
Die Bedeutung kurzfristig und hoch dosierter Kälteapplikation für die Realisierung sportlicher Leistungen¹

Winfried Joch (Projektleiter), Sandra Ückert, Reinhard Fricke

Universität Münster
Institut für Sportwissenschaft

1 Problem

Leistungssport findet heute im Grenzbereich der menschlichen Leistungsfähigkeit statt. Um unter diesen Bedingungen noch Leistungssteigerungen erzielen zu können, ist es erforderlich, Ressourcen zu erschließen, die bislang entweder unbekannt waren oder ungenutzt geblieben sind: Verbesserung der Trainingsqualität, Optimierung von Belastung und Erholung, Ausschöpfung der biologischen Leistungsreserven u.a..

Die Bedingungen der Thermoregulation als *eine* solche Ressource sportlicher Leistungsvoraussetzungen sind dabei bisher nur am Rande, und da in der Regel lediglich im Zusammenhang mit der durch körperliche Arbeit bedingten Wärmeproduktion – sprich: Aufwärmen – in das Interesse des Sports geraten. Die andere Seite dieses regulatorischen Systems, das Zusammenspiel von Wärme und Kälte, der Zusammenhang von Aufwärmen und Abkühlung, ist bislang wenig beachtet worden (Joch & Ückert, 2003).

Die Thermoregulation des Menschen (Schmidt & Thews, 1990) ist aber aus einer ganzen Reihe von Gründen ein wichtiger und bedeutsamer Faktor der Leistungssteuerung: insbesondere bei Ausdauersportarten muss die durch längerfristige körperliche Arbeit erzeugte Wärme mit erheblichem Energieaufwand herunter gekühlt werden, um das Gesamtsystem im Sinne der sportlichen Leistungsfähigkeit funktionstüchtig zu erhalten. Für diese Aufrechterhaltung des optimalen Kälte-Wärme-Gleichgewichts insbesondere im Ausdauersport müssen – je nach Intensität und Dauer – 75 Prozent der energetischen Prozesse für die Kühlung aufgewendet werden, so dass lediglich noch ca. 25 Prozent an Energie für die eigentliche muskuläre Fortbewegung zur Verfügung stehen (Marsh & Sleivert, 1999). Je intensiver und länger die körperliche Arbeit durchgeführt wird und je höher die Außentemperaturen (ohne Möglichkeit der externen Kühlung durch Wind u.ä.) sind, um so größer ist der Kühlungs-Aufwand und damit der „Energieverlust“ für die eigentliche Fortbewegung.

¹ VF 0407/05/04/2002-03

Aufgrund dieser thermoregulatorischen Rahmenbedingungen stellt sich die grundsätzliche Frage, welchen Einfluss systematisch applizierte Kälte auf die sportliche Leistung, insbesondere auf Ausdauerleistungen, ausübt.

2 Methode

In einer Kältekammer² wurden Probanden (N = 17, männlich) im Alter zwischen 22 und 25 Jahren, kurzfristig, d.h. 2½ Minuten, hoch dosierter Kälte (-110° Celsius) ausgesetzt, bevor sie einen Ausdauerstest auf einem Ergometer der Fa. Schoberer (SRM) über eine Zeitspanne von 26 Minuten und Widerständen zwischen 130/150 (Aufwärmphase) und 250 Watt (Belastungsphase) bei gleich bleibenden Pedalumdrehungen von 80 U/min absolvierten. Diese Kälteapplikation hatte also die Funktion einer Precooling-Maßnahme (Kay et al., 1999).

Der Testaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt: den beiden Aufwärmphasen (130 und 150 Watt, jeweils drei Minuten) folgen fünf Belastungsphasen (250 Watt), die im Wechsel mit fünf aktiven Erholungsphasen (150 Watt), also intervallisierend über eine Zeitdauer von je zwei Minuten durchgeführt werden.

Die Datenerhebung bezog sich auf die Herzfrequenzmessung (kontinuierlich über den gesamten Ausdauerstest von 26 Minuten), die Erhebung des Blutlaktats (in der 8., 16. und 24. Test-Minute) sowie die Feststellung der Herzfrequenzvariabilität in den Testabschnitten am Ende der Belastungsphasen (250 Watt, jeweils 2. Testminute). Die Messungen erfolgten mit Hilfe der Polar-Uhr „S 810“.

Die Tests wurden am Ort der Kältekammer im St. Josef-Stift (Sendenhorst) und der Weserland-Klinik (Vlotho) in standardisierten Form durchgeführt und nach einigen Tagen ohne vorherigen Aufenthalt in der Kältekammer unter sonst gleichen Bedingungen wiederholt.

² Kältekammern gibt es in Deutschland seit 1980, zur Zeit etwa 80, meist in Rheuma-Kliniken. Die erste wurde in Sendenhorst durch Prof. Dr. Reinhard Fricke nach dem Vorbild des Japaners Yamauchi eingerichtet. Neben derjenigen in Vlotho (Weserland-Klinik) wurden unsere Untersuchungen auch im St. Josef-Stift in Sendenhorst durchgeführt. Den jeweiligen Klinik-Leitern möchten wir auf diesem Wege unseren besonderen Dank für die kostenlose Nutzung zum Ausdruck bringen.

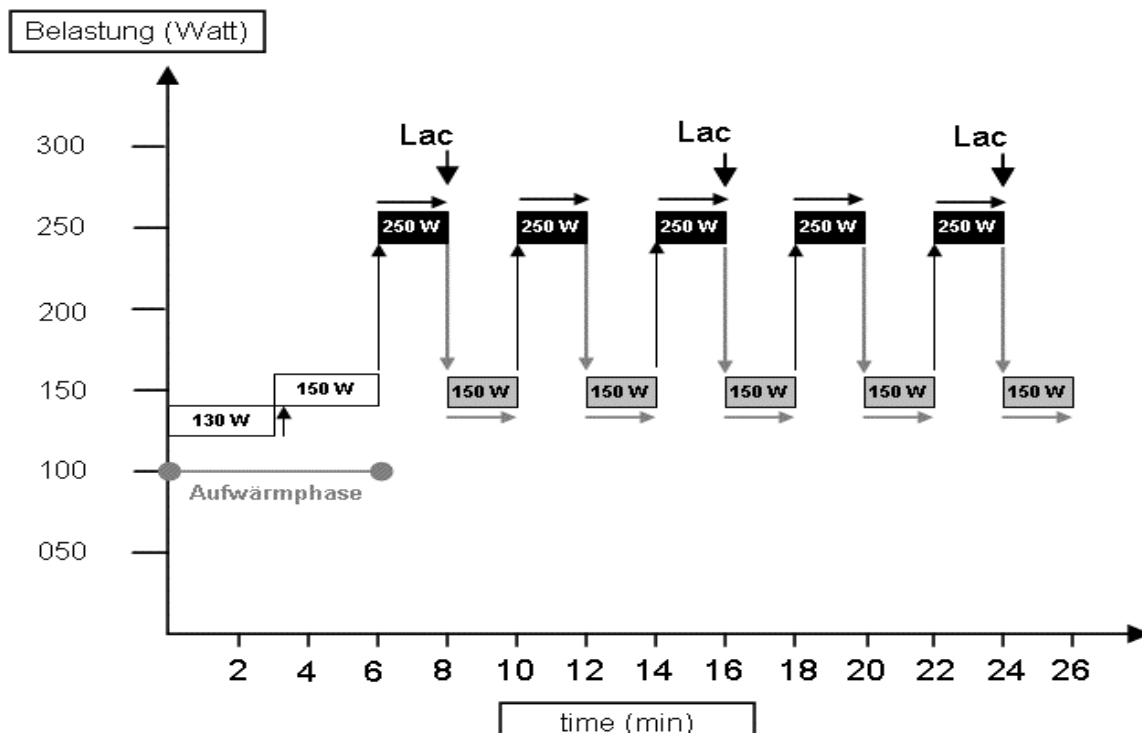


Abb.1: Testaufbau

3 Ergebnisse

3.1 Herzfrequenzverlauf

Aus der Abbildung 2 wird deutlich, dass die Herzfrequenz nach Ganzkörper-Kälteapplikation (pGKKA) während der gesamten Testzeit von 26 Minuten im Durchschnitt hoch signifikant ($p \leq .001$) niedriger als unter Normalbedingungen ist, d.h. ohne vorausgehende Kälteapplikation (oGKKA). Die Abstände zwischen diesen beiden Herzfrequenzverläufen sind zwar zu den verschiedenen Zeitpunkten im Testverlauf unterschiedlich groß, aber sie sind zu allen Zeitpunkten nach Ganzkörper-Kälteapplikation deutlich niedriger als ohne Ganzkörper-Kälteapplikation.

Unter Ausdauer-Belastungsbedingungen wird also nicht bestätigt, dass Kälte, insbesondere nach Ganzkörper-Kälteapplikation in einer Kältekammer, die Herzfrequenz „belebt“ (Hinterecker, 2002). In einer elektrokardiographischen Untersuchung wurde sogar ermittelt, dass sich die Herzfrequenz durchschnittlich um 24 Schläge pro Minute während der Kälteapplikation und um 13 Schläge nach der Kälteapplikation erhöht (Taghawinejad et al., 1989, 33). Die Autoren sprechen davon, dass die Kältetherapie (bis -110°C) eine „sympathikotone Wirkung und damit verbunden eine periphere Widerstandserhöhung sowie eine Zunahme der Herzfrequenz bewirken“ kann. Dies führe zu einer Erhöhung der

Belastung und somit des Sauerstoffverbrauchs des Herzens. Diese Untersuchungsergebnisse werden also in der vorliegenden Studie nicht bestätigt.

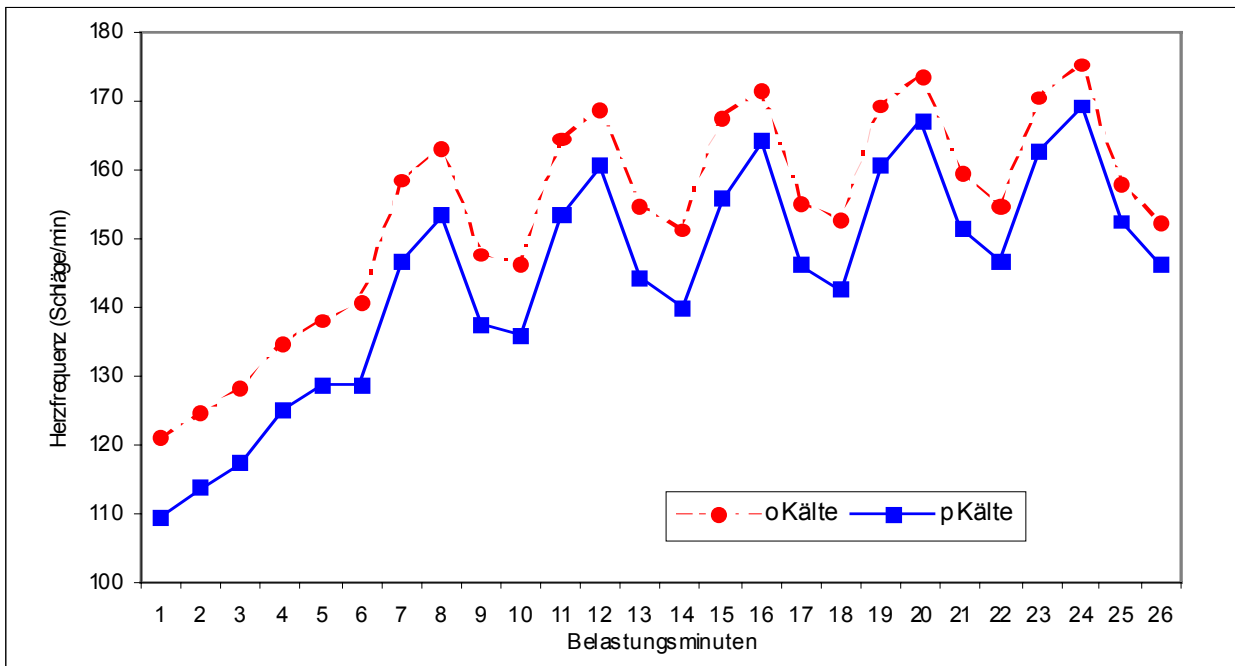


Abb. 2: Herzfrequenzprofil während eines intervallierten Ausdauer-tests (N = 17)

3.2 Blutlaktat

Die Laktatmessung erfolgte in der 8., 16. und 24. Testminute, jeweils am Ende der 250-Watt-Belastungsphase (vgl. Abbildung 1). Die Ergebnisse zeigen, dass zu allen Messzeitpunkten die Laktatwerte nach Kälteapplikation (pGKKA) niedriger als ohne Kälteapplikation (oGKKA) sind (vgl. Abbildung 3):

- in der 8. Minute beträgt der Differenzwert zwischen den Testergebnissen ohne vorausgegangene Kälteapplikation (oGKKA) und jenen nach vorausgegangener Ganzkörper-Kälteapplikation (pGKKA) 0,9 (5,7 zu 4,8 mmol/l = hoch signifikant: $p \leq .001$)
- in der 16. Test-Minute beträgt der Differenzwert 0,8 (7,1 zu 6,3 mmol/l = signifikant: $p \leq .05$)
- in der 24. Minute beträgt der Differenzwert 0,4 (6,5 zu 6,1 mmol/l = nicht signifikant $p > .05$).

Damit werden einige Ergebnisse aus bisher vorgelegten Untersuchungen nicht bestätigt. So hatten z.B. Lee & Haymes (1995) trotz sonst nachgewiesener Vorteile des Precoolings (bei Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme) beim Blutlaktat keine Unterschiede feststellen können. Allerdings wird bestätigt, dass die Effekte mit der Dauer der Belastung nachzulassen scheinen (Marino, 2002).

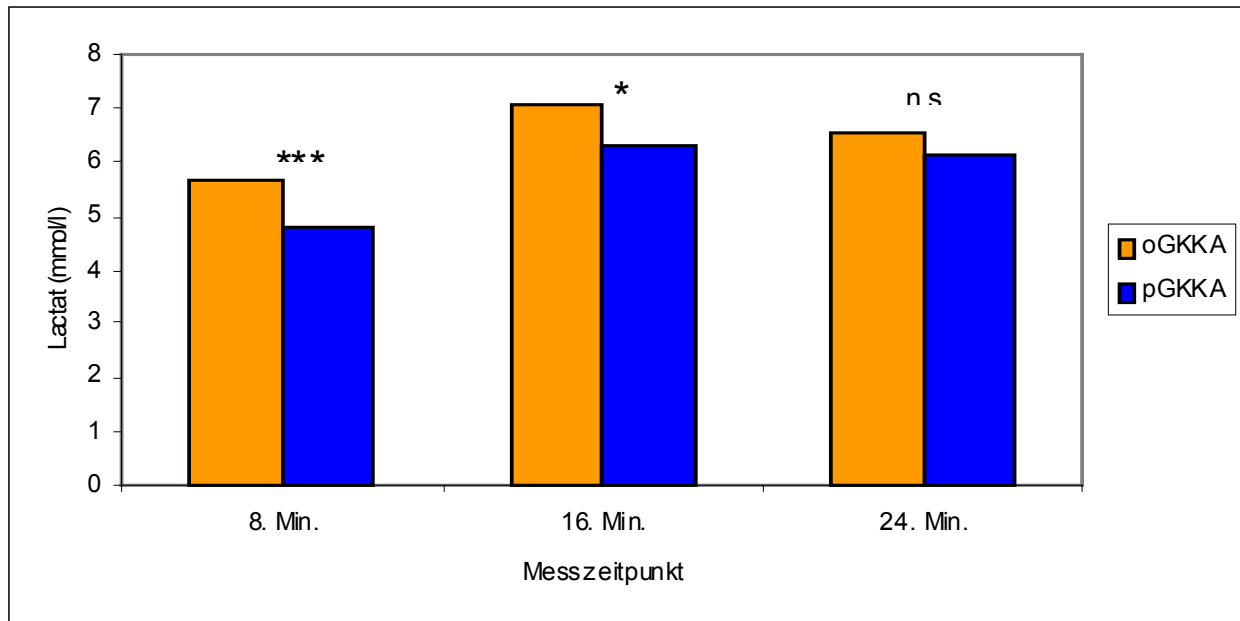


Abb. 3: Blutlaktatkonzentration mit (pGKKA) und ohne (oGKKA) Precooling-Maßnahme

3.3 Herzfrequenzvariabilität

Die Herzfrequenzvariabilität (HRV = Heart Rate Variability) beschreibt die Fähigkeit des Herzens, den zeitlichen Abstand von einem Herzschlag zum nächsten belastungsabhängig zu verändern (Löllgen, 1999). Sie kennzeichnet damit die zeitlichen Schwankungen der Herzfrequenz von Herzschlag zu Herzschlag und stellt eine Anpassungsreaktion der autonomen Steuerung der Herzschlagfolge an Belastungen – physisch-somatischer (Hottenrott, 2002) und psycho-mentaler (Eilers, 2002) Art – dar. Sie kann insofern auch als ein geeigneter Indikator für körperliche Fitness und Leistungsfähigkeit angesehen werden.

Unter dem Einfluss von Kälte (GKKA) verändern sich die time-domain-Parameter der Herzfrequenzvariabilität zu Gunsten einer vorrangig parasympathikotonischen Aktivität – im Vergleich zu ihrer Ausprägung unter Normaltemperaturbedingungen hochsignifikant ($p \leq .001$) (vgl. Abbildung 4):

- RR-Intervalle repräsentieren die durchschnittliche Herzzeitintervallrate; sie steigen als Folge der Ganzkörper-Kälteapplikation hochsignifikant um 49 Prozent an.
- s repräsentiert die Standardabweichung der Herzfrequenzabweichung (vom Mittelwert); sie steigt nach Ganzkörper-Kälteapplikation um 175 Prozent an.

- sd 1 repräsentiert die Standardabweichung entsprechend dem vertikalen Durchmesser des Streudiagramms der RR-Variation und steigt unter der Einwirkung von Ganzkörper-Kälteapplikation um 366 Prozent an.
- sd 2 repräsentiert die Standardabweichung entsprechend dem horizontalen Durchmesser des Streudiagramms der RR-Variation und steigt unter der Einwirkung von Ganzkörper-Kälteapplikation um 93 Prozent an.
- Der RMSSD-Wert, der die Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen repräsentiert, steigt um 300 Prozent an. Je höher dieser RMSSD-Wert ist, desto höher ist die parasympathische Aktivität.
- Der pNN50-Wert, der die Prozenzhäufigkeit derjenigen Intervalle angibt, die mindestens 50 ms Abweichung vom vorausgehenden Intervall aufweisen, wird um fast 100 Prozent gesteigert.

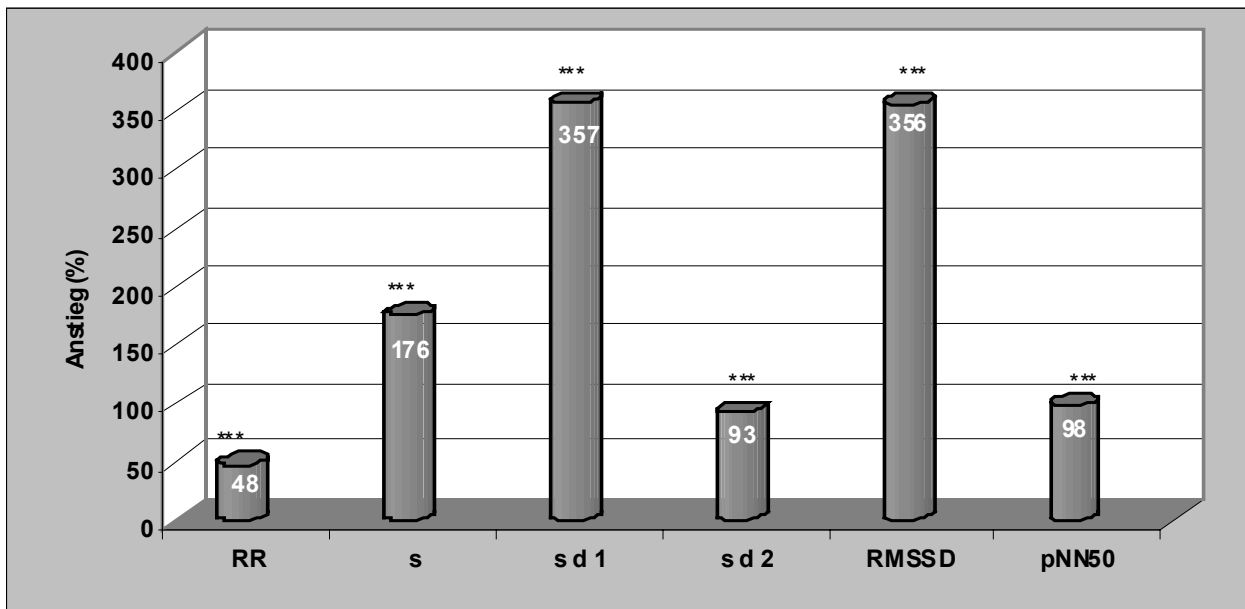


Abb. 4: Einfluss der Ganzkörper-Kälteapplikation (-110° Celsius) auf die time-domain-Parameter der HRV (in Prozent)

4 Zusammenfassung und Perspektive

Kälteapplikation, kurzfristig (2½ Minuten) und hoch dosiert (-110° Celsius) in einer Kältekammer als Precooling-Maßnahme durchgeführt, hat bei mindestens drei überprüften Belastungsparametern signifikant positive Auswirkungen, die sich leistungsförderlich auf die Ausdauerfähigkeit auswirken:

- die Herzfrequenz ist über die gesamte Testdauer von 26 Minuten zwischen acht und zehn Schlägen pro Minute gegenüber einer ohne Precooling-Maßnahme durchgeführten standardisierten Ausdauerbelastung abgesenkt;
- die Blutlaktatkonzentration ist nach vorausgegangener Precooling-Maßnahme niedriger – und zwar um so mehr, je näher der Messzeitpunkt an der Applikationszeit der Kältemaßnahme liegt;
- die Herzfrequenzvariabilität zeigt bei allen untersuchten HRV-Parametern während der Belastungsphasen nach Precooling höhere Werte, was einen größeren vagotonischen Anteil der (parasymphatisch-nervalen) Steuerung signalisiert.

Gerade dieser Aspekt der verstärkten parasymphatischen Steuerung nach Kälteapplikation zu Ungunsten des sympathischen Anteils weist darauf hin, dass die Kältewirkung auch im Hinblick auf Erholung und Regeneration bedeutsam erscheint. Untersuchungen in diese Richtung sind konzipiert. Deren Praxisrelevanz wird zur Zeit mit Trainern des Deutschen Leichtathletik-Verbandes (für Ausdauerdisziplinen) diskutiert.

5 Bisherige eigene Veröffentlichungen

Joch, W., Fricke, R. & Ückert, S. (2002). Der Einfluss von Kälte auf die sportliche Leistung. *Leistungssport*, 32 (2), 11-15.

Joch, W. & Ückert, S. (2003). Ausdauerleistung nach Kälteapplikation. *Leistungssport*, 33 (6), 17-22.

Ückert, S. & Joch, W. (2003). Der Einfluss von Kälte auf die Herzfrequenzvariabilität. *Österreichisches Journal für Sportmedizin* 33 (2), 14-20

Ückert, S. & Joch, W. (2003). Der Effekt von Ganzkörperkälteapplikation (-110° C) auf die Herzfrequenzvariabilität. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (7/8), 102.

Ückert, S. (2003). Effekte extremer (-110° C) Ganzkörper-Kälteapplikation auf das Verhalten von Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität oder: Kälte als Leistungs- und Regenerations-Optimierer. In Hanns-Martin-Schleier-Stiftung, Heinz-Nixdorf-Stiftung & TU München (Hrsg.), *Gesundheit fördern – Krankheit heilen. Neue Wege im Zusammenwirken von Naturwissenschaft – Medizin – Technik* (S. 192-193). München.

Joch, W. & Ückert, S. (2004). *Auswirkungen der Ganzkörperkälte von -110° C auf die Herzfrequenz bei Ausdauerbelastungen und in Ruhe. Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin* (für den Druck 2004 vorgesehen).

Joch, W. & Ückert, S. (2004). Die Herzfrequenzvariabilität unter Belastungsbedingungen nach Kälteapplikation. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport* (erscheint 2004).

Ückert, S. & Joch, W. (2004). Der Einfluss von Kälte auf die Herzfrequenzvariabilität als Regenerationsparameter. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport* (erscheint 2004).

6 Literatur

- Brück, K. (1990). Wärmehaushalt und Temperaturregelung. In R.F Schmidt & G. Thews (Hrsg.), *Physiologie des Menschen*, 24. Auflage (S. 661-682). Berlin u.a.
- Eilers, K. (2002). *Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität als Indikatoren psychischer Beanspruchung*. Frankfurt u.a.
- Hinterecker GmbH (2002). www.Kaeltekammer.at. Stand: 17.12.2002.
- Hottenrott, K. (Hrsg.) (2002). *Herzfrequenzvariabilität im Sport*. Hamburg.
- Joch, W. & Ückert, S. (2003). Ausdauerleistung nach Kälteapplikation. *Leistungssport* 33 (6), 17-22.
- Kay, D.; Taaffe, D.R.; Marino, F.E. (1999). Whole-body Precooling and Heat Storage During Selfpaced Cycling Performance in Warm Humid Conditions. *Journal of Sports Sciences*, 17, 937-944.
- Löllgen, H. (1999). Herzfrequenzvariabilität. *Deutsches Ärzteblatt*, 9 (31/32), 45.
- Marino, F.E. (2002). Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36 (1), 89-94.
- Marsh, D. & Sleivert, G. (1999). Effect of Precooling on High Intensity Cycling Performance. *British Journal of Sports Medicine*, 33 (6), 393-397.
- SCHMIDT, R.F.; THEWS, G. (Hrsg.) (1990). *Physiologie des Menschen*, 24. Auflage (S. 661-682). Berlin u.a.
- TAGHAWINEJAD, M., FRICKE, R., DUHME, L., HEUERMAN, U. & ZAGORNY, J. (1989). Telemetrisch-elektrokardiographische Untersuchungen bei Ganzkörperkälte-therapie (GKKT). *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.*, 18, 3.