

## 高地順化のための安静時低酸素吸入がその後のトレーニングに及ぼす影響

杉田 正明 (三重大学 教育学部, sugita@edu.mie-u.ac.jp)

西村 明展 (三重大学 医学部, meiten@clin.medic.mie-u.ac.jp)

加藤 公 (三重大学 医学部, kato@kaiseihp.com)

福田 亜紀 (鈴鹿回生病院 整形外科, fukudashion@yahoo.co.jp)

松田 和道 (鈴鹿回生病院 リハビリテーション科, pt.matsu@mac.com)

須藤 啓広 (三重大学 医学部, a-sudou@clin.medic.mie-u.ac.jp)

### Effect on the training after hypoxic condition for acclimatization to altitude

Masaaki Sugita (Faculty of Education, Mie University, Japan)

Akinobu Nishimura (Graduate School of Medicine, Mie University, Japan)

Ko Kato (Graduate School of Medicine, Mie University, Japan)

Aki Fukuda (Department of Orthopaedic Surgery, Suzuka Kaisei Hospital, Japan)

Kazumichi Matsuda (Department of rehabilitation, Suzuka Kaisei Hospital, Japan)

Akihiro Sudo (Graduate School of Medicine, Mie University, Japan)

#### 要約

高地で行われるスポーツ競技会に対し、平地と同様のパフォーマンスが発揮できるよう「高地順化」が求められる。しかし、高地にまとまった期間、滞在しトレーニングを行うには経済的、時間的にも負担が大きく、さらに高地でのトレーニングではトレーニングの強度や量の低下が心配される。2010年に開催されたワールドカップ南アフリカ大会のサッカー男子日本代表は、事前に平地（国内）で安静時に低酸素を吸入し、高地順化を促進する取り組みを行い、ある一定の成果を収めることができたと言われている。しかし、特殊なツールを用いた安静時での低酸素吸入に関しては、不明な部分も多く、トレーニングの順序性を考える上で、安静時の低酸素吸入がその直後に行うトレーニングへ悪影響を及ぼす可能性が危惧される場所である。そこで、本研究の目的は、低酸素吸入後にオールアウトまでの運動を行い、通常環境（常酸素）で行った運動と比較して、生体への負担度や運動能力に影響が生じないかどうかを検討することである。8名の健康な男性を対象とし、安静時に低酸素吸入ツールを用いて低酸素吸入（SpO<sub>2</sub> 88～92 %；1時間のプログラム）をさせ、安静（常酸素）30分後にハンドエルゴメーターを用いて多段階漸増負荷法でトレーニングをさせた。また、低酸素吸入をしない環境（常酸素）でも同様のことを行わせた。各負荷での心拍数、血中乳酸濃度および主観的運動強度（RPE）の値は負荷が上がることに上昇したが、各測定項目の最大値も含めて低酸素吸入の有無による差は認められず、運動継続時間についても有意な差は認められなかった。本研究の結果より、平地で安静時に低酸素吸入をさせても、30分後の平地での通常の運動トレーニングには悪影響を及ぼさないと考えられた。

#### キーワード

RPE、血中乳酸濃度、心拍数、低酸素吸入、ハンドエルゴメーター

#### 1. はじめに

スポーツの世界では、高地で競技会が行われることも少なくなく、この場合は、平地と同様のパフォーマンスが発揮できるよう、高地環境に身体を慣らす高地順化が求められる。しかし、高地にまとまった期間、滞在してトレーニングを行うには経済的にも時間的にも負担が大きく、さらに高地でのトレーニングではトレーニング強度や量の低下が危惧される。このため、事前に平地で安静時に低酸素を吸入させ、高地順化を促進させようとする新たな試みがなされている（Bonetti et al., 2006）。国内でも2010年に開催されたワールドカップ南アフリカ大会のサッカー男子日本代表選手も同様の方法を用いて、ある一定の成果を収めることができたことが報告されている（杉田・早川, 2010）。しかしながら、我が国のスポーツ界において、実際の国際競技会前にこうした取り組みを組織的に行ったのは初めてのことであり、特殊なツールを用いた安静時での低酸素吸入に関しては、現段階では様々な課題があるといえる。例えば、トレーニングの順序

性を考える上で、平地で安静時に行う低酸素吸入がその直後に行うトレーニングに悪影響を及ぼさないかどうかは心配される場所である。

そこで、本研究の目的は、低酸素吸入後に運動を行い、通常環境（常酸素）時に行った運動の場合と比較して成体への負担度に差が生じるかどうか、また、その際に運動能力に影響が生じるかどうかを検討することである。

#### 2. 方法

健康な成人男性8名（平均年齢28.6 ± 5.5歳、身長173.0 ± 5.2 cm、体重70.3 ± 11.9 kg）を対象とした。事前に実験の趣旨と内容を十分に説明し、実験参加の同意を得た。

低酸素吸入は、安静時にAltolab社製のThe AltoLab ELITE Kit（図1）を用いて実施した。黒い容器（Hypoxic Silo, AltoMixers）からつながったホースの先のマスクを（口を覆うかたちで）顔に当て、普通に呼吸をするというものである。呼吸をすれば、AltoMixersの底面から空気が入り、黒い容器を通る間（酸素濾過）に空気が低酸素となる仕組みとなっている。

方法としては、パルスオキシメータ（PULSOX-300i、コニカミノルタ社製）を被験者の指に装着し、低酸素吸入時に動脈



図1：低酸素吸入ツール(Alto Lab ELITE KIT)を用いての低酸素吸入の様子

血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) が 88 ~ 92 % となるように低酸素を吸引させた。具体的には、安静時において低酸素吸入ツールを用いて6分間の低酸素吸入と4分間の通常呼吸を6回繰り返すという1時間のプログラム(杉田, 2012)で、このプログラムは、間欠的低酸素暴露 (Intermittent Hypoxic Exposure: IHE) と呼ばれる低酸素トレーニングの一種とされている。その30分後にハンドエルゴメーター (Angioergometer750HE, Load社製) でトレーニングを行った。ハンドエルゴメーターを用いた理由はなるべく小筋群を使う運動様式の方が本研究の目的に合致した結果が得られると考えたためである。

トレーニング時の負荷は多段階漸増負荷法で30 W、60 W、90Wと30Wずつ段階的に上げていった (各回の運動は最大3分、レストは1分)。運動の回転数は60回転/分とし、54回転/分以下が10秒継続した場合に終了 (all out) とした (図2)。

さらに、被験者には低酸素吸入をしない状況で、同様のトレーニングを行わせた。8名の被験者は低酸素吸入後のトレーニングを先にする群と低酸素の吸入なく常酸素環境後での安静後にトレーニングを先にする群を4名ずつに分けて行った。これらの2セッションのトレーニングの間隔は2週間とした。

測定項目は、心拍数、血中乳酸濃度および主観的運動強度 (RPE) とし、測定は、低酸素吸入前、吸入後、トレーニング前、各負荷の3分間のトレーニング直後にそれぞれ行った。血中乳酸濃度は、指先から採血をし、乳酸測定器 (LactateScout, SensLab GmbH社製) を用いて測定し、RPEはBorg scaleを用いて測定をした。低酸素吸入後に行ったトレーニングのデータを低酸素群とし、低酸素吸入なしで行ったトレーニングの

データを常酸素群として比較検討した。また、その際all outまでの運動継続時間についても計測し、同様に2群間で比較検討を行った。

統計処理は、2群間の心拍数、血中乳酸濃度、RPE (120 Wまでの値と最大値) および運動継続時間について、Paired t-testで検定を行った。p < 0.05を有意差ありとした。

### 3. 結果

低酸素群の低酸素吸入時の6セット目終了時の平均SpO<sub>2</sub>は、89.5 ± 3.4 % (平均値 ± SD) を示し、設定範囲 (88 ~ 92 %) 内での低酸素吸入であったといえる。

トレーニング時の心拍数 (図3)、血中乳酸濃度 (図4) および RPE (図5) の値は、両群ともセット数を重ねることに徐々に上昇し、ほぼall outの時点で最大値を示していたが、いずれの時点でも両群間で有意な差は認められなかった。また、トレーニングにおけるall out時の負荷は、120 ~ 180 Wの範囲内にあり、低酸素群 153.8 ± 23.4 W、常酸素群 146.3 ± 18.0 Wを示し、両群間で有意な差は認められなかった。各測定項目の両群における最大値は、心拍数では、低酸素群 183.9 ± 18.3 拍/分、常酸素群 184.0 ± 17.5 拍/分、血中乳酸濃度では低酸素群 8.7 ± 1.6 mmol/l、常酸素群 8.2 ± 2.6 mmol/l、RPEでは、低酸素群 20.0 ± 0、常酸素群 19.8 ± 0.4 であり、いずれも両群間で有意な差は認められなかった。

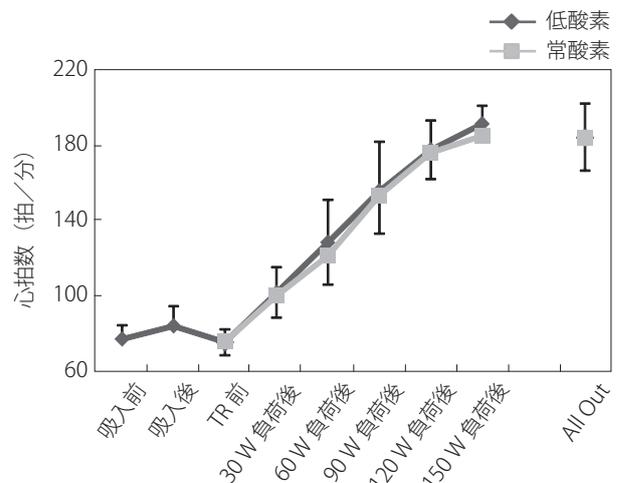


図3：低酸素群と常酸素群におけるトレーニング時の心拍数

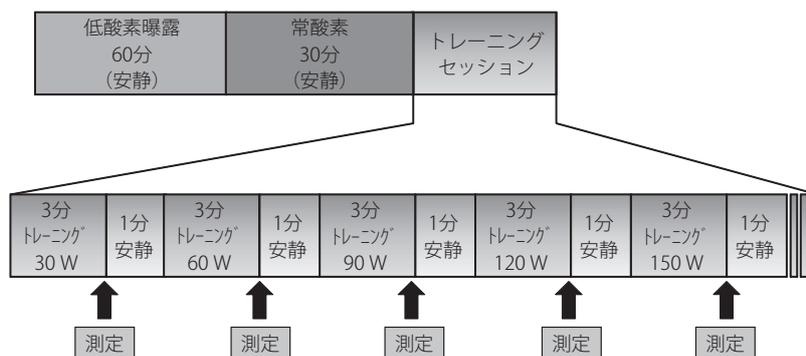


図2：実験のデザイン

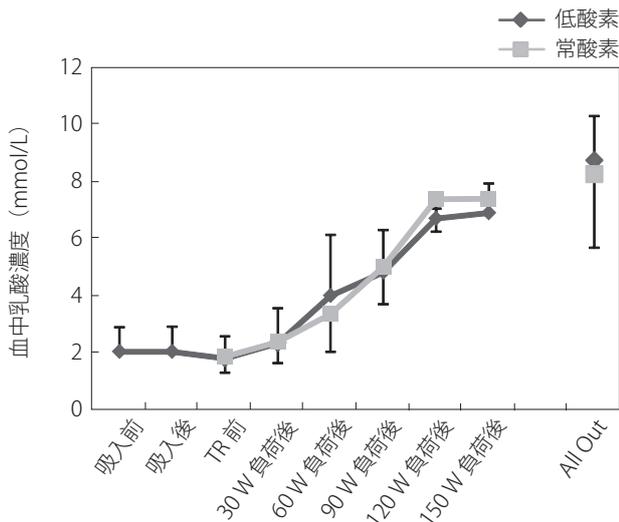


図4：低酸素群と常酸素群におけるトレーニング時の血中乳酸濃度

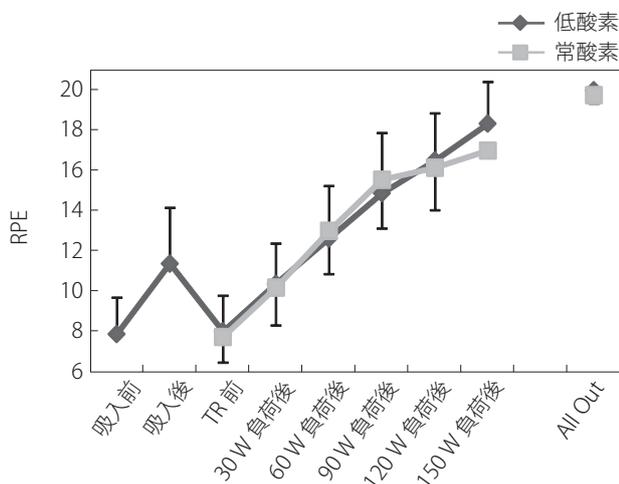


図5：低酸素群と常酸素群におけるトレーニング時のRPE

低酸素群では低酸素吸入後に一時的にRPEは上昇する傾向を示すものの30分の安静で運動(TR前)には吸入前のレベルまで回復していた。運動継続時間(図6)は対象者によりばらつきはあるものの、低酸素環境下では810.9 ± 151.9秒、常酸素環境下では788.4 ± 116.6秒を示し、両群間に有意な差は認められず、いずれかが有意に運動継続時間が長くなるということとはなかった。

#### 4. 考察

低酸素トレーニング時のコンディションチェックのための評価法としては、杉田(2011)によれば、①トレーニング内容、状況(パフォーマンス)、②起床時動脈血酸素飽和度、③起床時脈拍数、④起床時体温、⑤体重、⑥自覚的体調(トレーニングへの意欲や体調、食欲、睡眠や疲労の自覚症状など)、⑦尿検査、⑧血液検査、⑨自律神経機能検査、⑩トレーニング時の心拍数、血中乳酸濃度および動脈血酸素飽和度があげられる。

本研究では、このうち①のパフォーマンスとして運動継続

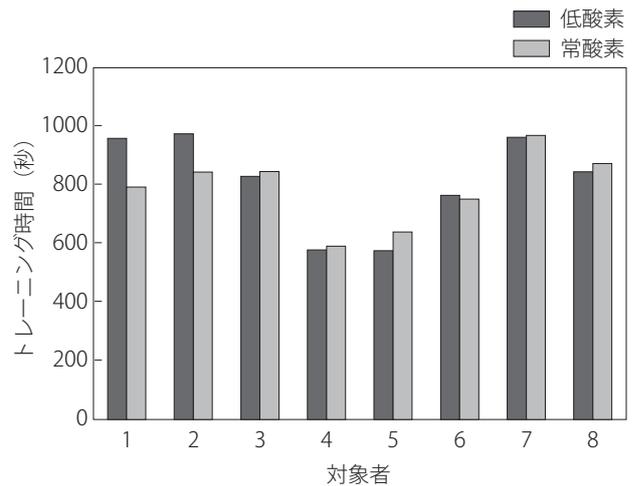


図6：低酸素群と常酸素群における運動継続時間

時間を、⑥としてRPEを、⑩として心拍数と血中乳酸濃度を評価の指標として用いて検討を行った。

本研究の結果から、低酸素吸入後の運動と常酸素での運動の場合と比較して、RPEに有意な差が認められないということから主観的な運動強度に差がないということができ、血中乳酸濃度や、心拍水準にも有意な差が認められないことから生理学的にも運動強度には差がなかったということができる。また、運動継続時間に有意な差が認められないことから、低酸素吸入をした後の運動であっても、その後のトレーニングで運動量を低下させることはないと考えることができよう。

Katayama et al. (1998 ~ 2002)の低圧室を用いた研究では、標高4,500 m相当の低酸素暴露(酸素濃度約12%)を1日1時間7日間の短時間・短期間であったとしても、その後の高所環境下における安静時の換気応答(HVR)の増加や運動時の換気量や動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)が増加すること等を報告しており、このことは、高地へ行く前に平地で安静時に低酸素を吸入させ、高地順化を図る試みは理にかなった実践であることを示唆するものである。トレーニングの順序性を考える上で、平地安静時の低酸素吸入がその直後に行うトレーニングに影響を及ぼさないかどうか心配されたが、本研究の結果より、少なくとも単回の低酸素吸入による直後のトレーニングに悪影響はないものと考えられた。しかし、運動継続時間等に個人差が少なからず見受けられたことは、低酸素刺激に対する個人差にも着目する必要があることを示唆している。

Levine et al. (1997)は、高地順化を得つつ、酸素利用の制約に起因したトレーニング強度の低下を補う新たな高地トレーニング法として、高地に滞在して平地でトレーニングを行う“Living high, Training low法”を提唱し、トレーニング終了後に最大酸素摂取量が有意に増加したことを報告している。しかし、高地滞在中に平地でトレーニングを行うには短時間で高地と平地を移動できる環境が必要であり、費用も余分にかかるため、時間的・経済的制約が大きい。そのため、最近では、平地にいても低酸素環境に暴露が可能のように人工的な低酸素テントや低酸素吸入ツールが開発され、利用されてきている。

本研究ではそのうち、簡便で安価である低酸素吸入ツール

を利用した。Puranen and Rusko (1996) は、低酸素室滞在により、エリスロポエチン、網状赤血球数、2,3-DPGが有意に上昇したと報告した。また、Roberts et al. (2003) は、男女自転車選手を対象として、5～15日間にわたって1日8～10時間、低酸素室に滞在させて平地でトレーニングを行わせたところ、滞在日数にかかわらず4分間の最大平均パワーおよび最大酸素借が有意に向上したことを報告している。一方、Ashenden et al. (1999; 2000) の低酸素室滞在 (2,650 m) と平地滞在 (600 m) の組み合わせによる実験によれば、網状赤血球やヘモグロビン産生に効果的に作用するかどうかは疑問があると報告している。以上のように人工的な低酸素環境を用いた低酸素吸入 (暴露) は、平地でのパフォーマンス改善に効果的であるかどうかは一致した見解が得られていない。いずれにせよ、人工的な低酸素環境を用いた低酸素吸入 (暴露) による平地でのパフォーマンス向上には、長時間あるいは長期間の滞在が必要であることがわかる。現在、安静時の低酸素吸入が平地でのパフォーマンス向上に効果を及ぼす方法についての検討は、重要な研究課題であるといえ、単回の低酸素吸入直後の運動への影響を検討する意義は大きいと思われる。

本研究では、普段、特別なトレーニングを行っていない一般成人男性を対象としているため、アスリートではどのような結果を及ぼすかについての検討も必要である。また、ハンドエルゴメーターを用いたトレーニング (上肢のみの多段階漸増負荷法) であるため、下肢や全身でのトレーニングにおける影響は不明である。今後、検討していく必要があると考えられる。

## 5. 結論

安静時における低酸素吸入がその後のトレーニングにどのような影響を及ぼすのかについて検討した。

ハンドエルゴメーターを用いた多段階漸増負荷トレーニングでは心拍数、血中乳酸値、主観的運動強度および運動継続時間は、低酸素吸入後であっても、常酸素時と比べて有意な差は認められなかった。少なくとも単回の低酸素吸入はその後のトレーニング (上肢のみの漸増負荷法) に、主観的にも生理学的にも悪影響を及ぼさず、運動量を低下させることもないことが明らかとなった。

今後は、下肢や全身のトレーニングや複数回の低酸素吸入による影響についても検討していく必要があると考えられた。

## 引用文献

Ashenden, M. J., Gore, C. J., Dobson, G. P., Boston, T. T., Parisotto, R., Emslie, K. R., Trout, G. J. and Hahn, A. G. (2000). Simulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 81, No. 5, 428-435.

Ashenden, M. J., Gore, C. J., Martin, D. T., Dobson, G. P. and Hahn, A. G. (1999). Effects of a 12-day "live high, train low" camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 80, No. 5, 472-478.

Bonetti, D. L., Hopkins, W. G. and Kilding, A. E. (2006). High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, Vol. 1, No. 3, 246-260.

Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 14, No. 5, 377-381.

Katayama, K., Sato, Y., Ishida, K., Mori, S. and Miyamura, M. (1998). The effects of intermittent exposure to hypoxia during endurance exercise training on the ventilatory responses to hypoxia and hypercapnia in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 78, No. 3, 189-194.

Katayama, K., Sato, Y., Morotome, Y., Shima, N., Ishida, K., Mori, S. and Miyamura, M. (2001). Intermittent hypoxia increases ventilation and SaO<sub>2</sub> during hypoxic exercise and hypoxic chemosensitivity. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 90, No. 4, 1431-1440.

Katayama, K., Shima, N., Sato, Y., Qiu, J. C., Ishida, K., Mori, S. and Miyamura, M. (2001). Effect of Intermittent hypoxia on cardiovascular adaptations and response to progressive hypoxia in humans. *High Altitude Medicine & Biology*, Vol. 2, No. 4, 501-508.

Katayama, K., Sato, Y., Shima, N., Qiu, J., Ishida, K., Mori, S., Miyamura, M. (2002). Enhanced chemosensitivity after intermittent hypoxic exposure does not affect exercise ventilation at sea level. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 87, No. 2, 187-191.

Levine, B. D. and Stray-Gundersen, J. (1997). Living high-training low: Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 83, No. 1, 102-112.

Puranen, A. S. and Rusko, H. K. (1996). On- and off-responses of epo, reticulocytes, 2,3-DPG and plasma volume to living high, training low. *Medicine and Science in Exercise and Sports*, Vol. 28, No. 5, Supplement abstract 947.

Roberts, A. D., Clark, S. A., Townsend, N. E., Anderson, M. E., Gore, C. J., Hahn, A. G. (2003). Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high:train low altitude exposure. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 88, Nos. 4-5, 390-395.

杉田正明・早川直樹 (2010). サッカーにおける高地順化とコンディショニング—2010 FIFAワールドカップアフリカ大会における取り組み—. *トレーニング科学*, Vol. 22, No. 4, 287-291.

杉田正明 (2012). 低酸素トレーニングの現状. *体育の科学*, Vol. 62, No. 8, 621-627.

杉田正明 (2011). 高地トレーニング時のコンディション評価. *臨床スポーツ医学*, Vol. 28, No. 8, 893-898.

(受稿：2013年2月9日 受理：2013年3月8日)