

# 島根大学女子運動選手の換気性作業閾値と最高酸素摂取量

大谷和寿・斎藤重徳

Kazutoshi OHTANI, Shigenori SAITO  
Ventilatory Threshold and Peak  $\dot{V}O_2$  of Female Athletes  
in Shimane University

## I. はじめに

換気性作業閾値（VT）や最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$  max）は全身持久性の優れた指標とされている。

運動強度が直線的に高まると、筋活動に必要なエネルギー全てを有酸素的に供給するには酸素摂取が不足するようになり、ピルビン酸から乳酸への移行を伴う無酸素的なエネルギー供給が動員され、乳酸の蓄積が始まる。この際、乳酸から遊離した水素イオンは重炭酸イオンにより緩衝され二酸化炭素が発生する。この時、酸素摂取量の増加が直線的であるのに対し、換気量や二酸化炭素の排出量が急激に増大する。この臨界的な運動強度がVTと呼ばれ、エアロビクスとアナロビクスの境界とされている。つまり、VTの値が高いということは、乳酸系のエネルギー供給が動員されない段階での、有酸素系のみによるエネルギー供給面からみた運動能力が高いことを意味している。

$\dot{V}O_2$  maxは酸素摂取量の最大値であり、酸素供給能力すなわち有酸素的エネルギー供給能力そのものである。最高酸素摂取量（peak  $\dot{V}O_2$ ）は、酸素摂取量にレベリングオフがみられること、心拍数が180拍/分以上、ガス交換比が1以上、の条件を満たせば $\dot{V}O_2$  maxとみなす事ができる。

ところで、異なるスポーツ種目の選手は種目特性に応じたトレーニングを実施しており、種目毎に特徴的な体力面が強化されていくと考えられる。

前報<sup>1)</sup>に於いて、島根大学男子運動選手を対象としてVTとpeak  $\dot{V}O_2$ を測定し、運動部間の比較を行い、全身持久能力について検討した。

その結果、peak  $\dot{V}O_2$ には有意差がみられないが、体重1kg当たりのpeak  $\dot{V}O_2$ （peak  $\dot{V}O_2$  / 体重）を比較すると陸上競技（中距離・長距離）部が最も大きく、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部とサッカー部が続き、水泳（短距離）部・バレーボール部・柔道部が小さい。

VT時 $\dot{V}O_2$ は陸上競技部・柔道部の上位グループと水泳（短距離）部・サッカー部・バレーボール部の下位グループに分かれるが、体重1kg当たりのVT時 $\dot{V}O_2$ （VT時 $\dot{V}O_2$  / 体重）は陸上競技（中距離・長距離）部>陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部>柔道部>サッカー部=水泳（短距離）部>バレーボール部の関係にある、等の知見を得た。

今回は、バレーボール部、バスケットボール部、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部、水泳（短距離）部の島根大学女子運動選手を対象としてVTとpeak  $\dot{V}O_2$ を測定し、全身持久能力面での種目特性と島根大学女子運動選手の現状を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は、18才～22才（平均±SD：19.4±0.92）の健康なる島根大学運動部所属女子学生60名である。運動部の内訳は、バレーボール部23名、バスケットボール部15名、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部10名、水泳（短距離）部12名である。

競技歴（1年未満は1年として切上げ回答）の平均は、全体で6.9年、バレーボール部9.3年、バスケットボール部8.3年、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部5.8年、水泳（短距離）部1.3年であった。水泳部は12名中9名が1年未満の経験であった。

身長は平均±SDは、全体が162.8±5.20cm、バレーボール部163.7±4.61cm、バスケットボール部164.2±4.34cm、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部161.1±6.56cm、水泳（短距離）部162.8±5.20cmである。

体重の平均±SDは、全体が57.0±6.37kg、バレーボール部58.9±6.02kg、バスケットボール部58.2±4.52kg、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）部55.3±8.56kg、水泳（短距離）部53.1±4.52kgである。

表1. 最高酸素摂取量に関連する項目の比較

運動部 項目		運動部員 全 n=60	バレーボール n=23	バスケット ボ ー ル n=15	陸上競技 短・跳・投 n=10	水 短 泳 n=12
peak VO <sub>2</sub> (ml/min)	平均	2177.3	2310.0	2249.1	2250.5	1772.1
	S D	390.77	265.78	393.38	452.30	235.20
	最大	3149	2854	2887	3149	2273
	最小	1241	1870	1241	1542	1441
peak VO <sub>2</sub> /体重 (ml/min /kg)	平均	38.2	39.5	38.7	40.6	33.4
	S D	5.35	3.71	6.72	4.69	3.24
	最大	52.5	50.0	52.5	46.1	39.2
	最小	20.7	33.0	20.7	32.8	27.4
peak VO <sub>2</sub> 時の 心拍数 (beats /min)	平均	176.0	174.9	173.7	182.2	175.6
	S D	8.04	7.95	6.03	7.56	8.27
	最大	194	186	183	194	194
	最小	157	157	160	171	160

表2. 換気性作業閾値に関する項目の比較

運動部 項目		運動部員 全 n=60	バレーボール n=23	バスケット ボ ー ル n=15	陸上競技 短・跳・投 n=10	水 短 泳 n=12
VT時の VO <sub>2</sub> (ml/min)	平均	1117.3	1157.7	1157.8	1156.9	956.3
	S D	238.39	177.80	242.03	338.32	150.14
	最大	2073	1675	1659	2073	1185
	最小	607	869	739	745	607
VT時の VO <sub>2</sub> /体重 (ml/min /kg)	平均	19.5	19.8	19.6	20.7	18.0
	S D	3.32	3.16	3.33	3.74	2.68
	最大	26.9	26.2	26.0	26.9	23.2
	最小	12.3	14.9	12.3	15.3	12.4
VT時の 心拍数 (beats /min)	平均	126.7	124.3	123.4	138.1	125.8
	S D	13.17	13.60	12.62	11.55	8.25
	最大	160	153	149	160	142
	最小	101	101	107	121	115

## 2. 測定期間

1992年11月から1994年12月の間であった。

## 3. 測定方法

各被験者に対して、自転車エルゴメーター（ミナト医科学社製エルゴメーター-232C）による漸増運動負荷試験を課し、運動中の肺換気動態を観察してVTを決定した。さらに、peak  $\dot{V}O_2$  を測定するために被験者がall-outに至るまで漸増運動負荷試験を継続した。

被験者はマスクを装着し、一呼吸毎（breath by breath）に得られるガス濃度変化をミナト医科学社製エアロモニターAE-280Sシリーズにより分析した。AT解析ソフトの使用に当たって、データ移動平均数は10とした。

無線式心電計（日本電気三栄社製）を用いて運動中の心電図を記録し、心拍数を測定した。この情報も同時にAT解析ソフトのデータ項目として組み込まれた。

測定が長期間に亘るので、外気温差の影響を避けるため、測定時の室温は24.5°C~25.5°Cの範囲に保った。

自転車のサドル高、ハンドルの位置は被験者の体格に合わせて調節し、ペダル回転数は50rpm程度を保つよう指示した。

負荷が直線的に増加するランプ負荷法を用い被験者をall-outに追い込んだ。all-outの決定は、被験者のペダル回転数が50rpmを保てなくなる時点、あるいは、モニター画面により $\dot{V}O_2$  maxの条件が満たされたと判断した時点とした。

## 4. VTの判定

## 1). V-slope method

2). 炭酸ガスの換気当量 ( $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ) が不変で酸素の換気当量 ( $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ) が急上昇を始める点

3). 酸素摂取量に対する換気量の非直線的な上昇

4). 酸素摂取量に対する炭酸ガス排泄量の非直線的な上昇

5). 呼気終末炭酸ガス濃度の低下を伴わない呼気終末酸素濃度の上昇

6). ガス交換比 (R) が急上昇を始める点

以上の指標を総合的に判断して行った。

## 5. 測定データの集計

データの集計に当たって、運動部間の差の検定は一元配置分散分析によって行った。但し、パートレット法により各群の分散が均一でないと判定された場合はクラスカル・ウォリス検定によった。平均値間の多重比較にはチューキーの検定を用いた。

## Ⅲ. 結 果

各項目平均値の運動部間比較を行った。

1. 身長、体重の形態面を比較すると、身長はバスケットボール部>バレーボール部>水泳部>陸上競技部の関係であり、体重はバレーボール部>バスケットボール部>陸上競技部>水泳部の関係であった。

表3. 肺活量の比較

運動部 項目		運動部員 全 n=60	バレーボール n=23	バスケット ボール n=15	陸上競技 短・跳・投 n=10	水 泳 短 n=12
肺 活 量  (ml)	平均	3633.0	3712.6	3483.3	3171.0	4052.5
	S D	581.59	519.54	390.33	331.89	707.08
	最大	5430	5060	4120	3610	5430
	最小	2320	2880	2720	2320	2910

身長には運動部間に有意差が認められないが、体重は5%水準の危険率で有意差がみられた。

2. 最高酸素摂取量 (peak  $\dot{V}O_2$ ) に関連する項目

最高酸素摂取量に関連する項目では、peak  $\dot{V}O_2$  がバレーボール部>陸上競技部=バスケットボール部>水泳部の関係であり、peak  $\dot{V}O_2$  /体重が陸上競技部>バレーボール部>バスケットボール部>水泳部の関係であった

peak  $\dot{V}O_2$  とpeak  $\dot{V}O_2$  /体重のいずれにも0.1%水準の危険率で運動部間に有意差が認められた。

平均値間の多重比較では、peak  $\dot{V}O_2$  , peak  $\dot{V}O_2$  /体重ともに、他の3運動部に比べ水泳部が有意に少ない結果となっている。(図1参照)

peak  $\dot{V}O_2$  時 (all-out時) 心拍数は、陸上競技部が182拍/分と高く、他は170拍/分台であるが、運動部間に有意差は認められない。

3. 換気性作業閾値 (VT) に関する項目

換気性作業閾値に関する項目をみると、VT時  $\dot{V}O_2$  は、バスケットボール部=バレーボール部=陸上競技部>水泳部の関係にあり、運動部間に有意差が認められる。

VT時  $\dot{V}O_2$  /体重は、陸上競技部>バスケットボール部=バレーボール部>水泳部の関係であるが、運動部間に有意差は認められない。(図2参照)

VT時心拍数は陸上競技部が138拍/分と高く、他は120拍/分台である。運動部間に有意差が認められ、平

均値間の多重比較では、陸上競技部に比べバレーボール部とバスケットボール部が有意に低い。(図3参照)

4. 肺活量

肺活量は、水泳部>バレーボール部>バスケットボール部>陸上競技部の関係にあり、運動部間に有意差が認められる。

平均値間の多重比較では、水泳部がバスケットボール部や陸上競技部より有意に多く、バレーボール部も陸上競技部より有意に多い。

IV. 考 察

1. 身長, 体重

運動部間比較を見ると、身長、体重ともにバレーボール部とバスケットボール部が大きく、陸上競技部と水泳部が小さい傾向がみられる。これらを一般女性 (19~20才: 身長158cm, 体重51kg台, 日本人の体力標準値<sup>2)</sup>より抜粋) と比較するとどの運動部も値が大きい。

身長と体重からローレル指数 (身長を一辺とした立方体と体重の比から人体の密度、ひいては太っているか痩せているかをあらわす尺度とされている) を求めると、平均±SDは、バレーボール部が134.1±10.7, バスケットボール部が131.7±10.0, 陸上競技部が132.5±20.7, 水泳部が127.3±8.4となる。運動部間に統計的な有意差は認められない。一般女性 (19才: 131.1, 20才: 129.6,

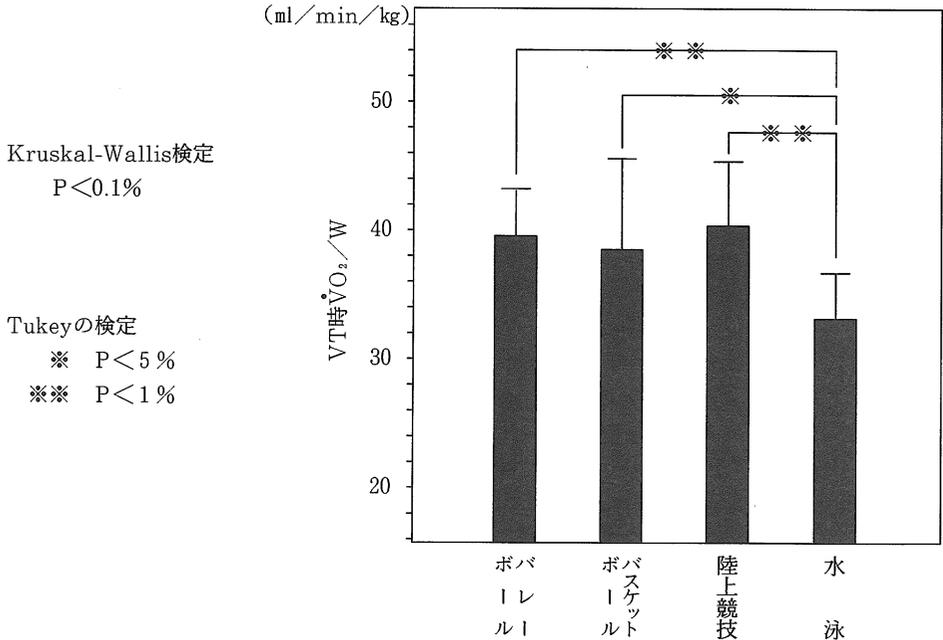


図1. peak  $\dot{V}O_2$  / 体重

Kruskal-Wallis検定  
P < 0.1%

Tukeyの検定  
\* P < 5%  
\*\* P < 1%

日本人の体力標準値<sup>3)</sup>より抜粋)と比較して、さほど差はない。

この研究の対象とした島根大学女子運動選手は、身長、体重の形態面では同年齢層の一般女性より勝っている。身長と体重より算出したローレル指数からみた体型は、一般女性と変わらない。

2. 最高酸素摂取量 (peak  $\dot{V}O_2$ ) に関連する項目

all-out時心拍数が180拍/分以上であることが、 $\dot{V}O_2$ を最大酸素摂取量と判定するための条件とされている。

今回のランプ負荷による測定で被験者をどの程度まで追い込めたかを判断する指標として心拍数をとらえ、前報<sup>1)</sup>と同様に区分した。(図4参照)

心拍数180拍/分以上の者は19名で、peak  $\dot{V}O_2$ が2350.4±431.55ml/min, peak  $\dot{V}O_2$ /体重が41.0±5.59 ml/min/kgであった。

175~179拍/分の者は20名で、peak  $\dot{V}O_2$ が2091.4±408.68ml/min, peak  $\dot{V}O_2$ /体重が37.2±5.68 ml/min/kgであった。

175拍/分未満の者は21名で、peak  $\dot{V}O_2$ が2102.5±262.65ml/min, peak  $\dot{V}O_2$ /体重が36.8±3.54 ml/min/kgであった。

一元配置分散分析によるグループ間の差の検定では、peak  $\dot{V}O_2$ には有意差がみられないが、peak  $\dot{V}O_2$ /体重には5%水準の危険率で有意差が認められた。

peak  $\dot{V}O_2$ /体重についての平均値間多重比較では、180拍/分以上のグループが175拍/分未満のグループより有意に多い。

前報<sup>1)</sup>でも触れたように、自転車のペダリングは脚にかかる負担が大きく、ランプ負荷による直線的な負荷の増加に脚筋力がついてゆけないために、呼吸循環機能が疲労困憊に至る前に運動を中止せざるを得なかった被験者が多く含まれていたと思われる。このことが原因で、all-out時心拍数が少ない者はpeak  $\dot{V}O_2$ が低い結果となったと推測される。

運動部間の比較では、peak  $\dot{V}O_2$ , peak  $\dot{V}O_2$ /体重ともに他の運動部に比べ水泳部が有意に低い。また、all-out時心拍数に関しては運動部間に有意差は見られない。運動時心拍数に大きな違いがみられないのに、酸素摂取量に有意差がみられることより、水泳部は全身持久的能力に劣ると判断される。

all-out時心拍数は陸上競技部の平均値のみが180拍/分以上であり、peak  $\dot{V}O_2$ /体重も大きい。陸上競技部(短距離・跳躍・投てき)のトレーニングが、自転車ペダリングの直線的な負荷上昇に耐えうる脚筋を作り出しているとも考えられる。

各運動部の最高酸素摂取量を日本人の体力標準値<sup>4)</sup>から抜粋した $\dot{V}O_2$  max (19才: 1.97 l/min, 20才: 1.93 l/min) および $\dot{V}O_2$  max/体重 (19才: 36.8 ml/min/kg, 20才: 36.4 ml/min/kg)と比較すると、

一元配置分散分析  
有意差なし

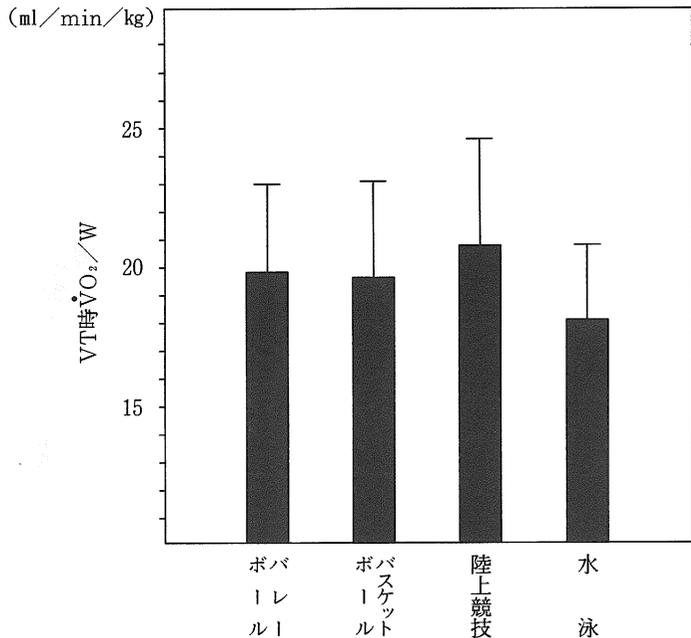


図2. VT時 $\dot{V}O_2$ /体重

all-out時心拍数からみてこの実験の被験者は最大酸素摂取量に至っていない者が多いと思われるにもかかわらず、バスケットボール部、バレーボール部、陸上競技部は一般女性より値が大きく、能力的に勝っていると考えられる。水泳部は値が小さいが、一般女性より劣るかど

うかの判定は、all-out時心拍数の関係からみて、困難である。

3. 換気性作業閾値 (VT) に関する項目

VT時 $\dot{V}O_2$ は、バスケットボール部、バレーボール部、陸上競技部の3運動部間で1 ml/min以内の差であ

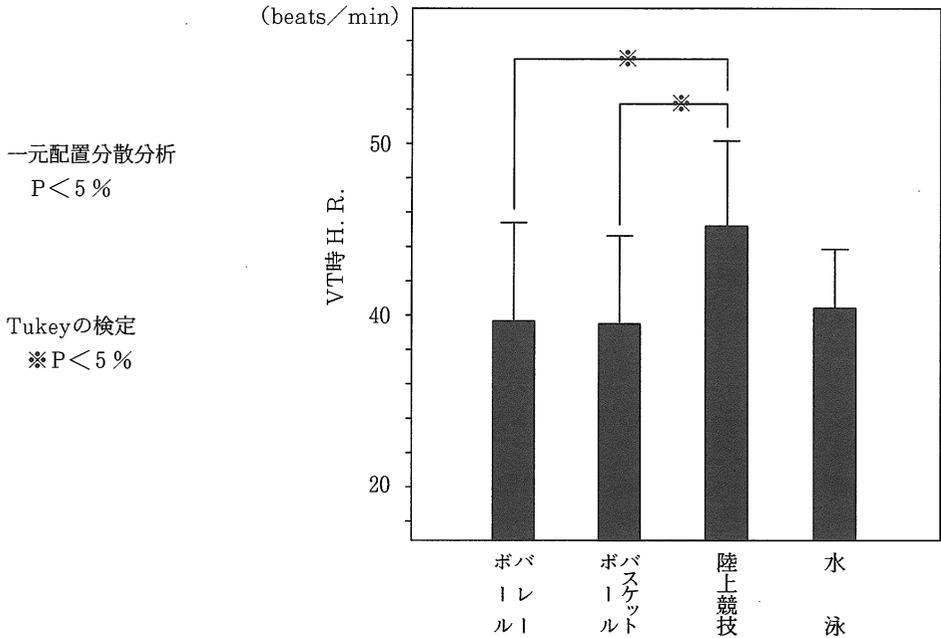


図3. VT時心拍数

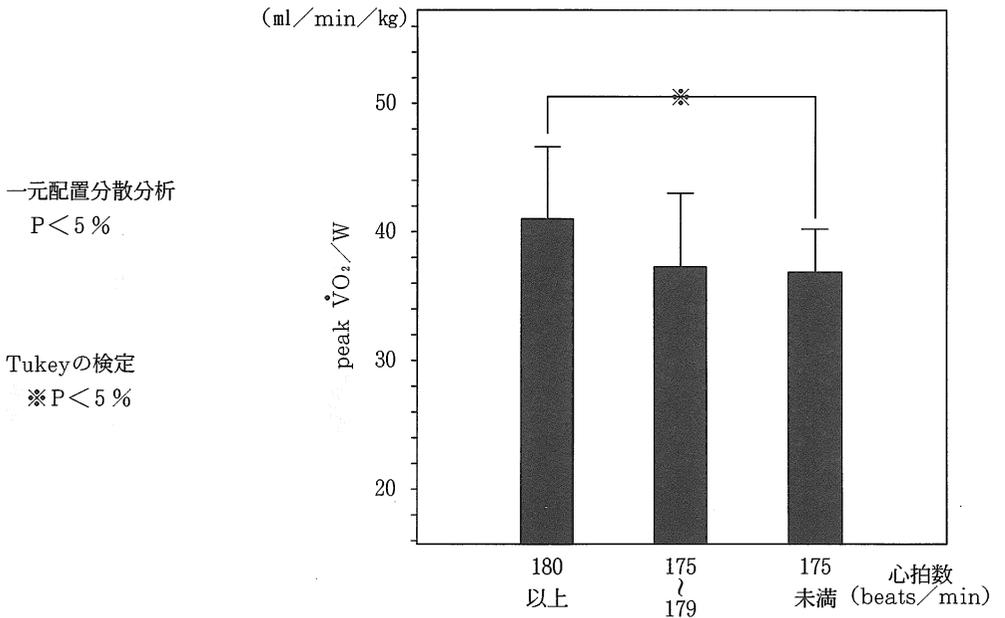


図4. 最高心拍数区分によるpeak  $\dot{V}O_2/W$

り、ほぼ等しい。水泳部のみがこれ等の部に比べ200ml/min余り少ない。

VT時 $\dot{V}O_2$ /体重をみても、水泳部が最も少ない。

水泳部は、対象とした運動部の中で際立って、有酸素運動能力に劣ると考えられる。

VT時心拍数は陸上競技部が高く、VT時 $\dot{V}O_2$ /体重も最も多い。VTが最大乳酸定常(max Lass)を与える運動強度を表すことを示唆する報告<sup>6)</sup>がある。他の運動部に比べ高い心拍数、大きな酸素摂取量で乳酸が増加しない状態を維持できることより、陸上競技部が4運動部の中では有酸素運動能力に優れているように思われる。

#### 4. 肺活量

肺活量は、肺における換気能力を表す肺機能検査の項目とされている。

運動部間の比較では、水泳部が他の運動部に比べ多く、バレーボール部が続き、陸上競技部が最も少ない。

4運動部の肺活量を一般女性の値(19才:2970ml, 20才:2990ml, 日本人の体力標準値<sup>6)</sup>より抜粋)と比較すると、どの運動部も一般女性より値が大きい。

### V. まとめ

本研究では、島根大学バレーボール部、バスケットボール部、陸上競技(短距離・跳躍・投てき)部、水泳(短距離)部の女子運動選手を対象としてVTとpeak $\dot{V}O_2$ を測定し、全身持久能力面での種目特性と島根大学女子運動選手の現状を明らかにすることを目的とした。

1. 身長、体重ともにバレーボール部とバスケットボール部が大きく、陸上競技部と水泳部が小さい傾向がみられる。

島根大学女子運動選手の身長、体重は同年齢層の一般女性より勝っている。身長と体重より算出したローレル指数からみた体型は、一般女性と変わらない。

2. peak $\dot{V}O_2$ 、peak $\dot{V}O_2$ /体重ともに他の運動部に比べ水泳部が有意に低く、全身持久的能力に劣ると判断される。

3. VT時 $\dot{V}O_2$ は、バスケットボール部、バレーボール部、陸上競技部に比べ、水泳部のみが200ml/min余り少ない。VT時 $\dot{V}O_2$ /体重をみても、水泳部が最も少なく、水泳部は有酸素運動能力に劣ると考えられる。

4. 肺活量は、水泳部が他の運動部に比べ多く、バレーボール部、バスケットボール部と続き、陸上競技部が最も少ない。

肺活量を一般女性と比較すると、どの運動部も一般女

性より値が大きい。

### VI. 引用文献

- 1) 大谷和寿・斎藤重徳：島根大学男子運動選手の換気性作業閾値と最高酸素摂取量，島根大学教育学部紀要(教育科学) 第28巻，pp.43-49，(1994)
- 2) 東京都立大学体育学研究室編：日本人の体力標準値 第4版，p.23&57，不昧堂出版，(1989)
- 3) 前掲書2)，p.292
- 4) 前掲書2)，p.239&p.242
- 5) 宮下充正・山本義春・田村真一・篠原稔・武藤芳照：換気性作業閾値が無酸素性作業閾値を与える，体育の科学 第39巻 第5号，pp397-404，(1989)
- 6) 前掲書2)，p.260