

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

竹村 英和 内丸 仁
高橋 弘彦 鈴木 省三

Hidekazu Takemura, Jin Uchimaru, Hirohiko Takahashi, and Shozo Suzuki: Effect of hyperbaric hyperoxia exposure on recovery of fatigue and performance after high intensity exercise. Bulletin of Sendai University, 43 (1) :9-18, September, 2011

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effect of hyperbaric hyperoxia exposure on recovery of fatigue and performance after high intensity exercise. Eight male collegiate volleyball players participated in this study. These subjects performed a pedaling exercise with maximal effort (Ex.1) and then stayed in a hyperbaric hyperoxia environment with 1.3 atmospheres absolute (ATA), approximately 28% O₂ concentration (H-trial) or a normobaric normoxia environment (N-trial) for 50 minutes as recovery period. After the recovery period, they performed identical exercise (Ex.2), which consisted of two series of 10 sets for 5 seconds separated by 20 seconds of rest. The H-trial and N-trial were performed randomly with a space as a wash out period of 7 days. Heart rate, blood lactate concentration, muscle stiffness, subjective feelings of fatigue, and performance (power and cadence) in a pedaling exercise were measured in both trials.

There was no significant difference in performance of the Ex.2 between both trials (H-trial; 588.9 ± 76.7 watt and 136.0 ± 11.8 rpm, N-trial; 574.1 ± 69.3 watt and 132.1 ± 13.7 rpm). However, blood lactate removal rate after each environment exposure was $83.8 \pm 4.2\%$ in the H-trial and $78.5 \pm 7.8\%$ in the N-trial, and the difference between the two trials was significant ($p < 0.05$). In addition, muscle stiffness and subjective feelings of fatigue in the H-trial also showed a tendency to decrease compared with the N-trial.

These results suggest that the hyperbaric hyperoxia exposure for 1.3 ATA and 28% O₂ concentration after high intensity exercise was an effective method for passive recovery in blood lactate, muscle stiffness, and subjective feelings of fatigue and it may be helpful for recovery from fatigue.

key words: pedaling exercise, blood lactate, muscle stiffness, subjective feelings of fatigue

キーワード: ペダリング運動, 血中乳酸濃度, 筋硬度, 疲労感

I. 緒言

運動の実施によって生じる疲労は、生理的現象のひとつである。生体は、運動負荷に応じて疲労するが、その後の適応によって回復する。さらに、適切な回復期間が与えられることによ

り、その機能は初期レベル以上の水準に達する。したがって、運動を繰り返し行うことによってトレーニング効果を高めるためには、生体に適切な運動負荷を与えるとともに、疲労を十分に回復させる必要がある。また、陸上競技や競泳などの試合場面においては、1日に数回

のレースを行うことがある。そのため、複数回行われるレース間の疲労回復は、より高いパフォーマンスを発揮するうえで重要な要因となる。

従来、疲労回復の手段としては、睡眠やエネルギー物質の補給、入浴、マッサージなどがあげられてきた¹⁾。一方で、近年、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が、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始めている。しかしながら、この高圧高酸素環境滞在によって期待される効果は、約2~3気圧の高気圧環境下において高濃度酸素（主に100%酸素濃度）を吸入する治療法（高気圧酸素療法）から由来したものである。したがって、主に1.1~1.3気圧・約30~50%酸素濃度の環境条件で使用される、健康機器としての“高酸素カプセル”とは環境条件が異なる。

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⁶⁾。しかしながら、“高酸素カプセル”で用いられる1.1~1.3気圧・約30~50%酸素濃度の環境条件を用いて、疲労回復やパフォーマンスへの影響を検討した報告は非常に少なく、十分な知見が得られているとはいえないのが現状である。さらに、2気圧以上・100%酸素濃度の高圧高酸素環境下においては、遅発性筋痛や筋損傷からの回復^{4,9,14,16)}、運動前の事前曝露に対するパフォーマンスへの影響^{3,13,15)}などが検討されているものの、その効果については否定的な報告もあり、一定の見解が得られていない。

これらのことを考慮すると、スポーツ選手に活用され始めている“高酸素カプセル”と同等の環境条件（1.1~1.3気圧・約30~50%酸素濃度）を用いて、疲労回復やパフォーマンスに対する高圧高酸素環境滞在の有用性を検討することは、トレーニングからの効果的な回復方法のあり方に有益な示唆を与えるものと考えられる。

そこで本研究は、心拍数や血中乳酸濃度、筋硬度、下肢疲労感、全力ペダリング運動における回転数・パワーを指標として、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、バレーボール競技を実施している健康な男子大学生8名とした。被験者の身体特性は、年齢:20.3±0.5歳、身長:172.2±7.1cm、体重:71.9±10.9kg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全力ペダリング運動（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50分間滞在させ、滞在終了10分後に再度、同条件のペダリング運動（Exercise-2; Ex. 2）を実施させた。

実験は2010年11月に実施し、すべての被験者は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。

3. 運動条件

各環境滞在前後に実施した運動（Ex. 1およびEx. 2）は、自転車エルゴメーター（POWER-

MAX-VII（コンビウエルネス社製）を用いた全力ペダリングとした。運動負荷は、被験者の体重を基準とした相対負荷（体重（kg）×0.075kp）とし、被験者は5秒間の全力ペダリング運動を10回・2セット実施した。なお、10回の全力ペダリング運動におけるインターバルは20秒間とした。また、セット間は1分とした。各回のインターバルおよびセット間では、自転車エルゴメーター上にて安静を保持するよう被験者に指示した。

4. 高压高酸素環境および常圧常酸素環境への滞在

高压高酸素環境滞在は、高気圧キャビン2100-1.3ATA（シェンペクス社製）を用いて椅座位安静で行わせた。設定気圧は1.3気圧とした。滞在中のキャビン内は、ゼオライトによる窒素吸着方式の濃縮酸素が約10ℓ／分送風されており、室内の酸素濃度は約28%であった。また、高压高酸素環境の制御は全自動で行われ、加圧および減圧を除いた設定気圧維持時間は、29分14秒±13秒であった。常圧常酸素環境（1.0気圧・20.9%酸素濃度）滞在については、高気圧キャビンの扉を開放し、機器を稼働させない条

件下において椅座位安静で行わせた。各環境への滞在は、Ex.1が終了してから10分後に開始した。

5. 測定項目

1) 心拍数

心拍数は、スポーツ心拍計S610i（Polar社製）を用いて測定した。測定は、5秒間隔で連続的に実施し、安静時、Ex.1の運動直後、常圧常酸素環境および高压高酸素環境への滞在開始直後、滞在中の10分毎、滞在終了直後、Ex.2の運動直後の心拍数を算出した。なお、各環境滞在中の10分毎の心拍数は、直前の1分間の値を平均化して算出した。

2) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、ラクテートプロ（アークレイ社製）を用いて測定した。測定は、安静時、Ex.1の運動直後、常圧常酸素環境および高压高酸素環境への滞在開始直後、滞在中の10分および30分経過時、滞在終了直後、Ex.2の運動直後に行った。測定に必要な血液は、指先から5μl採取した。

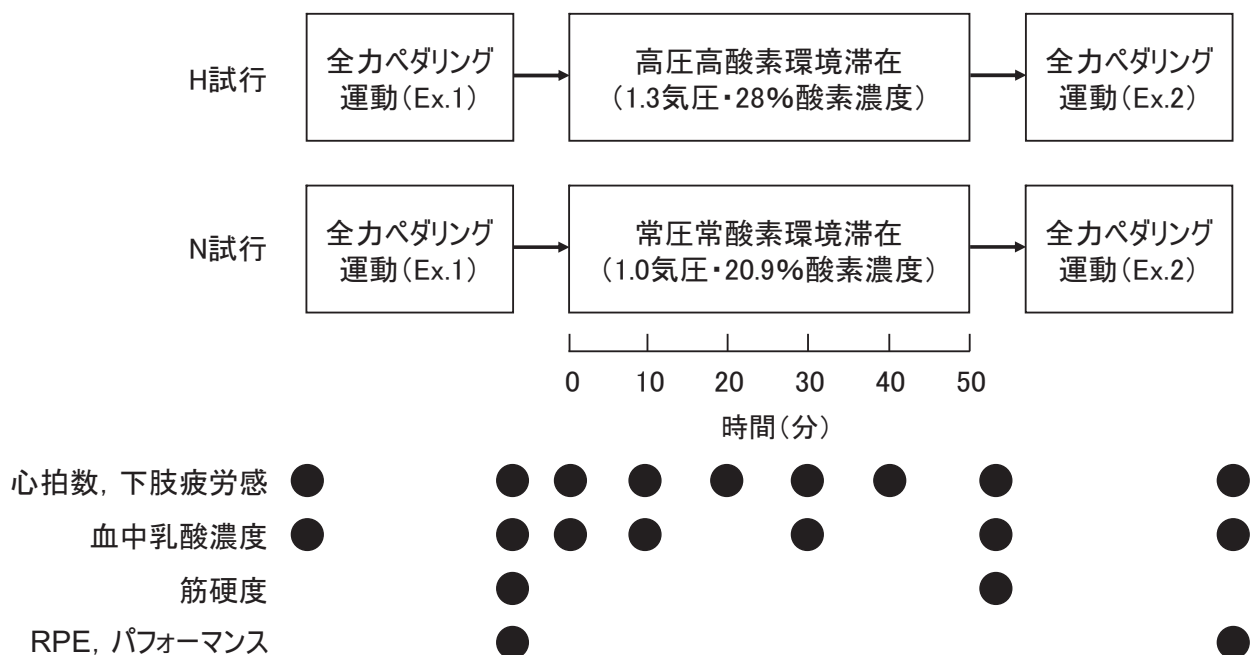


図1 実験デザイン

3) 筋硬度

筋硬度は, NEUTONE TDM-N1 (TRY-ALL社製) を用いて測定した. 測定部位は右大腿部前面とし, 被験者を仰臥位にさせた状態で膝蓋骨上端から15cmの位置で測定した. 測定は, Ex-1の運動直後および各環境滞在終了直後に各5回ずつ行い, 最大値および最小値を除いた平均値を測定値として採用した.

4) 主観的運動強度

主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion: RPE)^{2,12)} 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) 下肢疲労感

下肢疲労感は, 主観的な指標であるVAS (Visual Analog Scale) を用いて評価した. VASの記入および評価は, 日本疲労学会により制定された「疲労感VAS検査方法」¹⁰⁾ に準拠した. 被験者には, 100mmの直線上において「疲れを全く感じない最良の感覚」を0mm, 「何もできないほど疲れきった最悪の感覚」を100mmとして,

下肢の疲労の程度を直線上に記入させた. VASの記入は, 安静時, Ex. 1の運動直後, 常圧常酸素環境および高圧高酸素環境への滞在開始直後, 滞在中の10分毎, 滞在終了直後, Ex. 2の運動直後に行わせた.

6) パフォーマンス

パフォーマンスは, 5秒間の全力ペダリング運動におけるパワーと回転数を指標とし, 10回・2セットの平均パワーおよび平均回転数を算出した.

6. 統計処理

すべてのデータは, 平均値±標準偏差で表した. H試行とN試行における各項目の比較には, 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. 心拍数

図2に心拍数の変動を示した. Ex. 1の運動直後における心拍数は, H試行が 167.3 ± 12.7

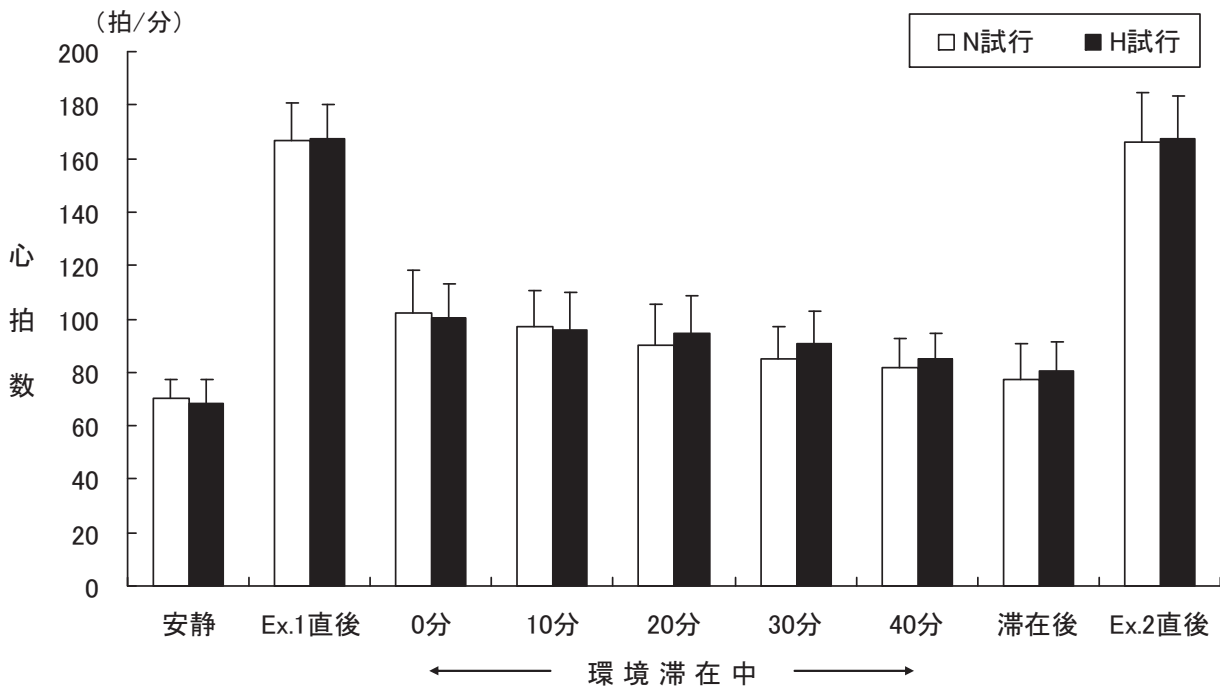


図2 心拍数の変動

拍/分, N試行が166.5±14.3拍/分とほぼ等しい値であった。また, 各環境滞在中の心拍数についても, H試行が85.0±9.7~100.4±13.0拍/分, N試行が81.8±11.1~102.4±15.9拍/分で推移し, 両試行間で差がみられなかった。さらに, Ex. 2の運動直後についてもほぼ等しい値であった (H試行:167.4±15.7拍/分, N試行:165.9±18.7拍/分)。

2. 血中乳酸濃度

表1に血中乳酸濃度の変動を示した。安静時の血中乳酸濃度は, H試行が1.9±0.4mmol/l, N試行が1.8±0.4mmol/lとほぼ等しい値であった。また, Ex. 1の運動直後では, H試行が

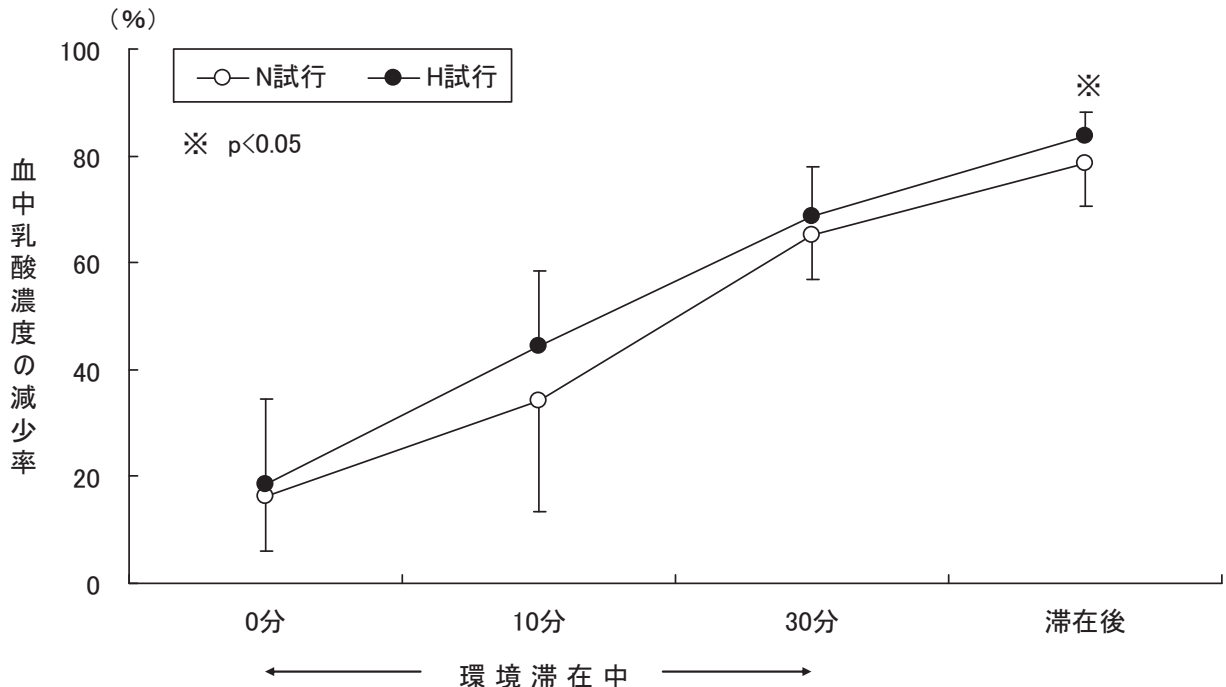
15.5±3.1mmol/l, N試行が14.2±1.9mmol/lを示し有意差は認められなかった。各環境滞在中では, いずれの試行においても時間の経過に伴って血中乳酸濃度が減少し, 滞在終了直後ではH試行が2.5±0.5mmol/l, N試行が3.1±1.4mmol/lを示した。Ex. 2の運動直後については, H試行が14.3±2.3mmol/l, N試行は13.2±2.7mmol/lであった。

図3にEx. 1の運動直後を基準とした血中乳酸濃度の減少率を示した。なお, 減少率は「100 - (測定時の血中乳酸濃度 ÷ 運動直後の血中乳酸濃度 × 100)」で算出した。各環境滞在中の血中乳酸濃度の減少率は, H試行が44.5 ± 13.9% (10分)・68.8 ± 9.1% (30分), N試行が34.3 ±

表1 血中乳酸濃度の変動

	(mmol/l)						
	安静	Ex. 1直後	環境滞在中			滞在後	Ex. 2直後
			0分	10分	30分		
H試行	1.9±0.4	15.5±3.1	12.5±2.5	8.4±1.8	4.7±1.2	2.5±0.5	14.3±2.3
N試行	1.8±0.4	14.2±1.9	12.0±2.6	9.5±3.9	5.0±1.5	3.1±1.4	13.2±2.7

(平均値 ± 標準偏差)



※減少率は、100 - (測定時の血中乳酸濃度 ÷ 運動直後 (Ex. 1) の血中乳酸濃度 × 100) で算出した。
※値が大きいくほど血中乳酸濃度が減少していることを示す。

図3 運動直後 (Ex. 1) に対する血中乳酸濃度の減少率

20.9% (10分)・65.1±8.1% (30分) を示し、有意差は認められないもののH試行で減少率が大きい傾向を示した。また、各環境滞在終了直後においては、H試行が83.8±4.2%とN試行の78.5±7.8%に比べ有意に減少率が高値であった (p<0.05)。

3. 筋硬度

図4にEx.1の運動直後を基準とした筋硬度の低下率を示した。なお、低下率は「100- (各環境滞在終了直後の筋硬度÷運動直後の筋硬度×100)」で算出した。筋硬度の低下率は、H試行が9.5±16.0%, N試行は6.9±9.3%を示し、有意差は認められないものの、H試行で低下率が大きい傾向を示した。

4. 主観的運動強度 (RPE)

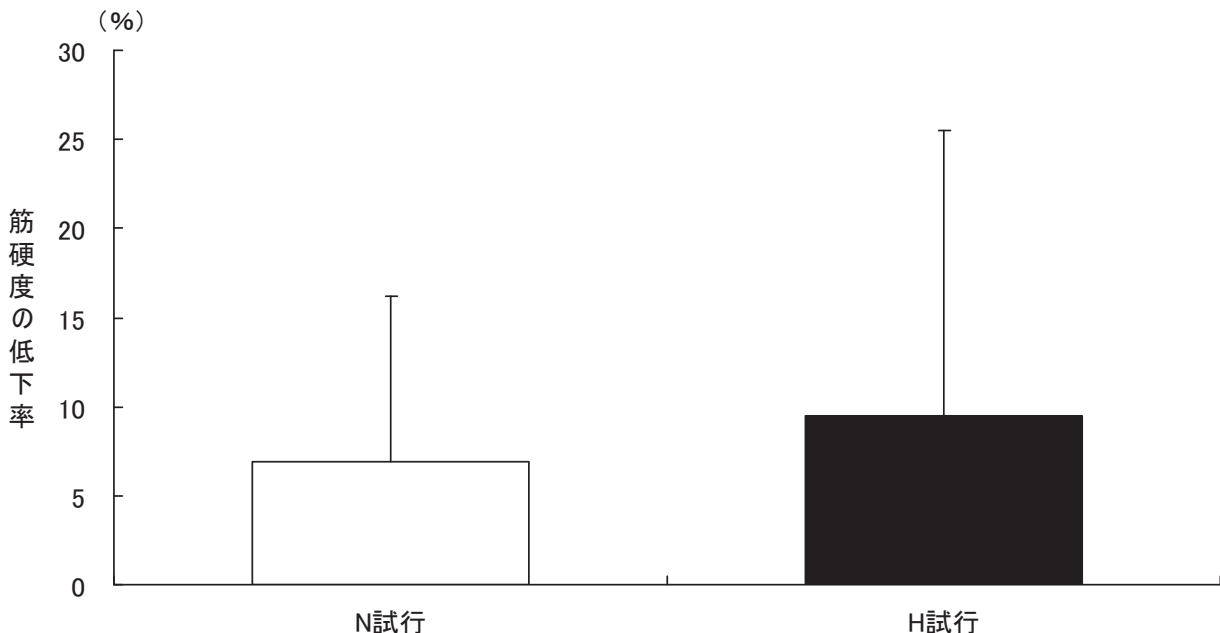
Ex.1のRPEは、H試行が18.4±1.1, N試行は18.3±0.9であった。Ex.2については、H試行が17.8±0.9, N試行で18.4±1.7を示し、Ex.1およびEx.2のいずれにおいてもRPEはほぼ等しい値であった。

5. VASによる下肢疲労感

図5にVASによる下肢疲労感の変動を示した。Ex.1の運動直後におけるVASは、H試行が82.6±13.9mm, N試行が83.1±12.0mmとほぼ等しい値であった。各環境滞在中のVASについては、両試行ともに滞在開始30分後までほぼ等しい値で推移した。しかし、40分後 (H試行: 16.3±11.1mm, N試行: 22.9±16.2mm) および滞在終了直後 (H試行: 10.1±8.1mm, N試行: 16.4±13.5mm) では、有意差は認められないもののH試行で低値を示す傾向がみられた。Ex.2の運動直後については、H試行が80.3±12.2mm, N試行は83.6±13.2mmであった。

6. パフォーマンス

表2にパフォーマンスの指標とした平均パワー・回転数を示した。Ex.1における平均パワーは、H試行が583.6±74.1watt, N試行が574.2±68.8wattであった。また、Ex.2ではH試行が588.9±76.7watt, N試行が574.1±69.3wattを示し、両試行間および各環境滞在前後で



※低下率は、100- (各環境滞在終了直後の筋硬度÷運動直後(Ex.1)の筋硬度×100)で算出した。
 ※値が大きいほど筋硬度が低下していることを示す。

図4 運動直後 (Ex. 1) に対する筋硬度の低下率

有意差は認められなかった。

回転数については、Ex. 1においてH試行が135.8±9.6回／分、N試行が134.8±9.6回／分、Ex. 2ではH試行が136.0±11.8回／分、N試行が132.1±13.7回／分を示し、平均パワーと同様に両試行間および各環境滞在前後で有意差は認められなかった。

IV. 考察

酸素は呼吸によって肺胞から血液中に拡散し、その大部分はヘモグロビンと結合することにより末梢組織に運ばれる。しかし、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、ヘモグロビンが酸素と完全に飽和した状態であっても、「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の法則に従い、より多くの酸素が血液中に溶解する。したがって、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とになる。実際に、2気圧・100%酸素濃度の高压高酸素環境下では、動脈血酸素分圧が約1000mmHgになり、通常環境下の80~100mmHgに比べ高値を示すことから、結果的により多くの酸素が末梢組織に運搬される^{5,8)}。このような生理学的

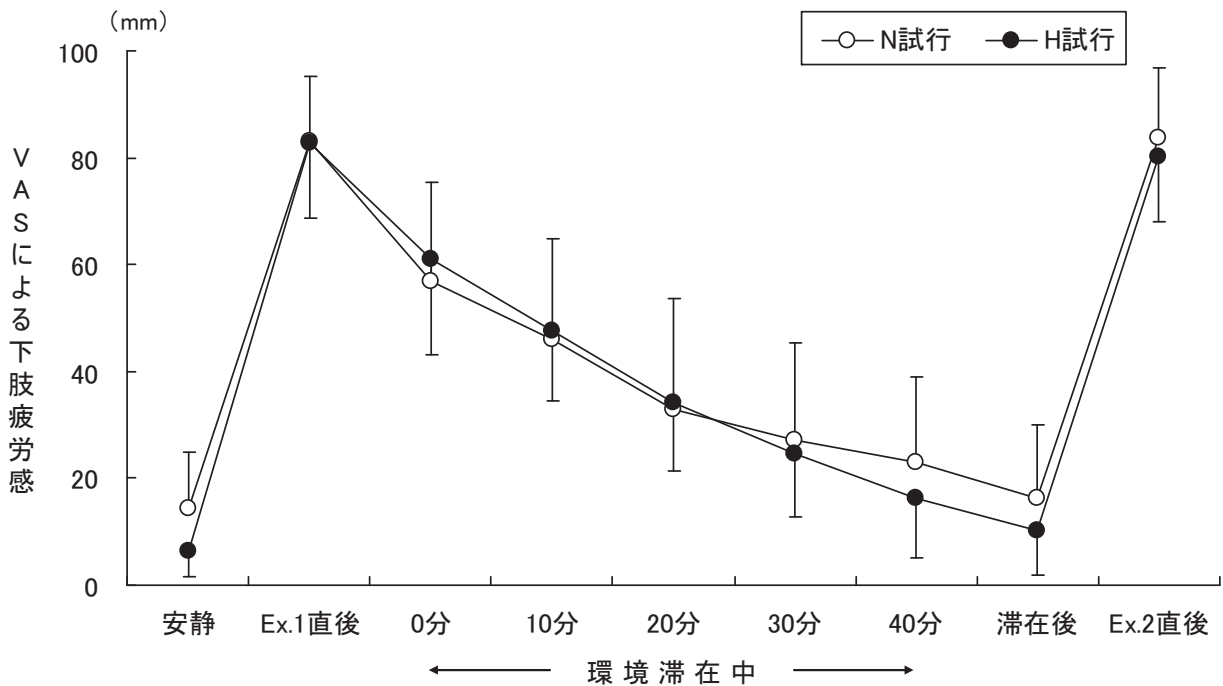


図5 VASによる下肢疲労感の変動

表2 パフォーマンス (平均パワー・回転数) の比較

項目	試行	Ex. 1	Ex. 2
		(各環境滞在前)	(各環境滞在后)
パワー (watt)	H試行	583.6±74.1	588.9±76.7
	N試行	574.2±68.8	574.1±69.3
回転数 (回／分)	H試行	135.8±9.6	136.0±11.8
	N試行	134.8±9.6	132.1±13.7

(平均値±標準偏差)

機序から、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^{8,11)}。

本研究において、H試行とN試行のEx. 1におけるパフォーマンスや各種パラメータに有意差は認められなかった。したがって、両試行における各環境滞在前の運動 (Ex. 1) は同等の生理的負担度であったと推察される。しかし、運動後の回復期における血中乳酸濃度は、H試行において減少率が大きい傾向を示し、環境滞在終了直後には有意差が認められた。

先行研究によれば、最大運動後に異なる環境条件に滞在させた際の血中乳酸濃度の減少率について比較したところ、大気圧空気吸入で61.0%、大気圧純酸素吸入で64.7%、1.3気圧・純酸素吸入で76.0%、2.0気圧・純酸素吸入で70.0%を示し、1.3気圧もしくは2.0気圧の純酸素吸入において血中乳酸濃度の減少が大きく、特に1.3気圧において著明であったことを報告している⁷⁾。また、本研究とほぼ同等の環境条件を用いた先行研究では、合宿中のバレーボール選手を1日1時間・5日間にわたって1.25気圧・35%酸素濃度の酸素カプセルに滞在させた結果、筋疲労や筋痛からの早期回復がみられたとともに、酸素カプセル滞後の血流量が増加したとしている⁶⁾。さらに、高圧高酸素環境への滞在により増加する溶解型酸素は、結合型酸素に比べ分子構造が小さく、細い毛細血管を通りやすいことが指摘されている⁶⁾。これらのことを考慮すると、H試行において血中乳酸濃度の減少率が有意に高値を示したことは、溶解型酸素量や血流量の増加に伴い、末梢の細胞まで酸素が運搬され、代謝が充進したためと考えられる。一方で、本研究において被験者に滞在させた高圧高酸素環境は、医療用に比べ低い気圧・酸素濃度であり、動脈血酸素分圧の上昇や溶解型酸素量の増加は少ないことが予測される。しかしながら、血中乳酸濃度の減少に対する効果が認められたことから、同等の環境条件である“高酸素カプセル”の利用についても、運動後の血中乳酸濃度の回復に有用であると考えられた。

筋硬度の低下率やVASによる下肢疲労感については、有意差が認められなかったもののH試行において回復が促進される傾向を示した。先行研究によれば、トレーニング後の筋硬度や筋痛、疲労感について、高濃度酸素を付加しない高圧環境 (1.25気圧) と高圧高酸素環境 (1.25気圧・35%酸素濃度) との滞在条件で比較したところ、高圧高酸素環境滞在中のみ有意な回復が認められ、これらの回復を促進させるためには高気圧と高濃度酸素を併用することが必要であると結論づけている⁶⁾。本研究における設定気圧は先行研究とほぼ同等であったことから、明確な差が示されなかった理由のひとつとして、高圧高酸素環境における酸素濃度が低かった可能性があげられる。また、もうひとつの要因としては、実施した運動様式や運動量が影響していると考えられる。運動後の筋疲労や筋痛、筋力などに対して高圧高酸素環境滞在中の効果を示した先行研究^{6,14)}では、通常よりもトレーニング量が多い合宿や疼痛 (遅発性筋痛) が数日間に及ぶ伸張性筋収縮運動を行わせている。このことから、一過性の短時間・高強度運動を用いた本研究では、先行研究に比べ筋へのダメージが小さく、N試行との間に有意差が認められなかったと推察される。

このように、本研究結果からは高強度運動後の高圧高酸素環境への滞在により、疲労回復が促進されることがうかがえた。しかしながら、各環境滞後の運動 (Ex. 2) におけるパフォーマンス (パワー、回転数) については、H試行とN試行で差が認められず、いずれの試行においてもEx. 1と同様の値であった。この理由のひとつとしては、各環境滞終了直後の血中乳酸濃度が、H試行で $2.5 \pm 0.5 \text{ mmol/l}$ 、N試行で $3.1 \pm 1.4 \text{ mmol/l}$ と両試行ともに安静時 (H試行： $1.9 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ 、N試行： $1.8 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$) に対して大きな差ではなかったことが考えられる。また、パフォーマンスが血中乳酸濃度や筋機能、主観的疲労感だけではなく、様々な生理・心理的要因によって多様かつ複雑にからみあい決定されることも影響しているといえよう。

これらのことから、高強度運動後の高圧高酸

素環境（1.3気圧・約28%酸素濃度）への滞在は、血中乳酸濃度の減少を促進させることが明らかとなった。また、筋硬度や下肢疲労感を軽減する傾向が示されたことから、疲労回復の手段として有用である可能性が示唆された。さらに、パフォーマンスについては効果が認められなかったものの、これらの研究結果をふまえると、トレーニング期間中や実際の試合において、より良いコンディションを維持するために高圧高酸素環境への滞在を行う意義があると考えられた。

V. まとめ

本研究では、心拍数や血中乳酸濃度、筋硬度、VASによる下肢疲労感、全力ペダリングによるパフォーマンス（回転数、パワー）を指標として、高強度運動後の高圧高酸素環境（1.3気圧・約28%酸素濃度）滞在が疲労回復とパフォーマンスに及ぼす影響について、常圧常酸素環境滞在との比較から検討した。その結果、50分間の高圧高酸素環境滞在によって、その後のパフォーマンスには差が認められなかったものの、血中乳酸濃度の減少が促進された。また、筋硬度や下肢疲労感が軽減する傾向が示された。

付記

本研究は、仙台大学「研究計画に基づく研究費」（題目：高圧・高酸素曝露に対する生理・生化学的応答に関する研究、研究代表者：竹村英和）による研究結果の一部をまとめたものである。

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, pp.86-87
- 2) Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5(2):90-93
- 3) Cabrić, M., Medved, R., Denoble, P., Zivković, M., Kovacević, H. (1991) Effect of hyperbaric oxygenation on maximal aerobic performance in a normobaric environment. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 31(3): 362-366
- 4) Harrison, B.C., Robinson, D., Davison, B.J., Foley, B., Seda, E., Byrnes, W.C. (2001) Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxygen therapy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(1):36-42
- 5) Ishii, Y., Deie, M., Adachi, N., Yasunaga, Y., Sharman, P., Miyanaga, Y., Ochi, M. (2005) Hyperbaric oxygen as an adjuvant for athletes. *Sports Med.*, 35(9):739-746
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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 - 2:基礎研究. *月間トレーニング・ジャーナル*, 24(10):60-63
- 9) 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
- 10) 日本疲労学会. 疲労感VAS (Visual Analogue Scale) 検査の記入方法について. <http://www.hirougakkai.com/VAS.pdf>
- 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) Webster, A.L., Syrotuik, D.G., Bell, G.J., Jones, R.L., Bhambhani, Y., Young, M. (1998) Exercise after acute hyperbaric oxygenation: is there an ergogenic effect?. *Undersea Hyperb. Med.*, 25(3):153-159
- 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

(2011年 5月31日 受付)
(2011年 7月26日 受理)