

マラソン初心者におけるレース中の 心拍数の変動

——AT を指標とした指導について——

鈴 井 正 敏
田 中 充 洋*

I はじめに

健康ブームを背景に、ランニングは相変わらず根強い人気を持っている。ランニングの良い点は場所と時間を選ぶことなく自分のペースで出来ることであり、日常生活のなかに誰でも簡単に取り入れることができることである^{8),18)}。また、最近ではランニングの楽しみ方も多様化しており、レースを指向している人、音楽を楽しみながら走る人、会話を楽しむ人、ただ走ることが楽しい人、運動療法として走る人など様々である。そのニーズに合わせて、マラソン大会やジョギング大会といわれるものにも多彩な内容のものがでてきており、本格的な42.195 km のレースから10 km, 20 km といった距離の短いもの、制限時間の緩やかなファンランを目指すもの、また、家族で参加できるように工夫されたものなどがある¹⁴⁾。このような大会が増えることは、一般ランナーに対してレースに参加する機会を与え、レース自体をより身近なものにしている。しかし、多くのランナーにとってフルマラソンを走ることが夢であることに変わりはない。前述した制限時間の緩やかなマラソン大会の出現は、一般のランナーにその夢を実現させる道を開いている。毎年12月にハワイで行われるホノルルマラソンもその種の大会のひとつであり、幼児から高齢者まで1

* 埼玉短期大学

万人を超えるランナーが参加し、年々盛大になっている。

このように、ランニングは健康のための運動として人気が高く、治療法のひとつとしても用いられているが、やり方によっては逆に健康をそこねたり、生命に危険を及ぼす場合もある。とくに普段運動不足の中高年齢者が、メディカルチェックや専門家の指示なしにいきなり走ることを始めると危険であることは良く知られてきている^{4),5)}。しかし、ほとんどの人がそのようなチェックをすることなしに自分勝手なやり方でランニングをしているのが実状といえる。そのため、練習を充分に行っていない一般ランナーも簡単にマラソンに参加できるとするのは危険である。初めてレースに参加したり、初めてマラソンを走るという場合には、精神的緊張や興奮が生じ、自分自身のからだの状態も把握できなくなることが予想され、事故も起こりかねない。90年のホノルルマラソンでも定年後から走り始めた59才の男性（マラソン初心者）が心筋梗塞で死亡している。この例に代表されるように、ランニング中の突然死の多くは心臓血管系の疾患（虚血性心疾患）であり¹⁷⁾、そのことから考えると、とくに注意を払う必要があるのは運動強度である。運動強度が無酸素性作業閾値（AT）を超えると体内に過剰乳酸が生じるだけでなく、カテコールアミンの分泌が増加したり^{11),9)}、交感神経系の活性が高くなる。そのため、血管は収縮し、心臓は虚血しやすい状態になる^{4),20)}。もちろん、乳酸の蓄積により運動の継続も阻害される。これを防ぐためには、運動強度をAT以下にしなければならない。しかし、ATを指標にするためにはあらかじめその測定を行う必要があり、レース中も心拍数等のモニターが必要になるため全てのランナーが簡単に出来ることではない。これに対し、よく鍛練されたランナーでは、レース中の強度は自然とATに相当していることが知られている^{6),12),15),16)}。もし、初心者においても同様なことが言えるのなら、強度に関してはそれほど気を使う必要はなくなる。

そこで、今回は初心者が実際にどのような強度で走るのか明らかにすることを目的に、初めてマラソンを走る者を対象にレース中の心拍数を記録し、検討

した。ただし、安全を考慮し、各被検者はあらかじめATを測定し、ATに相当する心拍数を指標として走ることも出来るようにした。

II 方 法

1. 被検者

被検者は、健康な男子大学生6名とした。被検者は、定期的に運動を行っているが、特にマラソンのための持久的トレーニングは行っていない者とした。被検者の身体的特性及び定期的に行っている運動種目を表1に示した。

2. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2 \max}$) と無酸素性作業閾値 (AT) の測定

最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2 \max}$) と無酸素性作業閾値 (AT) は、自転車エルゴメーター (モナーク社製) を用いた漸増負荷運動により測定した。ペダルの回転数は毎分60回転とし、負荷は、疲労困憊にいたるまで毎分0.5 kp ずつ増加させた。呼気ガスの測定項目は、酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2})、二酸化炭素排泄量 (\dot{V}_{CO_2})、分時換気量 (\dot{V}_E) 及び呼吸商 (RQ) とし、ミナト社製呼吸代謝連続監視システム (RM-300) を用いて15秒ごとに測定した。また、同時に胸部双極誘導法により心拍数 (HR) を測定し (三栄測器社製カルディオスーパー2E31A),

Table 1 Physical Characteristics and Activities of Subjects

SUBJECT	AGE (years old)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	ACTIVITIES
A.H.	21	170	69	TENNIS
M.F.	21	170	54	TENNIS
M.O.	22	163	57	WIND SURFING
N.F.	21	169	55	TENNIS
S.K.	23	177	75	AMERICAN FOOTBALL
T.O.	23	173	64	TENNIS
MEAN	21.8	170.3	62.3	
SD	0.9	4.2	7.7	

呼吸ガスパラメーターとともにパーソナルコンピューター（日本電気社製 PC-9801VX）を用いて解析した。

ATは、 \dot{V}_{CO_2} が \dot{V}_{O_2} の増加に伴う直線的増加から外れ、急激に増加しはじめる直前の値と、運動強度の増加に対し \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} の増加を伴わずに \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} が増加しはじめる直前の値から視覚的に判断し、決定した¹¹⁾。

3. マラソン大会への参加と当日の環境

マラソンは、第18回ホノルルマラソン（アメリカ合衆国ハワイ州ホノルル市、1991年12月9日開催）に参加することによって実施した。参加総人数は13,260人。スタートは午前5時30分、スタート時の気温は19°C、湿度は70%、天候は風を伴う雨だった。その後、天候は回復し、午前7時には晴れとなり、気温も上昇し始めた。

4. マラソン中の心拍数の測定

心拍数の測定にはキャノン社製小型心拍数記憶装置（スポーツテスター PE3000）を用いた。被検者の心拍数は腕時計型の心拍数計に表示し、同時に1分毎に各被検者のゴール時点まで記録した。

5. マラソン中の強度の指示

マラソン中の強度については、個人の自由とし、自分の好きなペースで走るように指示した。ただし、ATにおける心拍数（AT-HR）から5拍以内の切りのいい、覚えやすい値を目標心拍数として設定し、ATで走りたい者はこの心拍数以下で走ることを指示した。

Ⅲ 結果と考察

$\dot{V}_{O_2} \max$ とATの測定結果を表2に示した。体重当たりの $\dot{V}_{O_2} \max$ は報告されている20歳代男性の平均とほぼ等しく⁷⁾、ATも平均と同様だった⁴⁾。こ

Table 2 Physiological Characteristics of Subjects

SUBJECT	$\dot{V}O_2$ max/Wt (ml/kg/min)	$\dot{V}O_2$ max (ml/min)	AT- $\dot{V}O_2$ (ml/min)	AT (% $\dot{V}O_2$ max)	AT-HR (beats/min)
A.H.	38.5	2659	1552	58.8	128
M.F.	39.7	2143	1212	56.6	143
M.O.	45.5	2595	1337	51.5	139
N.F.	56.0	3079	1483	48.2	136
S.K.	54.2	4068	2247	55.2	143
T.O.	42.7	2734	1495	54.7	137
MEAN	46.1	2880	1554	54.2	138
SD	6.8	598	330	3.5	5

Table 3 Target Heart Rate of Subjects

SUBJECT	A.H.	M.F.	M.O.	N.F.	S.K.	T.O.
HR (beats/min)	130	145	140	135	145	135

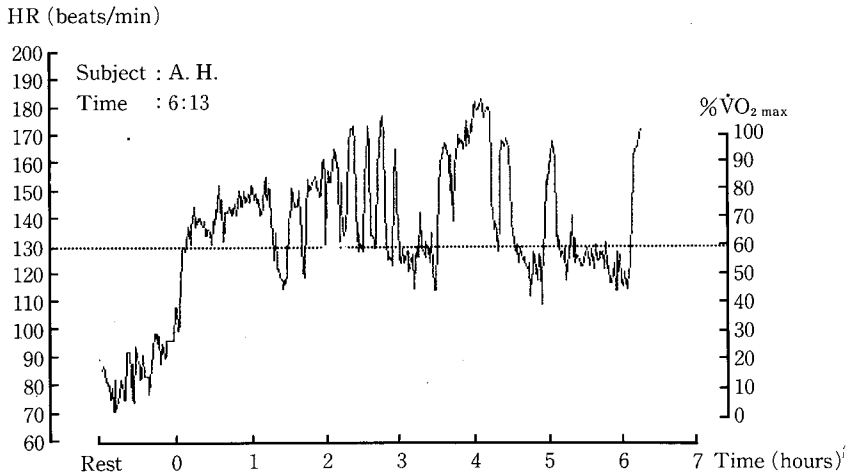


Fig. 1 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

の結果をもとに各被検者の目標心拍数を設定し、表3に示した。

図1から6に各被検者のマラソン中の心拍数の変動を示した。図は横軸に時間を縦軸に心拍数とそれに対応する $\% \dot{V}O_2 \max$ をとっており、図中の点線

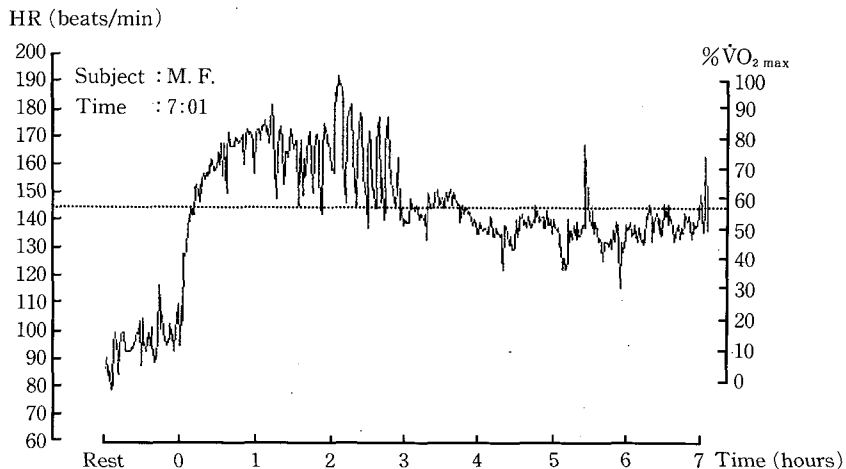


Fig. 2 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

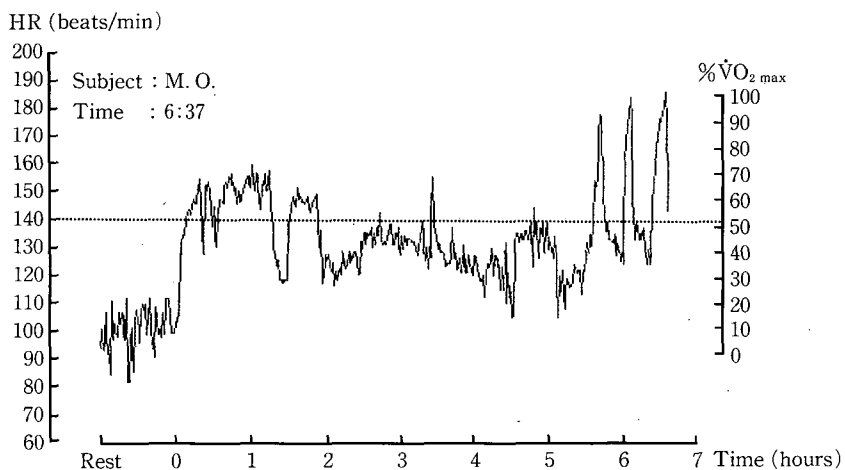


Fig. 3 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

は目標心拍数を，数字は完走時間を表している。被検者 A. H. (図 1) では，心拍数はスタート直後より目標心拍数を10～30拍も超える高い値を1時間以上維持している。その後，急激な増減を繰り返しており，間欠的な走行になっ

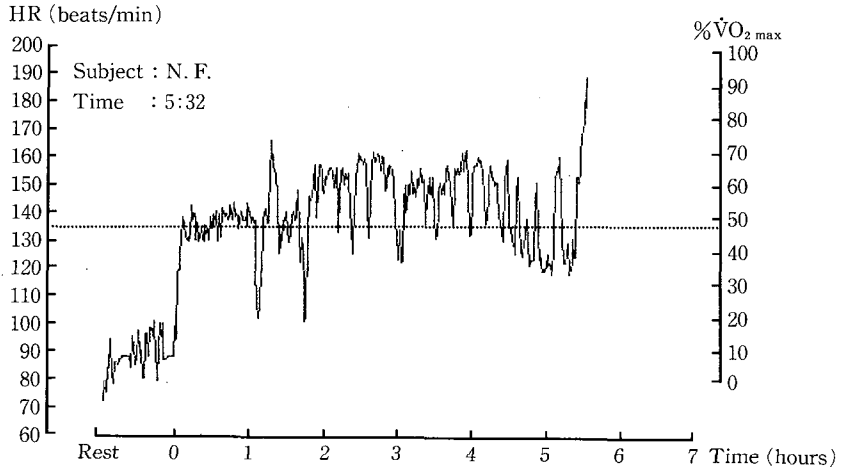


Fig. 4 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

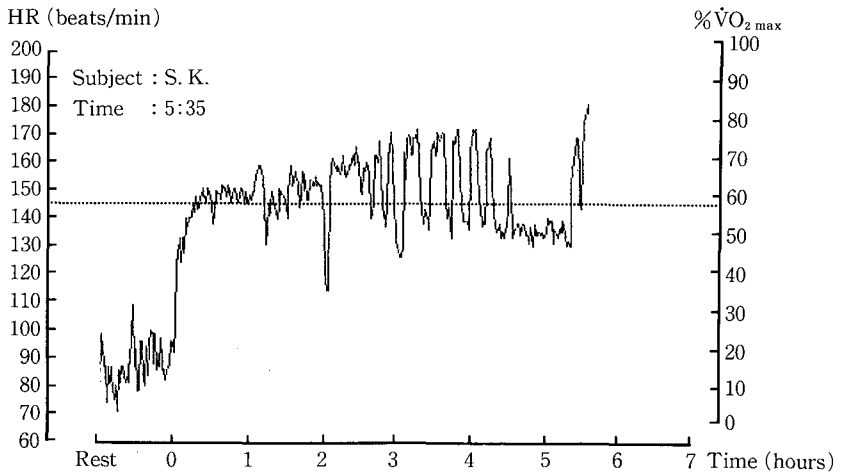


Fig. 5 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

ていることを表している。このときのピーク値は時間の経過とともに大きくなっており、2時間を過ぎてからは170拍/分を超えることもある。2時間30分以降には継続的な低下を示しており、歩行を表している。また、2時間目以降では継続した低値においても目標心拍数を下回ることが少なくなっており、歩行においても心拍数が下がり切らない状態が続いている。3時間20分後より、再び高値の継続がみられるが、1時間ほどで終り、その後は5時間前とゴール前を除き低値が継続し、走り続けられない状態が示されている。被検者 M. F. (図2) では、スタートから1時間目まで心拍数が上昇を続けている。1時間付近では170拍/分を超える高い値になっており、これは目標心拍数を25拍以上超えている。その後、心拍数は小さな周期で大きな増減を繰り返しており、間欠的な走行になったことを表している。2時間30分以降では心拍数は130~140拍/分の低値で安定しており、走行できなくなり、歩行していることを表している。被検者 M. O. (図3) では、心拍数はスタートから1時間まで150拍/分程度でプラトーになっている。その後20分間ほどの低下をはさみ約30分間の上昇がみられる。以後は減少し、歩行を表しているが、5時間30分頃から3回

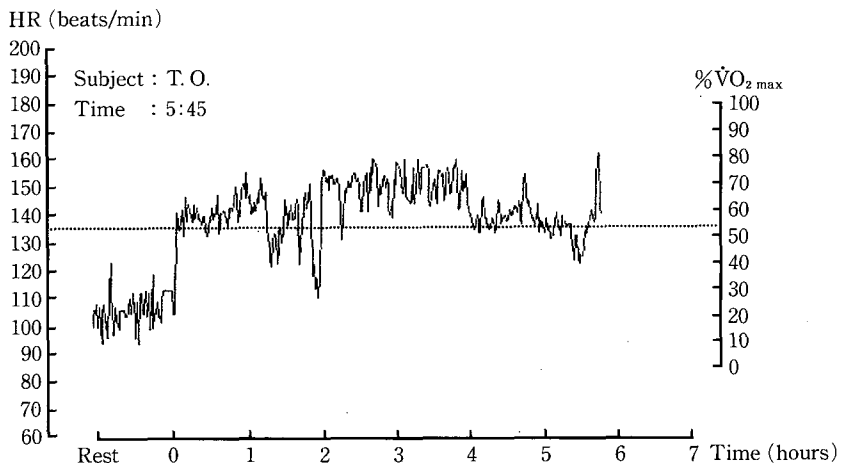


Fig. 6 Changes in Heart Rate before and during Marathon Running.

の急激な上昇を示しており、間欠的な走行を表している。被検者 N. F. (図 4) では、心拍数は 1 時間まで目標心拍数である 135 拍/分を維持した。その後、急激な増減を繰り返しているが、1 時間 30 分以降のピークでは 150 拍/分を超えている。4 時間以降では、継続して低値を示す割合が時間とともに増加しており、歩行時間の延長を表している。被検者 S. K. (図 5) では、心拍数は 2 時間弱までは目標心拍数の 145 拍/分を維持しているが、急激な減少をはさみ、160 拍/分前後に増加している。2 時間 30 分以降は急激な増減を繰り返しており、走行と歩行の繰り返しを表している。このときのピークの値は 170 拍/分近くまで上昇している。また、時間の経過につれて高値を維持する時間が短くなり、逆に低値の継続時間が延長している。ゴール直前では急激な増加を示しており、これはラストスパートを表している。被検者 T. O. (図 6) では、心拍数はスタート直後 140 拍/分まで急激に増加し、少しずつ高くなるものの 1 時間まではその値を維持している。その後、急激な増減を繰り返し、間欠的な走行になったことを表している。2 時間以降のピーク値は 150 拍/分を超えているが、3 時間 40 分以降はゴール直前まで低値を継続しており、走れなくなったことを表している。

以上、6 名の被検者の心拍数の変動を表したが、AT を指標として考えた場合に、典型的な 2 つのパターンが存在する。ひとつは、被検者 M. F. (図 2) と M. O. (図 3) にみられる形で、心拍数がスタート直後より AT を大きく超えて増加し、その後は低値を継続するパターン。もうひとつは、被検者 N. F. (図 4) と S. K. (図 5) にみられる形で、心拍数がスタートから 1 時間 30 分位まではほぼ AT を維持し、その後間欠的な増減を繰り返しながら、ピーク値が増加していくパターンである。

スタート直後に心拍数が AT を大きく超えてしまうパターンでは、心拍数の高いところでの継続時間が短く、レースの後半ではほとんど低い値の継続となっている。これは、スタート直後に自分の AT を無視して高い強度で走ったため、乳酸の蓄積が起これ、レースの後半は走れなくなってしまっているこ

とを表している。その結果、ゴールまでの時間もATを維持して走ったパターンの二人よりも長くかかっている。たしかに、世界のトップランナーのなかにはレース中の心拍数がATを超えて走る者がいることが報告されている^{3),13)}。したがって、AT強度のスピードがマラソンにおけるレースペースになるといえることは言えない。しかし、そのような一部のトップランナーを除いて多くの熟練ランナーはほぼAT強度のスピードで走る^{6),12),15),16)}。これは筋の収縮阻害の原因となる、乳酸の過剰産生・過剰蓄積を防ぐために必要な条件である。すなわち、運動の継続を考える場合には、ATを基準に考えなければならないことは、エリートランナーにおいても、一般ランナーにおいても同様に基本的な要因となる。とくに、安全性を考慮しなければならない一般ランナーにとってATを無視することは、AT強度以上で生じる副腎髄質及び皮質ホルモンの上昇などの内分泌状況の変化や自律神経系の活性の変化による内部環境の変化によって、場合によっては危険な状況を招くことになる。これに対し、初めてマラソンを走る、それも大きな大会においてという状況では、なかなか自分の興奮を抑えATを意識して走るということは難しい。一般のランナーが特別な器材がない場合にATを知る方法は、自分の換気が高進しているかどうかをチェックする方法がある²⁾。しかし、ATにおいて起こる換気高進は運動強度の増加に伴う \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} の増加以後に起こる換気高進に比べ小さなものであり、練習を重ねて自分の感覚を高めなければ自覚できない。レース中の興奮を考えると、今回のような心拍数のモニターを使うことが有効と考えられる。しかし、それ以前に本人がATを維持することを常に意識できるかどうかという問題の方が大きく、ATに対する理解も高めておく必要がある。

もうひとつのパターンである、スタートから1時間30分くらいまでATを維持するパターンでは、2時間以後も間欠的ではあるが心拍数の継続した上昇がみられ、休憩を入れながら走り続けていることがわかる。このときの心拍数の継続した上昇は、時間の経過とともに高くなっている。これは、高温環境下の長時間運動によって生じる一回拍出量の減少に対する代償作用と考えられ

る¹⁹⁾。今回の環境はスタート時で気温19°Cとマラソンの適温とされている5~10°Cよりも高く¹⁸⁾、さらに日の出より晴れとなったために温度は上昇を続けている。このような環境で運動を継続すれば、発汗が高進し、血液濃縮が生じる。そのため、循環血液量の低下と血液粘性の増加が起これ、静脈還流は減少、一回拍出量は低下する。ここで、同じ仕事を維持しようとするれば、心拍出量は一定に保たれるので、逆に心拍数は増加することになる¹⁹⁾。実際、被検者によれば、この時点で同じ速度で走ろうと努力していたことが報告されている。このような状況がさらに続くと、暑熱障害の危険が生じる。今回は、その予防として各給水所では必ず水分を補給するように指示したが、口渇感と脱水状態にはズレがあるため¹⁰⁾、十分な補給がされなかった可能性もある。また、高温環境下では同一作業に対して酸素摂取量が增大するという報告もあり¹⁹⁾、相対的運動強度が高くなっていたことが推測される。そのため、このパターンの二人の被検者も最後まで走り続けることはできず、途中で継続した歩行をしている。しかしながら、これは呼吸循環器系の苦しさからよりも、レース中盤より生じた筋肉痛と膝痛が原因であったことが被検者より報告されている。山本らはトライアスロン初心者がATを指標にレースに参加したときの報告をしているが²⁰⁾、同様に筋肉痛が生じ、途中で休息をはさまざるをえない状況になったとしている。以上のように、AT強度の維持は運動継続時間を延長させることができるが、長時間の運動継続では筋肉痛が生じ、持続できなくなる場合があることが明らかとなった。

Ⅳ ま と め

健康な成人男子のマラソン初心者に対し、レース中の心拍数の変動を調べた。被検者のなかには、スタートからATを無視して高い強度で走り、疲労困憊に至るパターンとスタート時にはATを維持しているが、次第に心拍数が高くなるパターンの2つが典型的な例としてみられた。スタート時にATを維持するパターンの方が長い時間走り続けることができ、運動の継続という

点で、ATを指標とすることが効果的であることが明らかとなった。しかし、ATという比較的軽い強度の運動でも、長時間継続することによって、筋肉痛を引き起こし、運動の継続を阻害する。また、今回のレースのように高温環境下で行われる場合には、脱水が生じ、暑熱障害に対して注意が必要であることも示唆された。

すなわち、マラソン初心者は強い強度で走りやすく、それに対してATを指標とさせることは、運動の継続と安全性という点から有効であること。しかし、それを実行させるためにはATの意義を正しく理解させる必要があることが明らかになった。

参考文献

- 1) Atko Viru (1985) Sympatho-adrenal system, Chap. 1, Hormones in muscular activity, 1st ed., CRC Press, Florida, 7-24.
- 2) Davis, J. A. (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future reseach, Med. Sci. Sports Exerc. 17, 6-18.
- 3) Fohrenbach, R., et al. (1987) Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners, Int. J. Sports Med. 8, 11-18.
- 4) 池上晴夫 (1990) 運動処方, 初版, 朝倉書店, 東京, 267.
- 5) 池上晴夫, 小林義雄 (1989) ランニングのための完全なエアロビクス, 初版, ベースボール・マガジン社, 東京, 208.
- 6) 加賀谷熙彦, 吉田博幸 (1989) マラソンランナーの最大酸素摂取量とAT, J. J. Sports Sci. 8(11), 718-726.
- 7) 小林寛道 (1985) 日本人のエアロビックパワー, 初版, 杏林書院, 東京, 322.
- 8) 黒田善雄, 渡辺謙 (1986) 健康ランニング, 初版, 倉書館, 東京, 193.
- 9) 宮村実晴, 矢部京之介 (1986) 体力トレーニング, 初版, 真興交易医書出版部, 東京, 462.
- 10) 森本武利, 山田誠二 (1983) 運動時の体温と体液の調節, J. J. Sports Sci. 2(6), 426-431.
- 11) 中村好男, 山本義春 (1989) AT 測定法のゆくえ, 体育の科学 39(5), 391-396.
- 12) Rhodes, E. C. and Mckenzie, D. C. (1984) Predicting marañthon time from anaerobic threshold measurements. Phys. Sportsmed. 12, 95-98.
- 13) Svedenhag, J. and Sjodin, B. (1984) Maximal and submaximal oxygen uptakes and

blood lactate levels in elite male middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.* 5, 255-261.

- 14) 高橋進 (1989) 国際マラソンイベントと日本マラソン界, *J. J. Sports Sci.* 8(11), 749-754.
- 15) 田中喜代次 (1989) 持久性競技者の競技成績と AT, *体育の科学* 39(5), 382-390.
- 16) Tanaka, K., et al. (1983) Relationships of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance, *Eur. J. Appl. Physiol.* 52, 51-56.
- 17) 上田一博 (1991) ランニング中の突然死, *ランナーズ* 199, 24-25.
- 18) 山地啓司 (1986) 心臓とスポーツ, 初版, 共立出版, 東京, 234.
- 19) 山地啓司 (1988) 心拍数の科学, 第 6 版, 大修館書店, 東京, 306.
- 20) 山本義春, 中村好男 (1989) AT の話, 初版, ブックハウス・エイチディ, 東京, 94.