

最大酸素摂取量間接推定法に及ぼす作業方法及び環境条件の影響について

綿貫 茂喜¹⁾, 山崎 和彦²⁾

1) 九州芸術工科大学 人間工学教室

2) 防衛庁技術研究本部第2研究所 人間工学試験室

The Effects of Exercise and Environmental Conditions on Prediction Equations of Maximal Oxygen Intake

Shigeki WATANUKI¹⁾ and Kazuhiko YAMASAKI²⁾

1) Department of Ergonomics, Kyushu University of Design Science.

Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815 Japan

2) Department of Ergonomics, The Second Research Center, Institute of Technical Research and Development, Japan Defense Agency,

Ikejiri, Setagaya-ku, Tokyo, 154 Japan

The purpose of this study is to investigate the effects of type and workload of exercise, ambient temperature and season on the prediction equation of maximal oxygen intake ($\dot{V}O_{2max}$). Sixteen adult males were used as the subjects. The subjects were given submaximal works by a bicycle ergometer exercise and a step exercise under the four kinds of environment (warm in summer, cool in summer, warm in winter, cool in winter). Prediction equations examined in this study were those of Åstrand and Ryhming (1954), Margaria et al. (1965) and Sato et al. (1976-b, 1980).

As for the type and workload of exercise and ambient temperature, the accuracy of predicted $\dot{V}O_{2max}$ from the prediction equations of Åstrand and Ryhming, Margaria et al. and Sato et al. (1976-b) was not sufficient compared with that from the prediction equation from Sato et al. (1980). In the prediction equation of Sato et al. (1980), however, seasonal difference in predicted $\dot{V}O_{2max}$ was found.

序 論

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) はヒトの有酸素的作業能力を評価する上で有用な生理的測定項目である (Tayler et al. 1955; Hermansen and Saltin 1969; Åstrand and Rodahl 1970). $\dot{V}O_{2max}$ は一般にトレッドミルを用いた最大作業により得られる。この手法は高価な設備や熟練した実験者を必要とし、被検者は最大努力や強い動機づけが要求され、呼吸循環系に疾患のある者や動機づけの困難な若年者においては用い難い。この様な $\dot{V}O_{2max}$ の直接測定に対し、最大下作業時の諸生理的測定値を用いて間接的に $\dot{V}O_{2max}$ を推定する方法が今日まで数多く開発されてい

る。それらは酸素摂取量と心拍数が最大作業時を含めて直線回帰関係にあることを前提とする $\dot{V}O_{2max}$ 間接推定法 (Åstrand and Ryhming, 1954; Maritz et al., 1961; Margaria et al., 1965; Weiner and Lourie, 1969; 佐藤ら 1976a, b) と、種々の生理的、形態的測定値を独立変数とした多変量による $\dot{V}O_{2max}$ 間接推定法 (von Döbeln 1967, Cotes and Davies, 1969; Mastropaolo, 1970; Hermiston and Faulkner, 1971; Sato et al., 1980) に大別される。これらの推定法を用いることにより $\dot{V}O_{2max}$ を直接に測定することから生じる様々な困難性を回避できる。しかしながら、これらの推定法には種々の問題が存在する。

それらは推定法自体が有する問題と推定法を用いる際に生じる問題に分けられる。最大作業に至るまでの酸素摂取量と心拍数の直線回帰関係に基づく推定法は、最大作業付近で酸素摂取量と心拍数が非直線関係を示すため過小推定を生じる (Maritz *et al.*, 1961; Rowell *et al.*, 1964; Glassford *et al.*, 1965; Davies, 1968) とされ、推定法自体に関する主要な問題となっている。推定法を実際に用いる際の問題に関しては年齢 (Åstrand, I, 1960; von Döbeln *et al.*, 1967), 性差 (Åstrand, I, 1960), 身体鍛練度 (Rowell *et al.*, 1964; Shephard 1967; Keren *et al.*, 1980) 等について論じられている。これらは推定法の開発に用いられた被検者群の身体的特徴や鍛練度が、推定法を実際に適用する際の被検者の属性と異なることに帰因するものである。同様な理由にて $\dot{V}O_2\max$ を推定するための最大下作業における作業強度、作業様式、及び環境条件の差異が $\dot{V}O_2\max$ 推定値に影響を与えることも考えられる。作業強度に関しては従来比較的重い作業強度が望ましい (Davies *et al.*, 1968) とされている。しかしながら、推定精度を向上させるために重作業強度を被検者に与えることは推定法の有用性を著しく減じることとなる。作業様式に関しては自転車エルゴメータ、及びステップテストがよく用いられている。両者の主な差異の一つはそれらの作業姿勢にある。酸素摂取量の心拍数に対する回帰は立位と座位で異なる (Sato and Tanaka, 1973) ため、両回帰関係に基づく推定法では作業様式の差異が $\dot{V}O_2\max$ の推定に影響を与える可能性も考えられる。また、人に最も密接な環境因子である温度は推定法に影響を与えることが示唆され (Åstrand and Ryhming, 1954; Rowell *et al.*, 1964; Davies 1968; Cotes and Davies, 1969), 特に高温環境にて推定誤差は増すことが報告されている (坂手, 1976; 佐藤ら, 1976, a, b)。特殊な環境温度は別として通常的环境温度、即ち季節変化に伴う環境温度の変動範囲において推定法への環境温度の影響を検討した報告は少ない。さらに、諸生理的測定値は季節により変動することから (Malhotra *et al.*, 1960; Consolazio *et al.*, 1963; Gold *et al.*, 1969; Shvartz and Meyerstein 1979; Shapiro *et al.* 1981), 推定法への季節変動の影響も考えられる。

本研究は $\dot{V}O_2\max$ 推定法に及ぼす作業強度、作業様式、環境温度、及び季節の影響について検討するこ

とを目的とする。検討の対象とした $\dot{V}O_2\max$ 推定法は Åstrand and Ryhming, (1954), Margaria *et al.*, (1965), 佐藤ら (1976, b), 及び Sato *et al.*, (1980) の推定法である。

方 法

被検者は健康な若い男性16名 (年齢21歳~27歳, 身長159.1cm~176.7cm, 体重49.2kg~69.2kg) であった。実験は1981年8月と1982年2月に行われた。設定された環境条件は8月に夏期常温環境 (WARM IN SUMMER) と夏期での冬期想定温度環境 (COOL IN SUMMER), 2月に冬期常温環境 (COOL IN WINTER) と冬期での夏期想定温度環境 (WARM IN WINTER) が設定された。各環境条件における乾球温度 (DBT), 湿球温度 (WBT), 相対湿度 (R.H.) を表1に示す。なお, 夏期常温環境と冬期常温環境は屋外の環境条件に依存する。本研究においては, 夏期常温環境と夏期での冬期想定温度環境 (比較1), 或いは冬期常温環境と冬期での夏期常温環境 (比較2) での推定値を比較することにより各推定法に及ぼす環境温度の影響を検討した。また, 夏期常温環境と冬期での夏期想定温度環境 (比較3), 或いは冬期常温環境と夏期での冬期想定温度環境 (比較4) での推定値を比較することにより各推定法への季節の影響を検討した。

4種の環境条件下において被検者は最大下作業として自転車エルゴメータ作業とステップワークを行った。自転車エルゴメータ作業は毎分50回転のペダル踏みにて第1作業 (BE-1) として450kgm/分, 第2作業 (BE-2) として750kgm/分, ステップワークは台高40cmにて第1作業 (ST-1) として毎分15回, 第2作業 (ST-2) として毎分25回の昇降作業で, 各々第1作業を7分, 第2作業を3分, 連続して行った。作業開始後5分目から7分目までと, 9分目から10分目までの呼気をダグラスバッグに採集した。肺換気量

Table-1 Means and Standard deviations of ambient temperature and relative humidity in each environmental condition.

	D.B.T.(°C)	W.B.T.(°C)	R.H.(%)
WARM IN SUMMER	26.9±0.5	21.2±0.5	61±5
COOL IN SUMMER	7.2±0.4	4.2±0.4	61±5
WARM IN WINTER	26.6±0.5	21.5±0.5	61±6
COOL IN WINTER	9.8±0.6	6.4±0.6	62±7

は湿式ガスメータを用いて測定し呼気中の酸素濃度及び二酸化炭素濃度はレスピライザー（フクダ医理化）により求め、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量を算出した。また、この期間の心拍数(H.R.)を心電図記録より求めた。これらの値を表2に示す各推定法に代入し $\dot{V}O_{2max}$ を推定した。なお、表に示されるEST-1、及びEST-2は各々Åstrand and Ryhming (1954), Margaria *et al.*, (1965)の推定法を示す。EST-3及びEST-4に示される佐藤ら(1976, b)の推定法は各々環境温度が30℃及び20℃用に開発されたものである。EST-5及びEST-6はSato *et al.*, (1980)により示された推定法である。EST-5に含まれる独立変数は $\dot{V}O_2$ 、肺換気量($\dot{V}_E$)、酸素摂取率、酸素脈、体重、年齢、心拍数、環境温度、身長である。EST-6にはEST-5に含まれる心拍数、環境温度、酸素脈の変数が除外されている。

各被検者の $\dot{V}O_{2max}$ の実測値はトレッドミルを用いた最大作業により得られた。 $\dot{V}O_{2max}$ の判定規準としては、連続する $\dot{V}O_2$ 測定値の差が $\dot{V}O_{2max}$ の±3%であること(Hermansen and Saltin, 1969)、最高心拍数が年齢に応じた値であること(Issekutz *et al.*, 1962)、呼吸交換比が1.15以上であること(Issekutz *et al.*, 1962)を用いた。 $\dot{V}O_{2max}$ の実測は1980年8月、1981年2月、一部の被検者については1981年10月にも測定され、各被検者において得られた2個或

いは3個の値の中の最大値を $\dot{V}O_{2max}$ とした。 $\dot{V}O_{2max}$ の実測値及びその体重当たりの量の平均値と標準偏差は各々 3.067 ± 0.382 l/分、 54.16 ± 3.82 ml/kg/分であった。

結 果

各環境条件下での最大下作業中のH.R., $\dot{V}_E$, $\dot{V}O_2$ を作業強度別、作業様式別に表3に示す。各測定値について、比較1及び比較2において環境温度の影響を検討すると、 $\dot{V}_E$ 及び $\dot{V}O_2$ には作業強度、作業様式にかかわらず有意差はみられなかった。H.R.は環境温度の高い条件で増大傾向にあり、夏期常温環境での両作業様式及び両作業強度で、また冬期での夏期想定温度環境におけるステップワークの第1作業で有意差($P < .01$)がみられた。なお、H.R.の増大傾向は比較2に比し比較1においてより明らかで、心拍数への温度効果が季節により異なる傾向にあることが示された。比較3及び比較4にて季節の影響を検討すると $\dot{V}O_2$ には作業強度、作業様式に関わらず差はみられなかった。 $\dot{V}_E$ は夏期に増加傾向を示し、夏期常温環境における自転車エルゴメータ作業の両作業強度と夏期での冬期想定温度環境におけるステップワークの第1作業において有意差(各々 $P < .01$, $P < .05$)がみられた。

各環境条件においてH.R.に対する% $\dot{V}O_{2max}$ の回帰式を各作業様式について作業強度別に求めた。表4に各回帰式、相関係数、及び共分散分析法による第1

Table 2 Prediction equations investigated in this study.

		Y; estimated maximal oxygen intake
EST-1 Åstrand and Ryhming,		$Y = 134y / (x - 61)$
(1954)		y; $\dot{V}O_{2submax}$ (l/min.) x; H.R.(beats/min.)
EST-2 Margaria <i>et al.</i> ,	(1965)	$Y = (22x_2 - 32.6x_1 + 2120) / (x_2 - x_1)$
		x_1 ; H.R.submax1 x_2 ; H.R.submax2
EST-3 Sato <i>et al.</i> ,	(1976)	$Y = 100y / (0.5969x - 32.63) \dots \text{for } 30^\circ\text{C}$
		y; $\dot{V}O_{2submax}$ (l/min.) x; H.R.(beats/min.)
EST-4 Sato <i>et al.</i> ,	(1976)	$Y = 100y / (0.6406x - 30.86) \dots \text{for } 20^\circ\text{C}$
		y; $\dot{V}O_{2submax}$ (l/min.) x; H.R.(beats/min.)
EST-5 Sato <i>et al.</i> ,	(1980)	$Y = [94.815\dot{V}O_2 / (0.263or + 0.387\dot{V}_E - 0.387\dot{V}_E - 0.391wt - 0.850yr + 0.318H.R. + 1.901op - 0.105ta - 0.0826ht - 6.250\dot{V}O_2 + 25.748)] + 0.195$
		$\dot{V}O_2$ (l/min.), or; ratio of oxygen removal in ml(STPD)/l (BTPS), $\dot{V}_E$ (l/min.), wt; weight(kg), yr; year, op; oxygen pulse(ml/beat), ta; ambient temperature(°C), ht; height(cm),
EST-6 Sato <i>et al.</i> ,	(1980)	$Y = [95.182\dot{V}O_2 / 0.763\dot{V}_E - 1.092wt - 1.542yr + 16.82\dot{V}O_2 + 0.361or + 0.110ht + 63.655] + 0.126$

Table 3 Means and standard deviations of some of physiological parameters during submaximal works.

		H.R. (beats/min.)		$\dot{V}_E$ (BTPS) (l/min.)		$\dot{V}_{O_2}$ (STPD) (l/min.)	
		m	S.D.	m	S.D.	m	S.D.
WARM IN SUMMER	ST-1	126	14	34.679	4.197	1.224	.160
	ST-2	157	17	54.515	7.385	1.812	.193
	BE-1	122	15	35.719	3.753	1.110	.097
	BE-2	149	16	55.106	10.013	1.733	.199
COOL IN SUMMER	ST-1	120	17	34.786	5.043	1.216	.151
	ST-2	150	20	54.278	7.433	1.853	.233
	BE-1	113	11	33.757	4.805	1.097	.079
	BE-2	143	15	52.059	9.516	1.681	.142
WARM IN WINTER	ST-1	121	14	33.835	4.320	1.223	.137
	ST-2	152	17	52.074	6.196	1.821	.193
	BE-1	116	12	32.057	2.428	1.112	.078
	BE-2	146	15	48.869	3.970	1.687	.094
COOL IN WINTER	ST-1	114	14	33.193	3.648	1.238	.119
	ST-2	148	19	52.669	6.240	1.817	.158
	BE-1	114	14	31.802	3.554	1.134	.064
	BE-2	143	19	49.927	6.589	1.698	.087

Table 4 Regression equations of the $\% \dot{V}_{O_2} \max$ [Y] on the H.R.[X] during each workload.

		regression equation ($Y = \% \dot{V}_{O_2} \max, X = \text{H.R.}$)		analysis of covariance F-value slope elevation		$\hat{\wedge} P < 0.05$ $\hat{\wedge} P < 0.01$
WARM IN SUMMER	ST-1	$Y = .288X + 3.784$	$r = .765$	.149	29.153	$\hat{\wedge} \hat{\wedge}$
	ST-2	.249 + 20.523	.670			
	BE-1	.247 + 6.550	.672			
	BE-2		.471			
COOL IN SUMMER	ST-1	.213 + 14.584	.696	1.365	30.046	$\hat{\wedge} \hat{\wedge}$
	ST-2	.327 + 12.069	.758			
	BE-1	.291 + 3.333	.645			
	BE-2	.422 - 4.620	.725			
WARM IN WINTER	ST-1	.191 + 17.079	.550	.007	31.311	$\hat{\wedge} \hat{\wedge}$
	ST-2	.182 + 32.103	.507			
	BE-1	.246 + 8.053	.633			
	BE-2	.242 + 20.270	.653			
COOL IN WINTER	ST-1	.157 + 22.782	.548	.054	47.225	$\hat{\wedge} \hat{\wedge}$
	ST-2	.136 + 39.564	.510			
	BE-1	.274 + 6.290	.779			
	BE-2	.310 + 11.640	.839			

作業と第2作業での回帰式の高さ(elevation)と傾き(slope)の差の検定結果を示す。両作業様式とも回帰式間の高さに有意差($P < .01$)がみられ、同一心拍数あたりの $\% \dot{V}O_{2\max}$ は第1作業に比し第2作業において高くなることが示された。表5は各環境条件においてH.R.に対する $\% \dot{V}O_{2\max}$ の回帰式を作業様式別に

両作業強度での値を包含して求め、表4と同様に示したものである。各環境条件にて同一心拍数あたりの $\% \dot{V}O_{2\max}$ に作業様式間の差はみられなかった。

次に環境条件別に両作業様式、両作業強度の値を包含してH.R.に対する $\% \dot{V}O_{2\max}$ (表6)、及び $\dot{V}_E$ に対する $\% \dot{V}O_{2\max}$ (表7)の回帰式を求め、回帰式間への

Table 5 Regression equations of the $\% \dot{V}O_{2\max}[Y]$ on the H.R.[X] at each type of exercise.

		regression equation ($Y = \% \dot{V}O_{2\max}$, $X = \text{H.R.}$)			analysis of covariance F-value	
					slope	elevation
WARM IN SUMMER	(ST-1+ST-2)	$Y = .451X - 13.991$	$r = .862^{**}$		.266	.004
	(BE-1+BE-2)	.497 - 20.242	.840 ^{**}			
COOL IN SUMMER	(ST-1+ST-2)	.448 - 9.754	.840 ^{**}		1.333	.671
	(BE-1+BE-2)	.536 - 22.589	.879 ^{**}			
WARM IN WINTER	(ST-1+ST-2)	.412 - 6.255	.807 ^{**}		.428	.908
	(BE-1+BE-2)	.461 - 14.269	.863 ^{**}			
COOL IN WINTER	(ST-1+ST-2)	.359 + 3.183	.811 ^{**}		2.028	2.954
	(BE-1+BE-2)	.450 - 11.078	.891 ^{**}			

^{**} $P < 0.05$, ^{***} $P < 0.01$

Table 6 Regression equations of the $\% \dot{V}O_{2\max}[Y]$ on the H.R.[X] at each environmental condition.

		regression equation ($Y = \% \dot{V}O_{2\max}$, $X = \text{H.R.}$)			analysis of covariance F-value	
					slope	elevation
WARM IN SUMMER (ST+BE)		$Y = .472X - 16.962$	$r = .814^{**}$		.077	7.123 ^{**}
COOL IN SUMMER (ST+BE)		.488 - 15.817	.859 ^{**}			
WARM IN WINTER (ST+BE)		.439 - 10.635	.835 ^{**}		.520	4.042 [*]
COOL IN WINTER (ST+BE)		.403 - 3.832	.845 ^{**}			

^{*} $P < 0.05$, ^{**} $P < 0.01$

Table 7 Regression equations of the $\% \dot{V}O_{2\max}[Y]$ on the $\dot{V}_E[X]$ at each environmental condition.

		regression equation ($Y = \% \dot{V}O_{2\max}$, $X = \dot{V}_E$)			analysis of covariance F-value	
					slope	elevation
WARM IN SUMMER (ST+BE)		$Y = .869X + 9.338$	$r = .850^{**}$		.018	.498
COOL IN SUMMER (ST+BE)		.854 + 10.843	.800 ^{**}			
WARM IN WINTER (ST+BE)		.934 + 9.129	.829 ^{**}		.341	.065
COOL IN WINTER (ST+BE)		.874 + 11.870	.862 ^{**}			

^{**} $P < 0.01$

環境温度の影響を検討した。両季節において H.R. に対する $\% \dot{V}_{O_2\max}$ の回帰式間の高さに差がみられ、同一心拍数あたりの $\% \dot{V}_{O_2\max}$ は環境温度の高い条件にて低下することが示された。 $\dot{V}_E$ に対する $\% \dot{V}_{O_2\max}$ の回帰式には環境温度による影響はみられなかった。表 8 は H.R. 及び $\dot{V}_E$ に対する $\% \dot{V}_{O_2\max}$ の回帰式の高さと傾きについて季節間の差を示したものである。 H.R. に対する $\% \dot{V}_{O_2\max}$ の回帰式には季節間に差はみられなかった。 $\dot{V}_E$ に対する $\% \dot{V}_{O_2\max}$ の回帰式間には比較 3 において高さに差 ($P < .05$) がみられ、比較 4 に

Table 8 Seasonal difference of the regression equations of the $\% \dot{V}_{O_2\max}$ on ohe H.R. and $\dot{V}_E$.

WARM IN SUMMER vs. WARM IN WINTER		
	F-value	$\wedge P < 0.05$
	$\% \dot{V}_{O_2\max} \dots H.R.$	$\% \dot{V}_{O_2\max} \dots \dot{V}_E$
slope	0.362	0.373
elevation	2.117	5.081 [^]
COOL in SUMMER vs. COOL in WINTER		
	F-value	
	$\% \dot{V}_{O_2\max} \dots H.R.$	$\% \dot{V}_{O_2\max} \dots \dot{V}_E$
slope	2.970	0.032
elevation	0.711	2.429

においても有意ではないが高さの F 値は大きく、同一 $\dot{V}_E$ あたりの $\% \dot{V}_{O_2\max}$ は冬期にて高くなる傾向にあった。

表 9 は左方に夏期常温環境、右方に夏期での冬期想定温度環境における各種 $\dot{V}_{O_2\max}$ 推定法より得られた推定値から実測値を減じた値(偏差代数值)の平均値と標準偏差を推定法別、作業強度別、作業様式別に示したものである。表10は表 9 と同様に両環境下において得られた推定値から実測値を減じた値の絶対値(偏差算術値)の平均値と標準偏差を示したものである。表11は表 9 と同様の両環境下にて推定値と実測値との相関係数を示したものである。表12は左方に冬期での夏期想定温度環境、右方に冬期常温環境での各推定法の偏差代数平均値と標準偏差を表 9 と同様に示したものである。表13は表12と同様に両環境下での各推定法の偏差算術平均値と標準偏差を示したものである。表 14は表12と同様に両環境における推定値と実測値との相関係数を示したものである。なお、Margaria *et al.* の推定法は異なる 2 強度のステップワークより推定するため、各平均値及び標準偏差と相関係数は一組のみ示す。また、表11及び表14に示される記号*は相関係数が危険率 5 % にて有意であることを示す。その他の相関係数は全て危険率 1 % にて有意である。表 9 及び表12に示される負の記号は実測値に対して過小に推定されたことを意味する。

以下、各推定法に及ぼす作業強度、作業様式、環境

Table 9 Algebraic means of the deviations of predicted maximal oxygen intake by means of applying six different prediction equations from directly determined maximal oxygen intake in summer. (ml/min.)

		WARM IN SUMMER				COOL IN SUMMER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-2	BE-1	BE-2
EST-1	M.	-499	-459	-468	-340	174	-133	-57	-229
	S.D.	349	498	606	484	1859	588	881	414
EST-2	M.	238				94			
	S.D.	498				482			
EST-3	M.	-156	-21	-169	98	415	330	225	209
	S.D.	346	383	565	530	1463	619	752	433
EST-4	M.	-590	-407	-630	-319	-199	-122	-339	-236
	S.D.	306	315	406	451	913	466	498	357
EST-5	M.	-76	79	-156	60	-170	70	-217	-20
	S.D.	182	213	233	241	174	239	206	235
EST-6	M.	-22	141	-118	97	-32	166	-113	95
	S.D.	201	222	219	215	203	255	217	225

(N=16)

Table 10 Arithmetic (absolute) means in summer. (ml/min.)

		WARM IN SUMMER				COOL IN SUMMER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-1	BE-1	BE-2
EST-1	M.	522	498	665	511	883	432	547	365
	S.D.	311	297	358	282	1629	407	678	291
EST-2	M.	481				382			
	S.D.	249				293			
EST-3	M.	317	313	452	374	707	464	459	390
	S.D.	195	206	363	376	1338	518	629	268
EST-4	M.	590	429	634	467	642	367	507	331
	S.D.	306	282	400	281	660	299	310	265
EST-5	M.	160	180	217	205	202	197	237	189
	S.D.	109	132	176	130	132	144	182	133
EST-6	M.	175	216	194	209	180	242	194	215
	S.D.	90	145	151	97	90	179	144	106

(N=16)

Table 11 Correlation coefficients between directly determined and predicted maximal oxygen intake in summer.*; $P < .05$, (other correlation coefficients are also significant at 1% level.)

		WARM IN SUMMER				COOL IN SUMMER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-2	BE-1	BE-2
EST-1		.596*	.701	.681	.570*	.590*	.702	.638	.660
EST-2			.625				.586*		
EST-3		.614*	.713	.677	.551*	.610*	.713	.644	.651
EST-4		.630	.724	.670	.531*	.628	.722	.645	.639
EST-5		.881	.833	.812	.781	.894	.785	.844	.790
EST-6		.852	.813	.820	.828	.850	.749	.824	.807

*: $P < .05$

(N=16)

Table 12 Algebraic means in winter. (ml/min.)

		WARM IN WINTER				COOL IN WINTER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-2	BE-1	BE-2
EST-1	M.	-166	-294	-145	-301	360	-97	163	-132
	S.D.	701	499	934	438	1095	709	1444	633
EST-2	M.	-227				-178			
	S.D.	452				557			
EST-3	M.	173	158	137	132	679	364	400	304
	S.D.	686	541	793	468	980	754	1097	638
EST-4	M.	-342	-262	-405	-297	34	-99	-220	-164
	S.D.	503	431	507	350	659	573	651	448
EST-5	M.	20	175	-11	141	-24	98	-99	61
	S.D.	228	223	206	188	199	210	191	162
EST-6	M.	43	222	206	-6	53	205	14	185
	S.D.	213	223	206	175	195	197	196	180

(N=16)

Table 13 Arithmetic (absolute) means in winter (ml/min)

		WARM IN WINTER				COOL IN WINTER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-2	BE-1	BE-2
EST-1	M.	571	478	625	442	728	521	619	430
	S.D.	415	312	692	284	879	471	1306	472
EST-2	M.	428				491			
	S.D.	253				294			
EST-3	M.	509	442	460	359	805	550	540	412
	S.D.	477	332	650	317	873	622	1031	570
EST-4	M.	512	418	562	385	479	442	470	366
	S.D.	314	268	309	243	431	361	489	293
EST-5	M.	157	251	176	198	141	180	99	61
	S.D.	162	161	125	122	139	141	191	162
EST-6	M.	186	277	160	226	161	245	165	224
	S.D.	103	144	124	125	117	139	98	125

(N=16)

Table 14 Correlation coefficients in winter.

		WARM IN WINTER				COOL IN WINTER			
		ST-1	ST-2	BE-1	BE-2	ST-1	ST-2	BE-1	BE-2
EST-1		.615*	.656	.709	.787	.652	.689	.644	.779
EST-2		.661				.679			
EST-3		.624	.665	.723	.791	.667	.699	.687	.790
EST-4		.633	.673	.731	.794	.680	.709	.703	.799
EST-5		.828	.798	.860	.882	.857	.843	.869	.906
EST-6		.847	.813	.865	.889	.870	.859	.870	.882

※: P<.05

(N=16)

温度, 及び季節の影響について順に詳述する.

作業強度の影響

表15は各推定法について作業強度間で偏差代数値または偏差算術値の小さい方の作業強度を記号(◇)で表わし, その差の有意性(*; P<.05, **; P<.01)を示したものである.

表9に示すように夏期常温環境では, 第1作業による推定値は全て過小に推定された. 第1作業では第2作業より小さく推定される傾向にあり, 特に佐藤らの20℃用(EST-4)の推定法で危険率5%, Sato *et al.*の両推定法(EST-5, EST-6)では危険率1%にて両作業様式とも偏差代数値に作業強度間の差がみられた. 各推定法の偏差算術値は第1作業に比し第2作業にて減少傾向を示し, EST-4の推定法では自転車エルゴメータ作業にて有意(P<.05)に減少した. 表10に示すようにEST-5, EST-6の推定法の偏差算術

値の作業強度間の差は他の推定法による差と比較して小さい傾向にあった. 表9に示す夏期での冬期想定温度環境において, Åstrand and Ryhmingの推定法(EST-1), 佐藤らの30℃用の推定法(EST-3)では第1作業に比し第2作業にて $\dot{V}O_{2max}$ は小さく推定される傾向にあった. EST-4, EST-5及びEST-6では第2作業に比し第1作業にて小さく推定される傾向にあり, EST-5及びEST-6では両作業様式にて偏差代数値に有意差(P<.01)がみられた. 表10に示すように各推定法の偏差算術値は第1作業に比し第2作業にて減少傾向を示し, 両者の差はSato *et al.*の両推定法にて最小であった. 冬期での夏期想定温度環境において, EST-1, 及びEST-3では第1作業に比し第2作業にて小さく推定される傾向を示した. EST-4, EST-5及びEST-6では第2作業に比し第1作業にて小さく推定される傾向にあり, 特にEST-5及びEST-6では両作業様式にて偏差代数値に有意差

Table 15 Results of algebraic and arithmetic means at the two kinds of workload.Marks($\diamond$) mean the smaller algebraic or arithmetic means. * ; $P < .05$ * $P < .01$

a; WARM IN SUMMER, b; COOL IN SUMMER, c; WARM IN WINTER, d; COOL IN WINTER

PREDICTION EQUATION		EST-1				EST-3				EST-4				EST-5				EST-6			
ENVIRONMENTAL CONDITION		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
ALGEBRAIC DIFFERENCE	ST-1	$\diamond$				$\diamond$				$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond$		$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$
	vs																				
	ST-2		$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$		$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$				$\diamond^*$					$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$
	BE-1	$\diamond$				$\diamond$				$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$	$\diamond^*$
ARITHMETIC DIFFERENCE	vs																				
	BE-2		$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$		$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$												
	ST-1													$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond^*$
	vs																				
ARITHMETIC DIFFERENCE	ST-2	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$							
	BE-1													$\diamond$	$\diamond$			$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$
	vs																				
	BE-2	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond^*$	$\diamond$	$\diamond$			$\diamond$				

($P < .01$)がみられた。偏差算術値はEST-1, EST-3及びEST-4にて第1作業に比し第2作業で減少傾向を示し, EST-4では自転車エルゴメータ作業にて有意差($P < .01$)がみられた。EST-5及びEST-6ではステップワークにおいて第2作業に比し第1作業にて偏差算術値は有意($P < .05$)に減少した。冬期常温環境において, EST-1, EST-3及びEST-4では第1作業に比し表2作業にて小さく推定される傾向を示し, 特にステップワークでは偏差代数値に有意差($P < .01$)がみられた。EST-5及びEST-6では両作業様式とも第2作業に比し第1作業にて有意($P < .01$)に小さく推定された。EST-1, EST-3及びEST-4の偏差算術値は第1作業に比し第2作業にて減少傾向を示し, 特にEST-3のステップワークにて有意差($P < .05$)がみられた。Sato *et al.*の推定法の偏差算術値(表13)はEST-6のステップワークにおいてのみ第2作業に比し第1作業にて有意($P < .05$)に減少した。夏期常温環境(表11)と冬期での夏期想定温度環境(表14)において, 各推定法による $\dot{V}O_2\max$ 推定値と $\dot{V}O_2\max$ 実測値との相関係数には作業強度による差はみられなかった。夏期での冬期想定温度環境(表11)においては, EST-5のステップワークの第1作業が, 第2作業より有意($P < .05$)に高い相関々係を示す以外は差はみられなかった。冬期

常温環境(表14)においてはEST-1, EST-3及びEST-4にて第1作業に比し第2作業において有意($P < .05$)に高い相関係数が得られた。

作業様式の影響

EST-1, EST-3及びEST-4で作業様式間に差がみられたものは, 冬期常温環境でのEST-4の第1作業(表12)で, ステップワークに比し自転車エルゴメータ作業において有意($P < .05$)に小さく推定された。推定値の偏差算術値では冬期常温環境でのEST-3の第1作業(表13)で, ステップワークに比し自転車エルゴメータ作業にて有意($P < .05$)に減少した。EST-5では推定値の偏差代数値に差のみられたのは冬期常温環境での第1作業(表12)のみで, ステップワークに比し自転車エルゴメータにて有意($P < .05$)に小さく推定された。EST-6では夏期常温環境(表9), 夏期での冬期想定温度環境(表9), 及び冬期常温環境(表12)での偏差代数値に有意差(各々 $P < .01$, $P < .05$, $P < .05$)がみられステップワークに比し自転車エルゴメータ作業にて小さく推定された。EST-5及びEST-6の偏差算術値(表10, 表13)には作業様式間の差はみられなかった。各推定法の推定値と実測値との相関係数(表11, 表14)には作業様式間の差はみられなかった。

Table 16 Results of algebraic and arithmetic means at the condition I and the condition II. Marks($\diamond$) mean the smaller algebraic or arithmetic means. *; $P < .05$, *; $P < .01$

PREDICTION EQUATION		EST-1		EST-2		EST-3		EST-4		EST-5		EST-6	
WORK LOAD		sub-1	sub-2			sub-1	sub-2	sub-1	sub-2	sub-1	sub-2	sub-1	sub-2
TYPE OF EXERCISE		ST	BE	ST	BE	ST	BE	ST	BE	ST	BE	ST	BE
ALGEBRAIC DIFFERENCE	WARM IN SUMMER (I) vs	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$		$\diamond$
	COOL IN SUMMER									$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$
	WARM IN WINTER (II) vs	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$			$\diamond$	
	COOL IN WINTER									$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$
ARITHMETIC DIFFERENCE	WARM IN SUMMER (I) vs	$\diamond$				$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$
	COOL IN SUMMER		$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$			$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$		$\diamond$
	WARM IN WINTER (II) vs	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$			$\diamond$	
	COOL IN WINTER		$\diamond$					$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$

環境温度の影響

表16は各推定法について比較1(I)及び比較2(II)で偏差代数値または偏差算術値の小さい方の温度条件を作業様式別、作業強度別に記号($\diamond$)で表わし、その差の有意性(*: $P < .05$, *: $P < .01$)を示したものである。

比較1での第1作業において、EST-1、EST-3及びEST-4では夏期での冬期想定温度環境に比し夏期常温環境で小さく推定される傾向にあり、特に自転車エルゴメータ作業においてEST-1、EST-3及びEST-4の偏差代数値に有意差($P < .01$)がみられた。EST-5では夏期常温環境に比し夏期での冬期想定温度環境にて小さく推定される傾向にあり、ステップワークでは偏差代数値に有意差($P < .01$)がみられた。EST-6の偏差代数値に環境温度の影響はみられなかった。各推定法の偏差算術値には両環境間での差はみられなかった。なお、EST-5及びEST-6では他の推定法に比し、両作業様式にて両環境温度間の偏差算術値の差異及び標準偏差は小さいものであった(表10)。比較1の第2作業では、EST-1、EST-3、及びEST-4の場合、第一作業と同様に夏期での冬期想定温度環境に比し夏期常温環境で小さく推定される傾向にあり特にステップワークでは危険率1%で偏差代数値に有意差がみられた。EST-5及びEST-6では環境温度の影響はみられなかった。両環境下での各推定

法の偏差算術値には有意な差はみられなかった。なお、EST-5及びEST-6では他の推定法に比し両環境間での偏差算術値の差異及び標準偏差は小さいものであった(表10)。Margaria *et al.*の推定法(EST-2)ではEST-1、EST3及びEST-4と同様に偏差算術値に差はみられなかったが、夏期での冬期想定温度環境に比し夏期常温環境で小さく推定される傾向にあった。

比較2(II)での第1作業において、EST-1、EST-3及びEST-4では冬期常温環境に比し冬期での夏期想定温度環境で小さく推定される傾向にあり、ステップワークでの偏差代数値に有意差($P < .01$)がみられた。EST-5では自転車エルゴメータ作業で冬期での夏期常温環境に比し冬期常温環境にて小さく推定され偏差代数値に有意差($P < .05$)がみられた。EST-6の偏差代数値には両環境温度間の差はみられなかった。EST-5及びEST-6では他の推定法に比し、偏差算術値及びその標準偏差は小さく、両環境温度間の偏差算術値の差異も小さい傾向にあった(表13)。

比較2の第2作業においては、EST-1、EST-3及びEST-4では第1作業と同様に冬期常温環境に比し冬期での夏期想定温度環境で小さく推定される傾向にあった。EST-5では冬期での夏期常温環境に比し冬期常温環境にて小さく推定される傾向にあり、ステップワークでの偏差代数値には有意差($P < .05$)が

みられた。EST-6では両環境温度間の偏差代数値に差はみられなかった。EST-1, EST-3及びEST-4の偏差算術値には両環境温度間に差はみられなかった。EST-5では冬期での夏期想定温度環境に比し冬期常温環境にて偏差算術値は減少傾向を示し、ステップワークでは有意差($P<.05$)がみられた。EST-6では両環境間での偏差算術値に差はみられなかった。EST-2はEST-1, EST-3及びEST-4と同様に偏差算術値に差はみられず、冬期常温環境に比し冬期での夏期想定温度環境にて小さく推定される傾向にあった。比較1及び比較2での各推定法の推定値と実測値との相関係数には両作業強度及び両作業様式において環境温度による差はみられなかった(表11, 表14)。

季節の影響

表17は各推定法について比較3(III)及び比較4(IV)で偏差代数値または偏差算術値の小さい方の季節を作業様式別、作業強度別に記号(◇)で表わし、その差の有意性(*; $P<.05$, **; $P<.01$)を示したものである。

比較3での第1作業では各推定法にて冬期に比し夏期に小さく推定される傾向にあり、EST-5では両作業様式とも偏差代数値に有意差($P<.05$)がみられた。EST-6では自転車エルゴメータ作業での偏差代数値に有意差($P<.05$)がみられた。各推定法の偏差算術値には両作業様式とも季節による差はみられなかった。比較3の第2作業においては、第1作業と同様に

冬期に比し夏期に小さく推定される傾向にあり、EST-5ではステップワークでの偏差代数値に有意差($P<.05$)がみられた。EST-6では両作業様式にて有意差($P<.05$)がみられた。各推定法の偏差算術値には第1作業と同様に季節間に差はみられなかった。EST-2では、夏期に比し冬期に小さく推定される傾向にあったが、偏差代数値及び偏差算術値に有意差はみられなかった。

比較4での第1作業において、EST-1, EST-3及びEST-4では冬期に比し夏期に小さく推定される傾向にあった。EST-5ではステップワーク及び自転車エルゴメータ作業での偏差代数値に危険率1%で有意差がみられ、冬期に比し夏期に小さく推定された。EST-6においてもステップワークで危険率5%, 自転車エルゴメータで危険率1%の有意差が偏差代数値にみられ、冬期に比し夏期に小さく推定された。各推定法の偏差算術値に季節間の差がみられたものはEST-5のステップワーク($P<.05$)のみで、夏期に比し冬期に減少した。第2作業においては、EST-1, EST-3及びEST-4で第1作業と同様に冬期に比し夏期に小さく推定される傾向にあったが、第1作業時よりもその差異は減少する傾向にあった(表9, 表12)。EST-5では第1作業と同様に冬期に比し夏期に小さく推定される傾向にあり自転車エルゴメータ作業では季節間に差($P<.05$)がみられた。EST-6も同様な傾向を示し、自転車エルゴメータ作業では有意差($P<.01$)

Table 17 Results of algebraic and arithmetic means at the condition III and the condition IV.

PREDICTION EQUATION		EST-1		EST-2	EST-3		EST-4		EST-5		EST-6	
WORK LOAD		sub-1		sub-2	sub-1	sub-2	sub-1	sub-2	sub-1	sub-2	sub-1	sub-2
TYPE OF EXERCISE		ST	BE	ST	ST	BE	ST	BE	ST	BE	ST	BE
ALGEBRAIC DIFFERENCE	WARM IN SUMMER (III) vs WARM IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇*	◇*	◇*	◇*
	COOL IN SUMMER (IV) vs COOL IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇*	◇*	◇*	◇*
	WARM IN SUMMER (III) vs WARM IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	COOL IN SUMMER (IV) vs COOL IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
ARITHMETIC DIFFERENCE	WARM IN SUMMER (III) vs WARM IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	COOL IN SUMMER (IV) vs COOL IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	WARM IN SUMMER (III) vs WARM IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	COOL IN SUMMER (IV) vs COOL IN WINTER	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇

がみられた。各推定法の偏差算術値は両作業様式とも季節間に差はみられなかった。なお、第1作業に比し第2作業で季節間の偏差算術値の差は減少傾向にあった(表10, 表13)。EST-2では夏期に比し冬期に小さく推定される傾向にあったが、偏差代数値及び偏差算術値に差はみられなかった。

各推定法から得られた推定値と実測値との相関係数は、比較3(表11, 表14)の各推定法において両作業様式とも季節間に差はみられなかった。比較4(表11, 表14)の第1作業では各推定法とも両作業様式において相関係数に差はみられなかった。第2作業では、EST-3, EST-4及びEST-5の自転車エルゴメータ作業で相関係数は有意($P < .05$)に冬期で高い値を示した。

考 察

作業強度の影響

HRと $\dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係に基づくÅstrand and Ryhmingの推定法、及び佐藤らの両推定法では環境温度が低い条件下にて第2作業に比し第1作業で大きく推定される傾向を示した。これは、環境温度が低いと第1作業では $\dot{V}O_2$ の増加に比しHRの上昇が小さくその結果 $\dot{V}O_{2\max}$ 推定値が高い値となったと考えられる。一方、環境温度が高い条件下では、第2作業に比し第1作業で小さく推定される傾向にあった。これは $\dot{V}O_2$ の増加に比しHRの上昇が大きくなったことが主な理由と考えられる。上記推定法は種々の作業強度にて得られた集団のHRと $\dot{V}O_{2\max}$ との間の直線回帰関係から個々の直線回帰関係はほとんど偏位しないことを前提としている。しかしながら、Davies(1968)が指摘したように作業強度が低い場合、環境温度の影響を含めて心拍数に個体内変動が生じやすく集団から求められた回帰直線から逸脱する恐れがある。過去の研究においてもÅstrand and Ryhming(1954)はHRが125~170拍/分、Davies(1968)は165拍以上となる作業強度が望ましいと報告しており、HRと $\dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係に基づく推定法では比較的作業強度の高い最大下作業が推定精度を増す上で要求され、本研究結果とも一致する。Sato *et al.*の両推定法では、第1作業に比し第2作業にて相対的に高い推定値が得られた。これは作業により $\dot{V}O_2$ 、及

び $\dot{V}_E$ は増加するが、第1作業に比し第2作業にて $\dot{V}_E$ の増加が $\dot{V}O_2$ の増加に比し相対的に小さいため推定式に含まれる $\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ の値が小さくなることによるものと考えられる。また、偏差算術値はステップワークにて第1作業に比し第2作業にて増加傾向を示したが、その差は5 ml/分~122ml/分の範囲であり作業強度による影響は他の推定法より小さいものであった。即ち、比較的低い作業強度においても十分な推定精度が得られることからSato *et al.*の両推定法は $\dot{V}O_{2\max}$ 推定法の適用範囲を拡大するものとして期待され得る。

作業様式の影響

Åstrand and Ryhmingの推定法(EST-1)の偏差代数値、偏差算術値及び推定値と実測値との相関係数には作業様式間の差はみられなかった。また、佐藤ら、及びSato *et al.*の両推定法においても作業様式間の差は小さい傾向にあり、特に第2作業では両作業様式の値はより近似する傾向にあった。これらの結果はいずれの環境条件下でもHRと $\dot{V}O_{2\max}$ 、或いは $\dot{V}_E$ と $\dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係の高さ及び切片に作業様式間の差がみられないこと、さらに、作業強度の増加に伴い両作業様式における回帰直線は互いに接近するためであると考えられる。特殊な作業様式は除き、大筋群を用いた最大下作業様式であれば作業様式の差異から生ずる $\dot{V}O_{2\max}$ の推定誤差は小さいと考えられる。

環境温度の影響

本研究における最大下作業では、 $\dot{V}O_2$ 、及び $\dot{V}_E$ には環境温度の影響はみられなかった。HRへの環境温度の影響については多くの研究がなされている(Rowell 1974; Nadel *et al.*, 1979; Katsuura 1981)。本研究結果も過去の多くの研究と一致し、環境温度の高い条件下にてHRは増加した。また、HRと $\dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係は黒田ら(1973)の報告と同様に環境温度により異なり、HRを用いる推定法では温度の影響が存在することが予想される。HRと $\dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係に基づくÅstrand and Ryhming、及び佐藤らの両推定法では夏期での冬期想定温度環境に比し夏期常温環境にて、また冬期常温環境に比し冬期での夏期想定温度環境にて $\dot{V}O_{2\max}$ 推定値は減少傾向に

あった。これらの結果は同一 HR に対する $\dot{V}O_2\max$ が夏期常温環境及び冬期での夏期想定温度環境にて低いためであると考えられる。逆に、環境温度の低い条件下では同一 HR に対する $\dot{V}O_2\max$ は高くなることになり、佐藤らの 20℃ 用の推定法 (EST-4) では夏期常温環境 (平均気温: 26.9℃), 及び冬期での夏期想定温度環境 (平均気温: 26.6℃) では過大推定傾向を示すことが想像される。しかしながら、実際にはほとんどが過小推定となる結果が得られ、原法と本研究での被検者群の HR への温度効果に差があることも考えられる。Margaria *et al.* の推定法 (EST-2) は個人毎に HR と $\dot{V}O_2$ との直線回帰関係を求めるため、理論上温度の効果を除く得る。佐藤ら (1976-b) は Margaria *et al.* の推定法に関して、環境温度の影響はみられないものの十分な推定成績が得られないことを報告した。本研究においても佐藤ら (1976-b) と同様な結果が得られた。Sato *et al.* の HR 等を変数に含む推定法 (EST-5) では、環境温度の影響が若干みられた。推定法に含まれる独立変数は環境温度、心拍数、酸素脈、酸素摂取量、及び被検者の年齢、身長、体重である。これらの独立変数の係数は 20℃, 30℃, 40℃ の環境温度下にて得られた資料により求められている。しかしながら、本研究にて用いられた温度条件の一つは約 9℃ であり Sato *et al.* が用いた温度条件に比し約 11℃ 低く、独立変数の係数が本温度条件では妥当性を欠いた可能性がある。また、前述のように本研究の被検者群の心拍数への温度効果と Sato *et al.* の用いた被検者群のそれらとは差異がある可能性もある。さらに、冬期での環境条件では Sato *et al.* (1980) が示唆したように諸生理的測定値への温度効果が季節によって異なることも考えられる。Sato *et al.* の HR 等を独立変数から除外した推定法 (EST-6) では環境温度の影響はみられなかった。その理由として EST-6 は EST-5 が含む環境温度、HR、酸素脈の変数を除外し、 $\dot{V}_E$ を変数として重視した事が挙げられる。佐藤ら (1978) は、HR に比し $\dot{V}_E$ が、姿勢、年齢、性、環境温度、気圧等の影響を受けにくいことから、 $\dot{V}O_2\max$ を推定する上での $\dot{V}_E$ の有用性を述べている。本研究においても最大下作業時の $\dot{V}_E$ 、及び $\dot{V}_E$ と $\dot{V}O_2\max$ との直線回帰関係には環境温度間の差はみられないことから佐藤ら (1978) の報告を支持するものである。

多変量を用いた $\dot{V}O_2\max$ 推定法から得られた $\dot{V}O_2$

$\max$ の推定値を用いて、独立変数に含まれるある変数に対する $\dot{V}O_2\max$ の変化を検討することは、 $\dot{V}O_2\max$ 推定値がその変数により修正されているため、理論上不可能である。これは、多変量を用いた $\dot{V}O_2\max$ 推定式の主要な欠点であるため、できる限り式中に含まれる変数が少ない $\dot{V}O_2\max$ 推定式が良く、簡便でもあり、得られた推定値も有用となる。この点に関しては、従来の HR と $\dot{V}O_2$ の直線回帰関係に基づく推定法は有用である。しかしながら、本研究においては、過去の知見 (Maritz *et al.* 1961, Rowell *et al.*, 1964; Glassford *et al.*, 1965; Davies, 1968) と同様に、HR と $\dot{V}O_2\max$ の直線回帰関係に基づく Åstrand and Ryhming の推定法、及び佐藤らの両推定法は過少推定の傾向を示している。また、これらの推定法の偏差代数值と偏差算術値及びそれらの標準偏差は大きく実際に用いる場合、かなりの誤差を生むことが両推定法について想像される。上述のように、多変量を用いた推定法には欠点はあるが本研究で用いた Sato *et al.* の多変量を用いた推定法の偏差代数值と偏差算術値及びそれらの標準偏差は他の推定法のそれらより小さいものであった。また、EST-6 は独立変数が少なく、環境温度の影響を受けないことから適用にあたって優れた推定法といえよう。

本研究における被検者群の身体的特徴及び年令は Sato *et al.* の用いた被検者群のそれらとほぼ同等であった。しかしながら、Sato *et al.* の用いた被検者群の身体的特徴、及び年令から大きく異なる被検者群、例えば高齢者等では Sato *et al.* の両推定法とも推定誤差は増加することが考えられる。

季節の影響

Åstrand and Ryhming の推定法、及び佐藤らの両推定法では推定代数值及び偏差算術値に季節間の差はみられなかった。また、第 1 作業に比し第 2 作業にて推定値の季節間の差は減少傾向を示した。第 2 作業での $\dot{V}O_2$ と HR に及ぼす温度効果の季節変化が第 1 作業によるそれらに比し小さいことによると考えられる。本研究結果では、 $\dot{V}O_2$ には両作業強度にて季節間の差はみられなかった。HR 及び $\dot{V}_E$ は第 1 作業にて季節間に差がみられたが、第 2 作業では減少傾向を示した。増田 (1962a, b) は RMR1 及び 3 の軽作業での $\dot{V}O_2$ には季節変化がみられたが、RMR5 以上ではみられない

ことを報告している。また、長沢と渡辺(1974)によると RMR10 の重作業で同様に $\dot{V}O_2$ の季節変化はみられなかった。本研究での第1作業は RMR に換算して約5.5, 第2作業にて約8.3であることから、増田(1967. a, b)と同様な結果になったと考えられる。異なる季節において上記の推定法を用いる場合は、作業強度の選択に注意する必要がある。Margarita *et al.* の推定法は、理論上温度と同様に季節の影響も除外し得るものである。本研究結果にても季節の影響はみられなかった。Sato *et al.* の両推定法では、季節間に差がみられ、夏期に比し冬期にて過大評価傾向を示した。本研究結果において、式中に含まれる体重、肺換気量、心拍数に季節間の差がみられたことや、 $\dot{V}_E$ と $\% \dot{V}O_{2\max}$ との直線回帰関係に季節間の差がみられたことから上述の結果が得られたと考えられる。Sato *et al.* が示唆した様に、諸生理的測定値の季節変動、及びそれらへの温度効果の季節差が影響したと考えられ、季節を通して $\dot{V}O_{2\max}$ を推定する場合など、適用に当たって注意を必要とする。

参考文献

- Åstrand, P.O. and I. Ryhming, 1954: A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 7: 218-221.
- Åstrand, I., 1960: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.*, 49: Suppl. 169.
- Åstrand, P.O. and K. Rodhal, 1970: Textbook of work physiology. McGraw-Hill, New York, 343-472.
- Consolazio, C., L.O. Matoush, R.A. Nelson, J.B. Torres and G.J. Isaac, 1963: Environmental temperature and energy expenditure. *J. Appl. Physiol.*, 18: 65-68.
- Cotes, J.E. and C.T.M. Davies, 1969: Factors underlying the capacity for exercise; a study in physiological anthropometry. *Proc. Roy. Soc. Med.*, 62: 10-14.
- Davies, C.T.M., 1968: Limitation to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J. Appl. Physiol.*, 24: 700-706.
- Glassford, R.G., G.H.Y. Baycroft. A.W. Sedgwick and R.B. MacNab, 1965: Comparison of maximal oxygen uptake value determined by predicted and actual methods. *J. Appl. Physiol.*, 20: 509-514.
- Gold, A.J., Zornitzer and S. Samueloff, 1969: Influence of season and heat on energy expenditure during rest and exercise. *J. Appl. Physiol.*, 27: 9-12.
- Hermansen, L. and B. Saltin, 1969: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 26: 31-37.
- Hermiston, R.T. and J.A. Faulkner, 1971: Prediction of maximal oxygen uptake by a stepwise regression technique. *J. Appl. Physiol.*, 30: 833-837.
- Issekutz, B., N.C. Birkhead and K. Rodahl, 1962: Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *J. Appl. Physiol.*, 17: 47-50.
- Katsuura, T., 1981: Alterations of cardiac output, stroke volume and heart rate during 3 hours of exercise in different ambient temperatures. *J. Anthrop. Soc. Nippon*, 89: 351-362.
- Keren, G., A. Magazanik and Y. Epstein, 1980: A comparison of various methods for the determination of $\dot{V}O_{2\max}$. *Eur J Appl Physiol* 45: 117-124.
- 黒田善雄, 鈴木洋児, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 1973: 3 温度条件下 (10°, 20°, 30°C) における運動中の心拍数と $\% \dot{V}O_{2\max}$ との関係, 昭和48年度日本体育協会スポーツ科学研究報告.
- Malhotra, M.S., S.S. Ramaswamy and S.N. Ray, 1960: Effect of environmental temperature on work and resting metabolism. *J. Appl. Physiol.*, 15: 769-770.
- 増田剛志郎, 1967—a: 基礎代謝の年間変動の成因に関する研究. 第2報. 運動負荷時のエネルギー代謝の季節変動について, 体質医研報, 17: 173-179.
- 増田剛志郎, 1967—b: 基礎代謝の年間変動の成因に関する研究. 第3報. 夏季における運動負荷時のエネルギー代謝に及ぼす環境気温の影響について. 体質医研報, 17: 180-185.

- Nadel, E.R., E. Cafarelli, M.F. Roberts and C.B. Wenger, 1979: Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 46: 430-437.
- Margaria, R., P. Aghemo and E. Rovell, 1965: Indirect determination of maximal O₂ consumption in man. *J. Appl. Physiol.*, 20: 1070-1073.
- Maritz, J.S., J.P. Morrison, N.B. Strydom and C.H. Wyndham, 1961: A practical method of estimating an individual's maximum oxygen intake. *Ergonomics*, 4: 97-122.
- Mastropaolo, J.A., 1970: Prediction of maximal O₂ consumption in middle-aged men by multiple regression. *Med. & Sci. in Sports*, 2: 124-127.
- 長沢弘, 渡辺義行, 1974: 基礎代謝, 運動代謝, 最大 O₂ 摂取量の季節変動. 岐阜大学教育学部紀要, 5: 261-276.
- Pirnay, F., R. Deroanne and J.M. Petit, 1970: Maximal oxygen consumption in a hot environment. *J. Appl. Physiol.*, 28: 642-645.
- Rowell, L.B., H.L. Taylor and Y. Wang, 1964: Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *J. Appl. Physiol.*, 19: 919-927.
- Rowell, L.B., 1974: Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Rev.*, 54: 75-159.
- 坂手照憲, 1976: 温度と身体的作業容量, 人類誌, 84: 307-308.
- Sato, M. and S. Tanaka, 1973: Postural effect on the relation between oxygen consumption and heart rate. *J. Human Ergol.*, 2: 21-30.
- 佐藤方彦, 坂手照憲, 高崎裕治, 1976-a: 気温20°C, 30°C, 及び40°Cにおける最大酸素摂取量推定ノモグラムの適用. 人類誌, 84: 121-130.
- 佐藤方彦, 山崎和彦, 津田隆志, 1976-b: 気温20°C, 30°C及び40°Cで用いる最大酸素摂取量推定ノモグラム. 人類誌, 84: 259-265.
- 佐藤方彦, 中島幸恵, 石橋徹, 1978: 心拍数あるいは肺換気量による酸素摂取量の推定について, 人類誌, 86: 11-17.
- Sato, M., A. Yasukouchi and H. Harada, 1980: Prediction of maximal oxygen intake over wide range of air temperature conditions. *J. Human Ergol.*, 9: 81-89.
- Shapiro, Y., R.W. Hubbart, C.M. Kimbrough and K. B. Pandolf, 1981: Physiological and hematologic responses to summer and winter dry-heat acclimation. *J. Appl. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 50: 792-798.
- Shephard, R.E., 1967: Physiological determinants of cardiorespiratory fitness. *J. Sports Med. Physiol. Fitness*, 7: 111-134.
- Shvartz, E. and N. Meyerstein, 1970: Effect of heat and natural acclimatization to heat on tilt tolerance of men and women. *J. Appl. Physiol.*, 28: 428-432.
- Taylor, H.L., F. Buskirk and A. Henschell, 1955: Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, 8: 73-80.
- vonDöbeln, W., I. Åstrand and A. Bergström, 1967: An analysis of age and other factors related to maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, 22: 934-938.
- Weiner, J.S. and J.A. Lourie, 1969: Human biology; a guide to field methods. *IBP Handbook*, 9: 221-233.

(1983年11月30日受付)