

二重標識水法を用いた短時間エネルギー消費量の検討

村松愛梨奈

Measurement of Energy Expenditure in Short Time by Doubly Labeled Water Method

Erina MURAMATSU

I. 緒言

現在、エネルギー消費量 (Energy Expenditure: EE) を測定する方法である二重標識水 (Doubly Labeled Water: DLW) 法は、フィールド法のゴールドスタンダードであり、精度・確度が高く、安全であり、被験者への制約が少ない方法であるために、乳児からアスリートのEE測定まで、様々な研究分野で用いられている。一方で、DLW法で算出されるEEは、測定期間中のEEを測定期間で除した平均の1日のEEであり、各日のEEやそれよりも短時間のEEを評価することはできず、日々の活動量の変動が大きいアスリートや労働者に対しては評価が不十分であると考えられる。しかし、近年、EEを算出する際に必要な生体サンプル中の同位体濃度を測定する機器の精度が向上したことにより、今まで不可能とされてきた3日未満の短期間および短時間のEE測定について検討できる可能性が考えられた。

そこで、本研究では、トレーニングにより日々の活動量に大きな変動がある競技選手を対象に、DLW法を用いて短期間および短時間のEEの測定を行い、それらの算出に必要な総体水分量 (Total Body Water: TBW)、安定同位体の減衰率 (k) および身体活動レベル (Physical Activity Level: PAL) の検討を行い、今後の方法論確立の基礎研究を行った。

II. 対象と方法

1. 被験者

被験者は、大学水泳部に所属する男女各2名の

計4名 (19-22歳) であった。被験者は健全なライフスタイルを有し、測定期間中は運動、食事、飲水、日常のライフスタイルのパターンを研究参加前と変えないよう指示した。また、実験に先立ち、被験者に研究内容を詳しく説明し、同意書に署名を得た者のみを対象とした。

2. 人体計測、身体組成、安静時代謝量の測定

人体計測は一般的な方法で測定し、身体組成 (TBW, 脂肪量:FM, 除脂肪量:FFM) はインピーダンス (Bioelectrical Impedance Analysis: BIA) 法により、多周波インピーダンス機器 (積水化学工業社, MLT-30) を用いて測定を行った。安静時代謝量 (Resting Energy Expenditure: REE) は、呼吸ガス分析器 (ミナト医科学社, AE-310s) を用いて行った。測定日は、朝食を摂取せずに実験室に来室させ、5分間の安静後に7分間のREEの測定を行い、Weirの式¹⁾によりREEを算出した (表1)。

表1 被験者の身体特性および安静時代謝量

	Subject A	Subject B	Subject C	Subject D
Sex	Female	Female	Male	Male
Age (yr)	19.7	20.3	22.8	20.9
Height (cm)	160.2	159.6	173.8	181.3
Body Mass (kg)	55.44	54.08	68.98	71.92
BMI (kg/m ²)	21.6	21.2	22.8	21.9
FM (kg)	13.7	9.4	13.5	13.5
FFM (kg)	41.7	44.6	55.4	58.4
TBW (kg)	30.3	36	39.4	39.8
REE (kcal/day)	1321	1206	1693	1758

3. エネルギー消費量の測定

エネルギー消費量の測定はDLW法を用いて行った。この方法は、安定同位体である二重標識水 (²H₂¹⁸O) を経口投与し、定期的に採取された尿中の重水 (²H) と酸素-18 (¹⁸O) の各安定同位

体濃度を分析し、間接的にEEを算出する方法である。

測定期間は8日間とし、実験初日をday0、8日目をday7とした。被験者は、day0の前日の午後8時から絶飲および絶食とし、就寝までは水のみを摂取可とした。day0は朝食を摂取せず、午前4時30分に実験室に来室し、その後ベースライン尿を採取し、午前5時に体重1kgにつき ^2H を0.04g/kg、 ^{18}O を0.20g/kgを経口投与した。また、測定期間は各被験者で異なり、被験者Aは5dayの9時まで、被験者Bは4dayの9時まで、被験者Cは7dayの9時まで、被験者Dは6dayの9時までであった。期間中は9時および21時に継続して採尿を行った。尿サンプル中の同位体濃度の分析は、同位体比質量分析計 (GV Instruments社、IsoPrime-MultiFlow) を用いて行い、この値からkを算出し、Schoellerら²⁾の式よりTBWと二酸化炭素排出量 (rCO_2) を、Weir¹⁾の式よりEEを算出した。これらの算出式を用いて、各被験者の最長の測定期間の平均のEE (Ave EE)、1dayの9時から3dayの9時までの2日間の平均の1日のEE (1-3day EE)、トレーニング時間を含む1dayの9時から2dayの9時までの1日のEE (Tr day EE)、トレーニング時間を含まない2dayの9時から3dayの9時までの1日のEE (Non-Tr day EE) を算出した。また、12時間毎のEEは1-3dayの各日の9時から21時の昼間のEE、21時から9時の夜間のEEをそれぞれ算出した。さらに、測定期間中に3-4時間の前後に採尿し、同時に、携帯型呼気ガス分析器 (Cortex社、METAMAX 3B) を用いて呼気ガスを採取した。これは、呼気ガス分析法を基準としてDLW法による3-4時間のEEの妥当性を検討するためであった。PALは1日のEEをREEで除すことにより算出した。

Ⅲ. 結果および考察

DLW法を用いて、1日、12時間および3-4時間のEEの評価を行ったところ、3-4時間のEEは、基準となる呼気ガス分析法によるEE (GAS-EE) と比較して誤差が200%以上と大きく、全てエラー値とした。また、12時間のEEはマイナス値をエラー値とした場合、エラー値率は44%であ

り、1日のEEは5%であった。このことから、現段階では3-4時間程度の短時間のEE測定は難しく、1日毎のEEは測定できる可能性があり、今後検討の余地があると考えられる。

これらの結果をうけ、短期間および短時間のEEの測定を可能とするために、上述されたEEのエラー値の要因の検討を行った。まず、 ^2H の減衰率 (k_h) および ^{18}O の減衰率 (k_o) を用いて、各同位体別にEEを算出し、検討を行った。片方のk値のみではEEは算出できないことから、 k_h と k_o の比を規定し、その比を用いて実測されたk値からもう一方のk値を推定した。この際に必要な比は、理論的範囲 ($0.4 < k_h/k_o < 0.9$) を考慮し、個人比および代表比の2つの比を規定した。個人比はエラー値がみられなかったAve EEを算出する際の個別の比であり、代表比は先行研究に示されている比の平均値である。結果、両方のk値で算出したEEよりも各k値によるEEのエラー値率は極めて小さい値を示した。このことから、エラー値の要因は各k値のエラーによるものではない可能性が考えられた。

また、マイナス値のみをエラー値と評価することはエラー値の評価としては不十分であると考えられるために、1日のEEから算出されるPALを用いてエラー値の評価およびその要因を検討した。PALの正常値と考えられる範囲を、 $1.21 < \text{PAL} < 2.50$ とした。これは報告されているPALの最低値³⁾と、通常トレーニング期におけるPALの上限値⁴⁾であり、この範囲外の値をエラー値とした。結果、両同位体によるEEよりも k_h を用いた個人比および代表比のEEはエラー値率が小さく、 k_h の代表比におけるEEはエラー値率が5%と最も小さい結果であった (表2)。また、これらのエラー値は、比が理論的範囲に含まれていることおよび k_h と k_o の比や差が先行研究の存在範囲に含まれているか否かの要因が大きく影響すると考えられた。これらのことから、 k_h と k_o の比や差が、精度よく分析および算出されていないために、エラー値を示したと考えられる。また、比を規定することができるならば、 ^2H のみを用いてEEの算出ができる可能性が考えられた。それによって、高価である ^{18}O を用いる必要がなく、

より安価な測定が可能となることが期待される。

以上の結果から、DLW法を用いて、1日程度の短期間のEEは測定ができる可能性があり、検討の余地がある。しかしながら、本研究で、個人の比を機器の精度に見合う程の精度で算出できなかったためにEEが正確に算出できなかったと考える。このため、機器の精度に見合う分析条件の改善が必要となる。今後再検討を行い、短時間および短期間のEEの測定法や k_{in} でEEを算出する測定法が確立することを目指す。これらが可能となった場合、エネルギー代謝研究の幅が広がり、測定にかかる費用が安価になるため、早急な研究課題であると考ええる。

表2 k_{in} により代表比を用いて算出した1日および3-4時間のEE (kcal)

	Subject A	Subject B	Subject C	Subject D
Ave EE	1868	1732	3214	2847
1-3day EE	1859	1960	3163	3526
Tr day EE	2132	2156	3667	4026
non-Tr day EE	1590	1750	2663	3047
3-4hours (DLW)	458	468	646	311
3-4hours (GAS)	338	588	849	911
Different (%)	35.7	-20.3	-23.8	-65.9

IV. 参考文献

- 1) Weir JB : New method for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism : Journal of Physiology, 109 (1-2), 1-9, 1949
- 2) Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y et al. : Energy expenditure by doubly labeled water : validation in humans and proposed calculation : American Journal of physiology, 250 (5), 823-830, 1986
- 3) Black AE, Coward WA, Cole TJ et al. : Human energy expenditure in affluent societies : an analysis of 574 doubly-labeled water measurements : European Journal of Clinical Nutrition, 50 (2), 72-92, 1996
- 4) 齋藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子ほか : 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 (6), 317-332, 1999

(指導教員 寺本圭輔)