

大学男子陸上短距離走選手の オフトレーニング期におけるエネルギー消費： 二重標識水を用いた評価

Total energy expenditure of collegiate male sprinters during
the off-season training period: a study using doubly labeled water

木下訓光*¹, 須崎涼風*¹, 高田和子*²

キー・ワード：sprinters, total energy expenditure, doubly labeled water
陸上短距離走, 総エネルギー消費量, 二重標識水法

【要旨】 冬季オフトレーニング期における大学男子陸上短距離走選手 10 名（年齢：20.5±1.2 歳，身長：177.6±4.6cm，体重：68.4±7.1kg）の総エネルギー消費量（TEE）を二重標識水法によって測定した。TEE は 3149±337 (kcal/day)，除脂肪量（FFM）補正值は 50.1±3.6 (kcal/FFM kg/day) であった。間接熱量計で測定した安静時代謝量（RMR）は 1858±243 (kcal/day)，29.6±3.1 (kcal/FFM kg/day) であった。TEE と RMR より求めた身体活動レベル（PAL）は 1.71±0.16 であり，日本人アスリートの食事摂取基準に示された瞬発系種目におけるオフトレーニング期の PAL 値 1.71 と同等水準であった。一方で，TEE および PAL は同一チーム内でもばらつきが大きかった。

緒 言

トレーニングにふさわしいエネルギーを摂取することは，アスリートの競技能力向上に不可欠である。しかし，トレーニングによるエネルギー消費量の増減に見合うよう調整して食事することは容易でないため，負のエネルギーバランス状態にある選手も多い¹⁾。慢性的な負のエネルギーバランス状態は競技能力のみならず健康をも損なう可能性があるため，アスリートにトレーニング内容をふまえた適切なエネルギーバランスを実現させることはスポーツ医学分野の重要な課題である。

総エネルギー消費量（total energy expenditure：TEE）は，シーズンごとのトレーニング計画・目標によっても左右される。特に瞬発系種目

では，加速度計などでは正確に定量できないレジスタンストレーニングにも頻繁に従事するため，シーズンやトレーニング内容に特異的な TEE の正確な情報を蓄積していくことが必要である。今回，我々は自由生活下で TEE を最も正確に測定できる二重標識水（doubly labeled water：DLW）法を用いて，冬季オフトレーニング期における大学男子陸上短距離走選手の TEE を評価したので報告する。

対象および方法

1. 研究協力者

関東学生選手権 1 部に指定される大学陸上競技部短距離部門の男子選手 10 名（年齢：20.5±1.2 歳，身長：177.6±4.6cm，体重：68.4±7.1kg）を対象とした（表 1）。測定は試合がないオフトレーニング期の 11 月から翌 2 月に行った。トレーニングは週 4～5 日，1 日 2～4 時間で，スプリントトレーニングを週 4～5 日，レジスタンストレーニングを週 2～5 日行っていた。トレーニングの時間・構

*¹ 法政大学スポーツ健康学部

*² 東京農工大学応用生物科学部栄養科学科

Corresponding author：木下訓光（sportsmed.kinoshita@hosei.ac.jp）

表 1 研究協力者の背景

Participant	種目	競技水準	居住様式	食事様式
1	110m ハードル	全国大会入賞	1 人暮らし	自炊
2	100m, 200m	全国大会入賞	1 人暮らし	自炊
3	110m ハードル	全国大会入賞	寮生活	寮食
4	100m, 200m	全国大会入賞	寮生活	寮食
5	400m ハードル	全国大会入賞	寮生活	寮食
6	400m, 800m	全国大会入賞	実家暮らし	家族による提供
7	200m, 400m	全国大会入賞	寮生活	寮食
8	400m ハードル	全国大会入賞	寮生活	寮食
9	200m, 400m	全国大会入賞	寮生活	寮食
10	100m, 200m	全国大会出場	1 人暮らし	自炊

表 2 研究協力者の体格・体組成

	Mean \pm SD (Range)
BMI (kg/m ²)	21.6 \pm 1.3 (19.4–23.8)
体脂肪率 (%)	7.9 \pm 1.7 (5.9–10.5)
脂肪量 (kg)	5.4 \pm 1.2 (3.9–8.0)
除脂肪量 (kg)	63.0 \pm 7.1 (50.5–74.1)
軟部組織非脂肪量 (kg)	59.7 \pm 6.8 (47.8–70.3)

BMI : body mass index

除脂肪量は DXA で得られた軟部組織非脂肪量に骨量を加算して算出

成・頻度は、種目や個人の目標によって異なっていたが、今回の調査ではその違いを詳細に評価できなかった。本研究は法政大学大学院スポーツ健康学研究科倫理委員会で承認を得て（承認番号 2021_18）、「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」（文部科学省・厚生労働省・経済産業省）およびヘルシンキ宣言に則り実施した。

2. 身体組成

二重エネルギー X 線吸収法（dual energy x-ray absorptiometry : DXA）を用いた（Prodigy, GE HealthCare, Madison, WI, USA）。除脂肪量（fat free mass : FFM）は軟部組織非脂肪量に骨量を加算して求めた。Body mass index (BMI) は体重 (kg) を身長 (m) の平方で除して計算した。

3. TEE

DLW 法を用いて練習 5 日、休息 2 日の 7 日間の 1 日平均値を評価した。ベースラインの採尿後、1.4g/kg の H₂¹⁸O (10.0atom% H₂¹⁸O, 太陽日本酸素, 日本) と 0.06g/kg の ²H₂O (99.9atom% ²H₂O, Cambridge Isotope Laboratories Inc., MA, USA) を経口投与した。その後、1, 2, 7, 8 日後の同時刻に採尿し、イーエステック京都に依頼して質量比分析計 (ANCA-GSL, Sercon, UK) で安定同位体比を求め

た。Speakman らの式 (Equation 2 と 3)²⁾を用いて二酸化炭素排出率 (rCO₂) を計算し、Weir の式³⁾を用いて TEE を計算した。食物商 (0.891 \pm 0.028) は競技者用食事摂取頻度調査⁴⁾を基に Black ら⁵⁾の式により求めた。

4. 安静時代謝量 (resting metabolic rate : RMR)

最後の激しい運動から 14 時間以上経過した後、間接熱量計 (Quark CPET, COSMED, Roma) で測定した。早朝起床後、朝食をとらずに静かに来室させ、リクライニングチェアに半座位で 30 分間安静にした後、フェイスマスクを装着、30 分間呼気ガスを採取して酸素消費量と二酸化炭素排出量を breath by breath 法で分析、安定した 20 分間の平均値から Weir の式³⁾で RMR (kcal/day) を算出した。身体活動レベル (physical activity level : PAL) は TEE を RMR で除して求めた。

結 果

表 2 に選手の身体的特徴、表 3 に TEE, RMR および PAL を示した。TEE と PAL はそれぞれ最大約 1000 (kcal/day), 0.5 の差を認め、補正した TEE も 44.9~55.5 (kcal/FFM kg/day) と大きくばらついていた。

考 察

我が国の瞬発系アスリートに DLW 法を用いて TEE を評価した報告は限定的である。大学男子陸上短距離走選手に関する研究は、筆者らの知る限り日本人を対象としたものは 2 報^{6,7)}のみで、海外の成績も皆無であった。本研究は大学男子陸上短距離走選手の冬季オフトレーニング期における TEE を DLW によって評価した初めての報告で

表3 研究協力者の総エネルギー消費量 (TEE) と安静時代謝量 (RMR)

Participant	TEE			RMR			PAL
	(kcal/day)	(kcal/BW kg/day)	(kcal/FFM kg/day)	(kcal/day)	(kcal/BW kg/day)	(kcal/FFM kg/day)	
1	3163	43.4	45.9	2060	27.2	29.9	1.54
2	2877	45.9	49.3	1540	24.0	26.4	1.87
3	3540	44.9	47.8	2074	26.7	28.0	1.71
4	3366	47.3	52.3	2085	29.1	32.4	1.61
5	3670	48.3	52.8	2052	26.7	29.5	1.79
6	3284	51.6	55.5	2076	32.8	35.1	1.58
7	2678	41.6	44.9	1680	25.7	28.2	1.59
8	3202	42.7	47.3	1848	24.8	27.3	1.73
9	3022	47.7	52.3	1476	23.5	25.5	2.05
10	2684	47.1	53.2	1684	29.4	33.4	1.59
Mean ± SD	3149 ± 337	46.0 ± 3.0	50.1 ± 3.6	1858 ± 243	27.0 ± 2.8	29.6 ± 3.1	1.71 ± 0.16

BW：体重，FFM：除脂肪量，PAL：身体活動レベル

表4 日本人大学男子陸上短距離走選手の総エネルギー消費量 (TEE)

出典	競技水準	シーズン	性別	N	年齢	TEE			PAL
						(kcal/ day)	(kcal/FFM kg/day)	rCO2 の 算出式	
村松ら ⁶⁾	大学陸上競技部 (関東学生 選手権1部)	トラック シーズン (試合 調整期)	男	9	20.1 ± 0.8	3775 ± 747	65.5 ± 13.2	Schoeller DA, et al. ⁸⁾ Equation A6 Racette SB, et al. ⁹⁾ 補正	2.21 ± 0.52
Shimamura, et al. ⁷⁾	大学生, 国内・ 地域大会	トレー ニング期	男	10	21 ± 1	3172 ± 415	(56.7)	Speakman JR, et al. ²⁾ 用いた式は不明	(1.87)
本研究	全国大会出場・ 入賞	冬季オフ シーズン	男	10	20.5 ± 1.2	3149 ± 337	50.1 ± 3.6	Speakman JR, et al. ²⁾ Equation 2 & 3	1.71 ± 0.16

FFM：除脂肪量，PAL：身体活動レベル，rCO2：二酸化炭素排出率，()内はTEE，FFM，安静時代謝量の報告値(平均値)を用いて筆者らが計算。

ある。

先行2研究との比較を表4に示した。村松ら⁶⁾は、試合調整期にTEEを測定しているが、TEEおよびPALは我々の研究協力者の方が低い。TEE算出方法の違いに留意する必要があるが、冬季オフトレーニング期はレジスタンストレーニングを行う割合が大きく、試合期と比べると走トレーニングの量・強度が減ることが一因と考えられる。一方、Shimamuraら⁷⁾は、通常トレーニング期におけるTEEを測定しているが、絶対値では我々の結果と同等水準である。TEEとFFMおよびRMRの報告値を用いて、この研究におけるTEEのFFM補正值とPALを推定すると、それぞれ56.7 (kcal/FFM kg/day) および1.87となり、我々の研究協力者より高かった。同研究では、

走トレーニングが主体でレジスタンストレーニングは少ない(週1日平均75分)時期であったことが影響したと考えられる。ただしシーズンによる違いは、同一集団で異なる期間の追跡を行って評価することが望ましく、今後の課題である。

本研究におけるPALの平均値は1.71であり、日本人アスリートの食事摂取基準¹⁰⁾における瞬発系種目のオフトレーニング期のPAL値1.75と近いことから、同基準の妥当性を裏付ける結果となった。しかし同一種目・シーズンであっても、トレーニング内容が異なることもあり、PALの推奨値のみでは個々の選手のエネルギー摂取量を最適化できない。今回、選手ごとに異なる多様な練習内容の特徴は評価できなかった。また生活・食事様式(表1)はエネルギー摂取量やRMRに影響

する。これらの違いは TEE や PAL のばらつきに関連するはずである。近年 Precision medicine が注目されているが、多様化・専門化する個々の選手の需要を満たすエネルギー摂取量の設定にも精密化が求められる時代である。今後はトレーニング内容や生活様式を個別に精査した研究を行い、それぞれの特徴に特化した TEE のデータを蓄積していくことが重要である。

■ 結語（まとめ）

冬季オフトレーニング期における大学男子陸上短距離走選手の PAL は日本人アスリートの食事摂取基準に示された瞬発系種目オフトレーニング期の PAL に近い値であった。一方、TEE および PAL は同一チーム内でもばらつきが大きかった。

利益相反

木下 訓光：臨床スポーツ医学会代議員（無給）、日本体力医学会評議員（無給）

須崎 涼風：本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし

高田 和子：日本栄養・食糧学会参与（無給）、日本体力医学会評議員（無給）、日本栄養改善学会評議員（無給）

著者貢献

木下 訓光：概念化，データ管理，正式な分析，調査，方法論，プロジェクト管理，指導，検証，可視化，草稿の執筆，原稿の見直しとエディティング

須崎 涼風：データ管理，調査，リソース提供，方法論，草稿の執筆

高田 和子：概念化，データ管理，正式な分析，調査，方法論，指導，検証，原稿の見直しとエディティング

文 献

- 1) Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, et al. Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports Med Open*. 2017; 3: 8 doi: 10.1186/s40798-017-0076-1.
- 2) Speakman JR, Yamada Y, Sagayama H, et al. A standard calculation methodology for human dou-

bly labeled water studies. *Cell Rep Med*. 2021; 2: 100203 doi: 10.1016/j.xcrm.2021.100203.

- 3) Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*. 1949; 109: 1-9 doi: 10.1113/jphysiol.1949.sp004363.
- 4) Ishikawa-Takata K, Okamoto K, Taguchi M. Development and validation of a food frequency questionnaire for Japanese athletes (FFQJA). *J Int Soc Sports Nutr*. 2021; 18: 34 doi: 10.1186/s12970-021-00433-5.
- 5) Black AE, Prentice AM, Coward WA. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1986; 40: 381-391.
- 6) 村松愛梨奈，濱野早紀，井川正治。試合調整期における瞬発系および持久系スポーツ選手の総エネルギー消費量と身体活動レベルの検討。運動とスポーツの科学。2014; 20: 23-30.
- 7) Shimamura Y, Takemura R, Iwanami K, et al. Comparison of energy requirement estimation using activity record or accelerometer with doubly labeled water method in collegiate male sprinters. *Clin Nutr ESPEN*. 2024; 61: 295-301 doi: 10.1016/j.clnesp.2024.03.038.
- 8) Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, et al. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *Am J Physiol*. 1986; 250: R823-R830 doi: 10.1152/ajpregu.1986.250.5.R823.
- 9) Racette SB, Schoeller DA, Luke AH, et al. Relative dilution spaces of ^2H - and ^{18}O -labeled water in humans. *Am J Physiol*. 1994; 267: E585-E590 doi: 10.1152/ajpendo.1994.267.E585-590.
- 10) 小清水孝子，柳沢香絵，横田由香里。「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告。栄養学雑誌。2006; 64: 205-208.

（受付：2025 年 1 月 22 日，受理：2025 年 4 月 1 日）

Total energy expenditure of collegiate male sprinters during the off-season training period: a study using doubly labeled water

Kinoshita, N.^{*1}, Suzuki, R.^{*1}, Ishikawa-Takata, K.^{*2}

^{*1} Faculty of Sports and Health Studies, Hosei University, Tokyo, Japan

^{*2} Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan

Key words: sprinters, total energy expenditure, doubly labeled water

[Abstract] The total energy expenditure (TEE) of 10 male collegiate sprinters (age: 20.5 ± 1.2 years, height: 177.6 ± 4.6 cm, weight: 68.4 ± 7.1 kg) was measured during the winter off-season training period using the doubly labeled water method. TEE averaged 3149 ± 337 kcal/day or 50.1 ± 3.6 kcal/fat free mass (FFM) kg/day. Resting metabolic rate (RMR), assessed by indirect calorimetry, was 1858 ± 243 kcal/day or 29.6 ± 3.1 kcal/FFM kg/day. Physical activity level (PAL), calculated from TEE and RMR, was 1.71 ± 0.16 , aligning closely with the off-season standard of 1.75 for athletes in power-based sports, as recommended by Dietary Reference Intakes for Japanese athletes. Notably, TEE and PAL showed considerable variation among individuals within the team, underscoring the importance of personalized assessment when evaluating the energy requirements of each athlete.