

IV. 漸増負荷走行テストにおける最高走速度と有気的能力および無気的能力との関係

ー長距離走パフォーマンスに無気的能力は関与するか (1)ー

1. 目的

これまでの多くの研究によって、 $\dot{V}O_{2max}$ は長距離走レースで成功するために重要な要因の一つであることが定説となっている。しかし、最近になって、 $\dot{V}O_{2max}$ の測定に用いられる漸増負荷走テストにおいて exhaustion時に達成される最高走速度 (Scrimgeour et al., 1986 ; Noakes et al., 1990 ; Scott and Houmard, 1994)、あるいは速度- $\dot{V}O_2$ 関係によって算出される $\dot{V}O_{2max}$ に相当する走速度 ($v\dot{V}O_{2max}$)

(Morgan et al., 1989 ; Grant et al., 1997) が、 $\dot{V}O_{2max}$ よりも長距離走パフォーマンスとの間に密接な関係のあることが報告されている。

exhaustion時の最高走速度や $v\dot{V}O_{2max}$ は、実験室で測定されるために気象などの環境条件などの影響を受けにくく、また、長距離走パフォーマンスとの関係が密接であるために、コーチや選手にとってトレーニング効果やコンディションを評価するための有効な指標になりうると考えられる (Scott and Houmard, 1994 ; Billat and Koralsztein, 1996)。しかし、この最高走速度には有気的能力および無気的能力の両者が影響すると言われているが (Noakes, 1988 ; Houmard et al, 1991)、その詳細はまだ明らかでない。

最高走速度を測定することができる実験室でのテストでは、 $\dot{V}O_{2max}$ を測定することが第一の目的とされているが、呼気ガスや心拍数、血中乳酸濃度などの生理的指標も同時に測定される。しかし、そこでは

$\dot{V}O_{2max}$ などの生理的指標の優劣のみが評価され、最高走速度にはあまり注目されていないようである。したがって、トレーニングの現場で実験室で得られるデータをより有効に活用するためには、最高走速度と $\dot{V}O_{2max}$ を含む生理的指標との関係を検討し、最高走速度の制限要因について明らかにしておくことは重要であると考えられる。

ところで、一般に陸上競技の長距離走トレーニングは、その目的に応じて、鍛練期と試合期に分けることができる（有吉, 1987；永井, 1989；沢木と高岡, 1993）。鍛練期では、低強度・長時間の持続走やロングインターバル走などによって、乳酸性代謝閾値などの最大下の有気的能力の改善がおもなねらいとなっている（Tanaka et al., 1984；Pate and Branch, 1992）。一方、試合期では、より強度の高いペース走やインターバル走などによって、 $\dot{V}O_{2max}$ や無気的能力エネルギー供給能力などの最大能力の改善がおもなねらいとなっている（Svedenhag and Sjodin, 1985；Pate and Branch, 1992）。このことは、それぞれのトレーニング周期によってトレーニング目標が異なるために、最高走速度に影響する要因も異なってくる可能性を示唆するものである。

これまで、長距離走パフォーマンスと有気的能力との関係に関する報告は数多いが、無気的能力に着目したものは少ない。上述したトレーニング期分けによるトレーニング目標の違いを考えると、試合期における長距離走パフォーマンスには、有気的能力に加えて、無気的能力が重要になってくる可能性が考えられる。しかし、これまでトレーニング期分けと関連づけて、長距離走パフォーマンスにおける無気的能力の重要性について検討した研究はみられない。

そこで本研究では、長距離走パフォーマンスに対する無気的能力の重要性について検討するために、長距離走競技の試合期前（鍛練期後）と

試合期後において、漸増負荷テスト ($\dot{V}O_{2max}$ テスト) によって得られる最高走速度と有気的能力および無気的能力との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

(1) 被検者

被検者には、大学男子長距離走者8名を用いた。被検者の年齢、身長、体重、5000 m走記録の平均値±標準偏差は、順に、 20.1 ± 0.6 歳、 171.0 ± 2.6 cm、 59.2 ± 2.6 kg、 15 分 36 秒 6 ± 56 秒 8 であった。これらの被検者は、いずれも長距離走種目の専門的トレーニングを3～9年間にわたり継続的に行っている。

(2) 測定項目および測定方法 (図1)

本研究では、最高走速度を測定するために、トレッドミルによる傾斜 0° での漸増負荷走行テストを用いた。このテストは、一般に $\dot{V}O_{2max}$ の測定に用いられているものである。走速度は、各被検者のexhaustion時間が12～14分間となるように、走行開始から2分までを、各被検者の走力に合わせて任意の速度 ($230 \sim 250$ m/min) で一定とし、その後exhaustionに至るまで1分ごとに 10 m/minずつ増加した。本研究では、exhaustion時 (最後の1分間) の走速度を最高走速度として用いた。なお、最後の走速度で30秒間走行してexhaustionに至った場合には、Verstappen et al. (1989) やLindsay et al. (1996) の定義を参考にして、その走速度から 5 m/minを差し引いた速度を、各人の最高走速度として用いることにした。

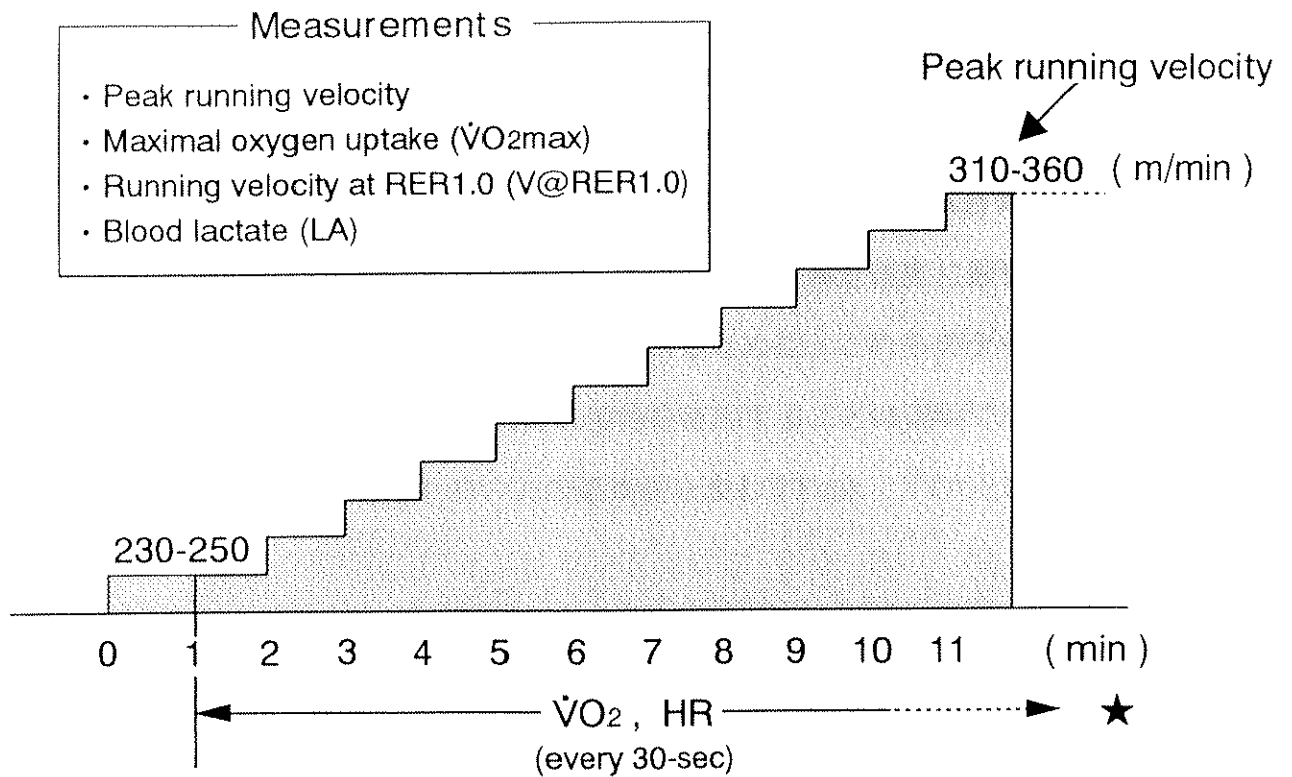


Fig. 1 Protocol of maximal aerobic power test.

★ Blood sampling

走行中には、呼気ガスパラメーターと心拍数を連続的に測定した。前者の測定には自動呼気ガス分析器（Mijnhardt社製OXYCON-GAMMA）、後者の測定にはHRモニター（Polar社製VANTAGE XL）を用いた。また、運動終了後1分には、指尖より採血した血液サンプルを用いて血中乳酸濃度を測定した。測定には自動血中乳酸分析器（YSI社製Model 23L）を用いた。 $\dot{V}O_{2max}$ は、 $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、1.1以上の呼吸交換比（RER）、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によって判定した。なお、これらの判定基準を満たしていない被検者が、試合期前（4月）の測定では1名、試合期後（7月）の測定では3名認められたが、本研究では最高走速度に影響する生理的要因を明らかにすることが目的であるために、これらのデータも分析に用いた。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$ の用語を使用することは適切でないと考えられるために、走行中の $\dot{V}O_2$ の最高値を表わすPeak $\dot{V}O_2$ という用語を用いた。

本研究では、最大下の有気的能力の指標として、 $\dot{V}O_2$ と二酸化炭素排泄量（ $\dot{V}CO_2$ ）が等しくなるRER1.0時の走速度および $\dot{V}O_2$ を用いた。これは、呼気ガス変量から求める換気性代謝閾値（ventilatory threshold：VT）の判定が困難であることに加えて、トレーニングの現場では、測定データをできるだけ早く被検者へフィードバックさせることが重要であることによる。なお、この指標の有用性については、中距離走者やサッカー選手では、有気的トレーニングによってRER1.0での走速度が向上すること、およびサッカー選手ではRER1.0での走速度とVTでの走速度との間に有意な正の相関関係（ $n = 15$, $r = 0.868$, $P < 0.01$ ）を認めたこと、などによって確認した（未発表データ）。

また本研究では、無気的能力の指標として、exhaustion 1分後の血中

乳酸濃度を用いた (Svedenhag and Sjodin, 1984)。この理由として、本研究で用いたような12~14分間でexhaustionとなる漸増負荷走では、循環能に優れている長距離走者の血中乳酸濃度は、exhaustion 1分後と3分以降との間に大きな差のないことを、筆者らはこれまでの研究で確認していること、および採血による被検者の負担を少しでも軽減したいこと、などがあげられる。

本研究では、上記の測定を試合期前の4月と試合期後の7月の2回にわたり実施した。

(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) 漸増負荷走行テストの成績

表1に、試合期前の4月と試合期後の7月における漸増負荷走行テストの成績を示した。すべてのパラメーターにおいて、試合期前後に有意な差は認められなかった。

表2に、試合期前後におけるRER1.0での走速度、 $\dot{V}O_2$ および $\% \dot{V}O_{2max}$ を示した。いずれの値においても、有意な差は認められなかった。

(2) 最高走速度とPeak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動

Table 1. Comparisons of peak running velocity, cardiorespiratory responses and blood lactate between pre- and post-competitive season.

		Pre-comp	Post-comp	Differences
Peak running velocity	m/min	340.6 ± 12.9	341.3 ± 21.5	ns
$\dot{V}O_{2max}$	L/min	4.01 ± 0.34	4.00 ± 0.23	ns
	ml/kg/min	67.8 ± 4.5	68.7 ± 6.4	ns
$\dot{V}E_{max}$	L/min	141.8 ± 10.6	148.7 ± 16.0	ns
HR _{max}	bpm	196.3 ± 8.6	191.2 ± 10.9	ns
Blood lactate	mmol/L	8.1 ± 1.2	7.4 ± 1.8	ns

1. n = 8. (HR_{max} : n = 6)

2. Values are means ± SD.

3. ns : non significant.

Table 2. Comparisons of running velocity, $\dot{V}O_2$ and % $\dot{V}O_{2max}$ at RER1.0 between pre- and post-competitive season.

		Pre-comp	Post-comp	Differences
Running velocity	m/min	290.6 ± 18.8	302.5 ± 20.2	ns
$\dot{V}O_2$	ml/kg/min	58.0 ± 3.3	61.8 ± 8.1	ns
	% $\dot{V}O_{2max}$	85.7 ± 3.1	90.0 ± 6.9	ns

1. n = 8.

2. Values are means ± SD.

3. ns : non significant.

後の血中乳酸濃度との関係

図2に、試合期前後における最高走速度と、Peak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0における走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動後の血中乳酸濃度との関係を示した。試合期前では最高走速度とRER1.0での走速度 ($r = 0.821$)、試合期後では最高走速度と運動後の血中乳酸濃度 ($r = 0.903$) との間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められた。

図3に、試合期前後の最高走速度の変化率（試合期前の値に対する試合期後の値の割合）と、Peak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動後の血中乳酸濃度の変化率との関係を示した。最高走速度の変化率と血中乳酸濃度の変化率との間にのみ、有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.811$)。

4. 考 察

これまで、速度漸増負荷走行テストによる最高走速度と長距離走パフォーマンスとの間には密接な関係のあることが認められているが、速度漸増負荷のプロトコールや最高走速度の決定法は各研究者間でさまざまである (Hill and Rowell, 1996 ; 山地, 1998)。山地 (1998) は、 $v\dot{V}O_{2max}$ をランニングの指導やトレーニングにいかに応用できるかについてレビューした中で、 $v\dot{V}O_{2max}$ は、1分ごとに10 m/minずつ上げる速度漸増法によってexhaustionに達した時点の速度をもって決定することが望ましいとしているが、 $v\dot{V}O_{2max}$ の適切な決定の仕方については、種々の条件のもとでテストを繰り返す必要があると述べている。本研究では、最後の走速度で30秒間走行してexhaustionに達した場合には、その走速度から5 m/minを差し引いた速度を各走者の最高走速度と

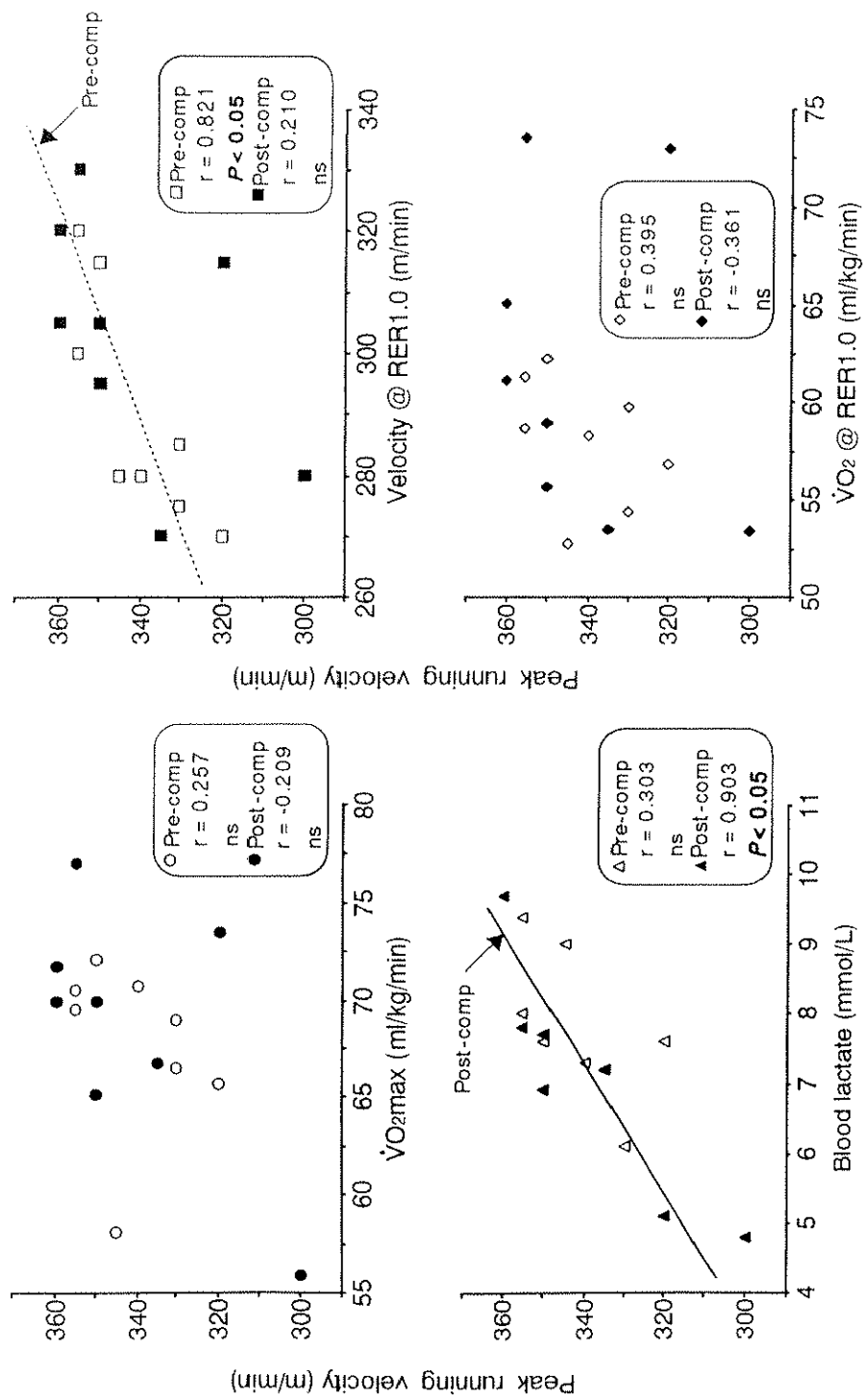


Fig. 2 Relationships of peak running velocity with velocity and $\dot{V}O_2$ at RER1.0, $\dot{V}O_{2max}$ and blood lactate in pre- and post-competitive season. (n = 8)

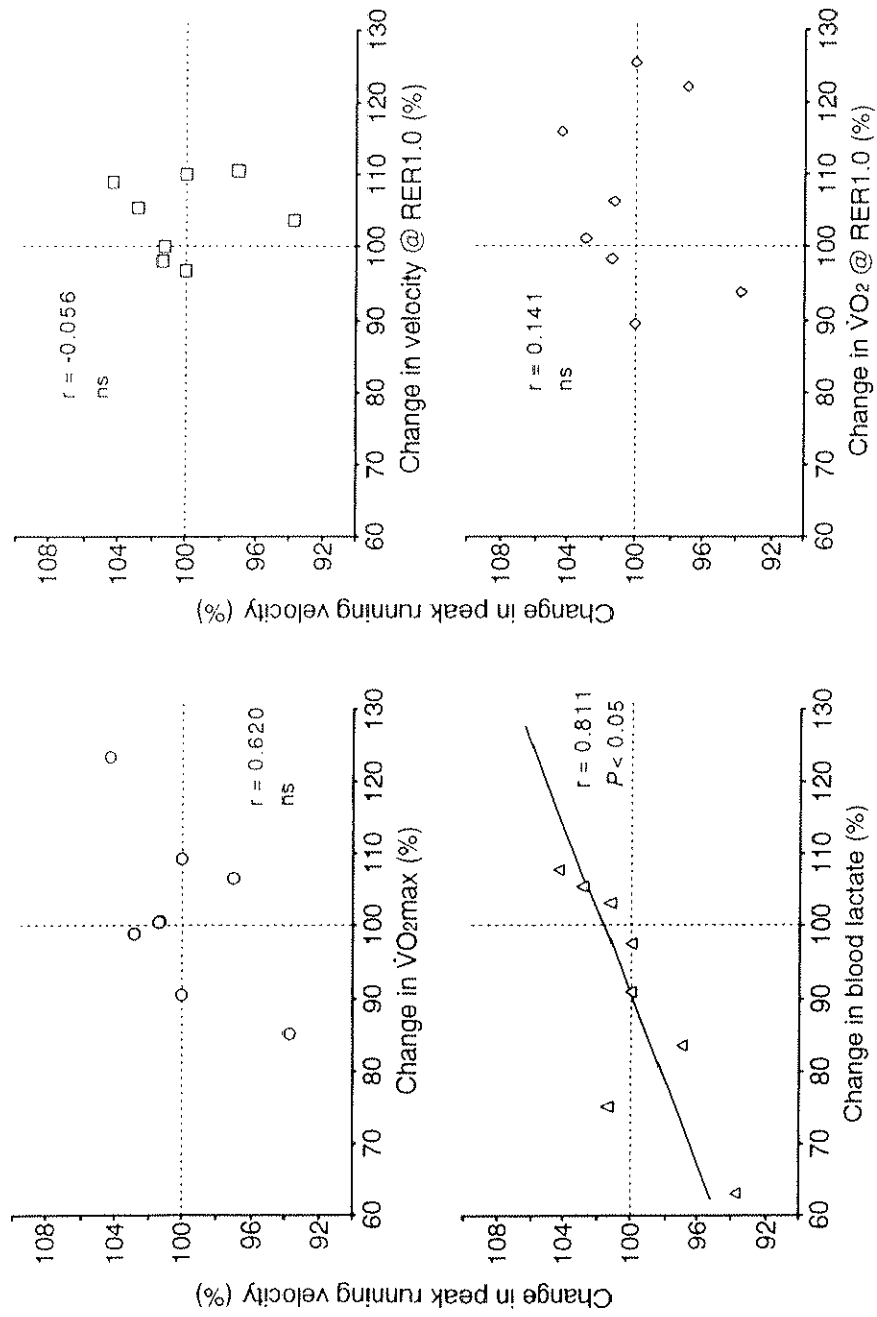


Fig. 3 Relationships of change in peak running velocity with changes in velocity and $\dot{V}O_2$ at RER1.0, $\dot{V}O_2$ max and blood lactate in pre- and post-competitive season. (n = 8)

した。この理由として、パフォーマンスの優劣の差が少ない競技者のトレーニング効果やコンディションをできるだけ詳細に評価するためには、最高走速度もできるだけ詳細に評価することが適切であるとみなしたことがあげられる。なお、このような評価法と関連して、Lindsay et al. (1996) は、150秒ごとに25ワット漸増する自転車エルゴメーターでの負荷テストにおける最高パワーを、最後に完全に達成されたパワーに、その後25ワット増加された最終段階の時間経過の割合から算出したパワーをプラスして決定している。さらに、Verstappen et al. (1989) も、漸増走行によるトレッドミルテストにおいて達成される最大速度を、同様な定義によって算出している。

また、本研究では、最大下の有気的能力の指標として、 $RER1.0$ での $\dot{V}O_2$ および走速度を用いた。 $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ である RER は、糖質代謝と脂質代謝の割合を示す指標として用いられており（岩垣, 1989 ; Wilmore and Costill, 1994）、 $RER1.0$ は糖質代謝が100%であることを示すものである。しかし、高強度運動時の高い RER には、糖質代謝によって筋で産生された CO_2 に加えて、血中に蓄積した乳酸を緩衝することによって生じる過剰な CO_2 （Wasserman et al, 1986）も含まれるので、 1.0 前後の RER 値は、筋で利用されているエネルギー源を必ずしも正確に評価するものではない可能性もあるが（Wilmore and Costill, 1994）、運動中の過剰な CO_2 によって RER が増加することは、運動強度を反映する指標として有効である可能性もある。それは、Wasserman and McIlroy (1964) が、 $AT (VT)$ の非侵襲的な指標として、無気的な代謝へ移行したことを示す CO_2 の急激な増加によって生じる RER の増加が利用できることを示したことからも支持されるものと考えられる。またこれに関連して、深代 (1991) は、体力測定データを生かした長距離

選手に対するタイプ別アドバイスの解説の中で、RERは、運動に使われるエネルギー源の比率を知ることができるとともに、運動中の疲労状態（きつさ）を推定できるという利点をあげ、RERが1.0を超える時点の運動時間を用いて、各選手の呼吸循環系の優劣を評価できることを示唆している。しかし、RERの増加は意識的な過換気や食事内容（Aitkea and Thompson, 1989）、トレーニング内容（Aitkea et al., 1989）などに影響を受けるものである。また、RER1.0の生理学的意味についても、VTのように、再現性や妥当性を含んだ理論的な議論がなされていない。したがって、本研究でRER1.0を最大下の有気的能力の指標として用いることにも若干の問題があるものと考えられるが、本研究ではそのことを十分に認識した上で、実践の場で利用しやすいという理由によって、RER1.0の走速度と $\dot{V}O_2$ を最大下の有気的能力の指標として用いることにした。

本研究では、漸増負荷走行テストにおけるPeak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動後の血中乳酸濃度のいずれにおいても、試合期前（鍛練期後：4月）と試合期後（7月）との間に有意な差は認められなかった（表1、2）。しかし、試合期前後の最高走速度そのものに影響する要因について検討した結果、最高走速度と有意な正の相関関係が認められたのは、試合期前においてはRER1.0での走速度、試合期後では運動後の血中乳酸濃度であった（図2）。これまで、最高走速度には有気的能力および無気的能力の両者が影響すると言われているが（Noakes, 1988 ; Houmard et al, 1991）、上述の結果をもとにすると、最高走速度に大きく影響する要因は、試合期前の有気的能力から試合期後の無気的能力へ移行することが考えられる。したがって、漸増負荷走行テストにおけるRER1.0での走速度や血中乳酸濃度は、最高走速

度を用いてトレーニング効果やコンディションを評価する際に重要な視点の一つになるものといえよう。なお、これらの指標は、トレーニングによる影響と、測定時の体調や動機づけなどのコンディションの影響をともに受けるものであり、両者の影響を厳密に分けて考えることは困難である。したがって、本研究で得られた知見に対しては、測定以前のトレーニング状況や測定時のコンディションの影響を配慮する必要がある。

本研究では、この結果がトレーニング効果によるものかコンディションの相違によるものかを明らかにすることはできないが、一般に、鍛練期では、低強度・長時間トレーニングによって、乳酸性代謝閾値などの最大下能力の改善をおもなねらいとし (Tanaka et al., 1984 ; Pate and Branch, 1992)、これに対して試合期では、より強度の高いトレーニングによって、 $\dot{V}O_{2max}$ や無気的エネルギー供給能力などの最大能力の改善をおもなねらいとしている (Svedenhag and Sjodin, 1985 ; Pate and Branch, 1992)。このことを考慮すると、本研究の結果は、このようなトレーニング期分けの相違によって、最高走速度に影響する要因が異なってくる可能性を示すものと考えられる。

そこで本研究では、次に、試合期のトレーニングによる試合期前後での最高走速度の変化に影響する要因を明らかにするために、試合期前後における最高走速度の変化率と、Peak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動後の血中乳酸濃度の各変化率との関係について検討した。その結果、最高走速度の変化率と血中乳酸濃度の変化率との間のみ有意な正の相関関係が認められた (図3)。本研究では、平均値で見ると、最高走速度は維持されているが、血中乳酸濃度は低下傾向にあった (表1)。また、血中乳酸濃度は、被検者8名中5名は低下している

ことが認められた(図3)。これらの結果は、平均値で見ると、上述のような試合期でのトレーニングのねらいが達成されていないことを示すものであるが、個人ごとにみると試合期をとおして、最高走速度を維持または向上させている者は、無気的能力を維持または向上させていることを示すものと考えられる。

Svedenhag and Sjodin (1985) は、一流中長距離走者において、冬季鍛練期から試合期にかけて、漸増負荷走テスト後の血中乳酸濃度が有意に増加したことを認めている。彼らはこの理由として、試合期における高強度のトレーニングやレースなどによって生じるであろう筋中の解糖系能力の向上をあげている。また、長距離走パフォーマンスと無気的能力との関係に関する研究では、有気的能力が同レベルにある集団では、無気的能力の優劣が長距離走の成功を左右するとの報告もある(山崎と青木, 1977; Bulbulian et al., 1986; Houmard et al., 1991)。本研究の結果やこれらの知見は、長距離走パフォーマンスを高めるためには、有気的能力に加えて、無気的能力の改善が重要であることを示唆するものである。したがって、長距離走者のトレーニング効果やコンディションを漸増負荷走行テストを用いて評価する際には、 $\dot{V}O_{2max}$ のみに注目するのではなく、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、最高走速度と運動後の血中乳酸濃度、およびそれらと最高走速度との関係などについても注目すべきであると考えられる。なお、その際には、測定前に実施されたトレーニング内容や測定前後の競技成績を、これらの結果と関連づけて検討することが重要になろう。そのことによって、漸増負荷走行テストにおける最高走速度や $\dot{V}O_{2max}$ を含むさまざまな生理的指標のより有効な活用法が明確になるからである。

5. 要 約

本研究では、陸上競技の長距離走者を対象として、漸増負荷走行テスト ($\dot{V}O_2\text{max}$ テスト) において得られる最高走速度に影響する要因を明らかにするために、長距離走トレーニングの試合期前（鍛練期後）と試合期後において、最高走速度と同時に測定した有気的能力および無気的能力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、大学男子長距離走者8名を対象として、試合期前の4月と試合期後の7月に、トレッドミルによる傾斜0°での速度漸増負荷走テストを実施し、最高走速度と、Peak $\dot{V}O_2$ 、RER1.0での走速度と $\dot{V}O_2$ 、および運動後の血中乳酸濃度との関係について検討した。

おもな結果は以下に示すとおりである。

- ①漸増負荷走行テストにおいて達成される最高走速度は、試合期前ではRER1.0での走速度、試合期後では運動後の血中乳酸濃度との間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められた。
- ②試合期における最高走速度の変化率と運動後の血中乳酸濃度の変化率との間には、有意な正の相関関係が認められた。

上述の結果は、最高走速度に大きく影響する要因が、試合期前後で有気的能力から無気的能力へ移行することを示唆するものである。また、試合期において最高走速度を維持または向上させるためには、有気的能力に加えて、無気的能力の改善が重要になることを示唆するものである。