

VIII. 一定負荷走行の後半局面における無氣的エネルギーの変化量と $\dot{V}O_2$ の変化量との関係（実験5）

—走行中の無氣的エネルギーの増加によって $\dot{V}O_2$ は高まるか—

1. 目的

陸上競技の800 m走～5000 m走などは、100% $\dot{V}O_{2max}$ 前後の強度である（Costill and Fox, 1969；Davies and Thompson, 1979；Farrell et al., 1979；Brandon, 1995）。これらの種目では、無氣のおよび有氣的エネルギーの動員が高いことが重要となる（Crielaard and Pirnay, 1981；Bulbulian et al., 1986；Lacour et al., 1990a；Brandon, 1995）。ところで、一般に有氣的エネルギー供給能力の重要な指標として用いられている $\dot{V}O_{2max}$ は、上述のような運動も含めて一般には約2～6分でexhaustionに達する無氣的・有氣的運動の後半局面において一過性に出現する（Astrand and Saltin, 1961；金原ら, 1973）。このような運動では、運動後に10～15 mmol/Lの血中乳酸が認められるように無氣的エネルギーの動員も高い（Skinner and Morgan, 1985）。金原ら（1973）は、このような最大走行において、1500 m走者群では、長距離走者群に比べて、無氣的持久性に優れていることが酸素摂取に有利な条件の一つになると指摘している。その理由として、Peak $\dot{V}O_2$ が得られる条件下における血中乳酸濃度が高いことが、筋での全体としての酸素拡散容量を大きくするのに有利な条件の一つになる可能性をあげている。

本研究では、研究課題3（第VII章）において、漸増負荷による最大走行において無氣的エネルギーの動員の高いことが、 $\dot{V}O_{2max}$ の評価基準

の一つであるプラトー現象を生じさせることが認められた。このことは、各人の有する真の $\dot{V}O_2\text{max}$ を出現させるために、あるいはさらに高い $\dot{V}O_2\text{max}$ を出現させるために、無気的能力を高めることが有効であることを示唆するものと考えられる。

しかし、第VII章では、この仮説について直接検討していない。また、このような可能性は、上述の $\dot{V}O_2\text{max}$ の出現条件を考慮すると、最大運動におけるexhaustion直前の最終局面において特に大きくなることが考えられる。しかし、このような視点から $\dot{V}O_2\text{max}$ の限定要因について検討した研究はみられない。

そこで本研究では、無気的エネルギーの動員が $\dot{V}O_2$ を高めるか否かについて直接検討するために、一定負荷による無気的・有気的運動の後半局面における無気的エネルギーの変化量と $\dot{V}O_2$ の変化量との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

この研究では、exhaustion時間が、約2～3分（実験A）および約6分（実験B）の2つの走行実験を手がかりにして、研究課題について検討した。これらの実験A、Bにおける被検者、運動プロトコール、測定項目は、いずれもVI章と同様であった。

なお、ここでは、図13に示すように、後半局面の無気的エネルギーの動員の指標として、最大走行後の血中乳酸濃度から最大下走行後の血中乳酸濃度を減じた値（ ΔLA ）を用いた。また、有気的エネルギーの動員の指標として、最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ から最大下走行中の $\dot{V}O_2$ を減じた値（ $\Delta\dot{V}O_2$ ）を用いた。

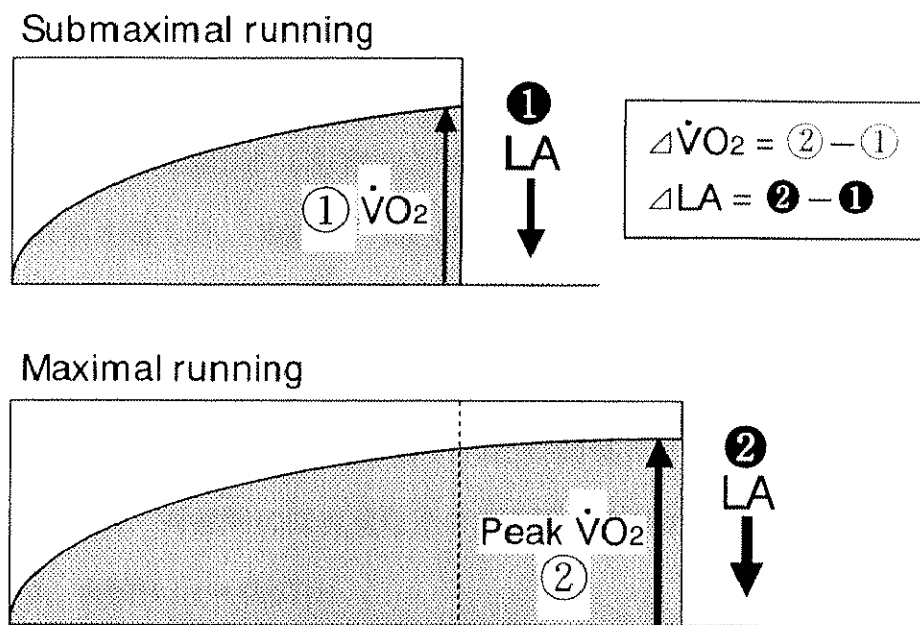


Fig. 13 Protocol of submaximal and maximal running tests at the same running speed.
Grade : 3% (Exp. A), 0% (Exp. B)

3. 結 果

表7に、実験Aの90秒間走（最大下走行）およびexhaustion走（最大走行）、実験Bの4分間走（最大下走行）および6分間走（最大走行）における $\dot{V}O_2$ 、換気量、心拍数と血中乳酸濃度を示した。また、実験A、Bともに、最大走行の値と最大下走行の値の差分である変化量（ Δ ）も示した。

図14に、実験Aの90秒間走とexhaustion走における血中乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ との関係、および実験Bの4分間走と6分間走における血中乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ との関係を示した。実験A、Bにおける各走行ともに、血中乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ の間には有意な相関関係は認められなかったが、相関係数はいずれも負の値であった。

図15に、実験A、Bにおける ΔLA と $\Delta \dot{V}O_2$ との関係をそれぞれ示した。実験A、Bともに、両者間には有意な正の相関関係が認められた（実験A： $r = 0.759$ 、実験B： $r = 0.670$ ）。

4. 考 察

本研究では、無氣的・有氣的運動の後半局面における $\dot{V}O_2$ と血中乳酸濃度との関係を明らかにし、 $\dot{V}O_2$ に及ぼす無氣的エネルギーの動員の影響につい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、定期的に高度な持久的トレーニングを行っている中長距離走者を対象として、無氣的および有氣的エネルギーの両方の動員が高くなるような、約2～3分および約6分でexhaustionに至る2つのトレッドミル走行実験を行わせた。

Table 7. The physiological responses in submaximal and maximal running tests.

Experiment A	Submax. running		Max. running		Difference(Δ)
	90-sec running	Exhaustion running	90-sec running	Exhaustion running	
Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$)	ml/kg/min	60.8 \pm 4.4	64.4 \pm 5.0	3.5 \pm 3.3	
Ventilation ($\dot{V}E$)	L/min	129.0 \pm 7.9	153.3 \pm 9.1	24.3 \pm 8.1	
Heart rate (HR)	bpm	183.4 \pm 8.4	193.4 \pm 7.4	10.0 \pm 5.1	
Blood lactate (LA)	mmol/L	9.6 \pm 1.9	13.9 \pm 1.2	4.3 \pm 1.8	
Experiment B		4-min running	6-min running		
Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$)	ml/kg/min	65.1 \pm 2.9	67.4 \pm 3.6	2.3 \pm 1.5	
Ventilation ($\dot{V}E$)	L/min	139.0 \pm 13.1	146.8 \pm 13.8	7.7 \pm 5.5	
Heart rate (HR)	bpm	182.3 \pm 9.9	186.7 \pm 8.1	4.5 \pm 4.3	
Blood lactate (LA)	mmol/L	8.2 \pm 1.8	9.2 \pm 1.7	1.1 \pm 1.3	

1. Values are means \pm SD.

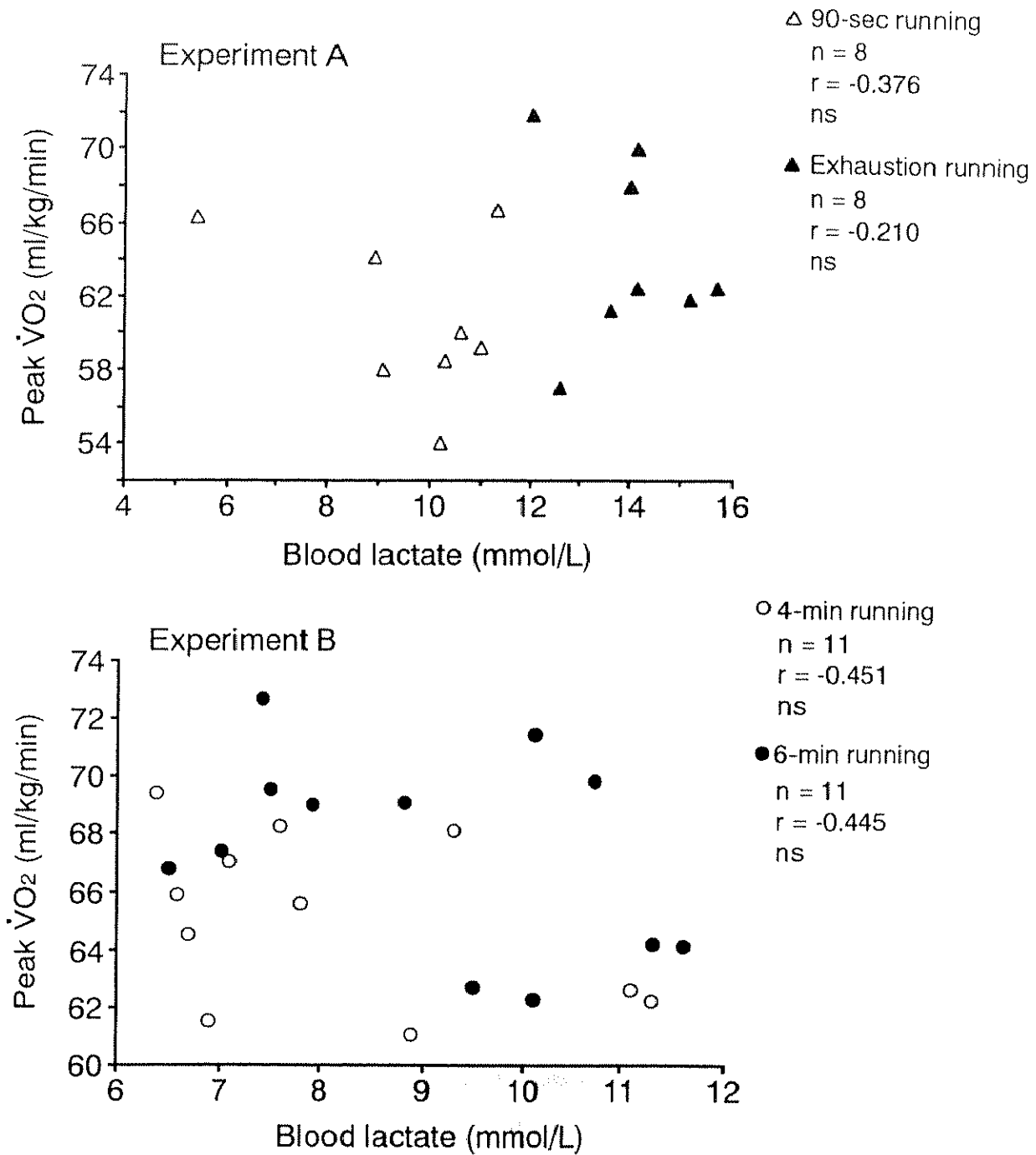


Fig. 14 Relationships between blood lactate and peak $\dot{V}O_2$ in submaximal and maximal running in Exp. A and Exp. B.

Exp. A...Submaximal running : 90-sec running
Maximal running : exhaustion running

Exp. B...Submaximal running : 4-min running
Maximal running : 6-min running

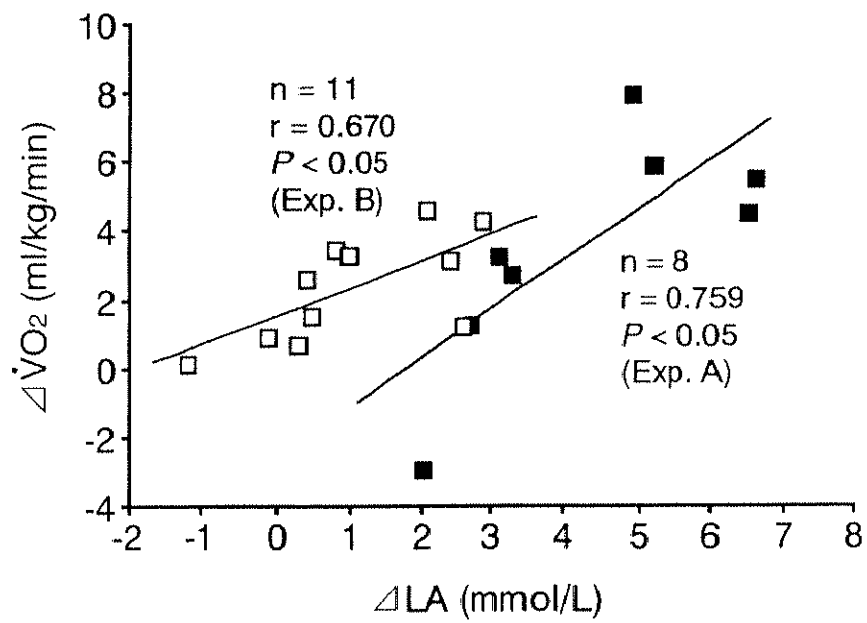


Fig. 15 Relationship between ΔLA and $\Delta \dot{V}O_2$ in Exp. A and Exp. B.

約2～6分間でexhaustionとなる最大運動では、 $\dot{V}O_{2max}$ が一過性に出現する (Astrand and Saltin, 1961 ; 金原ら, 1973) 。また、breath by breath法による呼気ガス測定では、90秒間のAll-out運動における最後の30秒間で、漸増負荷による $\dot{V}O_{2max}$ と同等の値が出現することもある (Serresse et al., 1991) 。このような運動では、最大血中乳酸濃度が出現するなど、無氣的エネルギーの動員も最大に近い。本研究では、実験A、BにおけるPeak $\dot{V}O_2$ は $\dot{V}O_{2max}$ とほぼ同じ値であり、また、いずれの走行においても9 mmol/Lを超えるような高い血中乳酸濃度が認められた (表7) 。これらのことは、本研究で用いた実験運動が無氣的・有氣的運動の条件を満たしていることを支持する結果であると考えられる。

本研究では、無氣的・有氣的運動中の $\dot{V}O_2$ に及ぼす無氣的エネルギーの動員の影響について検討するために、まずはじめに、最大下走行および最大走行における血中乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ の関係を、実測値をもとにして検討した。その結果、実験A、Bともに、両者間には有意な相関関係は認められなかったが、相関係数はいずれも負の値であることが認められた (図14) 。

CrielaardとPirnay (1981) は、陸上競技の100 mからマラソンまでの走者を対象とした研究において、無氣的パワーと $\dot{V}O_{2max}$ との間に負の相関関係を認めている。また、Taunton et al. (1981) は、中距離走者と長距離走者の有氣的能力と無氣的能力の測定結果から、有氣的トレーニングは無氣的パワーテストの成績を低下させる可能性を示唆している。これらのことは、この両者の能力が高いレベルでは両立せず、相互に負の関係にあることを示すものといえる。本研究において、各走行実験における血中乳酸濃度と $\dot{V}O_2$ との相関係数が負の値であったことは、

このことを支持する結果であると考えられる。

上述の結果は、運動全体において発揮された無気的および有気的エネルギーの関係について検討したものである。しかし、これらのエネルギーは、無気的・有気的運動の後半局面においてはいずれも最大に近いレベルまで達するので、このような後半局面における両エネルギーの関係は上述の結果と異なる可能性も考えられる。そこで、本研究ではさらに、無気的および有気的エネルギーが最大レベルに近づいていくような運動の最終局面における両者の関係について検討するために、無気的・有気的運動の後半局面における $\dot{V}O_2$ の変化量と血中乳酸濃度の変化量との関係について検討した。その結果、実験A、Bともに、両者間には有意な正の相関関係が認められた(図15)。このことは、約2～3分および約6分でexhaustionとなる最大走行の後半局面において、血中乳酸濃度の増加量大きい者ほど、 $\dot{V}O_2$ の増加量も大きいことを示すものと考えられる。

これまで、 $\dot{V}O_{2max}$ に影響する要因は、多くの研究者によって、呼吸機能、循環機能、筋機能、内分泌機能などの面から多面的に検討されており、その限定要因はかなり明確にされている(Honig et al, 1992 ; Maughan, 1992 ; Saltin and Strange, 1992 ; Sutton, 1992 ; 山地, 1992)。しかし、これらの機能のうちのどれが $\dot{V}O_{2max}$ を限定しているかは個人によってかなり異なるため(山地, 1992)、第VII章でも示唆したように、無気的エネルギーの動員の大小が限定要因になる者も存在する可能性がある。本研究の結果は、最大走行の後半局面という限られた条件の中であるが、 $\dot{V}O_2$ の増加に無気的エネルギーの動員が影響している可能性を示唆するものである。本研究では、そのメカニズムを明示することはできないが、一つには、無気的エネルギーの増大により、呼吸

循環系の諸機能に対してより高い負荷がかけられたことが、 $\dot{V}O_2$ の増大に寄与している可能性が考えられる。また、血中乳酸の蓄積は、血中pHの減少、血中CO₂の増加を生じることから、Bohr効果によって、筋における酸素取り込み能が向上した可能性も考えられる（Edington and Edgerton, 1983；青木, 1989）。このような可能性を示す研究として、Stringer et al. (1994) が、乳酸産生によるアシドーシス状態がBohr効果を生じ、それにより筋における酸素取り込み能が促進されることを示唆しているものがあげられる。また、Gaesser and Poole (1996) が、乳酸性代謝閾値（LT）を超えた高強度の運動における運動開始3分目以降の $\dot{V}O_2$ の持続的な増加（ $\dot{V}O_2$ slow component）に寄与する要因として乳酸が最も注目されるとしていることもあげられる。

上述のように、本研究では、無氣的・有氣的運動において、無氣的エネルギーの動員が高くなると $\dot{V}O_2$ が高くなる可能性が示唆された。このことは、無氣的・有氣的運動中の $\dot{V}O_2$ を高めることをねらいとしたトレーニングにおいて、より多くの無氣的エネルギーの動員能力、およびそれにもなう乳酸蓄積に耐える能力などを高めることがトレーニング目標の一つになることを示唆していると考えられる。このことは、持久的競技者の無氣的トレーニング目標の一つとして有用な考え方を提示するものであると考えられる。今後さらに、これらの能力を高めると酸素摂取能力も高まるか否かについて、トレーニング実験などを通して検討する必要がある。

5. 要 約

本研究では、一定負荷による無氣的・有氣的運動におけるexhaustion

直前の $\dot{V}O_2$ に及ぼす無氣的エネルギーの動員の影響を明らかにするために、最大走行の後半局面における血中乳酸濃度の変化量と $\dot{V}O_2$ の変化量との関係につい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、中長距離走者を対象として、exhaustion時間が約2～3分（実験A）と約6分（実験B）の2つの走行実験を行った。なお、実験A、Bの詳細は、第VI章に示したとおりである。

本研究で得られたおもな結果は次のとおりである。

①実験A、Bともに、最大下走行および最大走行における $\dot{V}O_2$ と血中乳酸濃度との間には有意な相関関係は認められなかったが、相関係数はいずれも負の値であることが認められた。

②約2～3分および約6分でexhaustionとなる最大走行の後半局面における血中乳酸濃度の変化量と $\dot{V}O_2$ の変化量との間には、有意な正の相関関係が認められた。

上述の結果は、無氣的・有氣的運動の後半局面における無氣的エネルギーの動員を高めると、 $\dot{V}O_2$ も高めることができる可能性を示唆するものである。したがって、高強度の持久的パフォーマンスに対して、無氣的能力は $\dot{V}O_2$ を高めるという点で間接的に貢献している可能性がある。