

有酸素能力のトレーニング水準の 評価指標に関する研究

小野 剛・松坂 浩一*・林 昭雄**・池上 晴夫

A study on the index for evaluating the enhanced level of one's aerobic capacity.

Takeshi ONO, Kouichi MATSUZAKA*, Akio HAYASHI and Haruo IKEGAMI**

Amount of increase in maximal oxygen uptake by a certain training is variable depending on personal conditions including his enhanced level of his aerobic capacity. This study was aimed to find a proper method for evaluating the enhanced level of one's aerobic capacity.

Twenty four university soccer players (male) were served as subjects. They had 2~3 hour's daily training, 6 days per week, for 3 months. The training prescription included technical training of soccer, endurance running, and circuit training. Before and after the training the following measurements were made: maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2\max$), anaerobic threshold (AT) by incremental bicycle ergometer exercise, and V/D ratio. V/D ratio was defined as a ratio between total oxygen uptake minus resting oxygen uptake during cycling exercise of 60% $\dot{V}O_2\max$ for 6 minutes and oxygen debt obtained in 20 minutes after the exercise. Correlation coefficients between these 3 parameters before training and amount of changes in $\dot{V}O_2\max$ during the training was -0.601 for $\dot{V}O_2\max$, -0.695 for AT, and -0.803 for V/D ratio.

From these results V/D ratio was proposed for the better index for evaluating the enhanced level of one's aerobic capacity.

Key words: Maximal oxygen uptake, O_2 debt, net $\dot{V}O_2$, Aerobic capacity, Training

I. 緒 言

各種運動競技のトレーニング指導を行う場において、その時点における体力や運動能力を評価することは非常に重要なことである。有酸素能力の評価に関しても最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) をはじめとしてさまざまな評価法が研究され、指導の現場で役に立っている。しかし、個人の有酸素能

力は遺伝的要因をはじめとして個人の資質に大きく影響されており、その時点での有酸素能力を見ただけでは、それがトレーニングにより十分に高められた値なのか、それともまだトレーニングにより向上する可能性を持っているのかを判定することは困難なことである。すなわち、有酸素能力が低くても十分にトレーニングを積んだ者もいれば、高い有酸素能力を持っているにもかかわらずまだトレーニングの余地の残っている者もいるわけである。

このように、個人がその人の限界、あるいは限界と思われるレベルに対しどの程度までトレーニングがなされているのかを知ること、言い換え

* 山梨県庁国体局

** 草加東高校

* National Athletic Meet Office of YAMANASHI Prefecture

** East High School of Sōka City

ば個人のトレーニング水準を知ることは、指導者にとって非常に有用であると考えられる。

しかしながら、このトレーニング水準の評価に関しては、Davis ら⁹⁾が無酸素性作業閾値 (AT) によってその可能性を示唆しているものの、今のところ確立されていないのが現状である。

ところで、一定強度の最大下運動における酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の立ち上がりは、トレーニングを積むにしたがって急峻になることはすでに知られている⁵⁾⁶⁾¹⁵⁾。したがって、一定最大下負荷強度の運動を行うとトレーニングを積んだ者では運動中に摂取される酸素の量 ($netVO_2$) が多くなり、その結果、酸素不足 (O_2 deficit) が減少することになる。また、この O_2 deficit の減少は O_2 deficit と関連の深い酸素負債 (O_2 debt) を減少させることになる¹⁰⁾¹⁴⁾。Girandola ら⁹⁾は、運動時の VO_2 を回復時の VO_2 で除した商が酸素運搬の効率を示すと考え、9週間のトレーニングの結果、この商が大きくなり酸素運搬の効率が向上したと報告している。そこで、一定最大下負荷強度の運動を行った時の $netVO_2$ と O_2 debt を測定し、その比 ($netVO_2/O_2$ debt) を求めると、よくトレーニングを積んだ者では高い値を示し、まだあまりトレーニングのなされていない者では低い値を示すと考えられる。したがって、この値 (酸素摂取負債比: $V/Dratio$ と呼ぶことにする。) により個人の有酸素能力の相対的トレーニング水準を評価できる可能性が推察される。

本研究では、トレーニング前の酸素摂取負債比を、その後のトレーニングによる $\dot{V}O_2max$ の変化量と比較することによって、このパラメーターが有酸素能力のトレーニング水準の評価指標として妥当であるかどうかを検討し、併せて $\dot{V}O_2max$ 及び AT のそれとも比較することにした。

II. 方 法

被験者は、昭和59年4月に大学に入学し、大学サッカー部に所属している年齢19~21歳の健康な男子学生24名とした。被験者の身体特性は Table 1 に示した通りであった。トレーニングとしては、サッカーのトレーニングを中心に、その他持久力ランニングやサーキットトレーニングなどを1日に約2~3時間、週6回の頻度で12週間行わせた。トレーニングは常に全員が集団となって行ったため、トレーニングの量・質に個人差があったとし

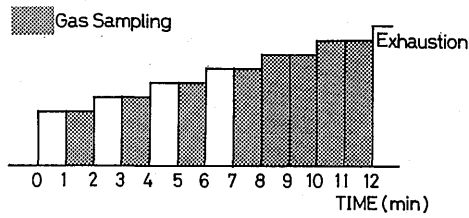
Table 1 Physical characteristics of the subjects.

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2max$ (ml/kg/min)
Y. I	20	170.8	62.5	53.4
K. I	19	170.6	63.0	56.8
H. I	19	172.8	67.0	44.8
Y. U	20	166.0	59.0	54.4
Y. E	19	172.0	67.0	44.2
M. E	21	164.6	63.0	61.5
K. E	19	164.0	61.0	60.3
M. S	19	180.0	74.0	44.6
A. S	20	172.9	63.8	56.1
Y. T	19	173.5	60.2	56.5
A. T	19	182.0	77.5	41.6
H. T	19	161.3	53.0	50.2
N. N	20	157.1	60.5	50.4
Y. N	19	177.1	69.4	41.5
A. N	19	173.0	66.8	52.0
S. W	20	167.0	63.0	46.7
Y. K	20	177.0	70.1	57.3
Y. O	19	171.0	58.0	65.5
M. M	19	183.5	74.3	45.6
J. M	19	169.3	64.2	60.7
M. m	19	172.3	60.4	48.1
H. W	19	168.8	64.1	59.8
M. Y	19	170.1	60.6	58.5
M. I	19	166.0	69.0	57.1
Mean	19.3	170.95	64.64	52.82
S. D	0.55	6.13	5.56	6.78

て比較的小さく、概して言えば全員が同一の条件であったと考えられる。測定は入学した年の4月中旬 (Test I) および、約3ヶ月のトレーニング後の7月上旬 (Test II) に計2回行い、それぞれの時点において $\dot{V}O_2max$, AT, および酸素摂取負債比の3項目を測定した。

測定のプロトコルは、Fig. 1 に示した通りである。運動負荷には自転車エルゴメーター (モナーク社) を用い、 $\dot{V}O_2max$ および AT の測定には、負荷漸増法 (回転数60rpm において2kp から2分毎に0.5kp ずつ漸増) による Exhaustive 自転車運動を行わせた。呼気ガスは Fig. 1—(1) に示すように1分毎にダグラスバッグに採集し、 O_2 濃度および CO_2 濃度をマススペクトロガスアナライザー (パーキンエルマー社) より分析した後、乾式ガスメーターにより呼気量を測定した。また、 $\dot{V}O_2max$ の判定基準としては、 $\dot{V}O_2$ のレベリング・オフ、190bpm 以上の心拍数、1.15以上の RQ

(1) MAXIMAL TEST FOR $\dot{V}O_{2max}$ & AT



(2) SUBMAXIMAL TEST FOR V/Dratio & HRratio

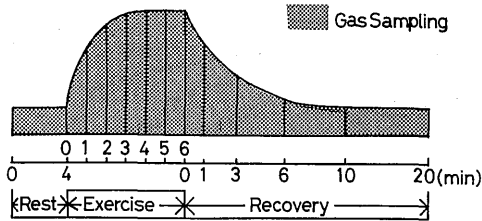


Fig. 1 Experimental protocol.

のうちの二つ以上の条件を満たしていることとし、ATは、 $\dot{V}E$ の非直線的増加の開始点における $\dot{V}O_2$ の絶対値とした¹³⁾。

酸素摂取負債比は、まず被験者に20分間の椅座位安静をとらせた後、Fig. 1-(2)に示したように、 $\dot{V}O_{2max}$ より算出した60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動を6分間行わせることによって測定した。まず、運動中および運動後の $\dot{V}O_2$ を連続測定し、安静時の $\dot{V}O_2$ を差し引いてnet $\dot{V}O_2$ と O_2 debtを求め、前者を後者で除すことによって酸素摂取負債比を算出した。なおこの際、実際に負荷した運動強度が結果的には60% $\dot{V}O_{2max}$ と異なる場合があったので、そのような場合には60% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の値を補正した。補正式作成のために、予備実験として次のような実験を行った。すなわち、5種類の負荷強度(22%, 38%, 55%, 74%, 及び94% $\dot{V}O_{2max}$)を設定し、同一被験者にこれらの負荷を各6分間行わせた場合の酸素摂取負債比を求めたところFig. 2に示す結果を得た。そして、負荷強度38~74% $\dot{V}O_{2max}$ の範囲における負荷強度と酸素摂取負債比との関係を直線とみなして処理した結果、次の補正式を得たので、上記の補正にはこの式を用いることにした。

補正値 = $0.088 * (\text{Work Load} : \% \dot{V}O_{2max} -$

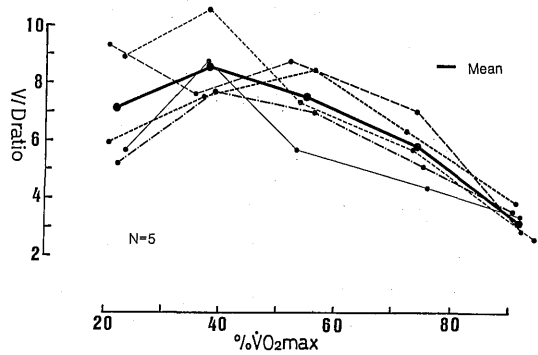


Fig. 2 V/D ratio at various work load (% $\dot{V}O_2$ max) for each subject.

60) + 測定値

III. 結果と考察

まず、本研究では一定のトレーニングを行った時の有酸素能力の向上を $\dot{V}O_{2max}$ の増加量ととらえ、その値の大きさをもってトレーニングによる酸素能力のトレーニング水準の向上の相対的大きさと考えることにした。そして、トレーニング前の各パラメーターの値($\dot{V}O_{2max}$, AT, および酸素摂取負債比)とトレーニング前後における $\dot{V}O_{2max}$ の変化量とを比較することによって、有酸素能力のトレーニング水準を評価する指標としての各パラメーターの妥当性を検討することにした。

1) $\dot{V}O_{2max}$ の初期値

Fig. 3はトレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ の値とトレーニング前後における $\dot{V}O_{2max}$ の増加量との関係を示したものである。一定のトレーニングを行った場合、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ の低いの方がトレーニングに $\dot{V}O_{2max}$ の増加量が大きいということは数多く報告されているが¹¹⁾¹²⁾¹⁶⁾、本研究におけるトレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ とトレーニング前後における $\dot{V}O_{2max}$ の増加量との間には $r = -0.602$ の1%水準で有意な負の相関が認められた。これは、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ の値によっても有酸素能力のトレーニング水準をある程度推察できるという可能性を示して

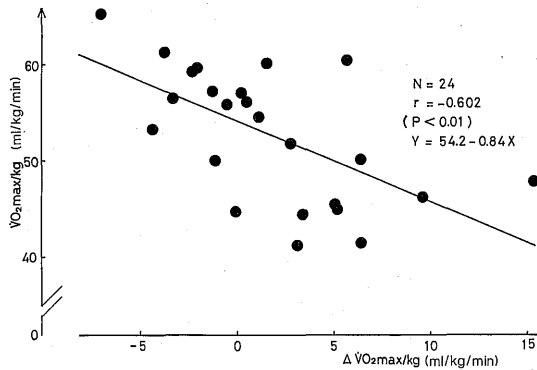


Fig. 3 Relationship between $\dot{V}O_2\max$ in pre-training stage and $\Delta\dot{V}O_2\max$. (difference in $\dot{V}O_2\max$ between pre-training and post-training.)

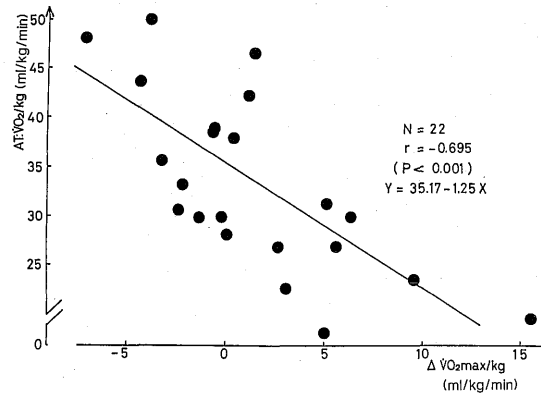


Fig. 4 Relationship between AT in pretraining stage and $\Delta\dot{V}O_2\max$. (difference in $\dot{V}O_2\max$ between pre-training and post-training.)

いる。

しかし、 $\dot{V}O_2\max$ が遺伝的要因に大きく規定されていることは数多く報告されており⁷⁾⁸⁾⁹⁾、Astrandら¹⁰⁾も個人の $\dot{V}O_2\max$ を決定する最も重要な要因は生来的能力であるとしている。すなわち、 $\dot{V}O_2\max$ を見ただけではその値がトレーニングによって限界近くまで高められているのか、あるいは今後のトレーニングによって増大する可能性を残しているのかを区別することには大きな限界があると考えられる。本研究においても個々の測定値を検討してみると、トレーニング前にほぼ同程度の $\dot{V}O_2\max$ を持っていた者どうしても、トレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の変化量は大きく異なっている場合が多く見られることがわかる。

2) 無酸素性作業閾値 (AT)

Fig. 4はトレーニング前のATの値とトレーニング前後における $\dot{V}O_2\max$ の変化量との関係を示したものである。

ATによって有酸素能力のトレーニング水準を評価できることの可能性はすでに報告されているが³⁾、本研究におけるトレーニング前のATの値とトレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の増加量との間にも $r = -0.695$ の0.1%水準で有意な負の相関関係が認められた。すなわち、トレーニング前にATの低かった者の方がトレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の増加量が大きかったことを示している。この相関係数は先の $\dot{V}O_2\max$ の場合よりも高く、トレーニング前の $\dot{V}O_2\max$ よりATの方が有酸

素能力のトレーニング水準をより正確に反映していることを示しているものの、十分高い相関であるとは言い難い。

3) 酸素摂取負債比 (V/D ratio)

酸素摂取負債比を求めるためのテストではその負荷強度を60% $\dot{V}O_2\max$ に設定したが、その負荷強度設定のための予備実験では、弁別性、精度、再現性の各項目について検討した。弁別性に関しては、各負荷における酸素摂取負債比がどれだけ大きく個体差を現すかという点で検討した。その結果、94% $\dot{V}O_2\max$ 強度では個体差がほとんど現れなかったが、74% $\dot{V}O_2\max$ 以下ではほぼ同様に個体差を現していた。精度に関しては、実験において生ずる測定誤差の及ぼす影響について検討した。一般に測定誤差の及ぼす影響はその絶対誤差が同等の場合、その測定値の絶対値が小さい程大きく受けることになる。したがって、負荷強度が低いと $O_2\text{debt}$, $\text{net}\dot{V}O_2$ も小さな値となるので、負荷強度の低い程精度も低下すると考えられる。再現性に関しては通常テスト-再テスト法がとられるが、本研究では同一被験者が8回のテストを行うことはテスト自体がトレーニングとなりそのトレーニング効果が現れてしまう可能性があるため、隣接する2つの負荷強度間における各被験者の酸素摂取負債比の変化傾向及び順位関係によって検討した。その結果、55%と74% $\dot{V}O_2\max$ の間のみ各被験者間の酸素摂取負債比に順位の入替

わりがなく、また変化傾向に関してもこの区間においては $r=0.96$ という最も高い相関係数が得られ、この区間における再現性が最も高いと考えられた。以上のことを考え合わせ、本研究における酸素摂取負債比測定のための負荷強度は $60\% \dot{V}O_2 \text{max}$ と設定した。

Fig. 5はトレーニング前の酸素摂取負債比とトレーニングによる $\dot{V}O_2 \text{max}$ の変化量との関係を示したものである。

トレーニング前の酸素摂取負債比とトレーニング前後における $\dot{V}O_2 \text{max}$ の増加量との間には $r = -0.803$ の 0.1% 水準で有意な負の相関関係が認められた。これは、トレーニング前に酸素摂取負債比が低かったものほどトレーニングによる $\dot{V}O_2 \text{max}$ の増加が大きかったことを示している。言い換えれば、トレーニングをしてもあまり $\dot{V}O_2 \text{max}$ の増加が見られなかった者、すなわちトレー

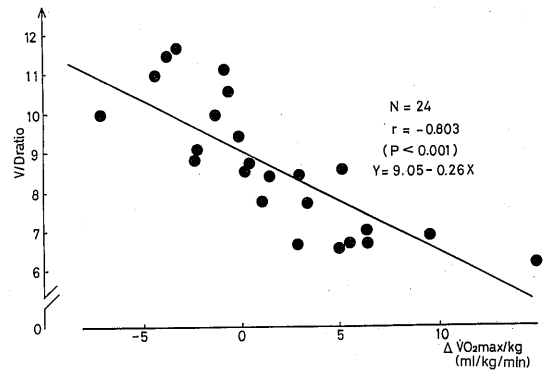


Fig. 5 Relationship between V/D ratio in pre-training stage and $\Delta \dot{V}O_2 \text{max}$. (difference in $\dot{V}O_2 \text{max}$ between pre-training and post-training.)

Table 2 Comparison of obtained values in Test I and II.

Subject	Test I					Test II				
	$\dot{V}O_2 \text{max}$ (ml/kg/min)	$\dot{V}O_{2AT}$ (ml/kg/min)	netVO ₂ (l/min)	O ₂ debt (l/min)	V/D ratio	$\dot{V}O_2 \text{max}$ (ml/kg/min)	$\dot{V}O_{2AT}$ (ml/kg/min)	netVO ₂ (l/min)	O ₂ debt (l/min)	V/D ratio
Y. I	53.4	44.0	10.3	1.05	10.9	49.0	38.4	13.3	1.81	8.0
K. I	56.8	38.1	12.9	1.51	8.7	57.3	44.4	11.2	1.30	8.8
H. I	44.8	30.0	10.4	1.12	9.3	44.7	25.9	12.8	1.22	10.5
Y. U	54.4	42.4	11.7	1.53	7.7	55.5	42.9	11.7	1.33	7.1
Y. E	44.2	31.3	10.2	1.28	8.5	49.4	32.4	9.4	1.48	8.5
M. E	61.5	50.8	11.9	1.10	11.4	57.8	45.7	14.1	1.32	10.8
K. E	60.3	46.7	12.6	1.53	8.4	61.8	40.1	13.2	1.44	9.4
M. S	44.6	—	10.1	1.31	7.7	48.0	32.0	10.1	1.24	8.3
A. S	56.1	39.2	10.0	1.03	11.0	55.6	39.5	12.6	1.25	10.6
Y. T	56.5	35.7	8.6	0.92	11.1	53.3	—	8.6	1.21	9.9
A. T	41.6	22.6	9.2	1.10	8.4	44.7	29.4	11.2	1.01	10.1
H. T	50.2	38.7	9.3	0.98	10.5	49.6	37.9	10.8	1.12	9.9
N. N	50.4	—	8.5	1.22	7.0	56.8	46.4	14.1	1.43	10.9
Y. N	41.5	30.0	7.8	1.17	6.7	47.8	36.2	14.8	2.02	8.3
A. N	52.0	26.9	11.5	1.80	6.6	54.8	—	12.5	1.50	9.1
S. W	46.7	25.4	9.6	1.38	7.0	56.3	39.4	13.8	1.36	11.7
Y. K	57.3	29.9	11.3	1.16	9.9	56.0	31.2	13.1	1.44	10.7
Y. O	65.5	48.1	10.5	1.06	9.9	58.4	35.5	11.7	1.75	9.1
M. M	45.6	18.0	10.7	2.20	6.5	50.6	22.6	11.7	2.32	6.8
J. M	60.7	27.0	12.2	2.03	6.6	66.3	32.8	12.6	1.79	7.6
M. m	48.1	19.6	8.7	1.50	6.3	63.6	42.8	11.5	1.51	8.4
H. W	59.8	33.3	11.8	1.52	9.0	57.6	27.7	10.5	1.31	8.5
M. Y	58.5	30.0	9.7	1.21	8.8	56.1	34.5	11.9	1.56	10.1
M. I	57.1	28.2	11.3	1.42	8.5	57.3	26.2	11.2	1.36	8.1
Mean	52.28	33.45	10.45	1.33	8.60	54.51	35.63	12.02	1.46	9.22
S. D	6.78	8.91	1.34	0.31	1.59	5.47	6.63	1.50	0.29	1.28

トレーニング水準が高かったと考えられる者はトレーニング前の酸素摂取負債比は高い値を示しており、逆にトレーニングによって顕著に $\dot{V}O_2\max$ が増加した者、すなわちトレーニングが十分に高められていなかった者はトレーニング前の酸素摂取負債比は低い値を示していたということを意味している。また、この相関係数は今回取り上げた3つのパラメーターの中で最も高く、酸素摂取負債比は、他の2つの指標 ($\dot{V}O_2\max$ および AT) よりも、有酸素能力のトレーニング水準をより正確に反映していることを示している。

Table. 2に示したように、Tast Iから Test IIにかけて酸素摂取負債比は平均7.2%増加した。Test Iと比較して Test IIでは $\dot{V}O_2\max$ が平均4.3%増加したため、酸素摂取負債比測定時の最大下運動 (60% $\dot{V}O_2\max$) の絶対強度も Test IIの方が大きく、これに応じて net $\dot{V}O_2$ も $O_2\text{debt}$ も増加した。したがって、Test Iから Test IIにかけて酸素摂取負債比が増加したのは、 $O_2\text{debt}$ に比べ net $\dot{V}O_2$ が相対的により顕著に増加したことに起因している。

ところで、トレーニングによって有酸素能力が向上した者では、トレーニング後にはその分トレーニング水準が相対的に高まっていると考えられる。すなわち、トレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の増加の大きかった者ほどトレーニング後に酸素摂取負債比も高くなっていると考えられる。そこで、

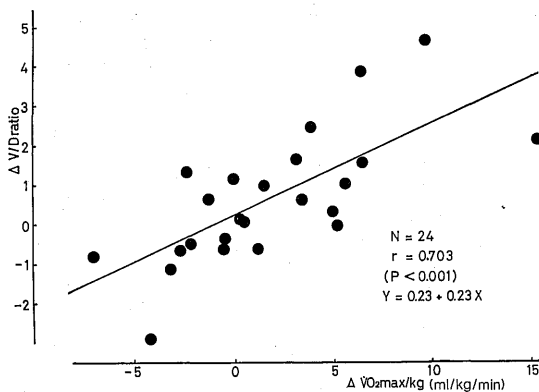


Fig. 6 Relationship between $\Delta V/D$ ratio (difference in V/D ratio between pre-training and post-training.) and $\Delta \dot{V}O_2\max$. (difference in $\dot{V}O_2\max$ between pre-training and post-training.)

トレーニング前後における酸素摂取負債比の変化量と $\dot{V}O_2\max$ の変化量との関係を見ると Fig. 6 のようになり、両者の間には、 $r = 0.703$ の 0.1% 水準で有意な高い正の相関関係が認められた。

なお、今回の実験ではトレーニング中に $\dot{V}O_2\max$ が 1.0ml/kg/min 以上減少した者が 24名中 7名いたが、この原因として考えられることは、まず 7名とも $\dot{V}O_2\max$ の初期値が高かったということ (全員の平均が 51.0ml/kg/min であるのに対し、この 7名の平均は 56.3ml/kg/min) である。このことは大学入学前はかなり激しいトレーニングをしていた可能性があり、大学入学後のトレーニングが彼等にとっては比較的軽いものであったことによる可能性が考えられる²⁾。この 7人の中で $\dot{V}O_2\max$ が特に目立って減少した 4名の者は推薦入学者であり、入学前からトレーニングを継続していたため、彼らはいずれも高い $\dot{V}O_2\max$ の初期値 (平均値: 59.8ml/kg/min) を持っていた。また、 $\dot{V}O_2\max$ の減少した 7名の酸素摂取負債比をみると、全員において減少を示し、トレーニング水準がやや低下したことを示唆している。

本実験では対象とした被験者が既にかなりトレーニングされた者であり、彼等の $\dot{V}O_2\max$ の初期値は 52.8 ± 6.8 ml/kg/min であった。その結果 $\dot{V}O_2\max$ の変化量と酸素摂取負債比との間に -0.808 という高い相関係数が得られた。もし、鍛練度や $\dot{V}O_2\max$ のより広いスペクトルの者を対象にすれば、この相関係数はさらに高い値となることが期待される。しかし、トレーニングの内容、対象の年齢、性などが変わった場合はどうなるか、さらに検討されなくてはならない点も残っている。

IV. 結 論

一定のトレーニングを行った時の $\dot{V}O_2\max$ の増加量をもってトレーニング前の有酸素能力のトレーニング水準を考える立場に立った場合、酸素摂取負債比は有酸素能力のトレーニング水準を評価する指標として、他のパラメーターと比較しても高い妥当性を示し、実用に供しうるものであることが示唆された。

引用文献

- 1) Åstrand, P.O., and K. Rodahl, 「運動生理学」, 朝比奈 一男, 浅野 勝己訳, P. 225, 261, 467, 大修館, 1976

- 2) Brynteson, P., and W.E. Shinning, "The effects of training frequencies on the relation of cardiovascular fitness." *Med. Sci. Sports.*, 5: 29-33, 1973
- 3) Davis, J.A., H.F. Marianne, B.J. Whipp, and Wasserman, K., "Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men" *J. Appl. Physiol.*, 46(6): 1039-46, 1979
- 4) Girandola, R.N., and F.I. Katch, "Effect of physical conditioning on changes in exercise and recovery O_2 uptake and efficiency during constant load ergometer exercise" *Medicine and Science in Sports*, 5: (4) 242-247, 1973
- 5) Hagberg, J.M., F.J. Nagle, and J.L. Carlson, "transient O_2 uptake response at the onset of exercise" *J. Appl. Physiol.*, 44(1): 90-92, 1978
- 6) Hickson, R.C., H.A. Bonze, and J.O. Holloszy, "Faster adjustment of O_2 uptake to the energy requirement of exercise in the trained state" *J. Appl. Physiol.*, 44(6): 877-881, 1978
- 7) Klissouras, V., "Hereditability of adaptative variation" *J. Appl. Physiol., Med. and Science in Sports*, 4: 71-76, 1972 31: 338-344, 1971
- 8) Klissouras, V., "Adaptation to maximal effort: Genetic and age" *J. Appl. Physiol.*, 35: 288-293, 1973
- 9) Klissouras, V., "Genetic limit of functional adaptability" *Int. Z. angew. Physiol.*, 30: 85-94, 1972
- 10) McMiken, D.F., "Oxygen deficit and repayment in submaximal exercise." *J. Appl. Physiol.*, 35: 127-136, 1976
- 11) Rowel, L.B., "Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress" *Physiol. Rev.*, 54: 75-159, 1974
- 12) Shephard, R.J., "Intensity, duration, and frequency of exercise at determination of the response to the training regimen" *Int. Z. angew. Physiol.*, 26: 272-278, 1968
- 13) Wasserman, K., B.J. Whipp, S.N. Koyal, and W.L. Beaver, "Anaerobic threshold and respiratory gas change during exercise." *J. Appl. Physiol.*, 35(2): 236-243 1973
- 14) Whipp, B.J., C. Searo, and K. Wasserman, "Oxygen deficit-oxygen debt relationships and efficiency of anaerobic work." *J. Appl. Physiol.*, 28: 452-456, 1970
- 15) Whipp, B.J., and K. Wasselman, "Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work" *J. Appl. Physiol.*, 33(3): 351-356, 1972
- 16) 山地啓司・横山泰行, 「持久性トレーニング(強度, 時間, 頻度, 期間)の最大酸素摂取量への影響」*体育学研究*, 32(3): 167-179, 1987