

Markus Tschopp¹, Toni Held¹, Beat Villiger², Bernard Marti¹

¹Sportwissenschaftliches Institut, Bundesamt für Sport, Magglingen

²Medizinisches Zentrum, Bad Ragaz

Qualitätsstandards in der Ausdauerleistungsdiagnostik

Ein gemeinsames Projekt von SGSM und «Swiss Olympic»

Zusammenfassung

Das Projekt von Swiss Olympic (vormals: Schweizerischer Olympischer Verband SOV) in Zusammenarbeit mit der SGSM zur Qualitätssicherung der sportmedizinischen Betreuung in den fünf Swiss Olympic Medical Centers (SOMC) beinhaltet auch eine Optimierung und Vereinheitlichung von Durchführungs- und Interpretationsrichtlinien in der Ausdauerleistungsdiagnostik. Das Testangebot im Ausdauerbereich für Athleten und Trainern soll zuverlässig und aussagekräftig sein. Die Messgenauigkeit wird durch die Berücksichtigung und Standardisierung von beeinflussenden Faktoren wie Testvorbereitung des Athleten, Umgebungsbedingungen oder von technischen Prozeduren optimiert. Mit der Auswahl von geeigneten Testprotokollen und Beurteilungskriterien werden die in der Ausdauerdiagnostik gesteckten Ziele (Beurteilung des Niveaus und der Entwicklung des Dauerleistungsvermögens, Ableitung von Trainingsempfehlungen) in einer standardisierten, qualitativ möglichst hochwertigen Form angestrebt. Diese in den fünf SOMCs bereits implementierten und auch den Primärversorgern zur Verfügung stehenden Qualitätsstandards werden durch Swiss Olympic auf ihre korrekte Anwendung kontrolliert und bei Bedarf neuen Tendenzen der Leistungsdiagnostik angepasst.

Summary

Quality standards in the assessment of endurance performance: a common project of the Swiss Society of Sports Medicine and the Swiss Olympic Association

The Swiss Olympic Association in partnership with the Swiss Society of Sports Medicine intend to improve the quality in the assessment of athletes endurance performance. Quality assurance includes the development of test procedures that are reliable and valid. The reliability and accuracy is enhanced by the standardisation and consideration of influencing factors such as athlete preparation before testing, environmental conditions and technical procedures. Correct and identical test-protocols and interpretation guidelines hopefully increase the confidence of athletes and coaches in test results for the practical use and encourage them to compare results from different test locations. These quality standards in the assessment of endurance performance are implemented in the five Swiss Olympic Medical Centers and periodically controlled by Swiss Olympic. The test procedures may change as assessment techniques are refined and new approaches are implemented.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 49 (2), 57–66, 2001

Der heutige Spitzensport stellt auch an die sportmedizinische Betreuung von Athleten qualitativ hohe Ansprüche. Aus diesem Bedürfnis seitens der Athleten und Trainer und aus dem Bewusstsein eines verbesserungsfähigen Angebots seitens der Sportmediziner wurde 1998 durch das Komitee Spitzensport von Swiss Olympic (vorher SOV) ein Leistungsauftrag zur Qualitätssicherung der sportmedizinischen Betreuung formuliert. Ziele dieses Leistungsauftrages umfassen unter anderem eine Optimierung und Vereinheitlichung von Durchführungs- und Interpretationsprinzipien in der Leistungsdiagnostik Ausdauer. Die aus partnerschaftlicher Zusammenarbeit der fünf anerkannten Swiss Olympic Medical Centers (SOMCs: Thurgauisch-Schaffhausische Höhenklinik Davos, Rheuma- und Rehabilitationsklinik Leukerbad, Sportwissenschaftliches Institut des Bundesamtes für Sport Magglingen, Rennbahnklinik Muttens, Schulthessklinik Zürich) und aus der aktuellen internationalen Literatur zusammengestellten Protokolle, Abläufe und Interpretationsrichtlinien sollen dem Athleten eine dezentrale, vergleichbare und qualitativ hochwertige leistungsdiagnostische Betreuung gewährleisten.

In der vorliegenden Arbeit sollen diese Qualitätskriterien einschliesslich der Interpretationsstandards und der «Testphilosophie» der SOMCs etwas eingehender dargestellt werden – in der Hoffnung, damit einen breiteren Kreis von Test-applizierenden Sportmedizinern zu animieren. Im ersten Teil werden verschie-

dene Faktoren aufgeführt, welche einen signifikanten Einfluss auf das Testresultat haben können. Die daraus abgeleiteten Konsequenzen für die praktische Durchführung von Ausdauer-tests sind gewissermassen die Qualitäts-Voraussetzungen für die in der zweiten Hälfte des Artikels beschriebenen Methoden in der – vorwiegend laktatgestützten – Beurteilung des Dauerleistungsvermögens und der Ableitung von Trainingsempfehlungen. Die in kursiver Schrift oder in den Tabellen hervorgehobenen Punkte sind Teile der von SGSM und SO gemeinsam aufgestellten Qualitätsstandards, welche in den SOMCs bereits implementiert sind. Das diesem Artikel zugrunde liegende «Manual für Leistungsdiagnostik Ausdauer» kann direkt bei Swiss Olympic oder ab Mitte Sommer auch über dessen Homepage (www.swissolympic.ch) bezogen werden. Die exakten Protokolle der verschiedenen Ausdauer-tests sind im Anhang des Manuals sowie im so genannten «Rickli-Bericht» unter derselben Adresse zu finden.

I. Einflussfaktoren der Testqualität

Primäre Ziele der Ausdauerleistungsdiagnostik sind die Beurteilung des Leistungsniveaus, der Leistungsentwicklung (z.B. Beurteilung der Effektivität von Trainingsprozessen, Altersentwicklung) und die Ableitung von Trainingsempfehlungen. Im Weiteren

können Anforderungsprofile einer bestimmten Sportart oder Zielwerte für Rehabilitationsprozesse definiert werden. Damit diese Ziele erreicht werden können, muss das entsprechende Messverfahren reliabel («genau») und valide (aussagekräftig) sein. Die Genauigkeit (Reliabilität) von Messmethoden zur Bestimmung der Dauerleistungsfähigkeit ist abhängig von der technischen und der biologischen Variabilität [1, 2]. Resultate von Ausdauer tests beinhalten daher stets eine gewisse Ungenauigkeit und pendeln umso mehr um ihren «wahren» Wert, je grösser die Variabilität des Messverfahrens ist. Um zu wissen, wie genau beispielsweise eine Veränderung der Messparameter eine Veränderung des Trainingszustandes des Athleten widerspiegelt, müssen wir wissen, wie gross die Variabilität oder Ungenauigkeit der Messmethode ist. Unter standardisierten Bedingungen wurden Test-Retest-Variabilitäten bei Ausdauer tests (Laktat- und VO_2 -Messungen) von 2–6% gefunden [1, 2, 3, 4], wobei sie bei Trainierten eher tiefer sind als bei Untrainierten [5]. Eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) eines Athleten von 60 auf 62 $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ kann deshalb selbst bei einer leichten Testdurchführung nicht als Verbesserung der Ausdauer betrachtet werden (2 $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ entsprechen einer Variabilität von 3.3%).

Es liegt auf der Hand, dass für eine exakte Leistungsdiagnostik versucht werden muss, die Variabilität klein zu halten, indem alle möglichen störenden Faktoren minimiert oder wenigstens standardisiert werden.

1. Biologische Variabilität

1.1 Testvorbereitung des Athleten

Die biologische Variabilität, die normalerweise 90% der gesamten Variabilität ausmacht [1], beinhaltet alle testbeeinflussenden Faktoren, die neben der eigentlichen Ausdauerleistungsfähigkeit direkt vom Athleten ausgehen. Die Testvorbereitung des Athleten nimmt dabei den grössten Stellenwert ein. Grundsätzlich sollte, um die beeinflussenden Faktoren zu minimieren, der Athlet immer gleich vorbereitet zu den Leistungstests erscheinen. Im Idealfall ist die Vorbereitung gleich wie auf einen Wettkampf. In der Praxis ist man aber oft mit dem Problem konfrontiert, dass Spitzensportler ihren Trainingsrhythmus nur ungern unterbrechen. Es ist daher wichtig, dass im Vorfeld eines Leistungstests einige Punkte bezüglich der Testvorbereitung des Athleten beachtet werden:

1.1.1 Körperliche Vorbelastung

Die körperliche Vorbelastung in den letzten Tagen vor dem Leistungstest kann einen wesentlichen Einfluss auf die Testergebnisse haben. Die Trainingsvorbelastung kann sowohl durch die allgemeine Ermüdung als auch durch eine Entleerung der Glykogenspeicher zu einer verminderten Leistung im Test führen. Bei Ausdauerleistungstests mit Laktatmessung wird das Laktatverhalten u.a. von der Verfügbarkeit des Substrats (Glykogen) bestimmt [6]. Körperliche Belastungen vor einem Ausdauer test können die Substratspeicher leeren und somit zu veränderten Laktatwerten führen [6]. Insbesondere intensive Belastungen (Intensitäten $> \text{VO}_{2\text{max}}$, Intervalltraining, einige Sportsportarten) führen schon nach kurzer Zeit (60 Min.), in einer mittleren Intensität erst bei längerer Trainingsdauer (> 120 Minuten) zu einer Entleerung der Glykogenspeicher [3, 7, 8]. Ein lockeres Training führt erst bei mehrstündiger Trainingsaktivität zu einer Glykogenentleerung mit Einfluss auf das Laktatverhalten [3]. Eine dadurch verminderte Laktatproduktion führt nicht nur zu tieferen submaximalen (Baseline) oder maximalen Laktatwerten, sondern führt zu falsch hohen Schwellenleistungen bei fixen (z.B. 4 mmol/l) Laktatschwellen [3, 6]. Neben dem Einfluss auf die Glykogenspeicher und damit auf das Laktatverhalten kann auch die körperliche und mentale Ermüdung nach körperlicher Vorbelastung oder Wettkämpfen zu einer Reduktion der Leistung v.a. im Maximalbereich (Maximalleistung, $\text{VO}_{2\text{max}}$, maximale Herzfrequenz usw.) führen.

1.1.2 Ernährung

Die Füllung der Glykogenspeicher kann aber auch vom Ernährungsverhalten des Athleten abhängen. Diätmassnahmen, die einen Energieanteil von nur ca. 30% oder weniger Kohlenhydrat haben, führen zu leeren Glykogenspeichern [9]. Dazu zählen Trennkost, Diät zur Gewichtsreduktion, Fettdiät bei Beginn innerhalb der letzten 4 Tage vor dem Test. Aber auch durch eine Hemmung der Gluconeogenese durch Alkohol am Vorabend des Tests kann die Verfügbarkeit von Glykogen vermindert sein [10, 11]. Durch einen Energieanteil von mehr als 70% Kohlenhydrat (Carboloading) werden dagegen Glykogenspeicher gefüllt [12]. Die von Ernährungsmassnahmen im Vorfeld eines Leistungstests abhängige Verfügbarkeit von Glykogen während des Tests beeinflusst – gleich wie die körperliche Vorbelastung – die Laktatkonzentration, die Leistung bei einer bestimmten Laktatkonzentration, die Maximalleistung und den respiratorischen Quotienten wesentlich [9, 13, 14]. Bei einem Fahrradergometerstufentest war beispielsweise der Unterschied der Laktatkonzentration bei einer bestimmten Belastungsstufe zwischen KH-reicher und KH-armer Diät im Anfangsbereich ca. 0.3 mmol/l , im Maximalbereich ca. 1.5 mmol/l , was zu einer Reduktion der 4- mmol/l -Leistung von ca. 10% (ausgedrückt in % von $\text{VO}_{2\text{max}}$) führte. Der respiratorische Quotient in Ruhe war bei der KH-reichen Diät signifikant höher (0.9 versus 0.74 bei KH-armer Diät) [9].

Neben dem Einfluss des Füllungszustandes der Glykogenspeicher kann auch die Höhe der Blutglucose beim Test insbesondere die Laktatkonzentration beeinflussen. Durch die Einnahme von 75 g Glucose 60 Minuten vor Testbeginn, was in etwa einem Frühstück entspricht, waren die Laktatwerte schon in Ruhe um 0.3 mmol/l , im Maximalbereich um ca. 2 mmol/l erhöht [13]. Alkohol im Vorfeld eines Tests hat nicht nur, wie bereits erwähnt, einen Einfluss auf die Glykogenspeicher, sondern kann bei gleichen Belastungsintensitäten zu höheren Herzfrequenzen und Borgwerten führen [11]. Der Einfluss von Koffein auf die Laktatproduktion ist nicht eindeutig. Dagegen kann bei Mengen ab ca. 6 dl Kaffee die Ventilation bei gleichem $\text{VO}_{2\text{max}}$ gesteigert werden [15, 16]. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass auch Kaffeentzug bei Gewöhnten zu ähnlichen Reaktionen führen kann [15, 16].

1.2 Konkrete Empfehlung zur Testvorbereitung

Eine Standardisierung all dieser Faktoren im Vorfeld eines Leistungstests wäre ein zu grosser Einschnitt in den Alltag von Athleten und ist in der Praxis nicht umsetzbar. Gleichwohl müssen aber aus den oben erwähnten Gründen einige Punkte bei der Testvorbereitung eingehalten werden:

Wurde in den letzten 48 Stunden vor dem Test ein Wettkampf bestritten, sollte auf einen Test verzichtet werden. Trainingsumfang und -intensität sollten in den letzten 48 Stunden möglichst gleich sein, insbesondere soll auf intensive Trainings am Vortag verzichtet werden. Bezüglich gewohnter Ernährung soll keine Änderung vorgenommen werden. Es ist vor allem darauf zu achten, die letzte Nahrung vor dem Test (Frühstück, Kaffee, Flüssigkeitsmenge) wie gewohnt und immer gleich einzunehmen. Spezielle Diätmassnahmen (Carboloading, Trennkost, Diät zur Gewichtsreduktion, Fettdiät) müssen nicht unterbrochen werden, sollen aber wie die anderen Faktoren, die ein Testresultat signifikant beeinflussen können (siehe Tab. 1) jedes Mal erfragt und dokumentiert werden [17].

Am einfachsten werden diese Faktoren mit Hilfe eines Fragebogens direkt vor dem Test erfasst. Der Fragebogen zur Testvorbereitung im «Manual für Leistungsdiagnostik Ausdauer» beinhaltet die wesentlichen Faktoren und kann ebenfalls unter www.swissolympic.ch auf dem Internet gefunden werden.

1.3 Andere Einflussfaktoren

Andere beeinflussende Faktoren sind einfacher kontrollierbar und sollten daher immer standardisiert werden (Tab. 2).

- Wettkampf weniger als 48 h vor dem Test
- harte/intervallartige Trainings von > 60 Min. Dauer in den letzten 24 h vor dem Test
- Training mit mittlerer Intensität von > 120 Min. Dauer in den letzten 24 h vor dem Test
- Training mit lockerer Intensität von mehreren Stunden in den letzten 48 h vor dem Test
- kohlenhydratarme Diät (Trennkost, Fettdiät Beginn < 4 Tg., Gewichtsreduktionsdiät)
- Kohlenhydrat-Diät (> 70% KH)
- Alkoholkonsum am Vorabend (> 1 Liter Bier, > 0.5 dl Wein, > 1 Drink Spirituosen)
- Nüchternheit (keine Mahlzeit > 3 h)
- Krankheit in den letzten 14 Tagen
- ungewöhnlicher Testzeitpunkt (Vormittag/Nachmittag)

Tabelle 1: Beeinflussende Faktoren in der Testvorbereitung des Athleten.

Lufttemperatur:	Minimum: 18 °C Maximum: 27 °C Falls die Raumtemperatur reguliert werden kann: 22 °C
Luftfeuchtigkeit	Minimum: 30% Maximum: 60% Falls die Luftfeuchtigkeit reguliert werden kann: 40%
Werden diese Grenzwerte überschritten, ist ein Vermerk auf der Auswertung notwendig.	

Tabelle 2: Atmosphärische Teststandards der SOMCs.

1.3.1 Umgebungsbedingungen

Es wurde gezeigt, dass die Umgebungstemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung und auf Blutlaktatwerte (tiefere Werte bei tieferen Temperaturen und umgekehrt) im höheren submaximalen Bereich haben kann. Bei einem Fahrradstufentest war bei einer Umgebungstemperatur von 10 °C die Herzfrequenz ca. 5–10 Schläge/Minute, das Laktat im intensiven Bereich ca. 0.3–1 mmol/l tiefer als bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C [18]. Eine weitere Umweltbedingung, die allerdings nicht beeinflusst werden kann, dafür aber in der Testinterpretation einzubeziehen ist, ist die Höhe über Meer. Bei der Interpretation von Testvergleichen, die auf unterschiedlicher Meereshöhe (z.B. Davos und Zürich) stattfinden, muss berücksichtigt werden, dass moderate Höhenbedingungen (ca. 2000 m) bei submaximalen Belastungen zu höheren Laktatwerten führen. Bei Trainierten war der Unterschied in den ersten Stufen eines Fahrradergometertests 0.5–1 mmol/l und stieg mit zunehmender Belastung auf 1.5 bis 2.5 mmol/l an. Die Ruhewerte und die maximal erreichten Laktatwerte waren jedoch fast gleich [19]. Ebenfalls reduziert ist die VO₂max (ca. 10% bei Trainierten) auf 2000 m Höhe. Bei Ausdauertrainierten führen moderate Höhenbedingungen schon bei submaximalen Belastungen zu tieferen VO₂-Werten [19, 20].

1.3.2 Tageszeitpunkt

Einige physiologische Variablen zeigen einen circadianen Verlauf (z.B. Rektaltemperatur, Körpergewicht, Herzfrequenz), der teilweise auch unter Belastung gefunden werden kann [21]. Allerdings ist oft unklar, ob die Änderungen nicht eher auf exogenen Änderungen im Tagesverlauf (Nahrungsaufnahme, Ruhepausen usw.) beruhen [22]. Im Weiteren sind die Aussagen teilweise widersprüchlich und weitere Forschung scheint notwendig zu sein [21, 22]. In einer Schweizer Studie konnte gezeigt werden, dass

zumindest ein unterschiedlicher Testzeitpunkt innerhalb eines Vormittages die physiologischen Messwerte eines maximalen Lauftests auf dem Laufband auch bei gut ausdauertrainierten Personen nicht signifikant beeinflusst [23].

1.3.3 Menstruationszyklus

Die zyklischen endogenen Änderungen der Hormonkonzentrationen während eines Menstruationszyklus beeinflussen verschiedene metabolische, thermoregulatorische, cardiovaskuläre und respiratorische Parameter [24]. Beispielsweise scheinen während der Lutealphase (erhöhte Progesteronkonzentration) bei bestimmten Belastungen die Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden erhöht zu sein, obwohl dadurch keine systematische Änderung der Leistungsfähigkeit gefunden wurde. Ebenso wurden während der Lutealphase ein tieferer respiratorischer Quotient und tiefere Laktatwerte durch einen erhöhten Fettmetabolismus gefunden. Die Ausdauerfähigkeit, gemessen durch die maximale Sauerstoffaufnahme und submaximale Belastungsantwort, scheint allerdings während eines normalen Menstruationszyklus nicht verändert zu sein [24]. Die unterschiedlichen Hormonpräparate zur Kontrazeption könnten zwar je nach Zusammensetzung unterschiedliche Wirkungen auf einzelne physiologische Parameter haben. Die Frage, ob orale Kontrazeptionspräparate die Leistungsfähigkeit erhöhen oder vermindern, ist aber immer noch unbeantwortet. Noch mehr Forschung auf diesem Gebiet scheint notwendig zu sein [24].

1.3.4 Aufwärmen

Das Aufwärmen direkt vor dem Test bringt die involvierten biologischen Systeme in Gang und hilft dem Athleten, sich ans Testgerät zu gewöhnen. Deshalb sollte sich der Athlet mindestens 5 Minuten bei niedriger Intensität aufwärmen. Zu hohe Intensitäten können schon vor Testbeginn zu erhöhten Laktatwerten führen und die ersten Laktatwerte eines Stufentests verändern. Bei genügend grosser Anzahl Stufen im submaximalen Bereich können bereits vor dem Testbeginn erhöhte Laktatwerte wieder abgebaut werden, sodass die 4-mmol/l-Leistung nicht beeinträchtigt werden sollte. Diese vorgängig erhöhten Werte dürfen aber 3 mmol/l nicht übersteigen, wenn die Schwellenleistung unbeeinflusst bleiben soll [3, 25].

2. Technische Variabilität

Die technische Variabilität ist im Normalfall viel geringer und lässt sich bei sorgfältiger Testdurchführung kontrollieren. Technische Eigenschaften von Messgeräten (Laktatanalyse, Sauerstoffmessung usw.) wie Eich-Toleranzbereich, Messgenauigkeit oder Messstabilität müssen berücksichtigt werden und sind für den Einsatz bei Spitzenathleten noch zu definieren.

Die Messgeräte sind gemäss den Richtlinien des Geräteherstellers zu bedienen. Insbesondere ist auf eine exakte und regelmässige (wenn möglich vor jedem Test) Eichung zu achten. Nicht zu unterschätzen sind die Testinstruktionen an den Athleten, insbesondere bei erstmaliger Testdurchführung [26, 27]. Nicht selten führen Ungenauigkeiten bei der eigentlichen Testdurchführung (z.B. Vermischung der Laktatprobe mit Schweiß, undichte Masken bei VO₂-Messungen, Ablesefehler usw.) zu falschen Testresultaten. Da Hinweise auf eine Abhängigkeit der Laktatkonzentration von der Entnahmestelle (Ohrläppchen, Finger) vorliegen, sollte die Entnahmestelle immer gleich sein und auf der Auswertung vermerkt sein. Blutentnahmen am Finger führen zu höheren Laktatkonzentrationen als am Ohrläppchen [28, 29, 30]. Bei einer Intensität von ca. 75% VO₂max war der Unterschied sowohl auf dem Laufband wie auch auf dem Fahrradergometer ca. 1 mmol/l, bei 90% VO₂max 0.4 mmol/l [28].

II. Möglichkeiten und Grenzen der gebräuchlichsten ausdauerdiagnostischen Testverfahren

Die Möglichkeiten der Diagnostik des Dauerleistungsvermögens sind vielfältig. Von der Beurteilung der Lauf-/Fahrzeit für eine bestimmte Strecke (z.B. 3000 m Laufen, 2000 m Rudern usw.) über die Messung der Herzfrequenz oder der Laktatkonzentrationen bei verschiedenen Intensitäten bis zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max) werden unterschiedlich aufwendige und aussagekräftige Verfahren in der Praxis angewendet. Bei Athleten wird das Dauerleistungsvermögen meist in Labortests durch Laktattests oder VO₂-Messung bestimmt, wobei in der physiologischen Fachliteratur die VO₂-Messung als Goldstandard gilt, vorab aus Gründen der Tradition und damit der Vergleichbarkeit [31]. Bei Laktattests wird mittels Messungen der kapillären Laktatkonzentration bei stufenförmig ansteigenden Intensitäten ein so genannter Schwellenwert bestimmt. Die gemessene Laktatkonzentration widerspiegelt das Wechselspiel zwischen Laktatproduktion – als Ausdruck einer steigenden anaeroben Glykolyserate vorwiegend der Typ-IIb-Muskelfasern – und Laktatabbau – hauptsächlich in den Skelettmuskelzellen (v.a. Typ I), sowie Herzmuskel und Leberzellen [32, 33]. Bei der Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme werden durch unterschiedliche, teilweise apparativ aufwendige Methoden primär die sich mit zunehmender Belastung verändernden CO₂- und O₂-Konzentrationen der ausgeatmeten Luft gemessen. Die dabei errechnete aufgenommene Sauerstoffmenge (Liter/Minuten) steigt mit zunehmender Belastungsintensität an und ist proportional zum Sauerstoffverbrauch in der arbeitenden Muskulatur [34]. Der maximale Sauerstoffverbrauch in der Muskulatur und damit die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) ist umso höher, je mehr Leistung (zumindest teilweise) durch Sauerstoff gedeckt werden kann. Diese Leistung und damit VO₂max ist bei Ausdauerathleten grösser als bei Nichttrainierten, da durch Ausdauertraining alle am Sauerstofftransport (z.B. Atmung, Gasaustausch, Herzminutenvolumen, Hämoglobinnmenge, Kapillarisierung) oder -verbrauch (Enzymaktivität, Mitochondriendichte) beteiligten Mechanismen und Strukturen – in unterschiedlichem Ausmass – gefördert werden [33, 34, 35].

1. Beurteilung der Aussagekraft von Testmethoden

Welche dieser beiden Methoden (VO₂max und Laktattests) besser zur Charakterisierung des Dauerleistungsvermögens und der Trainingsempfehlungen geeignet ist, soll nachfolgend kurz erläutert werden. Die Aussagekraft (Validität) von Ausdauertests lässt sich u.a. daran messen, wie gut ein Testergebnis mit einer Ausdauerwettkampfleistung korreliert, indem ein Athlet mit einem guten Ausdauerstestergebnis ebenfalls eine gute Wettkampfleistung erzielen sollte. Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass VO₂max-Werte sowohl bei trainierten als auch bei untrainierten Läufern und Radfahrern schlechter mit Wettkampfleistungen über 3 bis 42 km korrelierten als die Leistung bei einer fixen Laktatkonzentration (z.B. 4 mmol/l) oder bei einer anaeroben Schwellenleistung [32, 36, 37, 38, 39]. Im Weiteren sollte eine Testmethode sensitiv auf Trainingsreize sein, d.h. eine durch Training verbesserte Dauerleistungsfähigkeit sollte sich auch in einem besseren Testergebnis niederschlagen. Veränderungen des Dauerleistungsvermögens von Untrainierten gehen zwar meist auch mit einer Veränderung der VO₂max einher [33]. Es zeigte sich aber, dass insbesondere bei Trainierten die Leistungen bei einer bestimmten Laktatkonzentration oder bei einer Schwelle besser auf Trainingsreize reagierten als die VO₂max [40, 41]. Wie später noch erläutert wird, eignet sich die Laktatdiagnostik auch besser zur Ableitung von Trainingsempfehlungen.

Aus diesen Überlegungen wird die Laktatdiagnostik in der routinemässigen Ausdauerleistungsdiagnostik favorisiert. VO₂-Messungen werden prinzipiell nur bei Ausdauersportarten angewendet, bei denen grosse Muskelmassen an der Bewegung betei-

ligt sind und aus Tradition VO₂-Messungen durchgeführt werden, sowie bei wissenschaftlichen Fragestellungen.

2. Laktatdiagnostik

Die Laktatdiagnostik beruht auf der belastungsabhängigen Höhe der Laktatkonzentration im Blut als Ausdruck der metabolischen Antwort des Muskels, welche je nach Niveau des Dauerleistungsvermögens unterschiedlich ausfällt. Als genauestes Beurteilungskriterium des Dauerleistungsvermögens in der Laktatdiagnostik wird gemeinhin die Leistung beim so genannten maximalen Laktat-Steady-State (maxLaSS) angeschaut [32, 33, 42]. Sie ist die höchste Belastung, bei der Laktatproduktion und -elimination gerade noch im Gleichgewicht sind (d.h. die Blutlaktatkonzentration steigt während 20 Min. um nicht mehr als 1 mmol/l an; jede höhere Belastung hat eine zeitabhängige Akkumulation von Laktat zur Folge [3, 33, 43]). Die Leistung beim maxLaSS wird auch als anaerobe Schwelle bezeichnet [33]. Je höher die Leistung beim maxLaSS ist, desto besser ist das Dauerleistungsvermögen, unabhängig von der Höhe der Laktatkonzentration an diesem Gleichgewicht. Um in einem Testverfahren die Leistung beim maxLaSS bestimmen zu können, ist aber ein grosser zeitlicher Aufwand notwendig (2–5 mind. 20 Min. dauernde Testabläufe an unterschiedlichen Tagen) [33, 42].

Anaerobe Schwelle	Leistung (km/h oder Watt), die beim maximalen Laktat-Steady-State über einer mind. 20 Minuten dauernden Belastung aufrechterhalten wird.
Beurteilung der Ausdauerleistung	
4-mmol/l-Leistung	Leistung (km/h oder Watt), die bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l in einem Laktatstufentest erzielt wird.
Maximalleistung	Maximal erzielte Leistung (km/h oder Watt) in einem Laktatstufentest.
Trainingsempfehlung	
Individuelle Laktatschwelle	Anhand des Verhältnisses von 4-mmol/l-Leistung zur Maximalleistung, 4-mmol/l-Herzfrequenz zur maximalen Herzfrequenz und anhand des Borgwertes nach oben oder unten korrigierte 4-mmol/l-Leistung.

Tabelle 3: Begriffe der Laktatdiagnostik.

2.1 Laktatstufentest der SOMC

Wegen des grossen Aufwandes zur Bestimmung des maxLaSS wurde versucht, in einem kürzeren Testverfahren einen Leistungswert zu bestimmen, welcher der Leistung bei maxLaSS entspricht. Es konnte gezeigt werden, dass Messwerte, die in einem Stufentest mit kürzerer Stufendauer erhoben wurden, gut mit dem maxLaSS korrelieren [32]. Dabei hat sich das Testprotokoll mit stufenförmiger Belastungssteigerung etabliert. Unterschiedlich werden dagegen Stufendauer und Belastungssteigerung zwischen den Stufen gewählt. Die Stufendauer hat einen wesentlichen Einfluss auf die gemessenen Laktatkonzentrationen [3, 25]. Bei einer längeren Stufendauer entspricht die gemessene Blutlaktatkonzentration eher der effektiven Laktatkonzentration bei Langzeitbelastungen, da genügend Zeit zur Diffusion des anfallenden Laktats aus den Muskelzellen in die Blutbahn besteht. So werden nach 5 Minuten Stufendauer ca. 90% des Laktatgleichgewichts erreicht, nach

2 Minuten sind es dagegen erst gut 60% [3]. Bei kurzer Stufendauer (< 3 Minuten) wird die Laktatproduktion folglich unterschätzt und die Leistung bei einer bestimmten Laktatkonzentration überschätzt [3, 6, 32, 44]. Beispielsweise führen Laktatmessungen beim Conconitest, bei dem die Stufendauer im Verlaufe des Tests immer kürzer wird, aus diesem Grund zu falsch hohen «Schwellenwerten» [45] und sollten nicht zur Trainingssteuerung gebraucht werden. Tests mit langer Stufendauer sind in der täglichen Routine wegen des Zeitaufwandes weniger praktikabel. Zudem erhält man weniger Messpunkte der Laktatleistungskurve im intensiven Bereich, was für die Interpretation einen Nachteil darstellt [25]. Resultate von Ausdauerests sind nur vergleichbar, falls das gleiche Protokoll zugrunde liegt [3, 6]. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen der Qualitätssicherung das Protokoll beim routinemässigen Laktatstufentest auf dem Laufband und dem Fahrradergometer auf 3-Minuten-Stufen und 30 Sekunden Pause zur Laktatentnahme (keine Pause beim Fahrradergometertest) festgelegt. Dieses Protokoll ist auch international üblich. Die Belastungsanstiege zwischen den einzelnen Stufen sind in der Tabelle 4 aufgeführt. Für einzelne Sportarten existieren sportartspezifische Testprotokolle (z.B. Rudern, Schwimmen) [70].

Stufendauer:	3 Minuten (30 Sekunden Pause zwischen Stufen zur Laktatentnahme mit Ausnahme des Fahrradergometertests)
Stufenerhöhung:	Laufband: 1.8 km/h (entspricht 0.5 m/s) ohne Steigung Fahradergometer: 30 Watt

Tabelle 4: Grundprinzipien des Routine-Testprotokolls der SOMCs.

2.2 Sportartspezifische Testgeräte

Die Wahl des Testgerätes ist für die Aussagekraft eines Laktatstufentests mitentscheidend. Es wurde gezeigt, dass Testergebnisse auf dem sportartspezifischen Testgerät (Läufer auf dem Laufband, Radfahrer auf dem Fahrradergometer) sensitiver auf erreichte Verbesserungen der Leistungsfähigkeit reagierten [46]. Ebenfalls sind Trainingsempfehlungen, die anhand von Testresultaten auf einem sportart- oder trainingsspezifischen Testgerät ermittelt wurden, genauer und effizienter.

Deshalb sollten Leistungstests in einer möglichst sportartspezifischen Testart durchgeführt werden. Bei Sportarten, für die keine sportarttypischen Testgeräte existieren (z.B. Eishockey), sollte auf die in der Sportart involvierten Muskelregionen geachtet werden. Werden bei komplexen Sportarten Ausdauerests zur Überprüfung der Effektivität von Grundagentrainings eingesetzt, sollte die Testart der am häufigsten durchgeführten Trainingsform entsprechen.

2.3 Laktatgestützte Beurteilung des Dauerleistungsvermögens

Es besteht eine verwirrende Vielzahl von Begriffen und Methoden, mit welchen versucht wird, die Ausdauerleistung anhand der Laktatantwort auf eine definierte Belastung zu beurteilen [3, 6, 42]. Die einfach und dadurch genau und objektiv bestimmbar Parameter 4-mmol/l-Leistung [36, 44, 47, 48, 49] und Maximalleistung [50, 51, 52] haben signifikante ($r = 0.85-0.97$) Beziehungen mit der Wettkampfleistung über unterschiedliche Ausdauerdistanzen und eignen sich deshalb zur Beurteilung des Dauerleistungsvermögens. Die 4-mmol/l-Leistung, die manchmal fälschlicherweise auch als «anaerobe Schwelle» bezeichnet wird, kann zwar für Athleten unterschiedlichen Niveaus oder unterschiedlicher Sportarten metabolisch Unterschiedliches bedeuten [3, 53, 58]. Sie eignet sich aber wegen der einfachen Reproduzierbarkeit und dem erwähnten Bezug zur Wettkampfleistung als intraindividuelle Vergleichsgrösse bei wiederholten Leistungstests. Allerdings muss bei der Bestimmung von Leistungen an einer fixen Laktat-

konzentration stets berücksichtigt werden, dass diverse Faktoren die Laktatproduktion beeinflussen können und so zu einer Über- oder Unterschätzung der Leistung führen [6, 9, 13, 14]. Eine möglichst standardisierte Testvorbereitung und eine Dokumentation der beeinflussenden Faktoren sind deshalb essenziell (siehe 1.1 Testvorbereitung des Athleten). Die Maximalleistung hat trotz der Abhängigkeit von der anaeroben Komponente und der Motivation einen überraschend guten Bezug zu Wettkampfleistungen. Um jedoch sicher zu sein, dass die Maximalleistung auch wirklich der maximalen Leistung entspricht, muss eine maximale Ausbelastung des Athleten gezielt angestrebt und kontrolliert werden. Durch eine Überprüfung einfacher Kriterien kann dies sichergestellt werden (Tab. 5).

1. Eindruck des Testleiters
2. Borg ≥ 18
3. Erreichen der maximalen Herzfrequenz, falls diese aus einem Vortest bekannt ist

Auf dem Auswertungsprotokoll muss vermerkt werden, ob die Ausbelastung maximal war.

Tabelle 5: Kriterien für die maximale Ausbelastung einer Testperson.

Neben der aeroben Leistungsfähigkeit (anaerobe Schwelle) ist auch die aerobe Kapazität (maximale Dauer, während der körperliche Aktivität im Bereich der anaeroben Schwelle ausgeführt werden kann) wichtig für Ausdauerathleten, welche über eine Stunde dauernde Wettkämpfe bestreiten [33, 42]. Die Ausdauerkapazität, die u.a. auch von der Fähigkeit der Nutzung des Fettmetabolismus und der Laufökonomie abhängt [42], kann in einem Laktatstufentest nicht direkt beurteilt werden.

2.4 Beurteilung der individuellen Änderung des Dauerleistungsvermögens

Ein wichtiger Aspekt der Leistungsdiagnostik ist die Erfassung von Veränderungen des Dauerleistungsvermögens. Dadurch können nicht nur Trainingsmethoden auf ihre Effektivität überprüft und entsprechend angepasst, sondern auch die langfristige Entwicklung von Athleten dokumentiert werden. Als Beurteilungsparameter werden im submaximalen Bereich die Laktatleistungskurve (inkl. 4-mmol/l-Leistung), die Borgwerte (nach der von 6–20 reichenden, das subjektive Belastungsempfinden wiedergebenden Borgskala) und die Herzfrequenzen einbezogen (Abb. 1).

Dabei bedeuten tiefere Werte bei gleicher Belastungsintensität generell eine Verbesserung der Ausdauerleistung. Die Veränderung ist aussagekräftiger, falls alle 3 Parameter in die gleiche Richtung zeigen. Der Veränderung der Laktatleistungskurve ist die grösste Priorität beizumessen, da Borgwerte (z.B. Müdigkeit) und

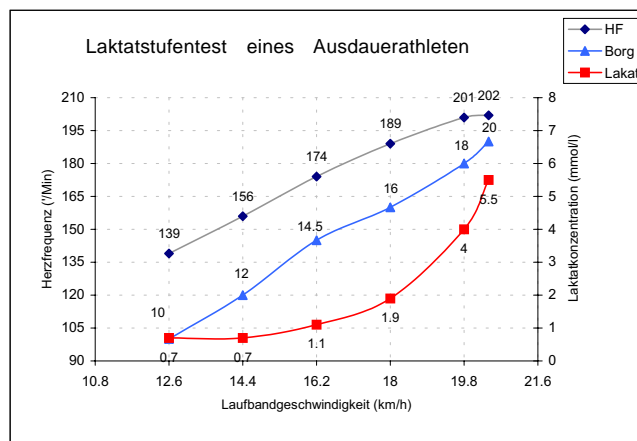


Abbildung 1: Messresultate (Laktatkonzentration [mmol/l], Herzfrequenz [/Min.] und Borgwerte) eines Laktatstufentests bei einem Ausdauerathleten.

Herzfrequenz (z.B. Flüssigkeitsstatus, Psyche) grösserer Variabilität unterworfen sind. Die Beurteilung der Veränderungen im maximalen Leistungsbereich ist ebenfalls wichtig. Obwohl die maximale Herzfrequenz durch Ausdauertraining in einem Zeitrahmen von 1–2 Monaten auch bei Ausdauertrainierten um ca. 3–7% gesenkt wurde [54], sollte mit der Interpretation von Veränderungen der maximalen Herzfrequenz vorsichtig umgegangen werden [54]. Um Veränderungen quantifizieren zu können, müssen die Änderung der 4-mmol/l-Leistung und der Maximalleistung in km/h oder Watt betrachtet werden. Um zu wissen, wie stark eine Veränderung dieser Messwerte einer Veränderung des Dauerleistungsvermögens entspricht, muss berücksichtigt werden, dass die Messwerte in der Laktatdiagnostik selbst bei optimaler Testdurchführung einer vom Trainingszustand unabhängigen technischen und biologischen Variabilität von 2–3% unterliegen [5, 43, 44]. Insbesondere bei Athleten, die schon ein sehr hohes Ausdauer-niveau haben, sind trainingsbedingte Veränderungen klein. Es ist deshalb wichtig zu wissen, wann von einer praxisrelevanten (d.h. durch Training, Trainingspause oder andere bekannte Gründe verursachten) Änderung ausgegangen werden kann. Die in der Tabelle 6 angegebenen Werte entsprechen einer Änderung von ca. 2.5–5% in Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe des Messwertes.

Folgende Messunterschiede zwischen 2 Tests werden als praxisrelevant (durch Training oder Trainingspause verursacht oder durch andere bekannte Gründe) angesehen und sollten als solche interpretiert werden.	
Maximale Leistung und 4-mmol/l-Leistung	
Laufband:	± 0.5 km/h
Fahrrad, Ruderergometer:	± 0.25 Watt/kg; 15 Watt
Kanu:	± 0.08–0.17 Watt/kg; 5–10 Watt
Falls andere Messparameter (Hf, Borg) eine Veränderung in die gleiche Richtung aufweisen, können auch geringere Differenzen als Effekte betrachtet werden:	
Laufband:	± 0.3 km/h
Fahrrad, Ruderergometer:	± 0.08–0.17 Watt/kg; 5–10 Watt
Kanu:	± 0.05–0.08 Watt/kg; 3–5 Watt
Herzfrequenz ± 3 Schläge/Min. Wird korrigiert nach Schwankung der maximalen Herzfrequenz. Nur in Kombination mit anderen Messparametern.	

Tabelle 6: Praxisrelevante Veränderungen von Messwerten.

Eigentlich müssten die kleinsten interpretierbaren Veränderungen anhand der Messgenauigkeit für jedes Testcenter ermittelt werden. In Australien müssen beispielsweise vom Australian Institute of Sport (AIS) anerkannte Testorte den Nachweis ihrer Messgenauigkeit erbringen, um dann die Resultate von Leistungstests entsprechend einordnen zu können [55].

2.5 Testhäufigkeit

Der minimale zeitliche Abstand zwischen 2 Ausdauer-tests sollte nicht weniger als (4–)6 Wochen betragen, da erfahrungsgemäss in kürzeren Intervallen die biologischen Effekte einer Ausdauertrainingsphase in einem Leistungstest kaum messbar sein dürften.

Bei Ausdauerathleten machen mehr als 6 Ausdauer-tests/Jahr kaum Sinn. Für Nichtausdauersportarten reichen in der Regel 2 Tests/Jahr (z.B. vor und nach Aufbau-phase).

2.6 Ableitung von Trainingsempfehlungen

Mit welcher Intensität wie oft und wie lange trainiert werden soll, ist Gegenstand der Trainingswissenschaft und soll hier nicht weiter ausgeführt werden. Entscheidende Grundlage für die Trainingsplanung ist aber die Kenntnis der individuellen Belastungsintensitäten.

Als Bezugsgrösse für Trainingsempfehlungen gehen die SOMCs prinzipiell von der Belastungsintensität (in %) bei einer individuellen Laktat-Schwelle aus und nicht von der Herzfrequenz oder von VO_2max . Diesen Belastungsintensitäten (z.B. mittlere Intensität: 80–90% der Laktatschwellenleistung) werden dann die zur Trainingssteuerung notwendigen entsprechenden Herzfrequenzbereiche (z.B. 160–170'/Min.) zugeordnet.

Es wurde mehrfach gezeigt, dass Trainingsintensitäten, die auf der Basis von %-Anteilen von VO_2max (auf Grund biologischer Variabilität, Messmethodik, fehlender Kenntnis der prozentualen Ausnützung) oder der maximalen Herzfrequenz (grosse individuelle Schwankung) resp. der Laktatschwellen-Herzfrequenz (unterschiedlicher Steigung des Herzfrequenzanstieges) berechnet wurden, individuell betrachtet bei gleichem VO_2max zu verwirrend unterschiedlichen Laktatkonzentrationen und Trainingsintensitäten führen [1, 56, 57]. Zur Formulierung der Trainingsempfehlung muss daher von einer Belastungsintensität ausgegangen werden, die die individuelle Variation der Laktatantwort berücksichtigt. Eine fixe 4-mmol/l-Schwelle kann unter Umständen die effektive anaerobe Schwelle (maximales Laktat-Steady-State) unter- oder überschätzen. Die individuelle Laktatantwort ist vom Trainingszustand [58, 59], der Testart (involvierte Muskelmasse) [60], aber auch von der Ernährung [9, 13, 14] resp. körperlichen Vorbelastung [3, 6] und der genetischen Disposition (z.B. in Form stark differierender Muskelfaserverteilung) abhängig. Dadurch würde eine zu intensive resp. zu lockere Trainingsintensität vorgegeben. Deshalb ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Schwellenkonzepten entstanden [3, 6, 32, 42]. Schon alleine die Vielzahl an sich und die dabei verwendeten, teilweise rein geometrischen, ohne physiologische Erklärung entstandenen Methoden zeigen die Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit, das maximale Laktat-Steady-State in kurzen Testverfahren bestimmen zu können. Die nachfolgend erläuterte Methode zieht in die Bestimmung der Ausgangsgrösse für Trainingsempfehlungen neben der Laktatantwort im Gegensatz zu den meisten Schwellenmodellen andere beim Test mitgemessene Grössen wie Herzfrequenz und subjektives Belastungsempfinden (Borgskala) mit ein (Abb. 1). Es werden dabei festgestellte Phänomene im Verhalten der beschriebenen Messgrössen (Laktatantwort, Herzfrequenz und subjektives Belastungsempfinden) empirisch zusammengefasst. Allerdings wurde bisher die *lege artis* zu fordernde Überprüfung der Reliabilität und Validität dieser Methode noch nicht durchgeführt.

Grundsätzlich wird von der Leistung bei einer fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l ausgegangen, welche in etwa dem Mittelwert des maxLaSS bei einer bezüglich Ausdauer-niveau heterogenen Sportlergruppe entspricht [3]. Ausdauertrainierte haben u.a. wegen einem höheren Anteil an Typ-I-Fasern, welche über verminderte Laktatproduktion und erhöhten Abbau zu einem tieferen maxLaSS führen, ihre anaerobe Schwelle in der Regel unterhalb von 4 mmol/l, typischerweise bei 2.5–3 mmol/l Laktat [58, 59]. Bei Nichtausdauertrainierten (z.B. Schnellkraftathleten, Untrainierte) ist die anaerobe Schwelle wegen rascherer Rekrutierung von Typ-II-Fasern (höherer Anteil und schlechtere Laufökonomie) und verminderter Laktatelimination häufig eher bei 5–6 mmol/l [3, 58]. Würde generell von einer anaeroben Schwelle bei 4 mmol/l Laktat ausgegangen, wären die abgeleiteten Trainingsintensitäten folglich für Ausdauerathleten zu hoch und für Nichtausdauerathleten zu tief. Einen weiteren Hinweis, dass die Leistung bei 4 mmol/l für die Trainingsempfehlung nach unten zu korrigieren ist, gibt auch das maximale Laktat (in der Regel erreicht die Laktatkonzentration im Blut 2–5 Minuten nach Abbruch einer vollen Belastung das Maximum), welches bei Ausdauertrainierten tief (< 6–8 mmol/l) sein kann. Zusätzliche Hinweise, dass die anaerobe Schwellenleistung unter der 4-mmol/l-Leistung liegt, bilden eine kleine Differenz der 4-mmol/l-Leistung zur Maximalleistung (< 1 km/h resp. 20 Watt) sowie der Herzfrequenz bei 4 mmol/l zur maximalen Herzfrequenz (< 8–10 Schläge/Min.) [58]. Bei Stufentests mit 3 Min. Stufendauer liegt die Leistung an der anaeroben Schwelle bei ca. 80–85% der Maximalleistung und die Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle ca. 10–20 Schläge unterhalb der maximalen Herzfrequenz, was etwa 90–95% der maxima-

len Herzfrequenz entspricht [25, 58]. Hohe Werte des subjektiven Belastungsempfindens (Borg > 16) bei 4 mmol/l Laktat deuten ebenfalls auf eine anaerobe Schwelle unterhalb von 4 mmol/l hin [58]. Borgwerte an der anaeroben Schwelle werden nämlich auch von Nichtausdauerathleten verblüffend genau zwischen 14 und 16 angegeben [61]. Das subjektive Belastungsempfinden (Borgskala) bei bestimmten Schwellenwerten ist nicht vom Geschlecht, Trainingsstatus oder der Testart abhängig [62].

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Tiefes maximales Laktat < 6–8 mmol/l besonders bei gut Ausdauertrainierten. Cave: leere Glykogenspeicher oder submaximale Belastung müssen ausgeschlossen werden. 2. Differenz: Maximalleistung – 4-mmol/l-Leistung < 1 km/h (< 20 Watt) 3. Differenz: Maximale Herzfrequenz – Herzfrequenz bei 4 mmol/l < 8–10 4. Borg bei 4-mmol/l-Leistung > 16 |
|---|

Tabelle 7: Hinweise auf eine individuelle anaerobe Schwellenleistung unterhalb der 4-mmol/l-Leistung.

Entscheidend zur richtigen Einschätzung dieser Hinweise für eine anaerobe Schwelle unterhalb von 4 mmol/l ist die maximale Ausbelastung des Athleten, die durch motivierende Unterstützung des Testleiters angestrebt und überprüft werden soll (Tab. 5). Bei nachweislicher maximaler Ausbelastung sollte die individuelle Laktatschwelle so weit nach unten korrigiert werden, dass die Differenz Maximalleistung zur Laktatschwellen-Leistung ca. 2–3 km/h auf dem Laufband oder 40–60 Watt auf dem Fahrrad-/Ruderergometer (resp. Laktatschwellen-Leistung: 80–85% der Maximalleistung) beträgt und die Herzfrequenz an der individuellen Laktatschwelle ca. 10–20 Schläge/Min. unterhalb der maximalen Herzfrequenz liegt. Der Borgwert an der individuellen Laktatschwelle sollte 14–16 Punkte betragen. Eine individuelle Laktatschwelle unterhalb von 4 mmol/l kann auch bei Athleten vorkommen, die infolge leerer Glykogenspeicher (siehe 1.1 Testvorbereitung des Athleten) oder aus anderen Gründen eine tiefere Laktatproduktion haben. In diesen Fällen ist das Vorgehen gleich wie bei Ausdauerathleten.

Umgekehrt ist bei Nichtausdauertrainierten (z.B. Schnellkraftathleten, Untrainierte) die individuelle Laktatschwellenleistung meist über der 4-mmol/l-Leistung. Dies ist daraus erkenntlich, dass die Leistung bei 4 mmol/l deutlich (> 3 km/h resp. 60–80 Watt) unterhalb der Maximalleistung, die Herzfrequenz bei 4 mmol/l über 20 Schläge/Min. unterhalb der maximalen Herzfrequenz liegt. Der Borgwert bei einer Laktatkonzentration bei 4 mmol/l ist in diesen Fällen meist unterhalb von 14. In diesen Fällen ist die Laktatschwelle so nach oben zu korrigieren, dass eine ähnliche Konstellation wie oben erwähnt vorliegt.

Eine definitive Intensitätsvorgabe für das Training ist aufgrund eines einzelnen Stufentests kaum möglich, da die abgeleitete Intensität auf eine Dauerbelastung eine Variabilität aufweist und Laborergebnisse nicht ohne weiteres auf Feldbedingungen übertragen werden können [3]. Für eine den Anforderungen von Ausdauer Spitzenathleten genügend exakte Intensitätsvorgabe sind deshalb Rückmeldungen des Athleten und des Trainers sowie wiederholte Tests oder die Bestimmung der maxLaSS unumgänglich.

3. VO₂max-Messung

Wie bereits erwähnt ist die Bedeutung des maximalen Sauerstoffaufnahmevermögens (VO₂max) wegen seiner beschränkten Voraussagekraft des Dauerleistungsvermögens und der wenig praxisnahen Ableitung von Trainingsempfehlungen in jüngster Zeit weniger hoch eingeschätzt worden [32, 36, 38, 39, 40, 41].

3.1 Testprotokoll und Testart

Zur Bestimmung der VO₂max muss ein so genanntes Rampprotokoll (kontinuierlicher Anstieg der Belastung bis zur Erschöpfung) verwendet werden, denn die üblichen stufenförmigen Tests (Länge der Stufen 3 Min.; Gesamtdauer des Tests 15–25 Min.) stellen trotz vieler sonstiger Vorteile für die Bestimmung der VO₂max keine Ideallösung dar [35]. Zur verlässlichen Bestimmung sollte eine Gesamtbelastungsdauer von höchstens ca. 8–12 Min. angestrebt werden, weil wegen längerer Anlaufzeit der O₂ liefernden Prozesse bzw. muskulärer Ermüdung bei kürzerer resp. längerer Testdauer nicht die tatsächliche VO₂max, (sondern eine tiefere) gemessen werden kann [4, 35, 63]. Falls bei einem in der Laktatdiagnostik verwendeten Stufentestprotokoll die Sauerstoffaufnahme zusätzlich mitgemessen wird, soll die dabei maximal erreichte Sauerstoffaufnahme als VO₂peak bezeichnet werden. Es muss berücksichtigt werden, dass die Auswahl des Testgerätes einen Einfluss auf die VO₂max hat [63]. Die auf dem Laufband erreichbare Sauerstoffaufnahme ist wegen der grösseren eingesetzten Muskelmasse ca. 10% höher als bei der Fahrradergometrie [4, 64]. Radspezifisch Trainierte sind jedoch in der Lage, auf dem Fahrrad ihre tatsächliche VO₂max zu mobilisieren, da durch die sportartspezifische Bewegung die trainierte Muskelgruppe optimal beansprucht und ausbelastet werden kann [35]. Deshalb sollte auch hier die Testart möglichst sportartspezifisch sein [63].

3.2 Bestimmung der VO₂max

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob der höchste gemessene VO₂-Wert auch dem tatsächlich maximal möglichen VO₂, also VO₂max entspricht [64]. Beim Auftreten eines Plateaus kann von einer maximalen Sauerstoffaufnahme ausgegangen werden [64]. Jedoch tritt auch bei maximaler Belastung nicht in jedem Fall (ca. 1/3 der Fälle) ein Plateau auf. Dann muss durch sekundäre Kriterien eine maximale Ausbelastung sichergestellt werden [35, 64] (Tab. 8).

Plateau	Definition $\Delta O_2 < 150$ ml/Min.
Sekundärkriterien (Falls kein Plateau vorhanden, muss eine maximale Ausbelastung gewährleistet sein)	
1. Eindruck des Testleiters	
2. Borg ≥ 18	
3. Erreichen der maximalen Herzfrequenz (falls diese aus einem Vortest bekannt ist)	
4. Maximales R (gas exchange ratio) > 1.1, bei Ausdauertrainierten > 1.05	

Tabelle 8: Kriterien für die Bestimmung von VO₂max.

Die maximale gemessene Sauerstoffaufnahme wird nicht in jedem Fall als VO₂max bezeichnet, sondern nur, falls diese in einem Rampprotokoll ermittelt wird, falls ein Plateau auftritt und die involvierte Muskelmasse gross ist. In allen anderen Fällen wird die maximale gemessene Sauerstoffaufnahme als VO₂peak benannt [33, 64].

Neben der Bestimmung der VO₂max lassen sich durch die Messung der Sauerstoffaufnahme noch andere Aussagen machen. Die ventilatorische Schwelle, welche der Belastung entspricht, bei der die Ventilation und CO₂ in der ausgeatmeten Luft vom linearen Anstieg abweichen [65], dürfte nach neueren Untersuchungen nicht dem überproportionalen Anstieg des Laktates entsprechen [66]. Die Bestimmung der anaeroben Schwelle aufgrund von Atmungsparametern (sog. ventilatory und ventilatory equivalent threshold: VE/VO₂, VE/VCO₂, PETO₂, PETCO₂, und gas exchange threshold: Vslope VCO₂ vs. VO₂) ist weder manuell noch computerisiert einfach. Je nach Methoden werden unterschiedliche Schwellen bestimmt [67]. Die Werte liegen deutlich tiefer als bei Schwellenbestimmungen mit invasiven Methoden (Laktat und

Bicarbonat) resp. Pulsfrequenz-Methoden (Conconi-Test). Sie dürften im Bereich knapp oberhalb der aeroben Schwelle nach Berg resp. im Bereich 2–2.25 mmol/l Laktat liegen [68, 69]. Zudem sind die Geräte recht aufwendig und die Schwellen nicht eindeutig bestimmbar [33]. Entsprechend gehören diese Tests noch nicht zum Standard-Set der SOMCs. Andere Möglichkeiten in der Messung der Sauerstoffaufnahme könnten vielleicht in Zukunft mehr Bedeutung erhalten. So beschreibt beispielsweise die VO_2 -Kinetik die Anstiegsgeschwindigkeit der Sauerstoffaufnahme und die Höhe des Steady-State bei konstanten, unterschiedlich intensiven Belastungen aus dem Ruhezustand und gibt eher Auskunft über das metabolische Potenzial der arbeitenden Muskulatur als über die integrierte Funktion des gesamten kardiovaskulären, pulmonalen und muskulären Systems [34]. Für weitere Fragestellungen der Sauerstoffaufnahme wie Beurteilung des Substratverbrauchs, Bewegungsökonomie, ventilatorische Limitierung in der Höhe usw. bestehen keine etablierten Anwendungsinhalte in der Athletenbetreuung und sie werden deshalb (noch) nicht routinemässig angewendet.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Neben der Exaktheit, die in der Vorbereitung und Durchführung von Ausdauertests gefordert wird, zeigen die geschilderten Qualitätsstandards auch den Spielraum der Möglichkeiten beispielsweise in der Beurteilung und Interpretation von Ausdauertests. Es ist daher erfreulich, dass seitens der SOMCs zum einen der Wille vorhanden ist, durch diszipliniertes Einhalten von bestimmten Kriterien die Qualität der Ausdauertests zu erhöhen; zum anderen stimmt uns zuversichtlich, dass trotz leicht unterschiedlicher «Spezialitäten» und Präferenzen der Centers ein Konsensus in den wichtigsten Fragen der Ausdauerdiagnostik erreicht wurde. Die eigentliche Bewährungsprobe steht allerdings noch bevor. Es geht nun darum, diese Qualitätsstandards in der Praxis umzusetzen und durch ein geeignetes «Controlling» auf ihre Effektivität und Einhaltung zu prüfen. Die Absicht, dem Athleten und dem Trainer ein optimales sportmedizinisches Angebot zu bieten, steht dabei im Vordergrund. Die Evaluation der Klientenzufriedenheit muss ein nächster Schritt in diese Richtung sein.

Im Wissen um die Dynamik in der Sportmedizin im Allgemeinen und in der Leistungsdiagnostik im Speziellen sind diese Qualitätsstandards nicht als für die Ewigkeit zementiert anzusehen. Vielmehr sollen laufend neue Erkenntnisse und Methoden angepasst werden.

Literaturverzeichnis

- Katch V., Sady St., Freedson P.: Biological variability in maximum aerobic power. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14: 21–25, 1982.
- Pfitzinger P., Freedson P. S.: The Reliability of Lactate Measurements During Exercise. *Int. J. Sports Med.*, 19: 349–357, 1998.
- Heck H.: Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann Verlag, Schondorf: 1990.
- Thoden J.: Testing Aerobic Power; in «Physiological Testing of High-Performance Athlete», MacDougall J., Wenger H., Green H.: Human Kinetics, Champaign: 107–174, 1991.
- Heitkamp H.-Ch., Holdt M., Scheib K.: The Reproducibility of the 4 mmol/l Lactate Threshold in Trained and Untrained Women. *Int. J. Sports Med.*, 12: 363–368, 1991.
- Bourdon P.: Blood Lactate Transition Thresholds: Concepts and Controversies., in «Physiological Tests for Elite Athletes», Gore C.: Human Kinetics, Champaign: 50–65, 2000.
- Hargreaves M.: Skeletal Muscle Carbohydrate Metabolism during Exercise; in Exercise Metabolism; Human Kinetics, Champaign: 41–72, 1995.
- Kopke V., Blom P.: Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta physiol. Scand.*, 125: 398–405, 1985.
- Yoshida T.: Effect of Dietary Modifications on Anaerobic Threshold. *Sports Med.*, 3: 4–9, 1986.
- O'Brien C.: Alcohol and Sport. Impact of Social Drinking on Recreational and Competitive Sports Performance. *Sports Med.*, 15: 71–77, 1993.
- Borg G., Domserius M., Kaijser L.: Effect of alcohol on perceived exertion on relation to heart rate and blood lactate. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60: 382–384, 1990.
- Yoshida T.: Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 53: 200–205, 1984.
- Ivy J., Costill D., Van Handel P., Essig D., Lower R.: Alteration in the Lactate Threshold with Changes in Substrate Availability. *Int. J. Sports Med.*, 2: 139–142, 1981.
- Hughes E., Turner S., Brooks G.: Effects of glycogen depletion and pedaling speed on anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.*, 59: 1598–1607, 1982.
- Berry M., Stoneman J., Weyrich A., Burney B.: Dissociation of the ventilatory and lactate thresholds following caffeine ingestion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23: 463–469, 1991.
- D'Urzo A., Jhirad R., Jenne H., Avendano M., Rubenstein I., Dcosta M., Goldstein R.: Effect of caffeine on ventilatory responses to hypercapnia, hypoxia, and exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 68: 322–328, 1990.
- Fricker P., Fallon K.: Pretest Preparation; in «Physiological Tests for Elite Athletes», Gore C.: Human Kinetics, Champaign: 12–34, 2000.
- Flore P., Therminarias A., Oddou-Chirpaz M., Quirion A.: Influence of moderate cold exposure on blood lactate during incremental exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64: 213–217, 1992.
- Held T., Hallen J., Ingjer F., Stromme S.: Effects of acute hypoxia on submaximal oxygen uptake, Maximal oxygen uptake and arterial haemoglobin saturation in trained and untrained persons. Abstract for ESCSS2000, 2000.
- Niess A., Röcker K., Baumann I., Striegel H., Dickhut H.-H.: Laktatverhalten bei extensiven Tempolauflastungen unter Flachland- und moderaten Höhenbedingungen. *Leistungssport*: 49–52, 1999.
- Atkinson G., Reilly Th.: Circadian Variation in Sports Performance. *Sports Med.*, 21: 292–312, 1996.
- Youngstedt S., O'Connor P.: The Influence of Air Travel in Athletic Performance. *Sports Med.*, 28: 197–207, 1999.
- Marti B., Zundel R., Held T.: Beeinflusst ein früher vs. später vormittäglicher Testzeitpunkt die Ergebnisse eines Ausdauerleistungstests? *Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat.*, 46: 155–158, 1998.
- Frankovich R., Lebrun C.: Menstrual Cycle, Contraception, and performance. *Clin. Sports Med.*, 19: 251–271, 2000.
- Coen B., Urhausen A., Kindermann W.: Individual Anaerobic Threshold: Methodological Aspects of its Assessment in Running. *Int. J. Sports Med.*, 22: 8–16, 2001.
- Matheson L., Mooney V., Caiozzo V., Jarvis G., Pottinger J., De Berry C., Backlund K., Klein K., Antoni J.: Effect of Instructions on Iso-kinetic Trunk Strength Testing Variability, Reliability, Absolute Value, and Predictive Validity. *Spine*, 17: 914–921, 1992.
- Borg G.: An Introduction To Borg's RPE-scale. *Movement Publications*, Ithaca: 1985.
- Forsyth J., Farrally M.: A comparison of lactate concentration in plasma collected from the toe, ear and fingertip after a simulated rowing exercise. *Br. J. Sports Med.*, 34: 35–38, 2000.
- Dassonville J., Beillot J., Lessard Y., Jan., André A., Le Pourcelet C.: Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 38: 39–46, 1998.
- Feliu J., Ventura J.L., Segua R., Rodas G., Riera J., Estruch A., Zamora A., Capdevila L.: Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J. Physiol. Biochem.*, 12: 333–339, 1999.
- Marti B., Laukkanen R., Held T.: Beurteilung der Ausdauer aufgrund der VO_2 max: Standard des BASPO. *Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat.*, 4: 173–174, 1999.
- Weltmann A.: The Blood Lactate Response to Exercise. *Human Kinetics*, Champaign: 1995.
- Boutellier U., Spengler Ch.: VO_2 max als Mass für die Ausdauerleistungsfähigkeit? *Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat.*, 47: 118–122, 1999.
- Pool D., Richardson S.: Determinants of Oxygen Uptake; Implications for Exercise Testing. *Sports Med.*, 24: 308–320, 1997.
- Meyer T., Kindermann W.: Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2 max). *Dtsch. Zeitschr. Sportsmed.*, 50: 285–286, 1999.

- 36 Yoshida T., Udo M., Iwai K., Chida M., Ichioka M., Nakadomo F., Yamaguchi T.: Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60: 249–253, 1990.
- 37 Clénin G.: Prädiktiver Wert von vier unterschiedlich aufwendigen Ausdauertests für die 15km-Wettkampfleistung von Frauen und Männern mit ähnlich gutem Dauerleistungsvermögen. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Universität Zürich: 1997.
- 38 Farrell P., Wilmore J., Coyle E., Billing J., Costill D.: Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 11: 338–344, 1979.
- 39 Coyle E., Feltnier M., Kautz S., Hamilton M., Montain S., Baylor A., Abraham L., Petrek G.: Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23: 93–107, 1991.
- 40 Denis C., Fouquet R., Poty P., Geysant A., Lacour J.: Effects of 40 Weeks of Endurance Training on the Anaerobic Threshold. *Int. J. Sports Med.*, 3: 208–214, 1982.
- 41 Sjoedin B., Jacobs I., Svedenhag J.: Changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscles enzymes after training at OBLA. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49: 45–57, 1982.
- 42 Billat L.: Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. *Sports Med.*, 22: 157–175, 1996.
- 43 Urhausen A., Coen B., Weiler B., Kindermann W.: Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int. J. Sports Med.*, 8: 134–139, 1993.
- 44 Foxdal P., Sjödin B., Sjödin A., Östman B.: The Validity and Accuracy of Blood Lactate Measurements for Prediction of Maximal Endurance Running Capacity. *Int. J. Sports Med.*, 15: 89–95, 1994.
- 45 Mühlebach R.: Unterschiede der Leistung, sowie des Herzfrequenz-Laktat- und VO₂max.-Verhaltens bei unterschiedlichen Testprotokollen auf dem Fahrradergometer. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Universität Zürich: 1999.
- 46 Pierce E., Weltman A., Seip R., Snead D.: Effect of specificity of training on the lactate threshold and VO₂peak. *Int. J. Sports Med.*, 11: 267–272, 1990.
- 47 Sjödin B., Jacobs I.: Onset of Blood Lactate Accumulation and Marathon Running Performance. *Int. J. Sports Med.*, 2: 23–26, 1981.
- 48 Duggan A., Tebbutt S.: Blood Lactate at 12km/h and vOBLA as Predictors of Run Performance in Non-Endurance Athletes. *Int. J. Sports Med.*, 11: 111–115, 1990.
- 49 Fay L., Londeree, Lafontaine B., Volek T.: Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21: 319–324, 1989.
- 50 Scott B., Houmard A.: Peak Running Velocity is Highly Related to Distance Running Performance. *Int. J. Sports Med.*, 15: 504–507, 1994.
- 51 Hawley J., Noaks T.: Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65: 79–83, 1992.
- 52 Noaks T., Myburgh K., Schall R.: Peak treadmill velocity during VO₂max test predicts running performance. *J. Sports Sci.*, 8: 35–45, 1990.
- 53 Mognoni P., Sirtori M., Lorenzelli F., Cerretelli P.: Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60: 239–243, 1990.
- 54 Zavorsky G.: Evidence and Possible Mechanisms of Altered Maximum Heart Rate With Endurance Training and Tapering. *Sports Med.*, 29: 13–26, 2000.
- 55 Gore C.: Quality Assurance in Exercise Physiology Laboratories. In «Physiological Tests for Elite Athletes»; Gore C.: Human Kinetics, Champaign: 3–11, 2000.
- 56 Meyer T., Gabriel H., Kindermann W.: Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or H_rmax adequate? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31: 1342–1345, 1999.
- 57 Weltman A., Snead D., Schurrer R., Weltman J., Rutt R., Rogol A.: Percentages of Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve and VO₂max for Determining Endurance Training Intensity in Male Runners. *Int. J. Sports Med.*, 11: 218–222, 1990.
- 58 Held T., Marti B.: Substantial Influence of Level of Endurance Capacity in the Association of Perceived Exertion with Blood Lactate Accumulation. *Int. J. Sports Med.*, 20: 34–39, 1999.
- 59 Foxdal P., Sjoedin A., Sjoedin B.: Comparison of Blood Lactate Concentrations Obtained During Incremental and Constant Intensity Exercise. *Int. J. Sports Med.*, 17: 360–365, 1996.
- 60 Beneke R., von Duvillard S.P.: Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: 241–246, 1996.
- 61 Held T.: Aussagekraft eines laktatgestützten Maximaltests auf dem Laufband für Männer und Frauen mit unterschiedlichem Dauerleistungsvermögen. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Universität Zürich: 1997.
- 62 Steed J., Gaesser G., Weltman A.: Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 797–803, 1994.
- 63 McConnell T.: Practical Considerations in the Testing of VO₂max in Runners. *Sports Med.*, 5: 57–68, 1988.
- 64 Howley E., Bassett D., Welch H.: Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 1292–1301, 1995.
- 65 Wassermann K., Hansen J., Sue D., Casaburi R., Whipp B.: Principles of Exercise Testing and Interpretation. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 1999.
- 66 Weltman A.: Development of the Anaerobic, Ventilatory, and Lactate Thresholds; in «The Blood Lactate Response to Exercise». Weltman A.: Human Kinetics, Champaign, Illinois: 5–14, 1995.
- 67 Zeballos M.J., Weisman I.M.: Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. *Clin. Chest Med.*, 15: 193–213, 1994.
- 68 Villiger B.: Schwellenkonzepte; in «Ausdauer». Villiger B., Egger K., Lerch R., Probst H.P., Schneider W., Spring H., Tritschler T.: Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 47–52, 1991.
- 69 Berg A., Jakob E., Lehmann M., Dickhuth H.H., Huber G., Keul J.: Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie. *Pneumologie*, 44: 2–13, 1990.
- 70 Rickli St.: Qualitätssicherung in der sportmedizinischen Betreuung. SWI/BASPO Magglingen: 1999.