

## VII. 漸増負荷走行における無氣的エネルギーの動員が $\dot{V}O_2\max$ の出現条件に及ぼす影響（実験4）

### 1. 目的

負荷漸増方式による $\dot{V}O_2\max$ の評価基準の一つとして、 $\dot{V}O_2$ のプラトー現象がある（Taylor, 1955）。しかし、実際の測定では、全ての被検者においてプラトー現象が認められるわけではない（Pollock et al., 1976 ; Katch et al., 1982）。このことは、一般に解糖系の能力が未発達にあると考えられる少年（Eriksson, 1972）を対象とした $\dot{V}O_2\max$ の測定において、66人中わずか12名にしかプラトー現象が認められなかったという報告（Cunningham et al., 1977）からも推察される。また、このプラトー現象の出現には、高い脚筋パワーを発揮できるような優れた筋収縮特性による高い運動負荷の達成が必要であるとの主張もあり（Noakes, 1988）、 $\dot{V}O_2\max$ の出現に無氣的能力の優劣が関与している可能性がある。このことは、 $\dot{V}O_2\max$ の測定時におけるexhaustion後の血中乳酸濃度が10 mmol/Lを超える場合があることから考えられる。しかし、これまで、 $\dot{V}O_2\max$ の出現条件と無氣的能力との関係について検討した研究はみられない。

本研究では、研究課題2（VI章）において、約2～3分と約6分でexhaustionに至る最大走行中に出現するPeak  $\dot{V}O_2$ に対して無氣的エネルギーの動員の高いことを、短距離型の中距離走者、中距離走者および中距離型の長距離走者において確認した。このことは、金原ら（1973）が、無氣的持久性に優れることが、酸素摂取能力を高めることになる可能性を示唆していることから、 $\dot{V}O_2$ に対して無氣的エネルギーが何ら

かの影響を与えている可能性が考えられる。しかし、研究課題2では、このことについて直接検討していない。また、このような可能性について、一般に $\dot{V}O_{2max}$ の測定に多く用いられている漸増負荷による最大走行を用いて、無氣的エネルギーと $\dot{V}O_2$ との関係について検討した研究はみられない。

そこで本研究では、漸増負荷走行における無氣的エネルギーの動員が $\dot{V}O_{2max}$ に及ぼす影響を、無氣的能力の優劣に差がある中距離走者と長距離走者を対象として検討することを目的とした。

## 2. 方 法

### (1) 被検者

被検者には、大学男子中長距離走者18名（中距離走者9名，長距離走者9名）を用いた。これらの被検者は、いずれも中長距離走種目の専門的トレーニングを規則的に行っていた。表5に、被検者の身体特性および走記録を示した。

### (2) 測定項目および測定方法

$\dot{V}O_{2max}$ の測定には、傾斜0%での多段階速度漸増負荷方式によるトレッドミル走を用いた（図9）。走速度は、走行開始から2分までを任意の速度（230～250 m/min）で一定とし、その後exhaustionになるまで1分ごとに10 m/minずつ増加した。走行中には、 $\dot{V}O_2$ と心拍数を連続的に測定した。 $\dot{V}O_2$ は、自動呼気ガス分析器（Mijnhardt社製OXYCON-GAMMA）を用いて測定した。心拍数は、HRモニター（Polar社製VANTAGE XL）を用いて測定した。運動終了直後には、血

Table 5. Physical characteristics of subjects.

	MD (n=9)	LD (n=9)
Age (yrs)	20.6 ± 0.7	21.4 ± 0.7
Height (cm)	173.1 ± 4.5	171.9 ± 3.7
Body weight (kg)	61.7 ± 3.0	59.7 ± 3.7
Running time		
800m	1'56"6 ± 3"5	
1500m	4'02"0 ± 7"1	4'07"1 ± 12"9
5000m		15'13"1 ± 52"9

1. MD : Middle distance runners, LD : Long distance runners.

2. Values are means ± SD.

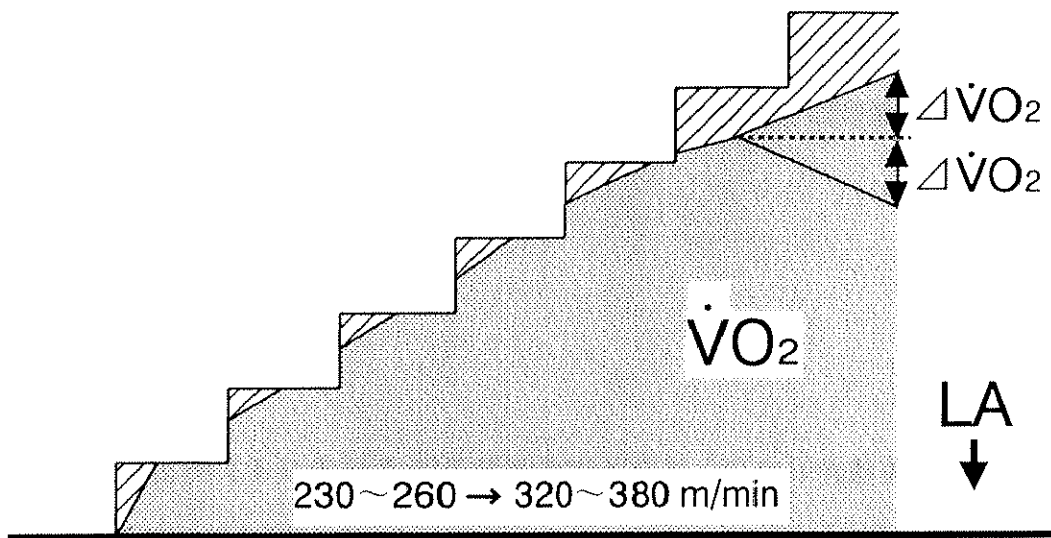


Fig. 9 Protocol of incremental running test.  
Grade : 0%

中乳酸濃度を測定するために指尖より採血した。血中乳酸濃度は、自動血中乳酸分析器（YSI社製Model 23L）を用いて測定した。なお、 $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準は、 $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、1.1以上の呼吸交換比、180拍/分以上の心拍数のうちのいずれか二つを満たすこととした。

### （3）統計処理

データの解析に用いたおもな統計的手法は、ピアソン積率相関分析、有意差検定のためのt-testであり、いずれも有意性の判定には危険率5%を採用した。

## 3. 結 果

### （1） $\dot{V}O_{2max}$ テストにおける呼吸循環機能水準および血中乳酸濃度の 中距離走者と長距離走者の比較

図10に、exhaustion前4分目からの $\dot{V}O_2$ の推移を示した。中距離走者では、exhaustion前1.5分目において最も高い $\dot{V}O_2$ を示した。そこで本研究では、exhaustion前1.5分目からの $\dot{V}O_2$ の変化量に着目して、中距離走者と長距離走者を比較した。

表6に、exhaustion時から逆算して求めた $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間、 $\dot{V}O_{2max}$ 、exhaustion前1.5分目からexhaustionまでの $\dot{V}O_2$ の変化量（ $\Delta\dot{V}O_2$ ）、最高心拍数、および血中乳酸濃度を示した。中距離走者は長距離走者と比較して、 $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間、体重当りの $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\Delta\dot{V}O_2$ は有意に低い値を示し、最高心拍数、血中乳酸濃度は有意に高い値を示した。

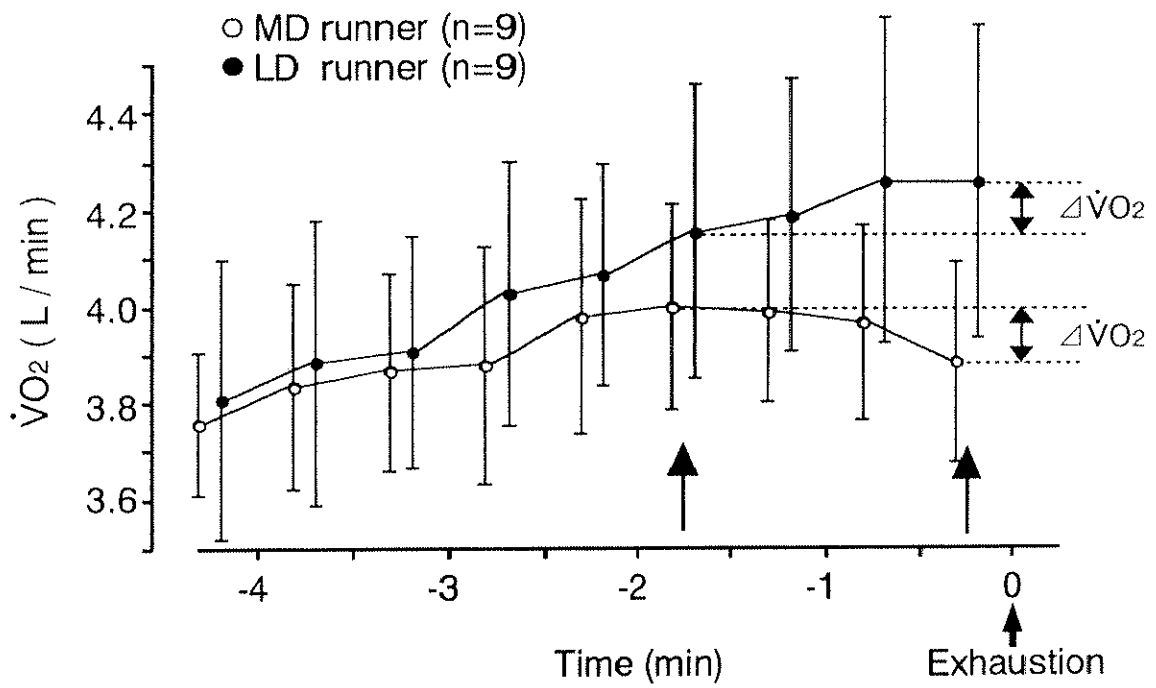


Fig. 10 Changes of  $\dot{V}O_2$  during incremental running test.

Table 6. Comparisons of variables in incremental running test between middle- (MD) and long- distance (LD) runners.

		MD (n=9)	LD (n=9)	t - value	Difference
Time at $\dot{V}O_{2max}$ appearance	min	-1.44 $\pm$ 0.68	-0.28 $\pm$ 0.26	4.33*	MD<LD
$\dot{V}O_{2max}$	L/min	4.03 $\pm$ 0.21	4.27 $\pm$ 0.33	1.84	ns
	ml/kg/min	65.4 $\pm$ 2.6	71.6 $\pm$ 4.0	3.80*	MD<LD
$\Delta\dot{V}O_2$	L/min	-0.11 $\pm$ 0.21	0.10 $\pm$ 0.06	2.88*	MD<LD
HRmax	bpm	203.0 $\pm$ 8.4	193.6 $\pm$ 7.9	2.53*	MD>LD
Blood lactate	mmol/L	10.6 $\pm$ 1.2	7.9 $\pm$ 1.2	4.77*	MD>LD

1. Values are means  $\pm$  SD.

2. \* :  $P < 0.05$ , ns : non significant.

3.  $\Delta\dot{V}O_2$  : difference between  $\dot{V}O_2$  at exhaustion and  $\dot{V}O_2$  at 1.5-min before exhaustion.

(2) exhaustion後の血中乳酸濃度と $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間および $\dot{V}O_2$ の変化量との関係

図11に、exhaustion後の血中乳酸濃度と $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間との関係を示した。両者間には有意な負の相関関係が認められた ( $r = -0.723$ )。

図12に、exhaustion後の血中乳酸濃度とexhaustion前1.5分目からの $\Delta\dot{V}O_2$ との関係を示した。両者間には有意な負の相関関係が認められた ( $r = -0.660$ )。

#### 4. 考 察

これまで $\dot{V}O_{2max}$ に関する研究は数多く行われてきているが、 $\dot{V}O_{2max}$ の評価基準の一つであるプラトー現象は、必ずしも誰にでも認められるわけではない (Pollock et al., 1976 ; Katch et al., 1982)。本研究では、プラトー現象の有無を無気的エネルギーの動員と関連づけて検討することが目的であった。そのために、 $\dot{V}O_{2max}$ はともに高いレベルにあるが、無気的能力の優劣に差がある中距離走者と長距離走者を対象として、漸増負荷テスト中の呼吸循環機能およびexhaustion後の血中乳酸濃度などについて比較検討した。その結果、長距離走者は中距離走者と比較して、exhaustion前1.5分からの $\dot{V}O_2$ の変化量は大きく、exhaustionまで $\dot{V}O_2$ は上昇し続けることが認められた (表6、図10)。また、中距離走者は長距離走者と比較して、exhaustion後の血中乳酸濃度は有意に高く、より多くの無気的エネルギーを動員していることが認められた (表6)。そして、exhaustion後の血中乳酸濃度と $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間およびexhaustion前1.5分目からexhaustionまでの



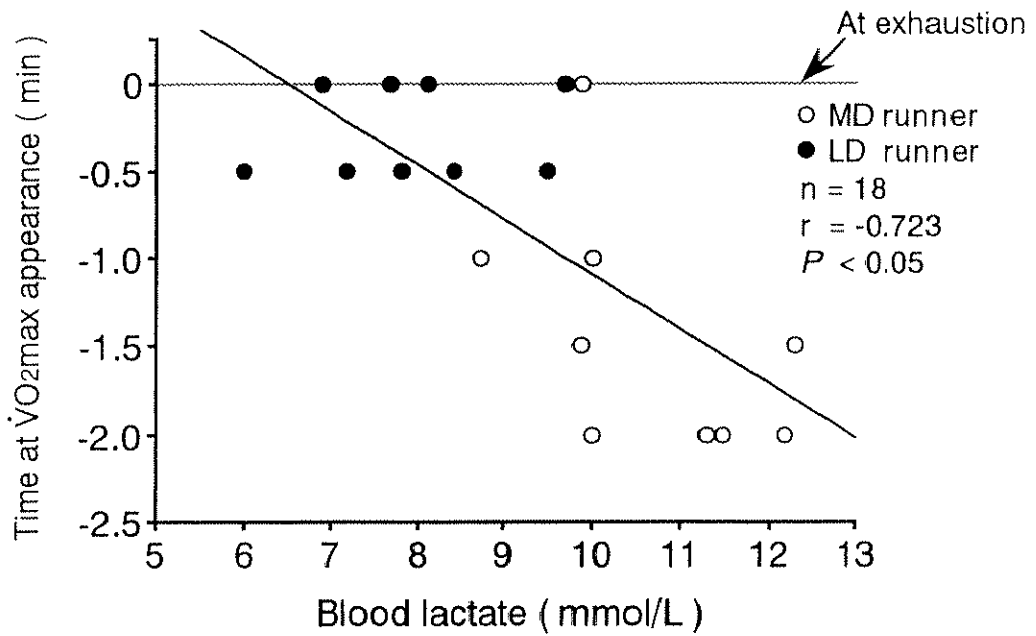


Fig. 11 Relationship between blood lactate after exhaustion and time at  $\dot{V}O_{2max}$  appearance in incremental running test.

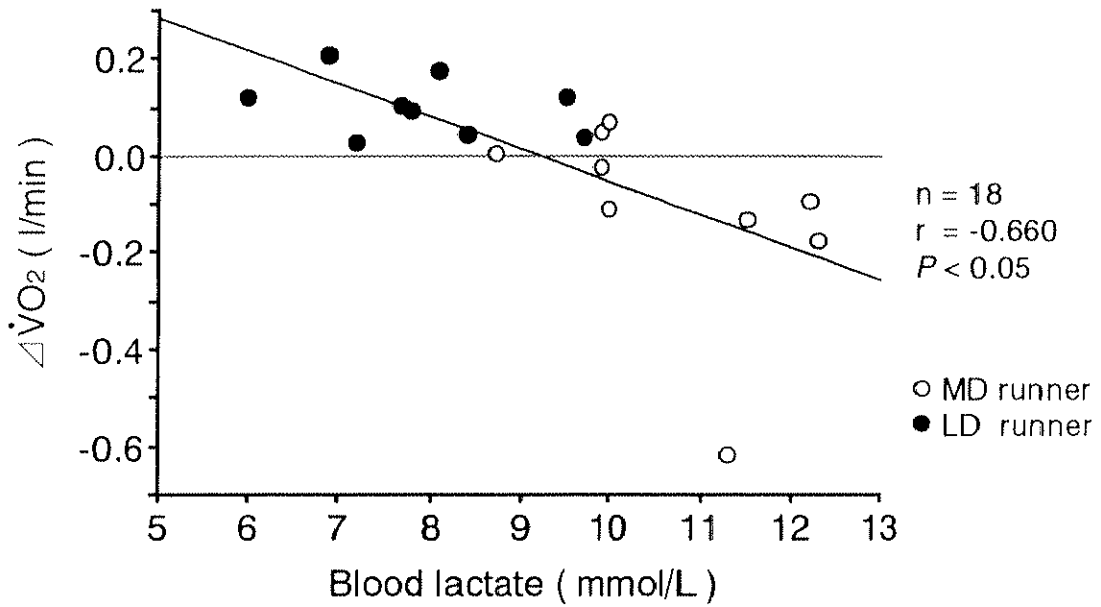


Fig. 12 Relationship between blood lactate after exhaustion and  $\Delta \dot{V}O_2$  in incremental running test.

$\Delta \dot{V}O_2$ : difference between  $\dot{V}O_2$  at exhaustion and  $\dot{V}O_2$  at 1.5-min before exhaustion.

$\dot{V}O_2$ の変化量 ( $\Delta\dot{V}O_2$ ) との間には、それぞれ有意な負の相関関係が認められた (図11、12)。これらの結果は、本研究で用いた漸増負荷による $\dot{V}O_{2max}$ テストにおいて、走行中の無氣的エネルギーの動員の高いことが、より早く $\dot{V}O_{2max}$ を出現させ、プラトー現象を生じさせる一つの要因であることを示唆するものと考えられる。

これまでの研究では、解糖系の能力が未発達にある少年 (Eriksson, 1972) を対象とした $\dot{V}O_{2max}$ の測定において、66人中わずか12名にしかプラトー現象が認められなかったことが報告されている (Cunningham et al., 1977)。また、鍛錬者ではプラトー現象の出現率の高いことが報告されている (Stamford, 1976)。鍛錬者では、有氣的能力に優れるだけでなく、特に一般の日常生活では必要とされない無氣的エネルギー供給能力に優れていることがプラトー現象に貢献している可能性が考えられる。

一方、Noakes (1988) は、 $\dot{V}O_{2max}$ テストのような最大運動の限定要因として、筋細胞内のカルシウム輸送やATPase活性などに優れている筋収縮特性 (superior contractility) をあげ、より高い運動負荷の達成により、より高い $\dot{V}O_{2max}$ が得られることを示唆している。より高い運動負荷の達成のためには、無氣的エネルギー供給能力に優れていることが重要であることを考えると、無氣的エネルギーの動員の大小が $\dot{V}O_{2max}$ の間接的な限定要因となる可能性が考えられる。また、Svedenhag and Sjodin (1984) は、5000-10000 m走者の方がマラソン走者よりも、 $\dot{V}O_{2max}$ が高いことを示している。マラソンと比較してトラック種目では無氣的能力が重要になることを考えると、このこともまた、より無氣的能力に優れることがより高い $\dot{V}O_{2max}$ を出現させる可能性を間接的に示すものと考えられる。

上述のように、本研究の結果や先行研究をもとにすると、 $\dot{V}O_{2max}$ テストにおけるプラトー現象の有無に関して、無気的能力の優劣が関与している可能性が考えられる。したがって、各人が有する真の $\dot{V}O_{2max}$ を出現させるために、あるいはさらに高い $\dot{V}O_{2max}$ を出現させるために、無気的能力を高めることは有効であるかもしれない。このように考えると、 $\dot{V}O_{2max}$ を高めるトレーニング手段の一つとして、無気的能力が有用となる可能性が考えられる。その理由としては、高い無気的能力を有することによって、高い運動負荷を達成でき、その結果として呼吸循環機能に対してより大きい負荷をかけられること (Noakes, 1988)、および高い乳酸蓄積により生じる血中pHの低下や血中CO<sub>2</sub>の増加に対して、肺および筋における酸素取り込み能が向上すること (Edington and Edgerton, 1983 ; 青木, 1989 ; Stringer et al., 1994) などが考えられる。

本研究では、上述のように $\dot{V}O_{2max}$ テストにおけるプラトー現象の有無に関して、無気的能力の動員の大小が関与している可能性が示唆された。しかし、一方で、exhaustion直前で $\dot{V}O_2$ が低下したのは、呼吸循環系機能に劣っているためとも考えることができる。なぜならば、筆者らは、長距離走者よりも $\dot{V}O_{2max}$ の低い (約58 ml/kg/min) プロサッカー群では、長距離走者と比較して無気的能力に優れていると考えられるにもかかわらず、プラトー現象の出現しない者が多いことを観察しているからである (未発表データ)。このことを考慮すると、無気的能力の動員が $\dot{V}O_{2max}$ の出現条件に影響するという本研究の仮説は、呼吸循環機能にかなり優れている者に特異的な現象であるとも考えられる。したがって、今後さらに、さまざまな体力レベルにある被検者、特に無気的能力に優れた持久的競技者を対象として、本研究課題を

検討する必要があると考えられる。

## 5. 要 約

本研究では、漸増負荷による無氣的・有氣的運動における無氣的エネルギーの動員が $\dot{V}O_{2max}$ に及ぼす影響を、無氣的能力の優劣に差がある中距離走者と長距離走者を対象として検討することを目的とした。この課題を明らかにするために、中距離走者9名、長距離走者9名を対象として、約9～12分間でexhaustionとなるような漸増負荷による最大走行を用いて、走行中の $\dot{V}O_2$ 、exhaustion後の血中乳酸濃度などを測定した。なお、無氣的エネルギーの動員が漸増負荷による最大走行の後半局面における $\dot{V}O_2$ に及ぼす影響を検討するために、exhaustion前1.5分目からexhaustionまでの $\dot{V}O_2$ の変化量 ( $\Delta\dot{V}O_2$ ) を求めた。

本研究で得られたおもな結果は次のとおりである。

①中距離走者の $\dot{V}O_{2max}$ はexhaustionの約1.5分前に出現し、長距離走者の $\dot{V}O_{2max}$ はほぼexhaustion時に出現することが認められた。

②中距離走者は長距離走者と比較して、exhaustion後の血中乳酸濃度が有意に高いことが認められた。

③exhaustion後の血中乳酸濃度と $\dot{V}O_{2max}$ の出現時間および $\Delta\dot{V}O_2$ の間には有意な負の相関関係が認められた。

上述の結果は、無氣的能力に優れる中距離走者は、漸増負荷による最大走行において、より早く $\dot{V}O_{2max}$ を出現させ、プラトー現象が認められること、およびその原因の一つとして、無氣的エネルギーの動員の高いことがあげられることを示唆するものである。したがって、各人が有する真の $\dot{V}O_{2max}$ を出現させるために、あるいはさらに高い $\dot{V}O_{2max}$ を

出現させるために、無気的能力を高めることが有効になる可能性がある。