試合期の韓国プロサッカー選手の二重標識水法による 総エネルギー消費量測定

金 亨烈¹⁾ 李 相直¹⁾ 朴 鍾薫²⁾ 海老根直之²⁾
山中 邦夫²⁾ 田嶋 幸三²⁾ 齊藤 慎一²⁾

Measurement of total energy expenditure by the doubly labeled water method during a competitive season in Korea professional football league players

Hyung-Ryul Kim¹, Sang-Jik Lee¹, Jong Hoon Park², Naoyuki Ebine², Kunio Yamanaka²,
Kouzou Tashima² and Shinichi Saitoh²

Abstract

To determine the daily energy requirements of soccer players, we measured total energy expenditure (TEE) in nine Korean Professional Football League players (mean $\pm$ SD; age 29 ± 4 years, height 180 ± 7 cm, body mass 75.7 ± 10.3 kg) during 7 days of a competitive season using the doubly labeled water (DLW) method. Energy intake (EI) was simultaneously estimated from 7 days of dietary records. Mean TEE and EI were 16.8 ± 2.4 MJ/day ($4,013 \pm 583$ kcal/day) and 16.4 ± 1.6 MJ/day ($3,941 \pm 382$ kcal/day), respectively. EI was highly correlated with TEE ($r = 0.747$, $p < 0.05$) and was also no significant difference. The physical activity level (PAL = TEE/estimated basal metabolic rate) was 2.22 ± 0.28 . We discussed the energy requirements of soccer players during a competitive season based on PAL of both Korean and Japanese Professional Football League players.

Key words : professional sport, energy requirement, DLW method, energy intake, physical activity level

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 717-723, November, 2003)

1) 威徳大学社会体育学科
〒780-713 慶北慶州市江東面有琴里山50, 韓国
2) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
連絡先 齊藤 慎一

1. Division of Health and Sports Sciences, University
of Uiduk San 50, Yukumri, Gangdong, Gyeongju,
Korea 780-713
2. Institute of Health and Sport Sciences, University of
Tsukuba 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-
8574

Corresponding author ssp@taiiku.tsukuba.ac.jp

キーワード：プロスポーツ、エネルギー必要量、DLW法、エネルギー摂取量、生活活動指数

はじめに

スポーツ選手のパフォーマンスにとって、適切なエネルギーや栄養素の摂取は必要不可欠なものであり、そのために栄養摂取ガイドラインがつけられている（齊藤・海老根，2002）。これに関連して、競技スポーツのコーチや選手、そしてスポーツ科学者はスポーツ選手の総エネルギー消費量（Total Energy Expenditure：TEE）に関心を持ってきた。通常、個々人のエネルギー消費量は心拍数法や加速度計法のような方法で測定されるが、これらの測定はしばしばトレーニングや試合のパフォーマンスの妨げとなるので、測定データには不合理な影響が混在することになる（齊藤ほか，1999）。ところで、二重標識水（Doubly Labeled Water：DLW）法は身体活動を制約することなく、ヒトの1日のエネルギー消費量を正確に測定することができるフィールド研究のゴールドスタンダードである。したがって、フリーリビングでのスポーツ選手のTEE測定法として、エネルギー所要量（Recommended Energy Allowance：REA）を決定するために、これまで幅広く用いられてきた。しかし、このような研究はトレーニング期の長距離選手や水泳選手に偏っており（Ebine et al., 2000）、サッカー選手を対象として、1日のエネルギー消費量をDLW法で測定した例はJapan Professional Football League（J. League）選手を対象としたEbine et al. (2002)の報告のみである。本研究の目的は、DLW法を用いて、試合期の1週間にわたり、Korea Professional Football League（K. League）選手のTEEを測定し、サッカー選手のREAを検討することである。加えて、食事記録によるエネルギー摂取量（Energy Intake：EI）がDLW法によるTEEとどれくらい一致しているかについても検討した。

I 実験方法

1. 被験者

K. Leagueに所属する某プロサッカーチームのレギュラー選手9名を被験者とした。この内の2名はFIFA 2002年韓国／日本ワールドカップ出場選手であった。すべての被験者は糖尿病やその他の代謝疾患の既往歴がなかった。測定開始に先立ち、被験者及び監督、コーチには測定内容と目的について十分な説明を実施し、参加の同意を得た。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率はそれぞれ 29 ± 4 歳、 180 ± 7 cm、 75.7 ± 10.3 kg、 $11.3 \pm 2.9\%$ （mean $\pm$ SD）であった。

2. 実験概要

実験のプロトコルを Fig. 1 に示した。実験期間は、2002年度K. League春のシーズンの本戦中7日間であった。この実験期間中、チームとしての総練習時間は700分、試合は1日（水曜日）であった。被験者には実験期間中、普段どおりのトレーニングと食事習慣を維持し、体重の意識的な減量と増量は行わないように指示した。

3. 総エネルギー消費量の測定

1) 二重標識水（ $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ ）の投与方法

標識水の投与に先立ち、ベースラインとなる尿の採取を行った（Fig.1）。Day0の早朝、我々の方法（Ebine et al., 2000）を参考に、総体水分量（Total body water：TBW）を体重の60%と仮定し、重水素（ ^2H ）を $0.12\text{g}^2\text{H}_2\text{O}/\text{kg estimated TBW}$ （99.8atom %）の割合で、 ^{18}O を $2.5\text{g H}_2^{18}\text{O}/\text{kg estimated TBW}$ （10.0 atom %）の割合で経口投与した。

2) 総体水分量および除脂肪組織量の算出方法

標識水投与から3時間後と4時間後に尿サンプルを採取し、重水素の希釈容積の平均値から、総体水分量と除脂肪組織量を以下の式により算出した。

$$\text{DSh (mol)} = \frac{[W \cdot A \cdot (Ea - Et)]}{[18.02 \cdot a \cdot (Es - Ep)]}$$

* $^2\text{H}_2\text{O}$: 0.12g/kg estimated TBW (99.8 atom %)

H_2^{18}O : 2.5g/kg estimated TBW (10.0 atom %)

Fig. 1 Experimental design.

ただし、DShは ^2H の希釈容積 (mol), Wは分析の際にDLW溶液を希釈するために用いた飲料水の量 (g), AはDLW溶液の被験者への投与量 (g), Eaは希釈したDLW溶液の ^2H の δ ‰, Etは分析の際にDLW溶液を希釈するために用いた飲料水の ^2H の δ ‰, aは飲料水により希釈されたDLW溶液の量 (g), Esは投与したDLW溶液が体水分で平衡となった時の体水分における ^2H の δ ‰, EpはDLW溶液投与前の被験者の体水分における ^2H の δ ‰である。総体水分量は次の式によって求めた。

$$\text{TBW (mol)} = \text{DSh (mol)} / 1.041$$

$$\text{TBW (kg)} = \text{DSh (kg)} / 1.041$$

ただし、 $\text{DSh (kg)} = \text{DSh (mol)} \cdot 18.02 / 1000$ である。除脂肪組織量 (kg) は、以下の式により求め、これと体重から体脂肪率を計算した。

$$\text{FFM} = \text{TBW} / 0.732$$

3) 総エネルギー消費量 (TEE) の算出方法

本研究では、Two-point methodを用い、TEEの算出を行った。同位体の分析に必要なスポット尿は、day1およびday8に採取した。これらのサンプルを用い、 ^2H と ^{18}O の1日当たりの排出率を求め、 CO_2 産生率を次の式により算出した。

$$\text{rCO}_2 = 0.4556\text{TBW} (1.007k_o - 1.041k_h)$$

$$\text{rCO}_2 : \text{CO}_2 \text{産生率 (mol/day)}$$

$$\text{TBW} : \text{総体水分量 (mol)}$$

$$k_o : ^{18}\text{O} \text{の1日当たりの排出率}$$

$$k_h : ^2\text{H} \text{の1日当たりの排出率}$$

$$\text{TEEは, Respiratory Quotient (RQ) = Food}$$

Quotient (FQ) とすることで、Weirの間接熱量測定 of 式を用いて CO_2 産生率から算出した。

$$\text{TEE (kcal/day)} = 22.4 [3.9 (\text{rCO}_2/\text{FQ}) + 1.1 (\text{rCO}_2)]$$

なお、RQをFQで代用することによる誤差はほとんどないとされている (Black et al. 1986)。

4) 試料の分析方法

サンプルの分析は、(株) 日本酸素 (東京) を通じてISO-Analytical Limited (UK) に依頼した。サンプルの分析は、白金を5%担持させたアルミナ粒子を触媒に使用し、ANCA-GSLおよびGeo 20—20 IRSM (ともにPDZ Europe Ltd., UK) によって、同位体分析を行った。分析はすべて3回繰り返し行い、平均値を各被験者の測定値とした。なお、3回繰り返し分析の標準偏差の平均は、 ^2H で1.23‰, ^{18}O で0.09‰であった。

4. エネルギー摂取量の測定

実験期間の7日間ほぼ全員の被験者が所属チームの食堂で調整された食事を摂取した。そして、摂取したすべての食品と飲料水をチームの栄養士が記録した。食事記録の分析には、韓国食品成分表第6次改定版を用いて行なった。エネルギー摂取 (EI) は一人ずつの食事摂取から測定し、7日間の平均値として算出した。

5. 基礎代謝量と食事摂取基準の推定

基礎代謝量 (BMR) は韓国人の栄養勧奨量第7次改定の基礎代謝量算出式を用いて以下のように

算出した.

$$\text{BMR (kcal/day)} = 66.473 + 13.751 \cdot W + 5.0033 \cdot H - 6.755 \cdot \text{Age (yrs)}$$

ここで, WとHは体重 (kg) と身長 (cm) である. また, REA は以下のように算出した.

$$\text{REA (kcal/day)} = \text{BMR} \cdot x$$

ここで, xは生活活動強度の指数であり, 我々の被験者には, 強度4の指数 1.75を用いた^{注1)}.

6. 統 計

得られた結果は平均値±標準偏差で示した. TEEとEI, あるいはREAとの比較には, 対応のあるt検定を用いた. TEEとEIの関係を求めるのにはPearsonの積率相関係数を用いた. また, これらの一致度については, Bland and Altmanプロットを用いて検定を行った (Bland and Altman, 1986). K. LeagueとJ. Leagueの平均値の差の検定には, Student's t-testを用いた. なお, 統計的有意水準はいずれの場合も5%とした.

Table 1 Summary of energy expenditure and related measurements

Subject (Position)	TEE (MJ/day)	EI (MJ/day)	EI-TEE (MJ/day)	REA (MJ/day)	BMR (MJ/day)	PAL
1 (GK)	16.6	17.5	0.90	15.5	8.88	1.87
2 (DF)	18.2	17.5	- 0.70	13.4	7.67	2.37
3 (DF)	19.6	17.5	- 2.10	14.0	8.01	2.45
4 (DF)	16.0	15.9	- 0.10	13.5	7.70	2.08
5 (MF)	12.5	12.8	0.30	11.6	6.64	1.88
6 (MF)	19.8	17.5	- 2.30	12.5	7.17	2.76
7 (MF)	15.6	17.5	1.90	12.5	7.15	2.18
8 (FW)	18.2	15.9	- 2.30	12.0	8.07	2.26
9 (FW)	14.4	15.9	1.50	12.0	6.86	2.10
Mean	16.8	16.4	- 0.32	13.0	7.57	2.22
SD	2.4	1.6	1.63	1.2	0.66	0.28

TEE = Total Energy Expenditure, EI = Energy Intake, REA = Recommended Energy Allowance (ver. 7), BMR = Basal Metabolic Rate, PAL = Physical Activity Level

Fig. 2 Bland and Altman plots between TEE and EI-TEE in K. league (Left) and J. league (Right) (data from Ebine et al., 2002) professional soccer players.

II 結 果

実験前後の体重 (75.7 ± 10.3 vs. 75.2 ± 10.2 kg) には有意な差はなかった. Table 1に TEE, EI などの結果を示した. TEEとEIの平均値はそれぞれ 16.8 ± 2.4 MJ/day ($4,013 \pm 583$ kcal/day), 16.4 ± 1.6 MJ/day ($3,941 \pm 382$ kcal/day) であり, TEEとEIの間に有意な差はなく, EIはTEEの98.2%であった. また, Bland and AltmanプロットによるEIの推定値の妥当基準に対する正確度 (Accuracy) は -1.0% であり, 信頼限界 (Limits of Agreement) は -3.59 MJ/day から 2.94 MJ/day であり (Fig.2), TEEとEI-TEEの間には有意な相関関係があった ($r = 0.747$, $p < 0.05$). PAL, BMR, REAの平均値はそれぞれ 2.22 ± 0.27 , 7.57 ± 0.66 MJ/day ($1,812 \pm 167$ kcal/day), 13.0 ± 1.2 MJ/day ($3,170 \pm 292$ kcal/day) であり, REAとTEEの間には有意な差があった ($p < 0.01$).

III 考 察

これまで, サッカー選手のEIについては, かなりの数の報告があるが, 試合期のサッカー選手のエネルギー消費量についての報告はわずかである (Reilly and Thomas, 1979; Rico-Sanz et al., 1998). Ebine et al. (2002) はDLW法により試合期の日本プロサッカー選手のエネルギー消費量

を測定し, 14.8 ± 1.70 MJ/day であると報告している. 一方, 試合期において週に1回もしくは2回の試合を行うイングランドリーグ1部に所属するプロサッカー選手 (人数 = 8人, 年齢 22.6 ± 3.2 歳, 体重 73 ± 7 kg) の心拍数法を用いて測定した TEE は 14.4 MJ/day と報告されている. これらを総合すると, 本研究で測定された TEE は, プロサッカー選手の試合期のエネルギー消費量として妥当な値であると考えられる.

韓国プロサッカー選手の PAL の値 (2.22 ± 0.27) は, 日本プロサッカー選手の試合期の値 (2.19 ± 0.31) に比べて, 幾分高いものであったが, 有意な差ではなかった. 一方, 最近我々が測定した, プレシーズン合宿中の日本プロサッカー選手の値 (2.52 ± 0.18) に比べると有意に低かった ($p < 0.05$) (齊藤ら, 未発表データ). したがって, 試合期のプロサッカー選手の PAL は 2.2 前後と考えて良いと思われる. これまで我々は, スポーツ選手のエネルギー所要量を導き出すための生活活動指数として, 第五次改定の日本人の栄養所要量にある 2.2^{注2)} を引き続き使用しても問題がないことを報告してきた (齊藤・海老根, 2002). 本研究は, このことをさらに確かめたものといえよう. また, 本研究で TEE と REA の間に有意な差が認められたことから, 韓国のスポーツ選手のエネルギー所要量を導き出すための生活活動指数としても 1.75 ではなく, 2.2 が適当と思われるが, これについては今後韓国での検討がさらに必要である. ところで, ポジション別エネルギー消費量

Fig. 3 Comparison of TEE between K. league (open bar) and J. league (dotted bar) (data from Ebine et al., 2002) professional soccer players.

については, GK 1 名は 16.6 MJ/day ($3,983 \text{ kcal/day}$), DF 3 名の平均は 18.0 MJ/day ($4,301 \text{ kcal/day}$), MF 3 名の平均は 15.9 MJ/day ($3,812 \text{ kcal/day}$), FW 2 名の平均は 16.3 MJ/day ($3,899 \text{ kcal/day}$) であった. 一般に, サッカーでは MF の運動量が多いといわれている (Bangsbo, 1993) が, 本研究ではそのような傾向はなく, 体重当たりの TEE を比べると, むしろ DF は MF より高い傾向にあった (Fig. 3). 面白いことには, 日本プロサッカー選手の場合には $\text{FW} > \text{MF} > \text{DF}$ のような傾向を示したが, 韓国プロサッカー選手の場合には $\text{DF} = \text{MF} = \text{FW}$ のような傾向になったことである. この原因が, K. League が週に 1 回の試合, J. League が週に 2 回の試合のようにゲーム数の違いによるのか, チームの戦術の違いによるのか, または全体練習中の運動量に違いがあるために起こるのか, さらに個人練習の運動量の違いによる影響のためなのか, については検討できなかった. DF, MF, FW 毎に, K. League と J. League の選手をあわせて, その体重当たりの平均値を求めると 0.21 MJ/kg/day (51 kcal/kg/day), 0.22 MJ/kg/day (52 kcal/kg/day), 0.24 MJ/kg/day (56 kcal/kg/day) となったが, これらの間には有意な差はなかった. 一方, GK の値 (0.18 MJ/kg/day , 43 kcal/kg/day) は一番低かったが, それは予想されたことでもある.

本研究で求められた EI は TEE より 1.8% 低い値を示しており, それらの間に有意な差はなかった. 一方, スポーツ選手の EI と TEE の差異は良く知られている (Westerterp et al., 1986; Schulz et al., 1992; Davies et al., 1997; Ebine et al., 2000). Ebine et al. (2002) の日本プロサッカー選手についての報告では, EI が TEE より 12% 低い値を示していた (Fig. 2). なぜ, 本研究で EI と TEE が一致したかについては, 測定した 1 週間の大部分, 被験者全員がチームの食堂で食事を取っていたためと推察された. これに関連して, 我々は先に実験室で調整した食事のみを摂取させた大学院生の TEE と EI の間には高い相関があること, また, Bland and Altman プロット

から検討すると, EI-TEE の平均値と標準偏差が簡易エネルギー消費量測定である心拍数法や加速度計法で求められたそれらよりも優れていることを報告した (海老根ほか, 2002). したがって, 本研究での栄養士による食事記録法により求められた EI は, サッカー選手のエネルギー必要量を決める上での指標となるとも考えられる. しかし, 信頼限界については K. League と J. League の間にかなりの差があること (Fig. 2), また EI-TEE の CV 値 (-509.4%) は EI のそれ (9.8%) に比べてはるかに大きい (Table 1) ことから, 食事記録による EI は集団の代表値としては適当であっても, 個人の値として用いるには十分ではないと思われる.

IV ま と め

本研究では, サッカー選手の試合期における 1 日のエネルギー必要量を明らかにするために, DLW 法を用いて, 韓国プロサッカー選手 9 名の TEE を測定した. その結果, 以下のことが明らかになった.

1. TEE は $16.8 \pm 2.4 \text{ MJ/day}$ であり, 第 7 次改定韓国人の栄養勧奨量を用いて推定した REA ($13.0 \pm 1.2 \text{ MJ/day}$) より有意に大きかった.
2. 韓国プロサッカー選手の PAL は 2.22 ± 0.28 であり, 先行研究で明らかにされた日本プロサッカー選手の値 (2.19 ± 0.31) とほぼ同じであった. したがって, サッカー選手の試合期のエネルギー所要量を PAL (生活活動指数) を用いて算出する場合については, 2.2 を用いて推定してよいと思われる.
3. EI ($16.4 \pm 1.6 \text{ MJ/day}$) と TEE はよく一致しており, これは測定期間中の大部分, 被験者全員がチームの食堂で食事を取っていたためと推察された.

注

- 注 1) 第 7 次改定韓国人の栄養勧奨量の生活活動強度の指数 x は, 生活活動強度 1 では 1.2, 強度 2 では 1.3, 強度 3 では 1.5, 強度 4 では 1.75 である.

注2) エネルギー所要量 (REA) は, 第六次改定日本人の栄養所要量から, 基礎代謝量 (BMR) に生活活動強度の指数を乗じて求めることになり, 生活活動強度1の場合の指数は1.3, 強度2は1.5, 強度3は1.7, 強度4は1.9とされている。したがって, 第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動強度の指数は, PAL (TEE/BMR) で示される値と同じ意味を持つことになる。一方, 第5次改定日本人の栄養所要量の生活活動強度の指数 x は, 以下の式に対応して決められていた。

$$REA = BMR + BMR \cdot x + 1/10 \cdot REA$$

したがって, 第五次改定日本人の栄養所要量の生活活動強度1の指数0.35は, 第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動強度の指数 x (= PAL) に換算すると1.50であり, 同じく強度2は1.67, 強度3は1.94, 強度4は2.22となる。

文 献

- Bangsbo, J. (1993) The physiology of soccer. *Hot-strom*: Bagsvard, pp.23-34.
- Black A.E., Prentice A.M., and Coward W.A. (1986) Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly labeled water method of measuring energy expenditure. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 40C: 381-391.
- Bland, J.M. and Altman, D.G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 8476, 307-310.
- Caldarone, G., Tranquilli, C., and Giampietro, M. (1990) Assessment of the nutritional state of top level football players. In: Santilli, G. (Ed) *Sports Medicine Applied to Football*. Istituto di Scienza dello Sport del CONI: Rome, pp. 133-141.
- Ebine, N., Feng, J.-Y., Homma, M., Saitoh, S., and Jones, P.J.H. (2000) Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83: 1-6.
- Ebine, N., Rafamantanantsoa, H.H., Nayuki, Y., Yamana, K., Tashima, K., Ono, T., Saitoh, S., and Jones, P.J. H. (2002) Measurement of total energy expenditure by the doubly labeled water method in professional soccer players. *J. Sports Sci.* 20: 391-397.
- 海老根直之・島田美恵子・田中宏暁・西牟田守・吉武 裕・齊藤慎一・P.J.H. Jones (2002) 二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価—生活時間調査法, 心拍数法, 加速度計法について—. *体力科学* 51: 151-164.
- 韓国栄養会編 (2000) 第7次改定韓国人の栄養勧奨量. 第一出版: ソウル, pp. 112-138.
- 韓国運動栄養学会編 (2002) 運動栄養学. 賢文社: ソウル, pp. 147-172.
- 李 明天・金 栄秀 (2002) エリート選手の運動種目別栄養勧奨量設定. *運動栄養学誌* 4: 1-20.
- 厚生省保健医療局健康栄養増進課監修 (1994) 第五次改定日本人の栄養所要量. 第一出版: 東京.
- Maughan, R.J. (1997) Energy and macronutrient intakes of professional football (soccer) players. *Br. J. Sports Med.* 31: 45-47.
- Montoye H.J., Kemper H.C.G., Saris W.H.M., and Washburn R.A. (1996) Measuring Physical Activity and Energy Expenditure. *Human Kinetics*: Champaign, IL, pp. 17-25.
- 農村振興庁編 (2001) 第6次改定食品成分表. 第1—2編: ソウル, pp. 38-85.
- Racette, S.B., Schoeller, D.A., Luke, A.H., Shay, K., Hnilicka, J., and Kushner, R.F. (1994) Relative dilution spaces of ^2H - and ^{18}O -labeled water in humans. *Am. J. Physiol.* 267: E585-E590.
- Reilly, T. and Thomas, V. (1979) Estimated daily energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics* 22: 541-548.
- Rico-Sanz, J., Frontera, W.R., Mole, P.A., Rivera, M.A., Rivera-Brown, A., and Meredith, C.N. (1988) Dietary and performance assessment of elite soccer players during a period of intense training. *Int. J. Sports Nutr.* 8: 230-240.
- 齊藤慎一・海老根直之・島田美恵子・吉武 裕 (1999) 二重標識水法によるエネルギー消費量測定の原理とその応用. : 生活習慣病対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで. *栄養学雑誌* 57: 317-332.
- 齊藤慎一・海老根直之 (2002) スポーツ選手のエネルギー所要量策定の基礎研究: 二重標識水法によるエネルギー消費量測定. *体育の科学* 52: 460-466.
- Weir J.B.D.V. (1949) New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.* 109: 1-9.

(平成15年1月7日受付)
(平成15年4月26日受理)