

原著論文

## 運動間の休息時における高圧高酸素環境滞在が 最大無酸素パワーに及ぼす影響

竹村 英和 内丸 仁 高橋 弘彦 渡会 稔 鈴木 省三

Hidekazu Takemura, Jin Uchimaru, Hirohiko Takahashi, Minoru Watarai, Shozo Suzuki: Effect of hyperbaric hyperoxia exposure during a recovery period of workouts on maximal anaerobic power. Bulletin of Sendai University, 44 (2) : 73-80, March, 2013.

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the effect of hyperbaric hyperoxia exposure during a recovery period of workouts on maximal anaerobic power. Ten male healthy subjects participated in this study. These subjects underwent maximal anaerobic power test (Exercise-1: Ex.1) using bicycle ergometer and then stayed in a hyperbaric hyperoxia environment with 1.3 atmospheres absolute (ATA), approximately 28% O<sub>2</sub> concentration (H-trial) or a normobaric normoxia environment (N-trial) for 60 minutes as recovery period. After the recovery period, they underwent identical test (Exercise-2: Ex.2), which consisted of a pedaling exercise with maximal effort of 3 sets for 10 seconds separated by 2 minutes of rest. The H-trial and N-trial were performed randomly with a space as a wash out period of 5-7 days, and maximal anaerobic power, heart rate, blood lactate concentration, and rating of perceived exertion (RPE) were measured in both trials. Maximal anaerobic power, heart rate, and blood lactate concentration of Ex.2 in the N-trial were significantly lower than those of Ex.1 ( $p < 0.05$ ), while there were no significant difference in the H-trial. RPE score was almost equal between Ex.1 and Ex.2 in each trial. These results suggest that the hyperbaric hyperoxia exposure for 1.3 ATA and 28% O<sub>2</sub> concentration during a recovery period of workouts would be an effective method to keep maximal anaerobic power.

**Key words:** pedaling exercise, hyperbaric hyperoxia environment, anaerobic power, heart rate, blood lactate  
キーワード: ペダリング運動, 高圧高酸素環境, 無酸素パワー, 心拍数, 血中乳酸濃度

### I. 緒言

スポーツ競技におけるパフォーマンスは、体力と技術および意欲のからみあい決定される<sup>7)</sup>。また、スポーツパフォーマンスの生理学的モデルとして、①運動実施の意思・意欲、②運動意思によって発現されるエネルギー出力、③発揮するエネルギー（パワー）をコントロールする神経制御機能が挙げられている<sup>1)</sup>。これらのことに加え、ピークパフォーマンスを発揮するた

めには、疲労の少ない良好なコンディションを維持する必要がある。

このような背景から、スポーツトレーニング場面では、体力や生理機能を向上させるための様々なトレーニングとともに、睡眠やエネルギー物質の補給、入浴、マッサージなどの疲労回復を目的としたコンディショニングが実践されてきた<sup>1)</sup>。さらに、スポーツ科学の発展により、常圧低酸素室や高圧高酸素室などの環境制御装置を用いたトレーニングやコンディショニ

ングが積極的に導入されている。特に近年では、いわゆる高酸素カプセルを使用した高圧高酸素環境滞在によって、運動後の疲労やスポーツ障害からの回復に効果があるとの情報が散見しており、スポーツ選手を中心に広く活用されている。また、運動前の高圧高酸素環境滞在によるパフォーマンスへの影響についても検証されている。

先行研究によれば、短時間・高強度の走運動前に高圧高酸素環境（2.0気圧・100%酸素濃度）に滞在させ、運動時の心拍数や血中乳酸濃度、走時間などを検討した結果、パフォーマンスの改善効果は認められなかったとしている<sup>13)</sup>。同様に、Kawadaら<sup>8)</sup>は最大等尺性膝伸展運動の条件を用いて、高圧高酸素環境（1.3気圧・100%酸素濃度）への事前暴露の影響を検討した結果、パフォーマンスは向上しなかったと報告している。これらのことから、運動前の高圧高酸素環境滞在によるパフォーマンスの改善効果は認められないと考えられている<sup>9)</sup>。

一方、疲労回復を目的として高圧高酸素環境滞在の効果を検討した先行研究によれば、1.25気圧・35.0%酸素濃度の酸素カプセルを用いて、合宿中のバレーボール選手を1日1時間・5日間にわたり滞在させた結果、筋疲労や筋痛からの早期回復がみられたと報告している<sup>4)</sup>。また、運動後の筋疲労や筋痛、筋力、血中乳酸濃度などに対して、高圧高酸素環境滞在の効果を認めた報告も見受けられる<sup>5,14)</sup>。

疲労とは、疲れを感じるとともに作業量と作業効率が低下する状態であり、医学的手段を用いずに回復可能な身体諸機能の低下した現象である<sup>17)</sup>。このことは、疲労によって運動能力が低下することを意味している<sup>3)</sup>。陸上競技や競泳などの試合場面においては、1日に数回のレースが実施されることから、複数回行われるレース間の疲労回復は、ピークパフォーマンスを発揮するうえで重要な要因になる。したがって、運動間の休息時における高圧高酸素環境滞在の有用性を検討することは、疲労回復やパフォーマンスの改善を目的としたコンディショニングに有益な示唆を与えるものと考えられる。しかしながら、疲労回復に対する高圧高酸

素環境滞在の効果については否定的な報告<sup>10,16)</sup>もあり、一定の見解が得られていない。また、運動間の休息時における高圧高酸素環境滞在が、パフォーマンスに及ぼす影響については十分に検討されていないのが現状である。

そこで本研究は、最大無酸素パワーを指標として、運動間の休息時における高圧高酸素環境滞在がパフォーマンスに及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は、体育系大学に在籍する健康な男子大学生10名とした。被験者の身体特性は、年齢：21.2 ± 1.2歳、身長：171.1 ± 3.9cm、体重：64.3 ± 4.8kgであった。実験に先立ち、被験者には本研究の目的や方法など実験内容を十分に説明し、書面にて本研究に参加することへの同意を得た。なお、本研究は仙台大学倫理審査会の承認を得て実施した。

### 2. 実験デザイン

本研究の実験デザインを図1に示した。本研究では、被験者に自転車エルゴメーターを用いた最大無酸素パワーテスト（Exercise-1; Ex.1）を実施させた。運動後は、高圧高酸素環境下もしくは常圧常酸素環境下に60分間滞在させ、滞在終了10分後に再度、最大無酸素パワーテスト（Exercise-2; Ex.2）を実施させた。

すべての被験者は5～7日間の間隔を空け、高圧高酸素環境に滞在する試行（Hyperbaric hyperoxia; H試行）と常圧常酸素環境に滞在する試行（Normobaric normoxia; N試行）の両試行を行った。なお、各試行の実施順はランダムとした。また、各試行の実施にあたっては、睡眠時間や食事内容を可能な限り同一にするるとともに、本研究結果に影響を及ぼすことが予想されるような激しい運動を行わないよう指示した。さらに、アルコールやカフェイン、サプリメントの摂取および消炎鎮痛剤の塗布について制限した。



#### 4) 主観的運動強度

主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion: RPE) <sup>2,12)</sup> は 6 ~ 20 の Borg スケールを用いて, Ex.1 および Ex.2 の運動直後に被験者に申告させた。

#### 5. 統計処理

すべてのデータは, 平均値 ± 標準偏差で表した。なお, 各項目の比較には, 対応のある t 検定を用いた。有意水準は 5% 未満とし,  $p < 0.05$  として表した。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 最大無酸素パワー

図 2 に各環境滞在前後の運動における最大無酸素パワーを示した。最大無酸素パワーは, H 試行の環境滞在前 (Ex.1) が  $769.2 \pm 68.9$  watt, 環境滞在後 (Ex.2) が  $767.5 \pm 76.1$  watt とほぼ等しい値であったのに対して, N 試行では  $776.4 \pm 58.2$  watt (Ex.1) および  $752.5 \pm 53.5$  watt (Ex.2) と環境滞在後において有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。なお, 両試行間における Ex.1 の最大無酸素パワーには, 有意差が認められなかった。

#### 2. 血中乳酸濃度

図 3 に各環境滞在前後の運動直後における血中乳酸濃度を示した。血中乳酸濃度は, H 試行の環境滞在前 (Ex.1) が  $11.7 \pm 1.4$  mmol/l, 環境滞在後 (Ex.2) が  $11.3 \pm 1.3$  mmol/l とほぼ等しい値であったのに対して, N 試行では  $11.5 \pm 1.2$  mmol/l (Ex.1) および  $10.4 \pm 1.3$  mmol/l (Ex.2) と環境滞在後において有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。なお, Ex.1 における血中乳酸濃度は, 両試行間において有意差が認められなかった。また, 両試行における安静時 (H 試行:  $1.7 \pm 0.3$  mmol/l, N 試行:  $1.6 \pm 0.4$  mmol/l) および各環境滞在終了直後 (H 試行:  $2.0 \pm 0.4$  mmol/l, N 試行:  $2.1 \pm 0.5$  mmol/l) についても, ほぼ等しい値を示した。Ex.1 を基準とした各環境滞在終了直後の血中乳酸濃度の減少率は, H 試行が  $82.7 \pm 3.6\%$ , N 試行は  $82.1 \pm 4.4\%$  であった。

#### 3. 心拍数

図 4 に各環境滞在前後の運動直後における心拍数を示した。運動直後の心拍数は, H 試行の環境滞在前 (Ex.1) が  $157.1 \pm 9.2$  拍/分, 環境滞在後 (Ex.2) が  $155.0 \pm 11.6$  拍/分とほぼ等しい値であったのに対して, N 試行では  $161.2 \pm 9.8$  拍/分 (Ex.1) および  $157.1 \pm 11.6$  拍/分 (Ex.2) と環境滞在後において有意に低

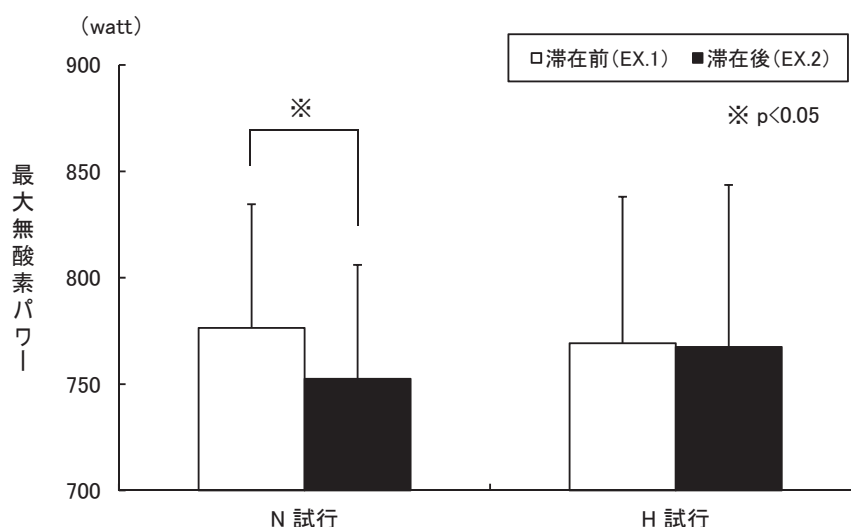


図 2 最大無酸素パワーの比較

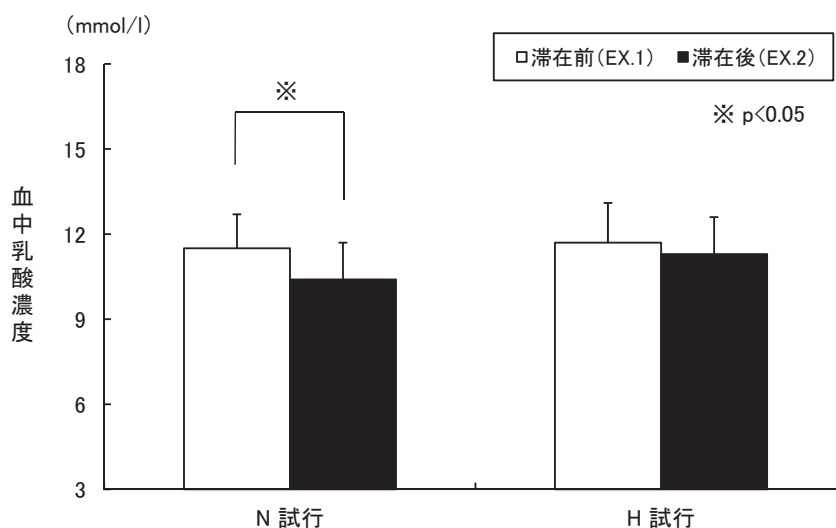


図3 運動直後の血中乳酸濃度の比較

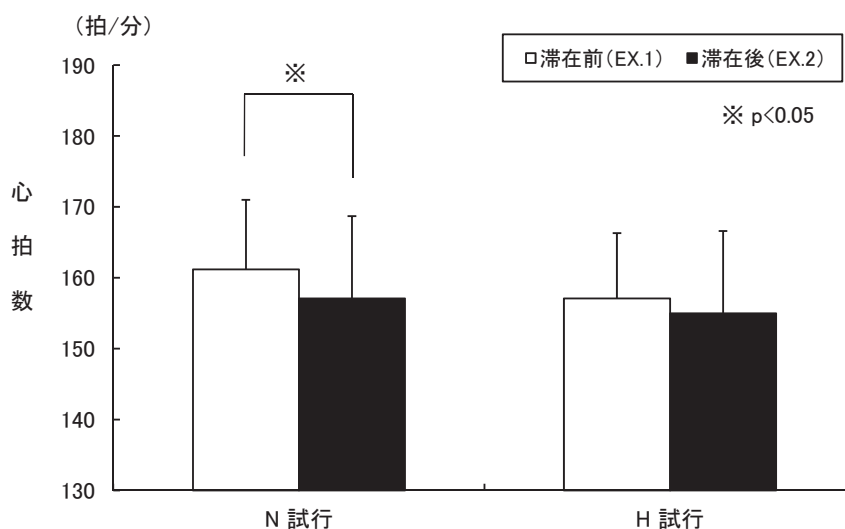


図4 運動直後の心拍数の比較

値を示した ( $p < 0.05$ ). なお, Ex.1 および Ex.2 における心拍数は, 両試行間において有意差が認められなかった. また, 各環境滞在中の心拍数についても, H 試行が  $74.6 \pm 8.0 \sim 94.8 \pm 8.8$  拍/分, N 試行が  $78.6 \pm 11.8 \sim 99.5 \pm 13.8$  拍/分とほぼ等しい値で推移した.

#### 4. 主観的運動強度 (RPE)

図5に Ex.1 および Ex.2 の RPE を示した. RPE は, H 試行の環境滞在前 (Ex.1) が  $17.0 \pm 1.1$ , 環境滞在后 (Ex.2) が  $16.9 \pm 1.4$  であっ

た. また, N 試行では  $17.5 \pm 1.4$  (Ex.1) および  $17.2 \pm 1.5$  (Ex.2) を示し, 各環境滞在前後および両試行間においてほぼ等しい値であった.

#### IV. 考察

近年, スポーツ傷害・外傷からの回復を促進させる方法として, 高気圧酸素療法が新たに試みられており, 疲労回復やコンディショニングの向上においても有用性が高いと考えられてい

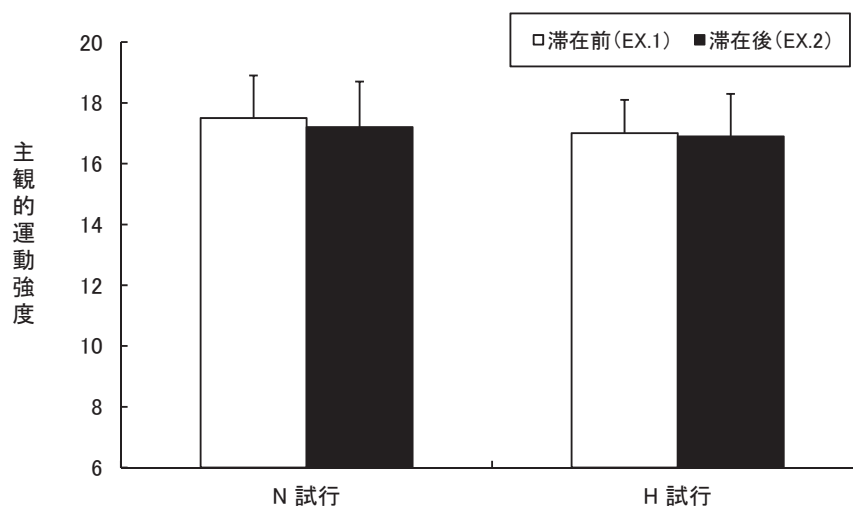


図5 主観的運動強度の比較

る<sup>6)</sup>。高気圧酸素療法の効果が期待される背景として、「液体に溶解する気体の量は、その気体の分圧に比例する」という Henry の法則が挙げられる。

通常、呼吸によって生体内に取り込まれた酸素の大部分はヘモグロビンと結合して運搬されるが、酸素解離曲線における動脈血酸素分圧が 100mmHg 以上では、ヘモグロビンの酸素飽和度が緩勾配のため酸素と結合できなくなる。一方で、高気圧環境下においては、Henry の法則に従い、より多くの酸素が血液中に溶解することから、ヘモグロビンと結合する「結合型酸素量」と「溶解型酸素量」の総和で表される動脈血酸素量が増加する。このことから、高圧高酸素環境への滞在は末梢組織への酸素供給量を増加させ、運動器の損傷に対する疼痛の軽減や回復までの時間を短縮すると考えられている<sup>11)</sup>。しかしながら、治療を目的とした高気圧酸素療法で用いられる環境条件は、主に 2.0 気圧・100% 酸素濃度である。したがって、近年、スポーツ選手が活用している健康機器としての“高酸素カプセル”（主に 1.1 ~ 1.3 気圧・約 30 ~ 50% 酸素濃度）とは環境条件が異なり、その有用性については不明瞭となっている<sup>9)</sup>。

本研究では、1.3 気圧・約 28% 酸素濃度の環境条件を用いて、運動間の休息時における高圧高酸素環境滞りがパフォーマンスに及ぼす影響

について検討した。その結果、H 試行と N 試行の各環境滞前の運動 (Ex.1) における最大無酸素パワーや心拍数、血中乳酸濃度に有意差は認められなかった。一方、各環境滞後の運動 (Ex.2) における各種パラメータを Ex.1 と比較すると、H 試行ではほぼ等しい値であったのに対して、N 試行では有意に低値を示した。

これらの結果は、両試行における各環境滞前の運動 (Ex.1) が同等の生理的負担度であったとともに、繰り返し行う高強度運動間の休息時に高圧高酸素環境に滞在することで、最大無酸素パワーの低下が抑制されることを示唆している。一方で、N 試行において最大無酸素パワーが低下した理由として、Ex.2 における被験者の運動に対する意欲が影響した可能性も考えられる。しかしながら、Ex.2 の RPE は両試行間で差が認められず、いずれの試行も Ex.1 とほぼ等しい値であったことから、本研究結果に対する被験者の心理的影響は認められないと考えられた。また、RPE がほぼ等しいにも関わらず、N 試行における Ex.2 の心拍数が Ex.1 に比べ低値を示したことは、筋疲労が制限因子になったためと推察される。さらに、N 試行でのみ血中乳酸濃度が有意に低値を示したことを考慮すると、高圧高酸素環境への滞在は筋疲労からの回復を促進するとともに、高強度運動における血中乳酸の産生能力の低下を抑制する可能性があ

ると考えられた。

一方、先行研究<sup>15)</sup>によれば、運動(20秒間の休息を挟んだ5秒間の全力ペダリング運動を10回・2セット)後の高圧高酸素環境(1.3気圧・約28%酸素濃度)滞りが疲労回復とパフォーマンスに及ぼす影響について検討した結果、血中乳酸濃度の減少が促進されたものの、パフォーマンスへの影響は認められなかったとしている。また、石井ら<sup>5)</sup>は、高圧高酸素環境滞在による最大運動後の乳酸除去作用について、1.3気圧・100%酸素濃度の環境において著明な結果が得られたことを報告しており、本研究結果は先行研究と異なるものであった。本研究では、競技スポーツを実施していない男子大学生を対象とし、高圧高酸素環境への滞在時間は60分とした。一方で、先行研究<sup>15)</sup>では男子バレーボール選手を対象としており、環境滞在時間は45分<sup>5)</sup>と50分<sup>15)</sup>であった。さらに、高圧高酸素環境滞りによって血中乳酸濃度が有意に減少したことが報告されているものの、滞り後の濃度はいずれも安静時に近い値であった。したがって、本研究において先行研究と異なる結果が示された理由としては、被験者の体力レベルや高圧高酸素環境への滞在時間が関係しているといえよう。

これらのことから、運動間の休息時に高圧高酸素環境に滞在することは、最大無酸素パワーの低下を抑制することが明らかとなった。しかし一方で、先行研究結果との比較から、高圧高酸素環境滞りの有用性については、対象者の体力レベルや滞在時間に影響される可能性があると考えられた。したがって、今後は様々な対象者・運動条件および滞在時間を用いて、高圧高酸素環境滞りの有用性を検討する必要があるといえる。

## V. まとめ

本研究は、健康な成人男性10名を対象に、最大無酸素パワーを指標として、運動間の休息時における高圧高酸素環境滞在(1.3気圧・約28%酸素濃度・60分間)がパフォーマンスに及ぼす影響について検討した。その結果、常圧

常酸素環境に滞在する条件では、滞り後の最大無酸素パワーが滞り前に比べ有意に低値であった。一方、高圧高酸素環境に滞在する条件では、滞り前後でほぼ等しい値を示した。これらのことから、運動間の休息時に高圧高酸素環境に滞在することは、最大無酸素パワーの低下を抑制することが示唆された。

## 文 献

- 1) 青木純一郎, 佐藤 佑, 村岡 功 編 (2001) スポーツ生理学. 市村出版: 東京
- 2) Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5(2): 90-93
- 3) 井上正康, 倉恒弘彦, 渡辺恭良 編 (2001) 疲労の科学 - 眠らない現代社会への警鐘. 講談社: 東京
- 4) 石原昭彦 (2005) 高気圧・高濃度酸素は筋疲労および筋痛を早期に回復できるか. *デサントスポーツ科学*, 26: 16-22
- 5) 石井良昌, 宮永 豊, 下條仁士, 浅野勝己 (1995) 高気圧酸素療法の最大運動後の乳酸濃度に及ぼす影響. *日本高気圧環境医学会雑誌*, 30 (2): 109-114
- 6) 石井良昌, 白木 仁, 宮永 豊 (2002) スポーツ選手に対する高気圧酸素療法の応用 - 1: 意義と理論的背景. *月間トレーニング・ジャーナル*, 24 (9): 63-65
- 7) 石河利寛, 杉浦正輝 編 (1989) 運動生理学, 建帛社: 東京
- 8) Kawada, S., Fukaya, K., Ohtani, M., Kobayashi, K., Fukusaki, C. (2008) Effects of pre-exposure to hyperbaric hyperoxia on high-intensity exercise performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22(1): 66-74
- 9) 川田茂雄 (2011) 組織酸素分圧の生理学 (3). *月間トレーニング・ジャーナル*, 33 (11): 58-60
- 10) Mekjavic, I.B., Exner, J.A., Tesch, P.A., Eiken, O. (2000) Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(3): 558-563
- 11) 越智淳子, 川口浩太郎, 稲水 惇, 関川清一, 高橋 真 (2010) 加圧空気処置が骨格筋酸素動態および経皮的酸素分圧に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学*, 27 (9): 1027-1033
- 12) 小野寺孝一, 宮下充正 (1976) 全身持久性運動

における主観的強度と客観的強度の対応性—  
Rating of perceived exertion の観点から—。体  
育学研究, 21 (4) : 191-203

- 13) Rozenek, R., Fobel, B.F., Banks, J.C., Russo, A.C., Lacourse, M.G., Strauss, M.B. (2007) Does hyperbaric oxygen exposure affect high-intensity, short-duration exercise performance?. *J. Strength Cond. Res.*, 21(4): 1037-1041
- 14) Staples, J.R., Clement, D.B., Taunton, J.E., McKenzie, D.C. (1999) Effects of hyperbaric oxygen on a human model of injury. *Am. J. Sports Med.*, 27(5): 600-605
- 15) 竹村英和, 内丸 仁, 高橋弘彦, 鈴木省三 (2011) 高強度運動後の高圧高酸素環境滞在が疲労回復とパフォーマンスに及ぼす影響。仙台大学紀要, 43 (1) : 9-18
- 16) Webster, A.L., Syrotuik, D.G., Bell, G.J., Jones, R.L., Hanstock, C.C. (2002) Effects of hyperbaric oxygen on recovery from exercise-induced muscle damage in humans. *Clin. J. Sport Med.*, 12(3): 139-150

( 2012年11月30日受付 )  
( 2013年1月26日受理 )