

Beat Knechtle<sup>1</sup>, Yves Marchand<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Sportmedizin, Schweizer Paraplegiker-Zentrum, 6207 Nottwil

<sup>2</sup> Institut für Anästhesie, Kreisspital Männedorf, 8708 Männedorf

# Schwankungen des Körpergewichts und der Hautfaltendicke bei einem Athleten während eines Extremausdauerwettkampfes

## Zusammenfassung

Anlässlich eines Ultratriathlons über 38 km Schwimmen, 1800 km Radfahren und 422 km Laufen wurden vor, während und nach dem Rennen das Körpergewicht, die Hautfaltendicken, die Extremitätenumfänge sowie der Kalorienverbrauch bei einem Athleten bestimmt, um Auskunft über einen allfälligen Abbau des Subkutanfettes zu erhalten. Körpergewicht und Hautfaltendicke zeigten im Verlauf des Wettkampfes Schwankungen, während die Extremitätenumfänge recht konstant blieben. Auffallend war, dass Körpergewicht und Hautfaltendicke am Oberschenkel am dritten Tag den höchsten Wert erreichten. Das Körpergewicht nahm in den ersten drei Tagen von 76,1 kg auf 84,2 kg zu und lag am Schluss des Wettkampfes bei 79,3 kg. Die Hautfaltendicke am Oberschenkel nahm von 5,8 mm auf maximal 15,8 mm zu und lag am Schluss des Wettkampfes bei 6,6 mm. Die möglichen Ursachen dieser Veränderungen werden diskutiert.

## Summary

We measured before, during and after an ultratriathlon of 38 km swim, 1800 km cycling and 422 km running in one athlete body weight, skinfold thickness, circumference of extremities and energy expenditure in order to gain information about a possible reduction of adipose subcutaneous tissue during very long lasting endurance exercise. Body weight and skinfold thickness showed changes whereas circumference of extremities remained stable. Interestingly, body weight increased from 76.1 kg to 84.2 kg and the skinfold at the upper thigh increased from 5.8 mm to 15.8 mm in the first three days. At the end of the race, body weight was at 79.3 kg and skinfold thickness at the upper thigh at 6.6 mm. The possible mechanisms underlying these changes are discussed.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 51 (4), 174–178, 2003

## Einleitung

Es ist bekannt, dass bei längeren Belastungen mittlerer Intensität am meisten körpereigenes Fett verbrannt wird [11]. Bei Intensitäten von 30 bis rund 65%  $\dot{V}O_2$ max ist der prozentuale Anteil an Fett an der totalen Energielieferung am höchsten und nimmt bei 85%  $\dot{V}O_2$ max wieder ab [1, 18, 19, 22]. Das verbrannte Fett stammt bei tiefen Intensitäten zum grössten Teil aus dem Subkutanfett und zu einem kleineren Teil aus den intramuskulären Triglyzeriden [18, 19]. Allerdings werden bei körperlicher Aktivität zuerst die intramuskulären Triglyzeride der belasteten Muskulatur zur Energielieferung verwendet, erst im weiteren Verlauf wird das Subkutanfett aus der Umgebung der arbeitenden Muskulatur und aus der Bauchwand abgebaut [2].

Bei langen bis sehr langen Belastungen wie Ultraläufen dürfte es zu einer ausgeprägten Abnahme des subkutanen Fettes kommen. In diesem Zusammenhang wurden bisher vor allem Laufbelastungen untersucht [8, 13, 14, 15, 17, 20]. Tendenziell zeigte sich, dass das Körpergewicht bei mehrtägigen Ultraläufen in den ersten Tagen zunimmt, um im Verlauf der Belastung wieder abzusinken [14, 15]. Primär wird dabei eine Abnahme der Fettmasse beobachtet, während die Muskelmasse konstant bleibt [15].

Andererseits wurde aber bei einem Extremausdauerlauf eine Abnahme des Mitochondrienvolumens in der Wadenmuskulatur beobachtet [8]. Diese Abnahme der oxidativen Kapazität in den Muskelfasern dürfte auch die Fettverbrennung beeinträchtigen und den Abbau des Subkutanfettes bzw. die Abnahme des Körpergewichts reduzieren.

Um weitere Informationen über die Auswirkungen einer Extremausdauerleistung auf das Körpergewicht und den Abbau des Subkutanfettes zu erhalten, haben wir die Gelegenheit eines über 14 Tage dauernden Ultratriathlon-Wettkampfes genutzt, um bei einem Teilnehmer das Körpergewicht, die Hautfaltendicke und den Umfang der Extremitäten alle 24 h zu messen.

## Methode

Vom 10. bis 24. November 2002 fand in Monterrey, Mexiko, die 7. Ultratriathlon-WM über 38 km Schwimmen, 1800 km Radfahren und 422 km Laufen statt, an der 18 Athleten aus 10 Nationen teilnahmen. Das Schwimmen fand in einem 50-m-Bassin, das Radfahren und Laufen auf einem 1,9 km langen, beleuchteten und abgesperrten Strassenrundkurs in einem Park statt. Die Tagesmaxima der Lufttemperatur schwankten zwischen 23 und 32 °C und die Nachtminima zwischen 6 und 14 °C (Tab. 1). Jeweils von Mittag bis in den frühen Morgen blies ein kräftiger Wind aus nordöstlicher Richtung. Am 7. Tag fiel in der Nacht während 3 h Regen, die übrigen Tage waren niederschlagsfrei.

Der Proband (38 Jahre, 177 cm, 76 kg,  $\dot{V}O_2$ max 5100 ml/min) startete zum 2. Mal an diesem Event. Von 11 Athleten, die das Ziel innerhalb des Zeitlimits erreichten, kam er auf den 8. Schlussrang. Beim Schwimmen erlitt er einen Infekt der oberen Luftwege, der zu einer eitrigen Bronchitis und Sinusitis vom 2. bis 4. Wettkampftag führte. Gegen Ende der Radstrecke erlitt er zusätzlich noch

Zeit	Tages-Maximum [° Celsius]	Nacht-Minimum [° Celsius]
Start	23	13
Tag 1	27	13
Tag 2	23	13
Tag 3	28	12
Tag 4	26	12
Tag 5	23	6
Tag 6	26	13
Tag 7	27	14
Tag 8	23	13
Tag 9	23	14
Tag 10	30	13
Tag 11	32	12
Tag 12	30	10

Tabelle 1: Lufttemperaturen am Schatten während des Wettkampfes.

eine Lumbalgie durch ein Verhebetrauma beim Anheben des Fahrrades auf das Trottoir.

Vor dem Start, während des Wettkampfes alle 24 h und nach dem Wettkampf bestimmte dieselbe Person immer in der gleichen Weise das Körpergewicht des Probanden auf einer mechanischen Balkenwaage, die Umfänge der Extremitäten, die Dicke der Hautfalten (GPM-Hautfaltenmessgerät) sowie indirekt den Kalorienverbrauch der vergangenen 24 h (Pulsuhr POLAR S610, Kempele, Finnland).

2 Wochen vor dem Wettkampf wurde ein Maximaltest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung von  $\dot{V}O_{2max}$  durchgeführt. Anhand dieses Maximaltests konnte die Pulsuhr POLAR S610 gemäss Gebrauchsanweisung richtig eingestellt werden, um den Kalorienverbrauch indirekt über die Messung der Herzfrequenz unter Belastung zu bestimmen.

Die Einstellung wurde für alle drei Disziplinen verwendet. Da die Pulsuhr POLAR S610 gemäss Gebrauchsanweisung erst ab einer Herzfrequenz von 90 bpm und höher den Kalorienverbrauch unter Belastung berechnet, wurde nur der Energieverbrauch unter Belastung bestimmt. Der Athlet legte Ruhepausen von maximal 2 h pro Tag ein.

Die Umfänge der Extremitäten wurden nur auf der rechten Seite gemessen, da bei den betreffenden Sportarten symmetrisch beide Körperseiten belastet werden. Am Unterschenkel wurde der grösste Umfang gewählt, am Oberschenkel wurde der Umfang 20 cm oberhalb der Patella gemessen. An Unter- und Oberarm wurden jeweils die grössten Umfänge bestimmt. Alle Messungen wurden 3 Mal wiederholt und der Mittelwert bestimmt. Die Dicke der Hautfalte wurde ebenfalls nur auf der rechten Seite gemessen. Messstellen waren Wange (unterhalb der Schläfe auf Höhe der Nasenlöcher), Kinn (am Halsansatz, Mitte Kinn), Brust (am Rand des Pectoralis major, in der Mitte der Höhe der Achselhöhle), Flanke (mittlere Axillarlinie, Mitte Axilla–Beckenkamm), Taille (mittlere Axillarlinie, Mitte Rippenbogen–Beckenkamm), Bauch (rechts vom Nabel), Trizeps (Mitte Acromion–Olecranon), Scapula (unterhalb Scapulaspitze), Wade (auf der Rückseite, nahe Kniekehle) und Knie (oberhalb Patella) (Tab. 3). Alle Messungen wurden 3 Mal wiederholt und der Mittelwert bestimmt. Daraus wurde der prozentuale Anteil an Körperfett berechnet [9].

Zeit	Schwimmen [km]	Radfahren [km]	Laufen [km]	Schwimmen [km/h]	Radfahren [km/h]	Laufen [km/h]
Start	38	231		2,8	22,0	
Tag 1		323			13,4	
Tag 2		254			10,6	
Tag 3		302			12,6	
Tag 4		235			9,8	
Tag 5		269			11,2	
Tag 6		186	25,7		14,3	2,3
Tag 7			68,1			2,8
Tag 8			77,4			3,2
Tag 9			62,2			2,6
Tag 10			64,1			2,7
Tag 11			62,3			2,6
Tag 12			62,2			3,1

Tabelle 2: Distanzen und Geschwindigkeit.

Zeit	Wange [mm]	Kinn [mm]	Brust [mm]	Flanke [mm]	Taille [mm]	Bauch [mm]	Trizeps [mm]	Scapula [mm]	Wade [mm]	Knie [mm]
Start	4,0	2,4	4,4	4,6	5,2	7,0	4,0	6,2	5,8	5,8
Tag 1	5,0	2,6	4,2	5,4	6,0	8,0	4,0	7,4	4,8	8,2
Tag 2	5,0	3,2	4,4	5,2	11,0	10,2	3,6	7,0	7,2	11,2
Tag 3	6,8	3,0	6,4	8,2	6,4	13,0	3,6	7,6	7,4	15,8
Tag 4	4,6	3,2	5,0	5,2	8,0	8,4	3,8	7,6	5,6	14,0
Tag 5	6,0	3,3	5,6	5,8	11,2	10,8	3,4	7,4	8,4	15,2
Tag 6	7,2	3,2	6,2	6,0	10,2	12,0	3,6	7,5	6,8	14,8
Tag 7	4,8	3,2	5,4	6,2	9,6	11,0	3,4	6,8	5,8	9,8
Tag 8	6,0	3,0	4,2	7,0	7,8	9,0	3,6	7,2	8,0	11,2
Tag 9	6,2	3,2	6,0	6,8	9,4	12,8	3,4	7,6	8,4	12,2
Tag 10	5,4	3,0	5,6	7,4	7,4	10,0	3,6	8,0	6,8	7,8
Tag 11	5,4	3,0	5,0	5,6	8,4	10,8	3,6	7,4	4,4	6,6
Tag 12	4,2	3,2	4,0	6,2	7,4	8,8	3,2	6,8	6,0	5,8
Ziel	4,8	3,2	5,2	5,4	5,8	10,2	3,2	6,4	5,0	6,6

Tabelle 3: Verlauf der Hautfaldendicke.

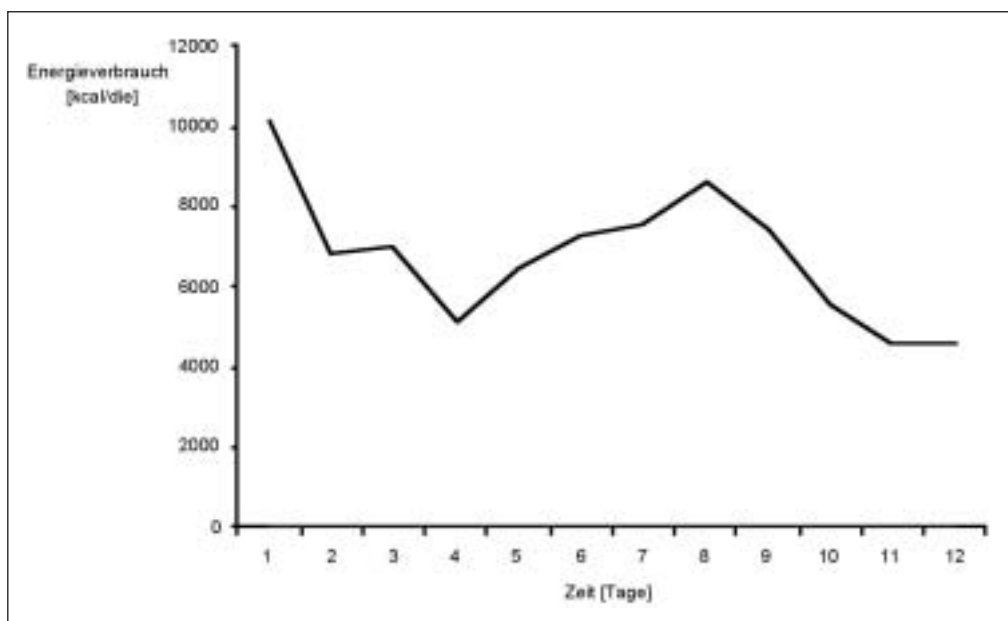


Abbildung 1:  
Kalorienverbrauch.

## Resultate

### Leistung

Die zurückgelegten Distanzen pro Tag sowie die entsprechende Geschwindigkeit sind in *Tabelle 2* zusammengestellt. Die Schwimmdistanz legte der Proband in 13 h 40 min zurück, die Raddistanz hatte er nach 6 d 10 h 38 min hinter sich und das Ziel erreichte er nach 12 d 20 h 26 min. Die mittlere tägliche Strecke beim Radfahren war bei 276,6 km an den Tagen, an denen nur Rad gefahren wurde. 66,8 km lief er an den Tagen, an denen nur noch Laufen angesagt war. Distanzen und Geschwindigkeiten wurden inklusive Pausen berechnet. Der Athlet legte eine Schlafpause von 2 h pro Nacht ein sowie Pausen während des Tages für Essen und Körperpflege. Insgesamt wurden pro 24 h rund 6 h Pause eingelegt.

### Energieverbrauch

Der tägliche Kalorienverbrauch schwankte zwischen 4600 und 10 120 kcal (*Abb. 1*). Der höchste Energieverbrauch wurde am 1. Tag erzielt, der tiefste am letzten Tag. Am 4. Tag lag ein praktisch gleich tiefer Energieverbrauch wie am letzten Tag vor. Der Energieverbrauch stieg dann gegen den 8. Tag hin wieder an, um gegen Schluss hin wieder abzunehmen.

### Körpermasse

Bei den gemessenen Parametern Körpergewicht (*Abb. 2*), Umfang der Extremitäten (*Abb. 3*) und Hautfaltendicke (*Tab. 3*) wurden grosse Schwankungen im Verlauf des Wettkampfes beobachtet. Das Körpergewicht lag beim Start bei 76,1 kg, stieg am 3. Tag auf maximal 84,2 kg an und fiel im Verlauf langsam ab und betrug am Schluss 79,3 kg. Die errechnete fettfreie Masse (Trockengewicht) betrug zu Beginn 69 kg, erreichte am 9. Tag mit 66,9 kg den tiefsten Wert und lag im Ziel bei 69,8 kg.

Die errechnete Fettmasse (Fettgewicht) war beim Start bei 7,1 kg, stieg am 3. Tag auf 15,5 kg und war im Ziel bei 9,5 kg. Bei den Umfängen an den Extremitäten blieben die Werte recht konstant. Der Umfang am Unterarm blieb konstant bei 29 cm und am Oberarm stieg der Wert von 33 cm beim Start auf 34 cm am 3. Tag und fiel dann wieder auf 33 cm. Am Unterschenkel war der Umfang beim Start bei 41 cm, stieg am 3. Tag auf 41,5 cm und fiel dann auf 40 cm ab. Auch am Oberschenkel war ein leichter Anstieg am 3. Tag von 56 cm auf 60 cm nachzuweisen. Anschliessend fiel der Wert auf 57 cm ab. Die Hautfaltendicke variierte vor allem an der

unteren Extremität. Auf Höhe des Knies stieg der Wert von 5,8 mm beim Start auf 15,8 mm am 3. Tag an und fiel bis zum Ende des Rennens auf 6,6 mm ab. Am Abdomen nahm die Hautfaltendicke von 7,0 mm auf 13,0 mm am 3. Tag zu und erreichte am Ende des Wettkampfes 10,2 mm. Auch an Brust und Flanke wurden am 3. Tag die höchsten Werte gemessen.

## Diskussion

Bei einer praktisch anhaltenden Ausdauerbelastung über 12 Tage haben wir wie in der Literatur [14, 15] eine Abnahme des Körpergewichts aufgrund einer Reduktion des Subkutanfettes erwartet. Unsere Einzelfallstudie zeigt aber, dass eine zwölf tägige Dauerbelastung mit Schwimmen, Radfahren und Laufen weder zu einer Abnahme des Körpergewichts noch zu einer Reduktion des Subkutanfettes führte. Im Gegenteil, steigen doch Körper- und Fettgewicht in den ersten 3 Tagen deutlich an und sinken bei Abbruch der Belastung nicht wieder auf die Ausgangswerte ab (*Abb. 2*).

### Das Verhalten des Körpergewichts während Ausdauerbelastungen

Bei Untersuchungen an Ultraläufen wurden sowohl Zu- als auch Abnahmen des Körpergewichts beschrieben. Bei sehr langen Belastungen wie einem Ultralauf von 1000 km in 20 Tagen wurde eine Zunahme des Körpergewichts durch eine Zunahme der fettfreien Masse in den ersten Tagen beobachtet. Dies wurde primär auf eine Zunahme der Muskelmasse in den Beinen zurückgeführt [14]. Im weiteren Verlauf der Belastung sank das Körpergewicht jedoch kontinuierlich ab [15]. Nach 20 Tagen Laufbelastung von 50 km pro Tag wurde eine Abnahme des Körpergewichts von maximal 2 kg nachgewiesen [13]. Die Fettmasse nahm dabei ab, die Muskelmasse blieb praktisch unverändert [15]. Aber auch eine Abnahme der Muskelmasse ist bei sehr langen Belastungen möglich. Dies zeigte sich bei Belastungen über 100 km [17] wie bei Ultraläufen über 1000 km [14]. Die gesamte Dauer einer anhaltenden Belastung dürfte entscheiden, ob und wie stark die Muskelmasse abgebaut wird [6, 16], und die tägliche Laufdistanz dürfte über den Grad der Muskelschädigung entscheiden [12]. Bei sehr langen und teils intensiven Belastungen von 600 Laufkilometern in 30 Tagen wurde eine signifikante Abnahme des Mitochondrienvolumens von 6,98 auf 4,89% des Faservolumens festgestellt [8].

Weiter ist bekannt, dass eine exzentrische Muskelbelastung wie das Laufen vermehrt zu ultrastrukturellen Schäden führt [7]. 3529 Laufkilometer in 7 Wochen führten zu einer Reduktion der Grösse

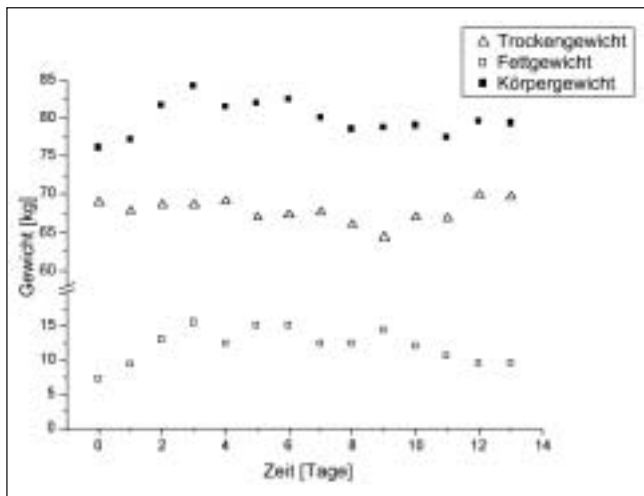


Abbildung 2: Trockengewicht, Fettgewicht und Körpergewicht.

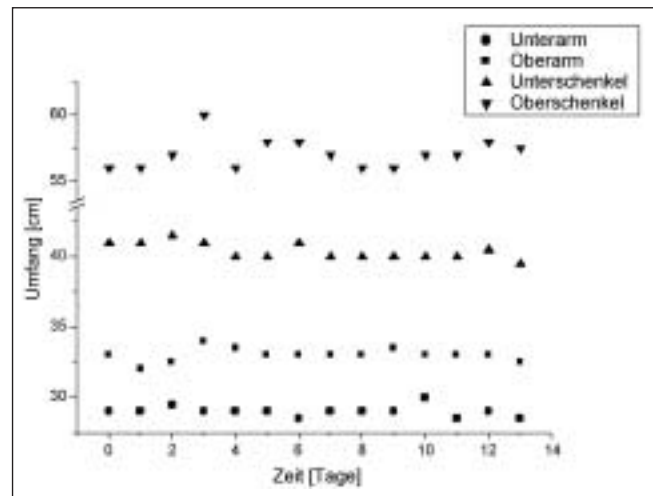


Abbildung 3: Extremitätenumfänge.

der Muskelfasern, einer Nekrose von Muskelfasern und einer Fibrosierung im Muskel [20]. Nach einem Lauf über 160 km waren hingegen keine ultrastrukturellen Muskelschädigungen nachweisbar. Vielmehr nahmen die Typ-I-Fasern prozentual zu, was aber auch bei noch viel längeren Läufen beobachtet wurde [19]. Die nachgewiesenen ultrastrukturellen Schädigungen von Mitochondrien und kontraktilen Elementen in der Muskelfaser bei sehr langen Belastungen könnten zu einer Hemmung des Muskelstoffwechsels mit Einschränkung der Fettoxidation führen [8, 21].

#### Das Subkutanfett unter Ausdauerbelastungen

Während Ultraläufen wurden sowohl eine Zu- wie eine Abnahme des subkutanen Fettgewebes nachgewiesen. Allgemein wurde bei Ausdauerbelastungen eine Abnahme des Subkutanfettes nachgewiesen [15, 16]. Im Bereich des Oberschenkels wurde in den ersten Tagen eines Ultralaufes aber auch eine Zunahme der Hautfaldendicke beobachtet, bevor es dann wie an den anderen Körperstellen zu einer Abnahme kam [15]. In 20 Tagen wurden etwa 3,5 kg Fettmasse abgebaut [15]. Neben einer Zunahme der Hautfaldendicke kann auch eine Zunahme des Umfanges der Oberschenkel bei Ultraläufen nachgewiesen werden. Bei sehr langen Belastungen wie einem Ultralauf über 20 Tage wurde eine Zunahme des Umfanges des Oberschenkels gegenüber einer Abnahme der Umfänge an der oberen Extremität, Wade, Thorax sowie Abdomen festgestellt [14]. Somit dürfte bei einem Ultralauf zuerst Muskelmasse in der belasteten Region aufgebaut werden im Sinne einer Anpassung an die Belastung, bevor es dann aufgrund der chronischen Überbelastung zu einem Muskelabbau kommt.

#### Zusammenhang von Gewicht, Hautfaldendicke und Umfang der Extremitäten im Verlauf des Wettkampfes

Unsere Messungen von Körpergewicht, Fettgewicht, Hautfaldendicke und Umfang der Extremitäten zeigen deutliche Schwankungen im Verlauf des Wettkampfes. Auffallend ist aber, dass Körpergewicht (Abb. 2), Fettgewicht (Abb. 2), Oberschenkelumfang (Abb. 3) und Hautfaldendicke am Oberschenkel (Tab. 3) am 3. Tag der Belastung die höchsten Werte erreichten und im Verlauf wieder langsam abnahmen, während das Trockengewicht anstieg (Abb. 2). Mögliche Gründe für diese Schwankungen könnten die Messmethode, die unterschiedliche Energiebilanz der einzelnen Tage sowie die Flüssigkeitsbilanz im Verlauf des Wettkampfes sein.

Die Messung der Hautfaldendicke ist nur eine Methode, um eine Aussage über das subkutane Fettgewebe zu erhalten. Die Bestimmung der Hautfaldendicke sowie der Umfänge der Extremitäten wurde bei der Beurteilung von Körperzusammensetzung und Energieumsatz von Ausdauerbelastungen oft angewendet [14, 15,

16]. Je nach Untersucher kann die Messregion in den täglichen Messungen nicht übereinstimmen. Die Dicke der Hautfalten sowie die Umfänge der Extremitäten wurden immer durch die gleiche Person um die gleiche Tageszeit an den gleichen Orten in gleicher Weise gemessen. So konnten in unserem Fall Schwankungen durch untersucherbedingte Fehlmessungen vermieden werden.

Weitere Methoden, um die Körperkompartimente und insbesondere das Fettgewebe zu beurteilen, sind Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) sowie Impedanzmessungen [3, 4]. Dabei können auch Aussagen über die fettfreie Masse gewonnen werden. Die verschiedenen Methoden liefern aber unterschiedliche Resultate, so dass die Resultate untereinander nicht vergleichbar sind [4]. Im Gegensatz zur DXA-Methode werden bei der Messung der Hautfaldendicke eher tiefere Werte der fettfreien Masse berechnet [2]. Die Messung der Hautfaldendicke wird aber dennoch als exaktes und einfaches Mittel zur Bestimmung der Körperfettmenge beurteilt [3, 5].

Die Energie- sowie die Flüssigkeitsbilanz könnte auch in Abhängigkeit von der Hitze einen Einfluss auf das Körpergewicht haben, denn die Umgebungstemperatur dürfte Appetit und Leistung beeinflussen. Der Energieverbrauch schwankte im Verlauf (Abb. 1) und war am 4. sowie letzten Tag am tiefsten. Die Energiezufuhr wurde nicht bestimmt. Sie dürfte ebenfalls deutliche Schwankungen aufgewiesen haben und bei rund 8000 kcal pro Tag gelegen sein [10]. Ein Zusammenhang des Energieverbrauches mit der Thermoregulation wäre möglich. Durch die Hitze in den letzten 3 Tagen (Tab. 1) könnte der Energieverbrauch reduziert worden sein. In dieser Phase des Wettkampfes war der Energieverbrauch am tiefsten und die Leistung auf der Laufstrecke im Vergleich zu den Vortagen schlechter (Tab. 2).

Die Flüssigkeitszufuhr könnte das Körpergewicht ebenfalls deutlich beeinflussen. Der Flüssigkeitsumsatz wurde allerdings nicht bestimmt. Anlässlich einer früheren Teilnahme schwankte die Flüssigkeitszufuhr zwischen 6 und 15 l mit einer mittleren täglichen Aufnahme von 8,8 l [10]. Die Diurese des Athleten war nach eigenen Angaben jeweils am Tag in der Hitze reduziert, möglicherweise bedingt durch ein verstärktes Schwitzen zur Thermoregulation. Dafür trat in der Nacht jeweils eine verstärkte Diurese ein. Da das Körpergewicht jeweils am Mittag gemessen wurde, könnte durch eine vermehrte Flüssigkeitszufuhr und eine verminderte Diurese in der Hitze ein eher höheres Körpergewicht resultieren.

#### Schlussfolgerungen

Unsere Resultate zeigen, dass Körpergewicht, Fettgewicht und Hautfaldendicke auch während einer über 12 Tage dauernden Extremlastung ansteigen können. Die höchsten Werte aller drei



Parameter wurden am 3. Wettkampftag, also in der Phase des Radfahrens, gemessen. Vor allem das Ausmass dieser Zunahmen war unerwartet. Im weiteren Verlauf des Wettkampfes nahmen die Werte wieder etwas ab, blieben aber auch am letzten Tag noch über dem Ausgangswert. Künftig sollen weitere Methoden – wie Bestimmung der Flüssigkeitsbilanz, DXA-Messungen, Muskel- und Fettgewebebiopsien – eingesetzt werden, um die Auswirkungen der Extremausdauerbelastungen auf die Körpermasse und Körperzusammensetzung besser zu verstehen.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Beat Knechtle, Facharzt FMH für Allgemeinmedizin, Institut für Sportmedizin, Schweizer Paraplegiker-Zentrum, CH-6207 Nottwil, Telefon ++41 41 939 56 93, E-Mail: beat.knechtle@paranet.ch

## Literaturverzeichnis

- 1 Astorino, T.A.: Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J. Sports Med. Phys. Fit.* 40: 209–216, 2000.
- 2 Boschmann M., Rosenbaum M., Leibel R.L., Segal K.R.: Metabolic and hemodynamic responses to exercise in subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.* 23: 537–543, 2002.
- 3 Claessens M., Claessens C., Claessens P., Henderickx J., Claessens J.: Importance of determining the percentage body fat in endurance-trained athletes. *Indian Heart J.* 52: 307–314, 2000.
- 4 De Lorenzo A., Bertini I., Iacopino L., Pagliato E., Testolin C., Testolin G.: Body composition measurement in highly trained male athletes. A comparison of three methods. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 40: 178–183, 2000.
- 5 Deurenberg P., Pieters J.J., Hautvast J.G.: The assessment of the body fat percentage by skinfold thickness measurements in childhood and young adolescence. *Br. J. Nutr.* 63: 293–303, 1990.
- 6 Dressendorfer R.H., Wade C.E.: Effects of a 15-d race on plasma steroid levels and leg muscle fitness in runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 954–958, 1991.
- 7 Friden J.: Changes in human skeletal muscle induced by long-term eccentric exercise. *Cell Tissue Res.* 236: 365–372, 1984.
- 8 Höchli D., Schneiter T., Ferretti G., Howald H., Claassen H., Moia C., Atchou G., Belleri M., Veicsteinas A., Hoppeler H.: Loss of muscle oxidative capacity after an extreme endurance run: The Paris-Dakar Foot-Race. *Int. J. Sports Med.* 16: 343–346, 1995.
- 9 Jackson A.S., Pollock M.L.: Practical assessment of body composition. *Phys. Sports Med.* 13: 76–90, 1985.
- 10 Knechtle B., Müller G.: Ernährung bei einem Extremausdauerwettkampf. *Dtsch. Ztschr. Sportmed.* 53: 54–57, 2002.
- 11 Krogh A., Lindhard J.: Relative value of fat and carbohydrate as a source of muscular energy. *Biochem. J.* 14: 290–298, 1920.
- 12 Kuipers H., Janssen G.M.E., Bosman F., Frederik P.M., Geurten P.: Structural and ultrastructural changes in skeletal muscle associated with long-distance training and running. *Int. J. Sports Med.* 10: 156–159, 1989.
- 13 Nagel D., Seiler D., Franz H., Leitzmann C., Jung K.: Effects of an ultra-long-distance (1000 km) race on lipid metabolism. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59: 16–20, 1989.
- 14 Raschka C., Plath M., Cerull R., Bernhard V., Jung K., Leitzmann C.: Das Körpermuskelkompartiment und seine Beziehungen zu Nahrungsaufnahme und Blutchemie unter einer extremen Ausdauerbelastung. *Ztschr. Ernährungswiss.* 30: 276–288, 1991.
- 15 Raschka C., Plath M.: Das Körperfettkompartiment und seine Beziehungen zu Nahrungsaufnahme und klinisch-chemischen Parametern während einer extremen Ausdauerbelastung. *Schweiz. Ztschr. Sportmed.* 40: 13–25, 1992.
- 16 Reynolds R.D., Lickteig J.A., Deuster P.A., Howard M.P., Conway J.M., Pietersma A., de Stoppelaar J., Deurenberg P.: Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest. *J. Nutr.* 129: 1307–1314, 1999.
- 17 Robertshaw M., Swaminathan R.: Biochemical changes after a 100 km hill walk. *J. Med.* 24: 311–324, 1993.
- 18 Romijn J.A., Coyle E.F., Sidossis L.S., Gastaldelli A., Horowitz J.F., Endert E., Wolfe R.R.: Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol.* 265: 380–391, 1993.
- 19 Romijn J.A., Coyle E.F., Sidossis L.S., Rosenblatt J., Wolfe R.R.: Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J. Appl. Physiol.* 88: 1707–1714, 2000.
- 20 Sjöström M., Friden J., Ekblom B.: Endurance, what is it? Muscle morphology after an extremely long distance run. *Acta Physiol. Scand.* 130: 513–520, 1987.
- 21 Sjöström M., Johansson C., Lorentzon R.: Muscle pathomorphology in M. quadriceps of marathon runners. Early signs of strain disease or functional adaptation? *Acta Physiol. Scand.* 132: 537–542, 1988.
- 22 Spriet L.L.: Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 1477–1484, 2002.