

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

西村直記¹、岩瀬敏¹、菅屋潤壹¹、清水祐樹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、塩沢友規⁷
1: 愛知医大・医・生理2、2: 浜松大、3: 愛知医大・看・成人・在宅看護、4: 聖クリストファー看護大・看、5: 名古屋大・総合保健体育科学センター、6: 日本大・医・社会医学、7: 青山学院大

Effectiveness of artificial gravity and ergometric exercise as a countermeasure against cardiovascular deconditioning induced by simulated microgravity exposure.

Naoki Nishimura¹, Satoshi Iwase¹, Junichi Sugeno¹, Yuuki Shimizu¹, Masumi Takada¹, Hiroki Sakurai², Yoko Inukai¹, Maki Sato¹, Dominika Kanikowska¹, Satomi Suzuki³, Yoriko Watanabe⁴, Koji Ishida⁵, Hiroshi Akima⁵, Keisho Katayama⁵, Kaname Hirayanagi⁶, Tomoki Shiozawa⁷

¹Dept Physiol, Aichi Med Univ, ²Hamamatsu Univ, ³Sch Nurs, Aichi Med Univ, ⁴Sch Nurs, Seirei Christopher Univ, ⁵Research Center of Health, Physical Fitness, and Sports, Nagoya Univ, ⁶Dept Hygiene, Nihon Univ Sch Med, ⁷Aoyama Gakuin Univ

Abstract: We examined that effectiveness of combined artificial gravity and ergometer exercise on cardiovascular deconditioning induced by head-down bed rest (HDBR). In control group, muscle sympathetic nerve activity (MSNA) is increased in after HDBR but no change in countermeasure group. Blood pressure in control group has decreased as the angle of gradient increases. Simulated microgravity-induced decrease in Anti-G score was prevented by countermeasure of everyday. In conclusion, cardiovascular deconditioning induced by simulated microgravity exposure using HDBR was prevented by combined artificial gravity and ergometer exercise of everyday.

Key words: artificial gravity, ergometer exercise, cardiovascular deconditioning

1. はじめに

我々は、これまで宇宙飛行のような微小重力曝露により生じる「宇宙デコンディショニング」の対抗措置として、人工重力負荷と運動負荷の組み合わせが、有用であるか否かについて検討してきた。

昨年度（第24回）の宇宙利用シンポジウムにおいて、20日間の -6° ヘッドダウンベッドレスト実験中に連日の対抗措置（30分/日、20日間）を行なった群では、ベッドレスト後の起立耐性低下を抑制することができたが、隔日の対抗措置群（30分/日、13日間）では、完全に起立耐性低下を抑制することができないことを報告した。今回、連日もしくは隔日の対抗措置が、20日間の -6° ヘッドダウンベッドレスト後の心機能パラメータを含めた心循環系デコンディショニングに対して有用であるか否かについて検討した。

2. 実験方法

実験は2006年と2007年に行なった。2006年は

健康成人男性12名（年齢： 24.0 ± 5.0 歳、身長： 168.7 ± 3.6 cm、体重 64.7 ± 10.7 kg）の内、6名の被験者に連日（30分/日、20日間）の人工重力負荷および運動負荷を行わせ、残りの6名を対照群（ -6° ヘッドダウンベッドレストのみ）とした。2007年は健康成人男性8名（年齢： 27.8 ± 3.9 歳、身長： 167.9 ± 4.4 cm、体重 65.1 ± 8.2 kg）の内、4名の被験者に隔日（30分/日、13日間）の人工重力負荷および運動負荷を行わせ、残りの4名を対照群（ -6° ヘッドダウンベッドレストのみ）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。

20日間の -6° ヘッドダウンベッドレスト中、すべての被験者は食事、排尿および排便などのすべての日常生活を、頭部を -6° 下げた状態にセットしたベッド上で行わせた。また、テレビ・ビデオ鑑賞、

読書、携帯型ゲームなどは自由に行わせ、被験者のストレス緩和に努めた。1日の食事摂取量は2300kcalとし、水分摂取量は、脱水を回避させるために前日の尿量と同量を摂取させた。

対抗措置は、棒状回転体（直径4m）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を具備した装置を用い、人工重力負荷と運動負荷を行なった。ベッドレスト初日の人工重力負荷は1.0G、運動負荷は60Wとし、被験者の同意が得られれば0.2Gもしくは15Wづつ負荷を増加させた。

ベッドレスト前後に超音波診断装置を用いた心容積および心拍出量測定、耐G試験およびティルト試験を行った。耐G試験は、1Gでの人工重力負荷を10分間行なった後、5分毎に0.2Gづつ重力負荷を増加させ、被験者が中止を訴えるまでの積算時間から耐Gスコアを算出した。ティルト試験はティルトベッド上にて仰臥位で15分間の安静後、ベッドを $-6^{\circ} \rightarrow 0^{\circ} \rightarrow 30^{\circ} \rightarrow 60^{\circ}$ の順に傾斜させた。各ステージともそれぞれ15分間保持させ、最後まで完遂した場合はnon-fainter、途中で中止した場合にはfainterとした。この際、血圧、胸部誘導心電図および被験者の膝窩部の脛骨神経から筋交感神経活動を連続記録した。起立耐性の評価方法は、①15分の 60° ティルトに耐えられるかどうか、② 60° ティルトに何分耐えられるか、③耐G試験でスコアを何点得られるかの3通りの評価方法を採用した。

3. 結果および考察

20日間のベッドレスト前後のティルト試験時の筋交感神経活動の変化を図1に示した。対抗措置群では、連日および隔日のいずれにおいても、ベッドの傾斜角度の上昇に伴い筋交感神経活動の増加がみられ、ベッドレスト前後の筋交感神経活動の変化に差は認められなかった。他方、対照群では、筋交感神経活動がベッドレスト前に比してベッドレスト後で増加傾向にあり、特に2007年では、 0° での筋交感神経活動がベッドレスト前(12.2 ± 5.4 beats/min)に比してベッドレスト後(29.6 ± 10.1 beats/min)で顕著に増加したが、その後の体位の変化（傾斜の増加）に伴う増加は認められなかった。

対照群では筋交感神経活動がベッドレスト後で増加しているにもかかわらず、傾斜の増加に伴い血圧が低下する傾向が認められた（図2）。これは、対照群では筋交感神経活動の賦活化に対する血管の反応性（収縮機能）が低下しているものと推察さ

れる。実際、2007年では対照群の内の2名がfainterとなった。

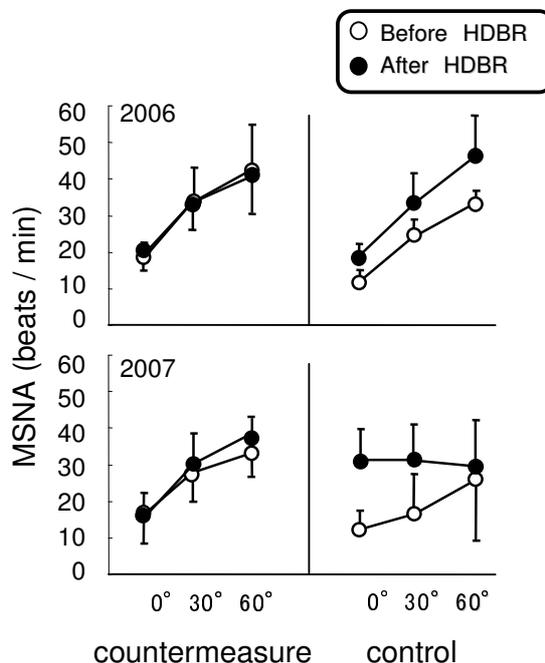


Fig.1 Change in MSNA burst rate during head-up tilt.test.

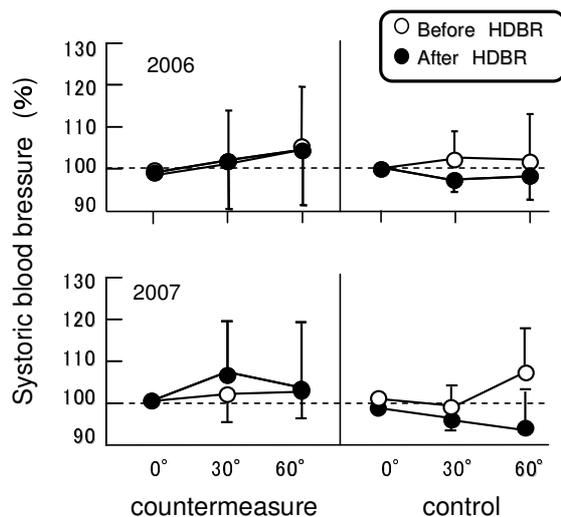


Fig.2 Change in Systolic blood pressure during head-up tilt.

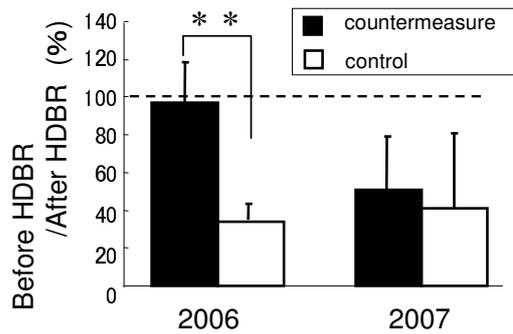


Fig.3 Change in Anti-G score.

図3に20日間のベッドレスト前後の耐Gスコアの変化を示した。連日の対抗措置群では、ベッドレスト前後の耐Gスコアにほとんど変化が認められず ($96.7 \pm 21.7\%$)、故に起立耐性低下を抑制することができたが、隔日の対抗措置群のベッドレスト前後の耐Gスコアは ($50.6 \pm 29.7\%$) と対照群と同様に耐Gスコアの低下を認めた。

心容積は、対抗措置群および対照群のいずれにおいてもベッドレスト前後で有意な変化は認められなかった。また、心拍出量および一回拍出量は、対抗措置群ではベッドレスト前後で有意な変化がみられなかったが、対照群ではベッドレスト後に低下する傾向にあった。

以上の結果から、模擬微小重力曝露による心循環系デコンディショニングを防止するためには、連日の人工重力負荷と運動負荷が必要であると考えられる。