

人工重力負荷中の体液分布と心拍変動

愛知医大・医・生理2 西村 直記、岩瀬 敏、菅屋 潤壺、高田 真澄、西村 るみ子
名古屋大院・医・看護学 今井 美香

Body fluid distribution and heart rate variability during artificial gravity

Naoki Nishimura¹, Satoshi Iwase¹, Junichi Sugeno¹, Masumi Takada¹, Mika Imai², Rumiko Nishimura¹,

¹Department of Physiology School of Medicine, Aichi Medical University, Nagakute, Aichi, 480-1195

²Nagoya University School of Health Sciences, Department of Nursing, Daiko-Minami, Higashi-ku,

Nagoya, Aichi, 461-8763

E-mail: nao2460@aichi-med-u.ac.jp

Abstract: Centrifuge-induced artificial gravity has been employed for countermeasures to spaceflight deconditioning including bone metabolism deconditioning and orthostatic intolerance. Each subject was placed on the centrifuge such that 1.0 G was applied to the heart and approximately 2.7 G at the feet. Such a gravity inclination between heart and feet induces to inequality of the blood distribution. We investigated the influence of the inequality of the blood distribution caused by artificial gravity on cardiac hemodynamics and gravity tolerance. Thirteen healthy subjects (9 male and 4 female) participated in this study. Each subject was exposed to the short radius centrifuge of 1.0 G at the heart level for 10 min, and 20 min was exposed to several subjects. Centrifuge runs were terminated when the subjects request. Five male and three female completed the 10 min centrifugation successfully, and 2 male and a female nearly completed. On the other hand, 2 male were terminated prematurely due to presyncope. In two subjects whom were observed to presyncope caused by centrifugation, heart rate was acutely decreased approximately 30 to 40 beats. In Addition, the increase of heart rate at beginning centrifuge was larger compared with other subjects. Therefore, the change of heart rate during artificial gravity might be useful as the index of the gravity tolerance.

Key words: artificial gravity, body fluid distribution, heart rate variability

1. はじめに

宇宙飛行など微小重力環境へ曝露されると、頭部への体液シフトがおこる。心循環機能が微小重力環境に適応した状態から地上の1G状態に戻ると、再適応が起こるまでに生体に不具合(宇宙デコンディショニング)がおこることが報告されている。我々は、微小重力暴露中に積算して30分間の人工重力負荷(AG)を連日行うことで宇宙デコンディショニングが予防できることを報告してきた¹⁻³⁾。このAGは、直径4mの棒状回転体内で仰臥位姿勢をとり、この装置を回転させることで生じる遠心力により、

頭部へシフトした体液を下肢の方向に戻すというものである(図1)。AG時には重力勾配により頭部から足部へと急激な体液シフトが生じるが、このような状況下においても、ヒトの自律神経系は血圧や脳循環を一定に調節する機能を有する。しかしながら、これらの調節機能が破綻すると失神前兆候を来すことがある。実際に、これまで我々が行ってきた模擬微小重力曝露実験中のAG試験においても、AGの連続施行時間(重力耐性)には個人差がみられた。本研究は、AG中の循環動態を連続記録し、重力耐性との関係について検討した。

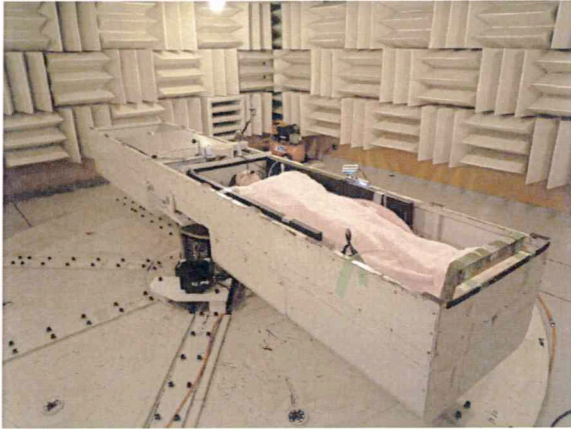


Fig.1 Manufacture of short radius centrifuge.

2. 実験方法

健康な成人男女 13 名（男性 9 名、女性 4 名；年齢 28.1 ± 11 歳）を被験者とした。本研究を行うにあたり、いずれの被験者にも本研究の目的、方法、医学上の貢献および危険性についての説明を書面と口答で説明し、被験者として実験参加の同意を得た。また、あらかじめ愛知医科大学医学部倫理委員会の承認を得た。被験者には人工重力負荷装置内で足を外側にした仰臥位姿勢で 10 分間の安静をとらせた後、心臓の位置で 1.0G（足部で約 2.4G）の重力負荷を 10 分間行わせた。10 分間の AG を完遂した被験者の内、数名の被験者には更に 10 分間（計 20 分間）の AG を行わせた。AG 中に心電図、血圧（フィナプレス）および胸部と下腿部の体液分布（生体電気インピーダンス法）を連続記録した。また、AG 中の被験者とは、ヘッドフォンを介してコミュニケーションをとることが可能であり、体調の変化（急激な徐脈や血圧の低下など）が生じた場合には、AG を急停止させた。

3. 結果

図 2 に AG 中および AG 後のインピーダンスの変化の 1 例を示した。AG 前に対する AG 中のインピーダンスの変化率は、胸部で漸増し下腿部で漸減したことから、AG による下肢への体液シフトが確認できた。また、AG 後には胸部、下腿部ともに速やかな回復傾向を示した。

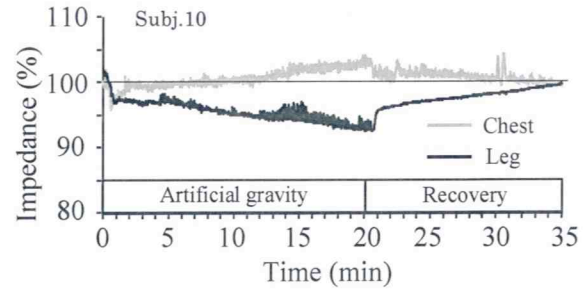


Fig.2 Impedance change of chest and leg during artificial gravity.

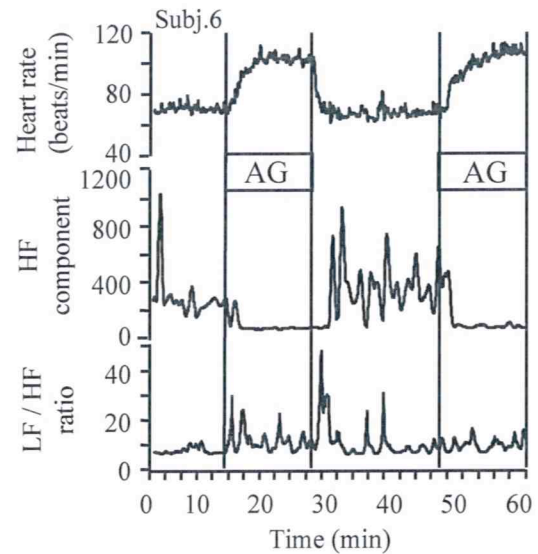


Fig.3 Change in heart rate variability during artificial gravity.

AG 中は、すべての被験者で血圧や心拍数が上昇し、迷走神経活動の指標とされる心拍変動 HF 成分の低下や交感神経活動の指標とされる LF/HF 比の上昇が認められた（図 3）。13 名中 9 名の被験者が 10 分間の AG を完遂でき、その内 6 名の被験者に対して更に 10 分間の AG を行わせたところ、5 名の被験者が合計 20 分間の AG を完遂（残りの 1 名は 17 分 30 秒）した。他方、AG 開始後 5 分以内に中止に至った 2 名の被験者では、AG 中に急激な徐脈や血圧低下がみられた。これら 2 名の被験者では、10 分以上の AG を完遂した被験者と比較して、心拍数の立ち上がり曲線がより急峻であり、AG 中の心拍数のピーク値も 10 分間の AG を完遂したほとんどの被験者よりも高値を示した（図 4）。

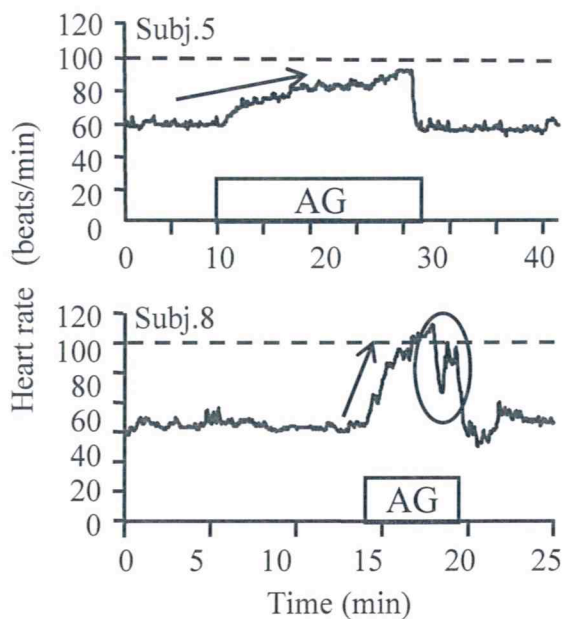


Fig.4 Change in heart rate during artificial gravity.

4. 考察

AG 中は体液が胸腔内から下肢へとシフトするため、静脈還流量が減少し心拍出量も減少する。しかしながら、動脈圧受容器反射や心肺圧受容器反射を介した交感神経活動の賦活化が起きるため、心拍数の上昇や血管収縮性交感神経活動の増加みられるため、血圧は維持され、脳血流も一定に保たれる。早期に中止に至った2名の被験者では、交感神経活動の増加が血圧の維持を補償できず、急激な徐脈とともに筋交感神経活動の抑制による血圧の急低下がみられたと考えられる。これらの被験者では、心拍数の上昇が他の被験者よりも急峻であり、重力耐性との間に関連性が認められた。よって、AG 開始初期の心拍数の変動からおよその重力耐性を推測することができ、AG 中の失神前兆候を回避できる可能性があると考えられるが、その機序についてはさらに検討が必要である。

文献

1) 西村直記、岩瀬敏、菅屋潤壺、清水祐樹、高田真澄、櫻井博紀、犬飼洋子、佐藤麻紀、Dominika Kanikowska、鈴木里美、渡邊順子、石田浩司、秋間広、片山敬章、平柳要、塩沢友規：模擬微

小重力曝露に伴う心循環系デコンディショニングに対する人工重力および運動負荷の有効性. *Space Utiliz Res.*,25 : 108-110, 2009

- 2) Satoshi Iwase, Junichi Sugeno, Naoki Nishimura, Maoki Sato, Yuuki Shimizu, Dominika Kanikowska, Yoko Inukai, Hiroki Takada, Masumi Takada, Tadaaki Mano, Koji Ishida, Hiroshi Akima, Keisho Katayama, Kaname Hirayanagi, Tomoki Shiozawa, Kazuyoshi Yajima, Yoriko Watanabe, Satomi Suzuki, Tetsuo Fukunaga, Yoshihisa Masuo: Effectiveness of artificial gravity and ergometric exercise as a countermeasure – comparison between everyday and everyother day protocols. *Space Utiliz Res.*,25 : 114-115, 2009
- 3) 西村直記、岩瀬敏、塩沢友規、菅屋潤壺、清水祐樹、高田真澄、犬飼洋子、佐藤麻紀、Dominika Kanikowska、鈴木里美、石田浩司、秋間広、片山敬章、増尾善久、間野忠明：模擬微小重力曝露後の骨代謝デコンディショニングに対する対抗措置の有効性. *Space Utiliz Res.*,26 : 122-124, 2010