

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350759

研究課題名(和文)低酸素(高地)トレーニングの効果を高める至適条件に関する研究

研究課題名(英文)Research on the optimal conditions to enhance the effect of hypoxic training

研究代表者

杉田 正明(SUGITA, MASAOKI)

三重大学・教育学部・教授

研究者番号：60235885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は低酸素(高地)トレーニングの効果を高める至適条件を検討するために運動時の酸素飽和度に着目して幾つかのトレーニング実験を行った。高度や運動強度に関わらず運動中の酸素飽和度を90%以下になるように負荷強度を設定し、1回30分間、一定期間(週2回、4週間)の自転車駆動トレーニング実施によって、有意な持久能力の向上が認められた。したがって低酸素環境における持久能力のトレーニング効果を高める条件としては酸素飽和度が90%以下の水準になるような負荷強度を選択することが重要であるといえよう。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted a series of training experiments focusing on the oxygen saturation during exercise in order to examine the optimal conditions to enhance the effect of hypoxic (high altitude) training. The oxygen saturation to set the load to be 90% or less, once for 30 minutes, a period of time (twice a week, four weeks) by bicycle driving training implementation of, significant during exercise, regardless of the altitude and exercise intensity improvement of endurance capacity was observed. These results be said that as a condition to enhance the training effect of endurance capacity in hypoxic environments it is important to select the load intensity such as oxygen saturation is the level of 90% or less.

研究分野：運動生理学

キーワード：酸素飽和度、常圧低酸素環境、持久的トレーニング、最大酸素摂取量、運動強度、自転車駆動トレーニング、酸素濃度、運動継続時間

### 1. 研究開始当初の背景

低酸素(高地)トレーニングは、世界中の競技者が競技力を高めるために実施している中で、効果が得られる者とそうでない場合があるといった報告も見受けられ、chapsonら(1998)はエリスロポエチン(EPO)の増加率によってその効果の有無を判別している。しかし、これまでに報告されている研究論文のほとんどが低酸素環境や高地環境を酸素濃度(%)か標高(m)で環境条件を一律に規定しており、低酸素刺激に対する研究対象者の反応に応じて条件設定した研究は見当たらない。

我が国のスポーツ界におけるガイドラインでは、標高1800-2200m程度が高地トレーニングを行う標高としては良いとされているが、同じ標高でトレーニングをしても生体が受ける低酸素の刺激は選手によって個人差があり異なることから、生体が受ける低酸素刺激の強弱(過不足)によって、例えば先述したEPOの分泌応答やその他の生理的応答にも影響を及ぼしている可能性が十分に考えられる。

### 2. 研究の目的

これまで行ってきた研究や選手を対象にした取り組みの中で、同じ低酸素環境での運動、同じ濃度の低酸素を吸入しているにもかかわらず、対象者の様々な反応には個人差があり、しかも酸素濃度が低くなるにつれて大きくなるのが分かった。このことは、同一の低酸素環境+運動強度であっても各人が受ける低酸素刺激が一樣でないためにトレーニング効果も同様でない可能性が推察される。したがって、低酸素トレーニングや高地トレーニングを行う際のリスクを減らし、その効果を十分に引き出すために、環境負荷(標高、酸素濃度)を規定、調整するのではなく、例えば酸素飽和度のような生体が受ける低酸素刺激の反応の大きさや個人差に着目して、トレーニングの条件を設定し、トレーニング効果の最大化を図る必要があると考えられる。

このような考え方に基づいて、低酸素トレーニング(高地トレーニング)をより安全に、そしてより高い効果が得られる方法を検討することは十分な必要性と意義があるものと考えられる。そこで、3つの実験を通して低酸素環境における最適なトレーニングの負荷条件を究明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

【実験1】多段階式の連続運動を行った際の生理的指標(酸素飽和度等)の変化から、運動負荷(強度)と生理的指標の相互関係について明らかにし、酸素飽和度85%とした時の(理論的に)求めた運動強度での運動を3つの低酸素環境下で行った際の生理的な応答を測定し、この方法で求める運動強度の妥当性を検証することを目的とした。

対象者は健常な男子学生10名とし、事前に実験趣旨を十分に説明し、承諾を得たうえで実験を行った。対象者の身体的特性の平均値(±標準偏差)は年齢20.9(±1.5)歳、身長172.5(±5.0)cm、体重66.3(±7.5)kg、体脂肪率14.8(±1.9)%であった。

実験は、アルティキューブ(ワイ・ケー・エス社製)を用いて常压低酸素環境下(17.4%:標高1500m、15.4%:標高2500m、14.0%:標高3200m相当の酸素濃度)の3条件および常酸素環境下で自転車エルゴメーター(COMBI社製AEROBIKE75XL)を用いた多段階負荷試験を行った。測定プロトコルは最初の1分間を30Wとし、1分ごとに30Wずつ被験者が疲労困憊になるまで漸増し、呼気ガス分析器(MINATO社製AE-310S)を用いて換気量(VE)、酸素摂取量(V<sub>O2</sub>)、二酸化炭素排出量(V<sub>CO2</sub>)等を測定した。その際、動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)、心拍数(HR)、主観的運動強度(RPE)を測定した。

【実験2】SpO<sub>2</sub>を基準とした低酸素トレーニングに着目し、SpO<sub>2</sub>をトレーニングの目安(設定強度)とし、異なる二つの設定による低酸素トレーニングの効果について検討する。対象者は健常な男性16名とし、年齢21.5(±3.7)歳、身長173.0(±6.7)cm、体重63.8(±6.2)kg、体脂肪率7.5(±1.5)%であった。

常压低酸素環境下(15.4%:標高2500m相当の酸素濃度)において、自転車エルゴメーターを用いた30分間の自転車駆動トレーニングを、週2回の頻度で4週間行った。トレーニング前後には、常酸素環境下と低酸素環境下において多段階負荷試験を行い、SpO<sub>2</sub>、HR、RPEをはじめ、VE、V<sub>O2</sub>、V<sub>CO2</sub>、V<sub>O2max</sub>等を測定した。トレーニングにおける運動負荷は、多段階負荷試験において、SpO<sub>2</sub>が90%に達した負荷、85%に達した負荷を求め、8名ずつ2群に分けて設定し両群での効果を検討した。

【実験3】異なる酸素濃度環境下において、それぞれ同一のSpO<sub>2</sub>をトレーニング時の目安(設定強度)として低酸素トレーニングを行い、低酸素トレーニングの効果に及ぼす影響について究明する。

対象者は健常な男子学生16名とし、年齢20.6(±1.2)歳、身長172.4(±6.3)cm、体重67.8(±7.2)kg、体脂肪率14.9(±8.2)%であった。

対象者を酸素濃度15.4%環境下(標高2500m相当)でトレーニングを行う群(15.4%群、以下略)と、酸素濃度13.6%(標高3500m相当)でトレーニングを行う群(13.6%群、以下略)に分類し、自転車エルゴメーターを用いた30分間の自転車駆動トレーニングを、週2回の頻度で4週間行った。トレーニングの前後には、常酸素環境下と2条件の低酸素環境下において多段階負荷試験を行い、SpO<sub>2</sub>、HR、RPEをはじめ、VE、V<sub>O2</sub>、V<sub>CO2</sub>、V<sub>O2max</sub>

等を測定した。なお、トレーニングにおける運動負荷の決定は、2条件の低酸素環境下における多段階負荷試験から、SpO<sub>2</sub>がそれぞれ88%となる負荷を算出し、±2%以内の範囲を上限にトレーニングを行った。なお、2群の分類は最大酸素摂取量及び身体的特性などの要素から総合的に判断した。

#### 4. 研究成果

##### 【実験1】

多段階負荷試験の運動継続時間の平均値は、常酸素、標高1500m、2500m、3200m相当の低酸素環境下4条件の順に582(±54)秒、570(±48)秒、552(±54)秒、534(±)秒であり、標高3200m相当の環境下の方が常酸素環境下よりも有意(p<0.01)に短い値を示した。最大酸素摂取量(VO<sub>2</sub>max)及びオールアウト時のSpO<sub>2</sub>の平均値は常酸素>1500m>2500m>3200m相当の低酸素環境下の順で大きく、4条件間でそれぞれ有意(p<0.001)な差が認められた。SpO<sub>2</sub>は低酸素環境で運動するにあたり、高度間で固有の反応を示す指標であるが、高度の上昇に伴い個人差が大きいことがうかがえた。

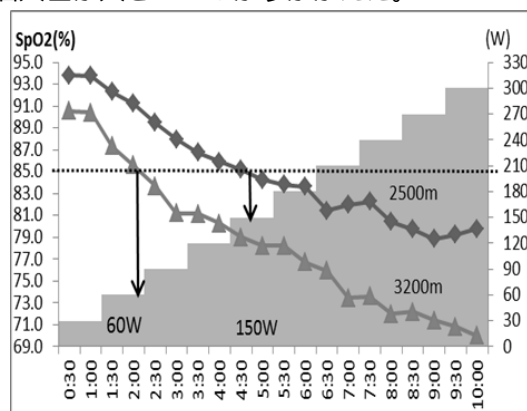


図1. 各低酸素環境下におけるSpO<sub>2</sub>の推移  
多段階負荷試験の結果をもとに対象者の標高2500m、3200m相当の低酸素環境下2条件におけるSpO<sub>2</sub>の値が85%に達する運動負荷(watt)を求め(図1)上限30分とし、自転車駆動を行わせたところ、両条件ともに

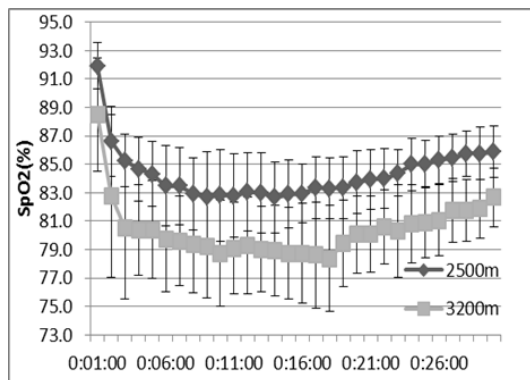


図2. トレーニング中30分間のSpO<sub>2</sub>の推移  
10名中8名がSpO<sub>2</sub>を85%~75%に保ちトレーニングを遂行することができた(図2)が、2名は途中で中止した。

これらのトレーニング中における%VO<sub>2</sub>maxの平均値は、標高3200m相当の低酸素環境下の値(43.1%)の方が標高2500m相当の値(74.5%)よりも有意(p<0.001)に低い値を示した。

以上の結果から、本研究で用いたSpO<sub>2</sub>を基にしたトレーニング負荷の設定方法の妥当性が認められたといえる。

##### 【実験2】

##### (1) 30分間の自転車駆動トレーニング

30分間の自転車駆動トレーニング中のSpO<sub>2</sub>の平均値は、90%群は89.5(±0.08)%、85%群は85.7(±0.13)%であり、両群ともに設定したSpO<sub>2</sub>に近い値を保ちながら8回のトレーニングを遂行することができた。

##### (2) 両群のトレーニング効果

両群におけるトレーニング効果を比較、検討した。多段階負荷試験における運動継続時間では、90%群のトレーニング前の平均値は、常酸素環境下、低酸素環境下の順に526(±31)秒、512(±33)秒であり、トレーニング後は574(±49)秒、532(±35)秒であった。トレーニング前後での変化率は順に8.9(±4.7)%、3.8(±2.2)%であった。85%群では、トレーニング前の平均値は順に601(±61)秒、537(±60)秒であり、トレーニング後は63(±64)秒、571(±61)秒であった。トレーニング前後での変化率は順に4.7(±4.4)%、6.6(±4.6)%であった。両群ともに、各条件でトレーニング後の方がトレーニング前よりも有意に高い値(p<0.05~0.01)を示したが、両群の変化率の間に有意な差は認められなかった。

VO<sub>2</sub>maxについて、90%群のトレーニング前の平均値は、常酸素環境下、低酸素環境下の順に45.2(±4.1)ml/kg/min、42.8(±3.6)ml/kg/minであり、トレーニング後は45.4(±2.4)ml/kg/min、44.8(±2.8)ml/kg/minであった。常酸素環境下では有意な差は認められず、低酸素環境下ではトレーニング後の方がトレーニング前よりも有意に高い値(p<0.05)を示した。85%群では、トレーニング前の平均値は順に52.7(±2.7)ml/kg/min、48.0(±3.2)ml/kg/minであり、トレーニング後は52.9(±2.4)ml/kg/min、48.4(±3.7)ml/kg/minであった。また、トレーニング前後で有意な差は認められなかった。これらは、トレーニング前の初期値に両群間で差があったことが、トレーニング効果に影響を及ぼしたものと推察される。

VTに達した運動時間について、90%群のトレーニング前の平均値は、常酸素環境下、低酸素環境下の順に286(±41)秒、243(±16)秒であり、トレーニング後は310(±44)秒、281(±26)秒であった。トレーニング前後での変化率は順に8.4(±5.0)%、16.0(±12.0)%であった。85%群では、トレーニング前の平均値は順に361(±75)秒、297(±44)秒であり、トレーニング後は390(±44)秒、

323 (±26) 秒であった。トレーニング前後での変化率は順に 8.1 (±15.7) %、8.7 (±8.9) %であった。両群ともに、各条件でトレーニング後の方がトレーニング前よりも有意に高い値 ( $p<0.01$ ) を示したが、両群の変化率の間に有意な差は認められなかった。

### (3)まとめ

以上の結果から、30 分間の自転車駆動を週 2 回、4 週間という短時間かつ短期間の低酸素トレーニングでも、持続的能力の改善といったトレーニング効果が顕著に現れることが明らかとなった。これらの効果は 90%群と 85%群のトレーニング時の負荷や生理的運動強度に両群で差がなかったことから、トレーニング効果に差が認められなかったとも考えられるが、低酸素環境下における生理応答への個人差により生じた影響も推測される。

## 【実験 3】

### (1) 30 分間の自転車駆動トレーニング

8 回のトレーニングの SpO<sub>2</sub> の平均値は 15.4% (標高 2500m 相当) 群で 88.5 (±0.7) % であり、13.6% (標高 3500m 相当) 群で 86.5 (±0.9) % であった。両群の SpO<sub>2</sub> には差が見られたものの、目標の範囲内でトレーニングを遂行することができた。8 回のトレーニングの運動負荷の平均値は 2500m 群で 115.1 (±25.9) W、3500m 群で 49.5 (±31.3) W であり、有意な差 ( $p<0.001$ ) が認められた。

### (2) 両群のトレーニング効果

常酸素環境下での多段階負荷試験におけるオールアウトまでの運動継続時間の平均値は、トレーニング前、トレーニング後の順に 2500m 群では 620 (±59) 秒、657 (±58) 秒であり、3500m 群では 641 (±63) 秒、682 (±64) 秒であった。両群ともに運動時間に有意な増加 ( $p<0.01$ ) が認められた。

V<sub>O2</sub>max の平均値では、トレーニング前、トレーニング後の順に 2500m 群では 49.8 (±3.9) ml/kg/min、50.6 (±4.2) ml/kg/min であり、3500m 群では 46.8 (±6.04) ml/kg/min、48.8 (±5.7) ml/kg/min であった。なお、3500m 群の V<sub>O2</sub>max のみ有意な増加 ( $p<0.01$ ) が認められた (図 3)。

運動継続時間におけるトレーニング前に対するトレーニング後の変化率は 2500m 群で 6.1 (±3.7) % であり、3500m 群で 6.5 (±4.2) % であった。同様に V<sub>O2</sub>max の変化率は 2500m

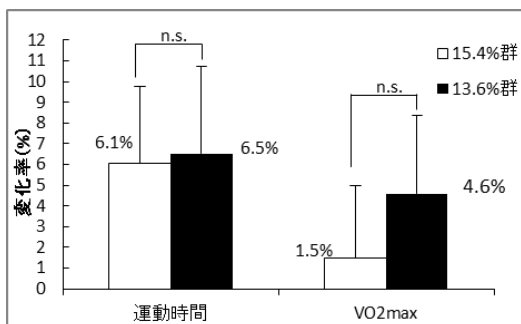


図 3 両群の運動時間および V<sub>O2</sub>max の変化

群で 1.5 (±3.5) % であり、3500m 群で 4.6 (±3.8) % であった。両群の運動時間と V<sub>O2</sub>max の変化率には有意な差は認められなかった。このことから、両群のトレーニング効果はほぼ同等であったと言える。

### (3)まとめ

以上の結果から、標高 2500m と 3500m 相当の異なる低酸素環境下で、同一水準の SpO<sub>2</sub> をトレーニング時の設定運動強度としてトレーニングを実施すると、両群ともに持続的な運動能力の向上を認めることができた。しかも両群の運動負荷の平均値には 65.6W の差があるにも関わらず同等のトレーニング効果を得られたことが明らかとなった。

## 【3つのトレーニング実験からのまとめ】

本研究は低酸素 (高地) トレーニングの効果をもつる至適条件を検討するために運動時の酸素飽和度に着目して幾つかのトレーニング実験を行った。

高度や運動強度に関わらず運動中の酸素飽和度を 90% 以下になるように負荷強度を設定し、1 回 30 分間、一定期間 (週 2 回、4 週間) の自転車駆動トレーニング実施によって持久能力の有意な向上が認められた。したがって低酸素環境における持久能力のトレーニング効果を高める条件としては酸素飽和度が 90% 以下の水準になるような負荷強度を選択することが重要であると考えられる。

### < 引用文献 >

Robert F. Chapman ら: Individual variation in response to altitude training. J Appl Physiol. 85(4):1448-1456(1998)

## 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 1 件)

杉田正明・西村明展・小林寛道: 短距離選手を対象とした Living Low Training High(LLTH)法における短時間・高強度トレーニングの効果. 陸上競技研究、査読有、100(1): 15-25 (2015)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6．研究組織  
(1)研究代表者  
杉田正明（SUGITA, Masaaki）  
三重大学・教育学部・教授  
研究者番号：60235885