzkatheter

Der Stellenwert der Rechtsherzsondierung mittels Einschwemmkatheter ist umstritten. Je nach Klinik oder Schule ist er bei der Abklärung einer koronaren Herzkrankheit obligat oder von begrenzter Bedeutung. Bemerkenswert ist die Diskrepanz zwischen den hämodynamischen Meßwerten und der subjektiven Symptomatik sowohl bei Patienten mit Vitien [25] als auch bei Patienten mit Kardiomyopathien [27]. Diese Problematik weist auf die begrenzt abgeklärten Gütekriterien bei der Rechtsherzsondierung während Belastung (Einschwemmetechnik) hin. Weitgehend unbestritten ist die Notwendigkeit der Rechtsherzsondierung bei Vitien und Kardiomyopathien vor Einleitung von entscheidenden Therapiemaßnahmen (Operation, Vasodilatatortherapie).

Unbestrittene *Indikationen zur Rechtsherzsondierung* sind

- Kontrolle nach Klappenoperationen,
- Verdacht auf Cor pulmonale
- Voruntersuchung vor Klappenoperationen
- Beurteilung des hämodynamischen Schweregrades einer Kardiomyopathie.

Bei der koronaren Herzkrankheit korreliert der Anstieg des linksventrikulären Füllungsdruckes sehr gut mit dem Ausmaß der koronaren Erkrankung. Die Indikation zum therapeutischen Vorgehen (OP., Dilatation oder Medikamente) wird jedoch zunehmend durch nuklearmedizinische Verfahren (Nuklidangiographie oder Thalliumszintigraphie) ergänzt.

Während das apparative und methodische Vorgehen bei der Rechtsherzkatheteruntersuchung problemlos ist und das Risiko beim Erfahrenen als gering bezeichnet werden muß [16, 28] (Tabelle 13), liegen allgemein verbindliche Referenzwerte für Drücke und Flußwerte nicht vor. Häufig benutzt werden die Angaben von Ekelund [9] und Keller [23]. Weitere Norm- oder Referenzwerte sind kürzlich mitgeteilt worden [8, 16]. Diese Viel-

**Tabelle 13.** Häufigkeit von Komplikationen bei der Rechtsherzkatheteruntersuchung [16]

	n	[%]
Todesfälle	0	0
Thrombophlebitis	41	0,18
Sepsis	0	0
Kammertachykardie bzw. -flimmern	27	0,12
davon defibrilliert	10	0,04
Asystolic	3	0,01
Vorhofflimmern,	15	0,07
supraventriculäre Tachykardie		
RSB	7	0,03
davon bei bestehendem LSB	2	0,01
Lungeninfarkt, Lungenblutung	0	0
Knotenbildung	16	0,07
Abschneiden oder Abbrechen des Katheters	0	0

zahl von Referenzwerten zeigt, daß einheitliche Empfehlungen noch nicht gegeben werden können.

### Schlußbemerkung

Die Aussprache von Teilnehmern verschiedener medizinischer Teildisziplinen hat interessante Diskussionen ergeben. Einige der eingangs gestellten Fragen und Problemkreise konnten mit allgemeiner Zustimmung beantwortet und zu Empfehlungen verarbeitet werden.

Andere Fragen sind offen geblieben:

- Referenzwerte für das Blutdruckverhalten (Belastung im Liegen, Belastung im Sitzen),
- Referenzwerte für Säure-Basen-Haushalt während Ergometer-Arbeit,

Stellenwert der respiratorischen Parameter wie Sauerstoffaufnahme, Atemäquivalent, respiratorischer Quotient, endexpiratorische Partialdrücke.

Für diese Meßgrößen liegen unterschiedliche Referenzwerte vor. Allgemeinverbindliche Empfehlungen wie beispielsweise bei der Spirometrie sind noch nicht erarbeitet. Dies soll in einer weiteren Klausurtagung geschehen. Für die Nuklidangiographie und Thalliumszintigraphie liegen Richtlinien aus den Vereinigten Staaten vor, diese wären als Diskussionsgrundlage sehr gut geeignet [49]. Schließlich wäre noch eine Einigung über verbindliche Referenzwerte für die Rechtsherzsondierung unter Belastung erforderlich. Es sollte auch angestrebt werden, Richtlinien für eine Beurteilung der Untersuchungsergebnisse herauszugeben. Nur so kann in verschiedenen Untersuchungsstellen und Kliniken eine Vergleichbarkeit der ergometrischen Diagnostik erreicht werden.

## Literatur

1. American Heart Association (1973) Coronary Risk Handbook. Am Heart Ass Dallas, Texas
2. Arstila M (1972) Pulse conducted triangular exercise-ECG test. Acta Med Scand Suppl 529:1–110
3. Bachl N (1981) Möglichkeiten zur Bestimmung individueller Ausdauerleistungsgrenzen anhand spiroergometrischer Parameter. Österr J Sportmed [Suppl 1]11:1–79
4. Bachl N (1985) Grundlagen der Leistungsdiagnostik. In: Aigner A (Hrsg) Sportmedizin für die Praxis. Hollinek, Wien (Im Druck)
5. Bühlmann A (1965) Klinische Funktionsprüfung des Herzens. Schweiz Med Wochenschr 40:1327–1332
6. Bruce RA (1971) Exercise testing with coronary heart disease: principles and normal standards for evaluation. Ann Clin Res 3:323–332
7. Deklaration von Helsinki (1984) Dtsch Ärzteblatt 61:2533–2535
8. Ehram RE, Perruchoud A, Oberholzer M, Burkart F, Herzog H (1983) Influence of age on pulmonary haemodynamics at rest and during supine exercise. Clin Science 65:653–660
9. Ekelund L-G, Holmgren A (1967) Central hemodynamics during exercise. Circulat Res [Suppl 20]21:1–33
10. Ellestadt MH, Blomquist CG, Naughton JP (1979) Standards for adult exercise testing laboratories. AHA Committee Report Circulation 59:421A–430A
11. Ellestadt MH (1980) Stress testing. 2nd ed, Davis, Philadelphia
12. Franz I-W (Hrsg) (1981) Belastungsblutdruck bei Hochdruckkranken. Springer, Berlin Heidelberg New York
13. Franz I-W (1984) Ergometrie bei Hochdruck- und Koronar-kranken in der täglichen Praxis. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
14. Fröhlicher VF (1983) Exercise testing and training: Clinical applications. J Am Coll Cardiol 1:114–125
15. Fröhlicher VF (1983a) Exercise testing and training. Le Jacq Publishing, New York
16. Görnandt E (1984) Rechtsherz-Einschwemmkatheteruntersuchung In: Roskamm H (Hrsg) Koronarerkrankungen. Hb Innere Med Bd IX, Teil 3, 5. Aufl
17. Graham T (1984) Measurement and interpretation of lactate. In: Löllgen H, Mellerowicz H (eds) Progress in Ergometry: Quality control and test criteria. Springer, Berlin Heidelberg New York, p 51
18. Heck H, Rost R, Hollman W (1984) Normwerte des Blutdrucks bei der Fahrradergometrie. Dtsch Z Sportmed 35:243–249
19. Heck H, Hess G, Mader A (1985) Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Laktat-Schwellenkonzepten. Dtsch Z Sportmed 36:19–25, 40–52
20. Hellerstein HK (1979) Specifications for exercise testing equipment. Circulation 59:849A–854A
21. Hollmann W, Hettinger T (1976) Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen. Schattauer, Stuttgart
22. Kaltenbach M (1974) Die Belastungsuntersuchung von Herzkrankheiten. (Studienreihe Kardiolog Diag) Boehringer, Mannheim
23. Keller R, Kopp C, Zutter W, Mlzech J, Herzog H (1976) Der Lungenkreislauf als leistungsbegrenzender Faktor bei Patienten. Verh Dtsch Ges Lungen- und Atmungsforsch 5, S 27–40
24. Kindermann W, Keul J (1977) Anaerobe Energiebereitstellung im Hochleistungssport. Hofmann, Schorndorf
25. Kraus F, Rudolph W (1984) Beziehungen zwischen Symptomatik, Leistungsfähigkeit und Belastungshämodynamik: Bedeutung in der Beurteilung der valvulären Herzerkrankung. Herz 9:187–199
26. Lange-Andersen K, Shephard RJ, Denolin H, Varnauskas E, Masironi R (1971) Fundamentals of Exercise Testing. WHO, Genf
27. Löllgen H, Bonzel T, Samstag Y, Wollschläger H, Just H (1983) Central hemodynamics at rest and during exercise in dilative cardiomyopathy In: Just H, Schuster HP (Eds) Myocarditis – Cardiomyopathy. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 225–232
28. Löllgen H (1983a) Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik. Documenta Geigy, Wehr
29. Löllgen H, Mellerowicz H (1984) (Hrsg) Progress in ergometry: Quality control and test criteria. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
30. Mellerowicz H (1979) Ergometrie. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
31. Mellerowicz H, Franz I-W (Hrsg) (1983) Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Perimed, Erlangen
32. Meuret G, Löllgen H, Wiemers K (1984) Neue Aspekte der medikamentösen Therapie in der Reanimation (1984) 109:350–354
33. Meyer-Erkelenz JD, Mösges RW, Sieverts H (1980) Spiroergometrie (kardio-pulmonale Funktion unter Belastung). Prax Pneumol 34:585–600
34. Naughton JP, Hellerstein HK (1973) Exercise testing and exercise training in coronary heart disease. Academic Press, New York San Francisco London
35. Pfisterer ME (1982) Nuklearmedizinische Herzdiagnostik. Springer, Berlin Heidelberg New York
36. Philbrick JT, Horwitz RI, Feinstein AR (1980) Methodologic problems of exercise testing for coronary artery disease: Group, analysis and bias. Am J Cardiol 46:807–812
37. Prokop L, Bachl N (1984) Alterssportmedizin. Springer, Wien New York
38. Rifkin RD, Hood WB (1977) Bayesian analysis of electrocardiographic exercise stress testing. N Engl J Med 297:681–686
39. Rost R, Hollmann W (1982) Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Thieme, Stuttgart New York
40. Rühle KH, Fischer J, Matthys H (1983) Sollwerte für die Spiroergometrie. Atemw.-Lungenkrkh. 9:157–173
41. Smidt U, Neger K (1976) Sollwerte – Normalwerte – Referenzwerte. Atemwegs- und Lungenkrankh 2:174–191
42. Samek L, Roskamm H (1984) Belastungs-EKG In: Roskamm H (Hrsg) Koronarerkrankungen. Hb Innere Med Bd IX, Teil 3, 5. Aufl, Springer, Berlin Heidelberg New York, S 277–332
43. Smodlaka VN, Mellerowicz H, Horak J (1983) Revidierte Standardisierungsvorschläge für Ergometrie 1981. In: Mellerowicz H, Franz I-W (Hrsg) (1983) Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Perimed, Erlangen, pp 280–281
44. Szögy A, Böhmer D, Ambrus P, Starischka S (1981) Sollwerte zur Beurteilung der Dauerleistungsfähigkeit von Hochleistungssportlern unter besonderer Berücksichtigung des Körpergewichts und der Sportart bzw. -disziplin. Leistungssport 11:260–262
45. Sauer E, Sebening H (1981) Myokard- und Ventrikelszintigraphie. Boehringer, Mannheim
46. Thadani U (1984) Methodological aspects and quality control in ergometry – Exercise testing during invasive studies Reproducibility and effect of posture In: Löllgen H, Mellerowicz H (eds) Progress in Ergometry: Quality control and test criteria. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 20–29

47. Ulmer H-V (1985) Physiologische Grundlagen menschlicher Arbeit In: Reichel G, Bolt H, Hettinger Th, Selenka F, Ulmer H-V, Ulmer WT (Hrsg) Grundlagen der Arbeitsmedizin. Kohlhammer, Stuttgart
48. Ulmer WT, Reichel G, Nolte D (1976) Die Lungenfunktion. 2. Aufl, Thieme, Stuttgart
49. Zaret BL, Battler A, Berger HJ, Bodenheimer MM, Borer JS, Broicher M, Hugenholtz P, Neufeld HN, Pfisterer ME (1984) Report of the Joint International Society and Federa-

tion of Cardiology/World Health Organization Task Force on Nuclear Cardiology. Circulation 70:768A-771A

Prof. Dr. H. Löllgen  
Med. Klinik  
St. Vincenz-Krankenhaus  
D-6250 Limburg  
Bundesrepublik Deutschland

## Revidierte Standardisierungsvorschläge für Ergometrie 1981 (Minimal- und Kompromißprogramm der Arbeitsgruppe für Ergometrie) ICSPE

V.N. Smodlaka, H. Mellerowicz, J. Horák

Aufgrund früherer Standardisierungsvorschläge, neuer Forschungsergebnisse, weiterer Erfahrungen und der Abstimmung beim IV. Internationalen Seminar für Ergometrie 1981 wird die Anwendung folgender Standardisierungsvorschläge empfohlen:

1. *Standard-Ergometer*, die den ICSPE-Vereinbarungen von 1965 entsprechen, sind zu verwenden (Runde Schwungmasse, 100 kg, gleicher Durchmesser, mit einem Trägheitsmoment von  $5,55 \text{ kg m}^2$  bei gleicher Umdrehungszahl von Schwungmasse und Kurbel. Unterschiedliche Schwungmassen und Umdrehungszahlen, aber von der gleichen kinetischen Energie können verwandt werden. Kurbellänge oder Doppelkurbellänge 33,3 cm).

2. *Drehzahlen* von 50 ( $\pm 10$ ) U/min (bei submaximalen Leistungen), von 60–100 U/min (im maximalen Leistungsbereich) ( $> -2 \text{ s}$  von  $\text{HF}_{\text{max}}$ )

3. *Leistungsstufen bestimmter Größe und Dauer*. Anzuwenden sind:

- Stufen von 10 Watt/1 min oder 25 Watt/2 min für Probanden mit *eingeschränkter Leistungsbreite*, auch Kinder und Jugendliche. (Beginn mit 25, 30 oder 50 Watt).
- Stufen von 25 Watt/2 min für Probanden (weiblichen und männlichen) mit erwarteter *mittlerer Leistungsbreite* (Beginn mit 50 oder 75 Watt).

- Stufen von 25 Watt/2 min oder 50 Watt/3 min für Probanden mit erwarteter *großer Leistungsbreite* (Beginn mit 100 oder 150 Watt).

- Bei allen Probanden sind mindestens *3 Leistungsstufen* anzuwenden.

- Als relativ gleiche Standardleistung werden Stufen von *1 Watt/1 kg Körpergewicht* von 3 oder 6 Minuten Dauer empfohlen.

- Zur Bestimmung *maximaler ergometrischer Meßgrößen* sind Stufen von 25 Watt/1 min oder 50 Watt/2 min zu verwenden. Für Probanden bzw. Patienten mit eingeschränkter Leistungsbreite können Stufen von 10 Watt/1 min erforderlich sein. Die gesamte Dauer aller Leistungsstufen soll mindestens 6, aber nicht mehr als 12 min betragen.

- In begründeten, insbesondere pathologischen Ausnahmefällen, kann von diesen generellen Regeln abgewichen werden, wenn das Untersuchungsgut oder der Untersuchungszweck es erfordern. Die Begründung ist im Untersuchungsprotokoll anzugeben.

4. Definierte *Leistungsumsatzbedingungen* sind einzuhalten (ICSPE 1967).

5. Bestimmte *Qualitätskriterien* der Ergometrie (betr. Kalibrierung, Reproduzierbarkeit, Objektivität, Sensitivität, Spezifität, Validität) sind zu beachten. Sie sind noch zu definieren und international zu vereinbaren.

## Qualitätsrichtlinien für die Belastungs-Elektrokardiographie zur Erkennung der Koronarinsuffizienz (Stand 12/84)

Hrsg.: H. Blömer (Vorsitzender der Kommission für Klinische Kardiologie)

### 1. Ausbildung des Untersuchers

Die selbständige Durchführung der Belastungs-Elektrokardiographie setzt ausreichende Erfahrungen in der Beurteilung von Krankheiten des Herz- und Kreislaufsystems, insbesondere in der Physiologie und Pathophysiologie der Kreislaufregulation unter Belastung voraus. Darüberhinaus sind folgende Bedingungen zu fordern:

- 1.1 Erfahrungen in der Indikationstellung.
- 1.2 Ausreichende Kenntnisse in der Beurteilung des Elektrokardiogramms einschließlich der Herzrhythmusstörungen.
- 1.3 Ausreichende Erfahrung in der Erkennung und Behandlung von kardialen Notfallsituationen einschl. der Reanimation, weil bei der Belastungs-Elektrokardiographie Herzkranker schwerwiegende Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen auftreten können.

Die Ausbildung kann in einer kardiologischen Abteilung bzw. Klinik, in einem entsprechend eingerichteten Krankenhaus, oder bei einem niedergelassenen Kardiologen erworben werden.

### 2. Apparative Ausstattung

Für die Durchführung von Belastungs-Elektrokardiogrammen ist das Vorhandensein eines EKG-Gerätes mit mindestens 3 Kanälen notwendig. Die kontinuierliche Beobachtung des Elektrokardiogramms während der gesamten Belastung ist obligat, sie kann über ein Oszilloskop oder über fortlaufende EKG-Registrierung erfolgen.

Für Belastungen sind eichbare Geräte zu verwenden (z.B. Fahrradergometer, Laufbandergometer). Die Ergometer sind regelmäßig (jährlich) zu eichen. Ebenso findet die Kletterstufe auch in motorverstellbarer Ausführung Verwendung, die physikalisch genau definierte Belastungen erlaubt.

Die Angabe der Leistung erfolgt in Watt. Daneben ist es zweckmäßig, außer der absoluten Wattzahl auch die relative, auf die Körperoberfläche bezogene Wattzahl anzugeben.

Zur Ausrüstung gehört ein Defibrillator, der regelmäßig auf seine Funktionsfähigkeit überprüft werden muß.

Ein Beatmungs-Beutel und verschiedene Beatmungstuben sowie entsprechende Medikamente müssen wegen evtl. notwendiger Reanimationsmaßnahmen vorhanden sein.

Medikamente zur Behandlung von Ischämiezuständen und Arrhythmien müssen vorhanden sein.

### 3. Durchführung der Belastungsuntersuchungen

Protokoll und apparative Ausstattung sollten den internationalen Standardisierungsvorschlägen entsprechen.

Unmittelbar vor jeder Belastungsuntersuchung muß ein vollständiges Elektrokardiogramm mit den 12 Standardableitungen registriert werden. Die Registrierung des Ruhe-Elektrokardiogramms muß im Liegen und sofort

nach dem Aufstehen bzw. Sitzen erfolgen, um funktionelle Endteilveränderungen des Elektrokardiogramms von organischen trennen zu können.

Während und nach Belastung sind mindestens 3 Ableitungen wünschenswert, jedoch ist es besser, Ableitungen aufzuzeichnen (z.B. die Ableitung V-V und I-III). Der Papiervorschub von 50 mm/s ist obligat. Eine Ausnahme hiervon ist nur bei Arrhythmien zulässig, wenn es darum geht, möglichst viele QRS-Komplexe zu registrieren. In diesen Fällen kann die Papiervorschubgeschwindigkeit auf 25 oder 10 mm/s reduziert werden.

Während jeder Minute der Belastung und während einer mindestens 5minütigen Erholung sind jeweils 12 QRS-Komplexe zu registrieren, wobei die Aufzeichnung regelmäßig zwischen der 50. und 60. Sekunde erfolgen soll.

Die Fortführung der Aufzeichnung des Elektrokardiogramms nach einer 5minütigen Erholungspause ist dann zu empfehlen, wenn das Elektrokardiogramm bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht normalisiert sein sollte, bzw. die Veränderungen im Ruhe-EKG noch nicht erreicht wurden.

Bei der Ableitung des Elektrokardiogramms ist auf eine sorgfältige Elektrodentechnik zu achten. Die Haut muß vorher entsprechend behandelt werden. Es können Klebeelektroden oder Silber-Elektroden, die an einem Gummiband befestigt sind, verwendet werden. Vor Beginn der Belastung ist zu prüfen, ob ein EKG auch bei körperlicher Bewegung registrierbar ist.

Um Gefahrensituationen frühzeitig erkennen und sofortige Gegenmaßnahmen ergreifen zu können, ist die Anwesenheit eines Arztes während der ganzen Belastung notwendig. Darüberhinaus ist nur der Arzt in der Lage, subjektive Symptome und normabweichende Befunde zu beurteilen (u.a. Abbruchkriterien).

Über jede Belastungsuntersuchung ist ein Protokoll zu führen. Das Protokoll muß enthalten:

- Belastungsart
- Belastungsleistung (Soll- und Istleistung)
- Belastungsdauer
- Herzfrequenz (minütlich) und
- Blutdruck (2minütlich),
- vor, während und nach Belastung.
- Eingenommene Medikamente bzw.
- bei Belastung applizierte Medikamente

Zur objektiven Beurteilung des Belastungs-EKG ist das Absetzen aller Medikamente zu empfehlen (Nitroglycerin 2 h, Nitrate 24 h,  $\beta$ -Blocker 48-72 h, Calcium-Antagonisten 24 h, Digoxin 10-14 Tage und Digitoxin 21 Tage).

Vor Beginn der Untersuchung soll der Proband mehrere Minuten ruhen. Die Raumtemperatur sollte möglichst 18-22° C betragen. Sie sollte 16° C nicht unterschreiten.

Am Untersuchungstage sollten Genussmittel (insbesondere Alkohol und Nikotin) vermieden werden. Die Untersuchung sollte möglichst nicht nüchtern durchgeführt werden. Sinnvoll ist eine kleine, nicht belastende Mahlzeit bis zu 3 h vor der Belastung.

Von besonderer Bedeutung ist die individuelle Anpassung der Leistungsanforderung an den Trainingszustand und die Beschwerden des Patienten. Hierzu ist es unerlässlich, der Belastungsuntersuchung eine eingehende Anamneseerhebung und körperliche Untersuchung voranzustellen. Für symptomatische Patienten wird die Leistungsanforderung, den anamnestischen Angaben angepaßt. Für beschwerdefreie Probanden können Sollwerte entsprechend Größe, Gewicht, Alter und Geschlecht (siehe Literatur) benutzt werden. Trainierte oder an körperliche Belastungen gewöhnte Probanden müssen u.U. höher als den Sollwerten entsprechend belastet werden.

In der Regel wird stufenweise belastet, mit Steigerung von je 25 Watt, von jeweils 2 min Dauer, insgesamt bei Beschwerdefreiheit bis zum Erreichen des Sollwertes nach Watt und Frequenz (Ausbelastung, sofern keine Abbruchkriterien auftreten).

Beginn der Belastung bei erwarteter mittlerer Leistungsbreite mit 50 oder 75 Watt. Bei großer Leistungsbreite mit 100 Watt.

Bei Patienten mit eingeschränkter Leistungsbreite und Beschwerden bei geringer Leistung, können Stufen von 10 Watt erforderlich sein.

Es können auch – besonders bei Verwendung einer Kletterstufe – Belastungen mit vorgewählten Leistungen über 6 min – je nach zu erwartender Leistungsfähigkeit entsprechend dem klinischen Befund – mit anschließender 5minütiger Erholung durchgeführt werden. Bei Nichterreichen der Beschwerdegrenze sollte eine erneute Belastung über 6 min mit höherer Leistung nach ausreichender Ruhezeit wiederholt werden. Auch hier gilt, daß eine Belastung bis zum Erreichen des Sollwertes nach Watt und Frequenz (Ausbelastung, sofern keine Abbruchkriterien auftreten) angestrebt werden soll.

#### Abbruchkriterien:

1. Horizontale und/oder absteigende ST-Senkungen von mehr als 0,2 mV.
2. ST-Hebungen in Ableitungen ohne direkte Infarktsegmenten im QRS-Komplex.
3. Schwerwiegende Reizleitungs- und Reizbildungsstörungen.

4. Vorzeitiges Erreichen der oberen Grenzfrequenz (200 minus Lebensalter) (siehe hierzu auch Literatur).
5. Inadäquates Blutdruckverhalten.
6. Glaubhafte subjektive Beschwerden, z.B. schwere Dyspnoe oder schwere Angina pectoris, allgemeines Erschöpfungsgefühl.

#### 4. Archivierung von Belastungs-EKG

Die Belastungs-Elektrokardiogramme sind zusammen mit dem Protokoll in den Krankenunterlagen oder getrennt davon in einer speziellen EKG-Kartei aufzubewahren. Die Aufbewahrungszeit richtet sich nach den gesetzlichen Vorschriften.

#### Literatur

- Kaltenbach M (1968) Beurteilung der Leistungsreserven von Herzkranken mit Hilfe von Stufenbelastungen. Boehringer, Mannheim
- Kaltenbach M (1974) Die Belastungsuntersuchung von Herzkranken. Boehringer, Mannheim
- Kaltenbach M (1976) Exercise testing. Huber, Bern
- Klepzig H, Frisch P (1981) Belastungsprüfungen von Herz und Kreislauf. Perimed, Erlangen
- Lange Andersen L, Shepard RI, Denolin H, Varnauskas E, Masironi R (1971) Fundamentals of Exercise Testing. World Health Organisation, Geneva
- Mellerowicz H (1979) Ergometrie, Grundriß der medizinischen Leistungsmessung. 3. Aufl., Urban u. Schwarzenberg, München Wien Baltimore
- Mellerowicz H, Franz IW (1983) Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Perimed, Erlangen
- Rost R, Hollmann W et al. (1982) Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Thieme, Stuttgart New York
- International Council for Sports and Physical Education (ICSPE/UNESCO) (Smodlaka, New York; Mellerowicz, Berlin; Horak, Prag) (1981) Revidierte Standardisierungsvorschläge für Ergometrie 1981. Herz-Kreislauf 12:605-607

### Definitionen von Gütekriterien

Einfachheit:	Messung ohne zu großen apparativen und personellen Aufwand möglich	Spezifität:	Prozentsatz der Probanden <i>ohne</i> Krankheit und einem <i>negativen</i> Testergebnis
Akzeptibilität:	Fehlen eines Kooperationszwanges durch den Probanden. Mitunter bei gutachterlichen Fragestellungen von Bedeutung. Fehlendes Risiko.	Falsch Positiv:	Prozentsatz der Probanden mit <i>positivem</i> Testergebnis <i>ohne</i> Erkrankung
Objektivität:	Meßergebnisse werden durch subjektive Einflüsse nicht verfälscht (subjektive Einflüsse durch den Probanden, die Assistentin oder den Arzt).	Falsch Negativ:	Prozentsatz der Probanden mit <i>negativem</i> Testergebnis aber <i>mit</i> Erkrankung
Reproduzierbarkeit:	Genauigkeit der Meßmethode, wird gekennzeichnet durch die Varianz (oder Variabilität) der Meßgröße (Vertrauensbereich, Standardabweichung, Variationskoeffizient). Die Reproduzierbarkeit ist ausreichend, wenn der Variationskoeffizient unter 8–10% liegt.	Effizienz:	Prozentsatz der Probanden mit richtig positivem und richtig negativem Testergebnis in Relation zum Gesamtkollektiv
Reliabilität:	Zuverlässigkeit eines Meßverfahrens. Gesamte inter- und intraindividuelle Streuung bei Wiederholung einer Untersuchung.	Vorhersagegenauigkeit:	(engl. predictive accuracy): Beziehung der Patienten mit <i>positivem</i> Testergebnis und <i>mit</i> Krankheit zu allen Patienten mit einem <i>positiven</i> Testergebnis (Vorhersagewert eines positiven Tests).
Richtigkeit:	Genauigkeit, mit der ein Meßwert quantitativ bestimmt wird. Für die Funktionsdiagnostik nicht wichtig, wohl aber im chemischen Labor.	Inzidenz:	Zahl der pro Jahr neu auftretenden Krankheitsfälle in einer Population von 100000 Personen.
Diskriminanz:	Unterscheidungsvermögen eines Testes zwischen verschiedenen Zuständen (gesund – krank) oder zwischen verschiedenen Krankheiten oder Funktionsstörungen.	Prävalenz:	Zahl der Kranken in einer Population von 100000 Personen.
Validität:	Gültigkeit eines Untersuchungsverfahrens zur Erkennung bestimmter Erkrankungen. Die Validität bestimmt den passenden Test für die interessierende Funktionsstörung oder Erkrankung.	Risiko-Vorhersage:	Wahrscheinlichkeit, mit der das Eintreten einer Erkrankung angenommen werden kann. Quotient aus Vorhersage und falsch negativer Beziehung
Sensitivität:	Prozentsatz der Patienten <i>mit</i> der Erkrankung und einem <i>positiven</i> Testergebnis	Vortest-Wahrscheinlichkeit:	Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung bei einem Probanden, der getestet wird. Relation der Probanden <i>mit</i> Krankheit in der zu untersuchenden Population zur <i>Gesamtzahl</i> der zu untersuchenden Population.
		Nachttest-Wahrscheinlichkeit:	Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung bei einem Probanden mit einem bestimmten Testergebnis. Relation der Patienten <i>mit</i> Krankheit und einem bestimmten Testergebnis zur <i>Gesamtzahl</i> der Probanden mit diesem Testergebnis.

Anlage 3. Definitionen von Gütekriterien [28]

**Fragebogen zur Tauglichkeit von Versuchspersonen für Belastungsversuche und Einverständniserklärung**

- 1) Haben Sie häufig Grippe, Erkältungen oder Mandelentzündungen?  
Wenn ja, wann hatten Sie das letzte Mal eine schwere Erkrankung dieser Art? .....
- 2) Fühlen Sie sich zur Zeit leistungsfähig und voll belastbar? .....
- 3) Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein?  
Wenn ja, welche? .....
- 4) Ist bei Ihnen ein hoher Blutdruck bekannt?  
Wenn ja, welche Werte? .....
- 5) Haben Sie gelegentlich oder regelmäßig Herzschmerzen?  
Wenn ja, in Ruhe oder bei körperlicher Belastung? .....
- 6) Sind Sie in den letzten Jahren einmal ohnmächtig geworden? .....
- 7) Ist bei Ihnen eine länger dauernde Krankheit oder Allergie bekannt?  
Wenn ja, welche bzw. wogegen? .....

Name ..... Vorname .....  
Straße ..... Nr. ....  
PLZ ..... Wohnort .....  
Geb.-Datum ..... Gewicht ..... kg Größe ..... cm

Hiermit erkläre ich, daß ich freiwillig an den mit mir besprochenen Versuchen teilnehme. Ich bestätige, daß über den Versuch zur  
.....  
ein Gespräch mit mir geführt wurde und daß ich darüber belehrt worden bin, daß das gesundheitliche Risiko des Versuchs nicht (bzw. aus folgenden Gründen .....  
.....) höher sein wird als bei einer erschöpfenden sportlichen Belastung. Diese Zustimmung kann ich jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen (sh. „Deklaration von Helsinki“).

Mainz, den .....  
.....  
Unterschrift

**Ergebnis der ärztlichen Kurzuntersuchung**  
Blutdruck ..... / ..... mm Hg  
Pulsfrequenz ..... min<sup>-1</sup>  
Herzauskultation .....  
Pulsqualität .....  
Lungenauskultation .....

Mainz, den .....  
.....  
Unterschrift

## Ergometrische Untersuchung Merkblatt und Einverständniserklärung

(Arztstempel)

Sehr geehrte(r)

Bei Ihnen soll eine Belastungsuntersuchung auf einem Fahrradergometer vorgenommen werden. Hierzu müssen Sie die Kurbel im vorgegebenen Takt treten. Die Belastung wird stufenweise bis zum Erreichen einer bestimmten Pulszahl bzw. bis in den Bereich der Erschöpfung gesteigert. Während der Untersuchung werden Herz und Kreislauf fortlaufend überwacht. Wenn das Ziel der Untersuchung erreicht ist, wird man Sie auffordern, das Treten zu beenden, ebenso dann, wenn Besonderheiten auftreten. Sie können jederzeit von sich aus die Belastung abbrechen, wenn irgendwelche Beschwerden, wie z. B. Herzschmerzen, schwere Luftnot oder Schwindel auftreten. Wenn Sie die Belastung abbrechen wollen, geben Sie bitte vorher das verabredete Zeichen, damit noch abschließende Messungen vorgenommen werden können.

Trotz der ärztlichen Voruntersuchung und der Überwachung während der Belastung können gelegentlich unerwartete Funktionsstörungen auftreten, die in der Regel harmlos sind und nach Ende der Belastung rasch verschwinden. In selte-

nen Fällen kann es zu bedrohlichen Gesundheitsstörungen kommen. Hierzu gehören Rhythmusstörungen des Herzens sowie Durchblutungsstörungen der Herzkranzgefäße, bei denen auch einzelne Todesfälle beschrieben wurden. Solche nicht voraussehbaren sehr seltenen Komplikationen treten aber in der Regel nur bei schwer herzkranken Patienten auf. Insgesamt ist die Belastungsuntersuchung, die täglich vieltausendfach vorgenommen wird, als weitgehend ungefährlich anzusehen.

Dieses Blatt dient Ihrer Information. Sollten Sie darüber hinaus Fragen haben, so werde ich sie Ihnen in einem persönlichen Gespräch gern beantworten.

Bitte bescheinigen Sie durch Ihre Unterschrift, daß Sie vom Inhalt dieses Merkblatts Kenntnis genommen haben und mit der Untersuchung einverstanden sind. Wenn Sie das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, muß auch einer Ihrer Erziehungsberechtigten sein schriftliches Einverständnis geben.

Datum

Unterschrift des Arztes

Ich habe vom Inhalt dieses Merkblatts Kenntnis genommen und eventuelle zusätzliche Fragen mit dem Arzt besprochen. Ich bin mit der ergometrischen Untersuchung einverstanden und versichere, daß ich bei der Befragung über Beschwerden,

Gesundheitsstörungen und Krankheiten nichts verschwiegen und dem Arzt auch mir bekannte Beschwerden und Krankheiten geoffenbart habe, nach denen ich nicht ausdrücklich gefragt wurde.

Datum

Unterschrift des zu Untersuchenden

Ich bin Erziehungsberechtigter der(s) \_\_\_\_\_ geb. \_\_\_\_\_, habe vom Inhalt dieses Merkblatts Kenntnis genommen und gebe hiermit meine Einwilligung zur Durchführung der ergometrischen Untersuchung.

Datum

Unterschrift des Erziehungsberechtigten

Ergometrie-Merkblatt © Dr. Curt Haefner Verlag GmbH Heidelberg\*

Hinweis des Verlages: Dieser Vordruck kann im DIN-A 4-Format vom Verlag bezogen werden. Preis: 100 Stück DM 28,- (Mindestauftragswert DM 10,- netto) zzgl. Versandkosten und Mehrwertsteuer bei Dr. Curt Haefner Verlag GmbH, Postfach 10 60 60, 6900 Heidelberg.

**Anlage 5.** Merkblatt und Einverständniserklärung (nach Schnellbächer; Ergo Med 8/4:23)

# Anforderungen an Fußkurbelergometer bei der Bauartprüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Vom 1. Juli 1984

**Vorbemerkung:** Die nachstehenden Anforderungen gelten für Bauartprüfungen, die auf freiwilliger Basis erfolgen.

Im Zusammenhang mit der Änderung des Eichgesetzes wird ein Beirat für medizinische Meßtechnik bei der *Physikalisch-Technischen Bundesanstalt* errichtet. Diesem ist es vorbehalten vorzuschlagen, welche Meßgeräte aus dem Bereich der Heilkunde der staatlichen Kontrolle unterworfen werden sollen. Die Fußkurbelergometer gehören zu dem Kreis der in Frage kommenden Meßgeräte.

## Inhaltsübersicht

- 1 Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen
- 2 Meßgrößen und Einheiten
- 3 Bauanforderungen
- 3.1 Allgemeine Anforderungen
- 3.2 Besondere Anforderungen an Ergometer mit geregelttem Bremsmoment
- 3.3 Anforderungen an Zusatzeinrichtungen
- 4 Beständigkeit des Meßwertes
- 5 Bezeichnungen und Aufschriften
- 6 Fehlergrenzen

### 1 Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen

- 1.1 Die nachstehenden Anforderungen gelten für die Prüfung der Bauarten von Fußkurbelergometern, die im Bereich der Heilkunde für Diagnose und Therapie sowie in der Sportphysiologie, Arbeitsmedizin und in der Forschung eingesetzt werden.
- 1.2 Fußkurbelergometer sind Geräte, die mit einem Tretwerk und einer Bremsvorrichtung ausgestattet sind und zur Messung physikalisch und biologisch definierter Leistungen von Probanden eingesetzt werden. Sie können ausgeführt sein als
  - 1.2.1 Ergometer mit geregelttem Bremsmoment (sogenannte drehzahlunabhängige Ergometer; die eingestellte Leistung ist von der Drehzahl unabhängig) oder
  - 1.2.2 Ergometer mit einstellbarem Bremsmoment (sogenannte drehzahlabhängige Ergometer; die eingestellte Leistung ist von der Drehzahl abhängig).

### 2 Meßgrößen und Einheiten

Die vom Probanden an einem Fußkurbelergometer erbrachte physikalische Leistung  $P$  ergibt sich aus dem Produkt des Bremsmomentes  $M$  an der Tretkurbel und deren Drehzahl  $n$  nach der Gleichung

$$P = M \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

mit  $P$  in W  
 $M$  in Nm  
 $n$  in  $\text{min}^{-1}$  (Umdrehungen durch Minute)

### 3 Bauanforderungen

- 3.1 Allgemeine Anforderungen
- 3.1.1 Das Fußkurbelergometer muß den sicherheitstechnischen Anforderungen nach DIN IEC 601 Teil 1/VDE 0750 Teil 1 Ausgabe Mai 1982 „Sicherheit elektromedizinischer Geräte; Allgemeine Festlegungen [VDE-Bestimmung]“ genügen.
- 3.1.2 Sattel und Handgriffe müssen ohne Werkzeuge verstellbar sein.
- 3.1.3 Die doppelte Kurbellänge soll  $33,3 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$  betragen. Für Kinderergometer sind auch abweichende Kurbellängen zulässig.
- 3.1.4 Es muß mindestens ein Pedalarm abnehmbar sein.
- 3.1.5 Anzeigeeinrichtung
- 3.1.5.1 Die Anzeigeeinrichtung muß übersichtlich angeordnet sein. Folgende Meßwerte müssen ständig angezeigt werden:
  - bei Ergometern nach Nr. 1.2.1 die Leistung  $P$  und die Drehzahl  $n$ ,
  - bei Ergometern nach Nr. 1.2.2 das Bremsmoment  $M$  und die Drehzahl  $n$ .
- 3.1.5.2 Bei Ergometern nach Nr. 1.2.2 muß mindestens für die Drehzahlen  $50 \text{ min}^{-1}$  und  $75 \text{ min}^{-1}$  je eine zugeordnete Skale für die Leistung  $P$  vorhanden sein.
- 3.1.5.3 Ergometer dürfen zusätzlich für den Probanden eine weitere Anzeigeeinrichtung haben, die jedoch nur die Drehzahl  $n$  ständig anzuzeigen braucht.
- 3.1.5.4 Die Anzeigen dürfen eine Dämpfung mit einer Zeitkonstanten  $\leq 2 \text{ s}$  haben.
- 3.1.5.5 Nach der Umschaltung auf eine andere Belastungsstufe braucht für die Dauer der Angleichung des Ergometers an den neuen Sollwert nur dieser angezeigt zu werden. Die Rate für die Angleichung ist in der Bedienungsanleitung in W/s anzugeben.
- 3.1.5.6 Der Skalenteilungswert oder der Ziffernschritt muß betragen
  - a) für die Anzeige der Leistung
    - bei Ergometern nach Nr. 1.2.1 5 W
    - bei Ergometern nach Nr. 1.2.2 10 W
  - b) für die Anzeige der Drehzahl  $2 \text{ min}^{-1}$ .

### 3.1.6 Schwungscheibe

Bei der übersetzt angetriebenen Schwungscheibe muß der Quotient  $\frac{J}{i_{TS}^2}$  zwischen den Werten  $5 \text{ kg m}^2$  und  $20 \text{ kg m}^2$  liegen, wobei  $J$  das Trägheitsmoment der Schwungscheibe und  $i_{TS}$  die Drehzahlübersetzung zwischen Tretkurbel und Schwungscheibe ist ( $i_{TS}$  stets  $\leq 1$ ). Um vergleichbare biologische Leistungen zu gewährleisten, wird von der Working Group for Ergometry (ICSPE) ein Standardergometer vorgeschlagen, bei dem der Quotient  $\frac{J}{i_{TS}^2} = 5,5 \text{ kg m}^2$  beträgt. Der Quotient des Ergometers, bezogen auf den des Standardergometers, muß in der Bedienungsanleitung angegeben werden.

### 3.1.7 Bedienungsanleitung und Kalibrierprotokoll

3.1.7.1 Dem Antrag auf Bauartprüfung müssen eine Bedienungsanleitung in deutscher Sprache und ein Kalibrierprotokoll des Herstellers beigelegt sein. In der Bedienungsanleitung in deutscher Sprache und ein Kalibrierprotokoll des Herstellers beigelegt sein. In der Bedienungsanleitung müssen die Angaben nach Nr. 3.1.5.6 (Angleichrate in W/s) und nach Nr. 3.1.7 (Schwungscheibe) aufgeführt sein. Im Kalibrierprotokoll sind u.a. die in Nr. 4 festgelegten Prüfbedingungen und die in Nr. 6 aufgeführten Fehlergrenzen anzugeben. Zusätzlich dürfen die bei der Kalibrierung ermittelten Fehler angegeben werden. In der Bedienungsanleitung und im Kalibrierprotokoll ist anzugeben, in welchen Zeitabständen das Ergometer nachzuprüfen bzw. zu kalibrieren ist.

3.1.7.2 Jedem Ergometer muß eine nach den Anforderungen in Nr. 3.1.8.1 ausgeführte Bedienungsanleitung und ein Kalibrierprotokoll beigegeben werden.

### 3.2 Besondere Anforderungen an Ergometer mit geregelttem Bremsmoment (Nr. 1.2.1)

- 3.2.1 Eine Prüfung der einwandfreien Funktion der den Meßaufnehmern nachgeschalteten elektronischen Einrichtung des Ergometers muß durchführbar sein.
- 3.2.2 Die Regelung des Bremsmomentes  $M$  muß für Leistungen kleiner als  $250 \text{ W}$  bei  $40 \text{ min}^{-1}$  für Leistungen von  $250 \text{ W}$  bis  $400 \text{ W}$  bei  $50 \text{ min}^{-1}$  und für Leistungen größer als  $400 \text{ W}$  bei  $70 \text{ min}^{-1}$  einsetzen.
- 3.2.3 Bei automatischen Belastungsprogrammen darf die Bremsleistung nach Ende des Programmes mit höchstens  $25 \text{ W/s}$  abfallen.
- 3.2.4 Eine manuelle Einstellung des Sollwertes für die Leistung  $P$  muß in Stufen von höchstens  $5 \text{ W}$  möglich sein.
- 3.2.5 Die Zeitkonstante für die Regelung des Bremsmomentes darf nicht größer als  $4 \text{ s}$  sein.

### 3.3 Anforderungen an Zusatzeinrichtungen

Durch den Anschluß von Zusatzeinrichtungen dürfen keine Rückwirkungen auf die Anzeige des Ergometers entstehen.

### 4 Beständigkeit des Meßwertes

Während einer Dauerbelastung des Fußkurbelergometers von je 2 Stunden, nach 30 Minuten Abkühlzeit, bei den Belastungsstufen

- a)  $50 \text{ W}$  bei  $50 \text{ min}^{-1}$
- b)  $100 \text{ W}$  bei  $50 \text{ min}^{-1}$
- c)  $150 \text{ W}$  bei  $60 \text{ min}^{-1}$
- d)  $250 \text{ W}$  bei  $70 \text{ min}^{-1}$

müssen die Fehler innerhalb der in Nr. 6 angegebenen Grenzen liegen. Fußkurbelergometer mit einstellbarer Leistung  $P$  größer als  $400 \text{ W}$  dürfen bei einer Intervallprüfung bei 80% der größten einstellbaren Leistung (10 min belasten, 5 min abkühlen) über 2 h keine größeren als in Nr. 6 angegebenen Fehler aufweisen.

### 5 Bezeichnungen und Aufschriften

- 5.1 Einheitenname oder -zeichen (Nr. 2) müssen so angebracht sein, daß die Zuordnung von angezeigtem Zahlenwert und Einheit eindeutig ist.
- 5.2 An gut sichtbarer Stelle sind anzugeben:
  - a) Name (Firma) und Wohnort (Sitz) des Herstellers,
  - b) Typenbezeichnung,
  - c) Fabriknummer.

### 6 Fehlergrenzen

Der Anzeigefehler für die Leistung  $P$  darf höchstens  $\pm 5\%$  des Sollwertes betragen. Er braucht jedoch  $\pm 3 \text{ W}$  nicht zu unterschreiten. Der Anzeigefehler für die Drehzahl  $n$  darf oberhalb von  $20 \text{ min}^{-1}$  nicht mehr als  $\pm 2 \text{ min}^{-1}$  betragen. (PTB-Mitteilungen 94 4/84)

STEMPEL

**ERGOMETRIE**  
Standardisiertes  
ZUWEISUNGSBLATT der  
Österr. Kardiolog. Gesellschaft

NAME: ..... Vorname: ..... Ausgefüllt am: .....

DIAGNOSE: gesund  Bitte alle Diagnosen anführen: .....

ANAMNESE (Zutreffendes bitte ankreuzen):      Hat Patient DERZEIT:

Angina pectoris	<input type="checkbox"/>		Ja	Nein
Atypische Herzschmerzen	<input type="checkbox"/>	Myocarditis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Herzinfarkt	<input type="checkbox"/>	„Unstabile“ AP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Claudicatio intermittens	<input type="checkbox"/>	Datum des letzten Herzinfarktes:		

RUHE-12-Abl. EKG:

Datum: ..... Befund: .....

MEDIKAMENTE:	Ja	Nein	Name des Medikamentes	Medikam. abgesetzt seit
Digitalis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Nitro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Beta-Blocker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Anti-Arrhythm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Anti-Hypertens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Andere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

FRAGESTELLUNG: .....

..... UNTERSCHRIFT: .....

**INFORMATIONEN ÜBER DIE ERGOMETRIE:**

Die Ergometrie ermöglicht es, den funktionellen Gesundheitszustand von Lunge und Herz/ Kreislauf festzustellen und Krankheitssymptome zu erkennen, die bei körperlicher Arbeit auftreten.

Der Test am Fahrrad- oder Laufbandergometer wird leicht beginnen, aber Sie werden sich dann zunehmend anstrengen müssen. Sie werden während des Tests sofort alle Auffälligkeiten zu melden haben, wie zum Beispiel Schmerzen, Schwindelgefühl oder Atemnot.

Bitte vermeiden Sie am Tag vor der Untersuchung extreme körperliche Anstrengungen und achten Sie auf eine ausreichende Nachtruhe. Sie sollen zur Ergometrie nicht nüchtern erscheinen, aber vorhergehende schwere Mahlzeiten meiden und insbesondere in den letzten 2 Stunden vor dem Test nichts mehr essen, keinen Kaffee, Tee oder Alkohol trinken, keine Zigaretten rauchen. Bitte wählen Sie eine angenehme Kleidung, am besten Turnkleidung, und flache Schuhe!

Nehmen Sie Ihre Medikamente alle regelmäßig und auch am Tag der Untersuchung zu den gewohnten Tageszeiten ein — außer Ihr Arzt gibt Ihnen AUSDRÜCKLICH eine andere Anweisung!

Untersuchungsort: .....

Datum und Zeitpunkt der Untersuchung: .....

**Anlage 7.** Muster für einen Untersuchungsbogen der Ergometrie: Österreichische Kardiologische Gesellschaft (Österr. Ärztezeitung 33/7:335–336 (1978)). Vergleichbare Erhebungsbögen sind von zahlreichen Kliniken und Klinikern entwickelt worden. Der vorliegende Bogen sowie die Anlage Nr. 8 sollen nur Hinweise und Beispiel sein.

STEMPEL

**Ergometrie**  
**Protokoll und Befund**  
**Österr. Kardiolog. Gesellschaft**  
**Standardisiertes Untersuchungsblatt**

Prot.-Nr.: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Tag / Monat / Jahr

Name: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_

Zugewiesen: \_\_\_\_\_ Größe: \_\_\_\_\_ Gew.: \_\_\_\_\_ Körperoberfläche: \_\_\_\_\_

Fragestellung: \_\_\_\_\_

Eingenommene Medikamente: \_\_\_\_\_

Ruhe 12 Abl. EKG: \_\_\_\_\_

Fahrradergometrie im Sitzen (2 Min.-Stufen à 25 Watt) <input type="checkbox"/>						Laufbandergometrie (nach BRUCE) <input type="checkbox"/>	
Verwendete EKG-Ableitungen: _____						Erwartungswerte: HF _____ Watt _____	
Watt Stufe	HF	RR syst.	RR diast.	PER a)	AP b)	Sympt. *)	EKG (Rhythmus, ES, Leitung, ST-T)
Ruhe							
E 0							
E 1							
E 3							
E 5							
Abgebrochen vom Patienten wegen: 1. _____, 2. _____, vom Arzt wegen: _____							
Letzte Stufe: _____ Watt, _____ sec LF c) _____ %							

\*) Sympt.: 1 = allgemeine Erschöpfung, 2 = Schwäche der Beine, 3 = Beinschmerzen, 4 = Dyspnoe, 5 = „Müdigkeit“, 6 = Schwindelgefühl, 7 = kalter Schweiß, 8 = Blässe, 9 = Zyanose, 10 = III. oder IV. Herzton, 11 = leiser I. Herzton, 12 = Geräuschintensität zugenommen, 13 = schont sich nicht, 14 = schlecht motiviert, 15 = mechanische Schwierigkeiten, 16 = braucht Nitro, 17 = braucht O<sub>2</sub>, 18 = Kreislaufkollaps, 19 = \_\_\_\_\_

Ergebnis (Belastungstoleranz, RR, Frequenz, Symptome, EKG, Zusammenfassung):

---



---



---



---

Unterschrift: \_\_\_\_\_

a) Subjektives Empfinden der Anstrengung, Skala 5 bis 20. b) Angina pectoris, Skala 0 bis V. c) Leistungsfähigkeit in % der Norm.

