

Neue leistungsdiagnostische Erkenntnisse im Skilanglauf des Breitensportbereichs

Benedikt A. Gasser¹, Hans H. Hoppeler¹

¹ SWISS HEALTH & PERFORMANCE LAB, Institut für Anatomie, Universität Bern

Zusammenfassung

Auch der Langlaufbreitensportler kann von einer Leistungsdiagnostik zur Planung seines Trainings profitieren. Ziel der Studie war es, ein valides und reliables leistungsdiagnostisches Testprotokoll zu entwickeln im Hinblick auf Trainingsempfehlungen für den Langlauffreizeitsportler. Um den Zusammenhang zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und Langlauftechnik zu analysieren im Hinblick auf Empfehlungen zur persönlichen Trainingsgestaltung, mussten die Probanden zwei Testverfahren absolvieren. Erstens wurde ein Laktatstufentest auf dem Laufband zur Bestimmung der Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Blutlaktat absolviert. Zweitens absolvierten die Probanden einen 12-Min.-Langlauf in der Skatingtechnik (Coopertest) bei flacher Strecke mit dem Ziel der Messung der maximal absolvierten Distanz und der maximalen Herzfrequenz. Zwischen der zurückgelegten Strecke im Coopertest und der Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat auf dem Laufband konnte ein korrelativer Zusammenhang von 0,43 identifiziert werden ($R^2 = 0,18$). Diese Analyse ermöglicht es einerseits, dass sich ein Proband im Kollektiv bezüglich den technischen Fähigkeiten einordnen kann. Unsere Analysen verdeutlichen, dass ein gutes kardiopulmonales System mehr Bedingung als Begründung für einen guten Skilangläufer ist. Die Wichtigkeit der Technik wird auch für den ambitionierten Freizeitsportbereich ersichtlich, wobei diese eine so zentrale Rolle zu spielen scheint, dass es empfehlenswert ist, die technischen Fähigkeiten optimalerweise stetig zu schulen und einzuüben.

Schlüsselwörter: Leistungsdiagnostik, Langlauf, Technikkomponente

Summary

We suggest that leisure cross country skiers can also profit from a serious endurance capacity diagnostic. The aim of this study was to establish a reliable and valid protocol in order to make serious recommendation for training schedule of athletes. In order to analyze the relationship between endurance performance and the technic specific capabilities of cross country skiing aiming to allow valid recommendations participants had to absolve two test protocols. The first test consisted of detecting running pace on a treadmill at a 4 mmol/l blood lactate concentration. Second, participants had to absolve a Coopertest in skating technique on flat ground allowing to measure maximum distance absolved during 12 minutes and maximum heart rate. Between the absolved distance on the Coopertest and the pace at 4mmol/l blood lactate a correlative relationship of 0,43 was identified ($R^2 = 0,43$). These analyses allow that participants can position themselves in the sample concerning their technical capabilities. On the other side our analyses let us suggest, that technical capabilities also in leisure sports play an important role, which are best continuously and constantly trained.

Keywords: performance testing, cross-country skiing, technical capabilities

Einleitung

Zu einem gesunden Leben benötigt jeder Mensch ein Mindestmass an regelmässiger körperlicher Aktivität [1]. Der moderne Lebensstil mit zu viel Ernährung und zu wenig Bewegung führt zu gesundheitlichen Problemen wie Übergewicht, Schlaflosigkeit, Bluthochdruck, Diabetes mellitus und Fettstoffwechselstörungen [1, 2, 3]. Eine gute körperliche Leistungsfähigkeit hat einen protektiven Einfluss auf die Gesundheit, wobei insbesondere das Herz-Kreislauf-Training für kardiovaskuläre Erkrankungen und metabolische Erkrankungen protektiv wirkt [3]. Der Skilanglauf stellt in den Schweizer Gefilden nach wie vor eine sehr gute Möglichkeit dar, ein Ausdauertraining zu absolvieren, um von diesen protektiven Effekten profitieren zu können. Die langlaufspezifischen Anforderungen zeichnen sich insbesondere durch einen grossen muskulären Ganzkörpereinsatz aus, resultierend in einer hohen maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), verbunden mit der Fähigkeit der Tolerierung hoher laktazider Belastungen, wobei sowohl die Muskelpartien der oberen als auch der unteren Extremität involviert sind [4]. Dabei deutet die technische und sportmotorische Entwicklung im Skilanglauf auf eine immer wichtiger werdende Bedeutung der Oberkörperleistungsfähigkeit (OKL) hin [5; 6; 7]. Die Vortriebsleistung durch den Oberkörpereinsatz ist entscheidend, beträgt sie doch bis zu 50% und mehr [8]. Diese Tatsache verdeutlicht zudem auch die Wichtigkeit der motorischen Koordination zwischen unterer und oberer Extremität. Zudem stellt der Langlauf insbesondere auch kardiopulmonal eine sehr gute Möglichkeit dar, spezifische Reize zu setzen, welche sekundär die allgemeine Ausdauerfähigkeit verbessern. Dabei werden vergleichbare Belastungen erzielt wie in den Lauflangdistanzen, im Triathlonbereich, Radfahren oder Rudern [9, 10]. Die zentralen Charakteristika des Skilanglaufs sind dahingehend gekennzeichnet, dass der Langlaufsport vielfältige motorische Elemente der oberen und unteren Extremität mit dem kardiopulmonalen System verbindet. Je nach Art des Geländes, der Schneebeschaffenheit aber auch der Technik klassisch versus skating werden diese Elemente miteinander verbunden und ermöglichen ein sehr vielfältiges Ganzkörpertraining.

Das für Wettkämpfe wichtige taktische Element spielt eine besondere Rolle, kann dieses doch bei einem Massenstartwettkampf oder einer Staffel eingesetzt werden, um in einer Steigung hohe Laktatkonzentrationen zu tolerieren, welche anschliessend während der Abfahrt wieder abgebaut werden können. Weiter beigetragen haben insbesondere auch die Entwicklungen im Materialbereich, welche mittlerweile sehr hohe Geschwindigkeiten zulassen, die die Technikkomponente massgeblich beeinflussen und diese zu einem Schlüsselement eines guten Langläufers werden lassen.

Für diese Arbeit wollen wir ein für den Breitensportbereich gut durchführbares Testprotokoll zur Leistungsdiagnostik im Langlauf präsentieren, welches es ermöglichen soll, auf einfache Art und Weise eine Leistungsdiagnostik für den Langlaufreizeitsportler durchzuführen im Hinblick auf sinnvolle Trainingsempfehlungen.

Die Möglichkeiten der Diagnostik des Dauerleistungsvermögens sind für den Langlaufsport prinzipiell vielfältig. Von der Beurteilung der Laufzeit für eine bestimmte Strecke (z.B. 3000-m-Lauf) über die Messung der Herzfrequenz oder der Laktatkonzentrationen bei verschiedenen Intensitäten auf dem Laufband bis zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) können

prinzipiell unterschiedlich aufwendige und aussagekräftige Verfahren angewendet werden. Bei Athleten wird das Dauerleistungsvermögen meist in Labortests durch Messung der Laktatkonzentration im Blut oder einer VO_{2max} -Messung bestimmt, wobei in der physiologischen Fachliteratur die VO_{2max} -Messung als Goldstandard gilt, vorab aus Gründen der Tradition respektive der Vergleichbarkeit [11]. Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass VO_{2max} -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 [12, 13, 14, 15]. Veränderungen des Dauerleistungsvermögens von Untrainierten gehen meist auch mit einer Veränderung der VO_{2max} einher, jedoch zeigte sich, dass insbesondere bei Trainierten die Leistung bei einer bestimmten Laktatkonzentration oder bei einer Schwelle (aerob/anaerob) besser auf Trainingsreize reagierte als die VO_{2max} [14, 16, 17].

Jedoch muss erwähnt werden, dass für die laktatgestützte Diagnostik eine verwirrende Vielzahl von Begriffen und Methoden besteht, mit welchen versucht wird, die Ausdauerleistung anhand der Laktatantwort auf eine definierte Belastung zu beurteilen [18, 19, 20, 21]. Die einfach und dadurch genau und objektiv bestimmbar Parameter 4-mmol/l-Leistung [22, 23, 24, 25, 26] weist signifikante und enge ($r = 0.85-0.97$) Beziehungen mit der Wettkampfleistung über unterschiedliche Ausdauerdistanzen auf und eignet sich deshalb zur Beurteilung des Dauerleistungsvermögens. Die 4-mmol/l-Leistung, welche manchmal generalisierend und somit fälschlicherweise auch als «anaerobe Schwelle» bezeichnet wird, kann zwar für Athleten unterschiedlichen Niveaus oder unterschiedlicher Sportarten metabolisch unterschiedliches bedeuten [27]. Sie eignet sich aber wegen der einfachen Reproduzierbarkeit und dem erwähnten Bezug zur Wettkampfleistung als intraindividuelle Vergleichsgrösse bei wiederholten Leistungstests [28]. Es wird von einer Leistung bei einer fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l ausgegangen, welche in etwa dem Mittelwert des maximalen Laktatsteadystates bei einer bezüglich Ausdauer niveau heterogenen Freizeit-sportlergruppe entspricht [19]. Dabei ist kritisch zu erwähnen, dass die Messwerte in der Laktatdiagnostik selbst bei optimaler Testdurchführung einer vom Trainingszustand unabhängigen technischen und biologischen Variabilität von 2–3% unterliegen [23, 29].

Die Leistung eines ambitionierten Breitensportlers im Langlauf jedoch nur mit der 4 mmol/l-Laktatschwelle zu beurteilen, wird dem Technikaspekt beschränkt gerecht. Aus dem Grund soll auch ein Verfahren angewendet werden, welches ein direktes Technikelement beinhaltet. Wir schlagen in Anlehnung an Cooper einen 12-Min.-Langlauf vor, wobei die Probanden in dieser Zeit eine möglichst grosse Strecke absolvieren müssen.

Das oben Genannte erlaubt es, die Kernfragestellung unserer Studie auszuformulieren. Inwiefern besteht eine Beziehung zwischen der auf dem Laufband ermittelten Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol/l und der maximal absolvierten Strecke im 12-Min.-Langlauf?

Als Hypothese darf angenommen werden, dass je höher die Geschwindigkeit bei 4 mmol/l liegt, umso grösser wird die gelaufene Distanz im 12-Min.-Langlauf sein. Der Quotient dieser beiden Grössen soll es dem Probanden ermöglichen, sich bezüglich der technischen Fähigkeiten innerhalb des Kollektivs zu positionieren.

Methoden

Probanden

Bei den Teilnehmern handelte es sich um 14 männliche, gesunde Probanden ($30 \pm 7,3$ Jahre, $72,2 \pm 4,8$ kg, $179 \pm 6,3$ cm) des Langlaufreizeitsportbereiches und ambitionierten Leistungssportbereiches. Alle Teilnehmer absolvierten sowohl einen Cooper-12-Min.-Langlaufstest als auch eine Laufbanddiagnostik. Die Probanden wurden angewiesen keinen Alkohol zu trinken und ausgeruht und normal verpflegt am Test zu erscheinen.

Labormessungen

Die Labormessungen fanden auf einem Laufband von Woodway PPS Sport (Woodway GmbH, Weil am Rhein, Deutschland) in Andermatt / Uri / Schweiz auf 1405 Metern statt. Die Herzfrequenz wurde mittels Polar Herzfrequenzmessgerät (Zug, Schweiz) gemessen. Die Messung des Laktats erfolgte mittels entnommenem Kapillarblut am Ohrläppchen, wobei den Vorgaben von Swiss Olympic zur Durchführung eines Laktatstufentests auf dem Laufband gefolgt wurde und standardmässig mit einer Geschwindigkeit von 7,2 km/h begonnen wurde, eine Stufe 3 min umfasste und die Pausen den Empfehlungen nach mit 30 sec kurz gehalten wurden [18, 28]. Die Abstände zwischen den Stufen betrugen 1,2 km/h, während den Messungen wurde die Neigung des Laufbandes konstant bei 1° gehalten [18, 28]. Die Bestimmung der Laufgeschwindigkeit, die eine kapilläre Laktatkonzentration von 4 mmol/l hervorruft (4 mL), erfolgte mittels linearer Interpolation zwischen den zwei Geschwindigkeit/Laktatwert-Paaren, die am nächsten bei 4 mmol/l Laktat liegen. Wenn am Ende des Laktattests die dreiminütige Stufe nicht zu Ende gelaufen wurde, dann wurde die Maximalgeschwindigkeit aufgrund des Anteils der auf dieser Stufe gelaufenen Zeit berechnet [30]. Nach Absolvierung jeder Stufe wurde die Herzfrequenz, die Laktatkonzentration und die Borg-Skala (6–20) festgehalten [2].

Feldmessungen

Die Teilnehmer absolvierten eine flache Runde in der Skatingtechnik. Die Höhendifferenz betrug weniger als 10 Meter. Die Messungen fanden bei gutem Wetter und klarer Sicht bei einer Lufttemperatur um minus fünf Grad statt. Die Probanden wurden angehalten, während 12 min eine maximale Strecke zu absolvieren. Angelehnt ist diese Testform an den Cooper-Test (benannt nach dem amerikanischen Sportmediziner Dr. Kenneth H. Cooper), welches ein anerkanntes Verfahren zur Überprüfung der allgemeinen Ausdauer grosser Populationen darstellt. In der ursprünglichsten Form musste ein Lauf mit einer Dauer von 12 Minuten absolviert werden, bei dem die in dieser Zeit maximal zurückgelegte Strecke ermittelt wird und als Korrelat für die Leistungsfähigkeit dient, wobei prinzipiell dadurch auch alters- und geschlechtsadjustierte Grobwerte bezüglich der VO_{2max} abgeleitet werden können [9, 10, 31]. Die Belastung von 12 Minuten führt dazu, dass der Sportler sich sehr gut einschätzen können muss, um nicht zu früh zu viel Laktat aufzustauen und in den anaeroben Bereich zu kommen, aber auch nicht zu langsam zu laufen und so die metabolische Kapazität nicht ausschöpfen zu können. Bei erfahrenen Athleten ist der Cooper-Test ein ausserordentlich einfach durchzuführendes Verfahren, welches durchaus auch zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme dienen kann [9]. Zu erwähnen ist, dass die Messungen im Goms auf flacher Strecke zwischen Ulrichen und Geschinen auf rund

1350 Meter über Meer stattfanden, was bei einem allfälligen Vergleich der Werte berücksichtigt werden muss [32, 33, 34]. Die Probanden wurden animiert, an ihre Leistungsgrenze zu gehen, am Ende des Laufes wurden die maximale Herzfrequenz, das Laktat sowie die Borg-Skala festgehalten.

Geräte

Die Herzfrequenz und die Zeit wurden kontinuierlich mit einer Polar V800 Uhr gemessen. Das integrierte GPS ermöglichte es, die Distanz mit der Ausmessung abzugleichen. Die Daten wurden nach dem Test via Interface mit dem Programm InShape© 2.11 ausgewertet. Für die Messung der Blutlaktatwerte wurde das Laktatmessgerät «Laktat Pro» (Arkray Inc., Japan) verwendet. Das Laufband war ein Woodway PPS Sport (Woodway GmbH, Weil am Rhein, Deutschland), 2 Meter lang und 75 cm breit.



Abbildung 1: Die flach gewählte Teststrecke für den 12-Min.-Langlauf – die rote Linie skizziert die Strecke

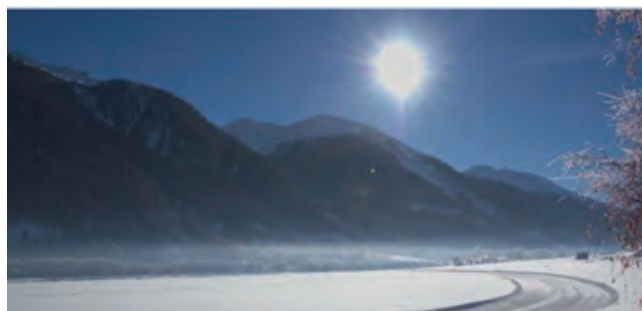


Abbildung 2: Die flach gewählte Teststrecke im Goms zwischen Ulrichen und Geschinen

schwwindigkeit bei 4 mmol/l Laktatkonzentration im Blut ergab sich eine Geschwindigkeit von 16,32 km/h, was es erlaubt, die untersuchten Teilnehmer als ausdauertrainiert zu bezeichnen. Die Herzfrequenz bei 4 mmol/l Laktatkonzentration im Blut liegt mit 176 Schlägen relativ hoch, was zu erwarten war für die hier untersuchte Gruppe, welche als relativ gut ausdauertrainiert zu bezeichnen ist [9]. Die Borg-Werte liegen mit einem genau errechneten Durchschnitt von

Tabelle 1: Resultate der Schwellenbestimmungen

n = 14 Probanden	Mittelwert/ Standardabweichung
Geschwindigkeit an der Schwelle (km/h)	16,32 ± 1,82
Herzfrequenz bei 4 mmol/Laktat (kapillär) (Schläge/min)	176 ± 10
Borg-Werte	18 ± 1,7

18 etwas über der Erwartung, was möglicherweise auf einzelne sehr gut trainierte Teilnehmer zurückzuführen ist, welche bei 4 mmol/l deutlich über der anaeroben Schwelle liefen.

Labormessungen

Die untenstehende *Tabelle 2* gibt die Resultate der Feldmessungen wieder. Die durchschnittlich gelaufene Distanz von 4061 Meter führt immer noch zu einer durchschnittlichen Geschwindigkeit, welche schneller als drei Minuten pro Kilometer ist, was die Geschwindigkeitsdimension zum Laufsport verdeutlicht. Athleten mit den gemessenen Laborwerten bei 4 mmol/l würden vermutlich im Rahmen eines klassischen 12-Min.-Laufes eine rund 500 Meter kürzere Distanz absolvieren [9]. Die durchschnittliche Herzfrequenz liegt mit 177 Schlägen über den Werten der Labormessungen bei 4 mmol/l, was zu erwarten ist, da die Teilnehmer angewiesen und motiviert wurden, an ihre Leistungsgrenze zu gehen und somit die letzte Zeitspanne nicht mehr im aeroben Bereich gelaufen wurde. Diese Vermutung wird durch die gemessene Laktatkonzentration von 6,1 mmol/l untermauert. Die Borg-Werte liegen mit durchschnittlich 17,4 im Bereich des zu erwartenden und führen bei einer Multiplikation mit 10 zu einer theoretischen Herzfrequenz von 174 Schlägen, was relativ genau mit der Messung übereinstimmt.

Tabelle 2: Resultate des 12-Min.-Langlaufs

n = 14 Probanden	Mittelwert / Sd
Gelaufene Strecke (Meter)	4061 ± 821
Herzfrequenz maximal (Schläge/min)	177 ± 16,1
Laktatkonzentration (kapillär) (mmol/l)	6,1 ± 2,4
Borg-Werte	17,4 ± 1,5

Feldmessungen

Die nachfolgende *Abbildung 3* verdeutlicht die Wichtigkeit der technischen Komponente auf eindrückliche Weise. Für den Bereich von 16 km/h bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l zeigen sich Streckenwerte zwischen 3300 und 5300 Meter, was die Wichtigkeit der technischen Komponente untermauert.

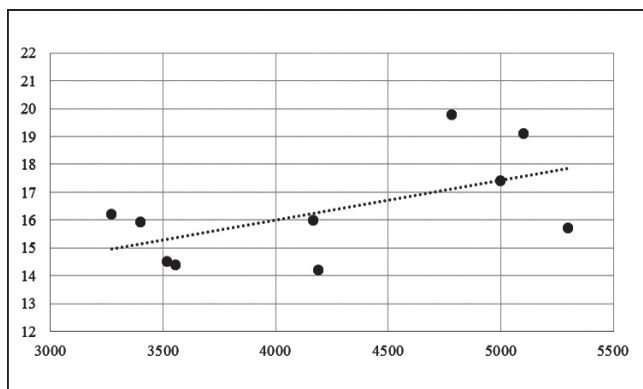


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen gelaufener Strecke (y-Achse) und Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol/l (x-Achse). Korrelativer Zusammenhang $r = 0,43$ ($R^2 = 0,18$).

Diskussion

Der Vergleich der Geschwindigkeit bei 4 mmol/l mit dem 12-Min.-Langlauf führt zu interessanten Hinweisen für die untersuchte Population. Die Resultate weisen auf relativ grosse intraindividuelle Unterschiede bezüglich den technischen Fähigkeiten hin. Für den bereits angesprochenen Bereich von 16 km/h bei 4 mmol/l findet sich eine Spannweite der absolvierten Distanzen von über 2000 Meter. Die Vermutung liegt nahe, dass für die untersuchte Population von guten Freizeitläufern bis Leistungsläufern die reinen kardiopulmonalen Voraussetzungen mehr Bedingung als Grund für einen guten Langläufer zu sein scheinen. Unsere Analysen lassen den Schluss zu, dass gerade Elemente des Gleichgewichts aber auch der motorischen Koordination absolut entscheidend sind. Die grosse Spannweite beim 12-Min.-Langlauf bei sonst vergleichbaren Werten auf dem Laufband lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass die untersuchte Population relativ homogen bezüglich dem allgemeinen Trainingsaufwand und Trainingsverständnis war, jedoch sich bezüglich den langlaufspezifischen Elementen (Anzahl Trainings auf Schnee, Qualität der absolvierten Trainings) relativ stark unterschied.

Die hier präsentierte Methode hatte zur Zielsetzung, ein einfaches Protokoll zur Leistungsdiagnostik bei Langläufern im Freizeitsportbereich zu entwickeln. Der hier präsentierte Ansatz ermöglicht es dem Probanden, sich im Kollektiv einzuordnen und seine physische Leistung im Verhältnis zu den technischen Komponenten abzuschätzen. Dieses relativ einfache Protokoll eignet sich somit für Jugend + Sport-Kurse, Regionalkader oder grössere JO-Gruppen. Aufgrund der Analysen können anschliessend Trainingsempfehlungen gemacht werden, dahingehend, dass Läufer, welche vor allem eine hohe Geschwindigkeit bei 4 mmol/l erreichten aber eher eine geringe Strecke absolvierten, eher Physis-orientiert trainieren sollten. Im Gegensatz zu den guten Technikern, welche hohe Distanzen liefen bei eher geringen Werten auf dem Laufband. Diese könnten insbesondere von einem gezielten Ausdauertraining in den Sommer- und Herbstmonaten profitieren, da gerade bei solchen Athleten eine gute technische Umsetzung zu erwarten ist.

Es muss jedoch verdeutlicht werden, dass für Sportler des hier untersuchten Leistungsbereichs das kardiopulmonale System und somit die Herzfrequenz aus biologischen Gründen die limitierende Grösse der Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt [9, 35, 36]. Ausgehend von den kardiopulmonalen Restriktionen und somit von der maximalen Herzfrequenz sollte der Freizeitsportler im leistungsmässigen Bereich der hier untersuchten Gruppe also 3 bis 4 Mal in der Woche angepasst an die zeitlichen Möglichkeiten trainieren, wobei sich auch für diesen Leistungsbereich insbesondere das Schwellentraining anbietet. Die Befürchtung, dass durch Laufen und Radfahren vor allem die untere Extremität trainiert wird ist aufgrund von biologischen Mechanismen nur bedingt begründet [35]. Spielt doch für den Freizeitsportler das spezifische Oberkörpertraining eine eher untergeordnete Rolle, da durch die zentrale Verbesserung in Form der Zunahme der Kapazität des kardiopulmonalen Systems es sekundär auch zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit der oberen Extremität kommt, da diese ebenfalls aufgrund des grösseren totalen Herzminutenvolumens mit mehr Sauerstoff versorgt werden kann [36]. Die muskulär notwendige Adaptation der oberen Extremität kann aufgrund der immensen Anpassungsfähigkeit der Skelettmuskulatur durch langlaufspezifische Trainings in relativ kurzer Zeit nachgeholt werden, da das biologische Adaptationsvermö-

gen der menschlichen Skelettmuskulatur erstaunlich ist, wobei dieses mit nur 6 Wochen intensivem Dauerleistungstraining bei vorher Untrainierten zu einer Zunahme der VO_2max um 15% führen kann und sich dabei Kapillaren und Mitochondrien in den belasteten Skelettmuskeln um bis zu 30% vermehren [35, 36]. Für den Freizeitsportler mit geringen zeitlichen Ressourcen bietet sich also insbesondere das (Schwellen)-Lauftraining an, welches sekundär im Winter auf den Langlaufskis sinnvoll zur Umsetzung geführt werden sollte [9, 35, 36]. Um die technischen Grundfähigkeiten nicht gänzlich zu missachten, empfehlen wir zusätzlich gelegentliches Rollskilaufen, um auch Aspekte wie das Gleichgewicht oder die Koordination zwischen oberer und unterer Extremität zu schulen und somit beim ersten Schnee einen reibungslosen Einstieg in den Langlaufsport zu gewährleisten.

Danksagung

Für die konstruktiven Hinweise und die Unterstützungen im Materialbereich sei Roland Schütz recht herzlich gedankt.

Praktische Implikationen

- Die technischen Fähigkeiten sind für den Langlaufbreitensportler entscheidend
- Das kardiopulmonale System respektive die Ausdauerfähigkeiten scheinen mehr Bedingung als Begründung für gute Laufzeiten in diesem Leistungsbereich zu sein
- Entscheidend sind vielmehr die technischen Fähigkeiten, weshalb es sich auch für den Hobbylangläufer lohnt, diese gezielt zu schulen

Korrespondenzadresse:

Dr. med Benedikt Gasser, Institut für Anatomie, Swiss Health & Performance Lab, Baltzerstrasse 2, 3000 Bern 9

Literatur

- 1 Knechtle B, Bircher S. (2006). Limitierende Faktoren der Fettverbrennung. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie. 2006;54(2):51-56.
- 2 Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. Deutsches Arzteblatt. 2004;101(15):A-1016.
- 3 Huonker M. Sekundärprävention und Rehabilitation von Herz-Kreislauferkrankungen – Pathophysiologische Aspekte und Belastungssteuerung von körperlichem Training. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2004;55(5).
- 4 Angermann M, Lehmann C, Hoppeler HH, Däpp C, Vogt M. Oberkörperergometrie: spezifische Leistungsdiagnostik für Langläufer und Nordisch-Kombinierer. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie. 2003;51(4):168-173.
- 5 Millet GY, Hoffman MD, Candau RB, Clifford PS. Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. Med.Sci.Sports Exerc. 1998;30:1645-1653.
- 6 Mygind E, Larsson B, Klausen T. (1991). Evaluation of a specific test in cross-country skiing. J. Sport Sci. 1991;(9):249-257.
- 7 Wisloff U, Helgerud J. Evaluation of a new upper body ergometer for cross country skiers. Med. Sci. Sports Exerc. 1998;30:1314-1320.
- 8 Smith GA, Nelson RC, Feldman A, Rankinen JL. Analysis of V1 skating technique of Olympic cross-country skiers. Int. J. Sports Biomech. 1989;(5):185-207.
- 9 Zintl F. Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. Wien; Zürich, BLV, 4. Aufl; 1997.
- 10 Steffny H. (2008). Das grosse Laufbuch. Südwestverlag: München. 2008.

- 11 Marti B, Laukkanen R, Held T. Beurteilung der Ausdauer aufgrund der VO_2max : Standard des BASPO. Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat. 1999;4:173-174.
- 12 Weltmann A. The Blood Lactate Response to Exercise. Human Kinetics, Champaign: 1995.
- 13 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., 1990;60:249-253.
- 14 Clénin G. Prädiktiver Wert von vier unterschiedlich aufwendigen Ausdauertests für die 15-km-Wettkampfleistung von Frauen und Männern mit ähnlich gutem Dauerleistungsvermögen. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Universität Zürich: 1997.
- 15 Farrell P, Wilmore J, Coyle E, Billing J, Costill D. Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med. Sci. Sports Exerc., 1979;11:338-344.
- 16 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., 1982;3:208-214.
- 17 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., 1982;49:45-57.
- 18 Tschopp M, Held T, Villiger B & Marti B. Qualitätsstandards in der Ausdauerleistungsdiagnostik. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie. 2001;49(2):57-66.
- 19 Heck H. Laktat in der Leistungsdiagnostik. Schöndorf. Hofmann Verlag, 1990.
- 20 Bourdon P. Blood Lactate Transition Thresholds: Concepts and Controversies., in «Physiological Tests for Elite Athletes», Gore C.: Human Kinetics, Champaign: 2000;50-65.
- 21 Billat L. Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. Sports Med. 1996;22:157-175.
- 22 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., 1990;60:249-253.
- 23 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., 1994;15:89-95.
- 24 Sjödin B., Jacobs I. Onset of Blood Lactate Accumulation and Marathon Running Performance. Int. J. Sports Med., 1981;2:23-26.
- 25 Duggan A., Tebbutt S. Blood Lactate at 12km/h and vOBLA as Predictors of Run Performance in Non-Endurance Athletes. Int. J. Sports Med., 1990;11:111-115.
- 26 Fay L, Londeree, Lafontaine B, Volek T. Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. Med. Sci. Sports Exerc. 1989. 21:319-324.
- 27 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. 1999;20:34-39.
- 28 Tschopp M. Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer. Magglingen: Swiss Olympic Medical Center. 2001.
- 29 Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. Int. J. Sports Med., 1993 8:134-139.
- 30 Held T, Steiner R, Hübner K, Tschopp M, Peltola K, Marti B. Selbst gewählte submaximale Laufgeschwindigkeiten als Prädiktoren des Dauerleistungsvermögens. Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie. 1999. 48(2),64-69.
- 31 Cooper KH. Aerobics. New York: Bantam Books. 1968.
- 32 Gore CJ, Hahn AG, Scroop GC, Watson DB, Norton KI, Wood RJ, Campbell DP, Emonson DL. Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. J. Appl. Physiol. 1996. 80,2204-2210.
- 33 Gore CJ, Little SC, Hahn AG, Scroop GC, Norton KI, Bourdon PC, Woolford SM, Buckley JD, Stanef T, Campbell DP, Watson DB, Emonson DL. Reduced performance of male and female athletes at 580m altitude. Eur. J. Appl. Physiol. 1997;75:136-143.
- 34 Robergs RA, Quintana R, Parker DL, Frankel CC. Multiple variables explain the variability in the decrement in VO_2max during acute hypobaric hypoxia. Med. Sci. Sports Exerc. 1998 30,869-879.
- 35 Hoppeler H, Howald H, Conley K, Lindstedt SL, Claassen H, Vock P, Weibel ER. Endurance training in humans: Aerobic capacity and structure of skeletal muscle. J. Appl. Physiol. 1985. 59:320-327.
- 36 Hoppeler H, Baum O, Mueller M, Lurman G. Molekulare Mechanismen der Anpassungsfähigkeit der Skelettmuskulatur. Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie. 2011. 59(1),6-13.