

昭和49年度 日本体育協会スポーツ科学報告

No. IX 陸上競技，中，長距離走の呼吸循環機能に関する研究

— 第 3 報 —

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

陸上競技，中，長距離走の呼吸循環機能に 関する研究 一第3報一

報告者

(財)日本体育協会 スポーツ科学研究所

黒田 善雄 雨宮 輝也 塚越 克己
鈴木 洋児 伊藤 静夫

はじめに

我々は1969年¹⁾、1973年²⁾の2回にわたって、戸外のロードを使用しての陸上競技、中長距離走行中の呼吸循環機能に関する研究を続けてきた。また1967年以来実験室内³⁾⁴⁾⁵⁾においてトレッドミルを利用して最大酸素摂取量及び酸素摂取水準の維持能力の測定を実施してきた。

一流長距離選手になるためには最大酸素摂取量の絶対値が大きいこと、走行中のエネルギー消費の経済性がすぐれていること、および走行中に出来るだけ最大酸素摂取量に近い高い酸素摂取水準の維持能力が必要であると考えられます。

1969年¹⁾の二流選手を対象にした実験によれば1,500m 走行時における平均酸素摂取水準は94.9% $\dot{V}O_2$ max, 5 km では91.3% $\dot{V}O_2$ max, 10 km では79.1% $\dot{V}O_2$ max, 20 km では74.3% $\dot{V}O_2$ max, 30kmでは66.3% $\dot{V}O_2$ max, 42.195 km では62.8% $\dot{V}O_2$ maxであった。しかしこの実験に使用した走行コースの起伏が大きく走行時間が実際のレースより長くかかった。そこで1973年²⁾の実験においては、より実際のレースに近い条件を得ることを意図し、平坦な直線コースを使用して一流選手を対象に1,500m, 5 km, 10 km 走について測定した。その結果走行中平均酸素摂取水準は1,500mでは92.8% $\dot{V}O_2$ max, 5 kmでは92.0% $\dot{V}O_2$ max, 10 kmでは88.6% $\dot{V}O_2$ maxであった。1,500m, 5 km 走については1967年と73年の実験においても著しい差は認められず、ほぼ同じ水準の値であったが、10 km走については1973年の実

験が約10%高い水準であった。

Costillはマラソンで2時間08分33秒の世界最高記録を樹立したクレイトンについて世界最高記録と同じスピード(328 m/min)で30分間のトレッドミル走を行なわせ、その際の平均酸素摂取水準は86% $\dot{V}O_2$ maxであったと報告している⁶⁾。このような結果にもとずき、我々は1973年とまったく同じコースを使って、比較的距りの長い持久走について走行中の生理学的変化を一流選手を対象にして検討した。

実験方法

1. 実験の実施期日

本実験は1974年11月24日から27日までの4日間にわたって実施した。その時の気象条件は次表の通りであった。

気象状況

月日	天気	気温	湿度
11月24日	晴	13℃	60%
25日	//	16℃	32
26日	//	13℃	60
27日	//	17℃	50

2. 被検者

被検者の年齢、身長、体重、最大酸素摂取量、最大酸素負債量は表1に示すごとくである。体重当りの酸素摂取量は最低は J.M の71.3 ml/kg. min, 最高は H.N の75.8 ml/kg. min, であった。5,000m の自己最高記録は被検者 N. Y の15

表1 被検者の特性

Subj.	Age yr	Height cm	Weight kg	$\dot{V}O_2$ max		Best Record	
				ml/ min.	ml/kg. min.	O_2 debt max l	5,000m m s
J. M.	20	180.3	64.6	4.604	71.32	7.30	14.51.5
M. S.	20	167.7	57.8	4.316	74.65	8.94	14.39.0
N. Y.	20	167.2	57.5	4.105	71.33	7.49	15.02.2
H. N.	22	174.6	59.6	4.630	75.80	7.22	14.01.8
H. I.	23	164.5	55.7	4.132	74.18	7.62	14.29.8
I. S.	30	159.9	50.0	3.711	74.28	6.52	14.38.8
A. U.	31	168.1	62.5	4.539	72.62	7.30	14.02.0

分2秒を除くとすべて14分台の記録であった。

なお最大酸素摂取量は傾斜5度のトレッドミル速度漸増法によるオールアウト走によって求めた値であり、最大酸素負荷量は傾斜5度スピード300~360 m/minでのオールアウト走後30分間の椅座位安静によって求めたものである。

3. 走行コースについて

走行コースは1973年の実験とまったく同様に千葉県成田市に建設中である「新東京国際空港」の平坦なタクシーウェイ (Taxi way) といわれる舗装された直線路であった。片道の全距離は約4 kmで、10 km, 20 km, 30 km, 42.195 km 走については各走行距離に相当する距離を往復して走行した。

4. 測定項目とその方法

イ、ランニング記録、走行距離は10 km, 20 km, 30 km, 42.195 km 走の4種類でスタートから400m ごとに表示した地点を被検者が通過する際のラップタイムと総合時間を被検者に伴走する測定車に同乗した計時員がによって記録した。

ロ、ピッチ、三方向の加速度計を走者の腰部に装着し走行に伴う重心の上下動からピッチを計測した。

ハ、心拍数、呼吸数、胸部双極誘導法による心電図を併走する測定車で有線にて走行中、走行後30分間連続記録した。呼吸数は採気用マスク内に装着したサーミスターの温度変化による呼吸曲線を心電図と同時に記録することにより求めた。ただし呼吸については走行中常時マスクを顔面に装着しなかったため、採気を行っている時間のみの記録した。

ニ、換気量、酸素摂取量、被検者は走行中採気のためにマスクを装着し、伴走する測定車に蛇管が接続された。呼気の採集は10 km 走についてはスタート、3', 6', 9' 以後5' ごとに、20 km 走のM. S は10分以降10分ごとに、N. Y については5分ごとに、30 km 走、42.195 km 走は10分ごとに換気の時間の10~15秒前にマスクを顔にあて1分間の採集を行い、乾式ガスメーターを通して換気量を求め一部をショランダーガス分析器にて分析し酸素摂取量を求めた。

ホ、直腸温、棒状サーミスターを被検者の直腸に約8 cm 挿入させて走行中および走行後、1~2分おきにメーターを読みとって記録した。なお数値は標準温度計によって校正した。

ヘ、血圧、ウォーミングアップ前、走行後10分、25分の3回 Riva-Rocci のManchette 加圧法で上腕部の最大血圧と最小血圧を測定した。

ト、血液、安静値の採血は午前7時覚醒後30分に、運動後は走行後8分、30分の2回被検者の前腕肘静脈より約5 ml の採血を行い総蛋白量、乳酸、血糖値を求めた。総蛋白量は屈折法、乳酸はペーリンガー・マンハイム社製LDH酵素法、血糖は和光純薬社製グルコースオキシダーゼ酵素法によって測定した。

チ、体重、走行前と走行後に体重計 (秤量100 kg, 最小目盛0.5 kg) で体重を計測した。

実験結果

1. ランニング記録と速度について

表2に10 km, 20 km, 30 km, 42.195 km の各走行について被検者の走行記録と各自の最高記録および最高記録に対する増加量を示した。10 km 走のR. K の値は昨年の実験でこのコースを走った際の記録であって、J.M より競技能力がすぐれており、比較のために表に記入した。10 km 走から42.195 km 走までいずれの被検者とも自己の最高記録より劣っている。この点についてはいろいろな理由が考えられるが、コンディションの調整、実験のためマスクの装着や各種コードの接続があつて必ずしもベストの状態で行うことは出来なかった。42.195 km 走のA.U については、途中右足関節部の痛みを訴え走行を継続

表 2 Running time

subject	Running time	Best Performance	Increase	
<i>10km</i>				
	hrs. min. sec.	hrs. min. sec.	min. sec.	%
R. K.	31. 47. 0	29. 03. 2	2. 43. 8	9. 40
J. M.	33. 03. 4	30. 59. 4	2. 04. 0	6. 67
J. M.	33. 22. 0		2. 23. 0	7. 69
<i>20km</i>				
M. S.	1. 06. 53. 0	1. 02. 50. 0	4. 03. 0	6. 45
N. Y.	1. 08. 46. 5	1. 04. 35. 0	4. 11. 5	6. 49
<i>30km</i>				
H. N.	1. 38. 44. 6	1. 33. 19. 0	5. 25. 6	5. 81
H. I.	1. 40. 13. 4	1. 36. 36. 4	3. 37. 4	3. 75
<i>42. 195km</i>				
A. U.	*1. 59. 30. 6	2. 10. 37. 0		
I. S.	2. 30. 46. 6	2. 19. 18. 0	11. 28. 6	8. 23

* : 35 km

させることが無理であるという判断のもとに 35 km で打切ったが、それまで特別に悪いペースでなかった。各距離における自己記録に対する所要時間の増加率は 10 km 走では 6. 67 %~9. 4%, 20km走では6. 45~6. 49%, 30km 走では3. 75%~5. 81%, 42. 195km 走では8. 23%であった。

各距離とも 400m ごとのラップタイムを計時したので平均速度 (m/min) を算出しグラフ化したのが図 1, 2 である。

10 km 走の J.M については27日の走行はスタートから意識的にハイペースで走行させてみたが途中から (5 km) スピードの減少が著しかった。30 km の H.N は 25 km まで非常に安定したスピードでの走行がなされたのに対し, H.I は風の影響もあったが, スピードの遅速が著しい。42. 195 km 走の I.S は前半 20 km の中間点までは 280 m/min 以上のスピードを保持していたが, 後半は, スピードの減少が大きい。各距離の平均速度を算出してみると表 3 のようになる。

2. ピッチについて (図 3)

ピッチについて全コースにわたって記録できた例は, 10 km 走の 2 例, 20 km 走の 1 例, 42. 195 km 走の 2 例であった。10 km の 2 例は J.M が別々の日に 10km を 2 回走ったものでありピッチ

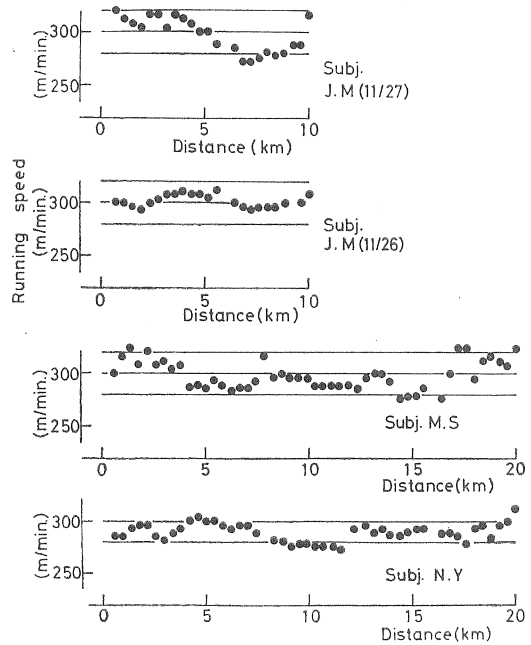


図 1 走行スピードの変化

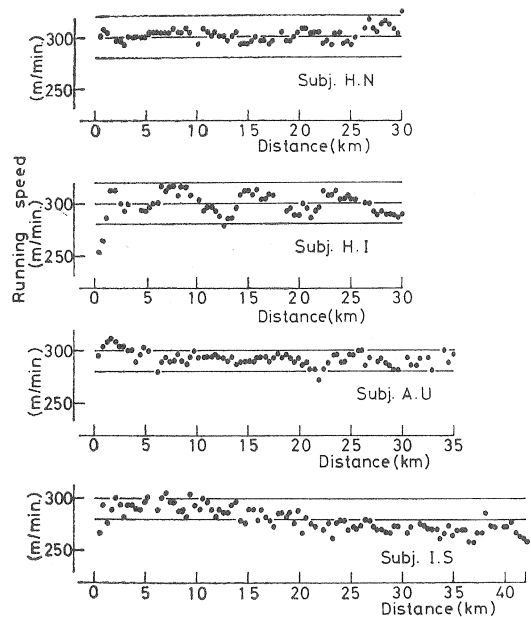


図 2 走行スピードの変化

表 3 各距離の平均速度

Subjects		m/min.	m/sec
10km			
R.	K.	315	5.24
J.	M.	302	5.03
J.	M.	298	4.97
20km			
M.	S.	299	4.98
N.	Y.	290	4.84
30km			
H.	N.	304	5.06
H.	I.	299	4.99
42.195km			
A.	U.*	293	4.88
I.	S.	283	4.72

* : A. U. は 35 km

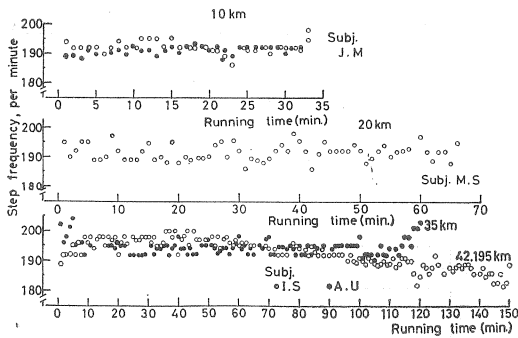


図 3 走行中のピッチの変化

はほぼ等しい値である。42.195 km の I.S. は、後半 110 分以降ピッチが落ちている。逆に A.U. はピッチの減少なく終了した。

3. 体重の減少

各距離走行における体重の減少量は表 4、図 4 のごとくである。走行距離の延長にしたがい体重の減少が大きい傾向がみられる。I.S. の 42.195 km 走行では 2.5 kg の減少で走行前体重の 5% に相当した。

4. 心拍数の変化について

心拍数の走行中の変化は図 5, 6, 7, 8 のごとくである。

走行時間が 30 分から 2 時間 30 分継続されるような長距離走における心拍数変動はスタート後数分

表 4 体重の減少

subjects	Before Ex.	After Ex.	Decrease		Air temp.	Humidity
	kg	kg	kg	%	°C	%
10km						
R. K.	64.2	63.5	0.7	1.1	10.0	90
J. M.	65.5	64.2	1.3	2.0	13.0	60
J. M.	64.8	63.0	1.8	2.8	17.0	50
20km						
M. S.	56.2	54.5	1.7	3.0	18.0	38
N. Y.	59.0	57.0	2.0	3.4	16.0	48
30km						
H. N.	58.2	56.3	1.9	3.3	18.0	35
H. I.	55.0	52.5	2.5	4.5	14.0	62
42.195km						
* A. U.	62.5	59.0	3.5	5.6	20.0	56
I. S.	50.0	47.5	2.5	5.0	20.0	37

* : 35 km

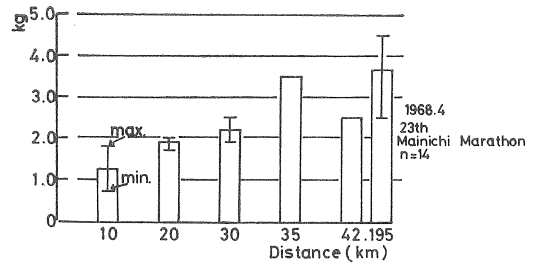


図 4 体重の減少量

表 5 各距離走行における平均心拍数と最高心拍数

subjects		H. R.	Max H. R.
		deats/min	beats/min
10km			
J.	M.	177	190
J.	M.	181	190
20km			
M.	S.	183	198
N.	Y.	181	192
30km			
H.	N.	166	173
H.	I.	173	188
42.195km			
A.	O.	152	186
I.	S.	165	194

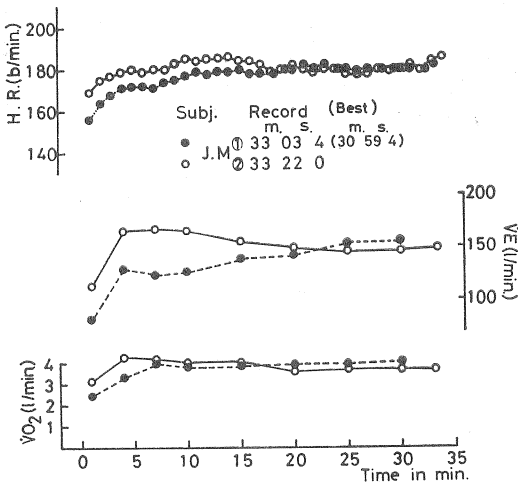


図5 10 km 走行中の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, H.R

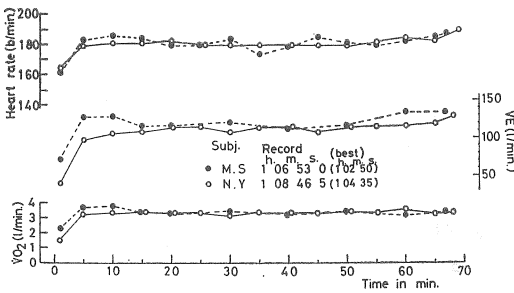


図6 20 km 走行中の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, H.R

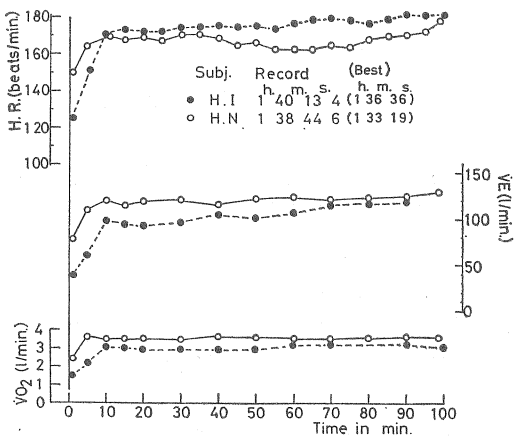


図7 30 km 走行中の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, H.R

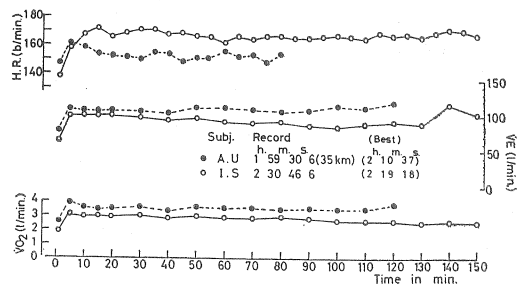


図8 42.195km 走行中の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, H.R

の上昇傾向以後はほぼ横ばいの定常状態を保っている。運動開始の初期上昇を除いた平均心拍数は表5のようになる。すなわち、10 km走の J.M は、177 と 181、20 km 走は M.S が 183、N.Y は 181、30 km 走は H.N 166、H.I は 173、42.195 km 走は A.U 152 I.S は 165であった。

5. 換気量、酸素摂取量

換気量、酸素摂取量の各走行における変動は図5、6、7、8に示した。

換気量は10 km 走の J.M は2回目(11月27日)に走行した時、意識的にスタートからスピードを増したため26日の1回目より高い値を示し後半減少の傾向がみられる。20 km、走30 km 走についても5分以降、ほぼ定常状態を示し、平均すると20 km 走の M.S は 123.5 l/分、N.Y は 113.1 l/分、30 km の H.N は 120.9 l/分、H.I は 104.5 l/分であった。42.195 km 走については、I.S は5分以降130分までは、わずかではあるが順次減少傾向がみられる。それに対し A.U は5分以降はほぼ定常状態で平均すると 108.8 l/分であった。

一方酸素摂取量については各距離走行とも運動初期の立上りに急激に増加して以後は定常な状態を保って走行が継続された。しかし42.195 km 走の I.S については運動開始の立上りは増加し、走行開始から80分以降走行終了までわずかではあるが、減少の傾向がみられる。各距離とも走行開始の立上りの部分を除いた、酸素摂取量は10 km 走の J.M は 3.83 l/分、3.87 l/分、20 km 走は M.S の 3.46 l/分、N.Y の 3.38 l/分、30 km 走は H.N の 3.55 l/分、H.I の 3.06 l/分、42.195 km 走は

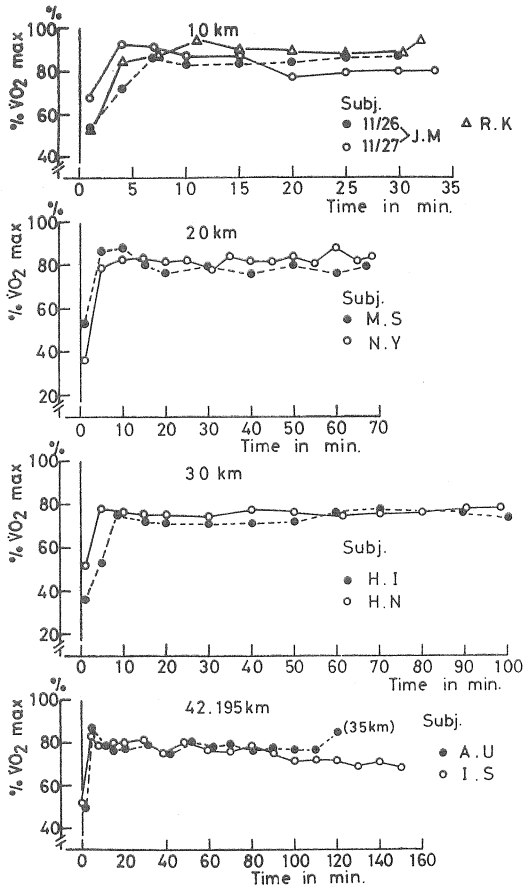


図9 最大値に対する走行中の酸素摂取量

A.U の 3.57 l/分, I.S は 2.81 l/分であった。

そこでトレッドミルのオールアウト走によって求めた最大酸素摂取量に対し、走行中の酸素摂取量が何パーセントに相当するか、 $\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ を図示すると図9のようになる。

各距離とも走行開始の立上り部分を除いた平均値を算出すると、10 km の R.K は 89.2% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, J.M は 83.2, 84.1% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, 20 km は M.S は 80.2% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, N.Y ・ 82.3% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, 30 km の H.N は 76.6% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, H.I は 73.9% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, 42.195 km の A.U は 78.7% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, I.S ・ 75.6% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ である。

6. 直腸温の変化

各種距離走行に伴う直腸温の変化は図10に示した。10 km, 20 km 走については1例しか記録することができなかった。

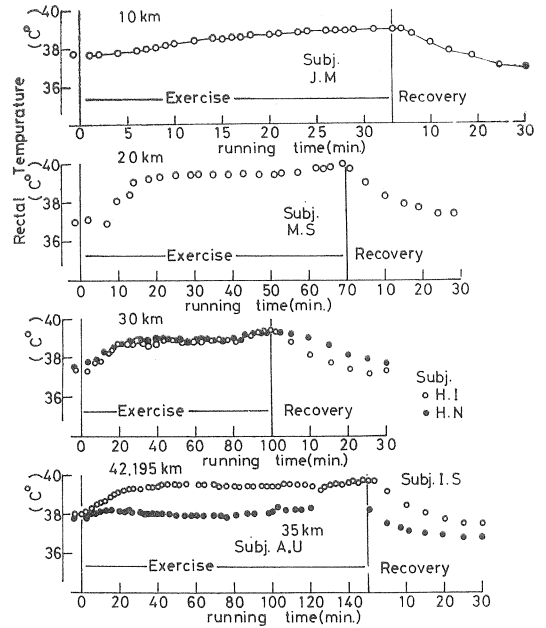


図10 各種距離走行中、後の直腸温

いずれの距離走行においても、走行開始から、走行終了まで順次上昇の傾向を示している。わずかつつではあるが 35 km 走行の A.U については走行開始10分以降、直腸温の上昇が認められず、ほぼ38°Cの値を保ち、走行100分頃からわずかに上昇したにすぎなかった。走行中の最高直腸温については10km走のJ.Mは39.0°C、20km走のM.Sは40.0°C、30km走はH.Nは39.3°C、H.Iは39.4°C、42.195km走はA.Uは38.3°C、I.Sは39.7°Cであった。

7. 血圧の変化

安静値及び走行後10分、25分の血圧値については表6に示した。

走行後10分では安静値に近いかそれ以下の値を示している。走行25分後の血圧は10分の値にほぼ等しく変化を示さなかった。

8. 血液検査について

安静時及び走行後8分、30分における血清総蛋白、乳酸、血糖については表7、図11, 12, 13に示したごとくである。

血清総蛋白については安静値 6.5~7.4 g/dl であった。走行後の8分値はいずれの距離走行にお

表 6 血 圧 の 変 化

(mmHg)

Distance	Subject	Type	Rest	Recov. 10'	Recov. 25'	Subject	Rest	Recov. 10'	Recov. 25'
			10km	J. M.	Systolic		124	114	114
		Diastolic	74	84	78		60	76	80
20km	M. S.	Systolic	136	120	124	N. Y.	118	102	110
		Diastolic	82	82	86		76	62	78
30km	H. N.	Systolic	112	112	114	H. I.	126	120	118
		Diastolic	70	78	76		72	78	74
42.195km	A. U.	Systolic	116	116	114	I. S.	116	126	126
		Diastolic	78	74	74		72	78	78

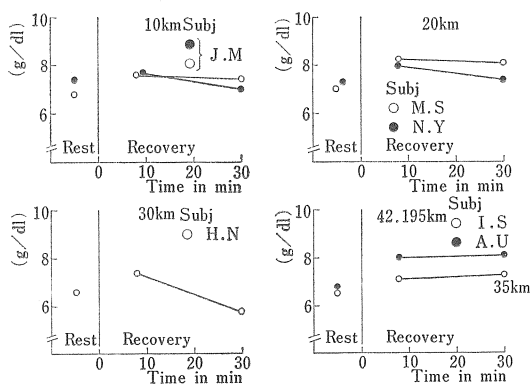


図11 走行後の総蛋白量

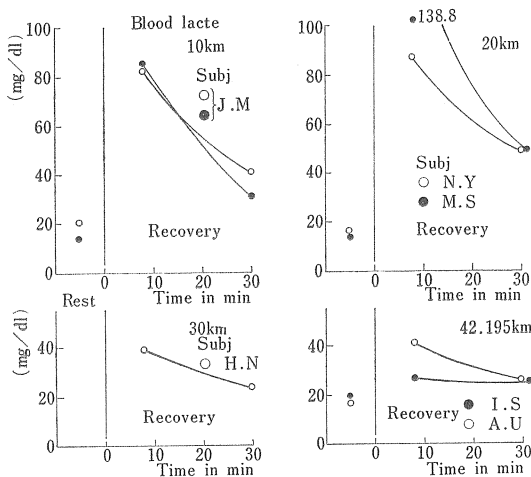


図12 走行後の乳酸値

いて、安静値よりもわずかな上昇を示し、30分後には10km, 20km, 30km 走行は多少減少を示し安静値に近づくのに対し42.195km 走行は8分とほぼ等しい値であった。

乳酸については10km 走行のJ.M, 20km 走行のM.S, N.Y とも走行後8分値は安静値に対し4倍以上の増加を示したが、走行後30分たつと減少し、10km 走は 30.8 mg/dl, 41.3 mg/dl, 20 km

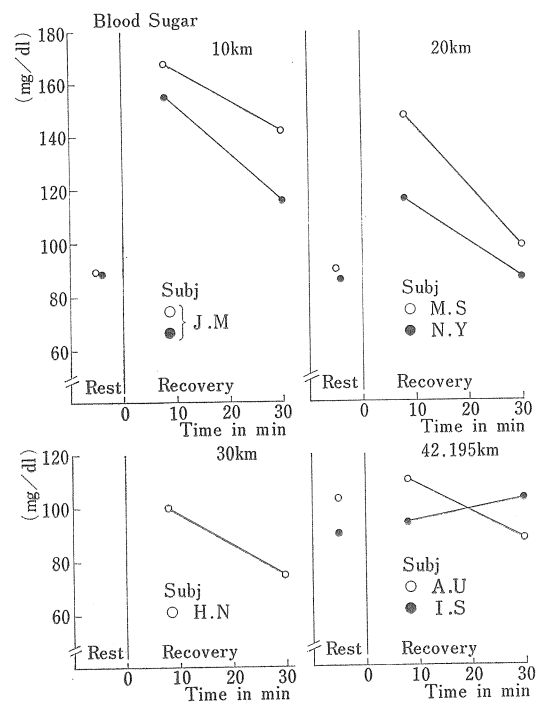


図13 走行後の血糖値

表 7 血 液 検 査 結 果

	血 清 蛋 白 g/dl			乳 酸 mg/dl			血 糖 mg/dl			
	rest	Recov.		rest	Recov.		rest	Recov.		
		8'	30'		8'	30'		8'	30'	
10km										
J. M. 11/26	6.8	7.6	7.4	20.5	82.5	41.3	90.3	167.7	141.9	
J. M. 11/27	7.4	7.7	7.0	14.0	85.6	30.8	89.0	154.8	116.1	
20km										
M. S.	7.0	8.3	8.1	16.1	87.4	49.3	90.3	148.4	96.8	
N. Y.	7.3	8.0	7.4	13.8	138.8	48.9	86.5	116.1	86.5	
30km										
H. N.	6.6	7.4	5.8		39.4	24.4		100.6	74.8	
42.195km										
A. U.*	6.5	7.1	7.3	17.3	40.8	26.1	103.2	109.7	87.7	
I. S.	6.8	8.0	8.1	20.0	26.8	26.3	90.3	94.2	103.2	

* : 35km

走は 49.3 mg/dl, 48.9 mg/dl と安静値にもどりつつある。

30 km 走 42.195 km 走は 10 km, 20 km 走行後のように高い値を示さず安静値よりわずかの上昇である。42.195 km 走行の IS は安静値 20.0 mg/dl に対し走行後 8 分は 26.8 mg/dl, であり, 30分後は 26.3 mg/dl とほぼ等しい値であった。

血糖値は安静値 10 km 走 89.0~90.3 mg/dl, 20km 走は 86.5~90.3 mg/dl, 42.195 km 走は 90.3~103.2mg/dl で走行後30分値は 10km, 走20 km 走は乳酸同様走行後 8 分は安静値に比べ高い値を示したのに対し, 35km の A.U は安静 100.2 mg/dl, で走行後 8 分は 109.7 mg/dl, 42.195km の IS は安静90.3mg/dl で走行後 8 分は94.2mg/dl とほぼ安静時と等しい値であった。

考 察

1969年伊豆サイクルセンターで、1973年は成田新東京国際空港と今回の実験を含め計3回にわたり、我々は走者の横を測定器具と検者を乗せた併走車を走らせて陸上競技、中長距離走行中の呼吸循環機能に関する測定を実施してきた。実験室内でのトレッドミル走行と違って被検者である走者が自からの意志によりスピードを相当な程度までに変えて走ることができるので実際のレースにより近い走行中の実態を把握することが可能であろう。しかし戸外の測定は実際のレースとちがって心電図記録のために被検者が有線と車と接続され

ていること、また呼気採集のためマスクを装着しての走行が邪魔になってスピードが減少することが考えられる。また走行路についても高低差は少なかったが、直線路であったため心理的には単調であきがるであろうと思われる。

1. 走行時間について

各距離の走行時間について自己の最高記録と比較してみたが、いずれも自己最高記録よりは劣った。その増加率は自己最高記録に対し 3.75~9.4 %であり、1969年伊豆での大学長距離選手を対象にした実験よりも小さい増加率であった。今回の実験のために特別なコンディション調整を行わず、また自己最高記録はレース中に相手とせりあって記録したものである。実験上の各種装備を着けての走行であることを考え合わせると当然これくらいのタイム増加は考えられる。42.195km 走行の A.U は 30 km 以後右足の痛みを訴え立止って足を押える場面が何回もあり、やむなく 35 km で中止せざるをえなかったが、仮に足の故障がなくて走行が継続されたならば、35km までの 5 km ごとのラップタイムが17分を割るような走行であったため2時間20分前後の記録が達成出来たと思われる。

IS は 42.195 km 走を 2時間 30分 47秒 で走行し、平均スピードは 283 m/min (4.72 m/sec) であった。しかし後半 20km 以後のスピードの減少が著しかった。マラソンにおいて良い記録を出すためには勿論前半から300m/min 以上のスピード

にて走行し、後半出来るだけスピードの低下を少くするようなペース配分を考えなければならない。I.S はピッチも計測した。すなわち走行開始5分はピッチ194, ストライド1.49mに対し走行の後半の100分はピッチ190, ストライド1.41mであった。

このことから I.S のマラソン走行における後半のスピード減少はピッチ数とストライドの両方の減少であろう。

2. 体重減少について

走行に伴う被検者の体重減少は実験当日の気象条件によって同じ距離走行に対し減少量に差が現われることは考えられるが、距離が長くなるに従い減少量は多くなる傾向がみられた。マラソン走行の I.S は 50.0 kg から 47.5 kg と 2.5 kg の減少で当初の体重の 5.6% にあたる。1968年4月の第23回毎日マラソンでの14名の平均体重減少量は 3.68 kg でスタート前の体重の 6.63% の減少率であった。気象条件その他の要因が加わって減少量に差は認められるとしても、これまでの報告にもみられるように 42.195 km 走行による体重減少は走行前の 5~7% 前後であろう⁷⁾。

3. 各距離走行における酸素摂取量, 酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_2 \max$) について

1969年の伊豆サイクルセンターでの二流選手の走行中平均酸素摂取量の最大酸素摂取量に対する割合は 10km では 3名の平均が 79.1% $\dot{V}O_2 \max$ (81.5~75.4), 20 km では 2名の平均が 74.3% $\dot{V}O_2 \max$ (77.1~71.6), 30 km では 5名の平均が 66.3% $\dot{V}O_2 \max$ (79.7~59.7), 42.195 km では 3名の平均が 62.8% $\dot{V}O_2 \max$ (67.0~59.7) であった¹⁾。この時の被検者は大学の長距離選手であるので今回の一流長距離選手よりは競技能力が劣っていた。特に今回の 10km R.K. 35km A.U は現在日本のトップクラスに位置する選手であるが両者とも同一距離走行の他の被検者に比べ % $\dot{V}O_2 \max$ が高い水準の値を示していることは注目すべきであろう。

また 42.195km 走行の I.S についても 2時間30分47秒で走行し 75.6% $\dot{V}O_2 \max$ で 1969年の実験における被検者よりも 8.6% 高い水準の走行であった。

このように % $\dot{V}O_2 \max$ の相違は被検者の競技能力による差も当然考えられるが、地形の差いわゆる走行コースの高低差も大きく影響していたと考えられる。

松井らは⁷⁾ 2時間20分06秒の記録をもつ25才の長距離選手にトレッドミル傾斜 2.5度でスピード 200 m/min で 2時間30分の走行した際 62% $\dot{V}O_2 \max$ に相当する摂取水準であったという。

D. L. Costill⁶⁾ が測定したクレイトンの 86% $\dot{V}O_2 \max$ は彼が 2時間08分33秒の世界最高記録で走行した際の平均スピード 328m/min で 30分間のトレッドミル走行によって得た値である。クレイトンの $\dot{V}O_2 \max$ は 5.09 l/min (69.7 ml/kg · min) である。トレッドミルと実際のロードでは多少の差があるとしても、現在のトップランナー達のマラソンレースにおいて 2時間10分を切るような記録を出すためには、今回の実験値 75.6% $\dot{V}O_2 \max$ より高い $\dot{V}O_2 \max$ の水準を 2時間以上維持する能力をそなえなければならないだろう。

我々がこれまで戸外で測定した 1,500 m から 42.195km 走までの走行中の各種データにいてまとめると表 8~9 のようになる。被検者の体力や走行条件による差は十分考えられるが各距離について平均し表 10 にまとめた。% $\dot{V}O_2 \max$ は 35km 走行の 1名の値を除くと距離の延長に従い酸素摂取水準は低下していく傾向がみられる。

42.195 km 走について完走した I.S と 35 km で足の故障のため打切った A.U について走行中の酸素摂取量, 換気量, 酸素摂取率, 酸素脈, 心拍数の変動を図 14, 15 に示した。酸素摂取量は I.S 2.81 l/min, A.U は 3.75 l/min で A.U が平均 0.76 l/min 高かった。換気量は I.S が平均 95.2 l/min, A.U は 108.8 l/min で 13.6 l/min の差があり, また心拍数は I.S の方が約 10 拍程度高く 165 拍/分で A.U は 152 拍/分である。その結果酸素脈は A.U が 23.3 ml/beat, I.S は 17.0 ml/beat であった。A.U の心拍出量は I.S に比べて大きいことが推察される。

さらに図 10 にみられるように A.U の直腸温の変動は 42.195 km 走の I.S や 10 km, 20 km, 30 km 走行の被検者らに比べ走行開始からの上昇が低く約 38.0℃ の水準を 100 分近く保ってから順

表 8 1500m, 5000m, 10km, 20km, 走行の生理的变化結果

1,500m

被検者	記録 分 秒	スピード m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取 率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳 酸 mg/dl	血 糖 mg/dl
K. K	4.00.6	6.23	3.754	142.0	3.744	62.17	99.7	26.5	20.0	187	158.8	164.0
S. S	4.01.5	6.21	4.438	137.1	3.936	69.30	88.7	28.7	23.0	171	138.0	141.0
S. M	4.01.8	6.20	4.453	158.2	3.847	61.86	86.4	24.3	22.0	175	167.0	134.0
H. H	4.14.3	5.90	3.837	127.7	3.710	59.96	96.7	29.1	21.0	177	93.7	118.0
M. A	4.21	5.75	4.369	153.4	4.119	70.00	94.2	26.9	20.6	200	111.3	130.0
Y. N	4.24	5.68	4.482	154.3	4.305	68.00	96.1	27.9	22.8	189	82.4	134.0
S. S u	4.29	5.58	4.227	145.4	4.182	71.00	98.9	28.8	22.4	187	101.7	144.0
M. Ma	4.38	5.40	4.731	151.3	4.425	65.00	93.5	29.2	24.6	180	110.3	111.0
S. O	4.50	5.17	4.351	142.9	4.019	68.00	92.3	28.1				

5,000m

Subj.	Record m s	Speed m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取 率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳 酸 mg/dl	血 糖 mg/dl
K. S	15.46.6	5.28	4.343	150.9	4.196	67.26	96.6	27.9	24.1	173	140.3	125.0
K. K	16.16.4	5.12	3.754	135.5	3.455	57.67	92.0	26.1	18.6	190	113.6	129.0
N. Y	16.34.5	5.03	4.265	123.2	3.763	65.45	88.2	31.0	20.2	189	133.3	165.0
H. H	16.35.4	5.02	3.837	125.6	3.387	55.42	88.3	27.9	18.5	189	71.5	129.0
S. S u	18.28	4.51	4.227	128.9	3.862	65.80	91.3	29.8	20.2	191	103.8	191.0
Y. N	18.34	4.42	4.482	120.7	3.606	56.60	80.4	30.0	19.2	188	67.9	146.0

10km

被検者	記録 分 秒	スピード m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取 率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳 酸 mg/dl	血 糖 mg/dl
T. K	30.48.4	5.41	4.134	123.5	3.669	71.92	88.7	29.9	21.5	172	95.1	115.0
R. K	31.47.0	5.24	4.897	145.0	4.373	68.43	89.2	30.3	25.4	174	75.4	95.0
J. M	33.03.4	5.03	4.604	138.3	3.830	59.65	83.2	28.2	21.7	177	82.5	167.7
H. H	33.20.2	5.00	3.837	110.3	3.368	54.86	87.8	30.5	18.1	184	54.5	100.0
S. O	36.36	4.55	4.351	108.3	3.282	54.00	75.4	30.3	16.7	196	75.0	102.0
M. Ma	39.22	4.23	4.731	124.4	3.857	57.50	81.5	31.0	21.4	180	88.5	
M. A	40.19	4.13	4.369	121.8	3.514	60.00	80.4	28.9			26.4	

20km

被検者	記録 時間分秒	スピード m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取 率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳 酸 mg/dl	血 糖 mg/dl
M. S	1.06.53	4.98	4.316	123.5	3.463	61.62	80.2	28.5	18.9	183	87.4	148.4
N. Y	1.08.47	4.84	4.105	113.1	3.380	58.27	82.3	30.4	18.6	181	138.8	116.1
S. S u	1.18.35	4.24	4.227	101.4	3.263	55.10	77.1	32.3	18.4	177	34.0	76.0
Y. N	1.22.45	4.03	4.482	88.8	3.207	48.90	71.6	36.2	18.2	176	23.9	102.0

表 9 30km, 35km, 42.195km 走行の生理的变化の結果

30km

被検者	記録 時間分秒	スピード m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳酸 mg/dl	血糖 mg/dl
H. N	1. 38. 45	5. 06	4. 630	120. 9	3. 545	61. 87	76. 6	29. 4	21. 3	166	39. 4	100. 6
H. I	1. 40. 13	4. 99	4. 132	104. 5	3. 055	56. 78	73. 9	30. 7	17. 4	173		
M. A	1. 49. 55	4. 55	4. 369	100. 9	3. 112	50. 70	71. 2	30. 8			28. 1	91. 0
S. O	2. 06. 07	3. 96	4. 351	80. 9	2. 629	44. 00	60. 3	32. 4	16. 6	158	31. 0	83. 0
Y. N	2. 14. 44	3. 71	4. 482	75. 5	2. 719	43. 50	60. 6	36. 4			60. 8	42. 0
M. M a	2. 15. 34	3. 69	4. 731	92. 7	2. 825	42. 00	59. 7	30. 5	17. 9	158	66. 8	

35km

A. U	1. 59. 31	4. 88	4. 539	108. 8	3. 572	58. 74	78. 7	32. 6	23. 3	152	40. 8	109. 7
------	-----------	-------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-----	-------	--------

42.195km

被検者	記録 時間分秒	スピード m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	酸素摂 取率	酸素脈	心拍数 拍/分	乳酸 mg/dl	血糖 mg/dl
I. S	2. 30. 47	4. 72	3. 711	95. 2	2. 807	57. 49	75. 6	29. 6	17. 0	165	26. 8	94. 2
M. M a	2. 58. 57	3. 93	4. 731	94. 7	3. 172	46. 00	67. 0	33. 5	20. 1	158	17. 4	69. 0
S. O	2. 59. 33	3. 92	4. 351	70. 2	2. 345	39. 00	53. 8	33. 4	14. 7	159	28. 5	78. 0
M. A	3. 02. 28	3. 85	4. 369	78. 6	2. 652	44. 50	60. 6	33. 7	15. 6	170	21. 9	91. 0

表 10 各種距離走行の生理的变化の結果

Distance	n	Speed m/sec	Max $\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}E$ l/min.	$\dot{V}O_2$ l/min.	$\dot{V}O_2/W$ ml/kg. min.	% $\dot{V}O_2$ max %	O ₂ removal	O ₂ pulse	H. R beats/ min.	Lactate mg/dl	Blood sugar mg/dl
1.5km	9	5. 79 0. 35	4. 294 0. 296	145. 8 9. 06	4. 032 0. 233	66. 14 3. 78	94. 05 4. 17	27. 7 1. 50	22. 1 1. 39	183. 3 8. 72	120. 4 28. 8	134. 5 15. 19
5 km	6	4. 90 0. 32	4. 151 0. 265	130. 8 10. 14	3. 712 0. 272	61. 37 4. 88	89. 47 4. 93	28. 8 1. 64	20. 1 1. 90	186. 7 6. 18	105. 1 27. 75	147. 5 23. 77
10km	7	4. 80 0. 46	4. 418 0. 335	124. 5 12. 44	3. 699 0. 341	60. 91 6. 28	83. 74 4. 73	29. 9 0. 91	20. 8 2. 80	180. 5 7. 95	71. 1 21. 77	115. 9 26. 71
20km	4	4. 52 0. 40	4. 283 0. 137	106. 7 12. 96	3. 328 0. 100	55. 97 4. 69	77. 80 4. 03	31. 9 2. 85	18. 5 0. 26	179. 3 2. 86	71. 0 45. 97	
30km	6	4. 33 0. 57	4. 449 0. 196	95. 9 15. 14	2. 981 0. 305	49. 81 7. 41	67. 05 7. 03	31. 7 2. 28	18. 3 1. 79	163. 8 6. 26	45. 2 15. 73	79. 2 22. 34
35km	1	4. 88	4. 539	108. 8	3. 572	58. 74	78. 70	32. 6	23. 3	152. 0	40. 8	109. 7
42.195km	4	4. 11 0. 36	4. 291 0. 367	84. 7 10. 70	2. 744 0. 298	46. 75 6. 73	64. 25 8. 05	32. 6 1. 71	16. 9 2. 05	163. 0 4. 85	23. 7 4. 35	83. 1 10. 13

※ 上段は平均値, 下段は標準偏差

次上昇傾向にあり他の被検者と異っていた。このことは A.U の体温調節機能がすぐれていることを示しているといえよう。

4. 長距離走のエネルギー源について

今回の実験のように長時間高い酸素摂取水準が続く運動はエネルギー消費量が多い。そのため運動に必要なエネルギー源が何によってまかなわれているかが問題になる。

長時間運動では有酸素的エネルギーに依存する割合が高いので、事実上のエネルギー源は筋細胞中のグリコーゲンと肝臓グリコーゲン及び脂質であろうことはこれまでの報告にもみられる¹⁴⁾。Hermansen⁸⁾, Pernow と Saltin⁹⁾, Golknick¹⁰⁾ Costill¹¹⁾, Bergstrom¹²⁾ らは自転車エルゴメーター、トレッドミル、グラウンド、スキー滑走などで長時間運動を課しており走行後著明な減少をみていることを報告している。しかも消失した筋グリコーゲンは3～5日経過しなければ元にもどらないとされている。このことは長距離、マラソンのレース前にはグリコーゲンの体内貯蔵を増すようなトレーニング計画と栄養摂取に十分気を配る必

要があるものと思われる。

また長距離走では脂質もエネルギー源として利用される比率が高くなっていく。運動中の R.Q の変動を距離別にみると図16のようになる。走行開始後一時的に R.Q は上昇するが 30 km 走の H.I, 42.195 km 走の I.S のように順次低下して、使用エネルギー源の脂質に対する割合が増加していることが推察される。特に 42.195 km 走の I.S は最低値0.81であった。

吉岡ら¹³⁾によれば長距離走中の呼吸商の推移を測定した結果、その初期には1.0乃至1.0に近い値を呈するが低血糖が起る時点からは0.80ないし0.84程度まで低下することを認め、このことは力源として脂質よりも糖質の方がより早く利用されることを述べている。これらのことからおそらく肝臓・骨格筋中のグリコーゲンは長距離走におけるエネルギー源として運動の初期段階で利用され、脂肪の利用はグリコーゲンが減少して低血糖の傾向がみられてくると高まってくると思われる。

運動後の血中乳酸についてはこれまでの実験データをまとめてみると図17のようになり、距離が延長するに従い減少している²⁰⁾。血糖値についても今回の10km, 20km 走行後8分値は安静値の1.5～2.0倍に増加したが42.195km 走ではほぼ安静値に等しく30分経過しても変らなかった。

5. 長距離走の酸素需要量と R.M.R について

10 km, 20 km, 30 km, 42.195 km 走行における酸素需要量について走行後30分間の酸素摂取量を測定し、消費カロリーについては平均 R.Q を求めて熱量表より算出し図18に示した¹⁵⁾。10 km 以上の長距離走において酸素摂取量は酸素需要量に対し93%以上に相当し負荷量の占める割合はわずかであるが距離の延長に従いさらに減少する傾向がみられる¹⁹⁾。マラソンにおける酸素摂取量は98.6%、負荷量は1.4%で消費カロリーは1,933 Cal, R.M.R は13.9であった。

これまで石河が¹⁶⁾計算によって求めたマラソンの酸素摂取量は98.3%、負荷量は1.7%で今回の値とほぼ等しい。また河合らが¹⁷⁾求めた10kmの R.M.R は15.2、マラソンは14.3と報告している。山岡は¹⁸⁾マラソンについて R.M.R を15.6と報告

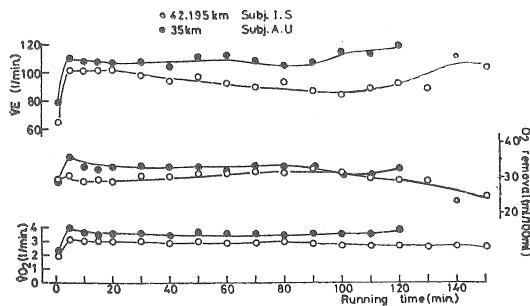


図14] 走行中の $\dot{V}O_2$, 酸素摂取率 $\dot{V}E$

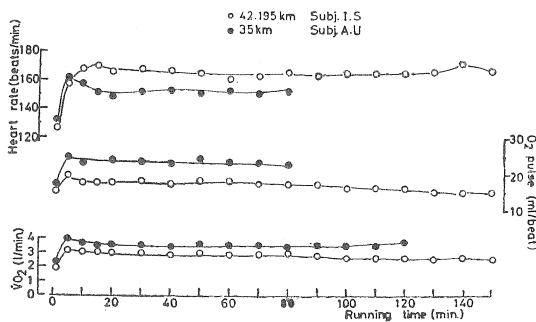


図15 走行中の $\dot{V}O_2$, 酸素脈 H.R

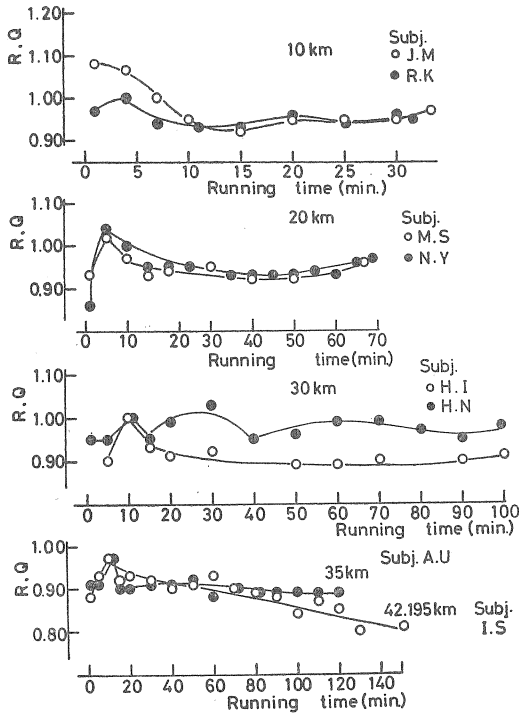


図16 各種距離走行中の R. Q. の変化

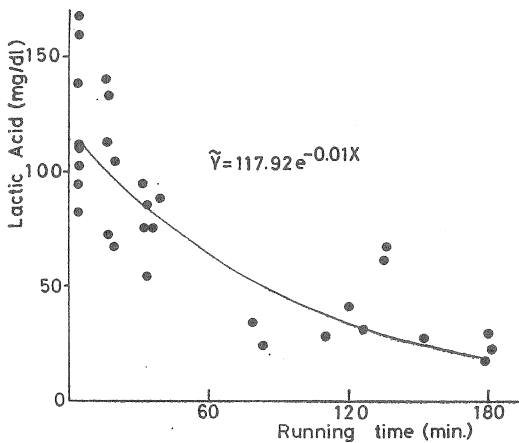


図17 各種距離走行後の血中乳酸濃度

しており、今回の我々の値もこれまでの報告と近似であった。

ま と め

1. 陸上競技長距離一流選手を対象に戸外の平坦なロードを使って 10 km, 20 km, 30 km, 42.

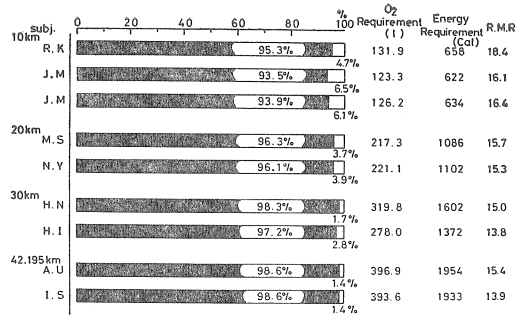


図18 各種距離の酸素需要量と R. M. R

195 km の各距離走行中の生理学的変化の測定をおこなった。

2. 各距離とも 2 名ずつでその走行時間は 10 km 走は 31 分 47 秒, 33 分 03 秒, 20 km 走は 1 時間 06 分 53 秒 1 時間 08 分 47 秒, 30 km 走は 1 時間 38 分 45 秒, 1 時間 40 分 13 秒, 42.195 km 走は 2 時間 30 分 47 秒 4 他の 1 名は 35 km で足の故障のため打ったが 1 時間 59 分 31 秒であった。

3. 各距離の平均スピード算出すると 10 km 走は 315 m/min (5.24 m/sec), 302 m/min (5.03 m/sec), 20 km 走は 299 m/min (4.98 m/sec), 290 m/min (4.84 m/sec), 30 km 走は 304 m/min (5.06 m/sec), 299 m/min (4.99 m/sec), 35 km 走は 293 m/min (4.88 m/sec) 42.195 km 走は 283 m/min (4.72 m/sec) であった。

4. 走行による体重の減少は平均すると 10 km 走では 1.3 kg (2.0%), 20 km 走は 1.9 kg (3.2%), 30 km 走は 2.2 kg (3.9%), 42.195 km 走は 2.5 kg (5.0%) である。

5. 走行中の酸素摂取量は走行開始に急激な増加をしたあとは定常状態を保って、平均すると 10 km は 3.8 l/min, 4.4 l/min, 20 km は 3.4 l/min, 3.4 l/min, 30 km ・ 3.5 l/min, 3.1 l/min, 42.195 km ・ 2.8 l/min で各被検者の最大値に対し 10 km 走は 84.1, 89.2% $\dot{V}O_2$ max, 20 km 走は 80.2, 82.3% $\dot{V}O_2$ max, 30 km 走は 76.6, 73.9% $\dot{V}O_2$ max, 35 km 走は 78.7% $\dot{V}O_2$ max 42.195 km 走は 75.6% $\dot{V}O_2$ max に相当した。

6. 各距離走行の酸素需要量に占める酸素摂取量と酸素負債量の割合は 10 km 走で 94.2% (95.3, 93.5), 5.8% (6.5, 4.7), 20 km 走で

96.2% (96.3, 96.2), 3.8% (3.9, 3.7), 30mk 走で97.8% (98.3, 97.2), 2.3% (2.8, 1.7), 35 km 走で98.6%, 1.4% 42.195km 走で98.6%, 1.4% になり負荷量の占める割合は距離の延長にしたがい小さくなる傾向にある。

7. 血中乳酸の変動は走行後8分で距離の延長に従い増加は小さくなる傾向がみられ、42.195 km 走は安静値よりはわずかの上昇であった。走行後30分経過すると10km, 20km 走の低下は著しい傾向にあり安静値にもどつつある。一方血糖値についても乳酸値同様の傾向がみられ、42.195 km 走は走行後ほぼ安静値と等しい値を示していた。

8. 走行後30分間の酸素摂取量を測定し酸素負荷量から R.M.R を算出すると 10 km 走は17.4 (18.4, 16.4), 20km 走は 15.5 (15.7, 15.3), 30km 走は 14.4 (15.0, 13.8), 35km 走は 15.4, 42.195km 走は13.9であった。

9. 走行中の R.Q の変動については走行距離の延長に従い減少傾向がみられ、特に 42.195 km 走行における最低値は0.81であった。

参 考 文 献

- 1) 黒田善雄他：陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動，日本体育協会スポーツ科学研究報告。1969
- 2) 黒田善雄他：長距離走の実態調査 一第2次研究 一 日本体育協会スポーツ科学研究報告，1972
- 3) 黒田善雄他：日本人一流競技選手の最大酸素摂取量 一第1報一 日本体育協会スポーツ科学研究報告。1968
- 4) 黒田善雄他：酸素摂取水準の維持能力に関する研究，日本体育協会スポーツ科学研究報告。1971
- 5) 黒田善雄他：日本人一流競技選手の最大酸素摂取量と最大酸素負荷量（第2報）日本体育協会スポーツ科学研究報告，1973
- 6) Costill, D. L., G. Branam, D. Eddy and K. Sparks: Determinants of marathon running success. *Int. angew. Physiol.* 29; 249-254 (1971)
- 7) 松井秀治他：長時間走トレーニングの生理学的研究，1長時間走の呼吸循環機能について 体育学研究 12(1)47~53. 1967
- 8) Hermansen, L., E. Hultman and B. Saltin: Muscle glycogen during prolonged severe exercise *Acta physiol. scand.* 71. 129-139 1967
- 9) Pernow, B. and B. Saltin: Availability of substrates and capacity for prolonged heavy exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 31: 416~422. 1971
- 10) Gollnick, P.D., K. Piehl and B. Saltin: Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J. Physiol.*, 241 45-57 1974
- 11) Costill, D.L., R. Bowers, G. Branam and K. Sprks: Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J. Appl. Physiol.* 31: 834-838 1971.
- 12) Bergstrom, J., E. Hultman and B. Saltin: Muscle glycogen consumption during crosscountry skiing (the Vasa ski race). *Int. Z. angew. Physiol.* 31: 71~75 1973
- 13) 吉岡利治他：筋肉運動と糖質、脂質代謝について（第1報 長距離走における血糖値及び血中遊離脂肪酸濃度の変動）体育学研究。17(3)143~150 1972
- 14) 石河利寛：Prolonged Exercise のエネルギー源 体育の科学 25(9)621~625, 1975
- 15) 中西光雄：体育生理学実験 114. 技術書院
- 16) 石河利寛：運動の生理学 保健体育学講座 III 83, 1959 杏林書院。
- 17) 河合正光他：エネルギー代謝の側から見た運動選手の練習量に就いて，体力科学 5(3) 1955
- 18) 山岡誠一：体育運動のエネルギー代謝に関する基礎的研究 一第4報一 日本生理学雑誌 15, 101~106 1953
- 19) 清水達雄他：種々の距離走における酸素摂取量と酸素負荷量との割合について 一長距離選手の場合一 順天堂大学保健体育紀要第11号 107~110 1968
- 20) Costill, D. L.: Metabolic responses during distance running: *J. Appl. Physiol.* 28(3): 251-255, 1970

