

昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告  
No. XI 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——

財団法人 日本体育協会  
スポーツ科学委員会



# 昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No.XI スポーツ選手のATに関する研究

### ——第3報 中・長距離、マラソン選手の AT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

#### 目 的

最大酸素摂取量 (以下、 $\dot{V}O_2\max$ ) は全身持久性の有力な指標として広く用いられている。これを測定するとき、被験者には最大運動を負荷する必要がある。しかし、最大運動は被験者への負担を大きくし、危険を伴うものでもある。

最大運動にまで達しない、それよりやや低い強度の運動 (以下、亜最大運動) で全身持久性を推定する方法として、近年特に注目を集めているのが Anaerobic Threshold (以下、AT) である。

AT が全身持久性の有力な指標であることについては、すでに多くの研究によって確かめられている<sup>9)6)</sup>。また AT は、 $\dot{V}O_2\max$  とともに、競技能力を推定するための有力な指標になることが明らかにされている。

しかしながら最近の研究によれば、AT と  $\dot{V}O_2\max$  とは異なる生理的機構によって決定されることが示唆されている。競技成績との関係をみた報告では、 $\dot{V}O_2\max$  よりも AT との間でより高い相関々係を示している<sup>9)11)</sup>。またトレーニング効果を検討してみると、 $\dot{V}O_2\max$  と AT とでは異質であることが示されている<sup>7)</sup>。さらに、弱年競技者とベテラン競技者を比較しても、長年にわたってトレーニングを積んできたベテラン競技者がより高い AT を有すると報告されている<sup>12)</sup>。

このような観察結果は、 $\dot{V}O_2\max$  と AT が異なる

生理的機構によって成り立っていることを示唆していると言える。すなわち、 $\dot{V}O_2\max$  は心拍出量をはじめとして心臓、血管系機能に強く依存しているのに対し、AT は筋の酵素活性など代謝系の動態に関連しているものと考えられるのである<sup>6)</sup>。

現在も AT の理論的背景をめぐる議論が続けられている。しかし AT そのものの生理的な説明はともかくとして、AT は全身持久性や競技能力を推定する上で、 $\dot{V}O_2\max$  とともに、極めて有用な尺度であることに異論はない。さらに AT は、 $\dot{V}O_2\max$  とは異質の全身持久性の要素を評価しているという可能性も考えられている。したがって競技選手の全身持久性を評価する上で、 $\dot{V}O_2\max$  の測定だけでなく、AT の測定を加えることによってさらに詳細な情報が期待できよう。

以上の観点から、1986年第10回アジア大会日本代表選手の体力測定に際して、全身持久性の測定項目として従来実施していた  $\dot{V}O_2\max$  の測定に加え、AT の測定も実施した。本研究では、これらの測定結果について、特にスポーツ種目別の特性を中心に検討する。

#### 方 法

##### (1) 被験者

本被験者は、いずれも第10回ソウル・アジア大会の日本代表選手である。種目ごとの人数および年齢、身長、体重の平均値と標準偏差を表1に示

表1 被験者の身体特性(種目別平均値±SD)

種目	人数	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
バスケットボール 男	9	25.2 ± 1.55	188.1 ± 7.58	80.9 ± 6.74
バドミントン 男女	5 4	23.6 ± 3.14 24.0 ± 2.45	175.4 ± 5.00 162.0 ± 3.08	70.7 ± 2.57 57.0 ± 4.46
ライフル射撃 男女	8	34.3 ± 5.40	168.9 ± 4.62	73.2 ± 5.57
ゴルフ 男	3	25.0 ± 2.94	170.0 ± 2.78	61.3 ± 3.70
クレー射撃 男	2	40.0 ± 12.0	162.7 ± 5.15	72.2 ± 10.5
体操 男女	4 5	24.0 ± 2.45 17.4 ± 1.36	160.9 ± 2.05 151.2 ± 9.19	55.0 ± 0.89 40.8 ± 5.04
フェンシング 男女	4 3	21.3 ± 0.43 22.3 ± 2.62	174.3 ± 6.24 158.3 ± 4.94	64.5 ± 2.81 53.3 ± 4.43
テッコンドウ	5	22.8 ± 1.17	170.8 ± 4.03	66.3 ± 6.62
馬術 男	6	27.8 ± 7.20	169.7 ± 2.36	62.7 ± 4.00

した。この他、男子マラソン選手1名、女子卓球選手1名が測定に加わり、被験者総数63名であった。

### (2) トレッドミル負荷設定方法

トレッドミルの負荷設定方法には、1分ごとの負荷漸増法を用いた。種目による有酸素的作業能にはかなりの幅が見込まれるため、負荷方法を3種設定し、選手の能力に合わせて種目ごとに選定した。

第1の方法は、比較的高い有酸素的作業能を持つと思われる種目を対象に設定したものである。トレッドミルの傾斜を0度からスタートさせ、1分後からは登り勾配3度に上昇させ、2分後から5度に上昇させ、以後この5度を保持した。速度は、120m/minのスピードからスタートし、トレッドミルの傾斜を漸増させている3分まではこの速度を保ち、3分から1分ごとに10m/minずつ速度を増加させて行き、被験者がオールアウトに至るまで継続させた。対象種目は、陸上のマラソン、男子バスケットボール、男女ハンドボール、男子体操である。

第2の方法は、中間的な能力が予測される種目について設定したもので、スタートの条件は第1の方法と同様にし、1分後にトレッドミルの傾斜を3度に上昇させ、以後はその角度に固定した。速度は、2分後に130m/min、以後1分ごとに10m/minずつ漸増して、オールアウトに至らせている。

対象種目は、女子卓球、馬術、男子ライフル、ゴルフ、男女フェンシング、テッコンドウである。

第3の方法は、有酸素的能力の比較的低いと思われる種目を対象に設定した。トレッドミルの傾斜は漸増させず、0度のままに固定した。速度は120m/minからスタートし、1分ごとに10m/minずつ漸増して行き、オールアウトに至らせている。対象種目は、女子ライフル、クレー射撃、女子体操である。

### (3) ATの判定方法

呼気は、ダグラスバックで1分間ごとに連続的に採気し、オーバル社製ガス流量計で換気量を計測した。呼気中のO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>分圧は、ウエストロン社製呼気分析用質量分析計によって計測した。なお、同質量分析計はショランダー微量ガス分析器で、測定日ごとに較正して使用している。

以上の手続きで求めた運動中の呼気ガス諸変量のうち、 $\dot{V}_E$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、R、 $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ を縦軸にとり、横軸には各1分ごとの走行段階および各走行段階に対応する $\dot{V}O_2$ の2種類をとって、それぞれについてプロットしたグラフを作成した。図2は、横軸に $\dot{V}O_2$ をとったときの、種目ごとの測定結果の平均値の変化を表したものである。以上の手続きで作成したグラフから、視覚的にATを判定した。

ガス諸変量の変化からATを求めるVentilatory Thresholdの判定方法では、必ずしも統一した

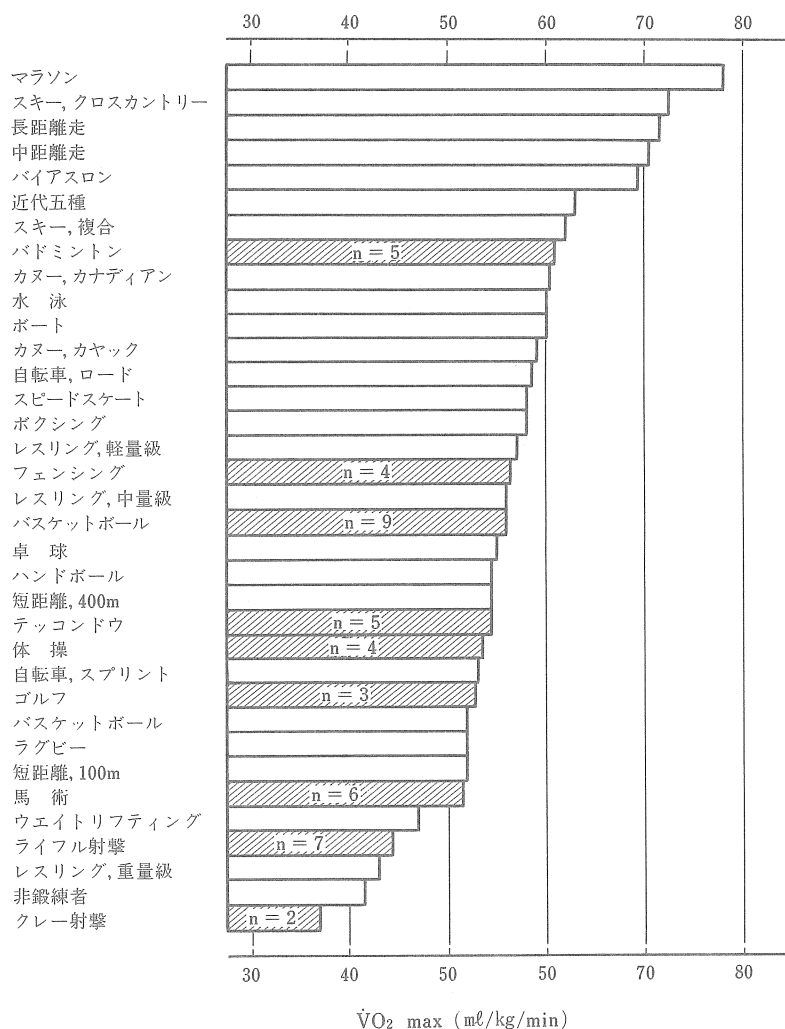


図1 最大酸素摂取量の種目間の比較 (男子)

基準がない。本研究では、前報と同様に  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  の増加を伴わない  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  の上昇点を主要な判定基準とし<sup>9)</sup>、その他  $\dot{V}E$ 、 $R$ 、 $\dot{V}O_2$  の変化を参考にした。また、プロットが少なく判定困難なものについては、集計データから除外した。

### 結果と考察

#### (1) $\dot{V}O_2\max$

表2は最大運動時の測定結果について、種目ごとの平均値と標準偏差を表したものである。体重当りの  $\dot{V}O_2\max$  を種目ごとにみても、当然ながら、男子マラソン選手1名の測定値が特に高い

値を示した。次いでバドミントンの61ml/kg/minが、バスケットボール、フェンシングがこれに次ぐ。逆に低い値を示したグループでは、ライフルおよびクレー射撃で、50ml/kg/minを下回った。女子ではバドミントンが最も高く、低いグループでは体操、ライフル射撃であった。

今回測定されたグループとこれまでの我々の研究所で測定した各種スポーツの  $\dot{V}O_2\max$  値<sup>10)</sup>を比較したものが図1 (男子) と図2 (女子) である。ここで特に注目されるのはバドミントンである。同じネットををさんでの競技である卓球よりも上位にあり、全体の中でも比較的有酸素的作業能の

表2 最大酸素摂取量の測定結果(種目別平均値±S.D.)

種目	N	VO <sub>2</sub> max 平均±S.D.	VO <sub>2</sub> max/wt 平均±S.D.	VE 平均±S.D.	VCO <sub>2</sub> 平均±S.D.	RQ 平均±S.D.	HRmax 平均±S.D.
男子							
クレー射撃	2	2,496±0.277	37.0±1.2	98.3±15.4	2,815±0.272	1.125±0.015	183.0±24.0
ゴルフ	3	3,203±0.201	52.3±1.6	134.0±4.5	3,739±0.231	1.163±0.017	200.0±6.5
テッコンドウ	5	3,597±0.365	54.0±1.8	142.9±23.1	4,094±0.406	1.134±0.010	202.6±4.4
バスケットボール	9	4,504±0.292	56.0±4.5	146.9±12.8	5,003±0.380	1.106±0.034	191.8±8.8
バドミントン	5	4,294±0.167	60.8±3.6	143.0±7.3	4,793±0.326	1.110±0.039	186.6±11.2
フェンシング	4	3,615±0.239	56.0±1.9	134.0±11.2	3,947±0.205	1.090±0.016	202.0±5.4
ライフル射撃	7	3,175±0.533	44.3±7.4	128.1±20.5	3,778±0.650	1.186±0.059	186.6±10.3
体操	4	2,951±0.376	53.6±6.3	108.8±18.0	3,455±0.452	1.165±0.070	186.3±8.6
馬術	6	3,234±0.331	51.7±5.7	125.8±8.9	3,592±0.323	1.108±0.028	184.7±11.1
マラソン	1	4,288	77.6	143.1	4,416	1.020	204
女子							
バドミントン	4	3,062±0.268	53.7±2.2	106.5±19.4	3,448±0.317	1.120±0.010	178.3±4.1
フェンシング	3	2,630±0.164	49.4±2.3	94.0±3.0	3,001±0.198	1.130±0.021	194.7±9.3
ライフル射撃	4	2,089±0.348	37.9±2.1	86.8±6.8	2,449±0.399	1.170±0.036	170.0±9.1
体操	5	1,665±0.335	40.6±5.2	56.3±14.5	1,624±0.343	0.970±0.064	184.7±11.1
卓球	1	2,680	52.3	65.9	2,904	1.080	198

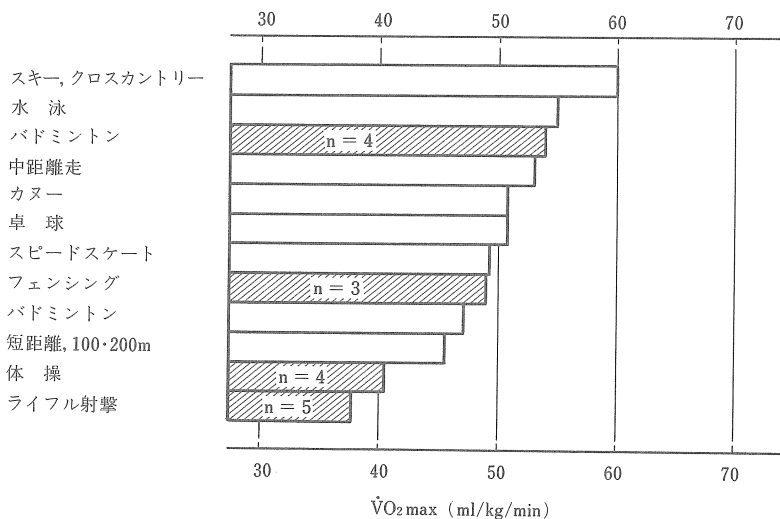


図2 最大酸素摂取量の種目間の比較(女子)

高い種目として位置づけられる。バドミントンの競技特性、トレーニング内容などについて興味もたれる。逆に、射撃競技は男女とも下位に位置し、競技特性からみても、特に有酸素的作業能が要求されていない種目であるといえよう。

(2) AT

図3はAT出現の様相を示したものである。特

に男女とも測定に参加した種目を事例的にとりあげてみた。いずれのパラメータも種目ごとの平均値をプロットしてある。図からもわかるとおり、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の上昇を伴わない $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の急速な上昇点、ATの判定基準になっている。ただし、ATを境に低負荷強度でのプロットが相対的に少なく、ATの判定に当り情報が不足していることは否め

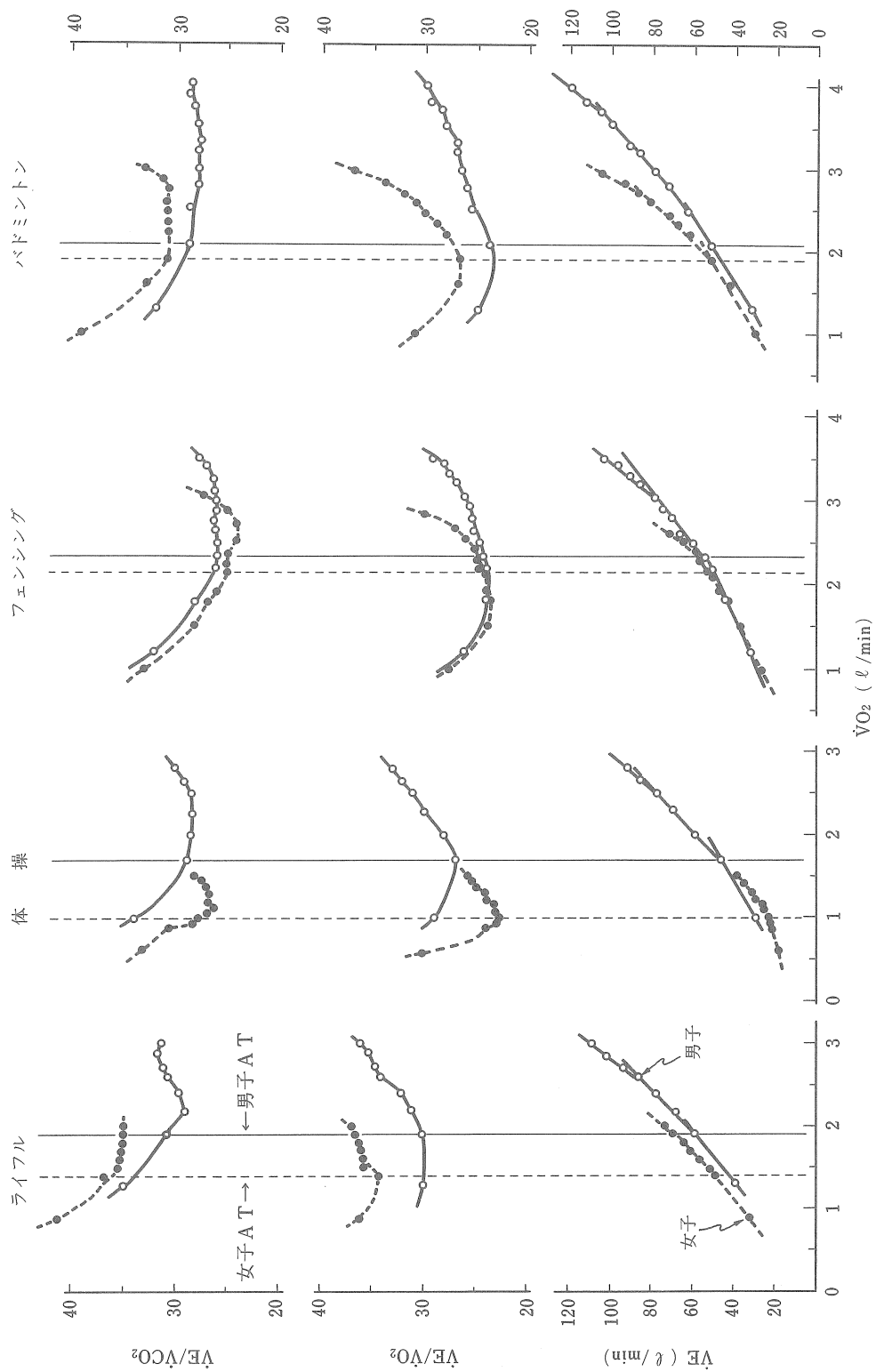


図3 A Tの測定結果

表3 ATの測定結果(種目別平均値±S.D.)

種目	N	AT-% $\dot{V}O_2$ max	AT- $\dot{V}O_2$	AT- $\dot{V}O_2$	AT- $\dot{V}CO_2$	AT- $\dot{V}E$
		平均±S.D.	( $\ell$ /min) 平均±S.D.	(ml/kg/min) 平均±S.D.	(l/min) 平均±S.D.	(l/min) 平均±S.D.
男子						
クレ-射撃	2	61.0±1.0	1,525±0.195	22.5±1.1	1,458±0.258	49.3±8.9
ゴルフ	3	62.7±5.0	2,013±0.242	32.6±2.0	1,649±0.476	56.8±5.3
テッコンドウ	5	60.6±9.4	2,160±0.192	32.9±5.4	1,994±0.266	51.2±8.7
バスケットボール	9	63.2±3.6	2,862±0.223	35.2±2.6	2,460±0.285	69.9±6.0
バドミントン	5	55.6±9.6	2,432±0.492	33.9±7.4	2,119±0.464	57.6±8.8
フェンシング	4	64.0±9.4	2,305±0.255	35.7±3.9	2,087±0.348	53.8±11.1
ライフル射撃	7	60.9±10.0	1,943±0.432	26.7±5.0	1,805±0.475	55.5±15.4
体操	4	62.0±8.2	1,815±0.207	32.8±3.3	1,683±0.231	48.8±5.5
馬術	6	66.0±7.1	2,143±0.258	34.1±5.1	2,045±0.329	65.2±13.4
マラソン	1	91.0	3,900	70.5	3,506	119.3
女子						
バドミントン	4	61.8±4.1	1,908±0.199	33.1±2.6	1,655±0.193	52.3±9.2
フェンシング	3	75.0±6.4	1,973±0.162	36.9±2.1	1,848±0.212	47.3±3.6
ライフル射撃	4	75.3±5.5	1,575±0.230	28.6±3.5	1,530±0.198	52.2±4.0
体操	5	60.6±9.0	1,016±0.254	24.4±4.0	0,794±0.226	22.3±7.4
卓球	1	59.0	1,580	30.8	1,162	30.6

ない。今回の測定では、あらかじめ被験者の能力を予測した上で、3種類の中から選定し負荷方法を決めている。しかし、ATと $\dot{V}O_2$ maxを同一テストで測定したこと、またダグラスバック法による1分間連続採気であったことなどが情報量の不足を招くことになったものと考えられる。今後の測定法上の課題として、特に持久性能力の低いと予測される被験者には、低負荷段階での情報を多くするような工夫が必要であることを上げておきたい。

表3は、ATに関連するパラメータの種目ごとの平均値と標準偏差を示したものである。また、図4はAT- $\dot{V}O_2$ /wtの種目ごとの平均値を比較したものである。前報<sup>8)</sup>で報告した中距離および長距離・マラソン選手それぞれ10名の平均値も同時に示した。

今回測定したマラソン選手1名のATは、これまで測定されたものの中でも、特に高い値のものであった。

ライフル・クレ-射撃および女子体操を除けば、 $\dot{V}O_2$ maxでみられた種目間の差がATではより少なくなっている傾向がみられる。

種目別の特徴としては、ATで男女ともにフェンシングが最も高い平均値を示しており、注目される。

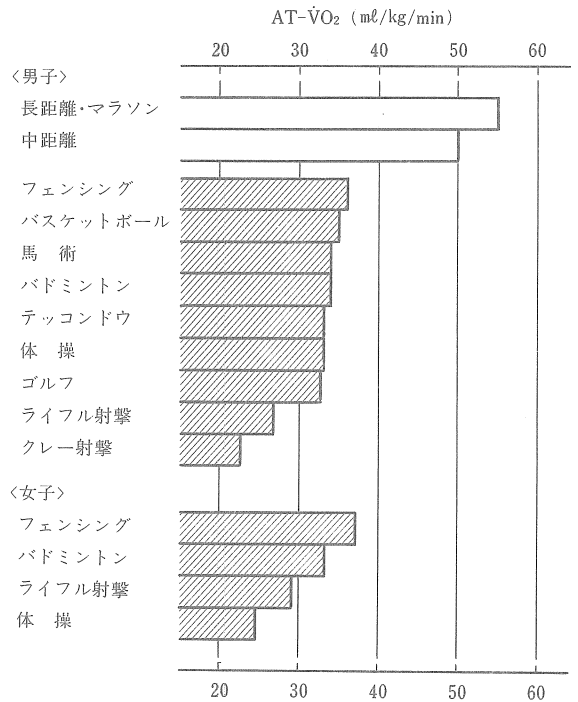


図4 ATの種目間の比較



表4 最大酸素摂取量及びATに関連する測定値の相関マトリクス (n=63)

	$\dot{V}O_2\max$	$\dot{V}O_2\max$ / wt	$\dot{V}E\max$	HRmax	AT% VO <sub>2</sub> max	AT- $\dot{V}O_2$	AT- $\dot{V}O_2$ / wt
$\dot{V}O_2\max$		.771 *	.876 *	.404 *	.179 ns	.858 *	.470 *
$\dot{V}O_2\max$ /wt			.649 *	.437 *	.096 ns	.701 *	.726 *
$\dot{V}E\max$				.515 *	.185 ns	.729 *	.371 *
HRmax					.065 ns	.407 *	.379 *
AT%						.334 *	.601 *
AT- $\dot{V}O_2$							.779 *
AT- $\dot{V}O_2$ /wt							

\* P<0.05

### (3) $\dot{V}O_2\max$ と AT

今回のアジア大会代表選手の測定例63名について、最大酸素摂取量、最大換気量、最大心拍数およびATの各項目間の相関マトリクスを示したのが表4である。ここで、 $\dot{V}O_2\max$ をはじめとする最大運動時の呼吸循環系反応を表すパラメータと、ATのように亜最大運動時のパラメータとの関係に注目してみる。

ATを% $\dot{V}O_2\max$ で表した場合、本尺度と呼吸循環系反応の最大値との間において、いずれのパラメータとも有意な相関関係がみられなかった。

一方、ATを $\dot{V}O_2$ あるいは体重当りの $\dot{V}O_2$ で表した場合には、呼吸循環系のいずれの最大値とも有意な相関関係が認められた。 $\dot{V}O_2\max$ とAT- $\dot{V}O_2$ の間では $r=0.858$  ( $P<0.01$ )、体重当りの $\dot{V}O_2\max$ とAT- $\dot{V}O_2$ /wtとの間で $r=0.726$  ( $P<0.01$ )で高い相関関係を認める。

先行研究においても $\dot{V}O_2\max$ とAT-% $\dot{V}O_2\max$ の間には相関関係がみられず、 $\dot{V}O_2\max$ とAT- $\dot{V}O_2$ との間で相関関係を認めている<sup>12)</sup>。本測定結果もこれを支持するものであった。したがって、亜最大運動からATを求め、有酸素的作業能( $\dot{V}O_2\max$ )を推定するには、ATを% $\dot{V}O_2\max$ で表現するよりも酸素摂取量で表現する方がより適していると考えられる。

次に、 $\dot{V}O_2\max$ とAT- $\dot{V}O_2$ /wtの関係について、種目ごとの平均値をプロットして比較してみた(図5)。また、図4と同様に、前報の中距離お

よび長距離・マラソン選手の値も同じようにプロットした。

今回測定したアジア大会代表選手63名のデータから求めた回帰直線から、外挿方で中・長距離・マラソン選手の値を推定するとすれば、実測値は回帰直線から隔たることになる。すなわち、同じAT値に対し $\dot{V}O_2\max$ は低く、換言すれば $\dot{V}O_2\max$ に比しATが高い傾向にあることになる。

このような $\dot{V}O_2\max$ とATとの回帰で隔たりが生ずる原因の一つに、すでに述べたとおり、ATと $\dot{V}O_2\max$ の生理的背景の異なることがあげられる。 $\dot{V}O_2\max$ が最大運動時の心臓・血管系機能を背景に決定されるのに対し、ATは亜最大運動時における筋中の呼吸酵素活性など代謝系機能に依存するものと考えられる<sup>9)</sup>。中・長距離・マラソンでは長時間の持久性トレーニングが主体となっている。今回測定されたスポーツ種目に比べ、代謝系への刺激ははるかに大きいことが予測され、よりAT向上へのトレーニング刺激が優っていたことが容易に想像できる。

今回の測定値から、直ちにその種目の有酸素的作業能の特性を言及できるわけではない。しかし、スポーツ種目によって心臓・血管系への刺激が中心となるものや、代謝系への刺激が優位になるものなど、それぞれ特性の違いのあることが示唆される。従来トレーニング刺激を推定する方法として、例えば心拍数を記録し、それから強度を推定する方法が行われている。いわば、循環系の反応

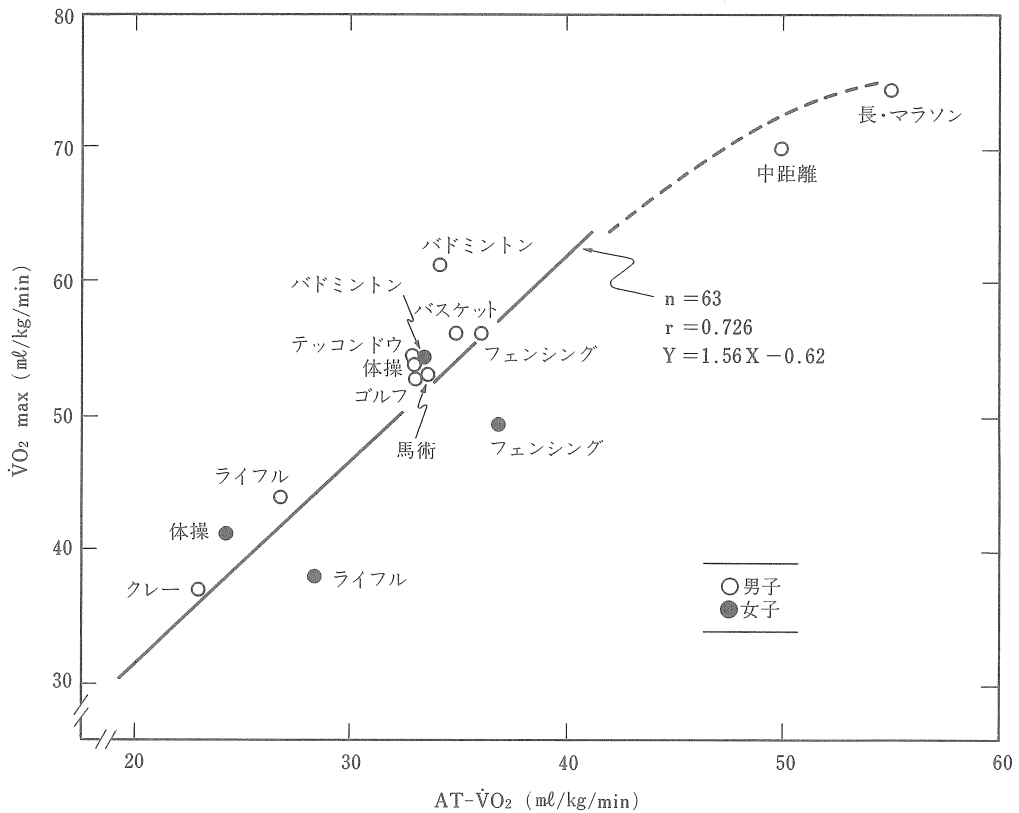


図5 A Tと最大酸素摂取量との関係

を手掛かりにした方法といえる。これに対し最近の報告に、Delamarche ら<sup>4)</sup>はハンドボールのゲーム中に血中乳酸の応答から、その強度を評価している。このように、今後ATを基準にした評価方法が加われば、その種目の持つ有酸素的作業能の特徴についてさらに詳細な情報が得られ、トレーニング処方への有用な資料を得ることが期待される。

### まとめ

1986年第10回アジア大会日本代表選手中63名について、トレッドミル走による $\dot{V}O_2\max$ およびATの測定を実施した。ATの判定は、ガス諸変量、特に $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の急速な上昇点を視覚的に判断して決定した。

スポーツ種目別の特徴を検討したところ、 $\dot{V}O_2\max$ ではバドミントンが、ATではフェンシング

が高い値を示し、注目された。

$\dot{V}O_2\max$ とAT-% $\dot{V}O_2\max$ の間には有意な相関関係が認められなかった。 $\dot{V}O_2\max$ とAT- $\dot{V}O_2$  ( $r=0.858$ ) およびAT- $\dot{V}O_2/wt$  ( $r=0.726$ ) との間には有意な相関関係が認められた。

$\dot{V}O_2\max$ とATとの関係で、スポーツ種目による特性の違いが示唆され、今後の研究課題としたい。

### 文献

- 1) Allen, W.K., et al : Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. J. Appl. Physiol. 58 (4) : 1281-1284, 1985.
- 2) Bunc, V., et al : Comparison of the anaerobic threshold and mechanical efficiency of running in young and adult athletes. Int. J.

- Sports Med. 7 (3) : 156-160, 1986.
- 3) Davis, J.A. : Anaerobic threshold : review of the concept and directions for future research. Med. Sci. Sports, 17 : 6-18, 1985.
  - 4) Delamarche, P., et al : Extent of lactic anaerobic metabolism in handbollers Int. J. Sports Med. 8 (1) : 55-59, 1987.
  - 5) Farrell, P.A., et al Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med. Sci. Sports. 11 : 338-344, 1979.
  - 6) Hagberg, J.M. : Physiological implications of the lactate threshold. Int. J. Sports Med. 5 : 106-109, Suppl. 1984.
  - 7) Hurley, B.F., et al : Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. J. Appl. Physiol. 56 (5) : 1260-1264, 1984.
  - 8) 伊藤静夫ほか : 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—。日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1985.
  - 9) Kumagai, S., et al : Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. Eur. J. Appl. Physiol. 49 : 13-23, 1982.
  - 10) 黒田善雄ほか : 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—日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1977.
  - 11) Rhodes, E.C. and D.C. McKenzie : Predicting marathon time from anaerobic threshold measurements. Physician Sportsmed. 12 : 95-106, 1984.
  - 12) Weltman, A. and V.L. Katch : Relationship between the onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) and maximal oxygen uptake. J. Sports Med. 19 : 135-141, 1979.





