

I	Klinischer Einsatz und Nutzen der Spiroergometrie	4	9	Standardisierung der Aufzeichnung (formale Aspekte): Sollwerte und 9-FG	24
1	Einst und Jetzt: Empirie versus Messtechnik?	4	9.1	Empfehlungen für Standards	24
2	Welche Informationen liefert die Spiroergometrie?	5	9.2	Verwendung von Sollwerten/Referenzwerten ..	25
3	Indikation, Einflussfaktoren, Risiken, Fragestellungen	6	9.3	„Navigationshilfe“ für die 9-Felder-Grafik	25
4	Spiroergometrie „Soll und Haben“	9	10	Auswertung: Systematik der Betrachtung, Vorgehen und Reihenfolge	28
	Christoph Kreiker		10.1	Grundlagen	28
4.1	Welche Vergütung kann für die Spiroergometrie erzielt werden?	9	10.2	Mitarbeit und kardiozirkulatorische Parameter .	28
4.2	Grundsätzliche betriebswirtschaftliche Betrachtung	11	10.3	Ventilatorische Parameter	30
4.3	Ist die Spiroergometrie in der ambulanten Praxis wirtschaftlich zu erbringen?	11	10.4	Gasaustausch	30
5	Fallstricke der Methodik (Black Box)	13	10.5	Anhang	32
6	Spiroergometrie liefert ein komplexes Bild ..	14	III	Physiologische Grundlagen (Rekapitulation ausgewählter Themen)	35
II	Technische und formale Grundlagen	15	11	Messparameter (SI)	35
7	Gerätekunde und Messtechnik	15	11.1	Basisgrößen und abgeleitete Größen	35
7.1	Einleitung	15	11.2	Zusammengesetzte Größen	37
7.2	Vom (Atem-) Fluss zum (Atem-) Volumen	16	11.3	Druck: „Historie“	37
7.3	Kalibration und Eichung (Qualitätskontrolle) ...	18	11.4	Anhang „Zweierlei Maß“	38
8	Praxis im Funktionslabor	19	11.5	Begriffe und Definitionen (Glossar)	38
8.1	Vorbereitung	19	12	Atemmechanik	39
8.2	Kriterien für eine akzeptable Durchführung der Spirometrie	20	12.1	FRC und ITGV (in der Spiroergometrie auch EELV)	39
8.3	Belastungsuntersuchung	20	12.2	Sollwerte zur Lungenfunktion	40
8.4	Beurteilung der Ergebnisse	22	12.3	Intrabreath-Kurven	42
			12.4	Dynamische Überblähung	43
			12.5	Compliance = (Lungen-) Dehnbarkeit/ Elastizität	44
			12.6	Atemkraft, Atempumpe, Erschöpfung	46

13 Gasaustausch	47	16.3 Belastungsprotokolle.....	90
13.1 Einleitung	47	16.4 Sollwerte.....	93
13.2 Blutgasanalyse und CPET	56	16.5 Formeln.....	97
13.3 Arbeit in extremer Hypoxie – Die erstaunliche Hypoxietoleranz der Vögel	61	16.6 Spiroergometrie bei Kindern	98
<i>Peter Scheid</i>		<i>A. Hager</i>	
14 Physiologie und Pathophysiologie der kardiozirkulatorischen Adaptation im Rahmen der Spiroergometrie	65	17 Muskelkraft, Ermüdung, Ausdauer	99
14.1 Physiologie.....	65	17.1 Muskulatur	99
14.2 Pathophysiologie	72	17.2 Periphere Muskulatur	100
15 Pathophysiologie der Dyspnoe	83	17.3 Muskelfasern	101
15.1 Beurteilung der Luftnot	83	18 Stoffwechsel – Energiebereitstellung	103
15.2 Language of Breathlessness	83	18.1 Begriffsklärung: RER – R – RQ – Innere und Äußere Atmung.....	103
15.3 Modell der Wahrnehmung und Verarbeitung von Dyspnoe	83	18.2 Energiegewinnung.....	103
15.4 Dyspnoe im Spiegel der Spiroergometrie.....	85	18.3 RER unter Belastung	106
15.5 Pathophysiologie des „Spareffekts der Ventilation“	86	18.4 RER und Energiegewinnung.....	106
16 O₂-Aufnahme und Belastungsprotokolle	86	18.5 Die ventilatorische Schwelle (VAT)	107
16.1 Einleitung	86	19 Spiroergometrische Bestimmung der Anaeroben Schwelle (VAT)	109
16.2 O ₂ -Aufnahme.....	86	19.1 Einleitung	109
		19.2 Theorie und Praxis?.....	111
		19.3 Zusammenfassung zur aerob/anaeroben Schwelle	111

IV 9-Felder-Grafiken nach Wasserman	118	25.4 COPD und Dynamische Überblähung	156
20 9-Felder-Grafik: Felder zur Zirkulation und Leistung	118	25.5 Linksherzinsuffizienz (NYHA III–IV)	157
20.1 Einleitung	118	25.6 Pulmonale Hypertonie (PH) und Chronische Thromboembolische Pulmonale Hypertonie (CTEPH)	158
20.2 Zirkulation und Umverteilung	119	25.7 Schwere Adipositas mit Hypoventilation	160
20.3 Feld 3	120	25.8 Charakteristika von Sonderfällen (ohne Grafiken)	160
20.4 Feld 2	123		
20.5 Feld 5	126		
20.6 Feld 8	127		
20.7 Anhang: Oszillationen der $\dot{V}O_2/\dot{V}CO_2$ -Kurven	128	V Spezielle Themen: „Gut zu wissen“	162
21 9-Felder-Grafik: Felder zur Ventilation	129	26 Wie schätze ich die vermutliche Leistungsfähigkeit des Probanden/Patienten ein?	162
21.1 Spiroergometrie-Daten zur Ventilation	129	26.1 Einleitung	162
21.2 Vorgehen in der Praxis	132	26.2 Vorgehen in der Praxis	162
21.3 (Gesamt-)Ventilation	133	26.3 Zu 1: Sollwerte/Erfahrungswerte, z. B. Arbeitsmedizin	163
21.4 Darstellung der Ventilation in Feld 1 und 7	135	26.4 Zu 2: Fragen nach Leistungsmerkmalen	164
22 9-Felder-Grafik: Felder zum Gasaustausch ...	137	26.5 Zu 3: Ist die Ventilation begrenzend?	165
22.1 Einleitung	137	27 Spiroergometrie und präoperative Risikoabschätzung	166
22.2 Atemäquivalente: Feld 4 und 6	138	27.1 Bedeutung	166
22.3 Feld 9	142	27.2 Allgemeines Risiko	166
23 Standardisierung der Befunddokumentation und Befundmitteilung	146	27.3 Risiken bei nicht thoraxchirurgischen Eingriffen	169
24 Atemstrategien	148	27.4 Operationsrisiken bei großer Abdominalchirurgie beim Älteren	172
24.1 Strömungsbegrenzung und Flussreserve	148	27.5 Risiken bei thoraxchirurgischen Eingriffen	172
24.2 Normalbefund	149	28 Herzinsuffizienz – Aspekte zur Spiroergometrie	177
24.3 Obstruktive Ventilationsstörungen	150	28.1 Graduierung der Herzinsuffizienz	177
24.4 Restriktive Ventilationsstörungen	151	28.2 Prognosebeurteilung bei Herzinsuffizienz	178
24.5 Sonderfälle	154		
25 Schemata charakteristischer 9-Felder-Grafiken	155		
25.1 Einleitung	155		
25.2 Normalbefund	155		
25.3 Lungenfibrose	155		

28.3 Parameter der Langzeit- und der Kurzzeit-mortalität	179	30 Spiroergometrie bei Training und Rehabilitation.	194
28.4 Stratifikation bezüglich der Mortalität bei Herzinsuffizienz (Algorithmus)	180	30.1 Überblick	194
28.5 Information zur aktuellen Diskussion über weitere Prognose-Parameter.....	180	30.2 Indikationen.....	194
28.6 Medikamentöse spiroergometrische Effekte bei kardialer Insuffizienz.....	183	30.3 Spiroergometrie bei Rehabilitation	194
28.7 Training bei Herzinsuffizienz	183	31 Sport- und Präventivmedizin: Die Spiroergometrie in der Ausdauerleistungsdiagnostik	199
29 Spiroergometrie bei Begutachtungen	186	<i>Ralph Schomaker und Andreas Greiwing</i>	
29.1 Bedeutung der Spiroergometrie in der Arbeitsmedizin	186	31.1 Einführung	199
29.2 Leistung und Leistungserfassung.....	186	31.2 Ergometrieformen in der Sportmedizin	200
29.3 Vergleichbarkeit von Leistungen	187	31.3 Testbedingungen/Testprotokolle in der Sportmedizin	202
29.4 Arbeitsmedizinische Fragen	188	31.4 Schwellenbestimmung mittels Spiroergometrie und Laktatmessung.....	207
29.5 Bezugswerte und Sollwerte	190	31.5 Definition von Trainingszonen	211
29.6 Spezielle Krankheitsbilder in der Begutachtung .	191	31.6 Einsatzindikationen von Trainingszonen	214
29.7 Berufs- und Erwerbsunfähigkeit.....	192	31.7 $\dot{V}O_2$ und Energieverbrauch.....	215
29.8 Befunddokumentation und Befundweitergabe ..	193	31.8 Beurteilung sportlicher Ausdauerleistungsfähigkeit	218
		31.9 Intraindividuelle Beurteilung der Leistungsfähigkeit	221

VI	Angewandte Praxis und Fallbeispiele.....	228
32	Standards bei der Durchführung der Spiroergometrie	228
32.2	Einflussfaktoren	229
32.3	Intrabreath-Manöver	232
32.4	Blutgase.....	233
32.5	Standardisierung der Belastungsgrafiken	233
32.6	Plausibilitätsprüfungen während und nach CPET.....	233
32.7	Auswertung	234
32.8	Befundweitergabe	234
32.9	Anhang	234
33	Fallbeispiele	236
33.1	Technische und formale Fallstricke	236
	Fall 1: Ungünstige Skalierungen und Belastungsform verhindern die Erkenntnis	236
	Fall 2: Kooperation (Hypo- und Hyperventilation).....	236
	Fall 3 und 4: RER (RQ) nicht plausibel	238
	Fall 5: RER zu hoch – anhaltend hoher RER, kein Leertreten	239
	Fall 6: O ₂ -Sensor liefert zu niedrige Messwerte .	240
	Fall 7: Nicht adäquate Ventilation wegen Undichtigkeit der Maske	240
33.2	Kasuistiken – Sonderfälle	242
	Kasuistik 1: Beratung zum Freizeitsport, Stellenwert der Spiroergometrie	242
	Kasuistik 2: Spiroergometrie in der Trainingsberatung.....	243
	Kasuistik 3: CPET und Anämie (Oberlappen- karzinom und Kolonpolypen)	247

	Kasuistik 4: Metabolische Azidose bei Niereninsuffizienz	249
	Kasuistik 5: Morbide Adipositas, Verlauf über 1 Jahr mit Heimbeatmung (NIV) und Heimtraining.....	251
	Kasuistik 6: Spiroergometrie in 1300 und in 4300 m Höhe	254
	Kasuistik 7: Völlige Leistungsschwäche bei mitochondrialer Myopathie (Enzym-Störung in der Atmungskette)	257
33.3	Kasuistiken mit vorwiegend pneumologischer Problematik.....	260
	Kasuistik 1: Lungenfibrose, Usual Interstitial Pneumonitis (UIP)	260
	Kasuistik 2: Fibrosierende Alveolitis bei exogen allergischen Alveolitis (EAA)	261
	Kasuistik 3: Alveolarproteinose (Alveolares Füllungssyndrom).....	266
	Kasuistik 4: Bullöses Lungenemphysem vor und nach Lungenvolumen-Reduktion (LVR)	268
	Kasuistik 5: Asbestose mit schwerer Restriktion	272
	Kasuistik 6: Bechterew-Krankheit mit leichter Asbestose und Emphysem	276
	Kasuistik 7: Multiple AV-Malformationen.....	277
	Kasuistik 8: Sarkoidose, Verlaufskontrolle unter Therapie	280
	Kasuistik 9: Detraining (bei Asthma)	283
	Kasuistik 10: Hypoventilation, vermutlich als Normvariante bei „gut trainiertem Zwerchfell“ .	285
	Kasuistik 11: Hypoventilation bei zentraler Atem- antriebsstörung und Schlafapnoe-Syndrom	287

Inhaltsverzeichnis

Kasuistik 12: Hypoventilation bei extrathorakaler Stenose (subglottisches Lymphom)	289
Kasuistik 13: Leistungssportler (Rudern, Olympiateilnehmer) und Asthma, Permissive Hypoventilation	291
Kasuistik 14: Laryngeale und tracheale Stenose .	294
Kasuistik 15: COPD (Blue Bloater)	298
Kasuistik 16: Lungentransplantation (Ltx)	300
33.4 Kasuistiken mit vorwiegend kardiologischer Problematik	304
Kasuistik 1: Freizeitsportler mit Herzrhythmusstörung.....	304
Kasuistik 2: KHK und Metastasenchirurgie.....	306
Kasuistik 3: KHK, Karzinom mit Oberlappenresektion, Begutachtung	308
Kasuistik 4: Präoperative Beurteilung, Pneumonektomie	309
Kasuistik 5: Geplante Keilresektion bei Zustand nach Pneumektomie, O ₂ -Puls-Plateau, VES	312
Kasuistik 6: Asylbewerber mit Leistungsschwäche, Kooperationsmangel? Sarkoidose mit Beteiligung von Herz und Lunge	313
Kasuistik 7: Ironman mit Herzleiden (DCM und HTX bei einem Leistungssportler)	315
Kasuistik 8: Kardiomyopathie mit Rundherd präoperativ.....	318
Kasuistik 9: Chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (CTEPH).....	320
Kasuistik 10: Idiopathische Pulmonale Hypertonie vor und unter Therapie	322
Kasuistik 11: Univentrikuläres Herz (Single Ventricle)	324
Kasuistik 12: Herzinsuffizienz bei dilatativer Kardiomyopathie, EOv?	329

Anhang

Überprüfen Sie Ihr Wissen	332	Historische Aspekte der Spiroergometrie	352
Fragen	332	Ein persönliches Nachwort zur Spiroergometrie-	
Antworten	339	Arbeitsgruppe	355
Weiterführende Informationen	346	Weiterführende Literatur	357
Tabellen für die kardiologische Einschätzung	349		
Spezielle Parameter zur Spiroergometrie	350		
Sachverzeichnis	359		