

**SONDERDRUCK AUS**

# **HERZ KREISLAUF**

**ZEITSCHRIFT FÜR KARDIOLOGIE UND ANGIOLOGIE  
IN KLINIK UND PRAXIS**

---

VERLAG



GERHARD WITZSTROCK GMBH · 7570 BADEN-BADEN

# Methodik eines rektangulär-triangularen Belastungstestes

Aus der 1. Medizinischen Abteilung der Allgemeinen Poliklinik der Stadt Wien (Vorstand: Univ.-Doz. Dr. H. Czitober)

W. Reiterer



Das methodische Konzept für einen rektangulär-triangularen Belastungstest wird vorgestellt. Die fahrradergometrische Untersuchung ist als nichtinvasiver, maximaler, symptomlimitierter Test konzipiert. Durch die genaue Beobachtung von einfachen subjektiven und objektiven Meßgrößen im Hinblick auf Abbruchkriterien erwies sich der Test als sicher und für sämtliche Indikationen brauchbar.

Schlüsselwörter: *Rektangulär-triangularäre Belastung, Fahrradergometrie, Methodik*

W. Reiterer (Vienna/Austria): *Procedure of a Rectangular-Triangular Exercise Test*

Methodology of a rectangular-triangular bicycle test is discussed. The concept of the test is a maximal stress limited by symptoms. The test is rendered simple and safe by strict observation of objektive criteria and subjektive parameters. The results of the test serve as a guide for more invasive investigations in detecting limiting factors of physical performance.

Key-words: *Rectangular-triangular exercise testing, bicycle ergometry, methods of exercise testing*

Für einen standardisierten Belastungstest stellt sich die Aufgabe, bereits mit einfacher Untersuchungstechnik eine Aussage über limitierende Faktoren der körperlichen Leistungsfähigkeit zu geben. Organsysteme, wie Kreislauf, Atmung, neuromuskuläre Koordination, Muskulatur, Blutvolumen, Flüssigkeitshaushalt, können in ihrem Zusammenspiel gestört und in ihren Funktionsreserven beeinträchtigt sein. Bevor invasive Untersuchungsverfahren mit großem apparativem Aufwand zur Diagnostik eingesetzt werden, kommt einem rektangulär-triangularen Belastungstest als erstem Schritt zur Diagnostik eine entscheidende Bedeutung zu.

Es ist das Ziel dieser Mitteilung, aus den Erfahrungen an über tausend Belastungstesten die Methodik eines rektangulären, progressiven Testes für die Fahrradergometrie zu beschreiben.

Tab. I *Flußdiagramm eines Belastungstests*

Zuweisung zur Untersuchung nach Prüfung von Vorfunden (klinischer Status, blutchemische Befunde, EKG, Thorax-Röntgen)

<i>Fragestellung</i>	absolute Kontraindikationen ausschließen
<i>Untersuchungsplan</i>	maximaler symptomlimitierter Test orientierender Test Untersuchungsaufwand
<i>Ausführung</i>	
<i>Zielgrößen für gewählte Parameter</i>	
objektive und subjektive Parameter, Verhalten und Veränderungen	
<i>Abbruchkriterien?</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alarmzeichen</li><li>• Zielgrößen erreicht (z. B. PER 19)</li><li>• Fragestellung hinreichend beantwortet</li></ul>
<i>Abbruch</i>	
<i>Analyse der Untersuchungsdaten</i>	

## Methodisches Vorgehen

### 1. Eigener apparativer Aufwand

6-Kanal-Registriergerät (EK-22 Fa. Hellige) zur kontinuierlichen Registrierung, Herzfrequenzmesser zur Mittelwert- und beat-to-beat-Anzeige mit Registrierungsmöglichkeit des Analo signals, akustischer Display der QRS-Zacke, 4-Kanalskop (Fa. Hellige), drehzahlunabhängiges, elektrisch gebremstes Ergometer zur Belastung im Sitzen und im Liegen (Fa. Jäger).

Für die erweiterte Diagnostik stehen zur Verfügung: Blutgasanalyse-Gerät (Gas-Check AVL), zwei Druckmeßeinheiten zur blutigen Druckmessung im großen und im kleinen Kreislauf (Fa. Hellige), Thermilutionsgerät (Fa. Edwards) zur Bestimmung des Herzminutenvolumens, Ergospirometrieinheit mit elektronischer Datenverarbeitung (Ergopneumotest Fa. Jäger).

### 2. Patientenidentifikation, Fragestellung, Untersuchungsplan

Zur Dokumentation des Untersuchungsablaufes verwenden wir drei Vordrucke. Auf Blatt 1 werden Daten zur Identifikation des Patienten und orientierende Befunde aus der Krankengeschichte samt Diagnosen und differentialdiagnostischen Überlegungen, welche die Indikation zur Ergometrie begründen, und die *Fragestellung* vermerkt. Ergänzend zu den vorliegenden Befunden (Anamnese, physikalisch-klinischer Status, blutchemische Befunde, Blutbild, Ruhe-EKG, Thorax-Röntgen) werden noch gezielte Fragen bezüglich Leistungsfähigkeit und Trainingszustand (z. B. regelmäßiges körperliches Training, . . . Zustand nach Bettruhe) gestellt und die zuletzt eingenommenen Medikamente vermerkt. Digitalispräparate, beta-Rezeptoren-Blocker, Antiarrhythmika, Antihypertensiva, Diuretika, Psychopharmaka und Nitro-Präparate können die Herzstromkurve (ST-T-Strecke), die Herzfrequenz- und Blutdruckregulation und die Motivation des Patienten beeinflussen.

Je nach Fragestellung wäre der Test erst nach Abklingen der Medikamentenwirkung anzusetzen.

Nach Ausschluß von absoluten *Kontraindikationen*, wie schwere Angina pectoris (infarctus iminens), frischer Myokardinfarkt (nicht vor der dritten Krankheitswoche), maligne Rhythmusstörungen, maligne Hypertonie, schwere Aortenstenose, manifeste kardiale Dekompensation (Stadium III und IV nach Friedberg), manifeste respiratorische Insuffizienz, frische Myokarditis, frische Thrombophlebitis, kurzfristig zurückliegende venöse oder arterielle Embolie, Aneurysma, schwere Stoffwechselerkrankung (Diabetes mellitus, Hyperthyreose) und fieberhafter Infekt, kann der eigentliche *Untersuchungsplan* festgelegt werden. Je nach apparativer Ausrüstung wird der Untersuchungsaufwand unterschiedlich sein. Minimalanforderungen müssen jedoch erfüllt sein: kontinuierliches EKG-Monitoring, fakultative Blutdruckmessung, geeichtes Ergometer, Notfallausrüstung (Defibrillator, Notfallmedikamente). Die Ausführung kann geschultem Personal überlassen werden. Ein mit den Problemen der Leistungsphysiologie und der Reanimation vertrauter Untersuchungsleiter sollte unmittelbar erreichbar sein.

Vor Testbeginn ist der Patient über die geplante Untersuchung aufzuklären; eine Zustimmungserklärung sollte unterfertigt werden.

### 3. Untersuchungsgang, Meßgrößen, Alarmzeichen, Abbruchkriterien

Die Erstuntersuchung ist bei jedem Probanden an sich als orientierender, nichtinvasiver Test ausgelegt. Wir sind jedoch bestrebt, den Patienten so intensiv zu belasten, daß von einem maximalen, symptomlimitierten Test gesprochen werden kann. Bei entsprechender Fragestellung und erhöhtem Untersuchungsrisiko werden jedoch aufwendigere Messungen (Tab. II) zusätzlich erfolgen.

Tab. II Meßgrößen eines Belastungstests

objektive Parameter	subjektive Parameter
<i>einfache</i>	
= Belastungsstufe (WL) in Relation zum Soll-Wert	= Ermüdungsgrad, PER
= Herzfrequenz ( $f_h$ )	= Symptome (Dyspnoe-, Angina-pectoris-Beschwerden)
= EKG (Form- u. Rhythmusanalyse)	= Mitarbeit, Motivation
= Blutdruck ( $BP_{\text{sys}}, \text{dia}$ )	
= Atemfrequenz ( $f_r$ )	
<i>aufwendige</i>	
= Metabolik Blutgase, delta-BE, Laktat	
= Respiration $\dot{V}_{O_2}$ , $\dot{V}_E$ , $V_T$ , RQ, $f_r$ , AÄ, anaerobe Energiebereitstellung, Sauerstoffschuld	
= zentrale Hämodynamik Druckmessung, $\dot{Q}$ , SV, $D_{av}$ , PVR	

Zur Dokumentation des Belastungstests dient ein eigenes Untersuchungsprotokoll (Blatt 2), dem Hinweise über den geplanten Untersuchungsablauf (Belastungsform: sitzend oder liegend, Fahrradergometrie, rektangulär-triangularäre oder steady-state-Bedingungen), Kenndaten des Patienten (Alter, Größe, Gewicht, Körperoberfläche) und allgemeine Versuchsbedingungen (Datum, Uhrzeit, Luftdruck, Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit), Angaben über die EKG-Ableitungen und Zielgrößen (85 % Sollfrequenz, Sollwert für die maximal zu tolerierende Belastungsstufe) zu entnehmen sind. Während des Belastungstests werden die Beschwerden des Patienten (subjektive Daten) und einfache Meßgrößen (objektive Parameter) hinsichtlich ihrer Veränderung pro Leistungsstufe und Zeiteinheit genau verfolgt, um beim Auftreten von Abbruchkriterien unverzüglich die Entscheidung zur Beendigung des Tests fällen zu können.

#### *Einfache objektive Parameter*

a) *Tolerierte Belastungsstufe* ( $W_1$  = work load) in Relation zum Sollwert, der sich abhängig vom Alter, Körpergewicht und Geschlecht auf einen Ermüdungsgrad von PER-19 bezieht [2, 8] (Tab. III). Als erste Belastungsstufe wird der Leerlauf (entsprechend ca. 20 Watt) gewählt, die weiteren Belastungsstufen werden abhängig vom Alter, Trainingszustand, Fragestellung und von der Reaktion auf die vorherige Belastungsstufe um 25 bis 50 Watt erhöht. Um den Wirkungsgrad der Arbeit gleich zu halten, ist auf eine Umdrehungszahl zwischen 50 und 60 pro Minute zu achten, bei höchsten Belastungsstufen kann eine größere Umdrehungszahl (70 pro Minute) gestattet werden. Nach jeweils zwei Minuten wird die Belastungsintensität im Sinne eines rektangulär-triangularären Tests erhöht, sofern keine abnormen Reaktionen der beobachteten Parameter festzustellen sind. Bei einer durchschnittlichen Testdauer von 8 bis 10 Minuten wird der Patient symptomlimitiert ausbelastet. In der ersten Ruheminute nach Belastung soll der Proband im Leerlauf weitertreten.

b) *Elektrokardiogramm* (Form- und Rhythmusanalyse, Herzfrequenz, optischer und akustischer Display)

Supraskapular und lateral von der Spina iliaca posterior werden Elektroden zum Abgriff der Standard- und Goldberger-Ableitungen aufgeklebt; die Wilson-Ableitungen  $V_{1-6}$  werden von Knopfelektroden abgenommen, die mittels eines breiten Gummibandes auf dem Thorax angepaßt werden. Durch eine subtile Vorbereitung (Hautreinigung, Entfetten, störende Haare entfernen) können störfreie Signale erhalten werden, die eine unumgängliche Voraussetzung für die sichere EKG-Beurteilung während des Belastungstests darstellen. Die Kontrolle des EKG auf dem Sichtschirm, die Herzfrequenzmessung, die Aufzeichnung des Analogsignals beat-to-beat über den 6-Kanal-Schreiber während der kontinuierlichen EKG-Registrierung unter körperlicher Belastung und in der nachfolgenden Ruhephase, unterstützt durch die akustische Darstellung des QRS-

**Tab. III. Sollwerte für die höchste zu tolerierende Belastungsstufe in Watt bei einem Ermüdungsgrad von 19 für einen rektangulär-triangularen Belastungstest (modifiziert nach M. Arstila) für normalgewichtige Probanden (Broca-Index 85–110)**

Männer		WL – 19								LEISTUNG IN WATT								FRAUEN		WL – 19				LEISTUNG IN WATT					
Alter		20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	Alter		20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64								
Gewicht (kg)										Gewicht (kg)																			
60– 61		215	205	195	184	174	164	152	143	133	40–41		107	102	98	95	90	87	82	79	74								
62– 63		218	207	197	187	177	166	156	146	134	42–43		108	105	102	97	93	89	85	82	77								
64– 65		220	210	200	184	179	169	159	148	138	44–45		111	108	103	100	95	92	89	84	80								
66– 67		223	213	202	192	182	172	161	151	141	46–47		115	110	107	102	98	95	90	87	82								
68– 69		226	215	205	195	184	174	164	154	143	48–49		116	113	110	105	102	97	93	90	85								
70– 71		228	218	208	197	187	177	166	156	146	50–51		120	116	111	108	103	100	97	92	89								
72– 73		231	221	210	200	190	179	169	159	148	52–53		123	118	115	110	107	103	98	95	90								
74– 75		234	223	213	203	192	182	172	161	151	54–55		125	121	118	113	110	105	102	98	93								
76– 77		236	226	216	205	195	185	174	164	154	56–57		128	125	120	116	111	108	105	100	97								
78– 79		239	228	218	208	198	187	177	167	156	58–59		131	126	123	118	115	111	107	103	98								
80– 81		241	230	221	210	200	190	180	169	159	60–61		133	130	126	121	118	113	110	107	102								
82– 83		244	234	223	213	203	193	182	172	162	62–63		136	133	128	125	120	116	113	108	105								
84– 85		248	236	226	216	205	195	185	175	164	64–65		139	134	131	126	123	120	115	111	107								
86– 87		249	239	230	218	208	198	187	177	167	66–67		141	138	134	130	126	121	118	115	110								
88– 89		252	243	231	221	211	200	190	180	170	68–69		144	141	136	133	128	125	121	116	113								
90– 91		256	244	234	225	213	203	193	182	172	70–71		148	143	139	134	131	128	123	120	115								
92– 93		257	248	238	226	216	207	195	185	175	72–73		149	146	143	138	134	130	126	123	118								
94– 95		261	249	239	230	220	208	198	189	177	74–75		152	149	144	141	136	133	130	125	121								
96– 97		262	252	243	233	221	211	202	190	180	76–77		156	151	148	143	139	136	131	128	123								
98– 99		266	256	244	234	225	215	203	193	184	78–79		157	154	151	146	143	138	134	131	126								
100–101		269	257	248	238	226	216	207	197	185	80–81		161	157	152	149	144	141	138	133	130								
102–103		270	261	251	239	230	220	208	198	189	82–83		164	159	156	151	148	144	139	136	131								
104–105		274	264	252	243	233	221	211	202	192	84–85		166	162	159	154	151	146	143	139	134								
106–107		277	266	256	246	234	225	215	197	193	86–87		169	166	161	157	152	149	146	141	138								
108–109		279	269	259	248	238	228	216	207	197	88–89		172	167	164	159	156	152	148	144	139								

Tab. IV Ermüdungsgrad – PER – perceived exertion rate (G. Borg)

6		
7	sehr, sehr leicht	14
8		15 schwer
9	sehr leicht	16
10		17 sehr schwer
11	mäßig leicht	18
12		19 sehr, sehr schwer
13	etwas schwer	20

Tab. V Angina-pectoris-Beschwerden – rate score

0	kein Schmerz	III leicht
I	sehr gering	IV schwer
II	gering	V sehr schwer

Tab. VI Alarmzeichen als absolute Abbruchkriterien

- Rhythmus- und Leitungsstörungen
- ausgeprägte Ischämie- und Läsionszeichen im EKG
- Blutdruckabfall, übermäßiger Blutdruckanstieg (über 250/130 mm Hg bei Patienten über 50 Jahre)
- gleichbleibender Blutdruck mit EKG-Veränderungen und Dyspnoe
- rasch zunehmende Intensität der präkordialen Schmerzen, des Ermüdungsgrades (PER) und des Gefühls der Atemnot
- gestörte neuromuskuläre Koordination (in Kombination erhöhte Wertigkeit!)

Tab. VII Beurteilung der Leistungsbreite (% FAI) bei einem Ermüdungsgrad (PER) von 17–18

FAI:	>105 %	sehr gut belastbar
	95–105 %	gut belastbar
	80– 95 %	mäßig gut belastbar
	70– 80 %	vermindert belastbar
	< 70 %	eingeschränkte Leistungsbreite infolge ... (Abbruchkriterium)

Tab. VIII 85%ige Sollfrequenz (Scandinavian Committee on ECG Classification)

Altersgruppe (a)	Herzfrequenz (b/min)
20–29	180–170
30–39	170–160
40–49	160–150
50–59	150–140
60–69	140–130–120

Signales, tragen zu einem sicheren EKG-Monitoring wesentlich bei.

Im Untersuchungsprotokoll gilt die vermerkte 85%ige Sollfrequenz [1] lediglich als Richtwert; ein Überschreiten dieses Wertes stellt noch kein Abbruchkriterium dar (Tab. VIII).

c) Der *arterielle Blutdruck* wird wenigstens alle zwei Minuten nach der Methode von Riva-Rocci und Korotkoff am entspannt herabhängenden Arm gemessen. Bei Risikopatienten wird einem gleichbleibenden oder abfallenden systolischen Blutdruck eine besondere Beachtung geschenkt (Abbruchkriterium).

Ein übermäßiges Anspannen der Schulter- und Armmuskulatur sollte der Proband vermeiden, da diese statisch-isometrische Belastung zu einer nicht unbeträchtlichen zusätzlichen Blutdrucksteigerung führt [9].

#### d) *Atmung*

Die Atmung und die Atemfrequenz werden beobachtet, jedoch nicht messend verfolgt. Ein abnormes Verhalten kann den Anstoß zu weiterführenden Untersuchungen geben (Lungenfunktion, Spiroergometrie, Druckmessung im kleinen Kreislauf, Blutgasanalyse).

#### e) *Aufwendige, objektive Parameter*

Bei Risikopatienten (Zustand nach Myokardinfarkt in der Frühphase, bei Herzfehlern, chronisch-bronchitisch-obstruktives Syndrom) und zur genaueren Beurteilung einer Funktionsstörung erbringen eingreifendere Untersuchungen nähere Angaben über die limitierenden Faktoren der Leistungsfähigkeit (Tab. II).

#### *Subjektive Parameter*

a) *Ermüdungsgrad*: PER (perceived exertion rate) PER symbolisiert den vom Patienten wahrgenommenen Ermüdungsgrad in Anlehnung an ein rating score nach G. Borg [4].

Durch einen Text mit hinzugeordneten Zahlen (6 bis 20) wird versucht, die nicht lineare Beziehung zwischen Leistung und wahrgenommener Belastung bzw. Ermüdung in einen linearen Zusammenhang zu bringen. Die Änderung des Ermüdungsgrades pro Leistungsstufe und der absolute Wert liefern brauchbare Informationen als zusätzliche Abbruchkriterien (Tab. IV).

#### b) *Beschwerden (präkordiale Schmerzen, Dyspnoe)*

Wenn ein Proband präkordiale Schmerzen angibt, so wird versucht, die Schmerzintensität mit einem rate-score zu vergleichen (Tab. V). Hiermit können der Zeitpunkt des Einsetzens der Herzschmerzen und die Schmerzintensität zur Belastungsgröße (Belastungsstufe), zum PER-Wert und zur EKG-Veränderung in Beziehung gesetzt werden. Nach dem subjektiven Gefühl der Atemnot wird der Patient in kürzeren Abständen befragt, ein Bewertungsschema wird nicht verwendet.

### c) Mitarbeit, Motivation

Ein weiteres Augenmerk wird auf das Verhalten des Probanden während des Tests gerichtet, d. h. die Mitarbeit, die Bereitschaft, eine körperliche Anstrengung zu ertragen (Motivation), der Bewegungsablauf – unkontrollierte Bewegung bei Erschöpfung – und das Auftreten von vegetativen Symptomen (Schwitzen) werden beobachtet.

Die aufgezählten objektiven und subjektiven Parameter werden nach ihrer absoluten Größe und nach ihrer Veränderung pro Belastungsstufe genau verfolgt. Beim Auftreten von *Alarmzeichen* (Tab. VI) wird der Belastungstest sofort unterbrochen: d. s. Rhythmus- und Leitungsstörungen, ausgeprägte Ischämie- und Läsionszeichen im EKG, Blutdruckabfall, übermäßiger Blutdruckanstieg (über 250/130 bei Patienten über 50 Jahre), gleichbleibender Blutdruck mit EKG-Veränderungen und Dyspnoe; rasch zunehmende Intensität der präkordialen Schmerzen, des Ermüdungsgrades und des Gefühls der Atemnot (Anstieg des enddiastolischen Pulmonalarterien-druckes; Differentialdiagnose: Hyperventilations-syndrom, ein unter dem Belastungstest exazerbier-tes obstruktives Syndrom) und Anzeichen einer gestörten neuromuskulären Koordination.

Ansonsten wird der Test bei Erreichen von *Zielgrößen* beendet (d. s. höhergradige Ermüdung und muskuläre Erschöpfung des Probanden entsprechend einem PER 18; wesentliche Überschreitung der 85%igen Soll-Herzfrequenz und des Wl-Soll) bzw. bei jener Belastungsintensität, bei der die an den Untersucher gestellte Frage (Arbeitstoleranz in der Frühphase nach Myokardinfarkt, Blutdruckverhalten, Leistungsfähigkeit altersgemäß?) als hinreichend beantwortet gilt.

Wir versuchen prinzipiell eine möglichst hohe (maximale) Belastungsintensität an den Probanden heranzutragen, wobei das Konzept eines „*symptomlimitierten Belastungstests*“ gilt: Der Abbruch erfolgt wegen muskulärer Ermüdung, körperlicher Erschöpfung oder wegen Alarmzeichen. Von einem „*orientierenden Belastungstest*“ sprechen wir, wenn die angestrebte Belastungsintensität wegen vorgegebener Zielgrößen (z. B. 50 Watt, Herzfrequenz 130) bewußt unter der maximal tolerierbaren Belastung gehalten wird: Somit liegt kein symptomlimitierter Test vor [8].

In der Ruhephase nach Belastung soll der Proband noch ca. eine Minute weitertreten, da hierdurch einem Pooling der zirkulierenden Blutmenge in den abhängigen Körperpartien – einem Kollaps in sitzender Position – vorgebeugt wird.

Das EKG und der Blutdruck werden durch wenigstens weitere fünf Minuten registriert, sofern keine abnormen Reaktionen aufgetreten sind.

### 4. Befunderstellung

Die Analyse der Meßdaten erfolgt im Vergleich zu Normalwerten und Erfahrungswerten in Zusammenschau mit Anamnese, physikalisch-klinischem Befund und Zusatzbefunden (Abb. 1, 2). Einem gesonderten Blatt (Blatt 3) für die Befundausgabe sind die Daten zur Identifikation des Probanden und An-

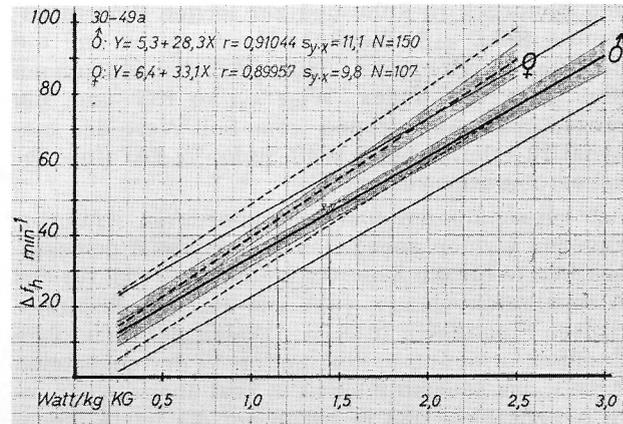


Abb. 1 Sollwertbereich für den Herzfrequenzanstieg unter rektangulär-triangularer Fahrradergometrie für normalgewichtige Männer und Frauen in der Altersstufe 30 bis 49 Jahre (delta  $f_h$ : Differenz aus der Herzfrequenz zur 2. Minute einer Belastungsstufe (Watt/kg Körpergewicht) und der Ruhfrequenz im Sitzen vor Beginn der Belastung (Entspannungswert).

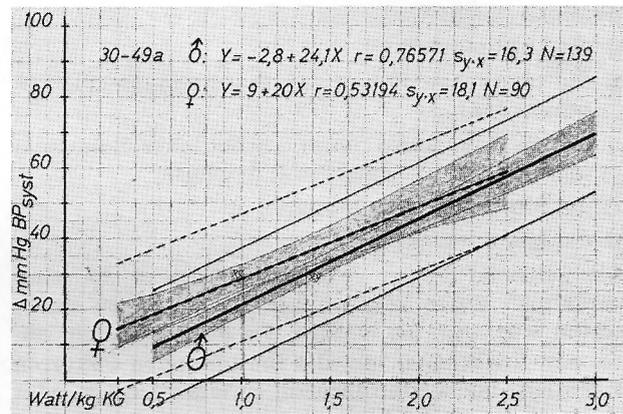


Abb. 2 Sollwertbereich für den Anstieg des systolischen Blutdruckes unter rektangulär-triangularer Fahrradergometrie für normalgewichtige Männer und Frauen in der Altersstufe 30 bis 49 Jahre (delta  $BP_{syst}$ : Differenz aus dem systolischen Blutdruck vor Ende der 2. Minute einer Belastungsstufe (Watt/kg Körpergewicht) und des Entspannungswertes im Sitzen vor Beginn der Belastung).

gaben über die körperliche Belastung (z. B.: Fahrradergometrie, Körperposition, Belastungsmodus) zu entnehmen.

Die Ursache für den Belastungsabbruch wird anhand eines Vordruckes angekreuzt bzw. durch weitere Eintragungen ergänzt (z. B. physische Ermüdung, PER 18; Angina-pectoris-Anfall Grad IV mit EKG-Veränderungen ab ... Watt). Ein weiterer Absatz weist auf eventuelle Zusatzuntersuchungen hin (z. B. Franksche EKG-Ableitungen, Blutgasanalyse, hämodynamische und respiratorische Parameter) und enthält die gemessenen leistungsphysiologischen Daten:

Die zuletzt tolerierte Belastungsstufe  $Wl_{tol\ max}$  in Watt, die Zeitdauer der letzten Belastungsstufe, die Watt-Minuten über die gesamte Belastungsdauer ( $Wl_{tot}$ ), die Zeitdauer des Belastungstests ( $t_{tot}$ ),

den Blutdruck in Ruhe und zur letzten Belastungsminute ( $BR_{R, \max}$ ), die Ruhe-Herzfrequenz und die höchste Herzfrequenz unter Arbeitsbedingungen ( $fh_{R, \max}$ ); den Index  $W_{\text{tol max}}/\text{kg KG}$  und die prozentuelle Abweichung vom Soll-Wert der maximal zu tolerierenden Watt-Stufe, % FAI (functional aerobic impairment [5]).

Bei aufwendigeren und eingreifenderen Untersuchungen werden angegeben: die maximal gemessenen Werte für die Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}_{O_2}$ ), für das Atemminutenvolumen ( $\dot{V}_E$ ) und für den respiratorischen Quotienten (RQ), der Anteil der anaeroben Energiegewinnung in kcal und in % der geleisteten Arbeit, das Sauerstoffdefizit in kcal über die gesamte Arbeitsphase und in bezug auf die letzte (höchste) Belastungsstufe [11], die Sauerstoffschuld über fünf Minuten nach Abbruch der Belastung, der Basenüberschußdifferenzwert ( $\Delta BE$ ) sowie Veränderungen des arteriellen Sauerstoffdruckes; bei hämodynamischen Untersuchungen werden die Meßgrößen der zentralen Hämodynamik beschrieben und mit Normalwerten verglichen.

In der eigentlichen *Zusammenfassung* werden kommentiert:

- a) die Leistungsbreite,
- b) die möglichen Symptome (kardiopulmonale Beschwerden),
- c) das EKG in Ruhe, unter körperlicher Belastung und in der nachfolgenden Ruhephase,
- d) die Blutdruckveränderungen und
- e) die Herzfrequenzregulation.

Abschließend ist zu vermerken, ob ein „Normalverhalten“ unter körperlicher Belastung zu beobachten war, oder es werden die abweichenden, abnormen Reaktionen und die limitierenden Faktoren diskutiert, um weiterführende Untersuchungen oder Kontrollen zu empfehlen.

Der Zeitaufwand für eine Untersuchung samt Befundung liegt bei 30 Minuten. In kurzer Zeit steht der zuweisenden Stelle das Ergebnis des Belastungstests zur Verfügung.

### Schlußfolgerungen

Im Gegensatz zu Belastungstests mit steady-state-Bedingungen, wobei vier bis sechs Minuten pro Belastungsstufe zugewartet werden, um einen „Gleichgewichtszustand“ für kardiorespiratorische und metabolische Funktionsgrößen zu erhalten, beträgt bei unserem rektangulären, progressiven (triangulären) Test die Zeitdauer pro Belastungsstufe generell zwei Minuten.

Die entsprechende Adaption an die rasch ansteigende Belastungsintensität ist gewährleistet, wie ergospirometrische Untersuchungen anhand der Sauerstoffaufnahme, dem Bruttokriterium für die Leistungsfähigkeit, beweisen [3, 11]. Der Anteil an anaerober Energiegewinnung ist gering, Ermüdungseffekte aus der Zeitdauer der ergometrischen Untersuchung fallen nicht ins Gewicht. Der Zeitaufwand für die diagnostische Untersuchung ist minimal. Durch die konsequente Beobachtung einfacher objektiver und subjektiver Parameter

während des Tests besteht kein erhöhtes Risiko für den Probanden bei einem derartigen Test.

Die Indikation zu diesem rektangulär-triangulären Test kann gestellt werden aus der Frage nach 1. einer möglichen Abweichung von der Norm (Screening), 2. zur Objektivierung kardiopulmonaler Beschwerden (Herzrhythmusstörungen, Angina-pectoris-Beschwerden, Belastungskoronarinsuffizienzbeschwerden, Störung der Blutdruck- und Herzfrequenzregulation, Abklärung einer Belastungsdyspnoe), 3. zur Beurteilung des Schweregrades einer Funktionseinschränkung (wie bei Zustand in der Frühphase nach Myokardinfarkt, bei Herzfehlern, bei Lungenerkrankungen, Trainingsmangel, zur Beurteilung der Arbeitsfähigkeit, etc.) und 4. zur Objektivierung von Folgen einer Intervention (Trainingseffekte in der Sportmedizin und Rehabilitation, Medikamenteneffekte usw.). Absolute Bezugswerte (in % der maximal tolerierten Belastung) können für steady-state-Belastungsstufen gewonnen werden.

Durch aufwendigere Untersuchungstechniken mit Bestimmung von Kenngrößen der zentralen Hämodynamik, der Respiration und der Metabolik kann an eine qualitative und quantitative Analyse der limitierenden Faktoren der Leistungsfähigkeit herangegangen werden.

### Literatur

1. Andersen, K. L., R. J. Shepard, H. Denolin, E. Varnauskas, R. Masironi: Fundamentals of exercise testing. WHO, Genf 1971.
2. Astila, M.: Pulse-conducted triangular exercise-ECG test. Acta med. scand. (Suppl.) 529 (1972).
3. Astrand, P. O., K. Rodahl: Textbook of Work Physiology. McGraw-Hill Book, New York 1970.
4. Borg, G., C. G. Edström, G. Markelund: A new method to determine the exponent for perceived force in physical work. Report from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm. Nr. 4 (1970).
5. Bruce, R. A.: Exercise testing of patients with coronary heart disease. Ann. clin. Res. 3, 323 (1971).
6. Eklund, L. G., A. Holmgren: Central hemodynamics during exercise. Circulat. Res. (Suppl. I) 20/21, 1-33 (1967).
7. Keul, J.: Limiting Factors of Physical Performance. Thieme, Stuttgart 1973.
8. Niederberger, M., F. Kubicek, W. Reiterer: Leitlinien für die Ergometrie. Acta med. Austriaca 2, 33 (1975).
9. Reiterer, W.: Statische Belastung - eine Bereicherung für die erweiterte kardiologische Diagnostik? Acta med. Austriaca 1, 106 (1974).
10. Reiterer W., H. Nissel: Abnorme Blutdruckregulation unter statischer Belastung. Acta med. Austriaca 1, 131 (1974).
11. Reiterer, W.: Publikation in Vorbereitung.

Wertvolle Anregungen zu den Untersuchungen verdankt der Autor seiner Teilnahme am WHO-Kurs „On the Physiological Methods of Testing of Cardiac Patients in Rehabilitation“ in Göteborg, Mai 1973.

OA Dr. W. Reiterer

I. Med. Abteilung  
der Allgem. Poliklinik der  
Stadt Wien  
Mariannengasse 10  
A-1090 Wien