

VI. 一定負荷走行における無氣的エネルギーとPeak $\dot{V}O$ との比からみた 中長距離走者の特性（実験3）

一走行中の無氣的エネルギーの動員は走能力のタイプによって異なるか

1. 目的

一般に、約2～6分間でexhaustionとなる最大運動では、最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）が出現し、運動後の血中乳酸濃度も10 mmol/lを超える。このことは、このような運動におけるパフォーマンスには、無氣的エネルギー供給と有氣的エネルギー供給の両方の能力が大きく関与することを示す（Lacour et al., 1990 ; Brandon and Boileau, 1992 ; Brandon, 1995）。

本研究では、研究課題1（IV、V章）において、長距離走パフォーマンスと運動後の血中乳酸濃度との間に密接な関係のあることが認められた。その理由としては、より多くの無氣的エネルギー量が、高い疾走速度の獲得に貢献していることが推察される。したがって、長距離走パフォーマンスで成功するためには、これまで重要視されてきている有氣的能力だけでなく、無氣的エネルギーの動員も高いことが重要になると考えられる。しかし、この両者の能力は高いレベルでは両立しえない（Crielaard and Pirnay, 1981）。また、持久力のレベルやタイプによって、走行中の両エネルギーの貢献度が異なってくることが考えられる。例えば、Brandon（1995）は、中距離走パフォーマンスと生理学的要因との関係についてレビューしている中で、中距離走者は、長距離走者と比較して、同一走行において有氣的能力への依存度が少なく、無氣

的エネルギーの貢献度が重要になることを示している。そして、レースにおいて各走者にとって最適な走速度を維持するためには、パフォーマンスに貢献するであろう各生理的要因（ $\dot{V}O_2\max$ 、走効率、AT、無気的能力）間の相互作用、例えば、同じレベルのパフォーマンスであっても、ある走者は有気的能力に劣る分を無気的能力が大きく貢献し、また別の走者ではその逆もありうるという関係が重要になると述べている。

これらのことを考慮すると、高強度の持久的パフォーマンスでは、無気的エネルギーと有気的エネルギーとの関係について、中長距離走者のタイプと関連づけて検討することが必要であると考えられる。また、これら両エネルギーの関係を検討する場合には、上述のような $\dot{V}O_2\max$ が出現し、無気的エネルギーの動員も高い高強度の持久的運動において特に意義があるものと考えられる。

そこで本研究では、中長距離走者の特性を明らかにする一つの視点を提示するために、無気的・有気的最大の走行の前半局面において動員される無気的エネルギーと後半局面に出現するPeak $\dot{V}O_2$ との関係を、中長距離走者における短距離型の走者、中距離型の走者といった走能力のタイプと関連づけて検討することを目的とした。なお、本研究では、この課題を明らかにするために、exhaustion時間が約2～3分と約6分の2つの走行実験を行った。

2. 方法

(1) 同一速度による約2～3分のexhaustion走の場合（実験A）

1) 被検者

被検者には、大学男子中距離走者8名を用いた。被検者の年齢、

身長、体重および $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均値±標準偏差は、順に、 21.1 ± 1.4 歳、 172.8 ± 5.1 cm、 61.0 ± 2.4 kg、 65.2 ± 2.7 ml/kg/minであった。また、競技成績は、400 m走： 53 秒 3 ± 1 秒 5 、800 m走： 1 分 56 秒 2 ± 3 秒 7 であった。被検者は、いずれも中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。

この実験では、400 m走速度と800 m走速度の比（400 / 800 V）を、各走者の走能力のタイプを示す指標として用いた。その平均値および標準偏差は、 1.091 ± 0.031 であった。

2) 運動プロトコール

被検者には、20～30分間のウォーミングアップを任意に行わせた後、傾斜3%のトレッドミルを用いて、同一速度による90秒間走（最大下走行）およびexhaustion走（最大走行）を行わせた（図6）。走速度には、いずれの被検者も約2～3分でexhaustionとなるように、各被検者の800 m走の平均走速度の85%に相当するトレッドミル速度を用いた（330～370 m/min）。この実験では、最初に90秒間走を行わせ、日を変えてexhaustion走を行わせた。

3) 測定項目

90秒間走、exhaustion走ともに、 $\dot{V}O_2$ 、 O_2 debt、心拍数、血中乳酸濃度を測定した。また、exhaustion走ではexhaustion時間を測定した。 $\dot{V}O_2$ は、自動呼気ガス分析器（Mijnhardt社製、OXYCON-GAMMA）を用いて測定した。血中乳酸濃度は、運動後1、3分に指尖より採血した血液サンプルをもとに、自動血中乳酸分析器（YSI社製 Model 23L）を用いて測定した。心拍数の測定には、HRモニター（Polar社製PE3000、VANTAGE XL）を用いた。 O_2 debtは、exhaustion後15分間の総酸素摂取量から安静時酸素摂取量を減じて算出

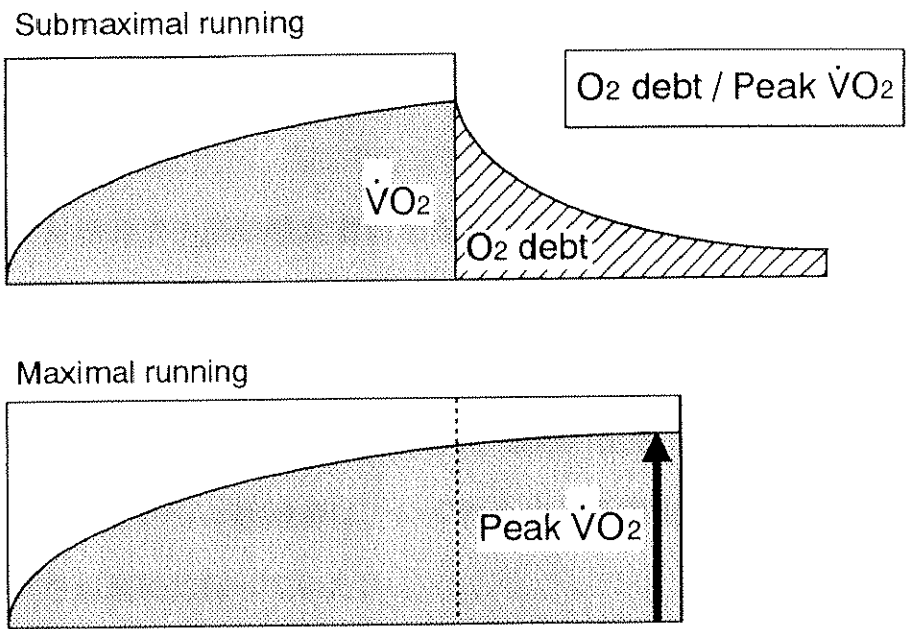


Fig. 6 Protocol of submaximal and maximal running tests at the same running speed.
 Grade : 3% (Exp. A), 0% (Exp. B)

した（尾縣ら，1998）。安静時酸素摂取量には、体表面積から求めた基礎代謝量を1.2倍した値を用いた（沼尻，1959）。なお、この実験では、運動後半で出現するPeak $\dot{V}O_2$ に対する、運動前半で動員された無気的エネルギー量の割合を相対的に示す指標として、90秒間走後の O_2 debtとexhaustion走中のPeak $\dot{V}O_2$ の比 (O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$) を算出し、走能力のタイプとの関係について検討した。

(2) 同一速度による約6分のexhaustion走の場合（実験B）

1) 被検者

被検者には、大学男子中長距離走者11名を用いた。被検者の年齢、身長、体重および $\dot{V}O_{2max}$ の平均値±標準偏差は、順に、 21.1 ± 1.6 歳、 170.5 ± 3.8 cm、 60.3 ± 4.5 kg、 67.0 ± 3.0 ml/kg/minであった。また、競技成績は、800 m走： $1分59秒6 \pm 4秒9$ 、5000 m走： $15分37秒8 \pm 32秒4$ であった。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。

この実験では、800 m走速度と5000 m走速度の比 (800 / 5000 V) を、各走者の走能力のタイプを示す指標として用いた。その平均値および標準偏差は、 1.262 ± 0.082 であった。

2) 運動プロトコール

被検者には、20～30分間のウォーミングアップを任意に行わせた後、傾斜0%での同一速度による4分間走（最大下走行）および6分間（最大走行）のトレッドミル走を行わせた（図6）。走速度は、いずれの被検者も約6分でexhaustionとなるように、各被検者の2000 m走の最高記録、および漸増負荷走行における最高走速度をもとにして設定した（330～340 m/min）。この実験では、最初に4分間走を行わせ、その

後、80～90分間の休息後に6分間走を行わせた。

3) 測定項目

4分間走、6分間走ともに、 $\dot{V}O_2$ 、心拍数、血中乳酸濃度を測定した。また、4分間走では O_2 debtも測定した。 $\dot{V}O_2$ はダグラスバッグ法を用いて測定した。呼気ガスの分析には質量分析器（Perkin-Elmer社製）を用いた。心拍数および血中乳酸濃度の測定には、実験1と同様な方法を用いた。 O_2 debtは、exhaustion後30分間の総酸素摂取量から、安静時酸素摂取量を減じて算出した。なお、この実験では、運動後半で出現するPeak $\dot{V}O_2$ に対する、運動前半で動員された無気的エネルギー量の割合を相対的に示す指標として、4分間走後の O_2 debtと6分間走中のPeak $\dot{V}O_2$ の比（ O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$ ）を算出し、走能力のタイプとの関係について検討した。

(3) 統計処理

実験A、Bともに、データの解析に用いた統計的手法はピアソン積率相関分析であり、有意性の判定には危険率5%を採用した。

3. 結 果

(1) 最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ との関係

表4に、実験A、Bにおける最大および最大下走行のPeak $\dot{V}O_2$ 、換気量、心拍数、 O_2 debtおよび血中乳酸濃度を示した。また、最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ との比も示した。なお、実験Aのexhaustion時間は、2分35秒±14秒であった。

図7に、実験A、Bにおける最大下走行後の O_2 debtと最大走行

Table 4. The physiological responses in submaximal and maximal running tests.

	Experiment A	Experiment B
Submaximal running test	90-sec running	4-min running
Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$)	60.8 ± 4.4 ml/kg/min	65.1 ± 2.9
Ventilation ($\dot{V}E$)	129.0 ± 7.9 L/min	139.0 ± 13.1
Heart rate (HR)	183.4 ± 8.4 bpm	182.3 ± 9.9
Oxygen debt (O ₂ debt)	96.8 ± 11.8 ml/kg	113.4 ± 6.7
Blood lactate (LA)	9.6 ± 1.9 mmol/L	8.2 ± 1.8
Maximal running test	Exhaustion running	6-min running
Exhaustion time	155 ± 14 sec	
Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$)	64.4 ± 5.0 ml/kg/min	67.4 ± 3.6
Ventilation ($\dot{V}E$)	153.3 ± 9.1 L/min	146.8 ± 13.8
Heart rate (HR)	193.4 ± 7.4 bpm	186.7 ± 8.1
Blood lactate (LA)	13.9 ± 1.2 mmol/L	9.2 ± 1.7
O ₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$	1.517 ± 0.249	1.686 ± 0.137

1. Experiment A : n = 8, Experiment B : n = 11.

2. O₂ debt was value during 15-min in Exp. A and 30-min in Exp. B after submaximal running.

3. O₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$: (O₂ debt after Submax. running) / (Peak $\dot{V}O_2$ during Max. running)

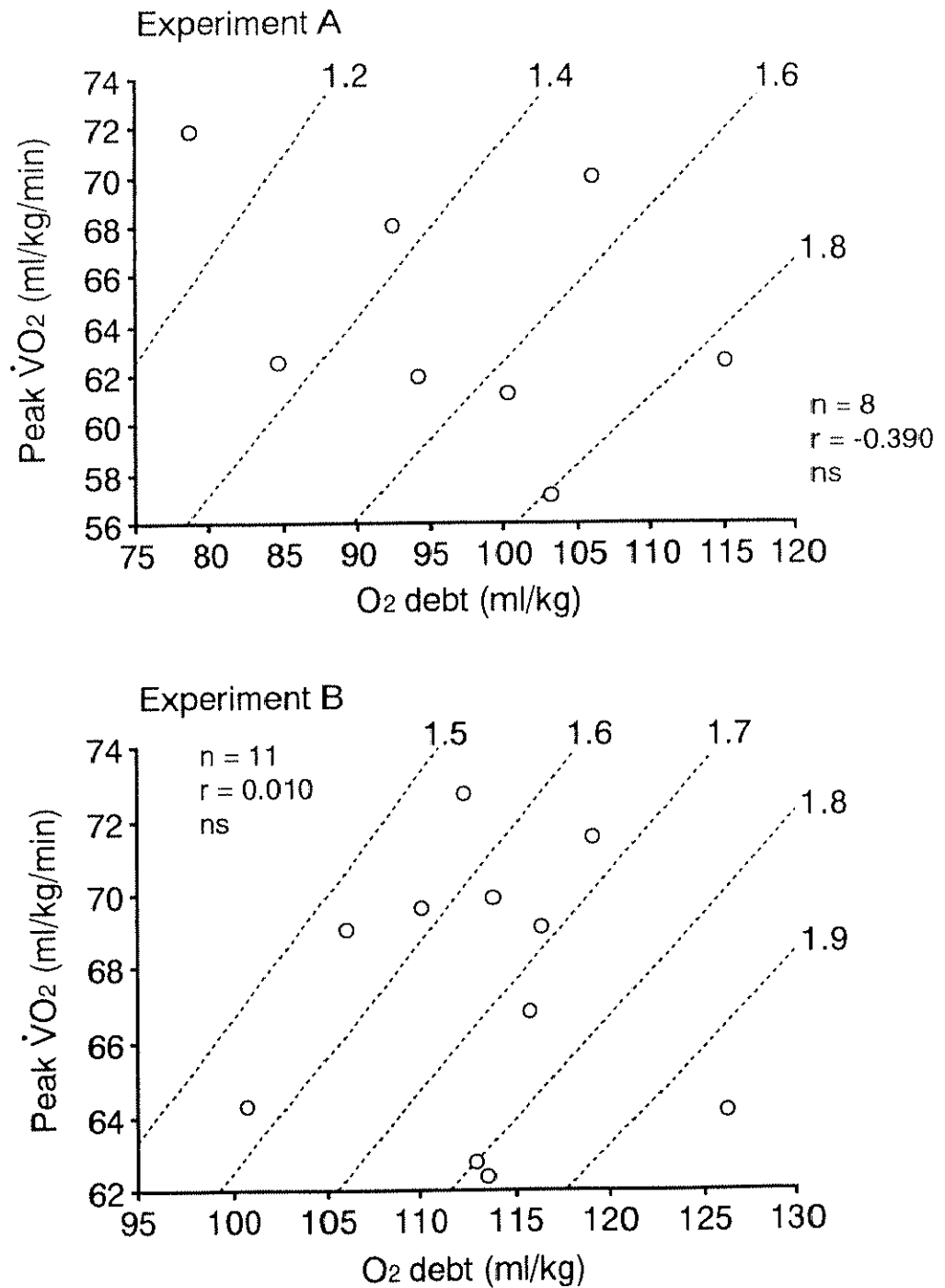


Fig. 7 Relationships between peak $\dot{V}O_2$ during maximal running and O₂ debt after submaximal running at the same running speed in Exp. A and Exp. B. Dotted lines show values of 'O₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$ ' .

中のPeak $\dot{V}O_2$ との関係を示した。また、図中には、 O_2 debtとPeak $\dot{V}O_2$ との比 (O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$) の値を破線で示した。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。しかし、同一の O_2 debt、あるいは同一のPeak $\dot{V}O_2$ を有する者であっても、両者の比がかなり異なる者が存在していることが認められた。

(2) 走能力のタイプと最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ の比との関係

図8に、走能力のタイプの指標（実験A：400 / 800 V、実験B：800 / 5000 V）と、最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ の比 (O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$) との関係を示した。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： $r = 0.828$ 、実験B： $r = 0.855$ ）。

4. 考 察

本研究では、無氣的エネルギーの指標として、運動後の O_2 debtを用いた。 O_2 debtは運動中の無氣的エネルギーを定量化するものではない、あるいは過大評価する、という報告がある（Girandola and Henry, 1974；Gaesser and Brooks, 1984；Gore and Wither, 1990；Bahr, 1992）。しかし、 O_2 debtは、短時間高強度運動のパフォーマンスや無氣的エネルギー供給量などに関連が深いことも、さまざまなスポーツ競技者の測定から推測することができる（阿久津と杉, 1964；黒田ら, 1973；黒川ら, 1985；尾縣ら, 1998）。したがって、本研究では、走行中の無氣的エネルギーを相対的に反映する指標（Cunningham and

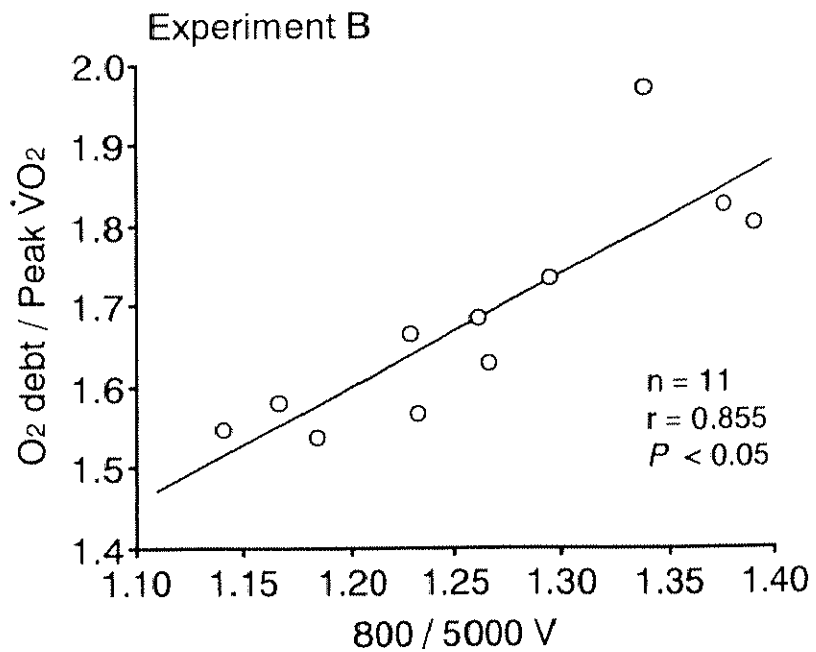
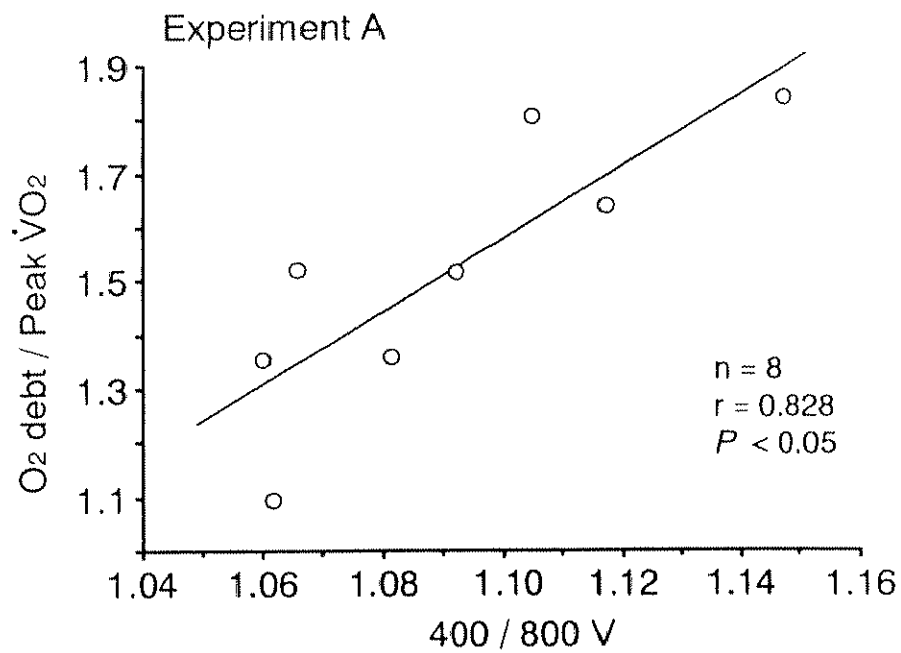


Fig. 8 Relationships between type of running ability and ' $O_2 \text{ debt} / \text{Peak } \dot{V}O_2$ ' .

Faulkner, 1969 ; 山本, 1989) として運動後のO₂ debtを用いた。

本研究では、まず、無気的エネルギーと有気的エネルギーとの相互関係について検討するために、走行前半において動員される無気的エネルギーと、走行後半で出現する有気的エネルギーの最大値との関係について検討した。その結果、最大下走行後のO₂ debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ との間には有意な相関関係は認められなかった。しかし、同一のO₂ debt、あるいは同一のPeak $\dot{V}O_2$ を有する者であっても、両者の比 (O₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$) の異なる者が存在していることが認められた (図7)。このことは、このような約2～3分および約6分の最大走行において、同一水準の $\dot{V}O_2$ を出現させていても、無気的エネルギーの動員の異なる者が存在することを示すものと考えられる。

Coetzer et al. (1993) は、黒人走者と白人走者の生理的特性を検討した中で、漸増負荷法による $\dot{V}O_{2max}$ テスト後の血中乳酸濃度が両者間で有意に異なることを認めている。800 mからハーフマラソンまでのパフォーマンスの優劣の差をもとにすると中距離型走者であるとみられる白人走者は、運動後に 12.8 ± 2.2 mmol/lという高い値を示し、逆に長距離型走者であるとみられる黒人走者は 8.7 ± 1.7 mmol/Lという低い値を示した。また、Taunton et al. (1981) は、漸増負荷による最大トレッドミル走のexhaustion 5分後の血中乳酸濃度について、中距離走者で 15.0 ± 0.4 mmol/L、長距離走者で 11.9 ± 1.6 mmol/Lと有意な差を認めている。これらのことは、 $\dot{V}O_{2max}$ の出現時において動員される無気的エネルギーには、中距離型、あるいは長距離型走者といった走能力のタイプによって差があることを示すものであると考えられる。したがって、本研究で用いたO₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$ 比における個人差には、このような走能力のタイプの相違が影響していることが考えられる。

そこで本研究では、最大下走行後のO₂ debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ の比 (O₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$) と走能力のタイプとの関係について検討した。その結果、実験A、Bともに、走能力のタイプの指標として用いた400 / 800 Vおよび800 / 5000 Vと、O₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$ との間に、有意な正の相関関係が認められた (図8)。このことは、本研究で用いた約2～3分および約6分でexhaustionとなるような最大走行では、短距離型の走者 (実験A)、中距離型の走者 (実験B) のような相対的に無気型である走者は、exhaustion直前に出現するPeak $\dot{V}O_2$ に対する、運動前半における無氣的エネルギーの動員が相対的に高いことを示すものと考えられる。したがって、走行中の無氣的エネルギーと有氣的エネルギーとの関係を検討することは、中長距離走者の特性を評価する一つの視点になるものと考えられる。

本研究の結果で得られた無気型走者の特性として、走行前半で無氣的エネルギーが高いことのメリットとして、一つには、絶対的なエネルギー量の多さによって高い走速度を獲得できることがあげられる。また、Astrand and Saltin (1961) は、100% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動時よりも150% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動時において、より早く $\dot{V}O_{2max}$ が出現したことを報告していることから、無氣的エネルギーも関与する高強度負荷によって $\dot{V}O_2$ の立ち上がりが促進され、走行中により多くの有氣的エネルギーを獲得することにつながるかもしれない。しかし一方で、より多くの無氣的エネルギーを動員することは、乳酸蓄積による疲労が促進される (Sahlin, 1986 ; Metzger and Moss, 1990) 。

しかし本研究では、このような無氣的エネルギーの影響について直接検討していない。特に、研究課題1 (IV、V章) で得られた長距離走パフォーマンスと無氣的エネルギーとの強い関連性を考慮すると、 $\dot{V}O_2$ の

増大に対する無氣的エネルギーの貢献度について着目することに意義があるものと考えられる。今後さらに、無氣的・有氣的運動中における無氣的エネルギーの動員の高いことが、有氣的エネルギーにどのような影響を及ぼすのかについて検討する必要があると考えられる。

5. 要 約

本研究では、一定負荷による無氣的・有氣的運動の前半局面において動員される無氣的エネルギーと後半局面における $\dot{V}O_2$ との関係を、各被験者の走能力のタイプと関連づけ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、実験Aでは約2～3分、実験Bでは約6分の一定速度によるexhaustion走（最大走行）を用いた。実験Aでは、運動前半における無氣的エネルギーの動員の指標として90秒間走（最大下走行）後の O_2 debtを、また、走能力のタイプの指標として400 mと800 m走速度の比（400 / 800 V）を用いた。実験Bでは、それぞれの指標として、4分間走（最大下走行）後の O_2 debt、および800 mと5000 m走速度の比（800 / 5000 V）を用いた。なお、実験A、Bともに、運動後半で出現するPeak $\dot{V}O_2$ に対する、運動前半で動員された無氣的エネルギー量の割合を相対的に示す指標として、最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ の比（ O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$ ）を算出した。

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、最大下走行後の O_2 debtと最大走行中のPeak $\dot{V}O_2$ との間には有意な相関関係が認められなかった。しかし、同一の O_2 debt、あるいは同一のPeak $\dot{V}O_2$ を有する者であっても、両者の比（ O_2 debt / Peak $\dot{V}O_2$ ）が異なる者が存在していることが認められた。

②実験Aでは、400 / 800 VとO₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$ との間に有意な正の相関関係が認められた。また、実験Bにおいても、800 / 5000 VとO₂ debt / Peak $\dot{V}O_2$ との間に有意な正の相関関係が認められた。

上述の結果は、短距離型の走者、中距離型の走者のような無気型走者では、相対的にみて、運動後半に出現するPeak $\dot{V}O_2$ に対して、運動前半により多くの無氣的エネルギーを動員させていることを示すものである。このことは、中長距離走者の特性を評価するための一つの視点になりうるものと考えられる。また、 $\dot{V}O_2$ に対する無氣的エネルギーの動員の影響について検討する意義を示唆するものである。