

最大酸素摂取量 (有酸素性持久力)

測定目的

酸素摂取量とは、単位時間あたりに体内に取り込まれる酸素量である。そして最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) とは、有酸素的過程で出さるエネルギー量の最高値を意味し、その理論的背景は 1950 年代に確立された³⁾。これにより、 $\dot{V}O_{2max}$ という個人の体力を測り、さらにその相対的な指標 ($\% \dot{V}O_{2max}$) を用いて、運動トレーニングを処方することが可能になった²⁾。

運動中の酸素摂取量は、活動筋でのエネルギー産生量を反映している。その最大値すなわち $\dot{V}O_{2max}$ が大きいほど多くのエネルギーを産生する事ができ、より高い強度の運動をより長い時間実施できる。すなわち $\dot{V}O_{2max}$ は全身持久力を評価する指標である。

測定法

1. 自動呼気ガス分析装置

JISS では 2 種類の自動呼気ガス分析装置 ($V_{max}S229$ とエアロモニタ AE-310S) を用いて、運動負荷中、連続的に呼気を採取し分析を行っている。採気用マスクに装着された換気流量計とサンプリングチューブ (呼気ガスの除湿も行う)、酸素及び二酸化炭素濃度を分析する濃度計の測定部分、測定部分からの信号を演算処理し、酸素摂取量、二酸化炭素排出量などを算出するデジタルシグナルプロセッサ部分、その他の機器として心電図計などを加え、モニター画面に表示、解析と各動作を制御するコンピューター及びプリンターにより構成されている。

(1) $V_{max}S229$ (SensorMedics 社製、米国)

$V_{max}S229$ は、換気流量は熱線式流量計、酸素濃度は燃料電池式 (ガルバニック電池)、二酸化炭素濃度は非分散赤外線吸光法により構成されている (写真 1)。尚、ブレス・バイ・ブレス法により測定を行っている。また JISS では、 $V_{max}S229$ に日本光電社製の心電図計を接続し、出力された心電信号を同期して計測を行っている。 $V_{max}S229$ では心電図 R-R 間隔を自動解析して心拍数を算出している。

(2) エアロモニタ AE-310S (ミナト医科学社製、日本)

エアロモニタ AE-310S は、換気流量は熱線式流量計、酸素濃度はパラマグネティックセンサ、二酸化炭素濃度は非分散赤外線吸光法により構成されている (写真 2)。エアロモニタ AE-310S は、ブレス・バ

イ・ブレス法と呼気採集法の選択が可能であるが、JISS では呼気採集法により測定を行っている。また、Polar 社製のハートレートモニターとの通信を可能にする心拍受信ユニットを接続して、測定中の心拍数を同期させている。



写真 1. $V_{max}S229$ (SensorMedics 社製)



写真 2. エアロモニタ AE-310S (ミナト医科学社製)

(3) 採気用マスク

JISS では米国・ハンズドルフ社製の 7400 シリーズ V_{mask}^{TM} とメッシュキャップを採用している^{5,6)}。また選手によって、鼻根からの呼気ガス漏れを防ぐ為、鼻背から鼻根にかけての隙間を埋めるアクセサリ (SENSA SEALTM) を装着することもある⁶⁾ (写真 3)。マスクを装着後は換気口を塞いだ状態で、選手に呼気をしてもらい、呼気ガス漏れがないかを必ず確認する。



写真3. SENSE SEAL™ (ハンスドルフ社製)

2. 運動負荷方法

(1) 運動負荷装置

a) トレッドミル

- ・Biomill BM-1200 (S&ME 社製、日本)
- ・大型トレッドミル (Force Link 社製、オランダ)

b) 自転車エルゴメーター (電磁ブレーキ式)

- ・パワーマックス V シリーズ (コナミスポーツ&ライフ社製、日本)
- ・エクスカリバ・スポーツ 2500 シリーズ (Lode 社製、オランダ)

c) ローイングエルゴメーター (エアブレーキ式)

- ・Concept II rowing ergometer (Concept2 社製、米国)

d) カヤックエルゴメーター (エアブレーキ式)

- ・Dansprint kayak ergometer (Dansprint 社製、デンマーク)

(2) 測定プロトコール

JISS では、主に 4 種類の漸増負荷法により測定を行っている (図1) ⁴⁾。なお、選手の拘束時間との兼ね合いや、乳酸カーブテストも兼ねて測定されることが多いため、固定負荷法による $\dot{V}O_{2max}$ の測定は行われていない。

測定中は心電計や心拍計によるモニタリング、自覚的運動強度なども用いてにより安全性に留意し、顔色や発汗、推定最高心拍数 (220-年齢) に対する到達度、酸素摂取量のプラトーまたはレベリングオフなど、選手の身体の状態を総合的に判断して測定終了を決定する。

a) 連続負荷法 (定常状態なし)

1 分以内で負荷強度を少しずつ増やすことにより、ほぼ直線的に負荷強度を増加させる方法である。この方法の特徴は、心拍数や酸素摂取量が直線的に増加 (ただし、負荷強度に対して後追いかたちで増加) するのが特徴で、無酸素性作業閾値など、 $\dot{V}O_{2max}$

以外の指標を算出する場合の負荷法としても用いる。

b) 連続負荷法 (定常状態あり)

一定の運動強度の負荷を一定時間 (通常は 2~3 分間) 毎に上げていく負荷方法である。一段階を 3 分間継続する理由は、負荷強度に対応する心拍数や酸素摂取量が定常状態となるのに 3 分間程度かかるからである。自転車エルゴメーターを用いた乳酸カーブテストを併用する場合によく用いられる方法である。

c) 間欠負荷法

1 段階の負荷を行った後に、一定時間の休息を挟んで次の段階の負荷をかける方法である。各段階の負荷をかける時間は 3~5 分程度、休息は 1 分程度で実施されることが多い。トレッドミルやローイングエルゴメーター、カヤックエルゴメーターを用いた乳酸カーブテストを併用する場合に用いられることが多い。

d) 間欠負荷法と連続負荷法の併用

間欠的負荷法で最大下の負荷強度を数段階かけた後に、連続負荷法で最大運動まで負荷強度を上げていく方法である。この負荷方法も乳酸カーブテストを併用する場合に用いられる。

測定データの評価法

$\dot{V}O_{2max}$ の測定は、酸素摂取量と運動強度 (エネルギー代謝率) とのレベリングオフの観察が条件である ⁶⁾。しかし、JISS で行われる $\dot{V}O_{2max}$ の測定では、必ずしもレベリングオフが観察されるわけではない。JISS では、「特定の漸増負荷法プロトコールで得られた酸素摂取量の最高値」である「最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$)」を、便宜上、 $\dot{V}O_{2max}$ として評価している。

ブレス・バイ・ブレス法により測定を行っているため、一呼吸毎に酸素摂取量の分析結果がコンピューターに記録される。運動開始から運動終了までの結果を、自動呼気ガス分析装置の PC ソフトウェア上で 30 秒間毎に平均し、データを出力する (プリントアウトまたはデジタルデータ (.txt または .csv))。そして 30 秒間毎の平均値の中から最高値を選び、その値を $\dot{V}O_{2max}$ とする。なお、 $\dot{V}O_{2max}$ は絶対値 (L/分) と体重当りの値 (mL/kg/分) をフィードバックする。

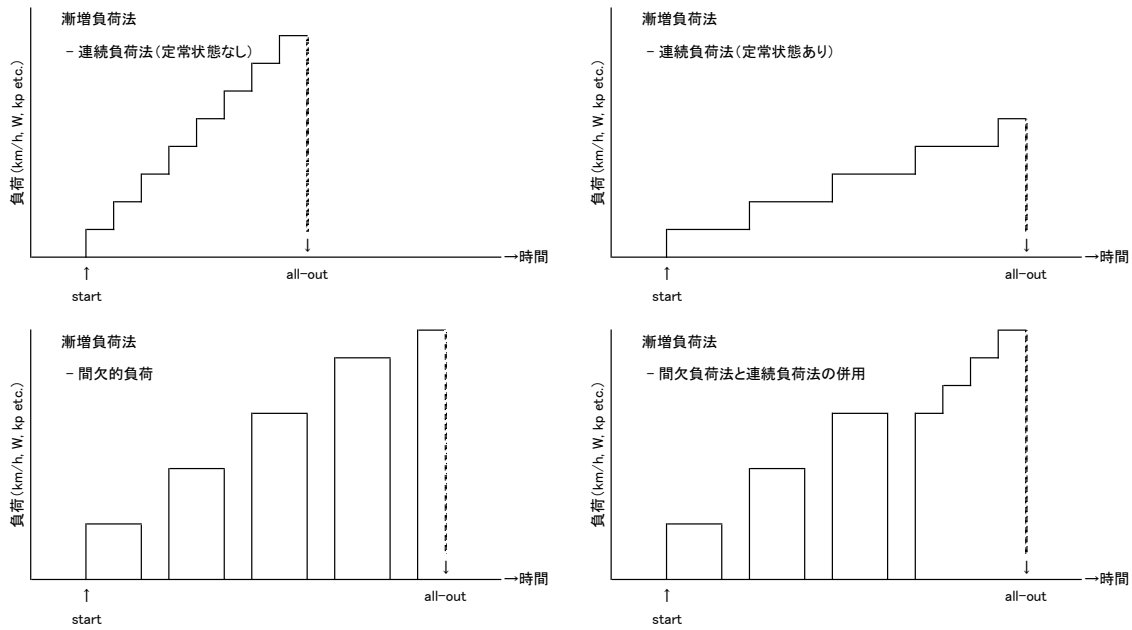


図1. $\dot{V}O_{2max}$ 測定のためのプロトコール

参照値

(1) 基礎データ

表1 最大酸素摂取量(絶対値)

性別	カテゴリー	測定人数(人)	平均値	±	標準偏差	最大値	-	最小値
男	シニア	611	4.22	±	0.43	6.55	-	2.10
	ジュニア	216	4.15	±	0.48	6.10	-	3.03
女	シニア	303	2.95	±	0.33	4.40	-	1.95
	ジュニア	129	2.86	±	0.45	5.10	-	2.15

(単位:L/分)

表2 最大酸素摂取量(体重当)

性別	カテゴリー	測定人数(人)	平均値	±	標準偏差	最大値	-	最小値
男	シニア	611	59.6	±	6.3	96.5	-	33.2
	ジュニア	216	62.4	±	8.0	86.3	-	48.4
女	シニア	303	51.2	±	5.6	78.2	-	32.9
	ジュニア	129	52.2	±	9.5	86.1	-	37.5

(単位:mL/kg/分)

(2) 5段階評価の基準

表3 最大酸素摂取量(絶対値)

カテゴリー	男		女	
	シニア	ジュニア	シニア	ジュニア
評価5	5.30	5.35	3.78	3.99
評価4	4.87	4.87	3.45	3.54
評価3	4.44	4.39	3.12	3.09
評価2	4.01	3.91	2.79	2.64
評価1	3.58	3.43	2.46	2.19

(単位:L/分)

表4 最大酸素摂取量(体重当)

カテゴリー	男		女	
	シニア	ジュニア	シニア	ジュニア
評価5	75.4	82.4	65.2	76.0
評価4	69.1	74.4	59.6	66.5
評価3	62.8	66.4	54.0	57.0
評価2	56.5	58.4	48.4	47.5
評価1	50.2	50.4	42.8	38.0

(単位:mL/kg/分)

参考文献

- 1) Howley ET1, Bassett DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc, 27:1292-1301, 1995.
- 2) Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? Int J Sports Physiol Perform, 5:276-291, 2010.
- 3) Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J Appl Physiol, 8:73-80, 1955.
- 4) 山地啓司. 「 $\dot{V}O_{2max}$ の測定 - 直接法 -」, 『改訂第2版 最大酸素摂取量の科学』, 杏林書院, 2001, pp.3-42.
- 5) “692029 DataSheet” Hans Rudolph, inc. ホームページ.
<http://www.rudolphkc.com/pdf/692029%200713%20F.pdf> (参照 2014-11-1)
- 6) “691245 DataSheet” Hans Rudolph, inc. ホームページ.
<http://www.rudolphkc.com/pdf/691245%201213%20H.pdf> (参照 2014-11-1)