

走行速度と運動強度に関する研究

—— 傾斜角度と走行速度の関係 ——

川上 雅之・荒木 直彦・猪木原孝二

松原 孝・岩崎 英人*

倉敷芸術科学大学教養学部

*山陽学園大学

(1995年9月30日 受理)

I. 序 論

本研究は、我々が従来から取り組んでいる走行速度と運動強度の関係を解明して行くための一連の研究^{6,7,9)~15)}である。とくに傾斜角度が異なる坂道走行は、走行中の身体的負担度も大きく、陸上競技におけるマラソン及び駅伝レース等の勝敗を左右するキーポイントになる環境条件^{15,25,27)~29,31)}といえる。そのような意味から、坂道走行における最大の課題は、ロードレース等に対応できるトレーニング方法の開発ということである。しかし坂道を利用したトレーニングは、持久的能力及び総体的筋力を養成するための効果的なトレーニング法として従来から採用されているが、トレーニング上に多くの問題点を抱えているのも事実である^{4,8,9,22,31,32)}。つまり、坂道トレーニングは、トレーニング効果も大きい反面、トレーニング中の身体的負担度が大きいためトレーニング強度の設定が非常に難しく、トレーニングの「ターゲットポイントの選択」という非常に大きな検討課題^{4,8,17)}が根本的な問題として存在しているのである。坂道トレーニングについては、従来から指導者の経験的な知識によってトレーニングの負荷強度及び環境条件が選択され、それなりのトレーニング効果をあげているのも現実であるが、トレーニング中の運動強度及び環境条件からくる生体機能の変化について科学的に分析し、トレーニングスケジュールを編成しているケースは非常に少ない。これは、変化する環境条件からくる生体機能の変化を把握しにくいという点と、トレーニング中に一定の負荷条件を維持できないために運動強度を定めることが非常に難しいという2点からくるものである^{3,5,8,12,15)}。運動負荷強度と生体反応に関する研究は、トレッドミルの開発により古くから多くの研究者によって、各種の運動強度と生体反応の変化について報告されている^{2,4,8,17,18,30,32)}。しかし、異なる傾斜角度を漸進的に速度を切り換えながら走行させた場合に起こる生体反応について、科学的に明らかにされた文献は少ないのである。とくに、傾斜角度が異なる環境条件と漸進的な速度の切り換えの中における走行中の呼吸・循環機能の変化を全般的に、かつ継続的に観察したデータは非常に少ないといえる^{20,21,23,24,25,27)}。

運動負荷と生体反応の関係は、個人の体力及び競技能力によって当然異なるものであるが、傾斜角度が異なる坂道走行時の酸素摂取量（以下 VO_2 と称す）及び炭酸ガスの排出量（以下 VCO_2 と称す）においても、個人の潜在能力も含めた総体的体力及び持久的能力によって異なるものである^{4,8,16,18,24,30,32}。さらに運動中の代謝産物として生体内に発生する乳酸値（以下 LT と称す）についても、運動を一定の速度で持続し筋収縮運動を保持するための基本的な条件として、重要な因子になる生体反応と考えることができる^{2,8,19}。これらの生体機能の変化は、持久的運動における有酸素運動領域と無酸素運動領域の運動領域に係るものであり、持久的能力を高めるための効率的なトレーニング強度を設定するためにも、運動強度に対する生体機能の変化を明らかにすることは重要なものといえよう^{4,6-15,17,28,29,31}。したがって、持久的トレーニングにおけるターゲットポイントの検索は、持久的能力を効率的に高めるための基本的条件であり、またトレーニングサイエンスとしても非常に重要な資料^{4,8}となるものである。

そこで今回は、環境条件を一定にする意味から実験室内のトレッドミル（米国マルケット社1900型）を使用し、異なる傾斜角度と漸進的に切り換わる速度を連続走行した場合に発現する、生体反応の変化と問題点を解明する目的で実験した。

その結果、運動中の VO_2 、 VCO_2 等の吸排出系機能に関する変化、また運動中に発生する LT の増加量、さらには有酸素運動領域と無酸素運動領域の運動領域及び境界領域を推定する生体の機能的変化が確認できたので報告する。

II. 実験方法

1) 被験者

被験者は、年齢が 18.11 ± 0.31 才の K 大学陸上競技部に所属する男子長距離選手 9 名である。被験者の陸上競技歴は、3 年から 6 年間の競技能力の異なる者を対象にした。

被験者の身体的特性については、Table 1 に示すとおりである。

身長及び体重等の形態値については、タニタ社の体内脂肪計（BODYFAT ANALYZER TBF-202）により実験前に測定したものである。また、 VO_2 及び VCO_2 等の呼吸・循環機

Table 1 The Mean and SD on the Physical Characteristics of Subjects

N = 9	
Age (years)	18.11 ± 0.31
Height (cm)	173.62 ± 5.17
Weight (kg)	59.71 ± 3.43
VO_2 max (beats/min)	64.22 ± 9.76
HRmax (ml/kg/min)	185.67 ± 7.56
Ventilation (l/min)	116.69 ± 21.63
Cardiac output (l/min)	25.74 ± 3.57

±SD

能については、英国モーガン社の総合呼吸代謝システム（ベンチ・マーク型エクササイズテスト）及び米国マルケット社の運動負荷システム（CASE15）により、実験日の前に個人の最高値として測定したものである。

2) 方 法

今回の実験は、異なる傾斜角度を漸進的に速度を切り換えながら走行させた場合に起こる、生体機能の変化を呼吸・循環機能を中心に分析する目的で実験したものである。

実験は、気象条件等の環境条件を一定にする意味で、実験室内のトレッドミルを使用して傾斜角度と走行速度を段階的に設定した。傾斜角度の種類は、0%（以下T 1と称す）、5%（以下T 2と称す）、10%（以下T 3と称す）及び15%（以下T 4と称す）の4種類に区分した。また、各々の傾斜角度に対する走行速度は、時速5 km（以下S 5と称す）、10 km（以下S 10と称す）及び15km（以下S 15と称す）の3段階に速度を漸進的に切り換えながら負荷した。各速度毎の負荷時間は、各段階とも3分間毎に切り換えながら連続走行させた。運動中の身体反応については、英国モーガン社の総合呼吸代謝システムにより、安静時から運動中のVO₂、VCO₂及び1回換気量（以下VTと称す）等の呼吸器系機能と運動時のLTの産出量の動向、また米国マルケット社の運動負荷システムによって心電図(ECG)及び心拍数（以下HRと称す）等の循環器系機能の動向についても継続的に観察した。

III. 結 果

1) 傾斜角度0%の身体反応

Table 2は、傾斜角度が0%（T 1）の時のS 5、S 10及びS 15における走行中の生体反応について示したものである。

T 1における1分間当たりの吸気量（以下単に吸気量と称す）及び1分間当たりの呼気量（以下単に呼気量と称す）とVTについては、S 5及びS 10までは比較的安定した数値を示している。これは、安静時の数値から考えて若干増加がみられる程度のものであった。

Table 2 The Mean and SD of Different Running of Speed on the 0% Grade

	N = 9		
	5 km	10 km	15 km
Inspir. flow (l/min)	14.07 ± 6.44	20.54 ± 10.27	44.66 ± 4.89
Expir. flow (l/min)	15.98 ± 7.36	23.50 ± 11.71	51.02 ± 5.87
Tidal volume (ml)	428.89 ± 159.93	547.78 ± 321.64	1170.44 ± 145.37
Oxygen uptake (l/min)	569.11 ± 125.80	993.89 ± 320.64	1631.44 ± 313.08
VO ₂ (ml/kg/min)	9.60 ± 2.32	16.72 ± 5.55	27.54 ± 5.88
CO ₂ production (l/min)	493.81 ± 206.32	1096.11 ± 388.15	1711.44 ± 312.71
Cardiac output (l/min)	8.16 ± 1.32	11.36 ± 2.56	14.78 ± 1.87
Lactate (mmol/l)	1.22 ± 0.38	1.56 ± 0.68	3.37 ± 0.34
Heart rate (beats/min)	81.78 ± 8.94	130.89 ± 15.25	162.33 ± 11.80

±SD

しかし、S 15については、S 5の数値に対して3倍もの換気量の増加が確認されている ($P < 0.05$)。1分間当たりの VO_2 (以下 VO_2/M と称す) 及び体重当たりの VO_2 (以下 VO_2/K と称す) は、S 5からS 10及びS 15へと速度が切り換わるのに伴い、摂取量は2倍から3倍へと増加することが確認されている ($P < 0.05$)。また、1分間当たりの VCO_2 (以下 VCO_2/M と称す) は、 VO_2/M の摂取量にみられた変化と同様の増加の傾向が確認された。しかし排出量は、S 5の数値に対してS 10及びS 15の増加率が2.5倍から3.5倍の増加を示すことが確認されている ($P < 0.05$)。1分間当たりの心拍出量(以下単に心拍出量と称す) は、S 10及びS 15へと段階的に速度が増加するにつれて、S 5の数値に対して1.2倍から1.8倍へと拍出量も増加することが確認されている ($P < 0.05$)。LTについては、S 5及びS 10は同程度の増加量を確認することができるが、S 15においてはS 5及びS 10の数値に対して2倍以上の産出量が増加することを確認している ($P < 0.05$)。HRの上昇についても、走行速度の増加に伴い拍動数が1.6倍から1.9倍へと漸進的な増加を示すことが確認されている ($P < 0.05$)。

2) 傾斜角度5%の身体反応

Table 3は、傾斜角度が5% (T 2)の時のS 5、S 10及びS 15における走行中の生体反応について示したものである。

T 2における吸気量及び呼気量とVTの生体反応については、T 1の値と比較して統計的な有意差は確認できない ($P < 0.25$)。しかし、すべての換気量において、数値的にT 1より高い値を示している。換気量の増加率は、S 5からS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、1.4倍から2.8倍まで換気量が増加することが確認されている ($P < 0.05$)。 VO_2/M 及び VO_2/K においては、S 5からS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、1.5倍から2.5倍へと段階的に摂取量が増加することが確認されている ($P < 0.05$)。また、 VCO_2/M の産出量については、走行速度が増すにつれて、1.6倍から2.5倍へと段階的に排出量が増加することが認められている ($P < 0.05$)。心拍出量については、S 5に対してS 10及びS

Table 3 The Mean and SD of Different Running of Speed on the 5% Grade

	N = 9		
	5 km	10 km	15 km
Inspir. flow (l/min)	17.89± 7.70	28.00± 11.56	49.24± 7.83
Expir. flow (l/min)	20.41± 9.10	31.82± 13.25	56.21± 9.18
Tidal volume (ml)	571.88±212.21	780.00±424.92	1231.67±188.37
Oxygen uptake (l/min)	809.89±193.11	1230.89±374.53	1874.44±267.38
VO_2 (ml/kg/min)	13.62± 3.00	20.87± 6.76	31.79± 5.00
CO_2 production (l/min)	768.67±237.12	1227.00±405.98	1951.67±346.06
Cardiac output (l/min)	10.20± 1.63	12.78± 2.48	16.06± 1.39
Lactate (mmol/l)	1.44± 0.59	2.08± 0.80	3.76± 0.72
Heart rate (beats/min)	91.22± 16.34	131.67± 17.57	163.56± 16.18

±SD

15と走行速度が増加するにつれて、1.3倍から1.6倍へと拍出量が増加することが認められている ($P < 0.05$)。LTの値についても、S5に対してS10及びS15へと速度が増すにつれて、産出量の増加率は1.4倍から2.6倍へと増加することが確認されている。 ($P < 0.05$)。HRは、S5の数値に対してS10及びS15へと速度が増すにつれて、増加率も1.4倍から1.8倍まで拍動数が増加することを認めている ($P < 0.05$)。

3) 傾斜角度10%の身体反応

Table 4は、傾斜角度が10% (T3)の時のS5、S10及びS15における走行中の生体反応について示したものである。

T3における吸気量及び呼気量とVTの生体反応は、全体的にはT2の時の数値に対して大きな変動は認められなかった ($P < 0.25$)。しかし、S5からS10及びS15へと速度が増加につれて、換気量も1.6倍から3.8倍へと段階的に増加することが確認されている ($P < 0.05$)。VO₂/M及びVO₂/Kの数値についても、同様にT2と比較して大きな数字上の変化は認められないが ($P < 0.25$)、S5からS10及びS15へと速度が増加するにつれて、摂取量も1.8倍から3倍へと段階的に増加することが確認されている ($P < 0.05$)。また、VCO₂/Mの産出量については、他の生体機能の変化と比較して大きな相違は認められないが、排出量の増加率は2.1倍から3.4倍と段階的に大きく変化することが確認された ($P < 0.05$)。心拍出量は、S5に対してS10及びS15へと速度が増加するにつれて、拍出量も1.4倍から1.7倍へと段階的に増加することが確認されている ($P < 0.05$)。LTの数値については、S5に比較してS10及びS15へと速度が増加するにつれて、産出量も1.7倍から3.3倍へと増加することが確認されている。 ($P < 0.05$)。HRについては、S5に対してS10及びS15へと速度が増すにつれて、拍動数も1.4倍から1.8倍へと増加することが確認されている ($P < 0.05$)。

4) 斜角度15%の身体反応

Table 5は、傾斜角度が15% (T4)の時のS5、S10及びS15における走行中の生体反

Table 3 The Mean and SD of Different Running of Speed on the 10% Grade

	N = 9		
	5 km	10 km	15 km
Inspir. flow (l/min)	14.82 ± 6.80	29.22 ± 8.24	55.83 ± 12.26
Expir. flow (l/min)	17.01 ± 7.84	33.80 ± 9.41	64.58 ± 14.29
Tidal volume (ml)	477.00 ± 204.92	780.33 ± 284.15	1386.00 ± 172.53
Oxygen uptake (l/min)	691.56 ± 96.44	1262.22 ± 157.01	1978.44 ± 205.22
VO ₂ (ml/kg/min)	11.75 ± 1.82	21.48 ± 3.48	33.64 ± 4.35
CO ₂ production (l/min)	663.44 ± 108.32	1391.56 ± 211.45	2223.11 ± 327.14
Cardiac output (l/min)	9.36 ± 1.06	13.04 ± 0.92	16.31 ± 1.67
Lactate (mmol/l)	1.32 ± 0.53	2.24 ± 0.63	4.30 ± 1.12
Heart rate (beats/min)	100.11 ± 16.29	142.67 ± 18.23	174.11 ± 14.93

±SD

応について示したものである。

T 4における吸気量及び呼気量とVTの生体反応は、T 3の時の数値と比較して統計的な有意差を認めらることはできない($P < 0.25$)。しかし、すべての値において段階的に大きく増加することが認められている。換気量の上昇率は、S 5からS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、換気量も1.3倍から3倍へと段階的に増加することが確認されている($P < 0.05$)。VO₂/M及びVO₂/Kにおいても、S 5からS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、摂取量の増加率も1.7倍から2.5倍へと増加することが確認されている($P < 0.05$)。また、VCO₂/Mについては、他の生体機能の変化に比較して産出量も大きく、産出量の増加は2.0倍から3.2倍へと上昇することが認められている($P < 0.05$)。心拍出量については、S 5に対してS 10及びS 15に至るまでの増加率が、1.3倍から1.6倍に拍動数が増加することが確認されている($P < 0.05$)。LTについては、S 5に比較してS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、産出量の増加率も1.8倍から3.8倍へと増加することが確認されている($P < 0.05$)。HRは、S 5に対してS 10及びS 15へと速度が増加するにつれて、拍動数の増加率は1.4倍から1.7倍へと増加することが確認できた($P < 0.05$)。

IV. 考 察

トレーニングに関する研究を進めて行くうえで重要なことは、トレーニングの方法を検討することと同時に、運動強度の設定について検討することが最も大切なことといえる^{3)~5,8,24)}。とくに持久的トレーニングにおいては、トレーニングの方法よりもトレーニング強度のターゲットをどこに設定するかということが、効果的なトレーニングを考えていくうえで最大の課題である^{1,4)}。この問題については、我々が従来から取り組んでいる効果的なトレーニング方法を考えていくうえで、永遠のテーマになっているところのものである^{6,7,9,11)~15)}。持久的トレーニングの中でも、とくに坂道を利用した山間部のトレーニングあるいはクロスカントリー・トレーニングは、運動強度の設定が一般の持久的トレーニングに比較して

Table 3 The Mean and SD of Different Running of Speed on the 15% Grade

N = 9

	5 km	10 km	15 km
Inspir. flow (l/min)	19.72 ± 8.36	36.14 ± 13.22	65.26 ± 16.96
Expir. flow (l/min)	22.26 ± 9.37	42.01 ± 15.46	75.95 ± 20.31
Tidal volume (ml)	653.89 ± 342.31	847.22 ± 365.10	1170.01 ± 489.74
Oxygen uptake (l/min)	791.22 ± 266.76	1315.33 ± 347.85	2006.00 ± 474.15
VO ₂ (ml/kg/min)	13.97 ± 5.03	23.33 ± 6.97	35.42 ± 9.22
CO ₂ production (l/min)	807.11 ± 215.62	1616.78 ± 384.20	2593.33 ± 689.50
Cardiac output (l/min)	9.88 ± 2.33	13.02 ± 2.11	15.72 ± 1.99
Lactate (mmol/l)	1.37 ± 0.67	2.49 ± 1.21	5.25 ± 2.40
Heart rate (beats/min)	107.22 ± 20.10	153.67 ± 16.79	178.00 ± 14.17

±SD

生体に加わる負担度も大きく、体力及び競技能力の異なる者を対象に集団トレーニングを編成するうえで、非常に難しいテーマになるところのものである^{12,13)}。この点についても、過去のトレーニング研究に関する共通のテーマになっているところのものである^{3,4,8,28,31)}。

そこで今回は、異なる傾斜角度を3段階の速度で漸進的に増加させながら、連続走行させたときに起こる生体機能の変化を分析する目的で実験した。

これは、被験者の生体機能の変化を分析することによって、有酸素運動領域から無酸素運動領域の範囲の中での適正なトレーニング強度を検索し、効果的なトレーニング方法を位置付けるためのものである。

また今回の実験は、被験者に対する環境条件を同一にする意味で、実験室内に設置されたトレッドミルによる運動負荷実験を採用した。

最初は、傾斜角度をつけない平地(T1)を時速5km(S5)、10km(S10)及び15km(S15)の3段階に速度を段階的に増加させながら、連続走行させたときにおこる生体機能の変化を観察した。その際におこる生体反応を、今回の実験における基礎資料にしたものである。

T1における吸気量及び呼気量、VTの換気量に関する生体機能の変化は、走行速度が増加するにつれて運動強度が大きくなるため運動中の換気量も必然的に増加するが、S5、S10及びS15へと速度の切り換えがなされる度に、換気量も段階的に増加することが認められている($P < 0.01$)。この点は、筆者等が過去に報告した坂道トレーニングに関する運動負荷時の生体機能の変化と同様のHRの増加を確認するものであった^{12,15)}。問題は、運動強度に対する吸気量及び呼気量、VTの換気量の増加の程度である。この点については、 VO_2/M 及び VCO_2/M の摂取量と排出量の関係においても、同様の生体機能の変化を運動強度との関係から推定することができるのである⁸⁾。つまり、運動時における生体機能の変化は、運動強度の増加に伴いすべての生体機能が運動適応を起こすため漸進的に向上するが、有酸素運動領域及び無酸素運動領域という運動領域の観点から生体機能と運動強度の関係を考えて行かなければならないものである。この考え方は、運動強度に対する生体機能の変化から個人のトレーニング強度の適正範囲を推定するとらえ方といえる。とくに今回の実験のように、走行速度の切り換えが2倍、3倍へと段階的に増加する中での生体機能の変化は、非常に大きな生体機能の変化と特殊な生体反応を伴うものであるが、運動領域の検索という観点から生体機能の変化を観察した場合、中程度の運動から強運動への運動領域の移行、有酸素運動領域と無酸素運動領域という運動領域の区分を生体機能の変化から推定するものといえる^{1,5,8,10,14,24)}。これは、運動強度と生体機能の関係から有酸素運動領域におけるトレーニング強度を位置付けるものである。したがって、T1における運動強度と生体機能の変化から推定できることは、有酸素運動領域の範囲における機能の向上であり、無酸素運動領域の移行を何うような生体機能の変化を認めることはできないものであった。いわゆる有酸素運動領域から無酸素運動領域への移行は、過去に多くの研究者

がいろいろな角度から報告^{1,2,4,8,16,18,19,25,30,32)}しているところの、持久的運動における有酸素閾値（以下ATと称す）といわれるものであり、運動強度としては中程度の運動から強運動、さらには激運動という有酸素運動領域と無酸素運動領域の境界領域を示す生理的な生体反応といえる。この点は、T1におけるHRの動向が1分間当たり130拍から160拍の範囲を示していることから考えても、有酸素運動領域の範囲のものであり、他の研究資料にみられる長距離選手のATポイントに達するものではないといえる^{18,4,8,30)}。また仕事量（以下WLと称す）においても、S10が 43.67 ± 5.08 ワット、S15が 67.22 ± 5.35 ワットという比較的低い値であり、ATポイントをHRとの関係から推定するには機能的な興奮も比較的低いものであった^{4,8,30)}。とくに運動強度と生体反応の関係を論じて行くうえで、HRの反応は運動負荷量の増加に対する心拍出量の増加を示す変化であり、生体機能が運動適応を形成していく過程における生体反応としては非常に顕著に、また的確に発現する反応といえる^{5,8,16,24,32)}。それらの機能的な変化は、持久的能力を推定する重要な因子である VO_2/M と VCO_2/M の摂取量と排出量の関係においても同様のことが考えられるのであるが、T1の運動強度においては両者の統計的な有意差（ $P < 0.25$ ）を確認することはできなかった。しかし、S10以降における VCO_2/M の産出量については、 VO_2/M の摂取量を上回る状況が発現している。これは、生体機能が有酸素運動領域から無酸素運動領域へ近づいている身体状況を示唆^{4,8)}するものであり、運動強度の増加に伴う生体機能の変化について、さらに焦点を絞りながら運動強度を高めて観察する必要があると考えられるものであった。それは心拍出量においても、S15の速度の切り換えに対して、同様に大きな心拍出量の変化を確認しており、160拍というHRの数字的变化が運動領域を区分するうえでの、ターゲットポイントなりうる可能性を伺う生体機能の動向をも示した。またLTの産出量においても、S15の値がS5及びS10に比較して非常に大きく増加しており、代謝産物が分解されないまま筋肉内に蓄積している状態を考えると、S15においては比較的高い運動強度の有酸素運動領域に達していることを伺うことができるのである^{4,8,24)}。

そこで、傾斜角度を0%から5%(T2)にした場合の生体反応は、WLが 69.67 ± 12.12 ワット(S5)、 146.22 ± 13.93 ワット(S10)、 215.00 ± 20.23 ワット(S15)であり、T1の時に比較して大きく増加しているが、呼吸機能における数字的な変化は、T1の値に対して大きな相違は認められなかった($P < 0.25$)。これは、T1の運動強度とT2の運動強度の相違が生体機能に大きな影響を及ぼすような違いでなかったことを示すものである。それは、T1及びT2におけるS15の生体機能の変化を比較した場合においても、数値的な差は認められるものの統計的な有意差を確認することはできなかった($P < 0.25$)。その点は、運動反応の副産物である VCO_2/M 及びLTの産出量についても、T1及びT2の間に統計的な有意差（ $P < 0.25$ ）を確認することはできない。これは、両運動負荷テストの運動強度が生体機能に大きな影響を呈するものではないといえる状況であった^{5,8,23)}。また、ここにおける運動強度は、カルボネン及びオストランド等が運動中のHRから運動強度

(以下%HRmax と称す) を推定する%HRmax から考えても、同様の結果が推定できるものであり、無酸素運動領域への運動強度を推定するには、さらに高い負荷強度を生体に加えて生体機能の変化を観察する必要があると考えられるものであった。この点は、 VO_2/M と VCO_2/M の摂取量及び産出量の関係から%HRmax を考えても、同様の運動強度及び運動領域の位置付けを摂取量と産出量の変化から同様に伺うことができる⁸⁾。なぜなら、S 10以降の HR は、 131.67 ± 17.57 拍から 163.56 ± 16.16 拍の範囲を示しており、T 1時の HR の動向と比較して大きな違いはないものであった ($P < 0.25$)。さらに S 15では、 VO_2/M の増加が顕著に認められるもの ($P < 0.05$)、 VCO_2/M については大きな変化が認められない ($P < 0.25$) ことから、生体内に生じる代謝産物についても相違がないということである。また、心拍出力及び LT の値においても同様の傾向を確認しており、数字的な境界領域をさらに高めた中で、生体機能の変化を継続的に観察する必要があると考えられる。

さらに傾斜角度を10% (T 3) に高めた場合の WL は、S 5が 115.11 ± 20.56 ワット、S 10が 248.56 ± 24.70 ワット、S 15が 374.67 ± 30.27 ワット (S 15) と大きく上昇した。しかし、S 5及びS 10における生体機能の変化は、T 1及びT 2の時と比較して統計的な有為差を確認することはできなかった ($P < 0.25$)。これは、運動強度と WL から考えて、250ワットという数字的な位置付けを、有酸素運動領域の範囲として示すことができるものであった。つまり、無酸素運動領域という観点から運動強度を考える場合、WL の250ワットという数字を、さらに高い運動負荷で観察しなければならないといえるものであった。さらに速度を高めた S 15の場合は、 VO_2/M 及び VCO_2/M と HR 及び LT の機能的変化から有酸素運動領域の範囲、また無酸素運動領域の境界線を位置付けるような生体機能の変化を確認することができた ($P < 0.05$)。これは、WL を250から370ワットの間でターゲットゾーンとして設ける生体機能の変化といえる。これらの生体機能の変化は、多くの研究資料に示される A Tポイント及び無酸素運動領域への機能的変化と同様^{4,5,8,18)}の結果であり、これらの数字的な動向は持久的トレーニングにおけるターゲットゾーンとしてトレーニング強度を検討するうえで重要な数字になるものである。この結果は、とくに VO_2/M 及び VCO_2/M と HR の関係を示すものであり、同時に LT の産出量から運動強度と生体機能の関係を伺うことができる資料であった^{2,22,23)}。また S 15においては、統計的にも VCO_2/M の産出量が VO_2/M 摂取量を上回る有為差を示している ($P < 0.05$)。これは、有酸素運動領域から無酸素運動領域へ運動領域が移行する生体機能の変化を示すものであり、運動強度も中程度の運動から強い運動へと変化している状態を伺う資料であった。この状態は、HR が 174.11 ± 14.93 拍に増加しているということから考えても、T 1及びT 2にみられた160拍という有酸素運動領域のマキシマムラインを170拍という高い位置に引き上げる生体反応ともいえるものである。この170拍という HR は、今回の被験者における最高心拍数の約92%に相当する値であり、有酸素運動領域において運動継続をしていくうえでの限界値に近

い状態を示しているものであろう⁸⁾。また、LTにおいても4 mmol/lという高い産出量を示しており、運動時の代謝産物においても有酸素運動領域と無酸素運動領域の境界領域を170拍というHRに定めることができる資料であった。

さらに傾斜角度を15% (T4)に高めた場合の生体反応においても、WLの値がS5では164.44±31.71ワット、S10では357.89±31.05ワット、S15では528.56±33.61ワットへと非常に大きく上昇している。しかし、生体機能の変化は、S5及びS10の値についてはT1、T2及びT3の時と比較して統計的な有為差を認めるまでには至っていない(P<0.25)。しかしWLは、大きく350ワットまで引き上げており、T3において掲げられた250から370ワットという有酸素運動領域の範囲をさらに絞って、350ワットというWLに無酸素運動領域との境界領域を定めることができる生体反応とみることができる。問題は、S15の段階における各種生体機能の変化である。とくにVO₂/M及びVCO₂/Mの関係は、VCO₂/Mの産出量がVO₂/Mの摂取量を大きく上回っていることが確認できる(P<0.05)。これは、有酸素運動域から無酸素運動域へと運動強度が高まっていることを示しているものである。またTVについては、T3のS15の時と比較して1回呼吸量が減少する傾向が発現しており、呼吸数と換気量の関係から考えて運動強度が高くなっていること^{4,8)}を、ここでも推定することができるのである。またHRは、178.00±14.17拍という数値が確認されており、T3の時と同様に無酸素運動領域への生体機能の変化を、ここでもHRの高まりから伺うことができるのである。LTは、5.25±2.40という高い産出量を示しており、同時に無酸素運動領域への移行を代謝産物から推定することができるのである。

以上のことから傾斜角度と運動強度の関係は、有酸素運動領域及び無酸素運動領域という観点から、運動領域のターゲットライン及びターゲットゾーンを想定したうえで、トレーニング強度の範囲を定めたトレーニングプログラムを編成する必要がある。つまり、有酸素運動領域という観点から、HRの変動範囲を170拍というマキシマムライン、そして130拍というボーダーラインの幅の中で、持久的トレーニングの負荷強度を考えることが重要である。また坂道トレーニングを有酸素運動領域という観点から考える場合の傾斜角度は、5%から10%の範囲でトレーニングを設定することが、持続的トレーニングを負荷していくうえで大切なことといえる。そして走行速度は、時速10kmから15kmの範囲で考えることが、持続的なトレーニングを効率的に実施するための重要なポイントであるということが、今回の実験における生体機能の変化から判明した。

V. 要 約

今回は、異なる傾斜角度と段階的に切り換わる走行速度の間における生体機能の変化を分析する目的で実験したところ、酸素摂取量(VO₂/M)、炭酸ガス排出量(VCO₂/M)、心拍数(HR)、乳酸値(LT)及び仕事量(WL)の動向から、有酸素運動領域及び無酸素運動領域の運動領域を区分する境界線並びに範囲を推定する数字が確認できたので報告する。

1. すべての生体機能は、WL の増加に伴い段階的に上昇する ($P < 0.05$)。
2. VO_2/M 及び VCO_2/M の関係は、1 分間当たりの HR が170拍になると、 VCO_2/M の産出量が VO_2/M の摂取量より多くなることが確認された ($P < 0.05$)。
3. LT の産出量は、1 分間当たりの HR が170拍以上になると1リットル当たり4ミリモルを越えることが確認された。
4. WL と HR の関係は、1 分間当たりの HR が170拍の時に370ワットの WL であり、これは VO_2max の時に観察される WL の約63%に相当するものであった。
5. 以上のことから、傾斜角度が生体に及ぼす運動強度は、有酸素運動領域及び無酸素運動領域という観点から考えて、有酸素運動領域における HR のターゲットゾーンを1 分間当たり130拍から170拍の範囲に定めること。また、傾斜角度が10%を越えないこと、走行速度が時速15kmを越えないようにトレーニングプログラムを編成しなければ、一定の速度で一定の時間、運動を継続することが非常に困難である。これは、有酸素運動の能力を高める坂道トレーニングにおける基本的な条件といえるものである。

参考文献

- 1) 青木高他：21世紀の健康・体力作り，71—73，135—145，大修館，1990
- 2) Ahlborg B., et al.: Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.* **70**, 129—142, 1967
- 3) 浅比奈一男他：作業強度の生理的水準について，*体力科学*，**20**，190—197，1971
- 4) 浅見俊雄他：スポーツトレーニング，40—195，朝倉書店，1985
- 5) 石河利寛：スポーツとからだ，103—140，岩波書店，1991
- 6) 岩崎英人・川上雅之他：心拍数から考える組み合わせトレーニングと運動強度—インターバルトレーニング形式による—，*山陽論叢*第1巻，37—47，1994
- 7) 榎本豊・川上雅之： VO_2max から推定するロングインターバル・トレーニングの身体的影響，*岡山理科大学紀要*，**25A**，349—360，1990
- 8) Astrand P.-O., et al.: *Textbook of Work Physiology*, McGraw-hill, 295—518, 1970
- 9) 川上雅之他：長距離走における走行速度と運動強度の関係，*岡山理科大学紀要*，**26A**，365—378，1991
- 10) 川上雅之他：保体学概論，180—217，小林出版，1992
- 11) 川上雅之他：ショートインターバル・トレーニングと心拍数の関係，*岡山理科大学紀要*，**27A**，311—324，1992
- 12) 川上雅之他：心拍数から考える山間部走とトレーニング，*岡山理科大学紀要*，**28A**，272—292，1993
- 13) 川上雅之他：心拍数から考える女子長距離選手のインターバル・トレーニングと運動強度，*岡山理科大学紀要*，**29A**，355—373，1994
- 14) 川上雅之他：ヘルスサイエンス，25—58，不味堂，1994
- 15) 川上雅之他：心拍数から考える女子長距離選手の山間部における組み合わせトレーニングと運動強度に関する研究，*岡山理科大学紀要*，**30A**，1995
- 16) 久保田競：ランニングと脳，21—34，朝倉書店，1988
- 17) Karvonen M., et al.: The effects of training on heart rate., *Ann. Med. Exper. Fenn.* **35**, 307—315, 1957
- 18) Cooper K. H.: *The new aerobics.*, M. Evans and Company, 25—180, 1970
- 19) Gutin B., et al.: Oxygen consumption in the first stages of strenuous work as a function of prior

- exercise., *J. Sports Med.*, **16**, 60—65, 1976
- 20) Costill D. et al.: Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running., *Med. Sport*, **5**, 248—252, 1973
- 21) Costill D. et al.: Determinants of marathon running success., *Int. Z. Angew. Physiol.* **29**, 249—251, 1971
- 22) Costill D. et al.: Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. *Act. Physiol. Scand.*, **91**, 475—481, 1974
- 23) Costill D. et al.: Metabolic responses during distance running., *J. Appl. Physiol.*, **28**, 252—255, 1970
- 24) 田口貞善他：運動生理学，**13—20**，151—288，杏林書院，1992
- 25) 高松薫他：持久走における心拍数と酸素摂取水準との関係に及ぼす運動経過時間の影響，*体育学研究*，**28—2**，153—161，1983
- 26) Davies C. T. M.: Limitation to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements., *J. Appl. Physiol.*, **24**, 700—706, 1968
- 27) Drinkwater D. L. et al.: Responses of young female track athletes to exercise., *Med. Sci. Sport.*, 356—362, 1972
- 28) 野田晴彦：マラソントレーニングにみるトレーニングの限界，*スポーツ医学*，**7—5**，573—577，1990
- 29) 松井秀治：女子マラソン選手の体力，*体育の科学*，**33**，193—197，1983
- 30) 山路啓司：心拍数の科学，17—30，大修館，1981
- 31) 山路啓司：持久走トレーニングの最大酸素摂取量への影響，*体育学研究*，**32—3**，167—175，1987
- 32) 山路啓司：心臓とスポーツ，47—183，共立出版，1982

The Correlation between Running Speed and Different Grade of Inferred from the Physical Function of the Long distance Runner of Ninth Males

Masayuki KAWAKAMI, Naohiko ARAKI, Koji INOKIHARA,
Takashi MATSUBARA and Hideto IWASAKI*

*College of Liberal Arts and Science,
Kurashiki University of Science and the Arts,
2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi,
Okayama 712, Japan*

**Sanyo Gakuen University
1-14-1 Hirai Okayama, 703, Japan*

(Received September 30, 1995)

The purpose of this study is to analyze the physical function results affected by the different exercise inferred from respiration. The subjects in this study is the long-distance runner of 9 males. The influence of physical function, analyzed by the results of respiration during the different exercise of treadmill.

The following results were obtained:

- 1) The mean of work load during aerobics exercise indicate numerical values between 70%—90% beats per minutes of HRmax of the subjects, respectively.
- 2) The mean of work load during aerobics exercise indicate numerical values between 1 and 4 mmol per l of lactate of the subjects.
- 3) Therefore a significant consideration about aerobics training for long-distance running of an upward slope should be the percent of HRmax per running speed of each runner based on the work load.