

陸上競技・中長距離ランナーの有酸素能力と無酸素能力を同時に評価する方法の検討

三津家 貴也¹⁾ 辻 俊樹¹⁾ 鍋倉 賢治²⁾

Takaya Mitsuka¹, Toshiki Tsuji¹ and Yoshiharu Nabekura²: A method for evaluation of both aerobic and anaerobic capacities of middle- and long- distance runners. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: An individual's anaerobic capacity is evaluated in terms of the maximal accumulated oxygen deficit in the supramaximal test. The present study was conducted to validate the method used for evaluation of anaerobic capacity using an index calculated from the aerobic test (a submaximal test conducted 5 or 6 times in 3-minute stages and a maximal test of 4-6 minutes). Seventeen well-trained Japanese middle- and long-distance runners including elite athletes participated in the aerobic test on one day and in the supramaximal test of 2-4 minutes on another day. The mean accumulated oxygen deficit in the maximal test was 30.6 ± 10.0 mL O₂/kg, and the mean maximal accumulated oxygen deficit in the supramaximal test was 55.7 ± 16.1 mL O₂/kg. There was a significant positive relationship between accumulated oxygen deficit and the maximal accumulated oxygen deficit ($r=0.82$, $p<0.001$). A stronger positive relationship between the above 2 parameters was evident in 10 middle distance runners ($r=0.94$, $p<0.001$). These results suggest that maximal accumulated oxygen deficit can be evaluated in terms of the accumulated oxygen deficit in the maximal test.

Key words: oxygen deficit, maximal accumulate oxygen deficit, maximal oxygen uptake, running economy

キーワード: 酸素借, 最大酸素借, 最大酸素摂取量, 走の経済性

I 緒 言

陸上競技・中長距離走で高いパフォーマンスを発揮するためには、有酸素能力を高める必要がある。中長距離ランナーの有酸素能力は、最大酸素摂取量 (Maximal oxygen uptake, 以下「 $\dot{V}O_{2max}$ 」と略す), 乳酸性閾値 (Lactate Threshold, 以下「LT」と略す) および走の経済性 (Running Economy, 以下「RE」と略す) をもとに評価することができる (Stratton et al., 2009)。Mclaughlin et al. (2010) によると、よくトレーニングされた長距離ランナーを対象にした場合、16 km 走の記録は、 $\dot{V}O_{2max}$, LT の酸素摂取水準 (Percent utilization of $\dot{V}O_{2max}$, 以下「 $\% \dot{V}O_{2max}$ 」と略す)

および RE によって 95.4% が説明できることが報告されている。

一方、近年の長距離走は、特にラストスパートによって勝敗が分かれることが多く、2012 年のロンドンオリンピック 10000 m 走では Farah (英国) がラストの 400 m を 53 秒台で走り優勝している。このようなエリートランナーにとっては、急激な走速度の上昇に対応するために、有酸素能力だけでなく無酸素能力も要求される。また、より走速度の速い 800 m や 1500 m 走などの中距離種目においては、さらにその貢献は大きいものと予測される。したがって、無酸素能力はパフォーマンスの優劣に重要な役割を持つと考えられる。無酸素能力は最大酸素借 (Maximal accumulated oxygen deficit, 以下「MAOD」と略す)

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 鍋倉賢治

1. Graduate school of Comprehensive Human sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

2. Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author nabekura.yoshiharu@u.tsukuba.ac.jp

によって評価することができ (di Prampero and Ferretti, 1999), Nevill et al. (2008) は中距離ランナー 14 名を対象として MAOD と 800 m の走速度との間に有意な正の相関関係があることを報告した。この知見は、優れた無酸素性能力を有することが中距離走パフォーマンスに貢献することを証明している。これらのことから、中長距離走で高いパフォーマンスを発揮するために、中長距離ランナーは有酸素性能力と無酸素性能力の双方を高める必要がある。

中長距離走のパフォーマンスを高めるためには、測定された有酸素性能力および無酸素性能力の結果を基に、各ランナーの身体的能力の特徴を捉えた上で日々のトレーニングに活用していくことが有効である。例えば、女子マラソンの現世界記録保持者である Radcliffe (英国) を対象とした Jones (2006) の縦断的研究では、有酸素性能力を定期的に測定し、測定結果を反映しながらトレーニングを行ったことで、RE の改善に成功し、マラソンの世界記録を 2 度にわたり更新している。また、米国の元マイル記録保持者である Scott を対象とした Douglas et al. (1984) の研究では、9 か月間に 3 回の測定を行いながらトレーニングを行ったことで、 $\dot{V}O_2\text{max}$ を 8%, RE を 5% 改善したことを報告している。

現在、主に競技現場で用いられている有酸素性能力と無酸素性能力の評価方法は、最大下負荷試験および最大負荷試験によって構成される有酸素性能力テストを実施し、さらに別の機会に超最大固定負荷試験による無酸素性能力テストを実施する方法である (Jones, 1998; Medbo et al., 1988)。

しかし、この方法では 2 回のオールアウト走行が必要であり、ランナーに時間的制約や身体的・心理的負担を与える上、トレーニング計画にも影響を及ぼす。この問題は、1 つのテストから有酸素性能力と無酸素性能力を同時に評価することができれば解決することが可能である。

Pouilly and Busso (2008) は一般健康男性を対象として、漸増負荷試験中に測定した酸素借 (Accumulated oxygen deficit, 以下「AOD」と略す) から MAOD が評価できるかを検討した。その結果、十分な再現性は得られなかったものの、AOD は MAOD と同様の数値を示したことを報告している。この知見は、AOD が MAOD に代わる指標となる可能性を示唆している。しかし、AOD を用いて中長距離ランナーの無酸素性能力の評価を試みた研究は少ない。

もし無酸素性能力テストを行わずに、有酸素性能力テストから無酸素性能力を評価することができれば、その方法は時間的制約が大きい競技現場でも活用しやすいと考えられる。したがって最大負荷試験で得られる AOD と、超最大固定負荷試験で得られる MAOD との関係を明らかにすることは価値が高い。本研究の目的は、中長距離ランナーを対象として、1 回の有酸素性能力テストから無酸素性能力を評価する方法の可能性を明らかにすることである。

II 方法

1. 被験者

本研究における被験者は大学の陸上競技部に

Table 1 Properties of Subject's

Subject	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	Season Best			IAAF-S
					800m	1500m	5000m	
Mean (Middle)	20.5	173.1	59.4	7.6	1'53"31	3'56"94		947.3*
SD (Middle)	1.7	4.5	3.8	1.3	3"2	7"1		78.2
Mean (Long)	22.0	170.9	57.8	7.0		3'56"66	15'09	823.7*
SD (Long)	1.7	4.3	2.1	1.1		7"9	43"3	137.4
Mean (All)	21.1	172.2	58.8	7.3	1'53"31	3'56"84	15'09	896.4
SD (All)	1.7	4.5	3.3	1.3	3"2	7"1	43"3	122.7

Middle: N=10, Long: N=7, All: N=17

*p < 0.05

所属する男子大学生中長距離ランナー 17 名とした。被験者のプロフィールを Table1 にまとめた。本研究では 800 m および 1500 m を専門とする者を中距離群, 1500 m および 5000 m 以上の距離を専門とする者を長距離群とした。被験者の International Association of Athletics Federations Score (以下「IAAF-S」と略す) は各種目のシーズンベストの中で最も高い数値を用いた。被験者には, 実験開始前に研究の目的, 方法ならびに起こりうる危険性を文書および口頭で説明し, 同意を得た。

2. 実験デザイン

被験者は, 最大下負荷試験および最大負荷試験によって構成される有酸素性能力テストと, 超最大固定負荷試験による無酸素性能力テストをそれぞれ別日に実施した。両テストの間には 1–3 日の期間を設けた。また, 日内変動を考慮し, 各被験者内における両テストは同じ時間帯 (時間差 2 時間以内) に行われた。これらのテストは筑波大学体育科学系 A 棟 104 共通実験室で実施された。テスト前日と実験期間中は, オールアウトに至るような激しいトレーニングを行わないよう指示した。被験者には各テストの前日および当日のアルコール, カフェインの摂取は控え, 食事はテスト開始の 3 時間前までには済ませておくように指示した。

両日において, 被験者は体重測定 (TBF-102, TANITA, 日本) を行った後, ガスマスク (601M, アルコシステム, 日本), 心拍計 (M400, Polar

Electro, フィンランド) を装着した状態で傾斜 1 % に設定されたトレッドミル (ORK-7000, 大武ルート工業, 日本) で走行を行った。また, テストは被験者にハーネスを装着させた状態で実施され, トレッドミル走行に慣れていない被験者には走行練習を行わせた。

3. 実験方法

3.1 有酸素性能力テスト

3.1.1 最大下負荷試験

Figure1 には, 有酸素性能力テストのプロトコルを示した。プロトコルは Jones (1998) を参考に決定した。最大下負荷試験では, 1 ステージ 3 分間の最大下運動を 5–6 ステージ行わせた。1 ステージ目の走速度は, 被験者の能力に適した走速度を, 検者と被験者の話し合いをもとに 12.6 km/h または 13.8 km/h から選択し, 以降はステージ毎に 1.2 km/h 漸増した。各ステージ間には血中乳酸濃度を測定するために 2 分間の休息時間を設けた。最大下負荷試験は, 原則として 6 ステージ実施したが, 5 ステージ目において血中乳酸濃度が 4 mmol/L を超え, 主観的運動強度 (Ratings of perceived exertion, 以下「RPE」と略す) が 17 を超えた被験者は 5 ステージで終了とした。

3.1.2 最大負荷試験

最大下負荷試験終了から 5 分間の休息を設けた後, 最大負荷試験を実施した。被験者がトレッドミルに乗った状態で徐々に速度を上げていき, 規定速度に達したときを走行時間とした。最大負荷

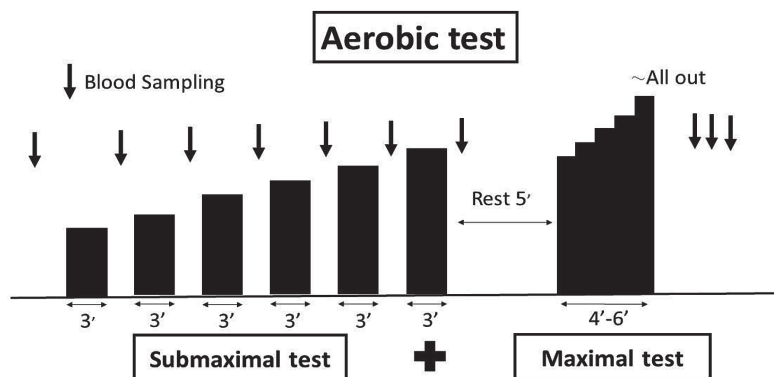


Figure 1 Protocol of aerobic test

試験では、オールアウトに至るまで、走速度を毎分 0.6 km/h ずつ漸増させた。開始時の走速度は、5 分程度でオールアウトに至るように被験者を選択させた。この時の走行時間を最大負荷試験の走行時間 (Time of maximal running test, 以下「Tmax」と略す) とした。最大負荷試験終了から 1 分後、3 分後および 5 分後に指先から血液採取し、血中乳酸濃度を測定した。

3.2 無酸素性能力テスト (超最大固定負荷試験)

Figure2 には、無酸素性能力テストのプロトコールを示した。プロトコールは Medbo et al. (1988) を参考に決定した。超最大固定負荷試験の走速度 (Velocity of supramaximal running test, 以下「vSRT」と略す) は有酸素性能力テストにおける最大下負荷試験で算出した走速度と、 $\dot{V}O_2$ の 1 次回帰式および最大負荷試験で測定した $\dot{V}O_{2\max}$ をもとに、120 % $\dot{V}O_{2\max}$ に相当する走速度を外挿した上で、被験者の競技成績を考慮し、2 分以上の走行が不可能と考えられた者は 110% $\dot{V}O_{2\max}$ で行った。超最大固定負荷試験では、速度を固定した状態で、被験者がトレッドミル上に飛び乗ったときの時間を 0 秒として、オールアウトに至るまで同一の走速度で走行させた。また、この試験の走行時間を超最大固定負荷試験の走行時間 (Time of supramaximal running test, 以下「tSRT」と略す) とした。テストの前にはウォーミングアップとして、5 分間の最大下走行 (走速度: 13.8 km/h あるいは 15.0 km/h) と、vSRT での走行練習を 5 秒程度で 1—2 回行った。超最大固定負荷

試験の開始 1 分前、終了 1 分後、3 分後および 5 分後に指先から血液採取し、血中乳酸濃度を測定した。

4. 測定項目およびデータの解析

呼気ガスの測定には呼気ガス分析器 (AE310-S エアロモニタ, ミナト医科学, 日本) を用いて $\dot{V}O_2$ 、二酸化炭素排出量 (Carbon dioxide output, 以下「 $\dot{V}CO_2$ 」と略す), 呼吸交換比 (Respiratory exchange ratio, 以下「RER」と略す) および換気量 (Ventilatory equivalent, 以下「 V_E 」と略す) を 5 秒毎に測定した。呼気ガス分析器のキャリブレーションには、校正ガス (大気相当: O_2 20.90%, CO_2 0.05%, N_2 Balance および呼気相当: O_2 15.08%, CO_2 5.02%, N_2 Balance) を用いた。 V_E は熱線流量計によって測定し、キャリブレーションには流量校正器 (ACA105, 2L) を用いた。血中乳酸濃度の分析には、血中乳酸分析器 (SPORT1500, YSI, アメリカ) を用いた。各テストの前に 0 mmol/L, 5 mmol/L および 15 mmol/L のサンプルを用いてキャリブレーションを行った。

有酸素性能力テストにおける最大下負荷試験の各ステージの呼気ガスデータの分析は、最後の 1 分間の平均値を用いた。同様に、各ステージにおける心拍数 (Heart rate, 以下「HR」と略す) も 2 分目から 3 分目までの 1 分間の平均値を用いた。全てのテストにおいて、各ステージ終了後あるいはオールアウト後に RPE を測定した。最大負荷試験終了後の血中乳酸濃度で最も高いものを代表

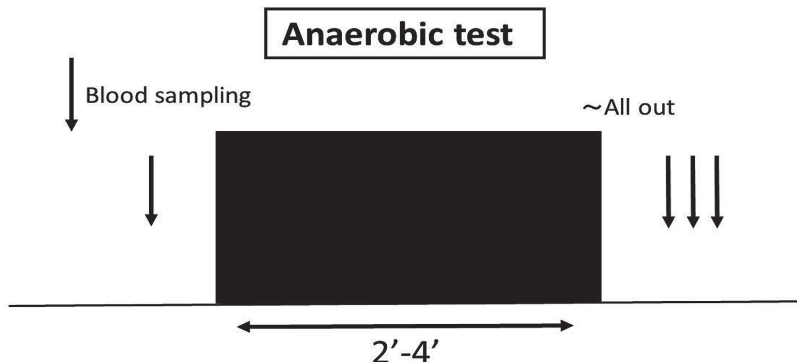


Figure 2 Protocol of anaerobic test

値として、最大血中乳酸濃度 (Maximal test peak blood lactate concentration, 以下「Max Bla」と略す) とした。超最大固定負荷試験終了後の血中乳酸濃度で最も高いものを代表値として、超最大血中乳酸濃度 (Supramaximal test peak blood lactate concentration, 以下「Supra Bla」と略す) とした。

RE は最大下負荷試験の 15.0km/h の $\dot{V}O_2$ を基に算出され、 O_2 Cost (ml/kg/km) で表した。LT および $\% \dot{V}O_{2\max}$ は乳酸分析ソフト (Lactate-E) を用いて算出した (Newell et al., 2007)。 $\dot{V}O_{2\max}$ は、最大負荷試験において 15 秒毎に分析した $\dot{V}O_2$ を 1 分毎 (15 秒 \times 4) に平均し、その最大値を用いた。 $\dot{V}O_{2\max}$ の判定条件は、RER が 1.10 以上、最高心拍数 (Maximal HR, 以下「HRmax」と略す) が (220—年齢) 以上、Max Bla が 8.00 mmol/L 以上のいずれか 2 つ以上の条件を満たすものとした。HRmax は 1 秒毎に測定した HR を 5 秒毎に平均し、その最高値を用いた。最大酸素摂取量に相当する走速度 (velocity at $\dot{V}O_{2\max}$, 以下「 $v\dot{V}O_{2\max}$ 」と略す) は最大下負荷試験における走速度と $\dot{V}O_2$ の 1 次回帰式に $\dot{V}O_{2\max}$ を代入することによって算出した。AOD は最大下負荷試験における走速度と $\dot{V}O_2$ の回帰直線から算出された各走速度の酸素需要量から、実際の最大負荷試験走行中の $\dot{V}O_2$ の差によって算出した。この時の AOD は最大負荷試験を 4—6 分走行していることを条件とした。MAOD は超最大固定負荷試験を 2 分以上かつ 4 分未満でオールアウトした走行を条件とした。最大下負荷試験における走速度と $\dot{V}O_2$ の 1 次回帰式に、vSRT を外挿したときの $\dot{V}O_2$ を酸素需要量とし、運動時間を乗じて総

酸素需要量を算出した。そして、総酸素需要量から運動中の総酸素摂取量の差分を MAOD とし (Medbo et al., 1988), 体重 1kg 当たりの相対値で (ml/kg) 示した。

5. 統計分析

データはすべて平均値 \pm 標準偏差 (Mean \pm SD) で表した。統計処理には Excel 2013, SPSS statics version25.0 (SPSS, IBM, USA) を用いた。各指標間の相関関係の分析には、Pearson の積率相関分析および単回帰分析を用いた。群間の平均値は対応なしの t 検定を用いて分析を行った。統計学的有意性は、危険率 5 % 未満で有意差ありとした。

III 結果

1. 被験者の測定データ

有酸素性能力テストおよび無酸素性能力テストの測定結果を Table2 および 3 に示した。被験者全員の $\dot{V}O_{2\max}$ は 69.5 ± 6.0 ml/kg/min, AOD は 30.6 ± 10.0 mlO₂/kg, vSRT は 22.5 ± 0.7 km/h, $115.5 \pm 4.1\% \dot{V}O_{2\max}$, tSRT は, 149.1 ± 19.0 sec, MAOD は 55.7 ± 16.1 mlO₂/kg であった。中距離群の $\dot{V}O_{2\max}$ は 67.4 ± 6.2 ml/kg/min, AOD は 30.4 ± 9.9 mlO₂/kg, vSRT は 22.7 ± 0.7 km/h, $117.8 \pm 3.3\% \dot{V}O_{2\max}$, tSRT は, 146.0 ± 13.2 sec, MAOD は 58.5 ± 15.3 mlO₂/kg であった。長距離群の $\dot{V}O_{2\max}$ は 72.6 ± 3.9 ml/kg/min, AOD は 30.9 ± 9.8 mlO₂/kg, vSRT は 22.2 ± 0.6 km/h, $112.1 \pm 2.5\% \dot{V}O_{2\max}$, tSRT は, 154.3 ± 24.2 sec, MAOD

Table 2 Result of aerobic test

Subject	$VO_{2\max}$ (ml/kg/min)	vLT (km/h)	RE (ml/kg/km)	$vVO_{2\max}$ (km/h)	Tmax (Sec)	AOD (mlO ₂ /kg)	Max Bla (mmol/L)
Mean(Middle)	67.4	15.7*	211.7	19.2	276.0	30.4	9.7*
SD(Middle)	6.2	0.6	10.3	1.0	26.2	9.9	1.6
Mean (Long)	72.6	16.7*	208.6	19.9	300.0	30.9	8.1*
SD(Long)	3.9	1.0	12.6	0.5	27.8	10.1	0.9
Mean (All)	69.5	16.1	210.4	19.5	285.9	30.6	9.0
SD (All)	6.0	0.9	11.4	0.9	29.3	10.0	1.6

Middle: N=10, Long: N=7, All: N=17

*p < 0.05

Table 3 Result of anaerobic test

Subject	vSRT (km/h)	vSRT (%VO ₂ max)	tSRT (sec)	MAOD (mlO ₂ /kg)	Supra Bla (mmol/L)
Mean(Middle)	22.7	117.8*	146.0	58.5	11.4
SD(Middle)	0.7	3.3	13.2	15.3	1.3
Mean (Long)	22.2	112.1*	154.3	51.8	9.9
SD (Long)	0.6	2.5	24.2	16.5	1.3
Mean (All)	22.5	115.5	149.1	55.7	10.8
SD (All)	0.7	4.1	19.0	16.1	1.5

Middle: N=10, Long: N=7, All: N=17

*p < 0.05

は 51.8 ± 16.5 mlO₂/kg であった。群間では、vLT と Max Bla および vSRT に有意差が認められた。

IV 考 察

2. 有酸素能力テストと無酸素性能力テストの各測定結果の関係

AOD と MAOD との間には有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.825$, $p < 0.001$) (Figure 3)。さらに群毎に分けて AOD と MAOD の関係を検討したところ中距離群には非常に高い有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.939$, $p < 0.001$)。また、長距離群の AOD と MAOD との間には有意な関係は認められなかった ($r = 0.731$, $p = 0.062$)。

はじめに、最大下負荷試験における走速度と $\dot{V}O_2$ の回帰式の決定係数は 0.99 ± 0.01 であったので、最大下の直線精度は高く、酸素需要量を推定する前提条件は満たしていた。本研究の目的は、中長距離ランナーを対象として、最大負荷試験で得られる AOD から MAOD を評価する方法の可能性を探ることであった。その結果、AOD と MAOD との間に強い正の相関関係が認められた ($r = 0.825$, $p < 0.001$)。

本研究では、大学の陸上競技部に所属する中長距離ランナー 17 名を対象とした。被験者の中に

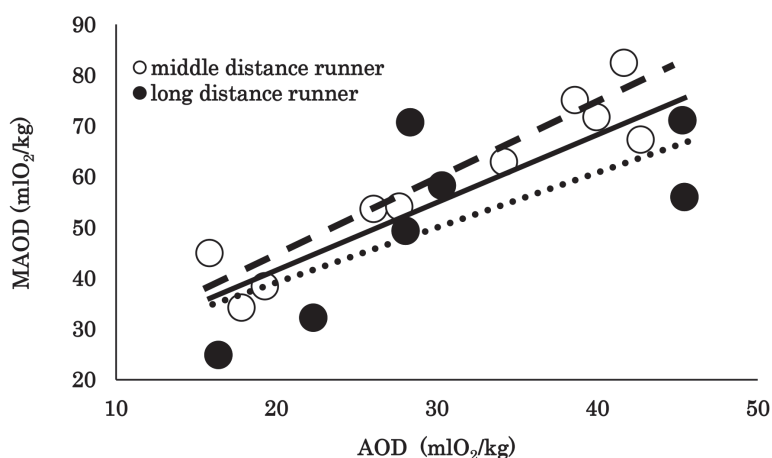


Figure 3 Relationship between AOD and MAOD in middle and long distance runner.

Dashed line represent long distance runner ($y = 1.458x + 14.2$, $R^2 = 0.94$, $P < 0.001$).

Solid line represent all ($y = 1.334x + 14.9$, $R^2 = 0.68$, $P < 0.001$).

Dotted line represent middle distance runner ($y = 1.458x + 14.2$, $R^2 = 0.88$, $P < 0.001$).

は、中距離を専門とする者と長距離を専門とする者が存在した（中距離 10 名、長距離 7 名）。被験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ は $69.5 \pm 6.0 \text{ ml/kg/min}$ であり、この数値は AOD から MAOD の評価を試みた先行研究 (Pouilly and Busso, 2008) の被験者 ($49.2 \pm 4.6 \text{ ml/kg/min}$) と比べると非常に高い。また、本研究の被験者には日本トップレベルの競技力を有する者も含まれていた（800 m の 2017 年の日本ランキング 8 位, 31 位, 40 位, 41 位, 59 位, 81 位, 1500 m の 2017 年の日本ランキング 1 位, 41 位）。したがって、本研究で得られた結果は、競技力の高い中長距離ランナーに対して非常に有用な知見になると考えられる。

本研究の被験者の AOD は $30.6 \pm 10.0 \text{ mlO}_2/\text{kg}$, MAOD は $55.7 \pm 16.1 \text{ mlO}_2/\text{kg}$ であり、5 分前後の最大負荷試験で得られた AOD は、MAOD の 50 % 程度の数値になった。また、本研究で算出された AOD と MAOD との回帰直線式 ($\text{MAOD} = 1.334 \times \text{AOD} + 14.9$) によると、決定係数は 68 % であり、AOD によって MAOD の 65 % 以上が説明できた。さらに中距離群と長距離群に分けてみると、中距離群 ($\text{MAOD} = 1.458 \times \text{AOD} + 14.2$) の決定係数は 88 % であり、AOD によって MAOD の 90 % 近くを説明できた。それに対して長距離群 ($\text{MAOD} = 1.188 \times \text{AOD} + 15.1$) の決定係数は 53 % であった。このように、中距離群においてより高い関係性がみられた。Craig et al (1995) は、18 名の瞬発系と持久系の異なるタイプのサイクリストを対象に、運動時間と AOD の関係を検討し、瞬発系の者ほど MAOD が得られる運動時間が短くなり、反対に持久系の者ほど運動時間が長くなることを報告している。今回の研究では、長距離群のランナーの tSRT は 154.3 sec であり、運動時間が短く、真の MAOD が得られていない可能性がある。長距離群の AOD と MAOD の相関係数が、中距離群に比べて低かった要因と考えられる。さらに、今回の研究での被験者は、中距離群のランナーに比べて長距離群のランナーの IAAF-S が低かった（中距離群 947.3 ± 78.2 vs 長距離群 823.7 ± 122.7 ）。競技レベルの低い長距離ランナーは無酸素性能力の貢献は小さ

く、そのことが長距離群の関係性が低い要因となった可能性がある。長距離群の競技レベルが中距離群と同程度であれば、AOD と MAOD の関係はさらに高くなったと考えられる。そのため、本研究で検証している方法を長距離群のランナーに対して用いるのは、無酸素性能力を動員する一定のレベルに達しているランナーに限られると考えられる。長距離群のランナーの無酸素性能力についてはさらなる検討が必要である。

本研究で得られた AOD と MAOD の回帰式は相関係数が高く、特に中距離群においては非常に高いものであった。少なくとも中距離ランナーであれば、最大負荷試験で測定された AOD から MAOD を推定し、無酸素性能力を評価することは十分に可能であると言える。長距離ランナーであっても、おおよその無酸素性能力を評価するには十分である。したがって、今回用いたような、速度の上げ幅が 0.6 km/h で、4—6 分でオールアウトに至るテストによって得られた AOD から MAOD を推定する式は以下ようになる。

中距離ランナー： $\text{MAOD} = 1.458 \times \text{AOD} + 14.2$

本研究の結果を踏まえると、最大負荷試験で得られた AOD を用いることで、1 回の有酸素性能力テストから有酸素性能力と無酸素性能力を同時に評価できる可能性が示された。しかしながら、AOD と MAOD の絶対値には大きな差がある。さらに、これまでの研究で競技レベルの高いランナーの AOD および MAOD を示している研究は少ない。そのため今後は、AOD を無酸素性能力の指標として絶対値で評価していくために、多くの被験者の測定値から評価基準を定めていくことが必要となる。

本研究にはいくつかの限界がある。本研究の最大負荷試験では、最大下負荷試験ですでに高まっていた $\dot{V}O_2$ の個人差を少なくするために徐々に速度を上げていき、規定速度に達したときを走行開始時間となるようにした。これに対し、超最大固定負荷試験の測定は飛び乗ったときの時間を 0 秒として実施した。そのため、最大負荷試験前と超最大負荷試験前の各被験者の $\dot{V}O_2$ の立ち上がりが異なり、AOD を過小評価している可能性が

ある。また、本研究では vSRT を被験者の競技成績を考慮し、検者側で決定した。この際、原則として相対強度を $120\%\dot{V}O_2\max$ に相当する走速度としたが、数名の被験者は vSRT を $110\%\dot{V}O_2\max$ に相当する走速度にした。Weber and Schneider (2000) は 14 名の健康的な男女を対象とした自転車運動において、 $110\%\dot{V}O_2\max$ よりも $120\%\dot{V}O_2\max$ の相対強度を用いたほうが、より信頼性の高い MAOD を測定できることを報告している。結果的に本研究では、17 名全員が 2 分以上 4 分未満のオールアウト時間になっているが、相対強度が低かった被験者がいた可能性を含んでいる。したがって、相対強度の違いが測定結果に影響を及ぼしている可能性も否定できない。

V 結 論

本研究では、中長距離ランナーにおいて有酸素性能力テストから無酸素性能力を評価することを検討した。その結果、今回用いた 1 分毎に速度が 0.6 km/h ずつ増加する 4—6 分間の最大負荷試験で得られた AOD から無酸素性能力の指標である MAOD を推定できる可能性を明らかにした。これらのことから、中長距離ランナーの 1 回の有酸素性能力テストから有酸素性能力と無酸素性能力を同時に評価することができると考えられる。

中長距離走のパフォーマンスを高めるためには有酸素性能力と無酸素性能力の双方を高める必要がある。そのために各自の有酸素性能力および無酸素性能力を把握し、そのデータを基に日々のトレーニングに活用していくことが有効である。これまでは有酸素性能力と無酸素性能力の双方を評価するためにランナーに 2 回のオールアウト走行を課しており、大きな負担を与えていた。本研究の成果により、ランナーへの身体的・心理的負担、時間的制約を軽減できる可能性が示唆された。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K01550 の助成を受けて行われました。

文 献

- Craig, N. P., Norton, K. I., Conyers, R. A., Woolford, S. M., Bourdon, P. C., Stanef, T., and Walsh, C. B. (1995). Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists. *Int. J. Sports Med.*, 16: 534-540.
- di Prampero, P. E. and Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir. Physiol.*, 118: 103-115.
- Douglas, L. C., Gary, S.K., Lee, N. B., and Millar, A. L. (1984). Following Steve Scott: Physiological changes accompanying training. *Phys Sports med.*, 12: 103-106.
- Jones, A. M. (1998). A five year physiological case study of an Olympic runner. *Br. J. Sports Med.*, 32: 39 - 43.
- Jones, A. M. (2006). The physiology of the world record holder for the women's marathon. *Int. J. sports Sci., coach* 1: 101-116.
- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R. Jr., Thompson, D. L., and Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med. Sci. sports Exerc.*, 42: 991-997.
- Medbo, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Vaage, O., and Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.*, 64: 50-60.
- Nevill, A. M., Ramsbottom, R., Nevill, M. E., Newport, S., and Williams, C. (2008). The relative contributions of anaerobic and aerobic energy supply during track 100-, 400- and 800-m performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 48: 138-142.
- Newell, J., Higgins, D., Madden, N., Cruickshank, J., Einbeck, J., McMillan, K., and McDonald, R. (2007) Software for calculating blood lactate endurance markers. *J. Sports Sci.* 25(12), 1403-1409.
- Pouilly, J. P. and Busso, T. (2008). Accumulated oxygen deficit during ramp exercise. *Int. J. Sports Med.*, 29: 16-20.
- Stratton, E., O'Brien, B. J., Harvey, J., Blitvich, J., Menicoll, A. J., Janissen, D., Paton, C., and Knez, W. (2009). Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. *Int. J. Sports Med.*, 30: 40-45.
- Weber, C. L. and Schneider, D. A. (2000). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 1056-1059.

(2018 年 5 月 25 日受付)
(2018 年 11 月 1 日受理)