

平成元年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No. X スポーツ選手のATに関する研究

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

平成元年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.X スポーツ選手のATに関する研究

—第5報—各種スポーツ選手のLTについて

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

伊藤 静夫 黒田 善雄 塚越 克己

雨宮 輝也 金子 敬二 原 孝子

目 的

最大酸素摂取量 (以下 $\dot{V}O_2\max$) は、全身持久性の最も重要な尺度と考えられ、古くから利用されてきた。一方、最近AT (Anaerobic Threshold, 無酸素性作業閾値) が新たな持久性の測定尺度として注目されている。

スポーツ選手の持久性を評価するという立場からも、ATの利点がいくつか明らかにされてきた。第一に、 $\dot{V}O_2\max$ と高い相関関係にあり、亜最大負荷によって測定したATから $\dot{V}O_2\max$ が推定できる点である。第二に、 $\dot{V}O_2\max$ と同等、あるいはそれ以上に競技能力を推定できることである。第三に、 $\dot{V}O_2\max$ とは異なる持久性能力を評価できる可能性が上げられる。すなわち、 $\dot{V}O_2\max$ が酸素運搬能を評価するのに対して、ATは代謝機能を評価すると一般に解釈されているからである。従ってスポーツ選手の持久性評価に当たっては、 $\dot{V}O_2\max$ とATの二つの測定を併用することで、これまで以上に詳細な情報提供が可能になっている。

反面、ATにはいくつかの課題が残されている。まず、測定基準が統一されていないため、その解釈を巡りしばしば混乱している。従って、 $\dot{V}O_2\max$ 並にATの測定が普及しているとは言い難い。また、陸上競技の中・長距離、マラソンについての測定報告は比較的多いが、その他のスポーツ種目については $\dot{V}O_2\max$ ほど一般的ではない。こうした基礎資料の少ないことも、課題の一つである。

スポーツ選手のATを評価するに当たって、適切な比較資料、評価基準の不足しているのが現状だろう。多くのスポーツ種目で、AT測定報告の充実が望まれるところである。

そこで本研究では、我々の研究室において各種スポーツ選手について測定してきたLTの結果を報告する。特に今回は、LTのスポーツ種目特性、LTと $\dot{V}O_2\max$ の関係、さらにLTの性差について考察する。

方 法

1. 被験者

本研究の集計対象は、1987~1990年の間に当研究所で測定を受けたものから男子185名、女子66名の合計251名を抽出した。選出基準は、レクリエーション的なスポーツ活動実施者を除外し、その種目で専門的にトレーニングを継続しているものとした。スポーツ種目は、表1に示す通り男子で14種目、女子で8種目に分類できる。このうち、ボクシング、ハンドボール、馬術、クレー射撃、カヌーは競技団体の強化選手である。そのほかの種目でも、わが国で比較的高い競技実績をもつクラブのメンバーを対象とし、やはり競技団体の強化選手や日本のトップクラスも含まれている。ただし、こうしたクラブ内の選手の競技能力にはかなり幅が見込まれる。

なお上記の種目の中、競歩とスピードスケートについては測定方法が異なるため、測定結果を参考までに記載したが、統計分析の対象からは除外した。また同一個人が複数測定している場合は、その個人の $\dot{V}O_2\max$ の最高値を記録したときのデータを集計対象として採用した。

2. 測定方法

多段階の速度漸増法によるトレッドミルテストで、 $\dot{V}O_2\max$ とLTを同時に測定した。

負荷条件の詳細は次の通りである。被験者の能力に応じて第1段階のスピードを決める。各段階の運動時間を3分間とし、トレッドミルの傾斜を0度にして、5～6段階の速度を30～40m/minずつ漸増負荷して行った。最後に最大負荷として、最終段階の速度で、トレッドミルの傾斜を1分毎に1度ずつ増加させ被験者を疲労困憊まで追い込んだ。

なお、各負荷段階の間に採血のため1分間の立位安静をとらせた。運動直後、耳朶から毛細管で20 μ l採血し、ロッシュ社製ラクテートアナライザー640で血中乳酸濃度を測定した。

3. LTの判定

LTの判定基準については幾つかの方法が報告されているが、本研究では血中乳酸濃度2mmol/l及び4mmol/lを判定基準に採用している。すなわち、各負荷段階の血中乳酸濃度に対して酸素摂取量、心拍数、走行速度をグラフ上にプロットし、2ないし3線分の直線あるいは曲線（指数あるいは2次曲線）に当てはめ、上記の基準乳酸濃度における各パラメータの値を2mmol/l-LT及び4mmol/l-LTとした。

なお本研究では、LTパラメータのうち酸素摂取量（以下 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ (ml/kg/min)）、 $\% \dot{V}O_2\max$ （以下 $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ (%)）、走スピード（以下V-LT (m/min)）の3変量を中心に検討した。

結 果

1. $\dot{V}O_2\max$ 及びLTのスポーツ種目特性

$\dot{V}O_2\max$ 及びLTの各パラメータについて、スポーツ種目毎の平均値並びに標準偏差を表1～3に示した。参考のために競歩選手、スピードスケート選手の値も掲載したが、前者はトレッドミル

表1 被験者の身体特性及び $\dot{V}O_2\max$ の種目別平均値と標準偏差

種 目	N	年齢 (歳)		身長 (cm)		体重 (kg)		$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	
< 男子 >										
中 距 離	5	22.00	2.35	176.34	6.30	64.16	8.62	65.92	3.48	
長・マラソン	28	22.75	3.89	170.50	4.37	58.84	3.29	73.45	3.06	
競 歩	22	19.64	5.45	171.09	6.44	57.94	5.99	60.30	4.56	
ボクシング	12	21.83	2.79	171.66	6.12	60.96	7.10	62.20	5.74	
ハンドボール	2	20.50	0.71	185.55	6.43	68.45	6.01	56.55	2.62	
馬 術	4	33.25	6.99	170.88	1.98	64.55	6.84	56.63	5.35	
クレー射撃	1	40.00	0.00	174.00	0.00	80.00	0.00	38.70	0.00	
近代五種	12	26.00	2.17	175.10	4.82	67.42	6.85	64.56	4.63	
カヌー	7	23.43	4.28	173.11	4.77	70.57	6.03	60.17	5.58	
テニス	12	19.50	1.38	173.03	5.82	65.17	5.21	60.46	4.51	
スピードスケート	1	18.00	0.00	176.30	0.00	69.60	0.00	64.70	0.00	
スキー距離	35	21.57	3.03	169.13	4.63	62.60	4.32	69.83	4.10	
スキー複合	11	20.64	2.66	171.86	4.18	63.65	5.10	65.38	4.58	
バイアスロン	33	23.88	3.89	171.27	5.32	64.07	4.97	69.26	3.04	
< 女子 >										
中 距 離	3	19.00	1.73	157.23	7.25	45.87	8.14	59.13	3.06	
長・マラソン	6	23.33	4.68	157.08	5.76	45.67	4.43	63.18	5.88	
競 歩	5	19.40	8.41	154.58	4.15	47.92	3.31	53.50	6.19	
バスケットボール	22	22.18	1.18	171.21	5.39	63.13	5.94	53.17	3.68	
ハンドボール	17	22.18	1.33	167.66	6.90	63.00	6.50	50.24	4.78	
軟式庭球	7	19.86	1.21	166.36	5.21	56.93	7.08	48.43	2.23	
スピードスケート	5	18.60	1.34	162.52	6.62	57.86	6.86	55.89	5.37	
スキー距離	1	22.00	0.00	150.00	0.00	47.70	0.00	58.60	0.00	

表2 $\dot{V}O_2$ -LT 及び $\% \dot{V}O_{2max}$ -LT の種別平均値と標準偏差

種目	N	$\dot{V}O_2$ -LT2mM (ml/kg/min)		$\dot{V}O_2$ -LT4mM (ml/kg/min)		$\% \dot{V}O_{2max}$ -LT2mM (ml/kg/min)		$\% \dot{V}O_{2max}$ -LT4mM (ml/kg/min)		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	
< 男子 >										
中距離	5	48.34	5.50	57.40	4.56	73.21	5.48	87.00	2.81	
長距離・マラソン	28	59.03	3.74	65.74	3.41	80.37	3.85	89.51	3.27	
競歩	22	42.76	6.45	50.35	6.14	70.88	9.12	83.47	7.61	
ボクシング	12	43.58	5.02	53.25	4.67	70.03	4.61	85.77	4.07	
ハンドボール	2	39.24	7.27	46.33	5.08	69.17	9.65	81.81	5.20	
馬術	4	37.35	5.45	47.25	4.83	65.82	5.00	83.42	2.68	
クレール射撃	1	25.32	0.00	29.94	0.00	65.44	0.00	77.36	0.00	
近代五種	12	48.84	4.24	56.68	3.71	75.77	6.07	87.93	4.66	
カヌー	7	40.71	8.63	51.48	5.51	67.59	12.56	85.70	6.64	
テニス	12	40.35	6.25	50.21	5.80	66.68	8.52	83.01	6.59	
スピードスケート	1	31.73	0.00	45.83	0.00	49.04	0.00	70.83	0.00	
スキー距離	35	51.13	5.69	60.98	4.10	73.23	7.00	87.40	4.54	
スキー複合	11	47.22	4.99	56.47	3.93	72.35	7.17	86.48	4.59	
バイアスロン	33	51.00	3.86	60.19	2.54	73.75	6.05	86.97	3.17	
< 女子 >										
中距離	3	48.78	2.68	53.83	1.61	82.77	8.23	91.19	5.28	
長距離・マラソン	6	52.12	4.34	58.49	4.96	82.64	3.96	92.67	3.16	
競歩	5	41.43	8.53	46.17	8.24	76.83	8.78	85.81	6.89	
バスケットボール	22	40.10	5.19	47.59	3.13	75.55	9.29	89.63	4.24	
ハンドボール	17	40.10	4.42	45.51	4.80	79.85	4.88	90.58	3.95	
軟式庭球	7	38.91	2.47	43.86	2.88	80.38	4.33	90.61	5.12	
スピードスケート	5	34.87	3.12	44.85	4.94	62.92	8.66	80.30	4.88	
スキー距離	1	43.72	0.00	53.25	0.00	74.60	0.00	90.87	0.00	

表3 HR-LT 及びV-LT の種目別平均値と標準偏差

種目	N	HR-LT2mM (beats/min)		HR-LT4mM (beats/min)		V-LT2mM (m/min)		V-LT4mM (m/min)		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	
< 男子 >										
中距離	5	167.92	11.63	184.51	8.13	259.35	31.41	307.55	25.87	
長距離・マラソン	28	169.97	7.53	180.39	7.79	312.01	15.25	345.67	16.11	
競歩	22	158.27	15.63	175.34	11.04	179.99	29.74	202.12	28.19	
ボクシング	12	153.30	14.67	173.95	12.51	221.55	24.08	270.30	16.24	
ハンドボール	2	157.05	15.29	179.56	2.54	178.69	30.13	221.11	12.58	
馬術	4	136.65	16.45	166.58	7.80	177.35	44.07	236.64	37.23	
クレール射撃	1	136.71	0.00	169.09	0.00	113.92	0.00	139.52	0.00	
近代五種	12	161.28	11.83	176.77	9.10	254.39	27.34	294.79	22.63	
カヌー	7	147.62	29.87	177.29	10.77	205.27	53.74	263.06	32.26	
テニス	12	159.25	13.68	183.22	11.13	207.32	27.29	258.63	23.76	
スピードスケート	1	132.39	0.00	161.15	0.00	146.07	0.00	221.88	0.00	
スキー距離	35	165.93	11.19	184.32	8.49	261.25	27.47	308.74	19.40	
スキー複合	11	162.00	15.89	181.14	13.85	237.06	27.27	285.06	19.09	
バイアスロン	33	165.87	11.41	181.97	9.87	262.14	23.77	306.17	14.95	
< 女子 >										
中距離	3	164.65	17.48	175.08	19.52	275.75	9.64	301.17	13.94	
長距離・マラソン	6	159.78	10.46	172.43	7.17	277.58	10.65	309.41	12.55	
競歩	5	168.96	11.86	179.30	12.03	167.55	31.74	181.89	34.15	
バスケットボール	22	159.92	11.55	176.21	8.30	209.01	36.31	252.33	19.51	
ハンドボール	17	165.01	7.26	176.89	5.66	202.36	27.13	232.88	26.62	
軟式庭球	7	179.62	6.28	190.92	6.74	198.89	10.47	227.40	14.44	
スピードスケート	5	153.83	8.49	173.89	12.32	143.39	28.05	192.19	34.16	
スキー距離	1	174.71	0.00	188.36	0.00	239.80	0.00	276.40	0.00	

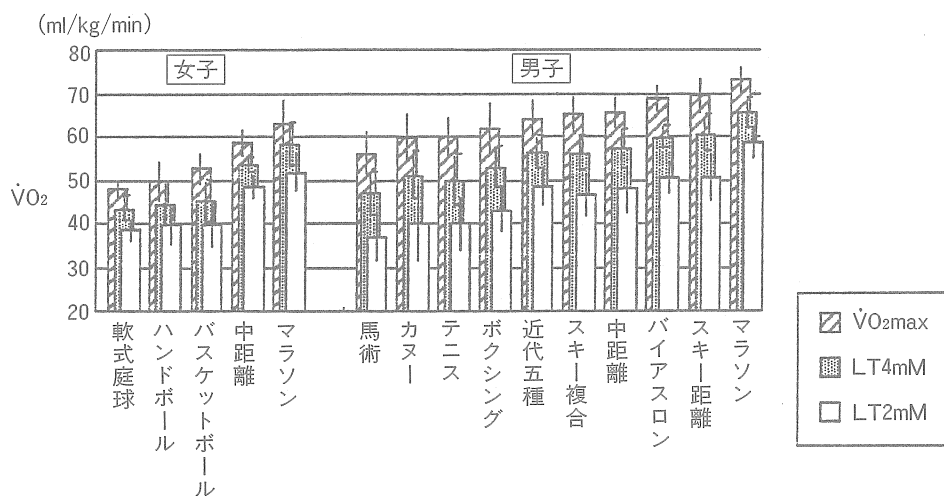


図1 $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2-LT}$ の平均値と標準偏差(各種目の人数については表1を参照)

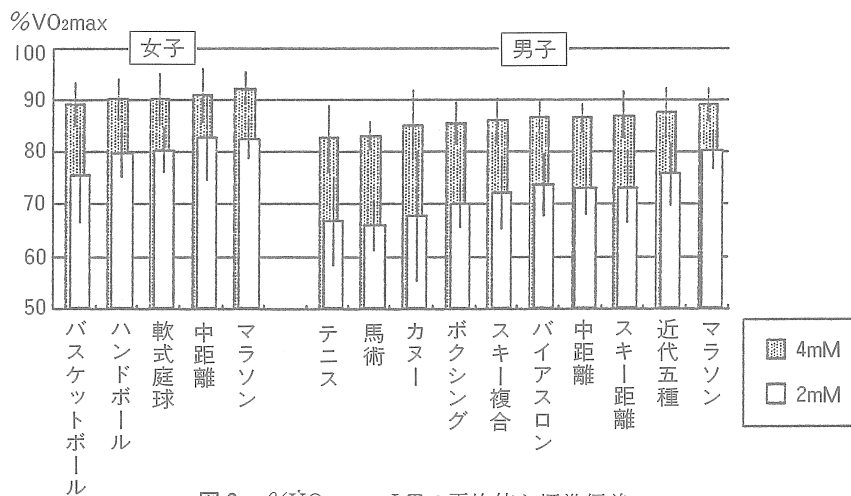


図2 $\% \dot{V}O_{2max-LT}$ の平均値と標準偏差

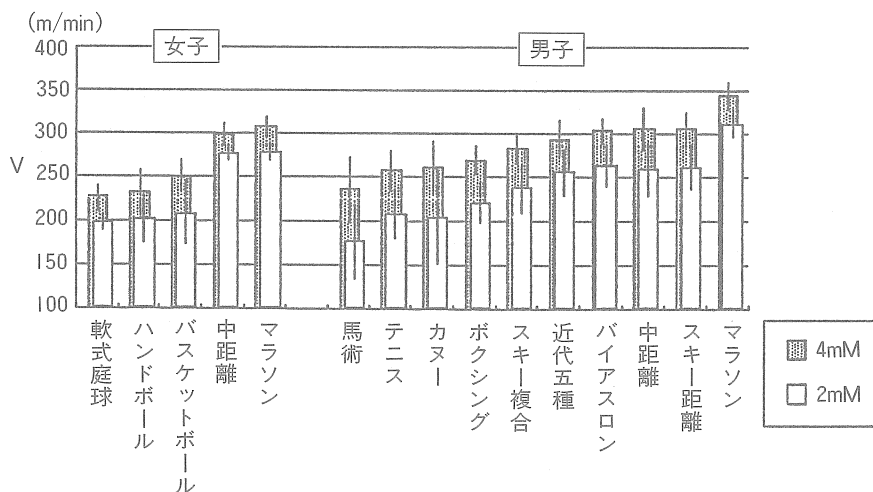


図3 V-LT(走スピード)の平均値と標準偏差

競歩、後者は自転車エルゴメータ駆動運動で測定しており、測定方法が異なるため、この2種目は全体の集計からは除外した。

また種目特性を比較するため、被験者が4名以上の種目について $\dot{V}O_2\max$ 及び $\dot{V}O_2\text{-LT}$ (図1)、 $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ (図2)、V-LT(図3)の平均値と標準偏差を図1~3に示した。

$\dot{V}O_2\max$ について、男子で最も高い値を示した種目は長距離・マラソンで、73ml/kg/min、次いでスキー距離、バイアスロンの70ml/kg/minであった。女子でも長距離・マラソンの63.2ml/kg/minが最も高く、中距離の59ml/kg/minが続く。

$\dot{V}O_2\text{-LT}$ の種目特性も、 $\dot{V}O_2\max$ と類似した傾向を示した。

男子で最も高い平均値を示したのは、やはり長距離・マラソンで、59ml/kg/min(LT-2mmol/l)と66ml/kg/min(LT-4mmol/l)であり、2、3番目のスキー距離、バイアスロンの50ml/kg/min(LT-2mmol/l)と60ml/kg/min(LT-4mmol/l)を大きく上回った($P < 0.01$)。次いで中距離、バイアスロン、スキー複合、近代五種などの持久性を要求される種目が続き、47~48ml/kg/min(LT-2mmol/l)と56~57ml/kg/min(LT-4mmol/l)であった。 $\dot{V}O_2\max$ が低い種目では、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ も低い傾向にあり、ボクシング、テニス、カヌー、馬術は37~44ml/kg/min(LT-2mmol/l)並びに47~53ml/kg/min(LT-4mmol/l)の範囲にあった。

女子の $\dot{V}O_2\text{-LT}$ でも、長距離・マラソンが最も高い値を示し、次に中距離が続き、それぞれ52と49ml/kg/min(LT-2mmol/l)ならびに58と54ml/kg/min(LT-4mmol/l)であった。これらは、軟式庭球、ハンドボール、バスケットボールの39~40ml/kg/min(LT-2mmol/l)と44~46ml/kg/min(LT-4mmol/l)に比べ有意に高い($P < 0.01$)。

LTを $\% \dot{V}O_2\max$ で表すと、男女とも $\dot{V}O_2\text{-LT}$ にみられたような種目特性がなくなる。ただし男子について、マラソンの $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ 2mmol/lだけが80% $\dot{V}O_2\max$ で特に高いことが特徴的で、二番目の近代五種の76% $\dot{V}O_2\max$ と比較しても有意に高い($P < 0.01$)。女子では、マラソンも他の種目と同水準にあり、 $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ に種目差がみられない。また $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ に男女間で差が見

られ、女子が男子を上回っていることが注目される。これについての詳細は次節で述べる。

一方V-LTになると、再び $\dot{V}O_2\max$ あるいは $\dot{V}O_2\text{-LT}$ でみられた種目特性を男女で見出すことができる。ここでもやはり長距離・マラソンが高い値を示し、男子では310m/min(LT-2mmol/l)と350m/min(LT-4mmol/l)、女子では中距離も含め280m/min(LT-2mmol/l)と300m/min(LT-4mmol/l)で他の種目に比べ10m/min前後高い値を示している($P < 0.01$)。

なお、LTの各パラメータの個人の最高値についても、女子の $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ 2mmol/lを除けば、男女ともマラソン選手が記録している。 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ では、男子が66.6ml/kg/min(LT-2mmol/l)と73.2ml/kg/min(LT-4mmol/l)、女子が59.0ml/kg/min(LT-2mmol/l)と64.5ml/kg/min(LT-4mmol/l)であった。 $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ では男子89.3% $\dot{V}O_2\max$ (LT-2mmol/l)と93.4% $\dot{V}O_2\max$ (LT-4mmol/l)、女子では88.2% $\dot{V}O_2\max$ (LT-2mmol/l；中距離選手が記録)と98.8% $\dot{V}O_2\max$ (LT-4mmol/l)であった。V-LTでは、男子が347.3m/min(LT-2mmol/l)並びに376.4m/min(LT-4mmol/l)、女子で290.0m/min(LT-2mmol/l)および323.4m/min(LT-4mmol/l)であった。彼らの競技成績は、いずれもわが国の一流水準のものである(男子では2時間14~18分、女子では2時間32~48分)。

2. $\dot{V}O_2\max$ とLTの関係

被験者216名(男子162名、女子56名)のLT及び $\dot{V}O_2\max$ についての相関マトリクスを表4に示した。 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ 、V-LT及び $\dot{V}O_2\max$ の各パラメータ間では、2mmol/l及び4mmol/lのいずれにおいても0.7以上の高い相関係数がみられる。これに対して $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ 及びHR-LTと上記パラメータとの相関係数は、相対的に低くなっている。

$\dot{V}O_2\max$ とLTとの関係では、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ 4mmol/lが0.93と最も高い相関係数を示し、続いてV-LT 4mmol/l(0.84)、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ 2mmol/l(0.81)、V-LT 2mmol/l(0.74)の順であった($P < 0.01$)。逆に、HR-LTおよび $\% \dot{V}O_2\max\text{-LT}$ と $\dot{V}O_2\max$ では有意な相関関係がみられなかった。

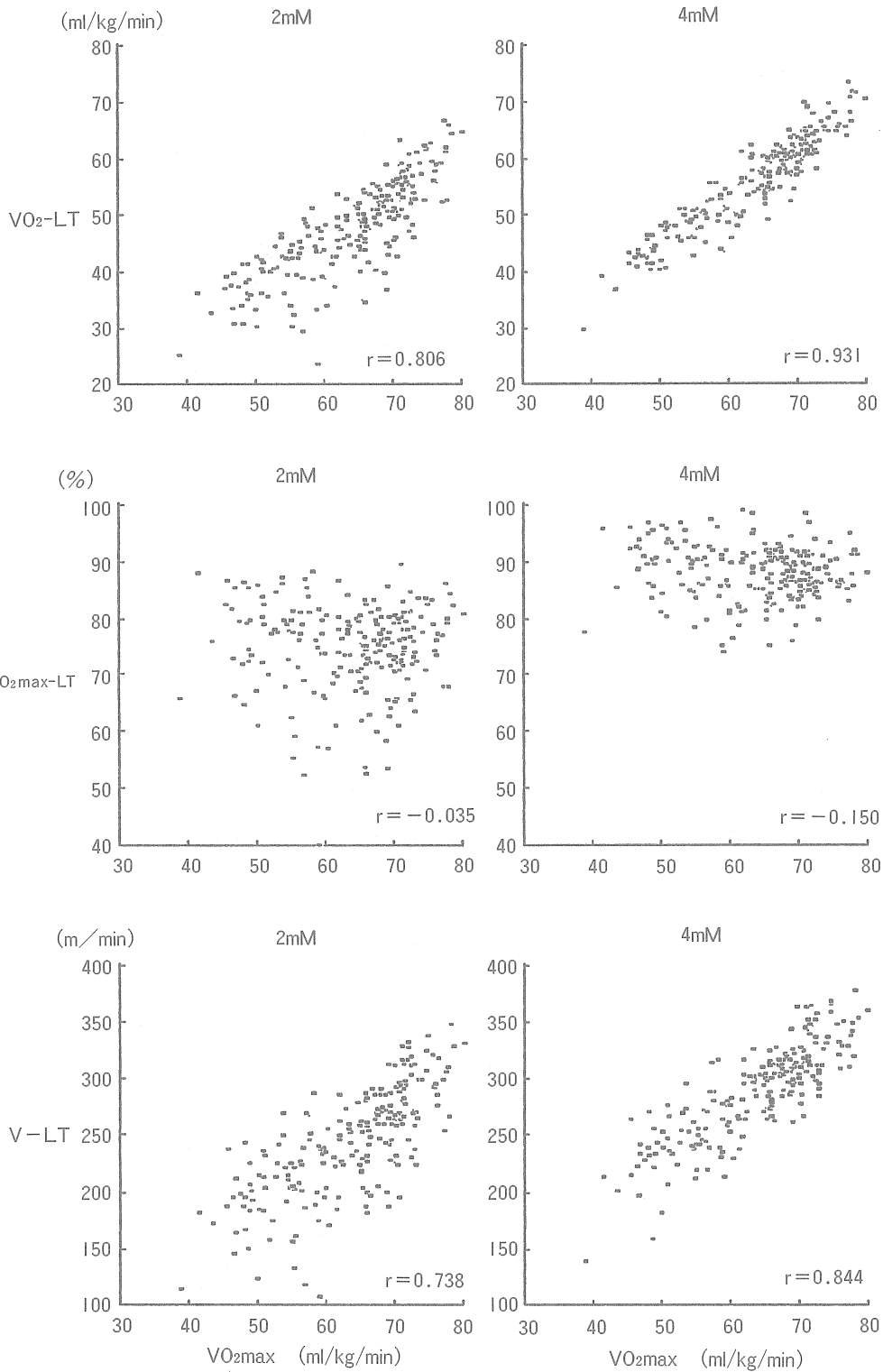


図4 $\dot{V}O_2$ maxと $\dot{V}O_2$ -LT, % $\dot{V}O_2$ max-LT, V-LTとの関係 (n=216)

図4は、 $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2\text{-LT}$, % $\dot{V}O_2\max\text{-LT}$, V-LT との関係を示したものである。上述のとおり、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ 及び V-LT と $\dot{V}O_2\max$ とは高い相関を示すが、いずれも 4mmol/lLT 値の方が 2mmol/l 値より高い相関係数を示した。また、両 LT 値と $\dot{V}O_2\max$ の関係において、値の低い場合の方がばらつきが大きくなるという傾向がみられる。

3. LT の男女差

図4の LT-2mmol/l の値について、プロットを男女に分けて比較したものが図5である。どの LT パラメータも、同じ $\dot{V}O_2\max$ に対して女子の LT 値の方が高くなる傾向にある。

次に、男女両方の被験者が存在する種目について LT を比較した。また $\dot{V}O_2\max$ を同一水準に揃えた男女について、同じく LT を比較した(表5)。

今回の集計で男女の揃った種目としては、中距離、長距離・マラソン、競歩、テニスの4種目があった。 $\dot{V}O_2\max$ については、いずれの種目においても男子が女子を有意に上回っている。しかし、長距離・マラソンでは、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$, V-LT でやはり男子が女子を有意に上回るが、% $\dot{V}O_2\max\text{-LT}$ になると 2mmol/l-LT で男女間の差がなくなり、4mmol/l-LT ではむしろ女子が有意に高い値を示した。テニスでは、 $\dot{V}O_2\text{-LT}$ 及び V-LT において 4mmol/l-LT で男子が有意に高値を示すが 2mmol/l-LT で差がなくなり、% $\dot{V}O_2\max\text{-LT}$ では逆に女子が男子より有意に高い値を示した。さらに、中距離、競歩では全ての LT パラメータにおいて男

女の差がみられなくなる。

次に、男女の $\dot{V}O_2\max$ の分布から判断し、両者で同じ $\dot{V}O_2\max$ 水準にある男女それぞれ25名ずつを抽出し比較した。(表5) $\dot{V}O_2\max$ は 57ml/kg/min で男女変わらないが、LT 値はいずれのパラメータにおいても女子が男子より有意に高かった。

考 察

1. LT のスポーツ種目特性

当研究所では、これまでもわが国の一流選手の $\dot{V}O_2\max$ を報告値している⁶⁾⁹⁾。これと本研究の値を比較すると、男子では中距離が従来一流選手の値より約 4 ml/kg/min 低く、逆にスキー複合、ボクシングが 4 ~ 5 ml/kg/min 高くないなどの違いがみられるものの、概ね従来一流選手の $\dot{V}O_2\max$ と変わらない結果であった。女子では比較資料は限られるが、中距離で従来報告値よりやや高かった。また、本研究で $\dot{V}O_2\max$ の最高値は、男子で長距離・マラソン選手 FO の 79.8ml/kg/min、女子でも同じくマラソン選手 EA の 71.1ml/kg/min で、諸外国一流選手について報告されている値¹¹⁾の範囲内のものであった。以上 $\dot{V}O_2\max$ から判断する限り、本研究の被験者の有酸素性作業能はこれまでの一流選手と同程度のものと判断できよう。

一方 LT については、スポーツ選手の測定値が年々数多く報告されるようになってはいるが、同一の方法で、同一の LT 判定基準で、しかも一流

表4 $\dot{V}O_2\max$ および LT 値間の相関行列 (n=218, 男子=162, 女子=56)

		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1) $\dot{V}O_2$	2mM	.93	.56	.35	.50	.23	.95	.90	.81
(2)	4mM		.26	.21	.34	.24	.86	.93	.93
(3) % $\dot{V}O_2\max$	2mM			.82	.64	.21	.57	.33	-.04
(4)	4mM				.48	.28	.36	.26	-.15
(5) HR	2mM					.79	.50	.36	.17
(6)	4mM						.20	.22	.15
(7) V	2mM							.95	.74
(8)	4mM								.84
(9) $\dot{V}O_2\max$									

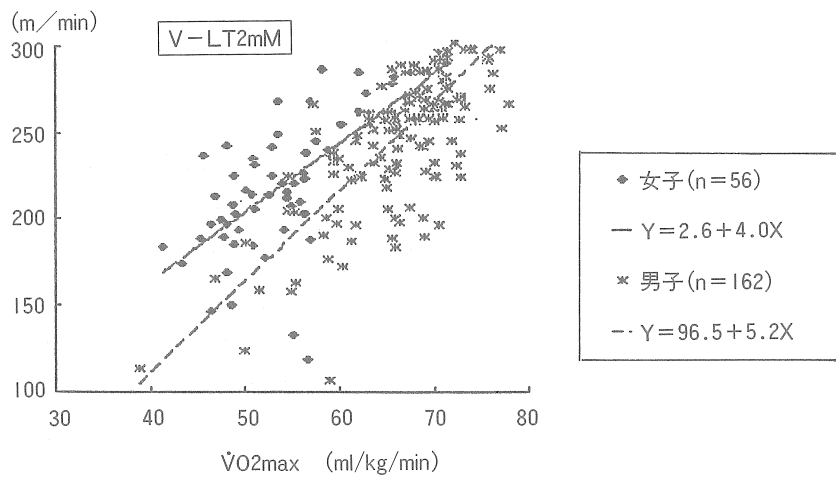
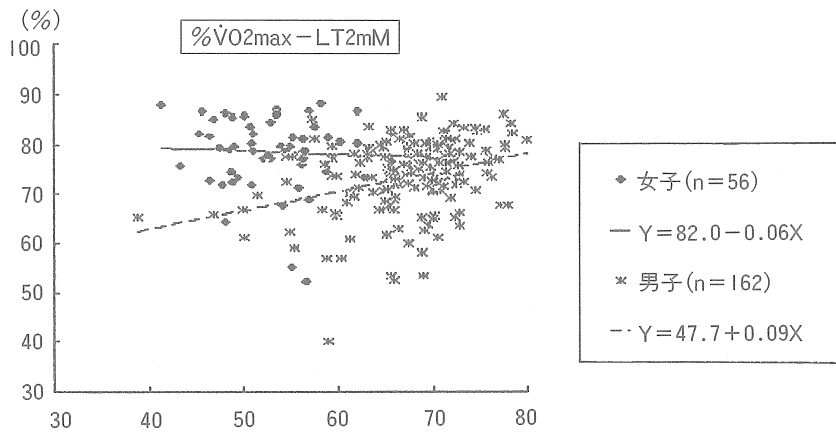
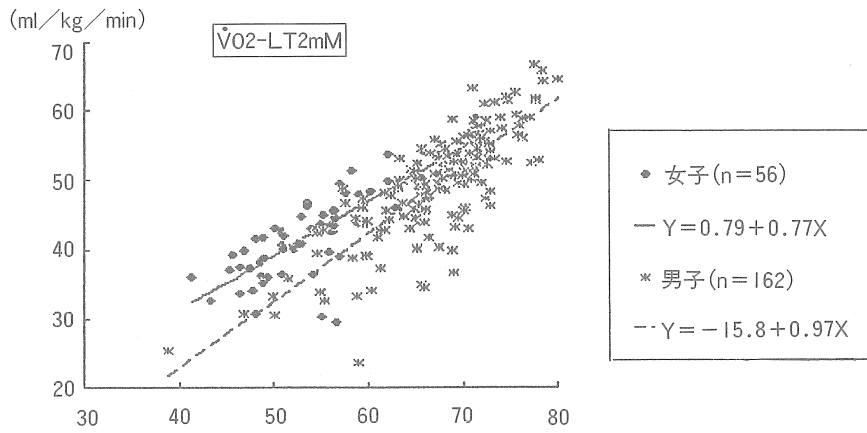


図5 $\dot{V}O_{2max}$ とLTとの男女比較

表5 グループごとの男女の $\dot{V}O_2\max$ 及びLTの比較

	$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg /min)	$\dot{V}O_2-LT$ (ml/kg/min)		% $\dot{V}O_2\max-LT$ (%)		V-LT (m/min)		
		2mM	4mM	2mM	4mM	2mM	4mM	
中距離								
男子 n=5	平均	65.92	48.34	57.40	73.21	87.00	259.35	307.55
	(SD)	(3.48)	(5.50)	(4.56)	(5.48)	(2.81)	(31.41)	(25.87)
女子 n=3	平均	59.13	48.78	53.83	82.77	91.19	275.75	301.17
	(SD)	(3.06)	(2.66)	(1.61)	(8.23)	(5.28)	(9.64)	(13.94)
	有意差	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
長距離・マラソン								
男子 n=28	平均	73.45	59.03	65.74	80.37	89.51	312.01	345.67
	(SD)	(3.06)	(3.74)	(3.41)	(3.85)	(3.27)	(15.25)	(16.11)
女子 n=6	平均	63.18	52.12	58.49	82.64	92.67	277.58	309.17
	(SD)	(5.88)	(4.34)	(1.61)	(3.96)	(3.16)	(10.65)	(13.94)
	有意差	**	**	**	NS	*	**	**
競歩								
男子 n=22	平均	60.30	42.76	50.35	70.88	83.47	179.99	202.12
	(SD)	(4.56)	(6.45)	(6.14)	(9.12)	(7.61)	(29.74)	(28.19)
女子 n=5	平均	53.50	41.43	46.17	76.83	85.81	187.55	181.89
	(SD)	(6.19)	(8.53)	(8.24)	(8.78)	(6.89)	(31.74)	(34.15)
	有意差	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
テニス								
男子 n=12	平均	60.46	40.35	50.21	66.68	83.01	207.32	258.63
(硬式)	(SD)	(4.51)	(6.25)	(5.80)	(8.52)	(6.59)	(27.29)	(23.76)
女子 n=7	平均	48.43	38.91	43.86	76.83	90.61	189.89	227.40
(軟式)	(SD)	(2.23)	(2.47)	(2.88)	(8.78)	(5.12)	(10.47)	(14.44)
	有意差	**	NS	*	*	*	NS	**
$\dot{V}O_2\max$が同じ男女群								
男子 n=25	平均	56.79	38.86	48.03	68.43	84.73	199.84	248.42
	(SD)	(3.82)	(6.07)	(3.71)	(9.52)	(5.95)	(37.77)	(26.39)
女子 n=25	平均	56.67	43.88	51.00	77.39	89.97	227.01	264.25
	(SD)	(2.61)	(5.54)	(3.49)	(8.78)	(4.03)	(40.30)	(26.64)
	有意差	NS	**	**	**	**	**	**

有意水準; * P<0.05 ** P<0.01

競歩選手はトレッドミル競歩によって測定、それ以外は全てトレッドミル走による測定

選手のものとなると、比較対象資料はごく限られてくる。本研究で採用した LT 基準 2mmol/l, 及び 4mmol/l に相当する報告値としては、前者では Williams たち¹²⁾がマラソンランナーについて報告したもの、後者では Svedenhag たち¹⁰⁾が 400m からマラソンまでのランナーについて報告したものが上げられる。本研究の長距離・マラソンランナーは Williams たちの報告値よりやや高い値を示したが、これは競技成績で本被験者が上回っており、競技水準の差が一因と考えられる。一方本研究の中距離、長距離・マラソンランナーと Svedenhag たちの被験者とは、競技成績及び LT の値でよく合致した。

本研究結果から、LT は $\dot{V}O_2\max$ とともにスポーツ選手の持久性の特性をよく反映していることが示唆された。また、こうしたスポーツ特性から次の様な興味ある知見が得られた。

すなわち LT は、 $\dot{V}O_2\max$ と同様持久性種目であるほど高い値を示すが、中でも長距離・マラソンでは、中距離、スキー距離、スキー複合、バイアスロン、近代五種など他の持久性種目に比べ、 $\dot{V}O_2\max$ 以上に LT 値の高いことが注目される。また、LT 値のうちでも 4mmol/l 値より 2mmol/l 値の方にその傾向が強く現れている。特に男子について、2mmol/l の $\% \dot{V}O_2\max$ -LT 値では、 $\dot{V}O_2\max$ との相関がみられなにも関わらず、長距離・マラソンで特に高い値を示す。恐らく、LT はマラソン選手に要求される持久性を $\dot{V}O_2\max$ 以上に反映しており、そのため他の持久性種目に比べ、顕著に高い値を示したものと解釈できる。マラソンの記録は $\dot{V}O_2\max$ より LT とより高い相関関係を示すことはよく指摘される⁹⁾ところである。その背景として、 $\dot{V}O_2\max$ が酸素運搬能など心臓・血管系機能に依存するのに対して、LT (あるいは AT) は筋の酸化能力、酵素活性など主に代謝系機能に依存すると解釈されている。マラソンのトレーニングは、2mmol/l 以下の乳酸値、60~70% $\dot{V}O_2\max$ で 1 時間以上継続する持久走が主体となっている。こうしたトレーニング内容は、他の持久性種目からすればむしろ特殊なものと言える。換言すれば、このようなトレーニングの生体への効果を、 $\dot{V}O_2\max$ 以上に LT が表現できることも期待され

る。こうした点がさらに明らかにされて行けば、スポーツ選手の持久性を評価する上で、LT と $\dot{V}O_2\max$ の組合せから、記録の予測やトレーニング状況の評価などに対してより有用な情報提供も可能となるだろう。

なお、スキー距離選手はマラソンランナーと同様の持久性を要求される種目と考えられる。しかし、本研究のスキー距離選手の $\dot{V}O_2\max$ 及び LT 値はマラソン選手のものより明らかに低い値を示した。わが国のマラソンの競技成績は世界的な水準にあるが、スキー距離競技では北欧などの世界的水準からかなり隔たっている。本研究でみられた体力的な差が競技水準にも影響していたのかもしれない。事実、北欧のスキー距離選手ではマラソン選手より高い $\dot{V}O_2\max$ が報告されている¹¹⁾。わが国のスキー距離選手においても、マラソン選手並に持久性を高めることは、決して不可能なことではないだろう。わが国のスキー距離の競技力の向上を図るとき、体力的な課題として指摘しておきたい。

ただし測定に際して、用いる運動様式についても考慮しておかなければならない。特に LT は、 $\dot{V}O_2\max$ 以上に運動様式の影響を受けることが予測される⁷⁾。トレッドミル走による測定では、スキー選手の LT を十分反映していたか否か、定かではない。スキー滑走運動による LT 測定が、より有用な情報を提供するであろうし、他の種目においても同様のことが言える。

2. LT から $\dot{V}O_2\max$ の予測

LT (あるいは AT) は、亜最大運動による測定で最大運動の $\dot{V}O_2\max$ を予測できる点で、測定法上の利点を持つ。特に被験者の安全、苦痛を軽減しなければならない状況で、その意義は大きい。

本研究結果では、 $\dot{V}O_2$ -LT 並びに V-LT と $\dot{V}O_2\max$ の間に高い相関関係が認められた。また、4mmol/l 値より 2mmol/l 値のほうが高い相関係数を示した。利用する LT 値としては、2mmol/l 値より 4mmol/l 値の方がより適していることになる。

$\dot{V}O_2$ -LT 4mmol/l から $\dot{V}O_2\max$ を推定する式は次の通りであった。

$$\dot{V}O_2\max = 5.72 + 1.04 \times \dot{V}O_2\text{-LT } 4 \text{ mM}$$

$$(r = 0.931; SE = 3.21)$$

また、複数のパラメータから $\dot{V}O_2\max$ を推定するならば、次式の重回帰式が導かれる。

$$\dot{V}O_2\max = 12.68 - 0.45 \times \dot{V}O_2\text{-LT } 2 \text{ mM}$$

$$+ 1.47 \times \dot{V}O_2\text{-LT } 4 \text{ mM}$$

$$- 0.07 \times \text{HR-LT } 2 \text{ mM}$$

$$(r = 0.948; SE = 2.82)$$

ただし 4mmol/lLT では、測定時の運動強度が 90% $\dot{V}O_2\max$ を超えることもあり、被験者の苦痛を軽減するという意義を考えれば、実用的ではない。2mmol/lLT からの重回帰式では、次式が得られた。

$$\dot{V}O_2\max = 46.46 + 1.20 \times \dot{V}O_2\text{-LT } 2 \text{ mM}$$

$$- 0.20 \times \text{HR-LT } 2 \text{ mM}$$

$$- 0.03 \times \text{V-LT } 2 \text{ mM}$$

$$(r = 0.853; SE = 4.63)$$

3. LT の性差

本研究では、LT の性差についても検討した。先ず同一種目（中距離、長距離・マラソン、競歩、テニスの 4 種目）の男女を比較すると、 $\dot{V}O_2\max$ はどの種目も共通して女子の方が低い。これに対し LT では、パラメータによっては男女差がなくなるものや、かえって高くなるものもある。特に % $\dot{V}O_2\max\text{-LT}$ では、全般に女子が男子を上回る傾向がみられる（図 4）。

次に、同一の $\dot{V}O_2\max$ を有する男女について LT を比較すると、いずれの LT パラメータにおいても女子が男子を上回った。

これまで LT の性差を検討した報告は比較的小さいが、DeMello²⁾たちは鍛錬群及び非鍛錬群の男女について、LT はいずれの群でも男子が高いことをみている。一方岩岡たち⁸⁾は、男女長距離ランナ

ーについて V-LT では男子が女子を上回るが、% $\dot{V}O_2\max\text{-LT}$ では両者の差がなくなることをみている。これは、本研究結果と一致する。また、Fohrenbach たち³⁾は、西ドイツ一流男女マラソンランナーの V-LT を測定しているが、この報告値からも性差が窺われる。彼らは、乳酸の上昇カーブについて注目しており、鍛錬されたランナーほどこれが急峻なカーブを描くという。その具体的な指標として、乳酸が 2mmol/l から 3mmol/l へ上昇するのに要するスピードの増加量 (ΔV) を上げている。彼らの報告値では、女子の方がこの ΔV が有意に低い値を示している。すなわち、女子ランナーの方が乳酸上昇カーブが急峻であり、従って LT (% $\dot{V}O_2\max$) もより高くなることが予測される（ただし、論文中で男女差については言及されていない）。また Froberg と Pedersen⁴⁾は、除脂肪体重当りの $\dot{V}O_2\max$ を揃えた男女について持久能力を比較したところ、80% $\dot{V}O_2\max$ 運動で女子の performance が男子に優ることを観察している。これもやはり、女子の LT が上回っていたことを示唆するものである。

以上、LT (AT) の性差に関する見解は一致しない。恐らく、スポーツ種目の違い(表 5)、トレーニングの程度、体力水準の違いなどが関与し、結果を複雑にしているのだろう。しかし少なくとも本研究結果から判断する限り、男女の $\dot{V}O_2\max$ を同等にすれば、女子の LT は男子を上回るものと考えられる。その生理学的な背景として、女子では脂肪の利用が男子より高いため、同一運動強度 (% $\dot{V}O_2\max$) に対して乳酸産成の低くなるのが理由の一つに考えられよう¹⁾。ただし運動中の脂質代謝の性差については議論の分かれるところで⁸⁾、今後の研究を待たなければならない。

ま と め

男子14種目185名, 女子8種目66名のスポーツ選手を対象にLTの測定を行い, そのスポーツ特性及び性差を検討した。

LTは, 持久的種目ほど高い傾向にあったが, 中でも長距離・マラソンは他の持久的種目に比べ特に高い値を示し, $\dot{V}O_2\max$ 以上に長距離・マラソンに要求される持久的能力を反映していることが示唆された。

$\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2$ -LT, V-LT との間に高い相関関係が認められたが, 2mmol/l より4mmol/l でより高い相関関係がみられた。また, LT から $\dot{V}O_2\max$ を推定する回帰式を算出した。

LTの性差を検討したところ, 同一の $\dot{V}O_2\max$ に対して女子の方が男子より高いLTを示すことが明らかにされた。その生理的機序については, 今後の研究課題である。

文 献

- 1) Berg A and Keul J (1981) : Physiological and metabolic responses of female athletes during laboratory and field exercise. *Med Sport* 14 : p77-96.
- 2) DeMello JJ et al (1987) : Rating of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and women *Med Sci Sports Exerc* 19-4 : p354-362
- 3) Fohrenbach R et al (1987) : Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *Int J Sports Med* 8 : p11-18.
- 4) Froberg K and PK Pedersen (1983) : Sex difference in endurance capacity and metabolic response to prolonged, heavy exercise. *Eur J Appl Physiol* 52 : p446-450
- 5) 伊藤静夫ほか(1985) : スポーツ選手のATに関する研究—第2報 中・長距離, マラソン選手のATについて—。昭和60年度日体協スポーツ医・科学研究報告。
- 6) 伊藤静夫ほか(1985) : スポーツ選手のATに関する研究—第3報 第10回アジア大会日本代表選手のATについて—昭和61年度日体協スポーツ医・科学研究報告。
- 7) 伊藤静夫ほか(1985) : スポーツ選手のATに関する研究—第4報 競歩選手のLT—。昭和62年度日体協スポーツ医・科学研究報告。
- 8) 岩岡研典(1983) : 女子中長距離選手の有酸素的エネルギー利用と体脂肪。 *体育の科学* 33-3 : p185-192
- 9) 黒田善雄ほか(1977) : 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報一。昭和52年度日体協スポーツ医・科学研究報告
- 10) Svedenhag J and B Sjodin (1984) : Maximal and submaximal oxygen uptake and blood lactate levels in elite male middle and long-distance runners. *Int J Sports Med* 5 : p255-261
- 11) 山地啓司(1985) : 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量。 *30-3* : p183-193.
- 12) Williams C et al (1984) : The metabolic challenge of the marathon. *Brit J Sports Med* 18 : p245-252

平成元年度 財団法人日本体育協会
スポーツ科学専門委員会

平成元年度 財団法人日本オリンピック委員会
選手強化本部スポーツ科学委員会

委員長 長沼 健 (古河電気工業)
委員 浅見 俊雄 (東京大学)
" 大山 喬史 (東京医科歯科大学)
" 小野 秀夫 (新日本製鉄)
" 加賀 秀夫 (お茶の水女子大学)
" 嘉戸 脩 (東京学芸大学)
" 川原 貴 (東京大学)
" 北田 韶彦 (日本体育大学)
" 武安 義光 (科学技術庁)
" 原 整郎 (イビデン)
" 本宿 尚 (藤田総合病院)
" 馬飼野正治 (日本体育会)
" 村田 光範 (東京女子医科大学)

委員長 黒田 善雄 (順天堂大学)
委員 青木純一郎 (順天堂大学)
" 浅見 俊雄 (東京大学)
" 石井 喜八 (日本体育大学)
" 猪俣 公宏 (上越教育大学)
" 加賀谷淳子 (日本女子体育大学)
" 勝田 茂 (筑波大学)
" 金子 公宥 (大阪体育大学)
" 川原 貴 (東京大学)
" 小林 修平 (国立健康・栄養研究所)
" 高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院)
" 武藤 芳照 (東京大学)
" 渡部 和彦 (広島大学)

財団法人 日本体育協会 スポーツ科学研究所

塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 加藤 守
伊藤 静夫 原 孝子

平成元年度 財団法人 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集

編集代表者 長沼 健 黒田 善雄
発行者 戸村 敏雄
平成2年3月31日 発行

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1

TEL (03) 481-2240

