

超最大運動間の休息期における アクティブリカバリーと高圧高酸素環境の影響

66811 深谷 考平

指導教員 福崎 千穂 客員准教授

The purpose of this study was to examine the effect of active recovery and/or recovery under hyperbaric hyperoxia following high-intensity, exhaustive exercise. Seven healthy male subjects underwent four experimental conditions. Each condition consisted of two performance tests (time to exhaustion on a cycle ergometer exercise) with a 40min recovery period between tests. During recovery period each subject inhaled either 21% O₂ at normal pressure or 60% O₂ at 1.3ATA with passive recovery or active recovery (at 70% of lactate threshold). While exercise time to exhaustion was longer and lactate removal was faster with active recovery than with passive recovery, hyperbaric hyperoxia did not produce a significant effect. The combined recovery reduced perceived exertion during active recovery and increased Tissue Oxygenation Index of active muscle immediately before the second performance test. Subsequently, time to exhaustion on the second performance test was significantly longer after combined recovery than active recovery alone. The result of this study suggested that combination of active recovery under hyperbaric hyperoxia was more effective than either recovery method alone in restoring the exercise performance.

Key words : Hyperbaric hyperoxia, Active recovery, Blood lactate removal, Exercise performance recovery

1. 緒 言

陸上や競泳の競技会においては、1日に数回のレースが行われ、レースの間隔が数十分ほどの短い時間に限られる状況も考えられる。また、重要度の高いレースほど競技会の後半に行われるため、レース間の疲労回復は競技結果を左右する非常に重要な要素である。

疲労回復を促進させるために、アクティブリカバリー (Active recovery: AR) が広く用いられている。ARとは比較的強度の軽い有酸素運動を行うことによる回復処方であり、疲労の指標とされている血中乳酸濃度の回復を促進する^{1,2)}。その理由としては、運動によって筋血流量が増加し、事前の運動で活動した筋からの乳酸の放出を促進すること³⁾や、心筋や遅筋における基質としての乳酸の利用が高まること⁴⁾などが報告されている。しかしながら、実際の運動パフォーマンスの回復については必ずしも一貫した結果が得られていない。

一方、高酸素を吸入しながら運動することは、運動パフォーマンスを向上させることが知られ

ている⁵⁾。また、一定負荷運動時に通常濃度酸素を吸入した場合に比べて低い乳酸濃度を示す⁶⁾。したがって、ARと高圧高酸素環境を組み合わせることによって、乳酸の消失や疲労の回復に効果がある可能性が考えられる。しかしながら、ARと高圧高酸素環境を組み合わせた疲労回復については、まだ検討されていない。

本研究は、超最大運動後の休息期におけるARや高圧高酸素環境が、休息期後の運動パフォーマンスの回復へ与える影響を検討することを目的とした。また、ARを高圧高酸素環境で行うことによって、ARや高圧高酸素環境を用いたそれぞれの回復処方よりもさらに有効的な疲労回復処方となるかを検討した。

2. 方 法

2.1 被験者

定期的に運動を行っている健康な若年男性 7名を被験者とした。被験者には、事前に実験の目的、方法及び実験に伴う危険性について十分な説明を行い、書面で参加に対する同意を得た。

2.2 実験手順及び測定項目

実験の手順をFig.1に示した。すべての運動は自転車エルゴメータ運動とした。被験者はウォーミングアップを、最大酸素摂取量 (VO₂max) の40%の強度にて10分間行い、10分間の安静休息の後、主運動 (パフォーマンスを測定する運動) を40分間の休息期を挟んで2回行った。主運動は、2-3分で疲労困憊に至る負荷とし、113%VO₂max程度の運動であった。運動開始から規定回転数 (80rpm) を維持できなくなり、70rpmを下回った時点までの運動持続時間を運動パフォーマンスとして評価した。

被験者の休息期における条件は

活動条件 2 条件

- ・ Passive Recovery (安静休息) : PR 条件
- ・ Active Recovery : AR 条件 (10分間の70%LT (乳酸性作業閾値) 運動)

酸素環境 2 条件

- ・ 常圧常酸素 (1.0ATA, 21%O₂) : NBO条件
 - ・ 高压高酸素 (1.3ATA, 60%O₂) : HBO条件
- を組み合わせた条件であった。すなわち、PR-NBO条件、PR-HBO条件、AR-NBO条件、AR-HBO条件の4条件を行った。

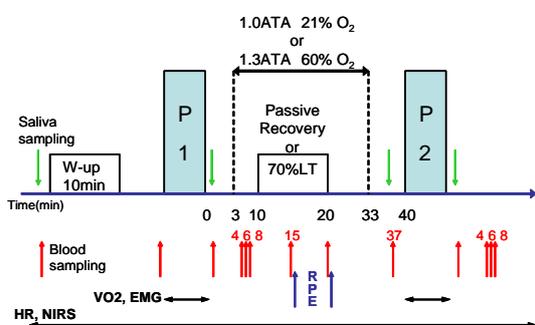


Fig.1 Experimental protocol
(P1, P2 : Performance test 1, 2)

運動パフォーマンスの回復指標として、パフォーマンス回復率を定義した。

$$\text{パフォーマンス回復率(\%)} = \frac{\text{主運動2の運動持続時間}}{\text{主運動1の運動持続時間}} \times 100$$

Fig.1に示す時間において血中乳酸濃度を指尖部より血液を採取し乳酸測定器で測定した。ウォーミングアップ前の値を安静値、主運動1後の最大値をピーク値、主運動1終了37分後の値を回復値、として

$$\text{血中乳酸濃度回復率(\%)} = \frac{\text{ピーク値} - \text{回復値}}{\text{ピーク値} - \text{安静値}} \times 100$$

を定義した。

酸素摂取量 (VO₂)、活動筋である外側広筋の表面筋電図 (EMG)、主観的運動強度 (RPE)、心拍数 (HR)、近赤外分光法 (NIRS) による外側広筋の筋組織酸素動態を測定し、採取された唾液より唾液中ストレスマーカー (コルチゾール濃度、αアミラーゼ活性) を測定した(Fig.1)。

統計解析における有意水準は5%とした。

3. 結果

3.1 パフォーマンス回復率、乳酸濃度回復率

パフォーマンス回復率は、AR-HBO条件が他の3条件に対して、またAR-NBO条件がPR-NBO条件に対してそれぞれ有意に高い値を示した(Fig.2)。

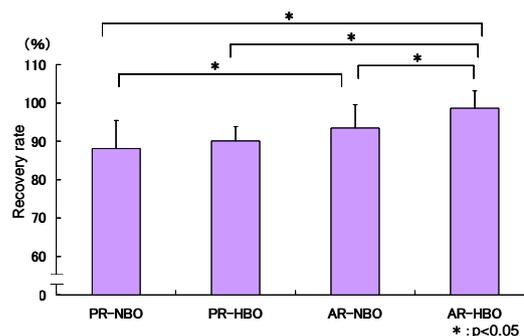


Fig.2 Exercise performance recovery rate

血中乳酸濃度回復率は、ARの2条件がPRの2条件と比較して有意に高い値を示した(Fig.3)。

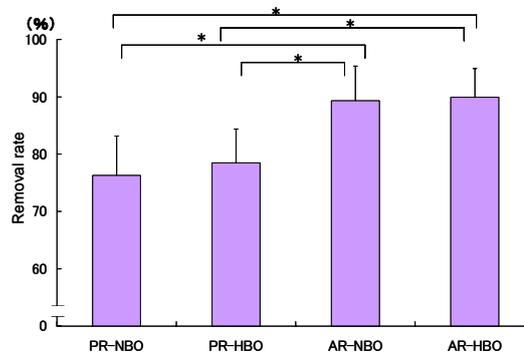


Fig.3 Blood lactate removal rate

3.2 酸素摂取量、表面筋電図

2 回の主運動における酸素摂取量の変化には条件間に有意な差は認められなかった。また、主運動において運動が進むにつれて積分筋電図 (iEMG) は有意に増加したが、条件間に有意な相違はみられなかった。

3.3 心拍数、主観的運動強度

主運動 2 において、運動持続時間の違いのために PR 条件における最大心拍数が AR 条件よりも低い値を示したが、主運動開始時の心拍数変化には相違がなかった。AR を行っている間 (AR 開始 5 分後、終了直前) の心拍数は、AR-HBO 条件が AR-NBO 条件よりも有意に低い値を示し、このとき主観的運動強度 (RPE) も有意に減少していた (Table.1)。

Table.1 HR and RPE during active recovery

		*: AR-NBO vs. AR-HBO			
		AR-NBO		AR-HBO	
5th min	HR(bpm)*	131.0 ± 6.4	125.9 ± 5.3		
	RPE*	12.7 ± 1.1	11.4 ± 1.0		
10th min	HR(bpm)*	133.9 ± 7.4	128.9 ± 5.1		
	RPE*	12.3 ± 11.0	1.3 ± 1.0		

3.4 筋組織酸素動態

主運動 1 終了時より、主運動 2 開始直前までの筋組織酸素化指標 (TOI) を Fig.4 に示した。AR を行うことで、TOI は低下したが、AR 条件、PR 条件それぞれにおいて HBO 条件は NBO 条件よりも高い値を示していた。主運動 2 直前 (pre2) においては、AR による低下が回復し、AR-HBO 条件が PR-NBO 条件よりも有意に高い値であった。

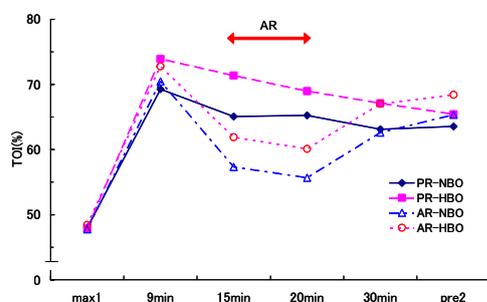


Fig.4 TOI during recovery period

また、主運動 2 時の主運動 1 に対する酸素化ヘモグロビン濃度変化量 (5 秒毎) を Fig.5 に示

した。AR の 2 条件で比較を行ったところ、主運動 2 運動開始初期において AR-HBO 条件が AR-NBO 条件よりも高い傾向を示し、15-20 秒、20-25 秒、25-30 秒において有意な差がみられた。

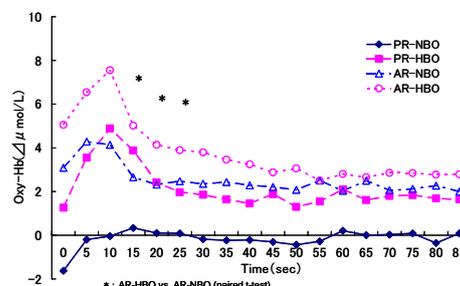


Fig.5 Changes in Oxy-Hb concentration during the second performance test

3.5 唾液ストレスマーカー

コルチゾール濃度は、主運動 1 によって有意に増加していたが、条件間に有意な差はみられなかった。αアミラーゼ活性は、主運動 1、主運動 2 終了後、早期に高くなる反応を示し、PR 条件では、休息期前後で有意な減少がみられた。

4. 論議

4.1 アクティブリカバリーの影響

今回の結果は、NBO 環境、HBO 環境ともに AR を行うことにより、NBO 環境において安静休息を行うことに比べ、パフォーマンスの回復を促進することを示唆するものであった。このとき、AR の 2 条件は PR に比べて、血中乳酸濃度の回復が促進されていた。したがって、筋中環境が AR によって回復し、パフォーマンスの向上の一つの要因になったと考えられる。

AR を行うことがパフォーマンスを高める理由の一つに、休息後の運動開始時における有酸素性代謝を促進することが言われている。しかし、本研究では酸素摂取量や心拍数の変化に条件間で相違がみられなかった。AR を行ってから、主運動 2 を行うまでに 20 分間の間隔があったことが、影響しているものと考えられる。

唾液中ストレスマーカーのコルチゾールの変化からは、AR による追加的な精神負荷は認められなかった。一方、αアミラーゼ活性は、主運

動 2 開始前において、AR 条件が PR 条件よりも高い値を示す傾向を示し、主運動 1 終了後と比較して、PR 条件のみが有意な減少を示した。このことは、AR が追加的なストレスとなっている可能性も考えられる。しかし、一方で α アミラーゼ活性は交感神経の働きを反映したものであり、主運動 2 の直前に交感神経が適度に刺激されている状態が、主運動のパフォーマンスを向上させた可能性も考えられる。AR を行うことがパフォーマンスの向上に与える影響の一つとして、交感神経の働きを適度に保つ可能性が示唆された。

4.2 高圧高酸素環境の影響

PR-HBO条件は、PR-NBO条件と血中乳酸濃度回復に相違が認められず、パフォーマンスの回復にも有意な差はみられなかった。高圧(1.3ATA)100%酸素を用いた先行研究⁷⁾においては、血中乳酸濃度は通常環境よりも減少しており、今回の条件よりも高い酸素分圧において乳酸濃度の回復への影響を及ぼし始める閾値が存在する可能性も考えられる。

4.3 両者の組み合わせによる影響

AR-NBO 条件と AR-HBO 条件を比較すると、血中乳酸濃度の回復には相違がなかった。一方で、パフォーマンスの回復は AR-HBO 条件が高い結果となった。

AR-HBO 条件では、AR-NBO 条件に比べて、AR における RPE が有意に低下しており、このとき心拍数も有意に減少していた。また、AR 中の組織酸素化指標 (TOI) はそれぞれの酸素環境の PR 条件よりも低い値を示したが、AR-HBO 条件は AR-NBO 条件よりも高い値を示し、主運動 2 の開始直前および運動初期においても高い値を示した。主運動 2 の開始初期に、筋中の酸素濃度が高く、活動筋への酸素供給が促進され、無酸素性の代謝への依存が低下したために、エネルギー代謝が制限要因と考えられる主運動のパフォーマンスが向上した可能性が考えられた。

AR-HBO 条件は、AR-NBO 条件と比較して、平均するとパフォーマンスの回復が促進された。しかし、被験者 7 名のうち、2 名は両条件でパフォーマンスの回復に違いがみられなかった。この 2 名の被験者は、AR-NBO 条件ですら

100%に近いパフォーマンスの回復を示しており、それ以上の回復が難しかったことが考えられる。また、この 2 名の AR-HBO 条件と AR-NBO 条件との主運動 2 における酸化ヘモグロビン濃度の変化は前述した平均の値とは異なり、両条件でほとんど差が見られなかった。HBO 環境の効果は、個人差が存在する可能性が示唆された。

5. 結 語

2-3 分程度で疲労困憊に至る、超最大運動間の休息期において、アクティブリカバリーを行うことはパフォーマンスの回復を促進させた。そのとき、血中乳酸濃度の減少も促進されていたことから、筋中環境の回復が促進されたことがパフォーマンスへ影響していることが示唆された。また、アクティブリカバリーを高圧高酸素環境下で行うことはアクティブリカバリー中の主観的運動強度を低減させた。この影響に加え、高圧高酸素環境で体内の酸素化レベルが高まり、休息期後の運動開始時においても酸素化ヘモグロビン濃度が高かったことが、通常酸素環境でアクティブリカバリーを行うことよりもパフォーマンスを回復させた要因である可能性が示唆された。したがって、実際の競技スポーツの現場においてもアクティブリカバリーと高圧高酸素環境を組み合わせることは有効な回復処方になり得ると考えられる。一方で、高圧高酸素環境の疲労回復への効果は個人差が存在する可能性が示唆された。

文 献

- 1) Gisolfi et al. : J. Appl. Physiol., **21**, 1767(1966).
- 2) Stamford et al. : J. Appl. Physiol., **51**, 840(1981).
- 3) 小宮秀明ら : 体力科学, **42**, 278(1992).
- 4) Gladden : Med. Sci. Sports Exerc., **32**, 764(2000).
- 5) Welch et al. : Med. sci. Sports Exerc., **14**, 253(1982).
- 6) Adams : J. Appl. Physiol., **61**, 523(1986).
- 7) 石井ら : 日高圧医誌, **30**, 109(1995).