

昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XI スポーツ選手のA Tに関する研究

——第4報 競歩選手のL T——

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



# 昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No. XI スポーツ選手のATに関する研究

### —第4報 競歩選手のLT—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

伊藤 静夫 黒田 善雄 塚越 克己  
雨宮 輝也 金子 敬二

#### 1. 目 的

競歩は、競技規則でいずれかの足が常に地面に着いていなければならない。また支持脚はまっすぐになっていて膝が曲ってはならない、と規程されている。このように制限された動きのなかでスピードを競うことから、競歩選手には通常の歩行動作とは異なる特殊な「競歩技術」の習得が必要となる。

一方、競歩種目は5,000mから50kmと幅広い。オリンピックでは20kmと50kmが実施されているが、競技時間は20kmで1.5～2時間、50kmで4～5時間にも及ぶ。当然、競歩選手には高い有酸素的作業能が要求されてくる。

競歩は、動作様式では通常歩行とランニングの中間にあって、優れた技術と高い有酸素的作業能の両面を同時に要求されている。したがって、スポーツバイオメカニクスの視点からも、またスポーツ生理学の観点からも極めてユニークであり興味深い研究課題である。しかしながら、これまでに競歩を対象にした研究報告は、必ずしも多くない。

そこで本研究では、競歩の競技能力を決定づけ

る生理的要素ならびに技術的要素の解明を試みた。生理的要素としては、有酸素的作業能を中心に、特に $\dot{V}O_2\max$ 及びLT(Lactate Threshold)をとり上げた。技術的要素としては競歩効率をとり上げ、submaximalスピードにおける $\dot{V}O_2$ の大小で評価した。また、60分間トレッドミル競歩時の血中乳酸の動態から、乳酸の定常状態の成立する条件についても検討を加えた。さらに、以上の測定結果から、競歩記録の推定及び至適トレーニング強度の究明を試みた。

#### 2. 方 法

##### (1) 被験者

被験者には、高校生から日本のトップクラスの選手までが所属している東京都内の某競歩クラブ員9名(16～38歳)を対象にした。

##### (2) LTテスト

$\dot{V}O_2\max$ 、LTおよび競歩効率を測定するため、以下のトレッドミルテストを実施した(図1-A)。

120～260m/minまでの8～10種類のスピードを、2日間に分け、断続的に漸増負荷した。第1段階の最も遅いスピード(120ないし140m/min)の

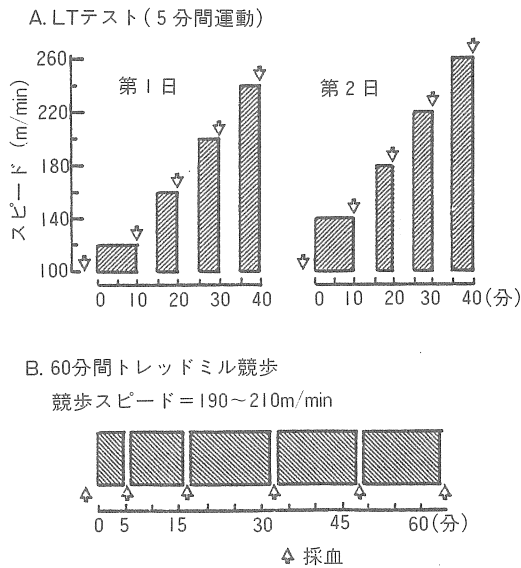


図1 測定プロトコール

運動時間だけ10分間とし、第2段階からスピードを40m/min (あるいは20m/min) ずつ漸増し、それぞれの運動時間を5分間とした。運動時間を5分間にした理由は、各々の submaximal 負荷において、定常状態が十分得られる時間であると考えたからである。第1日に4ないし5種類のスピードを行い、1~3日後に第1日のそれぞれのスピードの間をうめるように、やはり4~5種のスピードで実施した。ただし、各被験者の最高スピード (220~260m/min) においては、5分間の競歩が不能となっており、途中で運動を中止している。

運動終了前2分からダグラスバッグで1分間ずつ採気し、各スピードごとの  $\dot{V}O_2$  を求めた。ただし、各被験者の最高スピード付近の負荷条件では、運動開始から連続採気している。こうして求めた  $\dot{V}O_2$  のうち、各被験者の最高値を  $\dot{V}O_{2max}$  とした。また競歩効率は、一定の submaximal スピード時の  $\dot{V}O_2$  の大小で評価した。

運動直後耳朶から毛細管で20 $\mu$ l 採血し、ロッシュ社製ラクテートアナライザ-640で血中乳酸濃度を測定した。

### (3) 60分間トレッドミル競歩

乳酸の定常状態の成立条件を検討する目的で、60分間のトレッドミル競歩を実施した (図1-

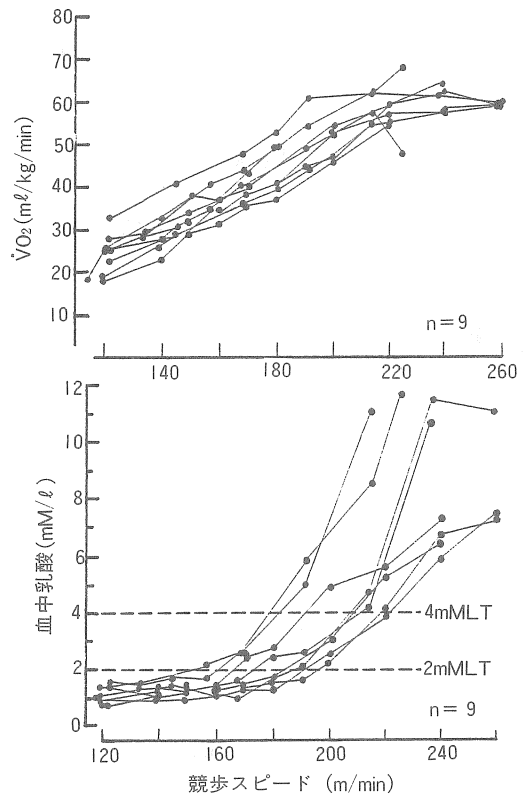


図2  $\dot{V}O_2$  及び血中乳酸の測定結果

B)。LT テストを実施した9名の被験者のうち5名に対し、本測定を行った。トレッドミルスピードは、LT テストで求めた乳酸2~4mMに相当するスピード (190~210m/min) を個人ごとに設定し、各被験者につき1~4種類行った。本測定は、1日1回を限度とし、間に2~3日の間隔を置いて実施した。

採気は5分ごとに1分間行い、採血は5、15、30、45、60分時に1分間運動を中断して行った。

## 3. 結果と考察

### (1) $\dot{V}O_{2max}$ と LT

一流競歩選手について、トレッドミル競歩で測定された  $\dot{V}O_{2max}$  の報告例をみると、おおむね60~65ml/kg/minの範囲にある<sup>1),5),8)</sup>。本研究の被験者の  $\dot{V}O_{2max}$  は61.0 $\pm$ 3.5ml/kg/minであり、これまでの報告値の範囲内のものであった。また、競歩選手の  $\dot{V}O_{2max}$  を競歩とランニングで測定し

比較した例では、ランニングでわずかに高い値を示すものの、顕著な差はないと報告されている<sup>8)</sup>。したがって競歩選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、同じ持久的競技種目でも、長距離・マラソンやクロスカントリースキーなどに比べ10~15%低い値をとるものと思われる。

次に、測定前3ヶ月以内に20kmの公式記録を有する被験者6名について、この記録と $\dot{V}O_2\text{max}$ 及びLTとの関係をみた。 $\dot{V}O_2\text{max}$ との間には、 $r=0.417$ で有意な相関関係がみられない。これに対し、LT2mMのスピードでは $r=0.894$  ( $p<0.05$ )、LT4mMのスピードでは $r=0.824$  ( $p<0.05$ )でともに有意な相関関係が認められた。Hagbergら<sup>7)</sup>も8名の競歩選手について、20kmの記録と $\dot{V}O_2\text{max}$ の間では、相関関係がみられないが、LTスピード(40~60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 運動負荷時から乳酸が1mM上昇したときのスピード)の間では $r=0.94$ と高い相関関係が認められる、と報告している。

$\dot{V}O_2\text{max}$ は有酸素的パワーの最大値を表わし、有酸素的作業能の有力な指標であることについては異論のないところである。しかし、近年AT(Anaerobic Threshold)の測定が盛んに行われるようになり、 $\dot{V}O_2\text{max}$ よりむしろATの方が競技能力に密接に関連しているとする報告が多くみられるようになってきている。これは、長距離、マラソンをはじめとして、submaximalな運動を長時間継続する競技では、最大運動量で評価する生理的指標より、ATのようなsubmaximal運動で評価する生理的指標がより有用であることを物語っている。

Hagbergら並びに本研究の測定結果から、競歩ではさらにこの傾向が顕著に表われていると言えよう。すなわち、競歩選手の最大有酸素パワーは長距離・マラソン選手ほどには高くなく、また最大有酸素パワーの大小は競技成績に直接影響しない。そして、競歩では最大有酸素パワーの大きいことよりも、むしろ一定の有酸素的パワーをいかに維持できるかという、いわゆる酸素摂取水準の維持能力がより強く求められるものと推察される。

さらに、 $\dot{V}O_2\text{max}$ とLTとの関係についても検討してみる(図3)。本研究の被験者9名の $\dot{V}O_2$

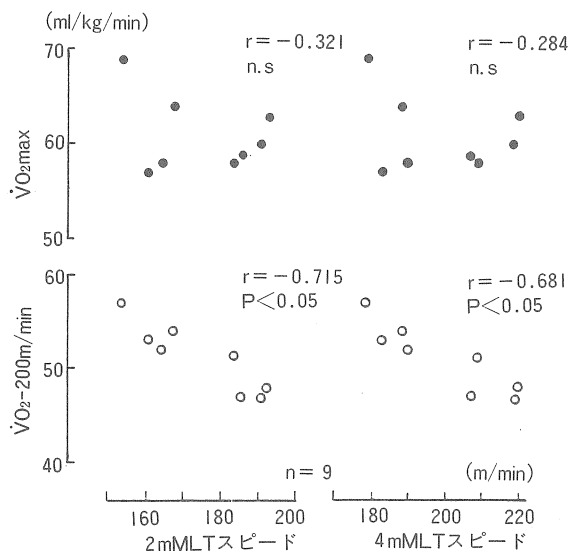


図3 LTスピードと $\dot{V}O_2\text{max}$ 及び競歩効率との関係。競歩効率は200m/min時の $\dot{V}O_2$ で表わした。

$\text{max}$ とLTスピードとの関係では、2mMLTで $r=0.321$ 、4mMLTで $r=0.284$ といずれも有意な相関関係はみられない。 $\dot{V}O_2\text{max}$ とATは、ともに有酸素的作業能の有力な指標であり、一般に両者の間には高い相関関係が認められる<sup>21),22)</sup>。本研究で有意な相関関係が認められなかったのは、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の比較的均質な集団を対象にしたことも一因であろうが、両者の背景を成す生理的機構がある部分で異なっていることを示唆するものと考えられる。 $\dot{V}O_2\text{max}$ が呼吸・循環系を背景とする酸素運搬能力を強く反映しているのに対し、LTは筋繊維組成<sup>3),20)</sup>、酵素活性<sup>16)</sup>、毛細血管密度<sup>20)</sup>など末梢組織の代謝とより密接に関連しているものと考えられる。

したがって、優れた競歩選手とは、酸素運搬能にはそれ程差がなくとも、活動筋などでのエネルギー産生の「効率」に優れているのではないだろうか。それ故、同一スピードで歩いてより少ない血中乳酸値になるのであろう。

## (2) 競歩効率とLT

次に、LTと競歩効率(200m/minでの $\dot{V}O_2$ )との関係をみると(図3)、2mMLTスピードとの間で $r=0.715$  ( $p<0.05$ )と有意な相関関係が認められる。また、4mMLTスピードでも $r=0.681$  ( $p<$

0.05) でやはり有意な相関関係が認められた。

本被験者の LT と  $\dot{V}O_2\max$  が相関しない(図3) ことから、競歩選手の LT は、 $\dot{V}O_2\max$  の大小より、競歩効率の良否により強く関連しているものと推察される。LT は筋などの末梢組織での代謝の“効率”を反映しているのではないかと、ということについてはすでに考察した。加えて、バイオメカニクスの“効率”も LT に影響を及ぼす重要な因子の一つではないだろうか。つまり、競歩競技では生理的にも、また物理的にも一定のエネルギーを効率的に産生し続けることが重要で、このことが競歩の記録を決定づけているものと推察する。先の Hagberg ら<sup>7)</sup>の実験でも、20km の記録と競歩効率 (10km/hr での  $\dot{V}O_2$ ) では  $r = -0.89$  の高い相関関係をみており、上記の考え方を支持する成績といえよう。

ただし本研究においては、競歩記録と競歩効率との間で有意な相関関係が得られなかった。ランニングについても、記録と走効率の間で相関をみているものと<sup>2)</sup>、そうでないもの<sup>3),14)</sup>とに二分される。本研究で相関関係のみられなかった原因として、例数が少なかったこと、記録の幅が小さかったこと、さらに対象となった競技会が二つで環境条件が異なっていた、などが上げられる。今後、より測定条件を限定した上で検討する必要がある。

### (3) 血中乳酸の定常状態

LT は、submaximal 運動時の血中乳酸動態から持久性を評価する尺度の総称である。ところでこの“submaximal 運動”の負荷設定方法については、短時間 (1~2分) の運動負荷を連続的に漸増させる方法と、3~10分間の定常状態の成立する運動を断続的 (あるいは連続的) に漸増させる方法とがある。

今日、LT の測定に当っては、後者の定常運動を負荷する方法が一般によく用いられている。

今回、我々は競歩を研究の対象とした。競歩の競技時間は、オリンピック種目 (20, 50km) で数時間に及ぶ。このような長時間の運動における競技能力を評価する目的から、やはり定常状態の成立し得る運動を負荷し、LT を判定することが妥当であると考えた。そこで、本研究では5分間の定常運動を2日間に分け、断続的に漸増負荷したの

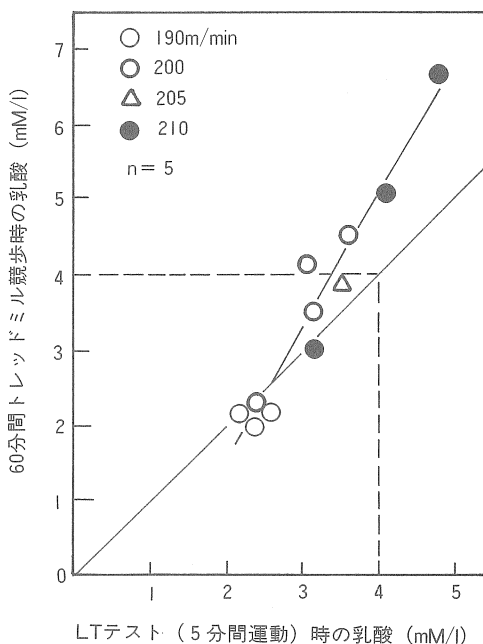


図4 LTテスト時と60分間トレッドミル競歩時の血中乳酸の比較。60分間トレッドミル競歩時の血中乳酸は、5回の採血の平均値とした。

である。

しかしながら、LT 測定に用いられる定常運動の継続時間は、短いものでは3~4分<sup>10),15)</sup>、長くとも10分間<sup>7),12)</sup>である。これが、マラソンや競歩のような長時間運動時の血中乳酸の動態をどれほど反映しているかという点については、十分な検討がなされているわけではない。ごく最近になって、ランニングを対象にこの問題に関する研究がみられるようになってきた。

そこで今回、我々は競歩についてこの血中乳酸の定常状態成立条件を検討した。5名の被験者について、LT2~4mMに相当するスピード(190~210 m/min)で、1被験者につき1~4種類の60分間トレッドミル競歩を実施した(図4)。図4の横軸にはLT測定時の血中乳酸濃度、縦軸には60分間競歩時における個人の平均乳酸値(5回採血)をとり、各スピードごとにプロットした。ここで、LTテスト時の乳酸値も60分間競歩時の乳酸値も等しく、60分間にわたって定常状態が形成されていれば、 $Y=X$ の線上にプロットされることになる。

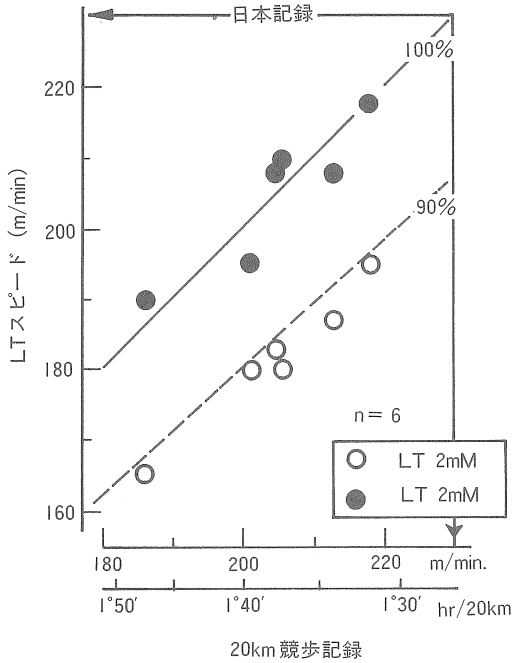


図5 20km競歩記録とLTスピードとの関係

190, 200m/minのスピードでは、血中乳酸値も2~2.5mMで確かにY=Xの線付近にプロットされている。しかし、血中乳酸濃度が3~4mMあたりを境にして、60分間競歩時のものがLTテスト時のものを上回るようになる。すなわち、LTテストで乳酸3~4mM相当スピードを越えると、長時間競歩では乳酸の定常状態を維持することが困難になってくるのがわかる。したがって本測定結果からは、競歩運動の乳酸の定常状態成立の上限は3~4mMあたりであると推定される。

なおランニングについては、Heckら<sup>9)</sup>が25分間走でやはり4mMを血中乳酸の定常状態の上限と報告している。また、Nagle<sup>13)</sup>も40分間ランニングの測定から、同様の結果を示している。運動様式にかかわらず、おそらく4mMあたりが乳酸の定常状態成立の上限であろうと思われる。

(4) LTと競技記録

LTは生理的パラメータで表示されたり、あるいは物理的パラメータで表示されたりと、さまざまである。スポーツの現場での活用を目的とする場合には、 $\dot{V}O_2$ あるいは% $\dot{V}O_2$ maxなどの生理的パ

ラメータよりも、そのスポーツ種目に直結する物理的尺度、例えば走スピード、水泳スピード、あるいは競歩スピードなどで表現する方が、より理解しやすいのではないかと考える。さらに、LTスピードが競技記録やトレーニング強度とどう関連するかを明らかにすることによって、測定結果のより一層の活用が可能になるのではないかと思う。

そこでこのような観点から、本研究の20kmの記録とLTスピードとの関係を検討してみた。図5は、横軸に20km競歩のレーススピード、縦軸にLTスピードをとり、個人ごとにプロットした。図中の実線はY=Xの関係、すなわち20kmのレーススピードとLTスピードが合致することを示す。図中の破線は20kmのレーススピードより10%低いスピードを表わした。すると、まずLT4mMのスピードが20kmレーススピードであるY=Xの実線付近にプロットされていることがわかる。先の図4では乳酸3~4mMが定常状態成立の上限であることを推定したが、このスピードが20km競歩の記録に相当してくることになる。換言すれば、20kmの記録から個人のLTスピードを予測できる。

ところで走種目については、LTと競技記録との関係が数多く報告されているので、主なものを図6にまとめて示した。また、競歩については、Hagbergら<sup>7)</sup>のもの和本研究結果をプロットした。なお、レースペースはOBLA(4mM乳酸)スピードおよびMSS(およそ2~2.5mM乳酸)スピードに対する割合で表示している。報告値はいずれも測定方法が異なり、直接の比較はできないが、本図から競技時間とレースペース、LTスピードの全体的傾向をうかがい知ることではできると思う。

本研究の競歩選手のLTスピードに対する競技記録の比は、ランニングの成績に比べ相対的に高い傾向にある。一方、Hagbergら<sup>7)</sup>の競歩選手についての報告値(MSS)では、走種目の中間的なところにプロットされている。したがって、本研究の競歩とランニングとの違いが種目特性を表すとは言い難い。また、走種目の中でもLTスピードに対する記録の比には、かなりの幅がある。この幅には、対象選手の競技能力の差が関与していることはいうまでもない。またFöhrenbachらも指摘しているように、測定方法上の違いも影響してい

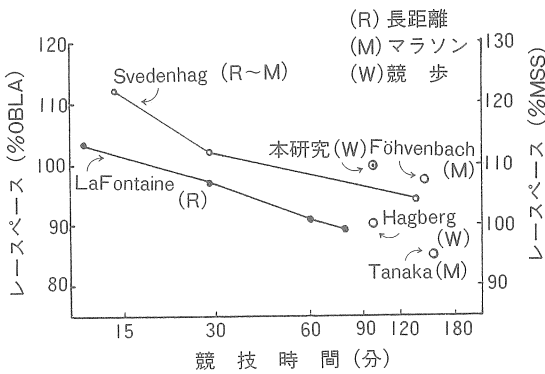


図6 競技時間とレースペースとの関係  
レースペースはOBLA(乳酸4mM)スピード及びMSS(2mM乳酸)スピードに対する比で表わした

るだろう。LTスピードの活用を考えれば、測定方法の統一化あるいは測定値の標準化が望まれるところである。

ここで図6から、やや大胆ではあるが、競技時間に応じて、LTスピードから記録を規定化してみる。競技時間が1時間前後の種目では、競技記録はLT4mM(OBLA)スピードに相当し、2時間余の競技ではLT2mM(MSS)スピードに相当する。競歩の20kmは、この中間で、LT3~4mMスピードが競技記録になる。先述のとおり、乳酸の定常状態成立の上限のスピードとも合致することになる。

#### (5) LTとトレーニング強度

至適トレーニング強度の究明は、現場の選手やコーチはもとより、研究者にとっても極めて興味深い。近年、ATと関連づけてトレーニング強度が論じられるようになってきた。Sjödinら<sup>16)</sup>は、中長距離ランナーに対し、日々のトレーニングメニューに4mMLTスピードでの20分間トレッドミル走を加え、1週に1度、14週間にわたって実施した。その結果、 $\dot{V}O_2\max$ が変化しないのに対し、LTスピード及び酵素活性に向上がみられたという。Tanakaら<sup>19)</sup>も同様に、AT(>2mM乳酸)スピードで60~90分間のランニングを週少なくとも2回、4カ月にわたって通常のトレーニングに加えた。その結果、AT及びperformanceに効果があったと報告している。またHeckら<sup>9)</sup>は、M.

Noackの興味ある観察結果(未発表)を紹介している。女子一流長距離ランナーを対象に、4.5mM乳酸のスピードで20~30週間トレーニングしたが記録に向上がみられなかった。そこから、トレーニングの量を変えずに、スピードを4.5mM乳酸から3.5mM乳酸相当スピードに落したところ、ATと記録の向上をみた、と述べている。他方Föhrenbachら<sup>4)</sup>は、女子マラソン選手の通常のトレーニングスピードを調べたところ、乳酸およそ1mM相当スピードに過ぎなかった。このスピードは、55~65% $\dot{V}O_2\max$ に相当し、 $\dot{V}O_2$ に対する乳酸比が最小となるスピードだからこそ1日に25~30km(週150~200km)の距離をこなすことが可能になると述べている。

以上みたように、LTから至適トレーニング強度を求める基準も多様である。トレーニング強度については、当然トレーニングの目的あるいはその手段と対応させて考えなければならない。ここでは、競歩の中心的トレーニング手段となる持久歩の至適スピードについて、本研究結果から検討してみたい(図5)。すでに述べたとおり、乳酸3~4mMスピードは、試合やトレーニングにおいて100%強度のスピードとして位置づけられよう。次に乳酸2mMスピードは、図5から明らかなように、20kmレーススピードのほぼ10%減のスピードに相当している。この90%スピードは、トレーニング強度のよい目安になるものと思われる。このスピードを基準に、これより速いスピードになるほど、解糖系のエネルギー供給の割合が増加し、より質の高いトレーニングとなる。逆にこのスピードを下回るにつれ、エネルギー供給は脂質代謝に傾き、より量的なトレーニングへと移行する。

このように、LTスピード(あるいは20km記録から推定)からトレーニング強度を基準化することによって、個人の能力に応じたトレーニング処方が可能になると考えられる。

ところで、実験終了後に被験者に2mMLTスピードでトレーニングを実践してもらったところ、「距離をこなすのにはかなりきついスピード」という感想であった。至適トレーニングとは、強度の上限もさることながら、その下限も極めて重要であり、そしてほとんどふれられていない課題で



ある。トレーニング強度の下限については今後、糖質代謝と脂質代謝のバランスなどエネルギー供給系と関連させて究明していかなければならないと考える。

#### 4. ま と め

競歩選手の有酸素的作業能及び競歩技術を解明する目的で、高校から日本のトップクラスまでの9名の競歩選手を対象に、 $\dot{V}O_2\max$ , LT, 競歩効率を測定した。また、60分間のトレッドミル競歩を実施し、乳酸の定常状態成立条件を検討した。

$\dot{V}O_2\max$  と20km 競歩記録とでは有意な相関関係が認められないが、LT スピードと20km 競歩記録とでは有意な相関関係が認められた。また、LT スピードと、 $\dot{V}O_2\max$  では相関関係がみられないが、LT スピードと競歩効率(200m/min 時の  $\dot{V}O_2$ ) では有意な相関関係が認められた。

60分間のトレッドミル競歩時の血中乳酸動態から、乳酸の定常状態成立の上限は3~4mMLT スピードであると推定された。また、4mMLT スピードは20km のレーススピードにほぼ合致し、2mMLT スピードは、20km レーススピードの90%に相当した。現場でのLT 利用という立場から、4mMLT スピードは競技能力の推定(記録の予測)、2mMLT スピードはトレーニング強度設定のよい目安になるものと考えられる。

以上のことから、競歩の記録を向上させるためには、 $\dot{V}O_2\max$  よりむしろLT スピードを増加させることであり、LT スピードの増加には競歩技術の良否が関与してることが示唆された。

#### 参 考 文 献

- 1) 雨宮輝也ほか：競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する研究。日本体育協会スポーツ科学研究報告, No.XI 1978.
- 2) Conley, D.L. & G.S. Krabenhuhl: Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med, Sci, Sports Exerc.* 12: 357-360, 1980.
- 3) Farrell P.A., et al: Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med, Sci, Sports Exerc.* 11: 338-344 1979.
- 4) Föhrenbach R., et al: Determination of Endurance Capacity and Prediction of Exercise Intensities for Training and Competition in Marathon Runners. *Int J Sports Med.* 8: 11-18, 1987.
- 5) Franklin, B.A., et al: Characteristics of national-class race walkers. *Phys Sportsmed.* 19: 101-108, 1981.
- 6) Hagberg, J.M.: Physiological implications of the lactate threshold. *Int J Sports Med.* 5: 106-109 Suppl, 1984.
- 7) Hagberg, J.M. & E.F. Coyle: Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med. Sci Sports Exerc.* 15: 287-289, 1983.
- 8) Hagberg, J.M. & E.F. Coyle: Physiological comparison of competitive racewalking and running. *Int. J. Sports. Med.* 5: 74-77, 1984.
- 9) Heck H., et al: Justification of the 4mmol/l Lactate threshold. *Int J Sports Med.* 6: 117-130, 1985.
- 10) Kinderman W., et al: The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol.* 42: 25-34, 1979.
- 11) Lafontaine, T.P., et al: The maximal steady state versus selected running events. 13: 190-192, 1981.
- 12) Londeree B.R. & Ames S.A.: Maximal steady state versus state of conditioning. *Eur J Appl Physiol.* 34: 269-278, 1975.
- 13) Nagle F.J. & D.R. Bassett: Metabolic requirements of distance running. In "Limits of human performance". American Academy of Physical Education Papers No. 18. Human Kinetics. 1984.
- 14) Pomers S.K., et al: Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Resarch Quarterly.* 54: 179-182, 1983.
- 15) Sjödin B. & I. Jacobs: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 2: 23-26, 1981.
- 16) Sjödin B., et al: Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *Eur J Apple physiol.* 49: 45-57, 1982.
- 17) Svedenhag J. & B. Sjödin: Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle and long-distance runners. *Int J Sports Med.* 5: 255-261, 1984.
- 18) Tanaka K. & Y. Matsuura: Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J Appl Physiol.* 57: 640-643, 1984.

- 19) Tanaka K., et al : Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur J Appl Physiol.* 55 : 248–252, 1986.
- 20) Tesch P.A., et al : Influence of fiber type composition and capillary density on onset of blood lactate accumulation. *Int J Sports Med.* 2 : 252–255, 1981.
- 21) Weltman A, & Katch V.L. : Relationship between the onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) and maximal oxygen uptake. *J Sports Med Phys Fitness.* 19 : 135–142, 1979.
- 22) Yoshida, T., et al : The validity of Anaerobic threshold determination by a douglas bag method compared with arterial blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol.* 46 : 423–430, 1981.



