

Die Ergometrie in der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit im Jahr 2012 – ein Überblick

Olivier Pantet^a, Pierre Monney^b, Nicole Aebischer^b

^a Service de médecine intensive adulte (SMIA), CHUV, Lausanne

^b Service de cardiologie, CHUV, Lausanne

Quintessenz

- Ergometrie ist die Untersuchungsmethode erster Wahl beim Verdacht auf eine koronare Herzkrankheit (KHK) und Patienten mit einer Vortestwahrscheinlichkeit im mittleren Bereich.
- Bei Auffälligkeiten im Ruhe-EKG, aufgrund derer eine ischämische Reaktion im Belastungstest eventuell nicht erkannt wird, wenn der Patient körperlich nicht belastbar genug ist, um sich auf einem Laufband oder einem Fahrradergometer zu betätigen, sowie bei einer vorausgegangenen koronaren Revaskularisation ist ein bildgebender Stresstest als Untersuchungsmethode erster Wahl zu bevorzugen.
- Die Anwendung klinischer Scores (einfacher Morise-Score) hilft dem Kliniker dabei, die Patienten nach dem Belastungstest einer KHK-Risikogruppe (geringes, intermediäres oder hohes KHK-Risiko) zuzuordnen.
- Viele Patienten befinden sich auch nach der Ergometrie weiterhin in der Gruppe mit mittlerem KHK-Risiko und müssen daher einem bildgebenden Stresstest unterzogen werden. Für die Wahl und die Durchführung des für einen bestimmten Patienten am besten geeigneten Tests ist eine enge Zusammenarbeit mit einem Kardiologen unerlässlich.
- Bei Patienten mit diagnostizierter KHK ist eine prognostische Stratifizierung (Kalkulation der jährlichen Sterblichkeit) anhand der Belastungstestparameter unerlässlich für die Planung der initialen Therapie.

Einleitung

Trotz der grossen Entwicklungen auf dem Gebiet der bildgebenden Verfahren zur Darstellung des Herzens hat der Belastungstest, insbesondere bei symptomatischen Patienten mit einer Vortestwahrscheinlichkeit im mittleren Bereich (15–85%), in der nichtinvasiven KHK-Diagnostik weiterhin einen hohen Stellenwert. Bei einem normalen Ruhe-EKG und einer körperlichen Belastbarkeit des Patienten auf dem Fahrradergometer oder Laufband bleibt die Ergometrie aufgrund ihrer breiten Verfügbarkeit und ihrer geringen Kosten der diagnostische KHK-Test erster Wahl. Bildgebende Stresstests sind im Vergleich zur Ergometrie empfindlicher, sollten jedoch Patienten vorbehalten bleiben, bei denen ein Belastungstest nicht durchführbar ist, bei denen nach diesem weiterhin ein mittleres KHK-Risiko besteht bzw. bei denen bereits eine koronare Revaskularisation in Form eines Bypasses oder einer perkutanen Koronarintervention durchgeführt wurde [1]. Trotz ihrer geringeren diagnostischen Leistungsfähigkeit bleibt die Ergometrie die einzige Untersuchungsmethode zur Beurteilung der Belastbarkeit und der hämodynamischen Anpassung des

Patienten unter Belastung. Diese Parameter besitzen einen hohen Prognosewert und müssen bei jeder Ergometrie ermittelt werden. Dieser Artikel soll dem Leser einen Überblick über die Prinzipien zur Bestimmung der Vor- und Nachtestwahrscheinlichkeit der KHK mit Hilfe der Ergometrie verschaffen, die auf folgenden Grundlagen beruht: (1) der Reproduktion der Symptome unter Belastung, (2) dem EKG-Befund, (3) der hämodynamischen Anpassung unter Belastung und (4) der Erholungsphase. Des Weiteren werden die Prinzipien der prognostischen Stratifizierung anhand der Ergometrie behandelt. Vorab möchten wir einige praktische Grundlagen anführen, die für einen ordnungsgemässen Ablauf des Belastungstests unerlässlich sind.

Sicherheit, Kontraindikationen und Abbruchkriterien

Die Ergometrie ist keine risikofreie Untersuchungsmethode. Bei Beachtung der Kontraindikationen kommt es jedoch nur selten zu Komplikationen. Das Risiko von Komplikationen beim Belastungstest, die zu einer Spitalerweisung führen, wird auf 1:10 000 geschätzt (totale Arrhythmie $\leq 0,2\%$, akuter Myokardinfarkt $0,04\%$ und plötzlicher Herztod $0,01\%$) [2]. Meistens treten diese in der Erholungsphase auf. Das Vorliegen von Kontraindikationen gegen den Belastungstest (Tab. 1 [↩](#)) muss anhand einer kurzen gelenkten Anamnese und einer klinischen Untersuchung überprüft werden. Dabei ist vor allem nach kürzlich aufgetretenen Thoraxschmerzen im Ruhezustand in der Anamnese, einer stetigen Zunahme der Nitroglyzerinanwendung oder einem Herzgeräusch bei der Auskultation, das auf eine Aortenstenose hinweisen könnte, zu suchen. Darüber hinaus ist es wichtig, sich vor Untersuchungsbeginn noch einmal die Abbruchkriterien für den Belastungstest ins Gedächtnis zu rufen. Es ist zu beachten, dass eine diagnostische Ergometrie symptombegrenzt stattfinden sollte: Demzufolge setzt der Patient die Belastung so lange fort, wie es ihm seiner Meinung nach möglich ist. Die Rolle des Arztes besteht darin, sicherzustellen, dass die Fortsetzung der Belastung kein erhöhtes Komplikationsrisiko birgt. Er darf den Belastungstest nur dann vorzeitig abbrechen, wenn eine der Bedingungen in den nachfolgend aufgeführten Tabellen erfüllt ist [3] (Tab. 1). Wenn durch den Test eine belastungsinduzierte Myokardischämie ausgeschlossen werden soll, dürfen verständlicherweise keine Anomalien im Ruhe-EKG vorliegen, aufgrund derer die Auswertung einer ischämischen Reaktion nicht möglich ist [3] (Tab. 2 [↩](#)).



Olivier Pantet

Die Autoren haben keine finanzielle Unterstützung und keine anderen Interessenskonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Tabelle 1

Kontraindikationen gegen den Belastungstest (mit Genehmigung übernommen aus den ACC/AHA-Guidelines 2002 [3]).



Absolute Kontraindikationen
Akuter Myokardinfarkt (in den letzten 48 Stunden)
Instabile Angina pectoris mit hohem Infarktisiko
Unkontrollierte symptomatische und hämodynamisch instabile Arrhythmien
Schwere symptomatische Aortenstenose
Unkontrollierte symptomatische Herzinsuffizienz
Akute Lungenembolie oder akuter Lungeninfarkt
Akute Myo- oder Perikarditis
Akute Aortendissektion
Relative Kontraindikationen
Hauptstammstenose
Leichte Aortenstenose
Elektrolytstörungen, insbesondere alle Kaliämieformen, da diese den ST-Streckenverlauf verändern können
Schwere arterielle Hypertonie (systolischer BD >200 mm Hg und/oder diastolischer BD >110 mm Hg)
Tachyarrhythmien oder Bradyarrhythmien
Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie oder sonstige dynamische Obstruktionen eines Ausflustrakts
Physische oder psychische Beeinträchtigungen, aufgrund derer eine optimale Untersuchung nicht möglich ist
Höhergradiger atrioventrikulärer Block
Absolute Indikationen zum Abbruch des Belastungstests
Abfall des arteriellen Blutdrucks um >10 mm Hg unter den Ausgangswert mit Ischämiezeichen
Leichte bis schwere Angina-pectoris-Episode
Zunehmende zerebrale Symptomatik (Ataxie, Schwindel oder Präsynkope)
Zeichen verminderter Perfusion (Zyanose oder Blässe)
Technische Schwierigkeiten, die es unmöglich machen, das EKG oder den Blutdruck ausreichend auszuwerten
Der Wunsch des Untersuchten, den Belastungstest zu beenden
Anhaltende ventrikuläre Tachykardie
ST-Strecken-Hebung (von mind. 1,0 mm) in anderen Ableitungen als V1 oder aVR, ohne vorbestehende Q-Welle
Relative Indikationen zum Abbruch des Belastungstests
Abfall des systolischen Blutdrucks um ≥ 10 mm Hg ohne Ischämiezeichen
ST- oder QRS-Veränderungen wie horizontale oder deszendierende ST-Senkung (>2 mm) oder ausgeprägter Lagetypwechsel
Arrhythmien anderer Art als anhaltende ventrikuläre Tachykardien, einschliesslich multifokaler ventrikulärer Extrasystolen, Triplets, supraventrikuläre Tachykardien, AV-Block 2. oder 3. Grades, Bradyarrhythmien
Erschöpfung, Atemnot, Giemen, Muskelkrämpfe, Claudicatio
Entwicklung eines Linksschenkelblocks oder einer intraventrikulären Leitungsstörung, die nicht von einer ventrikulären Tachykardie zu unterscheiden sind
Zunehmende Angina pectoris
Hypertensive Reaktion (systolischer BD >250 mm Hg und/oder diastolischer BD >115 mm Hg)

Tabelle 2

EKG-Anomalien, aufgrund deren eine Auswertung der Ergometrie nicht möglich ist (mit Genehmigung übernommen aus den ACC/AHA-Guidelines 2002 [3]).

Präexitationssyndrom
Stimulierter Rhythmus
Linksschenkelblock oder intraventrikuläre Leitungsverzögerung mit QRS >120 ms
ST-Strecken-Senkung von >1 mm im Ruhe-EKG

Bestimmung der Vortestwahrscheinlichkeit

Die Vortestwahrscheinlichkeit wird anhand des Alters, des Geschlechts und der Art der Thoraxschmerzen mit Hilfe der Tabellen von Diamond und Forrester ermittelt. In diesen wurde die KHK-Prävalenz in den einzelnen Unterpopulationen anhand von angiographischen Untersuchungen und Autopsiedaten [4] erfasst (Tab. 3 ). Alternativ wird der Morise-Score [5] verwendet, bei dem zusätzlich die kardiovaskulären Hauptrisikofaktoren sowie, bei Frauen, der Östrogenstatus berücksichtigt werden. Dieser Score hat sich als mindestens ebenso genau erwiesen wie die Tabellen von Diamond und Forrester (Tab. 4 .

Analyse der Reaktionen unter Belastung

Angina pectoris während des Belastungstests

Das Auftreten einer Angina pectoris unter Belastung hängt davon ab, ob und in welchem Ausmass eine KHK vorliegt. Es ist ferner wichtig festzustellen, in welcher Phase des Belastungstests und bei welcher Herzfrequenz die Symptome auftreten. Eine Belastungs-Angina pectoris allein hat einen vergleichbaren Vorhersagewert wie eine alleinige ST-Strecken-Senkung, und die Kombination aus Angina-pectoris-Symptomen und Belastungs-EKG-Anomalie ist mit einer sehr starken Prävalenz (90%) der KHK korreliert [6]. Im Hinblick auf die Prognose ist eine Kombination der beiden Faktoren im Vergleich zu einer alleinigen Belastungs-EKG-Veränderung ohne Angina-pectoris-Symptome mit einer doppelt so hohen Fünfjahresmortalität assoziiert [7]. Das CASS-Registry [8] hingegen zeigt, dass bei konservativ behandelten KHK-Patienten mit stummer Ischämie und solchen mit symptomatischer ST-Strecken-Senkung im Belastungstest nach 7 Jahren ein vergleichbares Todes- bzw. Myokardinfarktisiko bestand. Trotz der Kontroversen über den diagnostischen Wert und die Behandlung [9] stummer Ischämien stellt eine asymptomatische ST-Strecken-Senkung eine Indikation für weitere Untersuchungen dar.

Veränderungen im Belastungs-EKG

Unter Belastung erfolgen physiologische EKG-Veränderungen. So sind vor allem eine Reduktion der R-Amplitude, eine Vertikalisierung der QRS-Achse, eine J-Punkt-Senkung und eine QT-Verkürzung zu beobachten [10].

ST-Strecken-Senkung

Eine pathologische ST-Strecken-Senkung im Belastungs-EKG weist folgende Charakteristika auf (Abb. 1 ):

- Eine Amplitude ≥ 1 mm ($\geq 0,1$ mV) 80 ms nach dem J-Punkt (oder 60 ms, wenn HF >130/min)
- Eine Horizontale oder deszendierende ST-Senkung

Eine pathologische ST-Strecken-Senkung im Belastungs-EKG ist mit einer signifikanten Stenose (>50%) mindestens einer epikardialen Koronararterie assoziiert. Diese Anomalie tritt am häufigsten in den linkspräkordialen Ableitungen (V4–V6) auf, das Ischämiegebiet kann jedoch anhand des Verteilungsmusters der ST-Strecken-Senkungen nicht bestimmt werden. Seltener tritt die

ST-Strecken-Senkung erst in der Erholungsphase auf (bei 5–11% der anormalen Belastungstests). Ihr diagnostischer Wert entspricht dabei demjenigen unter Belastung [11].

ST-Strecken-Hebung

Eine signifikante ST-Strecken-Hebung liegt bei einer Anhebung von >1 mm vor [12] und ist im Belastungs-EKG nur selten zu beobachten. Bei Ableitungen mit pathologischen Q-Wellen (frühere Infarktgebiete) hat diese keinerlei diagnostischen Wert. Beim Fehlen pathologischer Q-Wellen weist eine ST-Hebung auf eine kritische Ischämie oder einen Koronarspasmus unter Belastung hin, und das Ischämiegebiet kann anhand des Verteilungsmusters im 12-Kanal-EKG lokalisiert werden. Eine ST-Strecken-Hebung ist mit einem erhöhten Risiko für maligne ventrikuläre Arrhythmien assoziiert und stellt eine absolute Indikation für den Abbruch des Belastungstests dar. Tritt sie in isolierter Form in aVR auf, wird sie oftmals als gesondert betrachtet und aus den Studien über die ST-Strecken-Hebung im Belastungstest ausgeschlossen [13]. Eine ST-Strecken-Hebung in aVR ist mit einer Hauptstamm- oder einer ostialen LAD-Stenose assoziiert [14] und kann, insbesondere in Kombination mit einer ST-Strecken-Senkung in V5, auf eine Mehrgefässerkrankung hinweisen [15].

Schenkelblocks und Arrhythmien

Das Auftreten eines Linksschenkel- [16], Rechtsschenkel- oder Hemiblocks im Belastungs-EKG ist selten. Es kann, vor allem in Kombination mit einer Angina pectoris, auf eine schwere septale Ischämie hindeuten. Als Differentialdiagnose kommt eine degenerative Veränderung der Leitungsbahnen mit einem frequenzabhängigen Block in Betracht. Im Zweifelsfall und aus Prinzip werden in diesem Fall zusätzliche Untersuchungen empfohlen. Ventrikuläre Extrasystolen unter Belastung sind hauptsächlich mit dem Alter des Patienten korreliert. Die Assoziation mit einer Ischämie konnte nicht nachgewiesen werden. Das Auftreten multipler VES (>7 VES/min, Couplets, Triplets) während der ersten 5 Minuten der Erholungsphase ist mit einer geringfügig schlechteren Langzeitprognose assoziiert. Ventrikuläre Tachykardien kommen selten vor. Sie können aufgrund einer transmuralen Ischämie (ST-Strecken-Hebung) auftreten, aber auch als Komplikation einer Belastungshypotonie. Bis zum Beweis des Gegenteils gelten sie als ischämische Reaktion (Abb. 2). Supraventrikuläre Tachykardien sind mit einer Grössenordnung von 6% eher selten und nicht mit einer myokardialen Ischämie assoziiert. Sie weisen jedoch auf ein künftig erhöhtes Risiko für Vorhofflimmern hin [17, 18].

Physiologische und hämodynamische Reaktionen unter Belastung

Beurteilung der Belastbarkeit

Die Belastbarkeit wird in metabolischen Äquivalenten (MET) angegeben und hängt hauptsächlich vom Alter, Geschlecht und Trainingszustand des Patienten ab. Ein MET entspricht dem Sauerstoffumsatz eines Menschen in Ruhe, nämlich 3,5 ml/kg/min. Anhand von Referenzpopulationen wurden nach Alter und Geschlecht Sollwerte der Belastbarkeit (in MET) abgeleitet [19, 20]. Diese betragen 14,7–0,11 × Lebensalter bei Männern und 14,7–0,14 × Lebensalter bei Frauen.

Tabelle 3

Tabellen von Diamond und Forrester: KHK-Prävalenz nach Alter, Geschlecht und Art der Schmerzen (genehmigter Teilabdruck [4]).

Alter	Typische Angina pectoris	Atypische Angina pectoris	Nicht-anginöse Schmerzen	Keine Schmerzen
Männer				
30–39	70%	22%	5%	2%
40–49	87%	46%	14%	6%
50–59	92%	59%	22%	10%
60–69	94%	67%	28%	12%
Frauen				
30–39	26%	4%	1%	0,3%
40–49	55%	13%	3%	1%
50–59	79%	32%	8%	3%
60–69	91%	54%	19%	8%

KHK-Wahrscheinlichkeit:

- Hohes Risiko: >84%
- Mittleres Risiko: 13–84%
- Geringes Risiko: <13%
- Sehr geringes Risiko: <5%

Definition der typischen Angina pectoris nach Forrester:

- Retrosternale Schmerzen oder Beschwerden
- Durch körperliche Belastung oder Emotionen provozierbar
- Besserung in <10 min durch Ruhe oder Nitroglyzerin
- Typische Angina pectoris, wenn drei Kriterien zutreffen
- Atypische Angina pectoris, wenn zwei Kriterien zutreffen
- Nicht-anginöse Schmerzen, wenn nur ein Kriterium zutrifft

Tabelle 4

Vortestwahrscheinlichkeit nach Morise-Score: geringe Wahrscheinlichkeit 0–8 Punkte, mittlere Wahrscheinlichkeit 9–15 Punkte, hohe Wahrscheinlichkeit >15 Punkte (genehmigter Teilabdruck [5]).

Variable	Definition	Summe	
Alter	Mann	Frau	
	<40 Jahre	<50 Jahre	+3
	40–54 Jahre	50–64 Jahre	+6
	≥55 Jahre	≥65 Jahre	+9
Östrogenstatus (nur bei Frauen)	Positiv (prämenopausal oder Substitution)	–3	
	Negativ	+3	
Anamnestische Angina pectoris (nach Forrester)	Typische Angina pectoris	+5	
	Atypische Angina pectoris	+3	
	Nicht-anginöse Schmerzen	+1	
Diabetes	Anamnese und/oder Therapie durch Diät, OAD oder Insulin	+2	
Hypercholesterinämie	Anamnese und/oder medikamentöse Behandlung	+1	
Hypertonie	Anamnese und/oder medikamentöse Behandlung	+1	
Raucher/in	Aktive/r oder frühere/r	+1	
Positive Familienanamnese	Verwandte 1. Grades <60 Jahren: Myokardinfarkt, PTCA, CAB oder PHT	+1	
Adipositas	BMI >27 kg/m ²	+1	
Gesamtpunktzahl:			

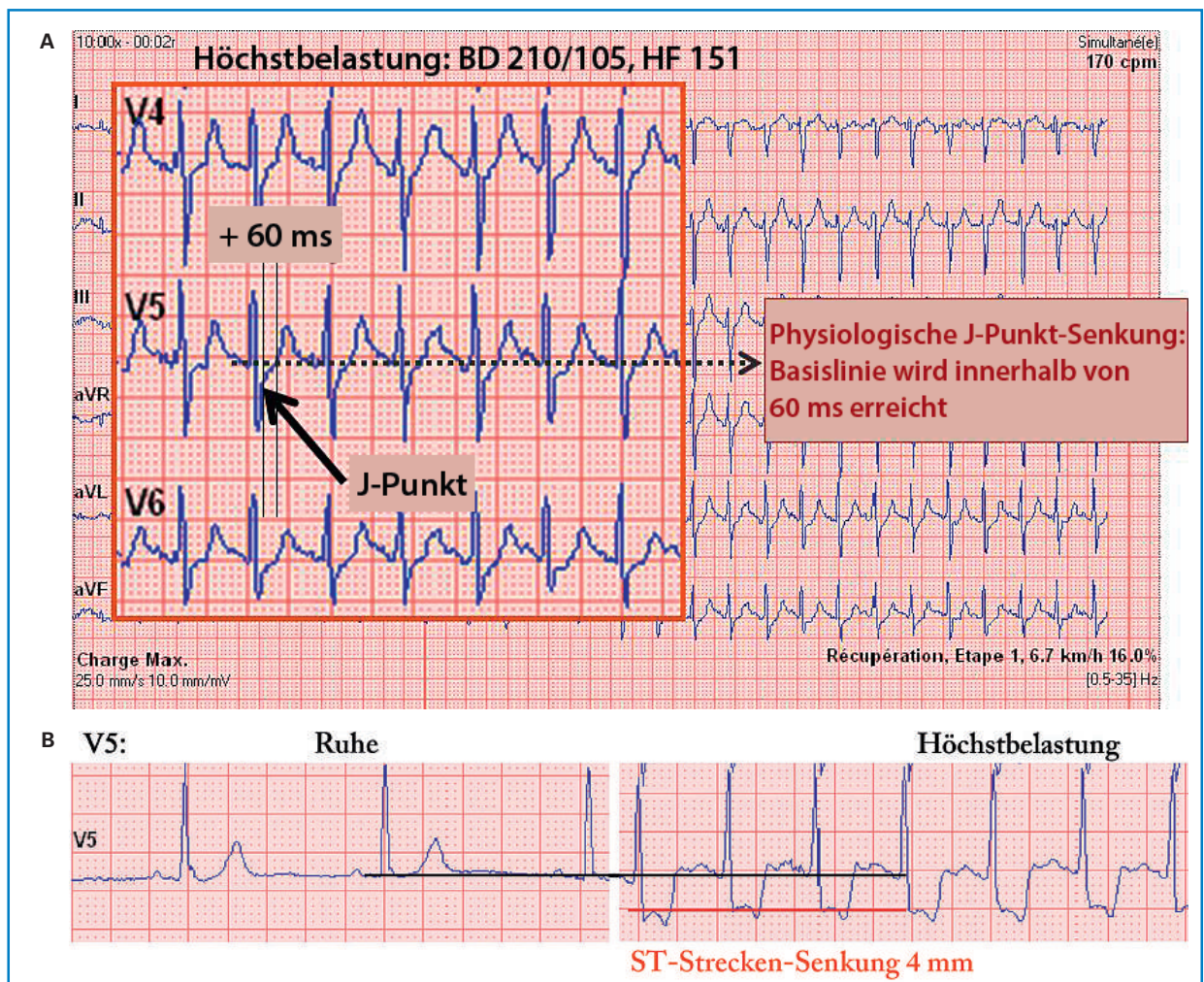


Abbildung 1

A Beispiel einer physiologischen J-Punkt-Senkung mit ascendierendem ST-Segment unter Belastung.

B Beispiel einer pathologischen ST-Strecken-Senkung.

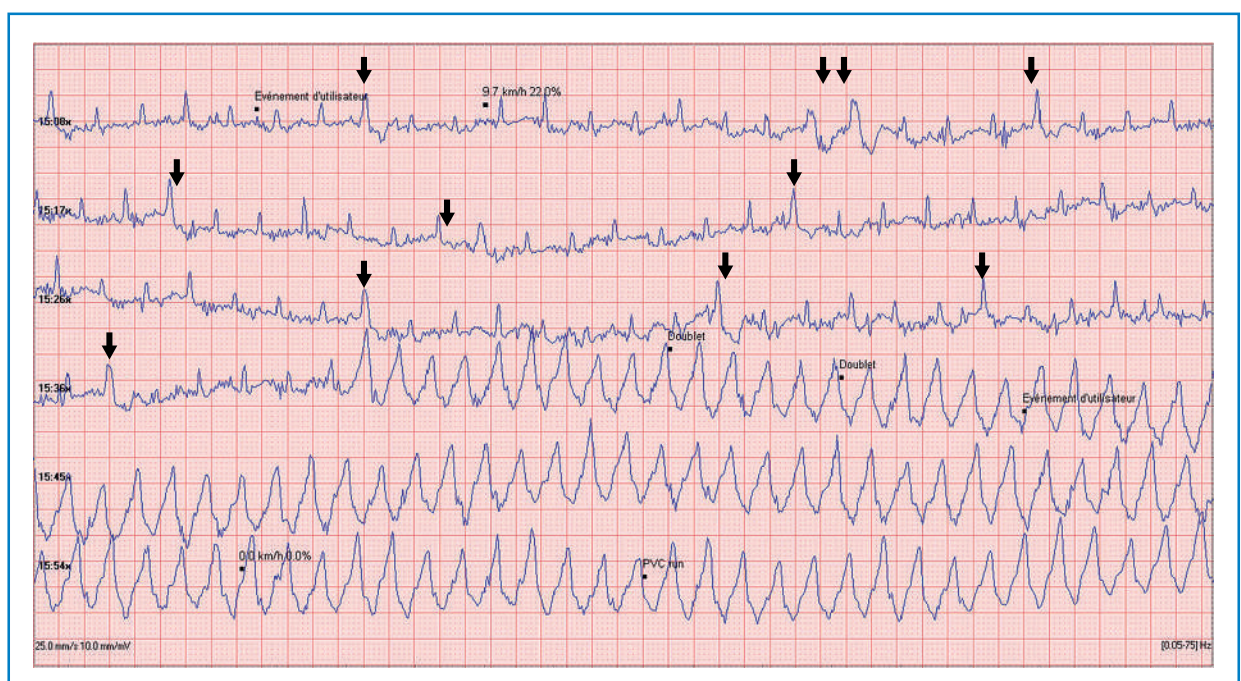


Abbildung 2

Ventrikuläre Tachykardie von 220/min nach einem Belastungstest (HF 170/min) bei einem sportlichen Patienten mit atypischen Symptomen. Zu beachten sind die häufigen isolierten bzw. in Couplets auftretenden Extrasystolen (Pfeile) vor dem Arrhythmiebeginn.

Eine verringerte Belastbarkeit ist stark mit einer erhöhten Sterblichkeit korreliert [21]. Die Belastbarkeit gilt als zufriedenstellend, wenn >85% des Sollwerts erreicht wurden.

Chronotrope Anpassung

Die Herzfrequenz steigt durch die Vagushemmung bereits in den ersten Minuten unter Belastung schnell an. Danach erfolgt ein progressiverer Anstieg, entsprechend

der Sympathikusstimulation. Die theoretische maximale Herzfrequenz (theor. MHF in bpm) wird auf 220 – Lebensalter geschätzt. Chronotrope Kompetenz ist die Fähigkeit einer Person, die theoretische MHF zu erreichen. Sie wird in % der theoretischen MHF oder mittels des chronotropen Index angegeben. Dieser wird mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Chronotroper Index} = (\text{HF max} - \text{HF in Ruhe}) / (\text{theor. MHF} - \text{HF in Ruhe})$$

Die chronotrope Kompetenz gilt als zufriedenstellend, wenn vom Untersuchten >85% der theoretischen MHF erreicht werden oder der chronotrope Index bei einer individuellen Höchstleistung >0,8 (>0,62 unter Betablockern) beträgt. Im gegenteiligen Fall spricht man von chronotroper Inkompetenz. Chronotrope Inkompetenz ist mit einer höheren Sterblichkeit assoziiert [22, 23].

Blutdruckanpassung

Als Reaktion auf die Sympathikusstimulation und das erhöhte Herzminutenvolumen steigt der systolische arterielle Blutdruck mit zunehmender Belastung schrittweise an, während sich der diastolische arterielle Blutdruck nicht verändert [24]. Da es diesbezüglich keine eindeutige Norm gibt, geht man von einem Anstieg des systolischen BD um mindestens 30 mm Hg und einem Maximalwert von >140 mm Hg bei Höchstbelastung aus. Werden diese Werte bei einer individuellen Höchstleistung nicht erreicht, gilt die Blutdruckanpassung als unzureichend, und die Prognose fällt dementsprechend ungünstiger aus [25, 26]. Belastungshypotonie ist als Abfall des systolischen BD um mehr als 20 mm Hg nach einem anfänglich normalen BD-Anstieg oder als Abfall des systolischen BD unter den Ruhewert definiert [27]. Dabei handelt es sich um eine äusserst anormale Reaktion, die eines sofortigen Abbruchs des Belastungstests bedarf. Sie ist mit einer höheren Sterblichkeit, dem Auftreten einer ausgedehnten myokardialen Ischämie und einem erhöhten ventrikulären Arrhythmierisiko assoziiert [28–30]. Belastungshypertonie [31] ist definiert als systolischer BD bei Höchstbelastung von >210 mm Hg bei Männern bzw. 190 mm Hg bei Frauen. Ein Anstieg des diastolischen BD um >10 mm Hg unter Belastung gilt ebenfalls als hypertensive Reaktion. Obwohl die Belastungshypertonie kein Indikator für eine erhöhte Sterblichkeit ist, scheint sie auf ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines hohen Ruheblutdrucks hinzuweisen.

Druck-Frequenz-Produkt

Das Druck-Frequenz-Produkt (systolischer BD × HF) entspricht dem myokardialen Sauerstoffverbrauch und stellt einen Bewertungsparameter für den myokardialen Stress während des Belastungstests dar [32]. In der Literatur sind keine eindeutigen Normwerte des Druck-Frequenz-Produkts zu finden, in der Praxis können jedoch folgende Werte als Anhaltspunkt gelten:

- Als normal gilt ein Druck-Frequenz-Produkt (DFP) von >25 000 bei Höchstbelastung.
- Als normaler Anstieg des DFP gilt ein Wert von >10 000 [33].

Tabelle 5a

Nachtstwahrscheinlichkeit nach Morise-Score für Männer (geringe Wahrscheinlichkeit <40, mittlere Wahrscheinlichkeit 40–60 und hohe Wahrscheinlichkeit >60) (genehmigter Teilabdruck [39, 40]).

Variable	Definition	Summe
Maximale Herzfrequenz	Unter 100/min	+30
	100–129/min	+24
	130–159/min	+18
	160–189/min	+12
	190–220/min	+6
ST-Strecken-Senkung unter Belastung	1–2 mm	+15
	>2 mm	+25
Alter	>55 Jahre	+20
	40–55 Jahre	+12
Anamnestic Angina pectoris (nach Forrester)	Typische Angina pectoris	+5
	Atypische Angina pectoris	+3
	Schmerzen nicht-kardialer Ursache	+1
Hypercholesterinämie	Anamnese oder medikamentöse Behandlung	+5
Diabetes	Anamnese oder medikamentöse Behandlung	+5
Angina-pectoris-Episode während der Ergometrie	Ja	+3
	Grund für den Testabbruch	+5
Gesamtpunktzahl:		

Tabelle 5b

Nachtstwahrscheinlichkeit nach Morise-Score für Frauen (geringe Wahrscheinlichkeit <37, mittlere Wahrscheinlichkeit 37–57 und hohe Wahrscheinlichkeit >57).

Variable	Definition	Summe
Maximale Herzfrequenz	Unter 100/min	+20
	100–129/min	+16
	130–159/min	+12
	160–189/min	+8
	190–220/min	+4
ST-Strecken-Senkung unter Belastung	1–2 mm	+6
	>2 mm	+10
Alter	>65 Jahre	+25
	50–65 Jahre	+15
Anamnestic Angina pectoris (nach Forrester)	Typische Angina pectoris	+10
	Atypische Angina pectoris	+6
	Schmerzen nicht-kardialer Ursache	+2
Hypercholesterinämie	Anamnese oder medikamentöse Behandlung	+10
Diabetes	Anamnese oder medikamentöse Behandlung	+10
Angina-pectoris-Episode während der Ergometrie	Ja	+9
	Grund für den Testabbruch	+15
Östrogenstatus	Positiv (prämenopausal oder Substitution)	–5
	Negativ	+5
Gesamtpunktzahl:		

Der DFP-Wert ermöglicht die genauere Interpretation einer ischämischen Reaktion im EKG. Eine ST-Strecken-Senkung bei niedrigem DFP (<20 000) ist vermutlich ein Anzeichen einer schwerwiegenderen KHK als eine ST-Strecken-Senkung bei hohem DFP (>30 000) [34, 35]. Steigt das Druck-Frequenz-Produkt unter Belastung nicht über einen Wert von 10 000 an, ist dies mit einer erhöhten Sterblichkeit assoziiert [33].

Physiologie während der Erholungsphase

Herzfrequenz

Nach der Beendigung der Belastung sinkt die Herzfrequenz mit dem Ende der Sympathikusstimulation und der Wiederherstellung des Vagotonus schnell wieder auf ihren Ruhewert ab. Normalerweise ist eine Reduktion der HF um >22 bpm nach 2 Minuten in sitzender Position zu erwarten [36]. Das Fortbestehen einer erhöhten HF in der Erholungsphase ist mit einer ungünstigeren Prognose assoziiert.

Systolischer arterieller Blutdruck

Der systolische BD fällt nach Beendigung der Belastung schnell wieder ab. Das Fortbestehen eines erhöhten BD in der Erholungsphase (in einer Grössenordnung von >90% des BD-Werts unter Höchstbelastung nach 3 Minuten Erholung) ist mit einer KHK korreliert. Es konnte jedoch, hauptsächlich aufgrund der Schwierigkeiten einer präzisen BD-Messung unter Höchstbelastung, kein Grenzwert ermittelt werden [37].

Auswertung der Ergebnisse

Gesamtqualität und Auswertbarkeit

Für die Auswertbarkeit einer Ergometrie, die zu diagnostischen Zwecken durchgeführt wurde, muss eine Höchstbelastung des Patienten erfolgt sein. Eine Ergometrie gilt als nicht auswertbar, wenn der Belastungstest, insbesondere aufgrund von Gelenkschmerzen, Gleichgewichtsstörungen, Atemnot oder unzureichender Compliance, vorzeitig abgebrochen wurde (submaximaler Belastungstest).

Diagnostische Beurteilung der KHK

Die einfachste Auswertung einer diagnostischen Ergometrie besteht in der Assoziation einer pathologischen ST-Strecken-Senkung unter Belastung mit einer KHK. Eine solche binäre Interpretation des Belastungstests birgt ein nicht zu vernachlässigendes Risiko von Falsch-

diagnosen (falsch-positive und falsch-negative Ergebnisse). Eine Metaanalyse kommt zu dem Schluss, dass die diagnostische Genauigkeit der Ergometrie bei der Feststellung der KHK (mind. 50%ige Stenose an mind. 1 Koronararterie) mit einer mittleren Sensitivität von $68 \pm 16\%$ und einer Spezifität von $77 \pm 17\%$ [38] im Vergleich zur Koronarangiographie gering ausfällt. Angesichts dieser Einschränkungen ist das Ergometrieergebnis zwingend unter Berücksichtigung der Vor-testwahrscheinlichkeit der KHK und der nicht-EKG-Parameter des Belastungstests auszuwerten. Statt das Ergometrieergebnis als «positiv» oder «negativ» darzustellen, werden die Patienten in drei Kategorien unterteilt: geringe, mittlere oder hohe Nachtestwahrscheinlichkeit. Als Hilfestellung für den Kliniker wurden an grossen Patientenkollektiven Scores zur Bestimmung der Nachtestwahrscheinlichkeit entwickelt und validiert. Diese berücksichtigen nicht nur die EKG-Ergebnisse und das Auftreten einer Belastungs-Angina pectoris, sondern auch das Alter, die kardiovaskulären Hauptrisikofaktoren und die Herzfrequenz unter Höchstbelastung. Sie haben sich sowohl in den Ausgangskohorten als auch in den prospektiv validierten Kohorten als leistungsfähig bei der Diagnostizierung und Stratifizierung des Schweregrads der KHK bei Männern [39] und Frauen [40] erwiesen (Tab. 5 )

Prognostische Beurteilung des Belastungstests

Die prognostische Beurteilung des Patienten ist untrennbar mit der diagnostischen Beurteilung des Belastungstests verbunden. Sie ist unerlässlich für die Entscheidungsanalyse, um die Aggressivität der KHK-Behandlung festzulegen. Die Patienten, bei denen ein geringes Risiko (jährliche Sterblichkeit <1%) ermittelt wurde, erhalten zunächst eine medikamentöse Behandlung, während bei Patienten mit hohem Risiko (jährliche Sterblichkeit >3%) eine sofortige koronare Revaskularisation angezeigt ist [1]. Zahlreiche Nicht-EKG-Parameter des Belastungstests, wie die Belastungsfähigkeit, die chronotrope Kompetenz oder die Blutdruckanpassung sind mit dem Todesrisiko korreliert und dienen zur Bestimmung der kardiovaskulären Prognose des Patienten. Der *Duke Treadmill Score* (DTS) ist ein einfacher Score, der die Belastungsdauer (in Minuten gemäss Bruce-Protokoll), die Ausprägung der ST-Strecken-Senkung und das Auftreten einer Belastungs-Angina pectoris berücksichtigt. Er hat sich als leistungsfähig bei der Stratifizierung der Patienten nach geringem (Vierjahresüberlebensrate 99%), mittlerem (Vierjahresüberlebensrate 95%) und hohem Sterblichkeitsrisiko (Vierjahresüberlebensrate 79%) erwiesen. Die amerikanischen Ergometrieempfehlungen sprechen sich für eine systematische Berechnung des DTS nach jedem Belastungstest aus [41] (Tab. 6 )

Beim neueren Cleveland-Score werden die häufigsten unabhängigen prognostischen Faktoren, wie die Abnahme der Herzfrequenz oder das Auftreten einer Arrhythmie in der Erholungsphase berücksichtigt. Er wurde an über 30 000 Patienten geprüft und hat sich gegenüber dem DTS bei der prognostischen Stratifizierung als geringfügig überlegen erwiesen [42]. Er kann ausschliesslich im Internet unter folgender Adresse abgerufen werden: <http://clinicriskcalculators.org>.

Tabelle 6

Duke-Trademill-Score (Geringes Risiko $\geq +5$, mittleres Risiko -10 bis $+4$, hohes Risiko ≤ -11).

Duke-Treadmill-Score = Dauer der Belastung¹ – (5× ST-Strecken-Senkung²) – (4× Belastungs-Angina pectoris³)

¹ Dauer der Belastung in Minuten

² ST-Strecken-Senkung in Millimetern (0 wenn <1 mm)

³ Belastungs-Angina pectoris: Keine (0), nicht belastungseinschränkend (1), belastungseinschränkend (2)

Elemente der Entscheidungsanalyse

Nach der Bestimmung der Nachtestwahrscheinlichkeit muss das Ergebnis des Belastungstests in den Gesamtbehandlungsplan des Patienten integriert werden [43]. Bei Patienten mit *hoher Nachtestwahrscheinlichkeit* beträgt die KHK-Prävalenz (mind. 1 Gefäss mit einer mind. 50%igen Stenose) 80–95%. Es wird eine Behandlung mit Aspirin und einem Antianginosum empfohlen, und die Patienten müssen an einen Kardiologen überwiesen werden. Dieser Population wird oftmals zu einer invasiven Untersuchung mittels Koronarangiographie geraten, insbesondere, wenn die Symptome bei leichter Belastung auftreten und der Patient anhand der prognostischen Beurteilung der Hochrisikogruppe zugeordnet wurde.

Bei Patienten mit *geringer Nachtestwahrscheinlichkeit* sollte bedacht werden, dass das Risiko einer signifikanten KHK nicht gleich Null ist. In dieser Patientenkategorie beträgt die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit für eine signifikante KHK ca. 10–25% und für eine koronare Mehrgefässerkrankung (mind. 2 Koronararterien mit mind. 70%iger Stenose) ca. 4%. Die Schmerzursache ist bei diesen Patienten demzufolge vermutlich nicht-koronarer Natur, und sie können beruhigt werden, vor allem, wenn sie anhand der prognostischen Beurteilung der Kategorie mit geringem Sterblichkeitsrisiko (<1% pro Jahr) zugeordnet wurden. Im Falle eines Rezidivs entscheidet die klinische Beurteilung über die Indikation eines zusätzlichen Tests [39].

Bei Patienten mit *mittlerer Nachtestwahrscheinlichkeit* oder *nicht auswertbarer Ergometrie* kann eine signifikante KHK anhand des Belastungstests nicht ausgeschlossen werden. Daher ist bei diesen die zusätzliche Durchführung eines bildgebenden Stresstests, hauptsächlich in Form einer Perfusions-MRT, einer Stress-Echokardiographie oder einer Myokardszintigraphie, indiziert. Die Wahl der geeigneten Untersuchungsmethode ist abhängig von den Komorbiditäten des Patienten (Niereninsuffizienz, Asthma, morbide Adipositas), eventuellen Kontraindikationen gegen die Gabe von Adenosin,

Dobutamin oder Atropin, den Strahlenschutzgrundsätzen (wenn möglich, Vermeidung von Untersuchungen, bei denen der Patient Strahlung ausgesetzt ist) sowie den lokalen Fachkenntnissen in der Durchführung der Untersuchungen. Es wird ein kardiologisches Gutachten benötigt, und in der Zwischenzeit kann eine Ex-juvantibus-Behandlung mit einem Antianginosum begonnen werden.

Schlussfolgerung

Die Ergometrie ist eine einfache, kostengünstige und leicht zugängliche Untersuchungsmethode. Sie ist, bei normalem Ruhe-EKG und wenn der Patient körperlich belastbar genug ist, um sich auf einem Laufband oder einem Fahrradergometer zu betätigen, als diagnostischer Test erster Wahl beim Verdacht auf eine KHK angezeigt. Ihre diagnostische Leistungsfähigkeit ist jedoch eingeschränkt und bedarf einer sorgfältigen Auswertung der EKG- und Nicht-EKG-Ergebnisse unter Berücksichtigung der Vortestwahrscheinlichkeit der KHK. Die routinemässige Verwendung diagnostischer Scores hat sich als nützlich für die Stratifizierung der Nachtestwahrscheinlichkeit der KHK erwiesen. Viele Patienten weisen nach dem Belastungstest weiterhin ein mittleres KHK-Risiko auf und müssen zusätzlich einem bildgebenden Stresstest unterzogen werden. Und schlussendlich ist bei den Patienten mit diagnostizierter KHK eine prognostische Stratifizierung unerlässlich, um die therapeutische Vorgehensweise festzulegen.

Korrespondenz:

Dr. Olivier Pantet
Service de médecine intensive adulte (SMIA)
CHUV
CH-1011 Lausanne
[Olivier.Pantet\[at\]chuv.ch](mailto:Olivier.Pantet[at]chuv.ch)

Literatur

Die vollständige nummerierte Literaturliste finden Sie unter www.medicalforum.ch.