Journal für
Kardiologie
Austrian Journal of Cardiology
Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauferkrankungen

Ergometrie 2023 – Ein Update zum Stellenwert in der kardiovaskulären Medizin inklusive Grundlagen für die arbeitsmedizinische Praxis // Ergometry 2023 – An update on the importance in cardiovascular medicine including basics for occupational medicine

Berent R, Niederseer D
Baldinger T, Leiss W, Auer J

Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology 2024; 31 (3-4), 49-56

Homepage:
www.kup.at/kardiologie
Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

ÖKG Österreichische Kardiologische Gesellschaft
Offizielles Partnerjournal der ÖKG

EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY®
Member of the ESC-Editor's Club

Offizielles Organ des Österreichischen Herzfonds

ACVC Association for Acute CardioVascular Care
In Kooperation mit der ACVC

Indexed in ESCI part of Web of Science
Indexed in EMBASE

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz
P.b.b. 02Z031105M, Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21 Preis: EUR 10,–

Medtronic
Engineering the extraordinary

Expert 2 Expert 2026

15.01. – 17.01.2026, Linz

Gemeinsam für eine bessere Patientenversorgung.

OmniaSecure | Micra 2 | Aurora | Affera | LINQ II | TYRX

Vorabanmeldung aufgrund limitierter Plätze notwendig.
Bei Interesse bitte bei Ihrem Medtronic Außendienstmitarbeiter anfragen.

For personal use only. Not to be reproduced without permission of Krause & Pachernegg GmbH.

Ergometrie 2023 – Ein Update zum Stellenwert in der kardiovaskulären Medizin inklusive Grundlagen für die arbeitsmedizinische Praxis*

R. Berent[1], D. Niederseer[2,3,4], T. Baldinger[5], W. Leiss[6], J. Auer[7]

Kurzfassung: Die Ergometrie stellt trotz der Verfügbarkeit alternativer Belastungsuntersuchungen mit bildgebenden Verfahren ein weiterhin wichtiges nicht-invasives diagnostisches Standardverfahren in der Kardiologie dar. Basiskenntnisse zu physiologischen und leistungsdiagnostischen Grundlagen sind für die richtige Anwendung der Methode und die Interpretation der Ergebnisse essentiell.

Die Ergometrie wird nicht nur für die Ischämiediagnostik und Risikoabschätzung bei koronarer Herzerkrankung und in der Arbeitsmedizin bei Eignungs- und Folgeuntersuchungen eingesetzt, sondern ist auch ein entscheidendes diagnostisches Instrument in der Therapieplanung einer Vielzahl weiterer kardialer Erkrankungen. Zudem wird die Ergometrie auch zur Trainingsplanung in der kardiovaskulären und pulmonalen Rehabilitation eingesetzt.

Schlüsselwörter: Ergometrie, Arbeitsmedizin, Ischämie, Risikoeinschätzung, Trainingsplanung

Abstract: Ergometry 2023 – an update on the importance in cardiovascular medicine including basics for occupational medicine practice. Despite the availability of alternative stress tests with imaging procedures, excercise testing continues to be important non-invasive standard diagnostic procedure. Basic knowledge of physiology and stress testing are essential for accurate performance and appropriate interpretation of test results.

Excercise testing is not only used for detection of ischemia and risk assessment in patients with coronary heart disease but may add important information in occupational medicine for aptitude and follow-up examinations. Additionally, excercise testing is a crucial diagnostic and prognostic tool in a variety of other cardiac conditions and diseases. Finally, excercise testing is frequently used to guide training schedules in cardiovascular and pulmonary rehabilitation. **J Kardiol 2024; 31 (3–4): 49–56.**

Key words: exercise testing, occupational medicine, ischemia, risk assessment, training schedule

Fact-Box/Take-Home-Messages

1. In der Arbeitsmedizin liegt der Schwerpunkt oftmals auf der Eignungstestung durch Prüfung der kardio-pulmonalen Fitness und Ausschluss des Vorliegens von Krankheiten mittels Ergometrie und weniger auf der Diagnostik von Erkrankungen.
2. Die Ergometrie zur Eignungstestung erfolgt u. a. beim Arbeiten mit schweren Atemschutzgeräten, unter Belastung durch Hitze, in Bereichen mit herabgesetzter Sauerstoffkonzentration, Berufstauchen, in Druckluft oder ggf. bei Exposition mit speziellen Chemikalien.
3. Die rechtliche Grundlage in Österreich ist zu einem großen Teil im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) und der Verordnung für die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz (VGÜ) festgelegt.
4. Die Fahrradergometrie spiegelt nicht die reellen Belastungen am Arbeitsplatz wider.
5. Die Ergometrie sollte im ausgeruhten Zustand stattfinden und regelmäßig eingenommene Medikamente unverändert konsumiert werden.
6. Auch in der modernen Kardiologie ist die Ergometrie eine sinnvolle und wichtige Untersuchung, wenngleich sie nicht mehr als primäre Diagnostik bei koronarer Herzkrankheit empfohlen wird.
7. Bei der Durchführung der Ergometrie ist die Berücksichtigung und Kenntnis von Indikationen, Kontraindikation, Einflussfaktoren, Abbruchkriterien und Interpretation wichtig.
8. Die objektive Bestimmung der Leistungsfähigkeit sowie die Erhebung von Daten für die Trainingssteuerung z. B. in der Rehabilitation und Trainingstherapie sind Alleinstellungsmerkmale der Ergometrie.
9. Die Wahl des richtigen Belastungsprotokolls (Stufen- vs. Rampenprotokoll) sowie die Belastungsmodalität (Fahrrad vs. Laufband) zum Erreichen einer Belastungsdauer von 8–12 Minuten ist für die Interpretation der Ergometrie von zentraler Bedeutung.

Einleitung

Die ergometrische Belastungsuntersuchung gehört als nicht-invasive Untersuchungsmethode zu den häufigen und bewährten Verfahren für Diagnostik, Therapiekontrolle, Prognose und Beurteilung von Leistungsfähigkeit, Belastbarkeit und Beanspruchung in Arbeits- und Sportmedizin, Pneumologie und Kardiologie. Sie gibt Grundlagen zur Trainingsberatung für Gesunde, Sportler und Patienten. Die Bestimmung der maximalen Belastbarkeit („maximal exercise capacity“) ist für Gesunde und Patienten ein wichtiger Parameter zur Prognoseabschätzung von Morbidität und Mortalität.

Sonderbereich Arbeitsmedizin

Anders als im Bereich der Kardiologie liegt in der Arbeitsmedizin der Fokus oftmals nicht auf der Diagnosestellung einer Erkrankung, sondern es steht die Testung der Eignung für bestimmte Arbeitsplätze im Vordergrund. Hierbei soll zum einen die körperliche Fitness geprüft werden, zum anderen ein

Eingelangt am 10.08.2023; angenommen nach Revision am 21.09.2023; Pre-Publishing Online am 14.12.2023

Aus der [1]HerzReha Bad Ischl; der [2]Hochgebirgsklinik Davos, dem [3]Christine-Kühne-Center for Allergy Research and Education (CK-CARE), Medicine Campus Davos, dem [4]Center for Translation and Molecular Cardiology (CTEC), Klinik für Kardiologie, Universitätsspital Zürich, Universität Zürich, Schweiz; dem [5]Salzkammergut Klinikum Vöcklabruck; dem [6]Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft und der [7]Abteilung für Innere Medizin I mit Kardiologie und Intensivmedizin, A. ö. KH St. Josef Braunau

Korrespondenzadresse: Prim. Univ.-Prof. Dr. Johann Auer, Abteilung für Innere Medizin I mit Kardiologie und Intensivmedizin, A. ö. KH St. Josef Braunau, A-5280 Braunau, Ringstraße 60; E-Mail: johann.auer@khbr.at

*Überarbeitete, erweiterte und um arbeitsmedizinische Aspekte ergänzte Fassung der „Praxisleitlinien Ergometrie und Spiroergometrie“, J Kardiol 1–2/2022 [1].

möglichst sicherer Ausschluss von Gefährdungspotential wegen relevanter Erkrankungen des kardiovaskulären und/oder pulmonalen Systems erfolgen. Zeigen sich während der Anamnese oder Untersuchung Hinweise auf das Vorliegen von Erkrankungen, müssen entsprechende Maßnahmen, welche von der Anpassung des Arbeitsplatzes bis hin zur weiterführenden fachärztlichen Abklärung oder der Bescheinigung einer Nicht-Eignung reichen, evaluiert werden.

Eine besondere Rolle spielt die Überprüfung der Eignung für bestimmte Berufsgruppen, die am Arbeitsplatz besonderen Belastungen ausgesetzt sind. Arbeitsplätze, die mit einer hohen Belastungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems einhergehen, sind beispielsweise solche, wo Atemschutzgeräte verwendet werden, beim Berufstauchen, in Druckluft oder dort, wo unter Einwirkung von durch den Organismus besonders belastender Hitze gearbeitet wird. Auch bei Arbeiten in Bereichen mit herabgesetzter Sauerstoffkonzentration, wie sie zum Beispiel in einigen EDV-Serverräumen oder Lagerstätten angetroffen werden kann, ist eine Überprüfung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und der Ausschluss von Erkrankungen, die eine Gesundheitsgefährdung in diesen Bereichen darstellen würden, mittels Ergometrie sinnvoll. Ebenso kann die Durchführung einer Ergometrie indiziert sein, wenn eine Exposition mit speziellen Chemikalien vorliegt [2].

In Österreich dürfen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer mit Tätigkeiten, bei denen die Gefahr einer Berufskrankheit besteht und bei denen einer arbeitsmedizinischen Untersuchung im Hinblick auf die spezifische, mit dieser Tätigkeit verbundene Gesundheitsgefährdung prophylaktische Bedeutung zukommt, nur beschäftigt werden, wenn vor Aufnahme der Tätigkeit eine solche Untersuchung durchgeführt wurde (Eignungsuntersuchung) und bei Fortdauer der Tätigkeit solche Untersuchungen in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt werden (Folgeuntersuchungen) (§ 49 Arbeitnehmer-Innenschutzgesetz [ASchG]). Die diesbezügliche Rechtslage wird insbesondere in der Verordnung für die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz (VGÜ) festgelegt. Andere Bereiche, in denen die Eignungstestung relevant sein kann, wie zum Beispiel für Bundesheer, Feuerwehr oder Polizei, sind rechtlich gesondert geregelt.

Üblicherweise wird in Österreich die Ergometrie auf dem stationären Fahrrad durchgeführt. In der Arbeitsmedizin gilt hier zu bedenken, dass durch eine Fahrradergometrie die Reaktion des Körpers auf die jeweils getestete Belastung auf dem Ergometer geprüft wird, und in der Regel nicht die reellen Belastungen am Arbeitsplatz widergespiegelt werden [3]. So ist es beispielsweise an einem Hitzearbeitsplatz oft die Kombination der Faktoren Arbeitsleistung, Schutzkleidung und Umgebungstemperatur, die zu einem hohen Flüssigkeitsverlust führen und zusammengenommen eine besondere Herausforderung für den Temperaturregulationsmechanismus und das Herz-Kreislaufsystem darstellen. Diese Bedingungen liegen jedoch während der Fahrradergometrie nicht vor. Eine arbeitsmedizinische Beurteilung kann deshalb nicht allein aufgrund eines Belastungstests erfolgen. Es bedarf bereits vor der Durchführung der Fahrradergometrie einer ausführlichen Arbeitsanamnese mit Ermittlung und Beurteilung der Gefahren des Arbeitsplatzes, um die Übertragbarkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit auf dem Ergometer auf die tatsächliche körperliche Belastung am Arbeitsplatz zu ermöglichen [4].

Da schwere körperliche Tätigkeit die Leistungsfähigkeit beeinflusst, sollte die Ergometrie in ausgeruhtem Zustand und mit einem Mindestabstand von mehreren Stunden zu schweren körperlichen Belastungen durchgeführt werden [2]. Allerdings reichen oft auch mehrere Stunden Pause zur vollständigen Erholung nicht aus, sodass idealerweise die Ergometrie am Folgetag stattfinden sollte. Belastungsuntersuchungen, die in nicht vollständig ausgeruhtem Zustand durchgeführt werden, haben Limitationen in Bezug auf eine Vergleichbarkeit zu vorherigen und nachfolgenden Ergometrien.

Um am Tag der Leistungstestung die Gegebenheiten eines normalen Arbeitstages möglichst gut wiederzugegeben, soll von der Arbeitnehmerin oder dem Arbeitnehmer eine regelmäßige Medikation vor der Ergometrie im Regelfall weiter eingenommen werden [4].

Ergometrie (Tab. 1)

Die Ergometrie ist dosierbar, reproduzierbar und ermöglicht zusätzliche Messungen wie Elektrokardiogramm (EKG), Blutdruck und Atemgasaustausch (im Falle einer Spiroergometrie). Vor der körperlichen Belastung sind immer entsprechende Voruntersuchungen (kardiovaskulärer Kurzstatus mit Auskultation des Herzens, Ruhe-Blutdruck, Ruhe-12-Ableitungs-EKG) durchzuführen.

Tabelle 1: Die Ergometrie ist indiziert bei und hat Aussagekraft bezüglich (Auswahl): [5–9]

Diagnostik	KHK, Arrhythmien, Wirksamkeit von Vitien chronotrope Kompetenz, arterielle Hypertonie
Prognose	Nach MCI, CMP Nach Revaskularisation Antiarrhythmische Therapie Die körperliche Leistungsfähigkeit ist ein sehr starker Prädiktor für Morbidität und Mortalität auch bei Gesunden
Leistung	Kardiopulmonal Schrittmacherfunktion (chronotrope Funktion) ICD/CRT-Programmierung Respiratorischer Gasaustausch Muskuläre Kraft, z. B. während der Fahrradergometrie
Therapie	Antianginöse Therapie Antihypertensive Therapie Antiarrhythmische Therapie – Frequenzregulation Antiobstruktive Therapie Herzinsuffizienztherapie ICD/CRT-Programmierung Resynchronisationstherapie Trainingssteuerung Verlaufskontrolle nach ACBP, PCI, Vitien, HTX, Training

KHK: koronare Herzerkrankung; MCI: Myokardinfarkt; CMP: Kardiomyopathie; ICD: implantierbarer Cardioverter/Defibrillator; CRT: kardiale Resynchronisationstherapie, ACBP: aortokoronare Bypassoperation; PCI: perkutane koronare Intervention; HTX: Herztransplantation

Vortestwahrscheinlichkeit in der Ischämiediagnostik

Haupteinsatzgebiet der Ergometrie ist die Ischämiediagnostik, wobei diesbezüglich die Sensitivität bei nur 58 % und die Spezifität bei nur 62 % liegt [10–12]. Daher ist die Ergometrie erst ab einer Vortestwahrscheinlichkeit (VTW) von zumindest 15 % anzuwenden [13] (vgl. Tab. 5 in: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31504439/).

Weitere diagnostische Testverfahren werden nach Beurteilung der allgemeinen klinischen Wahrscheinlichkeit bei einer VTW von < 15 % empfohlen:

- keine weitere Diagnostik: bei unauffälligem Belastungs-EKG, wenn kein Koronarkalk im CT (Agatston-Score = 0) → verringert die Wahrscheinlichkeit einer KHK
- weitere Diagnostik empfohlen: bei Risikofaktoren für eine KHK (Dyslipidämie, Diabetes, Hypertonie, Rauchen, KHK-pos. Familienanamnese), Ruhe-EKG mit neuen Q-Zacken- oder ST-Strecken-/T-Wellenveränderungen, linksventrikuläre Dysfunktion in der Echokardiographie, auffälliges Belastungs-EKG, Koronarkalk im CT, periphere arterielle Verschlusskrankheit → erhöht die Wahrscheinlichkeit für eine KHK.

Voruntersuchungen in Zusammenhang mit arbeitsmedizinischen Aspekten

Die Erhebung einer ausführlichen Anamnese unter Berücksichtigung arbeitsmedizinischer Aspekte ist Voraussetzung für die Durchführung einer Belastungsuntersuchung. Hierbei sind neben aktuellen Beschwerden und bekannten Erkrankungen auch Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen inkl. Familienanamnese und Raucherstatus, die Medikamentenanamnese und im Falle der Eignungstestung in der Arbeitsmedizin eine genaue Arbeitsanamnese zu erheben.

Mindestens ein kardiovaskulärer Kurzstatus mit Auskultation des Herzens ist durchzuführen. Des Weiteren ist der Ruhe-Blutdruck zu messen sowie ein Ruhe-12-Ableitungs-EKG durchzuführen und ärztlich zu befunden.

Die Kontraindikationen sind während der Voruntersuchungen auszuschließen (Tab. 2).

Eine weiterführende kardiologische Abklärung inkl. transthorakaler Echokardiographie vor Durchführung der Belastungstestung ist insbesondere bei Verdacht auf das Vorliegen einer relevanten Erkrankung während dieser Voruntersuchungen empfohlen, um gegebenenfalls Kontraindikationen für die Untersuchung zu erkennen.

Die Belastungsuntersuchung ist gerade zur Beurteilung der klinischen Symptomatik, der Hämodynamik und der Einschätzung des Ausmaßes einer mittel- bis hochgradig wirksamen Herzklappenerkrankung mit unklaren Symptomen eine viel zu selten angewandte Untersuchungsmethode [14]. Eine Echokardiographie unter Belastung kann hier zusätzliche Informationen für die weitere Therapie liefern.

Tabelle 2: Ergometrie – Kontraindikationen (KI). Erstellt nach [5, 14, 15].

Absolute KI	Relative KI
Akutes Koronarsyndrom	Hämodynamisch wirksame Hauptstammstenose
Symptomatische Herzrhythmusstörung mit/ohne eingeschränkte Hämodynamik	Schlecht frequenzkontrollierte Tachyarrhythmie (Ruheherzfrequenz > 110/min.)
Symptomatische hochgradige Herzklappenerkrankungen	Mittel- bis hochgradig wirksame Herzklappenerkrankungen mit unklaren Symptomen
Dekompensierte Herzinsuffizienz	Ruheblutdruck systolisch > 160 mmHg
Akute Lungenembolie	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
Akute Phlebothrombose der unteren Extremität	Höhergradige AV-Blockierungen
Akute Endo-, Myo-, Perikarditis	Elektrolytstörungen
Akute Aortendissektion	Symptomatische Anämie
Akute Extremitätenischämie	Manifeste Hyperthyreose
Akute Infekte mit/ohne Fieber	Physische und/oder psychische Beeinträchtigungen (wie z. B. fortgeschrittene System- oder Demenzerkrankung)

Methoden

Fahrradergometrie, Laufband

Belastungsuntersuchungen werden am häufigsten mittels Fahrradergometrie in sitzender oder (halb-)liegender Position durchgeführt. Alternativ zum Fahrradergometer wird meistens das Laufbandergometer eingesetzt. Bei Letzterem ist die Sauerstoffaufnahme um 10–15 % höher als bei der Fahrradergometrie.

Bedingungen

Standardisierte Bedingungen im Untersuchungsraum sind nach Möglichkeit anzustreben.

Die Raumtemperatur sollte zwischen 18–24 °C betragen und übermäßige Luftfeuchtigkeit vermieden werden. Eine Liege sollte sich in unmittelbarer Nähe (für Notfälle) befinden.

Auch die technischen Apparate sollten die entsprechenden Bedingungen erfüllen (standardisiertes Ergometer mit CE-Zeichen; EKG-Gerät mit CE-Zeichen und Schreibgeschwindigkeit 25 [od. 50] mm/sec, 12-Kanal-Registrierung, kontinuierliche Monitorüberwachung, Ausschrieb bzw. EKG-Dokumentation alle 2 Minuten).

Während der Belastung sind die fortlaufende EKG-Anzeige, Beobachtung des Probanden sowie Herzfrequenz- und Blutdrucküberwachung notwendig, um bei Komplikationen die Ergometrie frühzeitig abzubrechen.

Individuell ist für jeden Probanden von ärztlicher Seite her zu entscheiden, ob eine Ergometrie eine strikte Arztanwesenheit unmittelbar im Raum erfordert. Ein qualifizierter Arzt muss jedoch stets umgehend verfügbar sein. Ebenso ist für das Vorhandensein der Notfallausrüstung zu sorgen, wobei für die Geräte ebenso auf den technischen Standard zu achten ist (CE-Zeichen, Überprüfung und Wartung nach Herstellerempfehlung etc.). Hierzu zählen mindestens Stethoskop, Blutdruck-Messgerät, Defibrillator, Material zur Intubation und Beatmung, Sauerstoff-Flasche und Material zur Applikation,

Tabelle 3: Individuelles Protokoll

Individuell erwartete Maximal-belastung	Stufen-protokoll – Steigerung um	Computergesteuer-tes Rampenproto-koll	Start- und Erholungs-belastung
mind. 240 W	20 W/min	Steigerung alle 5–15 Sekunden um 1–2 W unter Berück-sichtigung der Start- und der individuellen Maximalbelastung	40 W
mind. 180 W	15 W/min		30 W
mind. 150 W	12 W/min		25 W
mind. 120 W	10 W/min		20 W
max. 90 W	7 W/min		10 W
unter 70 W	5 W/min		10 W

mind.: mindestens; max.: maximal; W: Watt; min: Minute

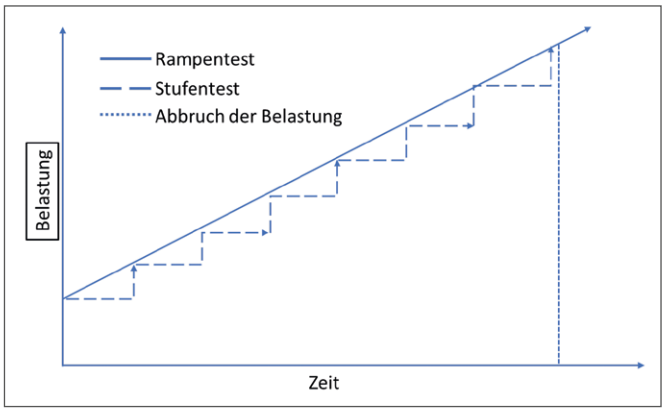

Abbildung 1: Belastungsformen bei der Fahrradergometrie. © R. Berent

Material zum Legen eines peripheren venösen Zugangs mit Infusionsbesteck, sowie die Medikamente, die zur Behandlung etwaiger Notfälle erforderlich sein könnten (wie etwa Adrenalin, Amiodaron, Atropin, Metoprolol, Diazepam, Furosemid, Verapamil, Nitrospray, Beta-2-Sympathomimetika als Dosieraerosol) [1].

Symptomlimitierte Ergometrie in der Arbeitsmedizin

Es soll aus arbeitsmedizinischer Sicht grundsätzlich eine symptomlimitierte Ergometrie erfolgen. Dies bedeutet, dass der Proband selbst entscheidet, wann aufgrund von Erschöpfung, Schmerzen oder anderweitigen Beschwerden die Untersuchung abgebrochen wird. Die alters-, geschlechts-, gewichts- und größenabhängige Sollleistung und das Erreichen einer angestrebten altersabhängige max. Herzfrequenz oder Wattzahl sind keine guten Belastungsendpunkte und stellen kein Kriterium für einen vorzeitigen Abbruch der Untersuchung dar, sofern keine objektiven Kriterien den vorzeitigen Abbruch der Untersuchung erzwingen. Die Leistung wird üblicherweise als Prozentsatz des Solls ausgedrückt. Eine Leistungsfähigkeit von 100 % bedeutet, dass der Belastungsumfang dem Durchschnitt (durchschnittlicher Erwartungswert) entspricht.

Protokolle (Tab. 3)

Der Belastungszeitraum soll den Erfordernissen des jeweiligen Protokolls entsprechen. Die zu erzielende maximale Belastung, die innerhalb dieses Zeitraums erreicht werden soll, muss an die individuelle Leistungsfähigkeit des Patienten angepasst werden. Belastungen von kürzerer Dauer führen nicht zu einer vollen kardiorespiratorischen Ausbelastung, Belastungen über 12 Minuten bringen keinen zusätzlichen Informationsgewinn. Sie führen lediglich durch muskuläre Erschöpfung zu einem vorzeitigen Belastungsabbruch ohne kardiorespiratorische oder symptomlimitierte Ausbelastung.

Faustformel zur Berechnung der zu erwartenden Sollleistung:
Männer: 3 W/kg Körpergewicht (KG)
Frauen: 2,5 W/kg KG
(–1 % pro Jahr > 30. Lebensjahr)

Bei der Fahrradergometrie kann entweder ein individueller Stufentest mit Anstieg in Watt jede Minute oder alle 2 Minuten oder ein individueller Rampentest, bei dem keine klar definierten Stufen mehr erkennbar sind, mit kontinuierlicher Erhöhung der Watt z. B. alle 10 Sekunden um 1–2 Watt bis zum Abbruch durchgeführt werden (Abb. 1). Das Erreichen einer Belastungsdauer von 8–12 Minuten setzt zur Programmierung der Rampensteigerung eine Abschätzung der erwarteten Maximalleistung des Patienten voraus. Diese Steigerung erfolgt computergesteuert. Der Nachteil ist die unzureichende Vergleichbarkeit auf den einzelnen Belastungsstufen. Rampenbelastungen können aber über Messgrößen des Gasaustausches vergleichbar werden, speziell über die O_2-Aufnahme. Somit wird diese Belastungsform häufig als schneller Rampenanstieg zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme verwendet [1, 6].

Bei der Laufbandergometrie werden ebenfalls individuell abgestimmte Protokolle empfohlen. Dabei bieten sich Steigerungen in 1-minütigem Abstand entweder der Geschwindigkeit (z. B. 5 km/h + 0,3–0,5 km/h/min, Steigung 2 % konstant) oder der Steigung (z. B. 5 % + 2 %/min, 4 km/h konstant) an. Alternativ können standardisierte Protokolle wie das Bruce- oder das modifizierte Bruce-Protokoll verwendet werden.

Ischämiekaskade

Unter ischämischen Bedingungen manifestieren sich Veränderungen im Myokard zuerst durch Stoffwechselveränderungen, dann durch Änderungen der myokardialen Funktion gefolgt von EKG-Veränderungen und zuletzt durch klinische Beschwerden (Abb. 2).

EKG, Ischämie und ST-Streckenveränderungen [16, 17]

Die Sensitivität und Spezifität der Ergometrie hinsichtlich der Ischämiediagnostik sind vom Grad der Ausbelastung und der Belastungsdauer abhängig. Es sollte zumindest eine Leistungsfähigkeit von 75 % des Sollwertes (oder Anstrengungsempfinden von > 17 in der Borg-Skala) erzielt werden, um eine relevante Aussage machen zu können.

Einer besonderen Bedeutung in der Ischämiediagnostik unter Belastung kommt der Analyse der ST-Strecke im EKG zu. Als Bezugspunkt wird der J-Punkt – das ist derjenige Punkt, wo die S-Zacke in die ST-Strecke übergeht – herangezogen (Abb. 3). Je ausgeprägter ST-Streckensenkungen unter Belastung sind und je mehr Ableitungen davon betroffen sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer wirksamen koronaren Herzerkrankung und umso ausgeprägter sind die Koronarveränderungen (Abb. 4). Die ST-Streckensenkung erlaubt keine sichere Loka-

lisation des Ortes der Ischämie, somit ist eine anatomische Zuordnung zur Koronarmorphologie nur eingeschränkt möglich. Bei einer ST-Hebung kann hingegen die transmurale Ischämie je nach Ableitung lokalisiert werden. Bei Patienten unter Digitalistherapie, mit komplettem Linksschenkelblock oder bei ventrikulärem Pacing ist die Veränderung der ST-Strecke unter Belastung nicht als Ischämiehinweis zu werten.

Die Ergometrie zum Ischämienachweis in „Konkurrenz" zu anderen nicht-invasiven Testverfahren [13]

Die KHK ist eine chronische Erkrankung mit instabilen Phasen, die als akutes Koronarsyndrom (ACS), und stabilen Phasen, die als chronisches Koronarsyndrom (CCS = chronic coronary syndrome) bezeichnet werden. Dazu zählen:

1. Patienten mit Verdacht auf KHK und Angina-pectoris und/oder Luftnot,
2. Patienten mit neu aufgetretener Herzinsuffizienz oder linksventrikulärer Dysfunktion und vermuteter KHK,
3. asymptomatische und symptomatische Patienten mit Symptomen < 1 Jahr nach ACS oder Patienten mit kürzlich durchgeführter Revaskularisation,
4. asymptomatische und symptomatische Patienten > 1 Jahr nach initialer Diagnose einer koronaren Herzkrankheit,
5. Patienten mit Angina pectoris und vermuteten epikardialen Koronarspasmen oder mikrovaskulärer Erkrankung,
6. asymptomatische Patienten, bei denen eine KHK im Rahmen einer Screeninguntersuchung entdeckt wurde.

Bei der Auswahl diagnostischer Tests hat das Belastungs-EKG in den neuen Guidelines der CCS eine deutliche Abwertung erfahren. Kann anhand der klinischen Untersuchung eine stenosierende KHK nicht ausgeschlossen werden, wird bei symptomatischen Patienten als Primärdiagnostik bei Verdacht auf KHK die nichtinvasive Ischämietestung durch eine funktionelle Bildgebung (Kardio-MRT unter Belastung, Myokardszintigraphie, Positronen-Emissionstomographie) und/oder ein Koronar-CT empfohlen. (Empfehlungsgrad I, Evidenzgrad B) [18] (vgl. Fig. 4 in: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31504439/).

Bei Patienten mit Verdacht auf eine KHK wird ein Belastungs-EKG zur Beurteilung von Belastungstoleranz, Symptomen, Arrhythmien, Blutdruckverhalten und Risikoabschätzung empfohlen, wenn diese Informationen eine Auswirkung auf das diagnostische Vorgehen oder die Behandlung haben (IC).

Steht keine nicht-invasive Bildgebung zur Verfügung, kann ein Belastungs-EKG als alternative Untersuchung angedacht werden, um die Diagnose einer KHK zu stellen oder auszuschließen (IIbB).

Unter einer antianginösen Behandlung kann ein Belastungs-EKG angedacht werden, um die Verbesserung der Klinik bzw. der Ischämie zu beurteilen (IIbC).

Ein Belastungs-EKG für diagnostische Zwecke hat keine Aussagekraft bei Patienten mit ≥ 0,1 mV ST-Streckensenkung im Ruhe-EKG, oder bei Patienten, die Digitalis einnehmen (IIIC). Weiters trifft dies auch bei komplettem Linksschenkelblock, bei ventrikulärer Stimulierung oder bei einem WPW-Syndrom im EKG zu.

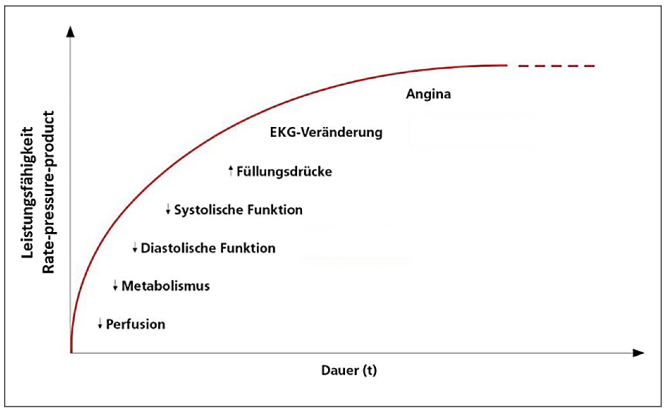

Abbildung 2: Die Ischämiekaskade. © R. Berent

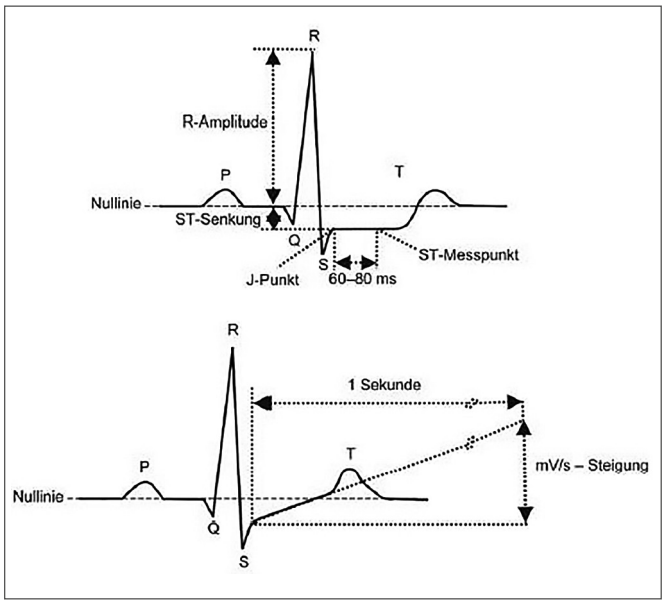

Abbildung 3: Die ST-Strecke, der J-Punkt. Aus [16].

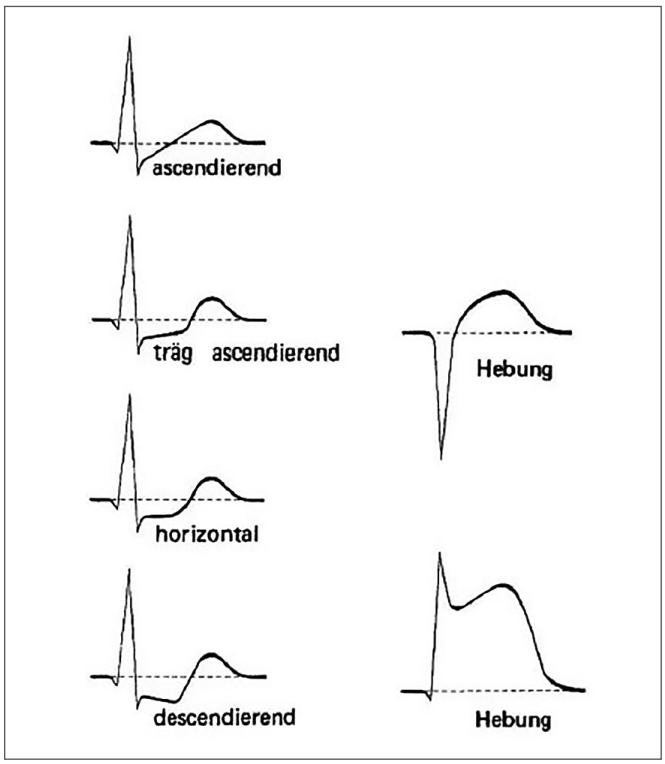

Abbildung 4: Die möglichen ST-Streckenveränderungen. Mod. nach [16].

Eine Risikobeurteilung für Koronarereignisse wird empfohlen, um Patienten mit Hochrisikokonstellation bezüglich Mortalität zu identifizieren. Dabei handelt es sich um Patienten, bei denen eine Revaskularisation über eine Symptomverbesserung hinaus zusätzlichen Nutzen bringen könnte (ST-Senkungen bereits bei niedriger Belastungsstufe in Verbindung mit Symptomen [Angina pectoris, Dyspnoe], schlechte Leistungsfähigkeit, ventrikuläre Extrasystolie oder Tachyarrhythmie unter Belastung oder in der Erholungsphase, überschießende Blutdruckregulation, typische Angina pectoris und eine segmentale systolische linksventrikuläre Dysfunktion).

Bei Patienten mit vermuteter oder neu diagnostizierter KHK wird somit eine Risikostratifizierung auf der Grundlage von Belastungsuntersuchungen mit Bildgebung oder eines Koronar-CT (falls die Expertise vor Ort und die Verfügbarkeit dies gestatten) oder alternativ eines Belastungs-EKG empfohlen (wenn eine ausreichende Belastung möglich ist und anhand des EKG ischämische Veränderungen erkannt werden können) (IB).

Blutdruck und körperliche Belastung

Derzeit besteht kein Konsens über ein normales Blutdruckverhalten unter Belastung [19]. Der systolische Blutdruckanstieg unter Belastung ist vom Ausgangswert, dem Alter (verstärkt mit höherem Alter), der Gefäßsteifigkeit, der abdominellen Adipositas, dem Geschlecht (Frauen stärkerer Anstieg) und der Fitness abhängig. Unter physiologischen Bedingungen sollte der systolische Blutdruck um ca. 10 mmHg pro MET (ca. 20 W) ansteigen [20]. Ein pathologischer Belastungsblutdruck kann mit folgender Formel abgeschätzt werden:

RR-Grenze =
120 mmHg + 0,4 × (Intensität [Watt] + Alter [Jahre])

„Faustregel" für Männer und Frauen, 20–50 Jahre alt: pathologischer Belastungsblutdruck > 200/> 100 mmHg bei 100 Watt und > 185/> 100 mmHg bei 75 Watt.

Es bestehen Hinweise, dass ein überschießender Blutdruckanstieg unter Belastung, unabhängig vom Ausgangswert, der Entstehung einer arteriellen Hypertonie vorausgeht [21]. Nach Ende der Belastung sollte der RR innerhalb von 5 min auf den Ausgangswert oder tiefer zurückgehen [20]. Ein verzögerter Blutdruckabfall geht mit einem erhöhten Risiko für eine KHK bzw. Herzinsuffizienz und somit mit einer Verschlechterung der Prognose einher [22–24].

Blutdruck-bedingte Abbruchkriterien bei der Belastungsuntersuchung: bei untrainierten Gesunden > 250 mmHg systolisch und/oder >115 mmHg diastolisch, fehlender Anstieg oder Abfall des systolischen RR unter den Ausgangswert oder > 10 mmHg trotz vorhergehendem Anstieg

Herzfrequenz (HF) und körperliche Belastung

Damit körperliche Leistung erbracht werden kann, kommt es unter Belastung zu einem etwa 5-fachen Anstieg der koronaren Durchblutung und zu einem 4-fachen Anstieg der Sauerstoffaufnahme (VO_2). Dies wird durch einen Anstieg der HF um das ca. 2,2-Fache, des Schlagvolumens um das 0,3-Fache und der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz um das 1,5-Fache erzielt. Das bedeutet, dass die HF den stärksten Beitrag zum Erlangen von Leistungsfähigkeit erbringt [25].

Üblicherweise kommt es unter körperlicher Belastung zu einem Herzfrequenzanstieg von etwa 10/Min pro MET (ca. 20 W) [20]. Die maximal erreichbare Herzfrequenz nimmt mit dem Alter ab und kann durch eine medikamentöse Therapie (Betablocker, Amiodaron) limitiert sein. Das Erreichen der maximalen HF ist kein Abbruchkriterium, genau so wenig wie die erreichte Sollleistung.

Formeln zur Abschätzung der erzielbaren maximalen Herzfrequenz (HF_{max}):
HF_{max} = 208–0,7 × Alter (in Jahren) (für gesunde Erwachsene)
HF_{max} = 206–0,88 × Alter (in Jahren) (für Frauen ab dem 35. Lebensjahr)
HF_{max} = 220–Alter (+ 15%) (für den Alltag)
Submaximale HF = 200–Alter

Chronotrope Inkompetenz

Werden < 85 % der HF_{max} bei maximaler Ausbelastung ohne Betablockertherapie erreicht, so spricht dies für eine chronotrope Inkompetenz und ist mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität vergesellschaftet [20]. Um die von Patienten zu Patienten unterschiedliche funktionelle Kapazität und die unterschiedliche Ruheherzfrequenz mit zu berücksichtigen, wird das Verhältnis der Herzfrequenzreserve (auch chronotroper Index) berechnet [26].

Chronotroper Index = (HF_{max}–HF in Ruhe)/(220–Alter–HF in Ruhe). Abnormal und mit einer erhöhten Mortalität verbunden wäre < 80 % (< 62 % unter Betablockertherapie) [26–29].

Heart rate recovery (HRR) (Erholung der Herzfrequenz)

Nach Belastungsende sollte bei normaler autonomer Funktion die HF um > 12/min nach 1 Minute und um > 22/min nach 2 Minuten abgefallen sein (parasympathische Reaktivierung, die in den ersten 30 Sekunden nach maximaler Belastung am stärksten ist) [30].

Van de Vegte et al. konnten zeigen, dass der Herzfrequenzabfall in den ersten 10 Sekunden nach maximaler Belastung die größte Aussagekraft bezüglich Mortalität in den nächsten 6 Jahren hat [31]. Die HRR ist somit ein unabhängiger Prädiktor für Mortalität – unabhängig von der systolischen Linksventrikelfunktion, der funktionellen Kapazität oder dem Ausmaß der KHK [32]. Regelmäßiges Ausdauertraining kann die HRR normalisieren und die Prognose verbessern [33].

Rate-pressure product (RPP) oder Double product

Das Produkt aus Herzfrequenz × systolischem Blutdruck, unter den Begriffen Kreuzprodukt, Doppelprodukt, Double product und Rate-pressure product bekannt, ist ein Maß für den myokardialen Sauerstoffverbrauch. Das Doppelprodukt sollte bei Belastung mindestens um den Faktor 2,4 ansteigen. Bei Ausbelastung wird ein Wert von > 25.000 mmHg × Schläge/min als gut, > 30.000–40.000 als sehr gut gewertet. Myokardiale Ischämien

bzw. die Ischämieschwelle lassen sich üblicherweise bei demselben Doppelprodukt und nicht bei derselben Belastungsintensität nachweisen. Je geringer das Doppelprodukt, desto schlechter die Prognose bezüglich kardiovaskulärer Ereignisse und desto wahrscheinlicher ist das Vorliegen einer Mehrgefäßkrankheit [20]. Das RPP scheint ein besserer prognostischer Marker zu sein als die maximale HF bzw. die HRR [34]. Die Einnahme von Betablocker reduziert das Rate-pressure product.

Befundung/Beurteilung der Ergometrie

Es sollen folgende Parameter beurteilt werden:

1. die Klinik, der Grund des Abbruchs, der Erschöpfungs- bzw. Dyspnoegrad durch Beschreibung mit Hilfe der Borg-Skala,
2. die Hämodynamik mit Herzfrequenzverhalten, Blutdruckverhalten, das Doppelprodukt, die Dauer der Belastung, die Belastung in Watt, und die relative Leistungsfähigkeit %, die HRR sowie
3. EKG-Veränderungen wie Repolarisations- und Rhythmusstörungen.

Diese Punkte werden während der Belastung und in der Erholungsphase beurteilt.

Borg-Skala [35]

Der Beginn der Skalierung bei 6 beruht auf dem nicht-linearen Zusammenhang zwischen Leistung und Leistungsempfinden (RPE = ratings of perceived exertion), ebenso die Skala für das Dyspnoeempfinden (RPD = ratings of perceived dyspnoe).

Die Skalierung von 0–20 ist nicht linear, die von 6–20 verläuft aber linear (Tab. 4).

Tabelle 4: Borg-Skala. Erstellt nach [35].

Empfinden der Anstrengung (RPE)		Empfinden der Dyspnoe (RPD)	
6		6	
7	sehr, sehr leicht	7	sehr, sehr gering
8		8	
9	sehr leicht	9	sehr gering
10		10	
11	recht leicht	11	gering
12		12	
13	etwas anstrengender	13	ziemlich stark
14		14	
15	anstrengend	15	stark
16		16	
17	sehr anstrengend	17	sehr stark
18		18	
19	sehr, sehr anstrengend	19	sehr, sehr stark
20	geht nicht mehr	20	zu stark

Komplikationen bei der Ergometrie [36]

Unter Beachtung von Indikationen, Kontraindikationen und Abbruchkriterien ist die Häufigkeit von Komplikationen bei der Ergometrie als gering einzustufen. Prinzipiell können kardiale und nichtkardiale Komplikationen unterschieden werden (Tab. 5).

Tabelle 5: Komplikationen bei der Ergometrie

Kardiale Komplikationen	Nicht kardiale Komplikationen
Akutes Koronarsyndrom	Intrakranielle Blutung
Tachyarrhythmien	Transiente globale Amnesie
Bradyarrhythmien	Thromboembolisches Ereignis
Hypertensive Reaktion	Gelenksbeschwerden
Linksherzinsuffizienz	Muskelschmerzen
Hypotonie, Synkope, Schock	Lumbalgie
Thromboembolisches Ereignis	Hypoglykämie
Letalität	

Bei Patienten mit KHK treten bis zu 10 ST-Hebungsinfarkte und/oder Todesfälle pro 10.000 Untersuchungen auf. Das Risiko ist für Patienten mit einem stattgehabten Myokardinfarkt größer. Myokardinfarkte treten während der Ergometrie 7-mal häufiger auf als ein plötzlicher Herztod (Häufigkeit < 0,005 %). Die Myokardinfarkte ereignen sich zu 4–20 % während oder in der 1. Stunde nach Belastung. Das Risiko ist für Patienten ohne regelmäßige körperliche Betätigung größer. Tachyarrhythmien oder eine zunehmende ventrikuläre Extrasystolie unter Belastung oder in der Erholungsphase werden als prognostisch ungünstig angesehen [36].

Absolute Abbruchkriterien

- Fehlender Anstieg oder Abfall des systolischen Blutdrucks unter den Ausgangswert oder > 10 mmHg trotz vorhergehendem Anstieg verbunden mit Ischämiezeichen (Angina pectoris, ST-Senkung)
- zunehmende Angina pectoris
- ST-Elevation > 0,1 mV in Ableitungen ohne pathologischer Q-Zacke (außer in aVR, aVL oder V1),
- zunehmende zerebrale Symptomatik (Verwirrtheit, Präsynkope),
- Zeichen verminderter Perfusion (Zyanose, Blässe),
- anhaltende ventrikuläre Tachykardie, AV-Block II° oder III°,
- Wunsch des Patienten,
- technische Gründe.

Relative Abbruchkriterien

- Abfall RR syst. > 10 mmHg gegenüber dem Ausgangs-RR trotz Belastungsanstieg ohne Ischämiezeichen,
- ST- oder QRS-Veränderungen wie horizontale oder deszendierende ST-Senkung (> 0,2 mV) oder ausgeprägter Lagetypwechsel,
- Arrhythmien mit Gefahr der hämodynamischen Instabilität,
- Erschöpfung, Dyspnoe, Giemen, Beinkrämpfe, Claudicatio,
- Entwicklung eines Schenkelblockbildes oder intraventrikuläre Leitungsverzögerung,
- Abfall der Tretkurbel-Umdrehungen < 40/min.,
- Arterielle Hypertonie (> 250 mmHg und/oder > 115 mmHg).

Medikamente, die die Ergometrie beeinflussen [20, 37]

Betarezeptorenblocker senken auf vergleichbarer Belastungsstufe Herzfrequenz und Blutdruck. Gleichzeitig steigt die Belastbarkeit bei Patienten mit koronarer Ischämie (Ischämieschwelle steigt an).

Nitrate steigern die Belastbarkeit und vermindern die Ischämiereaktion auf vergleichbarer Belastungsstufe.

Kalziumantagonisten vom Diltiazem- und Verapamiltyp senken Herzfrequenz, Blutdruck und steigern die Ischämieschwelle, solche vom Nifedipintyp wirken ähnlich, steigern jedoch die Herzfrequenz.

Digitalis kann eine Ischämiereaktion im Belastungs-EKG vortäuschen (falsch-positiver Befund).

Diuretika zeigen keine direkte Beeinflussung, eventuell kann es zu Arrhythmien bei Hypokaliämie kommen, bei längerer Einnahme eventuell Volumenmangel und erhöhte Herzfrequenz bei Belastung.

Vasodilatatoren führen zur Senkung des Blutdrucks auf vergleichbarer Belastungsstufe (eventuell Steigerung der Herzfrequenz).

Antiarrhythmika können zu einer QRS-Verbreiterung und/oder Verlängerung des QT-Intervalls führen. Alle Antiarrhythmika können zu ventrikulären Arrhythmien führen (proarrhythmogene Wirkung).

Bronchodilatatoren (β-Mimetika) steigern die Herzfrequenz in Ruhe und während Belastung; sie können supraventrikuläre Arrhythmien unter Belastung auslösen.

Psychopharmaka

Dazu gehören z. B. Tranquilizer und Antidepressiva. Diese können ein falsch-positives Belastungs-EKG hervorrufen (verlängerte QT-Dauer).

Antihistaminika (Terfenadin) können Arrhythmien auslösen (Torsade-de-pointes oder atypische Kammertachykardie).

Interessenkonflikt

Keiner.

Literatur:

1. Primus C, Wonisch M, Berent R, Auer J. Praxisleitlinien Ergometrie und Spiroergometrie. J Kardiol 2022; 29: 17–26.

2. Baur X. Arbeitsmedizin. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

3. Sammito S, Heblich F, Güttler N. Die Fahrradergometrie in der arbeitsmedizinischen Vorsorge. Zbl Arbeitsmed 2020; 70: 240–6.

4. AAMP – Österreichische Akademie für Arbeitsmedizin und Prävention (Hg.) Basiswissen Arbeitsmedizin: Handbuch für die Ausbildung. Facultas, Wien, 2021.

5. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott, Williams & Wilkins, 11th ed., 2022.

6. Meyer FJ, Borst MM, Buschmann HC, et al. Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie – Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. [Exercise Testing in Respiratory Medicine - DGP Recommendations]. Pneumologie 2018; 72: 687–731.

7. Guazzi M, Bandera F, Ozemek C, et al. Cardiopulmonary exercise testing: What is its value? J Am Coll Cardiol 2017; 70: 1618–36.

8. Corrà U, Agostoni PG, Anker SD, et al. Role of cardiopulmonary exercise testing in clinical stratification in heart failure. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. Eur J Heart Fail 2018; 20: 3–15.

9. Sinagra G, Carriere C, Clemenza F, et al. Risk stratification in cardiomyopathy. Eur J Prev Cardiol. 2020; 27 (2 Suppl): 52–8.

10. Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, et al. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability. Eur Heart J 2018; 39: 3322–30.

11. Joshi PH, de Lemos JA. Diagnosis and management of stable angina: A review. JAMA 2021; 325: 1765–78.

12. Ferraro R, Latina JM, Alfaddagh A, et al. Evaluation and management of patients with stable angina: Beyond the ischemia paradigm: JACC State-of-the-Art Review. J Am Coll Cardiol 2020; 76: 2252–66.

13. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. Eur Heart J 2020; 41: 407–77.

14. Iung B, Delgado V, Rosenhek R, et al; EORP VHD II Investigators. Contemporary presentation and management of valvular heart disease: The EURObservational Research Programme Valvular Heart Disease II Survey. Circulation 2019; 140: 1156–69.

15. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al; ESC/EACTS Scientific Document Group; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Eur Heart J 2022; 43: 561–632.

16. Wonisch M, Berent R, Klicpera M, et al. Praxisleitlinien Ergometrie. J Kardiol 2008; 15 (Suppl. A): 3–17.

17. Primus C, Auer J, Wonisch M, Berent R. Praxisleitfaden Ergometrie. J Kardiol 2020; 27: 38–42.

18. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. ESC Pocket Guidelines. Chronisches Koronarsyndrom, Version 2019. Börm Bruckmeier Verlag GmbH, Grünwald.

19. Williams B, Mancia G, Spiering W, et al.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. Eur Heart J 2018; 39: 3021–104.

20. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al.; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2013; 128: 873–934.

21. Holmqvist L, Mortensen L, Kanckos C, et al. Exercise blood pressure and the risk of future hypertension. J Hum Hypertens 2012; 26: 691–5.

22. McHam SA, Marwick TH, Pashkow FJ, Lauer MS. Delayed systolic blood pressure recovery after graded exercise: an independent correlate of angiographic coronary disease. J Am Coll Cardiol 1999; 34: 754–9.

23. Carneiro HA, Song RJ, Lee J, et al. Association of blood pressure and heart rate responses to submaximal exercise with incident heart failure: The Framingham Heart Study. J Am Heart Assoc 2021; 10: e019460.

24. Lee J, Vasan RS, Xanthakis V. Association of blood pressure responses to submaximal exercise in midlife with the incidence of cardiovascular outcomes and all-cause mortality: The Framingham Heart Study. J Am Heart Assoc 2020; 9: e015554.

25. Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. Circulation 2011; 123: 1010–20.

26. Lauer MS, Francis GS, Okin PM, et al. Impaired chronotropic response to exercise stress testing as a predictor of mortality. JAMA 1999; 281: 524–9.

27. Dhoble A, Lahr BD, Allison TG, Kopecky SL. Cardiopulmonary fitness and heart rate recovery as predictors of mortality in a referral population. J Am Heart Assoc 2014; 3: e000559.

28. Khan MN, Pothier CE, Lauer MS. Chronotropic incompetence as a predictor of death among patients with normal electrograms taking beta blockers (metoprolol or atenolol). Am J Cardiol 2005; 96: 1328–33.

29. Dobre D, Zannad F, Keteyian SJ, et al. Association between resting heart rate, chronotropic index, and long-term outcomes in patients with heart failure receiving β-blocker therapy: data from the HF-ACTION trial. Eur Heart J 2013; 34: 2271–80.

30. Lachman S, Terbraak MS, Limpens J, et al. The prognostic value of heart rate recovery in patients with coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis. Am Heart J 2018; 199: 163–9.

31. van de Vegte YJ, van der Harst P, Verweij N. Heart rate recovery 10 seconds after cessation of exercise predicts death. J Am Heart Assoc 2018; 7: e008341.

32. Kligfield P, Lauer MS. Exercise electrocardiogram testing: beyond the ST segment. Circulation 2006; 114: 2070–82.

33. Jolly MA, Brennan DM, Cho L. Impact of exercise on heart rate recovery. Circulation 2011; 124:1520–6.

34. Whitman M, Jenkins C. Rate-pressure product, age predicted maximum heart rate or heart rate reserve. Which one better predicts cardiovascular events following exercise stress echocardiography? Am J Cardiovasc Dis 2021; 11: 450–7.

35. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982; 14: 377–81.

36. Berent R, Auer J, von Duvillard SP, et al. Komplikationen bei der Ergometrie [Complications during exercise testing]. Herz 2010; 35: 267–72.

37. Löllgen H, Leyk D. Exercise testing in sports medicine. Dtsch Arztebl Int 2018; 115: 409–16.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☑ **Medizintechnik-Produkte**

Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik

Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH

Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH

InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☑ **Bestellung e-Journal-Abo**

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum **Disclaimers & Copyright** **Datenschutzerklärung**