

回復期酸素摂取動態からみた超最大運動の 酸素負債量変動要因の分析

An Analysis of Intraindividual Variation of Oxygen Debt with Respect to Kinetics of Oxygen Uptake During Recover after Supermaximal Exercise

齊藤 満^{*1} 藤埴 規明^{*2}

Mitsuru SAITO^{*1} and Noriaki FUJITSUKA^{*2}

The present study was conducted to examine an intraindividual variation of oxygen debt after supermaximal exercise. Oxygen uptake before and after supermaximal treadmill exercise were determined three times for each subject on separate days, usually one week apart. Six healthy male was participated in this study as subject. Average values and standard deviations for age, height and weight of the subjects were 25.1 ± 6.1 yr, 168.5 ± 3.2 cm and 60.7 ± 5.8 kg, respectively.

Oxygen debt was estimated by two method; oxygen debt was obtained from total oxygen uptake during 70 min recover period above the resting oxygen uptake measured before exercise (Observed oxygen debt: O-O₂ debt). On the other hand, it was assumed that oxygen uptake during recover could be fitted best by an equation the form $Y = c + a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$, and oxygen debt was calculated from the parameters in above equation (Estimated oxygen debt; E-O₂ debt). First and slow components and its coefficient variation were also computed from two exponential component curve.

It was found in this study that coefficient variation (CV) of the O-O₂ debt was larger (17.7%) than that of E-O₂ debt (10.8%), while CV of base line was smaller in the observed base line (O-base line) (7.2%) than estimated base line (E-base line) (10.0%). Since magnitude and CV in both observed and estimated oxygen uptake during 70 min recover were almost the same, an intraindividual variations of O-O₂ debt and E-O₂ debt will be due to the difference between observed and estimated base lines. Moreover, magnitude of slow component was about 2.7 fold as compared with first component, and CV of slow component was larger (13.2%) than the first component (8.6%).

From these results, it was suggested that intraindividual variation of oxygen debt after supermaximal exercise may be due to the variations of E-base line and slow component, and that it will be need further investigation concerning the reason of variation of the E-base line or slow component.

^{*1} Research Center of Health, Physical Fitness and sports, Nagoya University, Nagoya

^{*2} Department of Physical Education, Nagoya Institute of Technology, Nagoya

はじめに

激しい運動では、運動遂行に必要な酸素の供給が間に合わず、運動終了後に補充されるという酸素負債の概念は、1920年代に A. V. Hill⁶⁾によっ

て提唱された。以後、人間の無酸素的作業能の指標としての酸素負債量と無酸素的作業能との間には、競技者と非競技者といった大まかな分別には用いることができる (Hermansen 1969)⁵⁾ が、激し

^{*1} 名古屋大学総合保健体育科学センター

^{*2} 名古屋工業大学

^{*1} Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

^{*2} Nagoya Institute of Technology

い運動の Performance, すなわち短距離走の記録などとの関連性は少ないことが報告されている (Katch と Henry 1972)⁹⁾。

これらの研究者の報告においては, 基本的な酸素負荷量の概念にもとづいて無酸素的作業能・酸素負荷量関係を分析しているわけであるが, 酸素負荷量の測定法そのものに関しては, 各研究者によってまちまちである。すなわち, 運動の種類や負荷量, あるいは運動時間, 回復時間, さらに酸素負荷量算定における基準代謝量 (base line) の決定の仕方が各研究者で異っている。

黒田ら (1968, 1976)^{11, 13)} は, 無酸素的作業能の指標としての酸素負荷量の測定法について, 最大酸素負荷量が発現する運動時間や酸素負荷量の個人内変動について検討した。そして, 最大酸素負荷量の個人内変動は, 基準代謝量 (base line) の変動が少ないにもかかわらず20%以上に達することを報告している。また, 著者ら (1978, 1977)^{18, 2)} は, 最大下作業における酸素負荷量及び base line の日差変動について検討し, それらの変動が黒田ら¹³⁾ の観察した最大酸素負荷量の変動量に近いことを認めた。しかしながら, この変動係数が回復時間の延長にともない大きくなることから,¹⁸⁾ 運動刺激が, 単に運動に必要な酸素不足を招くだけでなく生体の代謝水準を乱し, これが長く影響することが示唆された。

本研究では, 超最大運動により形成される酸素負荷量の変動とその変動の要因を回復期酸素摂取動態の面から分析しようとした。すなわち, 回復期の酸素摂取動態を Margaria ら (1933)¹⁵⁾, Henry と DeMoor (1950)⁴⁾, Katch ら (1972)⁹⁾ が用いた式によって近似し, 基準酸素摂取量 (base line), 速い成分の酸素負荷量 (first component) 及び遅い成分の酸素負荷量 (slow component) を算出し, その変動要因との関連性を検討しようとした。

方 法

被検者には, 健康な成人男子 6 名を選んだ。被検者の年齢, 身長, 体重及びトレッドミル速度漸増法によって測定した最大酸素摂取量は表 1 に示

した。

酸素負荷量の測定は, あらかじめ 60 ~ 70 秒で all out に達するようにトレッドミル斜度及び速度を設定し, 同一条件で日を変え被検者ごとに 3 回実施した。

被検者は, 食後 2 時間以上経過したのち実験室に入り, 30 分以上の仰臥安静後, 5 分間の安静時代謝を測定した。安静の終了後 5 分間準備運動 (トレッドミル走) を行なわせ, そのあと各被検者に対しあらかじめ決められたトレッドミル走を all out まで行った。

運動停止後はすみやかにトレッドミル上で仰臥安静姿勢をとり, 70 分間の安静を続けた。

安静, 運動中, 回復期の呼気ガス量は, フクダ双胴型換気量計で連続測定した。呼気中の酸素及び炭酸ガスは, 既知濃度ガスによって校正したモーガン社製の酸素分析器とゴダルト社製カプノグラフによって測定した。なお, 運動中及び回復期の心電図は胸部双極誘導により連続的に記録した。また, 呼気ガス量, 酸素, 炭酸ガス濃度は, 安静時が 1 分間隔, 運動中は 15 秒間隔, 回復の 3 分までは 15 秒間隔, 回復の 3 分から 5 分までは 30 秒間隔, 回復の 5 分以後 70 分までは 1 分間隔で測定した。

酸素負荷量の算出

酸素負荷量の算出は, 2 つの方法で行った。すなわち, 安静 30 分後の安静時酸素摂取量を基準代謝量 (Observed base line: O-base line) として, これを超過した酸素摂取量の 70 分間の総和を酸素負荷量としたもの (Observed Oxygen debt: O-O₂ debt)。しかしながら, 回復期酸素摂取量は, 回復 70 分間に基準代謝量 (O-base line) に戻る場合と戻らない場合がみられたため, 戻らない場合は 70 分間の値とした。

いま一つの方法は, 回復期の酸素摂取曲線を 2 つの指数関数曲線によって近似し, この式の 2 つの要素, つまり, $A_1e^{-k_1t}$ と $A_2e^{-k_2t}$ を積分することによって算出した。

$$Y = A_1e^{-k_1t} + A_2e^{-k_2t} + C$$

ここで, Y は, 回復期の任意の時間 t における酸素摂取量 (ℓ) をあらわし, C は回復期の基準

Table 1. Physical characteristics of subjects and their maximal oxygen uptake.

Subj.	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	VO ₂ max/weight (ml/kg-min)
FN	34	170	68	47
SM	33	168	59	56
OJ	19	166	54	69
OT	24	172	69	55
ST	19	172	56	60
YA	22	164	58	70

Table 2. Treadmill speed, allout time and coefficient variation (CV_{SD}) of allout time on each subjects.

Subj.	Grade (Degree)	Speed (m/min)	Exp. No.	All out Time (sec)	mean ± SD (sec)	CV _{SD} (%)
FN	5	270	1	60	60.0 ± 0.00	0.0
			2	60		
			3	60		
SM	5	300	1	79	80.3 ± 1.25	1.6
			2	80		
			3	82		
OJ	5	320	1	68	74.3 ± 4.64	6.2
			2	79		
			3	76		
OT	5	290	1	70	71.0 ± 0.82	1.2
			2	71		
			3	72		
ST	5	290	1	72	75.0 ± 2.45	3.3
			2	75		
			3	78		
YA	5	300	1	70	76.0 ± 5.35	7.0
			2	75		
			3	83		
Total Mean					72.8	3.2

代謝量 (回復期 base line = Estimated base line: E-base line) をあらわす。A₁, A₂, K₁, K₂, は係数である。これらの係数は、最少自乗法 (Ikegami: *et al* 1980)⁸⁾によって決定した。

変動係数の算出

各測定値の変動係数 (Coefficient Variation: CV) は、先の研究 (齊藤ら, 1978)¹⁸⁾と同じく3回の測定の平均値に対する標準偏差値の割合 (CV_{SD})と

3回の最小値に対する最大値と最小値の差の割合 (CV_{max}) であらわした。

$$CV_{SD} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (\bar{x} - x)^2}}{\bar{x}} \times 100$$

$$CV_{max} = \frac{x_{max} - x_{min}}{x_{min}} \times 100$$

結 果

1) all out 時間, 運動中酸素摂取量及びその変動

各被検者の運動条件及び走行時間を表 2 に示した。すなわち, 斜度 5 度のトレッドミルで各被検者が約 60 秒で疲労困憊に至るように運動を日を変えて 3 回行なわせた時の走行時間 (all out time) の平均値は, 60 秒から 80 秒の範囲であり, この個人内変動の平均値は 3.2% (0 ~ 7.0%) であった。

運動時の酸素摂取量の各被検者の平均値は 2.76 から 4.28 ℓ の範囲であり, これは走行時間に伴って増加することから, 1 分間値であらわすと 2.76 から 3.42 ℓ となった。1 分間値であらわした運動時の酸素摂取量の個人内変動は, 1.6 から 11.4% であり, 平均 6.3% であった。

2) 安静時酸素摂取量 (基準代謝量) 及び回復

曲線から推定した基準代謝量とその変動係数

表 3 は, 安静 30 分後と回復期酸素摂取動態曲線から推定した基準酸素摂取量を示したものである。安静時の基準酸素摂取量 (O-base line) の 6 人の平均は 241 ml/min であり, 回復期酸素摂取動態曲線から推定した基準酸素摂取量 (E-base line) のそれは, 246 ml/min であった。これらの変動係数の総平均は, O-base line が 7.2%, E-base line が 10.0% となり, 回復曲線から推定した基準酸素摂取量の変動が大きかった。

3) 酸素負債量及びその変動

酸素摂取量実測値及び回復曲線から推定した各酸素負債量及びその変動係数を表 4 に示した。酸素負債量の 6 名の平均は実測値 (O-O₂ debt) が 11.14 ℓ (185 ml/kg), 推定値 (E-O₂ debt) が 11.09 ℓ (184 ml/kg) となり, ほぼ同じ値であった。これらの変動係数の総平均値は, O-O₂ debt が 17.7%

Table 3. Comparison of observed and estimated base line and its coefficient variations.

Subj.	Exp. No.	Observed				Estimated			
		Base line (ml/min)	mean (SD)	CV _{SD} (%)	CV _{max} (%)	Base line (ml/min)	mean (SD)	CV _{SD} (%)	CV _{max} (%)
FN	1	272	246 (19)	7.7	19.8	270	268 (20)	7.4	20.5
	2	227				242			
	3	239				291			
SM	1	256	232 (24)	10.2	28.0	224	229 (13)	5.5	13.6
	2	241				247			
	3	200				217			
OJ	1	229	258 (21)	8.0	21.0	213	258 (33)	13.0	37.4
	2	267				268			
	3	277				293			
OT	1	230	223 (23)	10.3	28.6	242	226 (17)	7.4	19.2
	2	192				234			
	3	247				203			
ST	1	238	234 (4)	1.6	3.9	262	248 (41)	16.6	50.5
	2	229				192			
	3	234				289			
YA	1	237	255 (14)	5.5	15.2	214	248 (25)	10.0	27.1
	2	254				259			
	3	273				272			
Total Mean	mean SD		241 13	7.2 3.0	19.4 8.35		246 15	10.0 3.8	28.1 12.5

Table 4. Comparison of observed and estimated oxygen debts and its coefficient variations.

Subj.	Exp. No.	Observed				Estimated			
		O ₂ Debt (l)	mean (±SD)	CV _{SD}	CV _{max}	O ₂ Debt (l)	mean (±SD)	CV _{SD}	CV _{max}
FN	1	10.70	11.13 (.64)	5.8	13.0	10.77	9.90 (1.93)	19.5	61.9
	2	12.04				11.71			
	3	10.65				7.23			
SM	1	5.84	7.75 (1.48)	19.1	61.6	8.13	8.05 (0.32)	4.0	10.2
	2	7.99				7.63			
	3	9.43				8.41			
OJ	1	9.63	11.56 (1.88)	16.3	31.8	10.74	11.54 (1.06)	9.1	21.4
	2	10.94				10.85			
	3	14.12				13.03			
OT	1	12.24	11.43 (1.93)	16.9	51.4	11.40	11.22 (0.61)	5.5	14.1
	2	13.28				10.40			
	3	8.77				11.87			
ST	1	11.09	11.56 (3.04)	26.3	54.5	9.46	10.61 (0.90)	8.5	23.2
	2	8.09				10.71			
	3	15.49				11.66			
YA	1	11.36	13.40 (2.92)	21.8	55.0	13.55	14.90 (2.69)	18.0	49.3
	2	17.52				18.66			
	3	11.30				12.50			
Total Mean	mean SD		11.14 1.69	17.7 6.2	44.6 16.9		11.09 2.07	10.8 5.9	30.0 19.0

(5.8 ~ 26.3%の範囲), E-O₂ debt が 10.8% (4.0 ~ 19.5%の範囲) となり, O-O₂ debt の変動が E-O₂ debt より大きな変動を示した。

4) 速い成分 (first component) と遅い成分 (slow component) の値とその変動

回復期酸素摂取動態曲線から算出した酸素負債量のうち速い成分 (first component: first-C) と遅い成分 (slow component: slow-C) の総平均は, それぞれ 2.99 l (2.78 ~ 3.60 l の範囲), 8.06 l (5.30 ~ 12.09 l の範囲) となり, 遅い成分の酸素負債量全体に占める割合が大きかった。また, 両者の変動係数は, first-C が 3.0 から 14.1% (平均 8.6%), slow-C が 2.9 から 26.5% (平均 13.2%) の範囲であり, slow-C の変動が first-C のそれに比べて大きくなる傾向であった。

5) 回復期酸素摂取量及び換気量とその変動

表 6 と 7 は, 回復 70 分間の換気量及び酸素摂取

量を示したものである。3 回の回復 70 分間の総換気量の平均の総平均値は, 854.9 l (679.1 ~ 967.7 l の範囲) であり, 変動係数の平均値は, 4.1% であった。回復 70 分間の酸素摂取量の平均は, 実測値及び推定値の総平均値は 28.1, 28.3 となり, この変動係数の平均は各々 6.9% であった。この値は, 酸素負債量の変動係数に比べて小さいものであった。

論 議

本実験では, 約 60 秒で all out になるようトレッドミル速度をあらかじめ被検者ごとに設定したが, 実際の all out 時間は, 平均 72.8 秒であった。黒田ら^{11, 13)} はトレッドミル走では 60 秒前後の all out 走において最も高い酸素負債量がみられることを報告していることから, 本実験条件で得られた酸素負債量は, 各被検者の最大値に近いものと

Table 5. Comparison of first and slow components in the oxygen debt and its coefficient variations.

Subj.	Exp. No.	Fi1st-C (l)	mean (±SD)	CV _{SD} (%)	CV _{max}	Slow-C (l)	mean (±SD)	CV _{SD} (%)	CV _{max}
FN	1	2.694	2.783 (.087)	3.1	7.7	8.079 8.802 4.483	7.121 (1.889)	26.5	96.3
	2	2.902							
	3	2.753							
SM	1	2.732	2.791 (.281)	10.1	27.4	5.509 5.146 5.251	5.302 (0.153)	2.9	7.1
	2	2.480							
	3	3.160							
OJ	1	2.612	2.820 (.151)	5.4	13.5	8.132 7.885 10.149	8.722 (1.014)	11.6	28.7
	2	2.965							
	3	2.884							
OT	1	3.482	3.599 (.182)	5.1	11.5	7.922 6.942 8.013	7.626 (0.485)	6.4	15.4
	2	3.458							
	3	3.856							
ST	1	2.553	3.122 (.439)	14.1	41.9	6.909 7.518 8.035	7.487 (0.460)	6.1	16.3
	2	3.191							
	3	3.622							
YA	1	3.060	2.812 (.386)	13.7	19.5	10.480 16.395 9.384	12.086 (3.079)	25.5	74.7
	2	2.267							
	3	3.110							
Total Mean	mean SD		2.988 0.302	8.58 4.31	20.35 11.54		8.057 2.073	13.2 9.4	39.8 33.5

Table 6. Expired gas volume during 70 min recovery and its coefficient variations.

Subj.	VE/70 min (l) mean ± SD	CV _{SD}	CV _{max}
FN	967.74 ± 49.43	5.1	12.4
SM	816.13 ± 21.19	2.6	6.5
OJ	787.71 ± 50.31	6.4	16.8
OT	910.61 ± 17.94	2.0	4.3
ST	679.12 ± 30.14	4.4	11.4
YA	961.92 ± 53.89	5.6	14.6
Total Mean	854.87	4.1	11.0

いえよう。

走行時間の個人内変動係数の総平均値は 3.2% であり、黒田ら¹³⁾の報告値に近いものであった。

本実験で得られた酸素負債量の実測値の 6 名の平均は 11.14 l であり、体重当りでは 185ml であっ

た。この値は、黒田ら¹²⁻¹⁴⁾、中西ら¹⁶⁾、伊原¹⁷⁾、青木ら¹⁾、Graham と Andrew³⁾の報告値よりも高いものであった。この違いについては、一つに回復時間や回復期における姿勢の相違があげられる。すなわち、本研究では運動後の回復時間は 70 分であったが、他の研究者では 60 分以内であり、また、Graham と Andrew³⁾は椅座位での安静代謝を base line としたことによるものと思われる。

一方、今まで報告されている回復期酸素摂取動態曲線の係数の決定はほとんどが作図法¹⁷⁾や簡略法¹⁰⁾によるものである。本研究では、Ikegami⁸⁾の用いた最小自乗法による方法を用いて係数を決定した。今まで報告された係数の値と本研究の値とを比較すると表 8 のようになる。各研究者で運動時間が類似しているにもかかわらず、係数値にはかなりの違いがみられた。本実験で得られた係数は、山岡ら²⁰⁾の報告値に最も近かった。Margaria¹⁵⁾の運動条件は本実験とよく似た条件であったにもかかわらず、K₁、K₂の値が大きく

Table 7. Comparison of observed and estimated oxygen uptake during 70 min recovery and its coefficient variations

Subj.	Observed			Estimated		
	O ₂ uptake/70 min (mean ± SD) (1)	CV _{SD} (%)	CV _{max} (%)	O ₂ uptake/70 min (mean ± SD) (1)	CV _{SD} (%)	CV _{max} (%)
FN	28.36 ± 1.02	3.6	8.6	28.63 ± 0.84	2.9	7.4
SM	24.35 ± 0.46	1.9	4.7	24.10 ± 0.56	2.3	5.4
OJ	29.60 ± 3.20	10.8	30.5	29.60 ± 3.21	10.9	30.7
OT	27.06 ± 0.96	3.5	8.8	27.06 ± 0.95	3.5	8.7
ST	27.92 ± 3.18	11.4	32.2	27.95 ± 3.16	11.3	32.0
YA	31.19 ± 3.09	9.9	26.3	32.29 ± 3.41	10.6	29.0
Total Mean	28.08	6.9	18.5	28.27	6.9	18.9

Table 8. Comparison of exponential curve parameters and recovery time.

Authors	Exp. condition	First-C (liter)	k ₁	$\frac{1}{2} = t$	Slow-C (liter)	k ₂	$\frac{1}{2} = t$	Recovery time (min)
Present	Treadmill 8.5 % 72 sec allout	2.99 (8.6)	.920 (8.3)	45.9 (8.0)	8.06 (13.3)	.067 (16.2)	11.7 (15.9)*	70
Margaria <i>et al</i>	Treadmill 1—7 min allout	—	1.04	25—40	—	.02	34.6	110
Robert & Morton	Treadmill 20% (240—268m/min)	2.81	1.51	45.8	2.47	.36	1.9	25
Katch & Henry	Bicycle 60 sec allout	1.94	1.443	28.8	5.72	.059	11.8	15
Yamaoka	600m run	2.70	.74	56	3.57	.07	9	40
Aoki <i>et al</i>	100m sprint	1.93	—	—	5.50	—	—	40—50

* Figure of the parentheses indicates coefficient variations.

異った。このことは、Margariaら¹⁵⁾は作図法による係数決定上の誤差が大きかったものと考えられる。特に作図法では、base line, つまり, Cをあらかじめ決定してから各係数を決定するという欠陥を持っており、運動前にどのような条件でbase lineを決定するかによって係数が大きく異なる。本研究では、回復期酸素摂取動態曲線のbase line (C) 及び係数は最小自乗法により客観的に決定されたことから、作図法によるような誤差はさげられたと考えられる。さらに、本実験で求めたfirst-C及びslow-Cの値についても数学的にも信頼できるものといえよう。

実測酸素負債量 (O-O₂ debt) の変動係数の平均値は、17.7%であり、黒田ら¹³⁾の報告値よりやや大きかった。これは、本研究では、黒田ら¹³⁾のように実験条件や被検者の生活を充分統制しなかったためと思われる。しかしながら、回復曲線から推定した酸素負債量 (E-O₂ debt) の変動係数は10.8%となり、O-O₂ debtの変動より小さく、黒田ら¹³⁾の報告値とほぼ同じであった。O-O₂ debtとE-O₂ debtとでは、負債量算定におけるbase lineの決定法が異なる。すなわち、先に述べたように、O-O₂ debtのbase lineは運動前安静値を用いており、E-O₂ debtのそれは、回復期酸素摂取

Table 9. Comparison of oxygen uptake on three conditions and correlation coefficient matrices.

Items	Oxygen uptake			Oxygen uptake (ml/min)
	O-Base line	E-Base line	Recovery 65—70 min O ₂ uptake	
O-Base line	—	—	—	241
E-Base line	0.489	—	—	246
Recovery 65—70 min O ₂ uptake	0.190	0.800**	—	259

** p<0.001

取動態式によって推定した(E-base line)ものを用いた。回復70分間の酸素摂取量の総量及び変動係数の平均が実測値と推定値とでは差がない(表6)ことから、O-O₂ debt と E-O₂ debt との変動中の違いは酸素負債量算定における base line の差によるものといえよう。

O-base line とE-base line の6名の平均値は、それぞれ 241 ml/min, 246 ml/min とほとんど差はみられなかった。しかし、変動係数の総平均は、O-base line が 7.2%, E-base line が 10.0% となり、E-base line の変動の方が大きかった(表3)。

このことは、運動の刺激が回復期酸素摂取動態、つまり base line を運動前の安静 base line に比べて大きく変動させることを示すものといえよう。さらに表9は、O-base line, E-base line, 回復65分から70分の酸素摂取量の相関マトリックスを示したものである。O-base line とE-base line, O-base line と回復65から70分目の酸素摂取量との間に相関はみられなかったが、E-base line と回復65から70分目との間には有意の相関関係 ($r = 0.800$, $P < 0.001$) が認められた。これらの結果は、運動前の base line と回復期から推定した base line とは異質の内容を持っていることを示すものと思われる。すなわち、運動によって回復期の体液やホルモンの分泌、体温の上昇、交感神経の興奮の変化^{10, 19)}などがE-base line に影響を与えたものと考えられる。

ところで、回復曲線から推定した酸素負債量(E-O₂ debt) をさらに速い成分 (first-C) と遅い成分

Table 10. Comparison of coefficient variation of parameters.

Parameter	Coefficient variation (%) (mean ± SD)
All out time	3.2 ± 2.6
VO ₂ during run	6.3 ± 3.0
O-base line	7.2 ± 3.0
E-base line	10.0 ± 3.8
Recov. V _E /70 min	5.8 ± 1.6
Recov. V _E /70 min	6.9 ± 3.9
Estimated Recov. VO ₂ /70 min	6.9 ± 4.0
O-O ₂ debt (70 min)	17.7 ± 6.3
E-O ₂ debt (t = ∞)	10.8 ± 5.9
First component	8.6 ± 4.3
Slow component	13.2 ± 9.4

2 1 2 1

(slow-C) に分けてその変動係数を算出すると前者が 8.6%, 後者が 13.2% となり、slow-C の変動が大きくなった。また、これらの CV_{max} についてみると、first-C が 20%, slow-C が 29% であった。体重当りの first-C, slow-C の平均値はそれぞれ 49 ml, 135 ml となり、slow-C が first-C にくらべて 2.7 倍大きかった。このことから、酸素負債量の変動は、base line と slow-C との変動に大きく依存しているといえよう。

本実験で O₂ debt の変動は、黒田ら¹³⁾, Graham と Andrew³⁾ の報告と同様にかなり大きいことが確かめられたが、これに関連すると思われる all

out 時間, 運動中の酸素摂取量, 回復70分間の換気量及び酸素摂取量, O-base line, E-base line, O-O₂ debt, E-O₂ debt の変動係数をまとめたものが, 表9である。all out 時間の変動が最も小さく, 次いで回復70分間の換気量の変動が小さかった。逆に変動の大きいものは, O-O₂ debt であり, 次いで slow-C であった。また, E-O₂ debt の変動は 10.8 % であり O-O₂ debt より小さかった。これらの結果から, 今回の実験において, 回復期の base line を用いて酸素負債量を算定することが変動を小さくする一つの方法であることが示唆された。しかしながら, 酸素負債量をヒトの無酸素的作業能の信頼できる指標とするためには, 回復の長い時間にわたって変動に係わる slow-C 及び base line の変動量をどのように排除していくかが今後の課題といえよう。

引用文献

- 1) 青木純一郎, 清水達雄, 形本静夫, 短距離走と酸素負債, 順天堂大学保健体育紀要, **17**: 1—12. 1974.
- 2) 藤墳規明, 斉藤満, 宇津野年一, 酸素負債量測定法における base line の検討, 名古屋工業大学学報, **29**: 597—601. 1977.
- 3) Graham T. E. and G. M. Andrew: The variability of repeated measurements of oxygen debt in man following a maximal treadmill exercise. *Med. Sci. Sports*. **5**: 73—78. 1973.
- 4) Henry F. M. and J. DeMoor: Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. *J. Appl. Physiol.* **2**: 481—487. 1950.
- 5) Hermansen L.: Anaerobic energy release. *Med. Sci. sports*. **1**: 32—38. 1969.
- 6) Hill A. V. and H. Lupton: Muscular exercise, lactic acid and supply utilization of oxygen. *Quart. J. Med.* **16**: 135—171. 1923.
- 7) 伊原茂一, 農村青少年の最大酸素摂取量並びに最大酸素債について, 体力科学, **6**: 52—59. 1956.
- 8) Ikegami Y., N. Fujitsuka, M. Saito, K. Shimaoka, M. Miyamura and H. Matsui: A mathematical analysis of the oxygen uptake after strenuous exercise. *Nagoya J. Health, Physical fitness. Sports*. **3**: 1—8. 1980.
- 9) Katch V. and F. M. Henry: Prediction of running performance from maximal oxygen debt and intake. *Med. Sci. Sports*. **4**: 187—191. 1972.
- 10) Knuttgen H. G.: Oxygen debt after submaximal physical exercise. *J. Appl. Physiol.* **29**: 651—657. 1970.
- 11) 黒田善雄, 加賀谷熙彦, 雨宮輝也, 村松允子, 塚越克己, 太田裕造, 酒井淳子, トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法—トレッドミルとトラック走との比較—, 体協報告, 1968年度体協報告書, 1—22. 1968.
- 12) 黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児, 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第2報—, 昭和48年度, 日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. IX. 1—27. 1973.
- 13) 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児, 伊藤静夫, 最大酸素負債量の測定法に関する研究—第3報—, 最大酸素負債量の個人内変動について, 昭和49年度, 日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. X. 1—19. 1976.
- 14) 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 金子敬二, 松井美智子, 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報—, 昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. XIII. 1979.
- 15) Margaria R., H. T. Edwards and D. B. Dill: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Amer. J. Physiol.* **106**: 689—715. 1933.
- 16) 中西光雄, 寄金義紀, Efficiency-tester による Max O₂ intake, max O₂ debt の測定 (その2)。体育学研究, **X—1**: 36. 1966.
- 17) Roberts A. D. and A. R. Morton: Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Europ. J. Appl. Physiol.* **38**: 281—289. 1978.
- 18) 斉藤満, 藤墳規明, 宮村実晴, 松井秀治, 個人内変動からみた酸素負債量, 体育の科学, **28**: 290—295. 1978.
- 19) Stainsby W. N. and J. Barclay: Exercise metabolism: O₂ deficit, steady level O₂ uptake and O₂ uptake for recovery. *Med. Sci. Sports*. **2**: 177—181. 1970.
- 20) 山岡誠一, 蜂須賀弘久, 榎岡義明, 呼吸ガス代謝よりみた子供と成人の比較—第一報—, 身体運動時の酸素摂取量, 酸素負債量, 体育学研究, **11**: 203—212. 1967.

(1980年12月17日受付)

