

M. Vogt¹, S. Rickli², R. Städler³, D. Bartsch³, H. Spring⁴, H. Hoppeler¹

¹ Anatomisches Institut der Universität Bern

² Regionalspital Santa Maria, Visp

³ Swiss Ski, Muri b. Bern

⁴ Rheumaklinik Leukerbad

Blutlaktatbestimmungen zur Trainingssteuerung im alpinen Skirennsport

Zusammenfassung

Blutlaktatbestimmungen werden vor allem in Ausdauersportarten zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eingesetzt. Nach einer intensiven (Intervall-)Belastung folgt der Blutlaktatspiegel der Normalisierung der intramyozellulären Laktatspiegel und kann Hinweise auf den sinnvollen Zeitpunkt einer erneuten Belastung liefern. Die Blutlaktatkonzentration wird von verschiedenen Parametern wie Trainingszustand, Belastungsintensität, muskulärer Glykogenspeicherauffüllung oder Hypoxie beeinflusst. Trainingseinheiten alpiner Skirennläufer finden oft in grosser Höhe statt und sind charakterisiert durch repetitive, hochintensive Belastungen von rund 60 Sekunden Dauer. Die Energiebereitstellung erfolgt grösstenteils über den Kohlenhydratstoffwechsel. Mittels Laktatmessungen könnte deshalb die individuelle Belastbarkeit im Training von Athleten im alpinen Skirennsport optimiert werden. Solche Messungen wären vor allem bei Trainingsaufenthalten in der Höhe oder in der Vorbereitung auf wichtige Wettkämpfe von Nutzen. Wir haben deshalb die Einsatzmöglichkeiten von Blutlaktatbestimmungen zur Trainingssteuerung im alpinen Skirennsport während eines Trainingslagers in grosser Höhe überprüft. Die Untersuchungen fanden mit Athleten des Schweizer Slalomteams unmittelbar vor Beginn der Wettkampfsaison statt. Die Wohn- und Trainingsstätten lagen in Höhen zwischen 3000 und 3500 m in Colorado (USA). Blutlaktatmessungen wurden vor und nach jedem Trainingslauf sowie bei Vorbereitungswettkämpfen durchgeführt. Jeden dritten Tag absolvierten die Athleten einen submaximalen Ergometerstufentest, bei welchem die Blutlaktatkonzentration, die Herzfrequenz und die subjektive Einstufung der Belastung erhoben wurden.

Die Untersuchungen zeigen, dass Slalom-Trainingsläufe von 25–45 Sekunden Dauer zu Blutlaktatkonzentrationen von über 10 mM Laktat führen können, wobei die interindividuellen Unterschiede gross waren. Durchschnittliche Erholungszeiten von rund 17 Minuten zwischen den Trainingsläufen waren für einige Athleten zu Beginn des Trainingslagers zu kurz gewählt. Die Blutlaktatwerte am Start lagen oft über 4 mM. Im Laufe der ersten sieben Tage des Trainingslagers nahmen jedoch die Start- und Ziellaktatwerte kontinuierlich ab. Auch die durchschnittlichen submaximalen Laktat- und Herzfrequenzwerte beim submaximalen Ergometertest nahmen im Laufe des Trainingslagers ab. Dies weist auf eine Anpassung an die Höhe und/oder die Trainingsbelastungen hin.

Aus den Messungen schliessen wir, dass Laktatmessungen im Training alpiner Skirennläufer nützlich sind im Sinne der unmittelbaren Trainingssteuerung und zur Vermeidung von lokalen Überlastungszuständen. Regelmässig durchgeführte submaximale Ergometertests können geeignet sein, Anpassungen an spezifische Bedingungen (z.B. Höhenadaptation) anzuzeigen.

Summary

Blood lactate for monitoring training intensity in alpine skiers

In sports mostly depending on endurance capacity, blood lactate monitoring is widely used to evaluate training status and to set training intensity. After a single bout of exercise performed at high intensity, blood lactate concentrations are reflecting lactate levels in muscle cells, thus helping to define the best moment for starting the next training load. In addition to training status and exercise intensity, blood lactate is also influenced by depletion and repletion of muscle glycogen stores, as well as by hypoxia. Training sessions of alpine skiers often take place at high altitude. They are characterized as high intensity repetitive loads lasting approximately 60 seconds where energy supply mostly depends on carbohydrate metabolism. The present study was designed to test the feasibility of blood lactate monitoring as a means of quality control in alpine skiers training at high altitude.

Skiers of the Swiss National Slalom Team participated in a final pre-season training camp at Colorado (USA), where they lived and trained at altitudes of 3000–3500 m above sea level. Blood lactate concentrations were measured before and after each training run and at the occasion of preliminary competitions. In addition the skiers had to perform a submaximal test on a bicycle ergometer every third day, where blood lactate concentration, heart rate and rating of perceived exertion were monitored.

Slalom runs of 25–45 sec duration led to blood lactate concentrations exceeding 10 mM, but interindividual variation was quite large. Recovery times averaging 17 minutes between training runs proved to be too short for some skiers at the beginning of the training camp, since blood lactate concentrations at the start of a run were often higher than 4 mM in those cases. Lactate concentrations both at the start and at the finish of the slalom runs tended to decrease in the course of the first seven days of the training period. The same pattern occurred with respect to the average heart rates and blood lactate concentrations measured in the submaximal ergometer tests, demonstrating an adaptation to high altitude and/or to the training program.

It is concluded that blood lactate monitoring in alpine skiing is useful to adjust training intensity and to prevent local muscle overload. Repetitive submaximal ergometer tests may indicate adaptational processes to specific situations such as adaptation to altitude.

Hintergrund

In Ausdauersportarten werden Blutlaktatuntersuchungen zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eingesetzt. Nach einer intensiven (Intervall-)Belastung folgt der Laktat Spiegel im Blut der Normalisierung des Laktat Spiegels im Muskel und kann damit Hinweise auf den sinnvollen Zeitpunkt einer erneuten Belastung liefern. Die Blutlaktatkonzentration wird von verschiedenen Parametern wie Belastungsart, Belastungsintensität, Trainingszustand, Hypoxie und der Auffüllung der muskulären Glykogenspeicher beeinflusst. Akute Höhenexposition bewirkt bei einer gegebenen Belastungsintensität eine starke Zunahme der Blutlaktatkonzentration [3, 5]. Wiederholt man die gleiche Belastung im Verlaufe eines längeren Höhengaufenthalts, so bewirken die Akklimatisierungsprozesse, dass sich die Blutlaktatkonzentration normalisiert. Dieses Phänomen wird auch als «Laktat-Paradox» beschrieben [3, 5]. Die genauen Mechanismen, welche zu diesen hypoxieinduzierten Veränderungen in der Laktatbildung unter Belastung in der Höhe führen, sind nicht restlos geklärt. Es gibt Hinweise darauf, dass unter anderem folgende Mechanismen für Änderungen des Laktatverhaltens unter hypoxischen Bedingungen verantwortlich sind: eine Abnahme des maximalen Substratflusses durch die aerobe Glykolyse aufgrund der reduzierten VO_{2max} in Hypoxie, Veränderungen in der metabolischen Kontrolle der Glykogenolyse und der Glykolyse sowie zentrale Ermüdung [5].

Da Glykogen bzw. Glukose Substrate für Laktat sind, können Blutlaktatmessungen unter Belastung indirekte Hinweise auf die Verfügbarkeit und den Auffüllungsgrad muskulärer Glykogenspeicher liefern [6]. Bei entleerten muskulären Glykogenspeichern ist die Laktatbildung unter Belastung vermindert, was zur Folge hat, dass man bei einer gegebenen Intensität eine geringere Laktatkonzentration im Blut misst. Die Laktat-Leistungskurve während eines ansteigenden Belastungstests wird somit nach rechts verschoben. Dies kann zu einer Fehlinterpretation von Leistungstests führen, denn Rechtsverschiebungen der Laktatkurve werden auch bei einer Verbesserung der Ausdauerkapazität beobachtet. Andererseits findet man bei aufgefüllten Glykogenspeichern oder einer kohlenhydratreichen Diät höhere Laktatwerte und damit eine scheinbare Linksverschiebung der Laktat-Leistungskurve [6]. Neben ihrer Bedeutung für die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit kann die Laktat-Leistungskurve somit auch Auskünfte über die Auffüllung der muskulären Glykogenspeicher liefern.

Alpine Skirennläufer trainieren häufig in grosser Höhe. Typischerweise bestehen Trainingseinheiten aus repetitiven, hochintensiven Belastungen von 30–60 Sekunden Dauer. Der Energieverbrauch ist dabei hoch und die Energiebereitstellung erfolgt grösstenteils über den Kohlenhydratstoffwechsel [1, 9]. Studien zeigen, dass wenige aufeinander folgende Tage Schneetraining zu einer beträchtlichen Entleerung der Glykogenspeicher in der Muskulatur führen können [1]. Zur Wiederauffüllung der muskulären Glykogenspeicher reichen aber 24 Stunden nur unter optimalen Bedingungen aus. Die Erholungszeit während mehrtägigen Trainingslagern ist damit häufig ungenügend. Höhenexposition und ungeeignete Ernährung (Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme, Zusammensetzung der Diät) können die Auffüllung der Glykogenspeicher ebenfalls negativ beeinflussen. Eine Entleerung der Muskelglykogenspeicher kann bei andauernder sportlicher Aktivität leistungslimitierend werden [2]. Im alpinen Skisport kann durch Glykogenentleerung die muskuläre Koordination gestört und die Leistungsfähigkeit sowie die Qualität des Trainings beeinflusst sein [8].

In der vorliegenden deskriptiven Studie überprüfen wir das Laktatverhalten bei wettkampfmässigem Skitraining in grosser Höhe. Dies geschah im Rahmen eines zweiwöchigen Trainingslagers auf 3000–3500 m ü.M. mit Athleten aus dem Schweizer Slalom-Skiteam. Systematische Laktatmessungen vor und nach jedem Trainingslauf wurden durchgeführt. Zusätzlich wurden mögliche Veränderungen in der Laktat-Leistungskurve in regelmässigen Abständen mittels standardisiertem Submaximaltest auf dem Fahrradergometer untersucht.

Methode

Die Studie wurde mit fünf männlichen Athleten aus dem Schweizer Slalom-Skiteam während eines zweiwöchigen Trainingslagers, welches zur Vorbereitung auf Weltcuprennen in den USA diente, durchgeführt. Die anthropometrischen Daten und die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) konnten von vier Athleten während vorgängigen Leistungstests erhoben werden und sind in *Tabelle 1* dargestellt.

n = 4	Mittelwert ± S.E.	
Alter [Jahre]	24.3	± 1.1
Körpergewicht [kg]	87.0	± 3.9
Grösse [cm]	182.0	± 2.7
VO_{2max} [ml/min/kg]	53.3	± 2.3

Tabelle 1: Anthropometrische Daten und VO_{2max} für vier Athleten. Mittelwerte ± Standardfehler (S.E.).

Wohn- und Trainingsstätten befanden sich in Colorado (USA) auf Höhen zwischen 3000 und 3500 m ü.M. Während des Skitrainings wurden jeweils vor und nach Beendigung eines Trainingslaufes Blut-Laktatwerte bestimmt. Dazu wurde Kapillarblut am Ohrläppchen entnommen und mit dem «Lactate Pro»-Gerät (Axon Lab AG, Schweiz) analysiert. Die Blutentnahme erfolgte unmittelbar vor dem Start und zwei Minuten nach der Zieldurchfahrt. Pro Trainingseinheit wurden vier bis sechs Läufe gefahren.

Die Athleten (n=5) absolvierten viermal einen submaximalen Stufentest auf dem Fahrradergometer. Die Belastung startete bei 100 Watt und wurden jede zweite Minute um 30 Watt erhöht. Am Ende jeder Stufe wurde die Herzfrequenz, die Blutlaktatkonzentration und die subjektive Einstufung der Belastung bestimmt. Der Test wurde submaximal bei 250 Watt (für einen Athleten bei 280 Watt) im Bereich der anaeroben Schwelle abgebrochen.

Drei Athleten bestimmten täglich ihre Ruheherzfrequenz (vor dem Aufstehen liegend im Bett), ihr subjektives Befinden auf einer Skala von -2 bis +2 (-2 = sehr müde/keine Form; -1 = etwas müde; 0 = normal; +1 = besser als normal; +2 = Superform) in der Ruhezeit und im Training sowie alle zwei bis drei Tage ihr Körpergewicht.

Während der Dauer der Studie bestritten die Athleten (n=5) auch Wettkämpfe, drei Slaloms und einen Riesenslalom (*Tabelle 2*). Im Rahmen dieser Wettkämpfe konnten ebenfalls Laktatwerte (jeweils Start- und Ziellaktat 1. und 2. Lauf) erhoben werden. Bei vier Athleten wurde die maximal erreichte Herzfrequenz im Wettkampf zwei- bis dreimal bestimmt und gemittelt.

Eine Übersicht über den Studienablauf zeigt *Tabelle 2*. Die Resultate sind entweder als Einzelwerte oder Mittelwerte ± Standardfehler (S.E.) dargestellt. Zur statistischen Analyse wurde der «student's paired t-test» verwendet. Ein $p < 0.05$ wurde als statistisch signifikant angesehen.

Resultate und Diskussion

Blutlaktatkonzentrationen bei wettkampfmässigem Slalomtraining

In *Abbildung 1* sind die Laktatwerte vor und nach den Trainingsläufen grafisch dargestellt. Kolonne A zeigt die Resultate gemittelt über die ganze Gruppe, die Kolonnen B–D stellen individuelle Verläufe dar.

Diskussion der Durchschnittswerte: Die Kurven zeigen, dass zu Beginn der Trainingsperiode die höchsten Start- und Ziel-Laktatwerte gemessen wurden. Eine Laufzeit von 35 Sekunden Dauer führte zu Ziel-Laktatwerten von durchschnittlich 8 mmol/l. Die

Datum	Wohnort	Höhe [m]	Training	Hf	RPE	BW	Sub
06.11.99	Transatlantikflug						
07.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x		
08.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x	x	
09.11.99	Breckenridge	3000	RS	x	x		x
10.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x		
11.11.99	Breckenridge	3000	Rec	x	x	x	
12.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x		x
13.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x		
14.11.99	Breckenridge	3000	WK SL	x	x	x	
15.11.99	Breckenridge	3000	WK SL	x	x		x
16.11.99	Breckenridge	3000	Rec	x	x		
17.11.99	Breckenridge	3000	WK RS	x	x	x	
18.11.99	Breckenridge	3000	SL	x	x		
19.11.99	Boulder	2000	Rec	x	x		
20.11.99	Boulder	2000	Rec	x	x	x	x
21.11.99	Boulder	2000	Rec	x	x		
22.11.99	Vail	3000	FS	x	x	x	
23.11.99	Vail	3000	WK SL	x	x		
24.11.99	Transatlantikflug						

Tabelle 2: Studienablauf und durchgeführte Messungen: Höhe = Wohnhöhe, Hf = Ruheherzfrequenz, RPE = subjektives Befinden, BW = Körpergewicht, Sub = submaximaler Ergometertest, SL = Slalomtraining mit Laktatmessung, RS = Riesenslalomtraining mit Laktatmessung, WK = Wettkampf, Rec = Ruhetag, FS = freies Skifahren.

Start-Laktatwerte sanken bei einer Erholungszeit von ungefähr 17 Minuten nicht unter 4 mmol/l. Wie *Abbildung 2* zeigt, nahmen jedoch im Laufe des Trainingslagers die durchschnittlichen Ziel- und Start-Laktatwerte kontinuierlich ab. Die Start-Laktatwerte waren am 13.11.99 um 1.5 mmol/l, was in etwa dem Ruhewert entspricht. Die mittleren Ziel-Laktatwerte lagen bei 6 mmol/l. Als mögliche Gründe für die Laktatabnahme kommen in Frage: Akklimatisierung, veränderte Glykogenverfügbarkeit, längere Erholungszeiten zwischen den Läufen und kürzere Laufzeiten. Vom 14.–17.11.99 bestritten die Athleten am Trainingsort drei Wettkämpfe. Es fand kein Training statt. Beim letzten Training vom 18.11.99 wurden im Vergleich zum Training vom 13.11.99 höhere durchschnittliche Start-Laktatwerte (zwischen 2 und 3 mmol/l) und relativ tiefe Ziel-Laktatwerte (zwischen 3.7 und 5.8 mmol/l) gemessen. Kürzere Erholungszeiten im Vergleich zum Training vom 13.11.99 oder Ermüdung können Gründe für das veränderte Laktatverhalten sein. Die tiefen Zielwerte sind insofern erstaunlich, als die Laufzeiten am 18.11.99 gegenüber dem Training vom 13.11.99 deutlich höher waren (40 Sek. gegenüber 25 Sek.). Muskuläre Glykogenverarmung, wie sie nach mehrtägigen Skitrainings auch in anderen Studien beobachtet wurde [1], kann nicht ausgeschlossen werden.

Zusammengefasst zeigen die Laktatmessungen zu Beginn der Trainingsperiode hohe Vor- und Nachbelastungswerte. Am siebten Trainingstag scheint das Laktatverhalten mit tiefen Vorbelastungswerten, aber deutlichem Anstieg nach der Belastung verbessert zu sein. Nach weiteren fünf Tagen, mit 3 Wettkämpfen, findet man in Bezug auf die Laktatwerte eine «Zustandsverschlechterung»: die Laktatwerte steigen kaum noch an und sind schon im Vorbelastungszustand erhöht.

Diskussion von Einzelbeispielen: Hohe Blutlaktatwerte können die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit negativ beeinflussen [7]. Deshalb kann postuliert werden, dass für ein qualitativ hoch-

stehendes Skitraining die Blutlaktatwerte vor dem Start zum nächsten Lauf möglichst nahe beim Ruhewert (unter 2 mmol/l) liegen sollten. Die Messungen zeigten für einzelne Athleten (Kolonne B, *Abbildung 1*), dass das Verhältnis zwischen Belastung und Erho-

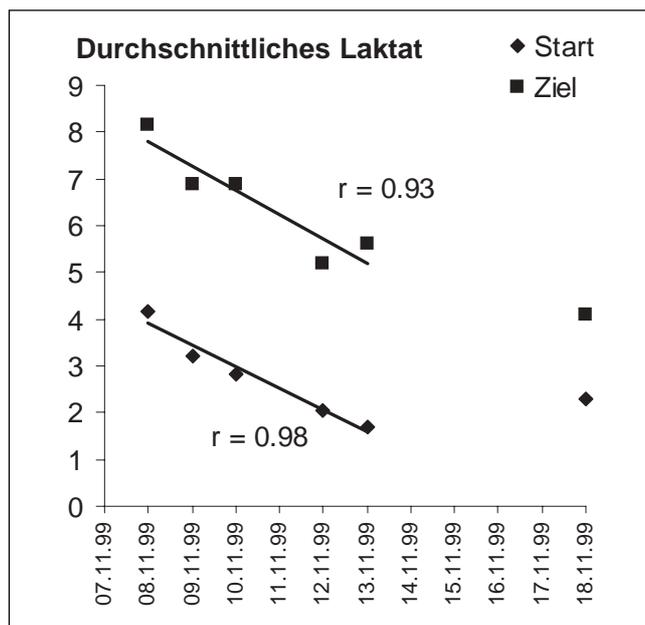


Abbildung 2: Verlauf der durchschnittlichen Ziel- und Startlaktatwerte bei Skitraining in der Höhe. Regressionsgeraden ohne Werte vom 18.11.99, n = 5, r = Regressionskoeffizient.

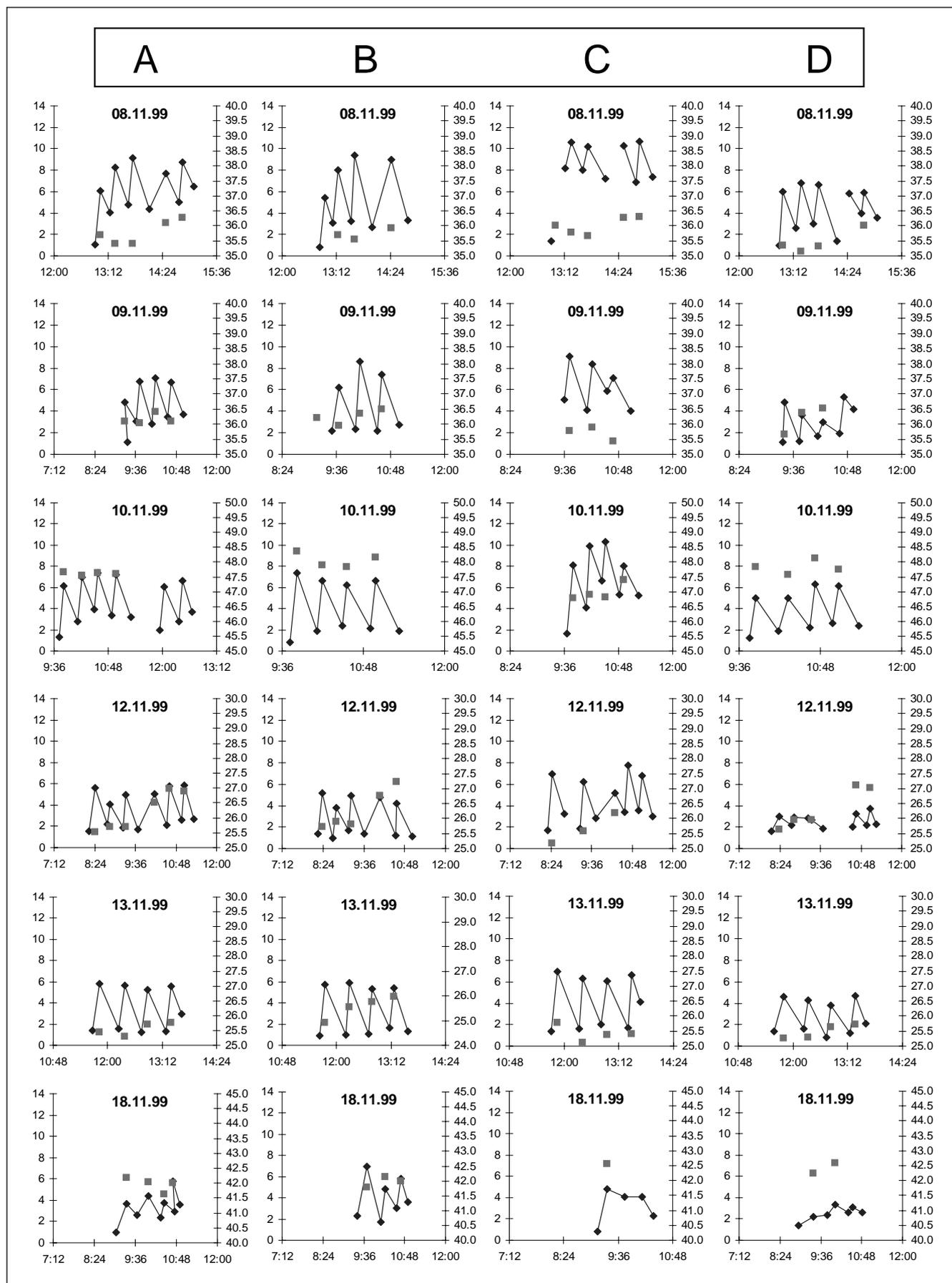


Abbildung 1: Trainingslaktatwerte bei wettkampfmässigem Skitraining. Die Kurven zeigen den Verlauf von Start- und Ziellaktatwerten in mmol/l. Die grauen Punkte stellen die Laufzeiten in Sekunden dar. Auf der Abszisse ist die Tageszeit dargestellt. Kolonne A: Mittelwerte über fünf Athleten. Kolonnen B–D: individuelle Kurven von drei ausgewählten Athleten.

lung von Anfang an gut gewählt war. Die Start-Laktatwerte waren im Vergleich zu den anderen Athleten tief. Ein Trainingslauf führte jeweils zu einem deutlichen Anstieg der Laktatwerte im Ziel. Kolonne C zeigt die Daten für einen Athleten, der ausser am 13.11.99 mit sehr hohen Start-Laktatwerten (bis zu 8 mmol/l) die Trainingsläufe in Angriff nahm. Zu kurze Erholungszeiten und schlechte Belastungstoleranz (ungenügende aerobe Kapazität?) können Gründe für die hohen Werte sein. Die Werte in Kolonne D

zeigen im Vergleich zu den anderen beiden Athleten tiefe Ziel-Laktatwerte. Vor allem am 12. und 18.11.99 ist praktisch kein Anstieg der Laktatwerte zu erkennen, was auf einen reduzierten Muskelglykogengehalt hinweisen könnte. Zentrale Ermüdung, welche eine verminderte Aktivierung der adrenalin-induzierten Glykogenfreisetzung und damit der Glykolyse bewirken kann [5], könnte als weiterer Grund für den geringen Anstieg der Laktatwerte in Frage kommen.

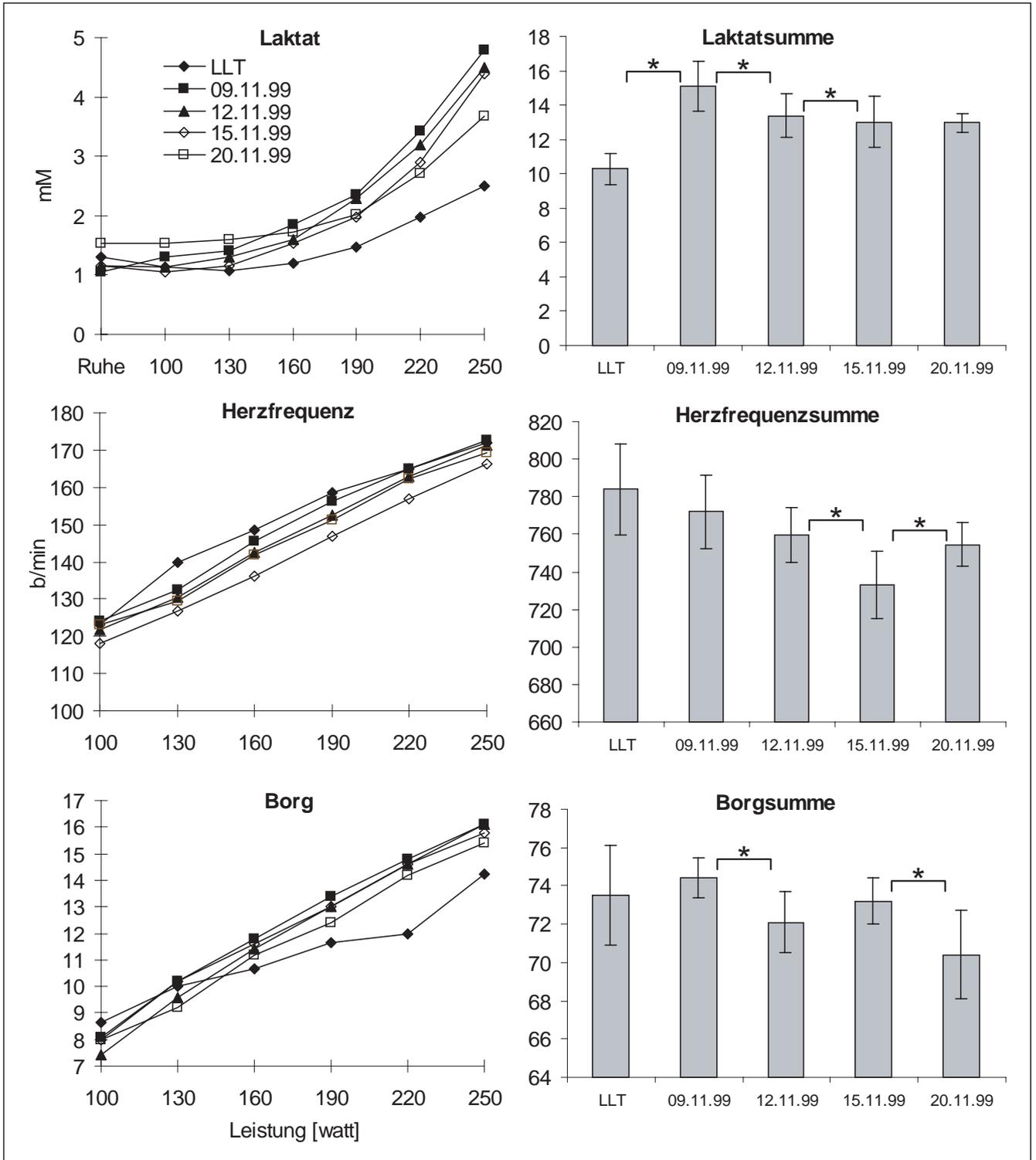


Abbildung 3: Submaximaltest auf dem Fahrradergometer: Laktatkurven, Herzfrequenzkurven und Kurven der subjektiven Einstufung der Belastung (nach Borg). Zur besseren Übersicht sind die Werte jeder Kurve auch aufsummiert dargestellt. LLT = Laborleistungstest, durchgeführt vor Beginn des Trainingslagers. Mittelwerte \pm S.E., * statistischer signifikanter Unterschied ($p < 0.05$).

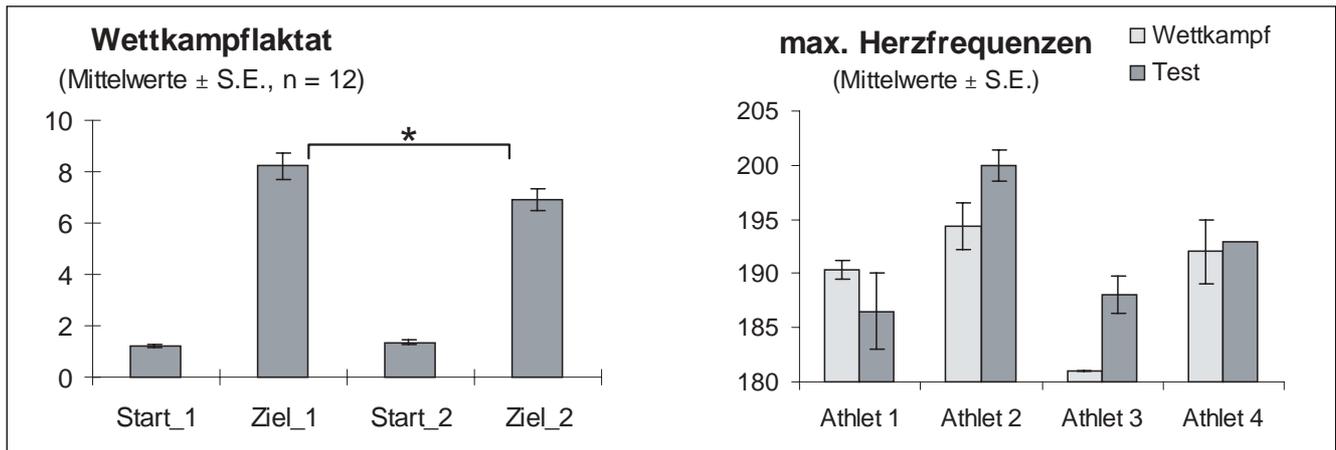


Abbildung 4: Start- und Ziellaktatwerte gemittelt aus drei Slalom- und einem Riesenslalomwettkampf für 5 Athleten. Insgesamt konnten 12 komplette Sätze Laktatwerte (jeweils Start- und Ziellaktat 1. und 2. Lauf) erhoben werden. Bei vier Athleten wurde während der Wettkämpfe die maximale Herzfrequenz gemessen und mit den Maximalwerten aus Laborleistungstests verglichen. Die Mittelwerte bilden sich aus ein bis drei Bestimmungen pro Athlet. S.E. = Standardfehler. * = statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0.05$) zwischen Ziellaktatwerten erster Lauf (Ziel_1) und Ziellaktatwerten zweiter Lauf (Ziel_2).

Submaximaler Ergometer-Stufentest

Die Daten der submaximalen Ergometer-Stufentests sind in *Abbildung 3* als Kurven und als Summen dargestellt. Vier der fünf Athleten absolvierten im Zeitraum zwischen Juni und November 1999 den gleichen Test im Labor. Dieser Test wurde in normobarer Hypoxie in einer simulierten Höhe von 3000 m ü.M. durchgeführt. Die Tests vom 9., 12. und 15.11.99 wurden auf einer Höhe von ca. 3000 m ü.M. während des Trainingslagers durchgeführt. Den Test vom 20.11.99 absolvierten die Athleten am zweiten Tag während des Erholungsaufenthalts in Boulder auf einer Höhe von ca. 2000 m ü.M.

Der Verlauf der Laktatkurve war am tiefsten beim Labortest in akuter Hypoxie. Eigentlich würde man bei akuter Hypoxie die höchsten Werte erwarten [3]. Da im Labor die Laktatbestimmung mit einem anderen Messgerät durchgeführt werden musste, sind aus methodischen Gründen die Laborlaktatwerte nicht vorbehaltlos mit den Werten aus dem Trainingslager vergleichbar. Den ersten Laktatanstieg findet man aber bei allen Tests auf der gleichen Belastungsstufe, was auf eine unveränderte Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen dem Zeitpunkt der Labortests und den Messungen im Trainingslager schliessen lässt. Da auch während des Trainingslagers eine starke Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit nicht sehr wahrscheinlich ist, müssen Verschiebungen der Laktatkurven während des Trainingslagers ihre Ursache in der Höhenanpassung und/oder im Glykogenmetabolismus haben.

Die höchsten durchschnittlichen Laktatwerte wurden nach 3 Tagen Aufenthalt (9.11.99) in der Höhe gemessen. Vom 9.11.99 bis zum 15.11.99 beobachtet man dann eine kontinuierliche und signifikante Abnahme der Laktatwerte. Diese Abnahme ist typisch bei chronischen Höhengaufenthalten und ist ein Teil des Akklimatisierungsprozesses [3, 5]. Bei der Laktatkurve vom 20.11.99 in Boulder fällt auf, dass bei tiefen Belastungen vor dem ersten Laktatanstieg die Werte im Vergleich zu den anderen Tests deutlich höher lagen. Unabhängig von der Testhöhe deuten höhere Laktatwerte bei tiefen Belastungen auf eine verbesserte Verfügbarkeit und Utilisation von Glykogen bzw. Glukose hin [6]. Studien zeigen, dass schon ein fünftägiges Skitraining zu einer Abnahme der Glykogenspeicher um 50% führen kann [1]. Es ist deshalb anzunehmen, dass die 10 Tage Training auf 3000–3500 m ü.M. zu einer schleichenden Glykogenverarmung führten, welche durch zwei Tage Regeneration in tieferer Höhe teilweise kompensiert werden konnte.

Die höchsten Herzfrequenzwerte findet man unter akuter Hypoxie beim Test im Labor. Vom 9.11.99 bis 15.11.99 nehmen dann die Herzfrequenzen auf den verschiedenen Belastungsstufen kon-

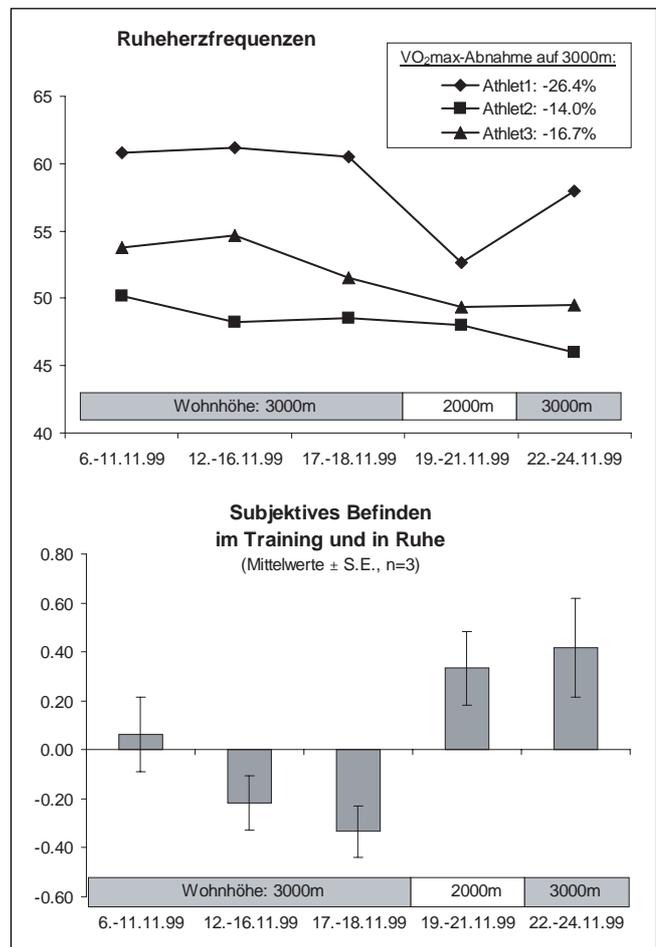


Abbildung 5: Ruheherzfrequenzwerte und subjektives Befinden für 3 Athleten. Die Werte wurden täglich erhoben und jeweils vom 6.–11., 12.–16., 17.–18., 19.–21. und 22.–24. November 1999 gemittelt. S.E. = Standardfehler. Oben rechts: prozentuale Abnahme der VO_{2max} auf 3000 m Höhe in Bezug auf 500 m.

tinuierlich ab, wobei vor allem die tiefen Werte beim Test vom 15.11.99 auffallen. Die subjektive Einstufung der Intensität der Belastung verbesserte sich signifikant vom 9.–12.11.99, blieb un-

verändert vom 12.–15.11.99 und war signifikant verbessert vom 15.–20.11.99.

Herzfrequenz und Laktat während Wettkämpfen

An insgesamt vier Wettkämpfen (3 Slaloms, 1 Riesenslalom) wurde Laktat gemessen. Die Wettkämpfe fanden nach acht Tagen Höhengaufenthalt und Training vom 14.–17.11.99 sowie am 23.11.99 in Höhen über 3000 m ü.M. statt. Die Laktatwerte unmittelbar vor den Starts zum ersten und zweiten Lauf waren identisch und lagen unter 1.5 mmol/l (Abbildung 4). Die Ziel-Laktatwerte nach dem zweiten Lauf waren hingegen signifikant tiefer als nach dem ersten Lauf (8.2 vs. 6.9 mmol/l, $p < 0.05$). Da die Rennen im Anschluss an das Trainingslager stattfanden, könnten metabolische Veränderungen aufgrund teilweise entleerter Glykogenspeicher diese Abnahme bewirkt haben. Möglicherweise können auch tageszeitliche Schwankungen im Hormonhaushalt den Metabolismus und damit die Laktatbildung beeinflussen. Bei vier Athleten wurden zusätzlich Herzfrequenzmessungen an drei Rennen durchgeführt. Die maximalen Herzfrequenzen entsprachen im Durchschnitt 98.7% der Maximalwerte, welche bei vorgängigen Labor- VO_2max -Tests auf dem Fahrradergometer erreicht wurden (189.4 vs. 191.9).

Ruheherzfrequenz, subjektives Befinden und Körpergewicht

Für drei Athleten konnten die Ruheherzfrequenz, das subjektive Befinden in Ruhe und im Training sowie das Körpergewicht regelmässig erfasst werden. Die Ruheherzfrequenzen lagen für diese Athleten zwischen 50 und 60 Schlägen pro Minute (Abbildung 5). Die Ruheherzfrequenzwerte verhielten sich proportional zur höhenbedingten Abnahme der VO_2max : derjenige Athlet mit der höchsten VO_2max -Abnahme auf 3000 m ü.M. (-26.7%) hatte die höchsten Ruheherzfrequenzwerte. Bei diesem Athleten mit vermutlich schlechter Höhentoleranz blieben die Ruheherzfrequenzwerte während des Aufenthalts auf 3000 m ü.M. konstant hoch. Der zwischenzeitliche Aufenthalt auf 2000 m ü.M. führte zu einer deutlichen Abnahme der Ruheherzfrequenz. Dieser Effekt wurde bei den zwei anderen Athleten mit geringeren Abnahmen der VO_2max auf 3000 m ü.M. (-14.0% und -16.7%) nicht beobachtet. Hingegen sieht man für diese zwei Athleten eine kontinuierliche Abnahme der Ruheherzfrequenz über die ganze Messperiode, unabhängig von der Aufenthaltshöhe. Hohe Ruheherzfrequenzwerte können als ein Hinweis auf eine negativ beeinflusste Erholungsfähigkeit gewertet werden [10].

Vom 6.11.99 bis zum ersten Ruhetag am 11.11.99 wurde das subjektive Befinden im Schnitt als «normal» angegeben (Abbildung 5). In der Periode vom 12. bis 18.11.99 verschlechterte sich das Befinden leicht in Richtung «etwas müde». Vom 19. bis 24.11.99, während des Aufenthalts in tieferer Höhe und des abschliessenden Hauptwettkampfs, verbesserte sich der Zustand in Richtung «besser als normal». Die Erholung auf 2000 m ü.M. und die Motivation im Hinblick auf das erste Weltcuprennen vom 23.11.99 hatten offensichtlich einen positiven Effekt auf das subjektive Befinden. Obwohl die Werte die Veränderungen der physiologischen Parameter (z.B. Laktat im Training) widerspiegeln, muss berücksichtigt werden, dass die Veränderungen sehr klein sind.

Das Körpergewicht der Athleten ($n=3$) nahm während der Studienperiode ganz leicht um durchschnittlich 0.5 kg zu. Aus früheren Studien ist bekannt, dass mehrwöchige Aufenthalte in grossen Höhen zu einer Abnahme des Körpergewichts führen, welche zu einem grossen Teil auf eine Abnahme der Muskelmasse zurückgeführt werden kann [4]. Eine Zunahme der Muskelmasse kann deshalb nicht für die Gewichtszunahme verantwortlich sein, zumal während der Studie kaum Krafttraining absolviert wurde. Veränderungen in den Ernährungsgewohnheiten (amerikanische Küche, Athleten kochten selber) könnten jedoch einen Einfluss gehabt haben. Der Ernährung bei solchen Trainingslagern sollte deshalb mehr Beachtung geschenkt werden, weil Veränderungen des Körpergewichts in der unmittel-

baren Wettkampfvorbereitung die Leistungsfähigkeit beeinflussen können.

Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Resultate aus einem zweiwöchigen Skitrainingslager mit Trainings- und Wohnstätten auf über 3000 m ü.M. werden für die Praxis wie folgt bilanziert:

1. Laktatmessungen im Training alpiner Skirennläufer können im Sinne der individuellen Trainingssteuerung und zur Vermeidung von lokalen Überlastungszuständen nützlich sein.
2. Die hohen Trainingslaktatwerte (gemessen am Start) weisen darauf hin, dass während den ersten Trainingstagen die Trainingsintensität zu hoch gewählt war. Durch Verlängerung der Pausen zwischen den einzelnen Trainingsläufen könnte der Rückgang der Blutlaktatkonzentration verbessert werden.
3. Sieben Tage Höhengaufenthalt und Training scheinen für eine Akklimatisation ausreichend zu sein. Nach 12 Tagen sind während des Skitrainings jedoch Veränderungen in den Blutlaktatwerten aufgetreten, welche auf muskuläre Ermüdung bzw. Glykogenverarmung hinweisen könnten.
4. Regelmässig durchgeführte submaximale Ergometertests eignen sich in einem gewissen Umfang, Anpassungen an spezifische Bedingungen (wie Höhenadaptation und/oder metabolische Veränderungen) aufzuzeigen.
5. Höhensensitive Athleten zeigen möglicherweise ein vermindertes Akklimatisierungsvermögen und hohe Ruheherzfrequenzen. Eine schlechte Höhentoleranz kann in speziellen Labor-Leistungstest erkannt werden.
6. Einer bedarfsgerechten, kohlenhydratreichen und gesunden Ernährung während Trainingslagern in der Höhe sollte hohe Beachtung geschenkt werden.

Danksagung

Die Autoren danken den Athleten und Trainern des Schweizer Slalomteams für die gute Zusammenarbeit. Ein herzliches Dankeschön an Dr. med. H. Howald für die Durchsicht des Manuskripts und das Verfassen der englischen Zusammenfassung. Die Studie wurde finanziert durch Swiss Ski, den Schweizerischen Olympischen Verband und die Universität Bern.

Literaturverzeichnis

- 1 Andersen R.E., Montgomery D.L.: Physiology of Alpine skiing. Sports Med. 6: 210–221, 1988.
- 2 Costill D.L.: Carbohydrates for Exercise: Dietary Demands for Optimal Performance. Int. J. Sports. Med. 9: 1–18, 1988.
- 3 Hochachka P.W.: Mechanism and evolution of hypoxia-tolerance in humans. The Journal of Experimental Biology. 201: 1243–1254, 1998.
- 4 Hoppeler H., Cerretelli P.: Morphologic and metabolic response to chronic hypoxia: the muscle system. In: Handbook of Physiology Section 4, Environmental Physiology, edited by M.J. Fregly and C.M. Blatteis. Oxford University Press, 1996, pp. 1155–1181.
- 5 Kayser B.: Lactate during exercise at high altitude. Eur. J. Appl. Physiol. 74: 195–205, 1996.
- 6 Maassen N., Busse M.W.: The relationship between lactic acid and work load: a measure for endurance capacity or an indicator of carbohydrate deficiency? Eur. J. Appl. Physiol. 58: 728–737, 1989.
- 7 Pendergast D., Leibowitz R., Wilson D., Cerretelli P.: The effect of preceding anaerobic exercise on aerobic and anaerobic work. Eur. J. Appl. Physiol. 52: 29–35, 1983.
- 8 Tesch P.A.: Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing. Med. Sci. Sports Exerc. 27: 310–314, 1995.
- 9 White A.T., Johnson S.C.: Physiological aspects and injury in elite Alpine skiers. Sports Med. 15: 170–178, 1993.
- 10 Wilmore J.H., Costill D.L.: Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics, 1994.