

運動量の概算法に及ぼす年齢・肥満の問題

聖マリアンナ
医科大学 小林 康 孝

(共同研究者) 同 吉岡 利 忠

日本体育大学 安納 弘 道

同 清田 寛

The Effects of Age and Obesity on Net Energy Expenditure Estimated from Distance and Body Weight

by

Yasutaka Kobayashi, Toshitada Yoshioka

Department of Physiology, St. Marianna University

School of Medicine

Hiromichi Anno, Hiroshi Kiyota

Nippon College of Physical Education

ABSTRACT

We recommended the following formula to calculate a net energy expenditure (that is, excluding resting metabolism) in 1989.

- 1) walking exercise (kcal) = distance (km) × body weight (kg)
× 1 / 2
- 2) running exercise (kcal) = distance (km) × body weight (kg)
- 3) aerobic exercise (kcal) = HR (beats/min) × time (min)
× constant

$$\text{constant} = \text{METS}_{\max} \times \text{body weight (kg)} \times 0.015 / \text{HR}_{\max}$$

$$\text{HR}_{\max} = -0.8 \times \text{age} + 216$$

In this paper, the significant effects of age and obesity on the energy estimating formula were observed in males, aged 9 ~ 45 years and 9.1 ~ 31.6% of body fat. The summary of the results is shown

below :

1) At a slower walking speed than the mean speed (70 m/min) in adults, the measured net energy expenditure was in accordance with the estimated value because the oxygen requirement was approximately $0.1 \text{ ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}$. At a faster walking speed, the net energy expenditure was higher (+ 20 kcal/4 km walk) than the estimated value.

2) Concerning the measured walk in child (10 year—old males) although oxygen requirement that was measured $0.138 \text{ ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}$ was higher than that in adult, the net energy expenditure difference between the measured and the estimated was equal in adults because of children's light weight.

3) The effects of body mass and obesity on estimated net energy expenditure were not observed during walking.

4) The net energy expenditure during running was higher + 10 kcal/4 km run (+ 7 %) than the estimated value for children only. Whereas, at a higher running speed than the mean speed (110 m/min) in adults, the energy expenditure was in accordance with the estimated value because the oxygen requirement was approximately $0.2 \text{ ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}$. At a slower running speed, the energy expenditure was lower - 20 kcal/4 km run (- 7 %) than the estimated value.

5) Though the effect of obesity on the estimated energy expenditure was not observed during running, the phenomenon that net energy expenditure was lower than the estimated value at slower running was notable according to the increase of body mass.

6) We calculated A value ($\text{net energy} = \text{HR}_{\text{ex}} \cdot \text{time} \cdot \text{METS}_{\text{max}} \cdot \text{body weight} \cdot A / \text{HR}_{\text{max}}$) to estimate energy expenditure using heart rate. A value in adult and child is 0.015 and 0.013, respectively, except for using $A/2$ at under 50 % HR_{max} of work intensity.

7) The constant value of energy estimating formula will be clearly evident from the results in this paper. If the running speed and heart rate are measured at a steady speed of 150 m/min, the next formula can be used.

$$\text{constant} = 0.193 (\text{ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}) \times 0.005 (\text{kcal/ml } O_2) \times \text{running speed (m/min)} \times \text{body weight (kg)} / \text{HR}_{\text{ex}} (\text{beats/min})$$

要 旨

運動強度×運動時間＝運動量が成立する。一方、運動強度は歩行速度・走速度に比例することから、運動量の簡易な算出法を、つぎのように提案した(1989年)。

1. 運動量(除く安静時代謝, kcal)

$$= \text{歩行距離 (km)} \times \text{体重 (kg)} / 2$$

2. 運動量(除く安静時代謝, kcal)

$$= \text{走距離 (km)} \times \text{体重 (kg)}$$

今回、この概算法に及ぼす年齢および肥満の影響を観察する目的で、9～45歳、9.1～31.6%脂肪の成人を被験者に、3段階の歩行速度および走速度を負荷したところ、つぎの結果が得られた。

1) 成人の歩行においては、平均歩行速度(70 m/分)以下での酸素需要量が、0.1 ml O₂/kg・mに近似することより概算値と一致し、歩行速度が速くなると、概算値よりも+20 kcal/4 km歩行となった。基礎代謝量の高い児童では、歩行時の酸素需要量は0.138 ml O₂/kg・mと、成人より高値となったが、体重が軽いことにより、概算値との差は成人と同じく+20 kcal/4 km歩行となった。また、歩行においては、概算値に及ぼす体重および肥満の影響は観察されなかった。

2) 成人の走運動においては、平均走速度(110 m/分)以上での酸素需要量が、0.2 ml O₂/kg・mに近似することより概算値と一致し、走速度が遅くなると、概算値よりも-20 kcal/4 km走(-7%)とわずかに低下した。この現象は、体重の重い人ほど顕著であった。また、基礎代謝量の高い児童の走運動では、概算値よりも+10 kcal/4 km走(+7%)となった。

心拍数より運動量を概算する場合には、次式を提案した(1989年)。

3. 運動量(除く安静時代謝, kcal)

$$= \text{運動時心拍数 (拍/分)} \times \text{時間 (分)} \times \text{定数}$$

$$\text{定数 (kcal/拍)} = \text{METS}_{\text{max}} \times \text{体重 (kg)} \times A / \text{最大心拍数 (拍/分)}$$

今回の歩行・走運動および自転車エルゴメータ運動より、つぎの結果が得られた。

1) A値は、成人では0.015、児童(10歳)では0.013と固定できた。しかし、50% HR_{max}以下の運動ではA/2と算出された。

2) 心拍数より運動量を概算する定数は、成人では、走速度約150 m/分の定常状態の走速度と、心拍数を計測することにより算出される。

$$\begin{aligned} \text{定数} &= 0.193 \text{ (ml O}_2\text{/kg} \cdot \text{m)} \times 0.005 \text{ (kcal} \\ &\quad \text{/ml O}_2\text{)} \times \text{走速度 (m/分)} \\ &\quad \times \text{体重 (kg)} / \text{運動時心拍数 (拍/分)} \end{aligned}$$

緒 言

体重を、5 kg減らしたいと望む中高年者に対して、運動専門家は、どのような助言ができるのであろうか。私たちは、つぎのように考えている。

1. 中高年になっての体重増加は、脂肪の沈着と考えられるから、脂肪5 kgのエネルギー=5,000 g×0.82(脂肪量/湿重量)×9 kcal/gとなる。

2. 脂肪5 kgのエネルギー/365日≒100 kcal/日となる。したがって、毎日100 kcalの運動を現在の生活に加えると、1年間で5 kgの減量に成功する。

3. では、100 kcalの運動はどのようにしたらよいのか。運動量(kcal)の算出には、次式を用いる。1)歩行時の運動量(kcal)=歩行距離(km)×体重(kg)/2, 2)走運動時の運動量(kcal)=走距離(km)×体重(kg)

4. 歩行距離や走距離の概算ができない場合には、心拍数を利用する。運動量(kcal)=運動時心拍数(拍/分)×運動時間(分)×定数(kcal/拍)[定数=METS_{max}×体重(kg)×0.015/最大心拍数(拍/分)]

このように、運動量を簡易に把握できること

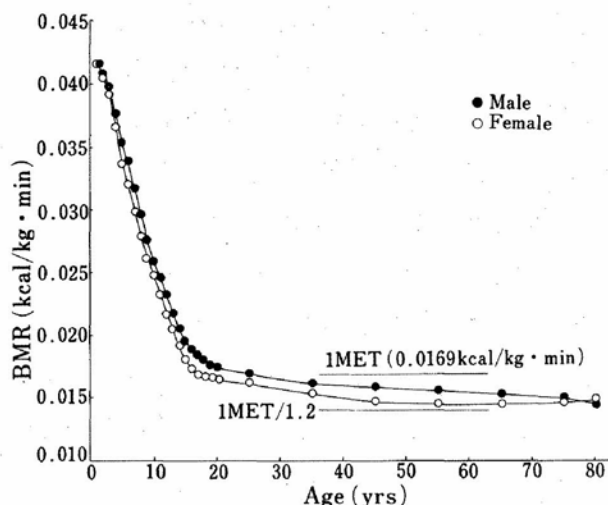


図1 Basal metabolic rate (BMR) as a function of age and gender.

Resting metabolic rate (RMR)

= 1 MET

= BMR × 1.2

が、運動の習慣化に役立つことを「運動処方で終わることなく運動習慣へと発展させる具体策」(デサントスポーツ科学, Vol.10)⁸⁾に報告した。

上記の運動量の概算法では、安静時代謝量を除く工夫がしてあり、現在の生活習慣を変えずに、付加する運動だけを提示することができる。しかし、この運動量を算出する際の酸素需要量や、 $\dot{V}O_{2max}/\%HR_{max}$ 値には、アメリカスポーツ医学協会の提案値⁹⁾を用いてあり、年齢の影響や肥満者の適用範囲の問題は未解決である。

そこで、基礎代謝量(図1)⁹⁾の異なる世代を被験者として、運動量の概算法に及ぼす年齢の問題を検討することにした。同様に、成人の肥満者を被験者として、運動量の概算法に及ぼす肥満の問題も検討した。

実験1 歩行における酸素需要量(除く安静時代謝)の測定

実験2 走運動における酸素需要量(除く安静時代謝)の測定

1. 方 法

1.1 被験者

歩行・走運動における、酸素需要量に及ぼす年齢の影響を観察するために、基礎代謝量の異なる、10歳代(5名)、20歳代(4名)、40歳代(4名)の健常男子を被験者とした。それぞれの年齢と体重は、9～10歳(小学校3年生); 27～39.5 kg (平均 34.0 ± 4.5 kg), 21～25歳; 66～94 kg (平均 76.4 ± 12.2 kg), 40～45歳; 68～83 kg (平均 72.3 ± 7.9 kg) である。また、歩行・走運動における酸素需要量に及ぼす、肥満の影響を観察するために、20歳代および40歳代には肥満者も含めた。

1.2 肥満度の算出

栄研式の皮下脂肪計により、上腕背側部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚値(mm)を測定し、体密度を予測し[19歳以上の男子, $D = 1.0913 - 0.00116 X$, D : 体密度, X : 皮下脂肪厚(上腕背側部+肩甲骨下部)]¹²⁾, 体密度より体脂肪率を算出した[脂肪/体重(%) = $(4.570 / D - 4.142) \times 100$]³⁾。

1.3 歩行速度

歩行速度を3段階(80, 100, 120歩/分)に規定し、メトロノームの音に合わせて、グラウンドおよび廊下を歩行させた。歩行時間は80歩/分で5分間, 100歩/分で4分間, 120歩/分で4分間と継続させ、各負荷の終了2分間の呼気ガスを採集した。このガス採集時に、150 mの歩行時間を計測し、歩行速度を算出した。

1.4 走速度

定常状態が維持される範囲で、「ゆっくり」「普通」「やや速め」の3段階の走速度を規定した。走時間は「ゆっくり」で3分間+150 m, 「普通」で2分間+150 m, 「やや速め」で2分間+150 mと継続させ、各負荷における150 m走時の呼気ガスを採集した。歩行速度と同様に、最後の150 mの

走時間を計測し、走速度を算出した。

1.5 実験手順

1) 食後2時間以上であることと、実験当日の運動制限を被験者に義務づけ、心電図送信用に電極（胸部双極誘導）と、呼気ガス採集用にマスクを装着した。2) 座位安静を30分間とらせた後、ダグラスバック法により、5分間の安静時呼吸を採集した。3) 3段階の歩行を実施させ、ガス採集および心電図を記録した。4) 3段階の走運動を実施させ、ガス採集および心電図を記録した。5) 呼気ガス分析には、自動ガス分析器（Respina IH 26, 三栄測器）を用い、心拍数は記録した心電図より算出した。

2. 結 果

2.1 歩行距離による運動量の概算

2.1.1 酸素需要量/速度に及ぼす歩行速度の影響

酸素需要量（除く安静時代謝）を、歩行速度で割ることにより、1 mの体重移動に要する酸素需要量 ($\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$) を求め、この値と歩行速度との関係を図2に示した。いずれの年代においても、酸素需要量は歩行速度とは無関係に、ほぼ

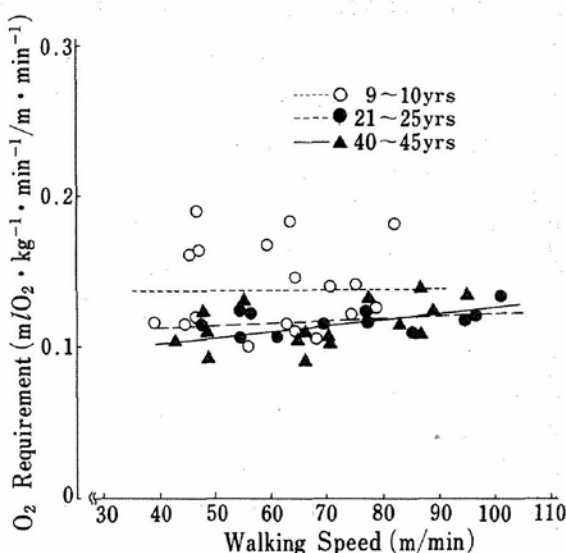


図2 Relationship between oxygen requirement and speed of horizontal walking in different aged men.

一定値が示された（10歳； ~ 59 (60 $\sim$) $\text{m}/\text{分}$ では 0.140 ± 0.032 (0.135 ± 0.027) $\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$, 20歳代； ~ 69 (70 $\sim$) $\text{m}/\text{分}$ では 0.114 ± 0.007 (0.120 ± 0.008) $\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$, 40歳代； ~ 69 (70 $\sim$) $\text{m}/\text{分}$ では 0.107 ± 0.013 (0.119 ± 0.014) $\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$).

2.1.2 酸素需要量/速度に及ぼす年齢の影響

同一歩行速度における酸素需要量 ($\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$) を、年齢で比較すると、10歳が成人よりも高値を示した（図2）。各世代共通の歩行速度39 $\sim$ 85 $\text{m}/\text{分}$ の平均酸素需要量は、10歳； 0.138 ± 0.029 , 20歳代； 0.116 ± 0.007 , 40歳代； 0.109 ± 0.013 $\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$ であり、10歳と40歳代では有意差 ($P < 0.01$) が認められた。

2.1.3 概算値に及ぼす歩行速度・年齢の影響

4 km 歩行を例に、実測の運動量（除く安静時代謝, kcal）と概算値＝歩行距離（4 km） $\times$ 体重（kg）/ 2との差 ($\Delta \text{net energy}$) を歩行速度70 (10歳；60) $\text{m}/\text{分}$ で2分し比較した（図3）。平均以上の歩行速度では、年齢に無関係に、概算値より実際の運動量の方が+22 $\sim$ +25 kcal/4 km 歩行の高値となった。

一方、平均以下の歩行速度では、加齢とともに概算値と近似し、40歳代では概算値とほぼ一致した（+2 kcal/4 km 歩行）。しかし、この歩行速度の違いによる $\Delta \text{net energy}$ には、いずれの年

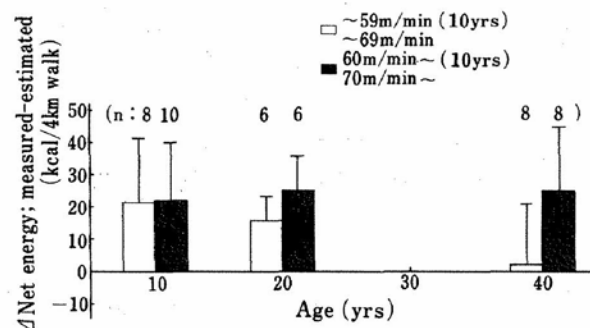


図3 $\Delta \text{Net energy}$ expenditure (=measured-estimated) walking on the level at different speeds.

代においても有意差が認められなかった。

2.1.4 概算値に及ぼす体重の影響

歩行速度と酸素需要量/歩行速度(図2)において、20歳代と40歳代には有意差が認められなかった。20歳代以上をまとめて、体重と Δ net energy/4km歩行との関係を求めた(図4)。

体重60、70kgのいずれにおいても、平均以下の歩行速度では、概算値より実際の運動量の方が+13~+11kcal/4km高値となり、さらに、平均以上の歩行速度では+27~+26kcal/4kmと増加した。このように、体重とは無関係に、歩行速度が速いほど Δ net energyが大きくなる

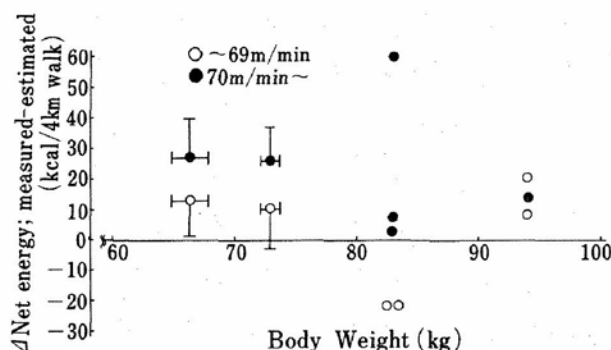


図4 Relationship between Δ net energy expenditure (= measured - estimated) and body weight measured at different walking speeds.

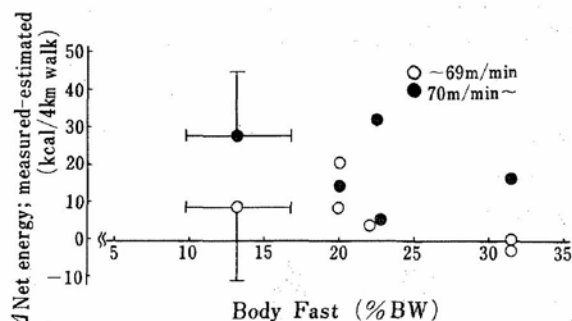


図5 Relationship between Δ net energy expenditure (= measured - estimated) and body fat measured at different walking speeds.

傾向はあるものの、有意差は認められなかった。この結果に、83kg、94kgの測定結果を考慮しても、概算値に及ぼす体重の影響は見い出せなかった。

2.1.5 概算値に及ぼす肥満の影響

体重と Δ net energy/4km歩行の関係(図4)と同様に、20歳以上における体脂肪量と Δ net energy/4km歩行の関係を図5に示した。体脂肪量9.1~18.8(平均13.2)%の肥満(-)群では、歩行速度が速いほど、概算値と実際の運動量との差は有意に増加した(平均以下の歩行速度; +9, 平均以上の歩行速度; +28kcal/4km, $P < 0.05$)。

この結果に体脂肪20.0, 22.4, 31.6%の結果を考慮すると、肥満者ほど実際の運動量が概算値に近づき、その傾向は平均以下の歩行速度において顕著となった。

2.2 走距離による運動量の概算

2.2.1 酸素需要量/速度に及ぼす走速度の影響

歩行と同様に、酸素需要量(除く安静時代謝)を走速度で割ることにより、1mの体重移動に要する酸素需要量($\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{m}$)を求め、この値と走速度との関係を図6に示した。歩行と同様

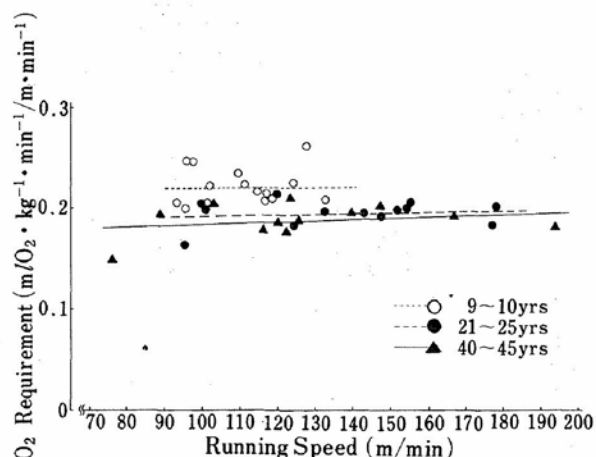


図6 Relationship between oxygen requirement and speed of horizontal running in different aged males.

に、いずれの年代においても酸素需要量は、走速度とは無関係にほぼ一定値が示された〔10歳； ~ 109 (110 $\sim$) m/分では 0.222 ± 0.020 (0.220 ± 0.018) ml O_2 /kg $\cdot$ m, 20歳代； ~ 124 (125 $\sim$) m/分では 0.192 ± 0.020 (0.196 ± 0.007) ml O_2 /kg $\cdot$ m, 40歳代； ~ 124 (125 $\sim$) m/分では 0.184 ± 0.020 (0.190 ± 0.008) ml O_2 /kg $\cdot$ m〕。

2.2.2 酸素需要量/速度に及ぼす年齢の影響

同一走速度における、酸素需要量 (ml O_2 /kg $\cdot$ m) を年齢で比較すると、歩行と同様に10歳が成人よりも高値を示した(図6)。各世代共通の走速度90 $\sim$ 140 m/分の平均酸素需要量は、10歳； 0.221 ± 0.018 , 20歳代； 0.192 ± 0.018 , 40歳代； 0.190 ± 0.013 ml O_2 /kg $\cdot$ mであり、10歳と20歳代・40歳代では有意差 ($P < 0.001$) が認められた。

2.2.3 概算値に及ぼす走速度・年齢の影響

歩行と同様に、4 km 走を例に、実際の運動量(除く安静時代謝)と概算値=走距離(km) $\times$ 体重(kg)との差(Δ net energy)を、走速度125 (10歳；110) m/分で2分し比較した(図7)。10歳では、走速度とは無関係に、概算値より実際の運動量の方が、 $+10 \sim +9$ kcal/4 km 高値となった。

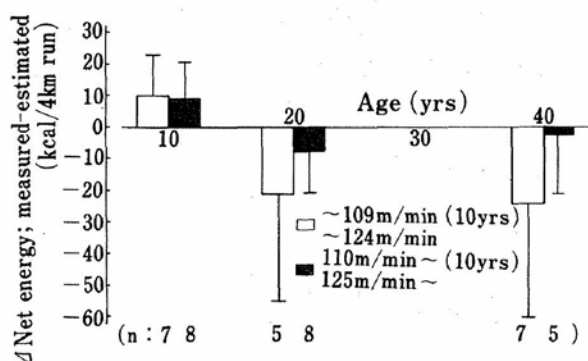


図7 Δ Net energy expenditure (=measured-estimated) running on the level at different speeds.

一方、20歳代以上では逆に、実測値の方が低く、概算値との差は、平均以下の走速度で $-21 \sim -24$ kcal/4 km, 平均以上の走速度で $-8 \sim -3$ kcal/4 km と走速度が速いほど概算値に近づくものの、両者間には有意差を認めなかった。平均以上の走速度では、10歳代と20歳代の Δ net energy に有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

2.2.4 概算値に及ぼす体重の影響

走速度と酸素需要量/走速度(図6)において、20歳代と40歳代には有意差が認められなかった。歩行と同様に20歳代以上をまとめて、体重と Δ net energy/4 km 走との関係を求めた(図8)。平均以下の走速度では、概算値より実際の運動量の方が60 kg 代； $+11$, 70 kg 代； -14 kcal/4 km となり、体重増加にしたいが、実際の運動量が低値となる傾向はあるものの、有意差は認められなかった。しかし、この結果に83 kg, 94 kg の測定結果を考慮すると、平均以上の走速度の場合には、概算値に対する体重の影響は少ないが、平均以下の走速度の場合には、体重が重い人ほど、実際の運動量は概算値より低下する傾向が見い出せた。

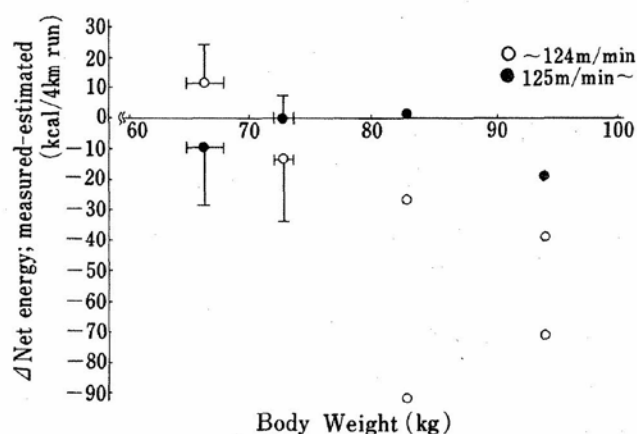


図8 Relationship between Δ net energy expenditure (= measured - estimated) and body weight measured at different running speeds.

2.2.5 概算値に及ぼす肥満の影響

体重と $\Delta \text{net energy} / 4 \text{ km}$ 走の関係 (図 8) と同様に, 20 歳以上における体脂肪量と $\Delta \text{net energy} / 4 \text{ km}$ 走の関係を図 9 に示した. 体脂肪量 9.1 ~ 18.8 (平均 13.2) % の肥満 (—) 群では, 歩行とは逆に, 走速度が遅いほど概算値と実際の運動量との差は増加したが, 有意差は認められなかった (平均以下の走速度; -23, 平均以上の走速度; -5 kcal / 4 km 走). この結果に体脂肪 20.0, 22.4, 31.6% の結果を考慮しても, 概算値に与える肥満の影響は見い出せなかった.

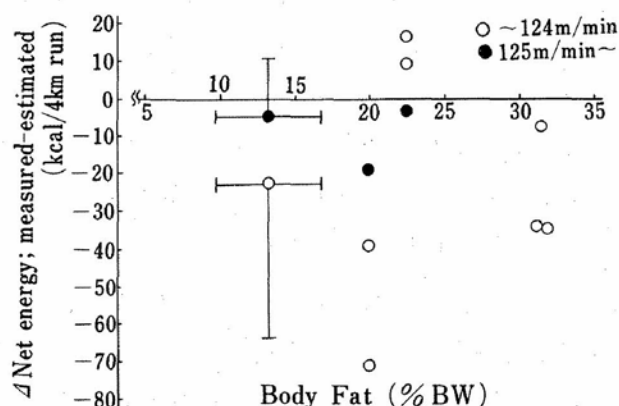


図 9 Relationship between $\Delta \text{net energy}$ expenditure (= measured - estimated) and body fat measured at different running speeds.

実験 3 自転車エルゴメータ運動における酸素需要量 (除く安静時代謝) の測定

3. 方 法

3.1 被験者

自転車エルゴメータ運動時の酸素摂取量と, 心拍数の関係を求めるために, 実験 1・2 の 10 歳の被験者の代わりに, 18 ~ 23 歳の健常男子 5 名を加えた. また, 肥満者を除いたため, 被験者は, 年齢; 18 ~ 45 歳, 体重; 50 ~ 83 kg の 10 名となった.

3.2 運動負荷法

自転車エルゴメータ (モナーク社) を用い, 負荷漸増法により, 最大酸素摂取量を実測した. 自転車の回転数を 60 回 / 分に固定させ, 第 1 段階は 1.5 kp または 2 kp を 4 分間, 第 2 段階からは 0.5 または 1 kp を加え, 3 分間継続させ, 運動時心拍数の定常状態が, 最低でも 3 段階が得られるよう, 負荷量を決めた. 最終的には 5 段階までに, 最大心拍数・最大酸素摂取量が得られるようにした. なお, 各負荷時の最終 1 分間の呼気ガスを採集し, 運動終了近くでは, 1 分ごとの連続採気を行った.

3.3 実験手順

実験 1・2 の手順に準じた.

3.4 走運動における最大酸素摂取量の推定

実験 2 より, 走運動の酸素摂取量と心拍数の関係式を求め, 自転車エルゴメータ運動時の最大心拍数の外挿法により, 走運動における最大酸素摂取量を推定した.

4. 結 果

4.1 心拍数を用いた運動量の概算

4.1.1 $\% \dot{V}_{O_{2 \max}}$ と $\% HR_{\max}$ との関係

自転車エルゴメータ運動時の, 各自の $\% \dot{V}_{O_{2 \max}}$ と $\% HR_{\max}$ との関係式を算出した後, 被験者 10 人の平均値を求め, 図 10 に示した. 60, 90% $HR_{\max}$ はそれぞれ 43.8, 85.9% $\dot{V}_{O_{2 \max}}$ であり, $\% \dot{V}_{O_{2 \max}} / \% HR_{\max}$ は 60, 90% $HR_{\max}$ で 0.73, 0.95 と運動強度とともに上昇することが判明した.

実験 1・2 の歩行・走運動の結果を図 10 に加え, 自転車エルゴメータ運動と対比した. 成人の走運動では, $\% \dot{V}_{O_{2 \max}}$ と $\% HR_{\max}$ の関係が $y=x$ に近づき, 60, 85% $HR_{\max}$ はそれぞれ 55.2, 85.0% $\dot{V}_{O_{2 \max}}$ となり, $\% \dot{V}_{O_{2 \max}} / \% HR_{\max}$ は同様に 0.92, 1.0 となった.

一方, 最大心拍数 = 220 - 年齢より 10 歳の最大酸素摂取量を推定した際の走運動では, 成人の

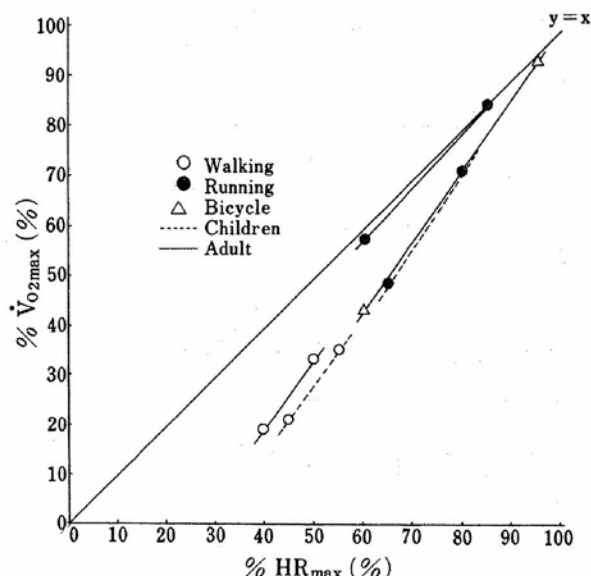


図10 Relationship between $\%HR_{max}$ and $\% \dot{V}O_{2max}$ measured during walking, running and cycling.

自転車エルゴメータ運動と類似の結果が得られた。さらに、 $55\% HR_{max}$ 以下の運動強度である歩行では、 $\% \dot{V}O_{2max} / \%HR_{max}$ は、10歳； $35.4\% / 55\% = 0.64$ ，成人； $33.5\% / 50\% = 0.67$ とほぼ近似値が得られた。

4.1.2 各種運動における換算係数

$$\begin{aligned} & \text{net energy (除く安静時代謝, kcal)} \\ &= (\text{METS}_{max} \times \% \dot{V}O_{2max} \text{ 値} / 100 - 1) \\ & \quad \times \text{体重 (kg)} \times \text{時間 (分)} \times 3.5 (\text{ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{分}) \times 0.005 (\text{kcal} / \text{ml O}_2) \\ &= \left\{ \text{MET}_{max} \times \frac{HR_{ex}}{HR_{max}} \times \frac{\% \dot{V}O_{2max}}{\%HR_{max}} - 1 \right\} \\ & \quad \times \text{体重 (kg)} \times \text{時間 (分)} \\ & \quad \times 0.0175 (\text{kcal} / \text{kg} \cdot \text{分}) \\ &= HR_{ex} \times \text{時間 (分)} \times \text{MET}_{max} \times \text{体重 (kg)} \\ & \quad \times \frac{1}{HR_{max}} \times 0.0175 (\text{kcal} / \text{kg} \cdot \text{分}) \\ & \quad \times \left(\frac{\% \dot{V}O_{2max}}{\%HR_{max}} - \frac{1}{\text{MET}_{max}} \times \frac{HR_{max}}{HR_{ex}} \right) \\ &= HR_{ex} \times \text{時間 (分)} \times \text{MET}_{max} \times \text{体重 (kg)} \\ & \quad / HR_{max} \times A (\text{kcal} / \text{kg} \cdot \text{分}) \end{aligned}$$

ただし、

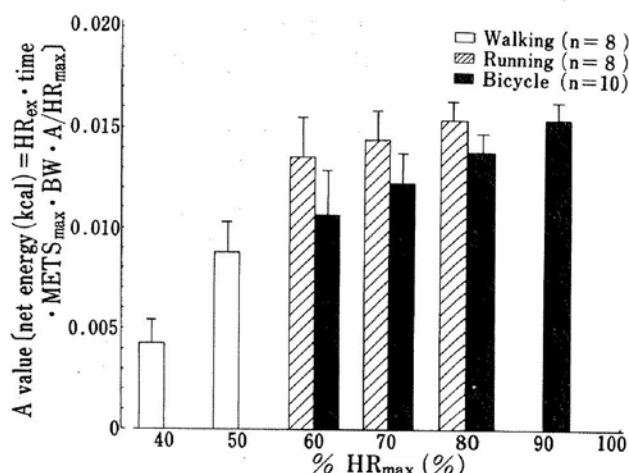


図11 Relationship between A value [net energy (kcal) = $HR_{ex} \cdot \text{time} \cdot \text{MET}_{max} \cdot \text{BW} \cdot A / HR_{max}$] and work intensity measured during walking, running and cycling.

$$A = 0.0175 \times \left(\frac{\% \dot{V}O_{2max}}{\%HR_{max}} - \frac{1}{\text{MET}_{max}} \times \frac{HR_{max}}{HR_{ex}} \right)$$

自転車エルゴメータ運動における A 値を算出して図 11 に示した。A 値は $\% \dot{V}O_{2max} / \%HR_{max}$ 値 (図 10) を反映して、運動強度で異なり、 $60\% HR_{max}$; 0.011, $70\% HR_{max}$; 0.012, $80\% HR_{max}$; 0.014, $90\% HR_{max}$; 0.015 と、 $70\% HR_{max}$ 以上では、順次有意 ($P < 0.01$) な増加を示した。一方、実験 1・2 の歩行・走運動における 4 km 歩行・走の net energy より A 値を算出して、図 11 に加え、自転車エルゴメータ運動と対比した。走運動の A 値は、自転車エルゴメータ運動と同様に $\% \dot{V}O_{2max} / \%HR_{max}$ の影響を強く受け (図 10), $60\% HR_{max}$; 0.014, $80\% HR_{max}$; 0.015 と有意 ($P < 0.05$) な増加を示した。

また、同一運動強度では、走運動の A 値が、自転車エルゴメータ運動の場合よりも、常に大となったが、運動強度の低い歩行では、A 値が著しく低下した。10 歳代に METS を用いるのは適切ではないが (図 1), $\dot{V}O_{2max} (\text{ml O}_2 / \text{分}) = \text{MET}_{max} \times 3.5 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{分} \times \text{体重 (kg)}$ より $\dot{V}O_{2max} / 3.5 = \text{MET}_{max} \times \text{体重}$ と 4 km 歩行・走運動の net energy を用いて A 値を算出し、成人

表 1 Comparison of A value in children and adults measured during walking (A) and running (B).

A. Walking

$\% \text{ HRmax}(\%)$ Age(yrs)	40	45	50
9~10 (n= 5)		0.0039 ± 0.0016	0.0057 ± 0.0017
21~45 (n= 8)	0.0043 ± 0.0011	0.0062 ± 0.0012	0.0088 ± 0.0015

B. Running

$\% \text{ HRmax}(\%)$ Age(yrs)	60	70	80
9~10 (n= 5)		0.0115 ± 0.0022	0.0133 ± 0.0010
21~45 (n= 8)	0.0136 ± 0.0020	0.0145 ± 0.0014	0.0154 ± 0.0010

表 2 Basal metabolic rate (BMR) and resting metabolic rate (RMR) as a function of age and gender.
RMR=BMR $\times$ 1.2

A. Male

Age (yrs)	BMR		RMR
	kcal/kg $\cdot$ min	kcal/65kg $\cdot$ day	kcal/65kg $\cdot$ day
7	0.032	3,000	3,600
8	0.030	2,800	3,300
9	0.028	2,600	3,100
10	0.026	2,400	2,900
11	0.025	2,300	2,800
12	0.023	2,200	2,600
13	0.022	2,000	2,400
14	0.021	1,900	2,300
15	0.020	1,800	2,200
16	0.019	1,800	2,100
17	0.018	1,700	2,100
18 $\cdot$ 19	0.018	1,700	2,000
20	0.017	1,600	2,000
20~29	0.017	1,600	1,900
30~59	0.016	1,500	1,800
60~79	0.015	1,400	1,700
80~	0.015	1,400	1,600

B. Female

Age (yrs)	BMR		RMR
	kcal/kg $\cdot$ min	kcal/55kg $\cdot$ day	kcal/55kg $\cdot$ day
7	0.030	2,400	2,800
8	0.028	2,200	2,700
9	0.026	2,100	2,500
10	0.025	2,000	2,300
11	0.023	1,800	2,200
12	0.022	1,700	2,100
13	0.020	1,600	1,900
14	0.020	1,500	1,800
15	0.018	1,400	1,700
16	0.017	1,400	1,600
17 $\cdot$ 18 $\cdot$ 19	0.017	1,300	1,600
20	0.016	1,300	1,600
20~29	0.016	1,300	1,500
30~39	0.015	1,200	1,500
40~	0.015	1,200	1,400

の結果と対比した(表1)。

歩行・走運動のいずれにおいても、10歳のA

値が、成人よりも有意($P < 0.05 \sim 0.01$)な低値を示した。

4.2 安静時のエネルギー消費量の把握

基礎代謝量 (kcal/kg・分) を図1に示したが, 安静時代謝量=基礎代謝量×1.2が通常用いられている¹³⁾. そこで, 基礎代謝量および安静時代謝量の把握が容易なように, 各年齢とも同一体重(男性; 65 kg, 女性; 55 kg)に換算した1日当たりの熱量表を作成した(表2).

5. 考 察

5.1 歩行距離による運動量の概算

運動強度の表示方法として, 算出の容易さ, および理解のしやすさから, METS が用いられている. これは, 活動時の酸素摂取量が, 安静時の酸素摂取量 (1 MET = 3.5 ml O₂/kg・分) の何倍に相当するかを示しており, アメリカスポーツ医学協会でも, 運動強度の指標として METS 値を採用している¹⁾. 日本では古澤が提案した, RMR (1936年)⁴⁾ が運動強度の表示法として活用されてきたが, その算出の煩雑さ故に, 今日その50年間の役目を終えている. しかし, 身長と体重とを加味した, 体表面積当たりの酸素摂取量を基準とした RMR は, 性別・年齢別および体格差を越えて, 利用できる普遍性を有していた.

図1の基礎代謝量に加えた1 MET は, 日本人の平均非タンパク呼吸商 = 0.82 として, 温当量 = 4.825 kcal/l O₂ より求めた¹³⁾. 安静時代謝量/1.2 = 基礎代謝量とした場合, 1 MET の適用範囲が, 30 歳代以降であることが理解できる (1 MET = 3.5 ml O₂/kg・分 × 5 kcal/l O₂ を用いても基礎代謝量 = 0.0146 kcal/kg・分).

歩行速度と酸素消費量の関係は, 限られた範囲で直線関係が成立し²⁾, さらに歩行効率の最も高い, 至適速度の存在が知られている⁵⁾. アメリカスポーツ医学協会では, 歩行速度を限定 (50 ~ 100 m/分) して, 歩行の酸素需要量 = 0.1 ml O₂・kg⁻¹・分⁻¹/m・分⁻¹を提示しており¹⁾, 歩行速度とは無関係に, 0.1 ml O₂/kg・m が得られる. 本

実験の3段階の歩行速度は, 40 ~ 100 m/分に分布し(図2), 至適速度である 60 ~ 70 m/分をはさんで, 日常動作で経験する歩行速度と考えられる. 歩行の酸素需要量は10歳が最も高く, 0.14 ml O₂/kg・m, 20歳代以降では 0.11 ~ 0.12 ml O₂/kg・m となり(図2), 代謝水準の差が体重当たりの酸素需要量にも影響していることがわかる.

歩行時の酸素需要量が, アメリカスポーツ医学協会の数値より高い割には, 平均以上の歩行速度による 4 km 歩行で, +22 ~ +25 kcal の増量に過ぎない(図3). これは, 運動時の呼吸商が 0.8 代であり, 概算式を算出した際の 5 kcal/l O₂ を下回ることが原因といえる. 平均体重を利用すれば, 概算値より実測値が 10歳; +22 kcal/68 kcal = +32%, 20歳代; +25 kcal/153 kcal = +16%, 40歳代; +25 kcal/145 kcal = +17% となり, 実測値と概算値との比率が成人に比べて10歳で高まる. 一方, 平均以下の歩行速度では, 加齢とともに概算値に近づき(図3), 結局, 歩行の運動量の概算式に一番近似するのは, 成人の比較的「ゆっくりな歩行」であることが判明した.

歩行速度と体重から, エネルギー消費量を正確に推定する作業は行なわれているが¹⁴⁾, 本実験では, 成人の概算値に及ばず体重, および肥満の影響は観察されず, ここでも平均以下の歩行速度の方が, 概算値 (0.1 ml O₂/kg・m) に近いことが確認された(図4, 5).

5.2 走距離による運動量の概算

歩行と走運動では, 130 m/分近くで総方の酸素需要量曲線が交差し, これ以上の速度では, 走運動の方が効率がよくなることが知られており¹¹⁾, また, 走速度と酸素消費量に直線関係が成立することから, 酸素需要量 (ml O₂/kg・m) が一定となる¹⁰⁾. アメリカスポーツ医学協会では, 走速度を 134 m/分以上と規定して, 走運動の酸素需要量 = 0.2 ml O₂・kg⁻¹・分⁻¹/m・分⁻¹と提

案しており¹⁾、走速度とは無関係に $0.2 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$ が得られる。

本実験の3段階の走速度は、80～190 m/分に分布し(図6)、日常動作で経験する、走速度であると同時に、走速度とは無関係に、酸素需要量/速度が一定となった。走運動の酸素需要量は、歩行と同様に、10歳が最も高く $0.22 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$ 、20歳代では $0.19 \sim 0.20 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$ 、40歳代では $0.18 \sim 0.19 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$ となり(図6)、代謝水準の差が、体重当たりの酸素需要量にも影響していることがわかる。

4 km 走における実測値は、10歳のみが、概算値より約+10 kcal/4 km と上回り、成人では、平均以下の走速度で約-21～-24 kcal/4 km となった。平均体重を利用すれば、概算値より実測値が10歳；+10 kcal/136 kcal=+7%，20歳代；-21 kcal/306 kcal=-7%，40歳代；-24 kcal/289 kcal=-8% となり、歩行の場合に比べて、概算値との差は小さくなる。さらに、平均以上の走速度での実測値は、概算値より-8～-3 kcal/4 km とわずかになり(図7)、結局、走運動の運動量の概算式に一番近似するのは、成人の「やや速めの走運動」であることが判明した。

本実験において、平均以下の走速度での実測値が、最も低値となり(図7)、この傾向は体重の重い人ほど顕著となった(図8)が、この理由のひとつには、体重の重い人の「ゆっくりな走運動」は「速めの歩行」に近い運動となっている可能性が挙げられる。一方、成人の概算式に及ぼす肥満の影響は、明らかでなく、ここでも平均以上の走速度の方が、概算値($0.2 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$)に近いことが確認された(図9)。

5.3 心拍数を用いた運動量の概算

net energy を心拍数から算出することを目的に、net energy (kcal) = 心拍数(拍/分) × 運動時間(分) × 定数(kcal/拍)とした。その結

果、定数 = $\dot{V}_{O_{2\max}} \times 0.005 (\text{kcal} / \text{ml O}_2) \times [\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max} - 1 / \text{METS}_{\max} \times \text{HR}_{\max} / \text{HR}_{\text{ex}}]$ となり、もし $A = [\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max} - 1 / \text{METS}_{\max} \times \text{HR}_{\max} / \text{HR}_{\text{ex}}]$ が算出されていると、 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ より各自の定数を指定できると考え、A 値の決定因子である $\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max}$ 値を算出した。その結果、運動強度にしたがって、 $\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max}$ 値が推移すること¹⁵⁾と、運動の種類により $\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max}$ 値が異なることが判明した(図10)。

たとえば、安静時(最大運動時)の心拍数；70(190) 拍/分、安静時(最大運動時)の酸素摂取量；250(2,900) ml O₂/分の場合には、安静時の $\% \text{HR}_{\max}$ は 36.8%，安静時の $\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ は 8.6% となり図10の $\% \dot{V}_{O_{2\max}} - \% \text{HR}_{\max}$ 上で、安静時は原点を離れることが理解できる。したがって、安静時心拍数を原点として、酸素摂取量との関係を求めて、運動強度を設定する方法も用いられている⁷⁾。

一方、運動の種類により、 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ が異なることが知られており⁶⁾、本実験においても、自転車エルゴメータ運動で $3,070 \pm 642 \text{ ml O}_2 / \text{分}$ 、走運動の推定法で $3,409 \pm 518 \text{ ml O}_2 / \text{分}$ と 10% 程度の差が生じた。このように、運動の種類により、最大心拍数における酸素摂取量が異なる影響が、すべての運動強度で生じている可能性が考えられる。

$\% \dot{V}_{O_{2\max}} / \% \text{HR}_{\max}$ の影響を受け、A 値も、運動強度および運動の種類により異なった(図11)。そこで、仮に $A = 0.015$ と固定して、実際の走運動(自転車エルゴメータ運動)を考えてみる。60% $\text{HR}_{\max}$ の運動では $0.014 / 0.015 = 93\%$ ($0.011 / 0.015 = 73.3\%$)、70% $\text{HR}_{\max}$ の運動では 93(80) %、80% $\text{HR}_{\max}$ の運動では 100(93) % となり、いずれも実測値の方が、低値とはなるが、自転車エルゴメータの 60% $\text{HR}_{\max}$ の運動強度を除くと、概算法としての妥当性が認められる。すなわち、 $A = 0.015$ と固定できることになる。

また、運動強度の低い 40, 50% HR_{max} の実測値は、27, 60% となり、したがって、運動時心拍数がおおよそ 100 拍/分以下の場合には、 $A/2$ を用いることで、運動量の概算が可能となる。

たとえば、 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 2,900 ml O_2 /分 (体重 68 kg), 最高心拍数 190 拍/分の成人を考えてみる。

$$\begin{aligned} \text{定数} &= METS_{max} \times \text{体重} \times A / \text{最高心拍数} \\ &= \dot{V}_{O_{2max}} / 3.5 \times A / \text{最高心拍数} \\ &= 0.065 \end{aligned}$$

この人が、130 拍/分の運動を 30 分間継続した際の運動量 (除く安静時代謝)

$$\begin{aligned} \text{net energy} &= 130 (\text{拍/分}) \times 30 (\text{分}) \\ &\quad \times 0.065 (\text{kcal/拍}) \\ &\approx 250 \text{ kcal} \end{aligned}$$

この人が、95 拍/分の運動を 60 分間継続した際の運動量

$$\begin{aligned} \text{net energy} &= 95 (\text{拍/分}) \times 60 (\text{分}) \\ &\quad \times 0.065 (\text{kcal/拍}) / 2 \\ &\approx 190 \text{ kcal} \end{aligned}$$

以上のように換算される。

一方、10 歳の歩行・走運動においては、成人の同じ運動の A 値よりは低いものの、成人の自転車エルゴメータ運動と近似であった (表 1, 図 11)。これは、10 歳の方が安静時心拍数が高いこと、1 回拍出量の問題、筋での酸素の取り込みの問題などが複合しているものと考えられる。

そこで、10 歳の A 値を 0.013 と固定すると、本実験の 10 歳の平均値である $\dot{V}_{O_{2max}}$ (推定); 1,720 ml O_2 /分, 体重; 34 kg, 最高心拍数; 210 拍/分 (220 - 年齢) では、定数はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \text{定数} &= 1,720 (\text{ml } O_2/\text{分}) / 3.5 \times 0.013 / 210 \\ &= 0.03 \end{aligned}$$

この児童が、150 拍/分の運動を 30 分間継続した際の運動量 (除く安静時代謝)

$$\begin{aligned} \text{net energy} &= 150 (\text{拍/分}) \times 30 (\text{分}) \\ &\quad \times 0.03 (\text{kcal/拍}) \end{aligned}$$

$$\approx 140 \text{ kcal}$$

この児童が、110 拍/分の運動を 60 分間継続した際の運動量

$$\begin{aligned} \text{net energy} &= 110 (\text{拍/分}) \times 60 (\text{分}) \\ &\quad \times 0.03 (\text{kcal/拍}) / 2 \\ &\approx 100 \text{ kcal} \end{aligned}$$

このように、児童の場合の一応の目安として、120 拍/分以下では、 $A/2$ を用いることで概算される (表 1)。

いずれにしても、 $\dot{V}_{O_{2max}}$ が推定されていないと、本概算式を用いることができない。そこで、本実験の結果を活用すると、つぎの方法により定数の算出が可能となる。

1) 定常状態が形成される、約 150 m/分の「やや速め」の走運動を行なわせる。400 m ないしは、2 分 30 秒後の 150 m の走時間と心拍数を計測する。

2) 実測速度 (たとえば 155 m/分), 心拍数 (たとえば 150 拍/分) および体重 (たとえば 68 kg) より定数を求める。

$$\begin{aligned} \text{定数} &= 0.193 (\text{ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}) \\ &\quad \times 0.005 (\text{kcal/ml } O_2) \times \text{走速度} (\text{m/分}) \times \text{体重} (\text{kg}) / \text{心拍数} (\text{拍/分}) \\ &= 0.193 \times 0.005 \times 155 \\ &\quad \times 68 / 150 (\text{kcal/拍}) \\ &\approx 0.07 (\text{kcal/拍}) \end{aligned}$$

なお、10 歳の児童の場合には、つぎのようになる。

1) 定常状態が形成される、約 120 m/分の「やや速め」の走運動を行わせる。300 m ないしは、2 分 30 秒後の 150 m の走時間と心拍数を計測する。

2) 実測速度, 心拍数および体重より定数を求める。

$$\begin{aligned} \text{定数} &= 0.221 (\text{ml } O_2/\text{kg} \cdot \text{m}) \\ &\quad \times 0.005 (\text{kcal/ml } O_2) \times \text{走速度} (\text{m/分}) \times \text{体重} (\text{kg}) / \text{心拍数} (\text{拍/分}) \end{aligned}$$

このように走運動の酸素需要量を 10 歳 ; 0.221, 20 歳 ; 0.193 ml O₂/kg・m として, 表 2 の基礎代謝量の推移と比例させると, 11 歳 ; 0.218, 12 歳 ; 0.212, 13 歳 ; 0.209, 14 歳 ; 0.205, 15 歳 ; 0.202, 16 歳 ; 0.199, 17 ~ 19 歳 ; 0.196 ml O₂/kg・m の数値が準備できる.

本実験の目的は, net energy (除く安静時代謝) の算出にあるが, 表 2 を利用することで, 安静時のエネルギー消費量 (kcal/分) を算出しておくと便利である.

たとえば, 45 歳, 68 kg の男性の場合

$$\begin{aligned} \text{安静時代謝量} &= 1,800 \text{ (kcal)} / 65 \text{ (kg} \cdot \text{日)} \\ &\quad \times 68 \text{ (kg)} / 24 \cdot 60 \\ &= 1.3 \text{ kcal/分} \end{aligned}$$

結局, 安静時代謝量 (1.3 kcal/分) × 運動時間 (分) + net energy = gross energy となる.

6. 結 語

運動量を簡易に把握できることが, 運動の習慣化に役立つと考え, 運動量の概算式を, つぎのように提案した (1989 年).

1. 運動量 (除く安静時代謝, kcal)
= 歩行距離 (km) × 体重 (kg) / 2
2. 運動量 (除く安静時代謝, kcal)
= 走距離 (km) × 体重 (kg)
3. 運動量 (除く安静時代謝, kcal)
= 運動時心拍数 (拍/分) × 時間 (分) × 定数 (kcal/拍)
定数 = METS_{max} × 体重 (kg) × 0.015 / 最大心拍数 (拍/分)
最大心拍数 = - 0.8 × 年齢 + 216

今回, この概算法に及ぼす, 年齢および肥満の影響を観察する目的で, 18 名の被験者 (9 ~ 45 歳, 9.1 ~ 31.6% fat) に歩行・走・自転車エルゴメータ運動を負荷した. 結果はつぎのようにまとめられる.

1. 成人の歩行においては, 平均速度 (70 m/

分) 以下での酸素需要量が 0.1 ml O₂/kg・m に近似することで, 歩行の概算値と一致した. 一方, 歩行速度が速くなると, 概算値よりも + 20 kcal / 4 km 歩行となった.

2. 基礎代謝の高い児童 (10 歳) では, 歩行時の酸素需要量が, 0.138 ml O₂/kg・m と, 成人より高値となったが, 体重が軽いことにより, 概算値との差は, 成人と同じく + 20 kcal / 4 km 歩行となった.

3. 歩行においては, 概算値に及ぼす体重および肥満の影響は観察されなかった.

4. 走運動においては, 基礎代謝の高い児童のみにいて, 概算値よりも + 10 kcal / 4 km 走 (+ 7%) となった. 成人では, 平均走速度 (110 m/分) 以上での酸素需要量が, 0.2 ml O₂/kg・m に近似することで, 走運動の概算値と一致した. 一方, 走速度が遅くなると, 概算値よりも約 - 20 kcal / 4 km 走 (- 7%) となった.

5. 走運動においては, 概算値に及ぼす肥満の影響は観察されなかったが, 走速度が遅くなるほど, 概算値よりも運動量が低下する傾向は, 体重の重い人ほど顕著であった.

6. 心拍数より運動量を換算する場合の A 値 (net energy = 運動時心拍数 × 運動時間 × METS_{max} × 体重 × A / 最大心拍数) は, 成人では 0.015, 児童 (10 歳) では 0.013 と固定できた. しかし, 50% HR_{max} 以下の運動では, A / 2 と算出された.

7. 心拍数より運動量を概算する定数は, 本実験結果をもとに, 成人では, 走速度約 150 m/分の定常状態の走速度と, 心拍数を計測することにより算出される.

$$\begin{aligned} \text{定数} &= 0.193 \text{ (ml O}_2\text{/kg} \cdot \text{m)} \times 0.005 \text{ (kcal} \\ &\quad \text{/ml O}_2\text{)} \times \text{走速度 (m/分)} \times \text{体重} \\ &\quad \text{(kg)} / \text{運動時心拍数 (拍/分)} \end{aligned}$$

謝 辞

本研究の主旨のもとに御協力を頂きました、茅ヶ崎市立 西浜小学校の3年生の児童、および先生方に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) アメリカスポーツ医学協会編, 日本体力医学会体力科学編集委員会監訳; 運動処方指針-負荷テストと運動プログラム, 南江堂 (1982)
- 2) Bobbert, A. C.; Energy expenditure in level and grade walking, *J. Appl. Physiol.*, **15**, 1015-1021 (1960)
- 3) Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A.; Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140 (1963)
- 4) 古澤一夫; 労働の生理学的観察, *日本生理誌*, **1**, 310-311 (1936)
- 5) 古澤一夫, 白井伊三郎, 鈴木幸夫, 向井一雄; エネルギー代謝より見たる Optimum, *労働科学研究*, **15**, 584-589 (1938)
- 6) Hermansen, L., Saltin, B.; Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise, *J. Appl. Physiol.*, **26**, 31-37 (1969)
- 7) Karvonen, M. J., Kentala, E., Mustala, O.; The effects of training on heart rate; a longitudinal study, *Ann. Med. Exper. Biol. Fenn.*, **35**, 307-315 (1957)
- 8) 小林康孝, 山方恵美, 小川 薫, 田守早百合, 鈴木いく子, 西野博一, 持尾聰一郎, 吉越寛治, 安藤多喜夫, 吉池宏彰, 青山一夫, 栗原 敏; 運動処方ですることなく運動習慣へと発展させる具体策, *デサントスポーツ科学*, **10**, 140-173 (1989)
- 9) 厚生省公衆衛生局栄養課(編); 昭和54年改定日本人の栄養所要量, 第一出版, 東京 (1979)
- 10) Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., Sassi, G.; Energy cost of running, *J. Appl. Physiol.*, **18**, 367-370 (1963)
- 11) Menier, D. R., Pugh, L. G. C. E.; The relation of oxygen intake and velocity of walking and running, in competition walkers, *J. Physiol.*, **197**, 717-721 (1968)
- 12) Nagamine, S., Suzuki, S.; Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biol.*, **36**, 8-15 (1964)
- 13) 沼尻幸吉; 労働の強さと適正作業量, *労働科学叢書*, **7**, 労働科学研究所, 東京 (1947)
- 14) Pandolf, K. B., Givoni, B., Gldman, R. F.; Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 577-581 (1977)
- 15) Pollock, M. L., Wilmore, J. H., Fox, S. M. III; Health and fitness through physical activity, American college of sports medicine series, *John Wiley & Sons*, New York (1978)