

Winfried Joch¹, Sandra Ückert², Reinhard Fricke³, Michael Hammer⁴

¹ Institut für Sportwissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster

² Institut für Sportwissenschaft der Universität Dortmund

³ Innere Medizin und Rheumatologie an der Weserland-Klinik Bad Seebruch, Vlotho

⁴ St. Josef-Stift in Sendenhorst

Ausdauerleistungsfähigkeit bei hohen Umgebungstemperaturen

Zusammenfassung

Hohe Umgebungstemperaturen mindern die sportliche Ausdauerleistung. Über das quantitative Ausmass dieser Leistungsminde- rung, insbesondere in dem für den Sport bedeutenden Tempera- turbereich zwischen 20 und 30 °C, ist jedoch nur verhältnismässig wenig bekannt. Die hier vorgelegte Studie beschäftigt sich mit dieser Thematik und überprüft die tatsächlichen Leistungsminde- rungen unter standardisierten Bedingungen auf einem Ergometer. Zusätzlich wird mit dem Verfahren der Kälteapplikation in einer Kältekammer (Precooling) die Möglichkeit diskutiert, die negati- ven Wärmewirkungen zu reduzieren.

Abstract

Exercise in the heat increases the metabolic heat load and impairs performance. Only little is known about how much ambient tempe- ratures between 20 and 30 °C (an important range for sport) reduce performance. The aim of the present study was to determine the actual decrease in performance under standardized conditions con- ducted on a stationary cycle ergometer. Additionally, the hypothe- sis was tested that whole body precooling in a cryochamber would increase the maximal power and reduce the negative heat effects.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 54 (2), 37–40, 2006

1. Einleitung

Es gehört zum Alltags- und Erfahrungswissen von Sportlern und Trainern, dass insbesondere in Ausdauersportarten die Leistungs- fähigkeit bei hohen Umgebungstemperaturen eingeschränkt ist. Zusätzlich gibt es Hinweise auf diesen Tatbestand auch in der einschlägigen Fachliteratur [3, 11], in spezifischen Trainings- empfehlungen [5] und in einigen (sport-)wissenschaftlichen Ge- samtdarstellungen [2, 6]. Es ist klar, dass einerseits zwischen der Wärmewirkung im Ausdauerbereich und in Sportarten mit schnellkräftigem Bewegungshintergrund unterschieden werden muss [4], und dass andererseits die Notwendigkeit besteht, die Aufwärm- und Vorbereitungsprogramme in diesen beiden Belas- tungsanforderungsarten unterschiedlich zu akzentuieren [8, 13].

Auffällig ist allerdings, dass trotz dieses relativ eindeutigen Er- fahrungs- und Wissenshintergrundes eine exakte Quantifizierung der Ausdauer-Leistungsminde- rung unter den Bedingungen hoher Umgebungstemperaturen, insbesondere in den für die sportliche Praxis relevanten Temperaturbereichen, durch experimentell ge- wonnene Forschungsergebnisse bislang nur unzureichend erfolg- t ist. Die hier vorgelegte Studie beabsichtigt, einen entsprechend dif- ferenzierten Quantifizierungsbeitrag zu leisten und dabei vor allem einige bedeutsame Rahmenbedingungen der Ausdauerleistungsfä- higkeit vergleichend zwischen 20 und 30 °C Umgebungstempere- tur (Labor) zu berücksichtigen und zu kontrollieren, nämlich die für intervallisierte Trainingsstrukturen charakteristischen Belas- tungsmerkmale Dauer, Intensität und Pause [17], das subjektive Belastungsempfinden [10], die zur Leistungssteuerung notwendi- gen objektiven Parameter Herzfrequenz (Hf) [14] und Laktatkonzentration im Blut [7] sowie den belastungsabhängigen Anstieg der Körperkerntemperatur [2, 12].

Zusätzlich wird ein mögliches, bisher allerdings noch wenig verbreitetes Verfahren vorgestellt [1, 9], die Leistungsminde- rung im Ausdauerbereich unter den Bedingungen hoher Umgebungs-

temperaturen zu kompensieren: der «Kaltstart» [4] bzw. anders formuliert: die Anwendung externer Kühlung im Sinne des Pre- coolings [15].

2. Methodik

2.1 Versuchspersonen

Die Testpersonen bei Test 1 (N = 7) waren 25.4 ± 3.2 Jahre alt: vier weiblich, drei männlich. Die Körperhöhe betrug 1.77 ± 0.10 m und das Körpergewicht 72.7 ± 23.0 kg. Die Testpersonen bei Test 2 (N = 5) waren 25.0 ± 1.4 Jahre alt (männlich). Ihre Körperhöhe betrug 1.81 ± 0.25 m und das Körpergewicht 76.8 ± 6.3 kg.

2.2 Messparameter und Apparaturen

Die Testserien wurden auf einem SRM-Hochleistungs-Fahrrad- ergometer (Schoberer Rad Meßtechnik, Jülich, Deutschland) bei konstanter Kurbelfrequenz von 80 rpm durchgeführt.

Die Körperkerntemperatur wurde über die Tympanaltemperatur auf Infrarot-Basis mit Hilfe des ThermoScan 3000 (Type 6014, Braun, Kronberg, Deutschland) ermittelt.

Die Laktatmessung (Accutrend-Lactate, Roche Diagnostics, Mannheim, Deutschland) erfolgte aus dem Kapillarblut, das aus der Fingerbeere entnommen wurde, und zwar jeweils am Ende von T_a und T_b (vgl. unten).

Hf wurde telemetrisch (S 810, Polar Electro, Kempele, Finnland) erfasst und kontinuierlich während der gesamten Testzeit auf dem Ergometer gemessen. Die Erholungsfähigkeit, die ein wichtiger Bestandteil der Ausdauerleistung ist und für die Abschätzung der komplexen Ausdauerleistungsfähigkeit als unverzichtbar gilt, wurde anhand der Erholungs-Hf in den beiden Pausen (Hf_a P und Hf_b P) jeweils nach T_a und T_b ermittelt.

Das subjektive Belastungsempfinden wurde mittels der Borg-Skala als «Rate of perceived exertion» (rpe) am Ende des Maximaltests ($T_{W_{max}}$) und am Ende der beiden 10-min-Tests (T_a und T_b) erfasst, wobei «6» den geringsten, «20» den höchsten subjektiven Erschöpfungsgrad bezeichnet [8].

2.3 Testablauf

2.3.1 Testserie: Ausdauerleistung unter Normaltemperatur- und unter Wärmebedingung

Zuerst wurde ein Stufentest ($T_{W_{max}}$) zur Ermittlung der maximalen Leistung (W_{max}) durchgeführt: Nach dem Einfahren von 3 min begannen die Probanden bei 100 W, die automatisch alle 30 sec nach programmierter Zeitregelung um 25 W erhöht wurden, so dass pro min eine Steigerung um 50 W erfolgte. Als W_{max} wurde derjenige Wert registriert, der die volle Zeitdauer von 30 sec durchgefahren werden konnte. Bei Leistungsabbruch wurden die Abbruchzeit ($t_{W_{max}}$) und die zu diesem Zeitpunkt erreichte Hf (Hf_{max}) festgestellt. W_{max} diente als Referenzwert für den folgenden Test. Nach 5 min Pause folgte ein zweiteiliger Ausdauererprobungs- (A und B) bestehend aus einer intervallierten Belastung von insgesamt 2 x 10 min mit 60% W_{max} , was einer Hf von etwa 85–90% Hf_{max} entsprach. Zwischen T_a und T_b erfolgte eine 5-min-Pause. Diese Testserie wurde vergleichend und einmal in randomisierter Reihenfolge bei einer Raumtemperatur von durchschnittlich $20.4 \pm 0.7^\circ\text{C}$ und $50.2 \pm 9.3\%$ Luftfeuchtigkeit («Normalbedingung») bzw. $29.7 \pm 1.0^\circ\text{C}$ und $55.5 \pm 8.9\%$ Luftfeuchtigkeit («Wärmebedingung») durchgeführt. Die Gesamtdauer von $T_{W_{max}}$ sowie T_a und T_b (inkl. 2 x 5 min Pause dazwischen) variierte zwischen 36 und 41 min.

2.3.2 Testserie: Ausdauerleistung ohne und nach Kälteapplikation

Mit einer Kontrollgruppe ($n = 5$) wurde wiederum der Test $T_{W_{max}}$ (s. o.) durchgeführt. Die Testdurchführung erfolgte hier jedoch sowohl unter Normaltemperaturbedingungen ($20.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$ und $49.4 \pm 8.7\%$ Luftfeuchtigkeit) und auch unter identischen Temperaturbedingungen um zwei Tage zeitversetzt und in randomisierter Form nach einem Aufenthalt von 2.5 min in einer Kältekammer (CRIO Med., Birkenfeld, Deutschland) mit einer Lufttemperatur von konstant minus 90°C bei einer Luftfeuchtigkeit von annähernd Null (Precooling). Der Aufenthalt in der Kältekammer erfolgte in Badebekleidung, jedoch mit Mund- und Ohrenschutz, Handschuhen, Sportschuhen und in Sportschuhen.

2.4 Statistik

Die Daten wurden mittels SPSS 11.0 statistisch verarbeitet. Die Resultate werden als Mittelwerte \pm Standardabweichung dargestellt. Für Mittelwertunterschiede wurde der T-Test für gepaarte Stichproben verwendet. Die Signifikanzgrenze wurde bei $p = 0.05$ festgesetzt, Werte $p \leq 0.01$ werden als hoch signifikant (**) bezeichnet, Werte $p \leq 0.001$ als höchst signifikant (***) bezeichnet.

3. Resultate

3.1 Ausdauerleistung unter Normaltemperatur- und unter Wärmebedingungen

3.1.1 Maximalleistung (W_{max}) im Stufentest

W_{max} im Stufentest unterscheidet sich im Mittel um 8.3 W zugunsten der Bedingungen unter Normaltemperatur (Tab. 1). Die Leistungseinbuße liegt damit unter Wärmebedingungen bei etwa 2.3%. Der Leistungsabbruch erfolgt im Durchschnitt um 11.4 sec früher, wenn die Leistungen unter Wärmebedingungen erbracht werden müssen. Obwohl diese Leistungsunterschiede aus sportlicher Perspektive und Bewertung durchaus beachtenswert sind, sind die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Es ist auffällig, dass Hf_{max} unter Wärmebedingungen niedriger als unter Normaltemperaturbedingungen ist (Tab. 1)

	Normaltemperatur (20°C)	Wärme (30°C)	p	
$T_{W_{max}}$				
W_{max} (W)	379,2 \pm 91	370,8 \pm 92	.175	ns
$t_{W_{max}}$ (sec)	512,1 \pm 135	500,7 \pm 40	.139	ns
Hf_{max} (Schläge/min)	187,2 \pm 10	182,0 \pm 10	.005	**
rpe	18,0 \pm 1,1	18,0 \pm 1,5		ns
T_a				
Hf_a 1.–5.' (Schläge/min)	157,4 \pm 13,9	160,7 \pm 13,7	.160	ns
Hf_a 5.–10.' (Schläge/min)	168,0 \pm 13,9	171,4 \pm 13,6	.008	**
Hf_a 1.–10.' (Schläge/min)	162,7 \pm 13,7	166,1 \pm 13,6	.052	ns
Hf_a P (Schläge/min)	102,9 \pm 11,6	111,3 \pm 11,1	.001	***
rpe _a 5.'	13,7 \pm 1,5	14,3 \pm 0,8	.603	ns
rpe _a 10.'	14,5 \pm 1,9	16,5 \pm 1,4	.007	**
KKT _a Beginn (°C)	37,7 \pm 0,8	37,4 \pm 0,9	.326	ns
KKT _a Ende (°C)	38,3 \pm 0,7	38,7 \pm 0,4	.054	ns
Lac _a Ende (mmol/l)	7,1 \pm 2,1	9,1 \pm 1,6	.015	*
T_b				
Hf_b 1.–5.' (Schläge/min)	162,6 \pm 9,9	169,6 \pm 12,3	.009	**
Hf_b 5.–10.' (Schläge/min)	171,2 \pm 13,6	178,2 \pm 10,9	.004	**
Hf_b 1.–10.' (Schläge/min)	167,2 \pm 11,6	173,8 \pm 11,5	.001	***
Hf_b P (Schläge/min)	104,4 \pm 9,3	116,0 \pm 11,3	.007	**
rpe _b 5.'	15,0 \pm 1,4	16,0 \pm 0,9	.041	*
rpe _b 10.'	15,0 \pm 1,9	18,0 \pm 1,5	.002	**
KKT _b Beginn (°C)	37,7 \pm 0,8	38,3 \pm 0,4	.024	**
KKT _b Ende (°C)	38,7 \pm 0,3	38,9 \pm 0,7	.210	ns
Lac _b Ende (mmol/l)	6,1 \pm 1,6	7,54 \pm 1,9	.203	ns

$T_{W_{max}}$: Test zur Ermittlung der maximalen Leistung (W_{max})

$t_{W_{max}}$: Zeit bis zum Erreichen der maximalen Leistung

Hf_{max} : maximale Herzfrequenz zum Zeitpunkt des Erreichens der maximalen Leistung

rpe: rate of perceived exertion (nach Borg-Skala)

T_a : 1. 10-min-Ausdauer-Test mit 60% W_{max}

T_b : 2. 10-min-Ausdauer-Test mit 60% W_{max}

P: 5-min-Pause

Tab. 1: Mittelwerte \pm Standardabweichung von Herzfrequenz (Hf), rate of perceived exertion (rpe), Körperkerntemperatur (KKT), Laktat (Lac) während $T_{W_{max}}$, T_a und T_b

3.1.2 Subjektive Belastungseinschätzung im 2x10-min-Ausdauererprobungs-Test

Die Testpersonen schätzen die Belastung unter hohen Raumtemperaturen – bei objektiv identischen Belastungen – subjektiv als deutlich intensiver ein. Dies gilt für T_a und noch deutlicher für T_b mit jeweils signifikanten und hoch signifikanten Unterschieden (Tab. 1).

3.1.3 Körperkerntemperatur im 2x10-min-Ausdauererprobungs-Test

Die Körperkerntemperaturen der Testpersonen variieren zwischen dem niedrigsten Wert von 36.0°C in Ruhe und 38.9°C nach Beendigung der Belastung von T_b unter Wärmebedingungen (Tab. 1). Obwohl die Mittelwertunterschiede zwischen den Körpertemperaturwerten im Vergleich zwischen Wärme und Normaltemperatur mit Ausnahme des Beginns von T_b nicht signifikant unterschiedlich sind, ist doch erkennbar, dass mit einer Ausnahme die Werte unter Wärmebedingungen höher sind als unter Normaltemperatur.

3.1.4 Laktat im 2x10-min-Ausdauererprobungs-Test

Die Laktatbildung variiert im 2x10-min-Ausdauererprobungs-Test (T_a und T_b) bei den Probanden zwischen 4.4 und 11.5 mmol/l. Aus dem Vergleich der jeweiligen Mittelwerte ergibt sich, dass unter hohen Umgebungstemperaturen nach T_a 1.9 ($p < 0.05$) bzw. nach T_b 1.4 mmol/l Laktat (n.s.) mehr gebildet werden (Tab. 1). Das entspricht einer Zunahme von 28.2 bzw. 19.1%, wobei am Ende von T_b geringere Laktatkonzentrationen gefunden wurden als nach T_a .

3.1.5 Herzfrequenzen im 2x10-min-Ausdauererprobungs-Test

Die Hf sind bei T_a und T_b unter Wärmebedingungen jeweils höher als unter Normaltemperaturbedingungen (Tab. 1). Die Differenzen sind während T_a viermal signifikant, während sie bei T_b

	W_{max} (W)		t_{Wmax} (min)		Hf_{max} (Schläge/min)		Hf_{mean} (Schläge/min)		Hf_p (Schläge/min)	
	Nt	KK	Nt	KK	Nt	KK	Nt	KK	Nt	KK
Vp 1	350	350	8:40	8:55	191	184	154	135	125	96
Vp 2	400	400	9:39	9:25	203	199	149	133	119	95
Vp 3	375	375	9:00	9:25	192	181	149	133	128	105
Vp 4	375	375	9:10	9:30	194	186	161	153	113	99
Vp 5	275	325	6:35	8:00	174	176	155	147	112	96
mean	355 ± 48	365 ± 28	08:36 ± 0,05	09:03 ± 0,03	190,8 ± 10,5	185,2 ± 8,6	153,6 ± 5,0	140,2 ± 9,2	119,4 ± 7,1	98,2 ± 4,1

Vp: Testpersonen, W_{max} : maximale Leistung, t_{Wmax} : Zeit bis zum Erreichen von W_{max} , Hf_{max} : maximale Herzfrequenz, Hf_{mean} : durchschnittliche Herzfrequenz, Hf_p : Herzfrequenz in der 5. min nach Pausenbeginn

Tabelle 2: Stufentest (T_{Wmax}) nach Kälteapplikation in der Kältekammer (KK) bei $-90^{\circ}C$ im Vergleich zu Normaltemperaturbedingungen (Nt) bei $20^{\circ}C$

durchgehend signifikant sind (Ausnahme: 1. min). Die Resultate zeigen, dass die Unterschiede zwischen Wärme- und Normaltemperaturbedingungen in den Ausdauerersts umso deutlicher sind, je länger die Belastung andauert (Abb. 1). Der Vergleich der Hf zeigt, dass sich die Hf-Differenzen unter Wärme- und Normaltemperaturbelastung in T_b gegenüber T_a in etwa verdoppeln.

3.1.6 Erholungsfähigkeit jeweils nach T_a und T_b

Die Differenz der Erholungs-Hf unter Normaltemperatur- und Wärmebedingungen wird mit der Zunahme der Pausenzeiten grösser. Die Hf-Differenzwerte sind ausserdem jeweils höher als die Hf-Unterschiede während der Belastungen von T_a und T_b . Die Hf-Differenzwerte sind zusätzlich nach P2 höher als nach P1, was darauf hindeutet, dass die Erholungsmöglichkeiten durch die vorausgegangenen Wärmebelastungen nicht nur generell beeinträchtigt sind, sondern diese Beeinträchtigung mit zunehmender Dauer der Belastung noch weiter zunimmt. Auf der Grundlage dieser Daten lässt sich als Ergebnis formulieren: Ausdauerbelastungen unter Wärmebedingungen beeinträchtigen vor allem die Erholungsfähigkeit und dies umso mehr, je länger die Belastung dauert.

3.2 Ausdauerleistung ohne und nach Kälteapplikation (Precooling)

Die durch den Stufentest ermittelte W_{max} ist in 4 von 5 Fällen identisch. Versuchsperson 5 zeigt eine deutliche Leistungsverbesserung nach Kälteapplikation (Tab. 2). Der individuelle Leistungsabbruch (t_{Wmax}) erfolgt nach der Kälteapplikation in der Kältekammer in 4 von 5 Fällen zu einem späteren Zeitpunkt. Im Mittel bedeutet dies eine zeitliche Verbesserung der Ausdauerleistung um insgesamt 27 sec. Hf_{max} ist nach der Kälteapplikation und der – bei dieser hohen Belastungsintensität – deutlich längeren Belastungs-

zeit (Ausnahme: Vp 5) deutlich geringer (max. 11, min. 4 Schläge/min) als ohne Kälteapplikation. Hf_{mean} ist trotz der überwiegend längeren Belastungszeit nach der Kälteapplikation deutlich niedriger als ohne Kälteapplikation (max. 19, min. 8 Schläge/min). Die Erholung (Hf_p) nach Beendigung des Ergometertests erfolgt nach Kälteapplikation schneller: In der 5. min nach Testabbruch haben alle Probanden eine deutlich niedrigere Hf, wenn der Test nach Kälteapplikation durchgeführt wurde (max. 29, min. 14 Schläge/min). Im Mittel bedeutet dies eine Reduktion um 21.2 Schläge/min (Tab. 2).

4. Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte nachgewiesen werden, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit unter Wärmebedingungen – $30^{\circ}C$ im Vergleich zu $20^{\circ}C$ Umgebungstemperatur – reduziert ist. Diese Aussage ist jedoch in der Weise zu differenzieren, dass die Leistungsunterschiede umso grösser werden, je länger die Belastung andauert:

Unter den Bedingungen relativ kurzer, progressiver Belastungsanforderungen im Stufentest (T_{Wmax}) auf dem Ergometer (1. Testteil) sind die Leistungs- und Abbruchzeit-Differenzen statistisch insignifikant. Absolut erfolgt allerdings die Abbruchzeit früher und es wird eine geringere Leistung erreicht, wenn die Anforderungen unter Wärmebedingungen erfolgen. Für die sportliche Realität ist das nicht unerheblich: so beträgt die Leistungsunterschied z.B. bei einem 3000-m-Lauf (in ca. 9 min) etwa 12 sec oder 70 m!

Die Hf zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs sind in diesem 1. Testteil (T_{Wmax}) der Testserie 2.3.1 – Hf als wichtiger trainingssteuernder Parameter [14] und bedeutsamer Indikator für die individuelle Ausdauerleistungsfähigkeit – unter Wärmebedingungen signifikant niedriger als bei Normaltemperatur. Dies korrespondiert mit der unter Wärmebedingungen niedrigeren Leistung und der früheren Abbruchzeit.

Im 2. Testteil (T_a) sind bei konstant 60% W_{max} , das entspricht einer Belastung von etwa 85 bis 90% Hf_{max} , die gemessenen Hf-Differenzen während der ersten 5 min insignifikant, während der zweiten 5 min sind sie signifikant (Tab. 1). Dieses Ergebnis entspricht der oben formulierten These vom nachteiligen Wärmeeinfluss in Abhängigkeit von der Belastungsdauer. Die höheren Hf werden unter dem Einfluss höherer Umgebungstemperaturen bei sonst identischen Belastungsanforderungen erzielt – und zwar umso deutlicher, je länger die Belastung dauert.

Ergänzend zu diesen objektiven Befunden bestätigen die subjektiven Belastungsempfindungen dieses Ergebnis (Tab. 1, Borg-Skala): zu Beginn des Tests (1. Testteil: T_{Wmax}) gibt es keine Unterschiede; im 2. Testteil (T_a) sind die Unterschiede zunächst während der ersten 5 min (rpe 5') statistisch insignifikant, absolut jedoch unter Wärmebedingungen höher. Während der zweiten 5 min (rpe 10') sind die Differenzwerte statistisch signifikant zu Gunsten der Wärmebedingungen. Die Probanden erleben also die geforderte Belastung im Ausdauerbereich unter Wärmebedingungen als anstrengender als unter den Bedingungen von Normaltemperatur.

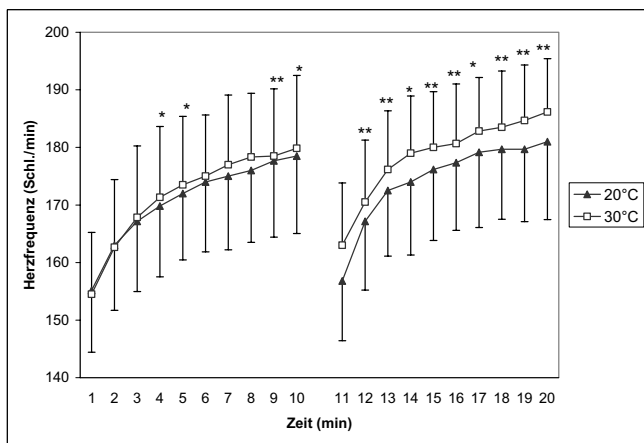


Abbildung 1: Herzfrequenzprofil während eines intervallierten Ausdauerersts (2 x 10 min) bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (20 und $30^{\circ}C$) mit 60% der maximalen Leistung, die im t_{Wmax} ermittelt wurde. Zwischen den beiden Tests erfolgte eine Pause von 5 min.

Im 3. Teilttest (T_b) sind alle Hf-Differenzen statistisch zu Ungunsten der höheren Umgebungstemperaturen signifikant bzw. hoch und höchst signifikant. Das bedeutet, dass identische Ausdaueranforderungen unter Wärmebedingungen mit höheren Hf erzielt werden und damit die höhere Belastungsanforderung widerspiegeln. Dies trifft nicht zu für die Körperkerntemperatur und die Laktatkonzentration am Ende der Belastung: Der Verlauf der Körperkerntemperatur ist in unserer Studie hinsichtlich des Wärmeeinflusses unsystematisch. Es gibt signifikante und insignifikante Werte. Allerdings werden zu beiden Messzeitpunkten (KKT_a und KKT_b) jeweils unter Wärmebedingungen die absolut höchsten Werte registriert, die auch den in der Literatur angegebenen Grenzwert von $38,5^\circ\text{C}$ überschreiten. Auf die Bedeutung der Laktatkonzentration unter Wärmebedingungen hat bereits Hollmann [7, S. 579] mit der Anmerkung hingewiesen, dass sie «früher» einsetzt. Unsere Daten dazu sind statistisch unsystematisch: einmal signifikant (KKT_a), einmal insignifikant (KKT_b). Aber auch hier unterscheiden sich die absoluten Werte insofern, als jeweils unter Wärmebedingungen die höheren Laktatkonzentrationen gemessen werden.

Die Erholungsfähigkeit ist ein bedeutsames Merkmal der Ausdauerleistungsfähigkeit [17]. In einer wichtigen Ausdauertrainingsmethode, dem Intervalltraining, spielt sie eine zentrale Rolle und in der Wiederholungs- und Wettkampfmethode ist sie ausschlaggebend für die Belastungsdosierung. Die erhaltenen Daten weisen darauf hin, dass unter Wärmebedingungen die Erholungsfähigkeit negativ beeinflusst ist: In den beiden 5-min-Pausen, nach $T_{W_{\max}}$ und zwischen T_a und T_b , liegen die Hf-Differenzen jeweils unter Wärmebedingungen höchst signifikant bzw. hoch signifikant über denjenigen, die unter Normaltemperaturbedingungen erzielt wurden. Damit erweist sich die geringere Erholungsfähigkeit unter Wärmeeinfluss für die Realisierung von Ausdauerleistungen als ein gravierendes Hindernis.

Die Kontrolldaten zur Bestimmung des Einflusses von vorausgehender Kälteapplikation (Precooling) als einer effektiven Massnahme zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit [9, 15] sind in mindestens zweifacher Hinsicht bedeutungsvoll: Erstens sind bei Ausdauerleistungen im Mittel alle überprüften Parameter – W_{\max} , $t_{W_{\max}}$, Hf_{\max} und die durchschnittliche Hf – nach vorheriger Kälteapplikation gegenüber Normaltemperaturbedingungen verbessert. Zweitens gilt dieser Verbesserungseffekt quantitativ am eindrucksvollsten für die Erholungsfähigkeit. Keine der 5 Testpersonen weist ein davon abweichendes Resultat auf.

Damit bestätigt sich im Kontext dieser Untersuchung, dass offensichtlich die Regenerations- und Erholungsfähigkeit durch Kälteapplikation besonders verbessert wird [16]: So wird zum Beispiel von der Langstreckenläuferin und weltbesten Marathonläuferin Paula Radcliffe in der «Süddeutschen Zeitung» vom 6.8.2002 berichtet, dass sie zum Zwecke der besseren und schnelleren Regeneration «Eisbäder» nimmt; und die Stabhochspringer von Bayer 04 Leverkusen haben im November 2005 nach einem Bericht der Zeitschrift «Leichtathletik» (2005, 44, S. 5) im Leistungszentrum Spala (Polen) die dortige Kältekammer systematisch zu Regenerationszwecken aufgesucht.

Als zusammenfassendes Resümee dieser Studie lässt sich festhalten: Unter Wärmebedingungen (30 vs. 20°C) sind die Ausdauerleistungen hinsichtlich ihrer Dauer, der objektiven (Hf und Laktat) sowie subjektiv empfundenen (Borg-Skala) Belastungsparameter bei intervallisierten Anforderungen (2×10 min) und submaximaler Leistung ($60\% W_{\max}$) mit zunehmender Tendenz

gemindert. Die Erholungsfähigkeit während der Intervall-Pausen ist deutlich reduziert. Die Körperkerntemperatur übersteigt das «Temperaturoptimum» unter Wärmebelastungen deutlicher als unter Normaltemperatur. Kälteapplikation im Sinne des Precoolings (Kältekammer) verkehrt diese Negativeffekte ins Positive. Die Konsequenzen für die Sportpraxis sind insofern bedeutungsvoll, als viele Wettkämpfe an Orten und in Ländern stattfinden, wo hohe Umgebungstemperaturen herrschen. Kenntnisse über mögliche Leistungseinbußen und Informationen darüber, wie denen zu begegnen ist, gehören zum Repertoire der Trainer, die im Sinne von Leistungs-, Trainings- und Wettkampfsteuerung tätig werden müssen.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Winfried Joch, Institut für Sportwissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Horstmarer Landweg 62b, D-48149 Münster, E-Mail: jowi@uni-muenster.de

Literaturverzeichnis

- 1 Arngrimsson S.A., Pettitt D.S., Stueck M.G., Jorgensen D.K., Cureton K.J.: Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J. Appl. Physiol.* 96, 1867–1874, 2003.
- 2 Badtke G. (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin. 3. Aufl., Heidelberg: Johann Ambrosius Barth, 2005.
- 3 Bertsch A.: In Trockenheit und Kälte. Anpassung an extreme Lebensbedingungen. Ravensburg: Otto Maier Verlag, 1977.
- 4 Brück K.: Warmlaufen oder Kaltstart? *Spiegel der Forschung* 5, 13–16, 1987.
- 5 Dickhut H.-H., Kindermann W., Nieß A.M., Urhausen A.: Sport unter besonderen klimatischen Bedingungen. Köln: Sport und Buch Strauss, 2004.
- 6 Gunda H.C.: Wärmehaushalt und Temperaturregulation. In: P. Deetjen, E.J. Speckmann & J. Hescheler (Hrsg.): Physiologie. München, 4. Aufl.: Urban & Fischer, 2005.
- 7 Hollmann W., Hettinger Th.: Sportmedizin. 3. Aufl., Stuttgart/New York: Schattauer Verlag, 1990.
- 8 Joch W., Ückert S.: Aufwärm-Effekte: Kriterien für ein wirkungsvolles Aufwärmen im Sport. *Leistungssport* 31, 15–19, 2001.
- 9 Joch W., Ückert S.: Ausdauerleistung nach Kälteapplikation. *Leistungssport* 33, 17–22, 2003.
- 10 Löllgen H.: Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Dtsche Zschr. Sportmed.* 55, 299–300, 2004.
- 11 Marées, de, H.: Sportphysiologie. Köln, 9. Aufl.: Sport und Buch Strauss, 2003.
- 12 Scharschmidt F.: Zum Körperkerntemperaturverhalten bei fahrradergometrischen Laboruntersuchungen. *Med. Sport* 31, 10–15, 1991.
- 13 Sherlock F.G.: Physiological, psychological, and injury prevention aspects of warm-up. *NSCA J* 8, 24–27, 1986.
- 14 Spanaus W.: Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport. Aachen: Meyer & Meyer, 2002.
- 15 Ückert S., Joch W.: Verbesserte Hitzetoleranz durch Kälteapplikation. *Leistungssport* 35, 77–78, 2005.
- 16 Ückert S., Joch W.: Der Einfluss von Kälte (Ganzkörperkälteapplikation) auf die Herzfrequenzvariabilität als Regenerationsoptimierer. In: Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport, K. Hottenrott (Hrsg.). Hamburg: Cwalina Verlag, S. 103–111, 2004.
- 17 Zintl F.: Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. München: BLV Verlagsanstalt, 1997.