

Diagnostische Standards des Kompetenznetzes Angeborene Herzfehler

Belastungsuntersuchungen / Ergo(spiro)metrie

K.-O. Dubowy

**Klinik für angeborene Herzfehler, Herz- und Diabeteszentrum NRW,
Bad Oeynhausen, Ruhr Universität Bochum**

- 1. Begriffsdefinition**
- 2. Methodik**
- 3. Physiologie**
- 4. Welche Faktoren beeinflussen die Leistungsfähigkeit ?**
- 5. Einfluss der Untersuchungsmethode und des Belastungsprotokolls**
- 6. Indikationen zur Durchführung einer Belastungsuntersuchung**
- 7. Bedingungen zur Durchführung einer Belastungsuntersuchung**
- 8. Untersuchungsprotokoll zur Fahrradergo(spiro)metrie**
- 9. Untersuchungsprotokoll zur Laufbandergo(spiro)metrie**
- 10. 6-Minuten-Gehtest**
- 11. Ermittelte Parameter**
- 12. Durchführung der Ergometrie**

Dr. med. K.-O. Dubowy
Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen
Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum
Klinik für Angeborene Herzfehler
Georgstr. 11
32545 Bad Oeynhausen
Tel.: 05731 973605
Fax: 05731 972131

1. Begriffsdefinition

Belastungsuntersuchungen provozieren leistungsbegrenzende physiologische Prozesse und triggern Symptome, die die individuelle körperliche Leistungsfähigkeit einschränken. Eine Belastungsuntersuchung trifft Aussagen zur Leistungsfähigkeit von Gesunden und zur Belastbarkeit von Kranken. Dabei stellt die Belastbarkeit die symptomlimitierte Leistungsfähigkeit dar. Die Leistungsfähigkeit spiegelt die absolute Leistungsgrenze eines Menschen wider.

2. Methodik

Bei Gesunden und Kranken sollten Belastungsuntersuchungen standardisiert erfolgen. Aufgrund der Fülle von Untersuchungsmethoden und Protokollen erscheint es häufig schwierig, die gewonnenen Leistungsparameter untereinander und im Langzeitverlauf zu vergleichen. Insbesondere bei Patienten mit chronischen Erkrankungen ist bereits im Kindesalter auf die Auswahl eines Belastungsprotokolls zu achten, das eine Langzeitbeobachtung des Patienten auch in der Adoleszenz und im Übergang zum Seniorenalter ermöglicht.

Dafür wird die Ergo(spiro)metrie als Laufband- und Fahrradergometrie durchgeführt. Ergänzend kommt in Ausnahmefällen der 6-Minuten-Gehtest zur Anwendung.

3. Physiologie

Energieverbrauch, Sauerstoffverbrauch und CO₂-Produktion sind bei gesunden Menschen und Säugetieren unter aerober Last direkt proportional. Nach Hill ist jeder Mensch charakterisiert durch einen individuellen maximalen Sauerstoffverbrauch unter Ausbelastungsbedingungen. Die Ergo(spiro)metrie ist als standardisierte Methode geeignet, rasch und nicht invasiv den individuellen maximalen Sauerstoffverbrauch zu ermitteln, der die Leistungsfähigkeit des Gesunden begrenzt.

4. Welche Faktoren beeinflussen die Leistungsfähigkeit ?

Bewegung, Ernährungsstatus, Gesundheit und sozioökonomische Status beeinflussen die körperliche Leistungsfähigkeit. Regelmäßiges körperliches Training steigert die maximale Leistung/maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) . Ein motivierter Proband wird seine maximale Leistung/VO₂max nur milde erhöhen, aber seine Ausdauer nimmt bei gleichbleibender Sauerstoffaufnahme zu.

Nicht zu unterschätzen sind vor allem bei Kindern motivierende Einflüsse seitens des Untersuchers, aber auch die Stimmungslage und Mitarbeit der Testperson. Durch sorgfältige Informationen über die Ziele der Untersuchung und eine Aufmunterung während der Belastung hilft man dem Probanden, einen ausreichenden Motivationsgrad für das Erreichen der Untersuchungsziele aufzubauen.

5. Einfluss der Untersuchungsmethode und des Belastungsprotokolls

Neben Test-unabhängigen Variablen wie Alter, Geschlecht und anthropometrische

Größen tragen die Auswahl des eingesetzten Belastungsverfahrens, das verwendete Protokoll, Einflüsse seitens der Testperson, des Untersuchers und der Umgebung maßgeblich zu unterschiedlichen Messergebnissen bei.

Die **Laufbandergometrie** gibt die körperliche Leistungsfähigkeit von Gesunden sowie die Belastbarkeit herz- und lungenerkrankter Kinder gut wieder, da sie am ehesten der natürlichen Belastungsform entspricht. Bei der Laufbandergometrie werden gegenüber der Fahrradergometrie durchschnittlich 10% höhere Leistungen bei Ausbelastung erbracht. Darüber hinaus variieren die Ergebnisse der Testverfahren auf Grund der unterschiedlich verwendeten Belastungsprotokolle. Generell zeigen Belastungstests mit schneller Steigerung der Leistung und damit kürzerer Gesamtbelastungszeit niedrigere maximale Herzfrequenzen. Umgekehrt scheinen bei der Laufbandbelastung Testprotokolle mit schnellerem Bandlauf zu Beginn der Untersuchung durchschnittlich zu einer höheren maximalen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme zu führen. Wie sich bei weiteren Untersuchungen mit dem Belastungsprotokoll von Bruce et al. gezeigt hat, ist sowohl die Geschwindigkeitserhöhung als auch die Zunahme der Steigung zwischen den Belastungsstufen für jüngere Kinder zu steil. Die jeweiligen Intervalle sind hingegen zu lang, sodass eine vorzeitige Ermüdung eintritt. Kürzere Intervalle mit geringeren Steigerungsstufen (Geschwindigkeit & Steigung) sind jedoch für kleinere Kinder deutlich besser geeignet. Darauf baut das aktuelle Protokoll der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie auf.

Auf Grund anatomischer und physiologischer Gegebenheiten ist die **Fahrradergometrie** erst ab dem 5. Lebensjahr bzw. einer Körpergröße von >110 cm geeignet. Neben kindgerechten Einstellungen des Fahrradergometers (Sitzhöhe, Länge der Tretkurbel, Pedalenabstand) sollte der minimal einzustellende Widerstand – zu Beginn der Belastung - möglichst gering sein und sich dann optimaler Weise stufenlos erhöhen lassen. Bei kleinen Kindern kommt es auf Grund der raschen Ermüdung der Oberschenkelmuskulatur häufig nicht zur ausreichenden körperlichen Belastung, um eine optimale leistungsdiagnostische Beurteilung abzugeben. Dem gegenüber ermöglicht die relativ ruhige Haltung des Oberkörpers und der Arme eine qualitativ gute Ableitung der zu erfassenden Parameter (EKG, RR, Pulsoximetrie). Der Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf das Testergebnis ist auch bei Kindern sehr gering.

Der **6-Minuten-Gehtest** ist für Kinder und Jugendliche nur im Falle einer schwersten Erkrankung als *Orientierungshilfe* sinnvoll zu verwenden, da die natürliche spontane Mobilität des jungen Menschen fast ausnahmslos die Grenzen dieses Testes überschreitet.

6. Indikationen zur Durchführung einer Belastungsuntersuchung

Die klassische Indikation zur Durchführung einer standardisierten und EKG – überwachten Ergometrie ist das Erfassen von Rhythmusstörungen. Das Blutdruckverhalten kann erfasst werden. Sowohl der chronisch kranke Patient als auch das adipöse und/oder das bewegungsarme Kind können über eine gut durchgeführte und adäquat erläuterte Belastungsuntersuchung verantwortbar dem Schul- und Vereinssport zugeführt werden. Das von Eltern häufig überschätzte Risiko sportlicher Aktivität im Alltag wird durch die Ergometrie häufig relativiert.

Gekoppelt mit einer Lungenfunktionsdiagnostik als Spirometrie und/oder Bodyplethysmographie können Hinweise für ein belastungsinduziertes Asthma gewonnen werden.

Sowohl in der sozialmedizinischen Begutachtung von Patienten als auch der Gesunder kommt der Bestimmung der individuellen (sub)maximalen Belastbarkeit im Hinblick auf die Integration in den Arbeitsmarkt eine entscheidende Bedeutung zu. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bemühungen, auch chronisch kranke Jugendliche und junge Erwachsene in den Arbeitsmarkt zu integrieren, wird der Pädiater zunehmend mit dieser Fragestellung konfrontiert.

Indikationen zur Ergometrie

- Bestimmung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit
- Stimulation pathologischer Reaktionen
- Dokumentation des Verlaufs einer Erkrankung
- Abschätzung der Prognose
- Sozialmedizinische Begutachtung
- Ausschluss einer eingeschränkten Belastbarkeit
(Aufklärung und Beruhigung)

7. Bedingungen zur Durchführung einer Belastungsuntersuchung

Nach Washington et al. soll folgende Voraussetzung zur Teilnahme an der Ergometrie erfüllt sein.

- Gehfähigkeit
- Einverständnis der Eltern bzw. des Erziehungsberechtigten **und** des Probanden
- Fieber- und Infektfreiheit sowie subjektives Wohlbefinden
- entsprechende Motivation zur Teilnahme an der Belastungsuntersuchung
- adäquate Sportbekleidung
- leichtes Frühstück bzw. nicht länger als 3-4 Stunden nüchtern

Ausschlusskriterien und Indikation zur Belastungsuntersuchung obliegen dem jeweiligen Verantwortlichen der Untersuchung. Daher sollen hier lediglich zur Orientierung einige Ausschlusskriterien aufgeführt werden. Beim Vorliegen relativer Kontraindikationen kann die Belastungsuntersuchung dennoch durchgeführt werden, wenn ein Nutzen der hieraus gezogenen Ergebnisse erwartet wird und dabei das Risiko für den Patienten kalkulierbar bleibt. Personelle und apparative Voraussetzungen zur Durchführung einer kardiopulmonalen Reanimationsbehandlung sind zu gewährleisten.

Folgende Ausschlusskriterien zur Durchführung einer Belastungsuntersuchung sind zu beachten.

Kontraindikationen zur Belastungsuntersuchung (ACC/AHA guidelines)

Absolute Kontraindikationen	Relative Kontraindikationen
<ul style="list-style-type: none">• akuter Myokardinfarkt bzw. instabile Angina pectoris• symptomatische Herzrhythmusstörungen mit/ohne eingeschränkter Hämodynamik• dekompensierte Herzinsuffizienz• akute Karditis• akute Lungenembolie• hochgradige Aortenstenose / Aortenisthmusstenose / Aortenbogenunterbrechung	<ul style="list-style-type: none">• Herzrhythmus- bzw. Überleitungsstörungen• HOCM / LVOT-Stenosen• leichte bis mittelgradige Aortenstenose / Isthmusstenose / anderweitige Klappen-erkrankungen• arterieller Hypertonus ($RR_{sys} > 200$ mmHg)• Erkrankungen des Bewegungs- oder Stützapparates• Stoffwechselerkrankungen• Erkrankungen des zentralen Nervensystems• psychische Erkrankungen

Ausbelastungskriterien

Eine Ausbelastung wird angenommen, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Erreichen der maximalen Herzfrequenz (ohne Einnahme von β -Blockern) (Laufband: $220 - \text{Lebensalter}$ oder $210 - 0,65 \times \text{Lebensalter}$, Rad: $200 - \text{Lebensalter}$)

Falls Spiroergometrie

- keine Atemreserve mehr vorhanden
- Respiratorischer Quotient $> 1,15$ (bei kardialer Insuffizienz nur eingeschränkt verwertbar)
- Atemäquivalent > 35
- VO_2 -Plateau trotz steigender Belastung (O_2 -Anstieg < 150 ml/min. über 30 sec.)

Dabei ist der respiratorische Quotient RQ definiert als Quotient aus CO_2 -Produktion und Sauerstoffverbrauch. Das Atemäquivalent dokumentiert als Ausdruck der „Atemarbeit“ das Raumluftvolumen, das benötigt wird, um 1 Liter Gasaustausch (CO_2 und / oder O_2) zu erreichen

Diese Kriterien wurden ursprünglich für Erwachsene erarbeitet. Eine direkte Übertragung insbesondere der ventilatorischen Parameter auf das Kindesalter ist insbesondere für den respiratorischen Quotienten und das Plateau bei Erreichen der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht möglich.

Indikationen zum Belastungsabbruch

Als Abbruchkriterien einer laufenden Untersuchung werden folgende Faktoren festgelegt:

Absolute Abbruchkriterien:

- Kardiale Ischämiezeichen (ST-Streckenveränderungen $[+/-3\text{mm}]$ im EKG)
- Ventrikuläre Tachykardie >30 sec.
- Subjektive Erschöpfung und Beschwerden (Schwindel, Ataxie, Dyspnoe)
- schwere Angina pectoris – Symptomatik
- Versagen der Überwachungsgeräte

Relative Abbruchkriterien:

- Klinische Zeichen der Minderperfusion (Zyanose)
- Progredienter Herzfrequenz- und/oder Blutdruckabfall
- Blutdruckanstieg (systolisch >220 mmHg und diastolisch >110 mmHg)
- Blutdruckabfall >10 mmHg ohne Zeichen einer myokardialen Ischämie
- Auftreten von Überleitungsstörungen (AV-Block $>I^\circ$, Schenkelblock)
- Supraventrikuläre Tachykardien
- Komplexe Herzrhythmusstörungen ($>$ Lown IIIa) über 30 sec.
- Bradyarrhythmien
- zunehmende Angina pectoris – Symptomatik

Eine nähere Definition der Ausbelastungskriterien und der Indikationen zum Belastungsabbruch insbesondere im Kindesalter wird von der Arbeitsgemeinschaft für Belastungsuntersuchungen im Kindesalter und im Kompetenznetz Objektive Belastbarkeit zukünftig entwickelt werden.

8. Untersuchungsprotokoll zur Fahrradergo(spiro)metrie

Modifiziert nach Rost et al., entsprechend dem Protokoll des 1. Arbeitstreffen der Arbeitsgemeinschaft für Belastungsuntersuchungen im Kindesalter, wird nach einer 2-minütigen Aufwärmphase mit $0,5$ W/kg Körpergewicht begonnen und alle 2 Minuten die Belastung um $0,5$ W/kg Körpergewicht gesteigert. Es schließt sich eine zweiminütige Erholungsphase im Leerlauf an. Dieses Protokoll hat den Vorteil, dass insbesondere kleinere Kinder sowie Patienten mit eingeschränkter Belastungsfähigkeit mehrere Belastungsstufen erreichen.

Untersuchungsprotokoll zur Fahrradergometrie

Protokoll zur Fahrradergometrie

- **warm up**
- **Start - 0,5 W / kg KG**
- **Steigerung - 0,5 W / kg KG**
- **Stufendauer 2 Min.**
- **cool down**

9. Untersuchungsprotokoll zur Laufbandergo(spiro)metrie

Ausgehend von dem Bruce-Protokoll wurde ein einheitliches spiroergometrisches Laufbandprotokoll der Deutschen Gesellschaft für pädiatrische Kardiologie entwickelt, das zu Beginn durch eine geringere Steigung und Geschwindigkeit gekennzeichnet ist. Daher ist dieses Protokoll auch für kleine Kinder, Senioren und Kranke leichter durchführbar. Nach einer Ruhephase von ca. 90 Sekunden folgt die erste Belastungsstufe mit einer Startgeschwindigkeit von 2,5 km/h bei 0% Steigung. Im Intervall von 1,5 Minuten wird die Geschwindigkeit jeweils um 0,5 km/h und die Steigung um 3% bis zu einer maximalen Steigung von 21% erhöht. Eine Begrenzung der Laufgeschwindigkeit hingegen existiert nicht. Die Erholungsphase erfolgt als langsames Gehen mit 2 km/h über erneut 90 Sekunden.

Laufbandergometrie – Untersuchungsprotokoll

Protokoll zur Laufbandergometrie

- 1,5 Minuten Stufen; Erholung 2km/h eben
- Stufe I 2,5 km/h 0% Steigung
- Stufe II 3,0 km/h 3% Steigung
- Stufe III 3,5 km/h 6% Steigung
- Stufe IV 4,0 km/h 9% Steigung
- Stufe V 4,5 km/h 12% Steigung
- Stufe VI 5,0 km/h 15% Steigung
- Stufe VII 5,5 km/h 18% Steigung
- Stufe VIII 6,0 km/h 21% Steigung
- Stufe IX 6,5 km/h 21% Steigung etc.

10. 6-Minuten-Gehtest

Nur für Patienten, die aufgrund schwerster kardiopulmonaler Erkrankung keine Rad- oder Laufbandergometrie durchführen können, kann der 6-Minuten-Gehtest im Kindes- und Jugendalter in Erwägung gezogen werden. In der klassischen Form erfolgt die Ermittlung der Gehstrecke auf einem Klinikflur (markierte 30 m Distanz, Dauer 6 Minuten, keine EKG-aufzeichnung, definierte Motivation). Da dieser Test im Kindes- und Erwachsenenalter fast ausnahmslos bei schwer kranken Patienten durchgeführt wird, setzen sich heutzutage überwiegend Modifikationen durch, die unter Ausnutzung eines vom Patienten in der Geschwindigkeit selbst gesteuerten Laufbandes eine kontinuierliche EKG- und gegebenenfalls pulsoximetrische Überwachung ermöglichen.

11. Ermittelte Parameter

Auf jeden Fall muss vor, während und nach der Ergometrie die Herzfrequenz überwacht werden. Bei allen Patienten mit möglichen belastungsinduzierten Symptomen ist eine kontinuierliche Herzfrequenzüberwachung mit Ableitung eines 12-Kanal-EKG's erforderlich. Vor, während und nach der Belastung wird der Blutdruck ermittelt – soweit möglich auf jeder Belastungsstufe. Im Rahmen der Spiroergometrie werden zusätzlich Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme sowie Kohlendioxidabgabe kontinuierlich gemessen. Gegebenenfalls erfolgen Blutgasanalysen mit Laktatbestimmung

12. Durchführung der Ergometrie

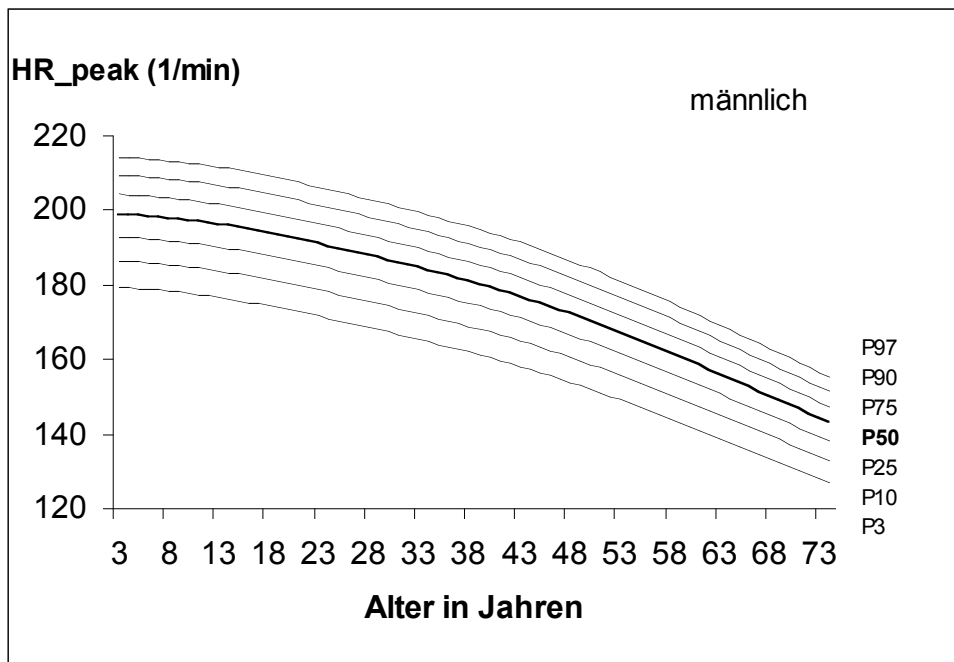
Durchführung durch einen Pädiater gegebenenfalls mit Schwerpunktbezeichnung Pädiatrische Kardiologie.

13. Aktueller Stand der Referenzwerterstellung im Kompetenznetz Angeborene Herzfehler und erste Ergebnisse

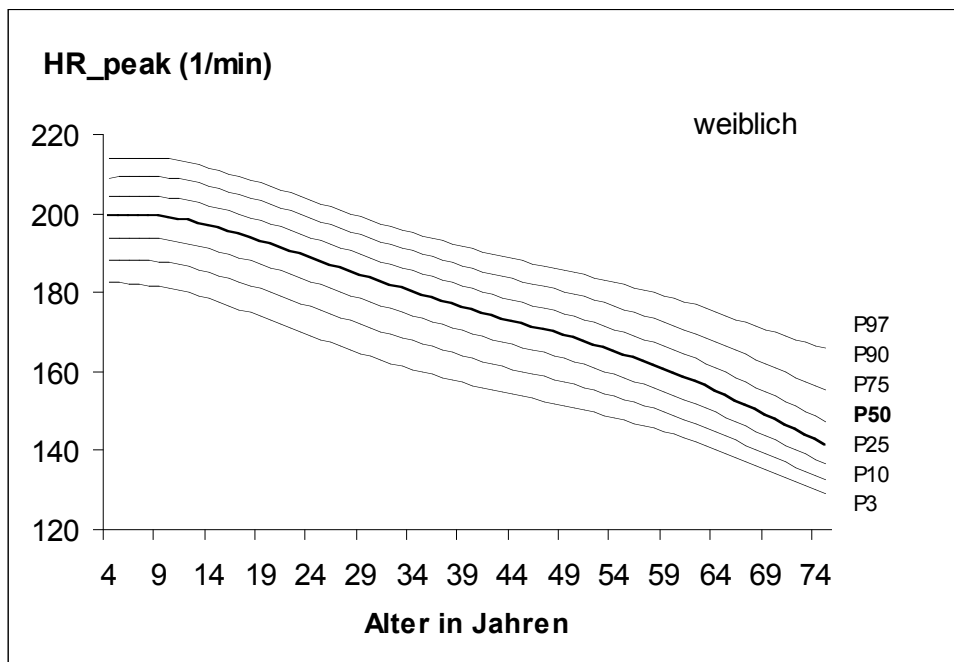
Das Querschnittsobjekt Objektive Belastbarkeit verfolgt im Rahmen des Kompetenznetzes Angeborene Herzfehler das Ziel, den Hauptprojekten des Kompetenznetzes ebenso wie dem niedergelassenen Kollegen oder dem klinischen Anwender Referenzwerte Gesunder zur objektiven Beurteilung Kranker zur Verfügung zu stellen. Beispielhaft sei hier auf die Ergebnisse der Laufbandergometrie hingewiesen. So erfolgt z.Zt. die statistische Analyse der Laufbanduntersuchungen Gesunder .

Beispielhaft ist nachfolgend die altersabhängige Entwicklung der maximalen Herzfrequenz für die weibliche und männliche Population unter Ausbelastungsbedingungen für das o.g. standardisierte Laufbandprotokoll aufgeführt. Ausgehend von einer maximalen Herzfrequenz von 200/Min. bei beiden Geschlechtern im Alter von 3 Jahren fällt diese im Seniorenalter auf 140/Min.ab.

Maximale Herzfrequenz gesunder Jungen und Männer



Maximale Herzfrequenz gesunder Mädchen und Frauen



Über weitere Ergebnisse wird gesondert berichtet werden.

13. Erstellungsdatum

Oktober 2006

Literatur

- 1) ACC/AHA guidelines for exercise testing: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines Committee on Exercise Testing (1997) J Am Coll Cardiol 30:260–315
- 2) Baquet, G., van Praagh, E., Berthoin S. (2003) Endurance training and aerobic fitness in young people, Sports Medicine33: 1127-1143
- 3) Bittner V., Weiner D.H., Yusuf S. (1993) Prediction of mortality and morbidity with a 6-minute walk test in patients with left ventricular dysfunction. JAMA 270:1702-1707
- 4) Bruce R.A., Blackmon, J.R., Jones, J.W., Strait, G. (1963) Exercising testing in adult normal subjects and cardiac patients, Pediatrics, Oct.(32)Part II; 742-756
- 5) Cumming, G. R., Everatt, D., Hastmann, L. (1978) BruceTreadmill Test in Children: Normal Values in a Clinic Population, Am J Cardiol 41:69-75
- 6) Cumming, G. R., Langford, S., Comparison of nine exercise tests used in Pediatric Cardiology, In: Brinkhorst, R.A., Kemper, H.C.G., Saris, W.H.M. (1985) Children and Exercise XI, International Series on Sport Sciences 15: 58-68
- 7) Dubowy, K.-O., Baden, W., Camphausen, C., Meyer, H., Hofbeck, M. (2002) Vorschlag für ein einheitliches spiroergometrisches Laufbandprotokoll der Deutschen Gesellschaft für pädiatrische Kardiologie (P50), Z Kardiologie 91: 767
- 8) Duncan, G.E., Howley, E.T., Johnson, B.N. (1997) Applicability of VO₂max criteria : discontinuous versus continuous protocols, Medicine and science in sports and exercise29: 273- 278
- 9) Fredriksen, P.M., Ingjer, F., Nystad W., Thaulow, E. (1998) Aerobic endurance testing of children and adolescents - a comparison of two treadmill protocols. Scand J Med Sci Sports; 8: 203-207
- 10) Hill,A.V., Lupton,H. (1923) Muscular exercise, lactat acid and the supply and utilization of oxygen. Q.J.Med;16:135-139
- 11) Hebestreit, H.(1997) Ergometrie im Kindes- und Jugendalter, Monatszeitschrift Kinderheilkunde;145:1326-1336
- 12) Mc Gavin C.R., Gupta, S.P., Mc Hardy, G.J.R. (1976) Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis, Br Med J ; 1: 822-823
- 13) Rost et al: Sportmedizin Dt.Ärzte-Verl. 2001:53
- 14) Schickendantz, S., 1. Arbeitstreffen der Arbeitsgemeinschaft für Belastungsuntersuchungen im Kindesalter (31. Jahrestagung der DGPK), Wuppertal 1999

- 15) Menke Th., 8. Arbeitstreffen der Arbeitsgemeinschaft für Belastungsuntersuchungen im Kindesalter (39. Jahrestagung der DGPK, Neu-Ulm) 2006
- 16) Steinacker, J.M., Liu, S., Reißnecker, S. (2002) Abbruchkriterien bei der Ergometrie, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin ; 53: 228-229
- 17) Washington R.L. (1994) Guidelines for exercise testing in the pediatric age group, Circulation; 90:2166-2179