

## **Parameter Spiroergometrie**

Unter Spiroergometrie versteht man die Messung von Atemgasen während körperlicher Belastung. Die körperliche Belastung wird bei der Ergometrie in verschiedenen Stufen gesteigert, was z.B. auf dem Fahrradergometer oder dem Laufbandergometer stattfinden kann. Zusätzlich findet eine EKG-Ableitung, eine Blutdruckmessung und eine Messung des Laktats (Milchsäure statt).

Die Spiroergometrie dient einerseits der medizinischen Feststellung und Überwachung der Sportfähigkeit sowie andererseits zur Festlegung der Schwellen und damit der Trainingsbereiche. Unterschiedliche Trainingsbereich bzw. -intensitäten haben verschiedene Energielieferanten. Bei kurzen und hochintensiven Belastungen wird vor allem Kreatinphosphat bzw. ATP (Adenosintriphosphat) verstoffwechselt. Diese Stoffwechsellage vermag der Körper nur ganz kurz zu halten, bei längeren Belastungen werden vornehmlich Kohlenhydrate und Fettsäuren verstoffwechselt. Hierbei ist vor allem der (niedrige) Intensitätsbereich in welchem der Körper viele Fettsäuren verstoffwechselt (Fettsäurebereich) interessant, denn in diesem Bereich bewirkt das Training die meisten Anpassungserscheinungen. Einerseits treten hier die meisten gesundheitlich interessanten Veränderungen auf (z.B. Steigerung des Immunsystems, Cholesterinabbau) andererseits wird hier die wichtige Grundlagenausdauer aufgebaut. Und ein gutes Grundlagenausdauerniveau ist der Schlüssel für einen weiteren Aufbau zum sportlichen Erfolg. Grundlagenausdauer wird nicht sportartspezifisch trainiert, d.h. es ist egal ob sie Joggen, Fahrradfahren oder Inline-skaten, der Trainingseffekt kommt, solange die Intensität niedrig genug ist. Und da liegt meist der Fehler! Wie viele Läufer sehen sie mit hochrotem Kopf und rasendem Puls durch den Wald prusten? Ist die Trainingsintensität zu hoch, verlässt der Körper den

Fettsäurestoffwechselbereich und verstoffwechselt zunehmend Kohlehydrate. Diese Trainingsintensitäten werden nur teilweise im Leistungssport angewandt und erwirken im Freizeitsport kaum einen sinnvollen Trainingsgewinn.

## **Begriffserklärungen:**

### **Spiroergometrische Parameter**

Die wichtigsten Atemgasparameter, die bei der Spiroergometrie erfasst werden, sind: Atemminutenvolumen (VE oder AMV), Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ), Kohlendioxidabgabe ( $VCO_2$ ) und Atemfrequenz (AF).

Daraus errechnen sich weitere Parameter: Respiratorischer Quotient ( $RQ = VCO_2/VO_2$ ), Atemäquivalent für  $O_2$  (AÄ oder  $A\ddot{A}O_2 = VE/VO_2$ ), Atemäquivalent für  $CO_2$  ( $A\ddot{A}CO_2 = VE/VCO_2$ ) und Atemzugvolumen (AZV =  $VE/AF$ ).

## **Die Parameter im Einzelnen:**

### **Atemminutenvolumen**

Das **Atemminutenvolumen** (VE oder AMV) ist ein Begriff aus der Medizin und der Physiologie. Es wird damit das Volumen an Luft bezeichnet, das in einer Minute ein- und wieder ausgeatmet wird. Es lässt sich relativ leicht aus der Atemfrequenz und dem Atemzugvolumen errechnen.

### **Atemminutenvolumen = Atemzugvolumen x Atemfrequenz**

Ein Erwachsener atmet ca. 15-18 mal pro Minute. Dabei atmet er pro Atemzug ein Atemzugvolumen von 500-700 ml ein. Somit beträgt sein Atemminutenvolumen durchschnittlich 10 Liter (16 x 600 ml). Das Atemminutenvolumen kann bei körperlicher Anstrengung auf das 3 - 4 fache gesteigert werden.

### **Respiratorischer Quotient**

Der **respiratorische Quotient** ( $RQ = VCO_2/VO_2$ ) beschreibt das Verhältnis der Menge des ausgeatmeten Kohlenstoffdioxids ( $CO_2$ ) im Vergleich zu der Menge des aufgenommenen Sauerstoffes ( $O_2$ ). Der RQ hängt ab von der Art des verstoffwechselten Substrates, das bedeutet er schwankt von Ruhe zu körperlicher Belastung. Dabei ist der RQ bei der Ernährung mit Kohlenhydraten 1,0, bei Fetten 0,7 und bei Proteinen 0,8.

Im Rahmen der Spiroergometrie liegt der RQ im aeroben/ Fettstoffwechselbereich bei unter 0,8, steigt er über 1 so erreicht der Stoffwechsel die reine Kohlenhydrat-Oxidation.

### **Atemäquivalent**

Das **Atemäquivalent** ( $A\ddot{A}$  oder  $A\ddot{A}O_2 = VE/VO_2$ ) ergibt sich aus dem Verhältnis von Atemminutenvolumen und dem Sauerstoffverbrauch oder Kohlendioxidabgabe. Das Atemäquivalent gibt an, wie viel Luft eingeatmet werden muss, um einen Liter Sauerstoff im Körper verfügbar zu haben. Es ist ein Indikator für den Wirkungsgrad bzw. die Effektivität der Atmung. Das Atemäquivalent beträgt in Ruhe  $28 \pm 5$  Liter Luft. Unter Belastung erhöhen sich auch die Atemtiefe und die Atemfrequenz. Dabei sinkt das Atemäquivalent zunächst auf 19-20 Liter, die Atmung wird ökonomischer. Wird die Belastung weiter gesteigert wird der Atemäquivalentwert wieder höher, er steigt auf mehr als 30 Liter Luft. Die Atmung wird durch die zunehmende Geschwindigkeit unökonomischer. Die Stelle, an der das Atemäquivalent seinen tiefsten Wert erreicht, wird als respiratorische Schwelle bezeichnet. Diese respiratorische Schwelle wird in der Literatur mit der aerob-anaeroben Laktatschwelle gleichgesetzt. Im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit steigt das  $A\ddot{A}$  auf bis zu 35, bei Spitzensportlern auf Werte von 45-50 an.

### **Sauerstoffpuls**

Der **Sauerstoffpuls** ( $VO_2/HF$ ) bezeichnet die pro Herzschlag aufgenommene Sauerstoffmenge. Er ist ein Summenparameter für die Größe des Schlagvolumens, die Sauerstoffbindungskapazität des Blutes sowie die Sauerstoffutilisation des Gesamtorganismus. Durchschnittswerte für die Ausbelastung liegen bei Untrainierten bei 11-15 und bei Trainierten bis zu 30 ml.

### **VO<sub>2</sub>max**

Die **VO<sub>2</sub>max** stellt die höchstmögliche Sauerstoffaufnahme während einer Maximalbelastung dar und ist eine der wichtigsten Basismessgrößen der Sportmedizin Sie gilt als wichtigster Index der aeroben Leistungsfähigkeit und der kardiorespiratorischen Funktion. Die VO<sub>2</sub>max kann aber nur bei wirklicher Ausbelastung bestimmt werden. Sie ist abhängig von der Sauerstoffaufnahme (äußere Atmung), dem Sauerstofftransport und dem Sauerstoffverbrauch.

## **Aerobe Schwelle**

Die **aerobe Schwelle** (engl. aerobic threshold) ist ein Begriff aus der Sportmedizin. Der Energiebedarf des Körpers wird bis zu diesem Belastungszustand vollumfänglich durch den aeroben Stoffwechsel gedeckt. Ein Energiebedarf oberhalb dieser Schwelle kann die benötigte Energie nur durch zusätzliche Energiegewinnung aus dem anaerob-laktaziden Stoffwechsel bereitgestellt werden. Führt man einen Laktatstufentest durch, so steigen an der aeroben Schwelle die Blutlaktatkonzentration und das Sauerstoffäquivalent erstmals an. Die aerobe Schwelle wird durchschnittlich bei ca. 70-80% der maximalen Herzfrequenz und einem Blutlaktatspiegel von etwa 2mmol/l erreicht, wobei das allerdings individuell sehr unterschiedlich ist.

## **Anaerobe Schwelle**

Die **anaerobe Schwelle** (auch als *aerob-anaerobe Schwelle* oder *Laktatschwelle* bezeichnet; englisch: *anaerobic threshold*) bezeichnet die höchstmögliche Belastungsintensität, welche noch ohne zunehmende Übersäuerung aufrechterhalten werden kann. Es herrscht hier ein Gleichgewichtszustand („steady state“) zwischen Sauerstoffbedarf und Sauerstoffaufnahme. Die *anaerobe Schwelle* liegt bei den meisten Sportlern in der Nähe einer Laktat-Konzentration von 4 mmol/l; dieser Laktatwert wird daher häufig zur Definition der *anaeroben Schwelle* verwendet. Der Wert von 4 mmol/l ist jedoch nicht allgemeingültig. Es sind größere individuelle Schwankungen möglich. Um diesen gerecht zu werden erfolgt die Bestimmung einer **Individuellen anaerobe Schwelle**.

## **Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsintensität**

Je nach Belastungshöhe gewinnt der Körper die umzusetzende Energie aus verschiedenen Quellen. Es werden vier Arten der Energiebereitstellung unterschieden. In Bezug auf die *anaerobe Schwelle* können wir drei Situationen unterscheiden:

Bei einer Belastung *unterhalb der anaeroben Schwelle* läuft die Energiebereitstellung zwar nicht ausschließlich unter Verstoffwechslung von Sauerstoff, also aerob ab, doch ist der Anteil der *anaeroben* Verstoffwechslung so gering, dass durch die jeweils vorhandene (beim trainierten Sportler besser ausgeprägte) Fähigkeit zum schnellen Laktatabbau der „steady state“ aufrechterhalten werden kann. Eine Ausdauerleistung kann hier sehr lange aufrechterhalten werden, z.B. bei

einem Marathonlauf. Die meisten positiven Effekte eines Ausdauertrainings finden hier statt.

Eine Belastung *an der anaeroben Schwelle* ist die relativ höchste Belastung, die langfristig durchgehalten werden kann. (Die Glykogen-Reserven sind allerdings bei intensiver Dauerbelastung je nach Trainingszustand nach 60 bis 90 Minuten weitgehend erschöpft.)

Bei einer Belastung *oberhalb der anaeroben Schwelle* erfolgt die Energiebereitstellung zunehmend anaerob. Es kommt bei Überschreiten der abbauenden Vorgänge zu einem die Leistung beeinträchtigenden Anstieg von Stoffwechselprodukten, v.a. zum Laktatanstieg. Die Leistung ist daher nur kurzfristig (wenige Minuten) durchzuhalten. Für die Erbringung der der Wettkampfsituation entsprechenden Leistung hat die Fähigkeit, über anaerobe Verstoffwechslung zusätzlich kurzfristig Energie bereit zu stellen, dennoch eine hohe Bedeutung (Bergsprints im Radsport, Positionskämpfe beim Marathon). Neben der Nutzung der Kreatinphosphatreserven ist die anaerob-laktazide Verstoffwechslung die einzige Möglichkeit, Leistungen zu erbringen, die höher liegen, als die, die der maximalen Sauerstoffaufnahme pro Zeiteinheit (äußere Atmung) entspricht. Da das Laktat später wieder unter erhöhter Sauerstoffzufuhr abgebaut werden muss und Kreatinphosphat wieder aufgebaut wird, spricht man in diesem Zusammenhang auch davon, dass eine Sauerstoffschuld eingegangen wird.

Trainingsmethodische Parameter:

RECOM: Die Belastung ist sehr gering und dient der aktiven Erholung nach langen oder intensiven Einheiten. Hier kann auch auf andere Sportarten zurückgegriffen werden. (Radfahren, Schwimmen..)

GA1 : Training der Langzeitausdauer im niedrigen Intensitätsbereich. Zur Verbesserung der Wettkampfleistung ist eine solide Grundlagenausdauer das Fundament für alle anderen Trainingsbereiche. Die Belastung ist rein aerob. In diesem Bereich werden z. B . lange Läufe zur Marathonvorbereitung absolviert.

GA2 : Zusammen mit dem GA1 Bereich liegt hier der Trainingsschwerpunkt. Einheiten in diesem aeroben bis leicht in den anaeroben Übergangsbereich reichenden Energiestoffwechsel verbessern die Sauerstoffaufnahme und die Leistungsfähigkeit der Sauerstoffverwertenden

## Organsysteme ( Muskulatur, Herz-Kreislauf)

EB : Die Belastung in diesem Entwicklungsbereich entspricht einem aerob/anaeroben Mischstoffwechsel bei dem der Körper lernt den Energiestoffwechsel an höhere Lactatwerte zu adaptieren. Das Training in diesem Bereich wird auch Schwellentraining genannt. Hier werden Intervallartige Belastungen durchgeführt wie z. B . Fahrtspiel oder wechselhafte Dauerperiode. Die Herzfrequenz variiert hier zwischen GA1 und GA2.

WSA : Beim leistungsorientierten Ausdauertraining werden der Wettkampfstrecke angepasste Distanzen in oder über die Wettkampfstrecke trainiert im anaeroben Energiestoffwechsel.  
Trainingsbeispiel : 6-8\*1000m mit 95% der HF max. dazwischen c. a. 3 min. Gehpause.

### Empfehlungen:

Aufgrund der Ergebnisse sind Sie als .....ausdauertrainiert einzustufen .Daher wäre die Verbesserung der ....Grundlagenausdauer sinnvoll.

Nach den Untersuchungsergebnissen werden folgende Trainingsbereiche und dazugehörigen Frequenzempfehlungen gegeben:

RECOM: Schläge + Tr.Zeit in diesem Bereich pro Wo....

GA1:

GA2:

EB :

Die Frequenzempfehlungen wurden aufs Laufen ausgerichtet.

Priv.-Doz.Dr.Volker Schöffl

Julia Emmeler

.