

昭和58年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X スポーツ選手のATに関する研究

—トレッドミル速度漸増法によるAT, TDMA—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和58年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X スポーツ選手の AT に関する研究

—トレッドミル速度漸増法による AT, TDMA—

報告者 財) 日本体育協会 スポーツ科学研究所

塚 越 克 己 黒 田 善 雄 雨 宮 輝 也

伊 藤 静 夫 金 子 敬 二

1. 研究の目的

近年 AT (Aerobic Threshold), AnT (Anaerobic Threshold)あるいは TDMA (Threshold of Decompensated Metabolic Acidosis) に関する報告が数多く見られるようになったが、これら AT に関するデータは、従来の $\dot{V}O_2\max$ のデータに加えて、持久性の評価やそのトレーニング処方に関して、より有効なデータを求めて測定されるようになったといえるであろう。

われわれの研究所は、スポーツ選手の求めに応じて彼等の体力測定を行っているが、その一環としてトレッドミル速度漸増法による $\dot{V}O_2\max$ の測定も行なっている。このトレッドミル速度漸増法による $\dot{V}O_2\max$ の測定は、合せて AT に関するデータも得る目的のプロトコルで行われていたわけではないが、昭和 58 年度に測定した一部に、 $\dot{V}O_2\max$ 発現時の呼気ガスだけでなく、速度漸増法における各段階負荷時の呼気ガスも採集した例があるので、このデータをもとに、AT と TDMA を求める検討を試みた。そしてこの検討は、トレッドミル速度漸増法による $\dot{V}O_2\max$ の測定と同時に、AT に関するデータを得る測定法に関しての参考知見が得られるのではないかと考えた。

2. 研究の方法

1) 運動負荷法と呼気ガスの採集法

本研究において被験者に荷した運動は、最終的には $\dot{V}O_2\max$ を得る目的で荷した負荷で、以下に記すトレッドミル走の速度漸増負荷であり、またその際の呼気ガスの採集方法であった。

トレッドミルの傾斜：登り勾配 5 度 (表 2) あるいは 3 度 (表 1)

走速度：スタートより 2 分間は 120 m/min で、以下 2 分ごとに 20 m/min づつ階段状に速度を漸増させオール・アウトに至らせた。

呼気ガスの採集方法：被験者が一定速度で走っているのは 2 分間であるが、この 2 分間の後半 1 分間をダグラス・バッグ法により採集した。なお、ガス素性の分析は、ショランダーにて校正したウェストロン社製の呼気分析用質量分析計によった。

2) AT 及び TDMA の決定方法

図 1 に AT 及び TDMA の決定方法を示した。すなわち AT, TDMA いずれについても統計的に算出した。AT については、各負荷について得られた $\dot{V}E(ETPS) - \% \dot{V}O_2\max$ のプロットにつき、TDMA については $TDMA(\dot{V}E/\dot{V}CO_2) - \% \dot{V}O_2\max$ のプロットつき、最小 2 乗法で得られる 2 直線の交点として求めた。具体的には、求める交点が X 座標上 65~95% $\dot{V}O_2\max$ の間にありであろうと予想し、その間を 10 区分 (計算を 10 回くり返す) して、最も相関の高い 2 直線式を得る

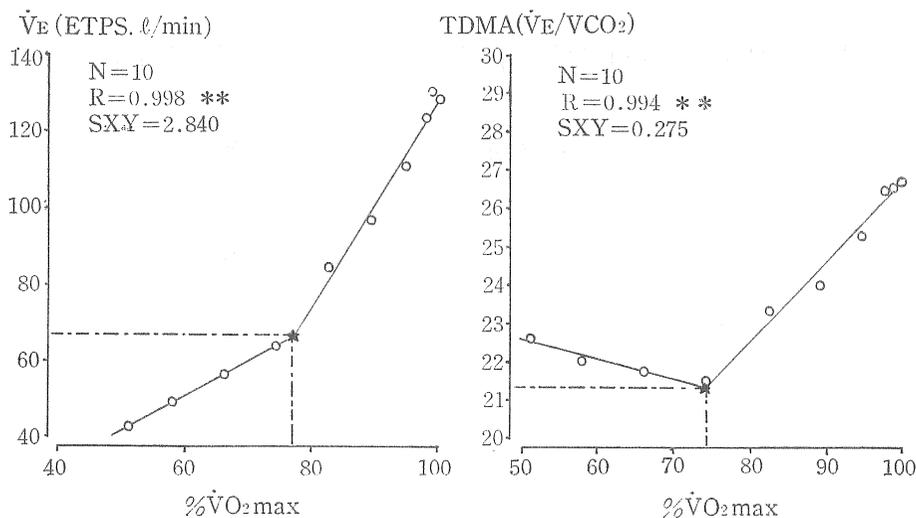


図1 AT及びTDMAの決定方法

プログラムを作り、コンピュータにて算出した。なお、プロットが7個に満たない例や、座標上のプロットの配置からしてATあるいはTDMAの決定が疑問視されるような例は除外した。

3. 結果と考察

1) トレーニングを開始した1被験者のAT及びTDMAの推移

過去に別府マラソンに優勝した経験を持つ被験者(男, 昭和11年9月11日生)が, 長期間実施していなかった持久走トレーニングを再び開始するので, 追跡的に $\dot{V}O_2\max$ 等を測定してほしいと, われわれの研究所を訪れた。

同被験者の要望に答え, 昭和58年1月24日にトレーニング開始前の測定を行ってより, 同年9月22日までに6回の測定を行っているので, この間の $\dot{V}O_2\max$ の推移とともに, AT及びTDMAの推移を検討した。

追跡的に測定した6回の $\dot{V}O_2\max$, ATならびにTDMAに関するデータを表1に示した。また, $\dot{V}O_2\max/W$, $AT \cdot \dot{V}O_2/W$, $TDMA \cdot \dot{V}O_2/W$ の推移を図2に示した。

まず $\dot{V}O_2\max/W$ の推移を観察すると, トレーニング開始後2カ月までは42.09から51.64 (22.7%増), 54.47% (29.4%増) ml/kg/minと急上昇し, 以後はゆるやかな上昇で, トレーニング開

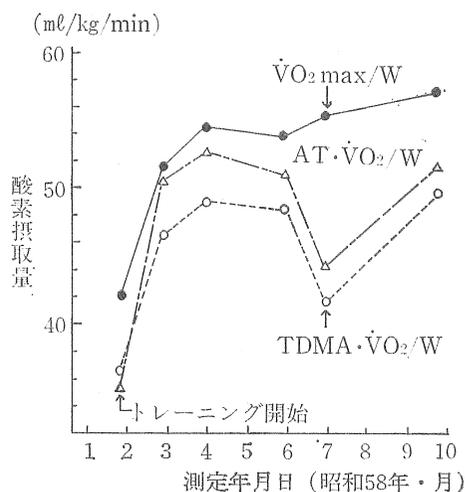


図2 1被験者の $\dot{V}O_2\max/W$, $TDMA \cdot \dot{V}O_2/W$, $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ の推移

始後5カ月の9月22日の測定値は57.03 (35.4%増) ml/kg/minであった。このような $\dot{V}O_2\max$ の推移に伴うAT及びTDMAの $\dot{V}O_2/W$ の推移は, 図2に見る通り, 5月27日の測定までは $\dot{V}O_2\max/W$ の推移にほぼ平行しているが, 6月28日の測定値は $\dot{V}O_2\max/W$ とは逆に下降し, 9月22日の値は再び上昇するといった推移であった。

ATの $\dot{V}O_2/W$, TDMAの $\dot{V}O_2/W$ は, いずれも研究の方法に記す通り $\% \dot{V}O_2\max$ を根拠に求めた値であるので, 両者の $\% \dot{V}O_2\max$ の推移

表1 トレーニングを開始した1被験者の追跡的測定結果— $\dot{V}O_2\max$, TDMA, AT—

測定年月日 昭・年・月・日	体重 kg	最大酸素摂取量			TDMA			AT			
		t/min	ml/kg/min	$\dot{V}E$ /min	$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$	% $\dot{V}O_2\max$	t/min	ml/kg/min	$\dot{V}E$ (l/min)	% $\dot{V}O_2\max$	$\dot{V}O_2$ (l/min)
*58. 1. 24	62.2	2,618	42.09	30.9	87.0	2,278	36.62	71.15	84.0	2,200	35.37
2. 28	62.1	3,207	51.64	29.5	90.0	2,886	46.47	96.64	98.2	3,150	50.72
3. 31	60.8	3,312	54.47	29.3	90.0	2,981	49.03	96.46	96.6	3,200	52.63
5. 27	59.9	3,221	53.77	29.3	90.0	2,899	48.40	92.50	94.7	3,050	50.92
6. 28	60.0	3,327	55.45	28.6	75.0	2,495	41.58	75.69	79.7	2,650	44.17
9. 22	59.3	3,382	57.03	27.5	87.0	2,942	49.61	88.70	90.2	3,050	51.43

* トレーニング開始前, 被験者: 男, 昭和11年9月11日生 (大学時代陸上競技・長距離選手)

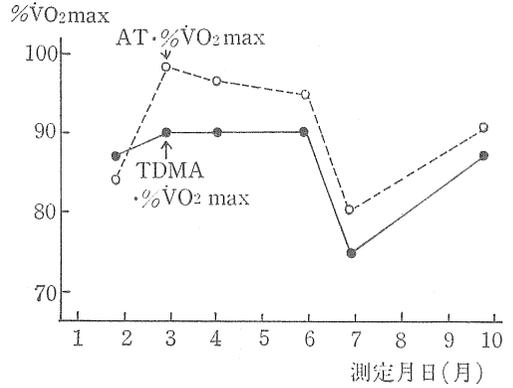


図3 AT・% $\dot{V}O_2\max$ 及び TDMA・% $\dot{V}O_2\max$ の推移

を観察すると、図3に示す通り、AT、TDMA いずれの % $\dot{V}O_2\max$ ともに6月28日の値は低かった。更に、ATの % $\dot{V}O_2\max$ は $\dot{V}E$ との関係で、またTDMAの % $\dot{V}O_2\max$ は $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ との関係で統計的に求めた値であるので、それぞれに $\pm 1Sxy$ を添えて両者の推移を観察すると、図4に示す通りであった。ATの $\dot{V}E$ については、2月28日の値と3月31日の値との間には有意差が認められないが、他の測定値間にはいずれも有意差が認められる。TDMAの $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ については、2月28日から5月27日の間の値間には有意差が認められないが、1月24日、2月28日、6月28日、9月22日の値を見れば、順次有意に低下していっ

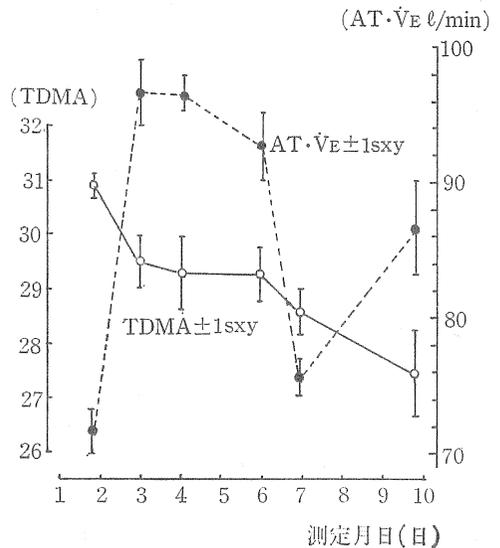


図4 TDMA ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) と AT ($\dot{V}E$) の推移

たといえそうである。

更に AT, TDMA を算出する根拠となっている $\dot{V}E-\dot{V}O_2$ のプロット, ならびに $\dot{V}E/\dot{V}CO_2-\% \dot{V}O_2\max$ のプロットを観察すると, 図 5 及び図 6 の通りであった。

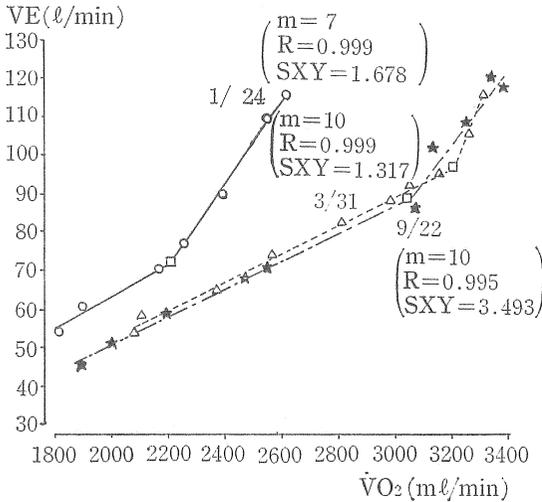


図 5 $\dot{V}E-\dot{V}O_2$ プロットの変化

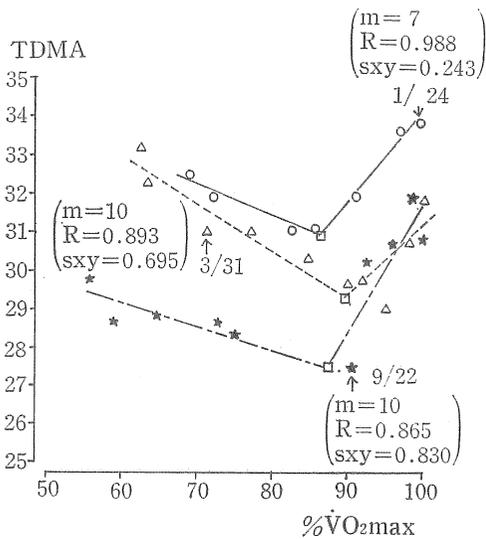


図 6 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2-\% \dot{V}O_2\max$ プロットの変化

図 5 及び図 6 は, プロットが煩雑になるので 1 月 24 日, 3 月 31 日, 9 月 22 日の 3 回だけを抽出したプロットであるが, AT の $\dot{V}E-\dot{V}O_2$ プロットは, トレーニング開始後, 右方, すなわち単位 $\dot{V}O_2$ 当りの $\dot{V}E$ が少なくなる方向に移動し, オール・アウトに向って $\dot{V}E$ が急上昇する点 (2 直

線の交点) が上方に移動することが観察される。なお, 6 月 28 日の AT が途中下降しているが, この時の $\dot{V}E-\dot{V}O_2$ プロットを観察すると, オール・アウト直前の $\dot{V}E$ の急上昇が見られず, 低負荷時からオール・アウト時まで, プロットはほぼ直線状になり, 明確な折点が観察されないにもかかわらず, 統計的に交点を算出した結果と考えられる。一方, TDMA の $\dot{V}E/\dot{V}CO_2-\% \dot{V}O_2\max$ のプロットは, 図 6 に示す通りプロット全体が下方に移動する傾向を示し, 交点は Y 軸に添って順次下降する傾向が見られるが, その X 座標は 85% $\dot{V}O_2\max$ 前後で大きな変化は見られない。AT と同様に TDMA も 6 月 28 日の値が途中低下するかたちになっているが, この時のプロットを観察すると, プロットの状態そのものは他の測定と大差ないが, 統計的に求めた交点 ($X=75.0, Y=28.6$) と, 実測におけるプロットの最下点 ($X=86.1, Y=29.2$) との間に大きな差が認められ, これも統計値が生みだした結果と考えられる。すなわち, われわれが本研究で採用した統計的な AT 及び TDMA の決定方法には, 思わぬ結果を作り出してしまふ危険性があると考えられた。

2) 陸上競技選手の AT 及び TDMA

われわれの研究所には, $\dot{V}O_2\max$ の測定を受に来る陸上競技の中・長距離選手が少なくありません。昭和 58 年中に, 前記の方法で測定した陸上競技中・長距離選手の例が 42 例あり, 彼等の $\dot{V}O_2\max$ を見ると 59.18~76.00 ml/kg/min の幅があり, また 5,000m の競技成績 (ベストタイム) も 17 分 37 秒から 14 分 16 秒 5 までの幅があるので, $\dot{V}O_2\max$ 別にみた AT 及び TDMA, そして AT 及び TDMA と競技成績との関係を検討した。

表 2 に陸上競技中・長距離選手 42 例の $\dot{V}O_2\max$, AT, TDMA ならびに ベスト・タイムの平均, SD, Min, Max を示した。この測定し得た選手 42 例の $\dot{V}O_2\max/W$ の度数分布をみると, ① 58~59.9 ml/kg/min : 1 人, ② 60~61.9 : 1 人, ③ 62~63.9 : 6 人, ④ 64~65.9 : 6 人, ⑤ 66~67.9 : 2 人, ⑥ 68~69.9 : 13 人, ⑦ 70~71.9 : 4 人, ⑧ 72~73.9 : 5 人, ⑨ 74~75.9 : 3 人, ⑩ 76~77.9 : 1 人であった。そしてこの 42 例を

の10区分ごとのAT及びTDMAに関するデータを観察したわけであるが、はじめに図8に示す $\dot{V}O_{2max}/W$ 10区分の $AT \cdot \dot{V}O_2$ 及び $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ を見ると、 $AT \cdot \dot{V}O_2$ だけではなく $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ についても図7に見られるような一定傾向は見られなくなり、わずかに70 ml/kg/minと74 ml/kg/minの2群が他の群より $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ が高く、74 ml/kg/minと76 ml/kg/minの2群が他の群より $AT \cdot \dot{V}O_2$ が高いのが注目される程度であった。

次に図9の $\dot{V}O_{2max}/W$ 10区分ごとのTDMA $\cdot \dot{V}O_2$ ならびにTDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$ を見ると、ATに

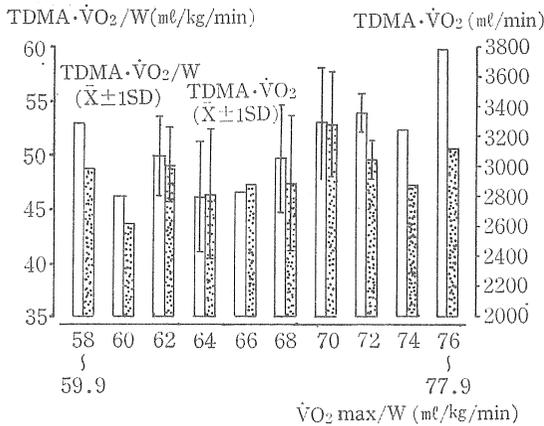


図9 $\dot{V}O_{2max}/W$ 区分ごとのTDMA $\cdot \dot{V}O_2$ とTDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$

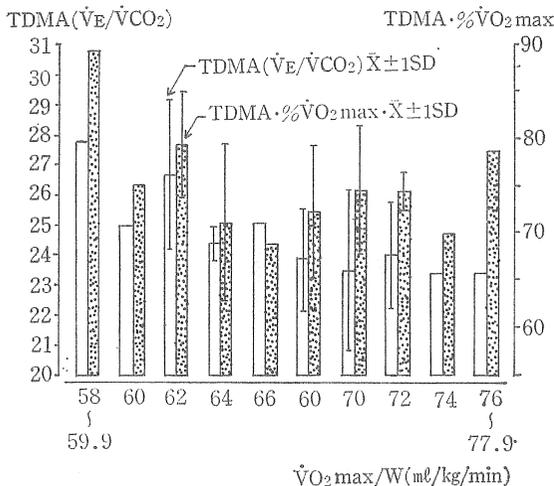


図10 $\dot{V}O_{2max}/W$ 区分ごとのTDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)とTDMA $\cdot \% \dot{V}O_{2max}$

ついでと同様、明らかな傾向は見られず、わずかにTDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$ につき、60 ml/kg/min 台の群より70 ml/kg/min 台の群の方が高い傾向が見られる程度であった。そこでこのような結果を導き出した前段階のデータ、TDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)ならびにTDMA $\cdot \% \dot{V}O_{2max}$ を見てみると、図10に示す通り、TDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)は、58 ml/kg/minと62 ml/kg/minの2群をのぞくと他の群間には大きな差は見られないが、わずかに $\dot{V}O_{2max}/W$ が大きいほどTDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)が小さくなる傾向があるようにも思える。TDMA $\cdot \% \dot{V}O_{2max}$ については、62 ml/kg/min 以下の群をのぞくと、他の群間には一定の傾向が見られない。全体としては、 $\dot{V}O_{2max}/W$ の小さい方が $\% \dot{V}O_{2max}$ が大きい傾向が関係して図9の結果が得られたものと考えられる。図には示さなかったが $AT \cdot \dot{V}O_{2max}$ についても、TDMA $\cdot \dot{V}O_{2max}$ と同様、全体として $\dot{V}O_{2max}/W$ の小さい方が大きい $AT \cdot \% \dot{V}O_{2max}$ を示す傾向が伺われるので、図8に示す結果が得られたものと考えられる。

以上の結果を更に検討する意図で、 $\dot{V}O_{2max}$ 、AT、TDMA 三者間の相関マトリックスを算出し、その結果を表3に示した。

図8～図9の横軸である $\dot{V}O_{2max}/W$ と、AT \cdot 及びTDMAとの相関に注目すると、 $AT \cdot \% \dot{V}O_{2max}$ 、 $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ 、TDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)、TDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$ の4項目につき $\dot{V}O_{2max}/W$ との間に有意な相関が認められ、 $AT \cdot \% \dot{V}O_{2max}$ とTDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)の2項目は負の相関で、 $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ とTDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$ の2項目は正の相関であった。従って、 $\dot{V}O_{2max}/W$ が大なるほど $AT \cdot \dot{V}O_{2max}$ 及びTDMA($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)は小なる傾向があるものの、 $AT \cdot \dot{V}O_2/W$ 及びTDMA $\cdot \dot{V}O_2/W$ と $\dot{V}O_{2max}/W$ との間に正の相関がなく、なるほどの強い傾向ではなかったといえる。

以上のような特徴を持つ本研究のAT及びTDMA関係のデータ、ならびに $\dot{V}O_{2max}$ とが被験者の競技成績との間に、どのように関係が見られるか、両者の相関係数を算出した。結果は表4に示す通りであるが、競技成績は被験者の自己申告にて得た1,500m, 5,000m, 1万m, 20km, マラソンのベスト・タイムである。

表5 競技成績間の相関マトリックス

	1,500m	5,000m	10km	20km	マラソン
1,500m	1 (24) 0.8264				
5,000m	*** (19) 0.8637	1 (35) 0.9268			
10km	*** (13) 0.8695	*** (21) 0.9284	1 (21) 0.9570		
20km	*** (11) 0.5825	*** (15) 0.6730	*** (9) 0.7855	1 (16) 0.8315	
マラソン	(9)	* (13)	* (9)	* (7)	1 (14)

表4に示す通り、 $\dot{V}O_2\max$ と競技成績との相関は、マラソンの記録との間には有意な相関が見られなかったものの、1,500m~20kmの記録の間には有意な相関が見られ、 $\dot{V}O_2\max/W$ との相関は1,500mから20kmに向って高くなり、 $\dot{V}O_2\max$ との相関は1,500mの方が高い相関を示した。しかしATとの相関は、 $\% \dot{V}O_2\max$ の項目にわずかな相関が認められたものの、図8の結果に付合する相関で、記録の良い者ほど $\% \dot{V}O_2\max$ が低い傾向を示唆する相関である。また、TDMAについてもわずかに $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 及び $\dot{V}O_2/W$ と5,000mの記録との間に有意な相関が認められただけであった。なお、1,500mからマラソンまでの各記録間の相関をみると、表5に示す通り1,500m~20kmの間は互に高い相関を示し、マラソンとの相関は5,000m、1万m、20kmと距離が長くなるにつれて高い相関を示した。

跡見ら¹⁾は、TDMAと陸上競技中・長距離走の記録との間に極めて高い相関があったことを報告しているが、本研究では $\dot{V}O_2\max/W$ の間には高い相関が認められたものの、TDMAの間にはほとんど有意な相関が認められなかった。跡見らの報告しているTDMA・ $\% \dot{V}O_2\max$ と本研究におけるTDMA・ $\% \dot{V}O_2\max$ を比較すると、両者ともに75%前後で、両者の間に大きな差があるとは考えられない。しかし、AT・ $\% \dot{V}O_2\max$ につき、福永ら²⁾が報告している値と本研究の値とを比較すると、約10%本研究の方が高めである。福永らがATを求めた方法と本研究の方法との間にはいくつかの相違点があるが、そのひとつに、

福永らは十分な基礎データ(プロット)を根拠に算出しているのに比し、本研究は数少ない基礎データをもとに算出している相違点がある。加えて、本研究におけるAT及びTDMAの $\% \dot{V}O_2\max$ には、 $\dot{V}O_2\max/W$ が小なるほど大なる傾向があり、その背景として、 $\dot{V}O_2\max/W$ が小なる被験者ほど算出基礎データの少ないことが関係していると考えられる。

本研究のAT及びTDMAは、あらかじめ両者を求めることを意図したプロトコールで得たものではないが、結果的には、50% $\dot{V}O_2\max$ 前後から100% $\dot{V}O_2\max$ までの間の10個前後の基礎データをもとに算出したことになる。そして採用した算出方法が、本来直線的に変化でないものを2直線式に当てはめたところにも問題があると思うが、結果的には有効なAT及びTDMAに関するデータが得られなかった。

文 献

- 1) 跡見順子, 岩岡研典, 八田秀雄, 女子のスポーツ適性に関する研究—第2報— p. 45, 女子陸上競技選手の有酸素的エネルギーとその利用—第2報—男女中距離選手のAnaerobic Threshold(AT)—昭57. 日本体育協会スポーツ医科学研究報告, No. I
- 2) 福永哲夫, 他, No. 14 漕艇, III—漕艇選手の $\dot{V}O_2\max$ とAT. 昭58. 日本体育協会スポーツ医, 科学研究報告, No. II

昭和58年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学委員会

委員長	黒田 善雄 (東京大学教養学部)	委員	中嶋 寛之 (東京大学教養学部)
委員	東 俊郎 (順天堂大学附属病院)	〃	名取 礼二 (東京慈恵会医科大学)
〃	浅見 俊雄 (東京大学教養学部)	〃	鳴海 吾郎 (鳴海病院)
〃	井川 幸雄 (東京慈恵会医科大学)	〃	平木 隆三 (日本サッカー協会)
〃	石河 利寛 (順天堂大学体育学部)	〃	松井 秀治 (愛知県立大学)
〃	小野 三嗣 (東京学芸大学保健体育科)	〃	松田 岩男 (上越教育大学)
〃	桑野 豊 (筑波大学体育科学系)	〃	宮下 充正 (東京大学教育学部)
〃	高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院整形)	〃	村山 正博 (関東通信病院循環器内科)
〃	塚脇 伸作 (早稲田大学教育学部)	〃	山川 純 (日本女子体育大学)

財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所

研究員 塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 金子美智子
伊藤 静夫

昭和58年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究報告集

編集代表者 黒田 善雄
発行者 鈴木 祐一

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育館
TEL (03) 481-2240

