

Head-down bed rest により生ずる体液移動と筋萎縮への対抗措置の効果

櫻井博紀^{1,2}, 岩瀬 敏¹, 菅屋潤壺¹, 増尾善久³, 西村直記¹, 山田陽介⁴, 太田めぐみ³, 富田真司³, 福永哲夫³, 石田浩司⁵, 秋間 広⁵, 片山敬章⁵, 清水祐樹¹, 佐藤麻紀¹, Dominika Kanikowska¹, 鈴木里美⁶, 渡邊順子⁷, 平柳 要⁸, 塩澤友規⁹

Effect of countermeasure on body fluid shift and myatrophy induced by head-down bed rest in human healthy volunteers.

Hiroki Sakurai^{1,2}, Satoshi Iwase¹, Junichi Sugenoya¹, Yoshihisa Masuo³, Naoki Nishimura¹, Yosuke Yamada⁴, Megumi Ohta³, Shinji Tomita³, Tetsuo Fukunaga³, Koji Ishida⁵, Hiroshi Akima⁵, Keisyou Katayama⁵, Yuuki Shimizu¹, Maki Sato¹, Dominika Kanikowska¹, Satomi Suzuki⁶, Yoriko Watanabe⁷, Kaname Hirayanagi⁸, Tomoki Shiozawa⁹

¹Dept Physiol, Aichi Med Univ, Nagakute, Japan; ²Dept Algesiolog, Aichi Med Univ, Nagakute, Japan; ³Sch Human Sci Waseda Univ, Tokorozawa, Japan; ⁴Kyoto Univ, Kyoto, Japan; ⁵Institute Phys Fitness and sports, Nagoya Univ, Nagoya, Japan; ⁶Sch Nurs Aichi Med Univ, Nagakute, Japan; ⁷Sch Nurs Seirei Christopher Univ, Hamamatsu, Japan; ⁸Dept Hygiene Nihon Univ Sch Med, Tokyo, Japan; ⁹Aoyama Gakuin Univ, Tokyo, Japan

Abstract: Exposure of humans to microgravity condition resulted in body fluid shift and myatrophy. To examine the effectiveness of artificial gravity and ergometric exercise as countermeasure to these changes, 12 healthy young men were exposed to stimulated microgravity for 20 days by head-down bed rest (HDBR). 6 subjects randomly selected were subjected to 1.4G of artificial gravity with 60W of ergometric workload everyday for 30 minutes (CM group). The rest of the subjects served as the control (control group). In head-up tilt test and Anti-G test, body fluid shifts to downward in upper body by HDBR. This body fluid shift was prevented by countermeasure. Also, myatrophy measured by MRI in the thigh was smaller in CM group than in control group. Artificial gravity with exercise appeared to be effective in preventing changes in body fluid shift and myatrophy due to microgravity exposure.

Key words; microgravity, segmental bioimpedance method, body fluid shift, myatrophy

緒言

長期の宇宙飛行・滞在により、起立性低血圧、体液量減少、筋萎縮、悪心、全身倦怠感といった宇宙デコンディショニングと呼ばれる異常をきたす。この中でも起立性低血圧は重度になりやすく、今後、宇宙旅行者の安全を考える上でも深刻な問題となる。微小重力環境では、体内の体液分布は頭部に移動し地上での状態とは異なる。この体液調節の変化は起立性低血圧の一因と考えられるが、そこには筋萎縮による筋ポンプ作用の低下の関与も考えられる。これまで、人工重力および運動負荷が宇宙デコンディ

ショニングの一部に対抗措置として有用であることが分かってきている¹⁾。そこで今回、微小重力状態暴露により生ずる体液移動と筋萎縮との関係と、それらへの対抗措置として人工重力と運動負荷の組み合わせによる効果を検討した。

方法

男性12名を被験者として模擬微小重力暴露として20日間の-6°ヘッドダウンベッドレストを負荷した。うち6名は毎日、対抗措置として人工重力負荷と運動負荷を行った(対抗措置群)。残り6名に

は、臥床のみを行った（対照群）。

対抗措置は、回転加速度による人工重力負荷と、同時に、脚での自転車エルゴメーターによる運動負荷で行った。この重力負荷と運動負荷は、1.4G, 60Wを開始負荷とし、負荷を5分間持続できれば、次の段階にステップアップする。その段階は、0.2G と 15W を交互に増加させることにする方法である。初期の負荷から、漸次増加させ、重力負荷と運動負荷を疲労困憊まで行い、疲労困憊時には被験者の申し出により回転と運動を中止させ、休憩を与える。開始から中止までの時間を測定し、その積算運動時間を 30 分に達するまで持続させるインターバルトレーニングの手法を採り入れた方法である。さらに、本プロトコルでは、0.3G, 最大酸素摂取量の 80% の有酸素運動を、3日おきに負荷した。

ベッドレスト前(pre)、および後(post)において、耐 G 試験(1G から漸増)および tilt 試験(30° 15分、60° 15分)を行い、その時の体液移動をセグメンタル生体電気インピーダンス法²⁾により、上腕部+体幹上部、体幹中部(腹部)、体幹下部+大腿部、下腿部に分けて部位別に測定した。このインピーダンスの上昇は体液減少、低下は体液増加を表す。また、MRI により大腿四頭筋の体積を計測した。

結果

1. 起立耐性に及ぼす影響

耐 G スコアを指標にして評価した。この耐 G スコアは 1G 10 分, 1.2G 5 分, 1.4G 5 分と漸増させていき、中止希望時までの負荷重力(心臓レベル) × 秒数の和で表す。最初の 1G, 10 分を完遂すれば 600、1.2G, 5 分を完遂すれば 960 となる。ベッドレスト前では、 841 ± 197 vs 829 ± 258 (対抗措置群 vs 対照群)であった。ベッドレスト後では、 789 ± 163 vs 268 ± 68 と対照群は有意に低下したが、対抗措置群では有意な低下はみられなかった。

2. 体液移動に及ぼす影響

1) 上腕部+体幹上部のインピーダンス特性

耐 G 試験に対して、対照群では post で pre に対

して 1.0G, 3分において有意にインピーダンス低下の抑制がみられ、対抗措置群では有意な変化はみられなかった。Tilt 試験に対しては、対照群、対抗措置群ともに post で 60° において有意な変化はみられなかった。

2) 体幹中部のインピーダンス特性

耐 G 試験に対して、対照群では post で 1.0G, 3分において有意差はないがインピーダンス低下の増加傾向がみられ、対抗措置群では、有意な変化はみられなかった。Tilt 試験に対しては、対照群では post で 60° において有意にインピーダンス低下がみられ、対抗措置群では有意な変化はみられなかった。

3) 体幹下部+大腿部のインピーダンス特性

耐 G 試験に対して、対照群、対抗措置群ともに post で 1.0G, 3分において有意な変化はみられなかった。Tilt 試験に対しても、対照群、対抗措置群ともに post で 60° において有意な変化はみられなかった。

4) 下腿部のインピーダンス特性

耐 G 試験に対して、対照群、対抗措置群ともに post で 1.0G, 3分において有意な変化はみられなかった。Tilt 試験に対しても、対照群、対抗措置群ともに post で 60° において有意な変化はみられなかった。

3. 筋萎縮に及ぼす影響

大腿四頭筋体積は、対照群では post で有意に低下したが、対抗措置群では有意な差はなかった。

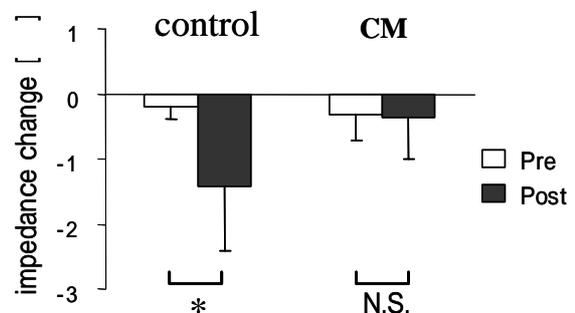


Figure. Impedance changes of body trunk during tilting test at 60 degree. Left side : control group, Right side : countermeasure group (CM). White bar : before HDBR (Pre), Dark bar : after HDBR (Post). Data shows as mean and SD. * P<0.05

考察

健常な男性に対して、微小重力暴露として 20 日間の -6°ヘッドダウンベッドレストを負荷したことにより、起立耐性の低下、大腿四頭筋の筋萎縮がみられた。また、体液移動に関しては、耐 G 試験、tilt 試験において上半身での体液の下方移動がみられた。下半身では体液移動はベッドレストによる変化はみられなかった。

一方、重力負荷と運動負荷を行った対抗措置群では、耐 G スコアが有意に改善され、起立耐性の減弱を防止した結果となった。それとともに、大腿四頭筋の筋萎縮は抑制され、さらに、耐 G 試験、tilt 試験における体液移動では、上半身において体幹での体液の下方移動が抑制された。下半身においては変化がみられなかった。

対抗処置により起立耐性の改善とともに体液移動の改善がみられたことより、ベッドレストにより体幹での体液の下方移動が生じやすくなることで、静脈還流量が減少し起立性低血圧に繋がっている可能性が考えられる。これに対して、対抗措置を行ったことで、大腿四頭筋の筋萎縮が抑制されると同時に、

体幹・骨盤の筋も影響を受けた可能性がある。そのため、体幹・骨盤部での腹圧が増加したことにより体幹下部への体液移動が抑制されたことが考えられる。それにより、静脈還流量が改善され、起立耐性が改善された可能性が考えられる。下半身での体液移動はベッドレスト前後で変化なかったこと、および、大腿四頭筋の筋萎縮が改善されても変化がなかったことより、筋萎縮は下半身での体液移動に影響がなく、起立性低血圧への寄与は少ないことが考えられる。そのため、今後、体幹の筋機能の関与も調べていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Iwase S. Effectiveness of centrifuge-induced artificial gravity with ergometric exercise as a countermeasure during simulated microgravity exposure in humans. *Acta Astronaut* 57 : 75-80, 2005.
- 2) Kushner R.F. Bioelectric impedance analysis: A review of principles and applications. *Journal of Nephrology*, 10, 363-367, 1992.