

ジュニア競泳選手におけるエネルギー不足の現状と不足要因の検討

村松 愛梨奈¹⁾ 中根 一恵²⁾ 寺本 圭輔³⁾

1) 鈴鹿工業高等専門学校 2) 富山短期大学 3) 愛知教育大学

An examination of the current status of energy deficiency and its related factors in junior swimmers

Erina MURAMATSU¹⁾ Kazue NAKANE²⁾ Keisuke TERAMOTO³⁾

1) National Institute of Technology (KOSEN), Suzuka College

2) Toyama College 3) Aichi University of Education

キーワード：ジュニア選手，エネルギー不足，エナジーアベラビリティ

Key Words：junior athletes, energy deficiency, energy availability

本研究では、ジュニア競泳選手8名を対象にエネルギー不足の指標となるエネルギーバランス (Energy Balance : EB) やエナジーアベラビリティ (Energy Availability : EA) の現状およびその不足要因について明らかにすることを目的とした。その結果、身体活動レベル (Physical Activity Level : PAL) は平均的なスポーツ選手と同等である 2.00 ± 0.08 を示す一方で、EBは $-369 \pm 583 \text{kcal/日}$ と大きく負の値を示した。EAは除脂肪体重あたり $45.7 \pm 11.7 \text{kcal/日}$ を示し、平均値としては適切な値である 45kcal 以上を保持する一方で、各選手におけるEA値のばらつきは大きく、 45kcal 未満の選手は8名中4名が該当し、そのうち1名は低EAと定義される 30kcal 未満の値を示した。また、EA値 45kcal 以上を基準に最適群 (OP群)、不足群 (DE群) の2群に分けて検討したところ、エネルギー代謝関連指標には有意差が認められなかった一方で、DE群では体重あたりのエネルギー摂取量 (Energy Intake : EI) やその内訳であるたんぱく質・脂質・炭水化物摂取量がOP群よりも低値を示した。以上のことから、エネルギー不足の指標であるEA値はばらつきが大きく、本研究の対象者の半数は十分なEAが確保できていない現状が明らかとなった。また、エネルギー不足の要因としてはEIや体重あたりの三大栄養素摂取量、特に炭水化物の摂取量が少ないことが示された。

I. 研究目的

アメリカスポーツ医学会では、女性アスリートに多く起こる健康問題として、利用可能なエネルギー不足 (Low Energy Availability : LEA)、視床下部性の無月経、骨粗しょう症の3つを女性アスリートの三主徴 (Female Athlete Triad : FAT) として掲げ、警鐘を鳴らしている¹⁾。また、2014年には国際オリンピック委員会により、アスリートの相対的なエネルギー不足 (Relative Energy Deficiency in Sport : RED-S) が多くの生理的機能障害を引き起こすことが発表されており²⁾、これらの健康障害は性別にかかわらず全て

のアスリートに注意喚起が必要である。例えば、RED-SではFATに含まれる内分泌機能障害による月経機能の異常や骨密度の低下だけでなく、免疫機能・循環器機能への悪影響やたんぱく質合成の低下など身体への様々な影響が示されている²⁾。エネルギー不足は健康障害だけでなく、アスリートにとって重要なパフォーマンスの低下を引き起こすことに加え³⁾、エネルギー不足のアスリートではそうでない選手に比べて、競技に関連した怪我のリスクが2~4倍近く高いことも報告されている⁴⁾。このようにエネルギー不足による弊害は様々である一方で、健康障害の治療および改善には時間を要するため¹⁾、発症前の予防が重要で

あり、そのためには選手個々のエネルギー不足の程度を把握することが必要である。

エネルギー不足の指標としてはエネルギー消費量と摂取量の差の絶対値を示すエネルギーバランス (EB) に加えて、エナジーアベラビリティ (EA) と呼ばれる指標がある。EA は 1 日に摂取したエネルギー量からトレーニングによって消費されたエネルギー量を引いた余剰分のエネルギー量を示している¹⁾。EA が不十分な場合は、生きていくために必要最低限のエネルギー代謝だけを温存し、エストロゲンなどのホルモン分泌の抑制を行うなど、発育や生殖機能を制御することで全体のエネルギーバランスを保つようになる⁵⁾。例えば、エストロゲンの低下は視床下部性無月経を引き起こすことに加えて、骨形成を促進するホルモンを抑制し、骨密度の低下に繋がるだけでなく¹⁾、糖輸送に関わる物質を減少させ、筋肉の糖利用の低下を引き起こすことで筋力低下を引き起こす可能性がある⁶⁾。また、神経-筋パフォーマンスの低下にも繋がることも報告されており⁷⁾、エストロゲンの低下は健康面だけでなく、パフォーマンスにも影響を及ぼす。

身体に悪影響を及ぼす EA の低下は、成人選手だけでなく成長期のジュニア選手にとっても重要な問題である。例えば、成長期は身長や体重が急激に増加し、それに伴い骨や筋肉、血液も増加するなど組織増加分のエネルギー蓄積量も必要となるため⁸⁾、エネルギーの需要が急激に高くなることでエネルギー不足に陥りやすい可能性がある。そのため、成長期のジュニア選手はエネルギー不足のリスクが高く、エネルギー不足により競技パフォーマンスはもちろん、健全な発育発達にも大きな影響を及ぼす可能性が高いため、より適切に EA の現状を把握し、エネルギー不足を予防することが重要である。しかしながら、日本人ジュニア選手を対象とした EA 値については十分に検討されていないのが現状である。また、アスリートはトレーニングの実施の有無により日々のエネルギー消費量が大きく変化すると考えられる。特に、1 日以内のエネルギー不足であってもホルモン分泌や代謝に影響を及ぼすため⁹⁾、測定期間における平均的な EA 値だけでなく、トレーニングの有

無による EA 値の変動やその影響についても検討する必要がある。

そこで、本研究ではジュニア選手を対象に、エネルギー不足の指標である EB および EA の現状を明らかにするとともに、トレーニングの実施の有無による EA への影響やその変化の内訳について検討することを目的とした。また、EA が十分に獲得できている選手と不十分な選手における EA の関連項目を比較することで、エネルギー不足の要因についても検討を行った。

II. 研究方法

1. 被験者特性

被験者は日常的にトレーニングを継続しており、全国大会出場経験を有する健康なジュニア競泳選手 8 名 (男子選手 3 名・女子選手 5 名, 年齢: 15.5 ± 1.2 歳) を対象とした。あらかじめ被験者には本測定 of 目的と測定内容について十分に説明をし、同意を得た上で栄養サポートの一部としてデータを得た。なお、本研究は事前に鈴鹿工業高等専門学校倫理委員会で承認を得ている。

2. 実験概要

測定は通常トレーニング期である 2020 年 11~12 月を対象に、3 日間の運動時のエネルギー消費量 (Exercise Energy Expenditure: EEE)、エネルギー摂取量 (EI) の測定を行い、エネルギー不足の指標となる EB および EA を算出した。3 日間の内訳は、トレーニング実施日 (TR 日) が 2 日間、トレーニングの未実施日 (OFF 日) が 1 日であった。なお、測定に先立ち、アンケート調査を実施し、新型コロナウイルス禍前と変わらないトレーニング量に戻ったことを確認後、測定を行った。

3. 身体組成およびエネルギー消費量・摂取量の評価

身体組成の測定は、体成分分析装置 InBody Dial H20B (インボディ・ジャパン社製) を用いて体脂肪率 (%Fat)、筋肉量 (Skeletal Muscle Mass: SM) を測定した。除脂肪量 (Fat Free Mass: FFM) は %Fat から脂肪量 (Fat Mass:

FM) を計算し、体重よりFMを減算することで算出した。

EEEの算出には要因加算法^{10, 11)}を用いた。選手が記録したトレーニング内容をもとに、練習の内容をAinsworthら¹²⁾により作成された身体活動のMETs表に記載されている類似活動のMETs値へ置き換え、「体重×時間×METs×1.05」¹¹⁾の式を用いて算出した。また、必要に応じてトレーニング内容について聞き取り調査を行った。1日のエネルギー消費量(Total Energy Expenditure: TEE)は、小清水ら¹³⁾の式を用いてFFMから算出した推定安静時エネルギー消費量(Predict Resting Energy Expenditure: pREE)に、日本人の食事摂取基準(2020)⁸⁾に示されている身体活動レベル「ふつう」を示す1.75を乗算してOFF日のTEEを算出した。また、TR日のTEEは、上記により算出したTEEにEEEを加算し、TR日のPALはTEEをpREEで除すことにより算出を行った。

EI, 三大栄養素摂取量およびEIに対するたんぱく質、脂質、炭水化物の構成比率であるPFC比の測定は、EEEと同様に3日間の測定を行った。測定期間中、被験者には摂取した全ての食品を写真法¹⁴⁾にて記録することを依頼した。また、推定食品重量の精度向上のために、必要に応じて食事内容に対する聞き取り調査を行った。全ての栄養調査および分析は熟練した管理栄養士の協力を得て実施した。1日あたりのEI, 三大栄養素摂取量およびPFC比は、日本食品標準成分表(2015年版, 七訂)および日本人の食事摂取基準(2015年版)に準拠した栄養計算ソフト「栄養Pro Ver.3.01」を用いて算出した。また、これらの結果から、体重あたりのたんぱく質、脂質および炭水化物の摂取量を算出した。エネルギー不足の指標はEBおよびEAを用い、EBはEIからTEEを減算し、EAはEIからEEEを減算した値をFFMで除算し算出した。

4. 統計処理

各項目の測定結果は全て平均値±標準偏差で示し、統計解析はIBM SPSS Statistics Ver 27.0 (IBM社製)を用いた。各項目の相関係数の検定

にはPearsonの相関係数を用い、TR日およびOFF日における測定平均値の差の検定には対応のあるt検定を用いた。また、最適なEA値はFFMあたり45kcal/日以上とされていることから¹⁵⁾、1日あたり45kcal以上の選手(Optimal EA: OP群, n=4)および45kcal未満の選手(Deficient EA: DE群, n=4)の2群に分け、比較検討を行なった。群別の平均値の差の検定には、対応のないt検定を用いた。なお、統計学的有意水準はいずれの場合も5%とした。

Ⅲ. 結果

被験者の特性および身体組成は表1に示した。また、3日間の平均値およびTR日、OFF日のエネルギー摂取・代謝関連指標、エネルギー不足関連指標を表2に示した。被験者のPAL値を一般人の平均的なPAL⁸⁾である1.75と比較したところ、有意に高値を示し(p<0.01)、3日間の平均EA値はFFMあたり45.7±11.7kcal/日を示し、目標値の45kcal/日を超える値を示した。

また、TR日およびOFF日別に各指標を検討したところ、TR日は運動により494±148 kcalを消費しており、それに伴いTEEがOFF日より有意に高値を示した(p<0.01)。消費量の増大に伴い、TR日のEIも有意に高値を示したが(p<0.05)、運動量の増加に見合う十分なEIは確保できておらず、TR日のEBは大きく負の値を示し、OFF日より有意に低い値であった(p<0.01)。EAはOFF日で50.5±12.5kcal/日と適切な平均値を示す一方で、TR日は目標値を下回る43.4±11.5kcal/日を示した。

また、TR日における各指標間の関係性を検討したところ、1日あたりの運動時間と体重当たりのEEEは有意な相関関係が認められ(r=0.744, p<0.05)、運動時間が長くなるほどエネルギー消費量が増え、EEEの増加に伴いPALも高くなること示された(r=0.967, p<0.01)。一方で、EEEとEIの関係性は認められなかった。また、EAはEEEやPALなどエネルギー代謝関連指標との関係性は認められなかった一方で、体重当たりのEIとの関係性が認められた(r=0.932, p<0.01)。体重当たりのEIは体重あたりのたんぱ

Table 1. Subject characteristic

Age	(years)	15.5 ± 1.2
Height	(cm)	164.8 ± 9.7
Body mass	(kg)	55.7 ± 7.7
Body mass index	(kg/m ²)	20.5 ± 1.4
%Fat	(%)	16.6 ± 6.1
Skeletal muscle mass	(kg)	25.9 ± 5.2
Fat mass	(kg)	9.1 ± 3.4
Fat-free mass	(kg)	46.6 ± 8.4

Note. Values given in mean ± SD.

Table 2. Energy expenditure, intake, and metabolism in all subjects divided by TR-day and OFF-day

		3day Average	TR-day	OFF-day	p value
Exercise time	(min/day)	73 ± 19	109 ± 29	—	
EEE	(kcal/day)	329 ± 98	494 ± 148	—	
TEE	(kcal/day)	2653 ± 470	2818 ± 501**	2324 ± 418	p<0.01
EI	(kcal/day)	2391 ± 285	2449 ± 293*	2275 ± 321	p<0.05
PAL		2.00 ± 0.08	2.13 ± 0.11**	1.75	p<0.01
EB	(kcal/day)	-262 ± 581	-369 ± 583**	-49 ± 590	p<0.01
Protein ratio	(%)	16.0 ± 1.9	15.7 ± 2.0*	16.7 ± 1.8	p<0.05
Fat ratio	(%)	29.8 ± 4.5	29.4 ± 5.5	30.5 ± 4.6	0.308
Carbohydrate ratio	(%)	54.6 ± 5.2	54.9 ± 6.3	52.8 ± 4.6	0.202
Protein / BM	(g/kg)	1.7 ± 0.3	1.7 ± 0.4	1.7 ± 0.4	0.500
Fat / BM	(g/kg)	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.5 ± 0.3	0.231
Carbohydrate / BM	(g/kg)	6.1 ± 1.9	6.3 ± 2.0	6.0 ± 1.6	0.183
EA	(kcal/kg/day)	45.7 ± 11.7	43.4 ± 11.5**	50.5 ± 12.5	p<0.01

Note. Values given in mean ± SD. EEE: exercise energy expenditure, TEE: total energy expenditure.

TR-day: training day, OFF-day: training off day, PAL: physical activity level, EI: energy intake, BM: body mass,

EA: energy availability, *p<0.05 and **p<0.01 compared with OFF-day.

Table 3. Energy expenditure, intake, and metabolism in all subjects divided by current energy availability

		Optimal EA (n = 4)	Deficient EA (n = 4)	p value
Height	(cm)	159.0 ± 7.7	170.5 ± 8.6*	p<0.05
Body mass	(kg)	49.5 ± 4.7	62.0 ± 3.8**	p<0.01
Body mass index	(kg/m ²)	19.6 ± 1.2	21.3 ± 1.0*	p<0.05
%Fat	(%)	16.8 ± 4.9	16.5 ± 7.8	0.472
Skeletal muscle mass	(kg)	22.6 ± 3.1	29.1 ± 5.0*	p<0.05
Fat mass	(kg)	8.3 ± 2.5	10.0 ± 4.2	0.258
Fat-free mass	(kg)	41.3 ± 5.2	51.9 ± 7.8*	p<0.05
Exercise time	(min/day)	101 ± 32	118 ± 28	0.234
EEE	(kcal/day)	402 ± 143	586 ± 89*	p<0.05
EEE / BM	(kcal/kg/day)	8.4 ± 3.6	9.5 ± 1.4	0.295
TEE / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	47.1 ± 3.3	48.0 ± 4.3	0.376
TEE / BM (TR-day)	(kcal/kg/day)	101.0 ± 32.0	118.0 ± 28.0	0.344
PAL (TR-day)		2.10 ± 0.16	2.15 ± 0.07	0.312
EI / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	52.0 ± 7.0	35.9 ± 2.5**	p<0.01
EI / BM (TR-day)	(kcal/kg/day)	52.6 ± 7.6	37.3 ± 2.8**	p<0.01
EI / BM (OFF-day)	(kcal/kg/day)	50.7 ± 7.2	33.2 ± 2.5**	p<0.01
Protein / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	2.0 ± 0.2	1.4 ± 0.1**	p<0.01
Fat / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	1.5 ± 0.1	1.3 ± 0.2*	p<0.05
Carbohydrate / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	7.5 ± 1.7	4.7 ± 0.7*	p<0.05
EB / BM (3day Average)	(kcal/kg/day)	2.3 ± 3.0	-15.3 ± 5.0**	p<0.01
EB / BM (TR-day)	(kcal/kg/day)	2.8 ± 4.4	-13.8 ± 4.6**	p<0.01
EB / BM (OFF-day)	(kcal/kg/day)	9.3 ± 6.1	-8.8 ± 5.2**	p<0.01
EA (3day Average)	(kcal/kg/day)	55.8 ± 5.1	35.6 ± 4.5**	p<0.01
EA (TR-day)	(kcal/kg/day)	53.3 ± 5.1	33.4 ± 4.5**	p<0.01
EA (OFF-day)	(kcal/kg/day)	60.9 ± 7.0	40.0 ± 5.3**	p<0.01

Note. Values given in mean ± SD. EEE: exercise energy expenditure, BM: body mass, TEE: total energy expenditure,

TR-day: training day, OFF-day: training off day, PAL: physical activity level, EI: energy intake,

EA: energy availability, *p<0.05 and **p<0.01 compared with subjects with optimal EA.

く質・炭水化物摂取量との関係性が認められ(たんぱく質: $r = 0.804$, $p < 0.05$, 炭水化物: $r = 0.974$, $p < 0.01$), EA 値は体重や SM, FFM などの体格指標との関連性もみられた(体重; $r = -0.890$, $p < 0.01$, SM: $r = -0.765$, $p < 0.05$, FFM: $r = -0.768$, $p < 0.05$).

また, 表3では OP 群および DE 群別の身体特性およびエネルギー代謝・摂取関連指標を示した. OP 群は男子1名と女子3名, DE 群は男子2名と女子2名であり, 対象者の性別分布の偏りの影響により身体特性に有意差が認められたため(身長; $p < 0.05$, 体重; $p < 0.01$), 代謝・摂取関連指標は体重で除すことにより補正を行った. その結果, 体重あたりの EEE および3日間の TEE, TR 日の TEE, PAL は両群間に有意な差は認められなかった. 一方で, 体重あたりの EI やたんぱく質・脂質・炭水化物の摂取量に有意差が認められ(EI・たんぱく質摂取量; $p < 0.01$, 脂質・炭水化物摂取量; $p < 0.05$), 体重あたりの EB は有意に DE 群が低値を示した($p < 0.01$). EA 値においても DE 群が有意に低値を示し($p < 0.01$), DE 群の OFF 日では $40.0 \pm 5.3\text{kcal/日}$ と目標値を下回り, TR 日に至っては $33.4 \pm 4.5\text{kcal/日}$ を示し, より顕著なエネルギー不足の状況が示された.

IV. 考察

本研究で対象にしたジュニア競泳選手の3日間の平均 PAL 値は 2.0 を示し, 日本人競技者の食事摂取基準¹³⁾で示されている通常トレーニング期における瞬発系競技種目の基準値や, 日常的にトレーニングを行なっているスポーツ選手の平均 PAL 値¹⁶⁾である 2.03 と同等の値を示したことから, 被験者は過去に報告されているスポーツ選手と同等の身体活動レベルを有していると考えられた. また, スポーツ選手ではない同年代の PAL の基準値⁸⁾である 1.75 よりも高値を示しており, 体格に対するエネルギー消費量が同年代の子どもよりも高いと考えられる. 特にジュニア選手はエネルギー蓄積量など発育に伴うエネルギー必要量の増大だけでなく, 運動によるエネルギー消費量も加わるため, 同年代の子どもや他の年代の選手と比較してより多くのエネルギー量の摂取が必要

である. 本研究では, エネルギーの余裕度を示す3日間の EA 平均値は目標値を超えており, 身体の維持に必要なエネルギー量が十分に確保されている現状が示されたが, 各選手の測定値では目標値を超えた選手が8名中4名であり, 残りの4名は目標値を下回る数値を示し, そのうち1名は低 EA と定義される 30kcal 未満の値であった. このことから, 半数の選手は消費に対する十分なエネルギー摂取量を確保できていない現状が明らかとなった. エネルギー不足は様々なホルモン分泌の抑制・促進に影響を及ぼしており²⁾, 例えば骨形成の促進や骨吸収抑制に関わるエストロゲンの低下により骨粗しょう症や骨密度の低下による疲労骨折などの健康障害にも繋がる¹⁾. 特に, 女性の最大骨量は20歳頃とされており, その後の骨量増加は乏しいため10歳代での十分な骨量の獲得が重要であり¹⁷⁾, そのためにも成長期では日々のエネルギー余裕度の確保が必要である.

また, トレーニングの有無により日々のエネルギー余裕度に差があることが示される一方で, EEE と EI には有意な関係性は認められていないことから, 運動量の増減に伴う EI の調整ができおらず, TR 日の EB は大きく負の値を示し, EA も十分に確保できていない現状が明らかとなった. 男性競技者を対象とした先行研究では, 1日以内のエネルギー不足状態がコルチゾール値の上昇を引き起こし¹⁸⁾, 女性競技者ではコルチゾール値だけでなく, 月経機能障害, エストラジオール値の低下, 推定 REE 値と実測値の比を示す RMR 比の低下とも関連していた¹⁹⁾. さらに, 月経異常を有する競技者は, 正常月経を有する競技者と同等の EA 値を有する場合においても, 300kcal を超えるエネルギー不足の状態で過ごす時間が正常月経を有する競技者よりも長いことが報告されている¹⁹⁾. したがって, 短時間のエネルギー不足状態であってもホルモンや代謝, 月経機能への影響を及ぼす可能性が考えられるため, トレーニングの有無を含めた平均的な EA を評価するだけでなく, TR 日と OFF 日を分けた1日単位など短期間の EA 値を観察することも重要である可能性が考えられる.

また, 西村ら²⁰⁾は大学競技者を対象にトレ

ニング量と EI の関係性を検討しており、トレーニング量の増加に伴いエネルギー消費量が增大しても、EI は追従せず、むしろ減少したことを報告している。大学女性競技者を対象とした研究では試合期およびその 2 ヶ月前を対象に、縦断的に EI を調査したところ、トレーニング時期の違いにより TEE が変化する可能性があるにも関わらず、EI が変化していない現状が報告されている²¹⁾。このように、競技者ではトレーニングの実施の有無やトレーニング期分けに伴うトレーニング量の変動に合わせた EI の調整が難しいため、意識的にトレーニング量の評価を行い、選手への情報提供を行うなどして、食事量の調整を促すことも栄養管理において重要なアプローチの一つだと考えられる。

また、先行研究において PAL が 2.5 を超えた場合は EI の調整が追いつかず、EB を保つのが難しいことが報告されており²²⁾、PAL が高い場合は運動量の調整が必要であると考えられるが、本研究のように 2.5 未満の値であれば EI の調整を行うことで EB の均衡や十分な EA を保つことが可能であると考えられる。特に、本被験者のエネルギー不足指標はエネルギー代謝関連指標と関係性が認められず、エネルギー摂取関連指標のみと関係性が認められたことから、エネルギー不足を防ぐためには EI の調整が重要であろう。また、EI はたんぱく質・炭水化物摂取量との関係性が認められており、十分な EA を確保するためには、体重あたりのたんぱく質や炭水化物摂取量の増大を促すことにより EI を増加させることが有用である可能性が示された。さらに EA 値は、EI だけでなく体重や FFM などの体格指標との関連性も認められており、成長により体格が大きくなることだけでなく、トレーニング効果として SM や FFM が増大し体重が増加するほど、エネルギー需要も増加し、よりエネルギー不足のリスクが高くなることも考えられた。松田ら²³⁾は成長過程で身長が伸びる時期よりもトレーニングで骨格筋量が増加する時期に低 EA になりやすい可能性があることを報告している。そのため、エネルギー不足の予防のためには、成長期はもちろんのこと、その後の体重増加において FFM の占め

る割合が高くなる時期についても、体重や身体組成を把握することも重要であろう。

次に、EA 不足の要因を検討するために、1 日あたり 45kcal 以上の EA 値が確保できている OP 群および 45kcal 未満の EA 値を示す DE 群に分けて検討したところ、エネルギー代謝関連指標は差が認められなかった一方で、エネルギー摂取関連指標において DE 群が低値を示した。このことから、本被験者における EA 不足の要因は、運動によるエネルギー代謝の増大による影響ではなく、EI、特に体重あたりの三大栄養素の摂取量による影響が大きいことが明らかとなった。DE 群の炭水化物摂取量は体重あたり $4.7 \pm 0.7 \text{ g}$ を示しており、1 日 1～3 時間程度で中～高強度のトレーニングを行う場合の体重あたりの炭水化物摂取量の目標値²⁴⁾である 6～10g よりも、大幅に不足している現状が明らかとなった。先行研究においても低 EA や無月経の日本人女性アスリートにおいて糖質の摂取量が低いことを報告しており²⁵⁾、このことからエネルギー不足の予防・改善には体重あたりの炭水化物量の増大が重要であることが示された。また、DE 群では TR 日の EA 値が目標値よりも大きく不足している現状が示され、TR 日におけるエネルギー不足状況は深刻であり、炭水化物量の摂取増大による EI の改善が急務であることが示された。

今後の課題として、本研究では対象人数が少なく、男女も混ざっているため、対象人数を増やし、性別にエネルギー不足の現状やその特徴および不足要因を検討することも必要であろう。また、日本人の EA を評価した研究は未だ少なく、低 EA の現状やその不足要因は十分に明らかにされていない。不足要因や変動による EA の身体への影響を検討するためには、本研究のような横断的な調査だけでなく、継続的に観察する縦断研究も必要であろう。

V. 引用・参考文献

- 1) Nattie A, Loucks AB, Manoreet MM et al.: American college of sports medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* 39 (10) : 1867-1882,

- 2007.
- 2) 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.* 48 (7) : 491-7, 2014.
 - 3) Vanheest JL, Rodgers CD, Mahoney CE et al.: Ovarian suppression impairs sport performance in junior elite female swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 46 (1) : 156-466, 2014.
 - 4) Matzkin E, Curry EJ, Whitlock K: Female athlete triad: past, present, and future. *J Am Acad Orthop Surg* 23 (7) : 424-432, 2015.
 - 5) Wade GN, Schneider JE, Li HY: Control of fertility by metabolic cues. *Am. J. Physiol.* 270 : 1-19, 1996.
 - 6) 武谷雄二：エストロゲンと女性のヘルスケア, 102-109, メジカルビュー社, 2015.
 - 7) Tornberg AB, Melin A, Koivula FM et al.: Reduced neuromuscular performance in amenorrheic elite endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 49 (12) : 2478-2485, 2017.
 - 8) 厚生労働省：「日本人の食事摂取基準（2020年版）」策定検討会報告書, 78-80, 2019.
 - 9) Logue DM, Madigan SM, Melin A et al.: Low energy availability in athletes 2020: an updated narrative review of prevalence, risk, within-day energy balance, knowledge, and Impact on sports performance. *Nutrients.* 12 (3) : 835, 2020.
 - 10) 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.* 54 (5) : 363-372, 2005.
 - 11) 田口素子：アスリートの栄養アセスメント. 早稲田大学スポーツ栄養研究所, 106-110, 第一出版社, 2017.
 - 12) Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD et al.: 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 43 : 1575-1581, 2011.
 - 13) 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.* 64 (3) : 205-208, 2006.
 - 14) 鈴木亜矢子, 宮内愛, 服部イクほか：写真法による食事調査の観察者間の一致性および妥当性の検討. *日本公衆衛生雑誌.* 49 (8), 749-758, 2002.
 - 15) Loucks AB, Thuma JR: Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *J Clin Endocrinol Metab.* 88 (1) : 297-311, 2003.
 - 16) 齋藤慎一, 海老根直之：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, 2002.
 - 17) 中村寛江, 能瀬さやか：発育期女性アスリートの健康管理. *子どもと発育発達.* 17 (3) : 167-172, 2019.
 - 18) Torstveit MK, Fahrenholtz I, Stenqvist TB: Within-day energy deficiency and metabolic perturbation in male endurance athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 28 (4) : 419-427, 2018.
 - 19) Fahrenholtz IL, Sjödin A, Benardot D et al.: Within-day energy deficiency and reproductive function in female endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 28 (3) : 1139-1146, 2018.
 - 20) 西村貴子, 熊原秀晃, 後藤亜里沙ほか：大学男子ラグビー選手のトレーニング量の差異と栄養素および食品群別摂取量の関連性. *体力科学.* 68 (1) : 71-82, 2019.
 - 21) 小久保友貴, 川野因, 森佳子ほか：大学女子新体操選手の体内鉄栄養状態とたんぱく質摂取状況. *体力科学.* 59 (5) : 475-484, 2010.
 - 22) Westerterp KR: Body composition, water turnover and energy turnover assessment with labelled water. *Proc Nutr Soc.* 58 (4) :

945-51, 1999.

- 23) 松田貴雄, 清永康平, 馬見塚尚ほか: 若年エリート女子サッカー選手の除脂肪体重の縦断的变化とパフォーマンスとの関連 についての考察. J High Perform Sport. 4 : 61-70, 2019.
- 24) Burke LM, Hawley JA, Wong SH et al. : Carbohydrates for training and competition. J Sports Sci.29 (1) : S17-S27, 2011.
- 25) 小清水孝子: 女性アスリートにおける食事の注意点. 産科と婦人科. 85 (4), 432-437, 2018.