

● 綜 説

宇宙へ進出する医学

関口千春*

21世紀へ残すところ10数年という時代を迎え、アメリカ・ソ連に代表される有人宇宙飛行の歴史は四半世紀を過ぎ、現在アメリカは再度使用可能なスペースシャトルによる宇宙飛行に、そしてソ連では宇宙ステーション・ミールを用いて長期宇宙滞在を更新するというそれぞれ独自の宇宙飛行を行っている。その間、宇宙を飛行した人の数も170人ほどになっている。このように人間の活動の場が地球上のみならず宇宙へと着実に進出し始めている。人間の活動の場の拡大にともない人間の健康や生命の安定を預かる医学の分野もこれにともない進出して行かなければならない。宇宙へ人間が進出し始めたとはいうものの、宇宙環境は表1に示されるように地球上とは異なった種々の過酷な環境である。この環境への適応は生物にとって地球上の生命の発生・進化の過程における生命の営みの場が海中から陸上へ変遷していった場合に例えることができるかもしれない。すなわち人間は地球環境から宇宙環境へ適応する時期を迎えていると言ってもいいのであろう。しかし人間がいかに環境に適応しやすい生物であろうと、ほぼ完全な真空状態でしかも無重量状態へはますます適応することは不可能である。これらのうち真空状態に対しては現在地球相当のガス環境を人工的に作り生存している。しかし、その他の無重量状態や放射線環境などは十分に地球上と同様の環境を作ることができず、可能な限り防御するという方向で対処されている。今回はこれまでの有人宇宙飛行から得られた主要な無重量状態の生体への影響、放射線の問題、船外活動そして宇宙船内での医療などをとりあげ述べる。

キーワード：宇宙医学，無重量状態，放射線，船外活動，医療

Medicine expanding into space

Chiharu Sekiguchi, M.D. National Space Development Agency of Japan.

At present, there are approximately 170 astronauts and cosmonauts who have an experience of space flight. USA is conducting space flight by using a reusable space shuttle and USSR, space flight focusing to long duration flight by using a space station Mir.

The Working and living space of human being is not only on earth but also certainly begins to advance into space. With this expansion into space, medical science which assures health and well-being also has to advance into space. Human beings, however, is not able to survive in space without a peculiar protective environment because space is vacuum, weightless, and extreme temperature environment. It will be almost im-

possible to adapt quickly to this environment even if human being is able to adapt easily to many different earth environment. One of the biggest problems to threaten our life is vacuum in space. We settle this problem by making an artificial gas environment as same as earth. However, we cannot sufficiently control weightlessness and radiation at this time. Therefore, we have to understand the effect of these environment to human body to deal with these problems. In this review, main effects to human body due to weightlessness and radiation, medical consideration of extravehicular activity, and clinical medicine in space are discussed.

Keywords :

Space Medicine
Weightlessness
Radiation
Extravehicular activity
Medical Care.

*宇宙開発事業団

表1 宇宙環境の特殊性

1、無重量状態（実際には 10^{-4} から 10^{-6} の微小重力状態）
2、ほぼ完全な真空状態（高度300km前後で約 10^{-6} mmHg）
3、放射線 バンアレン帯（地球磁場捕捉放射線帯） 太陽風（陽子線など） 銀河宇宙線（重粒子線など）
4、強い太陽光
5、宇宙塵
6、閉鎖隔離状態

1. 無重量状態の生体への影響

宇宙飛行によるもっとも顕著な変化はこの無重量状態による生体への影響である。無重量状態は生体内の体液の分布を変え、位置感覚を混乱させそして長期間このような状態下に暴露されると筋肉や骨代謝に影響を及ぼしてくる。現在までの研究ではこのような生理的变化は骨代謝への変化を除いて生体はある程度適応し、しかも短期間の宇宙飛行ではパフォーマンスに影響することなく機能することができると信じられている。

1) 循環器系

地球重力下では生体には常に1Gの力が加わっており、人間が起立した状態では静水圧により図1の①の様に下肢の方に多くの血液が貯留している。しかし無重量状態に暴露されると重力による静水圧が消失し、その結果体液は均等に分布しようとし、さらに下肢筋のポンプ作用も加担して体液は図1の②に示されるように上半身に多く集まってくる。顔面はいつも朝の起床時のように腫れぼたくなり、下肢はその体積が減少し鳥の脚のように細くなる。心房などの低圧系に存在する容量受容器は血漿量が増したと判断するため、下垂体を介してADHが抑制され排尿が促進し血漿量は減少する。このような状態が図1の③である。心臓は重力に抗して働く必要がなくなり、動脈圧は低下し心拍出量も低下する。飛行中に測定された超音波心臓断層撮影にても一回拍出量の低下と心の大きさの縮小が示されている^{1)~3)}。このような変化はOG暴露後3~4日で起こりその後循環器系は適応し、宇宙に滞在する限り、特にこれといった症状は示さない。しかし宇宙飛行士が宇宙から帰還すると血漿量が不足しているのに加えて、図1の④に示されるように1Gの重力によってその血液が下腹部から下方に再び引っ張られ

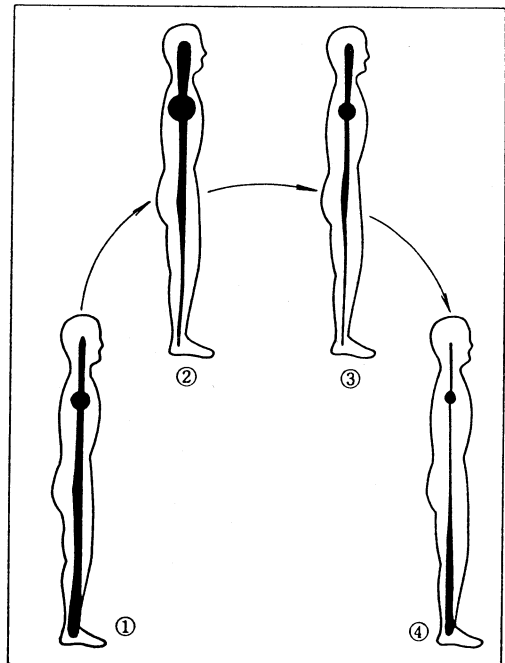


図1 宇宙飛行による血液分布の変化

①は地上での正常な分布で下肢に貯留が多い。②は宇宙飛行の初期。③は宇宙飛行後期で順応した状態。④は地上に帰還した直後で極端に下肢に貯留し脳貧血を起こす。

る。そのため心臓は必要な血液量を押し出すことができず、脳に十分な量の血液を送り出すことができなくなる。その結果、めまいや失神などの起立性低血圧症が起こると言われている。長期宇宙滞在を主眼に行っているソ連ではこれは大きな問題であり、帰還後数日間も宇宙飛行士はこれにより立つことができなかった例もあったと報告されている。

これらの症状を軽減させる対策法がいくつか現在用いられている。例えば再突入の2～3時間以内に食塩の錠剤9gと約1リットルの水を飲ませ血漿量を増加させる方法や下肢や下腹部を圧迫し下半身に血液が貯留するのを少しでも妨げようとする耐G服の着用である⁴⁾。ソ連ではこの他に飛行中毎日1～2時間運動をさせたり、帰還の1週間前より下半身に陰圧を1～2時間加え地上と少しでも同じ様な体液分布をつくり出すという訓練方法などもとられている⁵⁾。

2) 前庭迷路系—宇宙酔い—

通常、宇宙飛行士が軌道に突入すると約半数の人が乗り物酔いの症状を呈する。これが宇宙酔いである。これらは早い人でOG暴露後1時間くらいから始まり3～4日間散発的に発生するが、その後症状は軽快する⁶⁾。従って宇宙飛行士のパフォーマンスに直接影響を与えるため長期の飛行より短期の飛行の方がその問題は大きい。症状は通常の乗り物酔いと同じであり、頭重感、倦怠感、食欲不振から冷汗、嘔気、嘔吐までである。これらの症状は突然に出現しそして突然に消失するという宇宙酔いの特徴を示す。そして時には宇宙飛行士が自分の決められた業務を中断せざるを得ないほど一次的に症状が重くなることもある。この宇宙酔いの発生は、現在のところ予測できない。ある場合には、地上での誘発試験で症状を示した人が宇宙では症状を示さないこともあれば、その逆に、誘発試験で症状を示さなかった人が宇宙に出たら宇宙酔いになったという例もある。

宇宙酔いの原因としてはいくつかの仮説が提唱されている。その一つは体液シフト説で、無重量状態では体液の分布が変わるため内耳にある半器官や耳石器の内圧が増し、その結果、神経に伝えられる信号が変化することが原因であるとする説である。もう一つの説は、より真実に近いのではないかとされている考え方で、感覚混乱説といわれている。生体は、四つの感覚器官から自分の空間認識を行っている。それは眼(視覚情報)、半器官(角加速度情報)、耳石器(重力と直線加速度)、それに体感覚容器(圧情報)である。無重量状態では視覚を除いたこれらの感覚器からの情報は消失するかまたは誤って入力される。その結果、耳石器と半器官からの情報が衝突して混乱を起こす。さらに前庭迷路と視覚からの情報の間にも混

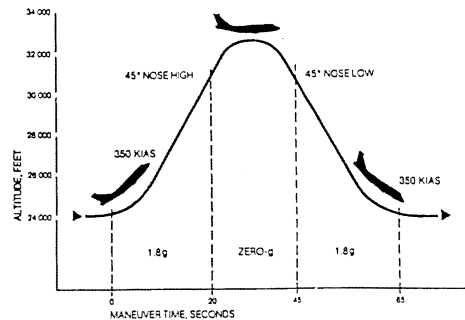
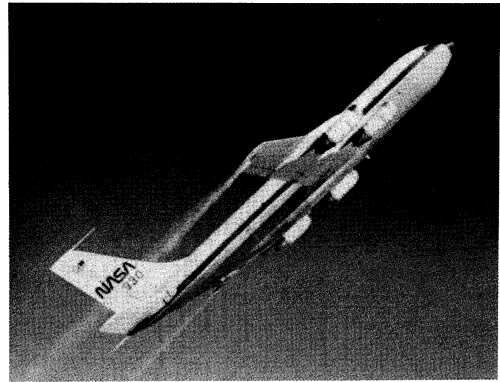


図2 KC-135と弾道飛行パターン

乱が起こる。これら受容器からの情報を受ける大脳は、本来1G環境(地表での重力状態)の下にある情報と解釈するために、無重量状態の下では、これらの器官からの情報は誤ったものとして解釈され、混乱が起きると考えられている。その他、耳石の左右非対称説等が提唱されているがこれも一種の感覚混乱説である。

現在のところ非常に宇宙酔いにかかり易い人を予め除外したり、副作用をとまわずに完全に予防したりする薬剤はない。NASAでは現在KC-135という大型のジェット機を使用した弾道飛行により短時間(25秒前後)のOGを作りだし無重量状態を予め体験したり(図2)、小型ジェット練習機によるアクロバット飛行などによって、予め前庭迷路系に異常な刺激を加えるなどの訓練法を用いている。予防薬としては通常スコポリンとデキセドリンの混合物が用いられており、初めて飛行する人および以前に飛行して宇宙酔いにかかった人にはこの薬剤が投与されている。しかしその効果については絶対的なものではなく保証で



図3 宇宙酔い防止のための頭部拘束装置

きないとされている。その他、ソ連では、この宇宙酔いは頭部を急激に動かすことによって誘発されることから図3のような頭部の拘束装置を考案して用いているといわれるが、その効能についての発表はない。

3) 血液学および免疫学

無重量状態の下では血漿量と赤血球量は減少する。この減少はこれまで多くのアメリカおよびソ連の飛行で記録されてきている。しかし、個人差はあるが飛行開始後約60日以降にはこの減少は停止し、そこからゆっくりと回復してくるようである⁷⁾⁸⁾。一方、赤血球の形態も変化する。通常、赤血球は円盤状であるが、刺を有した異形の細胞(図4)の割合が増加する。この異型変化は可逆的であり、これも宇宙滞在の約60日目から回復し始め、地上に帰還すると急速に正常の状態に戻る。これらのメカニズムについては未だに十分な解答が得られていないが、体液シフトから生ずる血漿量の減少が骨髄の機能を抑制し、その結果として赤血球生成の一次的抑制が引き起こされたためではないかと考えられている⁷⁾。一方、免疫系の変化については、これまでのシャトル飛行からの宇宙飛行士のリンパ球の分析からリンパ球の低下の報告⁹⁾や、ソ連の96日と140日のミッションに参加した飛

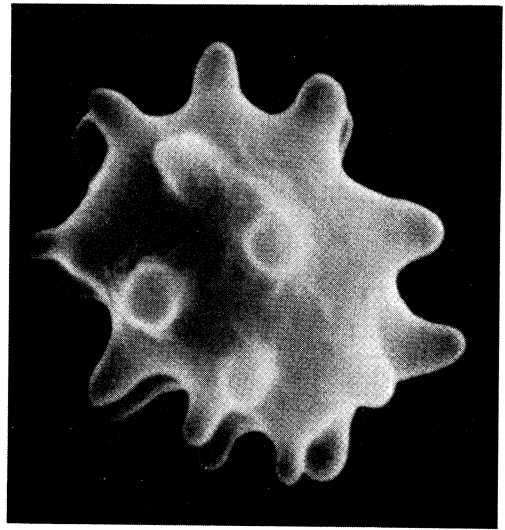


図4 棘状の異形赤血球

行士のリンパ球の核酸合成能は減少したと発表されている⁹⁾¹⁰⁾。これらの所見は長期の宇宙飛行ではT-細胞および細胞免疫型の機能に一過性の障害をとまなり可能性を示唆している。しかし、このような変化の臨床的有意性については明確ではない⁹⁾。これも長期の宇宙滞在をする上には解決しておかなければならない重要な問題である。

4) 筋肉系

人間や動物は、宇宙飛行によって骨格筋の萎縮を引き起こす。無重量状態のもとでは、重力に対抗する必要がなく、姿勢を保持する必要もないため下肢の筋肉は廃用性萎縮を始める。宇宙での最初の体重減少は体液喪失によるが、長期間の低下は筋肉量の減少による。スカイラブ飛行における飛行後の下肢筋力の測定によると、飛行前に比べ10~20%の低下を示していた¹¹⁾。また、下肢容量の測定においても低下を示していた¹⁰⁾¹²⁾。しかし帰還後数日から数週間まで飛行前の筋力に回復している。一方、ラットを用いた形態学的な筋肉の研究によると速筋の割合が増加していたという報告もある²⁾。

この筋力低下に対するこれまで知られている唯一の対策は、運動することである。飛行中、毎日運動を行うのである。通常、特殊なトレッドミルを用いた運動を行うが、このトレッドミルには重力刺激と似た刺激を加えるため弾力性のあるコー



図5 宇宙用トレッドミル

ドで体を下方に引っ張る装置がついている(図5)。その他、宇宙ステーションの時代には自転車エルゴメーター、ポートこぎ、そして地上のウエイトトレーニングに相当する運動器具が持ち込まれ、1日1.5~2時間の運動を宇宙飛行士はすることになるであろう。しかし活発な運動は明らかに筋の萎縮を軽減させるが停止させることはないと言われている。

5) 骨およびカルシウム代謝

骨格は地球重力下の1G環境に生体の構築を保持するため堅くしっかりとした組織でなければならない。しかし、OGではこのような必要性は低下し、その結果として骨の硬度を維持するためのカルシウムは骨から喪失することとなる。この骨からのカルシウム喪失は主に荷重負荷骨である下肢骨や脊柱骨から起こる。図6のスカイラブのデータに示されるように、尿中や便中のカルシウム量は増加し、特に後者は正常に戻ったり、あるいは一定値を保ったりすることなく飛行中増加し続けている。またこのカルシウムの喪失は、食餌中のカルシウム摂取によって影響されない。スカイラ

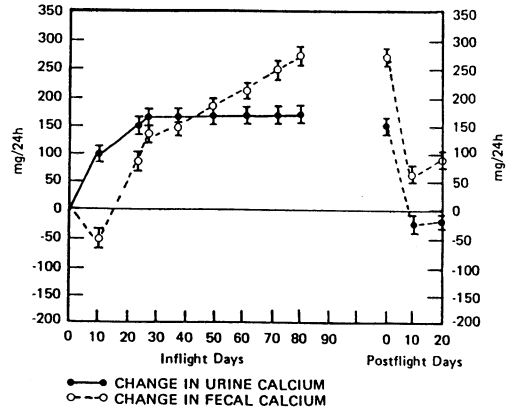


図6 スカイラブ乗員の尿および便中のカルシウム変化
(平均±標準偏差)(ランボーとジョンストン, 1979年)¹³⁾

ブ計画で得られたデータから予測すると、300gのカルシウム、すなわち総体内カルシウムの約25%が1年間の宇宙飛行で失われるといわれる¹³⁾。失われるカルシウムの多くは、骨梁、または力のかかる骨からのものであり、廃用性の、あるいはエストロゲン欠乏による骨粗鬆症の時の変化と同じである。理論的には骨折を起こし易くなるといえるし、また、運ばれたカルシウムは尿結石として尿路に沈着し、激しい痛みを引き起こすかもしれない。しかし、幸いなことに今日までそのような事実は発生していない。

この骨からのカルシウムの喪失は、一般に帰還後徐々に回復して行くが、しかし、飛行後3カ月以上経過した後も飛行前のレベルに回復しなかった例も報告されている。また、失われた骨梁の全てが、飛行後回復するかどうかは不明である。

このカルシウム喪失に対する対策としては、飛行前の高カルシウム食、荷重負荷骨への負荷の増加、さらにビタミンDやEHDP等のいくつかの薬剤が検討されている¹⁴⁾。将来計画されている長期の飛行にとって、このカルシウム喪失はさらに重要な問題となるであろう。もしよい方法が見いだされない場合、カルシウム喪失は有人宇宙飛行にとって重大な制限要素となるかも知れない。

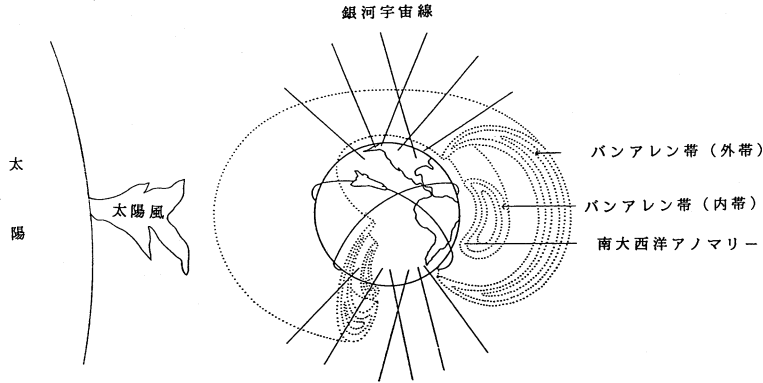


図7 宇宙放射線

2. 宇宙放射線の問題

宇宙放射線には、図7に示されるように一般に3つのタイプがある。それは銀河宇宙線、磁場捕捉放射線(バンアレン帯)、そして太陽風からの放射線である。地表ではこれら放射線のほとんどは、大気や磁場などにより捕らえられてしまうため生物にとってほとんど問題とならないが、大気圏外ではそれが低高度の軌道であっても宇宙船やその中にいる人は影響を受ける可能性がある。宇宙放射線は陽子、電子、 α 粒子等の軽粒子と炭素以上の質量を持つ重粒子からなり、すべて高エネルギーで、事実上防ぐことができない。

バンアレン帯という磁氣的に捕捉された放射線帯(陽子と電子など)は、宇宙船が繰り返しこの中を飛行するのでなければほとんど考慮しなくてよい。多くの宇宙飛行はこの高度以下を飛行しているため、むしろこのバンアレン帯によって保護されているとさえいえるかもしれない。なぜならば、太陽風などからくる陽子や電子線はこのバンアレン帯を形成している地球磁気圏によって遮られるからである。しかし、アフリカと南アメリカの間の南半球に南大西洋アノマリーという地域があり、そこではこのバンアレン帯の内帯が地表に向かって落ち込んでいる。宇宙船が高度240Km、軌道傾斜角28度の飛行を行った場合、この放射線の強い領域を1日数時間は通過することとなる。このような時にはより放射線被曝を受けやすい船外活動と呼ばれる宇宙遊泳は行われな

い。また、バンアレン帯は極地近くで地表にさらに落ち込んでいるため、宇宙船の軌道傾斜角が増すと放射線被曝量は多くなる。さらに極地域ではバンアレン帯による遮蔽がないため、宇宙船が両極地を通過する極軌道では、乗員はこれら3つの放射線からより多くの線量を被曝することになる。

太陽放射線は、おもに高エネルギー陽子からなるが、宇宙飛行では特に考慮しなければならない問題である。予測できない短時間の間に、宇宙船やその乗員はこの太陽放射線の攻撃にさらされる可能性があり、特に突然発生する太陽フレアは船外活動の宇宙飛行士に致死量の線量を浴びせる恐れがある。幸いなことにこれまでほとんどすべての飛行は太陽活動の小康状態と時期が一致していた。

放射線は通過する細胞内の原子にそのエネルギーを移行し、それらをイオン化し、おそらく細胞を破壊することによって生物学的障害を起こす。高エネルギー重粒子(HZE)はその影響が十分解明されていないため特に興味深い。それらは非常に高いエネルギーを持ち、通過した組織の経路に障害を残す。線エネルギー付与(LET)あるいは単位距離当りの吸収エネルギー量で表される生物学的影響は、単にレム(rem)またはラド(rad)でははかることができない。

成長分裂している組織は、放射線の影響には最も敏感である。すなわち、リンパ様組織、性腺、それに骨髄とか消化管粘膜は非常に影響を受けや

表2 宇宙飛行士の宇宙放射線被曝限度 (単位 rem)

条 件	本質的危険	付 随 的 危 険			
	組織内 5cm の深さ	骨髄 5cm	皮膚 0.1mm	水晶体 3mm	生殖器 3cm
1年平均					
1日当線量		0.2	0.6	0.3	0.1
30日最大		25	75	37	13
四半期最大		34	105	52	18
年最大		75	225	112	38
生涯限度	400	400	1200	600	200

(米国立科学アカデミー・放射線生物学諮問パネルから、1970年)¹⁵⁾

すい。その他の臓器については一般に感受性が低い、眼の水晶体だけは別であり、白内障を起こす危険がある。このように放射線による急性変化はよく知られているが、長期の影響、例えば発癌や遺伝的影響などは未だ十分解明されておらず、今後これらの研究はさらに必要である。

放射線被曝量は他のすべての職業同様に宇宙飛行士においても表2に示されるように定められている¹⁵⁾。このようにもし一カ月あるいは三カ月の単位でその限界に到達した場合、宇宙飛行士は1年間の被曝量を越えないよう一時的に制限される。生涯の限界量を越えたときは、その後の宇宙飛行を禁止されることになるだろう。今日までアメリカの宇宙飛行士は誰もこの限界量に達していない。最大被曝量は84日間飛行したスカイラブ4号の時の7.8radであった¹⁶⁾が、毎年これだけの量を50年間繰り返さなければ生涯限界量には達しない。スペースシャトルの乗員の被曝量は通常25~250mradの範囲であるが、558mradに達した乗員もいる。これはもちろん、高度、傾斜角、その滞在時間と船外活動の程度によって異なるが、最も高い被曝量を記録したのは飛行中に船外活動を行った宇宙飛行士である。

放射線対策法としては、防護装置を取り付けることと、安全な軌道に戻って飛行することがあげられる。しかし、防護装置を増加させると重量が増し、運搬能力が減少する。さらに2次放射線の量を増加させる結果になる。また軌道を変えることによって、宇宙船の帰還に問題が生ずることもある。船内に個人用のシェルターを設ける方法は1つの解決法かも知れない。多くの化学物質が放射線予防薬として試験されているが、今日まで効果的なものは見いだされていない。

3. 船外活動

船外活動は、これまでの有人宇宙飛行において非常に重要な作業の一つであることが証明されている。最初のスカイラブ飛行においても、この宇宙船の外での作業が、スカイラブを救ったのであった。船外活動によって故障した太陽電池板を人為的に開き、電力供給を回復することができたし、また太陽遮蔽板の機能故障によって起こった内部温度の異常な上昇も、この船外活動によって新しい太陽遮蔽板を取り付けることで内部温度を正常化することができ、その結果、宇宙船内の居住性を維持することができたのである。最近のスペースシャトルの飛行では、乗員は船外活動により故障した科学衛星を回収し、修理して再び軌道に戻している。さらに2つの人工衛星を回収してそれらを地球に持ち帰るという作業も行っている。

船外活動を行う宇宙飛行士はいくつかの危険や問題に直面している。それは微小隕石による衝突の危険、放射線被曝の増大、比較的激しい作業によるエネルギー消費、それに現在最も重要視されているのは減圧症の問題である。

宇宙飛行士は柔軟性に乏しい宇宙服を着ている上に、無重量状態の中でシャトルから離れないようにと常に努力しているため、そのエネルギー消費は予想外に大きい。その代謝率は、通常の作業では180~250kcal/hrであり、その最大時には500kcal/hr以上にもなるといわれる。このようなエネルギー消費で長い時には7時間以上におよぶ作業を宇宙飛行士は行うこともある。ちなみに、体重60kgの人が時速15kmでサイクリングした場合が約440kcal/hrといわれるため、いかに船外活動が長時間エネルギー消費が大きい作業かわかる。

放射線被曝については先に述べたためここでは詳細には記さないが、宇宙服は宇宙船の厚いアルミの壁とは異なりその放射線防御能はかなり低下している。そのため船外活動は南大西洋アノマリーを通過中は行わないことになっている。また将来の船外活動においては突然の太陽風の激しくなる時を予想してシェルターなども考慮しておかなければいけないであろう。

減圧症は、スペースシャトルの船外活動において最も考慮しなければならない問題である。スペースシャトルでは船内の1ATA（窒素80%，酸素20%）から宇宙服圧の0.29ATA（220Torrの純酸素環境）へ移行しなければならないが、このように生体が高圧環境から低圧環境へ急速に移行するときに減圧症が起こる。体内組織にはかなり多くの窒素が溶解しており、1ATAで平衡状態となっている。そこで圧が急に降下すると、より低くなった圧と組織内の気体の分圧との差は、体内の気体を膨張させ、体液中で気泡化させる。最もよくみられる状態はベンズといわれ、これは窒素の気泡が筋肉や関節周囲の小さな静脈や毛細管に捕捉されて、疼痛を引き起こすものである。最も重症の場合が、中枢神経系の栓塞と梗塞である。発生した気泡は静脈から肺内の動脈循環に入り脳または脊髄の動脈で血流を遮断し、新鮮な血液がこれらの細胞へ行くのを妨げてしまい、麻痺や意識障害等を起こす。また、この気泡による栓塞が皮膚、肺、または骨で起きた場合も症状は発生する。これまで軽いベンズ症状を呈したことがあった¹⁷⁾が、幸いなことに重症例の報告もなく、シャトル飛行になってからはいまだに1例の報告もない。この減圧症を防ぐため現在のシャトル飛行では非常に煩雑な予備的脱窒素呼吸を行っている。これは船外活動を行う前、約12時間以上にわたって段階的に圧を低下させ、最終的に目的の宇宙服圧のもとでの純酸素を呼吸させようとするものである。これによって体内に溶けている窒素を洗いだしてしまうのである。しかし、さらによい方法は、体内に気泡ができない最小限度の圧に宇宙服の内圧を上昇させることである。すなわち宇宙服圧を0.54ATA(414Torr)以上にしておけばいいのである。このようにすれば煩雑な予備的呼吸は必要としなくなる。しかしこの圧では関節特に指の動きがさらに悪くなるという技術的問題が出現する。

現在NASAではこの0.56ATAの宇宙服を開発中であり、宇宙ステーションの中期には上記の問題を解決した服が使われるであろう。

このように船外活動を行う宇宙服はおおよそ220Torrの内圧を維持し、酸素の供給と炭酸ガスの除去といった生命維持により宇宙の真空から宇宙飛行士の生命を守っている。さらに極端な熱暑や寒冷、微小隕石による損傷からも彼らを保護しているというように宇宙服は環境制御生命維持装置を有した小さな個人用の宇宙船といえるのである。

4. 飛行中の医療

宇宙飛行では宇宙飛行士は常に健康でベストコンディションである必要がある。しかし、飛行前に徹底した予防処置をとったとしてもミッション中に医学的問題が何も起こらないという保証はない。実際に表3に示されるように今日まで宇宙飛行の歴史を見ても大部分は些細なことであるが、時には本当に医学的事態の発生が避けられないことを示している。このようなことからNASAではミッション中発生する医学的問題は地上における専任医師（フライトサーजन）を中心とした医療チームによるモニタリングと宇宙飛行士自身の医学訓練そして船内医療キットにより対処されている。現在のシャトル飛行では必ずしもクルーの中に医師が搭乗しているとは限らないため、クルーはある程度の医学教育訓練を受け、必要に応じて地上からの指示に従って医療を行うことができる。そして、飛行中フライトサーजनは健康に関する情報を宇宙船からのテレトリーによって得ており、必要であればそのクルーとだけの個人的な会話によっても情報を得て、クルーに適切な処置を施している。

この医療を行うために必要なキットは現在のシャトル飛行では種々の薬剤と包帯などのキットと緊急用の医療キットの2つからなっており効率よくまとめられている¹⁸⁾。将来の宇宙ステーションでは飛行時間は90日から180日となるためさらに多くの機能を有した健康維持施設（HMF）と呼ばれる医療施設が用いられる予定となっており、現在NASAで開発を急いでいる¹⁹⁾。これはNASAの居住モジュールに設置されクルーの飛行中の健康管理、診断、治療ができるように構成されてい

表3 アメリカ宇宙飛行に発生した疾病および障害

飛行中の疾病、障害	数
減圧症	2
目、皮膚の刺激（ガラス繊維）	3
皮膚感染	2
接触性皮膚炎	2
尿路感染	2
不整脈	2
重症な耳炎	1
目と指の外傷	1
麦粒腫	1
膿瘍	1
発疹	1
帰還と着陸時の疾病、傷害	
外傷（離脱したカメラによる頭皮挫創）	1
有毒ガス性肺炎（N ₂ O ₄ による船内汚染）	3
飛行後発見された傷害	
背部痛（重いものの挙上による）	1

(古川などによるデータから、1982年)¹⁷⁾

る。この中にはX線診断，心電図，エコー，臨床検査設備，小外科セットなどが含まれており，小さな病院程度の機能を有している。さらに，クルーの人数が8人以上の時には医師も常駐するようになるであろう。

疾病や傷害に対する医療はこのHMFを用いて船内で行われ，患者は可能ならば一時的に症状を安定化させて，定期的シャトル飛行で地上に搬送されるであろう。病気になった宇宙飛行士を急いで帰還させるためのシャトルを打ち上げるには，数週間かかるし，非常に費用もかかるからである。

宇宙ステーション運用のための医学支援には新しい哲学と技術が必要だろう。医療の中心は地上のミッションコントロールセンターから宇宙ベースでの医学単位へ移行するだろう。スペースシャトルの最近の飛行頻度や保有台数にもとづいて救助船が宇宙ステーションに到着できる最低限度の時間は14日から28日といわれている。このような遅延因子に加えて，患者の状態を危険に曝すことなく無重量状態から地上の1G環境へ帰還させるための医学基準を確立するという問題がある。このようなことは宇宙ステーションには十分な医療や健康維持のための施設（その中には運動プログラムのような対策法も含む）を供給するための人員や設備や技術が備わっていなければならないということである。診断システム，臨床検査設備そして医療技術これらはすべてがOGで使えるよう

に設計されていなければならない。宇宙医学の挑戦は宇宙ステーション自身のデザインの中にある。

以上，宇宙環境による人間への影響および問題点について概説したが，今後より多くの人間の宇宙への進出にともないこのような宇宙環境はよりよく理解され，それらの人間への影響および対策法は一步一步解決されて行くであろう。さらに，宇宙環境の生命現象への理解から地上では困難な医薬品の製造，地上の医療への応用そして宇宙環境の特異性を生かした医療など宇宙進出による医学の新しい発展が期待される。

(REFERENCE)

- 1) Bungo MW, Charles JB, Riddle J, Roesch J, Wolf DA, Seddon MR. Human echocardiographic examinations during spaceflight. Aviat. Space Environ. Med. Abs. #29, pp.494, 1986
- 2) Space Physiology and Medicine Program. In Life Sciences Accomplishments. NASA Office of Space Science and Applications. Life Science Division. pp3-17, December 1987
- 3) Atkof OY, Bednenko VS, Fomina GA. Ultrasound techniques in space medicine. Aviat. Space Environ. Med. 58 (9, Suppl.): A69-73. 1987
- 4) Bungo M, Charles JB, Johnson PC Jr. Cardiovascular deconditioning during spaceflight and use of saline countermeasure to ortho-

- stasis. *Aviat. Space Environ. Med.* 56: 985-90. 1985
- 5) Mikhaylov VM, Pometov YD, Andretsov VA. LBNP training of crew members on main missions aboard Salyut-6 orbital station. *Moscow Kosmicheskaya Biologiya I Aviakosmicheskaya Meditsina in Russian* Vol. 18, No 6, Nov-Dec 84, pp29-33.
 - 6) Thornton WE, Moore TP, Pool SL, Vanderploeg J. Clinical characterization and etiology of space motion sickness. *Aviat. Space Environ. Med.* 58 (9, Suppl.): A1-8. 1987
 - 7) Cogoli A. Hematological and immunological changes during spaceflight. *Acta Astronautica*, 8 (9-10): 995-1002. 1981
 - 8) Kimzey SL. Hematology and immunology studies. In R.S. Johnston and L.F. Dietlein (Eds.), *Biomedical results from Skylab (NASA SP-377)*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1977
 - 9) Gzenko OG. (Ed.). *Summaries of reports of the 6th All Soviet Union Conference on Space Biology and Medicine. Vol. I and II.* Kaluga, USSR, 5-7 June 1979
 - 10) Gzenko OG, Genin AM, Yegorof, AD. Major medical results of the Salyut-6/Soyuz 185-day space flight. *NASA NDB 2747 Proceedings of the XXXII Congress of the International Astronautical Federation, Rome, Italy, 6-12 September 1981*
 - 11) Thornton WE. Rationale for exercise in spaceflight. In J.F. Parker, Jr., Lewis, and D.G. Christensen (Eds.), *Conference Proceedings: Spaceflight deconditioning and physical fitness*. Prepared by Biotechnology, Inc., under Contract No. NASW-3469 for National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., August 1981
 - 12) Thornton WE, Ord J. Physiological mass measurement in Skylab. In R.F. Johnson and L.F. Dietlein (Eds.), *Biomedical results from Skylab (NASA SP-377)*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1977
 - 13) Rambaut PC, Johnston RS. Prolonged weightlessness and calcium loss in man. *Acta Astronautica*, 6: 113-1122. 1979
 - 14) *Bone and Mineral Metabolism*. In *Space Physiology and Medicine (NASA SP-447)*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1982
 - 15) *National Academy of Sciences (Radiobiological Advisory Panel, Committee on Space Medicine)*. *Radiation protection guides and constraints for space mission and vehicle-design studies involving nuclear systems*. Washington, D.C.: Author, 1970
 - 16) Bailey JV, Hoffmann RA, English RA. Radiological protection and medical dosimetry for the Skylab crewmen. In R.S. Johnston & L.F. Dietlein (Eds.), *Biomedical results from Skylab (NASA SP-377)*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1977
 - 17) Furukawa S, Nicogossian A, Buchanan P, Pool S. Medical support and technology for long-duration space missions. Paper presented at the 33rd International Congress of the International Astronautical Federation, Paris, France, 27 September-2 October 1982
 - 18) Vanderploeg JM. Shuttle orbital medical system. In S.L. Pool, P.C. Johnson, Jr., and J.A. Mason (Eds.), *STS-1 medical report (NASA TM-58240)*. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch, December 1981
 - 19) Logan JS et al. Panel: Health Maintenance Facility. Presented at the 58th Annual Scientific Meeting of Aerospace Medical Association, Las Vegas, Nevada. May 1987