

昭和44年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VI トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法

——第2報・測定結果と競技成績との関係について——

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法

—第2報・測定結果と競技成績との関係について—

報告者・財団法人日本体育協会スポーツ科学研究所

黒田善雄 加賀谷熙彦 塚越克巳

太田裕造 雨宮 輝也 成沢三雄

はじめに

われわれは先に¹⁾、60秒前後のトレッドミル・オールアウト走運動負荷により、従来のトラック走運動負荷によるよりは、より大きな最大酸素負債量を測定し得ることを知った。そして本研究は、このトレッドミル・オールアウト走によって測定した最大酸素負債量と競技成績（陸上競技トラック走）との関係を検討し、さらにまた、負債量測定法の難点である、被検者ひとり当たりにも多くの測定時間を要すること、すなわち、長時間にわたる回復過程の追跡を少しでも短縮できるか否かを検討するために行なったものである。

われわれが本研究において測定・検討したデータは、大学の運動部に所属する男子23名の、トレッドミル・オールアウト走による最大酸素負債量・最大酸素摂取量ならびに運動中・後の心拍数・呼吸数、運動後の血中乳酸量と安静時血中乳酸量及び安静時代謝量である。競技成績として取りあげた陸上競技トラック走は、100m, 200m, 400m, 600m, 800m, 1500m, 3000mの8種目である。

I 実験方法

1) 被検者 被検者に関する基礎的資料を表1に示した。本実験に協力した23名の被検者は、いずれも大学の運動部に所属している健康な男子であり、年齢18~23歳、身長163,6~187,5cm、体重

55.4~75.0kgであった。競技種目別に見ると、バレーボール選手1名の他はいずれも陸上競技部に所属し、短距離選手10名、中・長距離選手6名、跳躍選手5名、投てき選手1名である。競技経験年数については、最も長い者で9年、最も短い者は9ヵ月とかなりの幅があった。しかし、いずれの被検者も、下記の本実験スケジュールを疲労を残すことなく遂行でき、また、危険感を伴うことなく最大酸素負債量の測定、あるいはタイム・トライヤル等を行なうことができた。

表1 被検者一覧表

氏名	年齢	体重kg	身長cm	競技種目	記録	競技年数
1 伊藤静夫	20	55.4	166.6	中距離	800m (1'58"9) 1500m (4'05"1)	
2 寺沢直紀	20	57.0	167.9	長距離	5000m (17'06")	5年
3 山田雄次	21	58.8	168.0	短距離	400m H (55"6)	7年
4 川島孝夫	21	59.4	166.7	バレーボール		9年
5 大竹康夫	20	60.0	163.6	長距離	5000m (17'35")	2年
6 古沢 昇	20	60.2	168.3	長距離	5000m (16'55")	5年
7 城鼻 勇	20	62.4	167.9	跳躍	三段跳 (13m00)	5年
8 長沢光雄	19	64.1	173.9	跳躍	走巾跳 (6 m86)	5年
9 新留泰典	19	64.2	173.8	跳躍	走巾跳 (6 m51) 三段跳 (13 m52)	2年
10 中野喜夫	20	64.4	170.2	長距離	1500m (4'10"7)	
11 氏家三一	21	64.5	187.5	跳躍	走高跳 (1 m65)	9月
12 青山典生	20	64.9	170.2	短距離	100m (11"1)	3年
13 成沢三雄	23	65.0	172.0	短距離	400m H (55"8)	8年
14 野口 進	19	65.7	169.6	短距離	100m (11"6) 200m (23"5)	2年8月
15 臼井哲郎	21	65.9	171.5	短距離	100m (11"2) 200m (22"7)	
16 柳沼清一	20	67.2	175.2	短距離	400m (53"2)	7年
17 大貫義人	20	68.0	174.5	短距離	400m H (59"5)	7年
18 松本 実	23	68.5	173.3	長距離	5000m (15'29")	
19 加藤 昭	21	69.0	175.4	投てき	槍投 (60m20)	5年
20 中野 誠	18	70.5	181.7	跳躍	走高跳 (1 m85)	4年
21 中島良夫	19	70.7	173.1	短距離	110m H (15"9)	3年
22 高橋 悟	19	71.5	175.1	短距離	100m (11"9) 200m (22"9)	
23 三浦正行	20	75.0	175.3	短距離	110m H (15"9)	3年
平均		64.9	172.2			
標準偏差		4.80	5.09			

2) 実験スケジュール 本実験は昭和44年12月15日より11日間にわたって行なった。12月15日

より19日までの6日間は、日本体育協会スポーツ科学研究所において、1日当たり3～4名の被検者につき、安静時代謝量・安静時血中乳酸量・トレッドミル・オールアウト走による最大酸素負荷量・運動後最高血中乳酸量ならびに最大酸素摂取量の測定を行なった。各被検者は、ほぼ午前9時30分に研究室に集合し、15分間の椅座安静後に安静代謝量の測定ならびに安静時血中乳酸量測定のための採血を受けた。その後、十分なるウォームアップ及びトレッドミル走の練習を行なわせて最大酸素負荷量の測定を行なった。なお、同日に最大酸素摂取量の測定も行なったわけであるが、最大酸素負荷量の測定後、最低4時間は経過した後実施したので、疲労などの影響はないものと思われた。

12月20日より、1周400mのトラックを持つ代々木公園陸上競技場において、23名の被検者を任意にA・Bふたつのグループに分け、下記の日程にてタイム・トライアルを行なった。

12月20日：Aグループ午前10時より100m、午前11時より400m、午後2時より800m、午後5時より1500m

12月23日：Bグループ 同上記スケジュール

12月24日：Aグループ午前10時より200m、午前11時より300m、午後2時より600m、午後5時より3000m

12月25日：Bグループ 同上記スケジュール

なお、上記タイム・トライアルは、いずれも5～6名同時にスタートする方式にて行なった。

3) 安静代謝量及び安静時血中乳酸量の測定方法 労働強度測定方法に関するエネルギー代謝率研究委員会協定を参考にして安静状態における測定を行なった。すなわち、ほぼ午前9時30分に被検者を研究室に集合させ、15分間の椅座安静を保たせた後を安静状態と考え、採気マスクを通して5分間の安静状態呼吸をダグラスバックに採集した。また、安静状態呼吸を採集した後、つづいて安静時血中乳酸量測定のための血液を上肢の浅静脈より採血した。なお、呼気ガスの分析は労研式大型ガス分析器により、血中乳酸量の定量はベリンガー・マンハイム社製(ドイツ)のキットにより酵素的に測定した。

4) 最大酸素負荷量の測定法 われわれは先

に、トレッドミル走により最大酸素負荷量を測定する場合、60秒前後にてオールアウトに追いこめるようなスピードを設定しての運動負荷が適当であることを知った。今回は、前回の実験経験と各被検者の200mあるいは400m等の疾走記録を手掛かりに、それぞれ60秒前後でオールアウトに追いこむことを目標にしたトレッドミル走のスピード条件を推定・設定して測定を行った。そして、われわれが設定したスピード条件は、いずれも傾斜5度で毎分320m～350の範囲であった。

運動中の採気は、スタートよりオールアウト時まで採気マスクを通して200ℓのダグラスバック1個に採気した。回復過程の採気は、運動後より2分、2分～5分、5分～10分、10分～20分、20分～30分、30分～40分、40分～50分、50分～60分と1時間を7回に分けて連続採気した。回復過程における被検者の状態は椅座安静であり、寒さを感じさせぬことと、仮眠に陥らぬように留意した。最大酸素負荷量の値は、上記60分間の酸素摂取量の合計値より前記方法より測定した安静時酸素摂取量の60分相当量を減ずることによって求めた。なお、呼気ガスの分析は検体数も多くなるため、労研式大型ガス分析器と日本肺機能製のレスピライザーの両者を使用して行なった。すなわち、約 $\frac{1}{2}$ の検体を労研式ガス分析器とレスピライザーの両者により分析して較正表を作り、レスピライザーのみにて分析した残り $\frac{1}{2}$ の検体についての値は、いずれも較正表にて補正した。

5) 運動後最高血中乳酸量の測定法 注射針用三方活栓を使用し、回復2分より10分まで2分間隔で5回上肢の浅静脈より採血した。そして、この5本の血液中もっとも高い乳酸量をもって、その被検者の最高血中乳酸量とした。

6) 最大酸素摂取量の測定方法 最大酸素摂取量についても、最大酸素負荷量と同様、トレッドミルオールアウト走運動負荷により測定した。負荷のかけかたは、5分間程度の走行時間でオールアウトに追いこむことを目標にした速度漸増法である。被検者の能力により毎分200mあるいは220mのスピードにてスタートして3分間走り、3分よりは2分間隔で毎分20mずつ速度を増してゆき、オールアウトに追い込んだ。そして、走行3分を経過した時点より1分間の連続採気をオー

ルアウト時点まで行ない、呼気ガスの分析・算出の結果、最も大きな値をもってその被検者の最大酸素摂取量とした。なお、オールアウトの時点まで、1分間の連続採気を行なったわけであるが、最後が45秒に満たない場合は分析を行なわなかった。

7) 運動中・後の心拍・呼吸数 最大酸素負債量及び摂取量の測定の際の運動中・後につき、胸部双極誘導法による心電図とサーミスター法による呼吸曲線を記録した。そして、負債量測定の際の運動中については10秒間隔で心拍・呼吸数を求め、回復期については、10分までは1分間隔、それ以後は5分間隔で6秒間の心電図R-R間隔の数を数えて心拍数を求めた。呼吸数については心拍数の場合と同様の間隔であるが、12秒間の呼吸サイクルを数えた。また、回復10分以後の呼吸曲線の記録は行なわなかった。

最大酸素摂取量測定の際の運動中については、運動開始後30秒、1分以後は1分間隔、そしてオールアウト時の心拍数・呼吸数を求めた。回復期においては、オールアウト直後、運動終了後30秒、そして1分以後5分まで1分間隔に心拍・呼吸数を求めた。なお、心拍数については6秒間の心電図R-R間隔の数を数え、呼吸数については12秒

間の呼吸サイクルを数えて1分間値に換算した。

II 実験結果

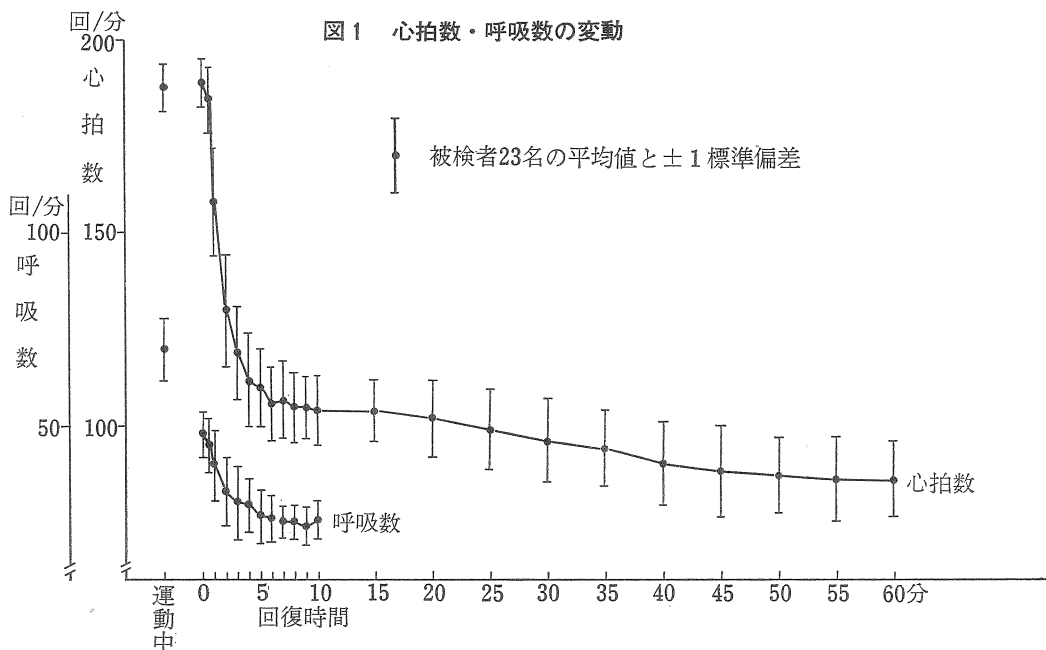
1) トレッドミル走行時間 われわれは前記のように、トレッドミル走を運動負荷として、最大酸素負債量の測定を行なったが、各被検者に行なわせたトレッドミル走の条件は、傾斜5度のトレッドミル上を、毎分320m~350mのスピードによりオールアウトに至るまで走行させるというものである。そして、オールアウトタイム(走行時間)は、表2に示すように、56秒~93秒であり平均71.0秒(±10.00)であった。われわれの前の¹⁾実験結果からすれば、今回えられたオールアウトタイム(走行時間)は、いずれもトレッドミル走による最大酸素負債量を測定するのに適当な運動時間と考えられた。

2) 心拍数, 呼吸数

トレッドミル走による最大酸素負債量を測定する際、前記の方法により、各被検者の運動中及び運動後の心拍数・呼吸数を記録した。図1に示す心拍数・呼吸数の変化曲線は、全被検者の運動中最高心拍数、最高呼吸数及び運動後座位安静状態における各回復時間の心拍数・呼吸数の平均値と

表2 トレッドミル・オールアウトタイム、最大酸素負債量および運動後最高血中乳酸量

	氏名	安静時 酸素摂取量 ml/分	安静時 乳酸量 mg/dl	トレッドミル 走行スピード m/分	トレッドミル オールアウトタイム 秒	最大酸素 負債量 ℓ	運動後 最高血中乳酸量 mg/dl
1	伊藤	210.0	19.4	340.0	93.0	8.997	85.7
2	寺沢	256.0	15.1	340.0	86.0	12.132	121.9
3	山田	255.0	14.4	340.0	61.0	9.528	109.9
4	川島	255.0	17.9	320.0	64.0	8.437	103.7
5	大竹	273.0	16.3	320.0	72.0	8.548	97.7
6	古沢	263.0	17.7	340.0	56.0	7.957	104.0
7	城鼻	263.0	13.9	340.0	62.0	10.974	122.3
8	長沢	309.0	10.1	340.0	72.0	9.830	143.7
9	新留	273.0	17.2	340.0	67.0	9.218	95.7
10	中野(喜)	271.0	15.0	340.0	84.0	9.371	101.7
11	氏家	264.0	18.2	340.0	64.0	11.917	126.1
12	青山	270.0	25.3	340.0	78.0	9.530	131.2
13	成沢	280.0	16.5	340.0	66.0	10.101	134.6
14	野口	280.0	16.4	340.0	66.0	10.599	121.9
15	臼井	279.0	16.3	340.0	77.0	10.787	135.5
16	柳沼	238.0	17.4	350.0	64.0	9.088	121.7
17	大貫	281.0	16.1	340.0	73.0	9.687	116.5
18	松本	291.0	19.0	340.0	92.0	10.775	96.2
19	加藤	330.0	17.4	340.0	65.0	9.440	129.8
20	中野(誠)	337.0	19.6	340.0	61.0	8.428	92.6
21	中島	335.0	20.5	340.0	61.0	9.619	124.9
22	高橋	335.0	21.5	340.0	71.0	10.924	121.4
23	三浦	315.0	17.4	340.0	77.0	15.068	118.8
	合計	6463.0	398.6		1632.0	231.005	2657.5
	平均	281.0	17.3		71.0	10.044	115.5
	S.D	32.01	2.89		10.00	1.5114	15.34



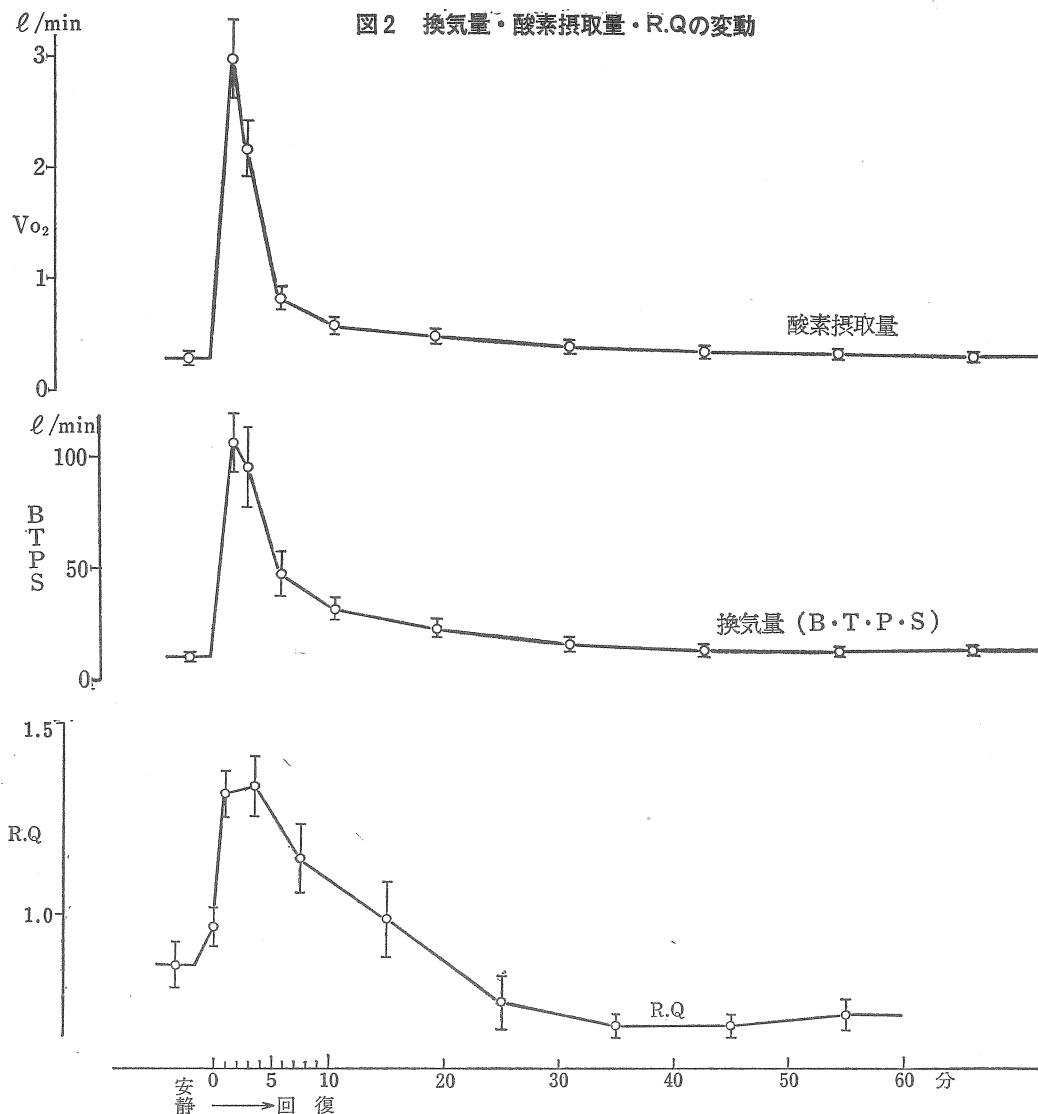
±1標準偏差により作成したものである。最大酸素負荷量を発揮するような運動の場合、どのような心拍数・呼吸数を示し、最大酸素負荷量が測定しうるような回復過程においては、それがどのような変化を示すかは興味ある点である。われわれが今回トレッドミルによって行なった本実験の結果は、図1に示すようである。すなわち、60秒前後の走行にて心拍数は被検者23名の平均値で毎分188.4 (±6.44), 呼吸数は平均70.1/分(±7.78)回に達した。回復過程においては、運動中の最高心拍数と同じか、わずかに高いと思われる心拍数(平均188.8±6.43)よりスタートし、回復5分で毎分110前後の心拍数に降り、10分で100前後、40分で90前後、60分で85前後という変化を示した。一方、呼吸数については、運動終了と同時に毎分50回前後と急激に降り、5分後には毎分25回前後に降り、10分後においても大差なく毎分25回前後の呼吸数であった。なお、前回の実験においても同様であったが、回復60分間を経過しても、心拍数は安静状態測定時の値に回復しなかった。

3) 換気量, 酸素摂取量, R. Q. 各被検者につき、安静時・運動中(トレッドミル走)及び運動後の回復60分間の換気量, 酸素摂取量, R. Q. を求め図2に示した。図2は横軸に時間経過, 縦軸にそれぞれの計測値をとり、全被検者の平均値

と±1標準偏差をプロットして作成したものである。なお、横軸の回復0分とは、運動中の値を意味するもので、運動中の呼気を1個のダグラスバックに採気したものより求めたものである。

図2に見るように、換気量, 酸素摂取量は同様の傾向で変動し、その概略をみると、運動時の換気量は100 l/min前後、酸素摂取量は3 l/min前後であり、運動後は両者とも10分頃までは急激に減少し、以後は緩慢に減少し30分間を越すと更にその減少は緩慢になり、安静時の値に近づきつつ減少して行く傾向であった。R. Q. についてみると、運動時の値は0.95前後であり、運動後は直後より5分頃までは、運動時の低い値より一旦上昇(1.34)を示し、以後30分間を越す頃までは減少し続け、安静時のR. Q. よりも低値の0.7前後まで低下した。そして、40分を越すと再び上昇し、安静時の値に近づく傾向かに思われた。しかし、運動後60分の値にしても安静時の値(0.85前後)よりは低く、0.75前後であった。

4) 最大酸素負荷量 前記のように、60秒前後にてオールアウトに至るトレッドミル走を負荷し、運動後60分間の座位安静時の酸素摂取量を測定することにより求めた最大酸素負荷量の値は表2に示すごときのものであった。すなわち、被検者23名の平均値は10.04 l, 標準偏差値1.51であり、



最高値は身長175.3cm, 体重75.0kg, 陸上競技110mハードル・15秒8の記録を持つ被検者の15.068 lであり, 最少値は, 身長168cm, 体重60.2kg, 陸上競技5000mの記録16分55秒の被検者の7.957 lであった。

5) 運動後最高血中乳酸量 前記のように, トレッドミル走オールアウト後2分より10分まで2分間隔で5回採血し, 酵素法による血中乳酸量の定量を行なった。しかし, 注射針中の凝血あるいは被検者のオールアウト後の苦しさによる身体の動き等により, 完全に5回の連続採血を行なえた例は約半数の11例に止まった。そして, この

完全に5回の連続採血に成功した11例をもって, 運動後2分より10分までの血中乳酸量の変動をみた。図3はその結果である。横軸に運動後の採血時間, 縦軸に血中乳酸値をとり, 11例の平均値と±1標準偏差値をプロットした。そして, 表4にそれぞれの平均値の差の有意性を求めて示した。われわれが行なった, 60秒前後にてオールアウトに至るトレッドミル走後の血中乳酸量は, オールアウト後2分で90mg/dl前後, 4分で100mg/dl前後, 6分で105mg/dl前後と, 図3をみるとわずかに上昇の傾向をみるが, 統計的にそれぞれの差の有意性を算出してみると, 表4のごと

表3 トレッドミル・オールアウトタイム, 最大酸素摂取量および心拍・呼吸数

氏名	all-out time 分秒	運動中最大換気量 (B·T·P·S) ℓ/min	最大酸素摂取量 ℓ/min	体重当りの酸素摂取量 ml/kg·min	心拍数 /min		呼吸数 /min	
					(運動中最高)	(回復5分)	(運動中最高)	(回復5分)
1 伊藤	7.40	138.1	4.367	78.8	190.0	110.0	54.0	25.0
2 寺沢	5.10	136.1	3.810	66.8	187.0	110.0	95.0	31.0
3 山田	6.16	162.5	4.064	69.1	195.0	129.0	70.0	27.0
4 川島	5.05	118.2	3.446	58.0	207.0	120.0	61.0	25.0
5 大竹	5.47	161.1	4.015	66.9	191.0	101.0	66.0	30.0
6 古沢	6.21	142.6	4.110	68.2	190.0	95.0	64.0	22.0
7 城鼻	5.19	126.7	3.566	57.1	195.0	127.0	62.0	30.0
8 長沢	4.49	164.6	4.582	62.8	197.0	120.0	65.0	28.0
9 新留	5.16	128.5	4.056	63.1	200.0	115.0	56.0	25.0
10 中野(喜)	7.15	164.6	4.582	71.1	203.0	100.0	65.0	22.0
11 氏家	5.21	153.0	3.457	53.5	182.0	120.0	72.0	30.0
12 青山	4.48	135.1	3.683	56.7	202.0	120.0	65.0	35.0
13 成沢	5.15	132.2	3.617	55.6	203.0	122.0	65.0	42.0
14 野口	3.47	143.2	3.932	59.8	202.0	124.0	54.0	28.0
15 白井	6.04	138.1	4.505	68.3	190.0	100.0	70.0	27.0
16 柳沼	5.50	147.6	4.324	64.3	189.0	107.0	58.0	35.0
17 大貫	4.32	132.0	3.519	51.7	193.0	120.0	63.0	28.0
18 松本	7.02	152.6	4.361	63.6	199.0	89.0	65.0	30.0
19 加藤	5.43	148.3	4.501	65.2	192.0	103.0	59.0	23.0
20 中野(誠)	5.19	137.5	4.293	60.8	190.0	107.0	60.0	15.0
21 中島	3.19	169.1	4.330	61.2	189.0	117.0	62.0	21.0
22 高橋	4.36	160.4	4.087	57.1	200.0	122.0	72.0	30.0
23 三浦	5.30	138.1	4.404	58.7	190.0	116.0	58.0	25.0
合計		3,330.2	93.611	1,438.4	4,476.0	2,594.0	1,481.0	634.0
平均	5.29	144.8	4.070	62.5	194.6	112.8	64.4	27.6
S·D	59.8	13.73	0.369	6.20	6.24	10.59	8.24	5.40

図3 血中乳酸量

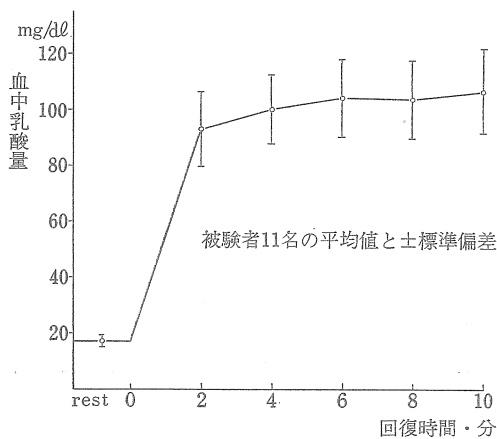


表4 各回復時間血中乳酸量平均値の有意差

	2分と4分	4分と6分	6分と8分	8分と10分
有意差	1.240	0.709	0.033	0.357

(10分血中乳酸量と各回復時間血中乳酸量との平均値の有意差)

	2分	4分	6分	8分
有意差	2.064 ※	1.003	0.330	0.357

注: ※10%の確立で有意の差

く、オールアウト後10分と2分の値に10%水準にて差を認める他は、有意な差を認められなかった。なお、表2には各被験者の運動後最高血中乳酸量を記載したが、これは、5回の連続採血に成功しなかった場合には、運動後6分、8分、10分のいずれかの計測中もっとも大きな値をもって、

その被験者の最高血中乳酸量としたものである。

6) 最大酸素摂取量 被験者の全身持久性に関する資料を得る目的のため、最大酸素摂取量の測定を行なった。結果は、オールアウトタイム、運動中最大換気量、最高心拍数、呼吸数とともに表3に示した。トレッドミルの走行時間は、全被験者の平均で5分29秒(±59.8sec)、最高心拍数194.6/min(±6.24)、最高呼吸数64.6/min(±8.24)最大換気量144.8ℓ/min(±13.73)であり、最大酸素摂取量は4.07ℓ/min(±0.37)であり体重1kg当りにすると、62.5ml/kg·min(±6.20)であった。

6) 競技成績(陸上競技・各種トラック走)

本実験のねらいは、トレッドミルによる最大酸素消費量と競技成績との関係をもととすることであるが、その競技成績として、われわれは、比較的考察の容易な陸上競技・各種トラック走をとりあげた。とりあげたトラック走は、100m, 200m, 300m, 400m, 600m, 800m, 1500m, 3000mの計8種目である。そして、被験者23名の平均と標準偏差値をもって、その成績を示すと、以下のごとくであった。

100m・12秒0(±0.48), 200m・25秒5(±1.08), 300m・40秒4(±1.50), 400m・58秒4(±2.28), 600m・1分40秒9(±6.45), 800

図4 各疾走距離における平均スピード

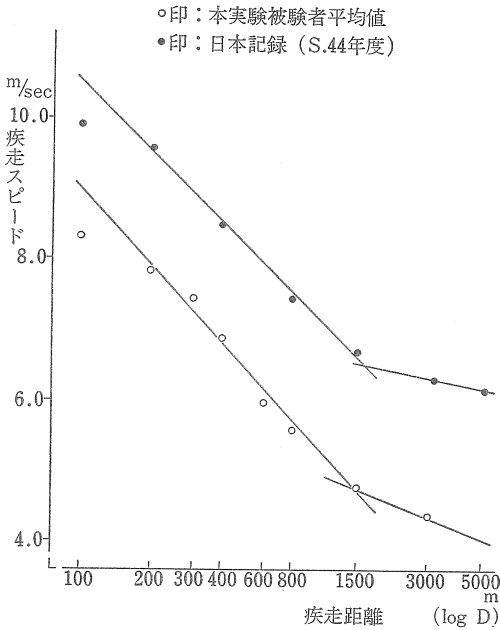


図5 回復時間別累計酸素負債量

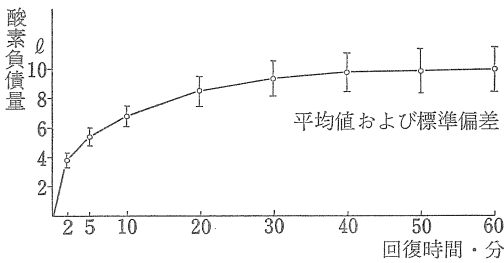
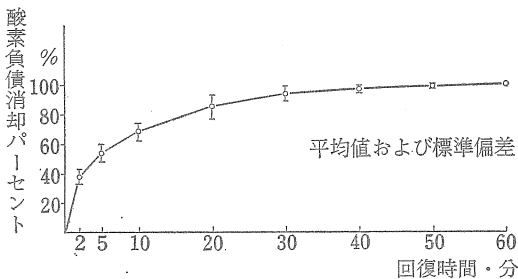


図6 回復時間別酸素負債消却率



m・2分23秒1 (±9.53), 1500m・5分14秒4 (±26.20), 3000m・11分28秒2 (±63.95), なお、本実験に協力してくれた被験者の競技能力の水準を知る参考資料として、横軸に種目、縦軸に疾走スピードをとり、本実験の被験者23名の平均

と昭和44年度日本記録¹⁵⁾をプロットして図4を作成した。

III 考察

1) 最大酸素負債量と各回復時間別酸素負債量 A. V. Hill に始まる、運動後の回復過程における酸素摂取量を測定して負債量を得る方法には、酸素摂取量のレベルが安静状態に戻るまで、回復過程を追跡的に測定してゆかねばならぬ点でわれわれは悩まされている。そしてまた、この方法による酸素負債量の測定報告の例をみても、回復過程の追跡時間は種々^{2) 3) 4)}あり、安静状態のレベルを決定する方法も多様^{5) 6) 7)}である。

そこで、われわれは、前記の安静状態測定方法、そして回復過程の追跡を60分間として求めた値を最大酸素負債量とし、その間に至る各種の回復時間における酸素負債量との関係について考察を加えた。図5及び6は、その参考資料として作成したものである。図5は横軸に回復時間、縦軸に運動直後より各回復時間までの酸素負債量をとって、図6は、かつて速水¹⁶⁾が疾走後の疲労の回復を表わす指数として使用した、横軸に回復時間、縦軸には、回復60分間の酸素負債を100として運動直後より各回復時間までの酸素負債量をパーセントで表わした、酸素負債の消却率と言えるものを取り、被験者23名の平均値と±1標準偏差値をプロットしたものである。そして、この図5及び6にみるように、回復時間30分までは酸素負債量は漸次大きくなるが、それ以後の増加は極めて少なく、回復60分の値を100とすると、30分間の値はすでに93.7%であった。更に、回復60分間の酸素負債量を最大酸素負債量と考え、この最大酸素負債量と各回復時間までの負債量との相関を算出し、横軸に回復時間、縦軸に相関係数をとって作図すると図7のようになった。すなわち、回復時間10分までの酸素負債量においてすでに最大酸素負債量との相関がみられ、回復が30分になると、その値との相関は $r=0.933$ と高い相関係数が得られた。また、この最大酸素負債量と、それぞれの回復時間までの酸素負債量につき、被験者23名の平均値の差の有意性を算出してみると、回復時間20分までの平均値とでは明らかに大きな差を認

図7 最大酸素負債量と時間別累計酸素負債量との相関

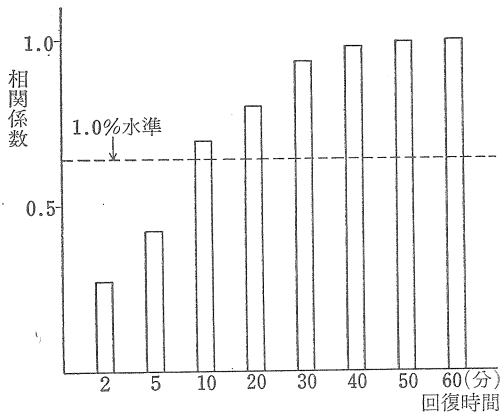
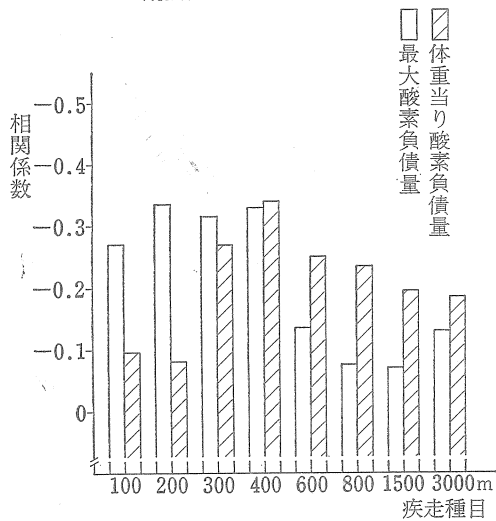


図8—イ 最大酸素負債量、体重当り酸素負債量と競技能力との相関

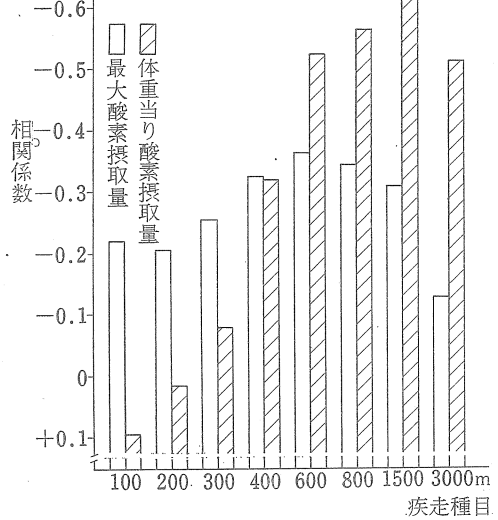


めるが、これを越すと急に有意水準は小さくなり、最大酸素負債量の平均値と、回復20分までの酸素負債量の平均値との差の有意性 t が 3.650 であったのに比し、回復30分の平均値とでは 1.379、回復40分とでは 0.451、50分とでは 0.216 であった。すなわち、今回のわれわれの実験結果においては、運動直後より回復40分までの酸素負債量、50分までの負債量、60分までの負債量それぞれにつき、統計的な有意差を認めることは出来なかったのである。もちろん、運動中の負債を消却する過程は被検者個々の特異性があるであろう。たとえば、それが最大酸素負債量を発現したような場合

においても、ある被検者においては回復40分までにそれを消却する場合もあろうし、ある者はそれが50分、60分である場合も考えられよう。従って、理想的には、被検者ひとりひとりにつき、明らかに安静状態に復帰するまで追跡的に回復過程を追いかけるべきであろう。しかしながら、最大酸素負債能力とよぶには問題があるにしても、その能力を評価するひとつの指標を得るという観点からすれば、回復30分までの酸素負債量をもってすれば十分それを推定することが出来るし、それによって測定時間を短縮することもできるであろう。

2) 酸素負債量と血中乳酸量 運動が無酸素的に行なわれると、運動後の回復過程に負債量の

図8—ロ 最大酸素摂取量、体重当り最大酸素摂取量と競技能力との相関



増大と血中乳酸量の増加をみる事ができる。そこで、本実験によって得た血中乳酸量と、酸素負債量との関係について若干の考察を加えてみた。なお、考察に使用した血中乳酸量は、前記の方法にて測定した運動後最高血中乳酸量であり、酸素負債量は、運動直後より各回復時間までの酸素負債量である。そして、この各回復時間までの酸素負債量それぞれと最高血中乳酸量との関係を検討した。

まず、被検者23名それぞれの両データーを使用し、相互の相関係数を算出した。その結果、回復10分までの酸素負債量と最高血中乳酸量とに有意

な相関 ($r = 0.521 \cdot 10\%$ 有意水準) がみられ、20分までの負債量とでは $r = 0.559$, 30分では $r = 0.563$, 40分では $r = 0.558$, 50分では $r = 0.532$, 60分では $r = 0.546$ であった。本実験は最大酸素負債量の発現をねらったものであり、被検者が行なったトレッドミル走は、前回の実験結果¹⁾にもとづき、最も最大酸素負債量を発現させやすいと考えられた運動を行なわせたものである。そこで各被検者とも、相当信頼性の高い最大酸素負債を発現したと考え、また、前述のように回復過程60分間を追跡すれば、各被検者の消却過程に個人差があるにせよ、回復60分間に測定した最大酸素負債量は運動後最高血中乳酸量と相当高い相関が得られるであろうと思われた。しかしながら、結果は、前記のようにむしろ回復30分までに得られた負債量との間に高い相関が得られたのである。このような結果が得られた原因について更に推察を進めてみると、血中乳酸量については、運動後のものとはいえ、まったく運動時の解糖過程における酸素不足の結果を測定しているものと考えられるのに比し、酸素負債量については、同じく運動中の不足した酸素量を測定しているとはいえ、運動後60分間もの間、被検者を座位安静状態を保たせて測定したものであり。運動直後より急激に回復が行なわれている比較的短時間の間は、各被検者の安静状態の保ち方による個人差が含まれにくい、30分を越し、回復過程の曲線がゆるやかになるに従い、また、被検者が長時間の安静状態を保つことに苦痛を感じなくなるようになるに従い、たとえばそれが同じ体位であるにせよ、各被検者の安静状態の保ち方による差が生じ易くなると考えられる、従って、長時間の回復過程を追跡して測定した酸素負債量には、この各被検者の安静状態の保ち方による差が加算されていることが十分考えられるのである。

すなわち、われわれが前記のような結果を得たのは、50分、60分と長時間追跡して測定した負債量よりも、かえって回復30分までに測定した負債量の方が、よりよく運動時に生じた酸素負債量を現わしているのではないのかと思われるのである。

3) 最大酸素摂取量、負債量と競技成績 (各種トラック走) 競技成績なるものは、いうまで

もなく、体力、技術、コンディション等、種々の要素の総合結果として生みだされるものであるから、その一要素のみをとりだし、総合的な結果である競技成績との関係を見ることは非常に難しい点があるかもしれない。しかしながら、競技成績の向上をめざし、その競技成績を生み出す各要素を考え、その関連性を考えることは意義のあることである。そして、その要素としてしばしばとり上げられるのが体力的な要素である。われわれがここで検討するものも体力的な要素との関係であり、従来より多くの研究者によって報告されている、全身持久性の指標とされている最大酸素摂取量及び無気的な運動能力の指標とされている最大酸素負債量と競技成績との関係である。検討に使用した最大酸素摂取量・負債量は、前記のように、いずれもトレッドミル・オールアウト走によって測定したものであり、競技成績についても、前記の100mから3000mまでの各種トラック走の記録である。まず、本実験によって得た被検者23名のそれぞれのデータを使用して相関係数を算出し、その相関係数をもとに図8を作成した。なお、最大酸素摂取量・負債量いずれについても、体重1kg当りの数値を算出して、それとの相関も求めた。結果は図8一ロに見るように従来よりいわれていると同様の傾向であり、疾走距離が長くなるにつれて、その記録と最大酸素摂取量・体重1kg当りの数値との相関が高くなった。最大酸素負債量についても、同様に、100m、200m、300m、400mと距離の短い種目の記録との相関の方が高い傾向であった。しかしながら、図8一イに見るように、酸素摂取量と記録との間に求めた相関に比し、酸素負債量と記録との相関は低いものであった。ここに使用した最大酸素負債量は、前記の回復60分に求めたものであり、前に考察した、血中乳酸量と各回復時間までの負債量との関係にみるようなことがその一因と思えるので、更に考察を進めたい。なお、われわれは体重1kg当りの最大酸素負債量を算出して、それとの相関も求めてみたが、図8一イにみるように、100m、200mとも最大酸素負債量そのものとの相関の方が高く、300m、400mとでは、最大酸素負債量体重1kg当りの数値いずれも同程度の相関であり、400mを越すと、体重1kg当りの数値との相関の方が高くな

図9 時間別累計酸素負債量，時間別体重当り酸素負債量と100m疾走タイムとの相関

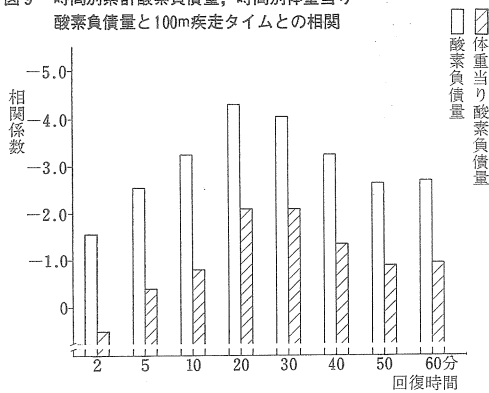


図12 時間別累計酸素負債量，体重当り酸素負債量と400m疾走タイムとの相関

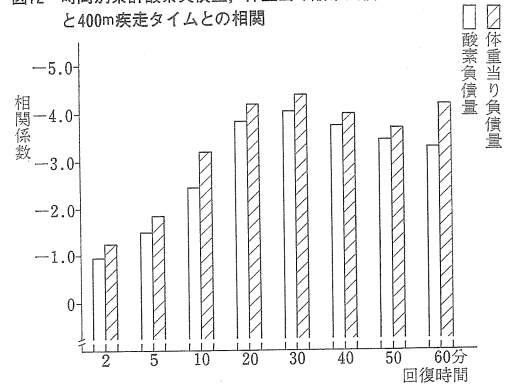


図10 時間別累計酸素負債量，時間別体重当り酸素負債量と200m疾走タイムとの相関

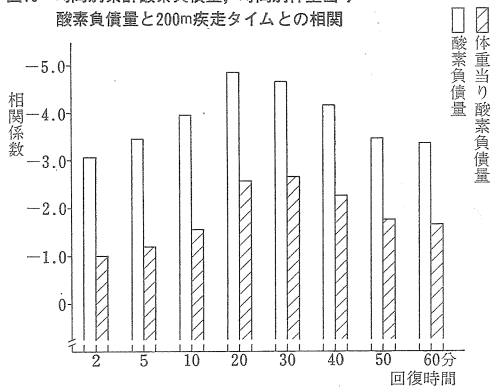


図13 最高血中乳酸量と競技能力との相関

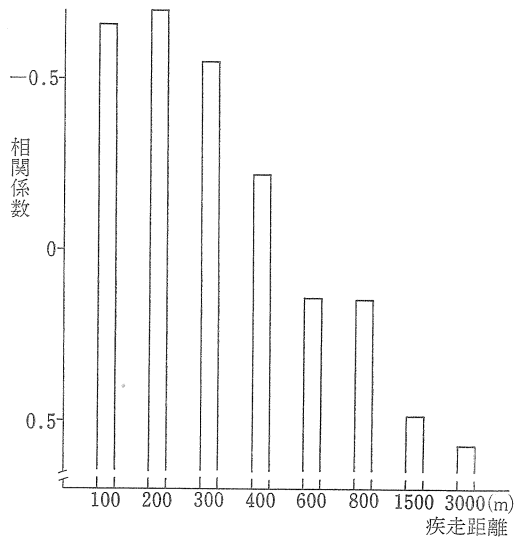
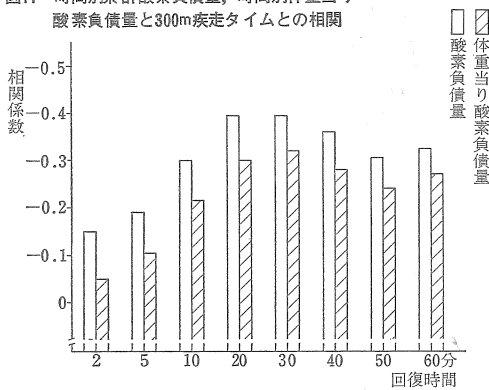


図11 時間別累計酸素負債量，時間別体重当り酸素負債量と300m疾走タイムとの相関



るという興味ある結果であった。

4) 各回復時間までの負債量と競技成績

最大酸素負債量と各種競技成績との間で、比較的高い相関が得られた。100m, 200m, 300m, 400m, の記録を使用し、前述の各回復時間までの負債量との相関を求めた。図9は100mの記録との間に算出した相関係数をもとに作図したものであり、以下、図10の200mの記録との相関、図11は300mとの相関、図12は400mとの相関を示すものである。100mの記録との相関についてみると、回復20分、30分までの負債量との相関が高く、200mの記録についても、同じく回復20分、30分までの負債量との相関が高い。また、300m, 400mにおいても同様の傾向であり、40分、50分、60分と相関は低くなる傾向を示した。この傾向

は、先に血中乳酸量と各種回復時間までの負債量との間で進めた推察を更に裏付けるかのように思われる。なお、短距離選手は比較的短い距離の疾走にて最大酸素負債量を発現するのに比し、中・長距離選手は比較的長い距離の疾走にてそれを発現する傾向があった、との鎌田の報告を考⁹⁾え合せれば、われわれの実験結果は、比較的短距離タイプの被検者（短距離・10、跳躍・5、中・長距離・5、その他・3）が多かったためではないか、との推察もできた。

5) 最高血中乳酸量と競技成績 無気的な運動を行なったもうひとつの結果としてみられる、血中乳酸量と競技成績（各種トラック走）との記録との関係のみた。使用したデータは、前記の運動後最高血中乳酸量と各種トラック走の記録である。

両者の相関係数を算出し、それをもとに作図したのが図13であるが、結果は、100 m, 200 m, 300mの記録との間に明らかな相関を示し、400mよりは、距離が長くなるに従い相関は見られなくなり、酸素摂取量との相関が高い1500m, 3000mになると逆相関を示すようになった。われわれは、各種トラック走のタイムトライアルを、できるだけ能力の類似した者どうしを組にして行なわせたのであるから、せり合い、ラストスパート等が行なわれ、たとえ酸素摂取量と相関が見られるような種目においても、負債能力が問題にならうから、若干の相関が見られるのではないかと思っていた。しかし、結果は図13に見るように、逆相関さえ示したのである。であるからといって、酸素摂取能力を必要とするような種目の選手には負債能力が必要ないと言うのではないが、一般的には、酸素摂取能力が高く、従って運動中の解糖過程もスムーズに行なわれ、血中乳酸の産生が少ない方との相関、すなわち逆相関の現像がみられるのであろうと考察した。そして、100mや200mの記録より400mの記録とに高い血中乳酸量との相関を示した、との報告⁹⁾もあるが、本実験の結果では、100m, 200mにより高い相関をみたのである。そしてこの結果は、先きに考察した、被検者に短距離タイプが多かったことに起因しているのであろうか。本実験の被検者は、一流選手とはいえないかもしれないが、大学の運動部で専門的な

トレーニングを積んでいる者達であり、また、100mや200mの短距離選手は、その短い時間に持つる負債能力を出しきることが記録の向上に結び付き、技術・体力を含めてその向上にトレーニングを積んでいることを考えれば推察できないことではなかった。

6) 最大酸素負債量とその測定時間 重要な運動能力の指標とされながらも、最大酸素負債量の測定例は、あまり多くを見ることが出来ない。その理由のひとつとして考えられる点は、測定に要する時間の問題である。実際、限られた時間内に、他の幾つかの体力要素なり運動能力なりと同時に、負債能力をも測定するとなると、その測定に要する時間には悩ませられる。

本実験においては、前記のように、回復60分間を追跡して測定したものを最大酸素負債量としたが、その間に至る、回復10分まで、20分まで、30分まで……と、それぞれの回復時間までの負債量も測定した。そして、それぞれの回復時までの負債量は、最大酸素負債量といえないまでも、その能力の指標、すなわちその能力を評価するものになりえるか否か、測定時間の短縮と合せてその可能性を検討してきた。その結果、回復10分までの負債量においてもすでに回復60分間の最大酸素負債量と明らかに有意な相関が見られ、以後、20分、30分……と順次相関は高くなっていった。また、回復40分まで、50分まで、60分までの三者の負債量の値の間には、統計的に有意な差が見られなかった。次に、血中乳酸量と各回復時間までの負債量との相関をみると、回復60分にて測定した最大酸素負債量とよりは、回復20分、30分までの負債量とにより高い相関を認めた。更に、無酸素的運動能力が大きく作用すると考えられる競技成績との相関を見ても、むしろ回復20分、30分までの負債量とにより高い相関が見られた。以上の結果を総合してみると、回復30分間の負債は無酸素的運動能力の信頼性の高い指標と考えることができると思はれる。

次に、われわれが酸素負債量を測定する際に悩まされる、安静レベルの決定について、若干の考察を進めたい。一般的に酸素負債量の測定は、運動後の回復過程における酸素摂取量を測定し、この酸素摂取量の総量から、同時間に必要とする安

静時酸素摂取量の総量を減ずることによって求める。本実験も同様の方法で求めたが、回復過程の長時間が剩じられるだけに、安静状態の酸素摂取量を如何にとるかによって、負債量そのものの値にも大きく影響してくる。本実験の場合は、前記のようにエネルギー代謝率研究委員会協定といわれるもの¹⁰⁾を参考にして、安静時の酸素摂取量を測定してこれを使用した。安静代謝量は、その季節変動等の研究^{11) 12) 13)}で知られているように、変動するものであろうから、厳密に考えれば、一定値を決定すること自体に問題があるであろう。

このように考察を進めてくると、酸素負債量の測定法・無酸素的運動能力の測定法には、まだまだ多くの問題があり、また、R. Margaria¹⁴⁾、H. И. Волков⁹⁾等の乳酸性負債・非乳酸性負債の問題もあるので、これらを合せ今後なお検討を進める必要があると思われる。

IV 要 約

1. 大学の運動部に所属する男子23名につき、トレッドミルオールアウト走（走行スピード・320~350m/min, 走行時間・60sec前後）による最大酸素負債量の測定を行ない、また同時に、100m, 200m, 300m, 400m, 600m, 800m, 1500m, 3000mの計8種目のトラック走タイム・トライアルを行ない両者の関係を検討した。
2. 検討を進める資料として、安静時の酸素摂取量、血中乳酸量を測定し、また、トレッドミル走行中の心拍数・呼吸数・酸素摂取量を、そして、走行後の回復過程については、心拍数呼吸数、最高血中乳酸量、それに、回復60分間の最大酸素負債量、及び回復60分までに至る各回復時間までの酸素負債量を測定した。
3. 回復60分間を追跡して測定した最大酸素負債量と、回復60分に至るまでの各回復時間の酸素負債量との関係を見ると、回復10分までの負債量から有意な相関がみられ、回復30分の負債量とでは $r = 0.933$ であり、その負債量は最大酸素負債量の93.7%であった。
4. 運動後最高血中乳酸量と各回復時間までの負

債量との関係を見ると、われわれが最大酸素負債量としたものよりも、むしろ回復20分、30分までの酸素負債量とにより高い相関を見た。

5. 最大酸素負債量及び各回復時間までの負債量と、各種トラック走の記録との関係を見ると、無酸素的運動能力が大きく作用すると考えられる200m・100m・300m・400mの順で相関が見られ、それは60分間の最大酸素負債量よりは、むしろ、回復20分、30分までの負債量との相関の方が高かった。なお、200m, 100mにおいては酸素負債量そのものと相関が高く、300m, 400mと疾走距離が長くなるに従い、負債量そのものよりは、体重1kg当りの負債量との相関が高くなる傾向を示した。
6. 運動後最高血中乳酸量と各種トラック走の記録との関係を見ると、100m・200m・300mの順で相関がみられ、400mより距離が長くなるにつれて相関がなくなり、有酸素的運動能力が大きく作用する1500m, 3000mにおいては逆相関を示した。
7. 本実験の結果を総合すると、われわれが行なった、60秒前後にてオール・アウトになるトレッドミル走によって測定した酸素負債量は、無酸素的運動能力の指標となりうると考えられ、それは回復60分間を測定しなくとも、回復30分間までの酸素負債量で十分であると考えられた。

文献

1. 黒田善雄・他：トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法—トレッドミル走とトラック走との比較—日本体育協会スポーツ科学委員会報告・1968
2. 知久源次郎・他：本邦一流短中距離 runner の極大酸素負債量ニ就テ、日本生理学雑誌・1・1936
3. 河合正光：運動選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素債について、体力科学・第5巻3号
4. E.G. Schneider : Oxygen debt in aerobic work. J. Appl. physiol 25(1). 1968
5. 山岡誠一・他：ランニングにおけるエネルギー代謝に関する研究・第2報3000m走におけるエネルギー代謝について、体育学研究・第2巻・第3号。

6. 猪飼道夫：スキーアルペン競技選手の体力測定報告，日本体育協会スポーツ科学委員会報告，昭43
7. R.M. Sargent : The relation between Oxygen requirement and speed in running. Proceedings of the Royal Society. B. Vol. 100. 1926
8. 鎌田喜雄：最大酸素債と疾走能力との関係について，体力科学，第5巻・第5号。
9. Н. И. Волков Физиология Мышечной деятельности, труда и спорта. Руководство по физиологии. Академия наук СССР, Ленинград 1969
10. 野村秀子：安静代謝量に関する研究，労働科学，43巻9号。
11. 白井伊三郎・他：エネルギー代謝率に関する研究（其の1）エネルギー需要量の恒一性について，労働科学，第28巻4号，昭27。
12. 白井伊三郎，他：覚醒時の保持代謝に就て，体力科学，第1巻3号，昭26。
13. 福原，越智，藤本……基礎代謝の季節変動，日本人並に日本産医学実験動物の解剖生理計数，468 P
14. R.Margaria : Kinetics and mechanism of Oxygen Debt contraction in man, J. Appl. physiol. 18. 1963.
15. 月刊陸上競技・3月号・昭45・講談社
16. 速水清治郎：疾走による疲労の回復過程について，体力科学・第6巻・第4号・1965

