

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月21日現在

機関番号：82632

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07403

研究課題名（和文）筋電周波数を用いた間欠的低酸素トレーニングの効果の機序とその持続性の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of the effect of intermittent hypoxic training using electromyogram frequency component and its persistence

研究代表者

丹治 史弥（TANJI, FUMIYA）

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・スポーツ研究部・契約研究員

研究者番号：00804957

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、専門的にトレーニングを行なっている長距離ランナーを対象に、低酸素環境におけるトレーニングを実施させ、走パフォーマンス、ランニングエコノミー、および筋電周波数の変化を明らかにした。さらにその変化をトレーニング終了4週間まで追跡することで効果の持続性を検証した。その結果、5日間の低酸素トレーニングによって、トレーニング1週間後に走パフォーマンスの向上およびランニングエコノミーの改善が認められ、さらに腓腹筋の筋電周波数が有意に低下していた。しかし、トレーニング終了4週間後ではそれらの変化はトレーニング前の水準へと戻っていることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

短期間の低酸素トレーニングによって、走パフォーマンスの向上、ランニングエコノミーの改善および運動中の腓腹筋における表面筋電図平均周波数の低下が認められた。本研究は、短期間の低酸素トレーニングによってランニングエコノミーの改善を認めた最初の報告である。それと同時に、その機序として、運動中の腓腹筋の平均周波数の変化が影響している可能性を示した報告となった。低酸素トレーニングの効果は1週間後に認められ、4週間後に消失することが明らかとなった。したがって、重要な大会2週間前から短期間の低酸素トレーニングを実施すると、低酸素トレーニングの効果が最大となるタイミングで試合に臨むことができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study elucidated changes in running performance, running economy and electromyogram frequency component by intermittent hypoxic training for well-trained distance runners. Furthermore, this study verified the persistence of its effect by conducting a follow-up survey until 4 weeks after the training.

The results showed that enhancement in running performance, improvement in running economy and reducing in electromyogram frequency component of gastrocnemius muscle were observed after one week of five-day hypoxic training. However, these changes were returned to the level before training after 4 weeks of training.

研究分野：運動生理学

キーワード：低酸素環境 トレーニング 筋電活動 パフォーマンス ランニングエコノミー 筋電周波数 走パフォーマンス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

低酸素環境を用いたトレーニングによって様々な競技種目におけるパフォーマンスへの効果が認められている。しかし、長距離走パフォーマンスへの効果、またその効果の機序については不明瞭なままである。専門的にトレーニングを行なっている中長距離ランナーの走パフォーマンスは、最大酸素摂取量 (VO_{2max}) に比べてランニングエコノミー (RE) の改善によって向上しやすいことが報告されている。そのため、低酸素環境トレーニングによって走パフォーマンスが向上したとき、RE が改善される可能性がある。

絶対的な運動強度を統一した時、低酸素環境における自転車運動中の外側広筋は、常酸素環境と比べて、表面筋電図の振幅 (RMS) が同等である一方、平均周波数 (MPF) が増大すると報告されている (大沼ほか, 2017; 体力医学会)。しかし、低酸素トレーニングによってそれらの変化がどのように生じるのかは明らかとなっていない。

加えて、低酸素環境トレーニングによる効果が持続される期間についての知見は得られていない。これらの情報は、選手やコーチのトレーニング計画の設定に大きな役割を持つと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は専門的にトレーニングを行なっている長距離ランナーを対象に、5 日間の低酸素または常酸素環境においてトレーニングを実施させ、走パフォーマンス、 VO_{2max} 、RE、RMS および MPF の変化を比較することで、低酸素トレーニングの効果の機序を検討することであった。さらにその変化をトレーニング終了 4 週間まで追跡することで効果の持続性を検証した。

3. 研究の方法

(1) 被験者

専門的にトレーニングを行なっている長距離ランナー 15 名 (年齢, 18.9 ± 0.7 yr; 身長, 169.9 ± 4.5 cm; 体重, 56.1 ± 3.9 kg; 5,000m シーズン最高記録, $15'09''4 \pm 13''9$) が本研究に参加した。被験者の 5,000m シーズン最高記録が同等になるように低酸素環境 (FiO_2 , 14.5%) でトレーニングをするランナー群 (Hypo 群; $n=7$; 5,000m シーズン最高記録, $15'08''1 \pm 15''4$) と常酸素環境 (FiO_2 , 20.9%) でトレーニングをするランナー群 (Norm 群; $n=8$; 5,000m シーズン最高記録, $15'10''8 \pm 13''4$) の 2 群に分けた。なお、本研究はシングルブラインドによって実施した。

被験者には事前に実験を実施するにあたっての趣旨、内容および危険性を説明し、参加の同意を得た。なお、本研究は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倫理審査委員会の承認を得て実施した。

(2) 実験デザイン

トレーニング前後の生理学的能力、走行中の MPF および走パフォーマンスを評価するために、Day1 (pre)、Day9 (post 0wk)、Day15 または Day16 (post 1wk)、Day36 または Day37 (post 4wk) の午前に多段階漸増負荷走行テスト、午後に間欠的 60 秒間走行テストおよび持続走行テストを実施した。

トレーニングは Day2 から Day6 までの 5 日間連続で実施し、Oriishi et al. (2018; JSCR) を参考に午前にスプリント系のトレーニング、午後に持久系のトレーニングを行なった。なお、被験者は低酸素環境または常酸素環境に制御された部屋に入室後、午前は 10 分間、午後には 20 分間の環境暴露を行い、トレーニング終了後はいずれにおいても 20 分間の暴露を行なった。

Day7 および Day8 はトレーニングを実施せず、完全休息をした。また、Day10 から Day14 または Day15 までは運動強度の低いランニングや自転車運動を行なった。その後 Day36 または Day37 までは専門的なトレーニングを実施した。

(3) 測定項目および測定方法

有酸素性エネルギー代謝能力

VO_{2max} および RE を評価するために、被験者は傾斜 1% に設定されたトレッドミル (BM-1210, S&ME Co., Ltd.) 上で多段階漸増負荷走行テストを実施した。被験者は各ステージ 3 分間の走行と 1 分の休息を繰り返し、bLa が 4 mmol/l を越えるまで走行した。第 1 ステージの走スピードは 230 m/min で、1 ステージごとに 20 m/min スピードを漸増した。bLa が 4 mmol/l を越えた後、被験者は 3 分間の休息を取り、続いて bLa が 4 mmol/l を越えたステージの一つ前のステージの走スピードから 1 分ごとに 10 m/min 走スピードを漸増させながら、疲労困憊まで走行した。

走行中の酸素摂取量 (VO_2)、呼吸交換比 (RER) を評価するために、自動呼気ガス分析器 (AE310-S, Minato Co., Ltd.) の EXP モードを用いて走行中連続的に分析した。テストの前後に校正ガスおよび流量校正器を用いて校正を行なった。

テスト開始前、各ステージ走行直後および疲労困憊 1 分、3 分および 5 分後の血中乳酸濃度 (bLa) を測定するために、検者が被験者の指先から血液を採取し、血中乳酸濃度分析器 (Lactate Pro 2, Arklay Inc.) によって分析をした。

多段階漸増負荷走行テストにおいて連続する 1 分間の VO_2 の最高値を VO_{2max} として採用した。 VO_{2max} 時の走スピード (sVO_{2max}) を多段階漸増負荷走行テストにおける各走スピードの VO_2 に

よって、 $\dot{V}O_2$ -走スピード回帰直線を求め、 $\dot{V}O_{2max}$ を外挿することで算出した。この時、各走スピードの $\dot{V}O_2$ は各ステージ走行終了前 1 分間の $\dot{V}O_2$ とした。RE は 230 m/min 走行時における $\dot{V}O_2$ および RER および bLa によって、Tanji et al. (2017) の方法を用いて、1 km 走行あたりのコスト (kcal/kg/km) として算出した。

表面筋電図

走行中の RMS および MPF を測定するために 230m/min において 60 秒間走行する、間欠的 60 秒間走行テストを傾斜 1%に設定されたトレッドミル (BM-1210, S&M Co., Ltd.) 上で実施した。なお、post4wk においては走行のみを実施し、筋電図は測定しなかった。

右脚の外側広筋 (VL)、大腿二頭筋 (BF)、前脛骨筋 (TA) および腓腹筋 (MG) の表面筋電図をサンプルサイズ 2000 Hz で計測した。測定部位は筋腹中央部とし、MG は内側頭とした。双極導出法によって、電極に 32 mm の銀/塩化銀型電極 (M-00-S, Blue Sensor, Ambu) を用い、電極間距離 30 mm で各筋に貼付した。筋電図信号の記録は、A/D 変換器を介し、ホルター筋電計 (ME-6000, MEGA Electronics) とデータ収集解析システム (Power-Lab/16sp; ADInstruments) をつなぐことで、パーソナルコンピュータに取り込んだ。

各筋電図データは 20-500 Hz のフィルタで平滑化し、MG の筋電図信号から 30 サイクルのデータの平均値から RMS を抽出した。その後、連続ウェーブレット変換を行い、平均値を MPF として採用した。なお、マザーウェーブレットは morlet とし、ウェーブレットスケールは 1 から 60 の範囲に設定した。RMS は pre の値を 100%とし、post0wk および post1wk は相対値とした。本研究では電極を同じ場所に装着するように配慮し、また被験者の体脂肪率も大きな変化が認められないため、大きな限界とは考えなかった。

走パフォーマンス

表面筋電図の測定後、走パフォーマンスを評価するために持続走行テストを傾斜 1%に設定されたトレッドミル (BM-1210, S&M Co., Ltd.) 上で実施した。走スピードは pre で測定した $s\dot{V}O_{2max}$ であり、疲労困憊に到るまでの時間 (TTE) を評価し、これを走パフォーマンスとして採用した。

(4) 統計解析

得られたデータはすべて平均値 \pm 標準偏差によって表した。各パラメータの変化を比較するために、トレーニング環境 (Hypo 群および Norm 群) と時間 (pre, post0wk, post1wk または pre, post0wk, post1wk, post4wk) の 2 要因分散分析 (two-way ANOVA) を行なった。交互作用が認められた場合は、Bonferroni 法によって多重比較検定を行なった。統計の解析には SPSS 24.0 ver. (IBM) を用い、統計的有意水準は 5%未満とした。

4. 研究成果

(1) 走パフォーマンスおよび有酸素性エネルギー代謝能力

トレーニング終了 1 週間後までのデータで 2 要因分散分析をした結果、走パフォーマンスの指標である $s\dot{V}O_{2max}$ における TTE に有意な交互作用が認められた。Hypo 群の TTE は pre および post0wk に比べて post1wk で有意な向上が認められた (Fig. 1)。一方、Norm 群の TTE は pre と post0wk に有意な変化が認められず、post0wk に比べて post1wk で有意な低下が認められた。

有酸素性エネルギー代謝能力の指標である $\dot{V}O_{2max}$ には有意な交互作用が認められなかった ($P=0.19$) 一方、RE には有意な交互作用が認められた。Hypo 群の RE は pre と post0wk および post0wk と post1wk で有意な変化が認められないものの、pre に比べて post1wk で有意な改善が認められた。一方で、Norm 群の RE は pre と post0wk で有意な変化が認められないものの、post0wk に比べて post1wk で有意な低下が認められた。

(2) 表面筋電図

トレーニング終了 1 週間後までのデータで 2 要因分散分析をした結果、RMS はすべての筋において有意な交互作用は認められなかった (Fig. 2)。一方、MPF は VL、TA および MG において有意な交互作用が認められた (Fig. 3)。

交互作用の認められた筋のうち、TA は Norm 群において pre から post0wk にかけて有意な増大、post0wk から post1wk にかけて有意な減少がそれぞれ認められ、pre と post1wk では有意な変化が認められなかった。Hypo 群の TA は全ての期間で有意な変化が認められなかった。

VL および MG は Norm 群において全ての期間で有意な変化が認められなかった。一方、Hypo 群の VL は pre から post0wk にかけて有意な増大、post0wk から post1wk にかけて有意な減少がそれぞれ認められ、pre と post1wk では有意な変化が認められなかった。Hypo 群の VL は pre から post0wk にかけて有意な減少が認められ、post0wk から post1wk にかけて有意な変化は認められず、pre に比べて post1wk で有意に低値を示した。

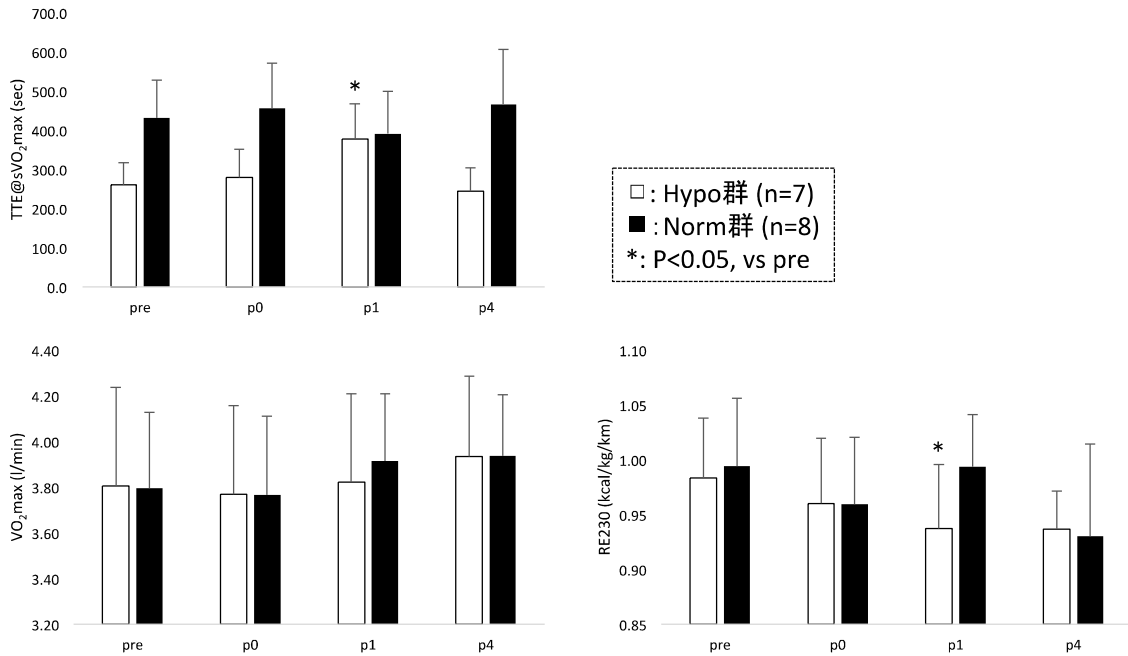


Fig. 1. 走パフォーマンス (上段左)、VO₂max (下段左) およびRE (下段右) の変化

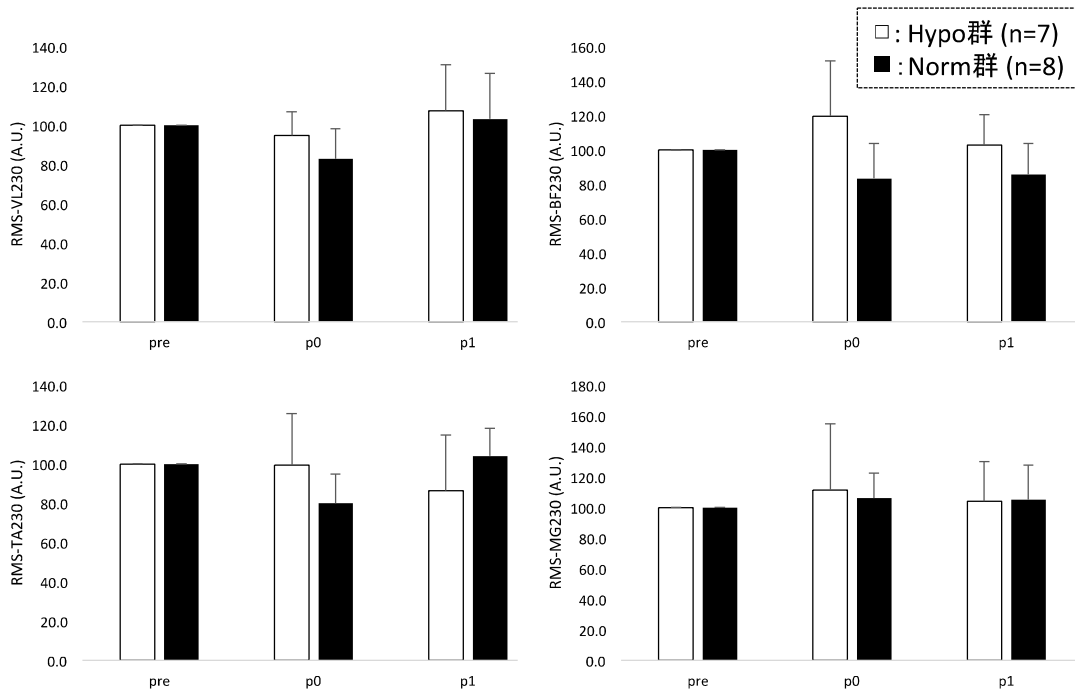


Fig. 2. 外側広筋 (上段左)、大腿二頭筋 (上段右)、前脛骨筋 (下段左) および腓腹筋 (下段右) の表面筋電図の振幅の変化

(3) 効果の持続性

トレーニング終了4週間後までのデータで2要因分散分析をした結果、走パフォーマンスには交互作用が認められたが、Hypo群はpost4wkでpreと同水準まで低下が認められた。VO₂maxおよびREは交互作用が認められなかった(それぞれ $P=0.20$ および 0.11)。

まとめ

本研究は、専門的にトレーニングを行なっている長距離ランナーを対象に、5日間のトレーニングを低酸素環境または常酸素環境で実施させ、走パフォーマンス、VO₂max、RE、RMSおよびMPFの変化を比較した。その結果、低酸素環境でトレーニングを実施した1週間後に走パフォーマンスの向上およびREの改善が認められた。また、MGのMPFの減少が1週間後まで認められ、これがREの改善に寄与している可能性が示された。しかし、トレーニング終了4週間後に走パフォーマンスやREはトレーニング前の水準へと戻っていることが示された。

5日間の低酸素トレーニングの効果はトレーニング終了1週間後に認められ、4週間後には消失した。したがって、重要な試合の2週間前から5日間の低酸素環境トレーニングを実施することで、重要な試合での走パフォーマンスを最大にさせることができることが示唆された。

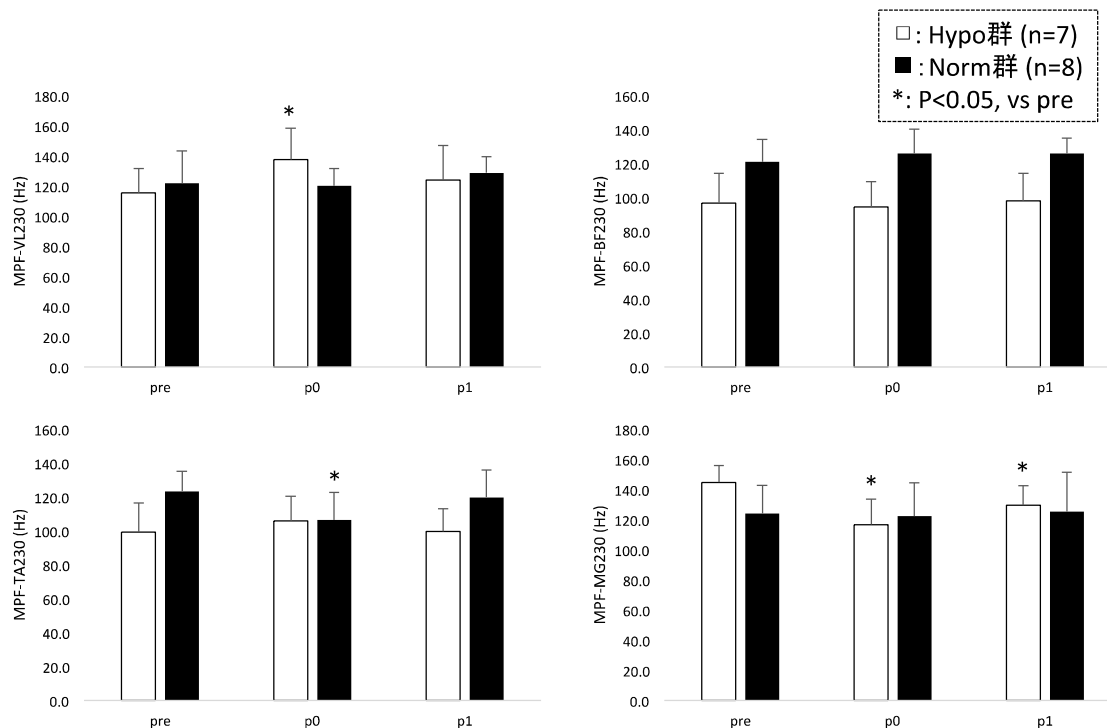


Fig. 3. 外側広筋 (上段左)、大腿二頭筋 (上段右)、前脛骨筋 (下段左) および腓腹筋 (下段右) の平均周波数の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) Fumiya Tanji, Yoshiharu Nabekura. Oxygen uptake and respiratory exchange ratio relative to the lactate threshold running in well-trained distance runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. (査読あり) In Press.
Doi: 10.23736/S0022-4707.18.08828-X.
- (2) 丹治史弥、鍋倉賢治. 800m ランナーの生理学的変数と走パフォーマンスの縦断的变化の関係. *コーチング学研究* (査読あり). 32(1): 79-88. 2018.

〔学会発表〕(計7件)

- (1) 丹治史弥. 学会シンポジウム II マラソン日本記録、さらなる短縮に向けて -若手研究者からの提案- : 一流長距離ランナーの特徴とそれを改善するトレーニング. 第31回ランニング学会大会, 2019年3月.
- (2) 丹治史弥、大沼勇人、安藤良介、山中亮、鈴木康弘. 長距離走パフォーマンス向上に求められる能力の検討. 第31回ランニング学会大会, 2019年3月.
- (3) 丹治史弥. 高地トレーニングと低圧・低酸素室、その展望」: 短期間の間欠的低酸素トレーニングによる効果. 第1回身体科学研究会, 2019年3月.
- (4) 丹治史弥. 陸上競技長距離選手と比較したトライアスロン選手の有酸素性エネルギー代謝能力の特徴. 第8回JTUトライアスロン・パラトライアスロン研究会, 2019年2月.
- (5) 丹治史弥. 我が国の国際競技力向上を目指した国立スポーツ科学センターの取り組み. 筑波大学体育専門学群 体育科学シンポジウム, 2019年1月.
- (6) 丹治史弥. 学会プロジェクトシンポジウム, ランニングエコノミーと長距離走パフォーマンス: 高強度走行中のRunning Economyと走パフォーマンス. 第30回ランニング学会大会, 2018年3月.

- (7) Fumiya Tanji, Yoshiharu Nabekura. Distance running performance and high-intensity running economy in highly trained female distance runners. 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会), 2018 July.

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。