

## 遊歩道歩行時のエネルギー消費量

——携帯用酸素摂取量計を用いて——

涌井忠昭 北川 薫

Energy expenditure during promenade walking  
by means of the portable oxygen uptake instrument.

Tadaaki Wakui Kaoru Kitagawa

### Abstract

Four healthy young men aged 20 to 36 yrs. and two young women aged 20 yrs. volunteered to participate as subjects in order to determine total energy expenditure of two hour promenade walking. Oxygen uptake and ventilation were measured continuously all over the way by means of the portable type instrument (Oxylog; Morgan corp.). Accuracy of the instrument was carefully checked by the Douglas bag method in the laboratory just before and after the measurements. It was ascertained that Oxylog had sufficient accuracy for the reliable determination because very high correlations were found in oxygen uptake ( $r=0.995$ ,  $P<0.001$ ) and ventilation ( $r=0.997$ ,  $p<0.001$ ). Means of total gross calories were 550.09 kcal for men and 477.94 kcal for women. Those relative values to body weight, and the minute values were  $8.37 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.075 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  for men and  $8.55 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.078 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  for women. The differences of the relative values between men and women were very small. Means for total net calories were 413.81 kcal,  $6.29 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.058 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  for men and 362.62 kcal,  $6.48 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.056 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  for women. The relative values also showed only small gender differences. Heart rate was recorded every minute by using the portable type instrument (Heart rate memory: VINE corp.). Mean of heart rate for men was  $106 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  and its intensity of  $\% \dot{V}O_2 \text{max}$  estimated from mean heart rate was about 36%. Mean for women was  $117 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  and estimated  $\% \dot{V}O_2 \text{max}$  was about 45%. And mean METS were 4.0 for men and 4.1 for women. These measurements found the promenade walking very moderate.

### 緒 言

最近の森林浴ブームには目を見張るものがある。森林浴とは、森の香気を浴びて心身を鍛えるという趣旨の構想を林野庁が打ち出したことに始まり<sup>5)</sup>、具体的には森林施設を利用して体を動かしたり(森林内歩行)、森で遊びながら幼児から中高年齢者における幅広い年齢層での健

康づくりを実践することを目的としている<sup>5)6)</sup>。そのなかで、森林浴を行うにあたり体科学的見地からみた課題の一つに森林内歩行時の運動強度やエネルギー消費量を明らかにすることがある。これまで、歩行時の酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_2$ )の測定はダグラスバッグ法によることが多かったが、この測定法は多くの人員を必要とするのみならず、フィールドでの連続測定が

困難なことから十分な資料を得ることができなかった。しかし近年、 $\dot{V}O_2$ 、分時換気量(以下、 $\dot{V}_E$ )を連続して自動的に測定しデジタル表示することのできる携帯用酸素摂取量計(商品名オキシログ、モーガン社製)が開発された。このオキシログは、自動ガスサンプリング装置、酸素アナライザー及び測定コンピューターの各ユニットを一つに組み合わせた装置で、ショルダーケースに納めて固定した重量が2.61 kgと軽量の装置である。したがって、オキシログを使用することにより、これまでのダグラスバッグ法ではほとんど不可能であった長時間のフィールドでの連続測定が可能となった。そこで本研究では、森林浴コースとして設定された所要時間2時間ほどの遊歩道歩行時の $\dot{V}O_2$ をオキシログを用いて測定し、全エネルギー消費量を求めることを目的とした。

## 方 法

### 1 被検者

被検者は健康な成人男子4名と女子2名の計6名であった。被検者の身体的特徴を表1に示した。

表1 被検者の身体的特徴

被検者	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
A	男	20	166.4	65.2
B	男	21	165.6	60.4
C	男	32	175.6	77.0
D	男	36	168.2	72.5
E	女	20	165.5	58.5
F	女	20	158.1	53.8

### 2 測定項目

測定項目は $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}_E$ 、心拍数(以下、HR)、血圧(以下、BP)および消費カロリーであった。 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}_E$ の測定は携帯用酸素摂取量計(賞品名オキシログ、モーガン社製)を用いた。このオキシログの使用にあたってはあらかじめ精度の検定を行った。その検定方法は、被検者にオキシログを装着して、運動中の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}_E$ を測定すると同時に、オキシログの排気口から排

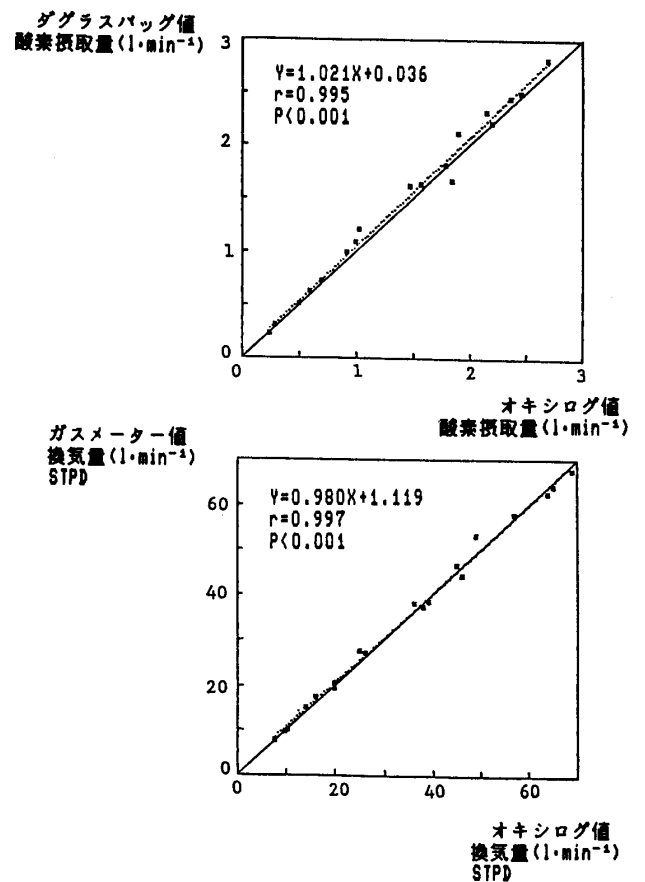


図1 オキシログの検定結果

出される呼気ガスをダグラスバッグに採気した。そして、採気した呼気ガスを乾式ガスメーターにて量定するとともに $O_2$ と $CO_2$ 濃度をショランダー微量ガス分析器で検定したモーガン社製品瞬時呼気ガス分析器( $O_2$  S-3A,  $CO_2$  901-MK2)で測定して $\dot{V}O_2$ を求めた。図1にその結果を示した。この結果から、オキシログの精度は本研究の目的にかなうと判断した。なお、遊歩道歩行時の $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}_E$ の値を検定時に得られた回帰式に代入することにより算出された値を測定値とした。HRはVINE社製ハートレートメモリー(VHM 1-012)にて測定した。BPはリパロッチ型水銀血圧計にて測定した。運動時に必要とされたエネルギー量は(Kcal)で算出した。 $\dot{V}O_2$ からカロリーへは $O_2$  1 l = 4.924 kcal (RQ=0.9)として換算した。また、歩行に必要とされた真のカロリーは安静時分を除いたNetカロリーとして表示した。なお、安静時のカロリーは体表面積から求めた基礎代謝量<sup>8)</sup>を1.2倍した値とした。

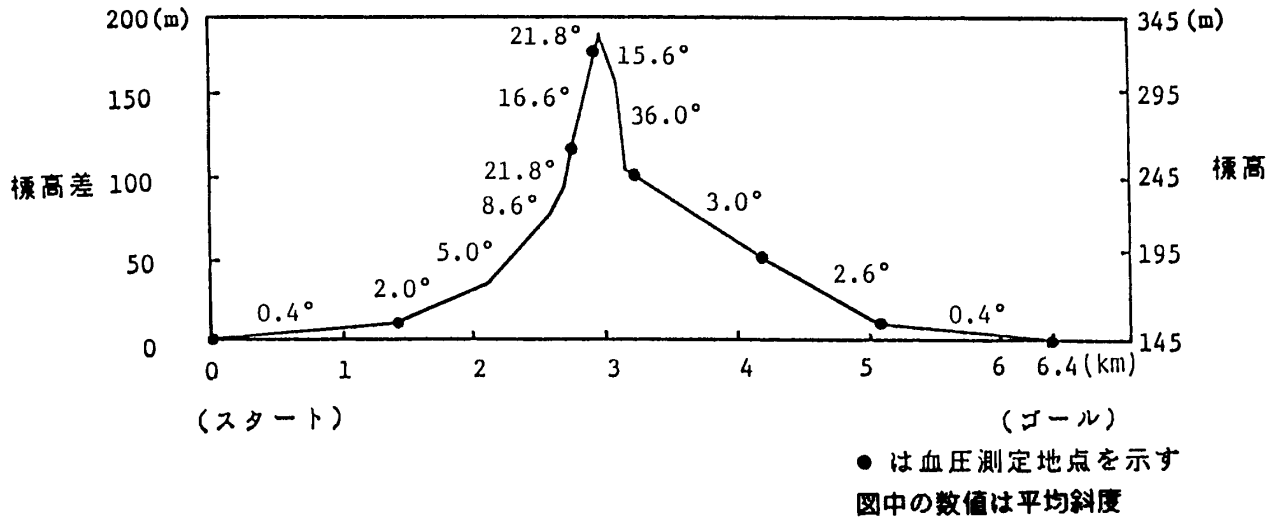


図2 遊歩道の水平距離と標高

3 測定手順

測定は愛知県鳳来町にある愛知県民の森内の森林浴コースに設定された遊歩道で行った。遊歩道のコースの測量は5000分の1の地図より行い、カービメーターで水平距離を、等高線で高度差を求め傾斜を算出した(図2)。図2示したように、このコースは水平距離にして6.4 km、標高差にして195 mあり、ビジターロッジ前をスタート、ゴールとする周回路であった。なお、このコースの約70%は未舗装ながら十分に整備された車道で、残りが整備された山道であった。

測定は被検者にマスク、ハートレートメモリー、パルスメーターを装着し、5分間の座位安静を行わせた後血圧を測定した。その後歩行を行わせ、1分毎の $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}_E$ 、HRを測定した。また、途中6回の小休憩(約3分間)をとり、休憩30秒後にBPを測定した。さらに、ゴール直後にも測定を行った(図2)。なお、歩行スピードは被検者の任意としたが、その決定に際しては「自分自身が最適と感ずるスピードで」との指示を与えた。

4 測定日と気象条件

被検者AとFの測定は1984年7月13~14日、他は同年11月1~2日に行った。測定日の気象条件を表2に示した。

表2 測定日の気象条件

測定日	天候	気温(℃)	湿度(%)
7月13日	小雨	29	82
14日	薄曇	27	72
11月1日	晴れ	21	46
2日	晴れ	21	49

結果と論議

身体に必要なエネルギー量は、 $\dot{V}O_2$ を求めることにより算出される。従来、フィールドにおける歩行時の $O_2$ 消費量の測定ではダグラスバッグ法によらざるをえないために、多くの制約があって長時間にわたる連続測定が困難であった。そこで本研究では、オキシログを用いて $\dot{V}O_2$ の測定を行ったが、その精度を検定したところ、 $\dot{V}O_2$ ではオキシログ値とダグラスバッグ値の間に $r=0.995$ ( $P<0.001$ )と非常に高い相関関係が得られ、 $\dot{V}_E$ においてもオキシログ値とガスメーター値の間に $r=0.997$ ( $P<0.001$ )と高い相関関係が得られた(図1)。これは、Harrisonら<sup>2)</sup>、Louhevaaraら<sup>7)</sup>の報告と一致する結果であった。以上より、オキシログは従来のような制約を受けることなく、フィールドでのエネルギー消費量の連続測定をするうえで精度が高く信頼性のある測定機器であることが確認された。

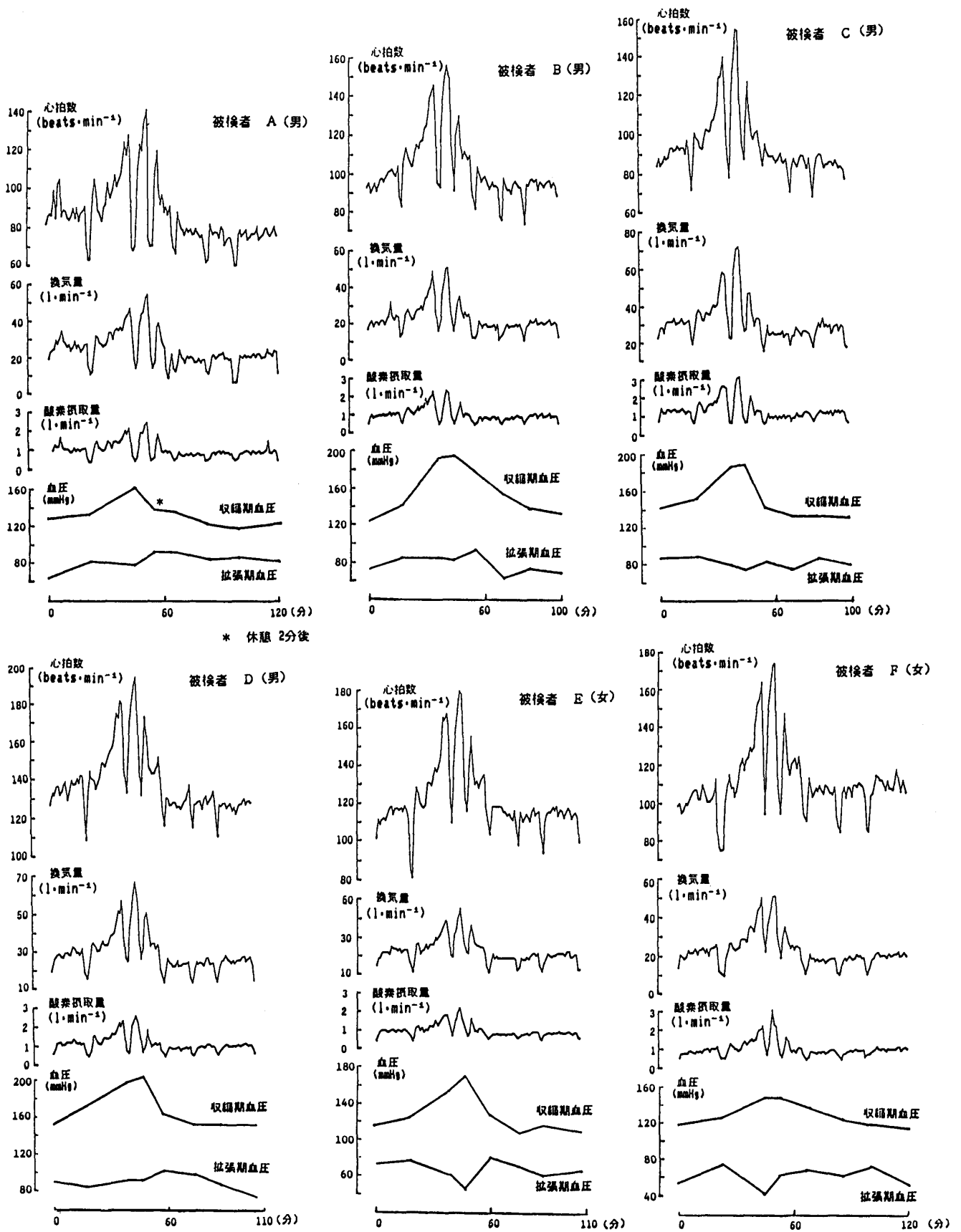


図3 遊歩道歩行時の心拍数、換気量、酸素摂取量と血圧の経時的変化

表3 遊歩道歩行時のRMRとMETS

被検者	最大RMR	最小RMR	平均RMR	最大METS	最小METS	平均METS
A	10.0	1.9	3.5	9.3	2.6	3.9
B	10.3	1.5	3.5	9.6	2.2	3.9
C	11.9	1.3	3.9	10.9	2.1	4.3
D	10.1	1.5	3.5	9.4	2.2	3.9
E	10.5	1.0	3.5	9.7	1.8	3.9
F	10.9	1.8	3.8	10.1	2.5	4.2

表4 遊歩道歩行時の所要時間と消費カロリー

複検者	所要時間	Gross カロリー			Net カロリー		
		総カロリー (Kcal)	体重当り (Kcal·kg <sup>-1</sup> )	体重当り,1分間当り (Kcal·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	総カロリー (Kcal)	体重当り (Kcal·kg <sup>-1</sup> )	体重当り,1分間当り (Kcal·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
A	2・01'35"	587.63	10.45	0.086	436.70	7.77	0.064
B	1・40'28"	471.81	7.79	0.077	352.45	5.82	0.057
C	1・39'16"	591.86	7.68	0.077	451.99	5.89	0.059
D	1・46'46"	549.07	7.57	0.070	412.08	5.68	0.053
E	1・46'55"	450.69	7.70	0.072	339.01	5.79	0.054
F	2・01'38"	505.19	9.39	0.077	386.23	7.17	0.058

図3に遊歩道のコース全体にわたるHR,  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$ とBPの経時変化を示した。図中のHR,  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$ における著しく低い値は休憩時の値であり、いずれの項目においても図2に示したコースに沿うような変化を示した。遊歩道歩行中の強度がどれくらいであるかは興味深い点であるが、本研究では最大酸素摂取量(以下,  $\dot{V}O_2$  max)の測定がなされていなかったために個人ごとの強度を求めることができなかった。そこで、HRと酸素摂取水準(以下, % $\dot{V}O_2$  max)とが直線関係にあることから<sup>11)</sup>, 強度を推定してみた<sup>11)</sup>。4人の男子のHRの最大値は141~194 beats・min<sup>-1</sup>の間にあり、平均で161 beats・min<sup>-1</sup>であった。これは、20歳代の% $\dot{V}O_2$  maxの約77%, 30歳代の約82%に相当した。また、女子のHRの最大値は174~179 beats・min<sup>-1</sup>の間にあり、平均で176 beats・min<sup>-1</sup>であった。これは、20歳代の% $\dot{V}O_2$  maxの約88%に相当した。男子4人の平均HRは88~137 beats・min<sup>-1</sup>の間にあり、被検者間のバラツキが観察された。男子の平均HRの平均は106 beats・min<sup>-1</sup>と岩

崎<sup>6)</sup>の報告よりも多少低い結果であり、20歳代の $\dot{V}O_2$  maxの約36%, 30歳代の約37%に相当する運動強度であった。女子の平均HRは113~121 beats・min<sup>-1</sup>の間にあり、平均117 beats・min<sup>-1</sup>であった。これは、20歳代の $\dot{V}O_2$  maxの約45%に相当した。

表3に遊歩道歩行時の運動強度の指標としてのRMRとMETSの結果を示した。日本人についてはRMRの報告が多くなされており、この結果を岩崎<sup>6)</sup>の報告した遊歩道歩行時の推定RMRと比較してみると、より低い値であった。また、健康人の定常状態成立の限界のRMRが4.5であるという佐々木ら<sup>10)</sup>の報告と労作量指数<sup>9)</sup>という点から考慮すると、被検者が自ら選択したスピードでの遊歩道歩行は平均RMRからみると、男女を問わず至適なエアロビクス(有酸素運動)であることが分った。

遊歩道歩行中の所要時間と消費カロリーを表4に示した。所要時間の男子の平均は1時間47分1秒、女子の平均は1時間54分16秒であった。総Grossカロリーの男子の平均は550.09

kcal, 女子の平均は 477.94 kcal と男子の方が高い値を示した。体重当りの総 Gross カロリーの男子の平均は  $8.37 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 女子の平均は  $8.55 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$  と相似かよった結果であった。この結果は, 岩崎<sup>6)</sup> の報告とは異なり, 本研究の方がいくぶん高い値であった。この理由としては, 岩崎<sup>6)</sup> の報告と比較すると本研究の方が遊歩道の標高差が大きく, 傾斜が急なために運動強度が高かったこと, 所要時間は約 6 倍であり運動量が大きかったこと, が考えられる。また, 体重当り, 1 分間当りの総 Gross カロリーの男子の平均は  $0.078 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 女子の平均は  $0.075 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  と男女とも同様な結果を示した。この結果は, 岩崎<sup>5)6)</sup> の報告よりも多少低い結果であった。総 Net カロリーの男子の平均は  $413.81 \text{ kcal}$ , 女子の平均は  $362.62 \text{ kcal}$  と総 Gross カロリーと同様に男子の方が高い値を示した。体重当りの総 Net カロリーの男子の平均は  $6.29 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 女子の平均は  $6.48 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 体重当り, 1 分間当りの総 Net カロリーの男子の平均は  $0.058 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 女子の平均は  $0.056 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  とそれぞれ男女とも同様な値を示した。

## 要 約

本研究は, 森林浴コースとして設定された所要時間 2 時間ほどの遊歩道歩行時の  $\dot{V}O_2$  をオキシログを用いて測定し, 全エネルギー消費量を求めることを目的とした。

被検者は健康な成人男子 4 名と女子 2 名の計 6 名であり, 測定は愛知県民の森内の遊歩道で行った。歩行スピードは被検者の自由な選択とし, 歩行中の HR,  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$  を測定したところ以下の結果を得た。

- 1) オキシログを従来のダクラスバッグ法にて検定したところ, 本研究の目的に対して十分に信頼性があることが確認された。
- 2) 平均 HR の男子の平均は  $106 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  であり, 20 歳代の  $\% \dot{V}O_2 \text{max}$  の約 36%, 30 歳代の約 37% に相当した。女子の平均は  $117 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  であり, 20 歳代の

$\dot{V}O_2 \text{max}$  の約 45% に相当した。

- 3) 遊歩道歩行時の平均 RMR の男子の平均は 3.6, 女子の平均は 3.7 として平均 METS の男子の平均は 4.0, 女子の平均は 4.1 とそれぞれ男女とも同様な結果であった。
- 4) 総 Gross カロリーの男子の平均は 550.09 kcal, 女子の平均は 477.94 kcal であった。体重当りの総 Gross カロリーの男子の平均は  $8.37 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$  女子の平均は  $8.55 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 体重当り, 1 分間当りの総 Gross カロリーの男子の平均は  $0.078 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 女子の平均は  $0.075 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  とそれぞれ男女とも同様な結果を示した。総 Net カロリーの男子の平均は  $413.81 \text{ kcal}$ , 女子の平均は  $362.62 \text{ kcal}$  であった。体重当りの総 Net カロリーの男子の平均は  $6.29 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 女子の平均は  $6.48 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 体重当り, 1 分間当りの総 Net カロリーの男子の平均は  $0.058 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 女子の平均は  $0.056 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  とそれぞれ相似かよった値であった。

付記 本研究を行うにあたり, (財)日本健康開発財団より研究助成金を受け, また, 愛知県鳳来寺県有林事務所および, 当時中京大学運動生理学研究室の学生であった古田弘, 浪崎吉彦, 服部千里, 河内美早穂の諸氏には多大な協力を得たことを記し, 深謝致します。

## 参考文献

- 1) Åstrand, P. O., Cuudy, T. E., Saltin, B. and Stenberg, J., "Cardiac output during submaximal and maximal work," J. Appl. Physiol., 19:268-274, 1964.
- 2) Harrison, M. H., Brown, G. A and Belyavin, A. J., "The 'Oxylog': an evaluation," Ergonomics, 25: 809-820, 1982.
- 3) 広沢昭男・渡辺俊男・松下清子「登山におけるエネルギー代謝の研究」体育学研究,

- 5 : 142, 1960.
- 4) 猪飼道夫・山地啓司「心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として—」*体育の科学*, 21 : 589-593, 1971.
- 5) 岩崎輝雄, *森林浴—緑の健康法—*, 合同出版, 1983, pp 10-102.
- 6) 岩崎輝雄, *森林の健康学*, 太平社, 1986, pp 49-88.
- 7) Louhevaara, V., Ilmarinen, J and Oja, P., "Comparison of three field methods for measuring oxygen consumption, " *Ergonomics*, 28:463-470, 1985.
- 8) 沼尻幸吉, *活動のエネルギー代謝*, 第2版, 労働科学研究所, 1982, pp 285-288.
- 9) 名取礼二 (監), *健康・体力づくりハンドブック*, 大修館書店, 1983, pp 100-103.
- 10) 佐々木隆・照屋常吉・田代芳弘・林春二・山田高明「歩行時のエネルギー代謝率と体力との関係」*体育学研究*, 2 : 177-180, 1957.
- 11) 体育科学センター (編), *体育科学センター方式—健康づくり運動カルテ*, 講談社, 1976, pp 63.