

Persönliche PDF-Datei für Paul Schmidt-Hellinger

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Sport bei Hitze – Erfahrungen und physiologische Grundlagen

DOI 10.1055/a-1463-7609
Sportphysio 2021; 9: 107–114

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Copyright & Ownership

© 2021. Thieme.
All rights reserved.
Die *Sportphysio* ist
Eigentum von Thieme.
Georg Thieme Verlag KG,
Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart,
Germany
ISSN 2196-5951

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Sport bei Hitze – Erfahrungen und physiologische Grundlagen

Paul Schmidt-Hellinger

Ein Wettkampf unter Hitzebedingungen ist für Athlet/-innen und Betreuersteam eine besondere Herausforderung. Mit einem optimalen Hitzemanagement sind Hitzeschäden vermeidbar und es können Leistungsvorteile gegenüber der Konkurrenz entwickelt werden. Optimales Hitzemanagement beginnt dabei viele Monate vor dem Wettkampf.

Vorbemerkung

Zum Verständnis von optimalem Hitzemanagement im Sport sind zunächst die physikalischen Grundlagen der Klimabelastung Hitze, die Physiologie der menschlichen Wärmeproduktion und -abgabe sowie die Pathophysiologie hitzebedingter Erkrankungen wichtig und werden folgend beschrieben.

Physikalische Grundlagen

Klimasummenmaße für Hitzebelastungen

Physikalisch ergibt sich ein Klima jeweils aus den 4 Klimakenngrößen *Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Wärmestrahlung*, die in ihrer unterschiedlichen Ausprägung das menschliche Klimaempfinden exogen beeinflussen.

Für Hitze sind als sogenanntes Klimasummenmaß verschiedene Indizes beschrieben. Die international geläufigste ist die WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), die 1957 vom amerikanischen Militär erstmals präsentiert wurde [35]. Daraus abgeleitet wird häufig der Hitzeindex („gefühlte Temperatur“) [21]. Einfacher, und daher nicht für den Sport verwertbar, ist der ebenfalls mit HI und damit nicht zu verwechselnde Humidex (Humidity Index), der lediglich die Luftfeuchtigkeit, nicht aber den Wind mit einbezieht. Handlungsempfehlungen zu Hitzeschutzmaßnahmen für den internationalen Sport [17] wie auch für die Arbeitsmedizin [14] werden entsprechend von der WBGT oder dem Hitzeindex abgeleitet. Ortsbezogene Vorhersagen lassen sich von den jeweiligen Wetterdiensten beziehen. Aktuelle Literatur weist jedoch darauf hin, dass insbesondere die WBGT die Hitzebelastungen bei Wettkämpfen unterschätzen kann.

Eine bessere Korrelation zu tatsächlichen hitzebedingten medizinischen Zwischenfällen bei Marathonläufen soll beispielsweise der PET (Physiological Equivalent Temperature) aufzeigen [16][33]. Die tatsächliche Hitzebelastung an

► **Tab. 1** Grenzwerte für die WBGT basierend auf Vorgaben des American College of Sports Medicine [1].

Warnflagge	Risiko	für	WBGT [°C]	WBGT [°F]
Schwarz	extrem	Überhitzung	>28,0	>82
Rot	hoch		23,1–28,0	73,1–82
Gelb	moderat		18,1–23,0	65,1–73
Grün	gering		10,1–18,0	50,1–65,0
Weiß	zunehmend	Unterkühlung	≤ 10,0	≤ 50

WBGT = Wet Bulb Globe Temperature; °F = Fahrenheit

der Wettkampfstätte lässt sich einfach mit einem WBGT-Messgerät prüfen. Folgende Formel wird dabei zur Berechnung der verschiedenen Einflüsse benutzt:

$$WBGT = 0,7T_w + 0,2T_g + 0,1T_d$$

- T_w = natürliche Feuchttemperatur: Temperatur eines natürlich belüfteten Thermometers
- T_g = „Schwarze Kugel“-Temperatur: Messung der Solarstrahlung
- T_d = Trockentemperatur: Trocken(luft)temperatur – Maß für Wärmeabgabe durch Konvektion und Wärmeleitung

Die WBGT wird in °C angegeben, wobei die absolute Temperatur jeweils geringer ausfällt als die Trockentemperatur und beispielsweise schon ab 23,1 °C WBGT eine hohe Gefahr der Überhitzung im Sport besteht (► **Tab. 1**, ► **Abb. 1**).

Folgende Situationen verstärken die allgemeine Hitzebelastung:

- höhere Trockenkugelttemperatur (damit höhere direkte Wärmeenergie und höherer Wert der maximal möglichen absoluten Luftfeuchte/Dampfdruck)



► **Abb. 1** WBGT-Messgerät während der Leichtathletik-Weltmeisterschaft 2019 in Doha/Katar um Mitternacht. (Quelle: Quelle: © Schmidt-Hellinger, privat)

- höhere Luftfeuchte (damit höherer Dampfdruck, welcher Wärmeabgabe durch Verdunstungskälte beim Schwitzen vermindert)
- geringerer Wind bei Temperatur unter Körpertemperatur (damit geringere Möglichkeit der Wärmeabgabe durch Konvektion)
- höherer Wind bei Temperatur über Körpertemperatur (damit mehr Konvektion einer ggfs. schützenden kühlenden Lufthülle (Effekt des wedelnden Handtuches in der Sauna))
- höhere direkte Sonnenstrahlung bspw. durch wenig Wolken, hohen Sonnenstand (damit mehr direkte Wärmeenergie)
- höhere indirekte Wärmestrahlung bspw. durch wärmerreflektierende Bodenbeläge oder Gebäude (damit höhere direkte Wärmeenergie)

Die WBGT als Klimasummenmaß gibt für Wettkampfanstalter einen groben Überblick der zu erwartenden Hitzebelastung. Für Adaptionen des individuellen Hitzemanagements wie die Art der Kühlung ist jedoch eine Analyse der zu erwartenden Werte aller 4 o. g. physikalischen Kenngrößen von Hitze zum Wettkampfzeitpunkt notwendig. Für Wettkampforientierte stehen Empfehlungen der verschiedenen Fachverbände bereit, die je nach Teilnehmerklientel und Sportart eine Wettkampfabgabe zwischen 21 °C WBGT (Marathon Volkssport, nördliche Halbkugel) und 32,3 °C WBGT (fittere, akklimatisierte Athlet/-innen; American College of Sports Medicine) empfehlen [26].

Physiologie der Wärmeabgabe des Menschen

Unter sportlicher Belastung produziert der menschliche Körper einen starken Überhang an Wärmeenergie, da der Wirkungsgrad der Muskulatur lediglich 30 % beträgt. Ein 65 kg schwerer Marathonläufer produziert bei einem Marathonlauf in 2 h 10 min ca. 1400 W Wärme [8]. Dem menschlichen Körper stehen folgende Abgabemöglichkeiten der Wärmeenergie zur Verfügung:

1. **Strahlung:** bedingt durch den Temperaturunterschied zwischen Haut und Luft
2. **Konvektion:** Wärmeabgabe an die den Körper umströmende Luft
3. **Konduktion:** direkte Wärmeabgabe durch direkten Kontakt an kühle Gegenstände wie bspw. Kühlakku
4. **Evaporation:** Schwitzen, limitiert durch den absoluten Dampfdruck (Kombination aus Trockentemperatur und Luftfeuchte)

Bei niedrigen Temperaturen sind die Möglichkeiten 1–3 relativ effektiv, verlieren aber bei Hitze zunehmend an Wirksamkeit. Nur das Schwitzen ist bei höheren WBGT noch effektiv genug, um eine zumindest temporär ausreichende Wärmeabgabe zu gewährleisten. Mit zunehmender Luftfeuchte sinkt jedoch auch die Effektivität des Schwitzens, da der Dampfdruck der umgebenden Luft steigt und auf eine Wärmeabgabe durch Verdunstung beim Schwitzen durch die Differenz des Dampfdruckes auf der Haut zur Umgebung zurückzuführen ist. Der Umkehrpunkt, ab dem Schwitzen nicht mehr zur Wärmeabgabe beiträgt, wird Kühlgrenztemperatur genannt und ist beispielsweise bei 35 °C und 100 % Luftfeuchte erreicht. Darüber gibt, wie in einer Sauna, der umgebende Dampf sogar Wärme an den Körper ab.

Die Thermobilanz des Körpers bei Hitze kann somit in *Compensated Heat Stress* (CHS) und *Uncompensated Heat Stress* (UCHS) eingeteilt werden. Je nach Intensität und Dauer des UCHS übersteigt die Körperkerntemperatur kritische Werte und führt zum Abbruch der Belastung und zu Hitzeerkrankungen. Der eingangs beschriebene Marathonläufer hat beispielsweise bei 20 °C Lufttemperatur und 70 % Luftfeuchte eine maximal mögliche Wärmeabgabefähigkeit durch 1–4 von ca. 2000 W, was eine ausreichende Kompensation der Hitze (CHS) bedeuten würde. Diese Kompensation setzt sich zu einem Viertel aus 1–3 sowie aus einer Wärmeabgabe von 625 W/h pro 1 l verdunstetem Schweiß zusammen. Bei 30 °C und 70 % Luftfeuchte würde die theoretische Wärmeabgabefähigkeit nur noch ca. 1200 W betragen. Eine ausgeglichene Thermobilanz ohne externe Kühlung wäre dann nicht mehr möglich.

Die Wärmeregulation des Körpers wird dabei zentral über den Hypothalamus gesteuert, welcher die Signale der Thermorezeptoren des Körpers aufnimmt und die Durchblutung der verschiedenen Körperareale, das Herzzeitvo-

lumen sowie die Schweißrate reguliert. Während einer Hitzeadaptation werden diese und weitere Faktoren teilweise deutlich verändert.

Zur Vorbereitung und Durchführung von Wettkämpfen unter Hitzebedingungen ist aus sportmedizinischer Sicht ein Hitzemanagement unbedingt notwendig. Einerseits soll schwerwiegenden hitzebedingten Erkrankungen oder gar Todesfällen vorgebeugt werden. Andererseits lässt sich der hitzebedingte Leistungsabfall durch adäquates Hitzemanagement deutlich abmildern. Ein optimales, frühzeitig initiiertes Hitzemanagement, welches auf extreme Hitze ausgerichtet ist, stellt schon für Ausdauerwettkämpfe bei milder Hitze (bspw. 22 °C normale Luftfeuchte, Sonnenschein) eine mögliche Verbesserung des individuellen Leistungsvermögens dar.

Auswirkungen von Hitze auf die sportliche Leistungsfähigkeit

Aufgrund der o. g. Mechanismen des Abzugs der aeroben Energiegewinnung für die Körperkühlung ist die Leistungsfähigkeit insbesondere bei Ausdauerbelastungen eingeschränkt. Aufgrund der Kombination von vermindertem Wind und erschwerter Flüssigkeitsaufnahme sind im olympischen Sport insbesondere die leichtathletischen Straßenwettbewerbe betroffen [28]. Im Triathlon ist die Laufleistung bei Hitze am stärksten kompromittiert [6]. Aufgrund der hohen Relevanz ist auch wissenschaftlich der Marathonlauf diesbezüglich am besten untersucht [19] [22]. Dabei sinkt die Leistungsfähigkeit über 8 °C WBGT und wird bei WBGT um 20 °C um bis zu 15 % vermindert [12]. In Spilsportarten kann insbesondere die Verminderung der kognitiven Leistungsfähigkeit unter Hitzebedingungen spielentscheidend sein.

Hauptmaßnahmen des Hitzemanagements im Sport

- **Edukation:** frühzeitige Unterrichtung des gesamten Sportteams über zu erwartende Bedingungen, Physiologie und Maßnahmen
- **Monitoring** relevanter Parameter bei Hitzebelastungen
- **Hitzeakklimatisation:** natürliche Anpassung durch Leben und Training in Hitze
- **Hitzeadaptation:** erhöhte Hitzetoleranz durch künstliche Erzeugung einer moderaten Erhöhung der Körperkerntemperatur (aktiv oder passiv)
- **Hydratation:** Anpassung der Flüssigkeits- und Elektrolytzufuhr bei Hitze (s. a. Vertiefungsartikel)
- **Precooling:** Kühlung vor körperlicher Aktivität in der Hitze
- **Percooling:** Kühlung während körperlicher Aktivität in der Hitze
- **Notfallmanagement:** insbesondere zeitnahe Kühlmöglichkeit nach Überhitzung (Aftercooling)

Hitzeakklimatisation und Hitzeadaptation

Die Kühlfähigkeit des Körpers lässt sich durch besonderes Training anpassen, um bei körperlicher Belastung unter Hitze einerseits Hitzeerkrankungen zu vermeiden und andererseits den Leistungsverlust durch Hitze abzumildern. Vor länger andauernden Wettkämpfen in der Hitze wird eine Hitzeadaptation oder Hitzeakklimatisation sportmedizinisch unbedingt empfohlen [26]. Die physiologische Grundlage ist eine wiederholte Erhöhung der Körperkerntemperatur über 38,5 °C sowie eine relevante Dehydratation mit aktiven und passiven Maßnahmen der Erwärmung. Hierbei werden Hitzeschockproteine freigesetzt.

Die einfachste, aber teilweise nur schwer umsetzbare Variante stellt die vorzeitige Anreise 2–3 Wochen vor dem Wettkampf in die entsprechende Klimaregion mit konsekutiver Steigerung der Belastung unter den natürlichen Hitzebedingungen dar. Diese wird Hitzeakklimatisation genannt. Das künstliche Herbeiführen einer erhöhten Körperkerntemperatur und deren Anpassung daran definiert die Hitzeadaptation [32].

Am häufigsten wird sportartspezifisches oder -nahes kontinuierliches Ausdauertraining unter kontrollierten Hitzebedingungen in einer Klimakammer angewandt. Training mit Schwitzkleidung kann die Körperkerntemperatur relevant erhöhen, ist aber der Klimakammer unterlegen [9]. Bei den passiven Methoden werden Warmwasservollbäder über 30–40 Minuten bei 40 °C bevorzugt [36]. Saunieren scheint nur bei intensivster Anwendung leistungsfördernde Effekte unter Hitzebedingungen zu bewirken [15]. Allgemein sollte das Gefahrenpotenzial dieser Maßnahmen für Hitzeerkrankungen nicht unterschätzt und diese sollten nur unter kontrollierten betreuten Bedingungen durchgeführt werden.

Hitzeadaptationstraining sollte über mindestens 1–2 Wochen täglich, bei unzureichender Anpassung länger durchgeführt werden. Ziel ist es, eine Erhöhung der Körperkerntemperatur von 38,5–39,5 °C über mindestens 45 Minuten herbeizuführen, was Trainingseinheiten von 60–90 Minuten in der Hitze entspricht. Verschiedene Protokolle wurden in den letzten Jahrzehnten geprüft: von niedrig intensiven Belastungen bis zur Erschöpfung bis hin zur heute eher angewandten kontrollierten Hyperthermie mit konsekutiver Reduktion der Leistung bei Erreichen des Temperaturzielkorridors [26].

Zum Monitoring sollten sich die Herzfrequenz und das Belastungsempfinden unter gleichen Bedingungen deutlich reduzieren. Zusätzlich sollte die Schweißrate steigen und der Natriumgehalt des Schweißes sowie die Körperkerntemperatur sollten in Ruhe sinken. Im wissenschaftlichen Setting ist eine erfolgreiche Hitzeadaptation an einer Vermehrung des Plasmavolumens in Ruhe sowie einem Auf-

regulieren des Hitzeschockproteinsystems (HSP-System), meist gemessen anhand HSP-70, zu erkennen [20][24]. Die Erhöhung der Hitzeschockproteine schafft tatsächlich einen molekularen Schutz vor Hitzeschäden und insbesondere vor der – dem Hitzschlag ursächlichen – Störung der Darmbarriere.

Interindividuelle Untersuchungen bei Hitzeadaptationsprotokollen zeigen deutlich unterschiedliche Anpassungsprofile. Dabei versucht man mittlerweile in „Fast-“ und „Slow-Responder“ einzuteilen [27]. Neuere Untersuchungen zeigen hierbei auch einen Geschlechterunterschied auf, wobei Frauen scheinbar eher zu den Slow-Respondern zählen [25]. In der Sportpraxis sollten bei der Hitzeakklimatisierung mit vorzeitiger Anreise insbesondere die lockeren Trainingseinheiten bewusst kontrolliert in der Hitze durchgeführt werden. Für die Trainingsplanung ist die starke körperliche wie auch psychologische Belastung durch die Hitzeanpassung unbedingt zu bedenken. In der internationalen Praxis setzt sich aktuell die Strategie der Induktion einer kontrollierten Hitzeadaptation 5–6 Wochen vor dem Wettkampf und einer Reinduktion mit vorzeitiger Anreise und klassischer Hitzeakklimatisierung durch [7].

Kühlmaßnahmen unter Hitzebedingungen

Auch bei optimaler Hitzeakklimatisierung sind Kühlmaßnahmen unter Hitze zur Leistungsverbesserung sowie zur Prophylaxe und Therapie von Hitzeerkrankungen unbedingt notwendig. Diese sollten bestenfalls vorher geübt werden. Trotz langfristiger Kenntnis von Hitzebedingungen ist selbst im Hochleistungssport die Vorbereitung darauf häufig mangelhaft [27].

Precooling

Interne Kühlung

Getränke vor dem Hitzewettkampf können je nach Verträglichkeit möglichst kalt oder sogar als Ice Slurry (Eisbrei) aufgenommen werden, um der durch die Erwärmung (der Muskulatur) bedingten Erhöhung der Körperkerntemperatur entgegenzuwirken [31]. Diese Maßnahme sollte vorher im Training geübt werden, um gastrointestinale Symptome am Wettkampftag zu vermeiden.

Externe Kühlung

Zur externen Kühlung vor einem Hitzewettkampf stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Diese können je nach Möglichkeit angewandt werden [3]. Am verbreitetsten ist Kühlkleidung (Weste, Ärmlinge, Kopfbedeckung, Beinlinge). Sie funktionieren entweder über Evaporation (bei großer innerer Oberfläche nach Einweichen in Wasser) oder nach Befüllung mit Kühlakkus (Eisweste) und entsprechender Wärmeabgabe daran über Konduktion. Letztere sind bei hoher Luftfeuchte zu bevorzugen, weil Evaporation dann schlechter funktioniert. Aus eigener Erfahrung



► **Abb. 2** Monitoring des Kühlens während des Wettkampfs mit kühlender Kopfbedeckung und Kleidung (Percooling) mittels Wärmebildkamera während der Leichtathletik-Weltmeisterschaft in Doha/Katar 2019. (Quelle: © Schmidt-Hellinger, privat)

hat sich die größte subjektive Kühlung nach Befüllung der Evaporationswesten mit Eiswasser ergeben.

Sehr effektiv ist, je nach Verfügbarkeit, auch die Kaltwasserimmersion als Dusche oder Bad. Auch Kaltluftanwendungen können durchgeführt werden. In der praktischen Umsetzung sind auch Kombinationen der verschiedenen Möglichkeiten effektiv, wobei Dauer und Kälte sowie gekühlte Körperoberfläche mit der Leistungsverbesserung unter Hitzebedingungen korrelieren [30][34].

Percooling

Externe Kühlung

Externe Kühlmöglichkeiten im Wettkampf können je nach Reglement und Praktikabilität sehr effektiv angewendet werden. Am einfachsten und verbreitetsten sind Anwendungen mit Eis und Eiswasser, womit entweder der Körper benetzt oder spezielle Kleidungsstücke befüllt werden. Dabei werden vielfältige Eigenkonstruktionen in den Sportarten beobachtet (► **Abb. 2**) [29]. Je nach Hitze und Wettkampfdauer kann ein Zeitinvestment in „Boxenstopps“ entweder einen hitzebedingten Wettkampfabbruch vermeiden oder einen individuellen Zeitvorteil im weiteren Wettkampfverlauf begründen. Mittels Monitoring von Herzfrequenz und Körperkerntemperatur sind diesbezüglich noch bessere Anpassungen möglich. Bei Pausen während des Wettkampfes (Mehrkampf, Spilsport) sind auch alle Maßnahmen des Precooling möglich.

Interne Kühlung

Die Aufnahme (eis-)kalter Getränke ermöglicht eine 100%ige Abgabe von Wärmeenergie an die aufgenommene Flüssigkeit. Diese Aufnahme vermindert jedoch durch zentrale Steuerung das Schwitzen [23]. Eine effektiv vermehrte Kühlung ist dabei eher bei feuchter Hitze zu

erwarten. Berechnungsmodelle geben genaue Empfehlungen, wann bei welchen Leistungen eiskalte Getränke sinnvoll sind [18].

Monitoring im Hitzemanagement

Nur eine konsequente Erfassung von Messdaten ermöglicht ein adäquates Hitzemanagement. Selbst in einem Studiensetting sind exogene sowie intra- und interindividuelle Unterschiede der Belastungssituation zu erwarten. Allein unter Betrachtung aller Faktoren lässt sich eine Hitzebelastung adäquat einschätzen und Kühlmaßnahmen lassen sich neben der subjektiven Wahrnehmung korrekt einordnen.

Umgebungstemperatur

Die Temperatur an der Wettkampf- oder Trainingsstätte sollte möglichst mit einem geeichten WBGT-Messgerät erfasst werden. Reine Daten vom Wetterdienst weichen durch lokale Gegebenheiten (Gebäude, Untergrund, Nähe zu Gewässern und Vegetation) teilweise relevant ab. Auch sollte zur Vergleichbarkeit für das betreute Team immer dasselbe Gerät genutzt werden.

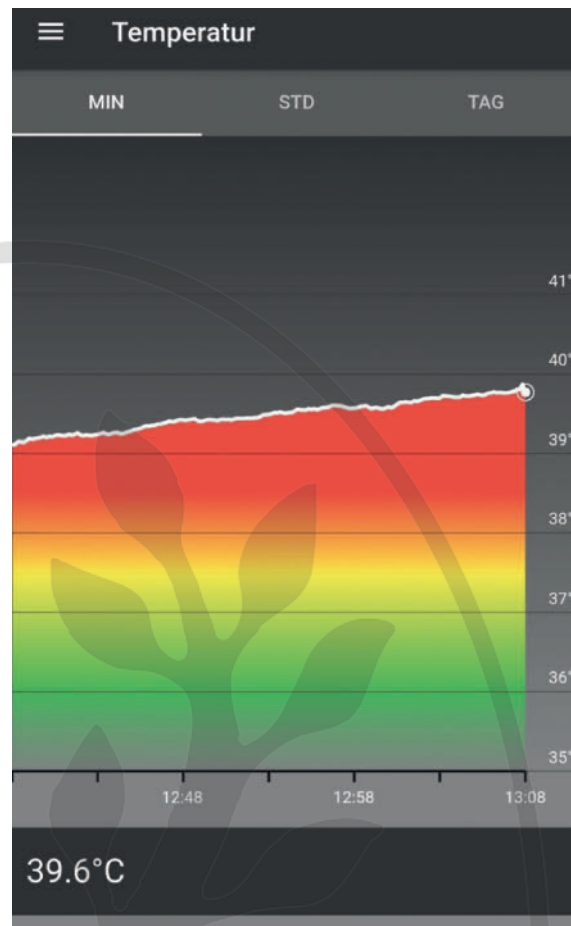
Körperkerntemperatur

Zum Monitoring der Körperkerntemperatur wurden lange Zeit im Laborsetting Rektalthermometer mit Kabel eingesetzt. In den letzten Jahren hat sich jedoch die Kapselmessung und direkte Datenabfrage via Bluetooth durchgesetzt [25]. Aus sportmedizinischer Sicht ist vor Anwendung eine Aufklärung analog der Kapselendoskopie in der Gastroenterologie durchzuführen und von den Nutzer/-innen unterschreiben zu lassen. Die aktuell auf dem Markt befindlichen Kapseln sind nicht MRT-gängig [1]. Ein „Einsammeln“ der Kapsel nach Ausscheidung ist schon aus psychologischer Sicht sinnvoll. Bei Unklarheit, ob die Kapsel sich noch im Körper befindet, ist im Einzelfall eine konventionelle radiologische Abdomen-Übersichtsaufnahme mit entsprechender Strahlenbelastung notwendig.

Näherungsweise Werte der Körperkerntemperatur bieten Ohrthermometer, die in modernen Versionen auch kabellose Dauermessungen ermöglichen (► **Abb. 3**). Um Störanfälligkeiten der Infrarotmessung zu vermeiden, ist ein Tapen des Ohres sinnvoll. Auch Infrarotkameras werden teilweise eingesetzt [11]. Dabei sind relevante Unterschiede zwischen den Messmethoden zu erwarten. Während einer Hitzeadaptation sollte man sich außerhalb von Studien auf eine Methode festlegen, um Missverständnisse in der Auswertung im Team zu vermeiden.

Herzfrequenz

Weil während der Hitzebelastungen ein relevanter Anteil der $\dot{V}O_2$ (pro Zeiteinheit aufgenommene Sauerstoffmenge) für die Kühlfunktion – in Form von Schwitzen sowie zur Hautdurchblutung – genutzt wird, steht dem Muskelstoffwechsel entsprechend weniger Sauerstoff zur Verfügung. Der maximal mögliche aerobe Muskelstoffwechsel



► **Abb. 3** Kontinuierliche Messung der Körperkerntemperatur mittels Bluetooth-Ohrthermometer während eines Hitzeadaptationstrainings bis zur Erschöpfung unter kontinuierlicher bzw. reduzierter Leistung im Bereich des UCHS (Uncompensated Heat Stress). Die Körperkerntemperatur steigt bis zum Abbruch kontinuierlich an. (Quelle: © Schmidt-Hellinger, privat)

sinkt demgemäß. Unter Hitzebedingungen ist bei gleicher Muskelleistung die Herzfrequenz deshalb entsprechend höher.

Die Herzfrequenz ist ein einfach zu messender Parameter, um den Erfolg der Hitzeadaptation zu beschreiben. Im längeren Wettkampf unter variablen Bedingungen ist sie ggfs. Schlüsselparameter zur Anpassung des Tempos.

Auch kommt es unter andauernder Hitzebelastung zunehmend zur Dehydration bei meist unzureichendem Ausgleich des Flüssigkeitsdefizites. Im Monitoring von gleichbleibender Leistung unter Hitzebedingungen sieht man daher insbesondere beim UCHS einen kontinuierlichen Anstieg der Herzfrequenz bis hin zu fast maximalen Werten



► **Abb. 4** Kontinuierlicher Anstieg der Herzfrequenz während einer Hitzeadaptationseinheit bis zur Erschöpfung (Gehen auf dem Laufband) bei gleichbleibender oder teilweise reduzierter Geschwindigkeit. (Quelle: © Schmidt-Hellinger, privat)

(► **Abb. 4**), selbst wenn die Belastung lediglich im Bereich der aeroben Schwelle bleibt. Unter Hitzebelastung werden entsprechend bei gleichem Tempo auch höhere Laktatwerte gemessen.

Subjektives Belastungsempfinden

Ein strukturiertes Abfragen des subjektiven Belastungsempfindens, meist als RPE (Rate of Perceived Exertion) nach Borg von 6–20 [4], ist während der Hitzeadaptation für eine trainingspraktische und wissenschaftliche Auswertung einfach und essenziell.

Anamnestiche und anthropometrische Daten

Eine allgemeine und tägliche Trainings-, Ernährungs- und Befindlichkeitsanamnese ist wichtig für eine adäquate Auswertung von Hitzebelastungen. Ebenso sollten Körpergewicht sowie Blutdruck vor und nach der Belastung gemessen und die Flüssigkeitsaufnahme sollte protokolliert werden.

Aftercooling

Intern

Nach dem Training/Wettkampf sollten zur Kühlung eiskalte Getränke bereitstehen, die dabei zugleich die allgemeinen Kriterien eines Sportgetränkes zur Rehydratation erfüllen.

Extern

Ein Kaltwasserbad bietet die schnellste Möglichkeit, den Körper nach Überhitzung herunterzukühlen. Bei sofortiger Anwendung besteht selbst nach einem Hitzschlag fast ein kompletter Schutz vor einem schwerwiegenden Verlauf [5][10]. Aus diesem Grund sollten bei Wettkämpfen unter Hitzebedingungen unbedingt Kaltwasserbäder im Zielbereich bzw. Medizinbereich vorgehalten werden (► **Abb. 5**). Kalte Duschen sind aufgrund der mangelnden Kühlkapazität sowie der ggfs. notwendigen Schocklagerung der Sportler/-innen dem Kaltwasserbad unterlegen. Aus eigener Erfahrung in der Wettkampfbetreuung sollten jedoch alle schnell verfügbaren Möglichkeiten der Kühlung in der Notfallsituation genutzt werden.



► **Abb. 5** Mobiles Kaltwasserbecken für Wettkämpfe/ Hitzetraining. (Quelle: © Schmidt-Hellinger, privat)

tiger Anwendung besteht selbst nach einem Hitzschlag fast ein kompletter Schutz vor einem schwerwiegenden Verlauf [5][10]. Aus diesem Grund sollten bei Wettkämpfen unter Hitzebedingungen unbedingt Kaltwasserbäder im Zielbereich bzw. Medizinbereich vorgehalten werden (► **Abb. 5**). Kalte Duschen sind aufgrund der mangelnden Kühlkapazität sowie der ggfs. notwendigen Schocklagerung der Sportler/-innen dem Kaltwasserbad unterlegen. Aus eigener Erfahrung in der Wettkampfbetreuung sollten jedoch alle schnell verfügbaren Möglichkeiten der Kühlung in der Notfallsituation genutzt werden.

Ausblick auf die Olympischen Spiele in Tokio

In Anbetracht eines nicht klimatisierten Stadions in Tokio und der zu erwartenden klimatischen Bedingungen [13] ist für die leichtathletischen Bahnwettbewerbe ab 3.000 m Hindernis eine *systematische Hitzeadaptation und -aklimatisation* in Betracht zu ziehen. Ab 10.000 m ist eine Hitzeadaptation und -aklimatisation unabdingbar.

Für alle anderen Sportarten mit mehr als 5 min kumulativer Belastungsdauer in Außenbereichen (Radsport, Triathlon, Moderner Fünfkampf, Tennis, Mannschaftssport, Bogenschießen) gilt eine *systematische Hitzeadaptation und -aklimatisation* ebenfalls als effektiv, wobei der Aspekt umso wichtiger wird, je stärker der Ausdauerbereich bereits austrainiert ist (Radsport, Triathlon, Moderner Fünfkampf). All diese Sportarten profitieren auch von dem sonstigen Hitzemanagement mit den beschriebenen Kühlmaßnahmen.

Eine mögliche Weiterentwicklung der Kapseltemperaturmessung mit schnellerer und weitreichenderer Datenauslesung könnte es zukünftig erlauben, die Körperkern-temperatur live im Wettkampf und Training ohne „Bo-

xenstopp“ zu messen und Entscheidungen innerhalb des Wettkampfes abzuleiten. Hierbei werden jedoch unbedingt vorher gemessene individuelle Temperaturschwellen zu beachten sein! Bei finalen Entscheidungen innerhalb eines Wettkampfes sollten neben den Messwerten unbedingt die subjektive Einschätzung des Athleten/der Athletin, des Trainers und die klinische Einschätzung des medizinischen Personals berücksichtigt werden.

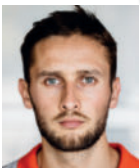
TAKE HOME MESSAGE

- Unter Hitzebedingungen ist die Leistungsfähigkeit von Sportlern, die nicht an hohe Temperaturen angepasst sind, deutlich eingeschränkt.
- Der internationale Standard für die Planung und Durchführung von Hitzewettkämpfen ist die Wet Bulb Globe Temperature (WBGT).
- Hohe Luftfeuchtigkeit limitiert die Kühlfunktion des Schwitzens.
- Optimales Hitzemanagement beinhaltet Edukation, Hitzeadaptation, Hitzeakklimatisation, Hydratation, Precooling, Percooling, Aftercooling und das Notfallmanagement.

Interessenkonflikte

Der Autor ist Berater der Firma Garmin Ltd. Er wurde für seine Tätigkeit von den Firmen Cosinuss GmbH und Garmin Ltd. gesponsert.

Autorinnen/Autoren



Paul Schmidt-Hellinger

Dr. Paul Schmidt-Hellinger, geb. 1985, ist Arzt mit der Zusatzbezeichnung Sportmedizin und aktuell in Weiterbildung zum Facharzt Innere Medizin an der Charité Berlin. Er ist Verbandsarzt im Deutschen Leichtathletikverband und war für das Hitzemanagement der Geher/

-innen vor und während der Leichtathletik-Weltmeisterschaft in Doha 2019 verantwortlich. Als aktiver Läufer hat er 2017 und 2018 den Hitzemarathon auf Barbados gewonnen. Außerdem hält er den Deutschen Rekord im 50-km-Lauf.

Korrespondenzadresse

Dr. Paul Schmidt-Hellinger

Medizinische Klinik m. S. Infektiologie und Pneumologie
Charité – Campus Mitte (CCM)
Charité-Platz 1
10117 Berlin
Deutschland
E-Mail: Paul-juergen.schmidt@charite.de

Literatur

- [1] Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39 (3): 556–72
- [2] Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijvogels TMH. Using an ingestible telemetric temperature pill to assess gastrointestinal temperature during exercise. *J Vis Exp* 2015; 104: 53258
- [3] Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijvogels TMH. Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature* 2017; 4: 60–78
- [4] Borg G. Physical training. 3. Perceived exertion in physical work. *Lakartidningen* 1970; 67: 4548–4557
- [5] Casa DJ, McDermott BP, Lee EC et al. Cold water immersion: The gold standard for exertional heatstroke treatment. *Exerc Sport Sci Rev* 2007; 35: 141–149
- [6] Chabert C, Hermand E, Hue O. Triathlon and ultra-endurance events in tropical environments. In: Périard JD, Racinais S, Eds. *Heat stress in sport and exercise: Thermophysiology of health and performance*. Cham: Springer International Publishing; 2019: 283–296
- [7] Daanen HAM, Racinais S, Périard JD. Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 2018; 48: 409–430
- [8] Dennis SC, Noakes TD. Advantages of a smaller bodymass in humans when distance-running in warm, humid conditions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 79: 280–284
- [9] Ely BR, Blanchard LA, Steele JR et al. Physiological responses to overdressing and exercise-heat stress in trainees runners. *Med Sci Exerc* 2018; 50: 1285–1296
- [10] Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. *N Engl J Med* 2019; 380: 2449–2459
- [11] Fenemor SP, Gill ND, Sims S et al. Validity of a tympanic thermometer and thermal imaging camera for measuring core and skin temperature during exercise in the heat. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 2020; 1: 49–55
- [12] Gasparetto T, Nessler C. Diverse effects of thermal conditions on performance of marathon runners. *Front Psychol* 2020; 11: 1438
- [13] Gerrett N, Kingma BRM, Sluijter R et al. Ambient conditions prior to Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Games: Considerations for acclimation or acclimatization strategies. *Front Physiol* 2019; 10: 414
- [14] Glitz KJ, Gorges W, Leyk D et al. S1-Leitlinie Arbeit unter klimatischer Belastung Hitze. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin 2012. Im Internet: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-039_S1_Arbeit_unter_klimatischer_Belastung_Hitze_2012-07-abgelaufen.pdf; Stand: 2.4.2021
- [15] Heathcote SL, Hassmén P, Zhou S et al. Passive heating: Reviewing practical heat acclimation strategies for endurance athletes. *Front Physiol* 2018; 9: 1851
- [16] Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of Biometeorology* 1999; 43: 71–75
- [17] IOC Athlete365. Beat the heat: Olympic Games Tokyo 2020. Im Internet: <https://www.olympic.org/athlete365/games-time/beat-the-heat>; Stand: 2.4.2021

- [18] Jay O, Morris NB. Does cold water or ice slurry ingestion during exercise elicit a net body cooling effect in the heat? *Sports Medicine* 2018; 48: 17–29
- [19] Knechtle B, Di Gangi S, Rüst CA et al. The role of weather conditions on running performance in the Boston Marathon from 1972 to 2018. *PLoS One* 2019; 14: e0212797
- [20] Kuennen M, Gillum T, Dokladny K et al. Thermotolerance and heat acclimation may share a common mechanism in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2011; 301: R524–R533
- [21] Masterton JM, Richardson FA. Humidex: A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Dornsviw, Ont: Environment Canada, Atmospheric Environment; 1979
- [22] Montain SJ, Ely MR, Chevront SN. Marathon performance in thermally stressing conditions. *Sports Medicine* 2007; 37: 320–323
- [23] Morris N, Coombs G, Jay O. Ice slurry ingestion leads to a lower net heat loss during exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 2016; 48: 114–122
- [24] Nava R, Zuhl MN. Heat acclimation-induced intracellular HSP70 in humans: A meta-analysis. *Cell Stress Chaperones* 2020; 25: 35–45
- [25] Notley SR, Meade RD, Kenny GP. Time following ingestion does not influence the validity of telemetry pill measurements of core temperature during exercise-heat stress: The journal Temperature toolbox. *Temperature* 2021; 8: 12–20
- [26] Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ et al. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Scand J Med Sci Sports* 2015; 25: 6–19
- [27] Racinais S, Ihsan M. Why should I test my athletes in the heat several months before Tokyo 2020? *Br J Sports Med* 2020; 54: 700–701
- [28] Racinais S, Casa D, Brocherie F et al. Translating science into practice: The perspective of the Doha 2019 IAAF World Championships in the heat. *Front Sports Act Liv* 2019; 1: 39
- [29] Racinais S, Ihsan M, Taylor L et al. Hydration and cooling in elite athletes: Relationship with performance, body mass loss and body temperatures during the Doha 2019 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med* 2021; doi:10.1136/bjsports-2020-103613
- [30] Rodríguez MÁ, Piedra JV, Sánchez-Fernández M et al. A matter of degrees: A systematic review of the ergogenic effect of pre-cooling in highly trained athletes. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17: 2952
- [31] Siegel R, Maté J, Watson G et al. Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *J Sports Sci* 2012; 30: 155–165
- [32] The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS Thermal Commission). Glossary of terms for thermal physiology. Second Edition. *Pflügers Arch* 1987; 410: 567–587
- [33] Thorsson S, Rayner D, Palm G et al. Is physiological equivalent temperature (PET) a superior screening tool for heat stress risk than Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) index? Eight years of data from the Gothenburg half marathon. *Br J Sports Med* 2020; doi:10.1136/bjsports-2019-100632
- [34] Xu M, Wu Z, Dong Y et al. A mixed-method approach of pre-cooling enhances high-intensity running performance in the heat. *J Sports Sci Med* 2021; 20: 26–34
- [35] Yaglou CP, Minaed D. Control of heat casualties at military training centers. *Arch Indust Health* 1957; 16: 302–16
- [36] Zurawlew MJ, Mee JA, Walsh NP. Post-exercise hot water immersion elicits heat acclimation adaptations in endurance trained and recreationally active individuals. *Front Physiol* 2018; 1824

Bibliografie

Sportphysio 2021; 9: 107–114
 DOI 10.1055/a-1463-7609
 ISSN 2196-5951
 © 2021. Thieme. All rights reserved.
 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
 70469 Stuttgart, Germany