

新たなエネルギー消費量の推定法に関する基礎的検討

研究分担者 勝川史憲

慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

【研究要旨】

日本人の食事摂取基準 2015 年版では、エネルギー摂取量と消費量のバランスの維持を表す指標として BMI を採用した。エネルギー摂取量は、食事アセスメントによる評価がきわめて困難である。一方、エネルギー消費量には、二重標識水法という gold standard の測定法があるが、コストの面で汎用が難しく、他の評価法の精度も現状では必ずしも十分とは言えない。このため、両者の収支バランスで規定され、現場で評価が容易な BMI と体重変化量に着目したものである。

近年、種々のウェアラブル端末が開発されている。これらの機器のうち、脈拍数計と、動揺の少ない頭部に装着する加速度計を組み合わせることで、エネルギー消費量を精度高く評価できる可能性がある。

今回は予備検討として、多段階運動負荷試験中の心拍数と酸素摂取量、二酸化炭素排泄量のデータを解析し、心拍数と酸素摂取量とエネルギー消費量が、とくに身体的フィットネスの高い者で良く相関することを明らかにした。今後、代謝チェンバーを用いて種々の運動強度からなる身体活動パターン下で、脈拍数、加速度とエネルギー消費量の比較を進めることとする。

エネルギー摂取量、消費量、体重の三者は互いに連動した動的平衡状態にあるので、たとえば、消費量と体重が評価できれば、より厳密な摂取量のコントロールが可能となる。

A. 背景と目的

日本人の食事摂取基準 2015 年版では、エネルギー摂取量と消費量のバランスの維持を表す指標として BMI と体重変化量を採用した。エネルギー摂取量は、食事アセスメントの誤差要因(日間変動、過小評価)のため、評価がきわめて困難である。一方、エネルギー消費量には、二重標識水法という gold standard の測定法があるが、コストの面で汎用が難しく、他の評価法の精度も現状では必ずしも十分とは言えない。このため、両者の収支バランスで規定され、現場で評価が容易な体重に着目したものである。

二重標識水法は、水素と酸素の安定同位体を摂取し、2週間の同位体の消失率の差から二酸化炭素排泄量を求め、これを用いてエネ

ルギー消費量を計算する方法である。一方、運動中の酸素摂取量は心拍数ときわめてよく相関することから、運動時のエネルギー消費量の推定には、心拍数が従来から用いられてきた¹⁾。

さて、近年、種々のウェアラブル端末が開発されている。これらの機器の中には、手首の脈波を感知する腕時計型の脈拍数計がある。こうした近年の脈拍数計は一般に加速度計も内蔵しており、加速度の情報も同時に得られるのが特徴である。また、加速度計では、従来の腰や胸、衣服のポケット等のほか、頭部に装着する端末が開発されつつある。頭部は、全身の部位の中でも動揺が少なく、身体の加速度を適切に評価可能である。これら腕時計型、眼鏡型のウェアラブル端末は長時間の装用に耐

え、両者を組み合わせると、心拍数による評価が難しい日常生活の安静～低強度の身体活動レベルのエネルギー消費量²⁻⁶⁾は主に加速度の情報を用い、より高い強度の運動中は心拍数を用いることで、flex-HR法⁶⁻⁸⁾とは異なるエネルギー消費量の評価が可能となる。

種々の運動強度からなる身体活動パターン下で、これらの端末から得られる脈拍数、加速度を持続的に測定し、実際のエネルギー消費量と比較することで、今後、エネルギー消費量評価の精度が増す可能性がある。今回はその予備検討として、多段階運動負荷試験中の心拍数と酸素摂取量、二酸化炭素排泄量のデータを解析し、心拍数によるエネルギー消費量の精度、およびこれに影響する因子を検討した。

B. 方法

男性18名(表1)のトレッドミル同一プロトコル(表2)下の症候限界性多段階運動負荷試験のデータを用いた。運動強度が低強度から高強度(30%~90%VO₂reserve)の範囲で、心拍数と、酸素摂取量およびエネルギー消費量のPearson相関係数を求めた。また、運動負荷試験のピーク酸素摂取量と相関係数の関係について評価した。

表1. 対象

例数	18
性別	男性
年齢(歳)	43 ± 8
身長(m)	171.9 ± 6.4
体重(kg)	70.2 ± 7.7
ピーク酸素摂取量(ml/kg/分)	43.7 ± 6.5

(平均 ± 標準偏差)

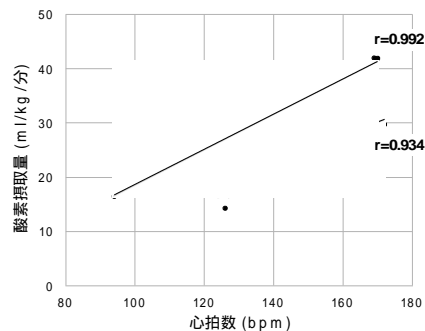
表2. トレッドミル多段階運動負荷のプロトコル (KEIO-senior)

ステージ	時間(分)	速度(m/分)	傾斜(度)
1	2	80	1.5
2	2	100	1.5
3	2	120	1.5
4	2	140	1.5
5	2	160	1.5
6	2	180	1.5
7	2	200	1.5
8	2	200	3.0
9	2	200	4.5
10	2	200	6.0

C. 結果ならびに考察

心拍数と酸素摂取量の相関係数は、0.935~0.992(0.978 ± 0.015)の範囲にあった。図1に2症例のデータを示す。また、心拍数とエネルギー消費量の相関係数は、0.950~0.999(0.982 ± 0.013)の範囲にあり、1例を除き心拍数との相関係数よりわずかに大きくなった。

図1. 多段階運動負荷30~90%VO₂Rでの心拍数と酸素摂取量



これらの相関係数とピーク酸素摂取量の関係を図2、3に示す。ピーク酸素摂取量が低い(体力レベルの低い)者で、総相関係数が小さくなる傾向を認めたが、こうした者でも心拍数と酸素摂取量、エネルギー消費量はよい相関を認めた。相関係数が小さくなる要因の1つは、多段階運動負荷の低強度の運動中のデータのばらつきであり(図1)、これは運動負荷プロトコルが同一のため、体力レベルの低い者で、初期ステージの運動負荷に十分適応できなかった可能性も考えられた。

図2. ピーク酸素摂取量と心拍数vs.酸素摂取量の相関係数 (n=18)

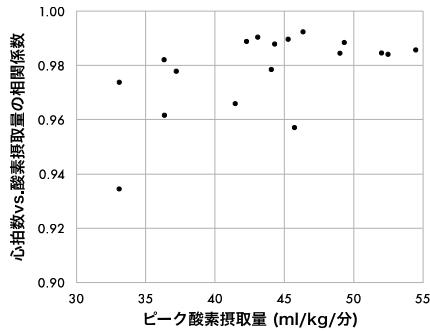
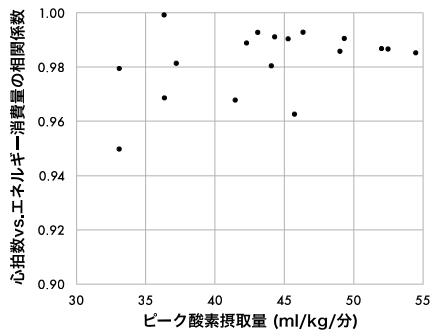


図3. ピーク酸素摂取量と心拍数vs.エネルギー消費量の相関係数



今回のトレッドミル運動負荷試験中の心拍数と酸素摂取量、エネルギー消費量はいずれもよい相関を認めた。しかし一般には、心拍数法は間欠的な身体活動のエネルギー消費量を過大評価すること⁹⁾、より低強度の身体活動下のエネルギー消費量の変動を正確に反映できないこと²⁻⁶⁾が指摘されている。これは、安静～低強度活動時には、心理状態などにより酸素摂取量の大きな増加を伴わずに心拍数が増大するなどの原因による。また、中強度以上の運動では1回拍出量はほぼ一定で、心拍出量の増加は心拍数の増加に由来するが、これを下回る運動強度では、心拍出量の増加が1回拍出量と心拍数、両者の増加に依存することも誤差の要因となる。ウェアラブル端末を用いて心拍数と加速度を同時評価することで、今後、こうした問題の一部が解決され、エネルギー消費量測定精度が確保できる可能性がある。

D. 結語

エネルギー摂取量、消費量、体重の三者は互いに連動した動的な平衡状態にあるので、たとえば、消費量と体重が正確に評価できれば、より厳密な摂取量のコントロールが可能となる。今後、種々の運動強度からなる身体活動パターン下で、脈拍数、加速度とエネルギー消費量の比較を進めることとする。同一個人でも環境温度・湿度等のストレスにより心拍応答は変わる¹⁰⁾ため、代謝チェンバー内で環境温度・湿度の条件を変えて計測することも考慮したい。

E. 参考文献

- 1) Ekelund U et al.: Energy expenditure assessed by heart rate and doubly labeled water in young athletes. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1360-1366, 2002.
- 2) Schulz S et al.: Comparison of energy expenditure by the doubly labeled water technique with energy intake, heart rate, and activity recording in man. *Am J Clin Nutr* 49: 1146-1154, 1989.
- 3) Davidson L et al.: Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *Br J Nutr* 78: 695-708, 1997.
- 4) Rafamantanatsoa HH et al.: Validation of three alternative methods to measure total energy expenditure against the doubly labeled water method for older Japanese men. *J Nutr Sci Vitaminol* 48: 517-523, 2002.
- 5) Ainslie PN et al.: Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labeled water. *Sports Med* 33: 683-698, 2003.
- 6) Leonard WR: Measuring human energy expenditure: What have we learned from

- the flex-heart rate method? Am J Hum Biol
15: 479-489, 2003.
- 7) Spurr GB et al.: Energy expenditure from
minute-by-minute heart-rate recording:
comparison with indirect calorimetry. Am J
Clin Nutr 48: 552-559, 1988.
 - 8) Spurr GB et al.: Daily pattern of %VO₂max
and heart rates in normal and
undernourished school children. Med Sci
Sports Exerc 22: 643-652, 1990.
 - 9) Achten J et al.: Heart rate monitoring:
applications and limitations. Sports Med
33: 517-538, 2003.
 - 10) Sirad JR et al.: Physical activity assessment
in children and adolescents. Sports Med
31: 439-454, 2001.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的所有権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし