Energieumsatz bei Langstreckenschwimmen – eine Fallbeschreibung

Beat Knechtle [1,2], Philipp Knechtle [1], Daniel Heusser [1]

Zusammenfassung

Zweck:
Wir haben den Energieumsatz bei einem Langstreckenschwimmer in offenem Gewässer bestimmt.

Methode:
Beim Marathonschwimmen im Zürichsee über rund 26.6 km wurden die Energiezufuhr in Kalorien über die Nahrung sowie der Energieverbrauch in Kalorien über die kontinuierliche Registrierung der Herzfrequenz mit dem portablen Herzfrequenzmessgerät POLAR® S710 bestimmt.

Resultate:
Der Schwimmer hielt eine Geschwindigkeit von 3.3 ± 0.3 km pro Stunde mit einer Herzfrequenz von 133 Schlägen pro Minuten – entsprechend 56 % VO_2max – aufrecht und erreichte das Ziel nach 26.4 km Schwimmen in 7 Stunden 40 Minuten. Der mittlere Energieverbrauch lag bei 692 ± 82 Kalorien pro Stunde, die mittlere Energiezufuhr bei 263 ± 301 Kalorien pro Stunde und ein Energiedefizit von 429 ± 268 Kalorien pro Stunde resultierte.

Schlussfolgerung:
Die erhobenen Daten über Energiezufuhr und Energieverbrauch bei einem Langstreckenschwimmer im offenen Gewässer sind für Athleten, Trainer und Ernährungsberater hilfreich in der Planung von ähnlichen Projekten.

Schlüsselwörter

Langzeitausdauer – Energieverbrauch – Energiezufuhr - Energiedefizit

Abstract

Purpose:
Energy intake and energy expenditure in a 26.6 km long swimming event in open water was determined.

Methods:
Energy intake from nutrition was continuously recorded. Energy expenditure was measured by continuous registration of heart rate with a portable heart rate monitor POLAR® S710 to estimate energy expenditure during physical activity.

Results:
The swimmer kept speed constant at 3.3 ± 0.3 km per hour with a heart rate of 133 beats per minute corresponding to 56 % VO_2max and finished the race in 7 h 40 min. During the race, he expended 692 ± 82 kcal per hour while ingesting 263 ± 301 kcal per hour. A deficiency of 429 ± 268 kcal per hour resulted.

Conclusions:
These results provide data about energy intake and energy expenditure in long distance open water swimming for future athletes, nutritionists and coaches.

Keywords

extreme endurance - energy expenditure - energy intake - energy deficiency

Einladung

Schwimmen, Radfahren und Laufen sind klassische Ausdauerdisziplinen zur Verbesserung von Ausdauerleistung und körperlicher Leistungsfähigkeit, wobei Radfahren und Laufen mit dieser Zielsetzung am häufigsten betrieben werden. Entsprechend umfangreich ist die Literatur zum Energieverbrauch bei Langzeitbelastungen in diesen Disziplinen. Es liegen Daten zu 24-Stunden-Radrennen (31), der Tour de France (24), einem Lauf über 80 km (20) sowie einem Lauf rund um Australien (11) vor. Bezüglich der Energiezufuhr bei diesen Belastungsarten liegen sind Resultate vom Race Across AMerica (RAAM) (5, 18) und der Tour de France (24) vorhanden.

Die Belastungsformen Radfahren und Laufen können über Stunden, Tage bis gar Wochen ohne grössere Probleme aufrechterhalten werden im Gegensatz zum Schwimmen. Das Schwimmen über lange Strecken in offenem Gewässer wird vor allem durch die Hypothermie im kalten Wasser limitiert. Deshalb dürfte zum Thema den Energieumsatzes bei Langstreckenschwimmen auch entsprechend wenig Literatur vorhanden sein (1).
Das Ziel unserer Fallbeschreibung war die Erfassung von Energiezufuhr und Energieverbrauch bei einem Langstreckenschwimmer.

Proband und Methode

Proband
Der untersuchte Athlet war ein erfahrener Langstrecken-Triathlet (39 Jahre, 177 cm, 74 kg, 7.5 % Körperfett). Er startete zum zweiten Mal am Marathonschwimmen im Zürichsee, nachdem er im Jahr 2002 gewonnen hatte. Der Athlet gab sein schriftliches Einverständnis für die Erhebung der benötigten Daten.

Laboruntersuchungen vor dem Wettkampf
Aufgrund der Tatsache, dass Langstrecken-Triathleten bezüglich Anthropometrie und körperlicher Leistungsfähigkeit mit Radfahrern vergleichbar sind (21), wurde die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max) zur Programmierung des portablen Herzfrequenzmessgerätes POLAR® S710 (POLAR Electro Oy, Kempele, Finland) zur Bestimmung des Kalorienverbrauches unter Belastung auf einem Fahrradergometer bestimmt. Ein Monat vor dem Rennen wurde ein VO_2max-Test auf einem Fahrradergometer (ergoline 900®, ergoline, Bitz, Deutschland) durchgeführt zur Bestimmung von VO_2max. Das Belastungsprotokoll startete bei 100 Watt und alle 3 Minuten wurde die Belastung um 30 Watt bis zur Erschöpfung des Athleten erhöht. Unter Belastung wurden die Sauerstoffaufnahme (VO_2) und die Herzfrequenz fortlaufend gemessen (Oxycon Pro, Jaeger, Würzburg, Deutschland). Anhand der erhobenen Daten Geschlecht, Alter, Gewicht, Grösse und dem VO_2max von 58 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ konnte das portable Herzfrequenzmessgerät POLAR® S710 korrekt programmiert werden, um den Energieverbrauch in Kalorien unter Belastung (12) kontinuierlich zu bestimmen.

Das Rennen
Am 3. August 2003 fand das 16. Internationale Sri Chinmoy Marathonschwimmen von Rapperswil nach Zürich im Zürichsee (Schweiz) über rund 26.6 km statt. Unser Athlet startete zum zweiten Mal in der Kategorie Herren mit Neoprenanzug.
Während dem Schwimmen trug er einen SNUGG® Neoprenschwimmanzug wie üblich an seinen Langstreckentriathlons. Bei Start des Rennens am Morgen um 07:00 Uhr betrug die Wassertemperatur 26° Celsius und stieg auf 27° Celsius am Ende des Rennens an. Die Lufttemperatur stieg von 18° Celsius am Morgen auf 33° Celsius am Ende des Rennens an.

Eine vierköpfige Begleitmannschaft auf einem dieselbetriebenen Motorboot war verantwortlich für das Einhalten der korrekten Schwimmrichtung. Das Boot war ausgerüstet mit einem Satelliten-Navigationssystem (NAVTECH ON BOARD®, Chicago, Illinois, USA) um nicht vom Kurs abzukommen und den direktesten Weg dem Ufer entlang mit Buchten und Untiefen einzuhalten. Das Team gab dem Athleten in regelmässigen Abständen Nahrung ab. Diese bestand ausschliesslich aus einer handelsüblichen Trinklösung mit Kohlenhydraten, Eiweiss und Fett mit exakter Kalorienangabe. Der Kalorienverbrauch wurde anhand der aufgezeichneten Herzfrequenz direkt bestimmt.

Ergebnisse

Leistung
Der Athlet legte die vom Navigationssystem vorgegebene Strecke von 26.4 km auf dem direktesten Weg ohne größere Probleme wie Strömungen oder kreuzende Schiffe zurück. Pro Stunde legte er eine anhand des Satellitennavigationssystems bestimmte Distanz von 3.3 ± 0.3 km zurück (Tabelle 1). Für die gesamte Distanz benötigte er 7 Stunden und 40 Minuten.

Tabelle 1: Zurückgelegte Distanz während dem Rennen.

Zeit [Stunden]	Distanz [km]
Start	0
1	3.30
2	3.65
3	2.93
4	3.72
5	3.40
6	3.10
7	3.50
Ziel	3.00

Energieumsatz

Die Herzfrequenz blieb während des ganzen Rennens konstant bei 133 Schlägen pro Minute (Abbildung 1), entsprechend 56 % VO_2max aufgrund des VO_2max-Tests. Der gesamte Energieverbrauch lag bei 5'540 kcal für das Rennen (692 ± 82 kcal pro Stunde), die Energiezufuhr bei 2'105 kcal (263 ± 301 kcal pro Stunde) und ein Energiedefizit von 3'435 kcal (429 ± 268 kcal pro Stunde) resultierte (Tabelle 2).

Wasser, Widerstand und Hypothermie

Die Geschwindigkeit eines Schwimmers resultiert aus Auftrieb, Vorderantrieb und Widerstand. Der Widerstand setzt sich aus verschiedenen Komponenten wie der Form des Schwimmers und des Wellenganges zusammen (26). Im Gegensatz zu körperlicher Betätigung an Land muss der Körper beim Schwimmen möglichst ohne grossen Energieverlust durch das flüssige Medium Wasser gleiten (6). Gegenüber Laufen

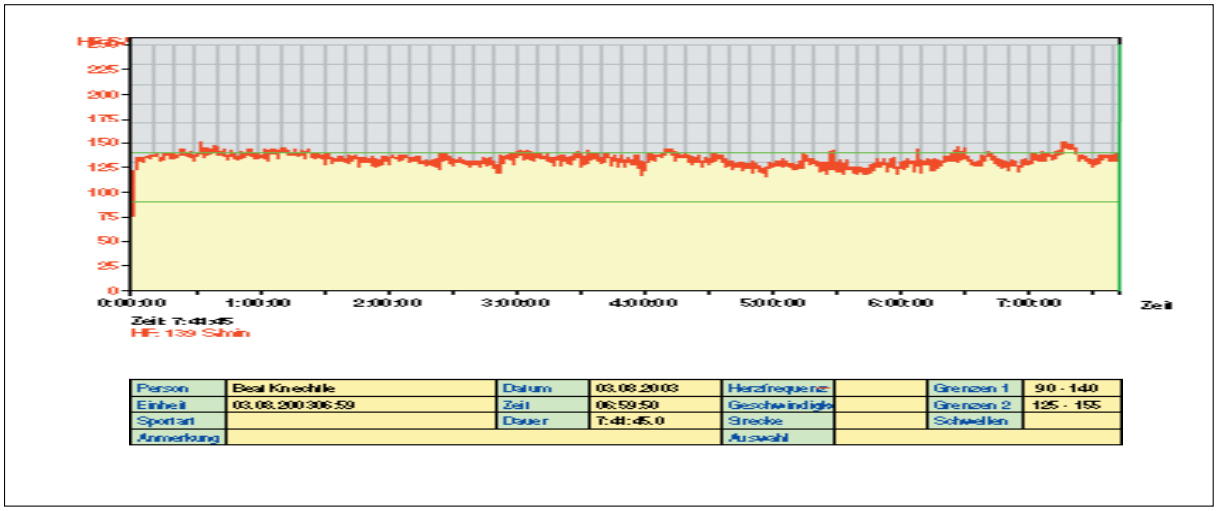

Abbildung1: Herzfrequenzkurve während dem Rennen.

Tabelle 2: Energiezufuhr, Energieverbrauch und Energiedefizit.

	Energiezufuhr [kcal]	Energieverbrauch [kcal]	Energiedefizit [kcal]
Start			
1. Stunde	800	775	+ 25
2. Stunde	0	739	- 739
3. Stunde	450	700	- 250
4. Stunde	540	736	- 196
5. Stunde	210	700	- 490
6. Stunde	105	650	- 545
7. Stunde	0	730	- 730
Ziel	0	510	- 510

Diskussion

Es liegen sehr wenige Daten in der Literatur vor, um unsere Resultate zu vergleichen. Wichtige Diskussionspunkte zum Energiehaushalt bei Langstreckenschwimmen sind die Probleme des Mediums Wasser mit Bildung von hohem Widerstand sowie der Gefahr der Hypothermie. Und in unserem speziellen Fall muss die Methode der Bestimmung des Energieverbrauches über die kontinuierliche Herzfrequenzmessung kritisch evaluiert werden.

ist die Geschwindigkeit beim Schwimmen deutlich geringer, da Wasser einen hohen Widerstand bildet. Der Energieverbrauch zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit ist beim Schwimmer primär abhängig von der Technik und der Anthropometrie (4) sowie dem Widerstand (6). Der Widerstand beim Gleiten durch das flüssige Medium dürfte einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, denn der Energieverbrauch ist linear abhängig

vom gesamten Widerstand, den der Schwimmer zu überwinden hat (6). Dank der Veränderung der Oberfläche etwa mit dem Tragen eines Schwimmanzuges kann der Widerstand deutlich reduziert werden (4). Neben dem Widerstand ist die Hypothermie ein weiteres leistungslimitierendes Problem bei Langstreckenschwimmen in offenem Gewässer (15, 16). Ein möglicher Schutz gegen die drohende Hypothermie kann entweder ein ausgeprägt dickes subkutanes Fettpolster (1) oder das Tragen eines Schwimmanzuges (4) sein.

Bestimmung von VO_2max bei Schwimmern

In der Regel wird VO_2max von Schwimmern im Wasser bestimmt (1, 9, 23). Die Bestimmung von VO_2max bei Schwimmern auf einem Fahrradergometer könnte zu tieferen Werten führen, denn Schwimmer erreichen beim Schwimmen ein höheres VO_2max gegenüber einer Bestimmung auf Laufband oder Fahrradergometer (23). Werden Laufen und Schwimmen miteinander verglichen, so sind die Maximalwerte für Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme abhängig von der Belastungsart. Wird aber eine Belastung bei submaximaler Intensität aufrechterhalten, so resultiert unabhängig von der Belastungsart eine vergleichbare Herzfrequenz (9). Aufgrund der Tatsache, dass Langstrecken-Triathleten bezüglich Anthropometrie und körperlicher Leistungsfähigkeit mit Radfahrern vergleichbar sind (21), haben wir bei unserem Triathleten VO_2max auf dem Fahrrad bestimmt.

Bestimmung des Energieverbrauches unter Feldbedingungen

Wir haben für diesen Fall die Methode der kontinuierlichen Herzfrequenzmessung zur Bestimmung des Energieverbrauchs verwendet. Neben dieser Methode gibt es noch eine Reihe von anderen Möglichkeiten. In der Regel wird der Energieverbrauch mit der Methode des doppeltmarkierten Wassers bestimmt (29, 30). Diese Methode ist exakt, sehr teuer (2) und kann auch unter Feldbedingungen angewendet werden (11). Bei Schwimmern wurde sie schon verwendet zur Bestimmung des Energieverbrauchs während der Saison, nicht aber während Training und Wettkampf (7, 14). Daneben können auch telemetrische Systeme zur Messung des Gasaustausches und Energieverbrauches verwendet werden (10), die allerdings im Wasser nicht zum Einsatz gelangen können. Das Gleiche gilt für Bewegungssensoren und Akzelerometer (28). Alle diese Methoden sind entweder sehr unpraktisch oder enorm teuer um den Energieverbrauch unter Feldbedingungen oder gar im Wasser zu bestimmen (2).

Um eine einfache und billige Art zur Bestimmung des Energieverbrauches als Alternative zu den erwähnten Methoden zu haben, wurde das Prinzip der kontinuierlichen Messung der Herzfrequenz zur Bestimmung des Energieverbrauches evaluiert (3). Denn das Verhältnis Herzfrequenz zu VO_2 - als Ausdruck des Energieverbrauchs - ist bei dynamischer Muskelarbeit bis hin zu einer Intensität von 85 % der maximalen Herzfrequenz linear (22, 29). Die Methode der kontinuierlichen Herzfrequenzmessung unter Belastung kann auch im Wasser einfach verwendet werden. Sie ist einfach, billig und exakt dank der portablen Herzfrequenzmessgeräte (12, 13). Verglichen mit den Methoden der indirekten Kalorimetrie und dem doppeltmarkierten Wasser weist diese Methode keine Unterschiede auf (8, 19). Dank der hohen Aussagekraft und des geringen finanziellen Aufwandes ist sie geradezu geeignet für Feldversuche (3, 17). Allerdings wird die Herzfrequenz neben der körperlichen Aktivität noch durch andere Faktoren beeinflusst. Emotionaler Stress, hohe Umgebungstemperaturen, hohe Luftfeuchtigkeit, Dehydratation sowie Krankheit und Fieber können die Herzfrequenz verändern, ohne dass VO_2 beeinflusst wird. Auch die Grösse der eingesetzten Muskelmasse hat einen Einfluss auf die Herzfrequenz. Bei einem bestimmten VO_2 ist die Herzfrequenz während Armarbeit grösser als während einer Belastung der Beine oder der Beine kombiniert mit den Armen (25).

Belastungsintensität während Schwimmen

Wie in Abbildung 1 gezeigt, war unser Schwimmer während der ganzen Zeit konstant mit einer Herzfrequenz von 133 Herzschlägen pro Minute unterwegs. Aufgrund der Angaben von *Acevedo et al.* (1) scheint eine Herzfrequenz von 130 Schlägen pro Minute aus energetischer Sicht am idealsten für eine langdauernde Schwimmbelastung zu sein. Wie aus der Literatur bekannt ist, verlaufen Herzfrequenz und VO_2 bei submaximalen Belastungen linear (12, 13). In unserem

Fall zeigt der Vergleich der Herzfrequenz unter Belastung mit der Herzfrequenz während dem VO_2max-Test, dass eine Herzfrequenz von 133 Schlägen pro Minute einem VO_2 von 56 % VO_2max entspricht. Eine Intensität von 55 bis 60 % VO_2max während lange andauernden Belastungen scheint aus energetischer Sicht ideal zu sein. Bei einem Lauf über 80 km konnte ein Athlet, der mit einer Intensität von 58 % VO_2max unterwegs war, erfolgreich finishen, während ein Athlet, der mit 74 % VO_2max unterwegs war, nach 55 km abbrechen musste (20).

Energetische Aspekte beim Schwimmen

Acevedo et al. (1) haben für einen Langstreckenschwimmer einen totalen Energieverbrauch von 791 kcal pro Stunde berechnet, wobei 467 kcal aus dem Abbau von Glukose stammen. Obwohl die Herzfrequenz bei unserem Probanden wie beim Probanden von *Acevedo et al.* (1) praktisch identisch war, verbrauchte unser Athlet mit 692 kcal pro Stunde rund 100 kcal pro Stunde weniger (Tabelle 2). Dies könnte einerseits durch die relativ hohe Wassertemperatur und andererseits durch den Schwimmanzug bedingt sein. Um die Belastungsintensität aufrecht zu erhalten, sollten auch beim Schwimmen regelmässig Kohlenhydrate aufgenommen werden (26). Aus experimentellen Untersuchungen auf dem Fahrradergometer ist bekannt, dass von den von aussen zugeführten Kohlenhydraten 1 g pro Minute - entsprechend einer Energie von 240 kcal in einer Stunde – oxidiert werden können (27). Interessanterweise hat unser Athlet während des Rennens Nahrung mit einem Energiegehalt von 260 kcal pro Stunde aufgenommen (Tabelle 2). Ein Defizit von 3'400 kcal während eines Rennens scheint für einen trainierten Athleten kein Problem zu sein, das Defizit dürfte über die körpereigenen Energiereserven gedeckt werden (31)

Schlussfolgerungen

Ein gut trainierter Ausdauerathlet schwimmt eine Strecke über rund 26 km bei einer Herzfrequenz von 133 Schlägen pro Minute entsprechend 56 % VO_2max. Bei dieser Intensität liegt ein Energieverbrauch von 692 ± 82 kcal pro Stunde mit einem Energiedefizit von 429 ± 268 kcal pro Stunde bedingt durch die Energiezufuhr von 263 ± 301 kcal pro Stunde vor. Die Intensität von 56 % VO_2max entspricht der Intensität bei einem Langstreckenlauf. Die Energieaufnahme von 260 kcal pro Stunde entspricht der höchst möglichen Energie der unter Belastung oxidierten Kohlenhydrate, unabhängig von der Menge der von aussen zugeführten Kohlenhydrate.

Verdankung

Wir danken Daniel Zwyssig, POLAR®, Leuenberger Medizintechnik, Wallisellen, Switzerland, für die technische Unterstützung in der Energieberechnung mit der POLAR® S710.

Anschrift des Verfassers

Dr. med. Beat Knechtle
Facharzt FMH für Allgemeinmedizin
Haggenhaldenstraße 12
CH-9014-St. Gallen
Tel.: + 41 71 534 01 31
Fax: + 41 71 534 01 31
E-mail: beat.knechtle@ecr.ch

[1] *Institut für Sportmedizin, Schweizer Paraplegiker-Zentrum, Nottwil, Schweiz*
[2] *Thurgauer Klinik St. Katharinental, Spital Thurgau AG, Diessenhofen, Schweiz*

Literatur

1. Acevedo EO, Meyers MC, Hayman M, Haskin J. Applying physiological principles and assessment techniques swimming the English Channel. A case study. J Sports Med Phys Fitness 1997; 37: 78-85
2. Ainslie P, Reilly T, Westerterp K. Estimating human energy expenditure: a review of technique with particular reference to doubly labelled water. Sports Med 2003; 33: 683-698
3. Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Scott W, Spurr GB. The use of heart-rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. Br J Nutr 1989; 61: 175-186
4. Chatard JC, Millet G. Effects of wetsuit use in swimming events. Practical recommendations. Sports Med 1996; 22: 70-75
5. Clark N, Tobin J, Ellis C. Feeding the ultraendurance athlete: practical tips and a case study. J Am Diet Assoc 1992; 92: 1258-1262
6. Di Prampero PE, Pendergast DR, Wilson DW, Rennie DW. Energetics of swimming in man. J Appl Physiol 1974; 37: 1-5
7. Ebine N, Feng JV, Homma M, Saitoh S, Jones PJ. Total

energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labelled water method. Eur J Appl Physiol 2000; 83: 1-6

8. Ekelund U, Yngve A, Westerterp K, Sjostrom M. Energy expenditure assessed by heart rate and doubly labelled water in young athletes. Med Sci Sports Exerc 2002; 34: 1360-1366
9. Hauber C, Sharp RL, Franke WD. Heart rate response to submaximal and maximal workloads during running and swimming. Int J Sports Med 1997; 18: 347-353
10. Hauswirth C, Bigard AX, Le Chevalier JM. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. Int J Sports Med 1997; 18: 449-453
11. Hill RJ, Davies PSW. Energy expenditure during 2 wk of an ultraendurance run around Australia. Med Sci Sports Exerc 2001; 33: 148-151
12. Hiilloskorpi H, Fogelholm M, Laukkanen R, Pasenen M, Oja P, Mänttäri A, Natri A. Factors affecting the relation between heart rate and energy expenditure during exercise. Int J Sports Med 1999; 20: 438-443
13. Hiilloskorpi H, Pasenen M, Fogelholm M, Laukkanen R, Mänttäri AT. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. Int J Sports Med 2003; 24: 332-336
14. Jones PJ, Leitch CA. Validation of doubly labelled water for measurement of caloric expenditure in collegiate swimmers. J Appl Physiol 1993; 74: 2909-2914
15. Kanaar AC, Hecht MW. Marathon swim training in a 74-yr-old man: personal experience. Med Sci Sports Exerc 1992; 24: 490-494
16. Keatinge WR, Prys-Roberts C, Cooper KE, Honour AJ, Haight J. Sudden failure of swimming in cold water. Brit Med J 1969; 1: 480-483
17. Knechtle B, Bisig A, Schläpfer F, Zwyssig D. Energiebilanz bei Langzeitbelastung: eine Fallstudie. Praxis 2003;92:859-864
18. Lindeman AK. Nutrient intake of an ultraendurance cyclist. Int J Sport Nutr 1991; 1: 79-85
19. Livingston MB, Prentice AM, Coward WA. Simultaneous measurement of free-living energy expenditure in the doubly labelled water method and heart-rate monitoring. Am J Clin Nutr 1990; 52: 59-65
20. Myles WS. The energy cost of an 80 km run. Br J Sports Med 1979; 13: 12-14
21. O'Toole ML, Hiller WDB, Crosby LO, Douglas PS. The ultraendurance triathlete: a physiological profile. Med Sci Sports Exerc 1987; 19: 45-50
22. Rayson MP, Davies A, Bell DG, Rhodes-James ES. Heart rate and oxygen uptake relationship: a comparison of loaded marching and running in women. Eur J Appl Physiol 1995; 71: 405-408
23. Rodriguez FA. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. J Sports Med Phys Fitness 2000; 40: 87-95
24. Saris WHM, van Erp-Baart MA, Brouns F, Westerterp KR, ten Hoor F. Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: The Tour de France. Int J Sports Med 1989; 10: S26-S31
25. Secher NH, Ruberg-Larsen N, Binkhorst RA. Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. J Appl Physiol 1974; 36: 515-518
26. Throup JP. The physiology and biomechanics of competitive swimming. Clin Sports Med 1999; 18: 267-285
27. Wagenmakers AJM, Brouns F, Saris WHM, Halliday D. Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in man. J Appl Physiol 1993; 75: 2774–2780,
28. Washburn R, Chin MK, Montoye HJ. Accuracy of pedometer in walking and running. Res Q Exerc Sport 1980; 51: 695-702
29. Westerterp KR, Brouns R, Saris WHM, ten Hoor F. Comparison of doubly labelled water with respirometry at low- and high-activity levels. J Appl Physiol 1988; 65: 53-56
30. Westerterp KR. Limits to sustainable human metabolic rate. J Exp Biol 2001; 204: 3183-3187,
31. White JA, Ward C, Nelson N. Ergogenic demands of a 24 hour cycling event. Br J Sports Med 1984; 18: 165-171