

高強度の走行中における無気的エネルギーの動員が 酸素摂取量に及ぼす影響

著者	佐伯 徹郎
著者別名	Saeki Tetsuro
内容記述	筑波大学博士（体育科学）学位論文・平成11年7月23日授与（甲第2212号）
発行年	1999
URL	http://hdl.handle.net/2241/6539

II. 文献研究

1. 長距離走運動の生理学的特性

これまで、持久的運動における無気的および有気的エネルギーの貢献度を、酸素負債量 ($O_2 \text{ debt}$) や酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を用いて検討してきた数多くの研究によって、中距離走 (800~1500 m) では、運動中の酸素需要量に対する $\dot{V}O_2$ と $O_2 \text{ debt}$ の割合から算出した無気的エネルギーおよび有気的エネルギーの割合が 5 : 5 ~ 6 : 5 (石河, 1962 ; Fox, 1979) 、 $\dot{V}O_{2\max}$ に対する割合では 100~115% $\dot{V}O_{2\max}$ (Brandon, 1995) であることが示されている。また、長距離走 (5000~10000 m) では、無気的エネルギーと有気的エネルギーの割合が 1 : 9 ~ 2 : 8 (石河, 1962 ; Fox, 1979) 、 85~100% $\dot{V}O_{2\max}$ (Costill, 1969 ; Davies and Thompson, 1979) であると報告されている。さらに、レース後の血中乳酸濃度の測定によって、中距離走では 15~20 mmol/L (Lacour et al., 1990b) 、長距離走では 10~15 mmol/L (Osnes and Hermansen, 1972 ; Svedenhag and Sjodin, 1984 ; 宮原ら, 1995) という値が報告されている。このように、中距離走では無気的エネルギーが、長距離走では有気的エネルギーが大きく貢献していることが明らかである。

しかし、有気的エネルギーの貢献度が高いとされている長距離走運動においても、中距離走と同レベルの血中乳酸濃度も認められ、無気的エネルギーの動員の高いことが示されている。また、Ramsbottom et al. (1992) は、トレッドミル走による 5 km タイムトライアルにおける生理的応答について報告しているが、その中で、血中乳酸濃度が 2 km を過

ぎたところすでに8 mmol/Lという高い値を示し、ゴール後では11 mmol/Lにも達することを示している。さらに、Mygind et al. (1994) は、一流クロスカントリースキー選手を対象として、13.75 kmの模擬レースにおける血中乳酸濃度と呼吸機能を測定した中で、血中乳酸濃度は、スケートイング走法では平均値で10.6 (7.1~18.1) mmol/L、クラシカル走法では9.2 (4.8~18.8) mmol/Lであることを報告している。彼らは、これらの血中乳酸濃度は非鍛練者のスキー選手 (5~7 mmol/L) と比較して高い値であるため、高いパフォーマンスを発揮するためには無気的能力の貢献が重要であると述べている。

以上のことから、有気的エネルギーの貢献度が大きいと言われている長距離走においても、無気的エネルギーの動員は比較的早い段階から高いことが明らかである。また、競技レベルが高くなると、無気的エネルギーの重要性が高まる可能性も考えられる。長距離走トレーニングの指導書では、おもにラストスパートに寄与する能力という点で、無気的能力の役割に関する記述が中心である(青木, 1976; 有吉, 1987; 永井, 1989)。しかし、上述のような長距離走における高い無気的エネルギーの動員を考慮すると、長距離走パフォーマンスに対する有気的エネルギーの貢献度だけでなく、無気的エネルギーの貢献度についても、これまで以上に着目することは意義あるものと考えられる。

2. 長距離走パフォーマンスと有気的能力との関係

長距離走では有気的エネルギーの貢献度が大きいいため、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研究は数多く行われている。その中でも、全身持久力の指標として一般的に最も広く用いら

れている $\dot{V}O_2\text{max}$ については、中長距離走のトラック種目からマラソンまでの記録との間に有意な相関関係のあることが認められている (Costill et al., 1973 ; Farrell et al., 1979 ; 山地, 1992) 。特に、 $\dot{V}O_2\text{max}$ は、一般に2～6分でexhaustionに至るような高強度の運動中に一過性に出現するために (Astrand and Saltin, 1961 ; 金原ら, 1973) 、運動時間が5～10分に近い1500～5000 m走のパフォーマンスと特に強い関係にあると考えられる。山地 (1990) は、中長距離種目およびマラソンと $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係を示す回帰方程式を算出し、相関係数の二乗である関与率 (R^2) でみると、1500 mの記録は $\dot{V}O_2\text{max}$ によって41.2%、5000 mでは51.1%、10000 mでは47.0%、マラソンでは22.4%の予測が可能であることを報告している。したがって、 $\dot{V}O_2\text{max}$ は、マラソンと比較して高強度であるトラック種目においてその重要性が大きくなるものと考えられる。このことは、Svedenhag and Sjodin (1984) が、5000-10000 m走者群は、マラソン走者群と比較して、体重当たりの $\dot{V}O_2\text{max}$ が有意に高いことを示していることから支持される。

しかし、比較的等質レベルにある競技者を対象とした場合、そのパフォーマンスと $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係が弱くなることも報告されている (Sjodin and Svedenhag, 1985 ; Joyner, 1991 ; Billat et al., 1994) 。そのために、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と同等かそれ以上に長距離走パフォーマンスに貢献する指標として、ある最大下走速度における定常状態にある $\dot{V}O_2$ として定義される走効率 (running economy : RE) や、過剰な乳酸蓄積が生じ始める運動強度として定義される無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold : AT) などの最大下の有気的能力が注目されている。

同じ $\dot{V}O_{2max}$ でも競技成績に差がある場合、または、競技成績が同じでも $\dot{V}O_{2max}$ に差がある場合は、その原因として、走効率に差があると考えられている (Costill and Winrow, 1970 ; Daniels, 1974 ; Conley and Krahenbuhl, 1980 ; 勝田ら, 1986 ; Pate et al., 1987 ; Noakes, 1988 ; Morgan et al., 1989 ; Baily and Pate, 1991) 。つまり、最大下走速度における走行中の $\dot{V}O_2$ が低い走者ほど走効率に優れ、そのことが長距離走パフォーマンスに寄与するというものである。

Conley and Krahenbuhl (1980) は、等質集団とみられる12名の長距離走者を対象として、走効率と10 km走の競技成績との間に有意な相関関係を認めている。また、勝田ら (1986) は、230および270 m/minでの $\dot{V}O_2$ (走効率) と長距離走の競技成績との間の有意な相関関係を認めている。さらに、Morgan et al. (1989) は、 $\dot{V}O_{2max}$ が同レベルにある走者の10 km走タイムは、 $\dot{V}O_{2max}$ と走効率の相互作用によって得られる $\dot{V}O_{2max}$ に相当する走速度 ($v\dot{V}O_{2max}$) と最も強い関係にあることを認めている。これらのことから、長距離走パフォーマンスにおいて、走効率を指標とした有気的能力に優れることは重要な要因の一つであるといえる。しかし、勝田ら (1986) は、310 m/minでの $\dot{V}O_2$ と長距離走パフォーマンスとの間には有意な相関関係を認めていないので、高強度の走速度における $\dot{V}O_2$ に関しては、走効率のみではなく、他の要因が関与していることも考えられる。また、Farrell et al. (1979) が3.2 kmのレースペースにおける $\dot{V}O_2$ が高い走者ほど優れたパフォーマンスを示していたことを認めていることから、高強度の走行では高い酸素摂取能力を発揮することが重要になってくるのかもしれない。

ATに関しては、換気量などの呼気ガス変量や血中乳酸濃度の閾値が存在するかどうか、またその判定の困難さなど、多くの問題点が指摘さ

れており、その概念に関する論議も多い（中村と山本, 1993）。しかし、ATは体力評価の指標としてさまざまな分野で有効に活用されていることから、ここでは、長距離走パフォーマンスとの関係にのみ着目した。

これまでの研究では、ATにおける酸素摂取量 ($\dot{V}O_2@AT$) と長距離走パフォーマンスとの間には強い相関関係が認められている (Farrell et al., 1979 ; Kumagai et al., 1982 ; Power et al., 1983 ; Tanaka et al., 1984 ; Yoshida et al., 1990) 。Costill et al. (1973) は、長距離走パフォーマンスの成功は、活動筋における乳酸蓄積をとまわずに高い割合で有気的能力を利用すること ($85\sim 90\% \dot{V}O_2max$)、および有気的エネルギーの経済的な利用能力に依存するものであることを示している。Maffulli et al. (1991) は、800~10000 mまでの走パフォーマンスとATとの関係を明らかにし、ATでの走スピードがより長いレース (5 km かそれ以上) での走スピードと強い相関関係があることを認めている。これらのことは、ATと長距離走パフォーマンスの間には密接な関係のあることを示すものであり、その中でも、距離や時間が長い種目ほど相関関係が高くなる傾向が認められている (LaFontaine et al., 1982) 。したがって、ATを指標とした有気的能力は、相対的により長い距離の走パフォーマンスにとって重要な要因になるとされている。

以上のことから、長距離走パフォーマンスにとって、有気的能力が重要であることは明らかである。その中でも、長距離走パフォーマンスの成功にとって、 $\dot{V}O_2max$ は前提条件として捉えられるようになってきているが、ATレベル ($\dot{V}O_2@AT$)、あるいはレースペース (Performance $\dot{V}O_2$: Coyle, 1995) におけるより高い酸素摂取能力が優れた持久力を示すことになっている。また、走効率に関しても、高い

$\dot{V}O_{2max}$ が前提条件になってこそ、次のステップとして、走効率を改善する（最大下強度での $\dot{V}O_2$ を低下させる）ことがトレーニング課題となりうるといえる。したがって、酸素摂取能力は、高強度持久的パフォーマンスにとっては、有気的能力の中でも重視すべき共通の要因であると考えられる。

3. 長距離走パフォーマンスと無気的能力との関係

第2節で示したように、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くあり、その重要性については、持久的トレーニングに関する研究および実践の両方の場において共通理解が得られている。一方、長距離走パフォーマンスに対する無気的能力の役割に関しては、ほとんど注目されていないようである。しかし、Bulbulian et al. (1986)は、「長距離走種目における主要なエネルギー系は有気系であること、高い $\dot{V}O_{2max}$ は長距離走の成功に対して前提条件となることなどは、よく受け入れられているが、無気的能力は、パフォーマンスや有気的能力において同質群にある持久的選手にとっては、その成功を分ける要因となりうるかもしれない」として、無気的能力の重要性について述べている。したがって、長距離走パフォーマンスと無気的能力との関係について検討することは意義あることと考えられる。

Bulbulian et al. (1986)は、有気的能力（ $\dot{V}O_{2max}$ 、VT、走効率）が比較的同レベルにあるクロスカントリー走者を対象として、Monod power test (Monod and Scherrer, 1965 ; Moritani et al., 1981) で評価された無気的能力が8 km走パフォーマンスに貢献することを示した。なお、Monod power testは、数段階の運動負荷をexhaustionまで行わ

せた時のパワー（走速度）－持続時間の直線関係（ $\text{パワー} = a + b \times \text{持続時間}$ ）における切片（a）を無気的能力の指標として、傾き（b）を有気的能力の指標として評価するものである。また、Houmard et al.（1991）は、比較的同じレベルにある5 km走パフォーマンスの予測因子として、垂直跳びや階段上りダッシュを用いた修正Margaria power test（Costill et al., 1968）の成績で評価される無気的能力が重要となることを示した。さらに、Noakes（1988）は、等速性自転車エルゴメーターにおける漸増負荷テストで達成される最高負荷が最も高い走者は、最も優れた脚筋力を有していることから、持久的パフォーマンスに無気的能力が関与することを示唆している。このことに関連して、Tanaka and Swensen（1998）は、持久的パフォーマンスに及ぼすレジスタンストレーニングの影響に関するレビューの中で、レジスタンストレーニングを実施したランナーは、各活動筋原線維からの力の貢献度を減らすこと、あるいはより少ない筋原線維によって、最大下の絶対的仕事率でより長く運動することが可能であることを示唆している。そして、その理由として、トレーニングによって速く、大きく、そして強くなった筋線維はより大きな力を産生できるようになることをあげている。これらの知見は、無気的トレーニングが、有気的パフォーマンスを高めることに貢献する可能性を示すものであると考えられる。

上述の研究は、長距離走パフォーマンスにとって無気的能力が重要となることを示唆するものであると考えられる。しかし、これらの研究は、おもに筋力や無気的パワーを指標としたものであり、無気的エネルギー供給能力に関する記述は少ない。第1節で示したように、長距離走パフォーマンスにおいて無気的エネルギーの動員が高いことを考慮すると、血中乳酸濃度や O_2 debtなどを指標とした研究も必要であると考え

られる。

これまで、長距離走者の酸素負債能力に関する報告では、競技パフォーマンスとの関係をみたものは少なく（Katch and Henry, 1972；山崎と青木, 1977）、中距離走者と長距離走者の比較（満園ら, 1985）、あるいは他の競技者との比較（黒田ら, 1973）などから、長距離走者の特性を示すことにとどまっているものが多い。その中でも、山崎と青木（1977）は、同一水準の $\dot{V}O_2\max$ を有しながら、競技成績の異なる長距離走者を対象とした場合、高い競技成績を有する走者の最大酸素負債量が高いことを示している。このことは、長距離走パフォーマンスに、無気的能力が重要であることを示すものであると考えられる。一方、血中乳酸濃度に関しては、長距離走パフォーマンスとの関係について検討したものはみられず、今後のデータの蓄積が期待される場所である。

以上のように、長距離走者における無気的能力に関する研究は少なく、実際のトレーニングにおいても、無気的能力の役割について豊富に記述したものは少ないようである。

長距離走トレーニングの指導書における無気的能力に関する記述をみると、「中・長距離種目において、酸素負債能力の高い選手は、短距離的なスピードに富み、追い込まれた状態でもスピードの変化にすばやく対応できたり、ラスト・スパートが利く選手である」（永井, 1989）、
「ラストスパートのエネルギーは主として無酸素的なエネルギー、長距離レースは大部分有酸素的なエネルギーを使用することから、ラストスパートに必要なエネルギーはほとんど使われていないのです」（有吉, 1987）、などのように、長距離走における無気的能力は、おもにラストスパートに寄与する能力と捉えられ、より積極的にパフォーマンスに寄与する能力とは考えられていないようである。

しかし、Noakes (1991) は、「short-distance races (800~1500 m) に適した最も良質の筋を持つランナーは、最長距離に至るまでのどのような長距離レースにも最適な筋の持ち主である。したがって、スピードと持久力の両者は、生理学的に別の存在ではなく、密接に関係したものである。… (中略) トレーニングを積んだ長距離ランナーの中で、どんな長い距離でも最高の成績をあげ得るランナーは、800~1500 m、あるいはさらに短い距離をも速く走れることのできるランナーであると私は推測する」(p38)、「偉大なランナーの多くは、マラソンやウルトラマラソンに引き付けられる前に、より短い距離で成功していた。… (中略) 高地で1マイルを最も速く走る(3'55"4) Matthews Temane が21.1 kmの世界最高記録(60'11")を持っていても不思議はない(注: 1987年時点)。… (中略) つまり、もし1マイルか10000 mでこれらのランナーたちに勝つことができなかつたならば、他のどんな長い距離、たとえ700 kmであっても彼らに勝つことはできないということである」(pp358-359)、などと述べており、長距離走者におけるスピード能力の重要性を示唆している。しかし、Noakesは、このことについて、無気的能力などのエネルギー系体力に関する実証的なデータを示していない。

以上のことから、数少ない研究ながら、長距離走パフォーマンスにおける無気的能力の重要性が示唆されている。しかし、実際の長距離走トレーニングにおける無気的能力の役割としては、Noakes (1991) を除くと、おもにラストスパートに対する貢献にのみ着目されており、より多くのエネルギー量の獲得という視点はみられない。第1節で示されたように、長距離走運動においても無気的能力の動員は高いので、その影響を明らかにする必要があると考えられる。また、そのこと

によって、Noakes (1991) の長距離走者におけるスピード能力の重要性を支持する知見が得られることが期待される。

4. 無気的能力と有気的能力との関係

これまで示してきたように、長距離走パフォーマンスにとって、有気的能力は最も重要な要因であり、かつ無気的能力も無視できない要因であるといえる。しかし、この両者は、ともに高いレベルで両立させることが難しい能力であると考えられる。したがって、長距離走トレーニングにおける目標設定、計画立案の際には、無気的能力および有気的能力の相互関係を考慮しなければならないであろう。

Crielaard and Pirnay (1981) は、トップレベルにある短距離走者からマラソン走者までを対象として、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と自転車エルゴメーターによる非乳酸性無気的能力との間に負の相関関係を認めた。この結果は、高度に専門的トレーニングを積んでいる競技者にとっては、有気的能力と無気的能力を高いレベルで両立することが困難であることを示すものと考えられる。その他にも、筋力・パワー系競技者と持久的競技者の無気的能力と有気的能力とを比較した多くの研究 (Margaria et al., 1966 ; 黒田ら, 1973 ; Komi et al., 1977 ; Rusko et al., 1978 ; Schnabel and Kindermann, 1983) からも、この両者の能力は負の関係にあるといえよう。

しかし、Weltman et al. (1978) は、40秒間全力ペダリングを10分間の休息をはさんで2セット行う無気的能力トレーニングを週3回、6週間実施したところ、無気的能力および有気的能力ともに向上したことを認めている。このことは、上述のように高いレベルにある個人間で無気的能力

力と有気的能力との関係をみると負の関係にあるが、個人内でみると両者間には正の関係があり、無気的能力を高めることによって有気的能力も高まる可能性を示唆するものである。ただし、この研究では一般成人女性を対象としているので、この結果には体力レベルの低さを考慮しなければならないであろう。さらに、Saltin et al. (1976) は、男性の被検者を対象とした4週間の片脚スプリントトレーニングによって、トレーニング脚における酸化酵素の一つであるSDHの活性レベルが有意に増加し、両脚での $\dot{V}O_2\text{max}$ も10%程度増加したことを報告している。また、Dawson et al. (1998) は、30~80 mの反復スプリントトレーニングを週3回、6週間実施し、スプリントパフォーマンスとともに、速筋線維の割合(%Type II)、解糖系酵素活性などが増加するなどの無気的能力の改善を認めている。さらに、その中で彼らは、有気的能力の指標である $\dot{V}O_2\text{max}$ も向上したことを示し、スプリントの反復による無気的なトレーニングであっても、間接的に有気的エネルギー供給能力に刺激を与えていたのだらうと述べている。これらのこともまた、無気的トレーニングの効果の一つとして、有気的能力が高まる可能性を示唆するものである。このように、間接的ではあるが、無気的能力の改善が有気的能力の改善に貢献するという可能性が考えられる。

ところで、一般に有気的持久力の重要な指標として用いられている $\dot{V}O_2\text{max}$ は、約2~6分間でexhaustionとなる無気的・有気的な最大運動において一過性に出現する(Astrand and Saltin, 1961 ; 金原ら, 1973)。Skinner and Morgan (1985) は、Osnes and Hermansen (1972) およびKinderman and Keul (1977) のデータをもとに、2~8分間の最大運動では10~15 mmol/lの血中乳酸濃度が出現することを模式的に示している。このことは、 $\dot{V}O_2\text{max}$ は無気的エネルギーの動

員が高い条件下で出現することを示すものであると考えられる。

このような $\dot{V}O_{2max}$ の出現条件を考慮すると、 $\dot{V}O_{2max}$ と無氣的エネルギーの動員との関係について検討することも重要であると考えられる。なぜならば、運動中の無氣的エネルギーの動員が高まると、血中乳酸の蓄積が生じ、血中pHの低下や血中CO₂の増加などを招き（Edington and Edgerton, 1983；青木, 1989）、長時間の運動を不可能とするが（Sahlin, 1986；Metzger and Moss, 1990）、一方では、pHの低下やCO₂の増加はBohrの効果によって、筋および肺においてヘモグロビンからの酸素の遊離を促進するからである（Edington and Edgerton, 1983；青木, 1989）。すなわち、無氣的エネルギーの動員が高まることにより、筋における酸素取り込み能が向上する可能性も考えられる（Stringer et al., 1994）。

山地（1992）は、運動様式からみた $\dot{V}O_{2max}$ の限定要因についてレビューしている中で、自転車駆動における $\dot{V}O_{2max}$ の限定要因は、トレッドミル走と比較して、静脈環流量（venous return）の制限にともなう心拍出量の減少、活動筋への酸素供給の不足によるものであるとの考えを示している。また、水泳とトレッドミル走を比較した場合は、十分トレーニングを積んだ泳者では、活動筋への酸素供給の不足が $\dot{V}O_{2max}$ の限定要因になることも示唆している（山地, 1992）。これらのことは、酸素供給の不足に対する耐性、すなわち無氣的能力の優劣が、 $\dot{V}O_2$ の限定要因になることを間接的に示唆するものと考えられる。また、吉田（1989）は、運動開始時の $\dot{V}O_2$ の動態に関するレビューの中で、持久的トレーニングによって $\dot{V}O_2$ 応答が速くなるのは、酸素輸送量の変化ではなく、筋細胞での酸素の取り込みが促進された結果であることを示唆している。そして、Roca et al.（1989）は、筋での酸素拡散能

が $\dot{V}O_2$ を制限していることを報告している。これらのことは、無気的エネルギーの動員の高いことが筋での酸素取り込み能を促進するならば、その結果として $\dot{V}O_2$ が増大する可能性を示すものであると考えられる。

さらに、このような可能性を支持する研究として、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。このことから、運動中に乳酸をより多く蓄積できることは、筋での酸素取り込み能を向上させ、結果として酸素摂取能力を高める可能性が考えられる。また、Gaesser and Poole (1996) は、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。

以上のことから、無気的エネルギーの増大が $\dot{V}O_2$ の増大に寄与するという可能性、すなわち、無気的能力に優れることが高い有気的能力を発揮するために貢献している可能性が考えられる。このことは、Svedenhag and Sjodin (1985) が、高強度トレーニングが中心となるインシーズン中において、最も高い $\dot{V}O_{2max}$ および血中乳酸濃度を認めていることから考えられる。この他にも、試合期における高強度の運動負荷によって $\dot{V}O_{2max}$ が増加することを認めた研究がある (Wilcox and Bulbulian, 1982 ; Hagerman and Staron, 1983 ; Conley et al., 1984) 。したがって、無気的能力に優れることは、有気的エネルギー、無気的エネルギーともに高い動員を必要とする走パフォーマンスにおいて、無気的エネルギーだけでなく、有気的エネルギーをも多くできるという視点から有利になるものと考えられる。しかし、このような視点から、無気的エネルギーと有気的エネルギーとの関係を明らかにした研究

はみられない。また、最初に述べたように、無気的能力と有気的能力との関係には、対象者の体力レベルが影響している可能性がある。したがって、この両者の関係を検討する場合には、被検者の無気的能力および有気的能力の優劣の相違を考慮する必要があると考えられる。

5. 中距離走者と長距離走者の体力特性の相違

これまでのいくつかの研究により、中距離走者（800-1500 m）と長距離走者（5000 m以上）の体力特性の違いが明らかにされてきている（Crielaard and Pirnay, 1981 ; Taunton et al., 1981 ; Shnabel and Kindermann, 1983 ; Svedenhag and Sjodin, 1984 ; Scott et al., 1991）。中距離走者は、1～3分程度の最大運動後の最大血中乳酸濃度（Shnabel and Kindermann, 1983 ; Lacour et al., 1990b）やMAOD（maximal accumulated oxygen deficit）（Scott et al., 1991）、最大酸素負債量（阿久津と杉, 1964 ; 黒田ら, 1973）、短時間高強度のトレッドミル走によるexhaustion時間（Mckenzie et al., 1982 ; Shnabel and Kindermann, 1983）などからみた無気的能力に優れていることが示されている。

一方、長距離走者では、 $\dot{V}O_2\max$ （Crielaard and Pirnay, 1981 ; Taunton et al., 1981 ; Svedenhag and Sjodin, 1984）、AT（Power et al., 1983 ; Svedenhag and Sjodin, 1984 ; Tanaka et al., 1984）、走効率（Conley and Krahenbulk, 1980 ; 勝田ら, 1986）、走行中の酸素摂取水準（ $\% \dot{V}O_2\max$ ）（Costill et al., 1973 ; Svedenhag and Sjodin, 1984）などからみた有気的能力に優れていることが示されている。

上述のように、中長距離走者におけるエネルギー系体力の優劣の相違が明らかにされているが、その中でも、 $\dot{V}O_{2max}$ に関しては、両者ともに高いレベルを必要とする体力要因の一つであると考えられる。Brandon (1995) は、一流の中距離および長距離走者は、ともに高い $\dot{V}O_{2max}$ を有しているが、その重要性は異なるものであり、長距離走での成功は、さらに、優れた走効率および高い $\% \dot{V}O_{2max}$ の利用能に依存するものであると述べている。このように、同一の $\dot{V}O_{2max}$ を有していても、中距離走者と長距離走者とに分かれる理由として、無気的能力、走効率、酸素摂取水準などの優劣の差があげられる。

その中でも、長距離走者は、短距離および中距離走者と比較して、最大血中乳酸濃度を指標とした無気的能力に劣ると評価されている (Schnabel and Kindermann, 1983)。しかし、Scott et al. (1991) は、約2～3分の超最大トレッドミル走テスト後の血中乳酸濃度に、スプリンター、中距離走者、長距離走者の間に有意な差はないことを認めている。また、矢野 (1985) は、短距離、中距離、長距離の各走者を対象として、自転車エルゴメーターでの漸増負荷運動のexhaustion後の血中乳酸濃度において有意差を認めていない。これらのことを考慮すると、長距離走者は、短距離や中距離走者と比較して、無気的能力の絶対的レベルとしては劣るかもしれないが、その差は少なく、また運動時間が長くなるとさらにその差が縮まることが考えられる。したがって、これらのことは、長距離走者においても、高い無気的エネルギー供給能力が必要であることを示唆するものと考えられる。そこで次に、このような無気的エネルギーと、長距離走では最も重要となる有気的エネルギーとの関係からみた中長距離走者の相違についてまとめた。

金原ら (1973) は、一流中長距離走者が身につけている全身持久性の

構造的特性を実験的に検討した。その結果、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一つの条件になる可能性をあげている。その機序としては、乳酸蓄積にともなうアシドーシスによって、Bohr効果が生じ、結果として筋での酸素取り込み能が向上することが考えられる (Stringer et al., 1994)。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における無氣的能力の重要性が大きいことを考えると、このことは、より無氣的能力に優れることがより高い $\dot{V}O_{2max}$ を出現させている可能性を間接的に示すものと考えられる。さらに、Coetzer et al. (1993) は、長距離レースに優れる黒人ランナーと中距離レースに優れる白人ランナーの生理的特性を比較した中で、長距離タイプの黒人ランナーと比較して、中距離タイプの白人ランナーは、同一の血中乳酸に対して高い $\dot{V}O_2$ を出現させていることを示している。このことは、中距離タイプのランナーは無氣的エネルギーの動員が同レベルにあっても、高い $\dot{V}O_2$ を獲得できる可能性を示すものと考えられる。

これらの知見は、無氣的エネルギーと有氣的エネルギーとの関係からみた中距離走者および中距離型の長距離走者の特性として、高い無氣的エネルギーの動員が $\dot{V}O_2$ を高める可能性を示すものと考えられる。

以上のような中距離走者と長距離走者の特性の相違から、有氣的能力は中距離走者と長距離走者ともに重要であり、かつそのレベルにも大きな差はみられないが、前者は後者と比較して無氣的能力に優れることが

明らかにされている。しかし、長距離走者であっても、運動時間が長くなると中距離走者と同レベルの無氣的エネルギーを動員している可能性がある。また、中距離型の走者は、高い無氣的能力によって高い $\dot{V}O_2$ の獲得に有利な働きをしている可能性が示されている。したがって、第1、3、4節で示したような長距離走における無氣的エネルギーの重要性や、無氣的能力と有氣的能力との関係について検討する際には、中長距離走者の特性の相違を考慮する必要があるものと考えられる。

以上の文献研究から、長距離走において無氣的エネルギーの動員の高いことが明らかであり、また、長距離走パフォーマンスに対して無氣的能力が貢献する可能性が考えられる。また、無氣的エネルギーの動員が有氣的エネルギーに対して何らかの影響を及ぼすことが予想される。さらに、そのような影響には、中長距離走者の特性が反映される可能性がある。しかしながら、これらのことについて直接検討した研究はみられない。