

# 女性アスリートの利用可能エネルギー不足アセスメントツールの 開発と妥当性の検討

Development and validation of energy availability assessment tool for female athletes

小清水 孝子<sup>1</sup>, 難波 秀行<sup>2</sup>, 畑本 陽一<sup>3</sup>, 吉田 司<sup>3</sup>,  
中潟 崇<sup>4</sup>, 有賀 雅史<sup>5</sup>, 高田 由基<sup>6</sup>, 山田 陽介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>大妻女子大学家政学部, <sup>2</sup>日本大学理工学部, <sup>3</sup>国立健康・栄養研究所,  
<sup>4</sup>順天堂大学医学研究科スポーツロジックセンター, <sup>5</sup>帝京科学大学医療科学部, <sup>6</sup>帝京科学大学教育人間科学部

Takako Koshimizu<sup>1</sup>, Hideyuki Namba<sup>2</sup>, Yoichi Hatamoto<sup>3</sup>, Tsukasa Yoshida<sup>3</sup>,  
Takashi Nakagata<sup>4</sup>, Masashi Aruga<sup>5</sup>, Yoshiki Takada<sup>6</sup>, and Yosuke Yamada<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Home Economics, Otsuma Women's University  
12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8357 Japan

<sup>2</sup>College of Science and Technology, Nihon University  
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501 Japan

<sup>3</sup>National Institute of Health and Nutrition

1-23-1 Toyama, Shinjyuku-ku, Tokyo, 162-8636 Japan

<sup>4</sup>Graduate School of Medicine, Juntendo University  
2-1-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8421 Japan

<sup>5</sup>Faculty of Medical Sciences, Teikyo University of Science  
2-2-1 Senjyusakuragi, Adachi-ku, Tokyo, 120-0045 Japan

<sup>6</sup>Faculty of Education & Human Sciences, Teikyo University of Science  
2-2-1 Senjyusakuragi, Adachi-ku, Tokyo, 120-0045 Japan

キーワード : 利用可能エネルギー, アセスメントツール, 妥当性

Key words : Energy availability, Assessment tool, Validation

## 抄録

利用可能エネルギー (EA) 不足をアセスメントするためには, 食事からの摂取エネルギー量と総エネルギー消費量 (TEE) 及び, 運動でのエネルギー消費量 (EEE) を把握する必要がある. しかし, これら 3 つの項目を高い精度で評価するには時間と費用がかかる. 本研究では, 簡便にエネルギー消費量を評価することのできる「Web を用いた身体活動測定システム」をアスリート用に改良し, 測定データの妥当性を検証し, EA 不足アセスメントツールシステム開発の基礎データとすることを目的とした. 陸上長距離女子選手 5 名を対象に, 改良した「アスリート用 Web を用いた身体活動測定システム」, 「加速度計と手首型心拍計」それぞれの方法で同一期間 7 日間, TEE, EEE, EA を測定および算出して妥当性を検討した. その結果, アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムから算出された値は, 加速度計と手首型心拍計の実測値と比較して TEE と EEE は有意に高い値を示し, EA は有意に低い値を示した ( $p < 0.001$ ). また EEE ( $r = 0.763, p < 0.001$ ) と EA ( $r = 0.912, p < 0.001$ ) は両者間に相関関係が認められたが TEE では認められなかった. これらの点から, アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムは, 入力項目, 入力の単位時間など, さらなる検討が必要であることが考えられた.

## 1. 緒言

2007年アメリカスポーツ医学会は女性アスリート特有のスポーツ障害である女性アスリートの三主徴 (FAT: Female Athlete Triad) として、利用可能エネルギー (EA: energy availability) 不足、視床下部性無月経、骨粗鬆症の3つを挙げ警鐘をならしている<sup>[1]</sup>。EAとはエネルギー摂取量 (EI: energy intake) から運動によるエネルギー消費量 (EEE: exercise energy expenditure) を引いた値で、EAが除脂肪量 (FFM: fat free mass) 1kgあたり30kcal/day未満で黄体化形成ホルモンの分泌が抑制され月経周期異常につながる事が報告されている<sup>[2]</sup>。また、国際オリンピック委員会医事委員会は、2014年にFATをより広くとらえた概念として、総エネルギー消費量 (TEE: total energy expenditure) に対してEIが少ない負のエネルギーバランス状態を、「スポーツにおける相対的なエネルギー不足 (RED-S: Relative Energy Deficiency in Sport)」とし、女性アスリートのみならず男性アスリートの健康にも影響を及ぼすことを示している<sup>[3]</sup>。

2014年に国立スポーツ科学センターと日本産科婦人科学会が行った本邦女性アスリートの調査では、トップアスリートのみならず、どの競技レベルの女性アスリートにおいても約4割で月経周期異常が認められており、医学的介入が必要であることが報告されている<sup>[4]</sup>。

EA不足による月経異常が疑われる女性アスリートのスクリーニング及び、栄養指導を実施する際には、エネルギーバランスとEAを把握するために、TEEとEEEを評価する必要がある。しかし、精確にこれらを実行するには時間と費用が必要となり、診察や栄養指導の現場で実施することは困難であるため、現場で評価できるシステムを開発することが必要となる。そこで本研究では、3METs以下の運動では、妥当性が検証され、エネルギー消費量を時間もかからず費用も安価に評価するこ

とのできる「Webを用いた身体活動測定システム」<sup>[5]</sup>を、①運動強度の高いアスリートを対象とした「アスリート用Webを用いた身体活動測定システム」に改良し、測定データを収集する、②その収集したデータの妥当性を検証し、女性アスリートのEA不足アセスメントツール開発の基礎データとすることを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1. 「Webを用いた身体活動測定システム」の改良

「Webを用いた身体活動測定システム」は91種類の行動内容のイラストと15分ごとに区切られた24時間のタイムラインからなる。行動内容のイラストから思い出し法により実際に行った行動内容を選択してタイムラインへドラッグ&ドロップすることにより1日の行動内容を10分弱で入力し、TEEを算出するシステムである<sup>[5]</sup>。これまで、「Webを用いた身体活動測定システム」は、二重標識水法を妥当性基準として、その有効性が確かめられている<sup>[6]</sup>。しかしながら、これらの先行研究は、一般的な成人を対象としており、「身体活動指針2013」<sup>[7]</sup>で運動と定義している4METs以上の活動が多いアスリートの集団での妥当性は検討されていない。また、3軸加速度計で妥当性を検討した報告では、両者の測定値には高い相関関係が認められている。しかしながら、3METs以上の活動では過大評価していたと報告されている<sup>[5]</sup>。女性アスリートのトレーニング内容の多くは4METs以上の強度であることと、現状のシステムで入力できる行動内容に含まれるスポーツ活動の種類は限られており、様々な強度のトレーニングを日々実施する女性アスリートが行動内容を入力するには該当する練習内容がないため、今回の対象者である陸上長距離選手および陸上選手の練習方法を検討し、新しく21種類の運動(トレーニング)内容を追加した。また、結果表示画面にTEE, EEE, 日常生活のエネルギー消費量が表示されるように改

良した。システムの改良は、「Web を用いた身体活動測定システム」を制作した Yonefu International Group 株式会社. に依頼した。

## 2.2. 改良した「アスリート用 Web を用いた身体活動測定システム」の妥当性の検討

### ①対象者

大学の強化指定部である女子駅伝チームに所属する女性アスリート 5 名 (19.1±0.1 歳) を対象とした。調査は通常練習期の 1 週間実施した。

本研究は、大妻女子大学生命科学倫理研究委員会の承認を得た。対象者には調査の目的、内容を説明し、併せて保護者からの文書による同意を事前に得た。

### ②測定項目

#### 1) 身体組成測定

測定当日、対象者には測定 2 時間前までに食事をすませてもらい、T シャツ・短パンの着衣状態で測定した。身長は定期健康診断時の測定値を使用した。体重は体組成計 InnerScan50V BC-622 (TANITA) を用いて測定した。体脂肪率は、国際キンアンソロポメトリー推進学会認定国際身体計測技師の資格をもつ検者が、皮脂厚法により実施した。キャリパー (Harpender Skinfold Caliper, British Indicator Ltd) を用いて肩甲骨下部と上腕三頭筋部の皮脂厚を測定し、長嶺・鈴木の式<sup>[8]</sup>より体密度を求め、Brozek の式<sup>[9]</sup>を用いて体脂肪率を算出した。体重と身長から BMI(体格指数)を、体重と体脂肪率から FFM を算出した。

#### 2) 食事調査

食物摂取頻度調査法で実施した。エクセル栄養君 Ver.8 (日本食品標準成分表 2015 年版<七訂> 準拠) アドインソフト FFQ g Ver. 4.0 (建帛社) を用いて最近 1 か月程度の食物摂取量と摂取頻度から EI と栄養素等摂取量を推定した。記入にあたっては管理栄養士が記入方法を説明し、食品の摂取単位重量を確認しながら実施した。また、サブ

リメントやスポーツフーズを摂っている対象者には、別途記載してもらい栄養価を調査し、FFQg の EI と栄養素等摂取量推定値にプラスした。

#### 3) TEE と EEE の測定

改良した「アスリート用 Web を用いた身体活動測定システム」を用いて、対象者に夕食後に 1 日の行動を入力してもらった。調査実施期間中 7 日間毎日入力してもらい、1 日ごとに TEE を算出した。また、入力された行動内容から運動に該当する項目を抜き出し、EEE を算出した。

この調査と同期間に、「加速度計 LifecorderGS (株式会社ズケン) と手首型心拍計 POLAR M430 (Polar Inc.)」を装着してもらった。Lifecorder はトレーニング時と入浴時以外は起床時から就寝時まで装着、M430 はトレーニング時に装着してもらい、TEE は Lifecorder の測定値 (基礎代謝量 + 非運動性熱産生によるエネルギー消費量) + M430 の測定値 (EEE) で算出した。

EA は (EI - EEE) / FFM で算出した。

#### 4) 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した。統計処理は統計ソフト SPSS Ver.24 にて行った。

「アスリート用 Web を用いた身体活動測定システム」と「加速度計と手首型心拍計」から得られた TEE, EEE, EA の平均値の比較には対応のある t 検定を用い、TEE, EEE, EA の相関関係を検討するために回帰分析を用い、Bland-Altman plots を用いて EA の系統誤差を検討した。危険率 5%未満をもって有意とした。

## 3. 結果

対象者の特徴および体組成は表 1 に示した。

対象者の EI は 1988±345 kcal/day であった。

「アスリート用 Web を用いた身体活動測定システム (Web)」と「加速度計と手首型心拍計 (加速度・心拍計)」から得られた対象者の TEE, EEE,

表 1. 対象者の特徴・体組成

		n=5
年齢	歳	19.1±0.1
身長	cm	156.7±1.7
体重	kg	49.3±4.0
BMI	kg/m <sup>2</sup>	20.0±1.3
%BF	%	18.3±2.7
FFM	kg	40.2±2.6

EA を図 1-1, 1-2, 1-3 に示した. TEE は Web が 2683 ±500 kcal/day, 加速度・心拍計が 2186 ±441kcal/day ( $p<0.001$ ), EEE は Web が 829 ±314 kcal/day, 加速度・心拍計が 589 ±241kcal/day ( $p<0.001$ ), と Web が有意に高い値を示した. EA は Web が 29.5 ±12.1 kcal/kg FFM/day, 加速度・心拍計が 35.6 ±12.4kcal/kg FFM/day ( $p<0.001$ ), と Web が有意に低い値を示した.

Web と加速度・心拍計の EEE の間に ( $r=0.763$ ,  $p<0.001$ ), EA の間に( $r=0.912$ , $p<0.001$ )の有意な正の相関が認められたが, TEE の間では( $r=0.319$ ,  $p<0.062$ )と相関関係は認められなかった.

図 2 に Web と加速度・心拍計による EA の Bland-Altman plots を示した. 有意な系統誤差が認められた.

#### 4. 考察

今回の結果では, アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムによる TEE, EEE, EA の算出値の妥当性を加速度・心拍計による実測値により検証した. アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムから算出された TEE, EEE の値は, 加速度計・心拍計群の実測値と比較して有意に高い値を示し EA は有意に低い値を示した. また EEE と EA に関しては両者間に相関関係が認められたが TEE では認められなかった. これらの要因として, アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムは, 行動内容を 15 分ごとに入力するが, スポーツ選手のトレーニング内容は 1 分もしくはそれ

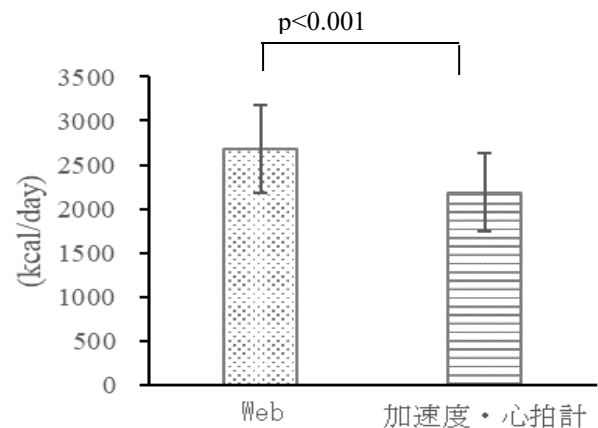


図 1-1Web 群加速度・心拍計の TEE 比較

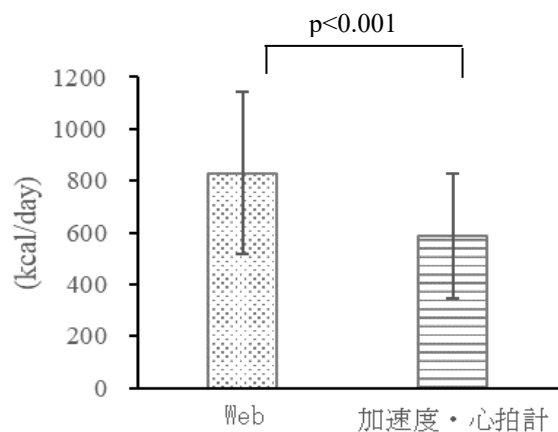


図 1-2Web 群と加速度・心拍計の EEE 比較

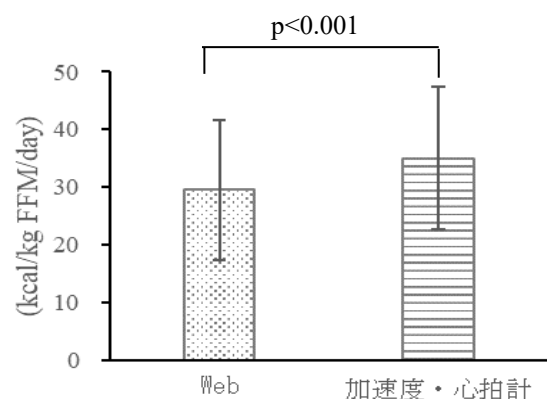


図 1-3Web と加速度・心拍計の EA 比較

よりも短時間で, 強度や時間を設定していることも多く, 誤差が大きくなった一因となったかもしれない. また, トレーニングの内容は多岐に渡る.

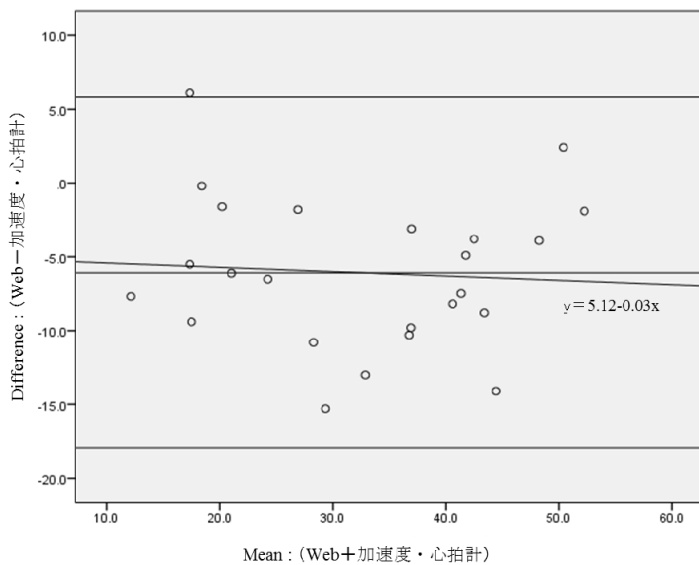


図2 Web と加速度・心拍計による EA の  
Bland-Altman plots

今回、新しく 21 種類のトレーニング内容を追加したが、さらなるトレーニング内容の追加や項目の検討が必要であることが推察される。

また、難波らの<sup>[5]</sup>先行研究においても、Web を用いた身体活動測定システムは 3 軸加速度計から得られた TEE の値よりも高いことが報告されており、その理由として TEE の算出に食事誘発性体熱産生の値を 10% とし補正していることを挙げている。今回改良した、アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムでも同様の補正をしており、TEE を高く推定したのかもしれない。

今後、女性アスリートの EA 不足アセスメントツール開発のためには、測定対象人数を増やし、加速度計および、手首型心拍計での測定よりも精度の高いとされている二重標識水法での TEE 測定値との妥当性の検討や、アスリート用 Web を用いた身体活動測定システムの、行動内容や入力時間単位の検討が必要となると考えられる。

## 5. 付記

本研究は、大妻女子大学戦略的個人研究費（課題番号 S3015）の助成を受けたものである。

## 6. 引用文献

- [1]Nattiv A, et al. American College of Sports Medicine Position stand. The female athlete triad. Med Sci Sports Exerc. 2007,39,p.1867-1882.
- [2]Loucks AB, et al. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. J Clin Endocrinol Metab. 2013,88,p.297-311
- [3]Mountjoy M, et al. The IOC consensus statement: beyond the female athlete triad—relative energy deficiency in sports (RED-S). Br J Sports Med. 2014, 48,p.491-497.
- [4]能瀬さやかほか. アスリートの月経周期異常の現状と無月経に影響を与える因子の検討. 日本産科婦人科学会誌. 2016,68(4)付録,p.4-15.
- [5]難波秀行ほか. WEB を用いた身体活動測定システムの加速度計による妥当性, 運動疫学研究, 2015,17(1),p.19-28.
- [6]Namba H, et al. Validation of web-based physical activity measurement system using doubly labeled water. J med Internet Res, 2012,14(5) p.e123.
- [7]厚生労働省, 健康づくりのための身体活動基準 2013, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf>, (参照 2018-12-25)
- [8]長嶺晋吉, 肥満と体重減量法, スポーツとエネルギー・栄養. 9 版, 榊大修館書店, 1995, p.271-273.
- [9]Brozek J, et al. Densitometric analysis of body composition : revision of some quantitative assumptions. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963; 110:113-140

(受付日 : 2019 年 10 月 28 日, 受理日 : 2019 年 12 月 25 日)

**小清水 孝子（こしみず たかこ）**

現職：大妻女子大学家政学部食物学科教授

大妻女子大学家政学部食物学科管理栄養士専攻卒業

日本女子体育大学スポーツ科学研究科スポーツ医科学専修修了

専門はスポーツ栄養学

主な著書：体育・スポーツ指導者と学生のためのスポーツ栄養学（共著，市村出版）

市民からアスリートまでのスポーツ栄養学（共著，八千代出版）