

# Ergometrie und Spiroergometrie bei Kindern und Jugendlichen

Wolfgang Lawrenz, Klinik für Kinderkardiologie – Angeborene Herzfehler,  
Herzzentrum Duisburg  
Karl-Otto Dubowy, Klinik für Kinderkardiologie, Herzzentrum NRW, Bad Oeynhausen  
Winfried Baden, Klinik für Kinderkardiologie, Universitätsklinik Tübingen  
Alfred Hager, Klinik für Kinderkardiologie, Deutsches Herzzentrum München

*(Die Stellungnahme wurde unter Federführung der Autoren in Abstimmung mit den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft Belastungsuntersuchungen der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie erstellt)*

## Einleitung

Ergometrie und Spiroergometrie haben einen festen Stellenwert in der Beurteilung der physischen Belastbarkeit von Kindern und Jugendlichen. Diese Verfahren helfen Beschwerden oder Funktionsstörungen, die unter Belastung auftreten, abzuklären sowie die Ausdauerleistungsfähigkeit abzuschätzen. Bei chronischen Krankheiten wie angeborenen Herzfehlern, pulmonalen Erkrankungen, aber auch Stoffwechselkrankheiten kann eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit objektiviert und quantifiziert werden. Zudem ist die Spiroergometrie hilfreich bei der Abschätzung eines Operationsrisikos.

Betrachtet man die Literatur zu (spiro-)ergometrischen Untersuchungen, so fällt auf, dass meist sehr verschiedene Belastungsprotokolle verwendet werden, so dass die damit erhobenen Ergebnisse untereinander nur eingeschränkt vergleichbar sind (Cumming, Langford, 1985; Blais et al., 2015). Wünschenswert wäre die Verwendung eines weitgehend einheitlichen Belastungsprotokolls, da dies die Vergleichbarkeit von in verschiedenen Zentren erhobenen Daten erleichtert.

Im Folgenden sollen Empfehlungen für die Durchführung von (spiro-)ergometrischen Untersuchungen gegeben werden. Darüber hinaus werden sowohl für die Fahrrad- als auch für die Laufbandergometrie Belastungsprotokolle vorgeschlagen, die sich für die Untersuchung von Kindern und Jugendlichen bewährt haben, und für die Vergleichswerte publiziert sind, so dass sie für ein einheitliches Vorgehen bei ergometrischen Untersuchungen geeignet sind.

## Räumliche und apparative Ausstattung

### Untersuchungsraum:

Der Untersuchungsraum sollte gut belüftet und nach Möglichkeit klimatisiert sein. Die Raumtemperatur sollte 20-24°C betragen bei einer relativen Luftfeuchte von 50-60%

(Paridon et al., 2006). Bei einer Untersuchung mit der Fragestellung Belastungsasthma sollte die Raumtemperatur nicht höher als 21°C sein. Der Patient sollte während der Ergometrie von allen Seiten gut erreichbar sein.

#### Notfallausrüstung:

Für den Fall des Auftretens von Komplikationen ist eine Liege erforderlich. Im Untersuchungsraum muss eine vollständige Ausrüstung für die Notfallversorgung von Kindern und Jugendlichen einschließlich eines für diese Altersgruppe geeigneten Defibrillators vorhanden sein (Paridon et al., 2006).

#### Personelle Ausstattung:

Die Verantwortung für die Belastungsuntersuchungen sollte bei einem Arzt mit umfangreichen Erfahrungen bei der Durchführung von Belastungsuntersuchungen und Kenntnissen der Leistungsphysiologie liegen. Dieser ist verantwortlich für die apparative Ausstattung des Ergometrie-Labors sowie für die Schulung der Mitarbeiter.

Die Untersuchung selbst sollte von mindestens einer mit der Vorerkrankung bzw. dem Herzfehler vertrauten Mitarbeiter durchgeführt werden, eine weitere Person ist je nach Arbeitsaufwand (Spiroergometrie, manuelle Blutdruckmessung, Pulsoxymetrie, Laktatmessung) empfohlen. Bei allen Patienten muss ein Arzt anwesend oder zumindest in Rufweite sein, um bei Notfällen rasch eingreifen zu können. Die Testung von gesunden Probanden im Rahmen von Trainingskontrollen oder wissenschaftlichen Untersuchungen kann von erfahrenem Assistenzpersonal durchgeführt werden, das mögliche Komplikationen sofort erkennt und erste Notfallmaßnahmen einleiten kann (Washington et al., 1994; Paridon et al., 2006).

#### Ergometer:

##### Fahrrad:

In der Regel werden elektronisch gebremste Fahrradergometer verwendet, da diese die Leistung in einem großen Drehzahlbereich zwischen 50-120 Umdrehungen/Minute konstant halten. Da in der Pädiatrie Patienten mit sehr verschiedenen Körpermaßen untersucht werden, wird ein Fahrradergometer mit sehr variabler Einstellung der Sitzposition benötigt. Lenker und Sattel müssen sowohl in der Höhe als auch in der Längsrichtung adaptierbar sein. Die Kurbellänge muss ebenfalls verstellbar sein, da jüngere Kinder den optimalen Wirkungsgrad bei kürzerer Kurbellänge erreichen (Klimt, 1992; Tab. 1). Mit den derzeit am Markt verfügbaren Geräten können Kinder ab einer Körpergröße von 115 -120 cm untersucht werden.

Tab. 1: Optimale Kurbellänge bei der Fahrradergometrie (mod. nach Klimt, 1992)

| <b>Alter (Größe)</b>          | <b>Kurbellänge</b> |
|-------------------------------|--------------------|
| 6-7 Jahre (ca. 120-130 cm)    | 13 cm              |
| 8-10 Jahre (ca. 130-145 cm)   | 15 cm              |
| 11-14 Jahre (ca. 145-165 cm)  | 16 cm              |
| 15 Jahre und älter (> 165 cm) | 17 cm              |

Der Vorteil der Fahrradergometrie liegt in der relativ ruhigen Haltung des Oberkörpers und der Arme, was eine gute EKG-Ableitung sowie eine akzeptable Qualität von Blutdruckmessung und Pulsoxymetrie ermöglicht (Rowland, 1993, Wasserman et al., 2011).

Ein Nachteil dieser Belastungsform ist, dass bei jungen bzw. kleinen Kindern aufgrund der geringen Kraft der Quadrizepsmuskulatur eine Ausbelastung häufig nicht gelingt.

Laufband:

Die Untersuchung auf dem Laufband kommt der natürlichen Bewegungsform des Kindes am nächsten. Eine Beschränkung durch die Größe des Probanden gibt es dabei nicht. Allerdings müssen am Laufband meist zusätzliche Handläufe angebracht werden, da diese an handelsüblichen Laufbändern für kleine Kinder zu hoch sind.

Auf dem Laufband sind Untersuchungen bei motorisch geschickten und kooperativen Kindern bereits im Kindergartenalter möglich (Shuleva et al., 1990; Dubowy et al., 2008). Allerdings führt das Gefühl des „weglaufenden Bodens“ vor allem zu Beginn der Untersuchung zu einem unsicheren Laufstil. Bei Stürzen ist das Verletzungsrisiko hoch, so dass aufwändige Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind. Optimal ist eine Fangvorrichtung, die verhindert, dass der Proband auf das Laufband stürzt.

Patienten mit einem Schrittmacher mit R-Modus (rate-responsive), bei denen die Frequenzsteuerung über ein Akzelerometer erfolgt, müssen auf einem Laufband belastet werden, da die Bewegung des Rumpfes auf dem Fahrrad zu gering ist, um die Herzfrequenz adäquat zu steigern.

Tab. 2: Vergleich verschiedener Parameter bei Laufband- und Fahrradergometrie (modifiziert n. Wassermann et al., 2011)

| Parameter   | Laufband | Fahrrad |
|---|----------|---------|
| Höhere $VO_{2max}$ und max. $O_2$ -Puls                         | +        |         |
| Vergleichbare $HF_{max}$ und $AMV_{max}$                        | +        | +       |
| Vertrautheit mit der Belastungsform                             | ++       | +       |
| Patientensicherheit (bessere Überwachung, Verletzungsrisiko)    |          | +       |
| Messung der geleisteten Arbeit                                  |          | +       |
| Artefaktfreiheit von EKG, Atemflussmessung und Blutdruckmessung |          | ++      |
| Einfachere Kapillarblutentnahmen (Lactat, Blutgasanalyse)       |          | ++      |
| Patienten mit frequenzadaptivem Herzschrittmacher               | ++       |         |
| Messung der Sauerstoffsättigung                                 | ++       | +       |

$VO_{2max}$  maximale Sauerstoffaufnahme,  $HF_{max}$  maximale Herzfrequenz,  $AMV_{max}$  maximales Atemminutenvolumen

### EKG:

Bei allen Patienten mit kardialen Erkrankungen sollte ein 12-Kanal-EKG während der gesamten Belastung abgeleitet werden, mindestens 3 Ableitungen sollten während der Belastung kontinuierlich an einem Monitor beobachtet werden; optimal ist es, wenn das gesamte EKG am Ende der Untersuchung gespeichert werden kann (Paridon et al., 2006; Rowland, 1993). Um Bewegungsartefakte zu verringern, können die Extremitätenelektroden lateral am oberen Ende des Sternums und nahe dem unteren Rippenbogen zwischen vorderer und mittlerer Axillarlinie (Paridon et al., 2006) oder alternativ am Rücken angebracht werden.

### Blutdruckmessung:

Da Patienten verschiedener Altersstufen untersucht werden, müssen Blutdruckmanschetten in adäquaten Größen vorhanden sein. In der Regel sollte die Messung am rechten Arm erfolgen, bei Gefäßanomalien im Bereich des Aortenbogens oder der Aa. subclaviae kann eine Messung am linken Arm sinnvoller sein. Die regelmäßige Messung des Blutdruckes ist erforderlich, um einen inadäquaten Blutdruckanstieg oder eine überschießende Blutdruckreaktion unter Belastung zu erkennen. Die Blutdruckmessung kann manuell oder mit automatischen Messgeräten erfolgen. Bei beiden Verfahren muss berücksichtigt werden, dass es aufgrund von Bewegungsartefakten und Störgeräuschen zu Messfehlern kommen kann. Hierbei sind manuelle Messungen oder EKG-getriggerte Geräte zuverlässiger als rein akustische; rein oszillometrische Geräte sind sehr artefaktanfällig. Technisch einfacher ist die Blutdruckmessung bei der Fahrradergometrie, da der Arm hierbei ruhiger gehalten werden

kann und störende Geräusche vom Auftreten beim Laufen entfallen (Rowland, 1993). Insbesondere die Übereinstimmung des diastolischen Blutdrucks bei Belastung mit invasiv gemessenen Werten wird kontrovers beurteilt (Sagiv et al., 1999; Cameron et al., 2004). Vergleichsstudien zwischen manueller und automatischer auskultatorischer Blutdruckmessung zeigten sehr gute Korrelationen für den systolischen Blutdruck und akzeptable Korrelationen für den diastolischen Blutdruck zwischen beiden Methoden (Alpert et al., 1982; MacRae, Allen, 1998).

#### Pulsoxymetrie:

Unter Belastung kann es bei verschiedenen Grunderkrankungen, insbesondere bei pulmonalen oder kardialen Erkrankungen, zu einem Abfall der Sauerstoffsättigung kommen. Daher sollte bei diesen Patienten in jedem Fall eine Pulsoxymetrie bei der Belastungsuntersuchung erfolgen. Die Messung kann am Finger, am Ohrläppchen oder mit einem Stirnsensor erfolgen.

#### **Indikationen zur Belastungsuntersuchung**

Belastungsuntersuchungen werden bei verschiedenen Fragestellungen durchgeführt. Die Untersuchung sollte nach Möglichkeit als Spiroergometrie durchgeführt werden, da hiermit eine wesentlich bessere Differenzierung der Ursache einer Einschränkung der Belastbarkeit möglich ist. Vor allem bei rhythmologischen Fragestellungen oder bei der Beurteilung des Blutdruckverhaltens unter Belastung kann auch eine einfache Ergometrie erfolgen.

Indikationen zur Ergometrie sind (modifiziert nach Washington et al., 1994; Paridon et al., 2006; Hager, 2017):

- Beurteilung der Leistungsfähigkeit
  - Objektivierung einer Belastungseinschränkung bei Patienten (z. B. Beurteilung des Ausmaßes einer Herzinsuffizienz, Indikation zur Herztransplantation u. a.)
  - Leistungsdiagnostik bei Sportlern
- Objektivierung der Bedeutungslosigkeit in Ruhe bestehender funktioneller Veränderungen, die unter Belastung verschwinden (z.B. Extrasystolen, intermittierender AV-Block)
- Aufdeckung von Symptomen, die unter Belastung manifest werden
  - Arrhythmien, z. B. bei Ionen-Kanal-Erkrankungen, Verschwinden der Delta-Welle bei hohen Herzfrequenzen bei Patienten mit offener Präexzitation

- Pathologisches Blutdruckverhalten (z. B. überschießende Blutdruckreaktion bei Z. n. Korrektur einer Aortenisthmusstenose oder bei arterieller Hypertonie, Abfall des Blutdrucks unter Belastung bei Aortenstenose)
- Pathologische Reaktionen des respiratorischen Systems (z. B. exercised induced asthma, vocal cord dysfunction)
- Erarbeitung von Empfehlungen für die körperliche Belastung von Patienten und gesunden Sportlern
- Abschätzung der Prognose einiger chronischer Erkrankungen (Nixon et al., 1992; Diller et al., 2005)
- Verlaufskontrolle
  - Spontanverlauf einer Erkrankung
  - Überprüfung der Wirkung medikamentöser, chirurgischer oder rehabilitativer Therapien
  - Überprüfung von Trainingseffekten bei Sportlern

### **Kontraindikationen zur Belastungsuntersuchung**

Bei der Indikationsstellung zu einer Ergometrie sollten auch die Risiken des Verfahrens berücksichtigt werden. Eine retrospektive Analyse von 1730 Ergometrien bei Kindern zeigte eine Komplikationsrate von 1,79 % (Schwindel und Synkopen 0,29 %, bedrohliche Herzrhythmusstörungen 0,46 %, keine Todesfälle; Alpert et al., 1983). Bei erwachsenen Patienten sind auch Todesfälle beschrieben (Berent et al., 2010).

Kontraindikationen zur Belastungsuntersuchung sind (modifiziert nach Washington et al., 1994; Paridon et al., 2006):

- akute, fieberhafte Infekte
- Verletzungen, insbesondere der unteren Extremitäten
- akuter Asthmaanfall
- akute Entgleisung einer Stoffwechselstörung (z. B. Diabetes mellitus)
- akute Myokarditis
- aktives rheumatisches Fieber mit Karditis
- unkontrollierte, schwere Hypertonie
- dekompensierte Herzinsuffizienz
- schwere pulmonale Hypertonie, insbesondere mit Synkopen in der Anamnese
- hypertrophe Kardiomyopathie mit Synkopen in der Anamnese

- schwere symptomatische Aorten- oder Mitralstenose
- Marfan-Syndrom mit Verdacht auf Aortendissektion
- Schwerwiegende symptomatische Herzrhythmusstörungen

## **Durchführung der Untersuchung**

### Vorbereitung:

Der Proband sollte zum Zeitpunkt der Untersuchung infektfrei und ausgeruht sein. In den letzten zwei Stunden vor der Untersuchung sollte er keine größere Mahlzeit eingenommen haben. Eine leichte kohlenhydratreiche Mahlzeit und Getränke sind ausdrücklich erwünscht. Am Tag vor der Untersuchung sollte keine sportliche Extrembelastung stattgefunden haben, mindestens zwei Stunden vor dem Test sollte nicht geraucht werden.

Vor Beginn der Untersuchung werden der Ablauf der Untersuchung und die Messvorrichtungen ausführlich altersgerecht erklärt. Dabei sollte für den Probanden die Möglichkeit bestehen, sich mit der Untersuchungsvorrichtung vertraut zu machen. Anschließend werden die für den Test erforderlichen Überwachungs- und Messgeräte angelegt und die Belastungsuntersuchung durchgeführt.

### Belastungsprotokolle

Sowohl für die Fahrradergometrie als auch für die Laufbandergometrie sind viele verschiedene Belastungsprotokolle beschrieben. In der Regel erfolgt die Belastung mit ansteigender Intensität. Dabei wird zwischen Stufentests und Rampentests unterschieden. Bei Stufentests wird eine konstante Leistung über einen Zeitraum von in der Regel 1,5-4 Minuten erbracht, und dann schrittweise auf eine höhere Leistung geschaltet, die wiederum für den gleichen Zeitraum erbracht wird. Bei einem Rampentest erfolgt eine kontinuierliche Steigerung der Leistung (Abb. 1). Die Belastungsintensität sollte bei beiden Verfahren so gewählt werden, dass eine Ausbelastung nach 10-12 Minuten erreicht ist.

Da die in einer Ergometrie erbrachte Leistung von der Belastungsform und dem Testprotokoll abhängt, sollte die Untersuchung nach einem standardisierten Schema erfolgen, um eine Verlaufskontrolle beim selben Probanden und einen Vergleich der Daten mit Referenzwerten, die mit demselben Belastungsschema erhoben wurden, zu ermöglichen.

Ein Stufentest ist von Vorteil, wenn Messdaten wie z. B. Laktatwerte einer bestimmten Leistung zugeordnet werden sollen. Dabei sind abhängig von der Fragestellung längere Stufendauern notwendig, um ein Gleichgewicht der Messwerte zu erreichen.

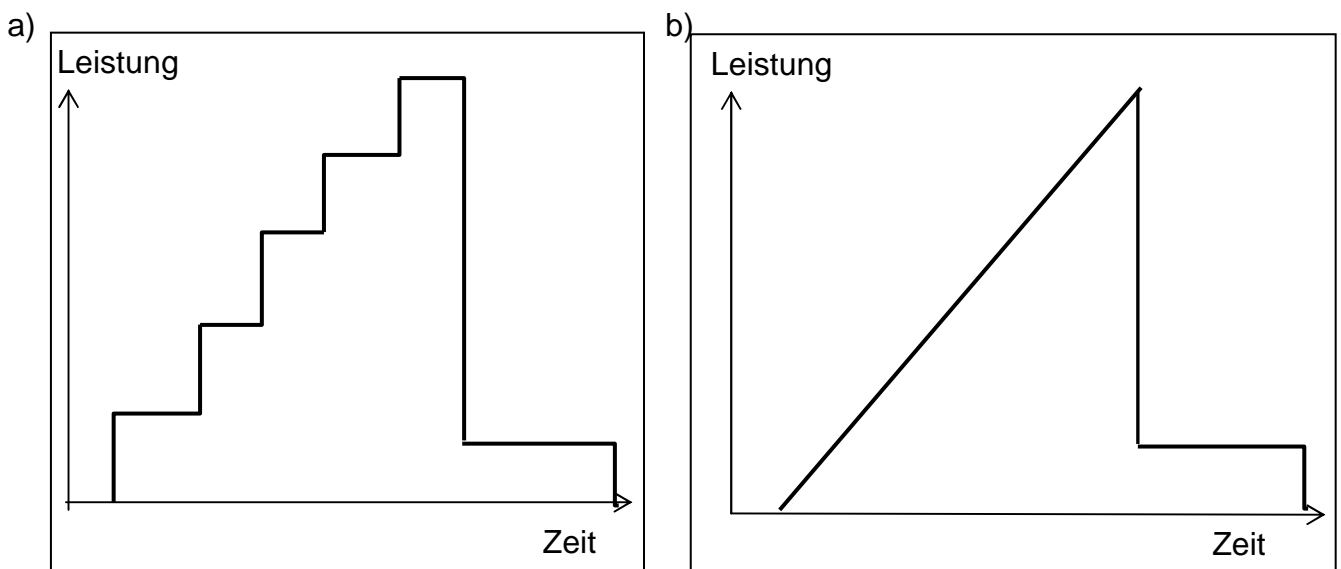


Abb. 1: Darstellung von Stufentest (a) mit stufenförmiger Steigerung der Belastung und Rampentest (b) mit kontinuierlicher Steigerung der Belastung

Für spiroergometrische Untersuchungen wird häufig ein Rampentest oder ein Stufentest mit einer Stufendauer von maximal einer Minute empfohlen, da so die Kurvenverläufe der spiroergometrischen Messwerte besser beurteilt werden können. Bezüglich der erhobenen Messwerte für maximale Leistung, maximale Herzfrequenz, maximale Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffaufnahme an der ventilatorischen anaeroben Schwelle ist jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Rampentest und Stufentest festzustellen, wenn die Steigerung der Belastung äquivalent ist (Zhang et al., 1991; Bader et al., 1999; Schmid et al., 2005).

Bei speziellen Fragestellungen können auch andere Belastungsprotokolle zum Einsatz kommen. So wird zur Diagnose eines Belastungsasthmas eine konstante Belastung über 8 Minuten bei einer Belastung von ca. 70 % der maximalen pulmonalen Leistung auf dem Laufband empfohlen.

#### Fahrradergometrie:

Von der Arbeitsgemeinschaft Belastungsuntersuchungen der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK) und der Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin wird ein gewichtsbezogenes Protokoll mit Belastungsstufen von 0,5 W/kg Körpergewicht (KG) und Steigerung der Belastung alle 2 bzw. 3 Minuten (Klemt, 1988) empfohlen. Für dieses Protokoll existieren Vergleichswerte von einem Kollektiv gesunder Kinder und Jugendlicher im Alter von 6-18 Jahren, die bei Fehlen eigener Referenzwerte zu Vergleichen herangezogen werden können (Klemt, 1988).



Dieses gewichtsbezogene Belastungsschema hat den Vorteil, dass trotz wachstumsbedingter Änderung der Körpermaße bei Verlaufskontrollen ein guter intraindividueller Vergleich möglich ist. Nachteilig ist, dass übergewichtige und adipöse Kinder in Relation zu ihrer Muskelmasse höher belastet und ungünstiger bewertet werden als normalgewichtige Kinder.

Laufbandergometrie:

Für die Laufbandergometrie wird von der Arbeitsgemeinschaft Belastungsuntersuchungen in der DGPK ein Protokoll mit simultaner Steigerung von Geschwindigkeit und Steigung empfohlen (Dubowy et al., 2008; Tab. 3). Für dieses existieren Vergleichsdaten von gesunden Probanden im Alter von 4 bis 74 Jahren (Dubowy et al., 2008). Für Kinder und Jugendliche liegen ergänzend Referenzwerte für Laktat (Bunse, 2010), kardiozirkulatorische Parameter und Blutdruck in Ruhe, an der ventilatorischen anaeroben Schwelle und bei Belastungsabbruch (Prudlo, 2013) vor.

Tab. 3: Laufband-Protokoll (Dubowy et al., 2008)

| <b>Phase</b> | <b>km/h</b> | <b>Steigung (%)</b> | <b>Dauer(sec.)</b> |
|--------------|-------------|---------------------|--------------------|
| Ruhephase    | 0           | 0                   | 90                 |
| Stufe 1      | 2,5         | 0                   | 90                 |
| Stufe 2      | 3,0         | 3                   | 90                 |
| Stufe 3      | 3,5         | 6                   | 90                 |
| Stufe 4      | 4,0         | 9                   | 90                 |
| Stufe 5      | 4,5         | 12                  | 90                 |
| Stufe 6      | 5,0         | 15                  | 90                 |
| Stufe 7      | 5,5         | 18                  | 90                 |
| Stufe 8      | 6,0         | 21                  | 90                 |
| Stufe 9      | 6,5         | 21                  | 90                 |

Eine weitere Steigerung der Belastung erfolgt durch Erhöhen der Laufgeschwindigkeit um 0,5 km/h bei gleichbleibender Steigung für jeweils 90 sec.

Abbruch der Belastung

Die Belastung wird beendet, wenn die Fragestellung, unter der die Belastung durchgeführt wurde, beantwortet ist.

Soll die maximale Leistungsfähigkeit ermittelt werden, ist eine vollständige Ausbelastung anzustreben.

Bei chronisch kranken Kindern ist häufig eine kardiopulmonale Ausbelastung nicht möglich, oder sie wird zur Vermeidung von Komplikationen nicht angestrebt. In diesen Fällen kann ein Vergleich der submaximalen Leistungsfähigkeit an der anaeroben Schwelle sinnvoll sein, die mittels Laktatmessung oder Spiroergometrie erfasst werden kann.

Bei jeder schwerwiegenden Symptomatik und jeder gravierenden pathologischen Herz-Kreislauf-Reaktion muss die Belastungsuntersuchung sofort abgebrochen werden. Indikationen zum Abbruch der Ergometrie sind in Tab. 4 aufgeführt (mod. nach Washington et al., 1994, Paridon et al., 2006). Dabei sollte neben den aufgeführten Kriterien immer die klinische Beurteilung des Patienten in die Entscheidung zum Abbruch der Belastungsuntersuchung eingehen, die letztlich in der individuellen Verantwortung des Untersuchers liegt.

Tabelle 4: Indikationen zum Abbruch der Ergometrie:

- Erreichen des Untersuchungsziels
- Subjektive Erschöpfung, auffällige Blässe, Dyspnoe, Schwindel, Kopfschmerz oder Angina pectoris
- Erregungsrückbildungsstörungen wie horizontale oder deszendierende ST-Senkungen von  $>0,2$  mV (ohne Herzglykosid-Medikation und bei normalem Ruhe-EKG) oder ST-Hebungen
- Signifikante Herzrhythmusstörungen, insbesondere bei Symptomatik: zunehmende ventrikuläre Extrasystolie, Couplets, Bigeminus oder Salven, Einfall der Extrasystolen in die vulnerable Phase, polytope Extrasystolen, ventrikuläre oder supraventrikuläre Tachykardien, neu auftretendes Vorhofflattern oder Vorhofflimmern.
- Erregungsleitungsstörungen, insbesondere bei Symptomatik: AV-Blockierungen oder intraventrikuläre Leitungsstörungen
- ein unphysiologisch schneller Anstieg der Herzfrequenz bzw. ein Abfall der Herzfrequenz
- unzureichender Blutdruckanstieg oder sogar Blutdruckabfall
- Blutdruckanstieg über 280 mm Hg systolisch bzw. wenn der Blutdruck den Messbereich des Gerätes übersteigt. Bei Leistungssportlern, die sehr hohe Leistungswerte erreichen, können im Einzelfall auch Blutdruckwerte über 280 mmHg toleriert werden. Je nach Grunderkrankung muss der Abbruch auch bei

niedrigeren Blutdruckwerten erfolgen, z. B. bei Aortenaneurysma oder Bindegewebserkrankungen mit veränderter Gefäßwandelastizität

- Versagen der Überwachungsgeräte, insbesondere EKG oder Blutdruckmessung

Insbesondere nach einer Ausbelastung sollte die Belastung zur Vermeidung von orthostatischen Reaktionen nicht abrupt abgebrochen, sondern mit einer niedrigen Belastungsintensität für wenige Minuten fortgeführt werden. Bei der Fahrradergometrie nach o.g. Schema hat sich eine Nachbelastungsphase mit einer Leistung von 1 W/kg KG über 3 Minuten bewährt. Bei der Laufbandergometrie kann die Nachbelastung mit einer Geschwindigkeit von 2,5 oder 3 km/h und einer Steigung zwischen 0 und 3 % erfolgen. Zur Detektion von Arrhythmien oder einer pathologischen Blutdruckreaktion, die auch in der Nachbelastungsphase auftreten können, ist eine Fortsetzung von EKG-Monitoring und Blutdruckmessung für einige Minuten nach Abbruch der Belastung sinnvoll.

## **Befund**

Zu jeder Belastungsuntersuchung ist eine schriftliche Befundung erforderlich. Dieser sollte folgende Informationen enthalten.

- Art der Belastung (Fahrrad, Laufband, etc.)
- Testprotokoll (Stufentest, Rampentest, Steigerung der Belastung)
- Dauer der Belastung, bei der Fahrradergometrie max. Leistung
- Grund des Abbruchs (Ausbelastung, muskuläre Ermüdung, pathologische Herz-Kreislauf-Reaktion)
- Ruhe-Herzfrequenz und maximale Herzfrequenz
- Ruhe-Blutdruck und maximaler Blutdruck
- Symptome unter Belastung, Arrhythmien, EKG-Veränderungen (z. B. frequenzabhängiger Schenkelblock o. ä.), Blutdruckabfall unter Belastung
- Bei Spiroergometrien zusätzlich die dabei erhobenen Messwerte

Abschließend werden die erhobenen Befunde bewertet und sich hieraus ergebende Konsequenzen dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vor allem die Laufbandergometrie in erster Linie eine dynamische Belastung darstellt, während viele Alltagsaktivitäten und sportliche Aktivitäten auch einen hohen statischen Belastungsanteil haben können.

## Literatur:

Blais S, Barbari J, Counil FP, Dallaire F: A Systematic Review of Reference Values in Pediatric Cardiopulmonary Exercise Testing. *Pediatr Cardiol* (2015) 36:1553–1564, DOI 10.1007/s00246-015-1205-6

Cumming GR, Langford S: Comparison of nine exercise tests used in Pediatric Cardiology. In: Binkhorst RA, Kemper HC, Saris WHM (eds.); *Children and Exercis XI. Human Kinetics Publishers, Champaign IL* (1985); 58-68

Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, Cabrera ME, Caldarera LL, Daniels SR, Kimball TR, Knilans TK, Nixon PA, Rhodes J, Yetman AT: Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation* (2006) 113(15):1905–1920

Washington RL, Bricker JT, Alpert BS, Daniels SR, Deckelbaum RJ, Fisher EA, Gidding SS, Isabel-Jones J, Kavey REW, Marx GR, Strong WB, Teske DW, Wilmore JH, Winston M: Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. From the Committee on Atherosclerosis and Hypertension in Children, Council on Cardiovascular Disease in the Young, the American Heart Association. *Circulation* (1994) 90: 2166-2179

Klimt F. Körperliche Belastungsuntersuchungen. In: Klimt F. *Sportmedizin im Kindes- und Jugendalter*. Stuttgart, New York: Thieme; (1992). S. 67-133

Rowland TW (Hrsg.): *Pediatric Laboratory Exercise Testing*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; (1993)

Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Sietsema KE, Sun XG, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. 5. Auflage, Lippincott, Williams & Wilkins (2011)

Shuleva KM, Hunter GR, Hester DJ, Dunaway DL. Exercise oxygen uptake in 3- through 6-year old children. *Ped Exerc Sci* (1990); 2; 130-139

Dubowy KO, Baden W, Bernitzki S, Peters B: A practical and transferable new protocol for treadmill testing of children and adults. *Cardiol Young* (2008) 18(6): 615–623. DOI:10.1017/S1047951108003181

Sagiv M, Ben-Sira D, Goldhammer E: Direct vs. Indirect blood pressure measurement at peak anaerobic exercise. *Int J Sports Med* (1999); 20 (5); 275-278. DOI: 10.1055/2-2007-971130

Cameron JD, Stevenson I, Reed E, McGrath BP, Dart AM, Kingwell BA: Accuracy of automated auscultatory bloodpressure measurement during supine exercise and treadmill stress electrocardiogram-testing. *Blood Press Monit* (2004); 9 (5): 269-275

Alpert BS, Flood NL, Balfour IC, Strong WB: Automated blood pressure measurement during ergometer exercise in children. *Cathet Cardiovasc Diagn* (1982); 8(5): 525-533

MacRae HS, Allen PJ: Automated blood pressure measurement at rest and during exercise: evaluation of the motion tolerant CardioDyne NBP 2000. *Med Sci Sports Exerc* (1998); 30 (2): 328-331

Hager A: Besonderheiten des EKG unter Belastung und bei Sportlern. In: Lindinger: EKG im Kindes- und Jugendalter. 7. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme (2016)

Nixon PA, Orenstein DM, Kelsey SF, Doershuk CF. The prognostic value of exercise testing in patients with cystic fibrosis. *New Engl. J. Med.* (1992); 327: 1785-1788

Diller GP, Dimopoulos K, Okonko D, Li W, Babu-Narayan SV, Broberg CS, Johansson B, Bouzas B, Mullen MJ, Poole-Wilson PA, Francis DP, Gatzoulis MA: Exercise Intolerance in adult congenital heart disease: comparative severity, correlates and prognostic implications. *Circulation* (2005); 112; 828-835

Alpert, B.S., D.E.Verrill, N.L.Flood, J.P.Boineau, W.B.Strong: Complications of ergometer exercise in children. *Pediatr. Cardiol.* (1983) 4: 91-96

Berent R, Auer J, von Duvillard SP, Sinzinger H, Schmid P: Komplikationen bei der Ergometrie. *Herz* (2010), 35: 267–272; DOI 10.1007/s00059-011-3449-0

Klemt U. Die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter. Köln: Sport und Buch Strauß; (1988)

Zhang YY, Johnson MC, Chow N, Wasserman K: Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Med Sci Sports Exerc* (1991), 23 (5); 625-630

Bader DS, Maguire TE, Balady GJ: Comparison of ramp versus step protocols for exercise testing in patients > or = 60 years of age. *Am J Cardiol* (1999), 83 (1): 11-14

Schmid JP, Gaillet R, Noveanu M, Mohacsi P, Saner H, Hullin R: Influence of the exercise protocol on peak VO<sub>2</sub> in patients after heart transplantation. J Heart Lung Transplant (2005); 24 (11): 1751-1756. DOI:10.1016/j.healun.2205.02.010

Bunse, D Referenzwerte gesunder Kinder und Jugendlicher für Laktat in Ruhe, an der individuellen ventilatorisch bestimmten Schwelle und bei Ausbelastung auf dem Laufbandergometer, Bochum, Univ., Diss (2010) URN: urn:nbn:de:hbz:294-29837 URL:<http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/BunseDaniel/diss.pdf>

Prudlo, AC.: Referenzwerte kardiozirkulatorischer Parameter und Blutdruck bei spiroergometrischen Belastungsuntersuchungen unter Belastung auf dem Laufbandergometer für Kinder und Jugendliche, Bochum, Univ., Diss., 2013.

Beschluss DGPK-Vorstandssitzung 26.06.2019