

対抗措置ワーキンググループ：模擬微小重力曝露に伴う起立耐性低下対抗措置の耐 G スコアによる評価

清水祐樹¹, 岩瀬 敏¹, 菅屋潤壺¹, 西村直記¹, 高田真澄¹, 櫻井博紀², 犬飼洋子¹, 佐藤麻紀¹,

Dominika Kanikowska¹, 鈴木里美³, 渡邊順子⁴, 石田浩司⁵, 秋間 広⁵, 片山敬章⁵, 平柳 要⁶, 塩澤友規⁷

1: 愛知医大・医・生理², 2: 浜松大・保健医療, 3: 愛知医大・看護,

4: 聖隷クリストファー看護大・看護, 5: 名大・保体センター, 6: 日大・社会医学, 7: 青学大

Evaluation of gravity tolerance with artificial gravity and ergometric exercise as a countermeasure induced by simulated microgravity exposure.

Yuuki Shimizu, Satoshi Iwase, Junichi Sugeno, Naoki Nishimura, Masumi Takada, Hiroki Sakurai,

Yoko Inukai, Maki Sato, Dominika Kanikowska, Satomi Suzuki, Yoriko Watanabe, Koji Ishida,

Hiroshi Akima, Keisho Katayama, Kaname Hirayanagi, Tomoki Shiozawa

Y Shimizu: Department of Physiology, Aichi Medical University School of Medicine,

Nagakute, Aichi 480-1195

E-mail: yuuki@aichi-med-u.ac.jp

Abstract: To examine the effectiveness of ergometric exercise in artificial microgravity (head-down bed rest), 6 subjects were subjected to 1.4G of artificial gravity with 60W of ergonomic workload every for 30 minutes, and 4 subjects every other day for 30 minutes. Smaller regression coefficient was estimated in heart rate about the everyday exercised group between the relation to the product of workload (watts) and time. Heart rate during the exercise was approximated most suitably by second-order exponential function for everyday exercised, and by exponential hyperbolic sine function for every other day exercised. The number of factor on heart rate was two in everyday exercised, and time delay element was predicted in every other day exercised.

Key words: head-down bed rest, artificial gravity, ergonomic workload, heart rate

はじめに

頭部を 6° 下げた状態 (-6°ヘッドダウンベッドレスト) を維持させると頭部への体液移動が起こり、これが宇宙滞在のような微小重力環境での体液分布を模擬していると考えられる。長期の微小重力曝露

により、心・循環系、骨格筋系および骨代謝系などにデコンディショニングが起こることが知られており、総称して「宇宙デコンディショニング」と呼ばれている。我々は、棒状回転体 (直径 4 m) を回転させることにより生ずる遠心力を利用した人工重力

負荷装置に自転車エルゴメーターを具備した装置を考案し、この装置を用いた人工重力負荷と運動負荷の組み合わせが、宇宙デコンディショニングにおける対抗措置として有用であるか否かを検証してきた。

本研究では、20日間の -6° ヘッドダウンベッドレスト実験において、ベッドレスト中に連日の人工重力負荷と運動負荷行わせた群、および1日おきに人工重力負荷と運動負荷を行わせた群について、起立耐性低下対抗措置の有効性を比較した。本研究では、運動中の運動負荷および重力負荷の強さと心拍数の関係に注目し、運動負荷・重力負荷に対する適応能力を評価した。

実験方法

20～30歳代の男性を被験者として模擬微小重力曝露として20日間の -6° ヘッドダウンベッドレストを負荷した。6名について20日間連続の人工重力負荷と運動負荷（30分/日）を（連日負荷）、4名について1日おきに人工重力負荷と運動負荷（30分/日、実施日数14日）を（隔日負荷）それぞれ行った。

運動を開始した後、被験者が疲労困憊により自由意志で実験を中断するまでの時間を記録した。また、運動中の心拍数をMemCalc/Tarawa（諏訪トラスト製）により連続的に記録した。

結果

1. 運動負荷・重力スコアと運動継続時間

実験開始20日後（Post）において、運動負荷の強度（単位W）と重力加速度（単位G）の積を「運動

負荷・重力スコア」として定義し、運動の継続時間（duration）との相関を求めた（Fig. 1）。

回帰直線の決定係数は連日負荷群で $R^2=0.0195$ 、隔日運動群で $R^2=0.4508$ となり、連日運動群ではスコアが上昇（負荷が増加）しても運動継続負荷の低下が小さかった。

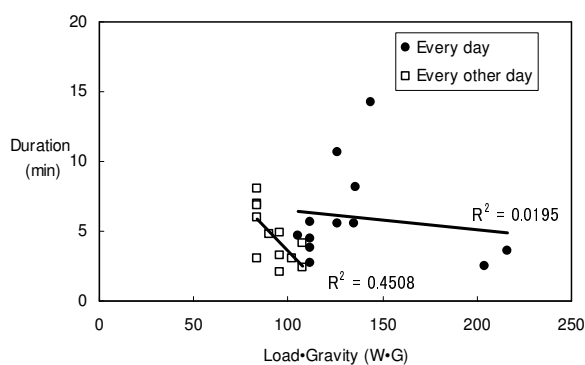


Fig. 1: Relation between load and gravity score (W·G) and duration of exercise.

2. 運動中の心拍数

運動中の心拍数を運動開始から1分毎に測定した。（Fig. 2）。運動中の心拍数は、連日運動群が隔日運動群よりも低かった。

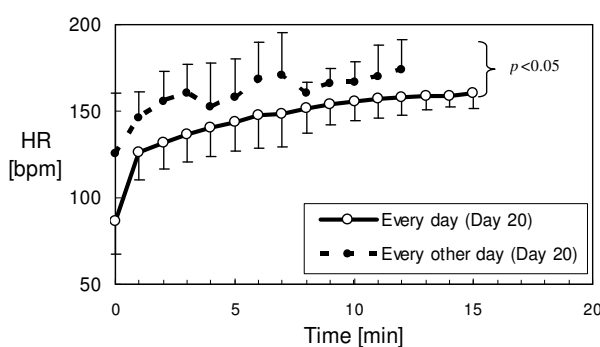


Fig. 2: Heart rate during exercise.

3. 心拍数に影響を与える因子

運動負荷・重力加速度・運動継続時間のうち、心拍数に影響を与える因子を調べるため、各因子の積と心拍数の関係を調べた。運動負荷・重力加速度は、とり得る値の範囲が少なく回帰直線が直接求められないため、運動継続時間との積をパラメータとした。

運動負荷の強度を含まない [重力×時間] の因子では、連日運動群と隔日運動群の回帰係数の差が最も小さかった。心拍数には、運動負荷の強度が最も大きな影響を与えると考えられる。

4. 心拍数の時系列を表すモデル

心拍数を決定するシステムを推定するため、運動負荷中の心拍数を、電気回路におけるコンデンサの電荷蓄積モデル(Mizuo et al., 2000)として表し、再現性を評価した。近似に用いた関数は次の3種である。

- 1) 1次指数関数 (コンデンサ C を抵抗 R を通して充電した場合の電圧変化)

$$y = \alpha \cdot (1 - e^{-\beta t})$$

- 2) 2次指数関数 (2個のコンデンサ C_1, C_2 をそれぞれ抵抗 R_1, R_2 を通して充電した場合の電圧変化)

$$y = \alpha_1 \cdot (1 - e^{-\beta_1 t}) + \alpha_2 \cdot (1 - e^{-\beta_2 t})$$

- 3) Hyperbolic Sine (コンデンサ C を抵抗 R およびコイル L を通して充電した場合の電圧変化)

$$y = \alpha \cdot (1 - e^{-\beta t}) \cdot \sinh(\omega \cdot t)$$

連日負荷群では 2 次指数関数、隔日負荷群では Hyperbolic Sine の相関係数が最も大きかった(Fig. 3)。

結論

連日の運動により、運動負荷・重力負荷を強くし

た場合の運動継続時間が長くなり、運動中の心拍数は小さくなった。このことから、連日の運動はデコンディショニングの防止・重力負荷耐性の向上に効果があることが分かった。

心拍数に影響を与える因子は、運動負荷の強度が最も大きな影響があった。運動条件を評価するには、運動負荷の強度のコントロールが重要である。

電気回路のコンデンサに対応させて心拍数の時系列を表すモデルの結果から、連日負荷群では心拍数を決める因子が2種類存在し、運動負荷により平常時と異なるキャパシタンスが増加すること、隔日負荷群では心拍数を決める因子に時間遅れを伴う要素が含まれると考えられる。

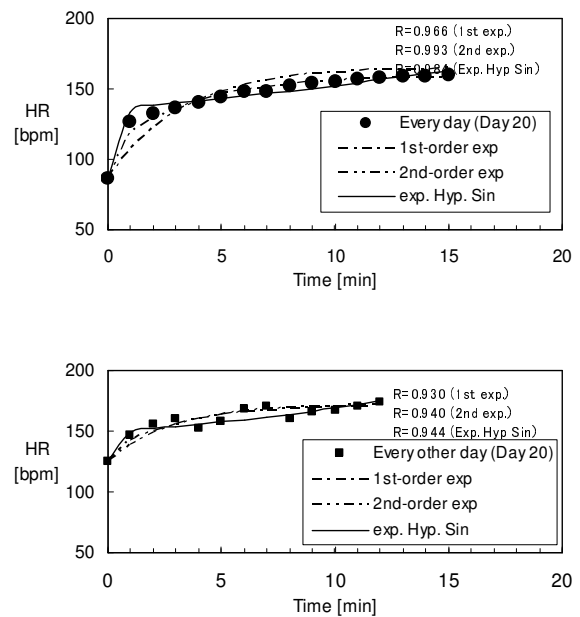


Fig 3: Comparison of regression lines to heart rate during exercise a) First-order exponential b) Second-order exponential c) Exponential hyperbolic sine

参考文献

Mizuo et al. (2000): Jpn. J. Physiol., **50**, 405-412