

漸減負荷運動による乳酸除去能力の 非観血的測定法に関する研究

日本女子体育大学 根本 勇
(共同研究者) 同 中村 夏実
同 黒田 善雄

Study of the Noninvasive Measure of Lactate Clearance by Decremental Exercise

by

Isamu Nemoto, Natsumi Nakamura, Yoshio Kuroda
Japan Women's College of Physical Education

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the feasibility of noninvasive measure of lactate clearance by decremental exercise. Twenty-six female collegiate students volunteered as subjects. All subjects performed maximal incremental (Inc) and maximal decremental (Dec) exercise on a bicycle ergometer. The results were as follows ;

1) The oxygen uptake (\dot{V}_{O_2}) during the Dec was significantly higher than those during the Inc at same work output.

2) The changing rate of \dot{V}_{O_2} ($\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$) and heart rate (HR ; $\Delta HR/\Delta W$) corresponding to work output during the Dec were significantly higher than those during the Inc ($P < 0.001$).

3) The oxygen requirement during the Dec ($29.62 \pm 6.38 l$) was significantly higher than those during the Inc ($27.29 \pm 5.79 l$; $P < 0.01$).

4) The blood lactate (HLa) corresponded to work output during the Dec were significantly higher than those during the Inc.

5) No significant difference was noted between ventilatory threshold during the Inc (VT_I ; 27.7 ± 3.49 ml/kg/min) and during the Dec (VT_D ; 28.5 ± 3.11 ml/kg/min).

6) There was significant difference between lactate threshold during the Inc (LT_I ; 24.4 ± 4.04 ml/kg/min) and during the Dec (LT_D ; 19.2 ± 3.74 ml/kg/min). The onset of blood lactate accumulation during the Inc ($OBLA_I$) was significantly higher than those during the Dec ($OBLA_D$; $P < 0.001$).

7) There was significant relationship between VT_I and VT_D , and the regression line was almost same as identity line ($y = x$).

8) The breakpoint of the respiratory exchange ratio (R) was related only to VT_D ($r = 0.536$; $P < 0.05$).

9) Significant difference was noted between $OBLA_I$ and $OBLA_D$, but not in case of LT_I and LT_D .

10) There was significant relationship between $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ during the Dec and LT_D ($r = 0.412$; $P < 0.05$).

These results might indicate the feasibility of noninvasive measure of lactate clearance (LT_D) by $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ during the Dec, and necessity of more detailed study to elucidate the validity of LT_D as an index of lactate clearance.

要 旨

本研究では、漸増 (Inc) および漸減負荷運動 (Dec) 中の血中乳酸濃度と換気パラメータとの動態を観察することによって、運動中の乳酸除去能力を評価する指標に関して検討することを目的とした。その結果、以下のことが明らかにされた。

1) 運動中の \dot{V}_{O_2} は Dec が Inc に比較して高値を示し、両運動負荷間に有意差が認められた ($P < 0.05 \sim P < 0.001$)。

2) 作業負荷 (W) に対する \dot{V}_{O_2} の変化率 ($\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$) および心拍数 ($\Delta HR/\Delta W$) は、Dec が Inc に比較して有意な高値を示した ($P < 0.001$)。

3) 酸素需要量は、Inc で 27.29 ± 5.79 l および Dec で 29.62 ± 6.38 l であり Dec が Inc に比較

して有意な高値を示した ($P < 0.01$)。

4) 同一作業負荷に対する HLa 濃度は、Dec が Inc に比較して高値を示し、両群間に有意差が認められた ($P < 0.001$)。

5) Inc (VT_I) および Dec (VT_D) における換気パラメータの変曲点は、ほぼ同様の値を示した (27.7 ± 3.49 および 28.5 ± 3.11 ml/kg/min)。

6) LT_D は LT_I に比較して低値を示し (LT_I ; 24.4 ± 4.04 および LT_D ; 19.2 ± 3.74 ml/kg/min)、両変曲点間に有意差が認められた ($P < 0.001$)。 $OBLA_D$ は $OBLA_I$ に比較して有意 ($P < 0.001$) な低値を示した。

7) VT_I と VT_D の間には有意な相関関係が認められ ($P < 0.001$)、かつ両者の回帰直線が同一線上とほぼ一致した。

8) R-breakpoint は、 VT_D との間のみ

意な相関関係 ($r=0.536$; $P<0.01$) が認められた。

9) LT_1 と LT_D の間には有意な相関関係は認められなかったが、 $OBLA_1$ と $OBLA_D$ との間には有意な相関関係が認められた ($P<0.001$)。

10) Dec 中の $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と LT_D との間には、有意な相関関係 ($r=0.412$; $P<0.05$) が認められた。

以上の結果より、漸減負荷運動時の換気パラメータ ($\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$) の測定によって、乳酸の除去能力 (LT_D) の非観血的な評価の可能性が示唆された。しかしながら、乳酸除去能力の指標としての LT_D や $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ の妥当性については、今後の研究に期待される。

1. 緒言

周知のように、漸増負荷運動中の血中乳酸濃度をもとにした指標として乳酸性閾値 (Lactate Threshold; LT) や Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) があり、持久性能力やトレーニングの運動強度指標として用いられている。これまでの研究により、LT や OBLA は筋における乳酸の産生と除去とのバランスを反映したものであり、とくに乳酸の産生量が除去量を上回る時点の運動強度とされる。最近、Whipp et al.⁸⁾ は、運動時の呼吸メカニズムを評価することを目的に漸減負荷運動を考案し、負荷に対する酸素摂取量 ($\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$) と換気量 ($\Delta\dot{V}_E/\Delta W$) の変化が乳酸の有無に関連することを示唆している。すなわち、筋中に乳酸の存する条件下での漸減負荷運動では、乳酸の存在しない場合よりも大きな $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ および $\Delta\dot{V}_E/\Delta W$ 値を示すという。さらに、漸減負荷運動中の呼吸商 (R) には変曲点 (R-Breakpoint) が存在し、R-Breakpoint は換気性閾値 (Ventilatory Threshold; VT) と高い相関関係を有するという⁶⁾。また、漸減負荷運動では、運動初期に産生された乳酸が酸化によ

て徐々に除去されるという特徴を持つことから、漸減負荷運動時の換気パラメータを測定することによって、乳酸の除去能力の評価の可能性が示唆される。しかしながら、漸減負荷運動における血中乳酸濃度と換気パラメータの推移、およびパフォーマンスとの関連について検討した報告はみられない。

そこで本研究では、大学女子陸上長距離選手、短距離選手、クロスカントリースキー選手および体育大学一般女子学生を対象に、漸増および漸減負荷運動中の血中乳酸濃度と換気パラメータとの動態を観察することによって、運動中の乳酸除去能力を評価する指標に関して検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被検者

被検者は、某女子体育大学陸上競技部に所属する中長距離選手6名 (Long Distance Runner: 以下 Runner 群) および短距離選手6名 (Sprinter 群)、クロスカントリースキー選手7名 (Skier 群) および体育大学一般女子学生7名 (Control 群) であった。表1には、被検者の形態および身体組成をまとめて示した。

2.2 運動負荷法

2.2.1 漸増負荷運動

(Incremental Exercise; Inc)

被検者には5分間の座位安静を保たせた後、モナーク社製自転車エルゴメータを用い、漸増負荷運動を行わせた。ペダル回転数を50 rpm とし、初期負荷0 kp から3分ごとに0.5 kp ずつ漸増してオールアウトに至るまで行わせた。なお、オールアウトの条件は指示されたペダル回転数 (50 rpm) を維持できなくなった時点とし、3分間持続できる最大負荷を漸増負荷運動における最大負荷とした。また、各種生理学的パラメータの測定は、運動中および運動終了後30分間にわたって実

表1 被検者の形態および身体組成

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)
Control (n=7)	20.6 (1.62)	159.1 (5.21)	56.3 (6.10)	20.2 (2.74)	44.9 (4.31)
Skier (n=7)	18.9 (1.07)	159.6 (6.83)	54.9 (5.69)	21.2 (1.44)	43.2 (4.54)
Runner (n=6)	21.0 ^{b)} (0.63)	158.4 [*] (5.58)	48.5 [*] (6.28)	16.1 ^{c)} (4.50)	40.5 [*] (4.27)
Sprinter (n=6)	20.8 [*] (0.75)	165.6 ^{a)} (3.83)	58.3 (8.46)	18.1 (4.60)	47.5 (5.98)

^{*} P<0.05 ; Sprinter>Skier ^{*} P<0.05 ; Runner<Sprinter
^{a)} P<0.05 ; Sprinter>Control ^{b)} P<0.05 ; Runner>Skier
^{c)} P<0.05 ; Runner<Skier Mean (SD)

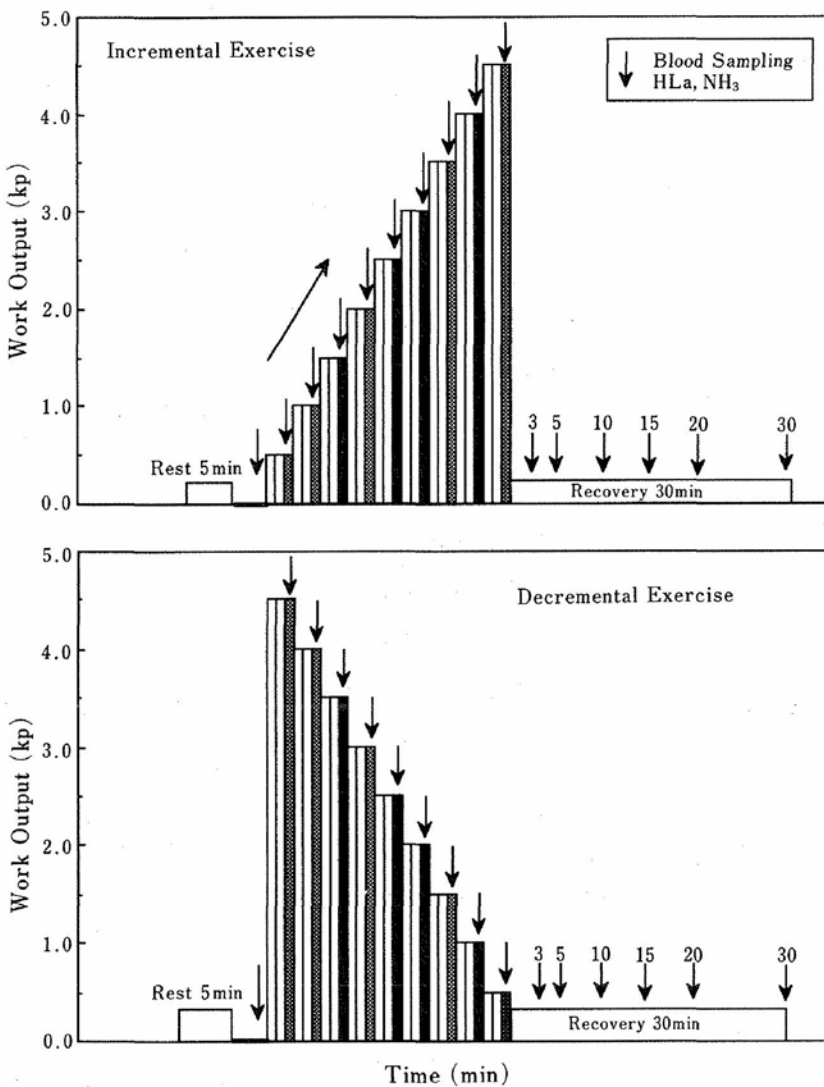


図1 漸減負荷および漸増負荷運動の測定プロトコール

施した。

2.2.2 漸減負荷運動 (Decremental Exercise ; Dec)

被検者には、5分間の座位安静を保たせた後、負荷を次第に下降させる漸減負荷運動を行わせた。具体的には、Incによって得られた最大負荷から自転車駆動を始め、ペダル回転数を50rpmとし、3分ごとに0.5kpずつ漸減して0kpに至るまで行わせた。また、漸増負荷運動時と同様に、被検者には運動終了後30分間の座位安静を保たせ、各種生理学的パラメータについて測定した。図1には、IncおよびDecの測定プロトコールについてまとめて示した。

2.3 測定項目

2.3.1 換気パラメータ

呼気ガスは、医用ガス分析計(ミナト医科学社製MG-360)を用い、酸素摂取量(\dot{V}_{O_2})、二酸化炭素排出量(\dot{V}_{CO_2})、分時換気量(\dot{V}_E)、換気当量(\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2})

および呼吸交換比 (R) について15秒ごとに連続的に分析した。なお、分析器の較正は、標準ガスとレスピロモニタ (ミナト医科学社製 RM-300 i) を用いて各測定開始前に毎回実施した。なお、Inc および Dec における各負荷の換気パラメータとして、各負荷の最後の1分間の平均値を用いた。

Inc および Dec における酸素需要量は、時間の経過に伴う \dot{V}_{O_2} の推移を図示し、 \dot{V}_{O_2} が運動終了後に運動開始前の安静時レベルに低下するまでの総酸素摂取量から、安静時の酸素摂取量を差し引いて求めた (図2)。

2.3.2 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度 (HLA 濃度) は、ランセット針を用いて指尖より採取した血液を、直ちにシリンジ・ペット (25 uL) によって YSI 社製自動乳酸分析器 (1500 Sport) に注入して分析した。分析器の較正は、濃度が既知の参照液 (5, 15 mM) を用いて、6~9本のサンプルごとに行った。

2.4 各変曲点の決定方法

2.4.1 換気パラメータの変曲点

換気性閾値 (VT) は、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_{CO_2} および \dot{V}_E の非直線の上昇開始時点および \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}

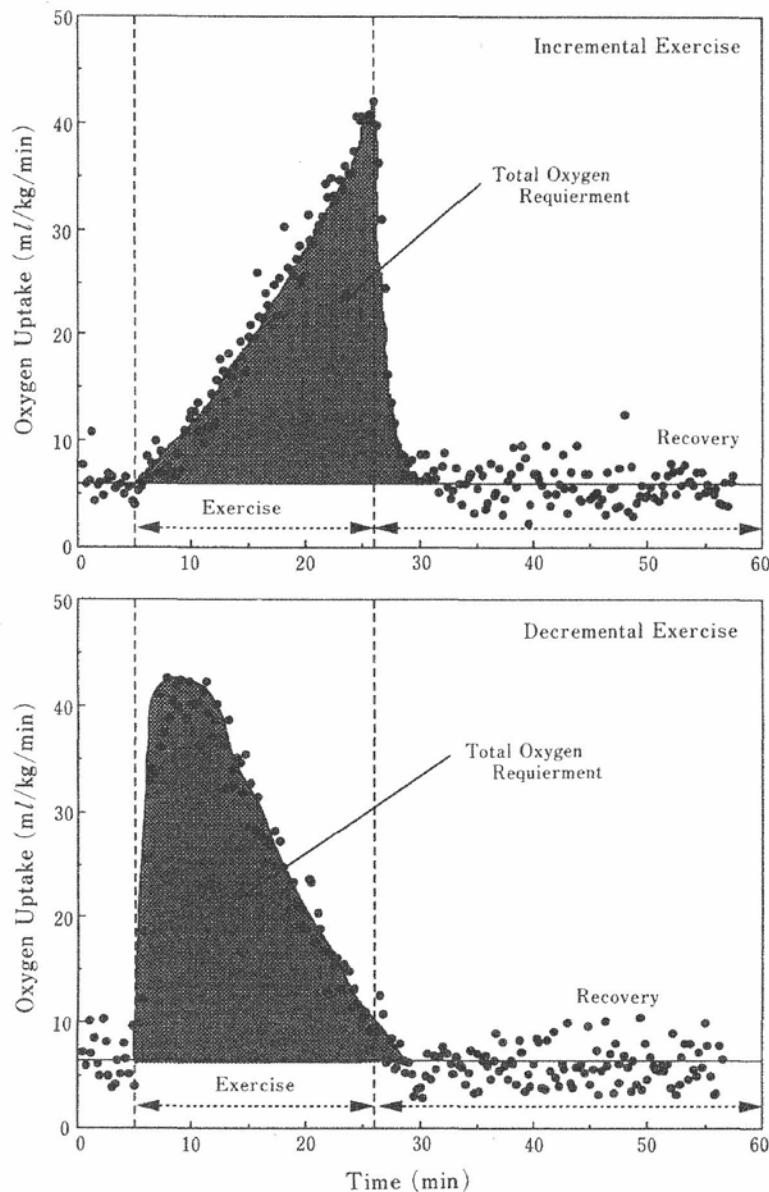


図2 漸増および漸減負荷運動における酸素需要量の決定法

のピークの3点から総合的に決定した。また、Dec 中の変曲点について VT の場合と同様に、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_{CO_2} および \dot{V}_E の非直線的な減少開始時点および \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} のピークの3点から総合的に決定した。また、便宜上、Inc 中に認められる換気パラメータの変曲点を VT_I とし、Dec 中に認められる変曲点を VT_D とした。

2.4.2 R-breakpoint

Dec 中に測定された呼吸交換比 (R) の変曲点を R-breakpoint とし、Time-R 関係を図示し目視により決定した (図3)。

2.4.3 HLa 濃度の変曲点

Inc および Dec における HLa 濃度の変曲点は、運動中の \dot{V}_{O_2} - HLa 濃度関係を対数処理した後に変曲点を目視し、2本の回帰直線の交点より決

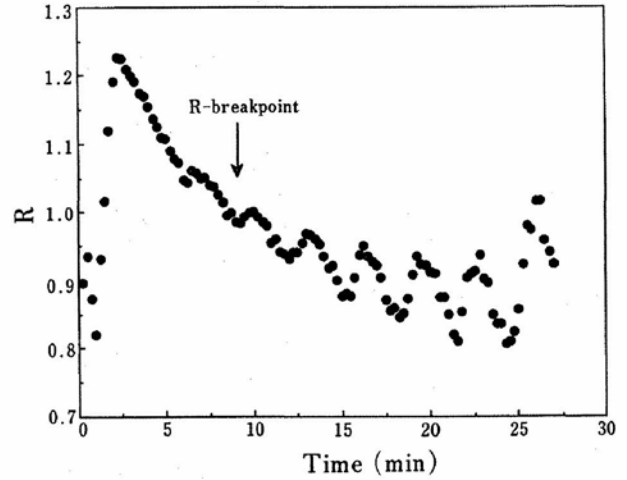


図3 漸減負荷運動における R-breakpoint の決定法

定した。乳酸性閾値 (LT) は、Inc における HLa 濃度の上昇開始時点から求めた。また、Dec における HLa 濃度の変曲点は、 \dot{V}_{O_2} に対する HLa 濃

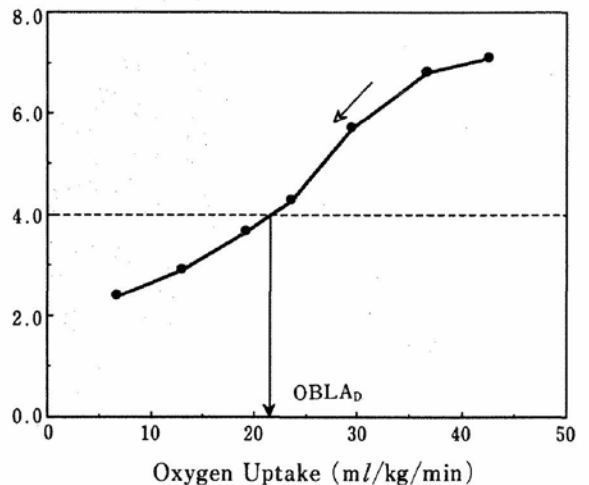
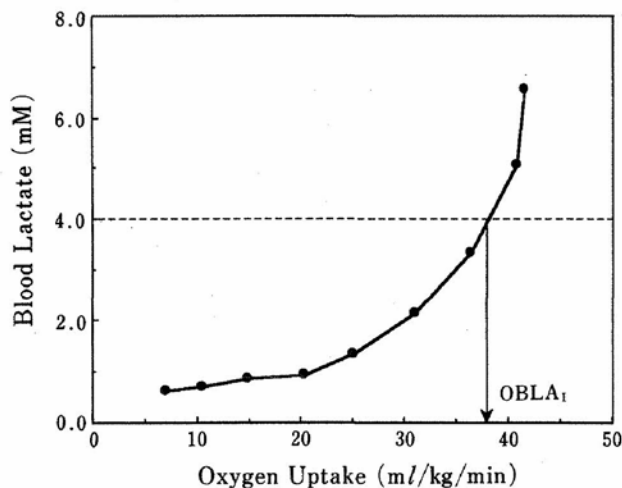
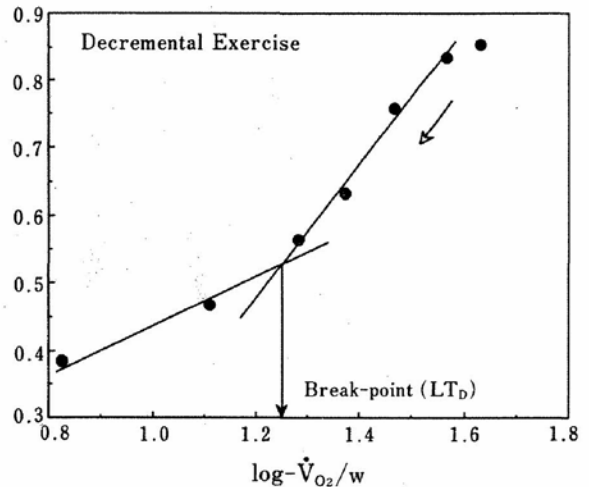
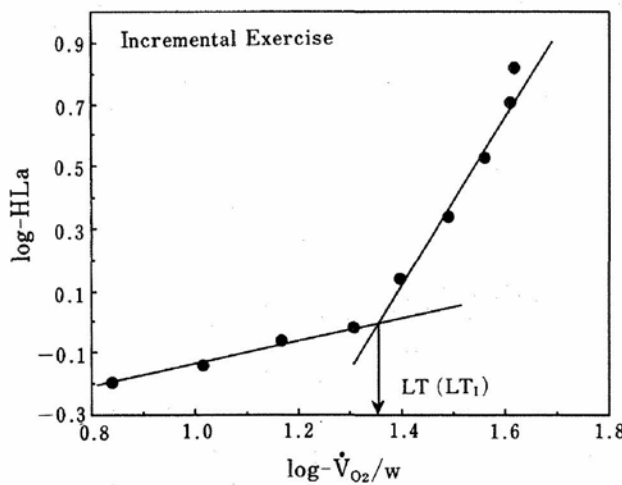


図4 漸増負荷および漸減負荷運動における血中乳酸濃度の変曲点と OBLA の決定法

度の非直線的な減少開始時点から求めた。換気パラメータの変曲点と同様に、Inc 中に認められる HLa 濃度の変曲点を LT_I とし、Dec 中に認められる変曲点を LT_D とした。また、Inc および Dec 中に HLa 濃度が 4 mM に達する点を、それぞれ $OBLA_I$ および $OBLA_D$ とし、 \dot{V}_{O_2} - HLa 濃度関係を図示して決定した。図 4 には、Inc および Dec における HLa 濃度の変曲点の決定法について、まとめて示した。

なお、各パラメータから求めた変曲点は、すべての指標について酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2} @ x$: x は各変曲点を示す) で示した。

2.5 統計処理

Inc および Dec 間における各パラメータの平均値の有意差検定には、対の t 検定を用い、5%水準をもって有意とした。

3. 結果

3.1 漸増および漸減負荷運動時のピーク値

表 2 には、Inc および Dec における各パラメータのピーク値を、全被検者の平均値と各被検者群ごとに示した。全被検者で比較してみると、Peak \dot{V}_{O_2} および Peak HLa 濃度は、Inc に比較して Dec

で低値を示す傾向にあったものの、両運動負荷間で有意差を認めることはできなかった。一方、Peak HR は Dec が Inc に比較して有意な低値を示した。

3.2 漸増および漸減負荷運動の各パラメータの動態

本研究の Inc および Dec 中の各パラメータの動態は全被検者についてまとめて処理した。

図 5 には、Inc と Dec 中の \dot{V}_{O_2} の動態の比較を示した。なお Dec では、高負荷より運動が開

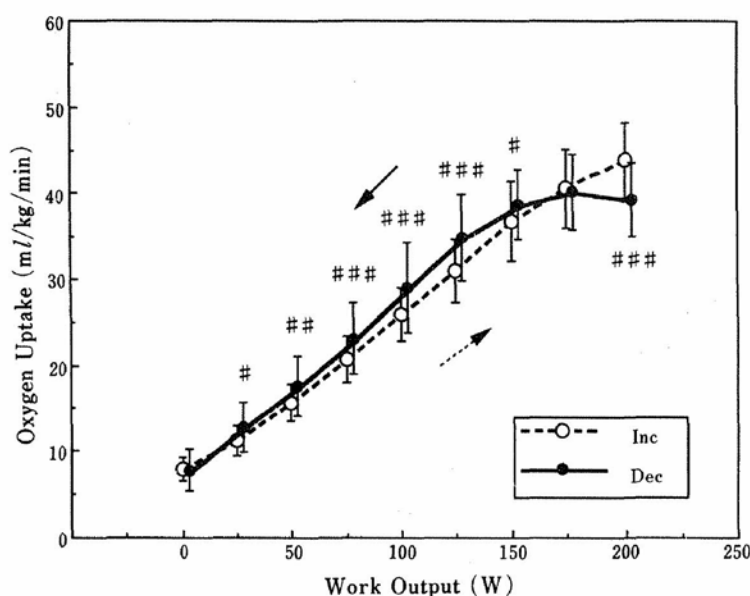


図 5 漸増および漸減負荷運動における酸素摂取量の動態の比較
* ; $P < 0.05$ ** ; $P < 0.01$ *** $P < 0.001$ で両群間に有意差あり
(矢印は時間の流れを示す)

表 2 漸増および漸減負荷運動時の各パラメータのピーク値の比較

	All		Control		Skier		Runner		Sprinter	
	Inc	Dec	Inc	Dec	Inc	Dec	Inc	Dec	Inc	Dec
Peak \dot{V}_{O_2}	42.8 (4.45)	41.4 (4.02)	38.0 (2.71)	38.9 (3.41)	45.7* (5.21)	44.3** (3.55)	46.2* (4.33)	41.9 (3.84)	41.7 (1.50)	40.3 (3.79)
Peak HLa	7.49 (1.99)	7.23 (1.68)	7.09 (1.65)	7.40 (2.28)	8.62* (1.77)	7.92 (1.19)	6.60† (2.21)	6.61 (1.15)	7.52 (2.20)	6.82 (1.87)
Peak HR	181.9*** (12.3)	167.4 (12.1)	187.0** (8.9)	173.5 (9.5)	188.6** (9.4)	174.1 (6.3)	175.0*** (13.9)	157.3 (12.8)	175.1* (12.2)	163.5 (12.1)

単位 ; \dot{V}_{O_2} ; ml/kg/min HLa ; mM HR ; bpm

* $P < 0.05$; Inc > Dec

** $P < 0.01$; Inc > Dec

*** $P < 0.001$; Inc > Dec

* $P < 0.05$; Skier > Control

* $P < 0.05$; Runner > Control

† $P < 0.05$; Runner < Skier

** $P < 0.01$; Skier > Control

表3 漸増および漸減負荷運動における $\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$ と $\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$

	All	Control	Skier	Runner	Sprinter
$\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$ Inc	0.2014 (0.0245)	0.1847 (0.0165)	0.2020 (0.0225)	0.2308 (0.0200)	0.1912 (0.0144)
$\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$ Dec	0.2193*** (0.0279)	0.2176* (0.0328)	0.2188* (0.0157)	0.2370 (0.0310)	0.2047 (0.0274)
$\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$ Inc	3.12 (0.44)	3.48 (0.30)	2.91 (0.51)	2.82 (0.36)	3.20 (0.29)
$\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$ Dec	2.23*** (0.35)	2.36*** (0.38)	2.14** (0.29)	2.11** (0.28)	2.27*** (0.44)

Mean (SD), 単位は $\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$: ml/kg/min/W $\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$: bpm/ml/kg/min
 * P<0.05; Dec>Inc ** P<0.01; Dec<Inc
 *** P<0.001; Dec>Inc *** P<0.001; Dec<Inc

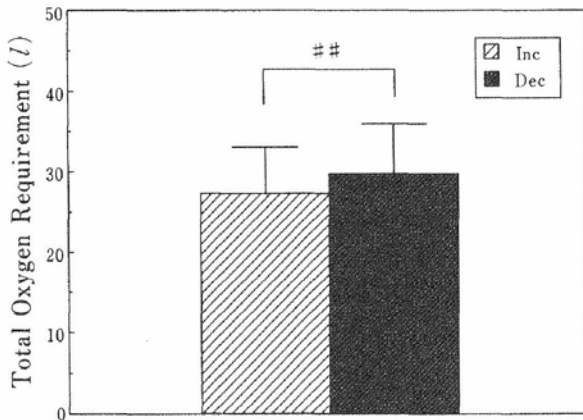


図6 漸増および漸減負荷運動における酸素需要量の比較
 ** ; P<0.01で両群間に有意差あり

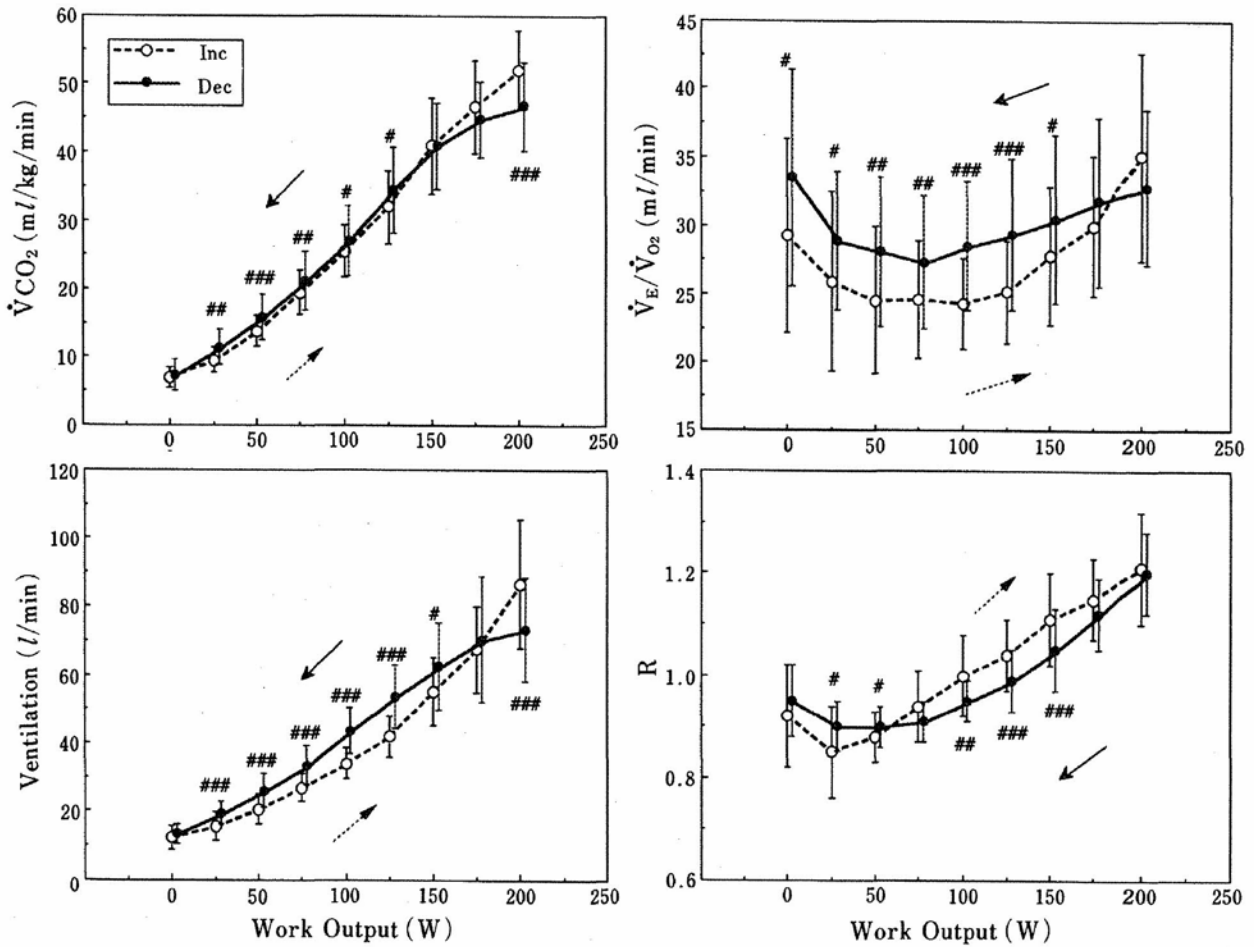
始されているため、時間の流れはよこ軸の右から左へと移行している。図に示されるように、運動中の \dot{V}_{O_2} は Dec が Inc に比較して高値を示し、両運動負荷間に有意差が認められた (P<0.05~P<0.001)。

表3には、作業負荷 (W) に対する \dot{V}_{O_2} の変化率 ($\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$) および酸素摂取量に対するHRの変化率 ($\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$) を各被検者群ごとに Inc と Dec との比較で示した。表に示されるように、 $\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta W$ では Dec が Inc に比較して有意な高値を示した (P<0.001)。 $\Delta HR / \Delta \dot{V}_{O_2}$ では、逆に Dec が Inc に比較して有意な低値を示した (P<0.001)。また、酸素需要量は、Inc で $27.29 \pm$

5.79 l および Dec で $29.62 \pm 6.38 l$ であり、Dec が Inc に比較して有意な高値を示した (P<0.01)。図6には、Inc と Dec における酸素需要量の比較を図示した。

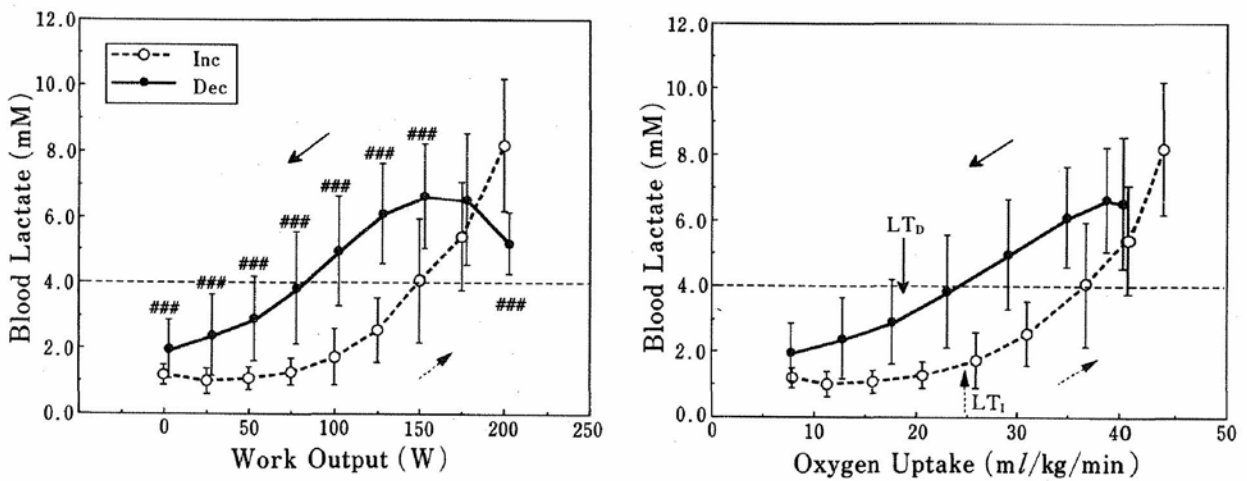
図7には、作業負荷 (W) に対する各換気パラメータの動態を Inc と Dec との比較で示した。作業負荷の増加に対する \dot{V}_{CO_2} 、 \dot{V}_E および $\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ は、Dec が Inc に比較して高値を示し、高負荷時を除いて両群間に有意差が認められた (P<0.05~P<0.001)。また R は、低負荷時には Dec が Inc に比較して有意な高値を示したが (P<0.05)、高負荷時には逆に Dec が有意な低値を示した (P<0.01~0.001)。なお、Inc 中の換気パラメータの変曲点 (VT_I) とともに、Dec 中においてもすべての被検者で変曲点を (VT_D) 決定することができた。

図8には、作業負荷 (W) および \dot{V}_{O_2} に対する HLa 濃度の動態を Inc と Dec との比較で示した。作業負荷に対する HLa 濃度は、Dec が Inc に比較して高値を示し、175および200W 時を除いて両群間に有意差が認められた (P<0.001)。一方、 \dot{V}_{O_2} に対する HLa 濃度においても Dec が Inc に比較して明らかな高値を示した。また、すべての被検者において、Inc 中の HLa 濃度の変曲点 (LT_I) と OBLA_I および Dec における



; P<0.05 ## ; P<0.01 ### ; P<0.001 で両群間に有意差あり

図7 漸増および漸減負荷運動中の作業負荷に対する換気パラメータの動態の比較



; P<0.001 で両群間に有意差あり

図8 漸増および漸減負荷運動中の血中乳酸濃度の動態の比較

表4 漸増および漸減負荷運動時の各パラメータの変曲点

	All	Control	Skier	Runner	Sprinter
VT _I	27.7 (3.49)	26.1 (2.64)	30.8* ^s (2.07)	28.4 [†] (2.65)	25.1 (3.88)
VT _D	28.5 (3.11)	27.8 (3.67)	31.2 (2.15)	28.5 (1.87)	26.3 (2.59)
LT _I	24.4 (4.04)	21.6 (2.67)	26.2* (2.73)	28.3 ^s (3.04)	21.5 (3.31)
LT _D	19.2*** (3.74)	20.3 (4.37)	18.6*** (3.48)	20.7 [†] (4.06)	16.9 (2.10)
OBLA _I	36.7 (4.19)	34.4 (4.13)	38.4* (4.45)	39.2 [†] (2.58)	34.6 (3.59)
OBLA _D	25.5*** (6.10)	24.7* (6.66)	25.0*** (4.51)	28.8*** (4.57)	23.7** [†] (8.42)
R-breakpoint	36.1 (4.86)	34.4 (6.72)	39.5 (3.97)	35.8 (3.38)	34.6 (3.15)

Mean (SD) * Dec<Inc (P<0.05) † Runner>Control (P<0.05)
 ** Dec<Inc (P<0.01) * Skier>Sprinter (P<0.05)
 *** Dec<Inc (P<0.001)
^s Skier>Control (P<0.01) Sprinter (P<0.05)
[†] Runner>Control (P<0.01) Sprinter (P<0.05)

HLa 濃度の変曲点 (LT_D) と OBLA_D とが認められた。

3.3 漸増および漸減負荷運動時のパラメータの変曲点

表4には、Inc および Dec における各パラメータの変曲点をまとめて示した。表に示されるように、VT_I と VT_D はすべての被検者および各被検者群のいずれにおいてもほぼ同様の値を示し (27.7±3.49 および 28.5±3.11 ml/kg/min), 両変曲点間に有意差は認められなかった。

一方、LT_D は LT_I に比較して低値を示し (LT_I ; 24.4±4.04 および LT_D ; 19.2±3.74 ml/kg/min), 両変曲点間に有意差が認められた (P<0.001)。また、OBLA_D においても OBLA_I に比較して有意 (P<0.001) な低値を示した。

3.4 各変曲点間の相関関係

図9には、Inc および Dec において求めた VT, LT および OBLA 間の相関関係をまとめて示した。図に示されるように、VT_I と VT_D の間には

有意な相関関係が認められ (P<0.001), かつ両者の回帰直線同一線上にほぼ一致した (図上段)。一方、LT_I と LT_D の間には有意な相関関係は認められず、さらには LT_D が LT_I に比較して低値を示す傾向にあった。また、OBLA_I と OBLA_D との間には有意な相関関係が認められたが、(P<0.001), OBLA_D が OBLA_I に比較して低値を示した。

図10には、R-breakpoint と Inc および Dec における各変曲点との相関関係を示した。

図に示されるように、R-breakpoint は VT_D との間のみ有意な相関関係が認められた。図11には、Dec 中の $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と Dec の各変曲点および R-breakpoint との相関関係を示した。Dec においては、 $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と VT_D および R-breakpoint との間に有意な相関関係は認められなかった。また、 $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と OBLA_D との間には有意な相関関係は認められなかったが、 $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と LT_D との間には有意な正の相関関係

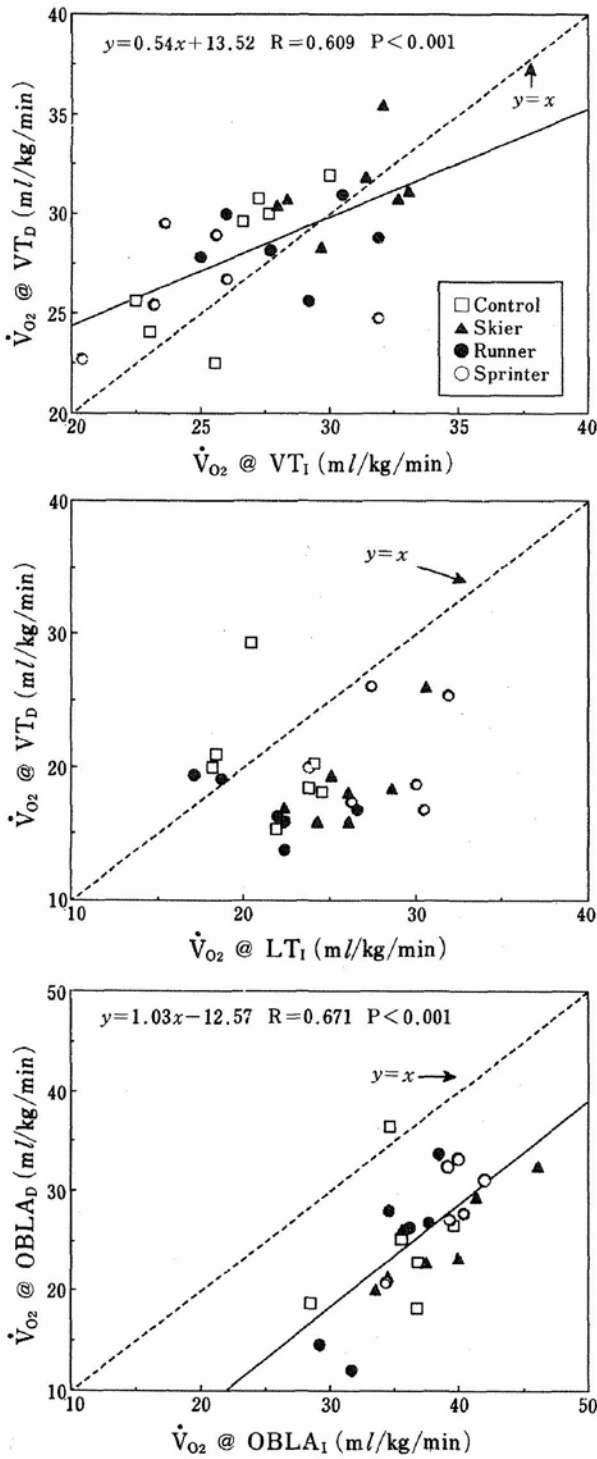


図9 各変曲点間の相関関係

係 ($r=0.412$; $P<0.05$) が認められた。

4. 考察

漸増負荷運動中の血中乳酸濃度をもとにした指標として、乳酸性閾値 (Lactate Threshold; LT) や Onset of Blood Lactate Accumulation

(OBLA) があり、持久性能力やトレーニングの運動強度指標として用いられている⁷⁾。これまでの研究により、LT や OBLA は筋における乳酸の産生と除去とのバランスを反映したものであり、とくに乳酸の産生量が除去量を上回る時点の運動強度とされる。一方、乳酸の除去能力を評価する方法として、短時間の激運動後の乳酸の動態から評価する方法がある^{2~4)}。

これらの方法は筋採取や採血を必要とすることから、一般に普及するには限界がある。一方、八田ら³⁾は、ラットの激運動後に¹⁴Cで標識した乳酸を注入するトレーサ実験を行い、呼気ガス中に排出された¹⁴CO₂を測定することによって非観血的に乳酸の動態を評価することができることを示した。しかしながら、この方法では¹⁴Cの注入を必要とするうえ、放射性同位元素の分析器と技術とを要することから同様に一般的ではない。

最近、Whipp et al.⁸⁾は、運動時の呼吸メカニズムを評価することを目的に漸減負荷運動を考案し、負荷に対する酸素摂取量 ($\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$) と換気量 ($\Delta\dot{V}_E/\Delta W$) の変化が乳酸の有無に関連することを示唆している。すなわち、筋中に乳酸の存する条件下での漸減負荷運動では、乳酸の存在しない場合よりも大きな $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ および $\Delta\dot{V}_E/\Delta W$ 値を示すという。さらに、堀内と矢野⁶⁾によれば、漸減負荷運動中のRには変曲点 (R-Breakpoint) が存在し、このR-Breakpointは、VTと高い相関関係を有するという。そして、R-Breakpointが筋での乳酸の除去量が産生量を上回り始める点であると推察している。

本研究において、R-BreakpointとVT_Iとの間に有意な相関関係を認めることはできず、堀内と矢野⁶⁾の報告と異なりVT_Iとではなく、VT_Dとの間で有意な相関関係が認められた。さらには、R-BreakpointはVT_Dよりも有意に高い値であって、R-Breakpointを乳酸の除去能力の指標とするには疑問が残る結果であった。

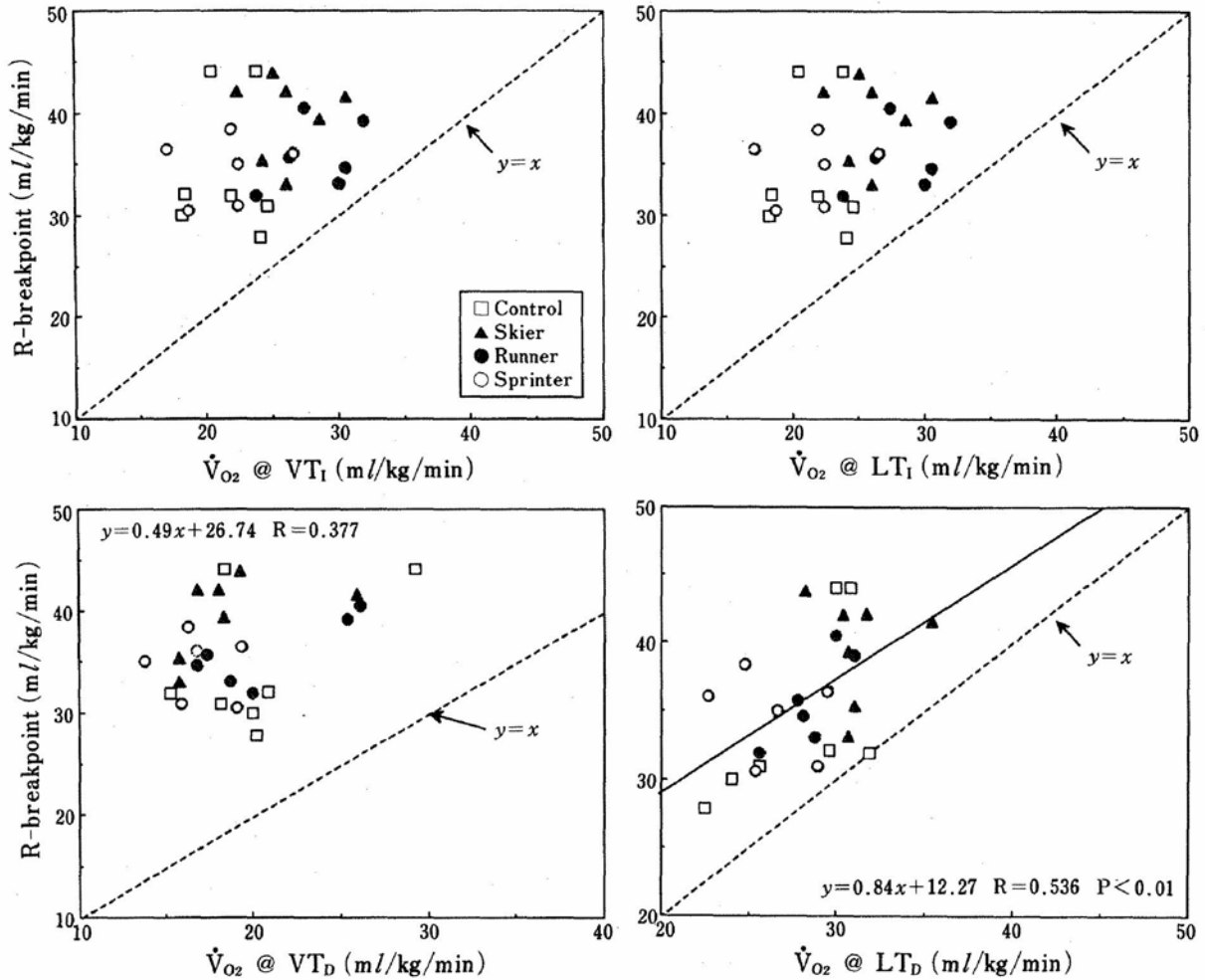


図10 漸増および漸減負荷運動における各変曲点と R-breakpoint との関係

一方、本研究では漸増負荷運動とともに漸減負荷運動においても、換気パラメータおよび HLa 濃度のいずれにおいても変曲点を決定することができた。図9で示されるように、 VT_1 と VT_D および $OBLA_1$ と $OBLA_D$ との間には有意な相関関係が認められるものの、 LT_1 と LT_D との間には有意な相関関係を認めることはできなかった。

周知のように、HLa 濃度は乳酸の産生と除去とのバランスによって決定され、 LT_1 は乳酸の産生が除去を上回る時点の運動強度とされる。一方、漸減負荷運動時には、乳酸は活動筋をはじめとして肝、心、腎臓等によって徐々に除去される⁵⁾ことから、HLa 濃度の変曲点である LT_D は、乳酸の除去速度が変化する点を反映するものと考えることができる。図9に示されるように、 LT_1

と LT_D との間には有意な相関関係を認めることはできなかったが、このことは乳酸の産生能力と除去能力とは別の機能であることを間接的に示すものと考えられる。

また、漸減負荷運動中の $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ は、乳酸の有無によって影響されることが示唆されている^{6, 8)}。本研究における $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ は、Whipp et al⁸⁾ および堀内と矢野⁶⁾の報告と同様に、Dec が Inc に比較して有意に高値を示した(表3)。すなわち、Dec では運動初期に筋で乳酸が産生されるため(図8)、運動初期の酸素不足は Inc に比較して大きい。この原因として、Dec では高負荷から低負荷へと徐々に運動負荷を減少させていく運動形態であるため、乳酸に由来する酸素不足の返却が可能となり、運動中の作業負荷に対する

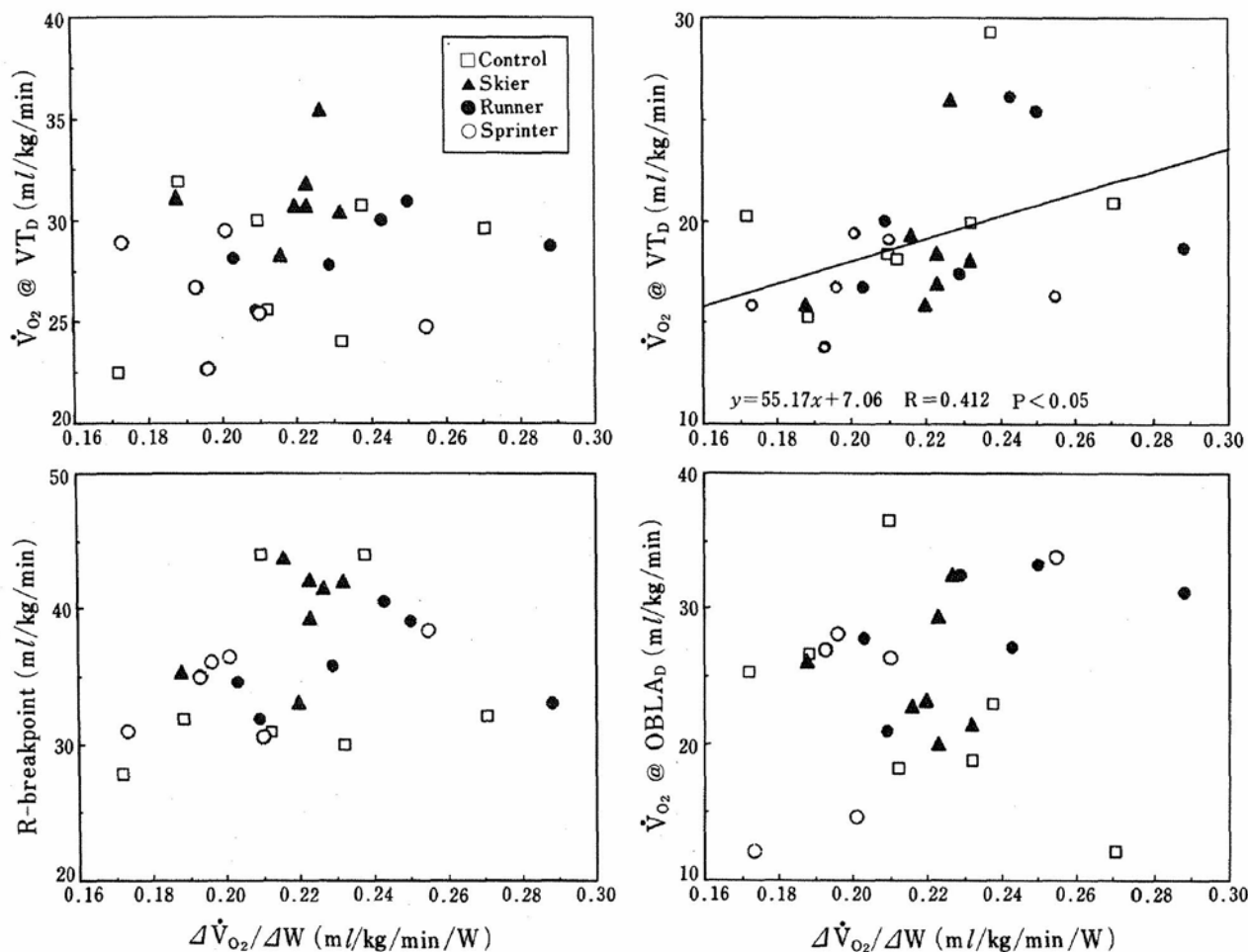


図11 漸減負荷運動における $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と各変曲点との関係

\dot{V}_{O_2} に乳酸性酸素負債分が加算されるため、Dec中の同一作業負荷に対する \dot{V}_{O_2} (図5) および酸素需要量 (図6) が Inc 中のそれに比較して有意に高値を示したものと考えられる。

ここで、もし Dec の運動中における乳酸の酸化量が大きければ (乳酸除去能力が高い)、つぎの負荷段階での乳酸性酸素負債は小さいものとなり、その結果 $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ が大きな値を示すものと考えられる。図11には、Dec 中の $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と各変曲点との相関関係をまとめて示した。図に示されるように、Dec 中の $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ と LT_D との間にのみ有意な相関関係 ($r=0.412$; $P<0.05$) が認められた。すなわち、本研究で乳酸の除去能力の間接的な指標とした LT_D の妥当性が一部で証明されたことになり、さらには LT_D が

$\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ によって非観血的に推定できる可能性が示されたことになる。

一般に、激運動後の乳酸の回復を促進するために実施されるクーリングダウンの運動強度は、35~45% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 程度の軽運動が最適とされる^{1,7)}。本研究の LT_D (19.2 ± 3.74 ml/kg/min) は、 LT_1 に比較して有意に低値であり、peak \dot{V}_{O_2} に対する割合では平均で44.8%に相当し、乳酸の除去を促すクーリングダウンの運動強度にほぼ匹敵したことも、 LT_D が乳酸の除去能力の有力な指標となる可能性を支持するものと言えよう。

しかしながら、激運動後のクーリングダウンの運動強度としての LT_D や $\Delta\dot{V}_{O_2}/\Delta W$ の妥当性および持久的スポーツのパフォーマンスとの関係については、本研究では明らかにすることはでき

ず、今後の研究に期待される。

謝 辞

稿を終えるに当たり、本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。

文 献

- 1) Belcastro, A. N., Bonen, A. ; Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise, *J. Appl. Physiol.*, **39**, 932-936 (1975)
- 2) Dodd, S., Powers, S. K., Callender, T., Brooks, E. ; Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise, *J. Appl. Physiol.*, **57**, 1462-1465 (1984)
- 3) 八田秀雄, 跡見順子, 山本順子, 浅見俊雄, 宮下充正 ; ラットの激運動後における乳酸の酸化, 体力科学, **35**, 111-116 (1986)
- 4) Hatta, H., Atomi, Y., Yamamoto, Y., Shinohara, S. Yamada, S. ; Incorporation of blood lactate and glucose into tissues in rats after short-term strenuous exercise, *Int. J. Sports Med.*, **10**, 275-278 (1989)
- 5) 八田秀雄 ; 運動中の血中乳酸濃度を決定する要因, 体育の科学, **39**, 364-370 (1989)
- 6) 堀内雅弘, 矢野徳朗 ; 漸減負荷運動時のガス交換動態, 日本運動生理学雑誌, **1**, 33-39 (1994)
- 7) Jacobs, I. ; Blood lactate ; implications for training and sports performance, *Sports Med.*, **3**, 10-25 (1986)
- 8) Whipp, B. J., Ward, S. A., Paterson, D. A. ; Dynamic asymmetries of ventilation and pulmonary gas exchange during on-and-off transients of heavy exercise in humans, In ; Control of Breathing and Its Modeling Perspective, (Ed. Y. Honda et al.), Plenum Press, New York, 237-243 (1992)