

改良型人工重力+下肢エルゴメータ運動負荷装置の宇宙飛行デコンディショニングに対する効果

西村直記¹, 岩瀬 敏¹, 田中邦彦², 間野忠明²

¹愛知医科大学 医学部 生理学, ²岐阜医療科学大学 保健科学部 放射線技術学科

Effect of the remodeled short radius centrifuge with ergometric exercise device as a countermeasure for space flight deconditioning

Naoki Nishimura¹, Satoshi Iwase¹, Kunihiko Tanaka², Tadaaki Mano²

¹Department of Physiology School of Medicine, Aichi Medical University

1-1 Yazakokarimata, Nagakute, Aichi 480-1195 Japan

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

Abstract: We have previously reported that daily artificial gravity with step-up ergometric exercise protocol is effective as a countermeasure for spaceflight deconditioning caused by 20 days of simulated microgravity by -6° head-down bed rest (HDBR). Since the size of device diameter is limited to 3 m due to the planned location on the ISS, a new device was designed and manufactured. Orthostatic intolerance caused by 10 days HDBR was improved by step-up protocol using the device. However, several deconditioned variables including bone metabolism could not be completely prevented, probably due to the attenuated strength of artificial gravity and ergometric exercise. We conclude that a new protocol should be designed to fulfill the role of artificial gravity with exercise.

Key words: Artificial gravity, Ergometric exercise, Space flight deconditioning

1. はじめに

日本人を含めた各国の宇宙飛行士による国際宇宙ステーション(ISS)での長期滞在が行われている。このような長期の宇宙滞在時には、初期にみられる「宇宙酔い」のみならず、血液循環の調節喪失、有酸素運動能力の低下、筋骨格系の調節障害、感覚運動系遂行能力の変容等（これらを総称して宇宙デコンディショニングと呼ぶ）がみられることが予想される。岩瀬らは、宇宙デコンディショニングに対する対抗措置として、直径 4m の棒状回転体内で足を外側に向けて仰臥位姿勢になり、回転させることにより生ずる遠心力を利用した短腕式遠心機に下肢のエルゴメータ装置を組み合わせた「人工重力+運動負荷 (G+Ex) 装置」を提唱し (図 1)、模擬宇宙実験 (20 日間の -6° ヘッドダウンベッド

レスト : HDBR) 時にこの装置を用いて対抗措置を行わせた群と対照群 (対抗措置を行わせない) の比較・検討を行った。対抗措置群には、心臓レベルで 1.4G の重力負荷と 60W の下肢エルゴメータ運動負荷を 1 日 30 分間、20 日間の -6° HDBR 期間中に毎日行わせた。また、被験者の同意が得られれば、重力負荷と運動負荷をそれぞれ 0.2G と 15W ずつ増加させた。その結果、対抗措置群では、20 日間の -6° HDBR に伴ってみられる宇宙デコンディショニングをほとんど予防することが出来るとの結果を得た (1-3)。岩瀬らの提唱した「ヒトにおける宇宙飛行デコンディショニングに対する対抗措置としての人工重力とエルゴメータ運動」は、2009 年に JAXA (宇宙航空研究開発機構) が公募した「国際公募ライフサイエンスおよび宇宙医学分野 ; 国際

宇宙ステーション利用実験テーマ」に採択された。しかしながら、ISS内でのG+Ex装置の運用施設の広さ（直径3m）を考慮した結果、これまで我々が用いてきたG+Ex装置を改良することが必要となった（図2）。



Fig.1 Manufacture of short radius centrifuge with lower leg ergometer.



Fig.2 Manufacture of the remodeled short radius centrifuge with lower leg ergometer.

2. 目的

本研究は、改良型G+Ex負荷装置を用いた対抗措置の有用性を確かめるために、10日間の -6° HDBR 前後の起立耐性および骨代謝に及ぼす影響について、対照群（対抗措置を行わない群）と比較・検討した。

3. 方法

・10日間の -6° HDBR 実験:

実験を行うに際して行った医学的スクリーニングにより被験者として参加が可能と判断された6名を被験者とし、対抗措置群（3名）と対照群（3名）の2グループにランダムに分けた。すべての被験者は非喫煙男子学生であった。実験を行うに際し、すべての被験者にはインフォームドコンセントをとった。本実験を行うにあたり、愛知医科大学と岐阜医療科学大学の倫理委員会の承認を得た。

各被験者には、午前9時に室温 26°C に設定した実験室にてTシャツと短パンを着用させた後、頭部を -6° 下げた状態にセットしたベッド上で仰臥位姿勢をとらせた（図3）。



Fig.3 -6° Head-Down Bed Rest experiment.

但し、頭を -6° 下げた姿勢を保ってさえいれば、側臥位や伏臥位姿勢への寝返りを許可し、読書やテレビ鑑賞などは自由に行うことができ、被験者同士の談笑も混乱を招かない範

囲であれば許可した。看護スタッフや医師（看護スタッフは日中 3 名、夜間 1 名。医師は日中 1 名、夜間 1 名）が 24 時間体制で被験者の要望にできるだけ応えるようにした。 -6° HDBR 実験中は規定食のみを摂取させた。水分摂取はミネラルウォーターか麦茶をペットボトルにて与えた。

・ G+Ex 負荷：

6 名の被験者の内、対抗措置群の 3 名に積算して 1 日 30 分間の G+Ex 負荷を連日に行わせた。被験者を G+Ex 負荷装置上に仰臥位姿勢をとらせシートベルトで固定すると共に足を自転車ペダルに固定させた。5 分間の安静後、人工重力負荷+下肢エルゴメータ運動を開始し、1 分後に心臓レベルでの重力負荷が 1.2G、下肢エルゴメータ運動負荷が 60W になるように、G+Ex 負荷を漸増させた。

・ 耐 G 試験：

10 日間の -6° HDBR による起立耐性低下に対する G+Ex 負荷の効果を確認するために、10 日間の -6° HDBR 前日と終了直後に耐 G 試験を行った。被験者を人工重力負荷+下肢エルゴメータ運動負荷装置上に仰臥位姿勢をとらせシートベルトで固定する。10 分間の安静後、人工重力負荷のみを開始し、1 分後に心臓レベルでの重力負荷が 1.0G になるように回転数を漸増させた。10 分間の人工重力負荷を完遂した際には、被験者の同意が得られれば、5 分毎に 0.2G ずつ 2.0G まで重力負荷を増加させた。

4. 結果

① 耐 G 試験

6 名の被験者の内、1 名（対抗措置群）が発熱のため途中でリタイアしたため、対抗措置群 2 名、対照群 3 名について比較・検討した。3 名の対照群（破線）では、いずれの被験者においても 10 日間の -6° HDBR 後に耐 G スコアが低下し、起立耐性の低下が認めら

れた。他方、2 名の対抗措置群（実線）では、 -6° HDBR 後に耐 G スコアが増加したことから、連日の G+Ex 負荷により、起立耐性の低下が防止出来ることが明らかとなった（図 4）。

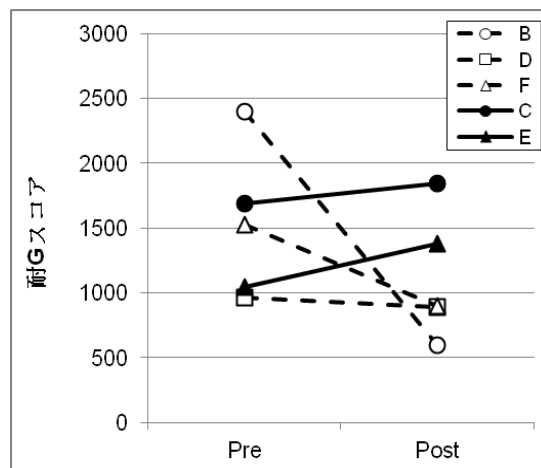


Fig.4 Comparison of anti-G score as an indicator of orthostatic intolerance after -6° HDBR for 10 days.

② 骨代謝デコンディショニングに及ぼす効果

-6° HDBR 実験前後の骨代謝に関わる各マーカーを図 5 に示した。骨形成マーカーであるオステオカルシンは、対照群（黒線）では 10 日間の -6° HDBR 後に低下し、骨強度の低下が認められたのに対し、対抗措置群（赤線）ではやや上昇したことから、G+Ex 負荷により骨強度の低下が抑制されることが明らかとなった。しかしながら、その他の骨形成マーカーである I 型プロコラーゲン-N-プロペプチド (P1NP) および骨型アルカリフォスファターゼ (BAP) には対抗措置群と対照群との間に差は認められなかった。また、骨吸収マーカーである骨型酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ (TRACP-5b)、デオキシピリジノリン (DPD) および I 型コラーゲン架橋 N-テロペプチド (NTX) についても、対照群と対抗措置群との間に差が認められなかった。よって、今回の対抗措置により骨代謝デコン

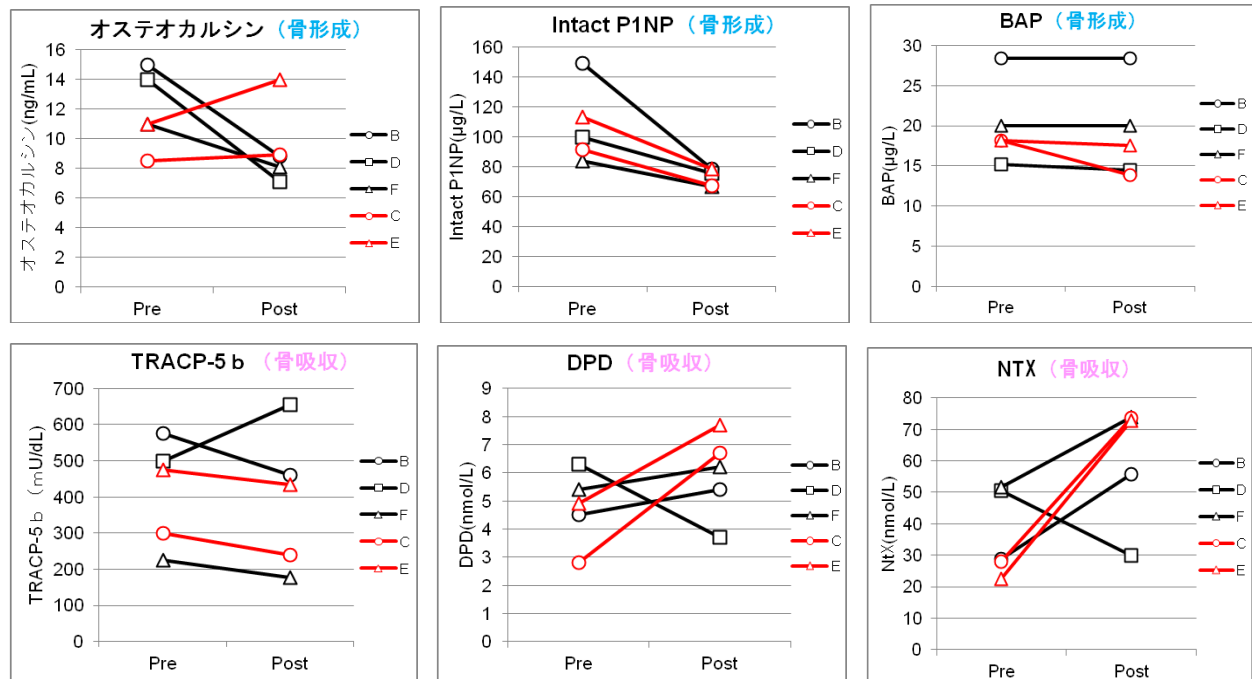


Fig.5 Comparison of bone metabolism marker after -6°HDBR for 10 days.

ディショニングが完全に予防できたとは考えにくい。これらについては、今回の対抗措置で用いた G+Ex 負荷強度が、装置の性能上 1.4G と 60W と低かったことから、骨代謝デコンディショニングを予防するには強度が不十分であったのかもしれない。また、エルゴメータ運動以外にも、プッシュプルのような踵骨や椎骨に強い衝撃を加える運動方式が必要であるかもしれない。

参考文献

- 1) 西村直記、岩瀬敏、菅屋潤壹ら：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 et. al.: 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、塩沢友規ら：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.
- 4) 西村直記、岩瀬敏、菅屋潤壹ら：ISSで使用可能な人工重力+運動負荷装置の開発－AGREE プロジェクト－. *Space Utiliz Res.*,28 : 143-146, 2012.