

総 説

宇宙医学のミニレビューと宇宙酔い

武田 憲 昭

徳島大学医学部感知情報医学講座耳鼻咽喉科学分野

(平成14年8月28日受付)

(平成14年9月2日受理)

はじめに

宇宙飛行士が宇宙環境にさらされた場合、生体には様々な変化が生じる(図1)。早期の変化として、前庭(平衡)系の反応としての宇宙酔いが発症し、体液の頭部への移動により循環系に変化が生じ、身体が浮かび上がることで筋肉が萎縮する。さらに長期にわたり無重力に曝露されると、カルシウムの骨からの持続的な喪失や被曝が問題となってくる^{1,3)}。

宇宙酔い

有人宇宙飛行の最初の3日目までの最大の問題点は宇宙酔い(space sickness)である。宇宙酔いは公式には宇宙適応症候群(space adaptation syndrome)と呼ばれる。宇宙酔いは、1961年にソ連のチトフ飛行士がガガーリンに次いでヴォストーク2号で宇宙飛行を行った際に初めて報告された。その後の宇宙船の大型化に伴い宇宙酔いの頻度は増加し、最近のアメリカのスペースシャトル計画では、宇宙飛行士の約75%が宇宙酔いに罹患し、約30%が嘔吐をすると報告されている(図2)⁴⁾。

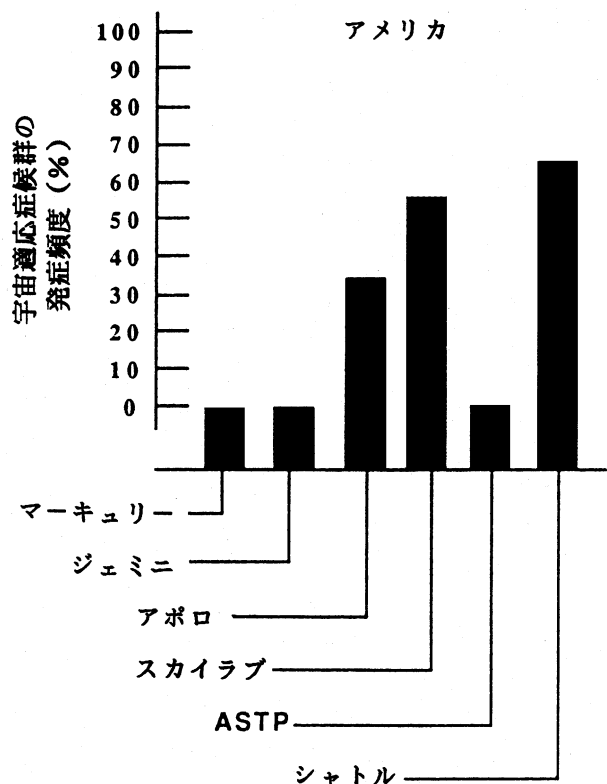


図2 アメリカの有人宇宙計画における宇宙適応症候群の発症頻度(文献7より改変)
ASTP: Apollo/ Soyuz Test Project

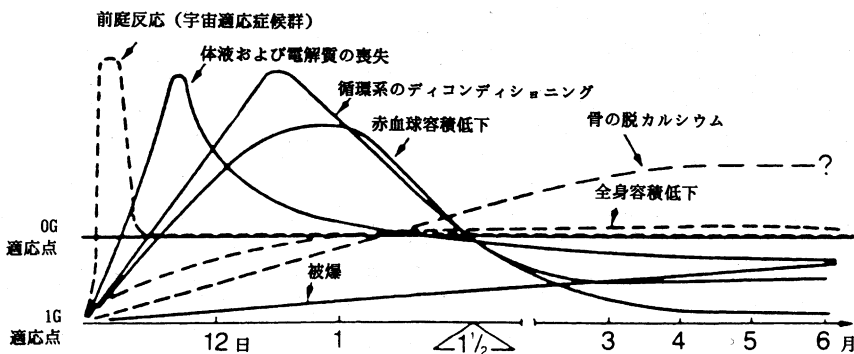


図1 無重力への生体の適応過程(文献1より改変)

宇宙酔いは動揺病（乗り物酔い）と共通の発症メカニズムを持つ。我々の脳は、内耳にある半規管からの角加速度情報、耳石器からの直線加速度情報に加え、視覚情報や深部知覚情報により、空間における自己の位置や運動を認知している（空間識, spatial orientation）。無重力では内耳の耳石器からの重力情報がなくなり、身体が浮かび上がるため視覚情報は上下が混乱し、深部知覚情報も減少する。その結果、脳の空間識が障害され、動揺病、すなわち宇宙酔いが発症すると考えられている⁵⁾。

ところが、無重力環境に長時間曝露されると、空間識に関する中枢神経系のプログラムが更新され、無重力に適応するようになる。このため、宇宙酔いの症状は軌道投入後、2日目にピークを迎え、3～4日目までには消失し、1週間を過ぎると宇宙酔いは全く発症しなくなる。

宇宙酔いの発症には個人差が大きい。しかし、地上のいかなる検査でも宇宙酔いの発症を予測できない。また、地上におけるトレーニングは、宇宙酔いの予防には無効である。動揺病の予防や治療のためには抗動揺病薬が用いられる。現在、NASAの宇宙酔いに対する第1選択薬はH₁ブロッカーの promethazine である。

私は動物モデルを用いて宇宙酔いの発症の神経メカニズムについて研究し、宇宙酔いの発症には脳内のヒスタミン神経系とヒスタミン H₁ 受容体が重要な働きを担っていることを明らかにしてきた。すなわち、重力変化は内耳で受容され、中枢神経内で空間識が障害されると、その情報をコードするシグナルが視床下部のヒスタミン・ニューロンを興奮させる。その興奮がヒスタミン・ニューロンの下行性の軸索を伝わり、H₁ 受容体を介して脳幹にある嘔吐中枢を刺激し、宇宙酔いが発症する⁶⁾。

循環系のディコンディショニング

無重力環境下では頭部方向への体液の移動が起こり、顔面の浮腫などが生じる(図3)。その後利尿が起こり、1週間の宇宙滞在で1.0～2.0リットルの体液が失われる。また、無重力ではNa⁺やK⁺の喪失が起こる。アポロ15号では低カリウム血症によると思われる不整脈が発症し、以後の宇宙飛行では、宇宙食のK⁺濃度を高める処置が取られている。また、地上への帰還後には再び体液が下半身に集まるため、立ちくらみなどの起立耐性の低下が生じる。そのため、地球への帰還前には水とNa⁺を服用させ、体液を補充する対策が取られている。

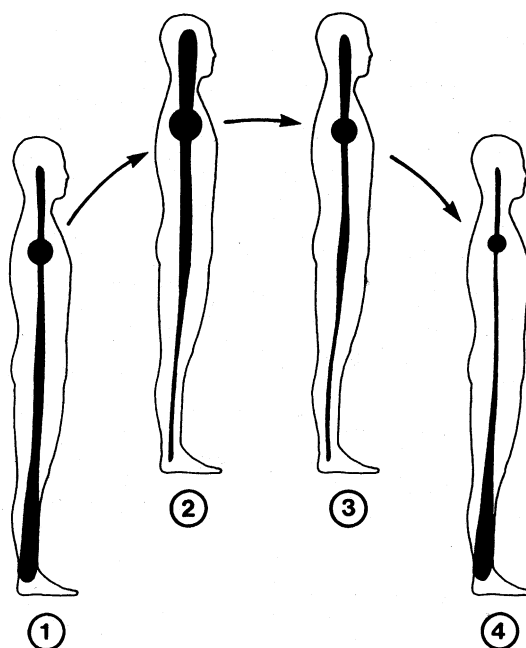


図3 宇宙飛行中の体液の移動（文献7より改変）
1：地上打ち上げ前，2：無重力早期，
3：無重力長期，4：地上帰還

筋萎縮

無重力環境では、抗重力筋を中心に廃用萎縮が生じ、宇宙飛行士の運動能力の低下が起こる。筋萎縮は、地上への帰還後の起立耐性の低下の大きな要因でもある。スカイラブのデータでは、筋力低下は上肢よりも下肢に、屈筋よりも伸筋に著しく、10～20%以上も低下する(図4)⁷⁾。適切な運動負荷によりこの筋萎縮は予防できるため、宇宙飛行士は宇宙での生活時間の約20%近くをトレーニングに費やしている。無重力における筋萎縮に関しては、本特集の二川先生の論文に詳しく解説されている。

骨の脱カルシウム

無重力環境では骨の脱カルシウムが起こり、高カルシウム血症と同時に尿中や便中にカルシウムが排泄される。スカイラブのデータでは便中のカルシウム喪失は約90日までの宇宙滞在では増加しつづけている(図5)⁷⁾。ミールのデータでは宇宙滞在が1年近くなるとカルシウム喪失は止まるが、トータルで10%近くのカルシウムが失われる。しかし、筋萎縮と異なり骨の脱カルシウムには運動による予防効果はなく、無重力での過度の運動

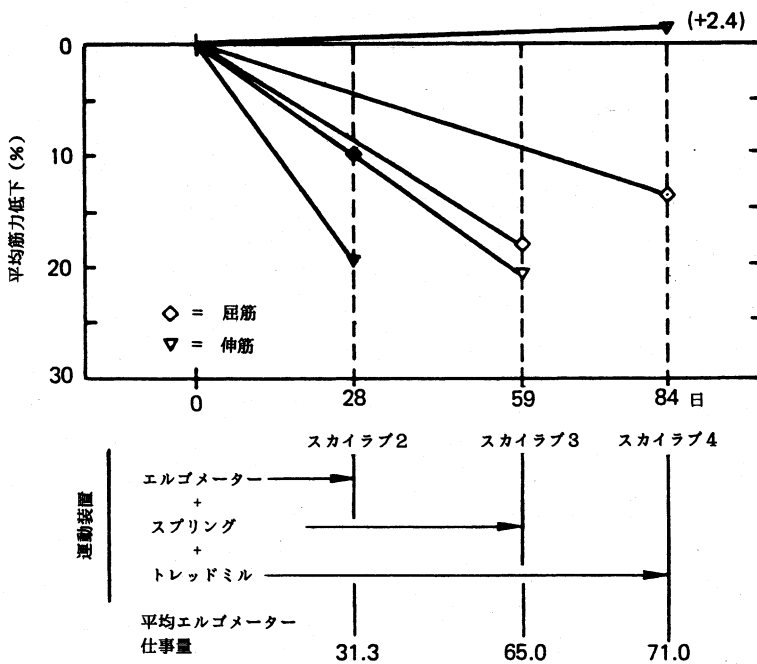


図4 スカイラブの宇宙飛行士の筋力低下と運動の効果 (文献7より改変)

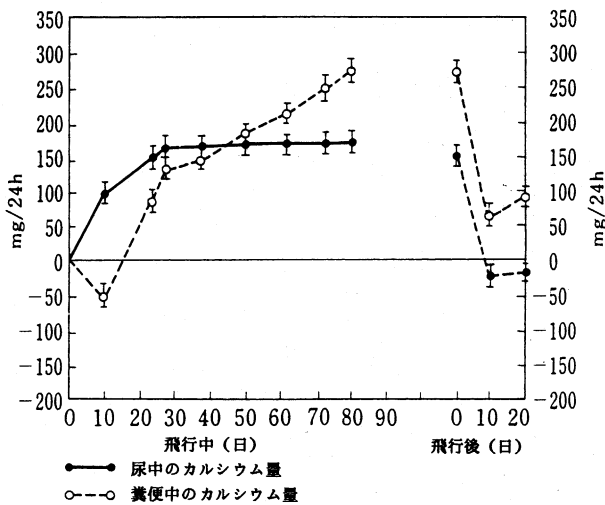


図5 スカイラブの宇宙飛行士の尿および便中のカルシウム喪失量 (文献7より改変)

により尿中のカルシウムがさらに増加することが報告されている。長期の宇宙滞在では、尿路結石や骨折の危険性が指摘されている。また、宇宙飛行士は、マニュアルにより飛行中の腕相撲は禁止されている。無重力における骨の脱カルシウムに関しては、本特集の井上先生の論文に詳しく解説されている。

免疫機能の低下

無重力環境ではリンパ球の機能が低下するなどの免疫機能が低下し、感染のみならず発癌の危険性が高まるとされている。この問題については、食事による予防も含めて本特集の山本先生の論文に詳しく解説されている。

被 曝

スペースシャトルが飛行する低高度軌道では、1週間の飛行による被曝料は1mGyと一般人の年間の被曝線量限度程度である。しかし、同じ低高度軌道であっても宇宙ステーションで長期間滞在する場合の年間の被曝量は、スカイラブのデータから200~300mGyと推定されており、原子力発電所などの職業人の年間被曝量限度50mGyを大きく上回る(表1)⁸⁾。さらに、宇宙放射線の被曝は、地上より発癌の危険性が高い可能性が指摘されている。しかし、宇宙飛行士に最も重要な影響を及ぼす放射線は、高エネルギープロトンである太陽風である。ミールでは1回の太陽フレアで約40mGyの被曝が記録されている。現在の宇宙ステーションの宇宙放射線に対する防御は弱く、今後の長期の宇宙滞在では大きな問題である⁹⁾。

表1 有人宇宙飛行による被曝線量(文献9より改変)

ミッション	1回あたりの線量 (mGy)	年あたりの線量 (mGy)	時間	高度 km
ジェミニ4号	0.45	40.2	97 h	269
アポロ12号	4.8	208.1	245 h	LOF
14号	11.4	463.6	216 h	LOF
16号	5.1	167.9	266 h	LOF
スカイラブ2号	16.0	208.1	28 d	435
4号	77.4	313.9	90 d	435
スペースシャトル				
STS 3	0.53	23.7	194 h	240
STS 9	1.03	37.6	240 h	241

LOF : lunar orbital flight

おわりに

宇宙医学は、宇宙環境という人類が新しく手に入れた研究の場を生命現象の解明のために利用することが目的である。徳島大学での宇宙医学の研究が、将来の医療に応用されることを期待したい。

文 献

- 1) Lathers, C.M., Charles J.B., Bungo, M.W.: Pharmacology in space. TIPS, 10 : 193-200, 1989
- 2) Nicogossian, A.E., Huntoon, C.L., Pool, S.L.: Space Physiology and Medicine. 3rd ed. Lea & Fibiger Philadelphia, 1994
- 3) 武田憲昭, 久保 武: 宇宙医学 [II] 無重力における生理学. ブレインサイエンス 4 : 489-492, 1993
- 4) 武田憲昭, 久保 武: 宇宙医学 [I] 宇宙適応症候群. ブレインサイエンス 4 : 356-361, 1993
- 5) 武田憲昭, 松永 亨: 動揺病と宇宙酔い. 耳鼻臨床 81 : 1095-1120, 1988
- 6) Takeda, N., Morita, M., Horii, A., Nishiike, S., *et al.*: Neural mechanisms of motion sickness. J. Med. Invest., 48 : 44-59, 2001
- 7) Johnston, R.S., Dietlin, L.F.: Biomedical results from Skylab. National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C., 1977
- 8) Benton, E.V., Almasi, J., Cassou, R., *et al.*: Radiation measurements aboard Spacelab 1. Science, 225 : 224-226, 1984
- 9) 野村大成: 宇宙旅行とがん. 日本医事新報 3397 : 128-129, 1989

Space sickness and space medicine

Noriaki Takeda

Department of Sensory Neuroscience, Course of Otolaryngology and Communicative Neuroscience, The University of Tokushima School of Medicine, Tokushima, Japan

SUMMARY

In this review, physiological responses to space flight are summarized. Soon after orbital insertion, space motion sickness occurs during the first few days on orbit. The loss of body fluids is then followed by the shift of body fluids toward the head. During longer space flight, muscle atrophy, calcium loss and possible effects from cumulative radiation appear to increase continually.

Key words : space medicine, space sickness, physiological response to space flight