

Beat Knechtle^{1,2}, Barbara Baumann¹, Patrizia Knechtle¹, René Kaul³, Thomas Rosemann²

¹ Gesundheitszentrum St. Gallen, St. Gallen

² Institut für Hausarztmedizin, Universitätsspital Zürich, Zürich

³ Sri Chinmoy Marathon Team, Zürich

Das Verhalten der Körpermasse bei einem 70 Jahre alten Mann an einem 12h-Schwimmen

Zusammenfassung

Ein 70 Jahre alter Mann hat bei einem 12h-Schwimmen die Distanz von 23.1 km erreicht. Dabei kam es zu einer Abnahme des Körpergewichts um 0.7 kg, einer Abnahme der Fettmasse um 0.4 kg mittels Hautfaltenmessung resp. 3.5 kg bei Bestimmung mit der bioelektrischen Impedanzanalyse, sowie einer Zunahme der Muskelmasse um 0.6 kg und des totalen Körperwassers um 2.8 l. Aufgrund der geringen Abnahme des Körpergewichts (-0.9%) und der geringen Zunahme des spezifischen Gewichts des Urins (+0.5%) dürfte die Abnahme des Körpergewichts nicht auf eine Dehydratation zurückgeführt werden, sondern auf den nachweislichen substanzialen Abbau des Fettgewebes. Die Zunahme der Muskelmasse um 1.6% ist wahrscheinlich auf ein Ödem zurückzuführen, zumal das totale Körperwasser um 5.4% anstieg. Die absolute Veränderung der Fett- und Muskelmasse kann erst bei einem ausgeglichenen Hydratationszustand, also nach Erreichen der Ausgangswerte, definitiv abgeschätzt werden.

Schlüsselwörter

Extremausdauer – Energiedefizit – Muskelmasse – Fettmasse

Summary

A 70-year old swimmer achieved a total distance of 23.1 km in a 12 h swim. This resulted in a decrease of body mass by 0.7 kg, of fat mass by 0.4 kg when determined with the anthropometric method and an increase of skeletal muscle mass by 0.6 kg and of total body water by 2.8 l. Fat mass decreased by 3.5 kg when determined with bioelectrical impedance analysis. Regarding the minimal decrease of body mass (-0.9%) and minimal increase of urinary specific gravity (+0.5%), a dehydration is unlikely and the decrease of body mass must be the result of the decreased fat mass. The increase of skeletal muscle mass by 1.6% is presumably the result of an oedema in the extra cellular space as total body water increased by 5.4%. The correct and absolute change in fat and muscle mass after an ultra-endurance performance can only be accurately determined when a balanced hydration status or base values have been reached again.

Key words

Ultra-endurance – energy deficit – muscle mass – fat mass

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 56 (4), 161–164, 2008

Einleitung

Der Alterungsprozess ist mit eindrücklichen Veränderungen der Körperzusammensetzung verbunden mit einer Abnahme der Muskelmasse (Sarkopenie) und einer Zunahme der Fettmasse (Kyle et al., 2001a). Die Sarkopenie als altersbedingter Muskelverlust steht jedem alternden Menschen bevor, wobei auch gesunde und gut ernährte ältere Menschen davon betroffen sind (Baumgartner et al., 1999). Die Ausprägung des Schweregrades hängt aber deutlich vom Gesundheitszustand, der körperlichen Aktivität und der Ernährung ab (Roubenoff, 2000). Zwischen 60 und 95 Jahren weisen 45% der Männer und 30% der Frauen eine Sarkopenie auf (Kyle et al., 2001b); andere finden bei über 80-Jährigen bereits bei 60% eine Sarkopenie (Dorrens & Renie, 2003).

Wir hatten am 12h-Schwimmen 2008 in Zürich die Chance, die Veränderung der Körpermasse bei einem 70-jährigen Schwimmer zu beobachten. Einerseits ist es ungewöhnlich, dass ein 70 Jahre alter Mann während 12 h ohne Pause schwimmen kann und andererseits interessierte uns speziell, wie sich die Körpermasse verhielt. Die Veränderung der Körpermasse bei Langstreckenschwimmern beschränkt sich auf Fallberichte (Knechtle et al., 2004, 2007a, 2007b) und eine Feldstudie (Knechtle et al., 2008a) bei deutlich jüngeren Schwimmern.

Uns interessierte, wie sich die Muskelmasse bei einer älteren Person verhält. Es ist davon auszugehen, dass ein 70 Jahre alter Mann eine deutlich geringere Muskelmasse haben muss als jüngere Schwimmer. Zudem stellte sich die Frage, ob und wie stark sich die Muskelmasse während dieser langen Belastung abbaut. Aufgrund von neuen Arbeiten zeigt sich, dass sich bei langen bis sehr langen Ausdauerbelastungen neben der Fettmasse auch die Muskelmasse abgebaut wird (Knechtle & Kohler, 2007; Knechtle et al., 2008b). Zusätzlich versuchten wir eine allfällige Dehydratation mit verschiedenen Untersuchungen (totales Körperwasser und spezifisches Gewicht des Urins) zu objektivieren, um so einen allfälligen substanzialen Abbau an Körpermasse zu quantifizieren.

Methoden

Proband

Unser Proband war ein 70-jähriger Triathlet (81.2 kg, 178 cm, BMI 25.6 kg/m²). In der Jugend war er Läufer, wechselte dann zum Radfahren und begann mit 50 Jahren mit dem Schwimmtraining. Pro Woche macht er neben den Rad- und Laufeinheiten noch 7 Schwimmeinheiten zu je 4 km, für die er jeweils rund 2 h benötigt.

Sein durchschnittliches Trainingstempo liegt bei 2 km/h. Als Athlet bestreitet er seit Jahren regelmässig Triathlon-Wettkämpfe über die Kurzdistanz bis hin zur zehnfachen Ironman-Distanz. Das 12h-Schwimmen von Zürich benutzte er als längere Trainingseinheit in der Vorbereitung auf den nächsten zehnfachen Ironman-Triathlon im November 2008.

Das Rennen

Am 24. Februar 2008 fand die 10. Auflage des internationalen Self-Transcendence 12h-Schwimmen für Soloschwimmer und Staffeln im Hallenbad City in Zürich statt. 58 Schwimmer und Schwimmerinnen aus der Schweiz, Deutschland, Holland und England nahmen teil. Im 50m-Becken hatten die Schwimmer auf 3 Bahnen verteilt während 12 h Zeit, möglichst viele km zu absolvieren. Die Temperatur des Wassers lag konstant bei 28 °C, die Lufttemperatur bei 27 °C. Die Schwimmer konnten sich selber oder vom grossen Buffet des Veranstalters verpflegen. Der Athlet verliess das Becken nur für Toiletten- und kurze Verpflegungspausen.

Anthropometrische Messungen und Berechnungen

Unmittelbar vor der Belastung sowie unmittelbar danach wurden anthropometrische Messungen, eine Bioimpedanzanalyse sowie die Bestimmung des spezifischen Gewichts des Urins durchgeführt, um einerseits einen Verlust an Körpermasse in Form von Fett- oder Muskelmasse zu bestimmen und andererseits eine allfällige De- resp. Hyperhydratation objektivieren zu können.

Das Körpergewicht wurde auf der Bioimpedanzanalyse (BIA) waage Tanita BC-545 (Tanita Corporation of America, Arlington Heights, IL 60005, USA) auf 0.1 kg genau bestimmt. Die Umfänge der Extremitäten sowie die Hautfaltendicken wurden auf der rechten Körperseite gemäss Lee et al. (2000) gemessen. Die Umfänge von Oberarm, Oberschenkel und Wade wurden auf 0.1 cm genau bestimmt. Die Hautfaltendicke an den Stellen Brust, Axilla, Trizeps, unterhalb der Scapula, am Abdomen, oberhalb der Spina iliaca anterior superior, am Oberschenkel und an der Wade wurden 3x durch die gleiche Person mit einem Hautfaltensmessgerät (GPM Hautfaltensmessgerät, Siber & Hegner, Zürich, Schweiz) auf 0.2 mm genau bestimmt. Mit diesen Parametern wurden die Skelettmuskelmasse und der prozentuale Anteil an Körperfett berechnet, sowie die Fettmasse bestimmt. Die Skelettmuskelmasse wurde nach der Formel von Lee et al. (2000) und der prozentuale Anteil an Körperfett wurde nach der Formel von Ball et al. (2004) berechnet. Die Fettmasse wurde aus Körpergewicht und prozentualem Anteil an Körperfett berechnet.

Bestimmung des spezifischen Gewichts des Urins sowie des totalen Körperwassers

Um eine Aussage über den Hydratationsstatus zu erhalten, wurden das spezifische Gewicht des Urins sowie das gesamte Körperwasser mittels BIA bestimmt. Das spezifische Gewicht des Urins wurde mit dem Combur¹⁰Test® (Roche Diagnostics, Mannheim, Deutschland) bestimmt. Der Test erfasst die Ionenkonzentration des Urins. Er beruht auf der Freisetzung von Protonen durch einen Komplexbildner in Anwesenheit von Kationen. Dies bewirkt einen Farbumschlag des Indikators Bromthymolblau von blau über blaugrün nach gelb. Mittels BIA wurde der prozentuale Anteil an Körperwasser bestimmt. Der Athlet wurde barfuss, bekleidet in Badehose, in aufrechter Position gemessen. Die Füsse waren auf den vier Fusselektroden und die Hände hielten die beiden Handelektroden. Die Haut sowie die Elektroden wurden vorher gereinigt und getrocknet. Das totale Körperwasser wurde aus Körpergewicht und prozentualem Anteil an Körperwasser berechnet.

Resultate

Unser Schwimmer erreichte 23.1 km. Die ganze Zeit schwamm er ohne grössere Pausen sein Trainingstempo von 2 km/h. Sein Körpergewicht nahm um 0.7 kg ab, die errechnete Muskelmasse

nahm um 0.6 kg zu, während die fettfreie Masse, berechnet mit der anthropometrischen Methode (Tab. 1) um 0.4 kg, bestimmt mittels BIA (Tab. 2) um 3.5 kg abnahm. Das totale Körperwasser nahm um 2.8 l zu (Tab. 2), das spezifische Gewicht des Urins stieg von 1.020 auf 1.025 an (Tab. 3).

Tabelle 1: Die anthropometrischen Parameter vor und nach Belastung sowie deren Veränderungen

Parameter	Vorher	Nachher	Δ	%
Körpergewicht [kg]	81.2	80.5	-0.7	-0.9
Umfang Oberarm [cm]	30.3	31.0	+0.7	+2.3
Umfang Oberschenkel [cm]	54.3	55.2	+0.9	+1.6
Umfang Wade [cm]	36.8	37.0	+0.2	+0.5
Hautfalte Brust [mm]	13.2	12.0	-1.2	-9.1
Hautfalte Axilla [mm]	15.0	13.4	-1.6	-10.7
Hautfalte Trizeps [mm]	9.0	8.8	-0.2	-2.2
Hautfalte Subscapular [mm]	20.9	22.8	+1.9	+9.1
Hautfalte Abdomen [mm]	46.0	45.2	-0.8	-1.7
Hautfalte Suprailiakaal [mm]	22.4	20.0	-2.4	-10.7
Hautfalte Oberschenkel [mm]	6.6	8.2	+1.6	+24.2
Hautfalte Wade [mm]	4.0	4.4	+0.4	+10
Muskelmasse [kg]	36.4	37.0	+0.6	+1.6
Prozentualer Anteil Körperfett [%]	24.8	24.5	-0.3	-1.2
Fettmasse [kg] *	20.1	19.7	-0.4	-2.0

* = berechneter Wert

Tabelle 2: Die mit der bioelektrischen Impedanzanalyse bestimmten Parameter vor und nach Belastung sowie deren Veränderungen.

Parameter	Vorher	Nachher	Δ	%
Körpergewicht [kg]	81.2	80.5	-0.7	-0.9
Fettfreie Körpermasse [kg]	65.8	68.5	+2.7	+4.1
Prozentualer Anteil Körperfett [%]	14.7	10.5	-4.2	-28.6
Fettmasse [kg] *	11.9	8.4	-3.5	-29.4
Eingeweidefett [kg]	10.0	9.0	-1.20	-10
Knochenmasse [kg]	3.4	3.6	+0.2	+5.9
Prozentualer Anteil Körperwasser [%]	63.7	67.7	+4	+6.3
Totales Körperwasser [l] *	51.7	54.5	+2.8	+5.4

* = berechneter Wert

Tabelle 3: Das spezifische Gewicht des Urins vor und nach Belastung sowie dessen Veränderungen.

Parameter	Vorher	Nachher	Δ	%
Spezifisches Gewicht des Urins	1.020	1.025	+0.005	+0.5

Diskussion

Unser Fallbericht zeigt, dass ein 70-jähriger Mann mit dem entsprechenden Training ohne Probleme in 12 h eine Strecke von fast 24 km schwimmen kann. Das Körpergewicht nahm dabei um 0.7 kg ab. Dies dürfte auf die deutliche Abnahme an Fettgewebe zurückzuführen sein, die je nach Messmethode unterschiedlich hoch ausfiel (Tab. 1 und 2). Die Abnahme des Körpergewichts und die Zunahme des spezifischen Gewichts des Urins (Tab. 3) weisen auf eine Dehydratation hin, dennoch hat das totale Körperwasser um 5.4% (+2.8 l) zugenommen. Offensichtlich kommt es zu einer Wassereinlagerung. Da die Muskelmasse zunahm, kam es möglicherweise zu einem Ödem in der Skelettmuskulatur. Ob diese

Veränderungen allerdings von Bedeutung sind, sei dahingestellt. In einem grösseren Kollektiv an Ultra-Schwimmern ergab sich in einem 12h-Schwimmen keine signifikante Veränderung der Körpermasse (Knechtle et al., 2008a).

Der Zusammenhang zwischen der Abnahme des Körpergewichts und der Veränderung von Parametern des Hydratationszustandes

Ein Verlust an Körpermasse nach einer körperlichen Belastung kann durch einen Flüssigkeitsverlust, einen Verlust des Energiespeichers Glykogen als auch einen Verlust an substanzialen Körpermassen bedingt sein. Ein Verlust an Körpermasse wie Fett- oder gar Muskelmasse wird erst bei langen bis sehr langen Belastungen objektivierbar (Bircher et al., 2006; Knechtle et al., 2005). Ein Flüssigkeitsverlust durch Dehydratation ist eher bei kurzen Belastungen in grosser Hitze zu erwarten und kann durch eine Veränderung von Körpergewicht, hämatologischen Parametern, Urinwerten, Hautfaldendicke, Herzfrequenz und Blutdruck objektiviert werden. Die in der Muskulatur und in der Leber gespeicherte Menge Glykogen beträgt bei einem erwachsenen Menschen mehrere 100 g. Darüber hinaus wird von jedem g Glykogen 2.7 g Wasser gebunden. Bei einer sehr langen Ausdauerbelastung können die Glykogenspeicher weitgehend entleert werden, was zu einem Verlust an Körpermasse (Skelettmuskelmasse) ohne Dehydratation und ohne Abbau von Körpersubstanz führt. Eine Abnahme des Körpergewichts wird allgemein als Parameter für Dehydratation speziell bei Hitzeexposition mit oder ohne intensive körperliche Belastung verwendet (Kavouras, 2002). Zur Objektivierung einer Dehydratation eignen sich BIA, Bestimmung von Hämatokrit und Hämoglobin, Plasmaosmolalität, Urinosmolalität, Urinfarbe und spezifischem Gewicht des Urins besser (Armstrong et al., 1998; Shirreffs, 2003), wobei sich Urinparameter wiederum besser eignen als hämatologische Parameter (Armstrong et al., 1998). Das spezifische Gewicht scheint ein guter Parameter für die Beurteilung des Hydratationszustandes zu sein (Su et al., 2006), aber bei den Urinparametern zeigt sich, dass Urinosmolalität und spezifisches Gewicht des Urins zeitlich verzögert eine Dehydratation anzeigen (Oppliger et al., 2005).

Mit der Abnahme des Körpergewichts um 0.9% und der Zunahme des spezifischen Gewichts von 1.020 auf 1.025 müsste bei unserem Schwimmer eine Dehydratation aufgetreten sein. Nach Kavouras (2002) liegt eine minimale Dehydratation liegt dann vor, wenn das Körpergewicht um 1 bis 3% abnimmt und das spezifische Gewicht des Urins zwischen 1.010 und 1.020 liegt. Eine deutliche Dehydratation liegt vor, wenn das Körpergewicht um 4 bis 5% abnimmt und das spezifische Gewicht des Urins bei 1.020 bis 1.030 liegt. Bei einer schweren Dehydratation nimmt das Körpergewicht um über 5% ab und das spezifische Gewicht des Urins liegt bei > 1.030. Definitionsgemäss liegt bei unserem Athleten aufgrund der Gewichtsabnahme keine Dehydratation vor, hingegen müsste aufgrund des spezifischen Gewichtes eine deutliche Dehydratation postuliert werden. Allerdings lag das spezifische Gewicht bereits vor dem Start bei 1.020, somit dürfte dieser ältere Schwimmer eher chronisch dehydriert sein als dass die Belastung zu einer ausgeprägten Dehydratation geführt haben sollte.

Die Muskelmasse des älteren Menschen

Die errechnete Muskelmasse von 36.4 kg bei einem Körpergewicht von 81.2 kg (45% der Körpermasse) ist deutlich geringer als die 42.5 kg (54%) bei einem vor kurzem beschriebenen 12h-Schwimmer (Knechtle et al., 2007b) resp. 41.2 kg (55%) bei einem anderen Langstreckenschwimmer (Knechtle et al., 2007a). Diese Schwimmer waren rund 30 Jahre jünger als unser Proband.

Ein Abbau der Muskelmasse konnte in einer kürzlich publizierten Studie mit Ultraläufern (Knechtle & Kohler, 2007) wie auch bei Ultratriathleten (Knechtle et al., 2008b) nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu kam es bei unserem Athleten zu einer Zunahme der berechneten Muskelmasse. Möglicherweise kam es

zu einer Ödembildung in der Muskulatur, wie bereits in einem früheren Fallbericht erwähnt, als in der Dual-Photon-Absorptiometrie-Messung ein Ödem der belasteten Muskulatur beschrieben wurde (Knechtle et al., 2003).

Wieso nimmt das Körperwasser zu?

Die offensichtliche Retention von Wasser kann durch verschiedene Mechanismen verursacht werden: Proteinkatabolismus mit Entwicklung von hypoproteinämischen Ödemen (Lehmann et al., 1995), eine erhöhte Proteinsynthese mit einer Zunahme des Plasmavolumens (Mischler et al., 2003), eine Natriumretention aufgrund einer erhöhten Aktivität des Aldosterons (Keul et al., 1981), ein erhöhte Aktivität des Adiuretins (Melin et al., 1980) mit konsekutiver Zunahme des Plasmavolumens oder eine Einschränkung der Nierenfunktion durch Dehydratation und Rhabdomyolyse aufgrund der exzentrisch bedingten Muskelschädigung (Uberoi et al., 1991). Ohne Bestimmung von Laborwerten ist es spekulativ, einen dieser Prozesse als Ursache zu diskutieren.

Bestimmung der Fettmasse mit BIA und Anthropometrie

Wir haben den prozentualen Anteil an Körperfett mit 2 Methoden bestimmt, wobei unterschiedliche prozentuale Abnahmen herauskamen. Im Allgemeinen ist die Bestimmung der Hautfaldendicken und Berechnung des prozentualen Anteils an Körperfett eine etablierte Methode (Durnin and Womersly, 1974) und die Bestimmung von Umfängen der Extremitäten und Hautfaldendicken ist sowohl zur Berechnung der Muskelmasse (Doupe et al., 1997) wie der Fettmasse (Van der Ploeg et al., 2003) eine akzeptierte Methode. Im Vergleich mit BIA gibt die Hautfaltenmethode mit wenig Aufwand eigentlich verlässliche Ergebnisse (Claessens et al., 2000). Ein Problem der Hautfaltenmethode ist die Tatsache, dass unterschiedliche Untersucher an der gleichen Lokalisation unterschiedliche Hautfaldendicken messen (Fuller et al., 1991). In der vorliegenden Untersuchung wurden sowohl die anthropometrischen Messungen wie die Messungen mittels BIA immer durch die gleiche Person durchgeführt, sodass diese Fehlerquelle weitgehend ausgeschaltet werden konnte.

BIA kann das Körperfett (MacFarlane, 2007) sowie die Muskelmasse indirekt als fettfreie Körpermasse (Janssen et al., 2000) bestimmen. Es gibt aber Hinweise, dass die Hautfaltenmethode verlässlicher sein soll als BIA (Gualdi-Russo et al., 1997). Für eine rasche und verlässliche Bestimmung der Körperzusammensetzung soll die Hautfaltenmethode besser sein als BIA (Hortobagy et al., 1992), wobei aber Saunders et al. (1998) der Meinung sind, dass BIA gerade bei Athleten nicht verlässlich sein soll. Denn auch kleine Veränderungen des Körperwassers soll BIA fälschlicherweise als Veränderung der Fettmasse berechnen. Neben Saunders et al. (1998) sind auch Broeder et al. (1997) der Meinung, dass BIA bei Athleten nach Ausdauer- wie Kraftbelastungen die Körperzusammensetzung nicht korrekt bestimmen kann.

Bei unseren Messungen fällt auf, dass parallel mit der Zunahme des Körperwassers auch die fettfreie Masse zunimmt. Aufgrund der Resultate von BIA gehen wir davon aus, dass sich das Wasser in die fettfreie Masse und nicht in die Fettmasse ausdehnt (Hoffer et al., 1969). Dies vor allem auch aufgrund des Aspekts, dass neben dem prozentualen Anteil an Körperfett auch das Eingeweidefett deutlich abnahm im Laufe des Rennens. Ödeme mit Wassereinlagerung im subkutanen Fett müssten mit einer Zunahme der Hautfaldendicke oder der Umfänge der Extremitäten einhergehen. Dies könnte erklären, wieso die Muskelmasse mit der anthropometrischen Methode zunahm.

Die Bestimmung der fettfreien Masse mittels BIA hängt von der Bestimmung des totalen Körperwassers ab. Für eine korrekte Bestimmung der Fettmasse wird ein ausgeglichener Hydratationszustand vorausgesetzt da sonst je nach totalem Körperwasser die Fettmasse zu hoch oder zu tief bestimmt wird (Pialoux et al., 2004).

Schlussfolgerungen

Bei einem 70 Jahre alten Mann hat ein 12h-Schwimmen zu einer Abnahme des Körpergewichts, einer Abnahme der Fettmasse sowie einer Zunahme der Muskelmasse und des totalen Körperwassers geführt. Aufgrund der geringen Abnahme des Körpergewichts (-0.9%) und der geringen Zunahme des spezifischen Gewichts des Urins (+0.5%) dürfte die Abnahme des Körpergewichts nicht auf eine Dehydratation zurückgeführt werden, sondern auf den substantiellen Abbau des Fettgewebes. Die Zunahme der Muskelmasse um 1.6% ist wahrscheinlich auf ein Ödem zurückzuführen, zumal das totale Körperwasser um 5.4% anstieg. Die korrekte absolute Veränderung der Fett- und Muskelmasse kann erst bei einem ausgeglichenen Hydratationszustand, also nach Erreichen der Ausgangswerte, definitiv abgeschätzt werden.

Verdankungen

Wir danken Herrn Matthias Knechtle, Lausanne, für seine Übersetzungen.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Beat Knechtle, Gesundheitszentrum St. Gallen, Vadianstrasse 26, 9001 St. Gallen. Telefon +41 71 226 82 82, Fax +41 71 226 82 72, E-Mail: beat.knechtle@hispeed.ch

Literaturverzeichnis

Armstrong L.E., Soto J.A., Hacker F.T. Jr., Casa D.J., Kavouras S.A., Maresh C.M. (1998): Urinary indices during dehydration, exercise and rehydration. *Int. J. Sport Nutr.* 8: 345–355.

Ball S.D., Altna T.S., Swan P.D. (2004): Comparison of anthropometry to DXA: a new prediction equation for men. *Eur. J. Clin. Nutr.* 58: 1525–1531.

Baumgartner R.N., Waters D.L., Gallagher D., Morley J.E., Garry P.J. (1999): Predictors of skeletal muscle mass in elderly men and women. *Mech. Ageing Dev.* 107: 123–136.

Bircher S., Enggist A., Jehle T., Knechtle B. (2006): Effects of an extreme endurance race on energy balance and body composition – a case study. *J. Sports Sci. Med.* 5: 154–162.

Broeder C.D., Burrhus K.A., Svanevik L.S., Volpe J., Wilmore J.H. (1997): Assessing body composition before and after resistance or endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29: 705–712.

Claessens M., Claessens C., Claessens P., Henderieckx J., Claessens J. (2000): Importance of determining the percentage body fat in endurance trained athletes. *Indian Heart J.* 52: 307–314.

Dorrens J., Rennie M.R. (2003): Effects of ageing and human whole body and muscle protein turnover. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 13: 26–33.

Doupe M.B., Martin A.D., Searle M.S., Kriellaars D.J., Giesbrecht G.G. (1997): A new formula for population-based estimation of whole body muscle mass in males. *Can. J. Appl. Physiol.* 22: 598–608.

Durnin J.V.G.A., Womersley J. (1974): Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.* 32: 77–97.

Fuller N.J., Jebb S.A., Goldberg G.R., Pullicino E., Adams C., Cole T.J., Elia M. (1991): Inter-observer variability in the measurement of body composition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 45: 43–49.

Gualdi-Russo E., Toselli S., Squintani L. (1997): Remarks on methods for estimation body composition parameters: reliability of skinfold and multiple frequency bioelectric impedance methods. *Z. Morphol. Anthropol.* 81: 321–331.

Hoffer E.C., Meadow C.K., Simpson D.C. (1969): Correlation of whole body impedance with total body water. *J. Appl. Physiol.* 27: 531–534.

Hortobagay T., Israel R.G., Houmard J.A., O'Brien K.F., Johns R.A., Wells J.M. (1992): Comparison of four methods to assess body composition in black and white athletes. *Int. J. Sport Nutr.* 2: 60–74.

Janssen I., Heymsfield S.B., Baumgartner R.N., Ross R. (2000): Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *J. Appl. Physiol.* 89: 465–471.

Kavouras S.A. (2002): Assessing hydration status. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 5: 519–524.

Keul J., Kohler B., von Glutz G., Lüthi U., Berg A., Howald H. (1981): Biochemical changes in a 100 km run: carbohydrates, lipids, and hormones in serum. *Eur. J. Appl. Physiol.* 47: 181–189.

Knechtle B., Zapf J., Zwyssig D., Lippuner K., Hoppeler H. (2003): Energieumsatz und Muskelstruktur bei Langzeitbelastung: eine Fallstudie. *Schweiz. Zschr. Sportmed. Sporttraumatol.* 51: 180–187.

Knechtle B., Knechtle P., Heusser D. (2004): Energieumsatz bei Langstreckenschwimmen – eine Fallbeschreibung. *Östr. J. Sportmed.* 3:18–23.

Knechtle B., Enggist A., Jehle T. (2005): Energy turnover at the Race Across America (RAAM) – a case report. *Int. J. Sports Med.* 26: 499–503.

Knechtle B., Kohler G. (2007): Running 338 km within 5 days has no effect on body mass and body fat but reduces skeletal muscle mass – the Isarrun 2006. *J. Sports Sci. Med.* 6: 401–407.

Knechtle B., Baumann P., Knechtle P. (2007a): Einfluss von einem Langstreckenschwimmen auf die Körperzusammensetzung – das Marathon-schwimmen 2006 von Rapperswil nach Zürich. *Praxis* 96: 585–589.

Knechtle B., Knechtle P., Kaul R., Kohler G. (2007b): Ein 12-Stunden-Schwimmen führt zu keinem nachweisbaren Verlust an subkutanem Fett – eine Fallstudie. *Praxis* 96: 1805–1810.

Knechtle B., Knechtle P., Kaul R., Kohler G. (2008a): No change of body mass, fat mass and skeletal muscle mass in ultra-endurance swimmers after 12 hours swimming. *Res. Q. Exerc. Sport* (im Druck).

Knechtle B., Duff B., Amtmann G., Kohler G. (2008b): An ultra-triathlon leads to a decrease of body fat and skeletal muscle mass – The Triple Iron Triathlon Austria 2006. *Res. Sports Med.* 16: 1–14.

Kyle U.G., Genton L., Hans D., Karsegard L., Slosman D.O., Pichard C. (2001a): Age-related differences in fat-free mass, skeletal muscle, body cell mass and fat mass between 18 and 94 years. *Eur. J. Clin. Nutr.* 55: 663–672.

Kyle U.G., Genton L., Hans D., Karsegard V.L., Michel J.P., Slosman D.O., Pichard C. (2001b): Total body mass, fat mass, fat-free mass, and skeletal muscle in older people: cross-sectional differences in 60-year-old persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* 49: 1633–1640.

Lee R.C., Wang Z., Heo M., Ross R., Janssen I., Heymsfield S.B. (2000): Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am. J. Clin. Nutr.* 72: 796–803.

Lehmann M., Huonker M., Dimeo F. (1995): Serum amino acid concentrations in nine athletes before and after the 1993 Colmar Ultra Triathlon. *Int. J. Sports Med.* 16: 155–159.

MacFarlane D.J. (2007): Can bioelectric impedance monitors be used to accurately estimate body fat in Chinese adults? *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 16: 66–73.

Melin B., Eclache J.P., Geelen G., Annat G., Allevard A.M., Jarsaillon E., Zebidi A., Legros J.J., Gharib C. (1980): Plasma AVP, neurophysin, rennin activity, and aldosterone during submaximal exercise performed until exhaustion in trained and untrained men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 44: 141–151.

Mischler I., Boirie Y., Gachon P., Pialoux V., Mounier R., Rousset P., Couderet J., Fellmann N. (2003): Human albumin synthesis is increased by an ultra-endurance trial. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 75–81.

Oppliger R.A., Magnes S.A., Popowski L.A., Gisolfi C.V. (2005): Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 15: 236–251.

Pialoux V., Mischler I., Mounier R., Gachon P., Ritz P., Couderet J., Fellmann N. (2004): Effect of equilibrated hydration changes on total body water estimates by bioelectrical impedance analysis. *Br. J. Nutr.* 91: 153–159.

Roubenoff R. (2000): Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur. J. Clin. Nutr.* 54: S40–S47.

Saunders M.J., Blevins J.E., Broeder C.E. (1998): Effects of hydration changes on bioelectrical impedance in endurance trained individuals. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 885–892.

Shirreffs S. (2003): Markers of hydration status. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57: S6–S9.

Su S.B., Lin K.H., Chang H.Y., Lee C.W., Lu C.W., Guo H.R. (2006): Using urine specific gravity to evaluate the hydration status of workers in an ultra-low humidity environment. *J. Occup. Health.* 48: 284–289.

Uberoi H.S., Dugal J.S., Kasthuri A.S., Kolhe V.S., Kumar A.K., Cruz S.A. (1991): Acute renal failure in severe exertional rhabdomyolysis. *J. Assoc. Physicians India* 39: 677–679.

Van der Ploeg G.E., Gunn S.M., Withers R.T., Modra A.C. (2003): Use of anthropometric variables to predict relative body fat determined by a four-compartment body composition model. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57: 10009–10016.