

Kardiologie

<https://doi.org/10.1007/s12181-018-0265-2>

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2018



CrossMark

T. Klingenheben¹ · H. Löllgen² · R. Bosch^{3,4} · H.-J. Trappe⁵¹ Praxis für Kardiologie & Ambulante Herzkatheterkooperation, Bonn, Deutschland² Kardiologie, Sportkardiologie, Praxisgemeinschaft, Remscheid, Deutschland³ Cardio Centrum Ludwigsburg Bietigheim, Ludwigsburg, Deutschland⁴ Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland⁵ Marienhospital Herne, Klinikum der Ruhr-Universität Bochum, Herne, Deutschland

Manual zum Stellenwert der Ergometrie

Präambel

Die Ergometrie stellt ein basisdiagnostisches Verfahren in der Kardiologie dar. Für den Bereich der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) wurden zuletzt im Jahr 2000 Leitlinien zur Ergometrie publiziert [1]. In den letzten 15 Jahren sind die nichtinvasive Diagnostik und Risikostratifizierung der KHK durch enorme Fortschritte der kardialen Bildgebung bereichert worden. Aktualisierte epidemiologische Daten haben zudem zu einer präzisierten Empfehlung zur klinischen Risikostratifizierung der stabilen KHK geführt und sind entsprechend in die aktuellen Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) [2, 3] wie auch die Nationale Versorgungsleitlinie Chronische KHK [4] eingegangen. Eine Neubewertung der Ergometrie als *dem* elektrokardiographischen Basisverfahren der KHK-Diagnostik muss dieser Entwicklung daher Rechnung tragen. In dieses Manual gehen eine Literaturrecherche der letzten 10 Jahre ein sowie insbesondere auch entsprechende Empfehlungen bzw. Leitlinien der maßgeblichen internationalen Fachgesellschaften, insbesondere von ESC und AHA. Im Lichte einer Vielzahl von Anfragen aus den letzten 3 Jahren an die DGK zu Aufklärung, personeller und technischer Ausstattung der Ergometrie werden diese Aspekte ebenfalls aktualisiert behandelt.

R. Bosch hat an diesem Beitrag für die Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin der DGK mitgewirkt.

Hinsichtlich der Voraussetzungen, technischen Durchführung, Qualitätskontrolle und Interpretation der Ergometrie hat sich zu den LL 2000 keine bedeutsame Änderung ergeben. Das vorliegende Manual nimmt bevorzugt Stellung zu neueren Daten hinsichtlich der Wertigkeit der Ergometrie im Vergleich zu anderen nichtinvasiven (bildgebenden) Ischämietests und kommentiert in diesem Kontext auch die Stellung der Ergometrie im Rahmen der jüngsten ESC-Empfehlungen. Darüber werden präzise Informationen zu Ablauf/Überwachung und der dafür vorzuhaltenden personellen Ausstattung anhand von Empfehlungen der AHA gegeben.

Einleitung und Definition

Belastungsuntersuchungen gehören zu den wichtigsten diagnostischen kardiologischen Verfahren [5]. Sie haben große Bedeutung für Diagnose, Therapiekontrolle und Prognose bei kardialen Erkrankungen. Darüber hinaus sind sie sinnvoll hinsichtlich der Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit in der Arbeitsmedizin und Sportmedizin wie auch zur Trainingsberatung bei verschiedenen Erkrankungen. Neben der Ischämiediagnostik und Risikoabschätzung der koronaren Herzerkrankung dient die Bestimmung der maximalen Belastbarkeit („physical capacity“) der Prognoseabschätzung. Physiologische, metabolische und pathophysiologische Grundlagen der Belastung sind nicht Inhalt dieses Manuals; diesbezüglich wird

auf die einschlägige Literatur verwiesen [6].

Voraussetzungen

Indikationsstellung

Wie bei allen Untersuchungsverfahren, muss der Durchführung einer ergometrischen Untersuchung eine rechtfertigende Indikationsstellung zugrunde liegen. Diese ergibt sich aus den Empfehlungen der **Tab. 6, 8, 9, 10, 11 und 12**. Wenn z. B. bereits klinisch-anamnestisch absehbar ist, dass eine Ergometrie hinsichtlich eines Ischämienachweises diagnostisch nicht verwertbar sein wird (z. B. Patienten mit schweren Begleiterkrankungen bzw. solchen, bei denen ein erhöhtes Risiko einer Kreislaufinstabilität zu erwarten ist), sollte sie gar nicht erst durchgeführt werden. Es sollten dann primär alternative (bildgebende) Verfahren zur Ischämiediagnostik angewandt werden [2, 3].

Klinische Voraussetzungen

Die **Anamnese** sollte neben der Symptomatik auch die Frage nach der bisherigen regelmäßigen körperlichen Aktivität und dem Grad der Belastbarkeit beinhalten. Extrakardiale Erkrankungen, die eine Ergometrie beeinträchtigen, sind zu erfassen. Ebenso ist ein **vollständig dokumentierter Medikationsstatus obligat** – insbesondere hinsichtlich der Einnahme von Digitalis, β -Rezeptorenblockern und Antiarrhythmika. Nach

Tab. 1 Patientengruppen, bei denen während der Ergometrie ein Arzt persönlich im Raum anwesend sein sollte (gemäß AHA-Empfehlungen [8])

<i>Koronare Herzkrankheit</i>	Koronare Herzkrankheit bei symptomatischen Patienten, wenn der Patient zuvor noch keine Ergometrie absolviert hatte Innerhalb der ersten 7 Tage nach Myokardinfarkt bzw. ACS
<i>Hämodynamisch relevante Vitien wie</i>	Mäßig- bis hochgradige Aortenklappenstenose bei einem asymptomatischen oder fraglich symptomatischen Patienten Mäßig- bis hochgradige Mitralstenose bei einem asymptomatischen oder fraglich symptomatischen Patienten Hämodynamisch relevante intrakardiale Shunts
<i>Kardiomyopathien</i>	Hypertrophe Kardiomyopathie: Risikostratifikation bzw. Bestimmung des Belastungsgradienten Hochgradige linksventrikuläre Dysfunktion; insbesondere wenn der Patient zuvor noch keine Ergometrie absolviert hatte NYHA III – Herzinsuffizienz
<i>Herzrhythmusstörungen</i>	Anamnese von belastungsinduzierbaren oder malignen Arrhythmien oder Zustand nach Reanimation Verdacht auf belastungsinduzierbare Rhythmusstörungen Anamnestisch belastungsinduzierte Synkope
<i>Schwere pulmonalarterielle Hypertonie</i>	
ACS akutes Koronarsyndrom; NYHA „New York Heart Association“	

Tab. 2 Bruce-Protokoll für die Laufbandergometrie

Stufe	Geschwindigkeit (km/h)	Neigungswinkel (%)	Dauer (min)
1	2,7	0	3
2	2,7	5	3
3	2,7	10	3
4	4,0	12	3
5	5,4	14	3
6	6,7	16	3
7	8,0	18	3
8	8,8	20	3

den aktuellen ESC-Leitlinien wird eine Ergometrie zur Ischämiediagnostik bei digitalisierten Patienten nicht mehr als sinnvoll erachtet [2]. Vor Durchführung der Ergometrie ist eine klinische Untersuchung, insbesondere **kardiale Auskultation** und **Messung des Blutdrucks** sowie Aufzeichnung eines 12-Kanal Standard-EKGs unter Ruhebedingungen notwendig. Pathologische Veränderungen im Ruhe-EKG sollten immer vor einer Belastung abgeklärt werden. Hierbei ist v. a. auf Endstreckenveränderungen sowie ventrikuläre Rhythmusstörungen unter Ruhebedingungen zu achten. Bei auffälligen klinischen oder elektrokardiographischen Befunden sollte einem Belastungstest eine echokardiographische Untersuchung vorausgehen, um strukturelle Verände-

rungen zu erfassen, die möglicherweise für den Belastungstest berücksichtigt werden müssen [7]. Hierzu gehören alle Formen von Kardiomyopathien oder hämodynamisch relevante Klappenvitien.

Technisch-apparative Voraussetzungen

Räumliche Voraussetzung. Angenehme Raumtemperaturen zwischen 18 und 22 Grad und einer Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 60%. *Speziell im Hochsommer sind stickig-warme Umgebungsverhältnisse zu vermeiden, da diese das Risiko für einen vasodepressorisch vermittelten Kreislaufkollaps in der Erholungsphase erhöhen.* Eine Liege, auf der ein Patient im Notfall und/oder nach Belastungsende gelagert werden kann,

sowie ein Telefon müssen ebenfalls im Raum vorhanden sein.

Ergometrieeräte. Ergometer müssen den Anforderungen der MedGV genügen und unterliegen einer regelmäßigen Wartung und Kalibrierung gemäß Konformitätsbedingungen [6]. Belastungsuntersuchungen werden am häufigsten mittels Fahrradergometrie in sitzender oder (halb-)liegender Position durchgeführt; die verwendeten Fahrradergometer werden mechanisch oder weitgehend drehzahlunabhängig elektrisch gebremst. Die drehzahlunabhängigen Geräte haben den Vorteil, dass bei höheren Belastungen, die Leistung über die Tretfrequenz gesteigert werden kann bei entsprechend geringerem Widerstand und damit niedrigerem Krafteinsatz. Dieses ist bei den Personen vorteilhaft, bei denen die Muskelkraft zum limitierenden Faktor wird und damit eine echte Ausbelastung verhindert wird (speziell bei älteren Menschen und Kindern). Alternativ zum Fahrradergometer wird meistens das Laufbandergometer eingesetzt; neben diesen beiden am häufigsten verwendeten Methoden finden Belastungsuntersuchungen mittels Kletterstufe *nach Klepzig und Kaltenbach* oder Handkurbelergometer kaum noch Anwendung.

EKG-Registrierung und -Monitoring.

Obligat ist während Belastung die kontinuierliche Aufzeichnung eines 12-Kanal-EKGs mit Standardextremitäten- und Brustwandableitungen. Die Registrierung läuft über EKG-Klebe- oder besser mit Saugelektroden. Eine sorgfältige Präparation der Haut (Reinigung/Entfettung) gewährleistet eine möglichst artefaktfreie Aufzeichnung. Zur kontinuierlichen EKG-Überwachung ist ein Monitor erforderlich, der fortlaufend den EKG-Ablauf zeigt. So können während der Belastung ST-Strecken-Alterationen, Leitungsstörungen, Schenkelblockbilder oder Arrhythmien sofort erfasst werden.

Notfallausstattung. Bei jedem Belastungs-EKG müssen Möglichkeiten zur Behandlung von Zwischenfällen bis hin zur Reanimation gegeben sein. Ein Defibrillator gehört unabdingbar zur

Notfallausrüstung (muss regelmäßig überprüft werden). *Dabei ist ein Defibrillator pro Funktionstrakt/Praxis dann ausreichend, wenn alle Räume, in denen Ergometrien durchgeführt werden, unmittelbar benachbart sind und somit die Zugriffszeit auf einen Defibrillator gleich kurz ist.*

Zusammenfassend gehört zur **Notfallausrüstung**:

- Defibrillator,
- Ausrüstung zur Intubation,
- Ausrüstung zur Infusionstherapie,
- Notfallmedikamente,
- Vorkehrungen zur sofortigen O₂-Gabe,
- Telefon im Ergometrieräum.

Personelle Voraussetzungen und Arztanwesenheit. Die Durchführung der Ergometrie erfordert die Präsenz gut ausgebildeten und geschulten medizinischen Fachpersonals und eines betreuenden Arztes, der für die Durchführung und Auswertung des Belastungstests verantwortlich ist [2, 7, 8].

In einem wissenschaftlichen Statement hat kürzlich die AHA zu den personellen Voraussetzungen bei der Durchführung der Ergometrie Stellung genommen [8]. Die dort aufgeführten Kriterien können auch für die DGK übernommen werden. So trägt der durchführende/überwachende Arzt die Verantwortung für eine methodisch korrekte und sichere Durchführung des Belastungstests. Prinzipiell kann die Ergometrie von einer trainierten Fachkraft durchgeführt werden; diese muss Kenntnisse in der Belastungsphysiologie aufweisen und in der Lage sein, Änderungen des Herzrhythmus sowie der Repolarisation zu erkennen. In diesem Fall muss der Arzt unmittelbar während der gesamten Testdauer verfügbar sein. Basierend auf klinischen Kriterien werden Empfehlungen für die Patienten ausgesprochen, bei denen der Arzt unmittelbar bei der Ergometrie anwesend sein muss, beispielsweise Patienten mit hochgradiger Aortenklappenstenose, anamnestischen belastungsinduzierten Arrhythmien, malignen Arrhythmien, innerhalb der ersten 8 Tage nach ACS/akutem Myokardinfarkt (■ **Tab. 1**; [8]). Regelmäßiges Training der EKG-Fach-

Kardiologe <https://doi.org/10.1007/s12181-018-0265-2>

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2018

T. Klingenhöben · H. Löllgen · R. Bosch · H.-J. Trappe

Manual zum Stellenwert der Ergometrie

Zusammenfassung

Die Ergometrie gehört zur Basisdiagnostik in der Kardiologie. Im Lichte der enormen Fortschritte der kardialen Bildgebung und Risikostratifikation ist eine Neubewertung dieses Untersuchungsverfahrens sinnvoll. In einigen Fragestellungen sind die Empfehlungen zur Anwendung der Ergometrie präzisiert worden. Insbesondere bei der Diagnosestellung der koronaren Herzerkrankung (KHK) hat sich eine Änderung dahingehend ergeben, dass die Anwendung der Ergometrie in der primären Diagnostik in Abhängigkeit von der Vortestwahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer KHK abhängig gemacht wird. Liegt

diese bei 15–65%, so ist nach den aktuellen ESC-Leitlinien zum Management der stabilen KHK eine Ergometrie sinnvoll. Weitere Änderungen zu den DGK-Leitlinien von 2000 bestehen beispielsweise in der Übernahme der Empfehlungen der American Heart Association (AHA) hinsichtlich Durchführung der Ergometrie durch geschultes nichtärztliches Personal sowie der Arztanwesenheit während der Prozedur.

Schlüsselwörter

Ergometrie · Risikostratifikation · Koronare Herzkrankheit · Klinische Kardiologie

Manual on the clinical use of ergometry

Abstract

Ergometry is one of the basic diagnostic tools in clinical cardiology. In the light of the enormous progress in cardiac imaging and risk stratification, a reassessment of the clinical utility of ergometry is reasonable. Some aspects of the recommendations for the use of ergometry have been specified. In particular, there has been a fundamental change with respect to the primary diagnostics of coronary artery disease (CAD), where ergometry is now recommended only in cases of a pretest probability of 15–65% for the presence of a stable CAD, which is

in accordance with current ESC guidelines. Further modifications compared to the German Society of Cardiology (DGK) guidelines from 2000 are related to the supervision of the exercise testing by nonphysicians and the presence of a physician during the procedure, where recommendations made by the American Heart Association (AHA) in 2014 were adopted.

Keywords

Exercise stress test · Risk stratification · Coronary artery disease · Clinical cardiology

kraft (mindestens 2-jährlich) in Reanimationsmaßnahmen gemäß den jeweils aktuellen Leitlinien des ERC (European Resuscitation Council) sind zwingend notwendig und sollten dokumentiert werden. **Es bleibt in der ärztlichen Verantwortung, patientenindividuell zu entscheiden, inwieweit eine Ergometrie eine strikte Arztanwesenheit im Raum erfordert.**

Durchführung der Ergometrie

Nach Messung von Ruheblutdruck, Herzfrequenz sowie einer Analyse des 12-Kanal-Oberflächen-EKGs und Anlage der Elektroden wird die Belastung nach einer initialen Ruhephase von etwa 3 min

nach einem definierten Protokoll begonnen, wobei die Gesamtbelastungsdauer 9–12 min nicht überschreiten sollte (Literatur in [1]) [9, 10].

Während der kompletten Belastungs- sowie in der Erholungsphase wird der Patient kontinuierlich klinisch beobachtet – dies beinhaltet eine ständige Inspektion (Hautkolorit, Schweißneigung), Abfrage klinischer Symptome (Brustschmerzen, Luftnot, Tachypnoe, körperliche Erschöpfung) sowie die regelmäßige Blutdruck- und die kontinuierliche Herzfrequenzmessung.

Für die Durchführung eines Arbeitsversuches ist ein standardisiertes Protokoll, das nach Alter, Größe und Geschlecht ermittelt wird, erforderlich,

Tab. 3 Abbruchkriterien der Ergometrie

Absolute Indikationen	
EKG-Befunde	ST-Strecken-Senkung ≥ 3 mm
	ST-Strecken-Hebung ≥ 1 mm
Hämodynamische Befunde	Blutdruckabfall > 10 mm Hg (Vergleich zum Ausgangsblutdruck) mit Zeichen einer myokardialen Ischämie (Angina pectoris, ST-Senkung)
	Mäßig-schwere Angina-pectoris-Symptomatik
	Schwere Dyspnoe
	Klinische Zeichen einer Minderperfusion (Zyanose)
Arrhythmien	Anhaltende (Dauer > 30 s) ventrikuläre Tachykardie
Sonstiges/ Symptomatik	Erschöpfung des Patienten
	Technische Probleme (defekte EKG-Registrierung, Monitorausfall)
Relative Indikationen	
Hämodynamische Befunde	Hypertensive Fehlregulation (RR _{syst} 230–260 mm Hg, RR _{diast} ≥ 115 mm Hg)
	Blutdruckabfall > 10 mm Hg (Vergleich zum Ausgangsblutdruck) ohne Zeichen einer myokardialen Ischämie (keine Angina pectoris, keine ST-Senkung)
Arrhythmien	Polymorphe Extrasystolie, Paare (2 konsekutive VES), Salven (≥ 3 konsekutive VES)
	Supraventrikuläre Tachykardien
	Bradyarrhythmien
Sonstiges/ Symptomatik	Auftreten von Leitungsstörungen (höhergradiger AV-Block, Schenkelblock)
	Verstärkte Angina-pectoris-Symptomatik

AV atrioventrikulär; VES ventrikuläre Extrasystole

Tab. 5 Ereignisse die während der Ergometrie auftreten können

Häufig	Angina pectoris
	Dyspnoe
	Extrasystolen/Vorhofflimmern/SVT
Selten	Reflektorisch-vasodilatatorisch bedingter Blutdruckabfall (selten: mit Synkope) in der Erholungsphase
Sehr selten	Schwerste, auch nach Belastung anhaltende, myokardiale Durchblutungsstörung/Herzinfarkt
	Lebensbedrohliche Herzrhythmusstörungen/Kreislaufstillstand
	Lungenödem

um objektive und vergleichbare Befunde über normale und pathologische Reaktionen zu erhalten. Die Belastungsuntersuchung sollte dynamisch durchgeführt werden, reproduzierbar und dosierbar sein. Die EKGs sollten minütlich aufgezeichnet werden (Schreibgeschwindigkeit 50 mm/s), wobei Extremitäten- und Brustwandableitungen immer sofort analysiert werden müssen. Nach Belastungsende werden EKG-Registrierungen je nach Protokoll für einige Minuten weiterregistriert und analysiert. Der Patient sollte das Belastungs-EKG-Labor erst verlassen, wenn das EKG wieder seine Ausgangssituation erreicht hat

(Befund vor Belastungsbeginn) und der klinische Zustand des Patienten stabil ist (Erreichen der Situation wie vor der Belastungsuntersuchung).

Das Belastungsprotokoll sollte an die individuelle Belastungsfähigkeit des Patienten angepasst werden [5, 9]. Insofern sind zu hohe Belastungsstufen bei leistungsgeminderten Patienten (zu früher Abbruch) sowie eine zu niedrige Anfangsbelastung bei leistungsstarken Patienten (zu lange Belastungsdauer) zu vermeiden [9, 11].

Für die Fahrradergometrie wird unverändert das von der WHO vorgeschlagene Protokoll empfohlen, bei dem alle

Tab. 4 Patientengruppen, bei denen eine Ergometrie kontraindiziert ist. (Mod. nach [12])

Kontraindikationen zur Ergometrie
Akutes Koronarsyndrom
Symptomatische hochgradige Aortenklappenstenose
Dekompensierte Herzinsuffizienz
Akute Lungenembolie
Akute entzündliche Herzerkrankungen
Akute Aortendissektion
Blutdruckkrise in Ruhe $> 180/100$ mm Hg
Akute Beinvenenthrombose
Akute schwere Allgemeinerkrankung
Extrakardiale Erkrankungen mit deutlich limitierter Lebenserwartung (≤ 6 Monate)

2 min eine Steigerung der Belastung um 25 W erfolgt – beginnend in der Regel mit 50 W, bei leistungsgeminderten Patienten mit 25 W, bei leistungsstarken Patienten mit 75 W oder höher (sog. BAL-Schema) [1]. Laufbandergometrien werden nach dem Bruce-Protokoll durchgeführt (▣ Tab. 2).

Abbruchkriterien der Ergometrie

Hinsichtlich der absoluten und relativen Abbruchkriterien hat sich zu den bisherigen deutschsprachigen Leitlinien keine Änderung ergeben [1, 12]. Da die Ergometrie in der Regel zur Abklärung einer vorbestehenden Belastungssymptomatik durchgeführt wird, sollte diese auch symptomlimitiert durchgeführt werden, es sei denn, es treten vor dem Auftreten von Symptomen klar definierte Abbruchkriterien auf (▣ Tab. 3).

Kontraindikationen zur Ergometrie

Vor der Belastungsuntersuchung sind absolute und relative Kontraindikationen (KI) auszuschließen (▣ Tab. 4). Bei relativen KI sollte eine Ergometrie nur dann erwogen werden, wenn zu erwarten ist, dass der Nutzen und die diagnostische Ausbeute das potenzielle Risiko deutlich überwiegen.

Anmerkung. In spezialisierten kardiologischen Institutionen und Praxen kann

Alter	Typische Angina		Atypische Angina		Extrakard.Schmerz	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
30–39	59	28	29	10	18	5
40–49	69	37	38	14	25	8
50–59	77	47	49	20	34	12
60–69	84	58	59	28	44	17
70–79	89	68	69	37	54	24
>80	93	76	78	47	65	32

Abb. 1 ▲ Klinische Prätest-Wahrscheinlichkeit (PTP) bei Patienten mit stabiler thorakaler Schmerzsymptomatik. (Nach [2, 3])

die Ergometrie *im individuellen Fall* auch bei manifesten schweren kardiovaskulären Befunden (z. B. höhergradige Vitien, bekannte schwere koronare Herzkrankheit) als notwendig erachtet werden, um über das weitere therapeutische Vorgehen entscheiden zu können. Kontraindikationen und Abbruchkriterien richten sich hierbei in erster Linie nach der Erfahrung des untersuchenden Arztes – der auch unbedingt im Raum anwesend sein muss – sowie den Möglichkeiten, bei Komplikationen die adäquaten Sofortmaßnahmen einleiten zu können.

Komplikationen der Ergometrie

Insgesamt ist die Komplikationsrate einer Ergometrie extrem niedrig (■ **Tab. 5**). Das Morbiditätsrisiko wie auch das Risiko tödlicher Komplikationen liegen in historischen Erhebungen aus den 1980er-Jahren bei <0,03–0,05 % (in [12]) und dürften heute noch deutlich darunter liegen.

Indikationen zur Ergometrie

Vorbemerkung. Eine eindeutige Indikationsstellung ist Voraussetzung für die Durchführung einer Ergometrie. Diese wird am häufigsten zur Abklärung einer mutmaßlich kardial bedingten Symptomatik bei Patienten mit entsprechendem Risikoprofil für eine KHK durchgeführt. Hierbei hat sich als obligates Kriterium zur Indikationsstellung die

Vorhersagewahrscheinlichkeit („pretest probability“ [PTP]) durchgesetzt [2]. Dabei sollte nach den aktuellen ESC-Leitlinien zum Management der stabilen KHK eine mäßiggradige (15–65 %) Prätestwahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer KHK gegeben sein (■ **Abb. 1**; [2]). Weitere Indikationen sind Belastungs-dyspnoe, Palpitationen und synkopale Ereignisse unter/nach Belastung. Zudem wird die Ergometrie zur Beurteilung der Belastungsfähigkeit hinsichtlich der Trainingssteuerung sowie bei arbeitsmedizinischen Fragestellungen eingesetzt. Gemäß früheren Empfehlungen hat sich die Einteilung in 3 Klassen bewährt [5]:

- Empfehlungsgrad I: Indikation gesichert,
- Empfehlungsgrad IIa: mögliche Indikation – eher etabliert („sollte erwogen werden“),
- Empfehlungsgrad IIb: mögliche Indikation – eher nicht etabliert („kann erwogen werden“),
- Empfehlungsgrad III: keine Indikation.

Esgelten, sofern angegeben, folgende Evidenzgrade:

- Evidenzgrad A: Daten aus mehreren ausreichend großen, randomisierten Studien oder Metaanalysen,
- Evidenzgrad B: Daten aus einer randomisierten Studie oder mehreren großen nicht randomisierten Studien,

- Evidenzgrad C: Konsensusmeinung von Experten, basierend auf Studien und klinischer Erfahrung.

Neuere Scores. Derzeit befinden sich weitere Scores in klinischer Evaluation. Beispielsweise zeigt eine aktuelle Auswertung der PROMISE-Studie, dass es möglich ist, durch Anwendung einfacher klinischer Prätestvariablen Niedrigrisikogruppen zu identifizieren, bei denen weitere nichtinvasive Testung unterbleiben kann [13]. Andere aktuelle Modelle versuchen, an der anderen Seite des Spektrums Hochrisikopatienten zu identifizieren [14, 15]. Allen gemein ist derzeit eine fehlende prospektive Validierung, sodass bis heute **kein standardisierter Score als obligater Bestandteil Eingang in die Ergometrie gefunden hat**. Insofern können auch die Autoren aktuell keine Empfehlungen zur Verwendung von Scores bei der Ergometrie aussprechen.

Diagnostische Abklärung bei Verdacht auf eine koronare Herzkrankheit (KHK)

Die folgende ■ **Tab. 6** zeigt die Kriterien zur Indikationsstellung der Ergometrie hinsichtlich der diagnostischen KHK-Abklärung, bzw. bei Patienten mit bekannter KHK.

Beurteilung. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit setzt eine maximale Ausbelastung während der Ergometrie voraus. Da die Ergometrie bei KHK-Verdacht zur Abklärung von Symptomen erfolgt, sollte diese allerdings auch symptomlimitiert durchgeführt werden, es sei denn, es treten vor dem Auftreten von Symptomen klar definierte – insbesondere absolute – Abbruchkriterien auf. Hierzu zählt bei der KHK bzw. dem Verdacht auf eine KHK eine signifikant-pathologische Endstreckenveränderung, die den Verdacht auf eine Myokardischämie nahelegt. Das Gleiche gilt für das Auftreten belastungsinduzierter höhergradiger ventrikulärer Rhythmusstörungen.

Tab. 6 Evidenzbasierte Kriterien: Indikationen zum Belastungs-EKG zur diagnostischen Abklärung einer koronaren Herzkrankheit (KHK) [2], nach akutem Myokardinfarkt sowie vor und nach einer Koronarrevaskularisation

Empfehlungsgrad I	Erwachsene Patienten bei Erstuntersuchung mit Angina-pectoris-Symptomen und mittlerer Prätestwahrscheinlichkeit für eine KHK, <i>ohne antiischämische Medikation</i> (auch Patienten mit komplettem Rechtsschenkelblock und ST-Strecken-senkung <1 mm im Ruhe-Elektrokardiogramm [EKG]) nach Alter, Symptomen und Geschlecht), somit bei Verdacht auf KHK oder bekannter KHK (Evidenz B)
	Patienten mit klinischem Verdacht auf KHK oder mit gesicherter KHK und signifikanten Änderungen des klinischen Bildes (Evidenz B)
	Patienten mit instabiler Angina pectoris und niedrigem Risiko (8–12 h) nach Aufnahme ohne aktive Ischämie oder Herzinsuffizienz (Evidenz B)
	Patienten mit instabiler Angina pectoris und mittlerem Risiko 2 bis 3 Tage nach der Erstuntersuchung ohne aktive Ischämie (Evidenz B)
	Nach Myokardinfarkt vor Entlassung aus prognostischen Sicht, zur Empfehlungen der körperlichen Aktivität und Belastbarkeit, und zur Beurteilung der medikamentösen Therapie (Belastung submaximal, 4 bis 6 Tage nach Infarkt) (Evidenz C)
	Nach Myokardinfarkt früh nach Entlassung zur Beurteilung der Prognose, Belastungsfähigkeit und Beurteilung der medikamentösen Therapie, sofern der frühe Test vor Entlassung nicht erfolgte (symptomlimitiert, 14 bis 21 Tage nach Belastung) (Evidenz C)
	Nach Myokardinfarkt spät nach Entlassung zur Beurteilung der Prognose, Belastungsfähigkeit und Beurteilung der medikamentösen Therapie und der kardialen Rehabilitation, sofern der frühe Test submaximal war (symptomlimitiert, 3 bis 6 Wochen nach Belastung) (Evidenz C)
	Nachweis einer myokardialen Ischämie vor Revaskularisation zur Beurteilung von Patienten mit rezidivierenden Symptomen (z. B. Angina pectoris) oder verdächtig auf eine Ischämie (Evidenz C)
	Arbeitsmedizinische Untersuchungen gemäß Empfehlungen der BG (Evidenz C)
	Empfehlungsgrad IIa
Patienten mit bekannter KHK unter Therapie zur Verlaufskontrolle (Evidenz C)	
Nach Entlassung zur Beratung über das Ausmaß der körperlichen Aktivität und/oder das Trainingsprogramm oder der Belastbarkeit im Rahmen der Rehabilitation <i>nach einer Revaskularisation</i> (Evidenz C)	
Patienten mit hohem Risiko einer Restenose <i>nach Revaskularisation</i> (asymptomatische Patienten) (Evidenz C)	
Empfehlungsgrad IIb	Vor oder nach Herzkatheteruntersuchung, wenn ein Ischämienachweis zur weiteren therapeutischen Planung beiträgt (Evidenz C)
	Regelmäßige Überwachung bei Patienten die an einem Rehabilitations- oder Trainingsprogramm teilnehmen (Evidenz C)
	Regelmäßige Beurteilung von revaskularisierten Patienten mit hohem Risiko einer Restenose, eines Bypassverschlusses oder Progression der KHK (asymptomatische Patienten) (Evidenz C)
Empfehlungsgrad III	Patienten unter Digitalistherapie (Evidenz C)
	Patienten mit Präexzitationssyndrom
	Permanente <i>ventrikuläre</i> Schrittmacherstimulation
	ST-Senkung $\geq 0,1$ mV im Ruhe-EKG
	Kompletter LSB (>120 ms)
	Akuter Myokardinfarkt
	Schwere allgemeine Begleiterkrankungen (begrenzte Lebenserwartung)
	Geplante Revaskularisationsmaßnahme bei Patienten mit bekannter KHK
	Lokalisation der Ischämie zur Festlegung der Interventionsart
Routineuntersuchung bei Patienten nach PCI oder ACVB <i>ohne spezifische Indikation/Risikokonstellation</i>	

PCI perkutane koronare Intervention, ACVB aortokoronare Venenbypassoperation, LSB Linksschenkelblock

Tab. 7 Pathologische Kriterien hinsichtlich der KHK-Risikoabschätzung

ST-Senkung (>2 mm) auf niedriger Belastungsstufe
Horizontale oder deszendierende ST-Senkung
Anhaltende ST-Senkung in der Erholungsphase
ST-Senkung in mehreren Ableitungen
ST-Hebung bei Fehlen von Q-Zacken
Niedrige Belastbarkeit (<75 W)
Unzureichender systolischer Blutdruckanstieg (<130 mm Hg)
Fehlender Blutdruckanstieg bzw. Blutdruckabfall bei ansteigender Leistung
Komplexe ventrikuläre Arrhythmien während Belastung (VT)
Verzögerte Herzfrequenzerholung (HRR) nach Belastungsende
VT ventrikuläre Tachykardie

EKG-Befunde

ST-Strecken-Senkungen. Die **Tab. 7** fasst die EKG-Kriterien hinsichtlich der KHK-Risikostratifikation zusammen. Die **Abb. 2** zeigt links eine ischämietypische Endstreckenveränderung, während die im rechten Abbildungsteil dargestellte aszendierende ST-Senkung eine unspezifische und nichtdiagnostische EKG-Veränderung darstellt. Geringgradige *Senkungen* von ST-Strecke (<0,15 mV) und J-Punkt (Referenz ist die isoelektrische Linie der Distanz P–Q) werden auch bei Gesunden beobachtet und sollten bei aszendierendem ST-Strecken-Verlauf (>1 mV/s) als normal angesehen werden; als Hinweis für eine subendokardiale myokardiale Ischämie werden horizontale oder deszendierend verlaufende ST-Strecken-Senkungen (flacher ST-Strecken-Verlauf [<1 mV/s]) von $>0,1$ mV angesehen, die 60–80 m nach dem J-Punkt nachzuweisen sind (**Abb. 2**). Diagnostisch hinsichtlich einer Ischämieaktion sind die ST-Veränderungen zudem, wenn sie in mindestens 2 korrespondierenden EKG-Ableitungen nachgewiesen werden.

Hebungen. Hebungen der ST-Strecke müssen bei Patienten **ohne** Q-Zacken als Zeichen transmuraler Ischämie als pathologisch angesehen werden, wenn sie als Hebung im Bereich des J-Punktes

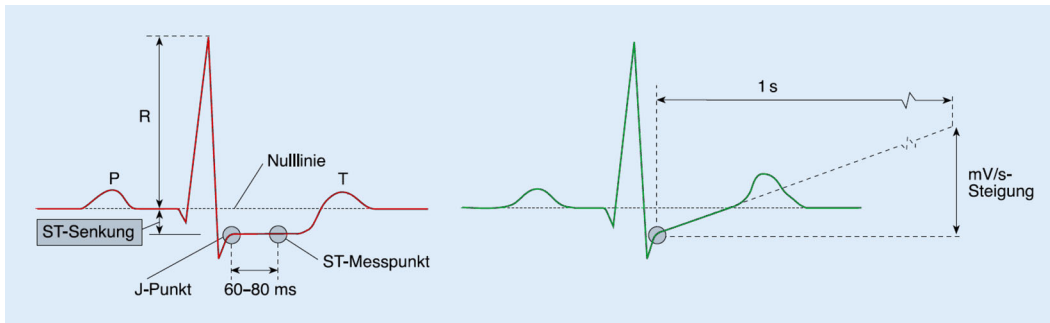


Abb. 2 ◀ Schematische Darstellung belastungsinduzierbarer ST-Strecken-Senkungen. (Nach [1]). *ms* Millisekunde, *mV* Millivolt, *s* Sekunde

vorliegen ($\geq 0,1$ mV [1 mm]) oder als ST-Strecken-Hebung $\geq 0,1$ mV (1 mm) 60–80 ms nach dem J-Punkt auftreten (in jeweils 3 aufeinanderfolgenden EKG-Komplexen).

Risikostratifikation nach Myokardinfarkt. In der Rekonvaleszenz nach akutem Myokardinfarkt dient die Ergometrie neben der Diagnostik einer möglichen Restischämie auch der Bestimmung der kardiopulmonalen Belastbarkeit sowie der Risikostratifikation. Insbesondere Störungen der Erregungsausbreitung oder belastungsinduzierbare ventrikuläre Arrhythmien spielen eine Rolle für die weitere klinische Nachbeobachtung der Patienten.

Beurteilung. Hinsichtlich der Beurteilung gelten die gleichen Kriterien wie bei der diagnostischen Abklärung der KHK (s. oben). Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass ein neu aufgetretener deutlicher Leistungsabfall als klinisches Äquivalent einer möglichen KHK-Progression angesehen werden kann.

Patienten nach Koronarrevaskularisation. In Gefolge einer interventionellen oder chirurgischen Revaskularisationsmaßnahme können regelmäßige Belastungstests sinnvoll sein, um evtl. auftretende „stumme“ Myokardischämien detektieren zu können. Dies erscheint insbesondere dann sinnvoll, wenn vor der Revaskularisation die Ergometrie deutlich pathologische Befunde gezeigt hatte bzw. eine erhöhte Risikokonstellation für eine In-Stent-Stenose, Bypassverschluss oder KHK-Progression besteht. Der Belastungstest sollte erstmals 6 Wochen nach Revaskularisation sowie dann etwa 6 Monate nach Revaskularisation er-

folgen oder aber jederzeit bei Wiederauftreten von Symptomen. Bei stabilen Patienten werden Belastungstests in 12-monatigen Abständen empfohlen. Es bleibt festzuhalten, dass es zu diesem etablierten Vorgehen aktuell keine prospektiven Daten gibt. Hingegen werden routinemäßige Ergometrien bei revaskularisierten Patienten ohne die vorgenannte Risikokonstellationen nicht empfohlen.

Evidenzbasierte Kriterien jenseits des ST-Segments: Beurteilung des Belastungs-EKGs zur Risikoabschätzung und Prognosebeurteilung

Obwohl die Ergometrie bei der Diagnosestellung der KHK nur bei Patienten mit einer mittleren Vortestwahrscheinlichkeit indiziert ist (s. oben) spielt das Belastungs-EKG unabhängig vom Vorliegen einer KHK zur Prognoseabschätzung eine wichtige Rolle [11, 16]. Dabei hat sich die Bestimmung der Belastungskapazität bzw. „kardiorespiratorische Fitness“ (CRF) als stärkster Prädiktor erwiesen [17, 18]; in einer Metaanalyse von Kodama et al. erwies sich ein „cut-off“ von 7,9 METs als bester Diskriminator sowohl hinsichtlich der Gesamtmortalität als auch des Auftretens kardiovaskulärer Ereignisse [18]. Diese Beurteilung kann in gleicher Weise auf die Fahrradergometrie übertragen werden. Die Aussagekraft – insbesondere des Bruce-Protokolls – ist limitiert bei älteren, adipösen oder untrainierten Probanden [9]. Eine *chronotrope Inkompetenz* unter Belastung stellt einen weiteren Prädiktor unabhängig vom Vorliegen einer KHK dar. Allerdings muss diese z. B. altersadjustiert werden, da mit zunehmendem Alter die Spitzenfrequenz unter Belastung abnimmt;

hier hat sich die Kalkulation der relativen Herzfrequenzreserve (auch: „chronotropic index“) als präziserer Marker der chronotropen Antwort herausgestellt [19]. Ein weiterer frequenzbasierter Marker ist die Herzfrequenz in der unmittelbaren Erholungsphase („heart rate recovery“ [HRR]); allerdings ist die Magnitude der HRR abhängig vom Erholungsprotokoll und die Literatur in diesem Punkt etwas uneinheitlich. Es hat sich aber als pathologischer Grenzwert eine HRR von < 12 Schlägen 1 min nach Beendigung der Belastung etabliert [9, 20].

Ergometrie bei arterieller Hypertonie

Bei der Beurteilung des Blutdruckanstiegs unter submaximaler Ergometrie sind verschiedene Faktoren wie Alter, arterielle Gefäßsteifigkeit, Blutdruck in Ruhe vor Belastung, Geschlecht, körperliche Fitness und Körpergewicht in Betracht zu ziehen. Aktuell besteht kein Konsens hinsichtlich der „normalen“ Blutdruckantwort unter ergometrischer Belastung; diesbezüglich sind verschiedene Definitionen vorgeschlagen worden [21]. Darüber hinaus wird aufgrund fehlender standardisierter Definitionen und Methoden die Ergometrie zur Vorhersage der zukünftigen Entwicklung eines Bluthochdrucks nicht empfohlen [21], obwohl neuere Beobachtungen nahelegen, dass erhöhte Blutdruckwerte auf niedrigen Belastungsstufen in der Ergometrie eine tatsächliche arterielle Hypertonie demaskieren können [22]. Die Indikationen zur Ergometrie bei Hypertonie sind in **Tab. 8** zusammengefasst.

Tab. 8 Indikationen zur Belastungsuntersuchung bei arterieller Hypertonie [21, 22]

<i>Empfehlungsgrad I</i>	Erkennung einer Belastungshypertonie bei normalem bzw. hoch-normalem Ruhe-/Ausgangsbloodruck (Evidenz C)
	Einschätzung der Effektivität einer antihypertensiven Therapie auf den Belastungsblooddruck (Evidenz C)
	Bei klinischem Verdacht auf Myokardischämie wird eine Ergometrie empfohlen (Evidenz C)
<i>Empfehlungsgrad IIa</i>	Patienten mit linksventrikulärer Hypertrophie unklarer Ursache (Evidenz C)
	Abklärung belastungsinduzierbarer Rhythmusstörungen bei Hypertonie (Evidenz C)
<i>Empfehlungsgrad III</i>	Ruheblooddruck >180/100 mm Hg bei arterieller Hypertonie (Evidenz C)

Tab. 9 Indikationen zum Belastungs-EKG bei asymptomatischen Personen ohne bekannte KHK

<i>Empfehlungsgrad IIa</i>	Untersuchung von Patienten mit mehreren Risikofaktoren (Evidenz C)
	Untersuchung von asymptomatischen Männern >40 Jahre und Frauen >50 Jahre bei ausgeprägtem genetischem Risikoprofil (Evidenz C)
	Vor Aufnahme eines körperlichen Trainings (Evidenz C)
	Bei Berufen, bei denen eine Erkrankung die öffentliche Sicherheit gefährden kann (s. a. arbeitsmedizinische Indikationen) (Evidenz C)
	Bei hoher Wahrscheinlichkeit einer KHK (periphere arterielle Verschlusskrankheit [AVK], chronische Niereninsuffizienz etc.) (Evidenz B)
<i>Empfehlungsgrad III</i>	Routineuntersuchung von asymptomatischen Personen ist nicht empfohlen (Evidenz B)

AVK arterielle Verschlusskrankheit, KHK koronare Herzkrankheit

Tab. 10 Indikationen zum Belastungs-EKG bei Patienten mit Diabetes mellitus [27]

<i>Empfehlungsgrad IIa</i>	Beurteilung von asymptomatischen Patienten mit Diabetes mellitus, die eine intensive körperliche Aktivität planen (Evidenz C)
<i>Empfehlungsgrad IIb</i>	Beurteilung von Personen mit mehreren Risikofaktoren zur Beratung einer Risikominderung (Lebensstil, Medikament; Evidenz C)
	Beurteilung von asymptomatischen Männern über 45 Jahre und Frauen über 55 Jahre, die beabsichtigen, sich regelmäßig körperlich zu betätigen, oder die in Berufen tätig sind mit potenzieller Gefährdung anderer Menschen oder die weitere Risikofaktoren für eine KHK haben (periphere arterielle Verschlusskrankheit [AVK], chronische Niereninsuffizienz etc.) (Evidenz B/C)
<i>Empfehlungsgrad III</i>	Routinemäßiges Screening von asymptomatischen Diabetikern ist nicht empfohlen (Evidenz B)

AVK arterielle Verschlusskrankheit, KHK koronare Herzkrankheit

Beurteilung. Neben den oben erwähnten pathologischen Befunden, die eine relevante Myokardischämie nahelegen, ist eine ausgeprägte Blutdruckentgleisung v. a. dann als Hinweis für eine behandlungsbedürftige Hypertonie anzusehen, wenn diese Entgleisung noch in der Erholungsphase persistiert. Die diagnostischen Grenzwerte zur Diagnosestellung einer arteriellen Hypertonie sind zwar nicht in großen Studien festgelegt, als konsensual gelten Werte von ≥ 240 mm Hg systolisch und ≥ 110 mm Hg diastolisch.

Ergometrie bei Herzinsuffizienz

Bei der Diagnose der Herzinsuffizienz mit erhaltener LV-Funktion spielt die Ergometrie im Rahmen einer Stressechokardiographie eine Rolle bei gleichzeitiger Erfassung von Änderungen des linksventrikulären (E/e') sowie des pulmonalarteriellen Drucks [23]. Zudem gibt es Empfehlungen zur Durchführung der Spiroergometrie im Rahmen der Evaluation hinsichtlich einer Herztransplantation bzw. Indikation zum Linksherzunterstützungssystem [24].

Beurteilung. Neben den oben erwähnten pathologischen Befunden, die eine relevante Myokardischämie nahelegen, sind eine ausgeprägte Dyspnoe sowie das Auftreten ventrikulärer Rhythmusstörungen mit einer Herzinsuffizienz assoziiert. Zudem kann die zusätzliche pulsoxymetrische Bestimmung der O₂-Sättigung ergänzend hilfreich sein (nicht obligat bei der Ergometrie). Auch das Auftreten einer Zyanose stellt ein diagnostisches Abbruchkriterium dar.

Ergometrie bei HOCM/Erwachsenen mit kongenitalen Vitien (EMAH)

Bei der Diagnose der HOCM kann die Ergometrie zur Risikostratifizierung beitragen.

Speziell die Spiroergometrie spielt eine wichtige Rolle hinsichtlich der Definition des optimalen Zeitpunktes von Interventionen bzw. Re-Interventionen bei EMAH-Patienten. Ebenso kann hier die Ergometrie in der Abklärung belastungsinduzierter Arrhythmien hilfreich sein [25, 26]. Insbesondere besteht ein Empfehlungsgrad IIa für die Durchführung einer Ergometrie zur Risikostratifizierung von Patienten mit HOCM.

Beurteilung. Als pathologische Befunde gelten neben den typischen Kriterien für eine Ischämieereaktion das Auftreten einer klinischen Herzinsuffizienzsymptomatik sowie – im Rahmen der Risikostratifizierung – der Nachweis belastungsinduzierbarer ventrikulärer Rhythmusstörungen.

Asymptomatische Patienten

In den bereits oben erwähnten Empfehlungen der ESC ist die Ergometrie zur Risikostratifizierung der KHK lediglich bei einer hohen Prätestwahrscheinlichkeit empfohlen. Bei intermediärem Risiko und fehlenden Symptomen ist hingegen eher eine bildgebende anatomische oder funktionelle Bildgebung indiziert [3].

Tab. 11 Indikationen zum Belastungs-EKG zur Rhythmusdiagnostik [4, 30–36]	
Empfehlungsgrad I	Patienten mit ventrikulären Rhythmusstörungen und mittlerem bis hohem Risiko für eine KHK zur Provokation von Ischämie oder ventrikulären Arrhythmien (Evidenz B)
	Patienten mit bekannter oder vermuteter belastungsinduzierbarer ventrikulärer Arrhythmie (einschließlich CPVT), zur Diagnose und Prognoseabschätzung (Evidenz B)
	Beurteilung der Einstellung bei einem frequenzadaptiven Schrittmachersystem (Evidenz B)
	Beurteilung von Patienten mit totalem AV-Block vor Aufnahme eines körperlichen Trainingsprogrammes oder vor Wettkampfsport (Evidenz C)
Empfehlungsgrad IIa	Beurteilung von Patienten mit bekannten oder vermuteten Arrhythmien (z. B. Belastungskapazität unter frequenzkontrollierender Medikation bei Vorhofflimmern) (Evidenz C)
	Beurteilung der chronotropen Kompetenz (Evidenz C)
	Beurteilung nach medikamentöser, operativer oder ablativer Therapie bei Patienten mit belastungsinduzierten Arrhythmien (Evidenz C)
Empfehlungsgrad IIb	Untersuchung bei isolierten ventrikulären Extrasystolen bei Patienten mittleren Alters ohne Hinweise auf eine KHK (Evidenz B/C)
	Untersuchung bei AV-Block I. Grades oder AV-Block 2. Grades (Typ Wenckebach) (Evidenz B/C)
	Linksschenkelblock, Rechtsschenkelblock oder vereinzelte ventrikuläre Extrasystolen vor Teilnahme an Wettkampfsport (Evidenz B)
Empfehlungsgrad III	Routineuntersuchung bei vereinzelten ventrikulären Extrasystolen jüngerer Patienten wird nicht empfohlen (Evidenz C)
AV atrioventrikulär, CPVT catecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie; KHK koronare Herzkrankheit	

Tab. 12 Belastungsuntersuchung bei Patienten mit Herzklappenvitien [37–41]	
Empfehlungsgrad I	Asymptomatische hochgradige Aortenklappenstenose zur Demaskierung klinischer Symptome bzw. zur Risikostratifikation (Evidenz C)
	Präoperative Risikoabschätzung vor nichtkardialer Chirurgie bei Patienten mit asymptomatischer hochgradiger Aortenklappenstenose (Evidenz C)
	Risikoabschätzung vor Schwangerschaft bei asymptomatischen höhergradigen Klappenvitien (Evidenz C)
Empfehlungsgrad IIa	Objektivierung der klinischen Symptomatik und Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei anderen Klappenvitien (Evidenz C)
Empfehlungsgrad IIb	Patienten mit Mitralklappenstenose zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit (Evidenz C)
Empfehlungsgrad III	Symptomatische hochgradige Vitien, insbesondere symptomatische hochgradige Aortenklappenstenose

Diabetes mellitus

Bei Patienten mit manifestem Diabetes mellitus schlagen die ESC-Leitlinien zu Diabetes und kardiovaskulären Erkrankungen die Durchführung eines Belastungstests zur Abklärung einer möglicherweise vorliegenden strukturellen Herzerkrankung zumindest vor [27]. Allerdings wird die Zuverlässigkeit von Ischämietests bei Diabetikern aufgrund verschiedener Störfaktoren kontrovers diskutiert [28, 29]. Da die Durchführung eines aeroben Belastungstrainings

bei Diabetikern eine Klasse-IA-Indikation der „Lifestyle-Modifikation“ darstellt, erscheint es sinnvoll, eine Ergometrie zur Beurteilung voranzustellen (Klasse IIa C: s. unten). Hingegen ist das routinemäßige Screening bei asymptomatischen Diabetikern nicht empfohlen

Patienten mit Rhythmusstörungen

Sinnvoll erscheint eine Ergometrie lediglich bei Patienten, die anamnestisch eindeutige Kriterien für eine belastungsinduzierte Rhythmusstörung aufweisen.

Die Sinnhaftigkeit der Ergometrie zur Risikoabschätzung von asymptomatischen Patienten mit ventrikulärer Präexzitation ist durch Fallberichte infrage gestellt worden, in welchen bei Patienten mit intermittierender Präexzitation unter Katecholamineinfluss das Vorhandensein einer Bahn mit kurzer Refraktärzeit beschrieben wurde [30]. Zudem erscheint die Ergometrie sinnvoll, um bei herzgesunden Patienten mit symptomatischen Palpitationen eine ursächliche (oft ventrikuläre) Extrasystolie besser zu charakterisieren. Gehäufte und komplexe ventrikuläre Rhythmusstörungen in der Erholungsphase nach der Ergometrie sind prognostisch als ungünstig zu bezeichnen und sollten weiter abgeklärt werden. Bei Verdacht auf eine polymorphe catecholaminerge ventrikuläre Tachykardie (CPVT) ist zur Diagnostik oder zum Ausschluss immer eine Ergometrie bis zur Erschöpfung erforderlich.

Beurteilung. Als diagnoseweisender (pathologischer) Befund gilt die Reproduzierbarkeit der klinischen Symptomatik im Kontext der Induktion anhaltender – zumeist tachykarder – Rhythmusstörungen.

Herzklappenvitien

Die primäre Intention einer Belastungsuntersuchung bei Klappenvitien (Tab. 12) ist, eine unklare Symptomatik abzuklären bzw. eine Symptomatik überhaupt zu demaskieren [37]. Ein weiterer klinischer Nutzen besteht in der Risikostratifikation von Patienten mit Aortenklappenstenose. So stellt beispielsweise bei asymptomatischen Patienten mit schwerer Aortenstenose ein belastungsinduzierter Anstieg des mittleren Gradienten >20 mm Hg nach den aktuellen ESC-Leitlinien [37] eine Indikation zum Aortenklappenersatz dar.

Spezielle Indikationsstellung zur Ergometrie

Leistungsuntersuchung Arbeitsmedizin. Die Ergometrie ist für bestimmte Berufsgruppen obligater Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge/

Beurteilung. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen präventiv-arbeitsmedizinischen und leistungsphysiologischen Indikationen. Diesbezüglich sei auf die weiterführende einschlägige Literatur verwiesen [42, 43].

Leistungsuntersuchung Sportmedizin.

Während das Ruhe-EKG bei Sporttreibenden aller Altersstufen zum obligaten Standard der sportärztlichen Vorsorgeuntersuchung gehört, gibt es für routinemäßige Ergometrien bei Freizeitsportlern keine evidenzbasierte Empfehlung [44]. Hingegen spielt bei Athleten zur Bestimmung der körperlichen Fitness die maximal erzielte Leistung in Watt, MET oder als VO_2max in der Spiroergometrie neben der Laktatmessung eine wichtige Rolle [45]. Bei spezifischen klinischen Fragestellungen kommt die Ergometrie zum Tragen, um beispielsweise den Verdacht auf eine relevante strukturelle Herzerkrankung beim Sportler auszuschließen [44–48] oder bei Verdacht auf CPVT oder Ionenkanalerkrankungen eine Risikostratifikation durchzuführen.

Mindestanforderungen zur Dokumentation der Ergometrie

Zur vollständigen Dokumentation der Belastungsuntersuchung sollte ein vordefiniertes Protokoll verwendet werden, welches neben der Indikationsstellung und der aktuellen Medikation, v. a. eine Aufzeichnung wichtiger hämodynamischer Parameter enthält sowie Auftreten von Symptomen und EKG-Veränderungen dokumentiert. Die originale EKG-Aufzeichnung ist mit zu dokumentieren. Das Belastungs-EKG muss kontinuierlich aufgezeichnet und archiviert werden (in Papierform oder digital).

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergometrie stellt unverändert ein zentrales Untersuchungsverfahren in der klinischen Kardiologie dar. Ihre Wertigkeit hinsichtlich der Hauptfragestellung – der Ischämiediagnostik bzw. des Nachweises einer KHK – ist in der Ära der bildgebenden Ischämiediagnostik neu zu beurteilen; die Indikation soll sich an der Prätestwahrscheinlichkeit einer

KHK orientieren. Sie ermöglicht zugleich ergänzende Aussagen hinsichtlich des Blutdrucks, der autonomen Funktion sowie der prognostischen Krankheitsabschätzung.

Um die diagnostische Genauigkeit der Ergometrie zu optimieren, werden aktuell neuere EKG-Parameter klinisch untersucht, namentlich die Analyse des QRS-Komplexes im Hochfrequenzbereich (sog. „high-frequency QRS“ bzw. „Hyper-Q“ [49]). Diese Analyse ist bislang nur in einzelnen EKG-Systemen implementiert und aufgrund der aktuellen Datenlage nicht als klinischer Routinemarket etabliert. Auch die Entwicklung klinischer Scores unter Einbeziehung der Ergometrie wird die Risikostratifikation in Zukunft verbessern; allerdings können diese aufgrund bislang fehlender *prospektiver* Validierungen noch nicht mit einer Empfehlung versehen werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. T. Klingenheben

Praxis für Kardiologie & Ambulante Herzkatheterkooperation
Im Mühlenbach 2B, 53127 Bonn, Deutschland
klingenheben@bonn-kardiologie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org> bei der entsprechenden Publikation.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Trappe JH, Löllgen H (2000) Leitlinien zur Ergometrie. *Z Kardiol* 89:821–837
2. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S et al (2013) 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 34(38):2949–3003. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz296>
3. Genders TS, Steyerberg EW, Alkadhri H et al (2011) A clinical prediction rule for the diagnosis of coronary artery disease: validation, updating, and extension. *Eur Heart J* 32:1316–1330
4. Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) (2016) Nationale Versorgungs-Leitlinie Chronische KHK – Langfassung, 4. Auflage.

Version 1. www.khk.versorgungsleitlinien.de. Zugriffen: 5. Juni 2018. <https://doi.org/10.6101/AZQ/000267>

5. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker T et al (2002) ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing. A report of the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *Circulation* 106:1883–1892
6. Löllgen H, Erdmann E, Gitt AK (Hrsg) (2010) Ergometrie – Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis, 3. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg
7. Colquhoun D, Freedman B, Cross D et al (2014) Clinical exercise stress testing in adults. *Heart Lung Circ* 2015(24):831–837
8. Myers J, Forman DE, Balady GJ et al (2014) Supervision of exercise testing by nonphysicians. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 130:1014–1027
9. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P et al (2013) Exercise standards for testing and training. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 128:873–934
10. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE et al (1983) Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 55:1558–1564
11. American College of Sports Medicine, Riebe D, Ehrman JK, Liguori G et al (2018) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, 10. Aufl. Wolters Kluwer Health, Philadelphia
12. Wonisch M, Berent R, Klicpera M et al (2008) Praxisleitlinien Ergometrie. *J Kardiol Austrian J Cardiol* 15(Suppl A):3–16
13. Fordyce CB, Douglas PS, Roberts RS et al (2017) Identification of patients with stable chest pain deriving minimal value from noninvasive testing. The PROMISE minimal-risk tool, a secondary analysis of a randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 2:400–408
14. Cremer PC, Wu Y, Ahmed HM et al (2017) Use of sex-specific clinical and exercise risk scores to identify patients at increased risk for all-cause mortality. *JAMA Cardiol* 2:15–22
15. Israel A, Kivity S, Sidi Y et al (2016) Use of exercise capacity to improve SCORE risk prediction model in asymptomatic adults. *Eur Heart J* 37:2300–2306
16. Kligfield P, Lauer MS (2006) Exercise electrocardiogram testing: beyond the ST segment. *Circulation* 114:2070–2082
17. Myers J, Prakash M, Froelicher V et al (2002) Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 346:793–801
18. Kodama S, Saito K, Tanaka S et al (2009) Cardio-respiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta analysis. *JAMA* 301:2024–2035
19. Lauer MS, Francis GS, Okin PM et al (1999) Impaired chronotropic response to exercise stress testing as a predictor of mortality. *JAMA* 281:524–529
20. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ et al (1999) Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med* 341:1351–1357
21. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K et al (2013) ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J* 34(28):2159–2219
22. Schultz MG, Picone DS, Nikolic SB et al (2016) Exaggerated blood pressure response to early stage of exercise stress testing and presence of hypertension. *J Sci Med Sport* 19:1039–1042
23. Erdei T, Smiseth OA, Marino P, Fraser AG (2014) A systematic review of diastolic stress test in heart failure with preserved ejection fraction, with

- proposals from the EU-FP7 MEDIA study group. *Eur J Heart Fail* 16:1345–1361
24. Corrà U, Piepoli MF, Adamopoulos S et al (2014) Cardiopulmonary exercise testing in systolic heart failure in 2014: the evolving prognostic role. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training of the Heart Failure Association of the ESC. *Eur J Heart Fail* 16:929–941
 25. Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM et al (2010) ESC guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J* 31(23):2915–2957. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq249>
 26. Diller GP, Dimopoulos K, Okonko D et al (2005) Exercise intolerance in adult congenital heart disease: comparative severity, correlates, and prognostic implication. *Circulation* 112:828–835
 27. Ryden L, Grant PJ, Anker SD et al (2013) ESC guidelines on diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular diseases developed in collaboration with the EASD. *Eur Heart J* 34:3035–3087
 28. Albers AR, Krichavsky MZ, Balady GJ (2006) Stress testing in patients with diabetes mellitus. *Circulation* 113:583–592
 29. Bates RE, Omer M, Abdelmoneim SS et al (2016) Impact of stress testing for coronary artery disease screening in asymptomatic patients with diabetes mellitus: a community-based study in Olmsted County, Minnesota. *Mayo Clin Proc* 91:1535–1544
 30. Gemma LW, Steinberg L, Prystowsky E et al (2013) Development of rapid preexcited ventricular response to atrial fibrillation in a patient with interemittend preexcitation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 24:347–350
 31. Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D et al (2016) ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur Heart J* 2016(37):2893–2962
 32. Ulimoen SR, Enger S, Pripp AH et al (2014) Calcium channel blockers improve exercise capacity and reduce NT pro BNP levels compared with beta-blockers in patients with permanent atrial fibrillation. *Eur Heart J* 35:517–524
 33. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A et al (2015) ESC guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J* 36:2793–2867
 34. Pedersen CT, Kay GN, Kalman J et al (2014) EHRA/HRA/APHS expert consensus on ventricular arrhythmias. *Europace* 16:1257–1283
 35. Zipes DP, Camm AJ, Borggrefe M et al (2006) ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death—executive summary. *Eur Heart J* 27:2099–2140
 36. Podrid PJ, Graboys TB (1984) Exercise stress testing in the management of cardiac rhythm disorders. *Med Clin North Am* 68:1139–1152
 37. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ et al (2017) ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2017:38. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx391>
 38. Henri C, Pierard LA, Lancellotti P et al (2014) Exercise testing and stress imaging in valvular heart disease. *Can J Cardiol* 30:1012–1026
 39. Redfors B, Pibarot P, Gillam LD et al (2017) Stress testing in asymptomatic aortic stenosis. *Circulation* 135:1956–1976
 40. Singh A, Greenwood JP, Berry C et al (2017) Comparison of exercise testing and CMR measured myocardial perfusion reserve for predicting outcome in asymptomatic aortic stenosis: the prognostic importance of microvascula dysfunction in aortic stenosis (PRIMID AS) study. *Eur Heart J* 38:1222–1229
 41. Magne J, Lancellotti P, Pierard LA (2010) Exercise pulmonary hypertension in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Circulation* 122:33–41
 42. Chatterjee M, Schmeißer G (2017) Updated guideline for ergometry within the framework of occupational physical examinations. (Aktualisierter Leitfaden für die Ergometrie im Rahmen arbeitsmedizinischer Untersuchungen). *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 52:913–921
 43. Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB (2003) Textbook of work physiology, 4. Aufl. Human Kinetics, Leeds. ISBN 978-0736001403
 44. Maron BJ et al (2015) AHA/ACC scientific statement. Eligibility and disqualification recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities: task force 2: preparticipation screening for cardiovascular disease in competitive athletes. *J Am Coll Cardiol*. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.09.034>
 45. Salvati A, Ora J, Donatucci B, Rogliani P (2016) Cardiopulmonary exercise test in athletes. *Med Sport (Roma)* 69:289–296
 46. DGSP S1 – Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport. (2007) http://daten2.verwaltungsportal.de/dateien/seitengenerator/leitlinie_vorsorgeuntersuchung_4.10.2007-anlage-7.pdf. Zugegriffen: 17. Mai 2018 (Anlage 7 – Belastungs-EKG. 2007. S. 38–40)
 47. Boldt F, Berbalk A, Halle M et al (2002) Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin der DGSP. <http://www.sportmedizin-hamburg.com/images/pdfs/LeitlinienDGSP.pdf>. Zugegriffen: 17. Mai 2018
 48. Löllgen H, Leyk D (2018) Exercise testing in sports medicine. *Dtsch Arztebl* 115(24):409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>
 49. Conti A, Alesi A, Aspesi G et al (2015) High-frequency QRS analysis compared to conventional ST-segment analysis in patients with chest pain and normal ECG referred for exercise tolerance test. *Cardiol J* 22:141–149