

森林内歩行時の運動強度とエネルギー消費量  
 ——心拍数—酸素摂取量関係式からの推定法を用いて——

涌井忠昭 田川豊彦 浄土英二 粥川保洋 北川 薫

Exercise intensity and energy expenditure of forest walking  
 by means of an estimation from heart rate.

Tadaaki Wakui, Toyohiko Tagawa, Eiji Joudo,  
 Yasuhiro Kayukawa and Kaoru Kitagawa

Abstract

Three healthy young men (averaged 22yrs. old) volunteered to participate as the subjects in order to clarify exercise intensity and energy expenditure during forest walking. The distances were 2.1 km on the short course and 4.3 km on the long course. Means for walking speed were  $67 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  on the short course and  $68 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  on the long course. The regression equation between heart rate and oxygen uptake ( $r = 0.992-0.994$ ,  $p < 0.001$ ) was obtained individually on the treadmill walking before the measurement. Heart rate was recorded every minute by using the portable type instrument (Heart rate memory: VINE corp.). Energy expenditure (kcal) during forest walking was calculated from oxygen uptake estimated from heart rate by using the regression equation. Means of total gross calories were 245.03kcal on the short course and 505.73kcal on the long course. These relative values to body weight, and the minute values were  $3.41 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.11 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  on the short course and  $7.05 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.11 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  on the long course. Means for net calories were 194.32kcal,  $2.71 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.09 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  on the short course and 401.37kcal,  $5.60 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.09 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  on the long course. The relative values per minute of gross and net calories on the short course and the long course were similar each other. Mean of heart rate on the short course was  $109 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$  and its estimated intensity was about 39% of  $\dot{V}O_2 \text{max}$ . Mean on the long course was  $111 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$  and estimated %  $\dot{V}O_2 \text{max}$  was about 41%. And mean relative metabolic rate was 3.9 on the short course and 4.1 on the long course. From these findings, forest walking was ascertained to be a moderate aerobic exercise.

結 言

前報<sup>14)</sup>において筆者らは、森林浴コースに設定された所要時間2時間ほどの遊歩道での森林内歩行時の酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_2$ )を携帯用酸素摂取量計(以下、オキシログ)を用いて実測し、エネルギー消費量を求め運動強度を算出し

たところ、被検者が自ら選択したスピードでの森林内歩行はエネルギー代謝率(以下、RMR)の平均からみると、男女を問わず適度なエアロビクス(有酸素運動)であることを報告した。しかし、心拍数(以下、HR)は $\dot{V}O_2$ と密接

な関係にあることが明らかにされているので<sup>1),2),7),12)</sup>, オキシログを用いず HR の測定からより簡便に森林内歩行時のエネルギー消費量等を求めることを本研究の目的とした。

方 法

1 被検者

被検者は健康な成人男子 3 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 (yrs.)	身長 (cm)	体重 (kg)
A	男	22	173.0	73.0
B	男	22	180.5	72.9
C	男	22	170.5	69.6

2 測定項目

森林内歩行での測定項目は HR, 血圧(以下, BP)であり, 研究室内での測定項目は HR,  $\dot{V}O_2$ , およびエネルギー消費量であった。 $\dot{V}O_2$ の推定にあたっては, あらかじめ測定された被検者各個人の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式に森林内歩行時の HR を代入する方法を用いた。これまでに, HR と  $\dot{V}O_2$ の間には有意な直線関係が得られると報告<sup>1),2),7),12)</sup>されており, HR- $\dot{V}O_2$ 関係式と身体活動中の HR から  $\dot{V}O_2$ を推定した報告<sup>2),4),5),7),15),16)</sup>が数多くなされてきた。本研究ではこの HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を得るために, 研究室内にて 10 分間の椅座位安静をとらせ, 5 分から 10 分までの 5 分間の呼気ガスを採取し, 9 分から 10 分までの 1 分間の HR を記録した。その後, 水平での  $60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , 傾斜角度  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ での  $80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , 傾斜角度  $4^\circ$ での  $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ のスピードでのトレッドミル歩行を各負荷 4 分ずつ計 20 分間行なわせ, 各負荷の最後の 1 分間呼気ガスを採取し, HR を記録した。採気はダグラスバッグ法にて行ない, 採取した呼気ガスは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瞬時呼気ガス分析器 ( $O_2$  S-3 A,  $CO_2$  901MK2) で測

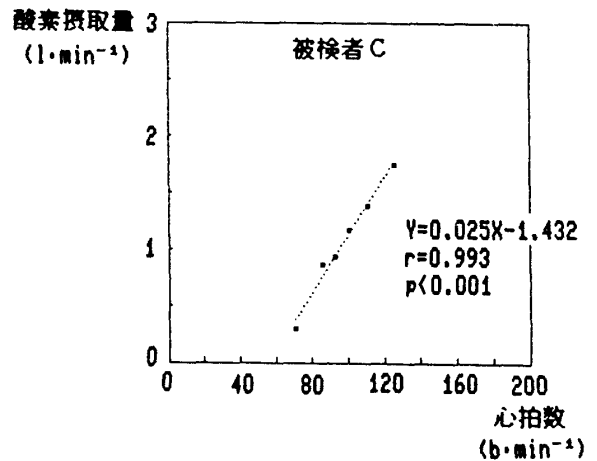
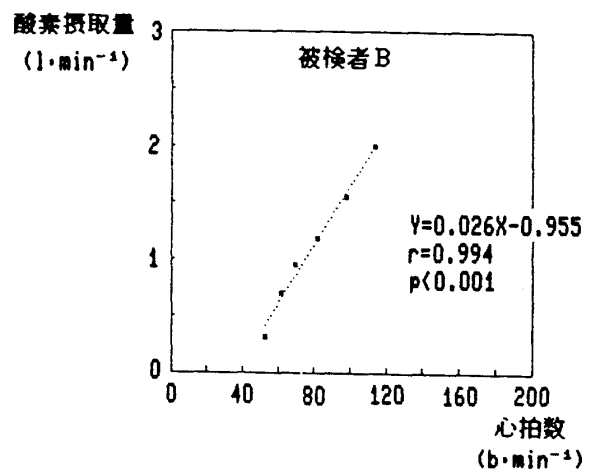
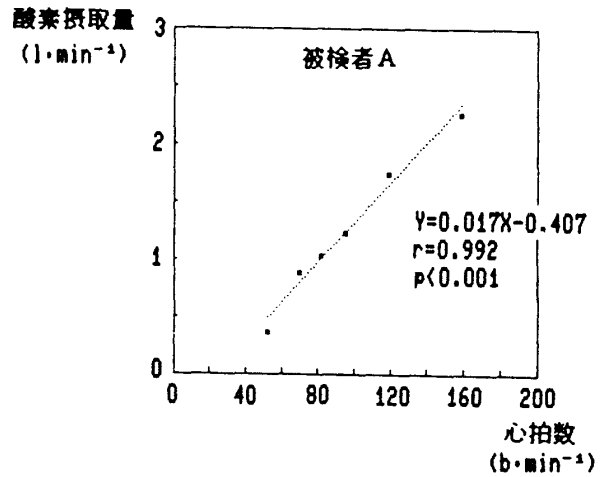
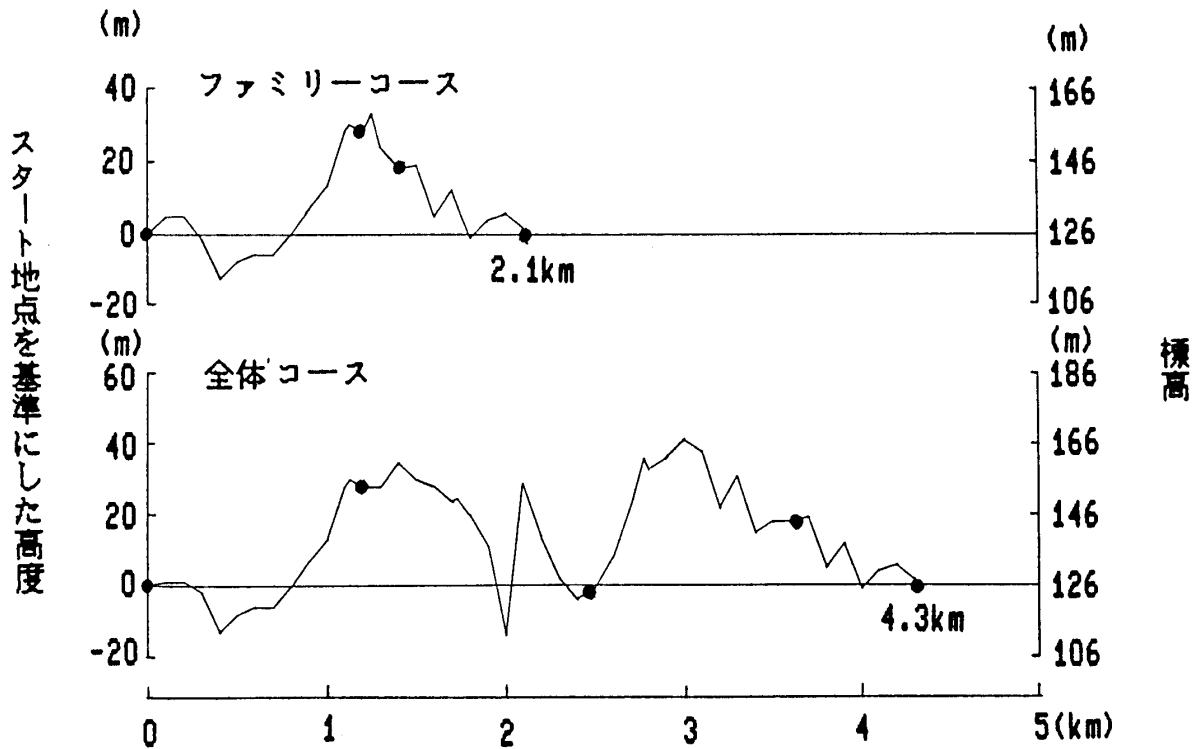


図 1 安静時およびトレッドミル歩行時の心拍数と酸素摂取量の関係



図中の・印は血圧測定地点

図2 遊歩道の水平距離とスタート地点を基準にした高度

定して  $\dot{V}O_2$  を求めた。HR は VINE 社製ハートレートメモリー (VHM 1-012) にて測定した。図 1 に被検者各個人の HR- $\dot{V}O_2$  関係式を示した。BP はリパロッチ型水銀血圧計にて測定した。森林内歩行時に必要とされるエネルギー消費量 (kcal) の算出にあたっては前報<sup>14)</sup> と同一手法とした。

### 3 測定手順

測定は愛知県藤岡町にある昭和の森内の森林浴コースに設定されたファミリーコースと一般コースの両遊歩道で行なった。本研究では、ファミリーコースと一般コースの両コースを連続して歩行させ、データはファミリーコースおよび全体コースとして整理した。コースの測量は 2500 分の 1 の地図より行ない、カービメーターで水平距離を、等高線で高度差を求めた (図 2)。

測定は被検者にハートレートメモリーを装着させ、歩行に先立ち 5 分間の椅座位安静と BP の測定を行なった。また、コース途中の BP は小休憩 (ファミリーコース 2 回、全体コース 3 回)

をとらせて椅座位にて測定した。そして、ゴール直後にも測定を行なった (図 2)。なお、歩行のスピードは被検者の任意としたが、その決定に際しては「各自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

全ての測定は 1986 年 12 月 29 日～1987 年 1 月 6 日の間に行なわれ、森林内歩行測定日の気象条件は天候晴れ、気温 3.5℃、湿度 50% であった。

## 結果と論議

これまでに、HR と  $\dot{V}O_2$  の間には有意な直線関係が成立すると報告<sup>1),2),7),12)</sup> され、HR- $\dot{V}O_2$  関係式と身体活動中の HR から  $\dot{V}O_2$  を推定する方法が数多く報告<sup>2),4),5),7),15),16)</sup> されてきた。本研究ではこの推定法を用いるために、トレッドミル歩行時の HR と  $\dot{V}O_2$  を測定し、HR- $\dot{V}O_2$  関係式を求め検討したところ、全被検者におい

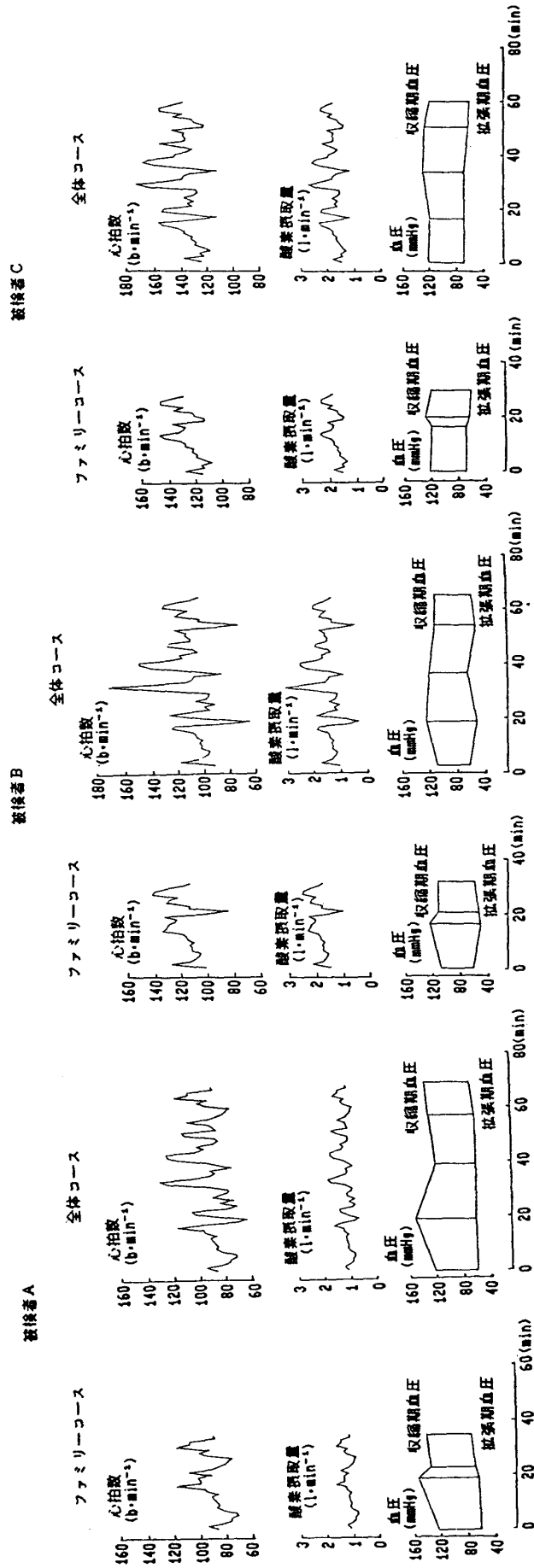


図3 森林内歩行時の心拍数、推定された酸素摂取量および血圧の経時的変化

表2 森林内歩行時のRMRとMETS

ファミリーコース						
被検者	最大RMR	最小RMR	平均RMR	最大METS	最小METS	平均METS
A	3.3	1.2	2.1	4.3	2.2	3.1
B	6.8	3.5	4.9	7.8	4.5	5.9
C	6.3	3.1	4.7	7.3	4.1	5.7
全体コース						
被検者	最大RMR	最小RMR	平均RMR	最大METS	最小METS	平均METS
A	3.8	1.2	2.1	4.8	2.2	3.1
B	10.0	1.4	5.2	11.0	2.4	6.2
C	7.3	2.7	4.9	8.6	3.7	5.9

て有意な直線関係が得られたことから(図1), HRによる $\dot{V}O_2$ 推定法の有効性が確認された。

図3に森林内歩行時のHR,  $\dot{V}O_2$ およびBPの経時的变化を示した。HRの最大値はファミリーコースで118~149 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースでは131~171 b・min<sup>-1</sup>の間にあり, 被検者間のばらつきが観察された。特に被検者Aは他の2人の被検者よりもファミリーコースで14~29 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースで32~40 b・min<sup>-1</sup>低いHRを示した。また, HRの最大値の平均はファミリーコースで132 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースで155 b・min<sup>-1</sup>であった。これは, 推定<sup>13)</sup>による酸素摂取水準(以下, % $\dot{V}O_2$ max)からみると, 20歳代の約57%と約73%に相当した。この値を前報<sup>14)</sup>と比較すると, ファミリーコース, 全体コースの両コースとも前報<sup>14)</sup>(20歳代の約77%)よりも低い値であった。平均HRはファミリーコースで92~127 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースでは92~130 b・min<sup>-1</sup>の間にあり, 最大HRと同様に被検者間のばらつきが観察された。この場合も被検者Aが他の2人の被検者よりもファミリーコースで17~35 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースで19~38 b・min<sup>-1</sup>も低いHRを示した。また, 平均HRの平均はファミリーコースで109 b・min<sup>-1</sup>, 全体コースで111 b・min<sup>-1</sup>であった。これは, 推定<sup>13)</sup>による% $\dot{V}O_2$ maxからみると20歳代の約39%, 約

41%に相当し, 前報<sup>14)</sup>と比較するとファミリーコース, 全体コースの両コースとも前報<sup>14)</sup>(20歳代の約36%)よりも多少高い値であった。しかし, 岩崎<sup>6)</sup>の報告よりは低い結果を示した。ところで, 本研究において被検者Aは他の2人の被検者よりも最大HR, 平均HRにおいてかなり低い値を示したが, この理由の1つとして, 森林内歩行時の所要時間が他の2人の被検者よりも長かったことによるものと推察される(表3)。

表2に運動強度の指標として森林内歩行時のRMRとMETSの結果を示した。この結果もHRの結果と同様に被検者Aではどの値においても他の2人の被検者よりも低い値を示した。これは, 森林内歩行時のHRが他の2人の被検者よりも低かったことによると考察される。また, この結果を前報<sup>14)</sup>と比較すると, 平均RMRの平均においては本研究(ファミリーコース3.9, 全体コース4.1)の方が前報<sup>14)</sup>(3.6)よりも高い値を示したが, 岩崎<sup>6)</sup>の報告と比べると本研究の方がより低い値であった。そして, 健康人の定常状態成立のRMRの限界が4.5であるという佐々木ら<sup>11)</sup>の報告と労作量指数<sup>10)</sup>の2点から考慮すると, 前報<sup>14)</sup>と同様に本研究のファミリーコースと全体コースにおける森林内歩行は適度なエアロビクス(有酸素運動)であることが確認された。

表3 森林内歩行時の所要時間とエネルギー消費量

ファミリーコース								
被検者	所要時間 (min)	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	35	199.40	2.73	0.08	139.36	1.91	0.06	
B	31	286.81	3.93	0.13	238.42	3.27	0.11	
C	29	248.89	3.58	0.12	205.19	2.95	0.10	

全体コース								
被検者	所要時間 (min)	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	69	398.87	5.46	0.08	271.46	3.72	0.05	
B	62	597.44	8.20	0.13	500.66	6.87	0.11	
C	59	520.89	7.48	0.13	431.99	6.21	0.11	

森林内歩行時の所要時間とエネルギー消費量を表3に示した。所要時間の平均はファミリーコースで32 min, 全体コースで63 minであったが, 被検者間にかんがりのばらつきが観察され, 特に被検者Aでは他の2人の被検者よりもファミリーコースで4~6 min, 全体コースで7~10 minも所要時間が長かった。また, 総Grossカロリーの平均はファミリーコースで245.03 kcal, 全体コースでは505.73 kcalであった。体重当りのGrossカロリーの平均はファミリーコースで3.41 kcal・kg<sup>-1</sup>, 全体コースでは7.05 kcal・kg<sup>-1</sup>であった。この値を前報<sup>14)</sup>と比較すると, 本研究のファミリーコース, 全体コースの両コースとも前報<sup>14)</sup>の結果(8.37 kcal・kg<sup>-1</sup>)よりも低い値を示した。この理由としては, 前報<sup>14)</sup>での森林内歩行では標高差が大きく, 所要時間もファミリーコースの約4倍, 全体コースの約2倍と運動量が多かったことによるものと推察される。また, 体重当り1分間当りのGrossカロリーの平均はファミリーコースで0.11 kcal・kg<sup>-1</sup>・min<sup>-1</sup>, 全体コースで0.11 kcal・kg<sup>-1</sup>・min<sup>-1</sup>と両コースとも同じ結果を示した。総Netカロ

リーの平均はファミリーコースで194.32 kcal, 全体コースで401.37 kcalであった。体重当りのNetカロリーの平均はファミリーコースで2.71 kcal・kg<sup>-1</sup>, 全体コースでは5.60 kcal・kg<sup>-1</sup>であった。また, 体重当り1分間当りのNetカロリーの平均はファミリーコースで0.09 kcal・kg<sup>-1</sup>・min<sup>-1</sup>, 全体コースでも0.09 kcal・kg<sup>-1</sup>・min<sup>-1</sup>と同様な値であった。そして, 被検者間の値を比較してみると, 被検者AはGrossカロリー, Netカロリーの総カロリー, 体重当り, 体重当り1分間当りのどの場合においても他の2人の被検者よりも低い値を示した。この理由としては, HRが他の2人の被検者よりも低かったこと, 被検者Cよりも体重が多かったことおよび所要時間が他の2人の被検者よりも長かったことによるものと推察される。

本研究はあらかじめ測定されたHR- $\dot{V}O_2$ 関係式に森林内歩行時のHRを代入し, エネルギー消費量を求めたが, HRは環境温度<sup>3)</sup>, 運動時間<sup>8)</sup>, 精神的緊張<sup>9)</sup>の諸要因により変動することが知られている。したがって, 今後 $\dot{V}O_2$ を実測することにより本研究の方法の妥当性を検

討する必要があると考えられる。

## 要 約

本研究はあらかじめ測定されたトレッドミル歩行時の  $HR-\dot{V}O_2$  関係式を用いて、森林内歩行時の  $HR$  から  $\dot{V}O_2$  を推定し、体力科学的見地からみた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を目的とした。

被検者は健康な成人男子 3 名であり、測定は愛知県藤岡町にある昭和の森内の遊歩道で行なった。歩行スピードは被検者の任意とし、歩行中の  $HR$  を測定して  $\dot{V}O_2$  を推定したところ以下の結果を得た。

1 全被検者において  $HR$  と  $\dot{V}O_2$  の間には有意な直線関係が得られたことから、 $HR$  による  $\dot{V}O_2$  の推定法の有効性が確認された。

2 平均  $HR$  の平均はファミリーコースで  $109 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$ 、全体コースでは  $111 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$  であり、それぞれ  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の約 39%、約 41% に相当した。

3 森林内歩行時の平均  $RMR$  の平均はファミリーコースで 3.9、全体コースで 4.1 であったことから、佐々木ら<sup>11)</sup> の報告と労作量指数<sup>10)</sup> の 2 点から考慮すると適度なエアロビクス（有酸素運動）であることが確認された。

4 Gross カロリーと Net カロリーの総カロリーの平均は、ファミリーコースで 245.03 kcal, 194.32 kcal であり、全体コースでは 505.73 kcal, 401.37 kcal であった。体重当りの Gross カロリーと Net カロリーの平均においては、ファミリーコースの  $3.41 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.71 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$  よりも全体コースの  $7.05 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.60 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$  の方が高い値を示したが、体重当り 1 分間当りの Gross カロリーと Net カロリーの平均は、ファミリーコース  $0.11 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $0.09 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、全体コース  $0.11 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $0.09 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  であったことから、体重当り 1 分間当りのエネルギー消費量はファミリーコース、全体コースの両コースとも同じであると結論された。

## 参考文献

- 1) 朝比奈一男・浅野勝己・草野勝彦「作業強度の生理基準について」体力科学, 20: 190-194, 1971.
- 2) Åstrand, P.-O and Ryhming, I., "A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work" J. Appl. Physiol., 7: 218-221, 1954.
- 3) Dill D.B., "Effects of physical strain and high altitudes on the heart and circulation" Am. Heart J., 23: 441-454, 1942.
- 4) 石河利寛・青木純一郎・形本静夫「小学生における陸上競技教材を中心とした体育授業の運動強度」体育科学, 8: 58-64, 1980.
- 5) 伊藤稔・伊藤一生・北村栄美子・小川邦子・前田喜代子「女子学生の体育実技授業中の心拍数の変動と運動強度の推定について」体育科学, 6: 65-76, 1978.
- 6) 岩崎輝雄, 森林の健康学, 太平社, 1986, pp 49-88.
- 7) Malhotra, M.S., Gupta, J.S and Rai, R. M., "Pulse count as a measure of energy expenditure" J.Appl.Physiol., 18: 994-996, 1963.
- 8) 松井秀治・浅見俊雄・宮下充正・渡辺俊彦・竹内伸也・星川保・亀井貞次・木村順子・長谷川賢「長時間走トレーニングの生理学的研究 1. 長時間の呼吸循環機能について」体育学研究, 12: 47-54, 1967.
- 9) McArdle, M.D., Foglia, G.F and Patti, A. V., "Telemetered cardiac response to selected running events" J.Appl. Physiol., 23: 566-570, 1967.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) Sharkey, B.J., McDonald, J.F and Corbridge, L.G., "Pulse rate and pulmonary

- ventilation as predictors of human energy cost" *Ergonomics*, 9: 223-227, 1966.
- 13) 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, pp63.
- 14) 涌井忠昭・北川薫「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—」中京大学体育学論叢, 28: 25-31, 1987.
- 15) 山本高司・北川薫・坪内伸司・加藤好信・朝比奈一男「小学生男子(11歳)の1日の消費エネルギー量」*体育科学*, 11: 63-68, 1983.
- 16) 山本高司・北川薫・坪内伸司・菅嶋康浩・朝比奈一男「小学生女子(11歳)の1日の消費エネルギー量」*体育科学*, 12: 39-44, 1984.