中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値
——加齢に伴う変化——

竹島伸生* 小林章雄** 田中喜代次*** 新畑茂充****
渡辺丈真** 鷺見勝博** 鈴木雅裕***** 小村 堯****
宮原満男**** 上田一博***** 加藤孝之*****

MAXIMAL OXYGEN UPTAKE AND LACTATE THRESHOLD
IN MIDDLE-AGED AND OLDER RUNNERS
——WITH SPECIAL REFERENCE TO AGING——

NOBUO TAKESHIMA, FUMIO KOBAYASHI, KIYOJI TANAKA, SHIGEMITSU NIIHATA,
TAKEMASA WATANABE, KATSUHIRO SUMI, MASAHIRO SUZUKI, TORU KOMURA,
MITSUO MIYAHARA, KAZUHIRO UEDA and TAKASHI KATO

Abstract

Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) and lactate threshold were measured during an incremental bicycle ergometer test in 40 healthy middle-aged and older runners between 43 and 79 years of age. Although the 10-km run time slowed with increasing age, there were no significant differences in recent training habits or relative amount of body fat between four age groups. However, our cross-sectional data revealed an annual decrement of $-0.74 \text{ ml/kg/min/yr}$, which was significantly greater than that reported in previous studies. $\dot{V}O_{2\max}$ values for the runners were greater than those for sedentary men of similar ages by about 50% in each age group. Significant correlations were found between the age at the onset of running training and $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = -0.600$, $p < 0.05$). $\dot{V}O_{2@LT}$ declined significantly but less rapidly with age ($r = 0.686$, $p < 0.05$) than $\dot{V}O_{2\max}$. Both the mean maximal heart rate (HR $_{\max}$) and HR@LT also declined with age. No significant differences in HR $_{\max}$ were observed between the runners and sedentary men of the respective age groups. Significant correlations were also found between the estimated HR $_{\max}$ and directly measured HR $_{\max}$ ($r = 0.600$). Neither systolic blood pressure nor diastolic blood pressure during submaximal-maximal exercise were found to increase with age. We suggest that maintenance of a higher lactate threshold in older runners when expressed as a percentage of $\dot{V}O_{2\max}$ is attributable to a greater age-dependent decline in $\dot{V}O_{2\max}$ with a smaller change in $\dot{V}O_{2@LT}$.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1989, 38 : 197~207)

key words : middle-aged and older runners, maximal oxygen uptake, lactate threshold, aging.

*名古屋市立大学教養部
〒467 名古屋市瑞穂区瑞穂町山の畑1-1

**愛知医科大学衛生学

***筑波大学体育科学系

****広島大学総合科学部

*****宇部短期大学

*****広島大学医学部小児科学

*****愛知医科大学公衆衛生学

College of General Education, Nagoya City University,
Nagoya 467

Department of Hygiene, Aichi Medical University

Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University
Ube Junior College

Department of Pediatrics, Hiroshima University

Department of Public Health, Aichi Medical University

I. 結 言

これまでの一連の報告^{11, 13~15, 24)}によると, 長期間にわたってトレーニングを継続している中高年ランナーの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) は, 同性同年代の一般人と比較して著しく高いことや加齢による減退の程度の少ないことがあげられる。しかし, 走パフォーマンスに対して $\dot{V}O_2\text{max}$ と同等あるいはそれ以上に深い関与を示し, トレーニングの際の運動強度を設定する上で有用な指標の一つになりうる lactate threshold (LT) についての報告は少ない¹⁾。

若年ランナーと同様に, 中高年ランナーにおいても LT に相当する酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) や心拍数 (HR) が, どの程度であるかは興味深い問題である。また, 中高年ランナーについては LT と年齢やトレーニング内容などとの関連性の検討もまだ十分になされていない。

Allen たち¹⁾は, 10 km 走パフォーマンスの面で同一の若年ランナー (8 名) と中高年ランナー (8 名) および若年エリートランナー (8 名) の LT や $\dot{V}O_2\text{max}$ について比較しているが, 幅広い年齢層の中高年ランナーの加齢に伴う変化については検討していない。そこで, 本研究は, 日頃から鍛錬を行っている中高年ランナーの LT に相当する $\dot{V}O_2$ (以下 $\dot{V}O_2@LT$ と略す) やその他の LT 関連変数が, 加齢に伴ってどのように変化するかを横断的側面から検討することを目的とした。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は, 広島壮年走ろう会に所属する中高年男性ランナー 40 名である。被検者の年代別の身体的特徴を表 1 に示した。

全ての被検者は, 運動負荷試験に先立ち, メディカルチェックの一環として医師による問診, 安静心電図検査, 血圧検査, 肺機能検査などを受けた。また, 研究の主旨, 起こり得る危険性についての説明を行い, 研究協力への快諾を得た。さらに, 質問紙法により, 走り始めた時期, 最近のトレーニング状況の詳細, 競技記録 (1,500 m, 5,000 m, 10 km, マラソン), 生活習慣などの調査を実施した。

B. 形態測定および体力テスト

身長, 体重, 皮下脂肪厚 (上腕背部と肩甲骨下部) の測定を行った。皮下脂肪厚は, 栄研式皮脂厚計により身体右側の部位を測定し, 皮下脂肪厚から身体密度を推定した²³⁾。次に, Brözek ら⁴⁾の式を利用して, 身体密度より体脂肪率 (%fat) を算出した。また, 体格指数として肥瘦係数 (PI) を算出した。体力テストとしては握力, 閉眼片足立ち, 反復横跳び, 垂直跳びを選択した。

C. 運動負荷試験

運動負荷試験は, Monark 社製の自転車エルゴメータを用い, Owatt で 2 分間, 以後 1 分毎に負荷を 15 watts ずつ増やす多段階負荷漸増法として, all-out に至るまで行った。ペダルの回転数

Table 1. Physical characteristics in each age runner groups.

Age group (n)	40 (12)	50 (10)	60 (11)	70 (7)
Height, cm	163.3±4.4	164.1±4.3	162.2±5.8	161.7±4.7
Weight, kg	60.6±5.7	60.5±5.7	60.1±7.3	58.3±6.0
%fat, kg	10.4±1.6	10.6±1.8	12.4±2.6	13.3±6.4
PI	23.8±0.4	23.9±0.5	24.1±0.7	24.1±0.8
FVC, cc	3757.5±659.9	3436.0±546.2	3135.5±520.6	2722.9±251.2
FEV 1.0, cc	3185.0±568.6	2960.0±411.3	2653.0±606.3	1954.0±391.5
FEV 1.0, %	85.2±8.9	88.2±4.3	81.2±6.1	71.6±11.9

Note, PI: ponderal index ($\frac{1}{\text{weight/height}^3} \times 1,000$)

はメトロノームにより 60 rpm 一定とし、被検者にはメトロノームおよび検者の号令に合致するように指示した。運動中は、血中乳酸濃度(La)、換気量($\dot{V}E$)、 $\dot{V}O_2$ 、HR、収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、RPEなどを測定した。

$\dot{V}O_{2max}$ の判定には、1) $\dot{V}O_2$ にレベリングオフがみられる、2) 観察される心拍数の最大値が年齢からみた推定最高心拍数の90%以上に達している、3) 呼気ガス交換比が、1.0を越えていることの条件を設定し、少なくとも2つ以上の条件を満たしている場合に $\dot{V}O_{2max}$ が得られたとみなした。

LTは、運動中のLaが安静水準から急増し始める時点と定義した。LTの決定には、視覚的判定に加え、 $\dot{V}O_2$ とLaを対数変換するBeaverらの方法²⁾を利用した。La測定のための血液サンプルは、1分毎に右腕正中肘静脈より静注針(テルモ社製、21G)にて採取し、酵素電極法(東洋紡、ダイヤグルカHEK-30L)にて分析した。

呼気ガス分析は、日本電気三栄製ガス自動分析器(エアロビックプロセッサ-391)を利用し、呼気ガス諸量は同分析器に内蔵されているコンピュータによる自動演算に基づき1分毎に出力した。また、被検者ごとに測定前後で標準ガスによる校正を行った。HRは、胸部双極誘導によるテレメータ法により連続測定した。血圧は、直接法と高い相関を示すとされているコーリン製自動血圧測定器(STBP-680)を用いて左上腕部より1分ごとに測定した。

RPEは、Borg³⁾の尺度を用いて各負荷段階での1分間の自転車駆動終了直前に尺度表を各被検

者に示し、被検者がマスクをしているために検者が尺度の数字の小さい方(6)から指で差していき、被検者が該当する数値を示した際にうなずくという要領で判定した。

D. データ分析

平均値の比較は、一元配置分散分析により行い、有意差の認められた変数についてはTukey post hoc testを適用した。各変数間の関係は、ピアソンの相関分析により検討した。統計的有意性は、5%水準とした。

III. 結 果

A. 中高年ランナーの身体的特徴、走パフォーマンスおよびトレーニング量

身長、体重、体格指数、%fatについては、年代間で有意な差は認められなかったが、FVCやFEV1.0は加齢に伴う有意な低下がみられた(表1)。ランナーとしての経験年数、日頃のトレーニング量は表2に示した。週当りの平均走行距離は50.8±20.6 km、トレーニング頻度は5.2±1.2日/週であった。走行距離、頻度、時間などのトレーニング内容は、年代間で有意差を示さなかった。ランナーとしての経験年数は、40歳代13.8±11.0年、50歳代14.3±7.2年、60歳代13.7±5.2年、70歳代14.4±7.2年であり、年代による差は認められなかった。

平均10 km走成績は40歳代で約39分、70歳代で約53分となり、加齢に伴って低下した。年齢と10 km走タイムとの間には、 $r=0.690$ の有意な相関が認められた。

Table 2. Training program and distance running performance in various age runner groups.

age group (n)	40 (12)	50 (10)	60 (11)	70 (7)	total (40)
Training distance (km/week)	53.4±30.2	47.7±15.6	48.6±10.8	54.0±21.8	50.8±20.6
Training frequency (t/week)	5.4±1.3	4.9±0.9	5.5±1.2	5.1±1.7	5.2±1.2
Training duration (min/d)	53.8±18.7	65.0±21.6	58.2±14.2	72.9±29.4	61.1±21.0
Training year (yr)	13.8±11.0	14.3±7.2	13.7±5.2	14.4±7.2	14.0±7.8
10 km run time (sec)	2346±254	2490±219	2865±436	3185±445	2642±426

B. 中高齢ランナーの lactate threshold

1. $\dot{V}O_2@LT$

$\dot{V}O_2@LT$ の平均値は, 40歳代で 33.9 ml/kg/min, 70歳代で 20.5 ml/kg/min となり, 年齢が高くなるとともに低下する傾向を示した(図 1). 70歳代の平均値は40歳代の平均値の約 60% であった. 年齢と $\dot{V}O_2@LT$ との間には, $r = -0.686$ ($p < 0.001$, $y = -0.477x + 55.05$, x : 年齢)なる有意な相関がみられた.

また, $\dot{V}O_2@LT$ の加齢による低下の程度は,

後述の $\dot{V}O_{2max}$ の変化に比べて小さいものであった.

ランナーとしてのトレーニング開始年齢と $\dot{V}O_2@LT$ との間には, $r = -0.424$ なる有意な関係が認められた. しかし, $\% \dot{V}O_{2max}@LT$ の平均値は各年代ではほぼ同値であり(図 2), 年齢との間に有意な相関は認められなかった.

2. HR@LT

HR@LT は, 加齢とともに漸減し, 40歳代の HR@LT は 121.8 ± 13.8 拍/分, 70歳代は $108.1 \pm$

Fig. 1. $\dot{V}O_2@LT$ in relation to age in male runners.

Fig. 2. $\% \dot{V}O_{2max}@LT$ in relation to age in male runners.

16.7 拍/分となり、後者は40歳代の約89%であった。年齢と HR@LT との間には、 $r = -0.424$ ($p < 0.01$, $y = -0.608x + 146.70$, x : 年齢)なる有意な相関が得られた。しかし、 $\%HR_{max}@LT$ は、 $\%\dot{V}O_{2max}@LT$ と同様に年齢との間に有意な相関はみられなかった。

3. SBP@LT, DBP@LT

40歳代の SBP@LT は平均 178.7 ± 28.0 mmHg で、最も高いのが50歳代の 192.5 ± 30.3 mmHg であったが、個人差が大きく年代間には有意差は認められなかった。DBP@LT も SBP@LT と同様

の傾向で、50歳代で 89.7 ± 12.4 mmHg と最も高かった。

C. 中高年ランナーの all-out 時における生理的応答

1. $\dot{V}O_{2max}$

加齢とともに $\dot{V}O_{2max}$ は著明に低下した(図3)が、40歳代の $\dot{V}O_{2max}$ の平均値は 56.5 ± 5.1 ml/kg/min, 70歳代では 35.7 ± 3.7 ml/kg/min を示した。70歳代の値は40歳代の値の約63%に相当した。ちなみに、年齢と $\dot{V}O_{2max}$ との間は、 $r = -0.813$ ($p < 0.001$, $y = -0.740x + 89.71$, x : 年齢)

Fig. 3. $\dot{V}O_{2max}$ in relation to age in male runners.

Fig. 4. HRmax in relation to age in male runners.

Fig. 5. SBPmax in relation to age in male runners.

の有意な相関がみられた。

また、ランナーとしてのトレーニング開始年齢と $\dot{V}O_2\max$ との間には、 $r=-0.600$ なる有意な関係が認められた。

2. HRmax

HRmax は、 $\dot{V}O_2\max$ 同様に加齢に伴い低下した (図 4)。40歳代の HRmax は 170.7 ± 7.6 拍/分, 70歳代では 150.3 ± 9.1 拍/分を示し、後者は40歳代の約88%に相当した。

年齢から推定した最高心拍数 ($220 - \text{年齢}$) と実測 HRmax との間には、 $r=0.617$ の有意ではあるが中程度の相関がみられるにとどまり、両者の間には最高で23拍/分の差異を観察した。

3. SBPmax, DBPmax

各年代での SBPmax は平均で約 220 mmHg 前後、DBPmax は約 80~90 mmHg であり、年代間には有意差は認められなかった (図 5 は SBPmax)。

IV. 考 察

A. 中高年ランナーの身体的特徴、走パフォーマンスおよびトレーニング量

本研究における中高年ランナーの %fat は加齢に伴って増加する傾向にあるものの、身長、体重、体格指数ともに年代間に有意差が認められず、概してすべてのランナーは類似した瘦身体型を示すといえる。

ランナーのトレーニング内容 (週当りの走行距離、時間、頻度) については、個人差が大きく、平均値でみると年代間には有意な差は認められなかった。特にトレーニング量では、中年ランナーよりも70歳代の高齢ランナーのトレーニング量の多い点が注目された。高齢者の多くが無職で自由時間が多いことも影響していると思われる。本対象の高齢ランナーと既報のランナーのトレーニング量を比較すると、特に70歳代の高齢ランナーのトレーニング距離は、同年代または60歳代のランナーについて観察した Pollock たち²⁴⁾ や淵たち¹⁰⁾ の距離よりも長かった。

しかし、予想されたごとく加齢に伴う走パフォーマンスの低下は著明であった。10 km 走タイムと年齢の間には有意な関係が認められ、両者の回帰式より平均で1年毎に約31秒の低下がおけると推定できる。したがって、ほぼ同じ運動量を維持しても加齢による走パフォーマンスの低下は回避であるといえよう。

個人差が大きい点も無視できないが、トレーニングの継続は70歳代の走パフォーマンスを40歳代の約70%のレベルまでの低下にとどめている点は興味深い。しかし、本研究は同一の中高年ランナーを縦断的に追跡調査したものではないので、この点については今後のより詳細な検討が必要と思われる。

B. 中高年ランナーの lactate threshold

年齢は $\dot{V}O_2@LT$ に対して $r = -0.686$ ($p < 0.001$, $y = -0.477x + 55.05$) なる相関を示し、加齢に伴い $\dot{V}O_2@LT$ は有意に低下することが明らかになった。この回帰式から、 $\dot{V}O_2@LT$ は平均で1歳毎に約 0.48 ml/kg/min 低下する計算になる。Posner たち²⁵⁾ の結果 (Ventilation threshold で約 0.08 ml/kg/min の低下) と比較すると、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 同様に本対象の $\dot{V}O_2@LT$ の低下率はかなり大きいことになる。

しかし、 $\dot{V}O_2@LT$ と $\dot{V}O_2\text{max}$ との比較では、前者の加齢による1歳毎の低下は後者のそれより小さいことが明らかになった。これは、Reinhard²⁸⁾ たちや Cunningham たち⁶⁾ の報告を支持する結果といえよう。 $\dot{V}O_2\text{max}$ は高強度トレーニングの影響を受け、 $\dot{V}O_2@LT$ は低～中強度の運動によっても保持されるかもしれないとする点⁵⁾ を考慮に入れば、高齢ランナーの中強度トレーニングにより $\dot{V}O_2\text{max}$ より $\dot{V}O_2@LT$ の加齢に伴う低下の程度が小さくなるということも推察できる。また、LT は骨格筋内の毛細血管密度や呼吸能力または酸化酵素活性など種々の組織化学的・生化学的特性とよく関連し^{19,20)}、これらの加齢による低下が小さい^{8,15,17)} というのも $\dot{V}O_2@LT$ の低下を遅らせる理由と考えられる。しかし、高齢ランナーの LT については、筋組織の退行性変性に対する長期トレーニングの継続などの観点からより詳細な検討が必要であろう。

一般人では高齢になるに従い、 $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$ の平均値は高くなっている^{5,25)}。この理由は明らかではないが、おそらく $\dot{V}O_2@LT$ に比べて $\dot{V}O_2\text{max}$ の方がより著しい加齢変化を示すからであろう。ちなみに、本ランナーの場合は40～70歳代で個人差は大きい、平均値は58%となり各年代ではほぼ同水準を示した。

Allen たち¹⁾ は、走能力やトレーニング量を等しくした場合、高齢ランナーは若年ランナーに比べて高い $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$ を示したと報告している。また、トレーニングの継続により $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$ が高くなることも報告されている⁷⁾。高齢者の $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$ は加齢に伴って高くなると

いう報告もあるが、今回は、対象がいずれも各年代で優秀なランナーであったことから $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$ に差異がみられなかったと考えられる。

また、LT は、トレーニングの至適負荷強度としてその有用性が認められている^{7,20,27,32,33)}。個人差はみられるが、自転車エルゴメータによる運動負荷テストにおいて、40歳代ランナーは平均で約120拍/分(71%HRmax)、50歳以降は約110拍/分(65～72%HRmax)前後が LT に相当する心拍数レベルと考えられる。今回は、運動負荷テスト中に採血を行い、かつ血圧を測定するという目的により自転車エルゴメータを利用したが、全身的な筋肉が動員されるトレッドミル上での走運動であれば、HR@LT はこれ以上に高いものと推察できる。この点については今後の検討課題としたい。

日頃のトレーニングに関する質問紙法によるアンケート調査から、トレーニング時の運動強度を設定しないランナーが約60%みられた。残りの者も、走行距離、時間、自覚的強度(苦しくない程度)を設定するだけであり、心拍数を考慮している者は1名にすぎなかった。このことは、大多数のランナーがただ単にトレーニングを継続しているにすぎないという推察を可能にするものである。トレーニング強度の目安としての HR@LT の有用性に関する検討、特に個人差を考慮に入れたトレーニング強度の設定方法に関する検討は今後の重要な課題であろう。

SBP@LT の平均値は、60歳以上の高齢ランナーでみると安静時 ($138.1 \pm 5.7 \text{ mmHg}$) に比べて約33%も高く、max の85%に相当した。運動が一過性とはいえ、かりに日常のトレーニングが LT 水準以上であるとすればランナーの血圧値は40～50分もの間にわたって比較的高値を維持することになる。このような心臓へのストレスがとくに高齢者にとって果して望ましいものであるか否かについては現在のところ明らかではない。血圧の変動についての運動処方具体的な指針が出されることを期待する。

C. 中高年ランナーの all-out 時における生理的応答

横断的資料を分析した場合、先行研究によれば

$\dot{V}O_2\text{max}$ の加齢による1歳毎の低下は, Hadgson & Buskirk¹⁶⁾ が 0.41 ml/kg/min, Shephard³⁰⁾ が 0.42~0.52 ml/kg/min, Dehn & Bruce⁶⁾ および Hagan¹³⁾ が 0.40 ml/kg/min, Posner たち²⁵⁾ が 0.34 ml/kg/min と報告している. また, Pronfant たち²⁶⁾ は, 0.30 ml/kg/min, Costill & Winrow⁵⁾ は 0.27 ml/kg/min (marathon runner) としている.

一方, Matter たち²²⁾ によれば, $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下は45歳まではほぼ同値を示すが, それ以後約0.50 ml/kg/min/yr の低下になるとしている.

縦断的研究では, $\dot{V}O_2\text{max}$ の加齢による1歳毎の低下は, 0.94 ml/kg/min¹⁸⁾ (healthy men), 0.96 ml/kg/min (sedentary men) および 0.79 ml/kg/min (active men)¹⁹⁾, 1.04 ml/kg/min (champion athletes)⁹⁾ と報告されており, 横断的資料の結果に比べてその低下の程度は大きくなっている.

既報のごとく加齢による $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下は不可避であるが, われわれのランナーの加齢による低下は約0.74 ml/kg/min/yr であり, これは一般人またはランナーについて観察した前述の横断的資料に比べて大幅に大きい値であった. また, これまでの報告では, ランナーの $\dot{V}O_2\text{max}$ の加齢変化は一般人より小さい傾向にあるがゆえに, 本研究の結果はこれまでとは異っているといえる.

質問紙法によるアンケート調査から, 本研究の高齢ランナーのトレーニングの目的は, 記録向上志向よりもむしろ健康保持志向の方が強いことが明らかになった. トレーニングは量的にはかなり多いものであったことから, ランナーの加齢に伴う $\dot{V}O_2\text{max}$ の著明な低下は若いランナーに比べて質的な面でやや劣ることに起因するものと推察できる. つまり, 若年ランナーの多くは日常のトレーニング継続により高い酸素能力を有しているが, より高齢のランナーにとっては, 勝利や記録向上を目指す志向とともに高強度のトレーニングを十数年の長期間にわたって保ち続けることはかなり困難と思われる. 従って, ランナーの加齢による $\dot{V}O_2\text{max}$ の相対的低下率は, 必然的に若年齢で低値を示す運動不足傾向の一般人のそれよりも大きくなることも予想できる.

周知のごとく, $\dot{V}O_2\text{max}$ は加齢や日常の身体活

動レベルなどの影響を複雑に受けて変化する. 一般人, 特に長期にわたって非活動的な人の $\dot{V}O_2\text{max}$ は, 日常の身体運動量, 活動量が著しく変化するとは考えられないことから, $\dot{V}O_2\text{max}$ の変化にはいわゆる加齢の影響が大きいと思われる.

一方, ランナーにおいては, トレーニング内容の変化, 或はその背後にある競技に対する心理的变化などに随伴しておこるトレーニングの量的・質的变化など, 加齢以外の諸因子の影響がさらに複雑に関与していることも考えられる. この点に関する詳細は, ランナーの長期縦断的観察が必要であると思われる. しかし, 同年の一般人に比べて, 本ランナーが有意に高い $\dot{V}O_2\text{max}$ を有した点は従来の報告と一致するものである. 本ランナーの $\dot{V}O_2\text{max}$ は, 一般人と比較すると年代別でみて50~60%も高く, 70歳代ランナーの値は一般人の40歳代の値に相当した.

加えて, 70歳代ランナーの $\dot{V}O_2\text{max}$ は, Take-shima たち³¹⁾ の70歳代一般高齢者よりも平均で約12 ml/kg/min 高かった. 高齢者においてもこのように顕著な差がみられたことは興味深い成績であり, トレーニングの効果が70歳においても認められることを示すものである.

また, 本対象の70歳代ランナーのトレーニング開始年齢が平均58歳であったことから, 本研究の結果は, 高齢者のトレーニング能力の点からも注目される.

しかし, 高い全身持久性を有することの背景にあるトレーニングそれ自体が高齢者の健康維持に大いに貢献しているかどうかは必ずしも明確ではなく, 今後の研究成果が期待される.

$\dot{V}O_2\text{max}$ とトレーニング継続年数との間には有意な関係は認められなかったが, ランナーとしてのトレーニング開始年齢と $\dot{V}O_2\text{max}$ との間には $r = -0.600$ なる有意な相関がみられた. このことは, 加齢による $\dot{V}O_2\text{max}$ の低下は不可避であるが, より若い年齢からトレーニングを続けることの方が高い酸素摂取能力を保持し得ることを示唆するものである.

一方, HRmax は $\dot{V}O_2\text{max}$ と同様に加齢による低下がみられ, Hossack たち¹⁷⁾ や小林たち²¹⁾ の同

性同年代の一般人の値に比較しても差はなかった。HRmax は、歴年齢の影響を強く受け、運動習慣の有無にはあまり影響されないという従来の報告と一致した。

HRmax の低下は、末梢組織での O_2 利用能の低下に比べると、 $\dot{V}O_{2max}$ の加齢低下に対してより大きな影響を及ぼすことが報告されている^{14,15)}が、トレーニングの継続によっても HRmax の低下阻止は不可避であるといえよう。

HRmax の推定値 (220-年齢) と実測値との間には、有意な相関 ($r=0.617$) がみられた。しかし、個人差も大きく ± 10 拍/分以上の差異を示した者が約 32% みられたことから、高齢者についても推定 HRmax 値を個人のトレーニングなどに適用する際には限界が伴うことを念頭に入れる必要がある。

SBPmax, DBPmax については、年代間で有意な差は認められなかった。一般的に中高年者の運動指導においては、心拍数のみならず血圧の運動による増高を留意することも大切であることから、この応答には興味を持たれたが、本研究では加齢による血圧変動には明らかな特徴はみられなかった。

V. 要 約

本研究は、中高年ランナーに対して自転車エルゴメーター作業を負荷することにより、LT および all-out 時での $\dot{V}O_2$, HR, SBP, DBP を測定し、これらの加齢変化やトレーニング内容などとの関係について検討した。

その結果は、次のように要約できる。

1. 身長、体重、%fat、体格指数は、年代間で有意な差は認められず、すべての年代のランナーは類似の瘦身体型であった。遇当りの走行距離、時間、頻度などは個人差が大きい、平均値で見ると年代間に有意な差は認められなかった。ランナーとしての経験年数も年代間に有意な差は認められなかった。しかし、加齢に伴い走パフォーマンスは著明に低下した。

2. 年齢と $\dot{V}O_{2@LT}$ との間には有意な相関 ($r=-0.686$) がみられた。しかし、 $\% \dot{V}O_{2max@LT}$

は、各年代ではほぼ同値であり、年齢との間に一定の関係は認められなかった。

3. 年齢と HR@LT との間には有意な相関がみられたが、 $\%HRmax@LT$ は $\% \dot{V}O_{2max@LT}$ と同様に年齢とは無関係であった。

4. SBP@LT, DBP@LT については年代間に有意な差は認められず、年齢との関係は明らかでなかった。

5. 加齢による変化は、 $\dot{V}O_{2@LT}$ (0.5 ml/kg/min/yr) よりも $\dot{V}O_{2max}$ (0.7 ml/kg/min/yr) の方が大きかった。

6. $\dot{V}O_{2max}$ の加齢による変化は、既報の一般人やランナーと比べて大きかった。しかし、各年代での $\dot{V}O_{2max}$ は、一般人に比べ平均で 50~60% 高く、例えば 70 歳代ランナーの $\dot{V}O_{2max}$ は一般人の 40 歳代に相当した。

7. $\dot{V}O_{2max}$ とトレーニングの経験年数との間には有意な関係はみられなかったが、ランナーとしてのトレーニング開始年齢と $\dot{V}O_{2max}$ との間には、有意な相関が認められた。

8. HRmax は、 $\dot{V}O_{2max}$ と同様に加齢による低下を示し、同性同年代の一般人と比べて有意差はみられなかった。

9. 推定 HRmax と実測した HRmax との間には、有意な相関 ($r=0.600$) がみられたものの、個人差が大きく ± 10 拍/分以上の誤差を生じた者が約 32% いた。

10. SBPmax, DBPmax は、年代間で有意な差はみられず、中高年ランナーにおいては年齢と血圧の関係は明らかでなかった。

(本研究の一部は、昭和 63 年度文部省科学研究補助奨励金 (A) によって行った。

謝 辞

本研究にあたり、被検者として協力いただいた広島壮年走ろう会の皆様に感謝の意を表します。また、測定中補助をお願いした川口純子 (広島フィットネスセンター) さんに感謝します。

(受付 平成元年 3 月 27 日)

引用文献

- 1) Allen W. K., Seals D. R. and Hurley B. F.(1985) : Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol.*, **58**, 1281-1284.
- 2) Beaver W. L., Wasserman, K. and Whipp, B. J. (1985) : Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.*, **59**, 1936-1940.
- 3) Borg, G.(1973) : Perceived exertion : A note on "history" and method. *Med. Sci. Sports*, **5**, 90-93.
- 4) Brözek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and Keys, A.(1963) : Densitometric analysis of body composition. *Ann NY Acad Sci.*, **110**, 113-140.
- 5) Costill, D. L. and Winrow, E.(1970) : Maximal oxygen intake among marathon runners. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **51**, 317-320.
- 6) Cunningham, D. A., Nancekieveil, E. A., Paterson, D. H., Donner, A. P. and Rechnitzer, P. A.(1985) : Ventilation threshold and aging. *J. Gerontol.*, **40**, 703-707.
- 7) Davis, J. A., Frank, M. H., Whipp, B. J. and Wasserman, K.(1979) : Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol.*, **46**, 1039-1046.
- 8) Dehn, M. M. and Bruce, R. A.(1972) : Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity. *J. Appl. Physiol.*, **33**, 805-807.
- 9) Dill, D. B., Robinson, S. and Ross, J. C.(1967) : A longitudinal study of 16 champion runners. *J. Sports. Med. Phys. Fitness*, **7**, 1-27.
- 10) 淵 時雄, 樋口 満, 山川喜久江, 小沢真紀子, 小林修平(1986) : 60歳代長距離競技者の有酸素能力, *Jpn. J. Sports. Sci.*, **5**, 341-346.
- 11) Grimby, G., Nilsson, N. J. and Saltin, B.(1966) : Cardiac output during submaximal and maximal exercise in active middle-aged athletes. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1150-1156.
- 12) Grimby, G. and Saltin, B.(1966) : Physiological analysis of physically well-trained middle-aged and old athletes. *Acta Med. Scand.*, **179**, 513-526.
- 13) Hagan, R. D.(1984) : The Kinematics of Aging. In., Nelson, C. L. and Dwyer A. P., *The Aging Musculoskeletal System*, Chap. 10, Collamore Press, Toront, 91-102.
- 14) Hagberg, J., Allen, W. K. and Seals, D. R.(1985) : A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 2041-2046.
- 15) Heath, G. W., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A. and Holloszy, J. O.(1981) : A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol.*, **51**, 634-640.
- 16) Hodgson, J. L. and Buskirk, E. R.(1977) : Physical fitness and age, with emphasis on cardiovascular function in the elderly. *J. Am. Geriatr. Soc.*, **15**, 385-392.
- 17) Hossack, F. and Bruce, R. A.(1982) : Maximal cardiac function in sedentary normal men and women : comparison of age-related changes. *J. Appl. Physiol.*, **53**, 799-804.
- 18) Irving, J. B., Kusumi, F. and Bruce, R. A.(1980) : Longitudinal variation in maximal oxygen consumption in healthy men. *Clin. Cardiol.*, **3**, 134-136.
- 19) Ivy, J. L., Withers, R. T., Handel, P. J. V., Elger, D. H. and Costill, D. L.(1980) : Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.*, **48**, 523-527.
- 20) Katch, V., Weltman, A., Sady, S. and Freedson, F. (1978) : Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **39**, 210-227.
- 21) 小林寛道, 北村潔和, 松井秀治(1980) : 一般健康成人男子および中高年スポーツ愛好者の Aerobic Power, *体育学研究*, **24**, 313-323.
- 22) Matter, S., Stamford, B. A. and Weltman, A. (1980) : Age, diet, maximal aerobic capacity and serum lipids. *J. Gerontol.*, **35**, 532-536.
- 23) Nagamine, S. and Suzuki, S.(1964) : Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum Biol.*, **36**, 8-15.
- 24) Pollock, M. L., Miller, H. S. and Wilmore, J. H. (1974) : Physiological characteristics of champion american track athletes 40 to 75 years of age. *J. Gerontol.*, **29**, 645-649.

- 25) Posner, J. D., Gorman, K. M. Klein, H. S. and Cline, C. J. (1987) : Ventilatory threshold : measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol.*, **63**, 1519-1525.
- 26) Pronfant, G. R., Early, R. G. and Nilson, K. L. (1972) : Responses to maximal exercise in healthy middle-aged women. *J. Appl. Physiol.*, **33**, 595-599.
- 27) Ready, A. E. and Quinney, H. A. (1982) : Alterations in anaerobic threshold as the result of result of endurance training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* **14**, 292-296.
- 28) Reinhard, U., Müller, P. H. and Schmuelling, R. M. (1979) : Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration*, **38**, 36-42.
- 29) Rusko, H., Rahkila, P. and Karvinen, E. (1980) : Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta. Physiol. Scand.* **108**, 263-268.
- 30) Shephard, R. J. (1978) : Physical activity and Aging. Croom Helm, London, 104.
- 31) Takeshima, N., Kobayashi, F., Watanabe, T. Sumi, K., Tanaka, K. and Kato, T. (1986) : Responses to a submaximal-maximal stress test in elderly. ICPFR symposium in Osaka (in press).
- 32) 田中喜代次, 吉村隆喜, 奥田豊子, 小西洋太郎, 角田 聡, 出村慎一, 岡田邦夫 (1986) : AT 水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に及ぼす効果. *体力研究*, **62**, 26-40.
- 33) Yoshida, T., Suda, Y. and Takeuchi, N. (1982) : Endurance training regimen based upon arterial blood lactate : Effect on anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **49**, 223-230.