

# 高濃度酸素の吸入が無酸素性作業のパフォーマンス及び生理応答に及ぼす影響

—高強度のインターバル運動及び短時間の全力運動を対象として—

## Effect of normobaric hyperoxia on performance and physiological responses during high intensity exercise

奥島 大, 山本 正嘉

Dai Okushima and Masayoshi Yamamoto

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the responses of higher O<sub>2</sub> content in the air on performance and physiological responses during high intensity exercise. On separate days, six subjects performed intermittent exercises consisted of 10 step at an intensity of 170%  $\dot{V}O_2$  and 30s Wingate anaerobic test while inspiring normoxia (NO; F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> 20.9 %) or hyperoxia (HO; F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> 30.0 %). Power output, heart rate (HR), ventilation ( $\dot{V}E$ ), O<sub>2</sub> uptake ( $\dot{V}O_2$ ), Blood lactate (La) and arterial oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) were measured during each exercise under both conditions. During intermittent exercise, significantly higher SpO<sub>2</sub> as well as significantly lower HR and  $\dot{V}O_2$  values were observed in HO comparing to NO condition. During 30s Wingate test, however, there were not significant differences in the power output and physiological parameters except for SpO<sub>2</sub>. These results suggest that inspiring 30% hyperoxic air has a possibility to keep physiological stress low especially in an intermittent high intensity exercise.

Key words: hyperoxia, anaerobic exercise, intermittent exercise, Wingate anaerobic test

キーワード：高濃度酸素，無酸素性運動，間欠的運動，ウインゲートテスト

### I. 目 的

我々は通常環境（海面レベル）において，1気圧で酸素濃度が20.9%の空気を呼吸している。この吸気酸素濃度を，気圧を変えずに低くしたり，高くしたりした状態で運動をした場合に，運動パフォーマンスや生理応答がどのような影響を受けるかに関して，古くから多くの研究が行われてきた。

低濃度の酸素環境下（以下，低酸素環境）で無酸素性作業を行った場合には，強度が同じ運動であれば，心拍数（HR）や主観的運動強度（RPE）が上昇するなど，生理的な作業強度は高くなる。また，最大努力で運動を行った際には，作業能力が低下す

ると報告されている<sup>2,10</sup>。

一方，高濃度の酸素環境下（以下，高酸素環境）での運動についても，低酸素環境同様に古くから研究が行われてきた。その主な目的は，作業能力の増加<sup>6,8</sup>，最大酸素摂取量の限定要因の特定<sup>5,19</sup>，運動後の回復促進<sup>7,13,15</sup>といったものであった。これらの先行研究によると，高酸素環境下で最大作業を行った時には最大酸素摂取量や最大作業時間が向上し，その結果として，最大下の同一強度の運動であれば相対強度が低くなり，余裕を持って運動を行えると報告されている<sup>3</sup>。

しかし，これらの研究のほとんどは，吸入する酸

素濃度の変化に対して、人体の生理応答がどのように変化するかを調べるための基礎的研究として行われたものである。このため対象とした運動も、多段階負荷運動や固定負荷運動といった、比較的強度の低い有酸素性作業に限られていた。

一方、スポーツ現場で行われている競技や、そのためのトレーニングを見ると、超最大運動を反復したり、持続したりすることも多い。これらの運動では無酸素性のエネルギーが多く利用されるが、同時に有酸素性のエネルギーの貢献も無視できず、両者がいずれも必要な運動といえる。しかし高酸素環境下でこのような運動を行い、パフォーマンスや生理応答が通常環境と比べてどのように異なるかについて検討した研究は少ない。

そこで本研究では、高酸素環境下で、①高強度のインターバル運動を行う、②最大努力で短時間の持続的な運動を行うという、スポーツ現場でよく行われている2種類の高強度運動を行った。そして、その時の運動パフォーマンスや、関連する生理応答に与える影響について、通常酸素環境下で同様の運動を行った場合とで比較検討することを目的とした。

## II. 方 法

### A. 測定対象

被験者は、体育学を専攻する健康な男子大学生6名であった。被験者の年齢、身長および体重の平均

値±標準偏差は、それぞれ $21 \pm 1$ 歳、 $172.4 \pm 6.5$ cm、 $64.9 \pm 4.2$ kgであった。全ての被験者には実験の目的、方法、およびそれに伴う危険性について文書、及び口頭で説明し、本実験に参加する同意を得た。

### B. 測定手順

本実験は、酸素濃度20.9%の通常酸素環境、および酸素濃度30.0%の高酸素環境の2環境に設定された環境シミュレーター室（トレーニング環境シミュレーター、エスベックエンジニアリング社製、Japan）内で行った。また、運動はすべて、電磁ブレーキ式の自転車エルゴメーター（Powermax-V II、Combi社製、Japan）を用いたペダリング運動により行った。

図1は、実験の手順について示したものである。被験者はまず環境シミュレーター内で30分間の椅座位安静を行った。その後、ウォーミングアップ（W-up）として、各被験者の体重の2%の負荷重量で100rpmのペダリングを行った。W-upの終了後、10分間の休息をはさみ、以下の2種類の主運動を順番に行った。

1つ目の主運動として、1ステップが1分間からなる間欠的運動を10ステップ行った（以下、運動A）。各ステップの間欠的運動は、事前に測定した各被験者の最大酸素摂取量の170%の負荷重量で15

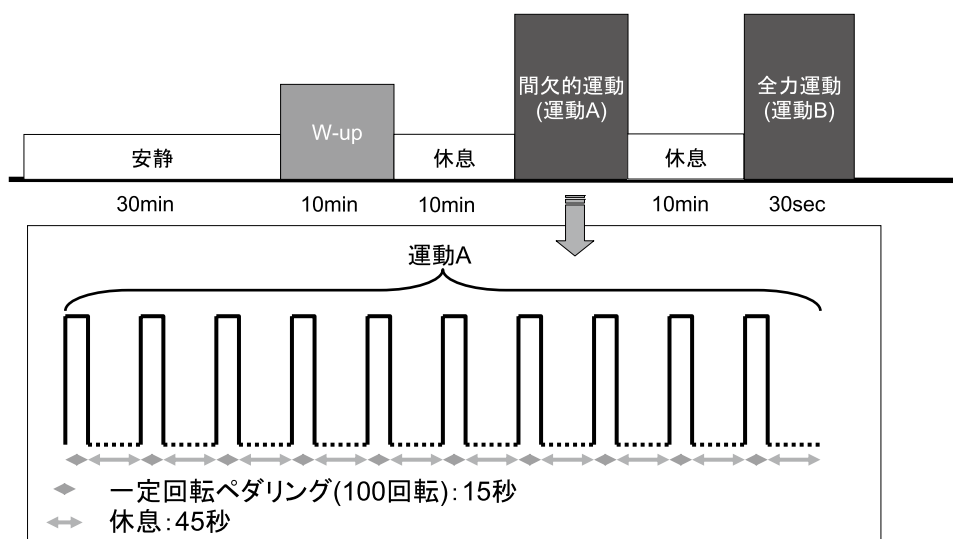


図1. 実験のプロトコル

秒間、100rpmのペダリング運動を行い、45秒間の休息をはさんだ後に再び同じ運動を繰り返していくというものであった。

運動Aの終了後、10分間の安静をはさんだ後に、2つ目の主運動として30秒間の全力ペダリングを1回行った（以下、運動B）。この運動を行うに当たっては、運動開始の合図から終了までペース配分をせずに、終始全力で行うよう指示を与えた。

通常酸素環境と高酸素環境での2回の測定は、被験者毎にランダムな順序で行うこととし、実験を行う時間帯は同一にした。また、2回の測定は48時間以上あけて行うこととし、実験期間中には他の激しい運動は行わないように指示した。また、自転車エルゴメーターのハンドルおよびサドルの高さは被験者毎に毎回同じ位置に固定した。

### C. 測定項目および分析項目

運動Aの運動パフォーマンスは、15秒間の一定回転ペダリング時の平均パワーを1ステップ毎に記録した。また運動Bでは、5秒毎にパワーを記録した。

動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) は、主運動開始から測定終了まで連続的にパルスオキシメーター (Pulsox-3si, Minolta社製, Japan) を用いて測定した。運動Aでは、各ステップの運動時と休息時を込みにした値、及びステップ全体の平均値で算出した。また運動Bでは、運動中の5秒ごとの値を算出した。

心拍数 (HR) は、胸部双極誘導心電図計 (BSM-7200, Nihon Koden社製, Japan) を用いて、主運動開始時から測定終了まで連続的に測定した。なお運動Aでは、各ステップの運動時と休息時を込みにした値、及びステップ全体の平均値で算出した。運動Bでは、30秒間の運動の平均値を算出した。

換気量 ( $\dot{V}E$ )、および酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は、自動呼気ガス分析器 (Vmax29c, Sensor Medics社製, United States) を用いて、主運動開始時から測定終了まで連続的に測定した。なお運動Aでは、各ステップの運動時と休息時を込みにした値、及びステップ全体の平均値で算出した。運動Bでは、30秒間の運動の平均値を算出した。

血中乳酸濃度 ( $La$ ) は、運動A、Bともに、運動終了の直後、3分後、5分後のタイミングで指尖より採血し、簡易血中乳酸測定器 (Lactate Pro, Arkray社製, Japan) を用いて測定した。

### D. 統計処理

測定した値は、平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。統計処理は、条件と時間をそれぞれ要因とした反復測定による二元配置分散分析を用いて行い、環境間に有意な差が出た場合にはTurkeyの多重比較により、その後の検定を行った。

## III. 結果

### A. 運動A

図2は、10ステップの間欠的運動における各ステップの平均パワーを示したものである。両環境ともに10ステップの運動を規定通りに遂行できた。その結果、全ステップの平均パワーは通常酸素環境では424W、高酸素環境では423Wとほぼ同じ値を示し、有意差も認められなかった。

図3は、ステップ毎の $SpO_2$ を示したものである。両環境とも全ステップを通して一定値で推移していた。また環境間で比較すると、いずれのステップにおいても高酸素環境での値の方が通常酸素環境よりも有意に高値を示した。

図4は、ステップ毎のHRを示したものである。通常酸素環境では上昇し続けたが、高酸素環境では6ステップ付近からほぼ一定値で推移した。環境間

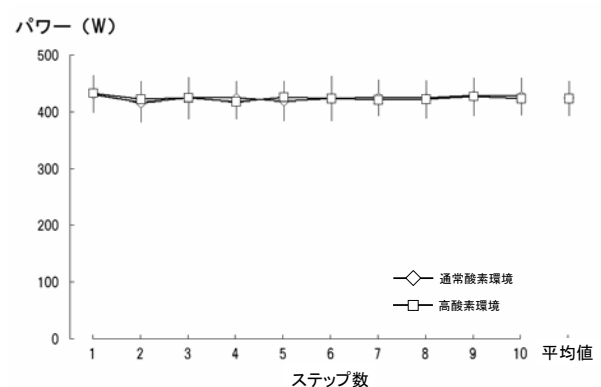


図2. 運動A (間欠的運動) における各ステップ、および10ステップの平均パワー

表 1. 運動A (間欠的運動) における生理指標の平均値

	通常酸素環境	高酸素環境
HR(bpm)	138±13 **	132±11
$\dot{V}E$ (ℓ/min)	57.94±4.29	55.11±3.53
$\dot{V}O_2$ (ℓ/min)	1.89±0.12 **	1.79±0.12
SpO <sub>2</sub> (%)	96±1	99±0 **

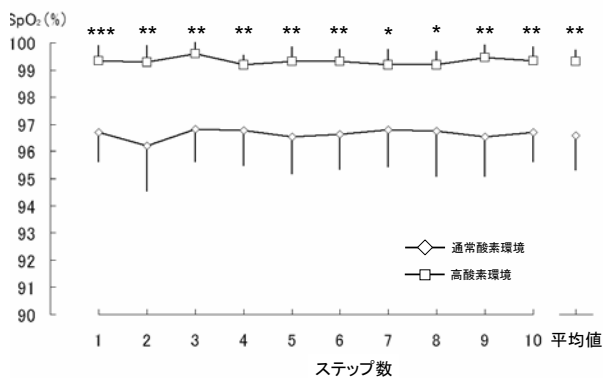


図 3. 運動A (間欠的運動) におけるSpO<sub>2</sub>の推移  
\*は p < 0.05, \*\*は p < 0.01, \*\*\*は p < 0.001をそれぞれ表す (以下の図も同様)

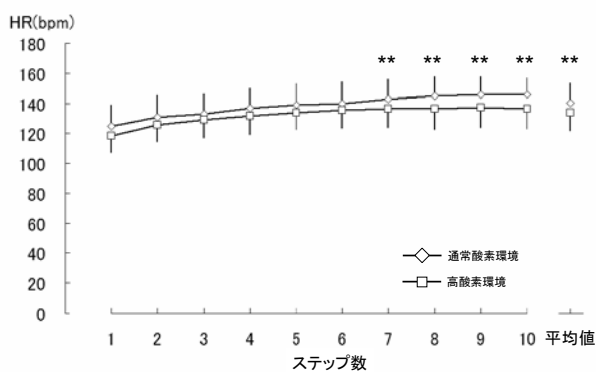


図 4. 運動A (間欠的運動) におけるHRの推移

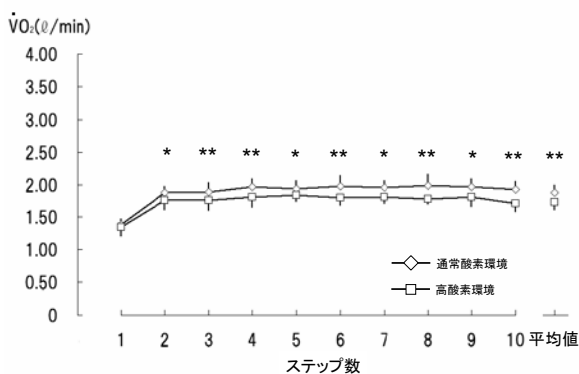


図 5. 運動A (間欠的運動) における $\dot{V}O_2$ の推移

で比較すると、7ステップから10ステップにかけて、高酸素環境での値の方が通常酸素環境での値よりも有意に低値を示した。

図 5 は、ステップ毎の $\dot{V}O_2$ を示したものである。両環境とも、2ステップまで大きく上昇したが、それ以降はほぼ一定値で推移した。環境間で比較すると、2ステップ以降10ステップまで、高酸素環境で

の値の方が通常酸素環境での値よりも有意に低値を示した。

$\dot{V}E$ の値は、両環境とも3ステップまで上昇し、それ以降はほぼ一定の値で推移した。しかし、環境間に有意な差は認められなかった。

運動終了後のLaの値は、運動の直後に最高値を示し、その後3分、5分と経過するにつれて低下していった。しかし両環境間で有意差は認められなかった。

表 1 は、運動Aにおける10ステップの各測定値の平均値を示したものである。HR、 $\dot{V}O_2$ は高酸素環境での値の方が有意に低値を示し、SpO<sub>2</sub>は通常酸素環境での値の方が有意に低値を示した。

## B. 運動B

図 6 は、30秒間の全力運動における発揮パワーを5秒毎に区分して表したものである。発揮パワーは6～10秒の区間で最高値を示した後、徐々に低下した。ただし両環境間には、どの区間でも有意差は

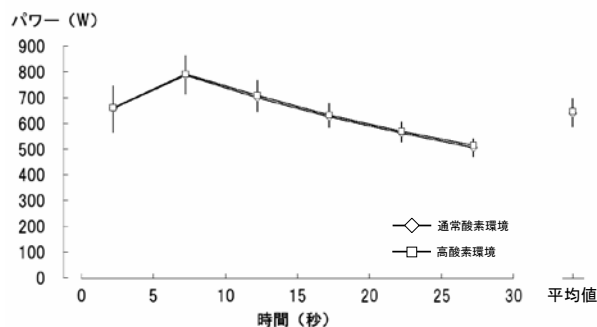


図 6. 運動B (全力運動) における5秒毎の平均パワーの推移

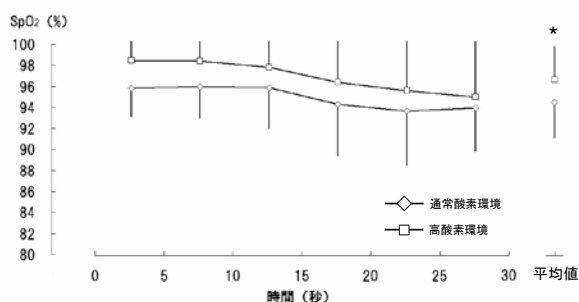


図7. 運動B（全力運動）における5秒毎のSpO<sub>2</sub>の推移

認められなかった。

図7は、SpO<sub>2</sub>を5秒毎に区分して表したものである。値は時間経過とともに緩やかに下降していった。環境間で比較すると、各区間では有意差は認められなかったが、運動全体の平均値で見ると、高酸素環境での値の方が通常酸素環境での値よりも有意に高値を示した。

Laの値は、両環境とも3分後に最大値を示し、5分後もほぼ同じ値で推移した。環境間では値に有意差は認められなかった。

表2は、SpO<sub>2</sub>、HR、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ について、30秒間の運動全体の平均値で示したものである。SpO<sub>2</sub>以外の指標については、通常酸素環境、高酸素環境ともほぼ同じ値を示し、有意な差は認められなかった。

表2. 運動B（全力運動）における生理指標の平均値

	通常酸素環境	高酸素環境
HR(bpm)	146 ± 12	146 ± 16
$\dot{V}E$ (l/min)	66.41 ± 19.27	66.61 ± 14.53
$\dot{V}O_2$ (l/min)	1.38 ± 0.26	1.26 ± 0.28
SpO <sub>2</sub> (%)	94 ± 3	97 ± 2 *

た。

#### IV. 考 察

本研究の目的は、高酸素環境下で、無酸素性と有酸素性のエネルギーが混合して利用されるような超最大運動を行ったときに、パフォーマンスや生理応

答がどのような影響を受けるかを検討することであった。このために、30%の高酸素環境下および20.9%の通常酸素環境下で、①運動時の強度が170%  $\dot{V}O_2$ maxとなるような10分間の間欠的運動、および②運動時間が30秒間の連続的な全力運動を行い、パフォーマンスや生理応答がどのように異なるかについて比較検討した。

#### A. 高酸素環境が間欠的運動に及ぼす影響

高酸素環境下での運動に関する先行研究を見ると、運動の様式や強度や時間は異なるものの、共通して見られる傾向として、以下のような点があげられる。すなわち、同一強度で作業を行った時には、通常酸素環境に対して高酸素環境では、 $\dot{V}E$ 、HR、Laは変化なし<sup>3,6,9,14</sup>、もしくは有意に低下し<sup>1,3,5,6,9,14,19,20</sup>、 $\dot{V}O_2$ は変化なし<sup>1,3,14,19</sup>、もしくは有意に増加する<sup>5,6,9,20</sup>というものである。

これに対して本研究では、 $\dot{V}E$ 、Laには有意な変化が見られなかったものの低値を示す傾向が見られ、HRは有意に低下する(図4)という、先行研究と同様の結果が得られた。しかし、 $\dot{V}O_2$ に関しては有意に低下する(図5)という、先行研究とは異なる結果となった。

$\dot{V}O_2$ に関して、先行研究とは異なる結果が得られた原因のひとつとして、本研究の運動Aの様式がインターバル運動であったことが考えられる。すなわち本研究では、運動時(15秒間)のベダリング負荷は170%  $\dot{V}O_2$ maxと先行研究よりも高かったが、休息時間(45秒間)が長いために、10分間の平均心拍数としてみると132 ± 11bpmと低い値であった。

また、先行研究<sup>12)</sup>を見ると、軽い運動時に高酸素を吸入した際には、換気量の低下、呼吸数の減少といった換気応答の抑制が起こると報告されており、呼吸筋の酸素消費量は減る可能性がある。また、心拍数が低下することから、心筋の酸素消費量も軽減される可能性がある。

今回の結果を見ると、高酸素環境では有意ではなかったものの、換気量が低下する傾向が見られ、心拍数については有意に低下するという結果が得られた。以上のことを考えると、運動Aのようなイン

ターバル運動時には、呼吸筋や心筋にかかる生理的負荷が通常酸素環境よりも小さくなり、 $\dot{V}O_2$ が低値を示した可能性が考えられる。ただし、この点については類似の先行研究がないことから不明な部分も多く、今後さらに検討していく必要がある。

以上のことを考慮したうえで、今後、高酸素環境をスポーツ選手のトレーニングに活用していくことを想定した場合、次のような可能性が考えられる。今回の結果に見られたような、同一強度の運動時に生理的強度が低くなるという性質を利用すれば、通常酸素環境では遂行が難しい高強度の運動の反復時に活用できる可能性があるといえる。また、体力要素以外のトレーニングとして、たとえば技術練習などを行う際に、競技場面に近いより高強度の運動領域で反復して行える可能性もあると考えられる。

## B. 高酸素環境が短時間の全力ペダリングに及ぼす影響

先行研究を見ると、30秒程度で終了するような短時間で最大努力の作業においても、有酸素エネルギーが比較的大きな寄与をしているという報告がある。また実際に、30秒間の全力運動を行った時の発揮パワーと有酸素性作業能力( $\dot{V}O_{2max}$ )との間に、有意な相関関係が得られたという報告<sup>18)</sup>もある。この報告では、運動開始10秒後から有酸素性パワーとの間に相関関係を認めている。以上のことを考えると、30秒の最大努力運動を高酸素環境下で行うと、通常環境よりも大きなパワーを発揮できる可能性も考えられる。

しかし本研究においては、運動Bにおける発揮パワーには高酸素環境下と通常酸素環境下とで有意差は認められなかった(図6)。また生理応答については、 $SpO_2$ に関してのみ、高酸素環境での値が通常酸素環境に対して有意に高い値を示したが(図7)、HR、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ 、Laについては環境間で有意差は認められなかった(表2)。

各区間のパワーに関して差が現れなかったのは、両環境でHR、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ 、といった、有酸素性エネルギーに関係する指標に有意差が認められなかったことによるものといえる。また、このような結果を

もたらした要因としては、30%という吸気酸素濃度が相対的に見て低かった可能性が考えられる。

先行研究において、無酸素性作業時のパフォーマンスが向上した報告例では、1.3ATA、100%  $O_2$ <sup>4)</sup>や60%  $O_2$ <sup>8)</sup>といった、本研究よりも高い吸気酸素濃度で無酸素性作業を行わせている。これらのことを考えると、本研究の運動Bに関して、吸気酸素濃度をより高くして行った場合には、発揮パワーに差が生じる可能性もあったかもしれない。

運動Bにおいて、高酸素環境下と通常酸素環境下とで発揮パワーに有意差が認められなかった理由として、もう一つ、30秒間というペダリング時間が短かった可能性が考えられる。先行研究<sup>18)</sup>によると、全力運動を持続した時の発揮パワーに対して、無酸素性パワーの相関と有酸素性パワーとの間で、相関係数が逆転する局面はおおよそ25秒から30秒である。そして30秒以降になると、有酸素性パワーとの間に高い相関関係が維持されることが報告されている。このことを考えると、30秒間以上の全力運動を行った場合には、環境間で発揮パワーに差が生じ始める可能性もあったと考えられる。

なおLaに関する先行研究を見ると、比較的強度が高く、有酸素的な要素の強い運動中に高酸素吸入を行った場合には、Laの低下が見られるという報告<sup>1,3,5,6,9,14,19,20)</sup>は多くなされている。本研究においては、それらとは異なる結果が得られたが、この理由としては、本研究が短時間の全力運動という無酸素的な要素の強い運動であったことが考えられる。つまり、高強度運動でも有酸素的な要素の強い運動では、高酸素はLaを低下させる効果をもたらすが、短時間の全力運動という運動様式においては、運動中の乳酸産生や運動終了後の乳酸の除去に対して、高酸素は大きな影響を及ぼさない可能性があるといえる。

このような短時間の持続的な高強度運動を対象として、高酸素吸入の効果を見た先行研究は少ないが<sup>8,13)</sup>、その中で本研究に近いものとしてNummelaらの研究<sup>13)</sup>があげられる。彼らは、通常酸素環境、高酸素環境、及び回復期のみを高酸素を吸入するという3条件で、300mのトレッドミル走を異なる速度

でそれぞれ3本ずつ3セット行った。そして、各セット終了後にLaを測定しているが、環境間に有意な差は認められなかったと報告している。本研究でもこれと似た結果が得られたといえる。

以上のことから、本研究で行ったような30秒間というごく短時間で行われる全力運動においては、30%という高酸素環境の影響はパフォーマンスに対しては認められないといえる。しかし今後、酸素濃度をより高く設定したり、運動時間をより長くするなどの設定によって、パフォーマンスや生理応答に差が生じてくる余地はあるかもしれない。

## V. ま と め

本研究では、高酸素環境下(30.0%)と通常酸素環境下(20.9%)で、無酸素性と有酸素性のエネルギーが混合して用いられる超最大運動を行い、そのパフォーマンスや生理応答が両環境でどのように異なるかについて比較検討した。対象とした運動は、A:運動強度が170%  $\dot{V}O_2\max$ の間欠的運動、B:運動時間が30秒間連続の全力運動の2種類であり、いずれも自転車エルゴメーターを用いて行った。

その結果、運動Aにおいては、高酸素環境では $\dot{V}O_2$ やHRが有意に低値を示し、同一強度中の生理的負荷は相対的に低くなっていることが示唆された。また運動Bにおいては、パフォーマンスに有意差は認められず、生理応答に関しても $SpO_2$ 以外に有意差は認められなかった。

以上のことから、30%の高酸素環境下においては特に、超最大運動をインターバルトレーニングとして行う場合に、有効利用が可能であると考えられる。その具体例としてたとえば、体力的にも技術的にもより実際の競技場面に近い高強度の領域でトレーニングを遂行できるといったメリットが考えられる。

## 引用文献

- 1) Adams, R. P., P. A. Cashman, and J. C. Young: Effect of hyperoxia on substrate utilization during intense submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 61: 523-529, 1986.
- 2) 浅野勝己: 高所トレーニングの生理的意義と最近の動向. *臨床スポーツ医学*, 16: 505-516, 1999.
- 3) Byrnes, W. C., P. M. Mihevic, P. M. Freedson, and S. M. Horvath: Submaximal exercise quantified as percent of normoxic and hyperoxic maximum oxygen uptakes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16: 572-577, 1984.
- 4) Eiken, O., C. M. Hesser, F. Lind, A. Thorsson, and A. Thorsson: Human skeletal muscle function and metabolism during intense exercise at high  $O_2$  and  $N_2$  pressures. *J. Appl. Physiol.*, 63: 571-575, 1987.
- 5) Ekblom, B., H. Huot, E. H. Stein, and A. T. Thorstensson: Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. *J. Appl. Physiol.*, 39: 71-75, 1975.
- 6) 藤瀬武彦: 漸増負荷運動時の高酸素吸入が持久的運動鍛錬者の作業成績及び生理変量に及ぼす効果, *トレーニング科学*, 9: 31-38, 1997.
- 7) 藤瀬武彦, 重原麻里, 長崎浩爾, 高橋努, 岩垣丞恒, 山村雅一: 短時間激運動後の回復期における高酸素ガス吸入の効果; 血中乳酸値及び運動能力の回復から. *新潟国際大学 情報文化学部紀要*, 6: 143-158, 2003.
- 8) 藤瀬武彦, 重原麻里, 長崎浩爾, 高橋努, 岩垣丞恒, 山村雅一: 無酸素的運動時の高酸素ガス吸入が作業成績に及ぼす効果. *新潟国際大学 情報文化学部紀要*, 5: 265-282, 2002.
- 9) Hogan, M. C., R. H. Cox, and H. G. Welch: Lactate accumulation during incremental exercise with varied inspired oxygen fractions. *J. Appl. Physiol.*, 55: 1134-1140, 1983.
- 10) 伊藤朗: 図説・運動生理学入門. 医歯薬出版, 東京, pp.102-105, 1990.
- 11) Mateika, J. H., J. Duffin: The ventilation, lactate and electromyographic thresholds during incremental exercise test in normoxia, hypoxia and hyperoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 110-118, 1994.

- 12) 宮村実晴編集：運動と呼吸. 真興交易(株)医書出版部, 東京, pp.83-95, 2004.
- 13) Nummela, A., I. Härmäläinen, H. Rusko: Effect of hyperoxia on metabolic responses and recovery in intermittent exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 12: 309-315, 2002.
- 14) Plet, J., P. K. Pederson, F. B. Jesen, and J. K. Hansen: Increased working capacity with hyperoxia in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65: 171-177, 1992.
- 15) Maeda, T and A. Yasukouchi: Blood lactate disappearance during breathing hyperoxic gas after exercise in two different physical fitness groups; on the work load fixed at 70 %  $\dot{V}O_2$  max. *Appl. Human Sci.*, 16: 249-255, 1997.
- 16) 山地啓司：運動処方のための心拍数の科学. 大修館書店, 東京, pp.213-215, 1981.
- 17) 山地啓司：改訂 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 東京, pp.210-212, 2001.
- 18) 山本正嘉, 中村好男, 宮下充正：90秒間連続の最大努力作業時に発揮されるパワーに関する研究：最大無酸素性パワーおよび最大有酸素性パワーとの関連から. *Jpn. J. Sports Sci.*, 4: 308-313, 1985.
- 19) Welch, H. G, F. Bonde-Petersen, T. Graham, K. Klausen, and N. Secher: Effect of hyperoxia on leg blood flow and metabolism during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 42: 385-390, 1977.
- 20) Wilson, B. A, H. G. Welch, and J. N. Liles: Effects of hyperoxic gas mixtures on energy metabolism during prolonged work. *J. Appl. Physiol.*, 39: 267-271, 1975.