

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 19 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700644

研究課題名（和文） 吸入酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの効果に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effects of intermittent training in hypoxia, normoxia and hyperoxia on aerobic and anaerobic capacity.

研究代表者

中垣 浩平（NAKAGAKI KOHEI）

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号：30549473

研究成果の概要（和文）：本研究では吸引する酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの効果に及ぼす影響を検討した。その結果，同一のトレーニングプロトコルを実施しても吸引する酸素濃度によってその効果が異なり，1) 高酸素環境下での高強度インターバルトレーニングは有酸素性能力，特に末梢（活動筋）の酸化能力の改善に，2) 常酸素環境下でのトレーニングは無酸素性能力の改善にそれぞれ効果的であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The aims of the present study were to determine whether high intensity intermittent training in hypoxia, normoxia and hyperoxia would enhance aerobic and anaerobic capacity. Our data suggests that 1) intermittent hyperoxic training can enhance the aerobic capacity (oxidative capacity in the skeletal muscle); 2) intermittent normoxic training can enhance the anaerobic capacity.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2011 年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2012 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,900,000 | 870,000 | 3,770,000 |

研究分野：スポーツ科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：トレーニング・低酸素・高酸素

1. 研究開始当初の背景

これまで，高強度・短時間の運動を繰り返し実施するインターバルトレーニングは，主に無酸素性代謝能力の向上を目的とするトレーニング手段として用いられてきた。しかし近年では，高強度のインターバルトレーニングが，短期間で筋の酸化能力および持久的な運動パフォーマンスを向上させるとの報

告が相次いでおり，スプリント系種目の競技選手のみならず，持久系競技選手のトレーニングとしても注目されている（Creer et al., 2006; Esfarjani and Laursen, 2006; Laursen et al., 2002, 2005）。

高強度インターバルトレーニングの特徴の一つは，非常に短期間で運動パフォーマンスが向上することにある。Burgomaster et

al.(2005)は、30秒間の全力ペダリングを4分間の休息を挟んで4-7セットおこなうトレーニングを6回実施(2週間)しただけで、80%VO₂peak強度での運動時間が100%向上したことを報告している。この研究における被験者の休息を除いた総運動時間は、2週間で15分未満と、極めて短いにもかかわらず運動パフォーマンスが向上したことは非常に興味深い。また、この研究と同様のトレーニングをおこなわせた研究では、ピークパワー(Burgomaster et al., 2005)のみならず、10-15分程度で疲労困憊に至る運動パフォーマンス(Burgomaster et al., 2006; Esfarjani and Laursen, 2006)や60分程度の長時間運動パフォーマンス(Laursen et al., 2002)といった幅広い時間の運動パフォーマンスを改善させることが示されており、この点も低〜中強度の持久性トレーニングにはみられない特徴として挙げられる。

ところで、競技選手に広く普及しているトレーニング方法の一つに低酸素あるいは高地トレーニングがある。低酸素環境下では、有酸素性代謝が低下するため60秒を超えるような全力運動のパフォーマンスが低下することが知られている(Pugh, 1965; Weyand et al., 1999)。そのため、低酸素環境下での有酸素性トレーニングはその強度や量が低下してしまい、必ずしも運動パフォーマンスの向上に結び付かなかった。そのため、1990年中頃から滞在と睡眠を高地で、トレーニングを平地でおこなう方式(Living High-Training Low)が主流となっている。

一方、有酸素性運動のパフォーマンスとは異なり、低酸素環境下における短時間(30〜40秒)の全力運動のパフォーマンスは、有酸素性代謝の低下が無酸素性代謝の充進(エネルギー供給速度の増加)によって代償されるため、常酸素環境下と等しいことが報告されている(McLellan et al., 1990; Ogura et al., 2006)。このように、低酸素環境下では無酸素性代謝により多くの刺激を与えることが示唆されていることから、低酸素環境下のトレーニングは無酸素性能力の向上に適していると考えられる研究者もいる(Ogura et al., 2006)。しかしながら、低酸素環境下では、1) 無酸素エネルギー供給量の総量(最大量)は変化しないこと(Friedmann et al., 2007)、2) 15秒の全力運動を繰り返すと、繰り返し回数の増加に伴って常酸素環境下よりも発揮パワーが大きく低下すること(Brosman et al., 2000)、が知られており、低酸素環境下における高強度トレーニングは必ずしも無酸素性能力および運動パフォーマンスの改善に有効であるとは言い難い。

低酸素環境におけるトレーニングは、通常よりも大きな代謝ストレスを生体に課すことができるため、低酸素環境下での高強度イ

ンターバルトレーニングは常酸素環境下よりも高い効果をもたらす可能性がある。しかしその一方で、低酸素環境下では絶対的なトレーニング強度が低下することが指摘されており、トレーニング強度に着目した場合、低酸素とは対照的に高酸素環境下でのトレーニングが有効になる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、吸引する酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの有効性に及ぼす影響を検討するために、1) 吸入する酸素濃度の違い(低酸素・常酸素・高酸素)が一過性高強度インターバル運動時の生理応答および発揮パワーに及ぼす影響、2) 吸入する酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの効果に及ぼす影響、の二つの課題を検討した。

3. 研究の方法

(1) 課題1. 吸入する酸素濃度の違いが一過性高強度インターバル運動時の生理応答および発揮パワーに及ぼす影響

被験者は、大学体育会自転車競技部に所属する選手7名(20.4±1.8歳, 170.4±3.9cm, 68.4±3.6kg)であった。すべての被験者に実験の趣旨、内容及び危険性について説明し、実験参加の同意を得た。

被験者には酸素濃度の異なる3種のガスを吸引させ、自転車エルゴメータを利用した30秒間の全力ペダリング(体重×0.075kp)を4分間の休息をはさみ5セット行わせた。運動中に吸引させるガスの酸素濃度は、低酸素(16.4%)、常酸素(20.9%)及び高酸素(60%)の3種とした。測定項目は全力ペダリング中の平均発揮パワー、無酸素性及び有酸素性エネルギー供給量とした。

(2) 課題2. 吸入する酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの効果に及ぼす影響

大学体育会運動部に所属する男子選手26名(19.9±2.0歳, 172.1±5.1cm, 71.3±7.7kg)であった。すべての被験者に実験の趣旨、内容及び危険性について説明し、実験参加の同意を得た。

自転車エルゴメータを用いた高強度インターバルトレーニングを週に2回、3週間にわたり実施した。トレーニング初週は、体重×0.075kpの負荷での30秒間全力ペダリングを4分間の休息をはさんで4セット行わせ、それ以降は1週毎に1セットずつ増加させた。被験者はトレーニング中に吸引する酸素濃度によって低酸素群、常酸素群及び高酸素群

の3つに分類し、それぞれの群のトレーニング時の酸素濃度は13.6%、20.9%及び60%に設定した。トレーニングの前後で、漸増負荷テスト、乳酸カーブテスト（6分間×5ステージ）及び90秒間全力ペダリングテストを実施し、トレーニング効果を評価した。

4. 研究成果

(1) 課題1. 吸入する酸素濃度の違いが一過性高強度インターバル運動時の生理応答および発揮パワーに及ぼす影響

全力ペダリング中の平均発揮パワーは、酸素濃度及びセット数の両要因に有意な主効果が認められた。いずれの条件においてもセット数の増加と共に平均パワーは低下したものの、高酸素吸引条件では低酸素および常酸素吸引条件と比較して有意に高値を示した（図1）。

運動中の無酸素性エネルギー供給量は、酸素濃度及びセット数の両要因に有意な主効果が認められ、いずれの条件においてもセット数の増加と共に有意に低下し、特に常酸素吸引条件では、低酸素および高酸素吸引条件と比較して有意に低くなった。また、運動中の有酸素性エネルギー供給量には有意な交互作用が認められ、1セット目のみ常酸素吸引条件がその他の条件よりも有意に高くなった。また、2セット目以降は低酸素吸引条件のみ、常酸素および高酸素吸引条件と比較して有意に低くなった。

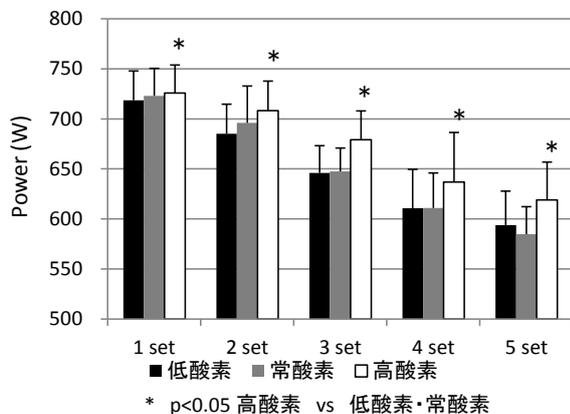


図1 インターバル運動中の平均発揮パワー

本研究の結果から、1) 低酸素吸引条件では、常酸素吸引条件よりも無酸素性エネルギー供給を増加させることができるが、有酸素性エネルギー供給量が制限されるため、発揮パワーが増加しないこと、2) 高酸素吸引条件では、有酸素性エネルギー供給量を常酸素環境と同等の水準に保ちながら、低酸素吸引条件と同じレベルまで無酸素性エネルギー供給を増加することができるため、高いパ

ワーを発揮できること、が示唆された。常酸素吸引条件と比較して、低酸素及び高酸素吸引条件下では、無酸素性代謝が亢進されることから、これらの環境下でのトレーニングは無酸素性能力の改善を目的としたトレーニングとして有効である可能性がある。さらに、高酸素を吸引しながら高強度運動を実施するトレーニングは、常酸素や低酸素を吸引しながらのトレーニングと比較して、無酸素性代謝及び有酸素性代謝をそれぞれ亢進し、高いパワーを発揮可能であることから、競技選手のエネルギー供給能力及びパフォーマンスをより効果的に改善するトレーニング手段となる可能性が示唆された。

(2) 課題2. 吸入する酸素濃度の違いが高強度インターバルトレーニングの効果に及ぼす影響

各群のトレーニング時の酸素飽和度 (SpO₂) の変化 (代表例) を図2に示した。全力運動時には低酸素群のSpO₂は75%程度まで、常酸素群のSpO₂は90%程度まで低下した。一方、高酸素群のSpO₂は常に99~100%で推移し、全力運動時のSpO₂の低下みられなかった。

3週間、全6回のトレーニングによって、最大酸素摂取量及び最大有酸素性パワーはいずれの群においても有意に向上した。しかしながら、各群間に有意差は認められなかった。乳酸カーブテストでは低酸素群及び常酸素群にはトレーニング効果が認められなかったのに対し、高酸素群では任意の運動強度における血中乳酸濃度が有意に低下した。トレーニングによって90秒間全力ペダリングテストの発揮パワーは有意に増加したが、各群間に有意な差は認められなかった。90秒全力ペダリングテスト時の無酸素性エネルギー供給量 (最大酸素借) は、常酸素群のみ有意に増加した (図3)。

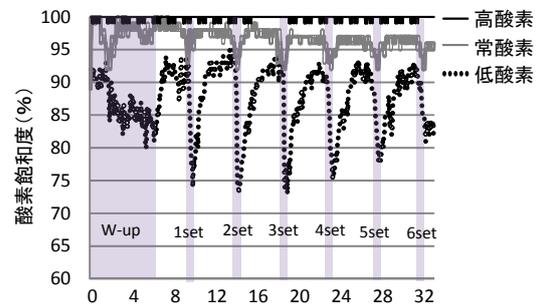


図2 トレーニング中の酸素飽和度の変化

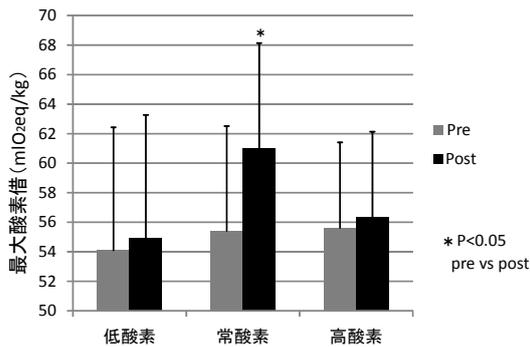


図3 トレーニングによる最大酸素借の変化

一般に競技レベルの高い者ほど高強度運動時に運動誘発性低酸素血症の発現頻度が高まることが知られている。本研究で実施したトレーニング中にも、低酸素及び常酸素群では主運動時に SpO₂ の低下が認められた。一方、高酸素群ではトレーニング中の SpO₂ は常に 99~100%を示し、末梢まで十分な酸素が供給されていることが示唆された。本研究で生じた高酸素群の乳酸カーブテストの改善は、トレーニング時に活動筋に対して十分な酸素の供給がおこなわれ、低酸素及び常酸素環境下よりも多くの仕事を実施可能であったことから、活動筋の酸化能力が特異的に向上したものと推察される。

一方、無酸素性能力（最大酸素借）の改善は、常酸素群でのみ認められた。課題1では、低酸素環境下での高強度インターバル運動が無酸素性エネルギー代謝を亢進させることが明らかになっており、低酸素環境下でのトレーニングは無酸素性能力の改善に有効であると予想していた。しかし実際には、低酸素群の無酸素性能力に有意な変化は生じなかった。低酸素群の無酸素性能力に変化がみられず、常酸素群でのみ向上した原因については、今後さらなる検討が必要である。

本研究で得られた知見をまとめると、高酸素環境下での高強度インターバルトレーニングは有酸素性能力、特に末梢（活動筋）の酸化能力の改善に、常酸素環境下でのトレーニングは無酸素性能力の改善にそれぞれ効果的であった。高酸素環境下でのトレーニングは競技レベルが高く、高強度運動時に運動誘発性低酸素血症を発現するようなエリートアスリートにとって、有酸素性能力を改善する新たなトレーニングとなりうる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

中垣浩平, 今有礼, 小林雄志, 衣斐淑子, 西山哲成, 鈴木康弘. 常圧低酸素環境が高強度インターバル運動時の生理応答および発揮パワーに及ぼす影響, 第66回体力医学会大会, 山口, 2011. 9.

中垣浩平, 今有礼, 衣斐淑子, 尾野藤直樹, 鈴木康弘. 常圧低酸素環境下における高強度インターバルトレーニングの効果. 第67回体力医学会大会, 岐阜, 2012. 9.

中垣浩平, 今有礼, 衣斐淑子, 小林雄志, 尾野藤直樹, 西山哲成, 鈴木康弘. 低酸素環境下における高強度インターバルトレーニングの効果. 第9回 JISS スポーツ科学会議, 2012. 12

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中垣 浩平 (NAKAGAKI KOHEI)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号 : 30549473