

日本人女性アスリートにおける エネルギー・アベイラビリティ利用の課題

原 著

Consideration of energy availability application in
Japanese female athletes

田口素子*1, 高田和子*2, 鳥居 俊*1, 田中智美*3

キー・ワード : energy availability, female athlete, nutrition

エネルギー・アベイラビリティ, 女性アスリート, 栄養

【要旨】 日本人女性選手のエネルギー・アベイラビリティ (EA) の実態を明らかにし, スポーツ現場における EA 利用の課題について考察することを目的とした. 対象者は大学運動部に所属する女性選手 41 名であり, 1 日のエネルギー摂取量 (TEI) は食事記録法, 運動時のエネルギー消費量 (EEE) は HR-VO₂ 法, 身組組成は DXA 法を用いて測定した. EA は TEI から EEE を差し引き, 除脂肪量 (FFM) で除して求めた. EA は 30.1 ± 11.6 kcal/kg FFM/day であり, 種目差は見られなかったが個人差が大きかった. 半数の選手が 30 kcal/kg FFM/day を下回っていたが, 無月経者は 2 名のみであり, 低骨密度者はいなかった. EA が低値を示した原因として TEI を過小評価した可能性や少食が考えられる. また, ある一時点の EA 評価では食事摂取と運動状況の組み合わせから EA がかなりの低値となることもありうること, 欧米人一般女性のデータから導かれた EA のカットオフ値が日本人に適したものであるかが不明なことなどから, 一時点の EA 計算値をカットオフ値と比較して評価することには問題があると思われる. EA のスポーツ現場における応用には更なる検討が必要である.

緒 言

女性アスリートは様々な問題を抱えながら競技生活を送っている. 1992 年にアメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine : ACSM) は, 摂食障害, 無月経, 骨粗鬆症の 3 つを女性選手に共通する健康問題とし, “女性選手の三主徴 (Female Athlete Triad : FAT)” と名付けて警鐘を鳴らした¹⁾. その後内容が改訂され, 2007 年に提示された公式見解²⁾ では, 摂食障害があろうがなかろうが, エネルギー・アベイラビリティ (energy availability : EA) が低下すると機能性視床下部性無月経を引き起こし, 骨粗鬆症を招くという新しい FAT の概念が示された. さ

ら 2014 年には, 国際オリンピック委員会 (IOC) による合意声明として相対的エネルギー不足 (Relative Energy Deficiency in Sport : RED-S) という概念が提示され³⁾, EA の低下が続くことにより, 男女を問わず様々な生理機能に影響を及ぼし, パフォーマンスを阻害する要因となることが明記された.

EA とは 1 日の総エネルギー摂取量 (total energy intake : TEI) から運動によるエネルギー消費量 (exercise energy expenditure : EEE) を差し引き, 除脂肪量 (fat-free mass : FFM) で除した値である. 正常な生理機能と健康を維持するためには EA が 45 kcal/kg FFM/day 以上必要であり, 30 kcal/kg FFM/day を下回る “low energy availability” の状態になると, 無月経や骨粗鬆症を引き起こす原因になるとされている^{2,3)}. すなわち, アスリートの健康問題は食事によるエネルギー摂取と密接な関連があると言える. しかし, これら

*1 早稲田大学スポーツ科学学術院

*2 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所

*3 早稲田大学スポーツ栄養研究所

の基準値は欧米人一般女性を対象とした研究により得られたものである。日本人女性アスリートにおけるEAの実態は明らかになっておらず、これらの基準値が日本人女性アスリートにも当てはまるかは不明である。

そこで本研究では、日本人女性アスリートのEAの実態を明らかにし、スポーツ現場におけるEA利用の課題について考察することを目的とした。

対象者および方法

1. 対象者

対象者は大学の運動部に所属する女性アスリート41名(20±1歳)であり、競技種目は陸上中長距離、水泳、新体操、ラクロスであった。対象者はいずれも全日本選手権大会または東日本学生選手権大会に出場する競技レベルのアスリートであった。対象者は減量や増量の実施期間中ではなく、日常生活をしている状況であることを確認した。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、危険性等を十分に説明し、書面による同意を得た。本研究は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会、ならびに(独)国立健康・栄養研究所の研究倫理審査委員会(研究所統合前の名称)より承認を得て実施した。

2. 方法

a. 1日の総エネルギー摂取量(TEI)の評価

対象者の1日の総エネルギー摂取量を把握するため、自己記入式食事記録法及び写真撮影法の併用法により、7日間の食事調査を行った。対象者に摂取したものをすべて記録させたのち、管理栄養士が写真を見ながら聞き取り調査を行い、料理や食品の材料と分量を決定した。栄養計算は「五訂増補日本標準食品成分表」に準拠した栄養計算ソフト(WELLNESS21,(株)トップビジネスシステム社製)を用いて行った。また、一部の加工食品は各メーカーのホームページに掲載されている栄養価及び食品パッケージに記載されている栄養成分表示を用いて分析を行った。

b. 運動時のエネルギー消費量(EEE)の評価

対象者個別の VO_2 -HR式を作成するため、自転車エルゴメーター(Aerobike75XLII, コンビウエルネス(株)製)を用いた運動負荷試験を実施した。なお、本研究の対象者はトレーニング様式が異なる複数の競技が含まれるが、自転車エルゴ

メーターは安全性が高く、ほとんどの選手が通学に自転車を使用しており自転車運動に慣れていることから、本研究では自転車エルゴメーターによる同一のプロトコルを用いて測定することとした。

5分間の安静後、100Wから3分ごとに25Wずつ負荷をあげ、疲労困憊に達するまで行った。運動中の VO_2 および VCO_2 は、呼気ガス分析装置(AE-300S, ミナト医科学(株), 大阪)を用いてbreath-by-breath法により測定し、各ステージの最後の1分間の平均値を採用した。運動負荷試験中のHRは心拍数計によって1分ごとに記録した。RPEはBorgスケール⁴⁾を用いて各ステージの終了1分前に測定者が対象者に口頭にて確認した。運動負荷試験は、1) RPEが19以上、2) HRが190を超える、3)呼吸商が1.10を超える、4) VO_2 がプラトーに達する、の4つの基準のうち、2つ以上を満たしている場合を終了とした。運動負荷試験中に得られた VO_2 および VCO_2 からエネルギー消費量(EE)を算出し、HR-EE回帰式を個別に作成した。

次に、トレーニング中にHRモニター(Polar S610I, Polar Inc.)を7日間装着させ、HRを測定した。トレーニング中のEEは、1分ごとのHRからflex-HR法を用いて算出した。flex-HR値は、安静状態において記録されたHRの最大値と、運動負荷時に記録されたHRの最小値の平均値とした⁵⁾。算出した各トレーニングセッションのEEを合計し、1日のトレーニング中のEEE(kcal/日)を求めた。

c. 体重、身体組成及び骨密度の評価

体重(body weight: BW)は、50g単位で測定可能なA&D体重計(UC-321; (株)A&D製)を用いて研究期間中の毎朝、空腹時排尿後に各自で測定させた。身体組成及び骨密度は二重エネルギーX線吸収法(Dual energy X-ray absorptiometry: DXA法)(Hologic QDR-4500 DXA scanner; (株)Hologic社製)を用いた。Whole body modeで全身骨密度及び体脂肪率を測定し、除脂肪量(fat-free mass: FFM)は体重から体脂肪量をさし引いて求めた。

d. 月経状況及び摂食態度調査

月経状況を自記式アンケートにより確認し、正常月経者は卵胞期内に測定を実施した。また、摂食障害のスクリーニングとして摂食態度調査票

表1 対象者の身体的特性

	全対象者 (n=41)	陸上中長距離 (n=8)	水泳 (n=12)	新体操 (n=10)	ラクロス (n=11)
身長 (cm)	161.3±4.9	163.6±7.1	161.5±4.5	160.8±4.6	160.0±3.8
体重 (kg)	54.3±6.5	52.6±7.6	57.8±5.7 ^c	48.9±4.5 ^{b, d}	56.5±5.0 ^c
BMI (kg/m ²)	20.9±2.5	19.6±2.1 ^b	22.2±2.8 ^{a, c}	18.9±1.1 ^{b, d}	22.1±1.5 ^c
体脂肪率 (%)	20.6±3.7	18.9±3.9	22.0±3.2	18.3±3.7 ^d	22.4±2.6 ^c
除脂肪量 (kg)	42.9±3.9	42.4±4.3	44.9±3.1 ^c	39.8±3.2 ^b	43.8±3.4
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	49.2±6.6	56.4±3.8 ^{b, c, d}	46.6±5.6 ^{a, c, d}	44.8±11.1 ^a	48.5±3.1 ^a
EAT 得点 (点)	11.7±7.2	13.3±4.8	8.6±3.6 ^c	16.1±11.4 ^b	10.7±4.4

平均値±標準偏差

a)陸上, b)水泳, c)新体操, d)ラクロスとの間に有意差あり (p<0.05)

表2 対象者の総エネルギー摂取量, 運動時エネルギー消費量及びエネルギー・アベイラビリティ

	全対象者	陸上中長距離	水泳	新体操	ラクロス
TEI (kcal/day)	2,157±448	2,103±440	2,358±368 ^c	1,769±338 ^{b, d}	2,328±427 ^c
EEE (kcal/day)	878±391	470±215 ^{b, d}	953±213 ^a	702±243 ^d	1,251±388 ^{a, c}
EA (kcal/kg FFM/day)	30±12	39±10	31±11	27±7	25±14

平均値±標準偏差

TEI: 総エネルギー摂取量, EEE: 運動時エネルギー消費量, EA: エネルギー・アベイラビリティ

a)陸上, b)水泳, c)新体操, d)ラクロスとの間に有意差あり (p<0.05)

(日本語版 Eating Attitudes Test. 26: EAT-26)を用いた。

e. 統計処理

すべての測定値は平均値±標準偏差で表した。統計処理は、統計解析ソフト IBM SPSS Statistics 23を用いて分析を行った。種目間の比較は一元配置の分散分析により行い、post hoc 検定は Tukey HSD 法を使用した。すべての統計データは危険率 5% 未満を有意とした。

結果

対象者の身体的特性を表1に示した。身長は種目間で有意差は見られなかった。新体操選手の体重、体脂肪率、除脂肪量は水泳及びラクロス選手と比較して有意に低値を示した。EAT-26の得点は、新体操で20点以上の者が2名見られたが、陸上中長距離及びラクロスとの有意差は見られなかった。対象者の1日の総エネルギー摂取量 (TEI)、運動時エネルギー消費量 (EEE) を表2に、EA を表2及び図1に示した。EAの平均値は30.1±11.6kcal/kg FFM/dayであり、種目間における有意差は認められなかった。しかし、個別にみると図1に示したように3~55kcal/kg FFM/dayと大きな個人差が認められた。また、カットオ

フ値である30kcal/kg FFM/dayを下回った者は、全体で20名(49%)と約半数であった。種目別には陸上1名(13%)、水泳5名(42%)、新体操9名(90%)、ラクロス5名(45%)であり、新体操で高率であった。30kcal/kg FFM/dayを下回った者のうち無月経者は2名のみであった。また、全身骨密度のZスコアが-1.0を下回る低骨密度者はいなかった。

考察

大学生女性アスリート41名を対象としてEAを実測により求めたところ、種目によるEAの平均値に有意差は認められなかったものの、約半数のアスリートがカットオフ値とされている30kcal/kg FFM/dayを下回っており、その割合は新体操で高率であることが明らかとなった。また、同じ種目であってもEAの個人差が大きかった。

TEIの評価方法には食事調査、食品摂取頻度調査法及び24時間思い出し法、EEEの評価方法には加速度計法やMETsを用いて計算する方法などがあるが、EAを測定する際における評価方法についての明確な定義はなされていない⁶⁾。本研究の食事調査では、アスリートに食事記録を記入させたのみでなく、写真撮影と管理栄養士による聞

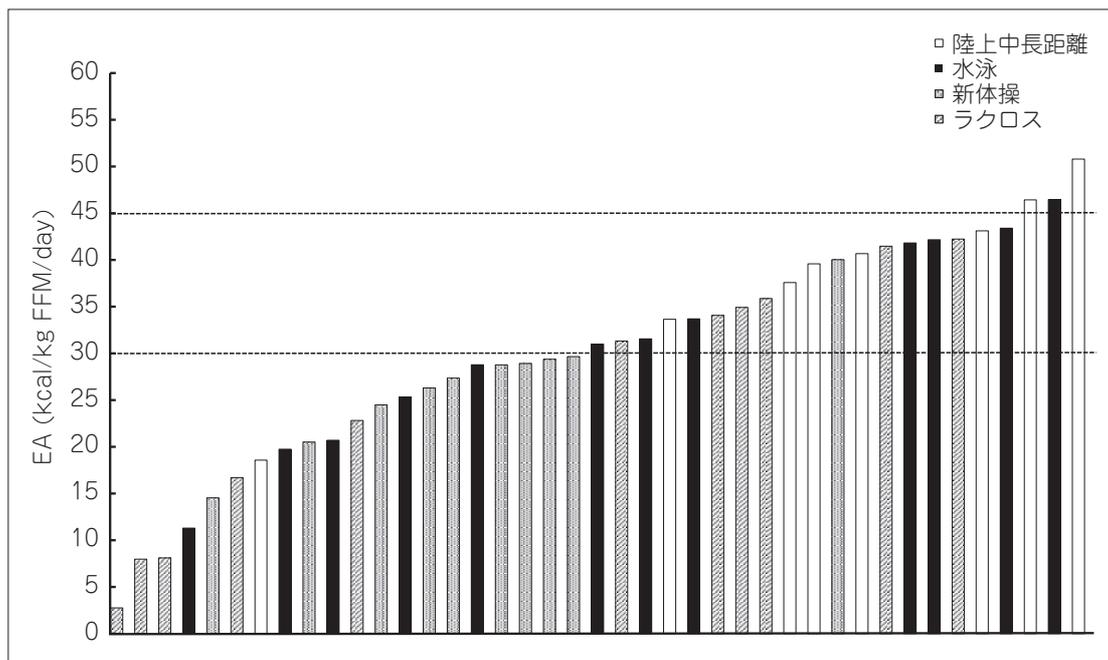


図1 個別のエネルギー・アベイラビリティの分布

き取りを併用することにより、分析精度を高める努力をした。また、中強度から高強度の身体活動における心拍数と酸素消費量は強い関係性があるため⁷⁾、本研究のEEE評価にはVO₂-HR法を用いた。身体組成も他の方法と比較して精度が高いDXA法⁸⁾を用いて評価している。

その結果、EAが低値を示した原因の第一は、食事調査でTEIを過小評価した可能性が考えられる。一般人を対象とした食事調査のバイアスとして、特に女性や減量中の者、体型を肥満気味と認識している者ほど食事調査によるエネルギー摂取量を過小評価する傾向があることが知られている⁹⁾。本研究の対象者は女性であり、自分の体重や体形、身体組成に不満を持っている選手が含まれている可能性も考えられる。そこで我々は本研究の対象者を含む大学生女性アスリートにおいて、現時点で1日の総エネルギー消費量を最も精度良く評価できる方法として知られている二重標識水法 (Doubly Labeled water method: DLW法) で測定した値と、7日間の食事調査から求めた1日の総エネルギー摂取量を比較した¹⁰⁾。体重の安定している状態におけるアスリートの食事調査によるエネルギー摂取量は平均で15.3%の過小評価となっており、新体操では-42%(およそ1,060kcal)とその度合いが他競技よりも大きかったことを報告した。フィンランド人新体操選手を対象とした

食事調査結果では、およそ760kcalの過小評価をしていたことが報告されているが¹¹⁾、日本人新体操選手の結果¹⁰⁾の方がより大きな差があると考えられる。また、EAの概念はアメリカスポーツ医学会により提示されたものである²⁾。米国の食事は食材料や調理法が日本食ほど複合的ではなく、栄養表示も義務付けられていることから、EIの評価がしやすい。一方、日本食では扱う食材も多く調理法も複雑であるため、エネルギー量の評価がしにくいことが考えられる。審美系や持久系アスリートを含む女性アスリート集団では、故意もしくは故意によらない申告漏れによるTEI過小評価の可能性は否定できない。

また、本研究で最も低いEA値を示した3名はラクロス選手であった。このチームでは毎日早朝6時頃から本練習を実施し、9時から開始される1時限目の授業に間に合うように練習場所から大学までおよそ1時間かけて移動をしていた。そのため、朝食はおにぎり1~2個と飲料程度の摂取となっており、この状況と練習量の多い日が重なることによって、調査期間中のEAが極めて低値となった。これらより、本研究における女性アスリートのTEIが低値となったことがEA値にも影響を及ぼしたと考えられた。

一方、心拍数法によるエネルギー消費量は、間欠的な運動を行う競技者では過大評価することが

報告されている^{5,12)}。中等強度以上の運動時(心拍数が110-170拍/分)では、HRとVO₂の関係に直線的な相関関係が認められるが、運動強度の強弱が大きい間欠的な運動時には、運動直後のHRが安静レベルに戻る時間がVO₂と比較して遅いと考えられる¹²⁾。このことが本研究でEAが低かったことの第二の原因であろう。これらのことを総合すると、欧米人と比較してより過小評価傾向の強い食事調査結果から過大評価傾向のEEEを差し引くことにより、日本人アスリートのEAは国際的なコンセンサスで示されているカットオフ値を下回る者が多くなると考えられる。

図1に示した中で、90日以上月経がない続発性無月経と考えられた選手は新体操2名、ラクロス1名の計3名のみであった。このラクロス選手のEAは43kcal/kg FFM/dayであり、健康を維持できるとされるレベル(45kcal/kg FFM)に近い。したがって、低EAのために無月経を誘発したとは説明しにくい。また、30kcal/kg FFM/dayを下回っていた20名のうち無月経は2名のみであり、Zスコアが-1.0を下回る低骨密度者もいなかったことから、アスリートの健康状態に影響を及ぼすと考えられる日本人女性アスリートのEAについては、慎重に検討する必要がある。Loucks et al.¹³⁾による短期間の実験室におけるEAの前向き研究では、正常月経の一般女性を対象として5日間にわたってTEI及びEEEをコントロールしてEAが10, 20, 30, 45kcal/kg FFM/dayとなるよう調整したところ、黄体形成ホルモンの分泌動態はEA低下に伴って即座に阻害され、成長ホルモンやインスリン様成長因子(IGF-1)も同様の状況であったことが報告されており、EAのカットオフ値が30kcal/kg FFM/dayに設定される根拠となった。しかし、本研究で示したように1回のEA評価では食事摂取と運動状況の組み合わせからEAがかなりの低値となることもありうること、日常生活においてはEAカットオフ値を下回る状況が起こった場合に様に身体的機能の低下が引き起こされるというわけではなく、長期にわたる継続的なエネルギー不足度合いの大きさに関連する¹⁴⁾と考えられることから、一時点のEA計算値をカットオフ値と比較して評価することには問題があると思われ、現場応用には更なる検討が必要である。

エネルギー代謝のベースとなる安静時代謝量の

欧米人女性持久系アスリートの平均値は1,486kcal/day(33.1kcal/kg FFM)¹⁵⁾、1,560kcal/day(35.1kcal/kg FFM)¹⁶⁾、体操、フィギュアスケート及びサッカー選手の平均は1,428kcal/day(FFMの記載なし)¹⁷⁾、様々な種類の運動を習慣的に行う女子大学生の平均値は1,284(31.3kcal/kg FFM)¹⁸⁾であったことが報告されている。一方、日本人女性アスリートは1日あたり1,250kcal程度、FFM1kgあたりでは27.7kcal^{19,20)}と、明らかに欧米人が高値を示している。欧米人と日本人では安静時代謝量や体格に差があることから考えても、欧米人一般女性のデータから作成されたEAのカットオフ値が日本人アスリートにもそのまま当てはまるかどうかは不明である。また、簡便なため多くのスポーツ現場で使用されている食物摂取頻度調査法による摂取エネルギー量や、要因加算法のように実測を伴わずに計算により求める消費エネルギー量は、いずれも評価誤差が大きく、EAの判断が困難である。簡易的な方法により評価したEAを指導に用いるのは十分な注意を要すると考えられる。

以上より、日本人女性アスリートに適したEAのカットオフ値やEAの現場応用については、今後慎重に検討を重ねる必要があることが明らかとなった。

利益相反

田口素子；研究費(味の素株式会社)

文 献

- 1) Yeager, KK, Agostini, RO, Nattiv, A et al. The female athlete triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993; 25(7): 775-777.
- 2) Nattiv, A, Loucks, AB, Manore, MM et al. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(10): 1867-1882.
- 3) Mountjoy, M, Sundgot-Borgen, J, Burke, L et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.* 2014; 48: 491-497.
- 4) Borg, G, Hassmén, P, Lagerström, M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1987;

- 65: 679-685.
- 5) 引原有輝, 齊藤慎一, 吉武 裕. 高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討. 体力科学. 2005; 54: 363-372.
 - 6) Guebels, C, Kam, LC, Maddalozzo, GF et al.. Active women before/after an intervention designed to restore menstrual function: resting metabolic rate and comparison of four methods to quantify energy expenditure and energy availability. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014; 24(1): 37-46.
 - 7) 海老根直之, 高田和子. エネルギー消費量の評価とエネルギーバランス. In: 田口素子, 樋口 満(編). 体育スポーツ指導者と学生のためのスポーツ栄養学. 東京: 市村出版; 13-27, 2014.
 - 8) Lohman, TG, Chen, Z. Dual-Energy X-ray Absorptiometry. In: Heymsfield, S et al., eds. *Human Body Composition (2nd ed)*. USA: Human Kinetics; 63-77, 2005.
 - 9) 日本栄養改善学会(監修). 食事調査マニュアル改訂2版. 南山堂; 3-12, 2009.
 - 10) 吉田明日美, 高田和子, 別所京子ほか. 女性スポーツ選手における食事記録法によるエネルギー摂取量の評価誤差に関連する要因. 栄養学雑誌. 2012; 70(5): 305-315.
 - 11) Fogelholm, GM, Kukkonen-Harjula, TK, Taipale, SA et al.. Resting metabolic rate and energy intake in female gymnasts, figure-skaters and soccer players. *Int J Sports Med.* 1995; 16(8): 551-556.
 - 12) 山地啓司. 運動と心拍数. 体力科. 2001; 50: 1-6.
 - 13) Loucks, A, Shuma, J. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003; 88(1): 297-311.
 - 14) Williams, N et al.. Magnitude of daily energy deficit predicts frequency but not severity of menstrual disturbances associated with exercise and caloric restriction. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2015; 308: E29-E39.
 - 15) Thompson, J, Manore, M. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *J Am Diet Assoc.* 1996; 96(1): 30-34.
 - 16) Herring, JL, Mole, PA, Meredith, CN et al.. Effect of suspending exercise training on resting metabolic rate in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992; 24(1): 59-65.
 - 17) Reading, KJ, McCargar, LI, Harber, VJ. Energy balance and luteal phase progesterone levels in elite adolescent aesthetic athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002; 12(1): 93-104.
 - 18) Koehler, K, Williams, NI, Mallinson, RJ et al.. Low resting metabolic rate in exercise-associated amenorrhea is not due to a reduced proportion of highly active metabolic tissue compartments. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2016; 311(2): E480-487.
 - 19) 田口素子, 辰田和佳, 樋口 満. 競技特性の異なる女子スポーツ選手の安静時代謝量. 栄養学雑誌. 2010; 68(5): 289-297.
 - 20) Taguchi, M, Ishikawa-Takata, K, Tatsuta, W et al.. Resting energy expenditure can be assessed by fat-free mass in female athletes regardless of body size. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2011; 57: 22-29.
-
- (受付: 2016年9月20日, 受理: 2017年7月13日)

Consideration of energy availability application in Japanese female athletes

Taguchi, M.^{*1}, Ishikawa-Takata, K.^{*2}, Torii, S.^{*1}, Tanaka, T.^{*3}

^{*1} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} National Institute of Biomedical Innovation, Health and Nutrition

^{*3} Waseda Institute of Sports Nutrition

Key words: energy availability, female athlete, nutrition

[Abstract] The aim of the present study was 1) to clarify the energy availability (EA) of Japanese female athletes and 2) to discuss an issue of EA use. Forty-one collegiate athletes participated in this study. Total energy intake (TEI) was assessed using dietary records, exercise energy expenditure (EEE) was measured by HR-VO₂ method, and body composition was measured by DXA. EA defined as TEI minus EEE normalized to kilograms of fat free mass (FFM). Mean EA was 30.1 ± 11.6 kcal/kg FFM/day. There was no significant difference among athletic events, however, a large individual difference was observed. EA of the half of subjects was below 30 kcal/kg FFM/day. Nevertheless, amenorrhoeic athletes were only two, and none of athletes had low bone mineral density. It seems that low level of TEI due to underestimation or small eating would be associated with low EA in this study. In addition, it is not clear that cut-off value determined from the data of western non-athletic subjects can be applied into Japanese athletes. Comparison of EA at a specific point in time with cut-off value is limited in evaluation of energy deficiency. Therefore, additional study is needed to apply EA in the sports field.