

機関番号：53901

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700518

研究課題名（和文） 高炭酸ガス吸入の特異的生理学的応答を応用した  
トレーニングに関する研究研究課題名（英文） The study on training which apply the specific physiological  
responses by hypercapnic gas inhalation

研究代表者

加藤 貴英（KATO TAKAHIDE）

豊田工業高等専門学校・一般学科・准教授

研究者番号：00387614

研究成果の概要（和文）：高炭酸ガス吸入は呼吸中枢を刺激し，呼吸・循環機能を賦活させる．本研究では，この特異的生理学的応答をスポーツトレーニングに応用した．1日1時間2週間の間欠の高炭酸ガス吸入を持続性アスリートに行わせた結果，高炭酸ガス換気応答が高まり，運動時の最大換気量が増加した．本研究の結果から，間欠的高炭酸ガス吸入は持続性アスリートの換気能力を高める可能性があることを示した．

研究成果の概要（英文）：Hypercapnic gas inhalation stimulates the respiratory center, and activates the cardiorespiratory systems. This specific physiological response was applied to sports training. Endurance athletes performed hypercapnic gas inhalation for one hour each day for two weeks. We showed that intermittent hypercapnic gas inhalation enhances hypercapnic ventilatory response and promotes the maximal ventilation during exercise. From the present results, it is suggested that intermittent hypercapnic gas inhalation may promote a ventilatory capacity in endurance athletes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：運動生理学，環境生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：高炭酸ガス吸入，トレーニング，換気応答，呼吸

## 1. 研究開始当初の背景

高炭酸ガス吸入は動脈血の二酸化炭素分圧を上昇させ，呼吸中枢を刺激し，また血管を拡張させることから呼吸・循環系を亢進さ

せる効果がある．我々は，この高炭酸ガス吸入による呼吸・循環亢進作用に着目し，その特異的生理学的応答をスポーツ科学に応用すべく，近年において基礎資料の獲得に努めてきた．我々は，吸気中の炭酸ガス濃度が

3%の場合、安静時においては、肺胞と血液二酸化炭素分圧は、換気量の増加によって調節され上昇せず、運動強度が最大酸素摂取量の60%強度程から肺胞と血液二酸化炭素分圧が上昇し始めるが、劇的に運動パフォーマンスは制限されないことを明らかにした。

これらの結果から、高炭酸ガス濃度が3%以下の高炭酸ガス吸入を上手く応用すれば、高炭酸ガス吸入による生理学的応答により、肺ガス交換を改善させることが示唆される。その結果、新しいトレーニング法を確立することが可能となる。

## 2. 研究の目的

高炭酸ガス吸入による特異的生理学的応答をスポーツ科学に応用して、新たなトレーニング法「高炭酸ガス吸入トレーニング」の確立するために、間欠的高炭酸ガス吸入が持久性アスリートの換気能力を改善させるかどうかを検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 被験者は大学体育会トライアスロン部に所属する男子学生で、身体的特徴としては以下の通りであった。

- ・身長：168.9cm
- ・体重：62.2kg
- ・年齢：20.2歳
- ・最大酸素摂取量：60.8ml/kg/min

(2) 実験に先立ち、被験者には文章と口頭により実験の目的、内容、方法、危険性の説明を行い、被験者の同意を得た上で実験を行った。

(3) 間欠的高炭酸ガス吸入トレーニングとして、被験者は高炭酸ガス(酸素濃度：21%、二酸化炭素濃度：3%、窒素バランス)吸入を1日1時間、2週間行った。特注の三種混合ガスボンベからレギュレーターを経て、呼吸用マスクを介して高炭酸ガス吸入を行った。ドライガスを吸入するため、喉がかかわないように適宜水分の補給を行った。

(4) 2週間の間欠的高炭酸ガス吸入が呼吸の化学感受性に及ぼす影響を調べるために、呼吸化学感受性テスト(高炭酸ガス換気応答：終末呼気炭酸ガス分圧の上昇に伴う換気量の変化、低酸素換気応答：動脈血酸素飽和度の低下に伴う換気量の変化)を、吸入前、吸入1週間後、吸入2週間後、2週間の吸入を終えてから1週間後、計4回行った。

(5) 2週間の間欠的高炭酸ガス吸入の前夜、自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷

法による最大運動テストを行い、運動中の呼吸・循環応答の変化を観察した。

## 4. 研究成果

(1) 本研究を実行するうえで必要な基礎データを取得するために、我々は予備実験として、高炭酸ガス吸入が運動時の呼吸・循環器応答に及ぼす影響を調べた。実験結果の一部である、高炭酸ガス吸入下における漸増負荷運動時の血中二酸化炭素分圧の変化を図1に示す。

全試験で酸素濃度は21%とし、二酸化炭素濃度は0%、3%、6%の3試行であった。

二酸化炭素濃度6%の場合、運動負荷が始まる前の安静状態から血中二酸化炭素分圧が上昇していることから、生体内で二酸化炭素が蓄積されていると考えられる。

一方、二酸化炭素濃度3%の場合、運動負荷が始まる前の安静状態で血中二酸化炭素分圧は安定していることから、換気充進により生体内での二酸化炭素蓄積を防いでいる。運動を開始してからは、最大運動時の約60%強度より血中二酸化炭素分圧が上昇したものの、最大運動パフォーマンスは顕著な制限を受けなかった。

以上の結果から、高炭酸ガス吸入をスポーツトレーニングに応用する場合、二酸化炭素濃度は3%(酸素濃度を大気と同等の21%を条件とする)が妥当であろう基礎資料を得た。

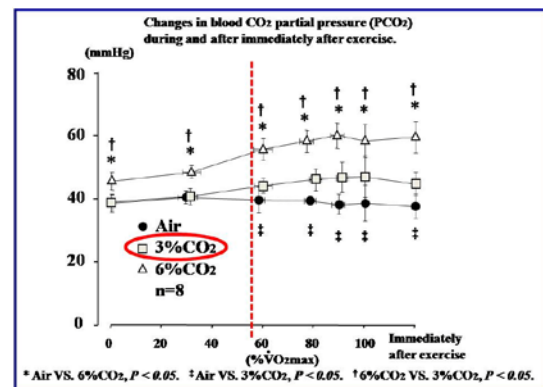


図1 運動時の血中二酸化炭素分圧の変化

(2) 本研究における、1日1時間、2週間の間欠的高炭酸ガス吸入(二酸化炭素濃度：3%)に伴った呼吸化学感受性の変化を図2に示す。

高炭酸ガス換気応答(図2A)が間欠的高炭酸ガス吸入によって高まった。

一方、低酸素換気応答(図2B)については、間欠的高炭酸ガス吸入による顕著な変化は観られなかった。

以上の結果から、1日1時間、2週間の間欠的高炭酸ガス吸入より、高炭酸ガスに対す

る呼吸の化学感受性が高まると考えられる。

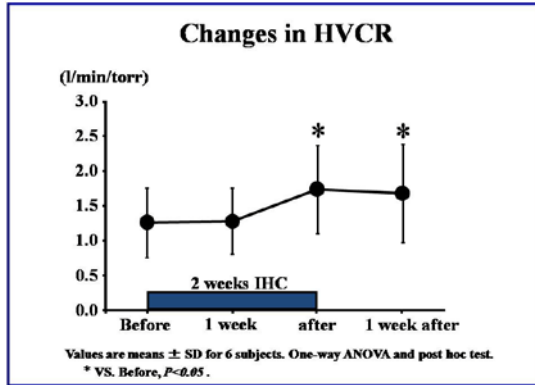


図 2 A 高炭酸ガス換気応答の変化

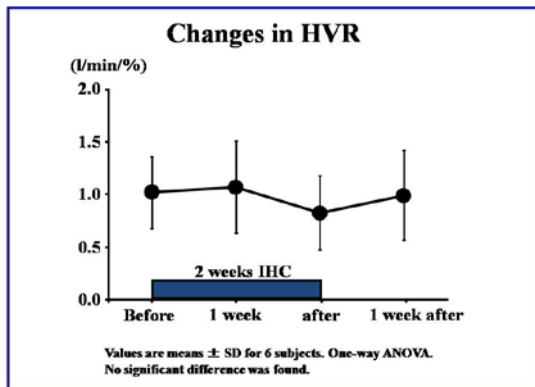


図 2 B 低酸素換気応答の変化

本研究における、1日1時間、2週間の間欠的高炭酸ガス吸入前後の最大運動パフォーマンスを表1に、運動時呼吸循環応答を表2に示す。

運動パフォーマンスは、間欠的高炭酸ガス吸入前後で顕著な変化を示さなかった。

一方、最大運動時換気量が間欠的高炭酸ガス吸入後で多くなる傾向を示した。その他の呼吸循環応答に顕著な変化はなかった。

以上の結果から、1日1時間、2週間の間欠的高炭酸ガス吸入より、運動時の換気能力が改善される可能性が考えられる。

	Before IHC	After IHC
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	60.8 ± 6.0	62.9 ± 6.7
Maximal Workload (Watt)	265.0 ± 29.5	265.0 ± 35.1
Performance time (min' sec'')	14'35'' ± 1'50''	14'50'' ± 2'16''

Values are means ± SD for 6 subjects. Paired T-test. No significant difference was found.

表 1 間欠的高炭酸ガス吸入前後の最大運

## 動パフォーマンス

	Before IHC	After IHC
$\dot{V}E_{max}$ (l/min)	153.3 ± 23.8	164.3 ± 27.1 <b>P=0.052</b>
Respiratory Rate max (f/min)	69.4 ± 19.0	73.3 ± 22.9
HRmax (beats/min)	186.8 ± 8.5	187.3 ± 7.3

Values are means ± SD for 6 subjects. Paired T-test.  $\dot{V}E$  tended to increase by IHC.

表 2 間欠的高炭酸ガス吸入前後の運動呼吸循環応答

本研究の結果、高炭酸ガス吸入による特異的生理学的応答をスポーツ科学に応用した「高炭酸ガス吸入トレーニング」は、持久性アスリートの換気能力改善に一役を担う可能性を示した。

(3) 高炭酸ガスが人体に及ぼす影響については、基礎生理学、臨床、宇宙航空医学、そして潜水医学の分野で長年にわたり研究が行われてきた。

しかし、高炭酸ガス吸入をスポーツ科学の分野に応用して、新たなトレーニング法を確立した、という報告はこれまでに例はないと思われる。

従って、本研究は国内外においてこれまでに無い新規性・独創性を示したものであると考えられる。

今後の展望としては、高炭酸ガス吸入トレーニングの更なる検証とともに、運動トレーニングと高炭酸ガス吸入トレーニングを融合させた斬新なトレーニングの生理学的効果を検証し、スポーツ科学の発展の一助としたい。

本研究が、今後、スポーツ科学分野の一つの話題となっていくことを期待する。同時に本研究に対し、科学研究費を補助して頂いたことに感謝する。

## 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)

[雑誌論文] (計3件)

① 加藤貴英, 山下直之, 松本孝朗, 間欠的高炭酸ガス吸入が持久性アスリートの換気応答に及ぼす影響, 日本体育学会第61回大会予稿集, 査読無, 2010年, pp136.

② Takahide Kato, Yoshiaki Sakata, Yu Sugiura

Noriyuki Yamashita, Atsuko Tsukanaka, Takaaki Matsumoto, Effect of intermittent hypercapnic gas inhalation on ventilatory response in triathletes, Book of Abstracts 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, 査読無, 2009, pp357-358.

- ③ Takahide Kato, Takaaki Matsumoto, Atsuko Tsukanaka, Masataka Nakano, Ryo Ito, Masato Amano, Nobuo Matsui, Difference in physiological responses to incremental exercise between hypercapnic and hypoxic condition, Book of Abstracts 13th Annual Congress of the European College of Sport Science, 査読無, 2008, pp414.

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① 加藤貴英, 間欠的高炭酸ガス吸入が持久性アスリートの換気応答に及ぼす影響, 日本体育学会第 6 1 回大会, 2010年9月9日, 中京大学豊田キャンパス.
- ② Takahide Kato, Effect of intermittent hypercapnic gas inhalation on ventilatory response in triathletes, 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, June 26 2009, Oslo, Norway.
- ③ Takahide Kato, Difference in physiological responses to incremental exercise between hypercapnic and hypoxic condition, 13th Annual Congress of the European College of Sport Science, July 11 2008, Estoril, Portugal.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加藤 貴英 (KATO TAKAHIDE)

豊田工業高等専門学校・一般学科・准教授

研究者番号：00387614