

Ergometrie im Kindes- und Jugendalter

H. Förster¹, J. Windhaber², P. Schober²

¹Ordination für Kinder und Jugendheilkunde, Salzburg

²Abteilung für Sport- und Leistungsmedizin der Univ. Klinik, Kinder- und Jugendchirurgie, Graz

Eingegangen am 21. Juli 2009, angenommen am 31. Juli 2009

Exercise tests in childhood

Abstract: Very often a specialist of sports medicine is asked for the aerobic capacity of young athletes as well as a pediatrician is asked for the capacity of ill youth. To answer these questions it is necessary to perform an ergometry beside a medical history and clinical investigation. The following article describes the indications and contraindications from the pediatric point of view as well as the specials in performing and interpreting the ergometry in children and adolescents.

Keywords: ergometry, children, exercise test

Zusammenfassung: An den Sportarzt werden oft Fragen zur Leistungsfähigkeit von jungen Sportlern gestellt, an den Kinder- und Jugendarzt Fragen zur körperlichen Belastbarkeit von Patienten. Neben einer genauen Anamnese und klinischen Untersuchung ist in allen Fällen auch eine Belastungsuntersuchung (Ergometrie) angezeigt. Im folgenden Artikel werden die Indikationen und Kontraindikationen dazu aus pädiatrischer Sicht beschrieben, sowie Besonderheiten der Durchführung und Interpretation bei Kindern und Jugendlichen beleuchtet.

Schlüsselwörter: Ergometrie, Kinder, Belastungstest

1. Einleitung

Die Ergometrie stellt eine standardisierte Form der Belastungsuntersuchung dar, in welcher ein Organismus mit stetig steigenden mechanischen Belastungsreizen konfrontiert wird, auf die er mit kardiopulmonaler- und Stoffwechsellanpassung reagiert. Unter weitgehender Ausschaltung äußerer Einflussfaktoren lässt sich somit sehr gut reproduzierbar die sportmotorische Einzelkomponente Leistungsfähigkeit, im aeroben und anaeroben Ausdauerbereich messen. Die Ergometrie kann als das Herzstück einer sportmedizinischen Untersuchung verstanden werden.

Korrespondenz: Dr. Holger Förster, FA f. Kinder und Jugendheilkunde, Klessheimerallee 93, 5020 Salzburg.
 E-mail: ordination@dr-foerster.at

2. Indikation

2.1. Ergometrie bei Sportlern

Eine Belastungsuntersuchung dient der objektiven Evaluierung und Verlaufskontrolle der Ausdauerleistungsfähigkeit bei gesunden Sportlern, aber auch bei Patienten. Sie gibt Informationen über die maximale Leistungsfähigkeit und Herzfrequenz sowie bei Mitbestimmung von Laktat oder/und Sauerstoffaufnahme (VO_2) über die jeweilige Beanspruchung aerober oder anaerober Stoffwechselwege. Diese Informationen können wiederum als Basis für eine Trainingsberatung oder Leistungsprognosen dienen.

Die Effektivität des Trainings wird so überprüft und auch Übertraining diagnostiziert.

2.2. Ergometrie bei kranken Kindern

Eine Unzahl an Einsatzgebieten ergibt sich für kranke Kinder, wo sie sehr hilfreich in der Beantwortung medizinischer Fragestellungen sein kann (Tab. 1). Sowohl Auffälligkeiten aus dem kardialen Bereich, wie Synkopen, Extrasystolen, Rhythmusstörungen oder Blutdruckprobleme, als auch pulmonale Probleme, wie obstruktive-, restriktive Ventilationsstörungen oder Sättigungsabfälle unklarer Genese, können unter Belastung objektiviert werden, womit die Ergometrie einen hohen Stellenwert in der Diagnostik bestimmter Erkrankungen bekommt. Dies trifft in besonderem Maße auch für muskuläre Erkrankungen zu. Relativ leicht, schnell und nicht invasiv lässt sich durch eine Belastungsuntersuchung zwischen einer Störung im aeroben oder anaeroben Muskelstoffwechsel (z.B. Mitochondriopathie versus Glykogenose) unterscheiden, bzw. einfach Trainingsmangel als Ursache einer Muskelschwäche entlarven.

Eine besondere Indikation stellt die Bestimmung der Leistungsfähigkeit übergewichtiger Kinder dar, auf Grund derer definierte Trainingsvorgaben gegeben werden können.

3. Vorbereitung zur Ergometrie

Eine Ergometrie sollte immer eingebettet sein in eine sportmedizinische Untersuchung.

TABELLE 1

Klinische Indikationen zur Ergometrie

- Objektivierung belastungsinduzierter Symptome (Dyspnoe, Schmerzen, Schwäche..)
- Beurteilung von in Ruhe auftretender Pathologien (Rhythmusstörungen, Asthma, Hypertonie..) auf ihre Dignität.
- Verlaufsbeobachtung chron. Krankheiten
- Festlegung einer wirksamen, nicht schädlichen Trainingsintensität
- Wirksamkeitskontrolle von Medikamenten
- Überprüfung von Trainingseffekten auf Leistungsfähigkeit und Krankheit

Im Rahmen der medizinischen- und Sportanamnese lassen sich eventuelle Risikofaktoren oder gar Kontraindikationen zur Ergometrie erkennen. Ebenso liefert die körperliche Untersuchung, das obligatorische Ruhe EKG, der Ruhe Blutdruck und eventuell eine Lungenfunktion wertvolle Daten, die später zu beachten sind.

Absolute und relative Kontraindikationen sind in *Tabelle 2* und *Tabelle 3* zusammengefasst (Washington), wobei hier besonders kind-relevante Störungen benannt sind. In erster Linie handelt es sich naturgemäß um kardiale Probleme, was eine entsprechende Anamnese und Untersuchung durch einen erfahrenen Arzt voraussetzt.

Die allgemeinen Anforderungen an die Untersuchungsstelle sind in *Tabelle 4* zusammengefasst.

Aber auch der Sportler muss bestimmte Vorbedingungen erfüllen, damit die Validität des Tests gewährleistet ist (*Tabelle 5*).

Besonders bei kleinen Kindern ist es auch notwendig, den Untersuchungsablauf verständlich zu erklären. Die Kinder sollten Gelegenheit haben sich mit dem Ergometer, Rad oder

TABELLE 2

absolute Kontraindikationen zur Ergometrie

- akut fieberhafte Infekte
- Asthmakranke mit Dyspnoe und einem FEV1 < 60% der altersentsprechenden Normwerte
- Symptomatische Herzrhythmusstörung und /oder eingeschränkte Hämodynamik
- Akutes Koronarsyndrom
- Akute entzündliche Herzkrankheiten
- Dekompensierte Herzinsuffizienz
- Hochgradige Aortenstenose
- Akute Aortendissektion – Marfan Syndrom
- Entgleiste Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes)

TABELLE 3

relative Kontraindikationen zur Ergometrie

- arterielle Hypertonie (> 180/100 mm Hg)
- höhergradige AV- Blockierungen
- Tachy- oder Bradyarrhythmie
- Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
- Klappenerkrankungen mäßiger Ausprägung
- Fixfrequenter Schrittmacher
- Herzwandaneurysma
- Anämie mit Hb <10 mg%
- Bekannte Elektrolytstörungen

Laufband vertraut zu machen, ohne sich dabei schon zu belasten. Als günstig hat es sich erwiesen, eine vertraute Person wie Eltern oder Betreuer in der Nähe zu haben um eventuelle Ängste zu nehmen, Schutz zu bieten. Meist kontraproduktiv ist die Anwesenheit anderer Kinder.

4. Ergometer

In der klinischen Praxis haben sich zwei Ergometertypen bewährt: das Fahrrad- bzw. das Laufbandergometer. Zur Entscheidung, welches Ergometer das Geeignetste ist, sind Kriterien aus dem rein medizinischen Bereich genauso heranzuziehen, wie funktionelle oder sportliche Aspekte. Ein Kind oder Jugendlicher aus dem Leistungssport wird eher sportartspezifisch untersucht werden wollen, wiewohl die Aussage über die Leistungsfähigkeit, insbesondere bei Längsschnittkontrollen ähnlich bleibt.

TABELLE 4

Anforderungen an den Ergometrieplatz

- Raumtemperatur 18-23 Grad , Feuchte 40-60 %
- Defibrillator – Kinder geeignet
- Notfallmedikamente + Spritzen, Nadeln..
- Sauerstoff
- Beatmungsmöglichkeit (Maske, Tubus)
- Liege
- Geschultes Personal
- Kindgerechtes Ergometer
- 12 Kanal EKG + scope
- RR-Messgerät – kindgerecht
- Ev. Pulsoxymetrie
- Ev. Laktatgerät, Spirometrie –VO2-Messung

TABELLE 5

Anforderungen an den Sportler

- keine akute Erkrankung
- keine sportliche Belastung am Testtag
- keine intensive Belastung am Vortag
- keine große Mahlzeit 3 Stunden vor Test
- bei sonst ausgeglichenem Ernährungs- und Flüssigkeitshaushalt
- adäquate Sportbekleidung, Schuhe

4.1. Das Radergometer

hat den Vorteil relativ billig in der Anschaffung zu sein, hat einen geringen Platzbedarf, ist leise im Betrieb und koordinativ für alle Kinder leicht durchführbar. Durch die geführte Bewegung idealerweise mit Pedalclips ist eine sehr gute Standardisierung der Leistung gegeben. Für den Arzt bietet es sehr gute Möglichkeiten der medizinischen Überwachung mittels EKG, Blutdruck, Sauerstoffsättigung und selbst Blutabnahmen für Laktatdiagnostik etc. sind ohne Unterbrechung der Belastung möglich. Nachteilig ist die relativ große Muskelbelastung des Oberschenkels zu werten, da hierdurch Kinder mit relativ schwacher Muskulatur noch vor Erreichen einer kardiopulmonalen Ausbelastung erschöpft sein können. Problematisch kann auch die Geometrie des Ergometers wer-

den, die idealerweise an die individuellen Größen-Hebelverhältnisse des Kindes angepasst werden muss = Möglichkeit der horizontalen und vertikalen Veränderung von Lenkstange und Sattel, sowie verschiedene Kurbellängen (6 Jahre - 13 cm; 8-14 Jahre - 15 cm) [1]. Es erfordert also entsprechend Zeit und Geschick des Untersuchers, das Ergometer entsprechend auf das jeweilige Kind einzustellen und es ergibt sich auf Grund der gängigen erwerblichen Modelle am Markt eine Mindestgröße von ca. 126 cm. Als äußerst sinnvoll gerade bei kleinen Kindern ohne besonderes Rhythmusgefühl haben sich elektronische Radergometer bewährt, die in einem weiten Umdrehungsfeld von ca. 30 – 130 U/min die eingestellte Wattleistung elektronisch konstant halten. Aus physiologischen und didaktischen Gründen sollte eine Trittfrequenz von ca. 70 vorgegeben werden – bei gut ausdauertrainierten Kindern, insbesondere Radfahrern natürlich auch höher.

Technisch bedingt liegt der Minimalwiderstand der gebräuchlichen Ergometer bei ca. 20 Watt, was wiederum den Einsatz bei kleinen Kindern erschwert bzw. unmöglich macht.

Zusammengefasst lässt sich das Radergometer in der klinischen Sportpraxis optimal ab einem Alter von 6 - 7 Jahren einsetzen.

4.2. Das Laufband

als Alternative kennt diese technisch bedingten Altersgrenzen nicht. Prinzipiell könnte jedes Kind, das laufen kann so belastet werden. Als Grenze ist hierbei eher die psychische Reife zu sehen einen Belastungstest zu verstehen und durchzuhalten. Ein Vorteil des Laufbandes ist weiters die gute kardiopulmonale Ausbelastung, durch den Einsatz großer Muskelgruppen.

Nachteil des Laufbandes sind einmal die hohen Anschaffungskosten, der größere Platzbedarf, vermehrte Lärmbelastung und ein relatives Verletzungsrisiko, was wiederum Sicherungssysteme notwendig macht. Medizinische Kontrollen während der Belastung sind erschwert (EKG, Pulsoxymetrie, Spirometrie) bis gar nicht möglich (RR-Messung, Laktatblutabnahme). Bedingt durch die hohe Koordinationsvarianz der Kinder in Bezug auf Schrittlänge, Sprunghöhe und Zusatzbewegungen ist eine Standardisierung der physikalischen Leistung nicht exakt möglich. Als bester Parameter würde sich hier die Sauerstoffaufnahme, weniger gut, aber brauchbar die Herzfrequenz zur Bestimmung der individuellen Leistung quasi als Korrekturfaktor für koordinative Unterschiede anbieten.

5. Durchführung der Ergometrie

5.1. Kontrollparameter

Hat man nun die Indikation zur Ergometrie gestellt, die möglichen Kontraindikationen ausgeschlossen, die Ergometerart bestimmt (Rad oder Laufband), ergibt sich aus Anamnese und Klinik auch die Art der Ergometrie und somit der dafür notwendige apparative Aufwand – von simpler Hf-Registrierung mittels EKG bis hin zur Spiroergometrie und Herzechokardiographie.

- 5.1.1 In jedem Fall ist die kontinuierliche Herzfrequenzüberwachung mittels **12-Kanal EKG** zu fordern. Ein scope mit Darstellung von zumindest 2 Ableitungen ist ebenso

Pflicht wie die Dokumentation des EKG's zumindest 1 Mal pro Belastungsstufe.

Beurteilt wird die maximale Hf, bzw. der Anstieg der Hf in Relation zur Leistung mit meist auftretendem levelling off – Abflachen der Hf Kurve gegen Ende der Belastung. Zu beachten sind natürlich auch EKG-Veränderungen mit Diskrimination physiologischer von pathologischen Veränderungen. Hieraus ist schon abzuleiten, dass eine Ergometrie unter ärztlicher Kontrolle stehen muss und auch zur Beherrschung etwaiger Komplikationen die direkte Anwesenheit bei der Belastungsuntersuchung anzustreben bzw. eine rasche ärztliche Verfügbarkeit unabdingbar ist.

- 5.1.2. **Blutdruckmessungen** in regelmäßigen Abständen vor – während und nach der Belastung sind nicht nur bei speziellen medizinischen Fragestellungen notwendig. Bewährt hat sich gerade bei Kindern die händische Methode, die weitaus schneller durchführbar ist und somit auch genauere Werte liefern kann als elektronische, automatische Geräte. Grenzwerte des systolischen Blutdrucks sind errechenbar nach folgender Formel:

$$RR_{\text{sys}} = 120 + 0,4 \times (\text{Watt} + \text{Lebensalter in Jahren}) [2]$$

- 5.1.3. **Laktatmessungen** aus Kapillarblut dem Ohrläppchen entnommen sind hilfreich in der Zuordnung einer Stoffwechselreaktion – aerob, anaerob im Verlauf der ansteigenden Belastung. Laktat dient aber auch der Differenzierung von etwaigen Muskelstoffwechselerkrankungen und muss somit auch bei Nichtsportlern aus diagnostischen Gründen eingesetzt werden. Blutabnahmen während der Ergometrie stören den Ablauf jedes Sportlers und besonders kleiner Kinder, weswegen der Nutzen immer dem Risiko eines frühzeitigen Belastungsabbruchs gegenübergestellt werden muss.

- 5.1.4. **Spiroergometrie**, also die Erfassung von Sauerstoffaufnahme (VO_2) und Kohlendioxidabgabe (VCO_2) und daraus errechnetem respiratorischem Quotienten (RQ) bedeutet einen hohen apparativen Aufwand, sowie großes Know-how des Teams in der Durchführung wie auch Bewertung der Ergebnisse. Diese nicht invasive Methode der Leistungsbeurteilung über das VO_2 als dem Bruttokriterium der Ausdauerfähigkeit belastet die Kinder nur minimal durch das notwendige Tragen einer Atemmaske und wird meist gut toleriert. Zu achten ist auf das jeweilige Totraumvolumen der kinderspezifischen Masken, welches in der Spirometrie software jeweils korrigiert werden muss. Über die Bestimmung ventilatorischer Schwellen lassen sich sowohl leistungsdiagnostisch als auch medizinisch wertvolle Erkenntnisse über die organische Antwort auf äußere Belastungsreize gewinnen. Als Vorteil ist sicher auch die kontinuierliche Messung und Speicherung der Atemgasdaten zu nennen, was unzählige Auswertemöglichkeiten liefert und auch etwaige Einzelmessfehler ausgleicht.

- 5.1.5. Speziellen klinischen Fragestellungen vorbehalten bleibt die Messung der Sauerstoffsättigung. Mittels **Pulsoxymeter** an Finger oder Stirn kann insbesondere bei lungenkranken Kindern mit Asthma, Mukoviszidose etc. der Grad der Belastbarkeit festgestellt werden, bei welchem ohne Risiko einer Untersättigung Sport betrieben werden kann.

- 5.1.6. Die **Echokardiographie** während der Belastung

TABELLE 6
Fahrrad-Ergo(Spiro)metrieprotokolle für Leistungssportler gewichtsbezogen

Gewicht (kg)	Ausgang (Watt)	Steigerung (Watt)	Stufendauer (min)	Erholung (Watt)
25 – 30	15	15	2	15
31 – 35	20	20	2	20
36 – 40	25	25	3	25
41 – 45	30	30	3	30
46 – 50	35	35	3	35
51 – 55	40	35	3	40
56 – 60	45	40	3	40
> 60 m	50	50	3	50
> 60 w	50	40	3	40

TABELLE 7
Fahrrad-Ergo(Spiro)metrieprotokolle für Normalsportler gewichtsbezogen

Gewicht (kg)	Ausgang (Watt)	Steigerung (Watt)	Stufendauer (min)	Erholung (Watt)
20 – 30	20	5	1	20
30 – 40	20	10	1	30
40 – 50	30	15	1	30
> 50	40	20	1	40

bleibt Kindern mit Herzfehlern vorbehalten. So können beispielsweise Druckgradienten einer Klappenstenose bestimmt werden, um so wiederum medizinische Belastbarkeitsgrenzen definieren zu können. Diese spezielle Überwachung bleibt auf Grund des sehr hohen Aufwandes wohl nur einigen wenigen Zentren vorbehalten.

- 5.1.7. Neben diesen medizinischen Kontrollparametern ist natürlich die Messung und Dokumentation der **Leistung** für eine Ergometrie unabdingbar.
- Die Leistung wird am Fahrrad in Watt, beim Laufband über Geschwindigkeit und Steigung beurteilt. Beurteilt wird die maximale Leistung sowie die relative Leistungsfähigkeit für bestimmte Stoffwechselzonen = die Leistung, die über verschieden lange Zeiten aufrecht gehalten werden kann.

5.2. Ergometrie-Protokolle

Sind alle bislang angeführten Punkte zur Ergometrie noch einheitlich akzeptiert, so gehen die Meinungen über das beste Protokoll doch einigermaßen auseinander. Fast jede Untersuchungsstelle hat sich ihr Protokoll adaptiert, welches auch abhängig vom Untersuchungsziel ist. Ein Protokoll allein zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit kann anders aufgebaut sein als eines zur exakten Schwellenbestimmung oder eines zur Provokation bestimmter biologischer Anpassungsreaktionen (z.B. Belastungsasthma).

Auch die Notwendigkeit bestimmte Kontrollparameter einzusetzen kann und muss einen Einfluss auf das Protokoll haben – Zeit für Blutabnahme, RR- Messungen etc.

Speziell bei Kindern mit sehr großer Varianz an Alter, Größe, Gewicht und Leistungsfähigkeit werden große Anforderungen an ein Protokoll gestellt, um kein Kind zu unter- oder überfordern.

Im ersten Fall könnte mangelnde Motivation einen frühzeitigen Abbruch bedingen, im zweiten Fall muskuläre Überforderung mit Übersäuerung.

Ein starres, für alle Kinder gleiches Stufenprotokoll wird zumindest Randgruppen wie unter- oder übergewichtige Kinder oder besonders leistungsschwache, kranke Kinder bzw. Leistungssportler benachteiligen und zu falschen Ergebnissen führen, falsch im Sinn einer Vergleichbarkeit zu einer Normalpopulation, nicht unbedingt falsch im Longitudinalverlauf.

Die Wahl des ‚richtigen‘ Protokolls hängt demnach von vielen Faktoren ab.

Zu beachten ist auch, dass bestehende Normalwerte idealerweise mit dem gleichen Protokoll wie das aktuell verwendete übereinstimmen, um methodische Probleme auszuschließen. Die durchschnittliche Belastungszeit, egal ob Sportler oder Patient sollte im Bereich von 8-14 min liegen, um Unter- oder Überforderung zu vermeiden [3]. Aus Alter, Geschlecht, medizinischer- und Trainingsanamnese kann die erwartete maximale Leistung abgeschätzt und somit ein Protokoll verwendet werden, mit welchem diese in der geforderten Zeit erreicht werden kann, wobei Leistungssportler durchaus auch etwas längere Belastungszeiten tolerieren.

5.2.1. Fahrradergometrieprotokoll

Mit der Leistung in Watt und der Zeit der einzelnen Belastungsstufen stehen zwei Parameter zur Verfügung, die verändert werden können. Als meist verwendetes Protokoll wird jenes nach Nowacki [4] eingesetzt, in welchem mit 1 W/kg begonnen und alle 2 min um 1W/kg gesteigert wird. Für dieses Protokoll gibt es eigene Normalwerte, welche

auch grob denen von Bar Or entsprechen. Zwei Minuten sind bei Kindern und ihrer bekannt schnelleren Anpassung von Herz-Lunge- und Kreislaufparametern ausreichend um entsprechende Kontrollen durchzuführen. Rein technisch bleibt bei diesem Protokoll auch genug Zeit für etwaige Blutabnahmen pro Stufe. Ist das Ziel weniger die Leistungsdiagnostik als allgemein die Reaktion des Organismus auf Belastung mit Bestimmung der maximalen Herzfrequenz und Leistung kann das Protokoll auch modifiziert werden: Beginn (0,5 W/kg bei leistungsschwachen Kindern) 1W/kg und Steigerung jede min um ½ W/kg. Damit kommen die Kinder in der gleichen Zeit zu ihrer maximalen Leistung, die Stufen sind jedoch weniger groß und entsprechend angenehmer zu tolerieren.

Eine Modifikation ist auch für übergewichtige Kinder notwendig. Sie sollten mit dem ihrer Länge entsprechenden Normalgewicht belastet werden, um eine Überforderung auszuschließen. Hierzu bedient man sich am besten aktueller Perzentilenkurven für Mädchen und Knaben.

In *Tabelle 6* ist das Protokoll der Abteilung für Sport- und Leistungsmedizin, Prof Schober in Graz dargestellt. Es wird bei Leistungssportlern eingesetzt, die auch eine entsprechend längere Testdauer tolerieren, sodass in 2 bzw. 3 Minutenintervallen gesteigert werden kann, was die Genauigkeit der Leistungsbeurteilung in den Schwellenbereichen erhöht.

Tabelle 7 zeigt das Protokoll, das der Autor seit vielen Jahren bei Schul- oder Hobbysportlern einsetzt. Im Vordergrund steht bei diesem 1 Minuten-Protokoll die Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit bzw. das Erkennen pathologischer Belastungsreaktionen.

5.2.2. Laufbandergometrieprotokoll

Durch die Veränderung der Leistung in zwei Variablen – Geschwindigkeit und Steigung- erhöht sich die Anzahl der Kombinationen mit der Zeit und somit die Anzahl der verwendeten Protokolle. Bei uns am gebräuchlichsten und auch dem Naturell der Kinder entgegenkommend ist ein Protokoll, in welchem die Geschwindigkeit stufenförmig steigt bei gleichbleibender Steigung: 5 km/h Startbelastung und alle 2 Minuten um 1 km/h gesteigert bei einer Steigung von 1,5 % (5), was ca. dem normalen Luftwiderstand entspricht und ein koordinativ gutes Laufen ermöglicht. Stehen primär keine leistungsdiagnostischen Ziele im Vordergrund, kann ähnlich der Radergometrieprotokolle auch ein Inkrement mit 0,5 km/h alle Minuten gewählt werden. Durch den Einsatz größerer Muskelgruppen wird bei der Laufbandergometrie typischerweise eine höhere Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme erreicht. Problematisch, unabhängig vom Protokoll, ist die große Variabilität der Koordination, abhängig von der Lauferfahrung der Kinder und auch vom Gewicht, sodass im Zweifelsfall die Radergometrie zur Erlangung valider, reproduzierbarer Werte verwendet werden soll.

5.3. Ausbelastungskriterien

Üblicherweise strebt man bei einer Belastungsuntersuchung die maximal mögliche Leistung an. Kann man von Leistungssportlern erwarten, dass sie sich auch voll ausbelasten, trifft dies für Gelegenheitsportler oder gar kranke Kinder nur be-

dingt zu. Neben dem subjektiven Gefühl der Sportler gibt es dazu objektive Kriterien wie die erreichte Herzfrequenz, die bei Kindern üblicherweise über 185/min liegt (6,7), bis 225/min gehen kann [8]. Ein weiterer Punkt ist das Abflachen der Hf-Kurve – levelling off -, was man auch bei der VO₂-Kurve beobachten kann, bzw. das maximale erreichte Laktat als Hinweis für eine Ausbelastung. Gerade junge Kinder müssen immer wieder neu motiviert werden bis an ihre Grenzen zu gehen, da sie eher gewohnt sind, sich nur bis zur anaeroben Schwelle zu belasten.

5.4. Abbruchkriterien

Eine Ergometrie muss schon vor Erreichen der Ausbelastungskriterien abgebrochen werden, wenn klinische Symptome wie Schwindel, Blässe, Kopfschmerz, Angina pectoris oder Dyspnoe auftreten. Neben den in *Tabelle 8* aufgelisteten objektiven Kriterien kann auch ein apparatetechnischer Defekt mit daraus folgender fehlender Überwachungsmöglichkeit zum Abbruch führen bzw. auch das Sinken der Trittfrequenz unter 60/min oder beim Laufband zunehmende Koordinationsschwäche und somit Sturzgefahr [9].

TABELLE 8
Abbruchkriterien

- schwerwiegende Rhythmusstörungen
- ST-Senkungen oder Hebungen > 0,2 mm
- Unphysiologisch schneller Anstieg bzw. Abfall der Herzfrequenz
- Ausgeprägter Lagetypwechsel
- Blutdruckanstieg über 230 mm Hg systolisch
- Blutdruckabfall > 10 mm Hg zum Ausgangswert
- Abfall der Sauerstoffsättigung unter 70%

6. Auswertung

6.1. Für Sportler jeglicher Leistungsklasse prioritär

- 6.1.1. ist die **maximale Leistung**, damit verknüpft die maximale Hf, um so schon Intensitätsvorgaben für ein Training abgeben zu können. Normalwerte für die maximale Leistungsfähigkeit in Watt können in *Abbildung 1* als Perzentilenkurve [10] abgelesen werden. Eine besondere Herausforderung stellen in der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen immer die unterschiedlichen Entwicklungsphasen und damit verknüpft große Unterschiede in Körperlänge und Gewicht dar. Die Beurteilung der Leistung in den meisten Sportarten geschieht nur über Altersklassen und lässt Entwicklungsunterschiede unbeachtet. Dies hat zur Folge, dass akzelerierte Kinder besser, entwicklungsretardierte Kinder schlechter bewertet werden – diese natürlichen Unterschiede werden aber in weiterer Folge wachstumsbedingt wieder ausgeglichen. In der Interpretation der Ergometrie-Ergebnisse soll aber so gut wie möglich der Trainingseffekt bestimmt werden, weswegen verschiedene Bezugssysteme eingesetzt werden. Weit verbreitet und somit auch mit verfügbaren guten Normalwerten ist der Bezug zum Körpergewicht (W/kg) *Abbildung 2*. Besondere Vorsicht ist nur bei

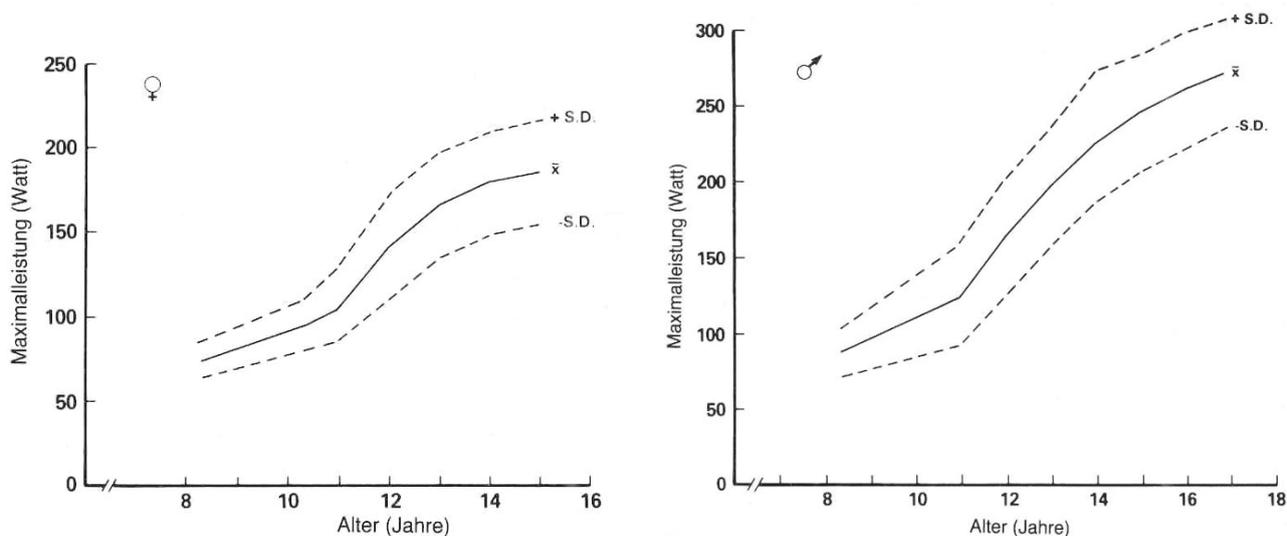


Abb. 1: Perzentilenkurve Watt-max nach Bar Or

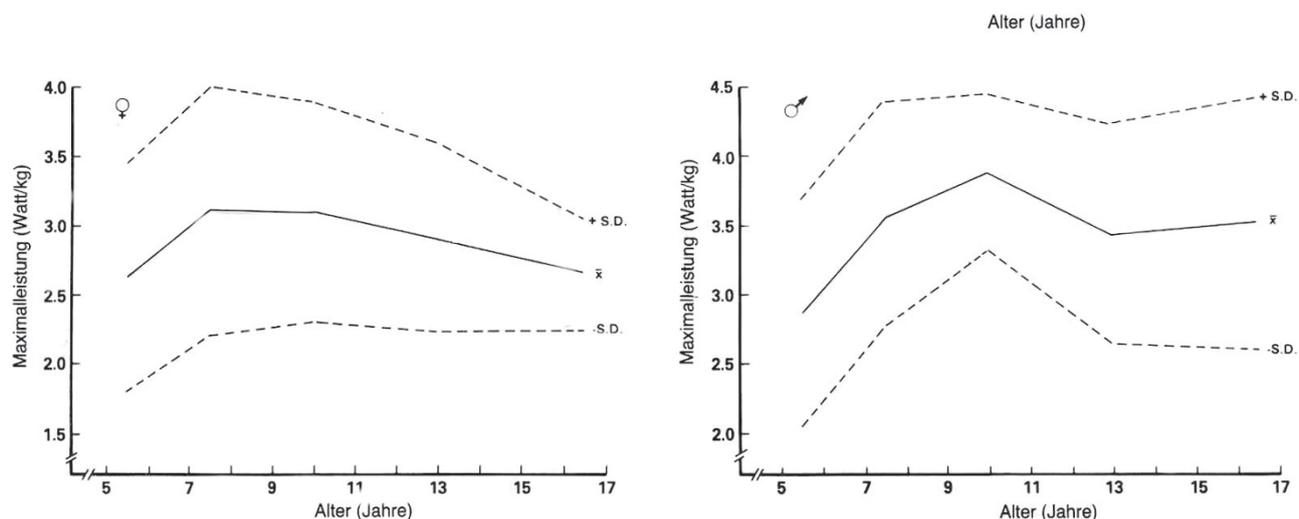


Abb. 2: Perzentilenkurve Watt-max / kg nach Bar Or

speziellen Gruppen (unter- oder übergewichtige Kinder) geboten. Hier empfiehlt es sich wiederum, auf das Bezugssystem längenentsprechendes Körpergewicht zu gehen, um ungerechte Beurteilungen zu vermeiden. Andere allometrische Skalierungsversuche [11] über fettfreie Masse, Körperlänge, Körperoberfläche oder Kombinationen daraus sind gelegentlich eingesetzt – letztlich gibt es aber noch kein wirklich der Leistungsfähigkeit des Kindes gerecht werdendes System. Diesen Umstand muss man bei der Beurteilung berücksichtigen und keine voreiligen Schlüsse ziehen. Da mit der Ergometrie immer nur ein kleiner Teil der sportlichen Gesamtleistung beurteilt wird, sind Interpretationen und Prognosen für den eigenen Sport mit Vorsicht zu stellen.

- 6.1.2 Der Anstieg der **Herzfrequenz** und schließlich der maximal erreichte Wert bietet eine wesentliche Grundlage zur weiteren Trainingsplanung, in der Prozentsätze der Hf-max oder der Hf an der anaeroben Schwelle verwendet werden. Die Hf ist somit ein wichtiger und leicht zugängli-

cher Parameter zur Intensitätsvorgabe. Natürlich werden auch bei Sportlern eventuelle EKG-Veränderungen registriert, wenngleich Auffälligkeiten bei Kindern selten zu erwarten sind.

- 6.1.3. Das maximale **Laktat** gibt einerseits Hinweise auf die anaerobe Kapazität, bzw. auch auf den Ausbelastungsgrad, andererseits aber auch auf den aktuellen Ernährungsstand – z.B. eine Glykogenverarmung. Aus der Laktatkurve lässt sich eine individuelle aerobe wie anaerobe Schwelle berechnen [5], die wiederum Hinweise für eine Trainingsberatung sein können.
- 6.1.4. Sauerstoffaufnahme
Die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit verhält sich ähnlich wie die physikalische Leistung in Watt, ist aber weniger abhängig vom verwendeten Protokoll, als von der Art der Belastung (Rad oder Laufband). Damit wird die Messung der VO_2 zu einem sehr effektiven Instrument in der Leistungsbeurteilung, zumal Schwellenmessungen auch nichtinvasiv mög-

lich werden. Die ventilatorische anaerobe Schwelle (VAT) ist definiert durch ein überproportionales Ansteigen der CO_2 -Abgabe gegenüber der O_2 -Aufnahme [12]. Die gemessenen Werte sind ähnlich der Wattleistung wiederum in Perzentilenkurven vergleichbar bzw. einer Bezugsgröße wie Gewicht, Länge etc. zugeordnet mit schon erwähnter Problematik in der Bewertung dieser Daten.

6.2. In der Auswertung der Ergometrie kranker Kinder

wird primär auf eventuelle pathologische Reaktionen geachtet, um so Hinweise zu geben welche Belastungsintensität, korreliert mit der Hf, ohne Risiko möglich ist. Die erreichte maximale Leistung kann auch als Verlaufparameter und somit Erfolgsindikator einer medikamentösen oder anderen Therapie zu sehen sein. Je nach Indikation (siehe Kapitel 2) ergeben sich eine Reihe von klinisch relevanten Interpretationen, die wertvolle Hinweise auf eine zugrundeliegende Erkrankung liefern können (Beurteilung von Extrasystolen, Rhythmusstörungen, $\text{FEV}_{1,}$ Sauerstoffsättigung, VO_2 -max, Laktat, etc.).

Die Ergometrie kann somit als eigenständige, höchst vielfältige Untersuchung angesehen werden. Schon das Erstellen einer Indikation, das Auswählen der geeigneten Kontrollparameter und das Überwachen der Belastung selber ist medizinisch spannend. Die Auswertung, Interpretation der gewonnenen Daten und anschließende Besprechung mit den Athleten rundet die Untersuchung ab. Speziell bei Kindern bildet sie die Grundlage für viele Entscheidungen – sportlich oder medizinisch – und kann das weitere Leben stark beeinflussen. Der Dialog mit Kindern, Jugendlichen, Eltern und Trainern ist essentiell für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Gesundheit und auch sportlichen Leistung unserer Jugend, damit den Erwachsenen von morgen. Dies betrifft auf der einen Seite den Leistungssport, in den Kinder teilweise schon früh integriert sind und früh lernen sollten, welche physiologischen Vorgänge Training auslöst, wie man seinen Kör-

per positiv beeinflussen kann und nicht mit Fremdsubstanzen stimuliert, letztlich damit zerstört.

Auf der anderen Seite stehen kranke, oder auch nur inaktive Kinder und Jugendliche, die durch eine professionelle medizinische Beratung inklusive Leistungserfassung hoffentlich den Weg zu einem gesünderen Lebensstil finden. ■

Interessenskonflikt

Es besteht kein Interessenskonflikt.

Literatur

- [1] Klimt F. Sportmedizin im Kindes- und Jugendalter. Thieme, Stuttgart New York, 1992
- [2] Heck H, Rost R, Hollmann W. Normwerte des Blutdrucks bei der Fahrradergometrie. *Deutsch Z Sportmedizin*. 35, 243-7, 1984
- [3] Hebestreit H, Lawrenz W, Zelger O, Kienast W, Jüngst BK. Ergometrie im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 145, 12, 1326-36, 1997
- [4] Nowacki PE, Schäfer D. Die Physical work capacity (PWC 170). *The-rapiewoche*. 34, 3835-53, 1984
- [5] Neumann G, Schüler KP. Sportmotorische Funktionsdiagnostik, Sportmedizinische Schriftenreihe Bd 29. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1994
- [6] Braden DS, Caroll JF. Normative cardiovascular responses to exercise in children. *Pediatr Cardiol*. 20, 4-10, 1999
- [7] Cumming GR, Langford S. Comparison of nine exercise tests used in pediatric cardiology. In: Binkhorst RA, Kemper HCG, Saris WHM, eds. *Children and Exercise XI*. Champaign, Illinois. Human Kinetics, 58-68, 1985
- [8] Armstrong N, Welsmann J, Winsley R. Is peak VO_2 a maximal index of children's aerobic fitness? *Int J Sports Med* 17, 356-9, 1996
- [9] Washington RL, Bricker JT, Alpert BS, et al. 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*, 90, 2166-79, 1994
- [10] Bar-Or Die Praxis der Sportmedizin in der Kinderheilkunde. Springer, Heidelberg, 1986
- [11] Lawrenz W, Hebestreit H. Ergometrie im Kindes- und Jugendalter. In: Hebestreit H (Hrsg) *Kinder- und Jugendsportmedizin*. Thieme, Stuttgart New York, 72-85, 2002
- [12] Wassermann K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia Lea & Febiger, 1999