

A. Schmid

## Rollstuhlgometrie

Abt. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin, Medizinische Universitätsklinik Freiburg

### Zusammenfassung

Der definierte und standardisierte Belastungstest zur Beurteilung der Belastungsreaktion ist auch für Rollstuhlfahrer in der klinischen Diagnostik, in der Prävention und im Leistungssport unerlässlich. Querschnittslähmung, insbesondere bei Tetraplegie, führt nicht nur zu motorischen und sensorischen Ausfällen, sondern auch zu Störungen des peripheren sympathischen Systems. Die Belastung findet bei klinischen Fragestellungen meist in Form einer Handkurbelergometrie, bei sportartspezifischen bzw. leistungsdiagnostischen Untersuchungen auf dem Rollstuhlgometer oder Laufband statt. Für die Einschätzung der sportartspezifischen körperlichen Leistungsfähigkeit bei Fahrdisziplinen der Rollstuhl-Leichtathletik, Hand-Bike oder Spilsportarten mit hoher Ausdauerkomponente ist sowohl die Ergometrie auf dem Rollstuhlgometer als auch auf dem Laufband geeignet. Die Bestimmung des Laktatanstieges, des Minimums des Laktatäquivalents oder der ventilatorischen Schwelle ist unabhängig von der Art der Behinderung möglich. Die Dauerleistungsgrenze scheint für Sportler mit Paraplegie oder anderen Behinderungen, nicht aber für Tetraplegiker, im Bereich von 4 mmol/l Laktat zu liegen.

### Einleitung

Der definierte und standardisierte Belastungstest ist eine etablierte Untersuchungsmethode zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und zur Festlegung bestimmter Trainingsintensitäten, um so zur Optimierung der Trainingsgestaltung und zur Verbesserung der Wettkampfergebnisse behinderter Sportler beizutragen. Untersucht werden dabei die Funktionen bzw. Funktionsstörungen des kardiovaskulären, pulmonalen und sympatho-adrenergen Systems sowie die metabolisch-energetische Kapazität der beanspruchten Muskulatur. Da Menschen im Rollstuhl häufiger an Herz-Kreislaufkrankungen leiden, ist eine standardisierte Belastungsuntersuchung auch in der klinischen Diagnostik und Prävention von besonderer Bedeutung.

Die Durchführung und Beurteilung der Ergometrie von Sportlern oder Patienten im Rollstuhl erfordert neben den apparativen Voraussetzungen auch Kenntnisse über die behinderungsbedingten Funktionseinschränkungen.

Tabelle 1: Kardiozirkulatorische und metabolische Parameter von Tetraplegikern (TP), hohen Paraplegikern (HPP, Th1–Th4), tiefen Paraplegikern (TPP) und Kontrollpersonen (KG) in Ruhe und während Rollstuhlgometrie (4).

		Leistung [Watt]	Herzfrequenz [1/min]	VO <sub>2</sub> [ml/kg/min]	Laktat [mmol/l]	RR <sub>s</sub> [mmHg]	RR <sub>d</sub> [mmHg]
TP	Ruhe		67,7	3,74	1,21	107	69
	Max	33,12	110,2	13,74	4,58	121	73
HPP	Ruhe		73,4	4,52	1,39	133	85
	Max	66,86	172,1	25,14	7,50	174	99
TPP	Ruhe		77,7	4,73	1,42	140	94
	Max	75,44	178,9	29,90	8,94	186	102
KG	Ruhe		71,4	5,55	1,41	128	78
	Max	62,65	168,9	28,92	9,99	169	84

### Pathophysiologische Veränderungen

Als Ursache der Behinderung liegt in den meisten Fällen eine traumatische Querschnittslähmung, seltener Spina bifida, Amputation bzw. Dysmelie beider Oberschenkel oder andere neurologische bzw. orthopädische Erkrankungen vor. Bei Querschnittslähmung wird zwischen Paraplegie mit motorischen Paresen an Beinen und Rumpf (Läsionshöhe im Brust-, Lenden- oder Sakralmark) und Tetraplegie mit motorischen Ausfällen an den vier Extremitäten (Läsionshöhe im Halsmark) unterschieden. Überwiegend handelt es sich dabei nicht um eine vollständige Lähmung der oberen Extremität, eine selbstständige Fortbewegung im Rollstuhl und damit eine sportliche Aktivität ist bei einer Lähmungshöhe tiefer als C5 möglich. Die Unterbrechung des Rückenmarks führt nicht nur zu motorischen und sensorischen Ausfällen, sondern auch zur Schädigung vegetativer Bahnen. Efferente sympathische Bahnen zu den Zervikal- und oberen Thorakalganglien, die u.a. das Herz innervieren, verlassen das Rückenmark zwischen Th1 und Th4, die präganglionären Neurone zu den abdominalen Ganglien und dem Nebennierenmark überwiegend zwischen Th5 und Th9. Querschnittslähmung verursacht durch Unterbrechung sympathischer Bahnen aus aktivierenden zentralen Zentren ein pathologisches Verhalten des peripheren sympathischen Systems unterschiedlicher Ausprägung. Die Schädigung des cervikalen Rückenmarks führt zu einer Unterbrechung praktisch aller präsynaptischen sympathischen Fasern noch vor Austritt aus dem Rückenmark unter anderem mit Störung der sympathischen kardialen Innervation und des Nebennierenmarks und Ausfall des belastungsinduzierten Anstiegs der Katecholamine (4). Dies hat eine Vielzahl an Veränderungen der kardiozirkulatorischen und metabolischen Belastungsreaktion zur Folge. Paraplegiker erreichen eine bei alleiniger Armarbeit mit Kontrollpersonen vergleichbare Belastungsreaktion. Tetraplegiker dagegen zeigen eine, insbesondere im Vergleich mit hochgelähmten Paraplegikern nicht allein durch die geringere funktionelle Muskelmasse erklärbare, ausgeprägte Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit (maximale körperrgewichtbezogene Leistung 0,45 W/kg, maximale VO<sub>2</sub> 13,7 ml/kg/min) bei einer Regulationsstarre der Herzfrequenz (maximale Herzfrequenz 110/min). Die kardiale Adaptation erfolgt überwiegend durch Reduktion der vagalen Aktivität und durch hormonelle Einflüsse (4). Bei Paraplegikern kann vor allem diastolisch eine hypertone Blutdrucklage bestehen, während Tetraplegiker in Ruhe hypotone Blutdruckwerte mit einer inadäquaten Anpassung an körperliche Belastung aufweisen (Tab. 1). Bisher liegen prognostische Daten und Richtlinien für Empfehlungen bezüglich einer medikamentösen antihypertensiven Therapie nicht vor.

### Methodik der Rollstuhlgometrie

Bei der leistungsdiagnostischen und klinischen Ergometrie steht die stufenweise ansteigende Belastung bis zur subjektiven Erschöpfung im Vordergrund. Diese findet bei klinischen Fragestellungen meist in Form einer Handkurbelergometrie, bei sportartspezifischen bzw. leistungsdiagnostischen Untersuchungen auf einem computergesteuerten Rollenstand (Rollstuhlgometer) oder auf dem Laufband jeweils im spezifischen Sportrollstuhl (z.B. Rennrollstuhl, Basketballrollstuhl, Hand-Bike) statt (1). Das Rollstuhlgometer ermöglicht eine exakte Lastvorgabe bzw. -steigerung, das Laufband die stufenweise Zunahme der Geschwindigkeit, in Ausnahmefällen auch des Steigungswinkels. Aufgrund der behinderungs- und training be-

Tabelle 2: Belastungsmodus der Rollstuhlgometrie für Tetraplegiker (TP), Paraplegiker (PP) und Patienten mit klinischen Fragestellungen (KLIN) jeweils in dreiminütigen Intervallen.

		TP, KLIN	PP
Handkurbel	Start	10 W	20 W
	Anstieg	10 W	20 W
Rolle	Start	10 W	10 W
	Anstieg	5 W	10 W
Laufband (1,5% Steigung)	Start	4 km/h	6 km/h
	Anstieg	1 km/h	2 km/h

dingten Differenzen der körperlichen Leistungsfähigkeit werden unterschiedliche Belastungsprotokolle angewandt (Tab. 2)(3).

Routinemäßig werden in Ruhe und während der kurzen Unterbrechung, die bei der Interpretation der erhobenen Befunde berücksichtigt werden muss, nach jeder Belastungsstufe folgende Parameter erhoben: Extremitäten-EKG, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck und Laktat, die spirometrischen Daten werden kontinuierlich erfasst.

Rampentest-Verfahren mit deutlich kürzerer Belastungsdauer zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. ventilatorischer Schwellen werden überwiegend bei angloamerikanischen Arbeitsgruppen durchgeführt. Sie sind insbesondere bei Tetraplegikern nur sehr eingeschränkt aussagekräftig, da die akute, über die sympathische Aktivierung vermittelte Belastungsreaktion gestört ist und intakte kompensatorische hormonelle Mechanismen erst verzögert aktiviert werden (3).

## Rollstuhlgometrie und Sport

Für Fragen des Leistungssports, aber auch der Prävention und Rehabilitation sollte die Ergometrie möglichst standardisiert und sportartspezifisch sein, um exakte Angaben über den momentanen Leistungsstand und über trainingsrelevante Daten treffen zu können. Für Fahrdisziplinen der Rollstuhl-Leichtathletik ergeben sich unabhängig von der Behinderungsart bzw. Lähmungshöhe enge Beziehungen zwischen den Wettkampfergebnissen und der maximal erbrachten Leistung bzw. der maximalen Sauerstoffaufnahme. Paraplegische Spitzenathleten erreichen im Vergleich zu den in Tabelle 1 dargestellten Befunden eine deutlich höhere maximale Sauerstoffaufnahme von mehr als 50 ml/kg/min und eine körpertgewichtsbezogene Maximalleistung um 2 W/kg. Bei tetraplegischen Spitzensportlern liegt die maximale Sauerstoffaufnahme höher als 20 ml/kg/min bei einer körpertgewichtsbezogenen Leistung um 1 W/kg. Die Widerstandserhöhung auf dem Rollstuhlgometer und die Geschwindigkeitserhöhung auf dem Laufband sind gleichermaßen verwendbar (1). Auch für die Spielsportart Rollstuhl-Basketball findet sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Spielstärke und der maximalen Leistung bzw. Sauerstoffaufnahme bei der Rollstuhlgometrie (6).

Aufgrund der wenigen Daten und der vor allem bei Tetraplegikern behinderungsbedingt veränderten Belastungsreaktion können die leistungsphysiologischen Erkenntnisse von nichtbehinderten Leistungssportlern nur eingeschränkt auf die Ergebnisse der Rollstuhlgometrie übertragen werden. Die Bestimmung des Beginns des Laktatanstieges (LT), des Minimums des Laktatäquivalents oder der ventilatorischen

Schwelle aus dem Quotienten  $VCO_2/VO_2$  (VT) scheint unabhängig von der Art der Behinderung möglich zu sein und ist für die Festlegung der Belastungsintensitäten für Training und Prävention nutzbar (2). Während für die Ermittlung der Dauerleistungsgrenze für Tetraplegiker bisher keine Informationen vorliegen, kann diese für Sportler mit Paraplegie oder anderen Behinderungen im Bereich von 4 mmol/l Laktat angenommen werden (5). Andere Konzepte wie die individuelle anaerobe Schwelle über eine Laktatkonstante ausgehend vom Laktat der aeroben Schwelle, die Deflektion der Herzfrequenz nach Conconi oder der Quotient aus  $VE/VO_2$  werden derzeit geprüft.

## Fazit

Der definierte und standardisierte Belastungstest zur Beurteilung der Belastungsreaktion ist auch für Rollstuhlfahrer in Leistungssport, Klinik und Prävention unerlässlich. Da Menschen im Rollstuhl häufiger an Herz-Kreislaufkrankungen leiden, wird die Rollstuhlgometrie intensiver in der klinischen Routine berücksichtigt werden müssen. Die leistungsphysiologischen Erkenntnisse von nichtbehinderten Leistungssportlern im Hinblick auf trainingsrelevante Daten oder Schwellenkonzepte können derzeit nur bedingt auf die Rollstuhlgometrie übertragen werden. Sie müssen für die einzelnen Rollstuhlsportarten und unterschiedlichen Behinderungen noch geprüft werden.

## Literatur

1. Arabi H, Vandewalle H, Pitor P, de Lattre J, Monod H: Relationship between maximal oxygen uptake on different ergometers, lean arm volume and strength in paraplegic subjects. *Eur J Appl Physiol* 76 (1997) 122-127.
2. Coutts KD, McKenzie DC: Ventilatory thresholds during wheelchair exercise in individuals with spinal cord injuries. *Paraplegia* 33 (1995) 419-422.
3. Lasko-McCarthy P, Davis JA: Effect of work rate increment on peak oxygen uptake during wheelchair ergometry in men with quadriplegia. *Eur J Appl Physiol* 63 (1991) 349-353.
4. Schmid A, Huonker M, Barturen JM, Stahl F, Schmidt-Trucksäb A, König D, Grathwohl D, Lehmann M, Keul J: Catecholamines, heart rate and oxygen uptake in spinal cord injured persons during wheelchair exercise. *J Appl Physiol* 85 (1998) 635-641.
5. Schmid A, Huonker M, Aramendi JF, Klüppel E, Barturen JM, Grathwohl D, Schmidt-Trucksäb A, Berg A, Keul J: Heart rate deflection compared to 4 mmol/l lactate threshold during incremental exercise and to lactate during steady-state exercise on an arm-cranking ergometer in paraplegic athletes. *Eur J Appl Physiol* 78 (1998) 177-182.
6. Schmid A, Huonker M, Stober P, Barturen JM, Schmidt-Trucksäb A, Dürr H, Völpel HJ, Keul J: Physical performance and cardiovascular and metabolic adaptation of elite wheelchair basketball players in wheelchair ergometry and in competition. *Am J Phys Med Rehabil* 77 (1998) 527-533.

Korrespondenzadresse:  
Priv. Doz. Dr. A. Schmid  
Abtlg. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin,  
Medizinische Universitätsklinik Freiburg,  
Hugstetterstr. 55, D-79106 Freiburg