



# 400m 選手への間欠的低圧低酸素 トレーニングによる効果

丹治史弥 (東海大学スポーツ医科学研究所) 秋澤一輝 (東海大学大学院体育学研究科)

高野 進 (東海大学体育学部)

## Impacts of Intermittent Hypobaric Hypoxia Training in Highly Trained Long-Sprinters

Fumiya TANJI, Kazuki AKIZAWA and Susumu TAKANO



### Abstract

This study aimed to expose the effects of fifteen weeks of one-time weekly intermittent hypobaric hypoxia training (IHT) on anaerobic energy capacities in highly trained 400-m sprinters. Eight highly trained male 400-m sprinters conducted fifteen sessions training under hypobaric hypoxia (Hypo,  $n = 3$ , 802 hPa or 711 hPa) or normoxia (Norm,  $n = 5$ ) conditions. Both training groups performed common program under normoxia excluding the 15 sessions training. Hypo group performed supra-maximal intensity ( $>$  maximal oxygen uptake) short-time ( $\leq 40$  sec per bout) exercise with 90- to 200-sec rest time in the IHT. We measured their maximal anaerobic power ( $V_{max}$ ) and maximal anaerobic energy metabolic capacity (peak blood lactate concentration:  $PLa$ ) using maximal anaerobic running test before (Pre) and after (Post) the 15 weeks training. The results showed very small ( $d = 0.15$ ) improving of  $V_{max}$  and large ( $d = 0.82$ ) improving of  $PLa$  in Hypo group, and medium ( $d = 0.72$ ) improving of  $V_{max}$  and large ( $d = 1.28$ ) improving of  $PLa$  in Norm group. These results suggest that one-time weekly supra-maximal intensity short-time exercise of IHT has no effects on anaerobic energy capacities in highly trained 400-m sprinters.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 33, 15-23, 2021)

## I. 緒言

陸上競技400m 走は走行開始後100m 地点までに走スピードが最大となり、その後フィニッシュにかけて走スピードが漸減する特徴を持つ<sup>1)</sup>。400m 走中のエネルギー代謝は、前半局面において無酸素性エネルギー代謝の貢献が大きく、中盤局面以降において有酸素性エネルギー代謝の貢献が大きくなる。その結果、400m 走における有酸

素性エネルギー代謝と無酸素性エネルギー代謝の貢献割合はそれぞれおおよそ40%と60%であることが報告されている<sup>2)</sup>。したがって、生理学的観点からみると、400m 走パフォーマンスを向上させるためには有酸素性エネルギー代謝能力と無酸素性エネルギー代謝能力の両能力を改善させる必要があると考えられる。

これらの両エネルギー代謝能力を向上させるトレーニングの1つとして高地トレーニングが知られている。古典的な高地トレーニングとして高地

滞在高地トレーニング法 (Living-High, Training-High) や高地滞在低地トレーニング法 (Living-High, Training-Low) が知られているものの、近年は高地環境にシミュレーションできる装置が普及し、トレーニング時のみ高地環境に暴露するトレーニング方法 (Intermittent Hypoxic Training : IHT) も用いられるようになってきた<sup>3)</sup>。例えば、有酸素性エネルギー代謝能力への効果として、週2回、6週間の高強度 (90%-100%最大酸素摂取量 [ $\dot{V}O_2\text{max}$ ]) 長時間 (ex., 2セット×12-20分) のIHT (12セッション) が最大酸素摂取量を改善させ、その結果運動持続時間 (Time-to-exhaustion : TTE) を延長させると報告されている<sup>4,5)</sup>。

一方、無酸素性エネルギー代謝能力への効果は主に短期間かつ連続した日程による詰め込み型のIHTによって検証されている研究が多い。例えば、9日間連続の低強度 (70%-80%最大心拍数強度) 長時間 (105分) 自転車運動によるIHT (9セッション) によって、Wingateテスト中の平均発揮パワーや最高発揮パワーの改善が認められている<sup>6)</sup>。同様に、10日間連続の低強度 (60%-70%最大心拍数強度) 長時間 (90分) と超高強度 (全力) 短時間 (30秒) の自転車運動を組み合わせたIHT (10セッション) によって、Wingateテスト中の平均発揮パワーの改善が報告されている<sup>7)</sup>。Kasai et al.<sup>8)</sup> は5日間連続で超高強度 (最高100m走スピードの80%-全力) 短時間 ( $\leq 20$ 秒) の自転車運動およびトレッドミル上でのスプリントを組み合わせたIHT (10セッション) を実施させ、10秒全力ペダリング中の平均発揮パワーの改善やTTEの延長を認めている。加えて、Kasai et al.<sup>8)</sup> は無酸素性エネルギー代謝能力に関連する筋グリコーゲン濃度や筋クレアチンリン酸濃度が増大したことも報告している。Oriishi et al.<sup>9)</sup> は400mおよび800m走競技者を対象とし、5日間連続 (9セッション) で様々な運動強度および運動時間を組み合わせたIHTを実施させ、最大無酸素性走行テスト (Maximal Anaerobic Running Test : MART) における最大発揮パワーの改善や最大下走スピードにおける血中乳酸濃度 (blood lactate

concentration : bLa) の低下を認めている。したがって、短期間にIHTを詰め込むことによって無酸素性エネルギー代謝能力は改善すると推察される。

しかし、IHTを長期間かけて実施した際にも無酸素性エネルギー代謝能力に効果が認められるのかは不明である。実際の指導現場でIHTを実施する際、短期間における詰め込み型よりも週1回を長期間にわたって実施させる方が他のトレーニングと並行して実施できる点で実施しやすい可能性がある。そこで本研究は、400m競技者を対象に週1回、15週間にわたる超高強度短時間のIHTを実施させ、無酸素性エネルギー代謝能力への効果を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

陸上競技400mまたは400m障害を専門にトレーニングをしている男性10名を対象とし、週1回のトレーニングを低圧低酸素環境で実施する群 (Hypo) とすべてのトレーニングを常圧常酸素環境でトレーニングをする群 (Norm) に分けた。トレーニング介入期間に2名が故障のため本研究から離脱したため、最終的な被験者はHypo群が3名 (年齢、 $24.3 \pm 3.5$ 歳; 身長、 $179.1 \pm 7.7$ cm; 体重、 $71.0 \pm 3.0$ kg; 400mシーズン最高記録、 $45.8 \pm 0.1$ s)、Norm群が5名 (年齢、 $20.4 \pm 0.9$ 歳; 身長、 $176.2 \pm 2.6$ cm; 体重、 $66.3 \pm 2.5$ kg; 400mシーズン最高記録、 $48.2 \pm 1.2$ s) であった。

本研究を実施するにあたり、被験者には本研究の目的や内容、危険性などを紙面および口頭によって説明し、同意書への署名によって本研究への参加の同意を確認した。なお、本研究は東海大学研究倫理委員会において承認を得た。

### 2. トレーニング

本研究は2019年12月から2020年3月の15週間にわたってトレーニング介入を行ない、その期間の

表1 全体のトレーニングの流れ  
Table 1 Example of training programs for a week.

曜日	午前	午後
月曜日	ウエイトトレーニング 8×200m スプリント	各自
火曜日	休養	各自
水曜日	ウエイトトレーニング 8×200m スプリント	40s または 45s スプリント
木曜日	休養	休養
金曜日	ウエイトトレーニング 8×200m スプリント	各自
土曜日	砂浜 20-40m スプリント バウンディング	休養
日曜日	休養	休養

前後に MART による無酸素性エネルギー代謝能力の測定を実施した。Hypo 群は1週間に1回頻度の低圧低酸素環境（東海大学低圧トレーニング室、日立プラントサービス、神奈川）におけるトレーニングを実施し、それ以外は Norm 群と共通の流れでトレーニングを実施した（表1）。なお、トレーニング期間において5週目および12-13週目はトレーニング施設を利用できなかったため、4週目、6週目および7週目にIHTを週2回実施させた（表2）。トレーニング介入1-3週目は標高2,000m相当の環境（802hPa）、4週目以降は標高3,000m相当の環境（711hPa）を用いた。Hypo 群は、2種類のIHTを実施し、1つは自走式トレッドミル（WWT-100 Curve, Woodway, USA）上で5秒間の加速後、10秒または20秒間のスプリント走（休息90秒-200秒）、もう1回は電動トレッドミル（Activate series treadmill, Life Fitness Japan, Ltd., Japan）上で40秒間のテンポ走（休息90秒）を実施した。一方、Norm 群は同日のトレーニングを常圧常酸素環境において、100mのアップヒル走または全天候型トラックにおける300mのテンポ走を実施した。

### 3. 測定項目およびプロトコル

被験者はIHTによる無酸素性エネルギー代謝能力への効果を明らかにするためにMARTを常圧常酸素環境においてトレーニング介入の前後

表2 低圧低酸素環境におけるトレーニング内容  
Table 2 Training programs in the hypobaric hypoxia environment.

回数	週目	実施日	実施標高 (m)	トレーニング内容
1	1	2019/12/04 (Wed)	2,000	4×(5s A→10s SP) + 4×(5s A→20s SP); r = 90s; R = 5min; ST
2	2	2019/12/11 (Wed)	2,000	2 set×4×40s T@330 m/min r = 90s, R = 5min; ET
3	3	2019/12/20 (Fri)	2,000	3×(5s A→10s SP) + 3×(5s A→20s SP); r = 100s, 200s; R = 5min; ST
4	4	2019/12/24 (Tue)	3,000	2 set×4×40s T@330 m/min r = 90s, R = 5min; ET
5	4	2019/12/25 (Wed)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 4×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 8min; ST
6	6	2020/01/08 (Wed)	3,000	2 set×4×40s T@330 m/min r = 90s, R = 5min; ET
7	6	2020/01/10 (Fri)	3,000	2 set×4×40s T@330 m/min r = 90s, R = 5min; ET
8	7	2020/01/15 (Wed)	3,000	2 set×4×40s T@330 m/min r = 90s, R = 5min; ET
9	7	2020/01/17 (Fri)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
10	8	2020/01/24 (Fri)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
11	9	2020/01/29 (Wed)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
12	10	2020/02/03 (Mon)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
13	11	2020/02/14 (Fri)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
14	14	2020/03/04 (Wed)	3,000	3×(5s A→20s SP) + 3×(5s A→10s SP); r = 200s; R = 15min; ST
15	15	2020/03/11 (Wed)	3,000	3×(5s A→20s SP); r = 200s; ST

Notes: A→, 加速; SP, スプリント走; T, テンポ走; ST, 自走式トレッドミル; ET, 電動式トレッドミル

(0週目および16週目または17週目)に実施した。MARTは走行中の無酸素性パワーを測定するテストとして広く知られており、これまでも多くの先行研究によってアスリートの無酸素性パワーが評価されている<sup>10-12)</sup>。被験者は各自でウォーミングアップを済ませてから実験室に来室した。MARTテスト開始前に被験者にはトレッドミルでの走行を慣れさせるために、複数の走スピードを用いてスプリントを行わせた。

MARTを実施した多くの先行研究では、すでに設定の走スピードで動いているトレッドミルに安全バーをつかみながら跳び乗り、3秒程度走スピードに走行を合わせた後に手を離し、20秒の走行を繰り返す方法が採用されている<sup>10-12)</sup>。また、その際の休息時間は100秒とし、トレッドミルの傾斜は7%を採用しているものが多い<sup>10-12)</sup>。しかし、本研究では被験者のトレッドミル上でのスプリントに対する安全性およびトレッドミルへの跳

び乗り技術を考慮して、電動式トレッドミル (Pulsar, h/p/cosmos, Germany) の傾斜を5%に設定し、かつ走行開始予定の5秒前からトレッドミルの加速を開始し、それと同時に被験者に安全バーをつかみながら走行を開始させ、5秒間の加速走行の後、手を離して実際の20秒の走行をする方法を採用した。つまり、5秒間の加速走に続けて20秒間の走行をし、休息を95秒間に設定して疲労困憊に至るまで繰り返すことで実施した。走スピードはステージごとに25m/min漸増させ、最初のステージの走スピードは250m/minとした。なお、トレッドミルの走スピードはパーソナルコンピュータ上のソフト (h/p/cosmos para control 4.1) によって管理し、走スピードの数値を入力後、Enter ボタンを押すとトレッドミルが動き始めるようにした。Enter ボタンを連打することで加速が最も高くするように統一したが、400m/minの走スピードで設定スピードに到達するまでにおおよそ5秒間を要した。したがって、それ以上の走スピードでは5秒間で設定の走スピードに到達していない状態で20秒間の走行が開始されていた。

最初のステージ走行前、各走スピード走行終了直後、疲労困憊1分、3分および5分後に被験者の指尖より験者が採血を行い、血中乳酸濃度分析器 (Lactate Pro 2, Arkley, Kyoto) を用いて血中乳酸濃度 (bLa) の分析を行った。最高 bLa (PLa) は疲労困憊1分、3分および5分後における最も高い bLa 値を採用し、最大無酸素性エネルギー代謝能力の指標とした。

MARTにおいて疲労困憊に至った走スピードを最大無酸素性パワー (Vmax) の指標として評価した。疲労困憊に至った走スピードで20秒走行を維持できなかった場合は、 $V_{max} \text{ (m/min)} = \text{最後に20秒完走したステージの走スピード (m/min)} + (\text{疲労困憊に至ったステージでの走行時間} - 9 \text{ 秒}) \times 2.3 \text{ (m/min)}$  によって算出した。なお、疲労困憊に至ったステージでの走行時間が9秒以下の場合は、最後に20秒完走したステージの走スピードを Vmax として採用した。

また、bLa が 3 mmol/L、5 mmol/L および

8 mmol/Lにおける走スピード (V3mM、V5mM および V8mM) を最大下パワーとして評価した<sup>13)</sup>。それぞれの走スピードは MART における連続する2つの走スピードの bLa を直線回帰内挿法によって算出した。

#### 4. 統計処理

本研究の MART の方法に対する妥当性を検証するために、pre における Vmax、PLa、V3mM、V5mM および V8mM と 400m シーズン最高記録の関係について Pearson の積率相関を用いて相関係数を分析した。統計処理には SPSS Statistic 26 (IBM, Chicago, USA) を使用し、統計的有意水準は  $P < 0.05$  とした。結果はすべて平均値 ± 標準偏差にて示した。

Hypo 群と Norm 群のそれぞれの群における Vmax、PLa、V3mM、V5mM および V8mM の変化を検討するために Cohen の方法<sup>14)</sup> によって効果量 ( $d$ ) を算出し、Lipsey の方法<sup>15)</sup> によって解釈した。つまり、 $d$  が 0.20 未満のとき very small (ほとんどない)、0.20 以上 0.50 未満の場合 small (小さい)、0.50 以上 0.80 未満の場合 medium (中程度)、そして 0.80 以上の場合 large (大きい) と解釈した。

### Ⅲ. 結果

すべての被験者の pre における Vmax ( $525.2 \pm 19.4 \text{ m/min}$ ) と 400m シーズン最高記録 ( $47.3 \pm 1.5 \text{ s}$ ) の間には有意な負の相関関係 ( $r = -0.82, P < 0.05$ ) が認められた (図 1)。一方で、pre における Vmax と PLa ( $15.5 \pm 2.8 \text{ mmol/L}$ ) および PLa と 400m シーズン最高記録の間には有意な相関関係が認められなかった ( $r = 0.45$  および  $-0.32$ )。加えて、pre における V5mM ( $422.1 \pm 24.8 \text{ m/min}$ ) と 400m シーズン最高記録の間には有意な負の相関関係が認められた ( $r = -0.72$ )。一方、V3mM ( $378.1 \pm 24.9 \text{ m/min}$ ) および V8mM ( $473.9 \pm 20.3 \text{ m/min}$ ) と 400 m シーズン最高記録の間に

400m 選手への間欠的低圧低酸素トレーニングによる効果

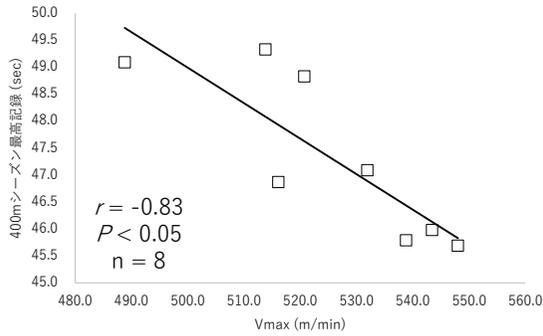


図1 低圧トレーニング介入前の Vmax と400m シーズン最高記録の関係

Fig. 1 Relationship between Vmax before the training period and seasonal best time of 400-m.

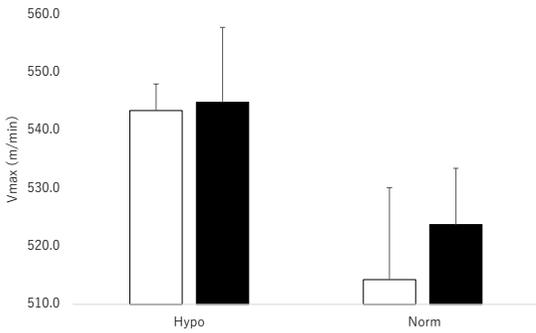


図2 低圧トレーニング前後における最大無酸素パワー  
Fig. 2 Maximal anaerobic power in each group before (white bar) and after (black bar) the training period.

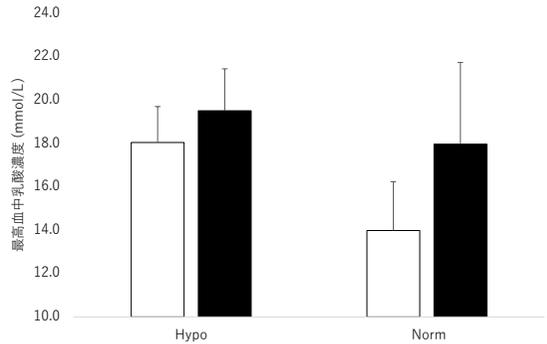


図3 低圧トレーニング前後における最高血中乳酸濃度  
Fig. 3 Peak blood lactate concentration in each group before (white bar) and after (black bar) the training period.

は有意な相関関係が認められなかった ( $r = -0.56$  および  $-0.49$ )。

Hypo 群の Vmax は pre で  $543.4 \pm 4.6$  m/min、post で  $544.8 \pm 12.9$  m/min となり、very small ( $d = 0.15$ ) の差が認められた (図2)。一方、Norm 群の Vmax は pre で  $514.3 \pm 15.8$  m/min、post で  $523.7 \pm 9.7$  m/min となり、medium ( $d = 0.72$ ) の差が認められた。また Hypo 群の PLa は pre で  $18.0 \pm 1.7$  mmol/L、post で  $19.5 \pm 1.9$  mmol/L となり、large ( $d = 0.82$ ) の差が認められた (図3)。Norm 群の PLa は pre で  $14.0 \pm 2.2$  mmol/L、post で  $18.0 \pm 3.8$  mmol/L となり、large ( $d = 1.28$ ) の差が認められた。

図4には Hypo 群 (図4a) および Norm 群 (図4b) の各走スピードにおける bLa を示した。また、表3には V3mM、V5mM および V8mM における

走スピードおよび pre と post を比較した効果量を示した。Hypo 群の V3mM および V5mM は large の差が認められたものの、V8mM は very small の差が認められた。Norm 群の V3mM は large の差が認められたものの、V5mM および V8mM は very small の差が認められた。

## IV. 考察

### 1. MART の妥当性

本研究では被験者のトレッドミル上でのスプリントに対する安全性を考慮し、先行研究<sup>10-12)</sup>とは異なるトレッドミル傾斜 (5%) および走行開始方法 (5秒前に 0 m/min から加速) によって MART を実施した。その結果、本研究の被験者

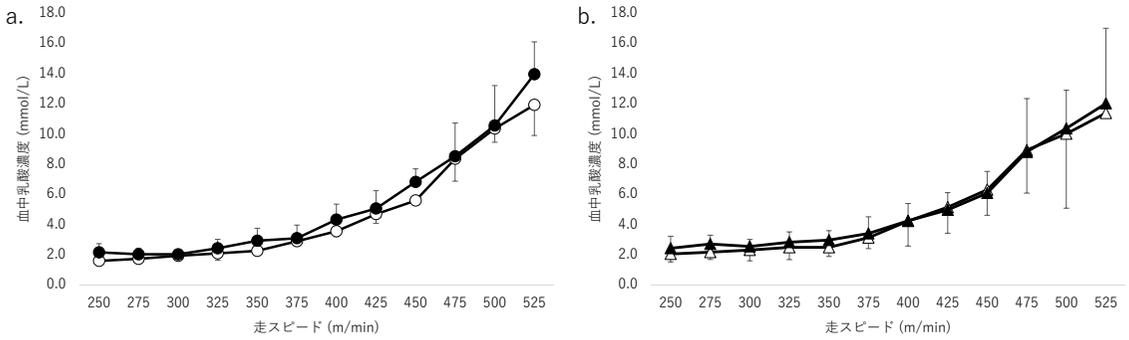


図4 Hypo群 (a) と Norm群 (b) の低圧トレーニング前後におけるMART中の血中乳酸濃度  
 Fig. 4 Blood lactate concentration on the maximal anaerobic running test in the Hypo group (a) and the Norm group (b) before (white symbols) and after (black symbols) the training period.

表3 MARTにおける3mM、5mMおよび8mM時の走スピード (m/min)  
 Table 3 Running speed (m/min) at 3mM, 5mM and 8mM of blood lactate concentration on the maximal anaerobic running test.

	Hypo			Norm		
	Pre	Post	Effect size	Pre	Post	Effect size
V3mM	379.0±	352.3±	0.97	377.5±	332.8±	0.85
	8.8	37.8		32.4	66.6	
V5mM	432.5±	415.1±	0.97	415.9±	420.5±	0.13
	12.6	22.1		29.5	39.4	
V8mM	473.6±	473.0±	0.04	474.1±	478.3±	0.15
	9.9	24.2		25.9	30.2	

は従来の方法（トレッドミル傾斜7%、トレッドミルへの跳び乗り）によってMARTを実施した先行研究<sup>13)</sup>の400m競技者(49.6±0.7s)よりも、競技レベルに差があるものの、高い走スピードまで走行していた。したがって、傾斜を緩やかにかつ高い走スピードでは設定の走スピードに到達しきっていない状態で20秒の走行が開始した方法では、より高い走スピードまでMARTにおける走行が可能であったと推察される。

そのようなMART実施方法であったが、Vmaxと400mシーズン最高記録の間には有意な負の相関関係が認められた。つまり、本研究の方法によって算出された最大無酸素性パワー (Vmax)でも400m走パフォーマンスを反映したと言える。本研究では、PLaと400mシーズン最高記録の間

には有意な相関関係が認められなかった。多くの先行研究<sup>10-12, 16)</sup>ではPLaが400m走パフォーマンスと有意な相関関係にあり、最大無酸素性エネルギー代謝能力が400m走パフォーマンスにとって重要な能力指標であると示されている。PLaの優劣は解糖系のエネルギー供給システムによるエネルギー（アデノシン三リン酸）の産生に貢献するため、高いパフォーマンスと関連するだろう。本研究においてこの関係が認められなかった要因として、被験者サンプリングが少数であったことや競技レベルが高いことが考えられる。森丘ほか<sup>13)</sup>においてもPLaと400mシーズン最高記録の間に有意な相関関係が認められなかったことが報告されており、先行研究の中でも一致した見解が得られていないようである。400m走中のエネルギー

ギー貢献割合は有酸素性エネルギー代謝と無酸素性エネルギー代謝でそれぞれおおよそ40%と60%であることから<sup>2)</sup>、両者のバランスが重要であることが改めて示唆された。

最大下におけるパワーとして算出した V5mM は優れている選手ほど優れた400m シーズン最高記録である関係が示された一方で、V3mM および V8mM は400m シーズン最高記録の間に有意な相関関係が示されなかった。本研究では bLa が比較的始めのステージで 3 mmol/L に到達する選手や、逆に20秒の走行を完遂した最終ステージまで 8 mmol/L に到達しない選手も見受けられ、それらの bLa によるパワー評価は解糖系によるエネルギー供給の個人差に影響を受けたと推察される。つまり、遅いスピードにおいても解糖系のエネルギー供給システムに依存する選手や最大無酸素性エネルギー代謝能力が低い選手によって400m 走パフォーマンスとの関係が弱まった可能性がある。一方で、bLa が 5 mmol/L におけるパワー評価はそれらの影響を受けにくいいため、400m または400m 障害の選手によって走パフォーマンスとの関係が強くなったと考えられる。

## 2. 低圧トレーニングの効果

週1回15週間にわたる超高強度短時間の IHT を実施した Hypo 群は PLa に大きな改善が認められたが、Vmax にほとんど改善が認められなかった。また、V8mM にはほとんど変化が認められず、V3mM および V5mM は大きな低下が認められた。一方 IHT 以外のトレーニングを Hypo 群と同様に実施していた Norm 群は PLa に大きな改善が認められ、Vmax にも中程度の改善が認められた。また、V5mM および V8mM にほとんど変化が認められず、V3mM は大きな低下が認められた。これらの結果は、週1回15週間にわたる IHT が無酸素性エネルギー代謝能力や400m 走パフォーマンスの改善に寄与したとは言えないことを示唆している。

本研究では IHT によるトレーニング効果を認めた先行研究の IHT セッション数を超える回数

を実施させたため (Hamlin et al., 2010; Hendriksen et al., 2003; Kasai et al., 2017; Oriishi et al., 2018)、IHT のセッション数としては無酸素性エネルギー代謝能力や400m 走パフォーマンスの改善に十分であったと推察される。しかしながらそれらの能力が改善されなかった要因として、IHT のトレーニング頻度やトレーニング内容が考えられる。本研究は週1回のトレーニング頻度によって15週間の IHT を実施した。一方、IHT によって無酸素性エネルギー代謝能力への効果を認めた先行研究はいずれも短期間に IHT を詰め込んで実施していた<sup>6-9)</sup>。また、短期間に IHT を詰め込まず有酸素性エネルギー代謝能力への効果を認めた先行研究はいずれも週2回6週間のトレーニング頻度であった<sup>4,5)</sup>。これらのことから、IHT によって効果を得るためには少なくとも週2回のトレーニング頻度が必要となり、無酸素性エネルギー代謝への効果を考慮すると短期間に詰め込むトレーニング頻度が最も効果的であると示唆される。

本研究では自走式トレッドミル上での5秒加速の後10秒または20秒間のスプリント走および電動トレッドミル上での40秒間のテンポ走を IHT のトレーニングとして実施した。これらのトレーニングはいずれも超高強度 (>VO<sub>2</sub>max) 短時間 (<60秒) 運動であった。一方、IHT によって無酸素性エネルギー代謝能力への効果を認めた多くの先行研究は超高強度短時間運動に加えて、低強度 (<80% VO<sub>2</sub>max)<sup>6,7)</sup> または中高強度 (80%-100% VO<sub>2</sub>max)<sup>9)</sup> 長時間 (≥30分) 運動を実施していた。低酸素環境における運動の持続は低い動脈血酸素飽和度 (SPO<sub>2</sub>) において筋の収縮を繰り返すため、骨格筋に何らかの適応が生じていると考えられている<sup>4)</sup>。つまり、超高強度短時間みの IHT の実施では、この骨格筋の適応が生じるための運動時間が不足していた可能性がある。Kasai et al.<sup>8)</sup> は超高強度短時間みの IHT の実施であったが、インターバル形式でスプリントを実施させており、1本ごとの休息が非常に短時間 (24-40秒) であった。休息が短時間になるにつれ

て、直前の運動における代謝の影響を受けることが知られている<sup>18)</sup>。Kasai et al.<sup>8)</sup> が運動時間と休息時間の比が1:2、1:4または1:6であるのに対して、本研究では最大で1:13の比であり、運動時間に対して休息時間が非常に長かったと推察される。これらのことから、IHTの効果を得るためにはSPO<sub>2</sub>が低い状態での運動時間の確保が求められ、運動強度に関わらず長時間(≥30分)の運動をIHTに組み合わせることや、超高強度短時間の場合でも1本ごとの休息を短時間にするのが効果的であると示唆される。

## V. 結論

本研究は、400m競技者を対象に週1回、15週間にわたる超高強度短時間のIHTを実施させ、無酸素性エネルギー代謝能力への効果を明らかにした。その結果、IHTを実施したHypo群における最大無酸素性パワー(Vmax)にはほとんど改善が認められなかった一方、最大無酸素性エネルギー代謝能力(PLa)には大きな改善が認められた。しかし、IHT以外のトレーニングをHypo群と同様に実施していたNorm群においてもPLaの大きな改善が認められた。したがって、これらの結果は週1回、15週間にわたる超高強度短時間のIHTが無酸素性エネルギー代謝能力への効果がないことを示唆している。

IHTによって無酸素性エネルギー代謝能力への効果を認めた先行研究の方法を加味すると、短期間に集中してIHTを詰め込むこと、超高強度短時間の運動に加えて運動強度に関わらず長時間の運動によるIHTを組み合わせること、超高強度短時間の運動に対する休息を短時間にするなどなどを考慮したIHTが無酸素性エネルギー代謝の改善に効果的であると示唆された。

### 謝辞

本研究はJSPS科研費JP19K20063の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) 山中亮, 小林海, 高橋恭平, 松林武生, 渡辺圭佑, 大沼勇人, 綿谷貴志, 山本真帆, 広川龍太郎. 2019年度競技会における男女400mのレース分析. 陸上競技研究紀要, 15: 158-167, 2019.
- 2) Spencer MR, Gastin PB. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.*, 33: 157-162, 2001.
- 3) Millet GP, Roles B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combinig hypoxic methods for peak performance. *Sports Med.*, 40(1): 1-25, 2010.
- 4) Dufour SP, Ponsot E, Zoll J, Doutreleau S, Lonsdorfer-Wolf E, Geny B, Lampert E, Fluck M, Hoppeler H, Billat V, Mettauer B, Richard R, Lonsdorfer J. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners, I. Improvement in aerobic performance capacity. *J Appl Physiol.*, 100(4): 1238-1248, 2006.
- 5) Roels B, Millet GP, Marcoux CJL, Coste O, Bentley DJ, Candau RB. Effects of hypoxic interval training on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 37(1): 138-146, 2005.
- 6) Hendriksen IJM, Meeuwse T. The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *Eur J Appl Physiol.*, 88: 396-403, 2003.
- 7) Hamlin MJ, Marshall HC, Hellemans J, Ainslie PN, Anglem N. Effects on intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scand J Med Sci Sports*, 20(4): 651-661, 2010.
- 8) Kasai N, Kojima C, Sumi D, Takahashi H, Goto K, Suzuki Y. Impact of 5 days of sprint training in hypoxia on performance and muscle energy substances. *Int J Sports Med.*, 38(13): 983-991, 2017.
- 9) Oriishi M, Matsubayashi T, Kawahara T, Suzuki Y. Short-term hypoxic exposure and training improve maximal anaerobic running test performance. *J Strength Cond Res.*, 32(1): 181-188, 2018.
- 10) 森丘保典, 持田尚, 内丸仁, 青野博, 雨宮輝也, 伊藤静夫. Maximal anaerobic running testによる十種競技者の走能力評価. *体育学研究*, 51: 117-124, 2006.
- 11) Nummela A, Mero A, Stray-Gundersen J, Rusko H.

- Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. *Int J Sports Med.*, 17(Suppl. 2): 91-96, 1996.
- 12) Rusko H, Nummela A, Mero A. A New method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur J Appl Physiol.*, 66: 97-101, 1993.
- 13) 森丘保典, 伊藤静夫, 持田尚, 大庭恵一, 原孝子, 内丸仁, 青野博, 雨宮輝也. 間欠的な漸増負荷ランニング中の血中乳酸動態から推定されるパワーと400m 走記録との関係. *体育学研究*, 48: 181-190, 2003.
- 14) Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd Edi. Routledge, Oxford, UK. 1988.
- 15) Lipsey MW. *Designing sensitivity: Statistical power for experimental research*. CA: Newbury Park, Sage. 1990.
- 16) Lacour JR, Bouvat E, Barthelemy JC. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Appl Physiol.*, 61: 172-176, 1990.
- 17) Nummela A, Tuorimaa T, Rusko H. Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J Sports Sci.*, 10: 217-228, 1992.
- 18) Burnley M, Jonathan H, Doust H, Jones AM. Time required for the restoration of normal heavy exercise  $\dot{V}O_2$  kinetics following prior heavy exercise. *J Appl Physiol.*, 101: 1320-1327, 2006.