様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５ 年　 ６ 月 １５ 日現在

機関番号：３２６３６
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2017～2022
課題番号：１７Ｋ０１６８５

研究課題名（和文）簡易型低酸素システムを用いた効果的トレーニング法の確立

研究課題名（英文）Establishment of effective training methods using a simplified hypoxic system

研究代表者
本間　俊行（Homma, Toshiyuki）

大東文化大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：９０３９２７０３

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、移動可能な小型の低酸素ガス発生装置と小部屋型テントを用いて効果的なトレーニング法を確立することを目的として検証を行った。
常酸素環境と低酸素環境において高強度・短時間の運動トレーニングを行った結果、トレーニング後に運動パフォーマンスの向上がみられ、運動時の血中乳酸濃度の低下幅は常酸素環境でトレーニングを行った群よりも低酸素環境でトレーニングを行った群の方が大きかった（$p<0.05$）。
以上のことから、低酸素環境下での高強度・短時間の運動トレーニングの有効性が確認され、エネルギー供給能とともに、競技パフォーマンスの向上に効果的な低酸素トレーニング法を確立することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
従来から、低酸素環境でトレーニングを行う際は、常酸素環境でそれを行う場合と比較して生理的な負荷が増加するため、トレーニングの絶対強度が低下することが懸念されてきた。
本研究では、低酸素環境においても常酸素環境と同様の絶対強度で実施可能な高強度・短時間の運動トレーニングを行わせ、その効果を検証した。
本研究の結果から、低酸素環境での高強度・短時間の運動トレーニングによるエネルギー供給能および運動パフォーマンス向上への有効性が示され、短距離離種目および長距離離種目の競技力向上に効果的な低酸素トレーニング法を確立することができた。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to validate the use of a mobile hypoxic gas generator and a small room-type tent to establish an effective training method.
The results of high-intensity, short-duration exercise training in normoxic and hypoxic environments showed that exercise performance was improved after the training period, and the range of decrease in blood lactate concentration during exercise was greater in the group that trained in a hypoxic environment than the group that trained in a normoxic environment ($p<0.05$).
As a result, the effectiveness of high-intensity, short-duration exercise training in a hypoxic environment was confirmed, and a hypoxic training method effective for improving competitive performance as well as energy supply capacity in short-distance events was established.

研究分野：運動生理学

キーワード：低酸素トレーニング　有酸素性エネルギー供給　無酸素性エネルギー供給　血中乳酸濃度　自転車エルゴメータ　短距離離種目　長距離離種目

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

従来から高地トレーニングは、高度な有酸素性能力を必要とする持久的競技種目の選手が、低酸素環境に滞在（宿泊）することによって得られる血液性状の変化といった受動的な効果を期待されてきたため、Living High-Training High あるいは、Living High-Training Low で実施されること が多かった。しかしながら、常酸素環境で生活し、トレーニングのみ低酸素環境で実施する Living Low-Training High の効果については十分に明らかにされていない。

有酸素性作業能力を決定する要因として、持久能の低い者では骨格筋の有酸素性代謝能力が制限因子となるのに対して、高度に持久的に鍛錬された競技選手においては肺の機能が制限因子になるといわれている（Dempsey 1986）。したがって、高度に鍛錬された陸上競技長距離選手が仮に故障で走トレーニングが十分に行えないような場合においても、低酸素環境で自転車エルゴメータを用いた高強度のトレーニングを行うことで、下肢の故障箇所への負担を軽減して、運動中に心臓に高い負荷を与えると同時に、高い換気量を引き出し、呼吸筋に大きな刺激を与えることも可能になる。

日本には、標高 2000m 以上の高地トレーニングに適した環境が乏しく、一流競技者は海外を高地トレーニングの拠点とすることも多い。そのため、高地トレーニングには、遠征費用、高地滞 在による体調悪化の可能性、食環境の変化、高地馴化に要する日数などの制限因子や懸念材料もある。これに対して、持ち運び可能な低酸素ガス発生装置と低酸素テントを用いれば比較的安価で任意の場所に簡易的に低酸素環境をつくることができ、日常の生活環境を変えずに低酸素トレーニングを実施することが可能になる。低酸素環境での運動時には、上述のような常酸素環境とは異なる生理的刺激を与えることが可能になるため、トレーニングのみ低酸素環境で実施することも競技パフォーマンス向上のために有効な手段となることが考えられる。

２．研究の目的

費用を比較的低く抑えられ、生活環境の変化も伴わずに低酸素トレーニングを行える低酸素テントシステムを用いて、常酸素環境で通常通りの生活を送り、トレーニングのみ低酸素環境で行うことで競技パフォーマンス向上のための効果的な低酸素トレーニング法を考案し、その効果を検証することを目的とした。

３．研究の方法

被験者は、大学生男子陸上競技長距離選手および短距離選手のべ 29 名であった（年齢 18～22 歳）。

コントロールテストとして、長距離選手を対象に陸上競技場 400m トラックにおいて 800m 走を 6 分サイクルで 5 回実施した。800m 走の速度設定は次の通りであった。1 回目：10000 自己最高記録（PB）＋300 秒相当平均速度、2 回目：10000mPB＋200 秒相当平均速度、3 回目：10000mPB ＋100 秒相当平均速度、4 回目：10000mPB 平均速度、5 回目：10000mPB－100 秒相当平均速度。それぞれの設定速度での走行直後に血中乳酸濃度を測定した。

トレーニング実験として、自転車エルゴメータ（Wattbike Pro）を用いた約 50 秒間で終了するトレーニングを 1 日あたり 1 セット、週 2 回、5 週間行わせた。被験者を常酸素環境でトレーニングを行う群（N 群）、低酸素環境でトレーニングを行う群（H 群）、実験でのトレーニングを行わない群（C 群）に分けた。本トレーニングでの運動は、常酸素環境と低酸素環境でパフォーマンスに違いがないことを事前に確認した。被験者は実験でのトレーニング以外は、生活環境を変えず、陸上競技部の通常のトレーニングを継続した。

４．研究成果

コントロールテストにおいて実施した 800m の多段階速度走によって求められた血中乳酸濃度 4.0mmol/L 相当速度は、10000mPB 平均速度とほぼ一致し（それぞれ、333.7±11.6m/分、333.2 ±12.2m/分、n.s.）、両者の間には有意な相関がみられた（$r=0.953$、$p<0.001$）。このことから、800m の多段階速度走によって血中乳酸濃度 4.0mmol/L 相当速度を求めることは、選手にとって比較的小さい負担で 10000m の競技能力を高い精度で推定できることが示された。

トレーニング実験では、トレーニング後において、自転車エルゴメータを用いたタイムトライアルでは N 群、H 群ともに記録が有意に短縮し（いずれも $p<0.05$）、運動パフォーマンスの向上

がみられた。これらに対して C 群の記録には変化がみられなかった。また、運動時の血中乳酸濃度は N 群、H 群ともにトレーニング後に有意に低下したが（いずれも $p<0.05$）、その低下幅の大きさは H 群では N 群よりも大きかった（$p<0.05$）。以上のことから、本研究で実施した高強度・短時間の運動トレーニングは、低酸素環境においても常酸素環境と同じ絶対強度で実施可能であり、本トレーニングを低酸素環境で実施することは、常酸素環境で実施するよりもエネルギー供給能に対する効果が高く、運動パフォーマンスの向上に有効な方法であることが示唆された。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計8件（うち査読付論文　7件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　4件）

1．著者名	4．巻
Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y.	35
2．論文標題	5．発行年
Responses of Angiogenic Regulators to Resistance Exercise Under Systemic Hypoxia	2021年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
J Strength Cond Res	436-441
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1519/JSC.0000000000002695	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	－

1．著者名	4．巻
Nirengi S, Fuse S, Amagasa S, Homma T, Kime R, Kuroiwa M, Endo T, Sakane N, Matsushita M, Saito M, Kurosawa Y, Hamaoka T.	20
2．論文標題	5．発行年
Applicability of Supraclavicular Oxygenated and Total Hemoglobin Evaluated by Near-Infrared Time-Resolved Spectroscopy as Indicators of Brown Adipose Tissue Density in Humans	2019年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Int J Mol Sci	-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.3390/ijms20092214	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名	4．巻
Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y	33
2．論文標題	5．発行年
Responses of angiogenic regulators to resistance exercise under systemic hypoxia	2018年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
J Strength Cond Res	-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1519/JSC.0000000000002695	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	－

1．著者名	4．巻
Nirengi S, Sakane N, Amagasa S, Wakui S, Homma T, Kurosawa Y, Hamaoka T	37
2．論文標題	5．発行年
Seasonal differences in brown adipose tissue density and pulse rate variability in a thermoneutral environment	2018年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
J Physiol Anthropol	-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1186/s40101-018-0166-x	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名 Fuse S, Nirengi S, Amagasa S, Homma T, Kime R, Endo T, Sakane N, Matsushita M, Saito M; Yoneshiro T, Kurosawa Y, Hamaoka T	4．巻 23 (6)
2．論文標題 Brown adipose tissue density measured by near-infrared time-resolved spectroscopy in Japanese, across a wide age range	5．発行年 2018年
3．雑誌名 J Biomed Opt	6．最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JBO.23.6.065002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Miyamoto-Mikami E, Tsuji K, Horii N, Hasegawa N, Fujie S, Homma T, Uchida M, Hamaoka T, Kanehisa H, Tabata I, Iemitsu M	4．巻 8
2．論文標題 Gene expression profile of muscle adaptation to high-intensity intermittent exercise training in young men	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Sci Rep	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-35115-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

1．著者名 Nirengi S, Sakane N, Amagasa S, Wakui S, Homma T, Kurosawa Y, Hamaoka T	4．巻 37:6
2．論文標題 Seasonal differences in brown adipose tissue density and pulse rate variability in a thermoneutral environment	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40101-018-0166-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

1．著者名 本間俊行	4．巻 2
2．論文標題 大学生の水泳授業における指導内容とその効果	5．発行年 2017年
3．雑誌名 大東文化大学教職課程センター紀要	6．最初と最後の頁 307-315
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計8件（うち招待講演　0件／うち国際学会　2件）

1．発表者名
松岡晃輝，道明珠生，本間俊行

2．発表標題
運動時のマスク着用が生理応答に及ぼす影響

3．学会等名
第24回日本健康支援学会年次学術大会

4．発表年
2023年

1．発表者名
本間俊行，只隈健太，馬場周太，只隈伸也

2．発表標題
800mの多段階速度走による10000m競技パフォーマンスの推定

3．学会等名
第33回ランニング学会大会

4．発表年
2021年

1．発表者名
原 英喜，本間 俊行，森山 進一郎，金沢 翔一

2．発表標題
平泳ぎの息継ぎに関する大学生の自覚と実際の水泳中における呼息の異同

3．学会等名
日本体育学会第70回大会

4．発表年
2019年

1．発表者名
Hamaoka T, Nirengi S, Sayuri Fuse S, Amagasa S, Homma T, Kime R, Kuroiwa M, Endo T, Sakane N, Matsushita M, Saito M, Yoneshiro T, Kurosawa Y

2．発表標題
Supraclavicular tissue total hemoglobin determined by near-infrared time-resolved spectroscopy as indicators of brown adipose tissue characteristics in humans

3．学会等名
International Symposium Role of Brown Adipose Tissue in Human Health（国際学会）

4．発表年
2018年

１．発表者名
Hara H, Homma T, Wada T, Saitou T, Tamari Y, Yoshida N, Hamada H, Yoshioka A, Onodera S

２．発表標題
Physiological analysis of the airway change of exhalation while swimming

３．学会等名
The XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
青山航大，本間俊行，青木義彰，宮城修

２．発表標題
大学生女子スケート選手における準備期のトレーニングが 身体組成と呼吸循環機能に与える影響

３．学会等名
第31回日本トレーニング科学会大会

４．発表年
2018年

１．発表者名
二連木晋輔，坂根直樹，天笠志保，本間俊行，布施沙由理，黒澤裕子，浜岡隆文

２．発表標題
寒冷誘導熱産生とヒト褐色脂肪組織および交感神経性超低周波領域成分（VLF）との関連

３．学会等名
第38回日本肥満学会

４．発表年
2017年

１．発表者名
布施沙由理，二連木晋輔，天笠志保，本間俊行，木目良太郎，遠藤祐輝，坂根直樹，松下真美，斉藤昌之，米代武司，黒澤裕子，浜岡隆文

２．発表標題
幅広い年代における近赤外時間分解分光法によって評価した褐色脂肪組織密度

３．学会等名
第171回日本体力医学会関東地方会

４．発表年
2018年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	只隈　伸也 (Tadakuma Shinya) (30407655)	大東文化大学・スポーツ健康科学部・教授 (32636)	
研究分担者	琉子　友男 (Ryushi Tomoo) (70111440)	大東文化大学・スポーツ健康科学部・教授 (32636)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関