

心拍数から見た中長距離走の運動強度

柳 川 和 優*

Estimated Exercise Intensity of Heart Rate of Middle and Long Distance Runners

Kazumasa Yanagawa

Abstract

The purpose of this study was to clarify the exercise intensity of middle and long distance runners from the ventilatory threshold (VT) and respiratory compensation for metabolic acidosis (RCMA) perspectives. A total of four healthy men participated as subjects in this study to measure heart rate (HR) during various events (the Hiroshima International Peace Marathon, triathlon, bike training, run training and *ekiden*). Furthermore, the VT, RCMA and oxygen uptake ($\dot{V}O_2$)-HR, HR- $\dot{V}O_2$ relationship for each subject were measured, and then the HR during the point of VT and RCMA for $\dot{V}O_2$ -HR relationship was calculated. Moreover, the mean HR was substituted during each exercise for HR- $\dot{V}O_2$ relationship, and then the percentage of the maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) was calculated. The following results were obtained:

1. It can be considered that the exercise intensity of θ_F , OBLA, RCMA are of similar extent.
2. The percentage point of HR exceeding the VT was measured at almost 100 percent during the Peace Marathon 1999 (10 km), triathlon bike stage (33 km), triathlon running stage (12 km) and *ekiden* (10.6 km). Also, the percentage point of HR exceeding the RCMA was measured at an excess of 90 percent

* 広島経済大学経済学部助教授

during the Peace Marathon 1999, triathlon running stage and *ekiden*. Also, the percentage point of HR exceeding the RCMA was measured at an excess of 40 percent during the bike stage of the triathlon.

3. The results of the percentage of the $\dot{V}O_2\text{max}$ of the mean HR during each race, show the following increase in exercise intensity percentage: triathlon bike stage (86.3%), triathlon running stage (92.6%), *ekiden* (95.0%), Peace Marathon 1999 (102.4%). Also, there were more higher level of the oxygen uptake than past reports.

4. The exercise intensity of the triathlon bike stage was lower than the RCMA, also triathlon running stage and *ekiden* were considerably higher than the RCMA.

5. The mean HR during the bike and running training of the triathlon race were significantly lower than the mean HR for the triathlon race itself during the bike stage and running stage ($p < 0.01$). Therefore, it was suggested that improvement of exercise intensity during training is effective in improving the performance of the athletes participating in distance events.

The training intensity, training duration, training frequency differ with season. However, it is conceivable that the training for the exercise intensity of θ_F , OBLA, RCMA level are of importance during the athlete's intensive practicing period.

Key words: middle and long distance runners, triathletes, heart rate, ventilatory threshold, respiratory compensation for metabolic acidosis

I. はじめに

運動強度が高くなると、筋収縮のエネルギー源として必要な ATP は有酸素的過程だけで補充できず、無酸素的過程も動員される。この無酸素的過程が動員され始める運動強度または酸素摂取量は無酸素性作業閾値 (anaerobic threshold : AT) として知られている²⁴⁾。AT の判定法には、血中乳酸値の変化から判定する方法と、換気ガス交換の変化から判定する方法の二種類があり、前者は乳酸性閾値 (lactate threshold : LT), 後者は換気性閾値 (ventilatory threshold : VT) と呼ばれている。一般人の LT や VT の多くは最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake :

$\dot{V}O_{2max}$) の50~60%であり、一流長距離選手では $\dot{V}O_{2max}$ の70~80%に達する¹³⁾。また、AT における主観的運動強度は「ややきつい」から「きつい」程度であると報告¹⁹⁾ されている。さらに、LT での走行スピードは、実際のマラソンレース中のスピードとほぼ一致する⁴⁾ ことが確認されている。

AT に関連する指標として、血中乳酸蓄積開始点 (onset of blood lactate accumulation : OBLA)¹⁰⁾ がある。これは、漸増運動負荷試験中に血中乳酸濃度が 4 mmol/l に達する点であり、一般人成人、持久競技選手の OBLA はそれぞれ $\dot{V}O_{2max}$ の84%、88%にある¹⁴⁾。AT や OBLA は、 $\dot{V}O_{2max}$ と共に、持久能力の重要な指標として広く用いられている。また、激しい運動時には代謝性アシドーシスに対する呼吸性代償がおり、CO₂ に対して過換気状態になるポイント (respiratory compensation for metabolic acidosis : RCMA) が存在する。V-slope 法¹⁾ においては、RCMA 以降のデータを除外して VT を決定する。Skinner and Mclellan (1980)²¹⁾ は、安静時から最大強度まで負荷を漸増して運動する際のガス交換諸量等を三つの Phase に分けて模式化し、Phase III の開始時点が RCMA であり、ほぼ OBLA に相当することを示した。

これまでに、中長距離走、クロスカントリースキー、トライアスロン等の持久性競技における運動強度は、 $\dot{V}O_{2max}$ 、VT、LT、OBLA との関連において多数報告^{20, 12, 22, 23, 9)} されてきた。しかしながら、中長距離走の運動強度を VT ならびに RCMA の観点から検討した報告は見あたらない。そこで本研究では、中長距離走の運動強度を VT ならびに RCMA の観点から明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は、健康な成人男子延べ4名(被検者 KY96, KY97, KY99 は同一人物であるが、測定年が異なる)であった。被検者 KY は、一週間に2回ジョギングを行っている中年男性であり、被検者 TF は、陸上競技歴(中長距離)10年のアスリートであった。被検者の身体的特徴を表1に示した。

B. 測定項目

1. ガス交換諸量

a. 実験1

自転車エルゴメータ (RS232cXL : コンビ製) を用いて、20 W/min の傾きをもつ ramp 負荷運動テストを行った。具体的には自転車の上で1分間の安静、4分間

表1 被検者の身体的特徴と $\dot{V}O_{2max}$, VT, RCMA

Subjects	Age (yrs)	Wt (kg)	Ht (cm)	%fat* (%)	$\dot{V}O_{2max}$		VT			RCMA		
					(l/min)	(ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (l/min)	% $\dot{V}O_{2max}$ (%)	HR (bpm)	$\dot{V}O_2$ (l/min)	% $\dot{V}O_{2max}$ (%)	HR (bpm)
KY96	37	68.0	172	12.5	3.02	44.41	1.71	56.8	115.8	2.63	87.2	152.9
KY97	38	66.5	172	12.1	2.99	44.96	1.72	57.4	119.4	2.59	86.5	153.7
KY99	40	67.0	172	15.3	2.60	38.81	1.50	57.7	110.8	2.21	85.0	143.3
									(LT:120.0)		(OBLA:146.0)	
TF	22	61.5	170	8.3	4.41	71.71	3.11	70.7	160.3	3.88	88.0	176.8

*Brožek et al. (1963), Nagamine and Suzuki (1964) の推定式に従って算出

20 W でのウォーミングアップの後に、負荷漸増で exhaustion に導いた。運動負荷テスト中を通して、ガス交換諸量と心拍数 (heart rate : HR) が breath-by-breath モードでマスク仕様の Aero monitor AE-280S (ミナト医科学製) により測定された (被検者 KY96, KY97, KY99)。また、加温された指先から採血された末梢血中乳酸濃度が Diagulca (東洋紡製) により 2 分間隔で測定された (被検者 KY99)。測定時の環境温度は 22~25°C であった。

b. 実験 2

トレッドミルを用いて漸増負荷運動テストを行った。プロトコルは、スタートから 1 分 15 秒までは傾斜を 2% に保ち、スピードを 15 秒ごとに 3 km/h ずつ増加させ、その後は傾斜を 4% に保ち、スピードを 60 秒ごとに 6 km/h ずつ増加させるというものであった。ガス交換諸量は breath-by-breath モードでマウスピース仕様の Oxycon-sigma (Mijhardt 製) により、心電図情報は ML-4400 (フクダ電子製) により、それぞれ測定された (被検者 TF)。測定時の環境温度は 30°C であった。

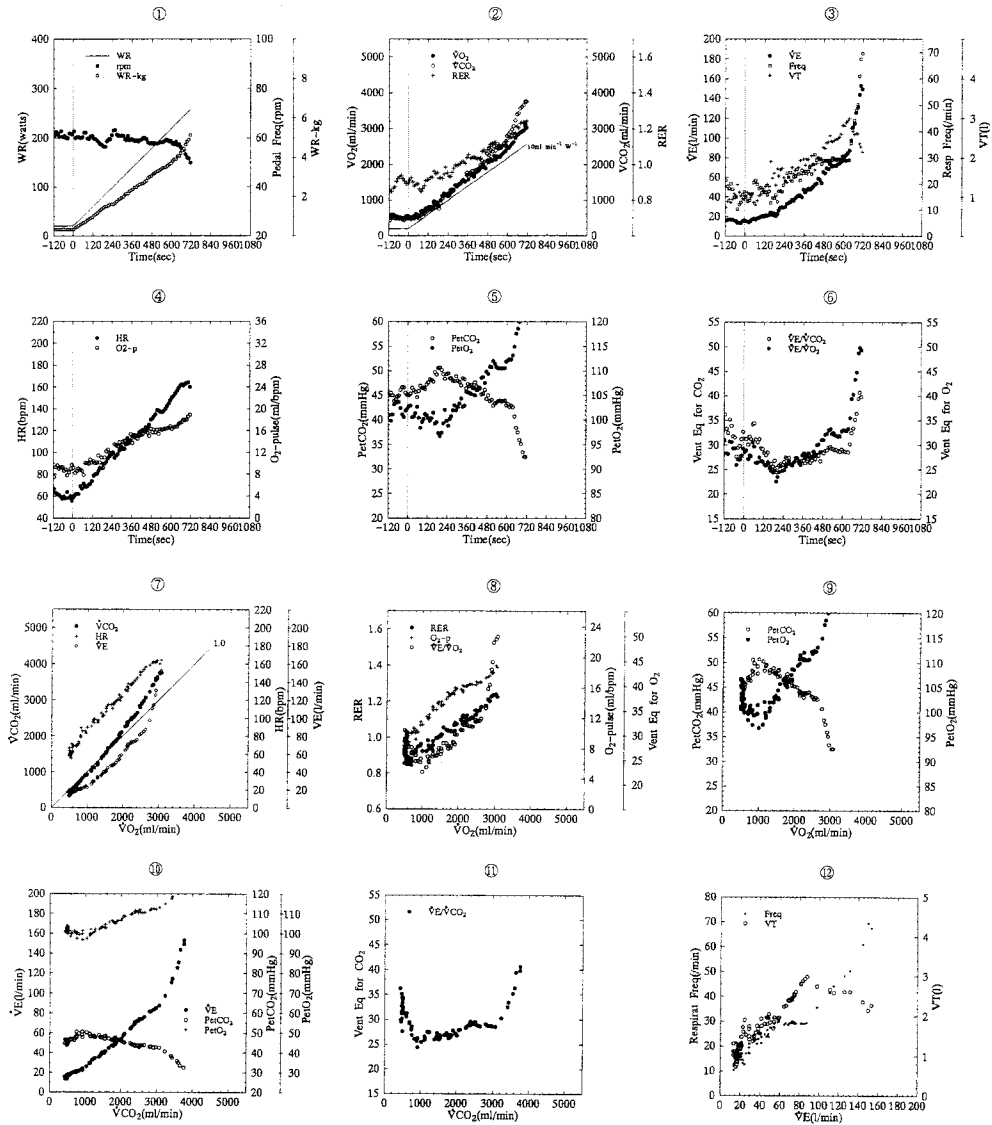
実験 1, 実験 2 共に測定されたガス交換諸量は、はずれ値の処理を施した後に、breath-by-breath 形式からいったん sec-by-sec データに変換された後、さらに 10 秒間隔の平均値に変換され、その後の解析に用いた。

2. 運動中の HR

以下の 5 種類の運動中における HR を、心拍メモリ装置 (竹井機器工業製 : 1876a 型) を用いて 10 秒値を測定し、各々 1 分値に換算した。

- 平和マラソン (10 km : 被検者 KY96, KY97, KY99)
- トライアスロン (バイク 33 km, ラン 12 km : 被検者 TF)
- 駅伝 (10.6 km : 被検者 TF)
- ラントレーニング (15 km : 被検者 TF)

e. バイクトレーニング (33 km : 被検者 TF)



Subj: KY96

図1 ガス交換諸量を解析するために提唱された12プロットの一例

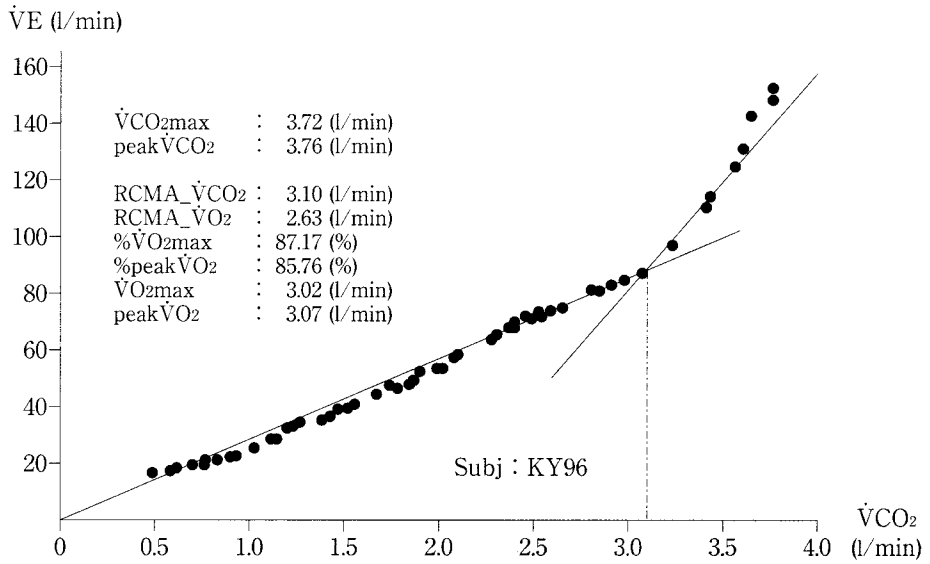


図2 RCMA 決定の一例

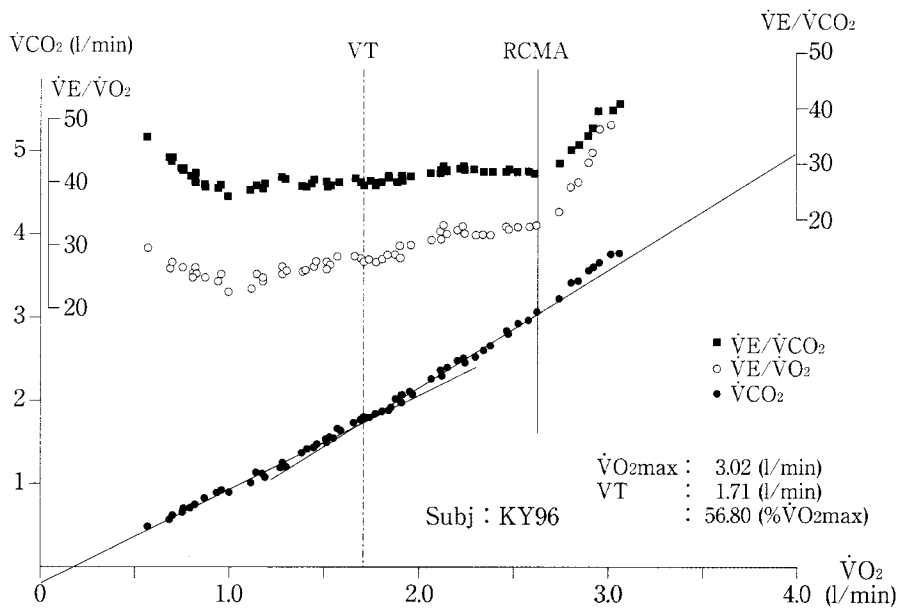


図3 VT 決定の一例

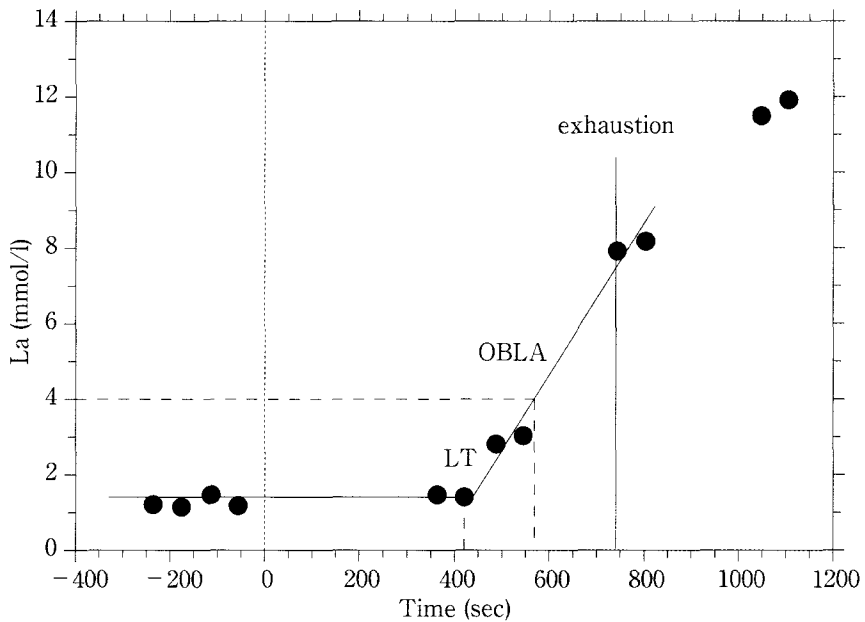


図4 LT と OBLA 決定の一例

C. VT, RCMA, LT, OBLA の決定

運動負荷テスト中の10秒平均値のガス交換諸量からの VT の決定は、Beaver et al. (1986)¹⁾ の V-slope 法による自動決定アルゴリズム (図3) と、従来の標準的な基準による視覚的判断⁸⁾ (図1) を併用して行った。RCMA の決定は、福場ら (1984)⁵⁾ の折れ線回帰分析を $\dot{V}CO_2 - \dot{V}E$ の関係に適用して行い (図2), 標準的な基準による視覚的判断 (図1) により確認した。LT, OBLA の決定は、標準的な基準による視覚的判断により行った (図4)。運動負荷テスト中における VT, RCMA 時の $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_2 - HR$ の関係式 (図5の上段) に代入し VT, RCMA の HR を算出した。また、各運動中の平均 HR を $HR - \dot{V}O_2$ の関係式 (図5の下段) に代入し $\% \dot{V}O_{2max}$ を算出した。

D. 統計処理

データ間の関連を検討するためにピアソンの相関係数を用いた。二群間の平均値の差の検定は、対応のない場合の t 検定を用いた。

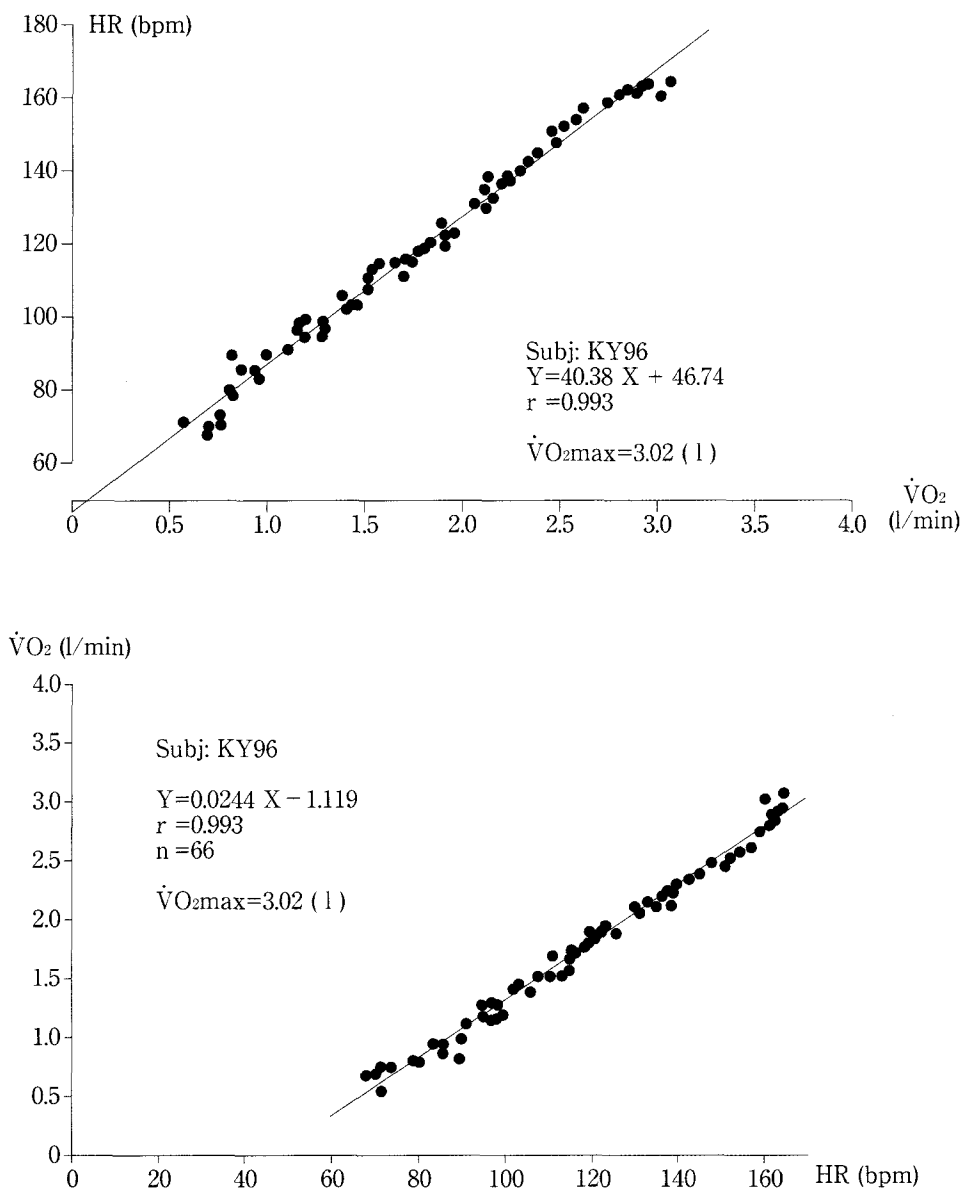


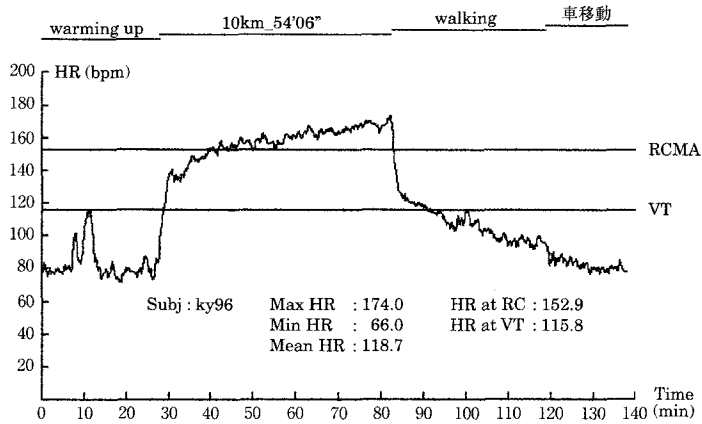
図5 $\dot{V}O_2$ -HR および HR- $\dot{V}O_2$ 関係の一例

Ⅲ. 結 果

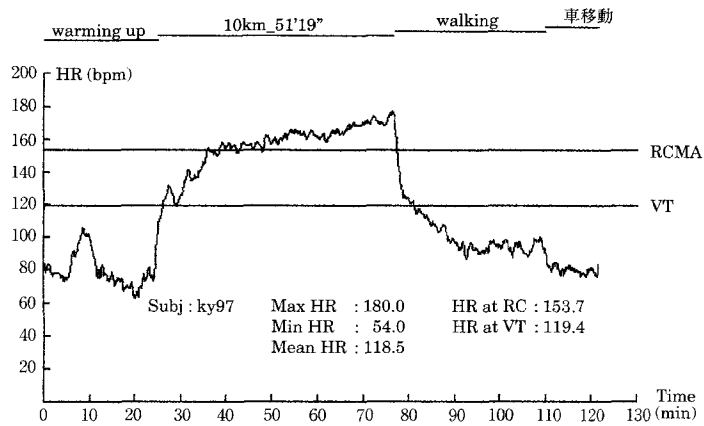
A. 平和マラソンレース中の HR

図6は、被検者 KY96 (A), KY97 (B), KY99 (C) のひろしま国際平和マラソンレース中における HR の変動, 最高心拍数 (Maximal HR), 最低心拍数

A



B



C

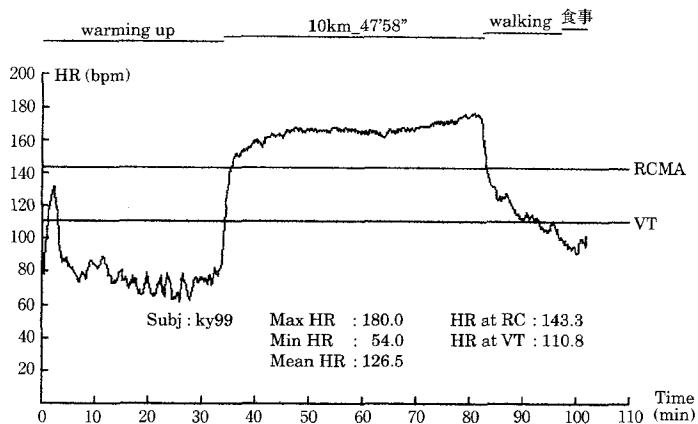


図6 平和マラソンレース中における HR の変動

(Minimal HR), 平均心拍数 (Mean HR), RCMA 時の心拍数 (HR at RCMA), VT 時の心拍数 (HR at VT) を示したものである。測定時の環境温度は図 6 - A, B, C の順に 21.2°C, 17.3°C, 17.3°C であった。なお, 図 6 以降における HR の変動の図は, 5 点移動平均により平滑化したものである。

平和マラソンは, ほとんどアップダウンのない平坦なロードコースで行われた。主観的運動強度 (rating of perceived exertion : RPE)²⁾ は, 図 6 - A, B 共に前半ややきつい (RPE13), 中盤きつい (RPE15), 後半かなりきつい (RPE17) ~ 非常にきつい (RPE19) であり, 図 6 - C は, 5 分までややきつい (RPE13), 10 分くらいからきつい (RPE15), 30 分以降非常にきつい (RPE19) であった。なお, 図 6 - A, B は気楽に楽しんで走り, 図 6 - C はベスト記録をねらって走った結果であった。

B. トライアスロンレース中の HR

図 7 は, 被検者 TF のトライアスロンレース中における HR の変動を示したものである。測定時の環境温度は 32.3°C であった。レースは, 三原市さぎ島のショートコース (スイム 1.2 km, バイク 33 km, ラン 12 km) で行われた。スイムは海岸沿いのコースであるが, 心拍メモリ装着不可能のため HR の測定は行っていない。バイクステージは, 1 周 (11 km) に 2 カ所急な上り下りがあるロードを 3 周する

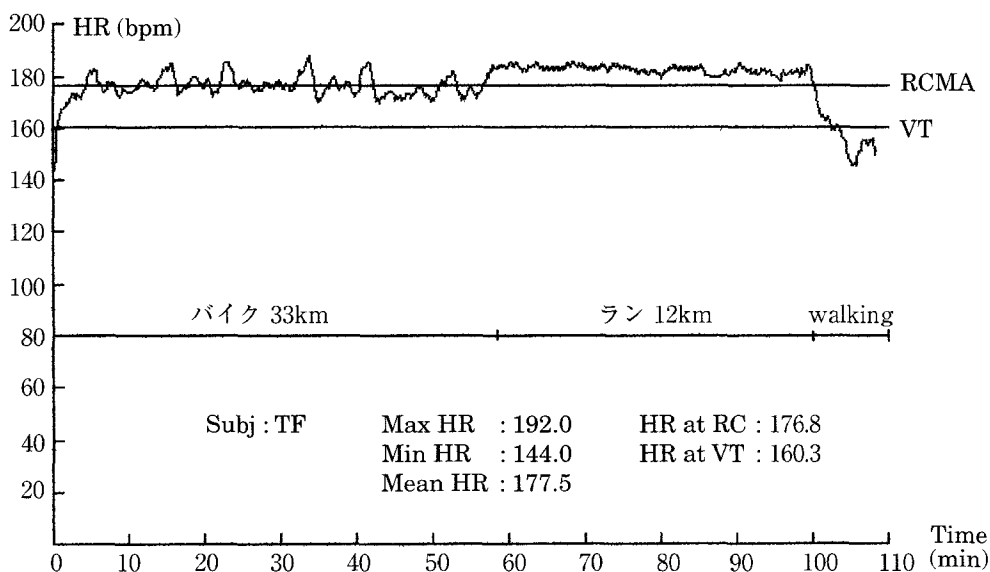


図 7 トライアスロンレース中における HR の変動

島周回コースであった。ランステージは、短い上り下り2回、長い上り下りが1回ある12 kmのロードコース（島の外周を1周）であった。被検者は、スイムから上がった時点で心拍メモリを装着し、バイクをスタートした。スタート直後のHRはすでにVTを越えており、ほぼRCMA付近で推移していた。ランのHRは、ほとんどRCMAを越えて定常状態になっていた。

被検者TFの競技成績は、初のトライアスロン挑戦ながら6位入賞という結果であった。なお、スイム後の心拍メモリ装着時において約3分間のロスタイムがあった。

C. 駅伝レース中のHR

図8は、被検者TFの駅伝レース中におけるHRの変動を示したものである。測定時の環境温度は19.3℃であった。被検者TFが走ったのは、海岸沿いの時折短い上り下りがあるフラットなコース10.6 km区間であった。スタート直後にトップスピードに入ったためHRは3分以降RCMAを越え、ゴール到着時まで漸増していった。

D. トライアスロントレーニング中のHR

図9は、被検者TFのラントレーニング中におけるHRの変動を示したもので

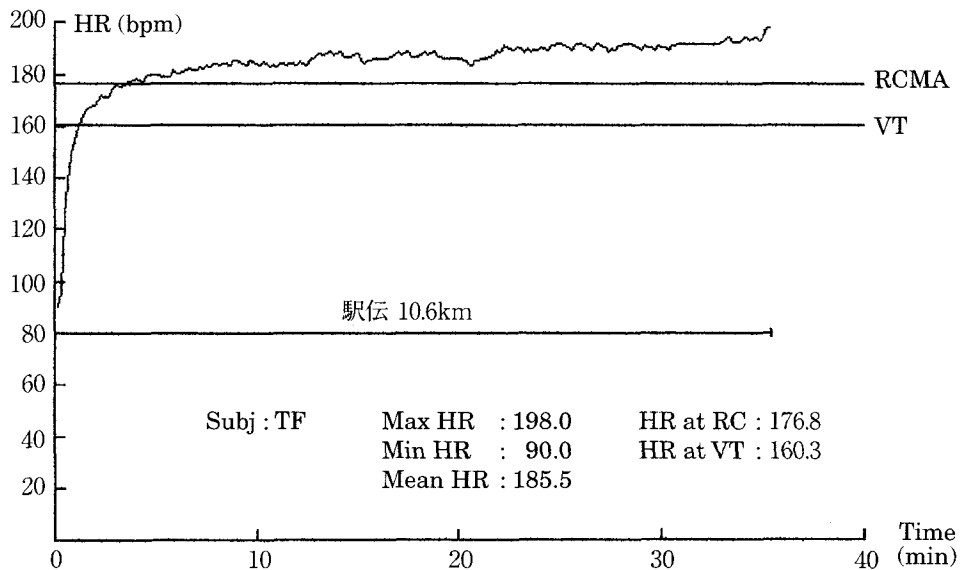


図8 駅伝レース中におけるHRの変動

ある。測定時の環境温度は32.3℃であった。被検者 TF は、標高約 200 m のグラウンドから約 2 km のジョギングを行った後、河川敷の平坦コースを 11 km 走り、その後標高約 200 m のグラウンドへ上がる約 2 km のビルドアップ走を行った。このトレーニングは、被検者 TF がトライアスロンレースを想定して行ったものであった。HR は、ラン開始直後は下りであるため10分までは VT よりかなり下であるが、ペースが安定してくるころにはほぼ VT レベルで定常状態になっていた。後半はペースを上げて上りを走ったことにより、HR は RCMA を上回っていた。HR が急激に上昇し始めたのは、上り始めて更にペースを上げた時であった。この後半のペースアップは、レース時においてスパートをかけた場合を想定して行った。

図10は、被検者 TF のバイクトレーニング中における HR の変動を示したものである。測定時の環境温度は35.1℃であった。トレーニングを行ったコースは、本番のトライアスロンバイクステージが行われるさぎ島周回コースであり、走行距離も本番と同じ 33 km であった。レース本番では、バイクステージに続いてランステージが控えている。したがって、ランステージのためにある程度余力を残す想定をし、イーブンペースで周回を行った。HR は、バイクトレーニング中 VT を 6 回越えた（6 回の上り坂）が、RCMA を超えることはなかった。

図11は、被検者 TF のトライアスロンレース中とトレーニング中における平均 HR の比較を示したものである。平均 HR は、バイク、ラン共に、トレーニング時

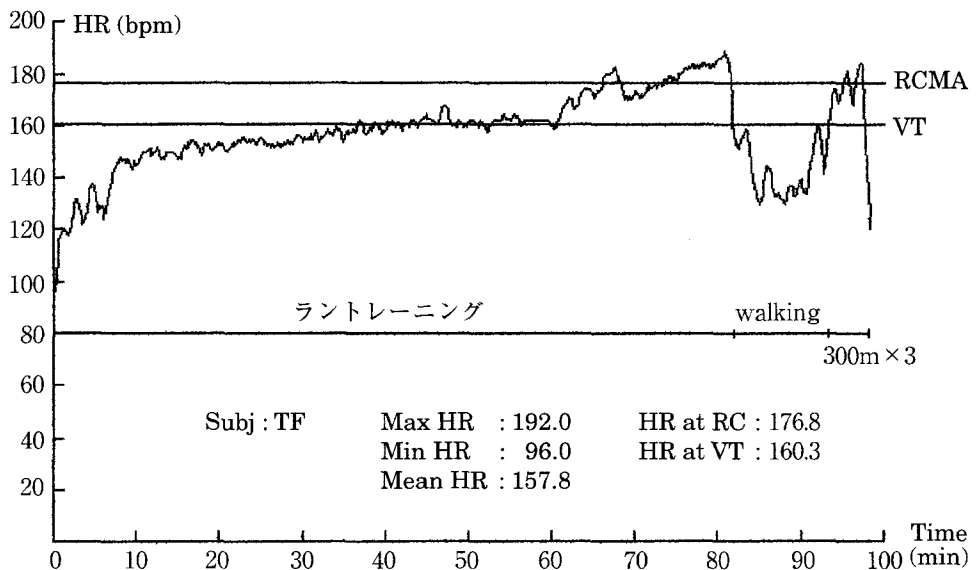


図9 ラントレーニング中における HR の変動

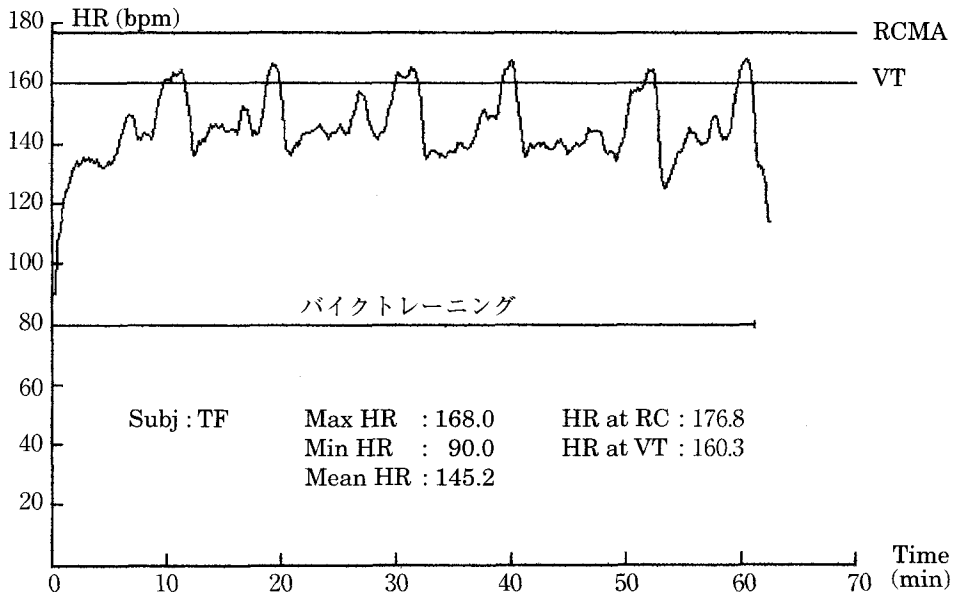


図10 バイクトレーニング中における HR の変動

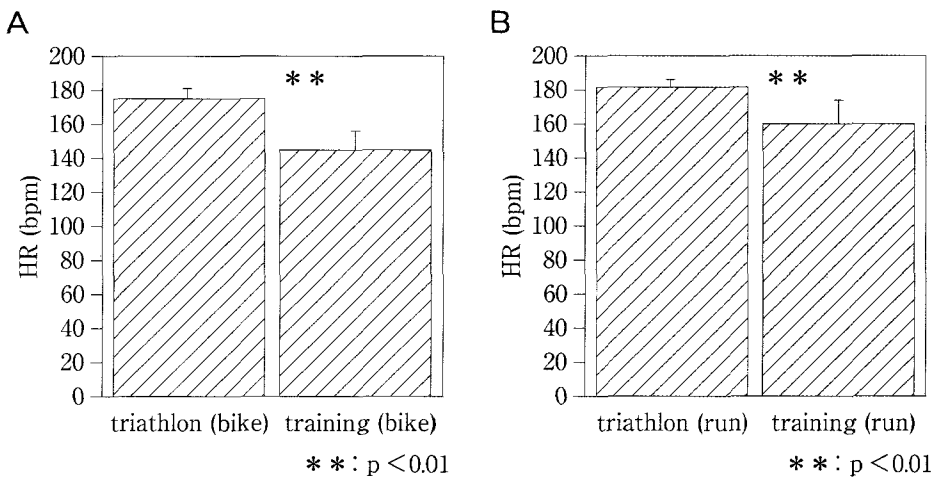


図11 レース中とトレーニング中における平均 HR の比較

の方がレース時よりも1%水準で有意に低い値であった。

E. 中長距離走の運動強度

表2は、平和マラソン、トライアスロン、バイクトレーニング、ラントレーニング、駅伝中のVT、RCMA時のHRを越えた時間および割合を示したものである。レース時(平和マラソン、トライアスロンバイク、トライアスロンラン、駅伝)の

表2 運動中の VT, RCMA を越えた時間および割合

Exercise	Subjects	VT (bpm)	exceeded VT time (min)	(%)	RCMA (bpm)	exceeded RCMA time (min)	(%)	Total exercise time (min)
Hiroshima International	KY96	115.8	53.7	98.8	152.9	39.8	73.3	54.3
Peace Marathon (10km)	KY97	119.4	50.7	98.7	153.7	37.3	72.7	51.3
	KY99	110.8	48.0	100.0	143.3	47.0	97.9	48.0
Triathlon (33km : bike)	TF	160.3	55.3	99.7	176.8	22.0	39.6	55.5
Triathlon (12km : run)	TF	160.3	43.5	100.0	176.8	41.8	96.2	43.5
Training (33km : bike)	TF	160.3	9.7	15.5	176.8	0.0	0.0	62.3
Training (15km : run)	TF	160.3	47.2	48.0	176.8	12.3	12.5	98.3
Ekiden (10.6km)	TF	160.3	34.3	97.6	176.8	31.5	89.6	35.2

表3 中長距離走の運動強度

Exercise	Subjects	Max HR (bpm)	Min HR (bpm)	%VO ₂ max			
				total (bpm)	last 10min (%)		
Hiroshima International	KY96	174.0	78.0	157.1	89.9	168.0	98.7
Peace Marathon (10km)	KY97	180.0	108.0	156.4	88.4	170.3	100.0
	KY99	180.0	78.0	165.2	102.4	172.7	108.5
Triathlon (33km : bike)	TF	192.0	144.0	176.6	86.3	174.5	84.2
Triathlon (12km : run)	TF	186.0	174.0	183.1	92.6	181.7	91.2
Training (33km : bike)	TF	168.0	90.0	145.6	56.0	147.4	57.7
Training (15km : run)	TF	192.0	96.0	159.2	69.3	181.1	90.7
Ekiden (10.6km)	TF	198.0	90.0	185.5	95.0	191.8	101.1

HR は、97.6~100% VT を超えていた。トライアスロンバイク以外のレース時の HR は、72.7~97.9% RCMA を超えていた。トライアスロンバイク時の HR は、39.6% RCMA を超えていた。バイクトレーニング、ラントレーニング時の HR は、VT をそれぞれ15.5%、48.0%超えており、RCMA をそれぞれ0%、12.5%超えていた。

表3は、平和マラソン、トライアスロン、バイクトレーニング、ラントレーニング、駅伝中の運動強度を示したものである。

被検者 TF における各運動中の平均 HR を $\% \dot{V}O_{2max}$ で表すと、バイクトレーニング (56.0%)、ラントレーニング (69.3%)、トライアスロンバイク (86.3%)、トライアスロンラン (92.6%)、駅伝 (95.0%) の順に強度が高くなっていった。また、ゴール直前10分間の平均 HR を $\% \dot{V}O_{2max}$ で表すと、バイクトレーニング (57.7%)、トライアスロンバイク (84.2%)、ラントレーニング (90.7%)、トライアスロンラン (91.2%)、駅伝 (101.1%) の順に強度が高くなっていった。

被検者 KY におけるレース中の平均 HR を $\% \dot{V}O_{2max}$ で表すと、平和マラソン 97 (88.4%)、平和マラソン 96 (89.9%)、平和マラソン 99 (102.4%) の順に強度が高くなっていった。また、ゴール直前10分間の平均 HR を $\% \dot{V}O_{2max}$ で表すと、平和マラソン 96 (98.7%)、平和マラソン 97 (100.0%)、平和マラソン 99 (108.5%) の順に強度が高くなっていった。

IV. 考 察

A. θ_F , OBLA, RCMA の関連

数十秒から十数分以内で疲労困憊に至るような、いくつかの異なった一定負荷運動強度で、それぞれ別個に脚の自転車エルゴメータ運動を行い、その時に生体がなした発揮パワー (P) と、運動が継続できた疲労困憊までの時間 (t) の関係をみると、漸近レベルをもつ双曲線として記述されることが知られている。この漸近レベルは Fatigue threshold (θ_F) と呼ばれ、ある程度以上の長い時間にわたって運動を継続することが可能な上限の運動レベルを意味する⁷⁾。先行研究^{17,18)}によれば、 θ_F は LT と $\dot{V}O_{2max}$ に相当する運動強度の中間に存在し、OBLA⁶⁾ に近いものに相当すると考えられる。

また、以下の理由により、OBLA と RCMA はほぼ等しい運動強度であると考えられる。第一に、本研究でサンプルとして得られた被検者 KY99 における OBLA 時の HR は 146 bpm であり、RCMA 時の HR は 143.3 bpm であった。第二に、Skinner and McLellan (1980)²¹⁾ は仮説的モデルの中で、Phase III の開始時点が RCMA であり、ほぼ OBLA に相当することを示した。第三に、中村 (1992)¹⁴⁾ は、一般人成人、持久競技選手の OBLA はそれぞれ $\dot{V}O_{2max}$ の 84%、88% にあることを報告し、本研究で得られた RCMA は 85~88% $\dot{V}O_{2max}$ であった (表 1)。第四に、吉沢ら (1991)²⁷⁾ は、高校駅伝男子優勝チーム 8 名の体重当たりの $\dot{V}O_{2max}$ と OBLA 時の $\% \dot{V}O_{2max}$ の平均値は、それぞれ $70.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $88.1\% \dot{V}O_{2max}$ であったと報告し、本研究で得られた被検者 TF の体重当たりの $\dot{V}O_{2max}$ 、RCMA は、それぞれ $71.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $88.0\% \dot{V}O_{2max}$ であり、それらとほぼ等しい値

であった。

さらには、本研究で得られた RCMA は85~88% $\dot{V}O_{2max}$ であり、VT と $\dot{V}O_{2max}$ に相当する運動強度のほぼ中間よりやや高い強度に存在していた(表1)。これらのことから推察すると、 θ_F 、OBLA、RCMA に相当する運動強度はほぼ同程度であると見なすことができるかもしれない。

B. 中長距離走の運動強度

トライアスロンと駅伝中における平均 HR を % $\dot{V}O_{2max}$ で表すと、トライアスロンバイク(86.3%)、トライアスロンラン(92.6%)、駅伝(95.0%)の順に強度が高くなっていった(表3)。また、被検者 TF の RCMA は88.0% $\dot{V}O_{2max}$ であった。さらに、レース中に RCMA 時の HR を越えた割合は、トライアスロンバイク(39.6%)、駅伝(89.6%)、トライアスロンラン(96.2%)の順に多くなっていった(表2)。したがって、トライアスロンバイクは RCMA よりやや低い強度であり、トライアスロンランと駅伝は RCMA よりかなり高い強度であることが明かとなった。トライアスロンバイクの運動強度が RCMA より低かったのは、次の種目であるランを想定して、ややペースをおさえて走ったためと考えられる。

中長距離種目別の酸素摂取水準は、10 km : 84.1% $\dot{V}O_{2max}$ 、20 km : 80.2% $\dot{V}O_{2max}$ 、30 km : 76.6% $\dot{V}O_{2max}$ 、42.195 km : 75.6% $\dot{V}O_{2max}$ であると報告¹⁵⁾されている。また、1,500 m~42.195 km までのすべての競技は LT 強度以上で行われており、16 kmを境にそれより短い距離では OBLA 以上、長い距離では OBLA 以下の運動強度で競技が行われている¹³⁾。

被検者 TF がトライアスロンバイク(33 km)に要した時間は55.5分、ラン(12 km)に要した時間は43.5分であった。このことからすると、トライアスロンのバイクとランを連続して行った場合は、ランのみで行った場合の約 30 km に相当すると考えられる。上記の報告からすると、ほぼ 30 km : 76.6% $\dot{V}O_{2max}$ 、OBLA 以下の運動強度で競技が行われていることになる。しかしながら、トライアスロンレース中の運動強度(バイク+ラン)は、86.3~92.6% $\dot{V}O_{2max}$ であり、39.6~96.2% RCMA を越えていた。また、被検者 TF の駅伝(10.6 km)時における運動強度は 95.0% $\dot{V}O_{2max}$ であり、上記の報告で示された 10 km : 84.1% $\dot{V}O_{2max}$ よりもかなり高い値であった。これらのことから、過去の報告よりもかなり高い酸素摂取水準で 10~30 km のランに相当する種目を遂行する選手が存在することが明かとなった。

被検者 KY が全力で走った平和マラソン99の平均 HR を % $\dot{V}O_{2max}$ で表すと

102.4%であり(表3), レース中に RCMA を越えた割合は97.9%であった(表2)。Oja et al. (1987)¹⁶⁾ は, トレッドミル走における $\dot{V}O_{2max}$ を100%とすると, 自転車駆動のによる $\dot{V}O_{2max}$ は90.5%であったと報告している。このことから, % $\dot{V}O_{2max}$ が100%を越えているのは, 自転車エルゴメーターを使用して $\dot{V}O_{2max}$ の測定を行ったためであり, 真の $\dot{V}O_{2max}$ よりも低く見積もった結果であると考えられる。

平和マラソン99の平均運動強度は102.4% $\dot{V}O_{2max}$ であり, 約10%低く見積もったとしても上記の報告で示された 10 km : 84.1% $\dot{V}O_{2max}$ よりもかなり高い値であり, RCMA を97.9%越えていた。このことから, 被検者 KY99 も被検者 TF と同様に過去の報告よりもかなり高い酸素摂取水準で 10 km のランを遂行したことになる。

C. 中長距離走とトレーニング

Robinson et al. (1991)²⁰⁾ は, 全国レベルの男子エリート中長距離ランナー13名を対象に通常のトレーニング期間6~8週間にわたってトレーニング中の運動強度を記録した結果, OBLA スピードと比較して全被検者とも1%水準で有意にかなり低い値であることを報告した。また, OBLA スピードが最善のトレーニング強度である^{11,25)} としたら, これら被検者のトレーニングにはかなりの改善の余地があることを示唆した。本研究のトライアスロンレースを想定したトレーニング中の平均 HR は, バイク, ラン共に, トライアスロンレース中の平均 HR よりも1%水準で有意に低い値であった(図11)。

$\dot{V}O_{2max}$ の改善の大きさ ($\Delta \dot{V}O_{2max}$) は運動強度, 期間, 頻度とほぼ正比例し²⁵⁾, 運動強度と最も関係が深い³⁾ ことが知られている。これらのことから, トレーニング中の運動強度を高めることが持久性種目のパフォーマンス改善に有効であることが示唆された。

中長距離ランナーの代表的なトレーニングとしては, 持続走, インターバルトレーニング, レペティショントレーニング, ヒルトレーニンング, ファルトレーク, タイムトライアル等が挙げられ²⁶⁾, トレーニングの強度, 時間, 頻度はシーズンによって異なる。しかしながら, 少なくとも鍛錬期においては θ_F , OBLA, RCMA レベルの強度でトレーニングをすることが重要であると考えられる。

V. 要 約

本研究は, 中長距離走の運動強度を VT ならびに RCMA の観点から明らかにす

ることを目的とした。健常な成人男子延べ4名を対象とし、平和マラソン、トライアスロン、バイクトレーニング、ラントレーニング、駆伝中のHRを測定した。また、各被検者のVT, RCMA, $\dot{V}O_2$ -HR, HR- $\dot{V}O_2$ の関係式を求め、 $\dot{V}O_2$ -HR の回帰方程式からVT, RCMA 時のHRを算出した。さらに、各運動中の平均HRをHR- $\dot{V}O_2$ の関係式に代入し $\% \dot{V}O_{2max}$ を算出した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) θ_F , OBLA, RCMA に相当する運動強度はほぼ同程度であると見なすことができるかもしれない。

2) 平和マラソン99 (10 km), トライアスロンバイク (33 km), トライアスロンラン (12 km), 駆伝 (10.6 km) 中のHRは、ほぼ100% VT を超えていた。平和マラソン99, トライアスロンラン, 駆伝中のHRは、90%以上RCMAを超えていた。トライアスロンバイク時のHRは、40% RCMAを超えていた。

3) レース中の平均HRを $\% \dot{V}O_{2max}$ で表すと、トライアスロンバイク (86.3%), トライアスロンラン (92.6%), 駆伝 (95.0%), 平和マラソン99 (102.4%) の順に強度が高くなっており、過去の報告よりもかなり高い酸素摂取水準であった。

4) トライアスロンバイクはRCMAよりやや低い強度であり、トライアスロンランと駆伝はRCMAよりかなり高い強度であった。

5) トライアスロンレースを想定したトレーニング中の平均HRは、バイク、ラン共に、トライアスロンレース中の平均HRよりも1%水準で有意に低い値であった。このことから、トレーニング中の運動強度を高めることが持久性種目のパフォーマンス改善に有効であることが示唆された。

文 献

- 1) Beaver, W.L., K.Wasserman, and B.J. Whipp (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60: 2020-2027.
- 2) Borg, G. (1973) A note on category scale with "ratio properties" for estimating perceived exertion. In: *Reports from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm*, No. 36.
- 3) Bruke, E.J. and B.D. Frands (1975) Changes in $\dot{V}O_{2max}$ resulting from bicycle training at different intensities holding total mechanical work constant. *Res. Quart. Exerc. Sport* 46: 31-37.
- 4) Davis, J.A. (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17: 6-18.
- 5) 福場良之, 磨井祥夫, 菊地邦雄, 笹原英夫 (1984) 換気性 anaerobic threshold 決定方

- 法開発の試み. 体力科学 33: 213-216.
- 6) Fukuba, Y., M.L. Walsh, B.J. Cameron, R.H. Morton, C.T.C. Kenny, and E.W. Banister (1993) Lactate modeling and its application to endurance training. *J. Therm. Biol.* 18: 617-622.
 - 7) 福場良之, 柳川和優, 菅 輝, 磨井祥夫, 古賀俊策, 福岡義之 (1996) 新たな持久性運動能力指標としての Fatigue threshold (θ_F) に関する研究— θ_F の生理的意味付けに関する検討—. *体力研究* 91: 89-100.
 - 8) 福場良之, 柳川和優 (1997) ランプ負荷運動テストにおけるガス交換諸量の解析. *呼吸と循環* 45(11): 1103-1111.
 - 9) Hue, O., D. Legallais, A. Boussana, D. Chollet, and C. Prefaut (1999) Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31(10): 1422-1428.
 - 10) Jacobs, I., B. Sjodin, P. Kaiser, J. Karlsson (1981) Onset of blood lactate accumulation after prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 112: 215-217.
 - 11) Jacobs, I. (1986) Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med.* 3: 10-25.
 - 12) Kinderman, W., G. Simon, and J. Keul (1979) The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42: 25-34.
 - 13) 熊谷秋三 (1988) 血中乳酸とパフォーマンス. *体育の科学* 38(9): 687-696.
 - 14) 中村好男 (1992) 体力の評価指標としてのいわゆる AT の意味. *臨床スポーツ医学* 9(7): 751-756.
 - 15) 日本陸上競技連盟編 (1988) 陸上競技指導教本 種目別実技編. 大修館書店: 東京, pp. 40.
 - 16) Oja, P., K. Kukkonen-Harjura, R. Nieminen, I. Vuori and M. Pasanen (1987) Cardiorespiratory strain of middleaged men in mass events of long-distance cycling, rowing, jogging, and skiing. *Int. J. Sports Med.* 8: 45-51.
 - 17) Poole, D.C., S.A. Ward, G.W. Gardner, and B.J. Whipp (1988) Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31(9): 1265-1279.
 - 18) Poole, D.C., S.A. Ward, and B.J. Whipp (1990) Effect of training on the metabolic and respiratory profile of heavy exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59: 421-429.
 - 19) Purvis, J.W. and K.J. Cureton (1981) Rating of perceived exertion at the anaerobic threshold. *Ergonomics* 24: 295-300.
 - 20) Robinson, D.M., S.M. Robinson, P.A. Hurne, and W.G. Hopkins (1991) Training intensity of elite male distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23(9): 1078-1082.
 - 21) Skinner, J.S., and T.M. McLellan (1980) The Transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart. Exerc. Sport* 51: 234-248.
 - 22) Sleivert, G.G., and H.A. Wenger (1993) Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(7): 871-876.
 - 23) Vito, D.G., M. Bernardi, E. Sproviero, and F. Figure (1995) Decrease of endurance performance during Olympic Triathlon. *Int. J. Sports Med.* 16(1): 24-28.

- 24) Wasserman, K., B.J. Whipp, S.N. Koyal, and W.L. Beaver (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35: 236-243.
- 25) Wenger, H.A. and G.J. Bell (1986) The interactions of intensity, frequency, and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med.* 3: 346-356.
- 26) 山西哲郎 (1994) 長距離ランナーのトレーニング. 石河利寛, 竹宮 隆編 持久力の科学. 杏林書院: 東京, pp. 234-251.
- 27) 吉沢茂弘, 福島 稔, 本多宏子, 漆原 誠, 中村 伸 (1991) 高校駅伝男子一流選手の有酸素性作業能力および無酸素性作業閾値. *Jpn. J. Sports Sci.* 10: 234-240.