

ソフトテニス選手のDLW法を用いた合宿時のエネルギー消費量について

井川 正治*1、宮崎 正己*2、井嶋 寛興、李 載永*1

* 1日本体育大学、*2 早稲田大学

Study of energy expenditure at the training camp of soft tennis players using the DLW method

Shoji Igawa *1, Masami Miyazaki *2, Hirooki Ijima, Jae-Young Lee*1

*1 Nippon Sport Science University (igawa@nittai.ac.jp)

*2 Waseda University

ABSTRACT; Purpose of this study was to measure energy expenditure during training camp of university soft tennis players. The measurement of energy expenditure used DLW(Doubly Labeled Water) method. Water turnover was calculated from DLW results. The subjects was 11 university soft tennis players (3 males and 8 females). Measurement results were as follows. Energy expenditure of female was 3999.9kcal/day, and percent of body fat was 15.5%. Water turnover was 5.44 L/day.

1. 目的

これまで、運動中の身体活動量およびエネルギー消費量測定は、心拍計を用いて行われ、ゲーム中の活動量に焦点を絞って行われてきた⁴⁾。良い成績を収めるには、選手のコンディションを試合に合わせることが不可欠であり、そのためには合宿・遠征時のエネルギー消費量を把握する必要がある。

今回、エネルギー消費量測定のGolden Standardといわれている二重標識水(DLW)を使用し、ソフトテニス合宿時の選手のエネルギー消費量を求めソフトテニス競技に必要なエネルギー消費量を明らかにすることを目的とする。この方法のメリットは、人体にとって無害な水素と酸素の安定同位体が含まれた水を飲み、約2週間にわたり尿中へ安定同位体が排泄される経過を観察・測定することによって、その間のエネルギー消費量が正確に推定することができ、選手に負担となるような特別な機器の装着は必要なく、いつも通りに生活することが可能である。

2. 実験方法

被験者は大学のソフトテニス部に所属する男子選手3名と女子選手8名である。実験はインカレ前の強化合宿時に行った。

選手には実験の内容を充分説明し、同意を取り、

実験を始めた。また、選手、監督、コーチには負担を強くないよう、合宿のメニューに変更を加えることなく、通常の形態でおこなわれた。採尿については、朝、午前練習前、練習後、午後練習前、練習後のタイミングで採尿をすることを基本的に伝えたが、練習時間や食事のタイミングで難しいことがあるので強制はしなかった。ただし、朝起きての1回は必ず採尿することをお願いした。

二重標識水は体重の60%を体水分量として体水分1kgあたり $^2\text{H}_2\text{O}$ を0.05g、 H_2^{18}O を0.15g投与した。本来であれば朝空腹時に投与し測定に入るのであるが、合宿時の測定であり、合宿日程に支障のないよう実験計画をたてた。つまり前述したように午後練習のあとベースラインの尿を採取し、その後DLWを飲み、食事をした。DLW投与後は飲食を控えるべきなのであるが、今回はこの条件は整備できなかった。

サンプルは分析まで-80度の冷凍庫で保存した。

サンプルの分析は、安定同位体比質量分析装置(IRMS)(IsoPrime, 英国GV Instruments社製)を用いて行った。分析値に関してはVSMOW(IAEA)により校正した。サンプルの前処理はこれまで $\text{CO}_2/\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 平衡装置が使われ、1~3日程度必要としていたが、これまで、われわれも同様な前処理を行っていたが、最近、EuroVector社よりIRMS用の液体中のD/Hと

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の同位体を測定するための前処理装置

(EuroPyrOH-3130-HT) が開発され、平衡法でなく直接インジェクションして測定できるようになった。そこで、今回同装置を使用して、サンプル(尿)を直接反応回路へ注入(注入量は0.2~0.4 μl)して分析を行った。本前処理装置の導入により即分析ができ、結果の迅速なフィードバックが可能となった。今後のDLW研究にとって有用な前処理装置であろう。得られたデータより ^2H と ^{18}O のエンリッチメントから、それぞれのバックグラウンドの同位体レベルを引いて、それぞれの排泄率(k)を求める。このようにして求めた ^2H と ^{18}O の排出率(kh, ko) および総体水分量(以下に述べる)より、DLW法の原理から二酸化炭素排泄率を以下の式により求める。

$$r\text{CO}_2 = 0.4554 \cdot \text{TBW} (1.01\text{ko} - 1.04\text{kh})$$

体水分量(TBW)は ^2H の希釈容積(DSH) 次式により求められる。

$$\text{DSH}(\text{mol}) = [W \cdot A \cdot (E_a - E_t)] / [18.02 \cdot a \cdot (E_s - E_p)]$$

W: 分析の際にDLW溶液を希釈するのに用いた水の量

A: 投与量

E_a : 希釈したDLW溶液の ^2H の $\delta\text{‰}$

E_t : 希釈するのに用いた水の ^2H の $\delta\text{‰}$

a: 分析の際、希釈に用いたDLW溶液の量

E_s : 平衡に至った時点での体水分の ^2H の $\delta\text{‰}$

E_p : ベースラインサンプルの ^2H の $\delta\text{‰}$

$$\text{TBW}(\text{mol}) = \text{DSH}(\text{mol}) / 1.04$$

$$\text{TBW}(\text{kg}) = \text{DSH}(\text{kg}) / 1.04$$

$$\text{DSH}(\text{kg}) = \text{DSH}(\text{mol}) \cdot 18.02 / 1000$$

以上の結果を使って一日の消費エネルギー(TEE)を次式により算出する³⁾。

$$\text{TEE}(\text{kcal/day}) = 3.951 (r\text{CO}_2/\text{RQ}) + 1.106 (r\text{CO}_2)$$

RQは実際の測定期間中の食事調査から求めた

FQ(food quotient)で置き換えられるが、一律0.85としても誤差はわずかなので0.85を使用した。

水分代謝率(l/day)については、Lifsonの式¹⁾を用いてIRMSの分析より得られた ^2H のデータより算出した。

3. 結果および考察

DLW法により求めた男子の結果を表1に示した。表2には女子の結果を示した。平均値で示すと、男子の一日あたりの消費エネルギー量は、3719.4kcalで%fatが11.37%、水分代謝率は4.13 l/day であった。女子においては消費エネルギー量は3999.9kcal/dayで%fatが15.50%、水分代謝率は5.44 l/day であった。

ソフトテニスの研究の多くはゲーム分析、スポーツ障害についての多くの報告があるが、エネルギー消費量に関しては寡聞にして知らない。そこで、同じような競技のバドミントンの合宿中のエネルギー代謝についての蘭ら報告²⁾と同程度の値であった。文献

1) Lifson, N, Theory of use of the turnover rates of body water for measuring energy and material balance. J Theor Biol. 1966 Sep;12(1):46-74.

2) 蘭和真, 大森正英, 岩田弘敏, 競技バドミントンの高強度トレーニング期におけるエネルギー消費量, 栄養摂取量, 血液成分の変動, 岐阜大学医学部紀要(0072-4521)

1999.11;47(6):215-227

3) Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jequier E., Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation., Am J Physiol. 1986 May;250(5 Pt 2):R823-30.

4) 関一誠, 小野沢弘史, 宮崎正己, 全日本教職員バドミントン大会に於ける試合中のプレーヤーの心拍数変動, 早稲田大学体育研究紀要14, 35~431.

表 1 男子のDLW測定結果

Sub.	kd	TBW(mol)	rH ₂ O(mol)	rH ₂ O(l)	ko	rCO ₂ (mol)	rCO ₂ (l)	TEE	%fat
1	0.0772	2077.7	160.5	2.9	0.1171	35.9	804.4	4533	8.3
2	0.1506	2098.5	316.1	5.7	0.1852	29.1	650.8	3667	5.9
3	0.1014	2077.6	210.6	3.8	0.1289	23.4	524.9	2958	19.9
mean	0.1097	2084.56	229.05	4.13	0.1437	29.47	660.06	3719.4	11.37

表 2 女子のDLW測定結果

Sub.	kd	TBW(mol)	rH ₂ O(mol)	rH ₂ O(l)	ko	rCO ₂ (mol)	rCO ₂ (l)	TEE	%fat
1	0.1617	1953.7	316.0	5.7	0.2055	35.1	785.3	4425	12.0
2	0.1795	1598.7	286.9	5.2	0.2234	28.4	636.2	3585	14.3
3	0.1766	1543.1	272.5	4.9	0.2128	22.0	491.7	2771	18.7
4	0.1172	2036.7	238.8	4.3	0.1556	32.7	731.6	4122	13.4
5	0.1726	1720.3	296.9	5.3	0.2246	37.1	831.7	4686	15.6
6	0.1415	1949.9	275.9	5.0	0.1855	35.7	800.0	4508	12.1
7	0.2635	1722.3	453.8	8.2	0.3127	32.8	734.2	4137	22.7
8	0.1596	1718.1	274.2	4.9	0.2021	29.8	668.1	3765	15.2
mean	0.1715	1780.35	301.87	5.44	0.2153	31.69	709.84	3999.9	15.50