

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：37104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26506025

研究課題名(和文)宇宙空間における筋骨格系廃用萎縮予防法の開発

研究課題名(英文)Development of the countermeasure for musculoskeletal atrophy in outer space

研究代表者

志波 直人 (Shiba, Naoto)

久留米大学・医学部・教授

研究者番号：20187389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：拮抗筋の電気刺激筋収縮を主動筋の運動抵抗とする筋力増強法、ハイブリッドトレーニングシステム(HTS)を有酸素運動、自転車エルゴメータと組み合わせた新しい運動法(HCE)を考案した。30分間のHCE実施後、成長ホルモン、IL-6、乳酸が増加した。軌道上で使用されている運動プログラムにて週3回6週間実施したところ、電機刺激無しよりも有意に膝伸展筋力が増加した。パラボリックフライトを利用した微小重力環境下での運動状況を検証し、微小重力環境下でもHCEは問題なく実行可能で、酸素摂取量や膝関節運動は地上でのシミュレーションと同じ結果であった。HCEは宇宙空間でも有効な運動法であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Hybrid training System (HTS) is to create resistance to the motion of a volitionally contracting agonist muscle by means of the force generated by its electrical stimulated eccentric antagonist muscle. We developed the new training method that HTS is combined with a cycle ergometer (HCE). HCE stimulated acute increases in growth hormone, lactate and IL-6 than conventional ergometer at the same workload. Moreover, HCE improved the peak oxygen uptake and knee muscle strength with the training program used in orbit (30-min HCE at a 3-time session a week for 6 weeks). The change of knee extension strength by HCE was greater than by a ergometer exercise without HTS. We simulated that HCE effectively increased the oxygen uptake in a linear manner, and additional stimulation of muscles at the ankle joint increased the oxygen uptake. In the flight experiment, we confirmed that HCE was performed without a problem. HCE seems to be a useful method in orbit or space flight.

研究分野：筋骨格系廃用予防

キーワード：廃用予防 筋力増強運動 エルゴメータ 有酸素運動 宇宙医学

1. 研究開始当初の背景

表面電気刺激を用いた筋力増強法、ハイブリッドトレーニングシステム (HTS) (日米特許取得済) は、特別な施設を必要としない、小型で、持ち運びが容易なシステムである。本法は、拮抗筋を電気刺激し、その筋収縮を主動作筋の運動抵抗とする方法であるため、重力を利用した運動が制限される微小重力環境や長期臥床患者でも重錘を用いた運動と同様の抵抗運動が可能である。これまでに、HTS を肘関節周囲筋や膝関節周囲筋へ適応し、短期間での筋肥大および筋力増強効果を確認した。また、宇宙空間でも利用可能な刺激装置開発、微小重力環境模擬実験、生化学的生体反応評価、高齢者の身体機能向上、膝関節手術後の廃用萎縮予防などを通して HTS の検証を行ってきた。さらに、軌道上で使用可能な刺激装置の開発を行い、2013 年度に軌道上で上肢での HTS の実証実験を実施し、軌道上での廃用筋骨格系萎縮予防効果の可能性を報告した。今後は、小廃用性変化の著しい下肢に対し小型宇宙船でも利用できる運動法の開発が必要である。そこで、軌道上でも利用されている有酸素運動エルゴメータと HTS を組み合わせた方法を新たに考案した。

2. 研究の目的

HTS を応用し、下肢での有酸素運動と組み合わせた宇宙空間でも実施可能な新しい運動法を研究・開発する。本研究では、以下の点を明らかにする。有酸素運動負荷への影響、

抵抗運動負荷としての効果、生体反応 (成長ホルモン、呼気ガス分析)、訓練装置・運動プログラミング作成、微小重力環境での動作確認、長期運動効果 (筋力、体力)

3. 研究の方法

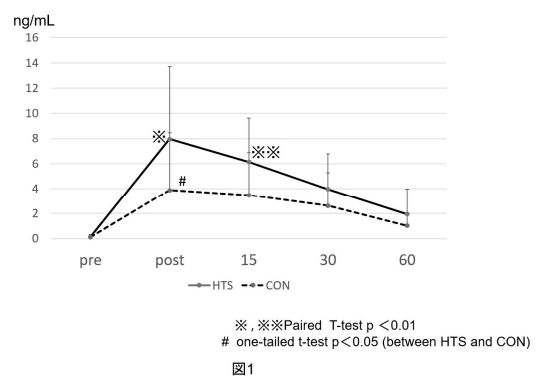
- 1) 自転車エルゴメータ運動時に HTS を組み合わせた場合と組み合わせなかった場合の酸素摂取量を計測する。
- 2) 自転車エルゴメータ運動時に HTS を組み

合わせた場合での運動プログラム実施前後のマイオカイン (成長ホルモン、IL-6) を計測する。

- 3) 自転車エルゴメータ運動時に HTS を組み合わせた運動プログラムを週 3 回 6 - 8 週間実施し、その前後の筋力、筋量、最大酸素摂取量を計測する。
- 4) 微小重力環境下での自転車エルゴメータ運動時に HTS を組み合わせた運動実施のコンピュータシミュレーションを行い、運動中の関節運動、筋活動、酸素摂取量などを計算する。
- 5) パラボリックフライトにて微小重力下での自転車エルゴメータ運動時に HTS を組み合わせた運動実施中の心拍、呼気ガス、関節運動を実測する。

4. 研究成果

1) 嫌気性閾値未満である最大酸素摂取量の 40% に相当する運動負荷にて 30 分のエルゴメータ運動を行った直後、HTS を組み合わせる (HTS) ことによって成長ホルモン、乳酸、IL-6 が有意に増加した。成長ホルモンは運動直後に HTS なし (コントロール; CON) よりも有意に増加し (図 1)、運動後 30 分では IL-6 が有意に増加した。



2) 最大酸素摂取量の 40% 相当の運動強度にて週 3 回 8 週間の長期運動介入した結果、HTS を組み合わせた群 (HTS) では、膝屈伸筋力 (図 2)、大腿四頭筋筋断面積、最大酸素摂

取量が有意に増加した。一方、HTS を組み合わせない運動 (CON) では、有意な筋力、筋量、最大酸素摂取量の変化はなかった。特に、角速度 180 度での膝伸展・屈曲筋力は、CON 群よりも有意に増加した (図 2)。

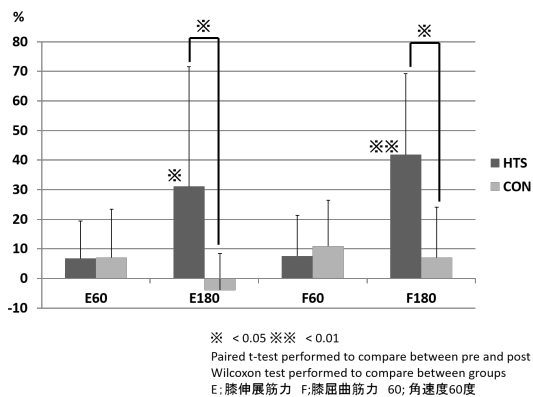


図2

3) 実際に軌道上で利用されているエルゴメータ運動プログラムであるグリーンリーフプログラムを用いて、週3回6週間の長期介入実験を実施したところ、HTS を組み合わせた運動 (HCE) と HTS を組み合わせない運動 (VCE) 共に最大酸素摂取量、膝伸展筋力が有意に増加した。膝伸展筋力の変化量は、HCE が VCE よりも有意であった (図 3)。また、大腿直筋筋厚は HCE にて有意に増加した。

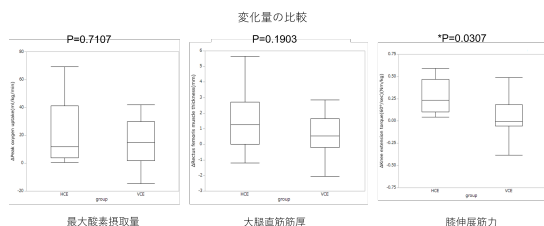


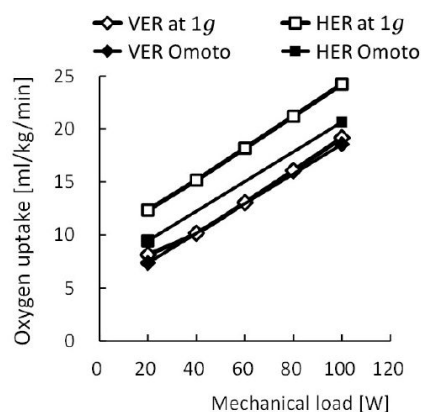
図3

4) 軌道上利用を考慮した簡易型エルゴメータ (リカンベント型) にハイブリッドトレーニングを組み合わせた時のコンピュータシミュレーションを実施した。地上での酸素摂取量のシミュレーション結果は、Omoto ら (J. Nov. Physiother., 2013) のサイクリング実験の結果とよく一致し、0 g でのシミュレ-

ーション結果は 1 g の場合より微増した。1 g または 0 g での運動代謝を次の二つの制約のもとで低減化する最適サイクリング条件をシミュレーションした。制約は、運動強度の指標として酸素摂取量、および骨密度維持のための膝関節反力の各希望値である。酸素摂取量に関するサイクリング運動モデルの妥当性が 1 g におけるシミュレーション結果と実験結果の比較により確認された (図 4)。微小重力環境でのサイクリング最適条件は、地上の最適条件と比べてペダルの回転速度と機械的負荷の両方を減少させる HTS サイクリング時の筋同時収縮が、受け入れ可能なトレーニング条件を得るのに効果的方法であることを示した。

5) 軌道上利用を考慮した簡易型エルゴメータ (リカンベント型) にハイブリッドトレーニングを組み合わせた時と組み合わせなかった時の運動中の呼気ガス分析、心拍数を計測した。計測結果は、過去の Omoto ら (J. Nov. Physiother., 2013) の結果と同様で、エルゴメータの形によらずハイブリッドトレーニングによって酸素摂取量と心拍数が増加した。

図 4



6) パラボリックフライトを用いた微小重力 (μ g) 実験を実施した。フライト中の 1 g、2 g、 μ g 環境下で作成した簡易型エルゴメ-

ータにてハイブリッドトレーニング（電気刺激あり）と電気刺激なしで実施した。重力変化の中、駆動中の膝関節はすべて同じように変化し、電気刺激ありと電気刺激なしでの違いもほぼ認められなかった。また、電気刺激のタイミングも、重力変化によって変化は見られずパラボリックフライト中に問題なくハイブリッドトレーニングが実施できることを確認した。（図5）さらに、呼気ガス分析の結果、電気刺激ありは、電気刺激なしよりも常に酸素摂取量は大きく、その変化は地上で実施したシミュレーション結果と同じであった。（図6）

図5

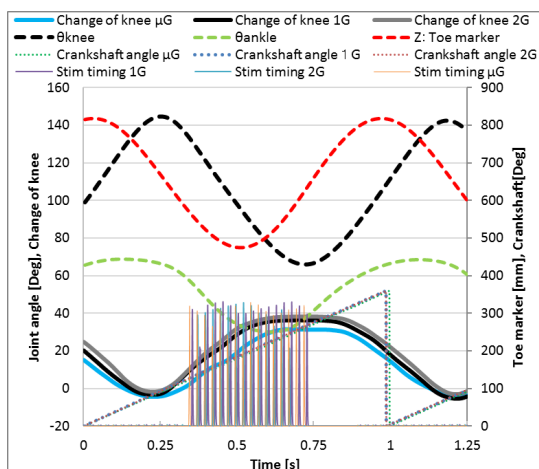
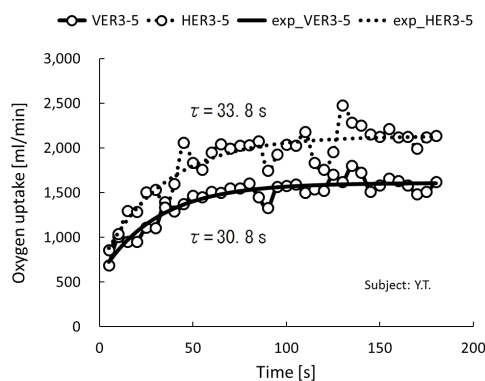


図6



引用文献

Omoto Masayuki, et al. Oxygen Uptake

during Aerobic Cycling Exercise Simultaneously Combined with Neuromuscular Electrical Stimulation of Antagonists. Nov Physiother. 2013, 3 6

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

田川義彦、山本直輔、大本将之、松瀬博夫、高野吉朗、志波直人 拮抗筋電気刺激を有するサイクリングモデル運動モデルによる酸素摂取量シミュレーション 宇宙航空環境医学会誌（査読あり）2017（in press）

〔学会発表〕(計 4件)

Yoshio Takano, Masayuki Omoto, Hiroo

Matsuse, Yuuya Tsukada, Yoshihiko

Tagawa, Naoto Shiba. Effect of the Cycling Exercise Combined with Electrically Stimulated Antagonist Muscles. 17th WCPT International Congress, May 4 2015 Singapore.

Ryuki Hashida ,Hiroo Matsuse, Masayuki Omoto, Natsuko Shinozaki, Takeshi Nago, Yoshio Takano, Naoto Shiba. Electrical Stimulation of the Antagonist Muscle added to Ergometer Training Improves Oxygen Uptake and Muscle Strength. American Congress of Rehabilitation Medicine. Chicago, 2016

Yoshihiko Tagawa, Naosuke Yamamoto, Masayuki Omoto, Hiroo Matsuse, Naoto Shiba. Stimulation of oxygen uptake and leg joint reaction force during ergometer exercise under altered gravity. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Korea, 2017

Masayuki Omoto, Ryuuki Hashida, Yoshio Takano, Hiroo Matsuse, Masafumi Bekki, Yoshihiko Tagawa, Naoto Siba. Electrical

Stimulation of the Antagonist Muscle Added to Cycling Exercise Interval Training Improves Oxygen uptake and Muscle Strength.
31st ISTS. Matsuyama, 2017

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

該当なし

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

志波 直人 (Naoto, Shiba)

久留米大学・医学部整形外科学教室・教授

研究者番号：20187389

(2)研究分担者

田川 善彦 (Yoshihiko, Tagawa)

久留米大学・医学部整形外科学教室・教授

研究者番号：70122835

高野 吉朗 (Yoshio, Takano)

国際医療福祉大学・保険医療学部・准教授

研究者番号：20439574

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

松瀬 博夫 (Hiroo, Matsuse)

橋田 竜騎 (Ryuki, Hashida)

大本 将之 (Masayuki, Omoto)

山本 直輔 (Naosuke Yamamoto)