

エリートランナーの全身持久能力を測定するための トレッドミルを用いたramp負荷プロトコル

熊本和正* 佐川和則*

A ramp exercise protocol on a treadmill to determine aerobic endurance parameters
for elite distance runners

Kazumasa Kumamoto and Kazunori Sagawa*

Abstract

The present study was aimed to develop a new ramp exercise protocol on a treadmill to determine aerobic endurance parameters for elite distance runners. Maximal exercise tests were performed on a treadmill by 15 healthy male collegiate distance runners (mean \pm SD, 19.9 \pm 1.0 years) using this ramp protocol. The linear increase of measured $\dot{V}O_2$ was obtained during maximal exercise test. Aerobic endurance parameters (VT, RCP, $\dot{V}O_{2max}$, RE and $v\dot{V}O_{2max}$) were able to be determined in a single test. As a result, this ramp exercise protocol was effective to assess aerobic endurance parameters for elite distance runners.

I. 緒言

陸上長距離走者のパフォーマンスを改善するために、個人の全身持久能力の測定によって得られる生理学的指標がそのトレーニングやコンディショニング計画の立案に応用されている。ヒトの全身持久能力を表す生理学的指標として近年よく用いられているものに、換気性閾値 (Ventilatory Threshold : VT)、呼吸性補償閾値 (Respiratory Compensation Threshold : RCT)、乳酸閾値 (Lactate Threshold : LT)、最

大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)、ランニングエコノミー (Running Economy : RE) などがある (山地 1997)。これらの生理学的指標を直接的に測定するには、被検者に運動負荷を与え、その負荷に対する被検者の呼吸循環器応答を呼吸代謝測定装置によって分析することが必要である。

運動負荷の様式としては、自転車エルゴメータ駆動、トレッドミル歩行・走行および踏み台昇降運動などがある。スポーツ選手は長期のトレーニングによって、その専門種目の競技特性に適応した身体的構造と機能を有している。そのためス

*近畿大学健康スポーツ教育センター 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1

*Institute of Health and Sports Science, Kinki University, 3-4-1 Kowakae, Higashiosaka, Osaka, 577-8502, Japan

ポーツ選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定に用いられる運動負荷は専門種目に近い運動様式で行われるべきである(Allen et al. 1986)。また、陸上長距離走者ではトレッドミル走に比べて自転車駆動の $\dot{V}O_2\text{max}$ は5~15%低いことが報告されている(Fernhall et al. 1990)。これらのことから、陸上長距離走者に与える運動負荷の様式としてトレッドミル走が用いられることが一般的である。

運動負荷の方法としては、固定負荷法および漸増負荷法があり、漸増負荷法には、段階的漸増負荷法と負荷を直線的に一定の割合で増加させていくramp負荷法がある。 $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定では、被検者への負担を軽減するために、定常状態が出現するような4分から6分間を1ステップとする数段階に増加する負荷により間接的に $\dot{V}O_2\text{max}$ を予測しようとする方法が用いられることが多い。これに対し持久競技者などを対象とし、より正確な $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定する必要がある場合などでは、多段階に負荷を漸増し被検者を疲労困憊にまで追い込んで $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定する直接法が用いられる。さらに近年では、負荷装置の制御技術の進歩により、 $\dot{V}O_2\text{max}$ とともに、VT、RCTなどのthreshold指標をより正確に測定する目的で、ramp負荷を用いる試みも多くなされるようになった。

電磁式の自転車エルゴメータを用いるramp負荷は、一定の仕事率が得られるよう入力電圧を制御するため比較的簡単に達成できる。一方、トレッドミルは速度と勾配の両方を増加させる必要があるため、ramp負荷プロトコルの設定には速度と勾配を変数とし、経過時間に対して $\dot{V}O_2$ が一定の割合で増加し、かつ仕事率-酸素摂取量($\dot{V}O_2$)関係が直線関係になる負荷設定が必要となる。

これまで用いられている段階的漸増負荷法には、Balk、Bruce、Ellestad、Naughtonらのプロトコルがあるが、これらはおもに呼吸循環器医学分野において虚血の診断、予後判定と治療選択、および運動処方のための運動負荷試験として考案されてきた(Bruce R.A. 1971, 山地2000)。そのため鍛錬者の $\dot{V}O_2\text{max}$ を実測するような高い仕事

率を負荷する場合にこれらのプロトコルを適用するには限界がある。しかしながら、鍛錬者の全身持久能力に関連する生理学的指標を測定するための標準化されたramp負荷プロトコルは確立していない。

そこで本研究では、エリートランナーの全身持久能力を測定するためのトレッドミルを用いたramp負荷プロトコルを考案したので報告する。

II. 方法

1. 被検者

本研究の被検者は大学陸上競技部にて練習を積んでいる男性長距離ランナー15名であった。被検者の身体的特徴は、年齢 19.9 ± 1.0 歳、身長 169.0 ± 4.6 cm、体重 56.4 ± 4.1 kg (mean \pm SD)であった。また、被検者の最近6ヶ月間の5000mベストタイムは14分36秒から16分11秒の範囲にあった。被検者には本研究の意義と測定の危険性について十分な事前説明を行った上で、研究への参加に同意を得た。

2. ramp負荷プロトコル

ramp負荷プロトコル設定の目標を以下の通りとした。

- 1) 10~12分間で被検者を疲労困憊 (all out) に導く
- 2) VT、RCTおよび $\dot{V}O_2\text{max}$ を1回の測定で求める
- 3) 同時にREを求める
- 4) 時間- $\dot{V}O_2$ 関係が直線になるような漸増負荷(速度と勾配の組合せ)を設定する(ramp負荷)

ramp負荷プロトコルの作成手順は、まず山本(1993)の $\dot{V}O_2$ 予測式を用いて、1)を満たすような勾配0度ときの速度係数を決定し、次に、速度を一定にして勾配を増加させても、時間(仕事率)- $\dot{V}O_2$ の増加率(ramp率)が変化しないように勾配の増加率を決定した。以上の手順により設定したramp負荷プロトコルを表1に示す。

表1. 本研究で考案されたエリートランナーの全身持久能力を測定するためのトレッドミルを用いたramp負荷プロトコル

stage	time (mm:ss)	step time (mm:ss)	speed		grade (%)
			(m/min)	(km/h)	
rest		1:00	0	0.0	0.0
warm up		3:00	180	10.8	0.0
1	0:00	0:20	200	12.0	0.0
2	0:20	0:20	205	12.3	0.0
3	0:40	0:20	210	12.6	0.0
4	1:00	0:20	215	12.9	0.0
5	1:20	0:20	220	13.2	0.0
6	1:40	0:20	225	13.5	0.0
7	2:00	0:20	230	13.8	0.0
8	2:20	0:20	235	14.1	0.0
9	2:40	0:20	240	14.4	0.0
10	3:00	0:20	245	14.7	0.0
11	3:20	0:20	250	15.0	0.0
12	3:40	0:20	255	15.3	0.0
13	4:00	0:20	260	15.6	0.0
14	4:20	0:20	265	15.9	0.0
15	4:40	0:20	270	16.2	0.0
16	5:00	0:20	275	16.5	0.0
17	5:20	0:20	280	16.8	0.0
18	5:40	0:20	285	17.1	0.0
19	6:00	0:20	290	17.4	0.0
20	6:20	0:20	295	17.7	0.0
21	6:40	0:20	300	18.0	0.0
22	7:00	0:20	300	18.0	0.5
23	7:20	0:20	300	18.0	1.0
24	7:40	0:20	300	18.0	1.5
25	8:00	0:20	300	18.0	2.0
26	8:20	0:20	300	18.0	2.5
27	8:40	0:20	300	18.0	3.0
28	9:00	0:20	300	18.0	3.5
29	9:20	0:20	300	18.0	4.0
30	9:40	0:20	300	18.0	4.5
31	10:00	0:20	300	18.0	5.0
32	10:20	0:20	300	18.0	5.5
33	10:40	0:20	300	18.0	6.0
34	11:00	0:20	300	18.0	6.5
35	11:20	0:20	300	18.0	7.0
36	11:40	0:20	300	18.0	7.5
37	12:00	0:20	300	18.0	8.0
cool down		1:00	120	7.0	0.0

3. 各生理学的指標の決定方法

呼気ガスの分析はミナト医科学社製呼吸代謝測定装置(AE-300S)を用い、breath-by-breath法にて行った。負荷装置は、コンピュータによる速度と勾配の制御が可能なトレッドミル(ミナト医科学社製、AR-200)を用いた。また安静時および運動時の心拍数は胸部双極誘導により、フクダME工業社製ベッドサイドモニタ(BIO-SCOPE M100)を用いて導出した。

1) 換気性閾値 (VT)

VTは、①換気量(VE)および二酸化炭素排出量($\dot{V}CO_2$)が急激に上昇する点、②呼気終末期二酸化炭素濃度(ETCO₂)の変化をともなわず呼気終末期酸素濃度(ETO₂)が上昇し始める点、および③ $\dot{V}CO_2$ に対する換気当量($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)の変化をともなわず酸素摂取量($\dot{V}O_2$)に対する換気当量($\dot{V}E/\dot{V}O_2$)が上昇する点とした。

2) 呼吸性補償閾値 (RCT)

RCTは、換気亢進が等炭酸的に行われる

"isocapnic buffering"の終了点とされる $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の増加点またはETCO₂の低下点とした。

3) 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)

$\dot{V}O_{2max}$ の出現基準は、① $\dot{V}O_2$ のleveling off、②年齢から推定する最大心拍数(HRmax=220-age)にほぼ達していること、③RERが1.0以上であること、④主観的運動強度(RPE)が19あるいは20であることとし、この内の2つ以上を満たすことを条件とした。また、これらの条件を満たした測定において、 $\dot{V}O_{2max}$ はall-out前1分間の $\dot{V}O_2$ を平均して求めた。

4) ランニングエコノミー (RE)

REは速度増加期間の $\dot{V}O_2$ を20秒ごとに平均した後、速度に対して直線回帰し、その回帰式から走速度268m/min(10mile/h)時の $\dot{V}O_2$ として求めた。またこの回帰式より、 $\dot{V}O_{2max}$ 出現時の走速度($v\dot{V}O_{2max}$)を算出した。

なお、上記1)から3)の指標の決定にはV-Slope法による解析も参考にした(Beaver W.L. et al. 1986)。

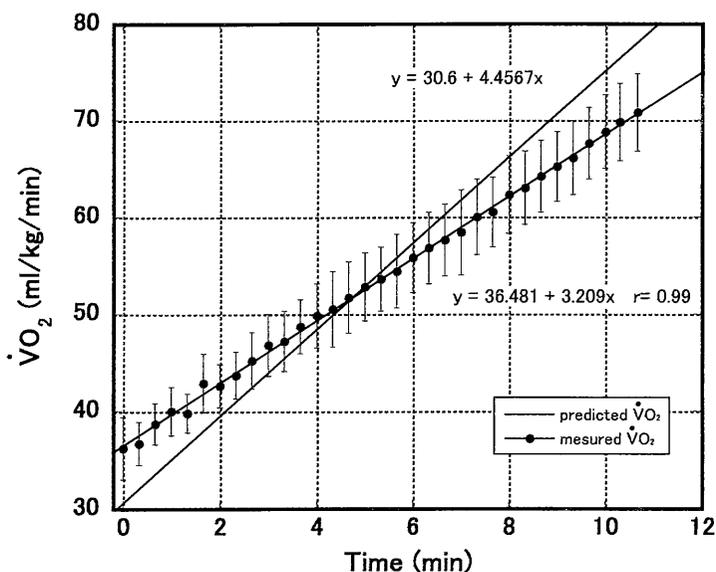


図1. 本研究で実測された $\dot{V}O_2$ と山本(1993)の式から予測された $\dot{V}O_2$ との比較 (mean \pm SD)

Ⅲ. 結果

山本 (1997) の式を用いて予測した $\dot{V}O_2$ と実測された $\dot{V}O_2$ との比較を図1に示した。実測 $\dot{V}O_2$ は時間に対して直線的に増加し、トレッドミル速度が一定になったのち勾配が増加しても $\dot{V}O_2$ の上昇率は不変であった。時間に対する実測 $\dot{V}O_2$ の回帰式の回帰係数は予測 $\dot{V}O_2$ の回帰係数と比較して小さかった。これに対し、Y切片は実測 $\dot{V}O_2$ において大きかったため、仕事率増加の初期と後半に予測 $\dot{V}O_2$ と実測 $\dot{V}O_2$ とに差が生じた。

疲労困憊に至った時間 (all-out time)、 $\dot{V}O_{2max}$ 、HRmax、 $\dot{V}O_{2max}$ 出現時の呼吸交換比 (RER)、VTおよびRCT時の $\dot{V}O_2$ 、その $\dot{V}O_{2max}$ に対する割合 (% $\dot{V}O_{2max}$)、心拍数 (HR)、そのHRmaxに対する割合 (%HRmax)、RERおよび出現時間の平均と標準偏差を表2に示した。また、速度増加局面の速度 $\dot{V}O_2$ 回帰式の回帰係数とY切片、走速度268m/min時の $\dot{V}O_2$ 、および $v\dot{V}O_{2max}$ の平均と標準偏差を表2に示した。

Ⅳ. 考察

ramp負荷法は $\dot{V}O_2$ をより正確に予測できるので、被検者の持久体力をある程度把握できれば、運動終了時間を設定することができるという利点がある。本研究の被検者は高度に鍛錬された均質な長距離ランナーであるため、 $\dot{V}O_{2max}$ の平均値を約70ml/kg/minと予想した。山本 (1993) の $\dot{V}O_2$ 予測式によれば、この値は運動開始後約8分50秒で到達することになる。実際のall-out時間の平均は11分55秒であり、 $\dot{V}O_{2max}$ の平均値は72.2ml/kg/minであったから、予測した運動終了時間よりもやや長い時間をかけて疲労困憊に至ったが、 $\dot{V}O_{2max}$ を測定するためのall-out時間としては妥当なものである。

被検者らの最近6ヶ月間の5000mベスト記録とall-out時間の関係 (図2.A)を見ると、記録の良い者ほどall-out時間が長い傾向にあったが、有意な関係は認められなかった。一般にperformance同士の相関は高くなるが、本研究で高い相関が得

表2 大学生エリートランナーの全身持久力に関する生理学的指標

Max	all-out time	(min:sec)	11:55	0:29
	$\dot{V}O_{2max}$	(ml/kg/min)	72.2	4.6
	HRmax	(bpm)	190.9	10.6
	RER		1.16	0.03
VT	$\dot{V}O_2$	(ml/kg/min)	46.0	6.1
	% $\dot{V}O_{2max}$	(%)	63.7	7.4
	HR	(bpm)	146.5	14.1
	%HRmax	(%)	77.1	7.39
	RER		0.87	0.05
	Time	(min:sec)	2:48	1:34
RCT	$\dot{V}O_2$	(ml/kg/min)	59.0	6.8
	% $\dot{V}O_{2max}$	(%)	81.7	8.0
	HR	(bpm)	171.6	9.5
	%HRmax	(%)	90.3	4.15
	RER		0.96	0.05
	Time	(min:sec)	7:02	1:35
RE	回帰係数		3.593	0.481
	Y切片		-6.676	5.587
	$\dot{V}O_2@268m/min$	(ml/kg/min)	51.1	3.0
	$v\dot{V}O_{2max}$	(km/h)	22.0	1.0

(mean ± SD)

られなかった理由は不明である。運動終了時のトレッドミル勾配は6%から8%に達しており、被検者らの上り走路に対する適性が、低い相関係数の原因となっているのかもしれない。

5000mベスト記録と $\dot{V}O_2\max$ には相関関係が得られなかった (図2.B)。高度に鍛錬された均質

な集団における競技成績と $\dot{V}O_2\max$ には相関関係がないかもしくは低いのが一般的である (Sjodin and Svedenhag 1985)。本研究の結果はこれらの先行研究を支持するものである。

5000mの記録と $v\dot{V}O_2\max$ とは有意な負の相関 ($p<0.01$) が得られた (図2.C)。このことは

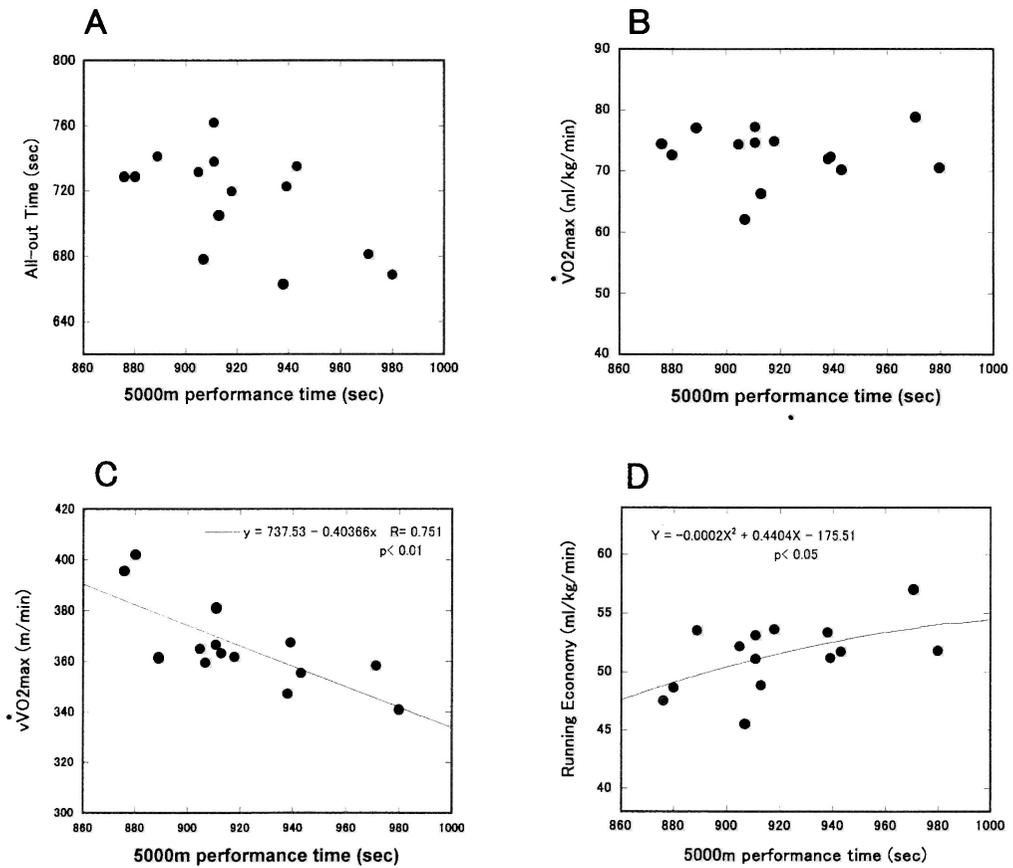


図2. A: 疲労困憊に至るまでの時間と5000m ベスト記録との関係
 B: 実測された $\dot{V}O_2\max$ と5000m ベスト記録との関係
 C: $v\dot{V}O_2\max$ と5000m ベスト記録との関係
 D: REと5000m ベスト記録との関係

5000mの競技成績の良いものほど $\dot{V}O_2\max$ に相当する走速度が高いことを示しており、先行研究の結果とも一致する (Daniels 1985, Morgan et al. 1989)。ただし、先行研究が採用した走速度- $\dot{V}O_2$ 関係の決定法は、定常状態が出現する数段階のステップ負荷を用いており、本研究の負荷方法とは異なっている。したがって、本研究で得られた $v\dot{V}O_2\max$ 値と先行研究のそれを比較する場合には注意を要する。

REは、標準化された走速度での定常状態の $\dot{V}O_2$ で示される。標準的な走速度は、男性鍛錬者の場合、伝統的に10mile/h (268m/min) である。本研究では全身持久能力に関連する諸指標を一回の測定で評価するという目的で、REは走速度- $\dot{V}O_2$ 関係から求める方法を用いた。本研究のREは51.1ml/kg/minであり、この値はいずれも男子長距離ランナーにおいて報告された値、51.0 ml/kg/min (Costill et al. 1973)、50.3 ml/kg/min (Conley and Krahenbuhl 1980)、および50.0 ml/kg/min (丸山と美坂 1983) と近似する。さらに5000m記録とREには2次式で近似できる有意な関係 ($p < 0.05$) が認められた (図 2.D)。 $\dot{V}O_2\max$ がほぼ等しい鍛錬された均質な集団では、REが performance を決める重要な要因であることが示されている (たとえば Conley and Krahenbuhl 1980, Morgan et al. 1989 など)。本研究の結果はこれらの報告を裏付けるものであり、本研究で採用したRE評価法が妥当であることを示すものと考えられる。しかしながら本研究によるRE評価法が従来の方法によるREを正確に反映するか否かの検証がさらに必要である。

仕事率が増加し、ある運動強度に達すると、活動筋では無酸素性解糖によって乳酸の生成が活発になる。拡散によって血中に放出された乳酸は重炭酸イオン (HCO_3^-) によって緩衝され、結果として有酸素性代謝由来の CO_2 産生に緩衝由来の CO_2 産生が加わる。そのため運動強度に対する $\dot{V}O_2$ は一定の割合で増加するが、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) は、この時点から $\dot{V}O_2$ の増加率を上回り始める (RERの上昇)。この閾値はVTと呼ばれ、長距離走トレーニングにおける負荷決定の

指標になるばかりでなく、VT以降の運動強度ではホルモンなどの生理的応答が変化するため、心疾患患者や一般人の運動処方にも重要な指標となっている。VTが出現ししばらくの間は、動脈血二酸化炭素分圧 ($PaCO_2$) を反映するとされる $ETCO_2$ は、乳酸の緩衝によって増加した CO_2 を排出するだけの換気の増加しか起こらないために一定となる (isocapnic buffering)。さらに仕事率が高くなると、体内に蓄積されている CO_2 を排出するために急激な換気の亢進が始まる (過換気)。この閾値はRCTと呼ばれ、換気量 (VE) の急激な増加と $ETCO_2$ の低下する点として決定される。RCT時の $\dot{V}O_2$ はVTあるいは $\dot{V}O_2\max$ よりも競技成績との相関が高く (Iwaoka et al. 1988)、また $\dot{V}O_2\max$ に対する相対値で示したRCT時の運動強度は、非鍛錬者と比較して持久競技者で高い (Green et al. 2003) という報告もあり、この指標は特にトレーニング分野で最近注目されているがその機序は明らかではない (Meyer et al. 2004)。

VT時の $\dot{V}O_2$ はこれまで比較的広い範囲の値が報告されている。その値は一般男性で10から30ml/kg/min、持久競技者 (男性) で40から60ml/kg/minである (中村と山本 1993)。本研究で得られた46.0ml/kg/minはこの持久競技者の範囲にある。これに対し、 $\% \dot{V}O_2\max$ で表したVT時の $\dot{V}O_2$ は、一般人と持久競技者に大きな差はなく、40から80 $\% \dot{V}O_2\max$ である (中村と山本 1993)。本研究の値 (63.7%) は、文献に見られる中間的な値である。健康な成人と鍛錬者におけるRCT時の $\dot{V}O_2$ は、40ml/kg/minから65ml/kg/minに分布し、 $\% \dot{V}O_2\max$ で表す値は60%から90%の範囲にある (Iwaoka et al. 1988, Ahmaidi et al. 1993, 守田ら 1997, Oshima et al. 1997, Chicharro et al. 2000, Dekerle et al. 2003, Green et al. 2003)。本研究の被検者が示したRCT時の $\dot{V}O_2$ および $\% \dot{V}O_2\max$ 値は、それぞれ59.0ml/kg/minと81.7%であり、先行研究が示す範囲の中にある。以上のことより、閾値 (VTおよびRCT) の測定は妥当であったと評価できる。

本研究において、実測 $\dot{V}O_2$ と予測 $\dot{V}O_2$ とに差異が生じた明白な理由は不明である。山本 (1993)

は $\dot{V}O_2$ 予測式を作成するために、トレッドミルの速度と勾配を連続的に増加させる6種類の負荷法を用いた。その測定に参加した被検者は非鍛錬者であり、初期負荷が非常に低く、おそらく歩行から走行に移行するような負荷設定であったと考えられる。したがって、山本 (1993) が用いた運動負荷の強さと運動の様式がわれわれのものとは大きく異なっており、そのことが実測 $\dot{V}O_2$ と予測 $\dot{V}O_2$ とに差を生じさせたことの一因であると推察される。また、本研究に参加した被検者は、高度なトレーニングを継続しており、高い走速度への適応から高負荷での走効率が改善されていることが推測される。このことは実測 $\dot{V}O_2$ 直線の勾配が予測 $\dot{V}O_2$ 直線のものより小さかった要因と考えられる。

以上のように、本研究で採用したramp負荷プロトコルは、VT、RCP、 $\dot{V}O_{2max}$ 、RE、および $v\dot{V}O_{2max}$ を一度の測定で評価できることを示した。このことは、このプロトコルが鍛錬されたエリートランナーの全身持久能力を評価する有効な負荷法であることを示す。

V. 結論

- 1) エリートランナーの全身持久能力を測定するためのトレッドミルを用いたramp負荷プロトコルを考案した。
- 2) このramp負荷プロトコルによる運動負荷テストにおいて、被検者の $\dot{V}O_{2max}$ 実測値が時間経過に伴い直線的に増加した。
- 3) さらに、本研究で採用したramp負荷プロトコルは、VT、RCP、 $\dot{V}O_{2max}$ 、RE、および $v\dot{V}O_{2max}$ を一度の測定で評価できることを示した。
- 4) これらのことより、このプロトコルが鍛錬されたエリートランナーの全身持久能力を評価する有効な負荷法であることが示された。

文献

- Allen D. et al. (1986) Interaction of test protocol and horizontal run training on maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports Exerc.*18(5): 581-587.
- Ahmaid S. et al. (1993) Respiratory gas exchange indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 66(1):31-6.
- Beaver W.L. et al.(1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60:2020-2027.
- Bruce R.A.(1971) Exercise testing of patients with coronary artery disease. *Ann Clin. Res.* 3:323-332.
- Chicharro J. L., Hoyos J., Lucia A. (2000) Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br. J. Sports Med.* 34:450-455.
- Conley D.L., Krahenbuhl G.S. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12:357-360.
- Costill D. L. et al. (1973) Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports.* Winter;5(4):248-52.
- Daniels J. T. (1985) A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:332-338.
- Dekerle J. et al. (2003) Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 89(3-4):281-8.
- Fernhall B., Kohrt W. (1990) The effect of training specificity on maximal and submaximal physiological responses to treadmill and cycle ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 30(3): 268-275.
- Green J. M., Crews T. R., Bosak A. M., Peveler W. W. (2003) A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic

- competitors and untrained subjects. Eur. J. Appl. Physiol. 90:608-613.
- Iwaoka K., Hatta H., Atomi Y., Miyashita M. (1988) Lactate respiratory compensation thresholds, and distance running performance in runners of both sexes. Int. J. Sports Med. 9:306-309.
- Meyer T. et al. (2004) Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? Br J Sports Med. 2004 Oct;38(5):622-5.
- Morgan et al. (1989) Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_2$ max among well-trained male runners. Med. Sci. Sports Exerc. 21:78-83.
- 守田武志ら (1997) 競技者に対する呼吸性の補償閾値の測定 臨床スポーツ医学14(9) : 1039-1043.
- 丸山敦夫、美坂幸治 (1983) $\dot{V}O_2$ ATおよび $\dot{V}O_2$ submaxによる長距離選手performance推定について 鹿児島大学教育学部研究紀要 35:53-64.
- 中村好男、山本義春 (1993) AT その変遷と新しい理解 (有)ブックハウスエイチディ
- Oshima Y. et al. (1997) Relationship between isocapnic buffering and maximal aerobic capacity in athletes. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 76(5):409-14.
- Sjodin B. and Svedenhag J. (1985) Applied physiology of marathon running. Sports Med. 2:83-99.
- 山地啓司 (1997) ランニングの経済性に影響をおよぼす要因 日本運動生理学雑誌 4: 81-98.
- 山地啓司 (2000) 改訂最大酸素摂取量の科学 杏林書院 pp18-27.
- 山本雅庸 (1993) トレッドミルramp負荷のための酸素摂取量予測式と臨床応用 日本臨床生理学雑誌23(1):17-29.