13歳前後の児童における作業中の酸素摂取量推定式の検討

坂手照憲・吉原博之
広島大学・教育学部

要約 作業中の $\dot{V}O_2$ を推定する方法として佐藤ら (1977, 1978) が提唱した成人用の推定式, ならびに $\dot{V}E$, HR などに基づく推定方法を, 中学生 (平均13歳) の男女39名に適用して, 推定成績を検討した。推定誤差, 推定値と実測値の相関からみると, $\dot{V}E$ あるいは $\dot{V}E$ と HR の重回帰式に基づく推定が優れていた。HRに基づく推定は特に実測値との相関が低く, 佐藤らの推定式によるものは, 実測値との相関は高かったが, 一貫した方向への誤差が認められた。

佐藤ら (1977, 1978) は, 作業中のエネルギー消費量や作業強度の指標として用いられている酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を, 直接測定しないで, 心拍数 (HR) もしくは肺換気量 ($\dot{V}E$) から間接的に推定する従来の簡便法について検討を加えるとともに, 新しい推定式を提唱した。この新しい推定式は, 成人を対象として男女別に示されており, いずれも従来のものと比較して, 推定精度が高くなっている。そこではさらにその推定式の適用範囲について, 年齢や鍛練度などを考慮する必要のあること (佐藤ら, 1978) が述べられている。

ここでは年齢要因について検討を加える意味から, 中学生を対象として比較的フィールド調査に近いかたちで行った研究の結果を報告する。

方 法

この研究の対象となったのは, 福山市立城南中学一年生の1クラスであった。被検者の年齢 (検査日現在) と身長・体重 (昭和52年9月現在) の平均値ならびに標準偏差を男女別に示したものが第1表である。

彼らは, 放課後次のテストに参加した。すなわちそれは, メトロノームの音に合わせて, 高さ 30 cm の踏み台を1分間に15回の割で昇り降りするステップテストⅠと, 同じく30回の割で昇り降りするステップテストⅡであった。

両方ともテスト時間は6分で, テスト中の4分から6分における心拍数は脳波計で, 肺換気量と呼気ガス分析の結果は, エレクトロメタボラ (日本肺機能製) で記録された。ステップテストⅠとⅡの間には, 特に休息を設けなかったが, 被検者は自分の順番を待つため, この間少なくとも20分の椅座位をとることになった。

検査期間は昭和52年11月11日から同29日までであ

Table 1. Physical characteristics of experimental subjects.

	Male(N=20)		Female(N=19)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Age, yr	13.1	0.4	13.2	0.3
Height, cm	154.3	6.1	154.3	5.0
Weight, kg	42.3	5.4	46.4	7.8

S. D., standard deviation.

た。この期間中, 室温は特に調節しなかったもので, 13°Cから19°Cにわたって分布した。

結果と考察

第1表に示された被検者の身長・体重を, 全国平均 (総理府統計局, 1977) と比較する。これによれば, 昭和51年度の平均は, 13歳男子で身長 156.5 cm, 体重 45.9 kg, 同じく女子で身長 153.1 cm, 体重 45.3 kg である。また, この資料が得られた52年9月の測定時点では, 被検者の年齢は平均すると13歳に達していない。これらのことから, 本研究の対象者は, 体格的にみて全国平均, あるいはそれ以上の発育段階にある13歳前後の児童とみなされよう。

ステップテストⅠ, Ⅱにおける4分から6分の $\dot{V}E$ (l/分, BTPS), $\dot{V}O_2$ (ml/分, STPD) と HR (拍/分) の平均値と変異係数 (%) を第2表に示した。 $\dot{V}E$ と $\dot{V}O_2$ においては, 男女とも対応する箇所ではほぼ同じ値を示しており, 昇降速度が2倍のステップテストⅡでは, ステップテストⅠの2倍弱となっている。HRにおいては, 女子が男子に比べて高く, 特にステップテストⅡでは20拍に近い差があり, 1分当り180拍を越す値を示している。心拍数における男女間の差は,

Table 2. Experimental observations on subjects.

	Male(N=20)		Female(N=19)	
	Mean	c. v.	Mean	c. v.
<i>During step test I (30cm, 15steps/min, 4-6min)</i>				
$\dot{V}E(l/min, BTPS)$	24.60	11.42	22.90	13.71
$\dot{V}O_2(ml/min, STPD)$	879	12.59	872	17.01
HR(beats/min)	126.0	10.08	134.6	6.09
<i>During step test II (30cm, 30steps/min, 4-6min)</i>				
$\dot{V}E(l/min, BTPS)$	46.14	13.96	50.06	19.04
$\dot{V}O_2(ml/min, STPD)$	1528	12.13	1577	15.62
HR(beats/min)	164.3	7.91	182.4	3.38

c. v., coefficient of variation (%).

WELCH の法 (岩原, 1965) により検定したところ, ステップテスト I で 0.05, ステップテスト II で 0.01 の水準でそれぞれ有意であった。同じ昇降速度あるいは同程度の $\dot{V}O_2$ に対し, 女子の HR は男子に比べて高くなり, 心機能に対する負担が大となっていることがうかがえる。

男子 20 名のステップテスト (4~6 分) 中の各個人の $\dot{V}O_2$ を, 佐藤ら (1977) の提唱した推定式を用いて算出し, これと実測値とを比較した結果を第 3 表の第一段 (二行) に示した。あわせてこのグループ自体のステップテスト I と II の 4 分から 6 分における資料を全員込みにし, 両ステップテスト中の $\dot{V}O_2$ を推定

する式を作成して同様の処理を行った結果が, 同じく第 3 表の二段目以降に示されている。すなわち上から, HR による推定, $\dot{V}E$ による推定, HR と $\dot{V}E$ の重回帰式による推定, 佐藤ら (1977, 1978) の方式に倣い $\% \dot{V}O_{2max}$ —この際の $\dot{V}O_{2max}$ の算出は, 便宜的に佐藤ら (1976) のノモグラムを利用した—と HR の関係からの推定それぞれを, 実測値と比較した結果である。第 4 表は, 女子 19 名について, 男子と同様の推定を行い, 実測値と比較した結果である。

第 3 表と第 4 表を概観すると, それぞれの推定式は, 男女別の資料に基づき, 別々に作成されたものであるが, 対応する推定式においては, 推定誤差の平均

Table 3. Relation between estimated $\dot{V}O_2$ (A) and observed $\dot{V}O_2$ (B) during step test I and II for 20 male subjects.

Estimation of $\dot{V}O_2$ during step test I and II from the predictive equation	Estimated $\dot{V}O_2$ during step test	Algebraic error (A-B) Mean $\pm$ S. D.	Absolute error A-B Mean $\pm$ S. D.	Correlation between A and B
proposed by SATO <i>et al.</i>	I (15/min)	142 $\pm$ 68	142 $\pm$ 68	0.893**
	II (30/min)	-211 $\pm$ 90	211 $\pm$ 90	0.876**
on HR during the step tests	I (15/min)	58 $\pm$ 142	126 $\pm$ 103	0.481*
	II (30/min)	66 $\pm$ 186	152 $\pm$ 125	0.477*
on $\dot{V}E$ during the step tests	I (15/min)	6 $\pm$ 55	42 $\pm$ 35	0.879**
	II (30/min)	16 $\pm$ 88	72 $\pm$ 54	0.888**
on HR and $\dot{V}E$ (multiple regression)	I (15/min)	1 $\pm$ 48	40 $\pm$ 27	0.910**
	II (30/min)	-4 $\pm$ 79	62 $\pm$ 49	0.906**
after SATO <i>et al.</i> 's way	I (15/min)	52 $\pm$ 81	67 $\pm$ 69	0.858**
	II (30/min)	-55 $\pm$ 131	104 $\pm$ 97	0.801**

* and ** show the significance at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Table 4. Relation between estimated $\dot{V}O_2$ (A) and observed $\dot{V}O_2$ (B) during step test I and II for 19 female subjects.

Estimation of $\dot{V}O_2$ during step test I and II from the predictive equation	Estimated $\dot{V}O_2$ during step test	Algebraic error (A-B) Mean±S. D.	Absolute error A-B Mean±S. D.	Correlation between A and B
proposed by SATO <i>et al.</i>	I (15/min)	132±100	138± 88	0.835**
	II (30/min)	-200±147	212±125	0.828**
on HR during the step tests	I (15/min)	22±155	123± 98	0.323
	II (30/min)	0±217	49±158	0.436
on $\dot{V}E$ during the step tests	I (15/min)	12± 93	69± 64	0.841**
	II (30/min)	- 15±180	130±125	0.723**
on HR and $\dot{V}E$ (multiple regression)	I (15/min)	3± 94	68± 66	0.852**
	II (30/min)	- 5±175	120±127	0.719**
after SATO <i>et al.</i> 's way	I (15/min)	26±105	87± 65	0.799**
	II (30/min)	- 36±182	151±107	0.768**

** shows the significance at 0.01 level.

における違いが特に認められず、同程度の推定成績を示している。推定値と実測値の間の相関係数については、幾分女子において低いように思われる。

次にステップテスト I と II における推定誤差を比較してみると、いずれの性、推定式においても、ステップテスト II における誤差が大となっている。しかし第 2 表に示したように、 $\dot{V}O_2$ の値がステップテスト II において 2 倍近くになっているのであるから、この誤差をパーセントなどの相対値で表わすと、II における誤差のほうが小さいことになる。

推定方法に注目すると、男女とも $\dot{V}E$ に基づく推定、および $\dot{V}E$ と HR の重回帰式による推定は誤差が小さく、推定値と実測値の間の相関が高いことが認められよう。中でも重回帰式による推定は、ここに挙げた推定法に関する限り誤差が最小であり、女子のステップテスト II を除けば、実測値との相関も最高となっている。次にこのグループのデータから、佐藤ら (1977, 1978) の方式に倣って作成した式に基づく推定が挙げられ、HR によるものと佐藤ら (1977, 1978) の成人用の推定式によるものは、上述の推定に比べて成績が良くないようである。この佐藤らの式による推定は、実測値との相関は高く、誤差のばらつき (S. D.) も小さかったが、一定方向への誤差が認められた。HR に基づく推定は、誤差のばらつきが大で、実測値との相関が低く、特に女子においては、有意な相関関係を認め得なかった。

佐藤ら (1977, 1978) の成人用推定式を適用した今回の調査結果は、これをそのまま 13 歳前後の児童に用

いることの困難性を示唆しているといえよう。しかし、前述のように、推定誤差のばらつきは小さく、その方向が一貫していること、実測値との相関が高いことから、推定式の定数を修正すれば、この年齢層に対しても、推定精度が高まることが予想される。この意味から、佐藤ら (1977, 1978) の方式に倣い推定式を作成した結果、推定成績が向上したことが参考になる。しかし、これは、今回 $\dot{V}O_{2max}$ を測定していないため、前述した成人用のノモグラムから、間接的に推定した $\dot{V}O_{2max}$ を用いたので真の検討になり得ていない。従って、佐藤ら (1977, 1978) の推定式がそのまま適用できる年齢、その範囲外における修正などについては、今後さらに検討を要するが、フィールドワークのためのより簡便な方法が望まれるとき、この推定方法は、特定の作業における $\dot{V}O_2$ と HR を測定しておかなくてはならないという難点が指摘されよう。

HR による推定よりも $\dot{V}E$ による推定が優れるという今回の結果は、SHARKEY *et al.* (1966) と DATTA and RAMANATHAN (1969) を支持するものであった。作業強度の指標としての HR に関しては、沼尻 (1974) の論評にみられるごとく、多くの研究がなされており、HR の変動性、意義や限界についての報告 (たとえば、BURGER, 1969; ROHMERT *et al.*, 1973; 青木, 1976 など) もまた多い。この HR とか $\dot{V}O_2$ における個人差を除去するため、HR の増加率、RMR, $\% \dot{V}O_{2max}$ などの相対量で示すことが考えられてきており、佐藤ら (1977, 1978) の方式は、この流れに位置するものといえよう。今回の HR による推定は、こ

れらを考慮しないものであった点も誤差を大きくした一因と考えられる。この点の検討とか、今回試みに行った重回帰式による推定方法も検討されてよからう。

稿を終るに際し、ご協力を賜った福山市立城南中学・江草悟教諭と、1年8組の皆様に深謝いたします。あわせて、九州芸術工科大学・人間工学教室・佐藤方彦教授のご助言に心より感謝いたします。なお、この研究は文部省科学研究費の補助により実施された。

文 献

- 青木純一郎, 1976: 心拍数—運動強度の指標としての意義と限界. 新体育, 46: 660-665.
- BURGER, G. C. E., 1969: Heart rate and the concept of circulatory load. *Ergonomics*, 12: 857-864.
- DATTA, S. R. and N. L. RAMANATHAN, 1969: Energy expenditure in work predicted from heart rate and pulmonary ventilation. *J. App. Physiol.*, 26: 297-302.
- 岩原信九郎, 1965: 教育と心理のための推計学. 日本

文化科学社, 186.

沼尻幸吉, 1974: エネルギー代謝と心拍数との関連について. *労働科学*, 50: 79-88.

ROHMERT, W., W. LAURING, U. PHILIPP, and H. LUCZAK, 1973: Heart rate variability and work-load measurement. *Ergonomics*, 16: 33-44.

佐藤方彦・中嶋幸恵・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.

佐藤方彦・佐藤陽彦・勝浦哲夫・津田隆志・原田一・山崎和彦・安河内朗, 1977: 心拍数による酸素摂取量の推定. *人類誌*, 85: 23-28.

佐藤方彦・山崎和彦・津田隆志, 1976: 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.

SHARKEY, B. J., J. F. McDONALD, and L. G. CORBRIDGE, 1966: Pulse rate and pulmonary ventilation as predictors of human energy cost. *Ergonomics*, 9: 223-227.

総理府統計局編, 1977: 第27回日本統計年鑑. 535.

(1978年5月8日受付)

An Examination of Validity of Predictive Equations for $\dot{V}O_2$ during Submaximal Work in the Case of Children of About Thirteen Years

Terutoshi SAKATE and Hiroyuki YOSHIHARA

Department of Physical Education,

Fukuyama Branch College, Faculty of Education,

Hiroshima University

SATO *et al.* (1977, 1978) reviewed several methods for estimating human energy cost in field work situations and proposed new predictive equations for adult male and female subjects. The results reported by SATO *et al.* show that the new equations were more precise than others in estimating oxygen intake ($\dot{V}O_2$). This study examined the validity of the new equations when they were applied to younger subjects.

Twenty boys and nineteen girls of Jonan Junior High School served as subjects for this study (Table 1) and took two step tests for six minutes. The rate of stepping work was 15 steps/min for step test I and 30 steps/min for step test II using step height of 30 cm. Heart rate (HR), pulmonary ventilation ($\dot{V}E$), and oxygen intake were determined during the last two minutes of each of the step tests (Table 2).

In comparing correlation coefficients between observed and predicted $\dot{V}O_2$ and errors in predicting $\dot{V}O_2$ (Table 3 and 4), the predictive equation on $\dot{V}E$ and the multiple regression on HR and $\dot{V}E$ resulted in reasonably accurate predictions in this study. Prediction from HR had the lowest values of correlation coefficient. The prediction of $\dot{V}O_2$ by the method proposed by SATO *et al.* yielded higher correlation between observed and predicted $\dot{V}O_2$, but systematic errors in prediction resulted. The results of this study seem to indicate that with some modifications in constants, there would be a possibility of getting greater accuracy in applying the new equations to such younger subjects as in this study.