Thermoregulation im Triathlon

Dr. Klaus Pöttgen

Medizinischer Leiter Frankfurter Sparkasse IRONMAN European Championship

1 Einführung

Im Körperkern liegen die Organe mit hohem Energieumsatz (Herz, Leber, Niere und Gehirn), welche die Orte der Wärmebildung darstellen. Ihre Masse macht beim Menschen nur 8 % der Körpermasse aus und ihr Anteil am Energieumsatz eines Ruhenden beträgt aber mehr als 70 %. Haut und Muskulatur bilden dagegen 52 % der Körpermasse, liefern aber in Ruhe nur 18 % der gesamten Wärme. Bei Bewegung entsteht allerdings mehr Wärme in der Körperschale. Dann übersteigt deren Anteil den des Kerns bei weitem. Als Isothermen bezeichnet man Linien mit gleicher Temperatur.

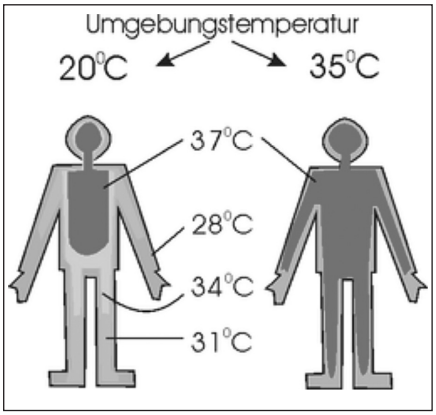

Abb. 1.Verlauf der Isothermen (schematisch) bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (nach Aschoff 1971, aus Stegemann, J: Leistungsphysiologie Thieme, Stuttgart 1971)

Die Körperschale ist also kein fest umrissenes Gebiet, sondern von der Umgebungstemperatur abhängig. Für die Verschiebung der Isothermen ist die wechselnde Durchblutung der einzelnen Körperpartien verantwortlich. Beim Menschen ist beispielsweise die Durchblutung der Finger sehr variabel, sie kann um den Faktor 600 schwanken. Die Durchblutung der Körperschale ist eine wichtige temperaturregulatorische Maßnahme, die gegen Unterkühlung und Überhitzung eingesetzt wird (Wikipedia).

Möglichkeiten der Wärmeabgabe:

- Wärmeleitung (Konduktion). Körperwärme wird durch Kontakt auf kühlere Gegenstände (z.B. Wasser) abgegeben
- Wärmemitführung (Konvektion)
- Luftbewegungen kühlen den Körper ab (Windchill-Faktor)
- Wärmestrahlung (elektromagnetische Strahlung). Ähnlich wie ein Heizkörper gibt der menschliche Körper Wärme als Wärmestrahlung an die Umgebung ab
- Verdunstung (Evaporation/Transpiration)

Aus Abb.2 lässt sich im Triathlon für die Radstrecke ableiten, welchen Anteil das Schwitzen einnimmt. Beim Ironman Hawaii wird damit deutlich, dass Kühlung fast nur noch über Verdunstung von Schweiß möglich wird.

2 Unterkühlung

Unterkühlung droht bei Lufttemperaturen < 10° C, Wassertemperaturen < 20° C, mangelnder Isolation und unzureichender Muskelaktivität. Überlebenszeiten an der Luft liegen nackt und trockener Luft bei -30 °C => 1,8 Stunden, bei - 10 °C => 4,1 Stunden und bei 0 °C => 9 Stunden. Durch 2-lagige Kleidung bei trockener Luft kann diese bei - 10 °C auf => 24 Stunden und bei - 30 °C auf => 8,6 Stunden ansteigen.

Unterkühlung droht bei Wassertemperaturen < 20° C, wobei Schwimmen die Auskühlung bei 21 – 24° C verlangsamt und bei < 10° C beschleunigt.

Schon bei Wassertemperaturen ab 25° C setzt eine verstärkte Atmung ein. Bei kälterem Wasser (ab 15° C) kommt es sofort zu einem massiven Atemzug, der bis zu 2-3 l Volumen umfassen kann und in eine unkontrollierte Hyperventilation (beschleunigte Atmung) übergeht. Es wird bis zu 4-mal so schnell geatmet wie im Ruhezustand, was zu Schwindel, Verwirrtheitszuständen und Panik mit dem Gefühl von Luftnot führen kann (Golden, F. & Tipton, M. 2002; North Atlantic Treaty Organisation - Research and Technology Organization 2007).

Kriterien die für die Unterkühlung eine Rolle spielen:

- Allgemeinzustand/Ernährungszustand
- Konstitution (körperliche Fitness/Sportler)
- Dicke des isolierenden Unterhautfettgewebes
- Verhältnis von Oberfläche zu Masse (Kinder sind benachteiligt)
- Lebensalter
- Geschlecht
- Bekleidung
- Verhalten im Wasser (Wärmeproduktion/Energieverbrauch)
- Die psychische Konstitution (Panik/Überlebenswille)
- Die Temperatur, bei der sich der Mensch im Wasser wohl fühlt liegt bei etwa 32°C.
- Bei niedrigeren Wassertemperaturen kühlt der Körper aus.

Die einzelnen Mechanismen sind bei unterschiedlichen Raumtemperaturen unterschiedlich stark an der Wärmeabgabe beteiligt:

Art der Wärmeabgabe		Raumtemperatur 20 °C	30 °C	36 °C
Verdunstung	(Evaporation/Transpiration)	13%	27%	100%
Wärmemitführung	(Konvektion)	26%	27%	0%
Wärmestrahlung	(elektromagnetische Strahlung)	61%	46%	0%

Abb. 2. Anteil der Wärmeabgabeart in Abhängigkeit von der Raumtemperatur. Michael Glemnitz 2005; Hypothermie

Stadium	Körpertemperatur	Symptome
Milde Hypothermie	32–35 °C	Muskelzittern, Trennung von Schale/Kern, Tachykardie, Tachypnoe, Vasokonstriktion, nach einiger Zeit: Apathie, Ataxie, Beeinträchtigung des Urteilsvermögens
Mittelgradige Hypothermie	28–32 °C	Bewusstseinseintrübung, Bradykardie, erweiterte Pupillen, , verminderter Würgereflex, Aufhören von Muskelzittern, Hyporeflexie, Hypotonie, Kälteidiotie
Schwere Hypothermie	unter 28 °C	Bewusstlosigkeit, Kreislaufstillstand, verminderte Hirnaktivität im EEG, Lungenödem, starre Pupillen, Herzrhythmusstörungen, Atemstillstand

Tab. 1. Stadien und Symptome der Unterkühlung (McCullough L. & Arora S. 2004)

Wassertemperatur	Erschöpfung oder Bewusstlosigkeit	erwartende Überlebenszeit
70–80° F (21–27° C)	3–12 Stunden	3 Stunden – undefiniert
60–70° F (16–21° C)	2–7 Stunden	2–40 Stunden
50–60° F (10–16° C)	1–2 Stunden	1–6 Stunden
40–50° F (4–10° C)	30–60 Minuten	1–3 Stunden
32.5–40° F (0–4° C)	15–30 Minuten	30–90 Minuten
<32° F (<0° C)	unter 15 Minuten	Unter 15–45 Minuten

Tab. 2. Zu erwartende Überlebenszeit in kaltem Wasser. United States Search and Rescue Task Force. (http://www.ussartf.org/; 2000)

Beispiel einer Tabelle für die durchschnittliche Überlebenszeit im Wasser:

Wassertemperatur	Trockenanzug	Neopren	Sonstiges
+15 °C	> 6 Stunden	4 Stunden	2 Stunden
+10 °C	6 Stunden	2 Stunden	1 Stunde
+ 5 °C	3 Stunden	1 Stunde	½ Stunde
- 1 °C	< 2 Stunden	½ Stunde	¼ Stunde

Abb. 3. Überlebenszeiten im Neoprenanzug. Michael Glemnitz 2005 ; Hypothermie

3 Reglements

3.1 Ironman- World Triathlon Corporation (WTC)
2009 werden die Temperaturgrenzen im Reglement der World Triathlon Corporation (WTC) für Neoprenanzüge auf 4,5 Grad festgelegt. (www.ironman.de FAQ)

3.2 Internationale Triathlon Union (ITU)
Die ITU Regeln legen eine Messung der Wassertemperatur eine Stunde vor dem Start in der Kursmitte und zwei weiteren Punkten in 60 cm Tiefe vor. Die niedrigste gemessene Temperatur ist die Offizielle.

Falls die Luft kälter als das Wasser ist erfolgt eine Rechnungsanpassung. Dabei wird die Wassertemperatur um 0,5º C für jedes 1.0ºC Temperaturdifferenz zwischen Luft und Wasser gesenkt. Bsp.: 18º C Wasser; 16º C Luft; Differenz = 2º C; Anpassungsrechnung: 0,5º C x 2 º C = 1º C. Daraus folgt die offizielle Temperatur von 17º C. (http://www.triathlon.org)

Abb. 4 soll einen Überblick erlauben bei welcher Distanz und Wassertemperatur Neoprenanzüge getragen werden dürfen oder diese verboten sind. Ebenso wird die maximale Aufenthaltszeit im Wasser reglementiert. Hierbei wird explizit zwischen Elite und Altersklassenathleten unterschieden.

3.3 Deutscher Schwimmverband (DSV) - Langstreckenschwimmen §174 Regelwerk: Die Wassertemperatur beim Freiwasserschwimmen muss mindestens 16° C betragen. Jugendliche unter 18 Jahren dürfen bei Wassertemperaturen unter 18 Grad gemäß § 9 (3) WB nicht teilnehmen. Jugendlichen unter 12 Jahren ist die Teilnahme an Wettkampfveranstaltungen im Freiwasserschwimmen nicht erlaubt. Jugendliche von 12 bis 13 Jahre dürfen maximal 2,5 km im Freiwasser schwimmen. Jugendliche von 14 bis 15 Jahre dürfen maximal 5 km im Freiwasser schwimmen (Deutscher Schwimmverband).

Der deutsche Schwimmverband lässt auf der Langstrecke im Freiwasser über 5 km und 10 km eigentlich keine Neoprenanzüge zu.

Einmalige Ausnahme EM 2004: Bei der EM im Langstreckenschwimmen in Madrid (5. bis 13. Mai) sind erstmals Neopren-Anzüge erlaubt, sollte die Wassertemperatur weniger als 16° C. betragen. Dies hat der Europäische Schwimm-Verband LEN als "Ausnahmeregelung nur für diese EM" beschlossen. Die Ausnahmeregelung beschloss der europäische Schwimm-Verband LEN auf Empfehlung des Medizinischen Komitees. Zu groß waren die gesundheitlichen Bedenken, zumal die Temperatur in dem vom Schmelzwasser der umliegenden Berge gespeisten See nach Worten von Spaniens 25-km-Vizeweltmeister David Meca-Medina unter Umständen sogar bei nur zwölf Grad liegen kann (Schwimmverband Nordrhein-Westfalen 2004).

Elite, U23 and Junior athletes

Swim Length	Forbidden Above	Mandatory Below	Maximum Stay in Water
300m	20° C	14° C	10 min.
750m	20° C	14° C	20 min.
1500m	20° C	14° C	30 min.
3000m	22° C	16° C	1 h 15 min.
4000m	22° C	16° C	1 h 45 min.

For Age Group athletes:

Swim Length	Forbidden Above:	Mandatory Below:	Maximum Stay in Water
750m	22° C	14° C	30 min.
1500m	22° C	14° C	1 h 10 min.
3000m	23° C	16° C	1 h 40 min.
4000m	24° C	16° C	2 h 15 min.

Abb. 4. ITU Regeln für Nutzung eines Neoprenanzug. www.itu.org

4 Berichte von Profiathleten Triathlon und Langstreckenschwimmen

Der 2-fache Ironman Hawaii Sieger Chris McCormack beschwerte sich beim Ironman Germany nach dem Rennen 2009 bei der Grenztemperatur von 24,5 ºC wäre es unvorstellbar heiß im Anzug gewesen und es sei damit sein schlimmstes Schwimmen im Neoprenanzug gewesen. Er berichtete er hätte während des Schwimmens seinen Anzug aufgerissen.

Profiathletin und Siegerin des Ironman Regensburg 2010 Sonja Tajsich berichtet von deutlichen Unterkühlungen bei gemessenen 22-23º C beim Triathlon Abu Dabi (Schwimmzeit 54:31 min) 2011 ohne Nutzung des Neoprenanzuges.

Es kam hierbei zum frühen Radsturz und Messung bei einer Kerntemperatur von 34º C.

Weltmeister und Olympiamedaillengewinner im Freiwasser auf der Langstrecke Thomas Lurz (Größe: 1,83 m, Gewicht: 76 kg) berichtet mir auf Anfrage:

„Der deutsche Schwimmverband lässt auf der Langstrecke im Freiwasser über 5 km und 10 km keine Neos zu und hat die Grenze von 16-31º C festgelegt.

Für Verdruss sorgen Wassertemperaturen von rund 16º C im Lac Saint Jean, 500 Kilometer nördlich von Montreal. Zum Angeln wäre es traumhaft hier, aber zum Schwimmen ist das Wasser eigentlich zu kalt. Bei

16º C Wassertemperatur kommt es zu Körperkerntemperaturen unter 30º C bei der WM Roberval Kanada 2010 nach dem Rennen. Die Schwimmer wurden rausgenommen und wussten nix mehr. Viel zu gefährlich meiner Meinung nach, aber geändert hat sich trotzdem nichts. Ich selbst hatte dann meistens Wasser in der Lunge. Bei uns gilt die Grenze von 16-31º C. Aber richtig daran wird sich nicht gehalten. Ich denke bei 24 Grad dürfte normalerweise noch lange keine Unterkühlung passieren. Bei 16-18º C über 10 km schon eher. Beim Weltcup in Setubal / Portugal über 10 km beträgt die Wassertemperatur jedes Jahr um die 16-18º C. Da hilft nur eins, etwas dicker zu sein, denn hier schneiden immer die Dickeren gut ab. Für mich persönlich geht es bis 18 Grad und ab 17º C wird es hart."

5 Fallbeispiele Alterklassenathleten bei Ironmanrennen

5.1 Ironman 2010 Frankfurt

Bei einer Startzeit um 7 Uhr wurden beim Ironman Frankfurt 2010 bei Neoprenverbot (Wassertemperatur > 24,5º C) z.B. Athleten wie folgt versorgt:

- 1. Patient (Süßwasseraspiration), 07:45 in der Unfallhilfsstelle (UHS)
- 2. Patient (Süßwasseraspiration), 08:50 in UHS
- 3. Patient (Unterkühlung), 07:40 in UHS

Desweitern:

- Teilnehmer (Unterkühlung) 08:15
- Teilnehmer (Unterkühlung) 08:35
- Teilnehmer (Unterkühlung) 08:40
- Teilnehmer (Unterkühlung) 09:00 (3 Fälle: 2 mit 33º C Kerntemperatur, ein Fall nicht mehr messbar)

5.2 Ironman 2010 Frankfurt

(männlich, 68 Jahre, Unterkühlung)
Präklinisch:

- stark unterkühlt, zentralisiert
- Sauerstoffsättigung (bei Zentralisierung fraglich) intial 70%
- RR-Messung nicht möglich, periphere Temperaturmessung „low" (Messbereich hört unter 33,9 ºC auf)
- Klinik: keine Unterlagen auffindbar; ambulante Betreuung

5.3 Ironman 2010 Regensburg

Ein Athlet wurde mit einer Körpertemperatur von 33º C aus dem Wasser geborgen als er bei einer Wassertemperatur von 24 ºC trotz Neogebotes ohne Neo schwamm.

6 Fazit

Die Regularien bezüglich der Wassertemperaturen und Gebrauch von Neoprenanzügen sind neu zu überdenken. Altersklassenathleten welche lange Strecken schwimmen sind durch deutliche Tempoverlangsamung während des Rennens gefährdet. Profis dagegen durch hohes Tempo mit Energieverbrauch und entsprechender Wärmeentwicklung anders einzustufen als Altersklassenathleten. 16 Grad Wassertemperatur sind für Langstrecken über 10 km im Freiwasser sicher keine vernünftige Grenztemperatur beim DSV.

Literatur

1. Golden, F. & Tipton, M. (2002). Essentials of Sea Survival, Human Kinetics (1. Aufl. 2002)
2. Glemnitz, M. (2005). Hypothermie http://www.medizinshare.com/html/5_Swf_Hypothermie_5325.html
3. Ironman www.ironman.de FAQ http://ironmanfrankfurt.com/de/athleten/faq-h%C3%A4ufige-fragen/
4. ITU Internationale Triathlon Union www.itu.org Reglement http://www.triathlon.org/docs/downloads/itue vents_competition-rules-2010_2010-02-11.pdf
5. DSV Deutscher Schwimmverand e.V. www.dsv.de Regelwerke http://www.dsv.de/service/regelwerke/
6. McCullough L. & Arora, S.: Diagnosis and treatment of hypothermia. Am Fam Physician. 2004 Dec 15;70(12):2325-2332.
7. North Atlantic Treaty Organisation - Research and Technology Organization (2007). (www.rto.nato.int): Survival at Sea for Mari ners, Aviators and Search and Rescue Personnel - Belgium and Portugal June 2007
8. Schwimmverband Nordrhen-Westfalen (2004) http://www.swimpool.de/news/news_040512_3.php
9. Stegemann, J. (1971). Leistungsphysiologie, Thieme, Stuttgart 1971
10. United States Search and Rescue Task Force (2000). http://www.ussartf.org/
11. Wikipedia Artikel: Thermoregulation http://de.wikipedia.org/wiki/Thermoregulation

Autorenkontakt:
Dr. Klaus Pöttgen
Hobrechtstrasse 26
64285 Darmstadt
E-Mail: klaus@drpoettgen.de

27. Triathlon Symposium am 28. Juli 2012 im Seehotel in Niedernberg am Main