

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

大谷和寿*・斎藤重徳*

Kazutoshi OHTANI and Shigenori SAITO

Ventilatory Threshold and Peak $\dot{V}O_2$
of Male Athletes in Shimane University

I. はじめに

換気性作業閾値(VT)が最大乳酸定常(maxLass)を与える運動強度を表すことを示唆する報告¹⁾がある。

また、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、の条件を満たせば最大酸素摂取量($\dot{V}O_2$ max)とみなすことができる。

VTと $\dot{V}O_2$ maxのいずれも全身持久能力の優れた指標とされている。

ところで、異なるスポーツ種目の選手はそれぞれの種目に応じたトレーニングを長期間に亘り実施しており、トレーニング方法の相違が身体機能に影響して種目独自の体力特性を育成していると考えられる。

そこで本研究では、陸上競技(中距離・長距離)、陸上競技(短距離・跳躍・投てき)、サッカー、バレーボール、柔道、水泳(短距離)選手のVTおよびpeak $\dot{V}O_2$ を比較し、呼吸循環機能面からの種目特性を探ることと、島根大学運動部所属学生に関する基礎資料を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

本研究の被験者は、18~22才(平均±SD: 19.7±1.03)の健康なる運動部所属、島根大学男子学生91名である。内訳は、陸上競技(中距離・長距離)12名、陸上競技(短距離・跳躍・投てき)17名、サッカー19名、バレーボール14名、柔道11名、水泳(短距離)18名、であ

る。

運動部員の競技歴は全員の平均が6.5年であった。部別の平均は、陸上競技(中・長)5.8年、陸上競技(短・跳・投)5.0年、サッカー7.9年、バレーボール6.8年、柔道8.0年、水泳(短)5.6年であった。大部分の者は数年間の競技歴を有するが、陸上競技の短距離に競技歴6か月の者1名、水泳(短)に競技歴8か月の者3名が含まれていた。

被験者の身長と体重に関する資料は表1に示した。

2. 測定時期

1992年10月から1993年12月にかけて実施した。

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行い、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、ひと呼吸毎(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。

さらに無線式心電計(日本電気三栄社製)により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。ランプ負荷をかけ始める前の2分間は20ワッ

* 保健体育研究室

ト(W)の負荷でペダリングを行わせた。その後、1分間に25Wないし30Wの割合で、直線的に負荷が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、モニタ画面により検査者が $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の条件が満たされたと判断した時点とした。

4. VTの判定

VTの判定には種々の指標が示されている²⁾が、今回は、

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
- という指標を総合的に判断して行った。

VTの判定が困難な事例の場合は再測定した。

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判定された場合にはクラスカル・ワーリス検定による。平均値間の多重比較にはテューキーの検定を用いた。

III. 結果および考察

表2に最高酸素摂取量、体重当たりの最高酸素摂取量、最高酸素摂取量時の心拍数を示した。表3には換気性作業閾値での、酸素摂取量、体重当たりの酸素摂取量、心拍数、を示した。

peak $\dot{V}O_2$ では運動部間に差が認められなかったが、他の項目では全て運動部間に有意な差が認められた。

peak $\dot{V}O_2$ 時の心拍数では、各運動部の分散が均一でない判定されたが、一元配置分散分析でもクラスカル・ワーリス検定でも有意に差があると判定される。

1. 最高酸素摂取量に関連する項目

peak $\dot{V}O_2$ の平均値は、陸上競技とサッカーが3.0 l/min以上と大きく、バレーボール・柔道・水泳(短)は2.8 l/min台と小さいが、有意な差ではない。

体重当たりのpeak $\dot{V}O_2$ は、体重の最も少ない陸上競技(中・長)が55ml/min/kgとなり、突出して大き

表1. 身長と体重

運動部 項目		運動部員 全 員	陸上競技 中・長	陸上競技 短・跳・投	サ ッ カ ー	バ レ ー ボ ー ル	柔 道	水 泳 短
		平 均	171.8	168.8	174.1	170.0	173.9	168.8
標 準 偏 差	5.68	5.47	5.17	6.31	4.10	3.33	5.40	
最 大	184	177	181	180	183	173	184	
最 小	157	160	163	157	168	163	166	
体 重 kg	平 均	63.8	58.2	64.5	63.0	65.4	66.0	65.1
	標 準 偏 差	6.59	5.57	6.64	6.28	5.18	7.26	5.79
	最 大	78	65	78	75	75	78	74
	最 小	48	48	54	53	60	55	52

表2. 最高酸素摂取量に関連する測定値

運動部 項目		運動部員 全 員	陸上競技 中・長	陸上競技 短・跳・投	サッカー	バレー ボール	柔 道	水 泳 短
Peak $\dot{V}O_2$ (ml/min)	平均	2985.9	3185.5	3122.9	3074.6	2829.8	2874.5	2819.5
	S D	479.86	491.62	510.66	420.81	352.64	501.47	461.06
	最大	4260	4260	3921	3925	3540	3559	3744
	最小	1822	2406	2071	2224	1969	2004	1822
Peak $\dot{V}O_2$ /体重 (ml/min / kg)	平均	47.0	55.0	48.3	48.8	43.3	43.3	43.5
	S D	6.97	8.53	5.61	4.76	4.22	4.21	6.30
	最大	80.4	80.4	60.7	57.7	47.8	48.2	50.6
	最小	26.0	44.9	38.4	39.0	32.8	36.4	26.0
Peak $\dot{V}O_2$ 時の 心拍数 (beats /min)	平均	179.0	173.5	184.6	181.1	173.1	175.3	182.1
	S D	9.50	6.20	7.59	7.19	13.23	8.46	6.45
	最大	199	184	195	199	185	192	193
	最小	142	165	165	170	142	163	172

表3. 換気性作業閾値に関連する測定値

運動部 項目		運動部員 全 員	陸上競技 中・長	陸上競技 短・跳・投	サッカー	バレー ボール	柔 道	水 泳 短
VT時の $\dot{V}O_2$ (ml/min)	平均	1446.1	1502.3	1597.6	1351.1	1309.8	1560.9	1401.7
	S D	285.65	246.40	220.14	210.09	266.86	297.98	335.02
	最大	2399	2022	1959	1677	1981	1995	2399
	最小	881	1132	1152	968	881	1178	991
VT時の $\dot{V}O_2$ /体重 (ml/min / kg)	平均	22.8	25.9	24.8	21.6	20.0	23.9	21.5
	S D	4.45	4.51	2.37	3.75	3.73	4.96	4.54
	最大	37.8	37.8	31.4	28.5	27.9	31.6	32.8
	最小	13.8	21.4	21.3	15.7	13.8	15.5	14.2
VT 時の 心拍数 (beats /min)	平均	121.9	117.8	135.7	118.1	109.7	129.0	120.8
	S D	16.32	11.07	11.62	14.57	14.27	18.08	14.17
	最大	169	134	169	149	134	159	146
	最小	87	100	114	87	87	103	95

い。陸上競技（短・跳・投）とサッカーが48ml/min/kg台であり、中間層にある。バレーボール・柔道・水泳（短）は、43ml/min/kg台と小さい。

peak $\dot{V}O_2$ 時の心拍数では、バレーボールと陸上競技（中・長）が少ない。特に、体重当たりのpeak $\dot{V}O_2$

が大きい陸上競技（中・長）で、心拍数が180拍/分以上となった者は12名中2名と少ない。経験的にみて、陸上競技の中長距離選手は心拍数が上昇しにくい傾向があるように思える。

心拍数が180拍/分以上であることが最大酸素摂取量

図1. peak $\dot{V}O_2$ /体重
ml/min/kg

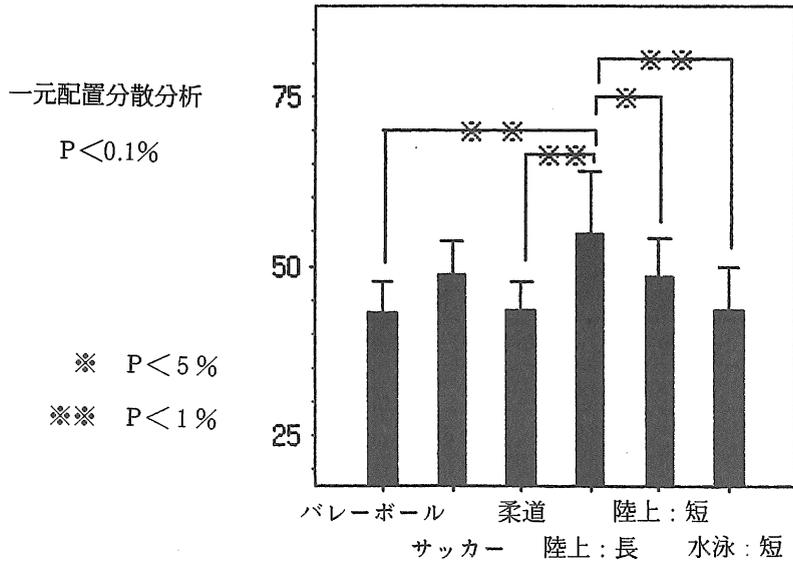
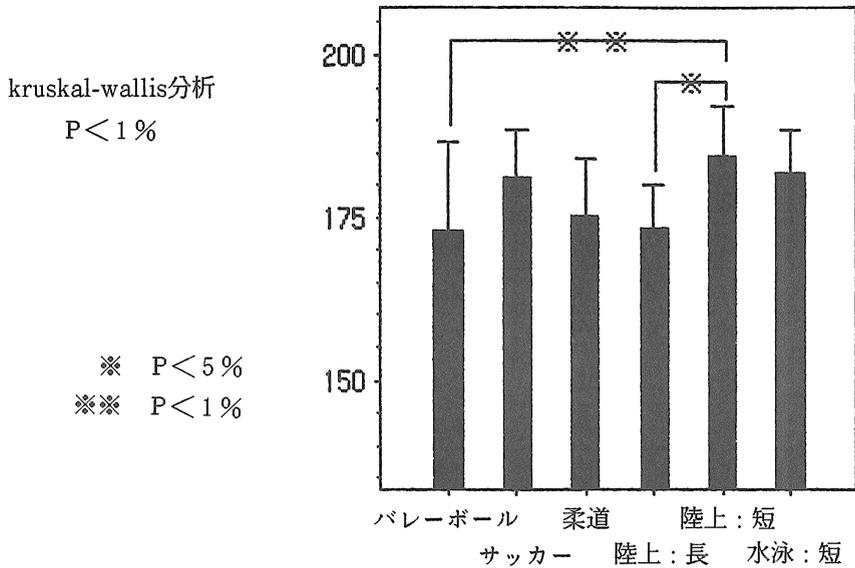


図2. peak $\dot{V}O_2$ 時の心拍数
beats/min



の条件の一つとされているが、180拍/分以上の者は91名全員の中で約半数の46名であった。ガス交換比は46名全員1以上を示している。また、大部分で酸素摂取量にレベリングオフが認められることより、 $\text{peak } \dot{V}O_2 = \dot{V}O_2 \text{ max}$ とみなしてよいと思われる。46名の $\text{peak } \dot{V}O_2$ の平均と標準偏差は $3014.9 \pm 484.68 \text{ ml/min}$ であり、体重当たり $\text{peak } \dot{V}O_2$ は $49.6 \pm 8.70 \text{ ml/min}$ であった。

ちなみに心拍数175拍/分未満の者を抜き出してみると26名である。この中に陸上競技(中・長)5名が含まれている。26名の $\text{peak } \dot{V}O_2$ の平均と標準偏差は $2873.3 \pm 452.52 \text{ ml/min}$ であり、体重当たり $\text{peak } \dot{V}O_2$ は $44.5 \pm 6.61 \text{ ml/min}$ であった。

心拍数175~179拍/分の者は19名であり、 $\text{peak } \dot{V}O_2$ の平均と標準偏差は $3014.9 \pm 484.68 \text{ ml/min}$ であり、体重当たり $\text{peak } \dot{V}O_2$ は $49.6 \pm 8.70 \text{ ml/min}$ であった。この中にはガス交換比1以上であり、レベリングオフのみられる者が多く含まれている。ここに陸上競技(中・長)の残り5名が含まれている。

自転車エルゴメーターを使用し、ランプ負荷法によりall-outに追い込む今回の実験では、最大酸素摂取量と判定できる測定値は約半数であった。 $\text{peak } \dot{V}O_2$ 時の心拍数が180拍/分以上の者と175拍/分未満の者の間では、t検定によると統計的に有意な差ではないが、 $\text{peak } \dot{V}O_2$ および体重当たり $\text{peak } \dot{V}O_2$ 共に、心拍数180拍

/分以上の者の平均値が大きい。

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all-outに至る前に運動を中止した被験者が多くいたと思われる。最大酸素摂取量の測定を主目的とする場合には、 $\text{peak } \dot{V}O_2 = \dot{V}O_2 \text{ max}$ とするために、エルゴメーターの種類と負荷方法を考慮する必要がある。

2. 換気性作業閾値に関連する項目

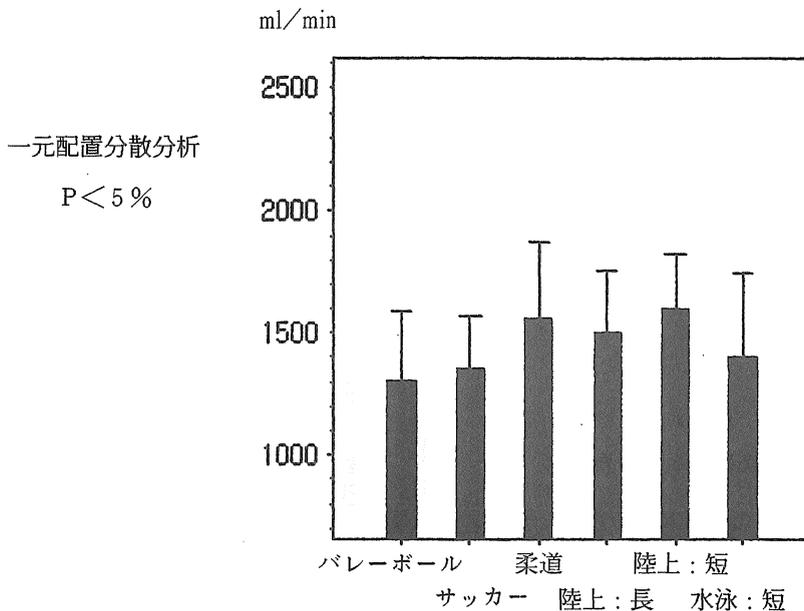
換気性作業閾値での酸素摂取量($\dot{V}T$ 時の $\dot{V}O_2$)は、上位と下位の2グループにわけられそうである。陸上競技(短・跳・投)の 1597.6 ml/min が最も大きく、柔道の 1560.9 ml/min がそれに次ぎ、3番目が陸上競技(中・長)の 1502.3 ml/min で、上位グループと目される。下位グループは、4番目が水泳(短)の 1401.7 ml/min 、5番目がサッカーの 1351.1 ml/min 、最小がバレーボールの 1309.8 ml/min と続いている。

$\dot{V}T$ =乳酸定常が得られる運動強度の最大値(max Lass), と考えると、 $\dot{V}T$ 時の $\dot{V}O_2$ の大きい者は有酸素運動能力に優れると言える。

そして、持久走のように体重が負荷となる運動では、体重当たりの値が大きい方が有利となる。

$\dot{V}T$ 時の体重当たり $\dot{V}O_2$ は、体重の少ない陸上競技(中・長)が 25.9 ml/min/kg で1位となり、陸上競技(短・跳・投) 24.8 ml/min/kg 、柔道 23.9 ml/min

図3. $\dot{V}T$ 時の $\dot{V}O_2$



／kgと続く。サッカー21.6ml/min/kgと水泳（短）21.5ml/min/kgは、ほぼ同じであり、バレーボールの20.0ml/min/kgが最も小さい。

V T時の心拍数は、陸上競技（短・跳・投）が135.7拍/分で最も多く、柔道がこれにつぐ。最も少ないのが

バレーボールの109.7拍/分であった。V T時の心拍数は有酸素運動を行う際の目安とされるものであって、各被験者が自己の値を知り利用することが望まれる。

3. V T時の%peak V O₂

V T時V O₂のpeak V O₂に対する%を見ると、91名

図4. V T時の体重あたりV O₂
ml/min/kg

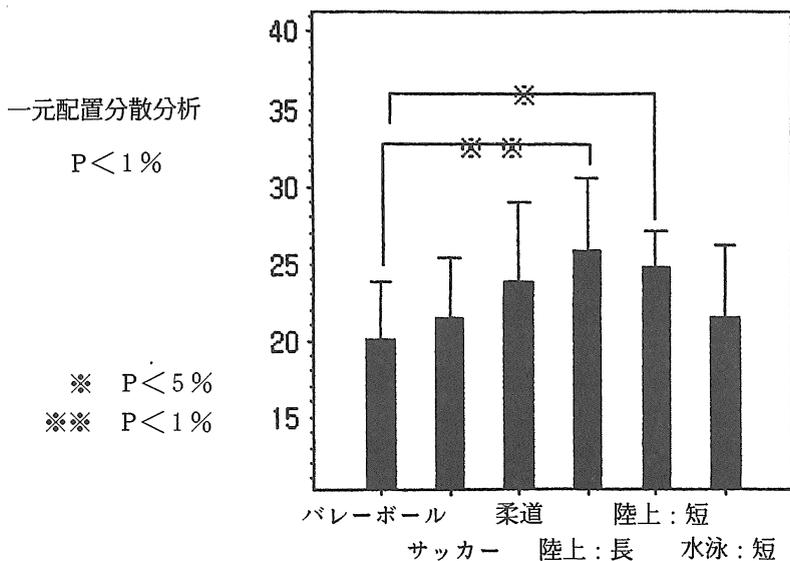
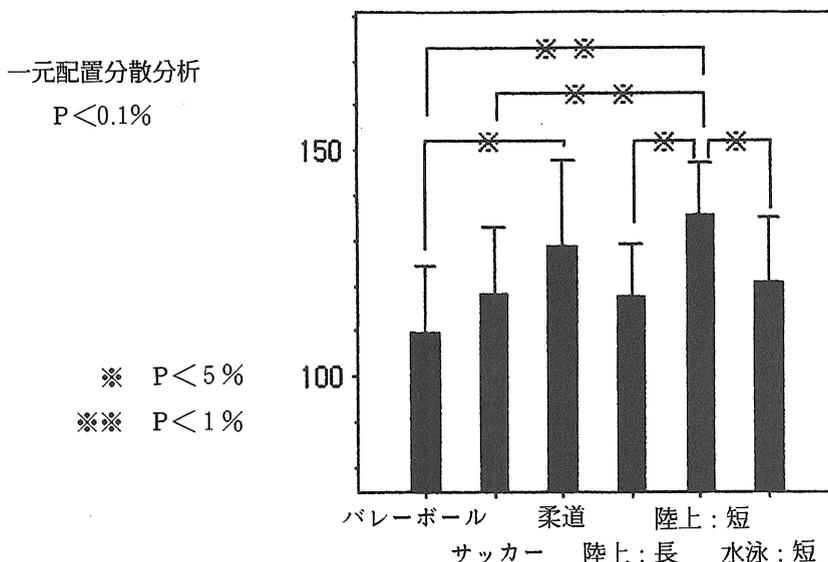


図5. V T時の心拍数

beats/min



全員の平均は48.9%となる。競技種目別では陸上競技（中・長）47.3%，陸上競技（短・跳・投）51.7%，サッカー44.4%，バレーボール46.5%，柔道55.3%，水泳（短）50.2%であった。

これは最大運動における酸素摂取量の何%まで有酸素運動が可能であるかを表している。最大運動時の酸素摂取量が等しい場合には、この%が大きいほど、骨格筋へのエネルギー供給面からみて、全身持久的運動に優れることを意味している。

最大運動における酸素摂取量＝最大酸素摂取量である場合には、より信頼性のある指標となり得る。

最大酸素摂取量とみなされる46名の平均値は48.1%であった。

IV. まとめ

島根大学男子運動選手を対象として換気性作業閾値（ $\dot{V}T$ ）と最高酸素摂取量（ $\text{peak } \dot{V}O_2$ ）に関する測定を行い、運動部間の比較を行った。

1. $\text{peak } \dot{V}O_2$ では運動部間に有意差が見られなかった。
2. 体重当たり $\text{peak } \dot{V}O_2$ は、陸上競技（中距離・長距離）が突出して大きく、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）とサッカーがこれに続き、水泳（短距離）・バレーボール・柔道が小さい。
3. 換気性作業閾値での酸素摂取量（ $\dot{V}T$ 時の $\dot{V}O_2$ ）は、陸上競技（短距離・跳躍・投てき）・柔道・陸上競技（中距離・長距離）の上位グループと、水泳（短距離）・サッカー・バレーボールの下位グループに分かれた。
4. $\dot{V}T$ 時の体重当たり $\dot{V}O_2$ は、陸上競技（中距離・長距離）＞陸上競技（短距離・跳躍・投てき）＞柔道＞サッカー＝水泳（短距離）＞バレーボールの関係となった。
5. $\dot{V}T$ 時の心拍数は、全員の平均が121.9拍/分であった。
6. $\dot{V}T$ 時 $\dot{V}O_2$ の $\text{peak } \dot{V}O_2$ に対する%は、全員の平均が48.9%であった。

V. 引用及び参考文献

- 1) 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，397-404，(1989)
- 2) 山本義春・宮下充正：これまでのATとこれからの

AT，体育の科学 第39巻 第5号，348-363，(1989)

- 3) 谷口興一・吉田敬義 訳：運動負荷テストとその評価法，南江堂，(1989)