

[原著論文]

## 除雪作業中の酸素摂取量の推定と運動様式

山下 弘二<sup>1)</sup> 三浦 雅史<sup>1)</sup> 李 相潤<sup>1)</sup> 佐藤 秀紀<sup>1)</sup>

### Estimated oxygen intake and mode of exercise during snow removal

Kouji Yamashita<sup>1)</sup> Masashi Miura<sup>1)</sup> Lee Sangun<sup>1)</sup> Hideki Sato<sup>1)</sup>

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the differences in the mode of exercise when oxygen intake ( $\dot{V}O_2$ ) during snow removal is estimated using a linear equation of the heart rate and  $\dot{V}O_2$  derived from an exercise test. The subjects were 23 healthy volunteers (19 men and 4 women; mean age,  $34.2 \pm 15.3$  years; mean height,  $168.7 \pm 8.4$  cm; mean weight,  $63.4 \pm 8.0$  kg). The same subjects underwent a bicycle ergometer exercise test and performed two types of snow removal (shovel and dump snow removal). The relative exercise intensity (% HRmax) of snow removal was  $76.3 \pm 11.0\%$  for shovel removal and  $81.7 \pm 12.7\%$  for dump removal. The heart rate during shovel and dump snow removal had a significantly higher positive correlation with  $\dot{V}O_2$ . The slope of the linear equation of the heart rate (X) and  $\dot{V}O_2$  (Y) was steeper for snow removal than for the exercise test, and that for dump removal was greater than that for shovel removal. There were no statistically significant differences between the estimates and actual values of  $\dot{V}O_2$  during shovel or dump removal. However, the estimates were very close to the actual values for shovel removal while actual values were about 10% higher than estimates for dump removal. These were presumably due to the relative similarity between the active muscles during shovel snow removal and the bicycle ergometer exercise, and the actual values were higher probably because dump snow removal used more muscles than the bicycle ergometer exercise. Similar modes of exercise are needed in order to estimate  $\dot{V}O_2$  accurately from an equation of heart rate and  $\dot{V}O_2$ .

(J.Aomori Univ.Health Welf.4(1): 1 - 6 , 2002)

キーワード: 除雪、酸素摂取量、運動様式

snow removal, oxygen intake, mode of exercise

#### 要 旨

本研究の目的は、運動負荷試験によって導かれた心拍数と酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の直線式を使って除雪作業中の  $\dot{V}O_2$  を推定する際に運動様式の相違について検討することである。被検者は、健康な23名(男19名、女4名、平均年齢 $34.2 \pm 15.3$ 歳、平均身長 $168.7 \pm 8.4$ cm、平均体重 $63.4 \pm 8.0$ kg)であった。方法は同一被検者に自転車エルゴメータを用いた運動負荷試験と二種類の除雪作業(ショベル除雪とダンプ除雪)を施行した。その結果、除雪作業の相対的運動強度(% HRmax)は、ショベル除雪が $76.3 \pm 11.0\%$ 、ダンプ除雪が $81.7 \pm 12.7\%$ であった。ショベル除雪とダンプ除雪時の心拍数と  $\dot{V}O_2$  の関係

式は、有意な高い正の相関が認められた。心拍数(X)と  $\dot{V}O_2$  (Y) の直線式の傾きは、運動負荷試験より除雪作業中の方が大きく、ショベル除雪よりダンプ除雪の方が大きかった。ショベル除雪とダンプ除雪のそれぞれの  $\dot{V}O_2$  の推定値と実測値との間には、統計的な有意差がなかった。しかし、ショベル除雪では  $\dot{V}O_2$  推定値と  $\dot{V}O_2$  実測値に極めて近似した値となったのに対して、ダンプ除雪では  $\dot{V}O_2$  推定値より  $\dot{V}O_2$  実測値の方が約10%高値となった。これらのことは、ショベル除雪と自転車エルゴメータの活動筋量が比較的類似していたためと考えられ、自転車エルゴメータよりダンプ除雪の方が活動筋量が多いため  $\dot{V}O_2$  実測値の方が高くなったと考えられ

1) 青森県立保健大学健康科学部理学療法学科

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Aomori University of Health and Welfare

る。このように心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線式を用いて正確に $\dot{V}O_2$ を推定するためには、運動様式が類似している必要があると考えられた。

### I. はじめに

運動強度の指標として、酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、Mets、RMR、消費カロリー、心拍数などが採用されている。その中でも他の指標よりも容易に測定できるという理由から心拍数の有用性は健康スポーツ指導から理学療法の現場においても広く認められている<sup>1-3)</sup>。健常者では最大下運動時の心拍数と $\dot{V}O_2$ の間に強い正の相関(直線関係)が認められている<sup>4)</sup>。この関係が正確にわかれば、バスケット、サッカー、テニスなどのスポーツや労作時の心拍数から $\dot{V}O_2$ を推定することができる。このような方法は、活動中の $\dot{V}O_2$ を直接測定できない場合に利用されてきた。さらに心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線式は、最大下運動負荷試験において最大酸素摂取量を推定する場合、有酸素的能力の比較や運動療法の効果判定にも用いられている<sup>5-6)</sup>。

このように $\dot{V}O_2$ を推定するためには心拍数を利用することは実用的であるが、心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線関係が確立するためには実験室での運動負荷試験と実際に適用される特定の運動(作業)様式との類似点の程度を検討する必要がある。心拍数に影響を及ぼす可能性がある要因には、 $\dot{V}O_2$ 以外に気温、感情、食物摂取、運動様式(姿勢や運動に参加した活動筋量、連続的運動と断続的運動、等尺性運動と律動性運動)等がある<sup>7)</sup>。特に運動様式は重要であり、運動が連続的でありズミカルな有酸素運動時に比較して、腕だけの運動や等尺性運動時の方が心拍数が高くなると考えられる。したがって、上体に限った運動時や静的運動時の心拍数をサイクリングやランニング時の心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線関係に適用されると $\dot{V}O_2$ の値はより過大に推定する可能性がある。除雪作業も、上肢筋の等尺性運動を伴うことと寒冷環境下で行うことからこのような運動に該当すると考えられる。

そこで著者らは、自転車エルゴメータによる運動負荷試験の結果から導かれた心拍数と $\dot{V}O_2$ との直線式を用いて除雪作業時の心拍数から求めた $\dot{V}O_2$ の推定値と実測値について比較検討した。

## II. 対象と方法

### 1. 被検者

被検者は、健康上、急性疾患や運動を禁止されるような呼吸循環系の異常を有しない健常者23名(男19名、女4名、平均年齢 $34.2 \pm 15.3$ 歳、平均身長 $168.7 \pm 8.4$ cm、平均体重 $63.4 \pm 8.0$ kg)であった。被検者には前もって研究の目的や内容を十分に説明し、同意書に署名しても



Fig.1. The cardiopulmonary exercise tests done by using the bicycle ergometer

らった。

### 2. 環境条件

本研究は2001年1月中旬から3月上旬にかけて実施した。運動負荷試験は本学理学療法学科内の運動学実習室で実施し、除雪作業は本大学B棟の屋外周辺で実施した。運動負荷試験時の室温は空調調節を $21 \sim 24^\circ\text{C}$ に設定し同一条件が保たれるようにした。一方、除雪作業時の外気温は、除雪実験時が $-2 \sim +9$ 、平均 $3.5^\circ\text{C}$ であった。雪の密度の計測は、自作の内径70mmの塩化ビニール管を雪に突き刺し、その深さと塩化ビニール管内の雪の重量を量り、密度=質量÷体積から算出した。今回の除雪作業時の密度は $0.22 \sim 0.55 \text{ g/cm}^3$ 、平均値が $0.40 \text{ g/cm}^3$ であった。参考に $0.22 \text{ g/cm}^3$ が新雪であり、 $0.55 \text{ g/cm}^3$ がザラメ雪、今回研究の密度の平均が $0.40 \text{ g/cm}^3$ がぬれ雪であることから比較的重い雪であった。

### 3. 運動負荷試験および除雪作業

同一被検者に対し、自転車エルゴメータを用いた運動負荷試験と除雪作業を、順序をランダム化して十分な休養後に実施した。自転車エルゴメータを用いた呼気ガス分析併用型運動負荷試験のプロトコールは、直線的漸増(ramp)負荷法(中高年者群が $20\text{W}/\text{分}$ 、若年者群が $30\text{W}/\text{分}$ )を用い、運動終了点は「息が苦しい」と「自転車の回転数40rpm以上維持できない」状態とした<sup>8)</sup>(図1)。なお、運動負荷試験に先立って心電図のモニター装着下で安静時座位をとらせ、心拍数と $\dot{V}O_2$ が安定したことを確認した。

一方、除雪作業は、ショベル除雪とスノーダンプ除雪



Fig.2. Shovel snow removal

(with an ordinary-size shovel)

To remove snow with an ordinary-size shovel, each of the subjects cut snow into cubes of proper size, scooped it up and threw it into a snow dump container set one meter away. This work was done repeatedly for five minutes.

(以下ダンプ除雪と略す)の二種類であった。ショベル除雪では、積雪30~60cmの場所で、柄の長さ65cm、重量1.1kg、プレート面積約980cm<sup>2</sup>のものを使用し、ダンプ除雪では柄の長さ67cm、重量4.8kg、プレート面積約3,500cm<sup>2</sup>のものを使用した。除雪作業はあくまでも本人が日常無理なく実施できる(マイペース除雪)という条件で、5分間のショベル除雪を課し、その後、座位休憩を5分程度とり、再び5分間のダンプ除雪を課した。できるだけ普通に行われている除雪作業に近づくために、ショベル除雪作業では投雪を貯える容器と約1mの範囲で行った(図2)。またダンプ除雪では投雪を貯える容器と約5m範囲で行った(図3)。なお、除雪作業に先立って安静時座位をとらせ、心拍数と $\dot{V}O_2$ が安定したことを確認した。

除雪作業の相対的強度は、各被検者の運動負荷試験から求められる最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )に対する除雪作業時の $\dot{V}O_2$ の割合(% $\dot{V}O_{2max}$ )にもとづいて評価する方法が一般的である。しかし、本研究では被検者の中には運動習慣のない中高年者が多く、安全性の面から必ずしもオールアウトに達するような $\dot{V}O_{2max}$ を測定することはせず、「息が苦しい」と「自転車の回転数40rpm以上維持できない」状態を運動終了点とし、終了点での $\dot{V}O_2$ を最高酸素摂取量(peak $\dot{V}O_2$ )、その心拍数を最高心拍数(peakHR)とした。除雪作業時の相対的運動強度の指標には、peak $\dot{V}O_2$ とpeakHRに対する実際の除雪作業時の $\dot{V}O_2$ と心拍数の割合を%peak $\dot{V}O_2$ と%peakHRとして、さらに年齢別予測最大心拍数(220-年齢)に対する実際の除雪作業時の心拍数の割合を%HRmaxを算出した。



Fig.3. Dump snow removal

(with a large-size shovel)

To remove snow with a large-size shovel, each of the subjects pushed the shovel with its plate horizontal to the ground, slid it into a pile of snow, turned it around, and pushed it horizontally to the ground to a snow dump container set five meters away. This work was done repeatedly for five minutes.

測定機器は、テレメトリー式呼吸代謝計測システム(コスメデック社製K4b2、本体重量880g)とホルター型の24時間心電記録器(フクダ電子製FM-200、本体重量620g)を用いた。 $\dot{V}O_2$ はブレスバイブレイス法(テレメトリー式呼吸代謝計測システム)によって測定し、データは6breathsを平均したものを採用した。心拍数は胸部双極誘導法により連続的に計測した。そのデータは24時間心電記録器側のメモカードを長時間心電図解析装置(フクダ電子製FCP-4830)によって解析した。

#### 4. 統計処理

運動負荷試験中と除雪作業中の心拍数(X)と $\dot{V}O_2$ (Y)の直線式を求めるためにPearson's correlation coefficientを用いた。運動負荷試験時の心拍数(X)と $\dot{V}O_2$ (Y)の関係式に除雪作業時の心拍数を代入して得た $\dot{V}O_2$ の推定値と除雪時の呼気ガス分析から測定された $\dot{V}O_2$ の実測値との比較にはpaired t-testを用いた。いずれも $p < 0.05$ を有意差ありとした。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 除雪作業の相対的強度

除雪作業の相対的強度は、ショベル除雪よりダンプ除雪の方が高値を示したが、いずれも最大下の運動強度であった(表1)。

#### 2. 心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係

運動負荷試験の結果から導かれた心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式  $Y(\dot{V}O_2) = aX(\text{心拍数}) + b$ は、相関係数が

Table 1. The relative exercise intensity of snow removal

N=23	% peak $\dot{V}O_2$ (%)	% peakHR (%)	%HRmax (%)
Shovel snowremoval	70.7 ± 22.7	82.0 ± 13.1	76.3 ± 11.0
Dump snow removal	89.2 ± 29.8	87.4 ± 12.4	81.7 ± 12.7

Data are means ± SD.

Table 2. The linear equation of the heart rate and  $\dot{V}O_2$  during exercise test

N=23	Correlation coefficient	a	b	P-Value
	0.97 ± 0.03	0.29 ± 0.10	-17.47 ± 8.59	**

Data are means ± SD.

\*\* : p<0.01

$Y(\dot{V}O_2)=a \cdot X(\text{heart rate})+b$ , a : slope, b : intercepting sewer

Table 3. The linear equation of the heart rate and  $\dot{V}O_2$  during snow removal

N=23	Correlation coefficient	a	b	P-Value
Shovel snow removal	0.93 ± 0.05	0.36 ± 0.16	-22.68 ± 19.10	**~*
Dump snow removal	0.96 ± 0.04	0.54 ± 0.46	-37.24 ± 20.90	**~*
Exercisc test	0.97 ± 0.03	0.29 ± 0.10	-17.47 ± 8.59	**~*

Data are means ± SD.

\* : p<0.05, \*\* :p<0.01

$Y(\dot{V}O_2)=a \cdot X(\text{heart rate})+b$ , a : slope, b : intercepting sewer

Table 4. Comparison between the estimates and actual values of  $\dot{V}O_2$ 

N=23	Estimates values (ml / kg / min)	Actual values (ml / kg / min)	P-Value
Shovel snowremoval	23.9 ± 9.0	23.2 ± 4.3	ns
Dump snow removal	26.5 ± 9.5	29.1 ± 5.5	ns

Data are means ± SD.

ns:no significant

0.97±0.03と高い正の相関が認められ、総て有意 (p<0.01) となった (表3)。

一方、除雪作業時の心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式  $Y(\dot{V}O_2) = a X(\text{心拍数}) + b$ は、総て有意 (P<0.05~P<0.01) な高い正の相関が認められた (表2)。

心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式の傾き (a) は、自転車エルゴメータを用いた運動負荷試験より除雪作業中の方が大きく、さらにショベル除雪中よりダンプ除雪中の方が大きかった (表3)。

### 3. $\dot{V}O_2$ の推定値と実測値の比較

$\dot{V}O_2$ の推定値は、運動負荷試験を施行して導き出された心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式に除雪作業時の心拍数を代入して求めた。ショベル除雪とダンプ除雪のそれぞれの $\dot{V}O_2$ の推定値と実測値との間には、統計的な有意差は認められなかった (表4)。しかし、ショベル除雪では $\dot{V}O_2$ 推定値と $\dot{V}O_2$ 実測値とは極めて近似した値となったの

に対して、ダンプ除雪では $\dot{V}O_2$ 推定値より $\dot{V}O_2$ 実測値の方が約10%高値を示していた。

## IV. 考察

最大下の運動時には、心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線関係があることがすでに知られている。しかしながら、この直線関係は、①気温<sup>9)</sup>、②気圧<sup>10)</sup>、③運動様式<sup>11-12)</sup>、④発育・発達<sup>13)</sup>、⑤運動能力や体力<sup>14)</sup>、⑥トレーニングの前後<sup>15)</sup>、⑦貧血<sup>16)</sup>、⑧喫煙あるいは一酸化炭素の曝露<sup>17)</sup>、⑨大気中の酸素濃度<sup>18)</sup>、⑩冠状動脈疾患等の心臓障害<sup>19)</sup>、⑪薬物<sup>20)</sup>などによって異なってくると言われている。

寒冷環境の呼吸循環機能の変化については、換気量、 $\dot{V}O_2$ 、心拍出量および一回心拍出量の増加、心拍数の低下、収縮期血圧の上昇がみられる<sup>21)</sup>。しかし、寒冷環境下の除雪作業は適当な防寒着を着ていることと、除雪作業自体が大量に熱を発生するため心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線関係に大きな影響とならないと考えられる<sup>22)</sup>。今回、特に心拍反応に問題となるのは、活動筋量の大小による

運動様式の違いである。一般的な傾向として活動筋量が多くなるにつれて作業中の最大心拍数が高くなる。そのため心拍数と $\dot{V}O_2\max$ の直線式や $\%HR\max$ と $\dot{V}O_2\max$ 直線式は運動様式によって異なってくる<sup>23)</sup>。

本研究の運動負荷試験時および除雪作業中の心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係は、有意な高い相関が認められた。除雪作業の相対的運動強度はショベル除雪の $\%HR\max$ が $76.3 \pm 11.0\%$ 、ダンプ除雪の $\%HR\max$ が $81.7 \pm 12.7\%$ であったことから最大下の運動強度であり、5分間持続したため有酸素的な運動となった。これらのことから除雪作業時の心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係は有意な高い相関が得られたと考えられる。その一次式の傾き(a)は、自転車エルゴメータを用いた負荷試験時より除雪作業時の方が高値を示し、ショベル除雪よりダンプ除雪の方が高値を示した。この傾きが大きいことは、単位心拍数当たりの $\dot{V}O_2$ が大きいことを示し、活動筋量の多い運動であると考えられる<sup>24)</sup>。この傾きは $\dot{V}O_2$ を心拍数で除した酸素脈であり、一回の心拍ごとに末梢組織で取り込まれる酸素の量である。この心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線式の傾きは、個人差が認められる。すなわち、有酸素的能力に優れた者は、心拍数当たりのできる仕事量が大きいため $\dot{V}O_2$ も多く、心拍数(X)と $\dot{V}O_2$ (Y)の関係式の傾きも大きいことになる<sup>7)</sup>。さらに慢性閉塞性肺疾患患者や冠動脈疾患患者では、健常者より傾きが低値となる<sup>25-26)</sup>。

自転車エルゴメータを用いた運動負荷試験から導き出された心拍数と $\dot{V}O_2$ の直線式に除雪作業時の心拍数を代入して求めた $\dot{V}O_2$ の推定値と実測値との間には、統計的に有意な差は認められなかった。自転車エルゴメータによる負荷試験の運動様式は、両手で自転車のハンドルを握り、両下肢で律動的にペダリングする動作である。一方、ショベル除雪作業の一般的な運動様式は、両手でスコップの柄を握り、下半身と上肢で雪の小切りにして、雪を持ち上げてから方向を変えて投雪する動作の繰り返しである。ショベル除雪時の $\dot{V}O_2$ の推定値と実測値とは極めて近似していたことは、ショベル除雪作業と自転車エルゴメータの活動筋量が比較的類似していたため大きな差とならなかったと考えられる。一方、ダンプ除雪の運動様式は、大きなスコップの柄を両手で握り、地面とほぼ水平に押し雪を切り出してから、雪を乗せたまま方向を変えて地面と水平に押し投雪する繰り返しである。ダンプ除雪では $\dot{V}O_2$ の推定値より $\dot{V}O_2$ の実測値の方が10%程度大きい傾向にあり、直線式の傾きの違いからからもわかるように自転車エルゴメータよりダンプ除雪の方が活動筋量が多いため $\dot{V}O_2$ 推定値の方が高くなったと考えられる。

これらのことより、心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係式を用いて正確に $\dot{V}O_2$ を推定するためには、運動様式が類似している

必要があることが示唆された。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、お忙しい中、除雪作業の被検者になっていただいた村上病院の職員の方、本大学の教員と学生に厚くお礼を申し上げます。

(受理日：平成14年10月23日)

## 文 献

- 1) 上村史朗、藤本伸一、橋本俊雄、土肥和紘、岩本江美、石川兵衛：運動強度の評価を目的とした心拍数利用の妥当性．臨床スポーツ医学、14 (11) :1211-1215、1997.
- 2) 山地啓司：運動と心拍数-心拍数の運動処方への応用-．保健の科学、42 (5) :359-366、2000.
- 3) 田中淑子、丸山仁司、西田祐介：運動様態からみたエネルギー代謝の違い．理学療法科学 17 (2) :83-86、2002.
- 4) Saltin, B. : Physiological effects of physical conditioning. *Med. Sci. Sports* 1 : 50-58、1969.
- 5) 山下弘二：低負荷運動試験の再現性と運動耐容能の指標-健康中高年者と脳卒中患者における比較-．理学療法研究、7 :15-24、1990.
- 6) 山下弘二：希釈法による台からの立ち上がり負荷試験．理学療法研究、8 :14-20、1991.
- 7) 田口貞善、矢部京之助、宮村実晴、福永哲夫監訳：運動生理学-エネルギー・栄養・ヒューマンパフォーマンス-．p148、杏林書院、1992.
- 8) 谷口興一監訳：運動負荷テストの原理とその測定法．第2版．p106-114、南光堂、1999.
- 9) Bergh, U., and B. Ekblom : Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *J. Appl. Physiol.* 46 : 885-889、1979.
- 10) Horstman, D.H., R. Weiskopf, and S. Robinson : The nature of the perception of effort at sea level and high altitude. *Med. Sci. in Sports.* 11 : 150-154、1979.
- 11) Kamon, E. : Cardiopulmonary responses of male and female subjects to submaximal work on laddermill and cycle ergometer. *Ergonomics.* 15 : 25-32、1972.
- 12) 福田明夫、北村潔和、山地啓司、有沢一男：作業部位(活動筋量)の相違による $HR-\%V O_2\max$ 直線性の変異性．体育の科学、30 : 750-758、1980.
- 13) Godfrey, S., C.T.M. Davies, E. Wozniak, C.A. Barnes : Cardiorespiratory response to exercise in normal children. *Clin. Sc.* 419-431、1971.

- 14) Rowell, L.B., H.L. Taylor, and Y. Wang : Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *J. Appl. Physiol.* 19 : 919–927, 1964.
- 15) Kilbom, A. : Physical training in women. *scand. J. Clin. Lab. Invest.* 28 : 1–34, 1971.
- 16) Ohira, Y., V.R. Edgerton, G.W. Cardner, B.Senewiratne, and D.R. Simpson : Non-hemoglobin related effects on heart rate in iron deficiency anemia. *Nut. Reports International.* 18 : 647–651, 1978.
- 17) Cummingham, D.A., H.J. Montoy, M.W. Higgins, and J.B. Keller : Smoking habits, chronic bronchitis and shortness of breath and physical fitness. *Med. Sic.in Sports.* 4 : 138–145, 1972.
- 18) Margaria, R., E. Camporesi, P. Aghemo, and G. Sassi : The effect of O<sub>2</sub> breathing on maximal aerobic power. *Pflugers Arch.* 336 : 225-235, 1972.
- 19) Benestad, A.M. : Determination of physical work capacity and exercise tolerance in cardiac patients. *Acta Med. Stand.* 183 : 521–529, 1968.
- 20) Davies, C.T.M., and A.J. Sargeant : Effects of atropine and practolo on perception of exertion during treadmill exercise. *Ergonomics.* 22 : 1141–1146, 1972.
- 21) Wagner, J.A. and S.M. Horvath : Cardiovascular reactions to cold exposures differ with age and gender. *J. Appl. Physiol.*, 58 : 187-192, 1985.
- 22) アメリカスポーツ医学会編、日本体力医学会体力科学編集委員会監訳:体育指導者のために運動処方の方針. 第5版、p221、南光堂、1997.
- 23) Kitamura K, Yamaji K, Shephard RJ : Heart rate predictions of exercise intensity during arm, leg and combined arm/leg exercise. *J. Human Ergol*, 10 : 151–160, 1981.
- 24) 山地啓司 : 運動処方のための心拍数の科学. 大修館書店、p46–48、1981
- 25) Nery, L.E., Wasserman, K., French, W., Oren, A., and Davis, J.A. : Contrasting cardiovascular and respiratory responses to exercise in mitral valve and chronic obstructive pulmonary diseases. *Chest*, 83 : 446–453, 1983.
- 26) Koike, A., Itoh, H., Taniguchi, K., and Hiroe, M : Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise by respiratory measurement. *Circulation*, 80 : 1737–1746, 1989.