Sandra Ückert

Temperaturmanagement durch Kälteapplikation im Sport

In der vorletzten „Leistungssport"-Ausgabe erschien der Beitrag „Regeneration im Leistungssport – eine Standortbestimmung aus sportmedizinischer und trainingswissenschaftlicher Sicht". In den folgenden Ausgaben sollen ausgewählte Einzelaspekte eines professionellen Regenerationsmanagements aufgegriffen werden. Begonnen wird diese Serie mit dem Beitrag über die Anwendung von Kältemaßnahmen (Anm. der Redaktion).

Die Kälteapplikation[1] hat als therapeutische Maßnahme in ganz unterschiedlichen Varianten eine lange Tradition. Vor allem die lokale Kryo- und Kälteapplikation zur Linderung körperlicher Leiden ist als therapeutisches Prinzip schon seit dem Altertum bekannt. Später wurde dieses Prinzip auf kalte Vollbäder mit dem Ziel der Abhärtung und zur Behandlung fiebriger Erkrankungen sowie bei chronischen Gelenkerkrankungen ausgeweitet. Mit der Kältekammer, die 1980 in Japan eingeführt wurde und seit 1984 auch in Deutschland bei der Behandlung u.a. rheumatischer Erkrankungen eingesetzt wird, wurden die technischen Möglichkeiten der Kälteapplikation erweitert. Es wurden zunehmend Erfahrungen auf therapeutischem Gebiet, u.a. in der postoperativen Behandlung von Sportverletzungen, gesammelt und positive Effekte, wie z.B. die erhöhte thermoregulatorische Belastbarkeit, auch für den Sport nutzbar gemacht.

Eingegangen: 19.7.2012

1. Kälteapplikation im Sport – Genese von Therapie, Precooling und Regeneration

Neben dem Aspekt der erhöhten Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit als Folge optimierter körperlicher Temperaturbedingungen durch Kühlungsmaßnahmen vor und während sportlicher Anforderungen liegt es nahe, im Rahmen eines optimalen Temperaturmanagements den Aspekt in Betracht zu ziehen, der mit der erhöhten Belastbarkeit und der sportlichen Leistungsfähigkeit in enger Beziehung steht: die Regeneration.

Praxiserfahrungen und wissenschaftliche Studien signalisieren, dass in der Pause zwischen intervallisierten Trainingseinheiten Kälteapplikationen zur wirkungsvollen Reduzierung der belastungsinduzierten Ermüdung die Leistungsfähigkeit und das Belastungsempfinden positiv beeinflussen. Die Kälteapplikation stellt also *eine* solcher Maßnahmen dar, die der schnellen Wiederherstellung von Belastungs- bzw. Leistungsfähigkeit dienen, und zwar neben anderen Maßnahmen wie z.B. Schlaf, Ernährung, Massage, Kompression oder aktive Regeneration, zu deren wissenschaftlich abgesicherten Wirkrichtung und -effektivität z.T. deutlich divergierende Resultate vorliegen.

Die Wiederherstellung der Leistungs- bzw. der Funktionsfähigkeit nach Belastung stellt eine wichtige Komponente der Trainingssteuerung dar, insofern verbinden sich bei der Kälteapplikation die Ansprüche der Leistungssteuerung und Ökonomisierung physiologischer Parameter mit denen der Regeneration. Insbesondere in den Pausen der Sportspiele, z.B. in Halbzeit-, Wechsel- oder Spielpausen, aber auch in Trainingspausen ist eine kurzfristige Regeneration bedeutungsvoll, u.a. zur Entlastung des thermoregulatorischen Systems bei wärmeabgabebeeinträchtigendem Umgebungsklima, einer Umgebung also, in der die körperliche Wärmeabgabe zur Regulierung der Körpertemperatur erschwert ist, wie es z.B. bei höheren Umgebungstemperaturen gekoppelt mit hoher Luftfeuchigkeit der Fall ist.

Die Kälteapplikation stellt also eine thermoregulative Maßnahme dar, die *vor* (Precooling), *während* (Simultancooling), *zwischen* (Intercooling) und *nach* sportlichen Belastungen (Postcooling) eingesetzt werden kann.

Der Forschungsstand liefert Belege für die Wirkungen von Kälteapplikation vor körperlichen Belastungen; und er beinhaltet – nach der seit den 1960er Jahren ausführlichen physiologischen und medizinischen Grundlagenforschung – seit Mitte der 1990er Jahre primär anwendungsorientierte Studien im sportwissenschaftlichen Kontext[2].

Somit ist einer der nächsten naheliegenden Schritte, sich die positiven Effekte und Erfahrungswerte aus der Therapie und beim Precooling auch beim Postcooling als Regenerationsvariante generell, insbesondere aber als kurzfristige Regeneration zwischen Belastungseinheiten zu Nutze zu machen.

Die biologischen Prinzipien und Regelmechanismen der Thermoregulation legen es nahe, diese Effekte auch auf die kurz- und langfristige Regeneration anzuwenden. Damit hat sich für die Kälteapplikation, neben der traditionellen und therapeutisch orientierten Zielsetzung und der trainingswissenschaftlichen Ausrichtung, im Rahmen leistungssteuernder Maßnahmen mit der Regeneration ein zusätzliches Anwendungsgebiet eröffnet.

2. Thermoregulation und kritische Körper(kern)temperatur

Die leistungsbeeinträchtigende *kritische Körperkerntemperatur* ist zugleich Ursache und Begründung dafür, die weit verbreitete Auffassung in Frage zu stellen, eine gesamtkörperliche Erwärmung sei generell leistungsförderlich. Für Maßnahmen mit der Intention einer reduzierten Körperkerntemperatur bzw. einem verzögerten Anstieg derselben in einer Vorbereitungsphase (nach traditioneller Begrifflichkeit „Aufwärmen"), sei es als Precooling oder als kurzfristige regenerative Intervention, sprechen u.a. die Negativauswirkungen der kritischen Körperkerntemperatur (Nadel, 1977; Byrne et al., 2006; Pugh et al., 1967; Saltin et al., 1972; MacDougall et al., 1974; Adams et al., 1975; Nielsen et al., 1993; Cheung & McLellan, 1998a; Fuller et al., 1998; Jessen, 2001).

Die kritische Körperkerntemperatur liegt übrigens genau in dem Bereich, der oftmals als optimale Aufwärmtemperatur bezeichnet wird (Israel, 1977; Shellock & Prentice, 1985; Schiffer, 1997; de Marées, 2003; Weineck, 2007).

Vor einigen Jahren kollidierte also noch die Erkenntnis, Precooling als wärmebelastungsreduzierende Maßnahme zur Verringerung der

[1] Gemäß einer exakten Begriffsverwendung werden Anwendungen mit einer Temperatur unter 0 Grad Celsius als Kryotherapie/-applikation bezeichnet, jene mit einer Temperatur oberhalb von 0 Grad Celsius als Kältetherapie/-applikation.

[2] Es muss heutzutage nicht mehr nachgewiesen werden, *dass* Kälteapplikation – vorausgesetzt, sie ist adäquat angewendet – positive Wirkungen ausübt, sondern *wie* sie in speziellen Anwendungskontexten anzuwenden ist.

Körperkern- und/oder Hauttemperatur vor einer sportlichen Anforderung könne eine effektive Maßnahme sein, mit der tradierten Wärmefixierung[3] – und dies war nicht überraschend, weil mit dem Cooling eine thermoregulatorisch konträre Maßnahme aufkam. Heute gehört zum Standardwissen, dass das komplexe Beziehungsgeflecht zwischen einer Vielzahl intern und extern beeinflussender Faktoren und der körpereigenen Temperaturbilanz für die optimale Ausschöpfung körperlicher Ressourcen eine kompetente thermoregulatorische Verhaltensregulation erfordert, die über Akklimatisierung und Flüssigkeitsaufnahme hinausgeht (Kay & Marino, 2000; Marino, 2002).

3. Kältemediatoren

Als mögliche Kältemediatoren kommen Wasser, Eis, Luft und künstlich hergestellte Kühlmedien (Granulat, Gel u.a.) zum Einsatz[4], die ganz- oder teilkörperlich angewendet werden können und sich in ihrer Effektivität vor allem durch die Geschwindigkeit der Kälteabgabe unterscheiden. Der Wärmeaustausch erfolgt dabei zwischen dem menschlichen Körper bzw. seiner Oberfläche und dem externen Kühlmedium entlang des bestehenden Temperaturgefälles: Die Geschwindigkeit des Temperaturaustausches, das Ausmaß der Abkühlung und somit die Kältereaktion werden von der Fläche der gekühlten Körperregion, der Temperaturdifferenz zwischen Haut und Kühlmedium, der Dauer der Kälteeinwirkung, den physikalischen Eigenschaften des Kältemediums, dem Oberflächen-Volumen-Verhältnis der gekühlten Körperregion und der Umgebungstemperatur beeinflusst.

Kaltluft

Bereits in den 1930er Jahren sind wissenschaftliche Studien – außerhalb sportwissenschaftlicher Fragestellungen – zu Wirkungen von Kühlmaßnahmen durchgeführt worden (u.a. Bazett et al., 1937), um den physiologischen Einfluss von Kälteanwendungen auf den Wärmehaushalt, das Herzkreislauf-System oder den Sauerstoffverbrauch zu untersuchen (Gold & Zornitzer, 1968; Webb & Annis, 1968; Falls & Humphrey, 1971; Livingstone et al., 1983). Studienergebnisse aus der Arbeitsphysiologie (Wenzel, 1965; Seifert, 1966; Bleichert et al., 1972; Hesse, 1983; Werner, 1984; Döker, 1989; Griefahn, 1995) haben in erheblichem Maße zu den Erkenntnissen in dieser Thematik beigetragen.

In den 1980er bis Mitte der 1990er Jahre wurden ganzkörperliche Kaltluftapplikationen in 0 bis 10 Grad Celsius temperierten Räumen angewendet (Brück, 1981; Hessemer et al., 1984; Kruk et al., 1990; Lee & Haymes, 1995); dies ging jedoch, weil die geringe Kältewirkung dieser Temperatur mit Applikationszeiten von bis zu einer Stunde kompensiert werden musste, zulasten des thermischen Wohlbefindens der Probanden.

Bei der Ganzkörperkaltluftapplikation, wie sie seit Jahren in der Therapie in der Kältekammer (oder auch Polarium, Eislabor, Icelab) praktiziert wird, haben sich -110 Grad Celsius als effektivste Temperatur (GKKLA$_{-110°C}$) (Fricke, 1984, 1986, 1989; Senn, 1985; Yamauchi 1986; Birwe et al. 1989; Taghawinejad et al., 1989; Senne, 2001; Smolenski et al., 2003; Joch & Ückert, 2004) und 2,5 Minuten in der Hauptkammer als optimale Applikationsdauer erwiesen. Von einer längeren Applikationsdauer im sportlichen Anwendungskontext wird abgeraten[5].

Der Kälteeffekt kann bei dieser hochdosierten Kälte nicht durch eine längere Applikationsdauer erhöht werden – im Gegensatz zu anderen Kühlmedien.

Durch eine GKKLA$_{-110°C}$ ergeben sich positive Effekte auf kontinuierliche und intervallisierte Ausdaueranforderungen wie auch auf die Körpertemperatur, die Herzfrequenz, die Laktatkonzentration, das subjektive Wohlbefinden und das thermische Empfinden (vgl. dazu Ückert, 2012); zudem hat sich auch eine Erhöhung der Herzfrequenzvariabilität unter Ruhe- (Ückert & Joch, 2003) und aktiven Regenerationsbedingungen (Ückert & Joch, 2004) bestätigt.

Empfehlung Kältekammer[6]
Applikationstemperatur: -110 Grad Celsius
Applikationszeit: max. 2,5 Minuten

Kälteweste

Die Kälteweste als eine Teilkörper-Coolingvariante kann während der aktiven Vorbereitungsphase auf eine Hauptbelastung (*Precooling*), während der Belastung (*Simultancooling*), in Belastungspausen (*Intercooling*) und nach der Belastung (*Postcooling*) getragen werden. Das Kühlen via Kälteweste zeichnet sich durch seine Praktikabilität aus, ist also eine Kühlvariante, die mobil eingesetzt werden kann, jedoch mit dem Kompromiss einer geringeren Kältewirkung im Vergleich zum Kaltwasser oder zur Kaltluft[7].

Das Kühlen mittels Kälteweste zeigt im sportlichen Anwendungskontext positive Effekte (Armstrong et al., 1995; Bennett et al., 1995; Smith et al., 1997; Martin et al., 1998; Cotter et al., 2001; Sleivert et al., 2001; Duffield et al., 2003; Arngrimsson et al., 2004; Cheung & Robinson, 2004; Hasegawa et al., 2005; Hornery et al., 2005 u.a.). So kann die Ausdauerleistungsfähigkeit insbesondere bei wärmeabgabebeeinträchtigenden klimatischen Bedingungen optimiert werden (Smith et al., 1997; Martin et al., 1998; Cotter et al., 2001; Arngrimsson et al., 2004; Hornery et al., 2005; Ückert & Joch, 2007a). Schnellkraftleistungen (vorrangig Radsprint) bleiben von einem Precooling via Kälteweste – begründet durch die Lokalisierung der Kühlung – jedoch weitgehend unbeeinflusst (Myler et al., 1989; Sleivert et al., 2001; Duffield et al., 2003; Cheung & Robinson, 2004; Castle et al., 2006).

Unter klimatischen Wärmebedingungen sollte eine Kälteweste für eine optimale Wirkung beim Precooling mindestens 30 bis 40 Minuten getragen werden, unter Normaltemperaturbedingungen mindestens 20 bis 30 Minuten (Duffield et al., 2003; Sleivert et al., 2001; Arngrimsson et al., 2004; Hasegawa et al., 2006 u.a.).

Um während einer unmittelbaren Vorbereitung auf eine sportliche Belastung (Training, Spiel, Wettkampf) die Negativauslenkung der belastungsinduzierten Temperaturerhöhung zu kompensieren, eignet sich das Tragen einer Kälteweste während dieser Vorbereitung, jedoch hat sich das Kühlen via Kälteweste aufgrund des Gewichts und der geringeren Kühlungseffektivität während einer sportlichen Hauptbelastungsphase in Training oder Wettkampf, also das Simultancooling, als weniger praktikabel erwiesen. Ihre optimalen Einsatzbereiche sind somit das Pre-, Inter- und Postcooling.

Kühlungsvarianten, die eine kleinere Körperoberfläche als die Kälteweste kühlen und mit vergleichbaren Produkten durchgeführt werden, haben unter Belastungs- und/oder Hitzebedingungen keine signifikanten Effekte, wie z.B. das Kühlen des Nackens mit einem Kühlschal, das sich selbst unter Hitzebedingungen nicht auf die Rektaltemperatur, Herzfrequenz oder Belastungsempfinden auswirkt (Bulbulian et al., 1999; Hamada et al. 2006), ebensowenig auf die Kortisol-, Prolaktin-, Adrenalin-, Noradrenalin- oder Dopaminkonzentration (Tyler et al., 2010).

Die Kühlung via Kälteweste, bei der mit dem Oberkörper eine relativ große Körperfläche gekühlt wird, ist insgesamt eine moderate, dennoch aber wirkungsgvolle Variante, die sich durch eine mobile Einsatzmöglichkeit auszeichnet. Als kurzfristige Regenerationsmaßnahme eignen sich aufgrund der höheren Kühlintensität und der ganzkörperlichen Kühlung Kaltwasser und Kaltluft besser.

Empfehlung Kälteweste
Applikationstemperatur: abhängig vom Westenmaterial zwischen 5 und 15 Grad Celsius
Applikationszeit: bei Hitzebedingungen 30 bis 40 Minuten; bei Normaltemperaturbedingungen 20 bis 30 Minuten

Kaltwasser

Im sportlichen Kontext finden die Wasser- und Eiswasserkühlung[8] – weniger die Kaltdusche, da minder effektiv – als Regenerationsmaßnahmen zunehmend Anwendung, wenn auch hier die experimentelle Absicherung der Effekte bislang geringer ist als bei Pre- und Intercoolingmaßnahmen.

Die Auswirkungen einer teilkörperlichen Kaltwasserapplikation[9] über eine Zeitdauer von ca. 30 Minuten als Precooling sind nach Crowley et al. (1991), Marsh und Sleivert (1999), Kay et al. (1999), Bolster et al. (1999), Gonzalez-Alonso et al. (1999), Drust et al. (2000), Booth et al. (2001), Wilson et al. (2002), Mitchell et al. (2003) und White et al. (2003) insbesondere vor Kurzzeit- und Maximalanforderungen negativ. Andere Autoren stellen bei kürzeren, weniger intensiven Kühlwassermodi positive Effekte

heraus (Booth et al., 1997; Morrison et al., 2006 u.a.).
Die Beeinträchtigung des subjektiven Wohlbefindens und des thermischen Befindens bei der Wasserkühlung sowie die Gefahr der Auskühlung der Muskulatur, die bei den anderen Kühlvarianten (Kaltluft oder Kälteweste) nicht besteht, sind Nachteile der Kaltwasserimmersion. Häufig ist unmittelbar nach der Kaltwasserapplikation in der Regeneration eine kurze Erwärmungsphase notwendig, um ein nachträgliches dauerhaftes Frieren zu vermeiden.
Um hypertherme Athleten wieder abzukühlen, ist ein Kaltwasserbad aufgrund der hohen Kühlrate (McDermott et al., 2009) effektiver als eine Kühlwestenapplikation (Lopez et al., 2008). Eine adäquate Kühldauer und -intensitätsdosierung ist bei der Kaltwasserimmersion entscheidend. Die Kaltwasserimmersion soll aber keine „Schocktherapie" sein – wie man es in der Praxis gelegentlich beobachtet – und soll sich nicht an das Abkühlen im Kaltwasserbecken nach einem Saunagang anlehnen: Niedrigere Wassertemperaturen unterhalb von 10 Grad Celsius sind als Pre- und vor allem Postcoolingvariante ineffektiv – zumindest hinsichtlich der Effekte auf physiologische Parameter. Bei der Kaltwasserapplikation als Precoolingvariante ist eine professionelle und erfahrungsbasierte Anwendung erforderlich, weil aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Wassers eine Auskühlung der Muskulatur mit der Konsequenz einer Leistungsbeeinträchtigung sowie einer muskulären Verletzung induziert werden kann – genau dies entspricht nicht der Intention von Precooling.
Nur bei optimaler Kopplung von Kaltwasserapplikationstemperatur und -dauer ist sowohl beim Pre- als auch beim Postcooling mit positiven Effekten zu rechnen, die sich u.a. in einer Entlastung der Thermoregulation, einer verbesserten Blut- und Nährstoffversorgung der Muskulatur und ggf. in einer erhöhten Leistungsfähigkeit äußern. Aufgrund der hohen Temperaturleitfähigkeit des Wassers ist bei keinem anderen Kältemediator die Kältedosierung so speziell auf das Timing des Coolings abzustimmen:

Empfehlung Kaltwasser
Applikationstemperatur: 14 bis 18 Grad Celsius
Applikationsdauer: Precooling 10 Minuten (danach leichte muskelerwärmende Übungen, frühestens 20 Minuten danach die Zielanforderung absolvieren); Postcooling 20 bis 30 Minuten

TAB. 1 Optimalwerte der Kältemediatoren

	Kaltwasser	Kaltluft (GKKLA$_{-110°C}$)	Kälteweste
Applikationsdauer	**Precooling** 10 min* **Intercooling** 5 bis 10 min** **Postcooling** 20 bis 30 min	**Pre-, Inter- und Postcooling** Kammer 1: 10 s Kammer 2: 10 s Kammer 3 (Hauptkammer): 2,5 min	**Pre- und Postcooling** Hitze: 30 bis 40 min Normal: 20 bis 30 min **Simultancooling** entsprechend der Zeitdauer Belastungsphase
Applikationstemperatur	14 bis max. 18 °C	-100 bis -110 °C	5 bis max. 15 °C
Kühlungsrate	+ + +	+ +	+

Optimale Applikationsdauer und -temperatur der Kältemediatoren beim Precooling, Intercooling und Postcooling
* Eine kurze aktive Erwärmung der Beinmuskulatur sollte unmittelbar erfolgen, der zeitliche Abstand bis zur Hauptbelastung sollte ca. 10 min betragen.
** Da Halbzeit- und Wettkampfpausen in der Regel nicht länger sind, kann auch eine 5-minütige Kaltwasserkühlung zur Anwendung kommen.
+ Intensität die Kühlungsrate

Tab. 1 fasst die optimale Applikationsdauer und -temperatur der Kältemediatoren beim Pre-, Inter- und Postcooling zusammen.

4. Differenzierende Aspekte der Kälteapplikation

Bei der hohen Komplexität sportlicher Leistungen spielt die Vielzahl an Rahmenbedingungen und beeinflussenden Faktoren eine bedeutende Rolle. In diesem Kontext sind im trainingswissenschaftlichen Anwendungsprozess Differenzierungen, Spezialisierungen bzw. Individualisierungen unverzichtbar: Keine Maßnahme ist für alle und alles gleichermaßen gut. Bei den Kälteapplikationen sind Wirkrichtung und -ausmaß aufgrund der unterschiedlichen Abhängigkeiten der jeweiligen Parameter zu berücksichtigen:
❶ Die Wirkrichtung und -stärke der unterschiedlichen Kälteapplikationen (Pre-, Simultan-, Inter-, Postcooling mit unterschiedlichen Kältemediatoren) sind geschlechtsunspezifisch.
❷ Die Wirkrichtung einer Coolingmaßnahme ist vom Leistungsniveau eines Sportlers unabhängig, das quantitative Ausmaß der Leistungsveränderung jedoch niveauabhängig: je höher das Leistungsniveau, desto geringer der Effekt.
❸ Das quantitative Ausmaß der Leistungsveränderung ist fähigkeitsspezifisch: Ausdauerdominante Leistungen werden deutlich positiver beeinflusst als schnelligkeits- oder schnellkraftdominante. Kaltwasser wirkt sich bei niedriger Applikationstemperatur (< 14 Grad Celsius) sogar negativ auf die Schnelligkeitsleistung aus; schnelligkeitsdominante Anforderungen sind noch temperatursensibler als schnellkraftdominante.
❹ Für die Kaltluft- und Kältewestenapplikation besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Kühltemperatur und Wirkungsstärke: je kälter die Mediatoren, desto größer der Effekt. Bei Wassertemperaturen unter 14 Grad Celsius werden die Leistungen mit abnehmender Wassertemperatur sukzessive geringer. Als optimal haben sich degressive Temperaturverläufe (Booth et al., 1997) bei der Kaltwasserapplikation erwiesen.

Die Effekte der Kälteapplikationsvarianten sind im Gegensatz zur Wirkrichtung durch eine komplexe Differenzierbarkeit charakterisiert.

5. Kälteapplikation als Pre- und Postcooling (Regeneration)

Kryo- und Kälteapplikationen finden in der therapeutischen und sportlichen Praxis zahlreiche Anwendung (Wilcock et al., 2005, Cheung et al., 2003; Hume et al., 2004 u.a.), werden in der Rehabilitation zur Schmerz- und Schwel-

[3] Dies wird u.a. an diesem Beispiel deutlich: „Es gibt Stimmen, die Aufwärmen vor Hitze-Ausdauerbelastungen nicht oder sogar ein Abkühlen statt Aufwärmen empfehlen. Beides halte ich für falsch" (Schiffer, 1997, S. 118).

[4] Die Aufnahme kalter Getränke oder auch von Eiswürfeln ist in diesem Zusammenhang zu vernachlässigen.

[5] Im therapeutischen Kontext werden 3 Minuten empfohlen; es sind aber keinerlei Effektunterschiede zwischen 2,5 und 3 Minuten Applikationszeit nachzuweisen; langjährige Erfahrungen zeigen: Sportler frieren ab der 2,5. Minute oft stark, was zu vermeiden ist.

[6] Hinweis: Die Effekte der GKKLA$_{-110°C}$ können bei Kaltlufttemperaturen, die nicht die hohe Minustemperatur von -110 Grad Celsius erreichen, wie z.B. in Einkammersystemen mit „nur" -80 Grad Celsius, nicht durch längere Applikationszeiten, sozusagen als Kompensation, erreicht werden.

[7] Die Temperatur der Kälteweste kann während der Applikationsphase nicht konstant geregelt werden und wird von der Umgebungstemperatur, der belastungsabhängigen körperlichen Wärmebildung sowie der materiellen Ausstattung der Weste (Eis-, Wasser- oder Gelfüllung) beeinflusst. Abhängig von der Komfortabilität der Weste kann während der Belastung die körperliche Wärmeabgabe an die Umgebung vermindert werden mit der Folge eines u.U. leistungsbeeinträchtigenden Anstiegs der Körperkerntemperatur – ein Effekt, den man gerade mittels Cooling vermeiden möchte.

[8] Wasser, das mit *Crushed Ice* aufgefüllt ist.

[9] Darunter fällt die Unterkörper- bzw. Beinkühlung, die in der Regel in einer Wassertonne oder in einem Kältebecken durchgeführt wird.

lungsreduktion eingesetzt (Knight, 1976, 1995; Mercik, 2002; Connolly, 2003; Eston & Peters, 1999; Howatson & Van Someren, 2003; MacAuley, 1996; Miniello et al., 2005) und zunehmend in Form von Kaltwasserapplikationen auch als Regenerationsmaßnahme praktiziert (Eston & Peters, 1999; Merrick et al., 1999; Lane & Wenger, 2004; Yanagisawa et al., 2004; Bleakley et al., 2012).

Während Kälteapplikationsverfahren bei einer belastungsinduzierten erhöhten Körperkerntemperatur – im Sinne eines *körperlichen Temperaturmanagements* – besonders effektiv sind (Hadad et al., 2004; Ückert, 2012), zeigen sich in der Therapie durch Applikationen mit Kaltwasser auch Positiveffekte auf den Metabolismus, Entzündungen, Blutfluss, Schmerz, Haut-, Muskel- und intraartikuläre Temperaturen (Merrick et al., 1999; Bleakley et al., 2012).

Kryotherapeutische und Kälteapplikationsmaßnahmen wirken sich auch positiv auf die Muskelregeneration aus (Eston & Peters, 1999; Burke et al., 2000; Lane & Wenger, 2004; Skurvydas et al., 2006; Bailey et al., 2007; Goodall & Howatson, 2008).

Studien im primär therapeutischen Kontext fokussieren

- die *muskuläre isolierte Kraftleistung*[10] (Edwards et al., 1972; Johnson & Leider, 1977; Coppin et al., 1978; Bergh & Ekblom, 1979; Oliver et al., 1979; Petrofsky & Lind, 1980; Ranatunga, 1987; Sargeant 1987; Vincent & Tipton, 1988; Mattacola & Perrin, 1993; Howard et al., 1994; Catlaw et al., 1996; Kimura et al., 1997; Zhou et al., 1998; Sanya & Bello, 1999; Hatzel & Kaminski, 2000; Hopkins & Stencil, 2002; Douris et al., 2003; Thornley et al., 2003; Borgmeyer et al., 2004; Hamzat & Fatudimu, 2005; Kubo et al., 2005; Chen et al., 2010; Dewhurst et al., 2010; Pereira et al., 2010) oder auch
- die *Ausdauerleistung*, gemessen anhand der Leistungsfähigkeit (Mattacola & Perrin, 1993; Howard et al., 1994; Kimura et al., 1997; Tegeder 2008) oder anhand
- der *Ermüdungstoleranz* (Edwards et al., 1972; Petrofsky & Lind, 1980; Barter & Freer, 1984; Sanya & Bello, 1999; Thornley et al., 2003; Hamzat & Fatudimu, 2005).

Weitere Studien beschäftigen sich in diesem Zusammenhang mit dem Effekt einer Kälteapplikation

- auf ganzkörperliche Belastungen bzw. Tests wie *Sprung- und Lauftests* (Cross et al., 1996; Richendollar et al., 2006; Patterson et al., 2008; Dixon et al., 2010; Fischer et al., 2009)
- sowie *Geschicklichkeitstests* (Wassinger et al., 2007; Lakie et al. 1995; Cheung et al., 2003; Chen et al., 2010).

Die Negativwirkung einer zu hohen Kältedosierung wird durch die Studie von Howard et al. (1994) deutlich, die den Unterkörper 45 Minuten lang im Kaltwasserbad mit der Konsequenz einer deutlich reduzierten Beinkraft kühlten. Eine solche Kühlintensität ist also als Pre- und Intercooling zu vermeiden und – unter spezifischen Bedingungen – ausschließlich im Rahmen eines Postcoolings anzuwenden, denn eine zu intensive Kühldauer oder -intensität führt kurzfristig zu einer reduzierten muskulären Leistung (Mattacola & Perrin, 1993; Kubo, 2005; Pereira et al., 2010; Hatzel & Kaminski, 2000 u.a.); ein Absinken der Muskeltemperatur auf unter 34 Grad Celsius ist deshalb generell zu vermeiden (Zhou et al., 1998). Eine deutlich weniger intensive Kühlung der Oberschenkel führt zu keiner Beeinträchtigung der Muskelleistung, sondern zu einer Verbesserung (Catlaw et al., 1996; Kimura et al., 1997; Sanya & Bello, 1999; Hopkins & Stencil, 2002).

Lokale Kühlungen im Bereich des Oberkörpers (in der Regel Kühlung der Oberarme) führen zu kurzfristigen Verschlechterungen bei isolierten Kraftübungen (Finger- und Handkraft) (Johnson & Leider, 1977; Coppin et al., 1978; Petrofsky & Lind, 1980; Chen et al., 2010).

Während sich einerseits eine Inhomogenität der Ergebnisse herauskristallisiert – begründet durch die z.T. deutlich divergierenden Studiendesigns –, wird aber insgesamt deutlich, dass nach einer Kälteapplikation (Kaltwasser oder Eis) im therapeutischen Bereich unmittelbar nach der Applikation die muskuläre Leistung reduziert ist. Generell ist aber zu differenzieren zwischen Kälteapplikationen im therapeutischen bzw. rehabilitativen Anwendungskontext, wozu eine Vielzahl an Studien sowie Reviews vorliegt (Costello & Donnelly 2010; Bleakley et al. 2004, 2011, 2012), und dem trainings- und wettkampfmethodischen Anwendungsbereich, zu dem bislang in Überblicksarbeiten primär das Precooling fokussiert wurde – mit relativ eindeutigen Resultaten (Smith et al., 1997; Martin et al., 1998; Myler et al., 1989; Cotter et al., 2001; Sleivert et al., 2001; Marino, 2002; Duffield et al., 2003; Arngrimsson et al., 2004; Hornery et al., 2005; Daanen et al., 2006; Hasegawa et al., 2006; Quod et al., 2006; Ranalli et al., 2010).

Empfehlungen zur Kältedosierung können aufgrund unterschiedlicher Zielstellungen in den Studien deutlich differieren. Bleakly et al. (2012) beispielsweise berücksichtigen vorwiegend Studien, bei denen die Kälteapplikationen mit Eis oder Kaltwasser mit einer Kühldauer von mindestens 20 Minuten zur Verletzungs- und Schmerzbehandlung bei gesunden Athleten geprüft wurde. Diese Kühldauer ist für eine Halbzeit- oder Zwischenpause in sportlichen Wettkämpfen in der Regel zu lang und zu intensiv; deshalb ist hier bei einer funktionsspezifischen Leistungsanforderung eine entsprechende leichte aktive Erwärmung der gekühlten Bereiche zu empfehlen.

Unabhängig vom Timing der Coolingmaßnahme stellt sich unter bestimmten Bedingungen, in der Regel sind das klimatische Wärme- oder individuelle Grenzbedingungen, die Regulierung der Thermoregulation durch geeignete Maßnahmen als vorteilhaft heraus.

> „Eine bei hoher Hitzebelastung noch ausgeglichene Energiebilanz besagt zwar, daß der Körper in der Lage ist, durch seine physiologische Temperaturregulation die Vorgänge im Gleichgewicht zu halten. Diese innere autonome Regulation erfolgt aber auf Kosten von Kreislaufarbeit und chemischen Zustandsänderungen, welche die menschliche Leistungsfähigkeit herabsetzen" (Seifert, 1966, S. 7).

Während sich aktive Regenerationsmaßnahmen nach sportlichen Anforderungen durchaus etabliert haben, weil sie z.B. den Abbau des Blutlaktats beschleunigen (Gupta et al., 1996; Hayashi et al., 2004 u.a.) bzw. sich als unmittelbare Vorbereitung auf eine nachfolgende Belastung positiv auswirken (Signorile et al., 1993; Thiriet et al., 1993; Bogdanis et al., 1996; Monedero & Donne, 2000), können – wie oft aufgrund der differenten Studiendesigns – auch Studien angeführt werden, die einen solchen Effekt nicht belegen (Watson & Hanley, 1986; Weltman & Regan, 1983) oder auch aktive im Vergleich zu anderen Regenerationsmaßnahmen als weniger wirkungsvoll bewerten (Vaile et al., 2008). Demnach ist bei klimatischen Hitzebedingungen die aktive Regeneration kontraproduktiv, wie Vaile et al. (2008) anhand der Wirkung einer ganzkörperlichen, 4-fach-intermittierenden Kaltwasserimmersion auf eine intervallisierte Leistung im Radfahren und auf die Thermoregulation unter Hitzebedingungen (34 ± 0,2 °C; 39,4 ± 1,5 % rF) zeigten (Abb. 1)[11]. Nach einer aktiv gestalteten Pause sank die Leistung in der zweiten Belastungsphase im Vergleich zur ersten um 4,1 ± 1,8 Prozent ($p \leq .001$). Nach jeder der vier Kaltwasserapplikationsvarianten, die in intermittierender Form jeweils bei 10, 15 und 20 Grad Celsius sowie in kontinuierlicher Form bei 20 Grad Celsius durchgeführt wurden, war die Leistung in der zweiten Belastungsphase besser als nach der aktiven Erholung (Abb. 2). Der größte Effekt wurde nach der intermittierenden Kaltwasserapplikation mit 15 Grad Celsius temperiertem Wasser erzielt, ein Ergebnis, das sich in die Er-

Bei Umzug bitte neue Adresse an uns!

Liebe Abonnenten,

Sie wollen nach einem Umzug Ihre Zeitschrift unterbrechungsfrei zugestellt bekommen? Dann teilen Sie uns bitte frühestmöglich Ihre neue Adresse mit, denn ein Nachsendeantrag bei der Post umfasst seltsamerweise nicht die Zustellung von abonnierten Zeitschriften! Also am besten gleich beim Verlag melden, sobald Ihre neue Adresse feststeht und ab wann sie gilt (bitte dabei die bisherige Anschrift und Ihre Kundennummer angeben).

Ihr Philippka-Sportverlag

Tel. 0251/23005-15,
E-Mail: abo@philippka.de,
Fax 0251/23005-99

gebnisse weiterer Studien zur Kaltwasserapplikation einreiht (Ückert, 2012). In der Studie von Vaile et al. (2008) reduzierten alle angewandten Kaltwasserapplikationen die Körpertemperatur: nach 10 Grad Celsius Kaltwasser auf 34,68 ± 0,6 Grad Celsius, nach 15 Grad Celsius Kaltwasser auf 35,38 ± 0,6 Grad Celsius, nach 20 Grad Celsius Kaltwasser auf 36,5 ± 0,5 Grad Celsius, nach 20 Grad Celsius Kaltwasser kontinuierlich appliziert auf 36,18 ± 0,2 Grad Celsius, während nach der aktiven Pause die Körpertemperatur noch 38,28 ± 0,4 Grad Celsius betrug.

Nach einer aktiven Pause waren im Vergleich zu allen Kältevarianten die Laktatwerte signifikant geringer ($p < 0.05$) (Abb. 3) – wobei andere Studien gezeigt haben, dass durch Kälteapplikation der Laktatabbau beschleunigt wird (Banfi et al., 2010 u.a.)[12].

Während beider Belastungsphasen unterschieden sich die Herzfrequenzen in Abhängigkeit von den verschiedenen Regenerationsmaßnahmen nicht; allerdings lag die Herzfrequenz nach allen Kaltwasserapplikationen signifikant niedriger ($p \leq .001$) als nach der aktiven Erholung (aktive Pause: 128 ± 7 S/min, 10 °C: 86 ± 12 S/min, 15 °C: 80 ± 7 S/min, 20 °C: 81 ± 12 S/min, 20 °C: 81 ± 9 S/min). Die im Vergleich zur aktiven Pause reduzierte Herzfrequenz durch Kaltwasserimmersion war auch nach der 40-minütigen Ruhephase unter den Wärmebedingungen nachweisbar (aktive Erholung: 87 ± 11 S/min, 10 °C: 74 ± 13 S/min; 15 °C: 69 ± 8 S/min, 20 °C: 71 ± 8 S/min) – mit Ausnahme der intermittierenden Kaltwasserimmersion bei 20 Grad Celsius. Dies signalisiert, wie auch durch andere Studien deutlich wird, dass die intermittierende Kaltwasserimmersion der kontinuierlichen Applikation hinsichtlich der Effekte unterlegen ist – und dies zunehmend mit ansteigender Wassertemperatur.

Die Leistungsverbesserung durch Kälteapplikation, insbesondere Kaltwasser, wird über den reduzierten peripheren Blutfluss zugunsten des zentralen Blutvolumens interpretiert (Marsh & Sleivert, 1999; Vaile et al., 2008). Der Kaltwasserimmersion wird auch aufgrund des hydrostatischen Drucks ein Effekt auf die Blutflussumverteilung attestiert (Wilcock et al., 2006), der jedoch hierbei eher eine marginale Komponente zu sein scheint, denn auch die Kaltluft- und Kältewestenapplikation haben gleiche richtungweisende Effekte wie die Kaltwasserapplikation.

Um den Kälteimmersionseffekt optimal ausnutzen zu können, muss die Kälteapplikationsdauer entsprechend lang sein, und zwar länger als in der von Vaile et al. (2008) durchgeführten Studie und idealerweise nicht intermittierend. Es hat sich herausgestellt, dass ein Mindestmaß an Applikationsdauer bei einer Mindesttemperatur des Kaltwassers erforderlich ist, um Positiveffekte zu erzielen: Eine kurze Applikationsdauer bei extrem niedriger Wassertemperatur (< 10 °C) ist nicht so effektiv wie eine längere (> 15 min) bei höherer Wassertemperatur (14 bis 18 °C): Die Wirkung einer solchen Schocktherapie (s.o.) ist dagegen nur gering und sehr kurzfristig.

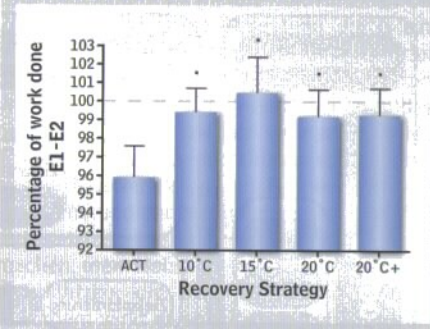
6. Coolingvarianten in der Anwendung

Precooling

Das Kühlen *vor* einer Belastung in Training oder Wettkampf, also im Rahmen der aktiven Anforderungsvorbereitung[13], wird *Precooling* genannt. Es kann durchgeführt werden (vgl. Abb. 4 auf Seite 30):

- *während* der Anforderungsvorbereitung, d.h. während des Einlaufens, Einfahrens, Einruderns o.Ä.; somit wird das Precooling simultan zur ak-

ABB. 1 Arbeit



Geleistete Arbeit (Mittelwert ± Standardabweichung) in der zweiten Belastungsphase (E2) in Relation zur ersten Belastungsphase (E1)
Gestrichelte Linie: E2 = E1; 10 °C, 15 °C, 20 °C = Wassertemperatur bei der intermittierenden Kaltwasserimmersion in der Pause; 20 °C+ = kontinuierliche Kaltwasserimmersion in 20 °C temperiertem Wasser; * = signifikanter Unterschied zur aktiven Pause (ACT) ($p < .05$) (Vaile et al., 2008, S. 434)

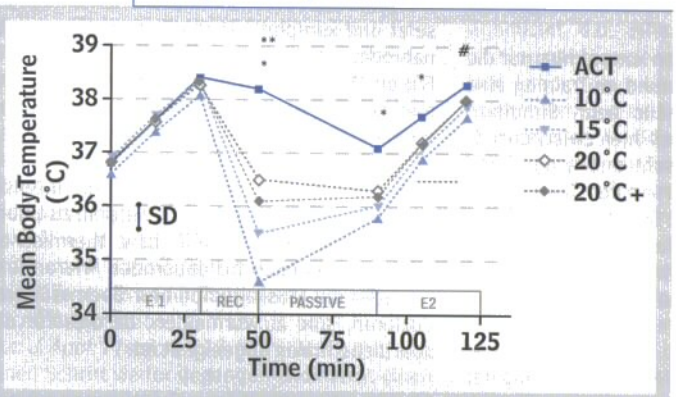
[10] Mehrheitlich überprüft mittels eines isokinetischen Dynamometers.

[11] Diese Studie fokussierte den Vergleich von Kaltwasserapplikation in mehreren Varianten mit dem Effekt der aktiven Regeneration; es wurde kein Vergleich mit den anderen Möglichkeiten zur Regeneration durchgeführt.

[12] Dies ist auf die differenten Studiendesigns zurückzuführen: Vaile et al. (2008) verwendeten eine intermittierende Kaltwasserimmersion, während andere Autoren in der Regel eine kontinuierliche Applikation durchführten.

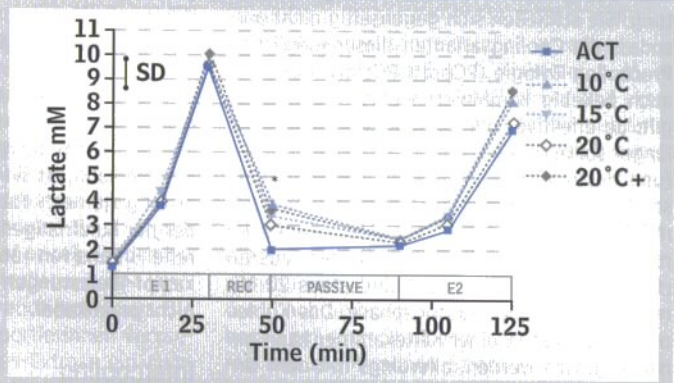
[13] Der Begriff Anforderungsvorbereitung oder auch Vorbereitung ersetzt hier den Begriff Aufwärmen, weil dieser im Kontext von Precooling unsinnig ist.

ABB. 2 Körpertemperatur



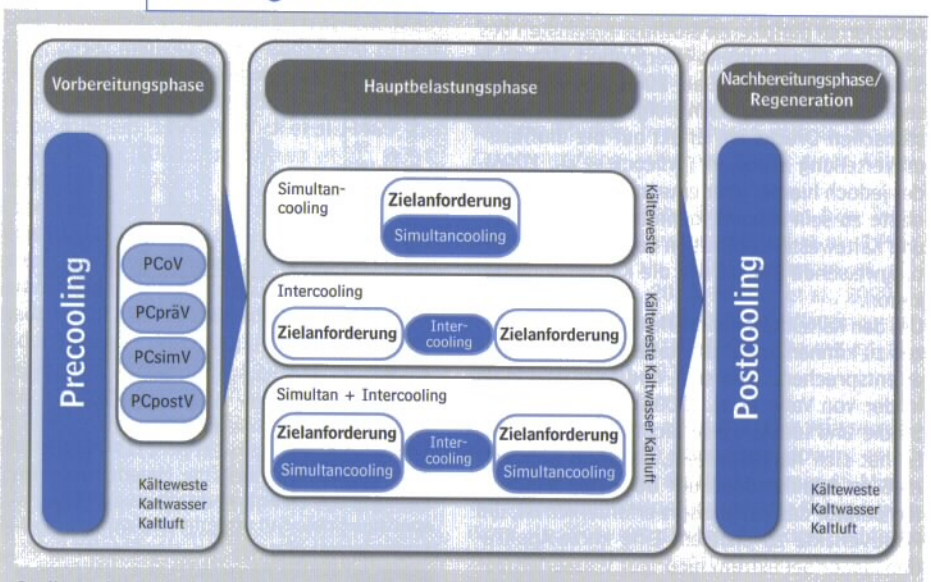
Änderung der mittleren (± SW) Körpertemperatur während der ersten Belastungsphase (E1), einem 5-minütigen Cool-down, gefolgt von einer 15-minütigen Erholungsphase (REC), der 40-minütigen passiven Pause und der zweiten Belastungseinheit (E2)
Legende: ACT = aktive Erholung; 10 °C, 15 °C, 20 °C = Wassertemperatur bei der intermittierenden Kaltwasserimmersion in der Pause; 20 °C+ = kontinuierliche Kaltwasserimmersion in 20°C temperiertem Wasser; ** = signifikanter Unterschied ($p < .01$) zwischen ACT und allen vier Kälteapplikationen; # = signifikanter Unterschied ($p < .05$) zwischen ACT und der 10 °C, 15 °C und 20 °C+-Kaltwasserimmersion; * = signifikanter Unterschied zwischen den vier Kaltwasserimmersionen (Vaile et al., 2008, S. 435)

ABB. 3 Blutlaktatkonzentration



Veränderungen der Blutlaktakonzentration (mmol/l) während der ersten Belastungsphase, einem 5-minütigen Cool-down, gefolgt von einer 15-minütigen Erholungsstrategie (REC), der 40-minütigen passiven Pause und der zweiten Belastungseinheit (E2)
Legende: ACT = aktive Erholung; 10 °C, 15 °C, 20 °C = Wassertemperatur bei der intermittierenden Kaltwasserimmersion in der Pause; 20 °C+ = kontinuierliche Kaltwasserimmersion in 20 °C temperiertem Wasser; * = signifikanter Unterschied zwischen ACT und den vier Kaltwasserimmersionen (Vaile et al., 2008, S. 436)

ABB. 4 Coolingvarianten



Coolingvarianten in der Vorbereitungs-, Hauptbelastungs- und Nachbereitungsphase

tiven Anforderungsvorbereitung (PCsimV) durchgeführt. Hierfür eignet sich vor allem die Kälteweste;

- *vor* der aktiven Anforderungsvorbereitung, d.h., das Precooling wird vor der eigentlichen aktiven Vorbereitung durchgeführt (PCpräV) und dies in der Regel unter Ruhebedingungen (im Liegen, Sitzen oder Stehen), wofür alle – d.h. stationäre und mobile – Kühlverfahren einsetzbar sind (Kälteweste, Kaltluft [Kältekammer] und Kaltwasser), oder auch
- *nach* der aktiven Vorbereitung (PCpostV) unter Ruhebedingungen (im Liegen, Sitzen oder Stehen), wofür alle Kühlverfahren – Kälteweste, Kaltluft und Kaltwasser – einsetzbar sind.

Diese drei Timingvarianten des Precoolings stehen somit in jeweils unterschiedlichem zeitlichen Bezug zur aktiven Anforderungsvorbereitung. Sie schließen sich gegenseitig nicht aus, sodass die Coolingvarianten dieser möglichen Precooling-Trilogie (PCpräV, PCsimV, PCpostV) auch beliebig kombiniert werden können. Es gilt: Je effektiver die Kühlung sein soll, desto länger sollte das Precooling praktiziert werden (und desto kühler sollte auch die Kälteweste sein). Das Kühlen mittels Kaltwasser wird bestmöglich vor oder nach der aktiven Anforderungsvorbereitung durchgeführt, mit ausreichend zeitlichem Abstand (mindestens 20 Minuten) zur Hauptbelastungsphase. Das Kühlen mittels Kaltluft in einer Kältekammer kann genauso getimt werden, allerdings mit dem Unterschied, dass der zeitliche Abstand zur Hauptbelastung geringer sein kann, da durch die Kaltluftkühlung die Muskeltemperatur unverändert bleibt[14].

[14] Auch wenn zunehmend beispielsweise Sportzentren und Profifußballvereine eine Kältekammer in ihrem Trainingszentrum installieren, wird diese Variante im Wettkampfkontext aufgrund der hohen Kosten nicht so häufig benutzt wie beispielsweise die Kaltwasserapplikation.

Von einem klassischen Kaltstart, also ausschließlich Precooling ohne aktive Vorbereitungsphase (PCoV), wie sie z.B. Brück (1987) bei moderaten ergometrischen Belastungen praktizierte, wird im leitungssportlichen Kontext abgeraten.

Simultancooling

Dem Simultancooling, also der Kälteapplikation während der Belastung, kommt eine besondere Bedeutung zu: Durch die simultane Kühlung während der sportlichen Aktivität soll der körperlichen Wärmeproduktion unmittelbar entgegengewirkt bzw. die zur Vermeidung oder Reduzierung eines Körperkerntemperaturanstiegs erforderliche Wärmeabgabe unterstützt werden. Diese Kühlvariante stellt hohe Anforderungen an die Praktikabilität und Effektivität der Kühlmethode.

Aus Praktikabilitätsgründen kommt hier nur die Kälteweste in Frage: Während im Training eine solche Kälteweste durchaus beim Simultancooling einsetzbar ist, weil hier zwischenzeitlich die Weste ausgetauscht und ausgezogen werden kann, ist sie aufgrund der Gewichtsbelastung (je nach Fabrikat 500 g bis 4 kg) und der nur kurzfristigen Kühlungseffektivität während intensiven und langdauernden (Wettkampf-)Belastungen im Leistungssport bislang nicht praktikabel.

Intercooling

Das Intercooling beschreibt Kühlmaßnahmen, die zwischen Belastungen, in Zwischen- oder Spielpausen, durchgeführt werden (vgl. dazu Ückert & Joch, 2007b). Hierfür eignen sich alle Kältemediatoren, wobei bei der Kaltwasserapplikation auf den ausreichenden Abstand zur erneuten Belastungsphase geachtet werden sollte. Für eine effektive Wasserkühlung sind die Pausen, insbesondere Spielpausen (wie z.B. im Tennis), zu kurz. Hier empfiehlt sich unter Berücksichtigung der Praktikabilität das Tragen einer optimal gekühlten Kälteweste. Da insbesondere Halbzeitpausen für technisch-taktische Anweisungen seitens der Trainer genutzt werden, ist auch deshalb eine andere Kältevariante (Kaltwasserbad oder GKKLA$_{-110°C}$) organisatorisch nicht praktikabel.

Postcooling

Das Postcooling umfasst Kälteapplikationen nach Beendigung einer sportlichen Anforderung, sei es im Training oder Wettkampf. Das Postcooling ist demzufolge dem Regenerationsprozess zuzuordnen. In der sportlichen Praxis zeigt sich, dass Spitzensportler die Ganzkörperkaltluftapplikation in der Kältekammer (2,5 min) am häufigsten *nach* der Belastungseinheit platzieren – wie auch die Erfahrungen in der seit 2009 im Bundesleistungszentrum Kienbaum installierten Kältekammer zeigen. Die Ganzkörperkälteapplikation in der Kältekammer hat sich in der Praxis in Form eines Postcoolings als empfehlenswert erwiesen; Sportler empfinden die hochdosierte Kaltluftapplikation als thermisch angenehmer als die längerdauernde Kaltwasserapplikation.

Beim Postcooling muss, anders als beim Pre- und Intercooling, keine Rücksicht auf eine unmittelbar nachfolgende Belastung genommen werden. Hier können also auch Kaltwasserapplikationen ohne Befürchtung einer kälteinduzierten Verletzung im Anschluss durchgeführt werden. Hier eignen sich lange Applikationszeiten (~ 20 min) bei kühler Wassertemperatur (14 bis max. 18 °C, also nicht bei eiskalter Temperatur).

Kaltwasserbecken, im optimalen Fall mit elektronischer und somit exakter Temperatursteuerung – der Umgang mit *Crushed Ice* ist weniger exakt steuerbar –, haben Einzug in die sportliche Therapie und Regeneration genommen; am Olympiastützpunkt Berlin wird ein solches Kaltwasserbecken bereits in diesem Kontext eingesetzt und komplettiert die Regenerationsmaßnahmen.

Für ein Postcooling sind also alle Kühlmaßnahmen einsetzbar, da es ortsgebunden oder mobil durchgeführt werden kann.

Jegliche Coolingvarianten, die zu intensiv und/oder zu lange praktiziert werden, zu Unbehagen, reduziertem Wohl- bzw. thermischen Befinden, zu einem fortdauernden Frieren führen oder die Muskeltemperatur übermäßig reduzieren, sind zu vermeiden, da dies für die sportliche Praxis ungeeignet ist.

*

Die Literatur ist auf **www.leistungssport.net** als PDF-Download abrufbar.

*

Die Autorin

Prof. Dr. Sandra ÜCKERT, Professur für Sportwissenschaft an der Hochschule für Gesundheit und Sport, Berlin; Dekanin der Fakultät Sport

Anschrift: Prof. Dr. Sandra Ückert, H:G Hochschule für Gesundheit und Sport, Fakultät Sport; Vulkanstraße 1, 10367 Berlin

E-Mail: sandra.ueckert@my-campus-berlin.com