

## 日本人宇宙飛行士の健康管理

代表研究者：関口 千春 （宇宙開発事業団）

共同研究者：村井 正 （宇宙開発事業団）、石井 正則 （東京慈恵会医科大学）

谷島 一嘉 （日本大学医学部）、中山 淑 （上智大学）

日本人が初めて宇宙飛行をする機会を捉えて、心電図、血圧などの生体モニターを行い、飛行中の健康管理を行うとともに、生体が宇宙環境に適応する過程を捉え循環器系のデコンディショニングや宇宙酔いなどメカニズム解明の一助とすることを目的として実施された。さらに、本結果は、日本人宇宙飛行士の宇宙飛行中の初めての健康管理データベースとすることも目的とした。

飛行中の血圧及び心拍数は、宇宙飛行初日では両パラメータともに上昇したが、飛行3日目には急速に回復しほぼ正常の値となり、最後の7日、8日では地上とほとんど変わらない状態となった。地上へダウンリンクされたテレビモニターによる観察から1日目は動きにスムーズさがなくパフォーマンスの低下が明らかに認められ、さらに、顔面の浮腫や静脈の怒張、同時に臨床症状からは宇宙適応症候群の症状を呈していたが、3日目には血圧・心拍数は急速に正常に復し、さらに宇宙適応症候群の症状もほとんど消失した。また、船内での動きもスムーズとなり、パフォーマンスも改善した様子がうかがわれたが、顔面の浮腫と静脈の怒張は最後まで認められた。心拍数の変動係数(CV値)の分析によると、飛行初日を除いたCV値は動揺病スコアと非常によい相関を示し、宇宙酔いの他覚的指標として利用できると考えられた。一方、飛行初日に見られた予想に反した低いCV値は急激な0-G暴露による生理的機構の破綻に起因していることが示唆された。また、起立テストでは帰還後の心拍数の増加率が大きく宇宙飛行による循環器系への軽度の影響を示していたが、その他の生理的パラメーターは3日後には既に飛行前の状態に回復した。以上より、日本人宇宙飛行士の健康状態は、飛行初期を除き飛行中概ね適正に保たれていたと考えられ、飛行中のパフォーマンスを最大限に発揮する事を可能にしたものと考えられた。さらに、これらのデータは日本人宇宙飛行士の貴重なデータベースとなった。

一方、NASAにより開発された生理モニター装置は宇宙飛行士(J-PS)の体に比し大きかったため、これを常に作業中背負っていたJ-PSにとってかなりの負担となった。さらに、記録した生理情報には時間コードが入力できない上ノイズが非常に混入し飛行後の解析に際して効率的な十分な解析ができなかった。今後、このような生理モニター装置は宇宙ではより一層の小型化が必要であり、さらに飛行前の地上での十分な検証及び連続データへの時間コードの入力は必須である。一方、赤外線テレメトリー装置は被験者がワイヤーで拘束されることなく船内を自由に動くことを可能にし宇宙飛行士の生理モニターのテレメトリー装置として今後も期待できる。

## 1. 実験目的・意義

宇宙飛行は生体に多大な影響を与えることはこれまでの米ソの有人宇宙飛行から知られており、その影響の本質的メカニズムの解明についてはようやくその研究の緒についたばかりである。これら生体への影響の中で前庭系や循環器系への問題は特に大きく、そのメカニズムの解明などの学問的興味のみならず宇宙飛行士の健康管理上重要な問題である。この中で前庭系の問題である宇宙酔いは症状の差はあれ飛行初期のクルーの60～70%に発生し、しばしば飛行中の種々の作業パフォーマンスにも影響を与える。一方、循環器系では体液の移動、脱水や帰還時の起立性の低血圧などの問題を引き起こし、これらは循環器系のデコンディショニングと言われている。これまで地上や宇宙において多くの基礎的実験が宇宙酔いやこの循環器系のデコンディショニングの発生機序の解明のため行われてきているが未だ不明の点が多く、その結果十分な訓練、予防、治療法なども確立されていないのが現状である。事業団においても直線加速度負荷装置、回転椅子さらには下半身陰圧負荷装置（LBNP）などを用いた地上実験によりその基本的メカニズムについて検討しているが、日本はこれまで有人宇宙飛行の経験はないためこのような問題に関する研究の場は上述した模擬実験のみに限られており実際の宇宙飛行時のデータを得ることはできなかった。このような背景から本実験は以下の目的のもとに計画された、

- 1) 日本人が初めて宇宙飛行をする機会を捉えて、心電図、血圧などの生体モニターを行い、飛行中の健康管理を行うとともに、日本人宇宙飛行士の健康管理データベースとする。
- 2) 血圧、心電図、呼吸などの基本的生体情報と精神発汗及び動揺病における発汗と関係しているといわれる皮膚電気反射を取得し、自律神経機能の観点からデータを分析することによって宇宙酔いのメカニズム解明の手がかりを得る。これによって宇宙酔いととの間に因果関係を得、宇宙酔いの状況を客観的にモニターする事も可能となるであろう。さらには宇宙酔いにかかりにくい宇宙飛行士の選抜法そして宇宙酔いの治療法などへと応用できると考えられる。
- 3) エコーカルジオグラフィーなどを用いた循環動態の変化を観察することによって宇宙飛行時の循環器系のデコンディショニングの解明及びその対策法の手がかりを得る。

以上により本実験は宇宙飛行士の健康管理のデータベースになるのみならず宇宙酔い及び循環器系のデコンディショニングの発生機序の解明にも重要な情報を提供すると考えられる。

## 2. 研究者及び所属

主任研究者

関口 千春

## 宇宙開発事業団

### 共同研究者

村井 正

宇宙開発事業団

石井 正則

東京厚生年金病院

谷島 一嘉

日本大学医学部

中山 淑

上智大学理工学部

### 3. 対象ならびに方法

#### 3. 1 対象

毛利 衛

#### 3. 2 方法概要

##### <飛行前実験>

飛行前10日(L-10)と飛行前2日(L-2)に日本人PSの血液及び尿を採取し、NASA医学運用要求に基づいた検査項目を分析した。但し、本作業はNASA医学運用の責任の下に実施された。

##### <飛行中実験>

- ・日本人PS(J-PS)の以下の1)に示す測定項目について以下の2)に示すプロトコールにより測定し一部をデータレコーダー(CDTR)へ記録した。血圧、心拍数はCDTRに記録できないため、NASAの生理情報モニター装置(PMS)の制御装置(RCDU)に附属する表示装置より読みとりログブックに記録した。
- ・測定はPMS一式を用いて行った。尚、電極の取付位置を図1に示す。

#### 1) 測定項目

- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| ①ECG(心電図)     | レコーダー(CDTR)へ記録        |
| ②RW(呼吸波形)     | CDTRへ記録               |
| ③SPR(皮膚電気反射)  | CDTRへ記録               |
| ④BP(血圧、最大/最小) | RCDU、又は血圧測定キットにより読み取り |

## 2) 測定プロトコール概要

本実験はPMSを使用した基本的生理情報の記録とデータダウンリンク及び臨床症状の記録からなり、それらのプロトコールの概要を以下に記す。

PMSによる基本的生理情報記録及びダウンリンクはMET0日、MET1日、MET2日、MET3日前半、MET5日後半、MET6日、及びMET7日（帰還日）の覚醒中に行った。データのダウンリンクは原則としてPMSによる記録を行っている日でしかもスペースラブモジュールに入った直後（ハンドオーバー直後）、午前の作業終了時及びスペースラブを最後に去る前の計3回／日にECG、RW、SPRを赤外線（IR）テレメータ経由で地上にダウンリンクし、計測状態も合わせてチェックした。また、BP、HRの計測記録もダウンリンク時に実施したが、他の実験作業による多忙のためMET2日以降十分な回数の測定ができなかった。さらに、飛行中の臨床的自覚症状の記録はGraybielの動揺病スコア（1）に従ってこれもダウンリンク時に本人がログブックに記録した。これら測定の実際に行ったスケジュールの概要を図2に示す。

## 〈飛行後実験〉

以下の表1に示すごとく帰還直後（R+0）、飛行後3日（R+3）及び飛行後5日（R+5）にPMSによるECG、RW、SPR、BPと12誘導心電図、さらにエコーカルジオグラフィを測定し、起立試験（R+5には実施せず）、採血、採尿を行った。採血・採尿の測定項目については飛行前と同様にNASA医学運用で要求されている項目と同じであった。以下にR+5日までの検査項目のスケジュールを示す。

## 〈心拍数変動性の解析〉

心拍間隔変動に対して以下のような解析を行なった。500 data 毎（125 sec）にFFTによる周波数解析を行なった。FFTは1024 data（256 sec）について行なった（すなわち524 data づつオーバーラップしている）。スペクトルウィンドウはBingham data windowを使用した。副交感神経の緊張を表すと言われる高周波成分（0.18-0.41Hz 29data）のパワー（以下HF）と、低周波成分（0.04-0.15 15data）のパワー（以下LF）を求めた。また、交感神経の指標とされるLF成分をHF成分で除した値も求めた。さらに、呼吸-心拍間隔の伝達特性（以下TF）についても同じ窓長で解析を行なった。呼吸を入力信号とし、心拍間隔を出力信号としてそのフーリエ成分をそれぞれ $X(f)$ 、 $Y(f)$ とした時の、クロススペクトル $S_{xy}(f)$ と、パワースペクトル $S_{xx}(f)$ より、

伝達特性は次の式により計算された。

$$H_{xy}(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)}$$

これはシステムが線形であり、入力信号がともに定常であると仮定した場合の伝達関数の最小二乗推定である。このデータの呼吸信号は 0.2 から 0.4Hz 程度に分布しているので、HF と同様に 0.18-0.41Hz の範囲の伝達関数絶対値を平均して求めた。

動揺病の程度と相関するといわれる CV (Coefficient of Variance) 値については連続する 100 打について以下の式により求めた。

$$\begin{aligned} m &= E[X] \\ \sigma^2 &= E[(X - m)^2] \\ CV &= \frac{\sigma}{m} \times 100 \end{aligned}$$

ここで X は心拍間隔、m は 100 打の平均、 $\sigma^2$  は分散である。

### 3. 3 測定機器

表 2 に飛行中の実験に使用した測定機器とその寸法、重量及び搭載場所、図 3 から図 9 までにそれぞれの装置などの概略図を示し、図 10、11 に実験装置のブロック図を示す。

## 4. 実験結果

図 2 に示されるように、実際の飛行期間は 1 日延長され 7 日から 8 日のミッションとなった。これにともない PMS による生理情報の記録は打ち上げより MET3 日の前半までと MET5 日の後半から帰還まで実施された。ダウンリンクや BP と HR の記録などは、他の実験作業が多忙であったため、予定通りの回数は実施できなかった。さらに、エコーによる心内血行動態の測定もクルーの時間的余裕がなかったことと、エコー装置の動作不良のため実施することは出来なかった。PMS 内に記録されたデータは非常に多くのノイズが混入し、データ解析は非常に困難を極めた。その結果、ECG はノイズ混入の比較的少ない部分のみ解析した。また、呼吸はノイズ除去を試みた後解析したが、非常に信頼性の乏しい結果となった。さらに、SPR についてはノイズのため残念ながら解析することができなかった。

### 4. 1 心拍数変動性

表 3 に HF 相対値、LF 相対値、LF/HF、及び呼吸－心拍間隔の伝達特性値の平均値を示し、図 12 から図 15 にそれぞれの値の時間経過に伴う連続的推移を示す。HF 相対値は、最初の 2 日間は値が低く、MET3 日には最大になり、その後減少した。LF 相対値

は、MET 1 日はかなり低い値をとり、MET 2 日以後増加した。L F / H F では、MET 2 日までの値はMET 3 日以後の値に比較して明かに小さい値をとった。T F は、最初飛行前より若干低めで、その後MET 3 日に最低値をとり、MET 5 日以後は低めの値を示した。

C V 値の分析では、軌道突入日 (MET-0 日睡眠前) では、Graybiel の動揺病スコア (M S スコア) が図 1 6 に示すように非常に高い値を示したのに対して C V 値は予想外に高くなかった。このため、M S スコアと C V 値の全体での直線回帰の相関係数は 0.353 と高くなかった。しかし、MET 0 日を除いたMET 1 日以後の C V 値と M S スコアの関係は相関係数 0.91 と極めて高い相関を示した (図 1 7)。また、スピアマンの順位相関関係は 0.783 と高い相関関係を示し、さらに、重相関係数は 0.827 ( $F=9.751$ ,  $P=0.0056$ ) と明らかに C V 値と M S スコアは高い相関を認めた (図 1 8)。しかも 2 次回帰曲線を当てはめると MET 0 日では症状の程度と C V 値では逆相関を示しており、それ以降の両者の関係は正の相関関係を示す結果であった。

#### 4. 2 心循環系データ

図 1 9 に飛行中の心拍数及び血圧数の変化を示す。これで明らかなように飛行 2 日目の午前中を含んだMET 0 日では両パラメータともに地上での安静時より非常に高い値を示しているが、その後徐々に低下し、MET 2 日には急速に回復しほぼ正常の値となった。その後MET 4 日と測定は出来なかったものの飛行後半のMET 6 日、日では地上とほとんど変わらない状態となった。

着陸直後の安静時の血圧では拡張期圧がやや上昇していたが、心拍数は特に大きな変化は認められず、通常の 12 誘導心電図においても異常は認められなかった。

起立耐性試験は飛行前 4 回、飛行後は R+0 日と R+3 日の 2 回実施された。図 9 に血圧の変化を示すが、飛行前の臥床時の収縮期血圧は 105-110 mmHg であり、起立によってもほとんど変化しなかった。飛行後も安静臥床時から変化なく起立によっても大きな変化はなかった。心拍数の変化に関して、飛行前の安静臥床時はおおよそ 60 bpm であったが、起立により約 10 bpm の増加すなわち約 70 bpm に上昇した。一方、R+0 日と R+3 日の起立試験では既に起立前の安静臥床時の値が飛行前よりやや上昇しており、起立により約 90 bpm に上昇し飛行前より著明に上昇した。すなわち飛行後では 25-27 bpm の増加を示した。これは飛行前の起立試験による増加の 2.5 倍であった (図 2 1)。

エコーによる一回拍出量 (S V) の測定については飛行前のコントロールと 10 日前の値は約 80 ml であったが、帰還当日は 92 ml に増加し、R+3 日と R+5 日は 65, 72 ml と低下した。駆出率 (E F) は飛行前後ともそれほど大きな変化はなかった (図 2 2)。

#### 4. 3 臨床所見

L-10 日より打ち上げ日 (L-0) までに見られた著明な変化として、体重及びヘマトクリッ

ト (Hct) の変化がある。体重はL-10日では58.9Kgであったが、L-0日では56.7Kgと約2Kg減少し、帰還直後はほぼ同じ56.6Kg、その後、R+5日まで56.2Kgとさらに減少した (図 2 3)。一方、HctはL-10日では41%であったが、L-0日では45%に上昇した。帰還後は45%とやや高い値を示していたが、R+3日及びR+5日ではそれぞれ40, 41%とL-10日の値に戻った (図 2 4)。帰還直後CPKは317単位と正常範囲を逸脱した高値を示したが、R+3日、R+5日に正常範囲内に回復した (図 2 5)。白血球値は飛行前後を通して正常範囲にあったが、飛行直後のリンパ球の分画は11%と低下していた (図 2 6)。その他の生化学的項目及び血圧・心拍数などには大きな変化は認められなかった。

飛行中のテレビモニターによる J - P S の行動や表情の観察から、MET1日は動きにスムーズさがなくパフォーマンスの低下が明らかに認められ、さらに、顔面の浮腫や静脈の怒張、同時に臨床症状からは宇宙適応症候群 (S A S) の症状 (Graybielの動揺病スコア 24-25) (図 1 6) を呈していた。MET2日にはS A Sの症状もほとんどなくなり、その結果、図 1 6にも示されるようにGraybielの動揺病スコアでも改善が見られている。またTVモニターの観察から動きもスムーズとなり、パフォーマンスも改善した様子がうかがわれた。しかし、顔面の浮腫と静脈の怒張は最後まで認められた。帰還後、自覚的には歩行時左側に偏倚する傾向があるとの訴えがあり数日間持続したが、その後回復した。

## 5. 考察

宇宙酔いは程度の差はあれ宇宙飛行士の60~70%が罹患するといわれ (2)、特に短期のミッションではパフォーマンスへの影響が大きく厄介な問題である。これまで宇宙酔いの原因として感覚混乱説や耳石左右非対称説などが有力といわれ、多くの人間や猿などを含めた地上での実験や宇宙実験が行われている。これら動揺病の研究の中で心拍数のR-R間隔のC V 値と動揺病への易罹患性には正の相関があるという結果 (3、4) やC V 値と副交感神経障害の程度には非常によい相関があるという報告がある (5、6)。また、動揺病の症状と心拍の不規則性の間の相関関係も証明されている (7)。

副交感神経活動の指標とされているH F の変化を見てみると、最初の数十分ほどは飛行前よりも高い値を示したものの、1日目がもっとも低く、4日目に最大になりその後も飛行前より若干低い値となった。これは予想していた結果とは逆になった。微小重力環境に移った直後は、静脈還流の増加により血圧が上がり、自律神経系は血圧を下げるべく副交感神経系の緊張を上昇させ、交感神経系の緊張を低下させると考えられる。その後、循環血液量の減少にともない、それぞれの神経活動は飛行前の状態に近づくとと思われる。H F は呼吸の深さの影響も受けるため一概に副交感神経系の緊張が低下していたとは言えないが、血圧制御系だけから単純に考えた副交感神経系の活動とは異なるものとなった。

交感神経活動の指標と考えられるL F / H F は、1日目は飛行前とほぼ同程度でその後徐々に増加しており、最終的には飛行前より少し高めの値を示した。またL F のみでも交

感神経系の緊張を反映していると言う報告もあり、これは1日目に明かに飛行前より低下しており、その後徐々に増加した。以上より交感神経活動は最初若干低下かあるいは同程度で、徐々に増加していったと考えられる。このことは、血圧制御系より推測される振るまいと一致している。

呼吸一心拍間隔の伝達特性については、残念なことに呼吸データの状態が非常に悪く、解析の信頼性は乏しかった。しかしながら、呼吸一心拍間隔の伝達特性のデータを見ると、1日目の値が高く、2日目は少し下がり、4日目以後はかなり低くなっている。これは副交感神経系の緊張が1日目は飛行前よりは低いが飛行中では高く、その後徐々に低下していることを示している。信頼性には疑問があるものの、飛行前の値を無視するとすれば、一応は血圧制御系より推測される振るまいと一致している。

以上の所見のみから自律神経系の飛行中の状況を推測すると、副交感神経活動は最初飛行前よりも若干低下し、その後一度飛行前と同程度、あるいは少し高めになり、最終的には飛行前と同程度か少し低めぐらいに落ち着いた。交感神経活動は最初は飛行前よりも若干低下か、あるいは同程度で、その後飛行前よりも若干高めになったと推測される。ただし、心拍間隔情報から交感神経活動を推測するのはかなり難しいことを考慮しておく必要がある。

一方、CV値との関係では、これまで我々は地上の回転椅子を用いた動揺病の研究において動揺病に罹患し易い群ではCV値が高く、反対に動揺病に抵抗性を示す群では低いCV値を示すという報告をしている(8)。今回のJ-P Sの宇宙飛行中のCV値は、MET0日では予想に反して低い値となり地上実験のこれまでの報告と異なる結果となったが、MET1日以降ではMSスコアと非常によい相関を示し、地上の動揺病と同じ傾向を示していた。血圧や脈拍の測定結果においてもMET0日の値は高い状態が観察されたが、MET1日以降でその値は次第に安定化していくことが示された。つまり、MET0日では急激に微小重力環境に曝露された状態であり、地上の1Gに適応した生理学的な機構が破綻をきたしていることが予想できる。したがって初日では生理学的指標も地上とは異なる状態であると考えられ、予想に反した低いCV値という結果になったと考えられた。また、CV値とMSスコアとの関係をさらに検討するため2次回帰曲線をあてはめると、MET0日のデータは逆相関を示し、このことがMET0日でのCV値が予想より低い値を示す結果になったとも考えられる。心拍数や血圧がMET0日では高値を示していたことから、飛行初期では交感神経の活動が亢進していたと考えられる。地上でも交感神経亢進の状態ではCV値は低値を示すことが知られており(9)、これらの解析結果から初日の宇宙環境に適応しようとする高度のストレス状況であることが予想される。しかし、動揺病の発症過程の研究では、最終的に嘔吐に至る直前に両者の著しい興奮した状態が観察されており、この状況にいたるとCV値も高値となったり変動をきたすことが報告されている(10)。今回の測定では発症時間の経時的な計測が行われておらず、実際の宇宙酔いの発症中の解析でないことも、今回



のMET0日での結果が地上の結果と異なる原因になっている可能性もある。いずれにしても図17に示されるように、MET1日以降の解析結果は地上のそれと同じであり、さらに図18の全体の解析結果でもCV値とMSスコアの関係は高いことが示されており、宇宙酔いの他覚的指標として利用できることを示した結果であると考えられる。以上、自律神経系と宇宙酔いとの関連で心拍数の変動性を解析した結果はいくつかの矛盾が見られるが、総合すると初めての宇宙飛行といった心理的影響や体液シフトによる影響などが交感、副交感神経活動に通常とは異なった影響を与えたためこのようなこれまでとは矛盾した結果となったのかもしれない。しかし、今回はたった一人のデータであることや、微小重力環境が自律神経活動に与える影響がはっきりとはわかっていないなどのことから明瞭な解釈をすることは困難である。今後さらに宇宙飛行時のデータ数を増加させる必要がある。一方、帰還後の歩行時の左側偏奇傾向に関しては、耳石非対称説の関与も考えられ、今後さらに検討が必要である。

無重量状態暴露は循環器系にさまざまな変化を来すが、その中でもっとも顕著なのは静水圧の喪失による体液分布の変化、すなわち頭部方向への体液のシフトである(11)。その結果、初期には頭部や胸腔内の体液が増加し、顔面や鼻腔粘膜は浮腫を来し頭重感や鼻閉息感など風邪を引いたような症状に悩まされる事になる。事実、J-P Sも飛行中を通して頭重感や顔面の浮腫を来していた。この顔面の浮腫はMET0日よりMET1日が最も著名であり、その後徐々に軽減していったものの最後まで顔面の浮腫と静脈の怒張は認められ、これは体液シフトの典型的なサインであった。この上半身の体液量の増加はADH分泌の抑制やANPの分泌増加を引き起こし、やがて体液量の減少を惹起する事となる。さらには重力負荷の喪失は血管運動神経反射と関連した頸動脈洞反射にも影響を与えともいわれており、このような影響は宇宙飛行士の起立耐性に大きく影響し、帰還時や帰還後の起立耐性の低下を引き起こし大きな問題となっている(12)。J-P Sの循環系に関しては飛行初期心拍数と血圧は高値を示していたが、MET2日以降ほぼ正常な状態に回復した。飛行初期の高値は体液シフトによる影響や、初めての宇宙飛行といった心理的影響が加味されて生じたと考えられた。しかし、その後の値から順調に無重量状態に適応したと考えられた。その他、帰還後宇宙飛行士によくみられる起立耐性の低下を評価するため、飛行後起立試験を行ったが、心拍数の増加率が飛行前に比して2.5倍と大きかったものの、血圧には変化を示さず、臨床的にも有意な症状を来さなかった。また、飛行前後に行われたエコーによる心内血行動態の測定では、SVは帰還直後では増加を示していた。Bungoらによるとエコーによる左室容量は飛行後16%も減少していた(13)と報告しているが、我々のデータではむしろ増加を示しており、これは再突入直前及び着陸直後の1リッター以上に及ぶ生理食塩水の摂取による循環血液量の増加に起因したものかも知れない。R+3日、R+5日のSVは飛行前の値よりやや低い値となったが、ほぼ正常範囲と考えられる。体重も帰還日より低下した事を考えるとやはり帰還時の一時的な体液量の増大とその後の回復であった

のであろう。尚、EFは飛行前後とも変わらずこれから判断する限り特に飛行によって左室機能には変化がなかったといえる。これらのことから1週間の無重量状態暴露によって、J-P Sは起立障害は来さなかったものの、起立試験時の心拍数の増加率の増大などから循環器系は軽度影響を受けたものと考えられた。

臨床的データに関して、飛行直前には体重の減少、Hctの上昇などの所見が認められたこと、さらにはL-1実験（尿採集分析実験）の結果からも飛行初期極度の尿量減少を示していたことなどから飛行直前から飛行初期ではL-10日前に比してかなりの脱水傾向の状態と考えられた。これは他の経験のあるクルーからの示唆により、J-P S本人が飛行直前に意図的に食事・水分量の摂取を減らし脱水傾向にした結果と考えられる。宇宙飛行による体液シフトが宇宙酔いを増悪させることがあるが、それに対処するためには飛行直前には身体を多少脱水傾向にしておいた方が早く宇宙に適応できるというクルーの経験からの示唆であった。しかし、電解質などその他のパラメーターには異常はなく、この状態は健康管理上特に大きな問題点ではないと判断された。以上より飛行前のP Sの健康は概ね良好に保たれ宇宙飛行に問題ないと判断された。

宇宙滞在初日はGraybielの動揺病スコアでも24から25点と非常に高い宇宙適応症候群の症状を呈し、血圧・心拍数とも高値を示した。これは宇宙飛行による前庭系への影響や体液シフトを中心とした循環器系への影響のあらわれの一つと考えられる。しかし、MET2日には宇宙適応症候群の症状や血圧・心拍数などへの影響も非常に軽減され、宇宙への適応も非常に早くスムーズになされたと考えられた。一方、飛行中通して軽度の頭重感を訴えており、これらは体液シフトによる脳内循環動態への影響の関与も考えられた。このように飛行初日には宇宙適応症候群に多少悩まされたもののその後大きな異常もなくスムーズに宇宙環境に適応し健康上特に大きな問題はなかったと考えられた。

帰還直後のCPKの軽度の上昇は以下のように考察される。すなわち、無重量環境暴露により筋肉を使用することがほとんどなくなり、そのような状態で一週間宇宙で過ごしたため筋肉は軽度の廃用性萎縮をきたしたと考えられた。しかも帰還時1.5から1.8Gという高Gに暴露され、使用していなかった筋肉を急激に使用したため筋肉組織が軽度破壊されその結果高値を示したものと考えられる。しかし、NASAのこれまでの196人の宇宙飛行士の帰還直後のCPKの値は正常範囲にあり（14）、J-P SのCPK値の上昇は彼特有のCPKの動態を示したものかもしれない。

また、帰還直前には、着陸後の起立耐性低下の対策のため水分をかなりの量補給し、さらに帰還直後にも水分を補給しているにも拘らずHctが44%と相対的に増加傾向となったことは、飛行中はさらに血液は濃縮していたとされていることを疑わせるものである。しかし、R+5日には主観的症状や臨床的データから健康状態はほぼ回復したと考えられた。

## 6. 結論

飛行直前直後に採取された血液・尿からは特に大きな異常は見られなかったが、L-2日前と帰還直後のHctの値から軽度の脱水傾向にあったことが観察された。飛行直後の血液検査ではCPKの軽度上昇を観察した。飛行直前直後の血圧、心拍数は、特に大きな変化はなかったが、飛行初日では両者とも通常より高値を示し、その後徐々に適応する過程が観察された。飛行初日を除いたCV値とMSスコアは非常によい相関を示し、宇宙酔いの他覚的指標として利用できる可能性が示唆された。臨床症状に関しては、初日は宇宙適応症候群の症状を呈したが、MET2日より軽快し作業能に影響することなく経過した。体重は飛行直前には減少し、帰還後は飛行直前の値と変わらなかったが、その後3日では更に軽度減少を示した。飛行前後に行われた起立試験から循環器は軽度の影響を受けたものと考えられた。以上、日本人宇宙飛行士の健康管理が適正に行われ、飛行中のパフォーマンスを最大限に発揮する事を可能にしたものと考えられ、さらに、これらのデータは日本人宇宙飛行士の貴重なデータベースとなった。

## 7. 引用文献

1) Graybiel, A., & Lackner, J.R. Comparison of susceptibility to motion sickness during rotation at 30 rpm in the Earth-horizontal, 10° head-up, and 10° head-down positions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 48(1):7-11. 1977.

2) Davis JR, Vanderploeg JM, Santy PA, Jennings RT, Stewart DF. Space motion sickness during 24 flights of the Space Shuttle. *Aviat. Space Environ. Med.* 59: 1185-9. 1988;

3) Ishii M and Igarashi M: Autonomic effects on R-R variations of the heart rate in the squirrel monkey: An indicator of autonomic imbalance in conflict sickness. *Am J Otolaryngol* 3: 144-148, 1987

4) Igarashi M, Himi T, Ishii M, et al.: The change in coefficient of variance of R-R interval and the susceptibility to sensory-conflict sickness (subhuman primate experiment). *Space life sciences symposium: Three decades of lifescience research in space*. Washington, DC. June, 1987.

5) Watkins PJ and Mackay JD: Cardiac denervation in diabetic neuropathy. *Ann Inter Med* 92: 304-307, 1980

6) Kageyama S, Taniguchi I, Tanaka S, et al.: A critical level of diabetic autonomic neuropathy. Tohoku J Exp Med 141 (Suppl): 479-483, 1983.

7) Crittenden PJ and Ivy AC: A study of viscerocardiac reflex: The experimental production of cardiac irregularities in icteric dogs with an analysis of the role played by nausea and vomiting. Am Heart J 8: 507-518, 1933

8) 石井 正則 動揺病の研究 JOHNS 6: 1203-6, 1990

9) 吉川 信嘉、小松 隆、森寺邦三郎： 心電図 R-R 間隔による自律神経検査法について 自律神経 24(1): 21-27, 1987

10) Ishii M. Joint research of motion sickness. International medical conference on the vestibular nervous system in space: adaptation of sensory-motorsystem to different force environment. 9-18, 1991.

11) Hoffler, C.S., Berman, S.A., and Nicogossian, A.E. In-Flight Lower Limb Volume Measurement, (n: The Apollo-Soyuz Test Project: Medical Report, SP-411, 63-68, Ed., Nicogossian, A.E., NASA Scientific and Technical Information Office, Washington, D,C, 1977

12) Nicogossian AE, Huntoon CL, and Pool SL: Space Physiology and Medicine. 2nd Edition: Lee & Febiger, Philadelphia, 1989.

13) Bungo, M.W., Goldwater, D.J., Popp, R.L., Sandler, H: Echocardiographic evaluation of Space Shuttle crewmembers. J.Applied Physiol., 62: 278-283, 1987.

14) Pool SL and Lane H: Personal communication on clinical laboratory data of NASA astronaut. Medical Sciences Division, NASA/JSC, 1993

## 8. 表及び図

表 1 飛行後の検査項目

	R+0	R+3	R+5
採 血	○	○	○
採 尿	○	○	○
エコーカルジオグラフィー	○	○	○
ECG, RW, SPR(PMS)	○	○	○
血 圧	○	○	○
1 2 誘導心電図	○	○	○
起立試験	○	○	

○印は検査実施を示す。

帰還後は、帰還地（KSC）にて実施し、R+3日とR+5日はJSCにて実施した。

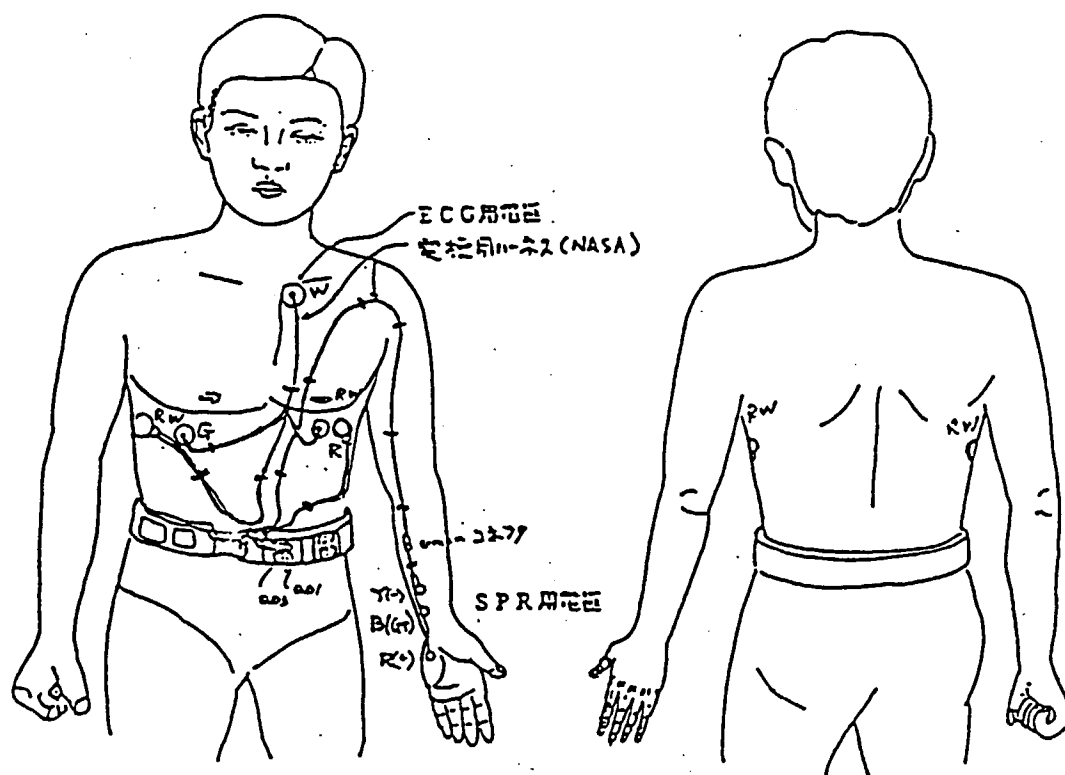
表 2 実験装置

	名 称	寸法 (H×W×D) (cm)	重量(kg)	個数	搭載場所
共通実験装置及び支援装置	D I U	22.1×48.3×38.0	14.4	1	ラック# 7
	PMS (図 3)	16.5×26.7× 8.0	3.4	1	バックバック
	小型テープレコーダ (図 4)	6.9×17.4×14.0	1.6	1	"
	I R受信機 (図 5)	13.3×48.3×36.0	3.85	1	ラック# 7
	I R送信機 (図 6)	5.0×21.5×14.5	0.96	1	バックバック
	RWアンプ (図 7)	13.9×8.65× 5.35	0.46	1	"
	T-R C V	5.5×16.5× 9.7	0.39	1	オーバ-ヘッドコンテナ
	T-E M T		0.47	1	"
	L S L Eマイクロコンピュータ	42.4×43.4×17.7	10.0	1	ラック#11
	R I P	17.8×48.3×25.4	5.44	1	"
	データレコーダ	9.9×15.0× 4.8	0.59	1	ラック# 9 or12
その他の必要な機器・器具類	E C G電極 (図 8)	10 ×33.5× 1.0	0.024	8	ミッドテックロッカー
	RW電極 (図 9)	13 ×27.5× 0.95	0.37	8	"
	S P R電極 (図 10)	7.5×23.5× 0.9	0.014	9	"
	カセットテープ	10.2× 6.4× 1.0	0.045	10本	"
	PMS用電池	10.2×10.2× 4.4	0.8	3	"
	テープレコーダ用電池	12.1× 3.5× 3.5	0.26	2	"
	I R送信機用電池	3.0×15.0×10.3	0.923	3	"
	RWアンプ用電池	7.9× 7.8× 2.8	0.32	5	"
	T-R C V用ケーブル		0.07	1	オーバ-ヘッドコンテナ
	サージカルテープ	18 ×13 ×0.7	0.018	2	ミッドテックロッカー

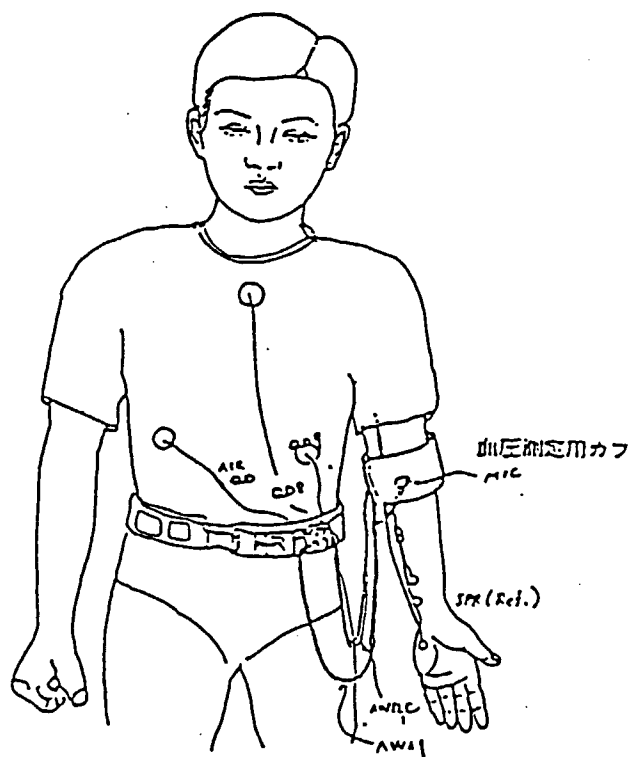
表3. HF, LF, LF/HF, 及び TF

	Pre	M E T											R+0	R+5
		0	1	2		3		5?	6	7				
HF	83	114	42	63	69	95	99	73	70	78	45	45	22	78
LF	345	378	181	252	334	538	541	457	598	493	515	278	476	348
LF/HF	2.5	1.9	2.6	2.3	2.8	3.3	3.1	3.6	4.7	3.5	6.1	3.4	2.1	4.1
TF	313	300	249	247	200	79	97	120	100	161	137	143	156	215

HF: 高周波成分のパワー    LF: 低周波成分のパワー  
TF: 呼吸-R-R間隔の伝達関数



ECG, SPR, RW



血圧測定用カフ

図 1 電極取付位置





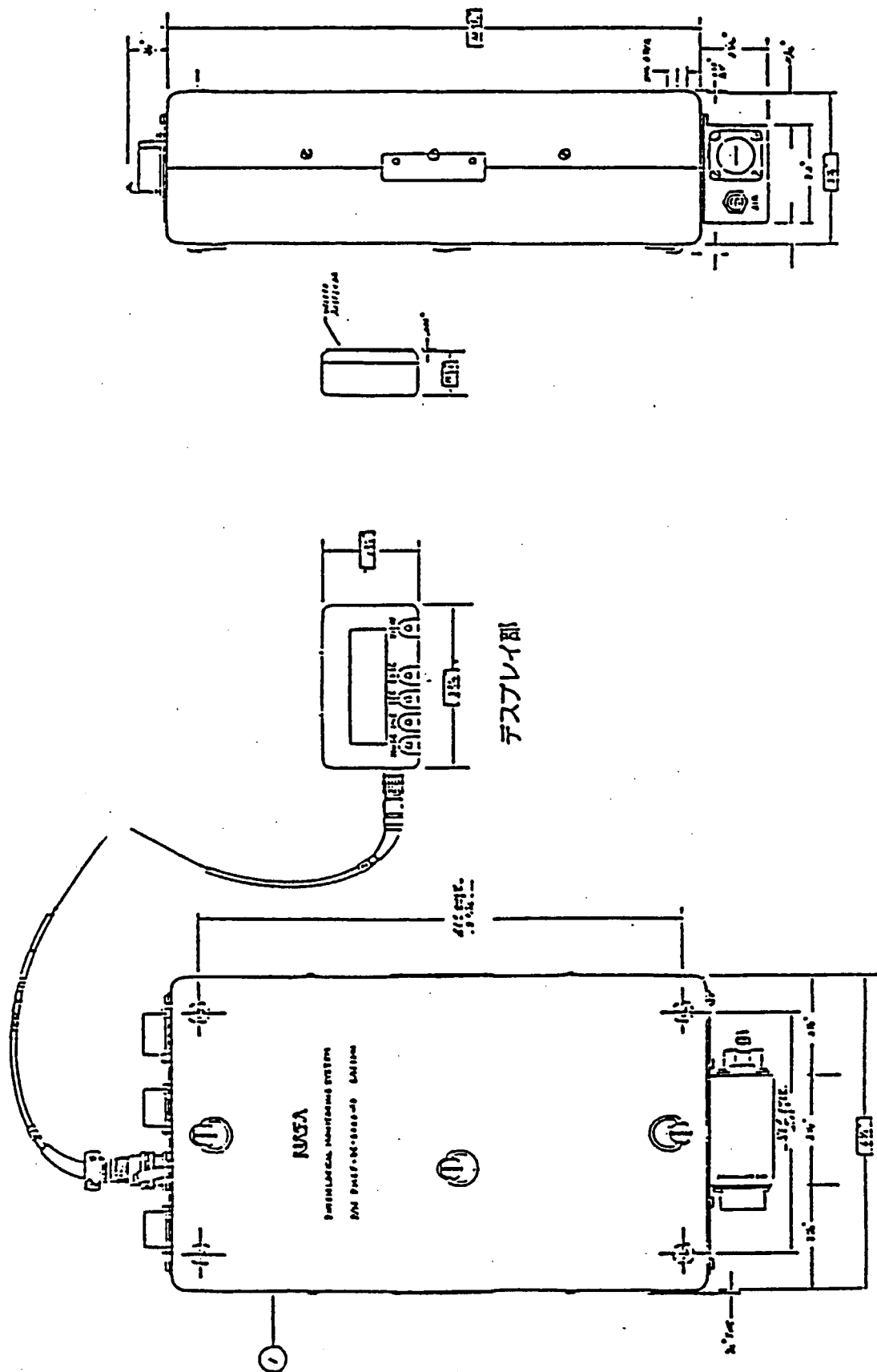


図 3 PMS本体

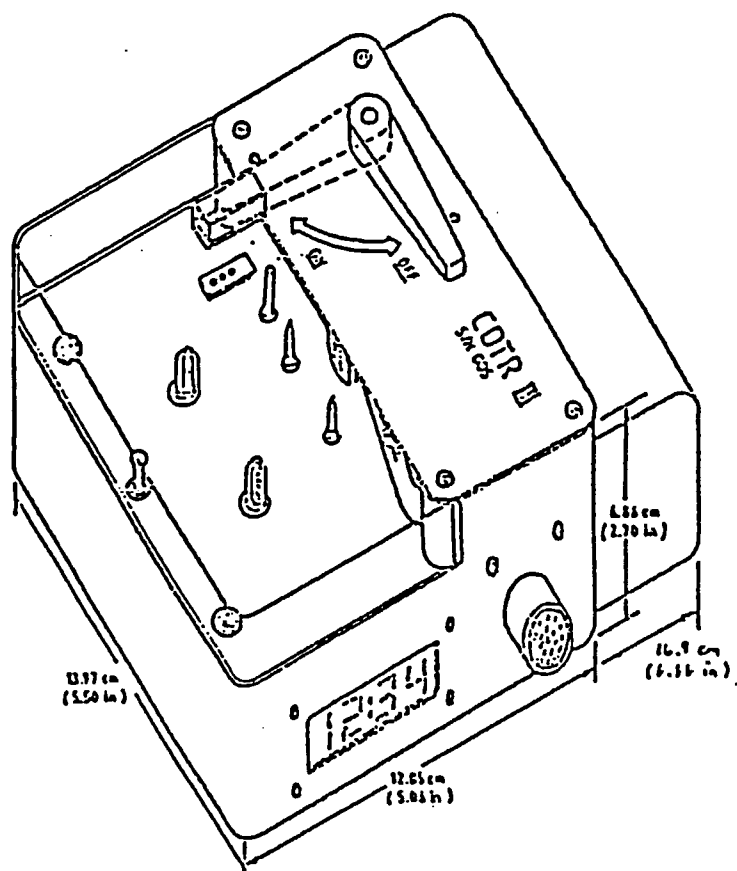
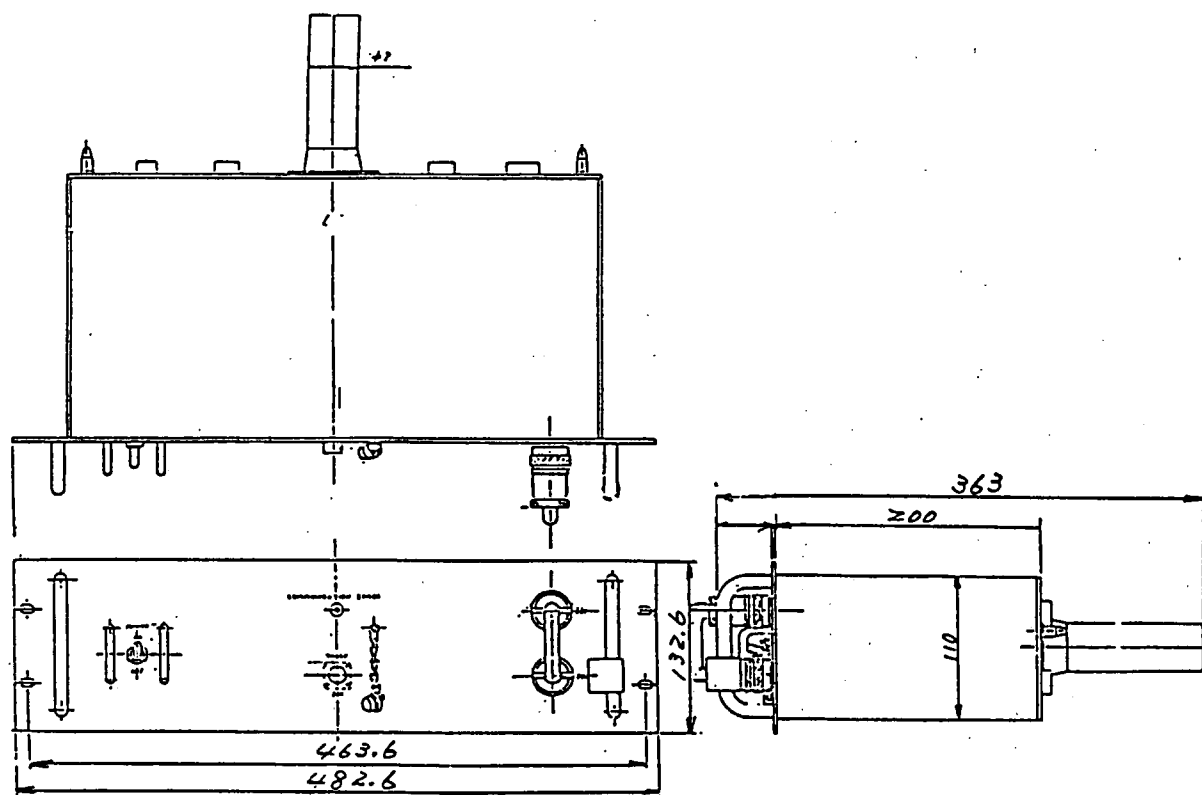
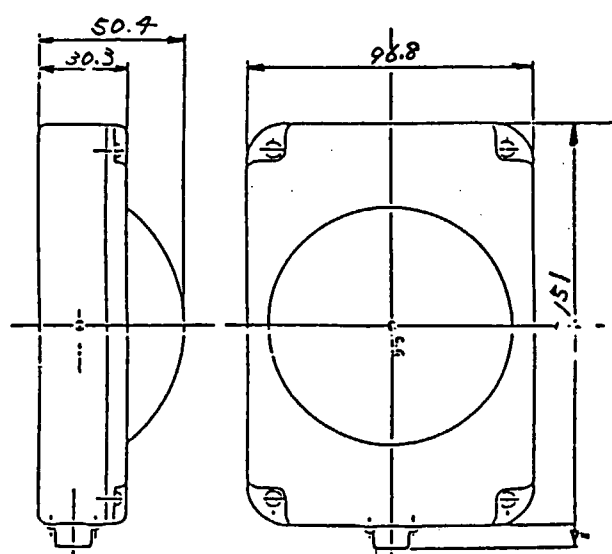


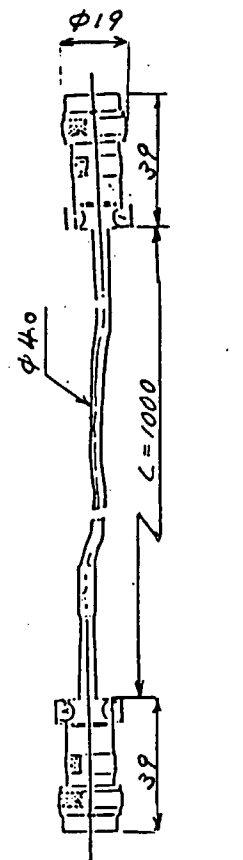
図 4 小型テープレコーダ (CDTR)



T-PDIR



T-RCV



T-RCV 用 ケーブル

図5 IR受信機(1)



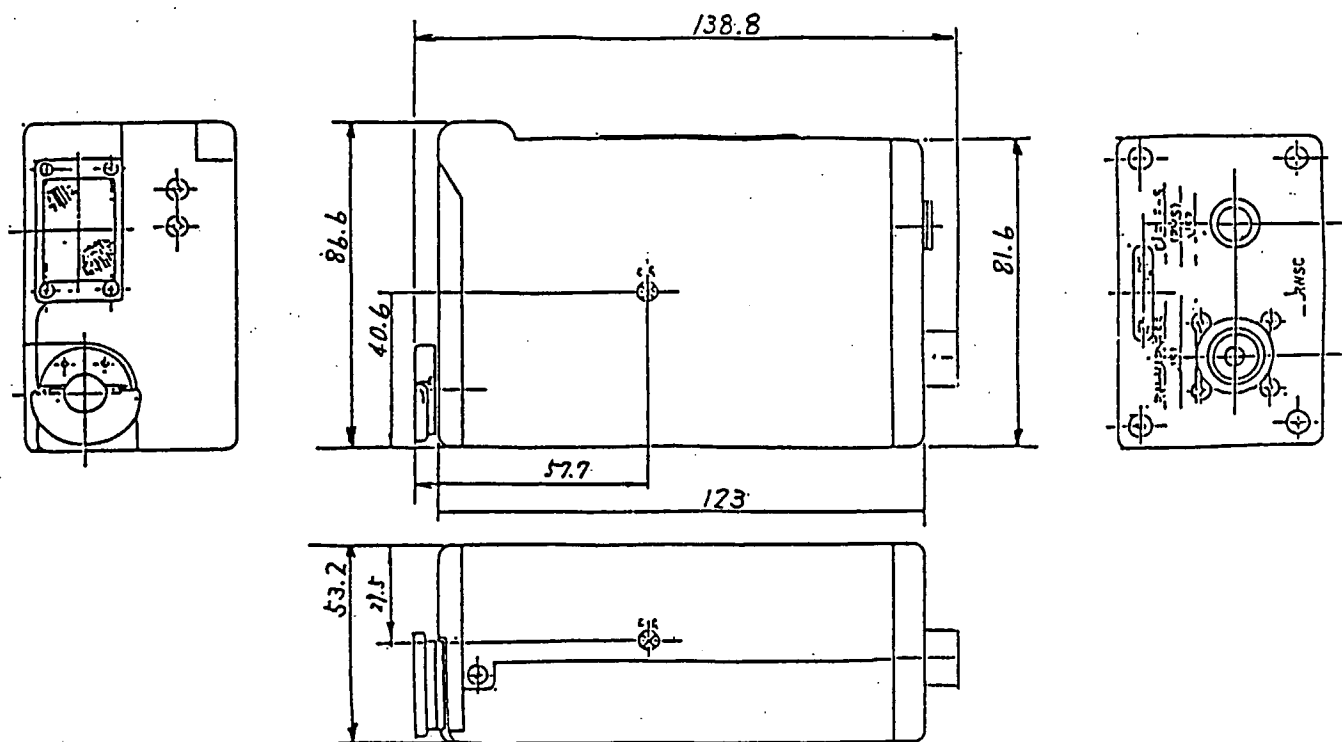


図 7 RWアンプ

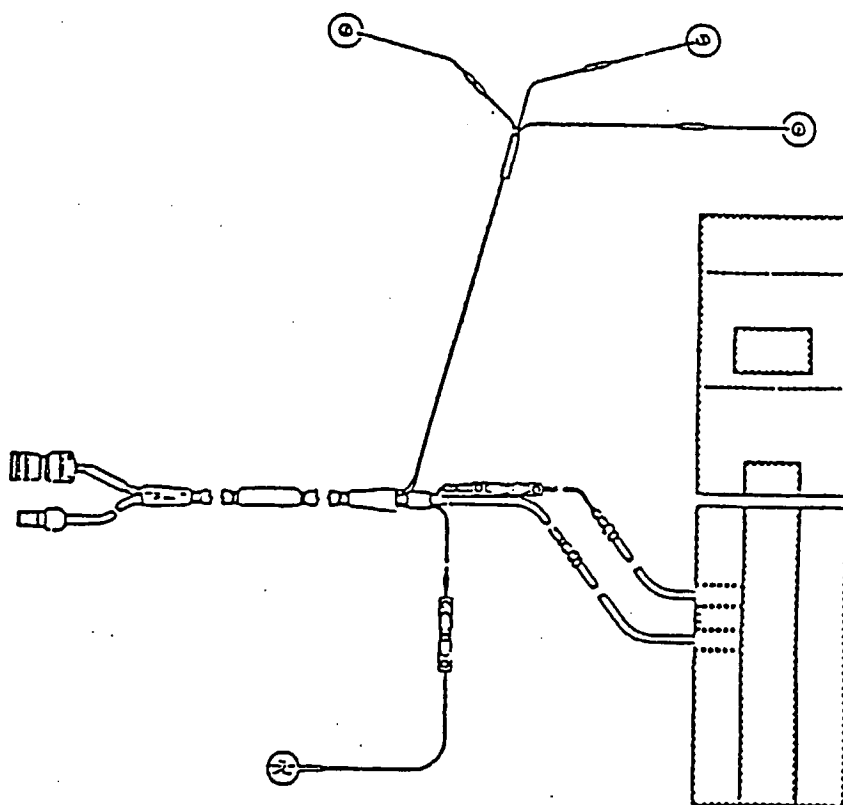
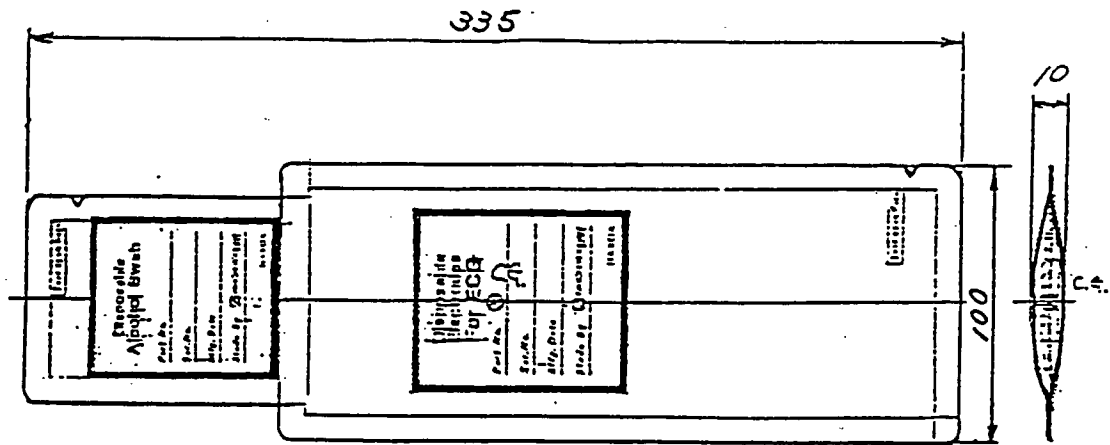
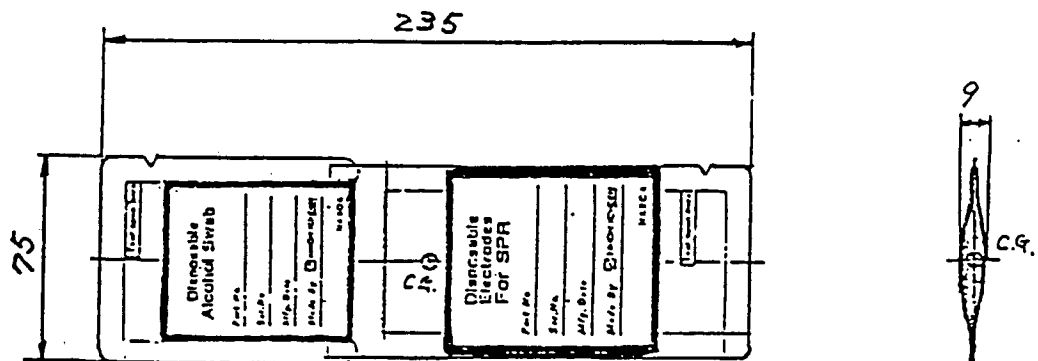


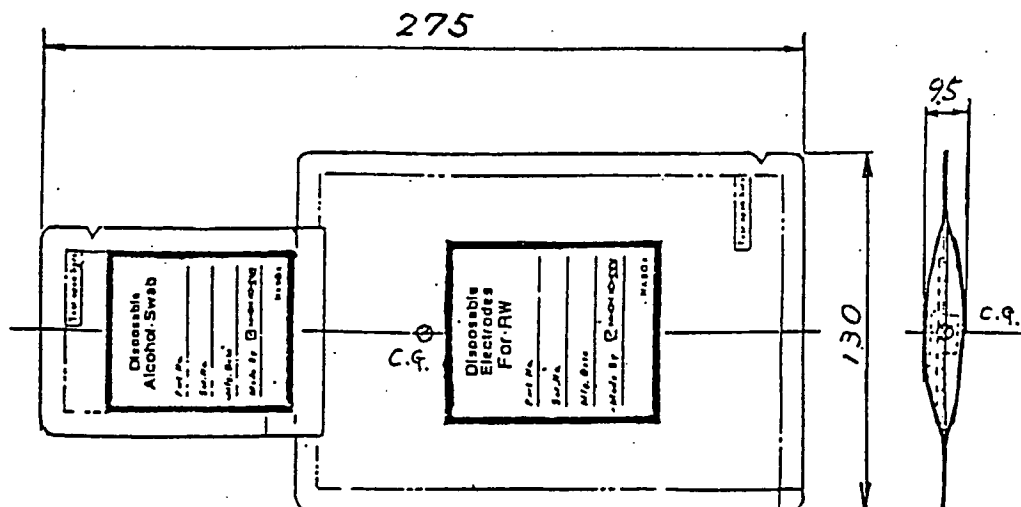
図 8 血圧測定用カフと電極



ECG用電極



SPR用電極



RW 用電極

図 9 各種電極

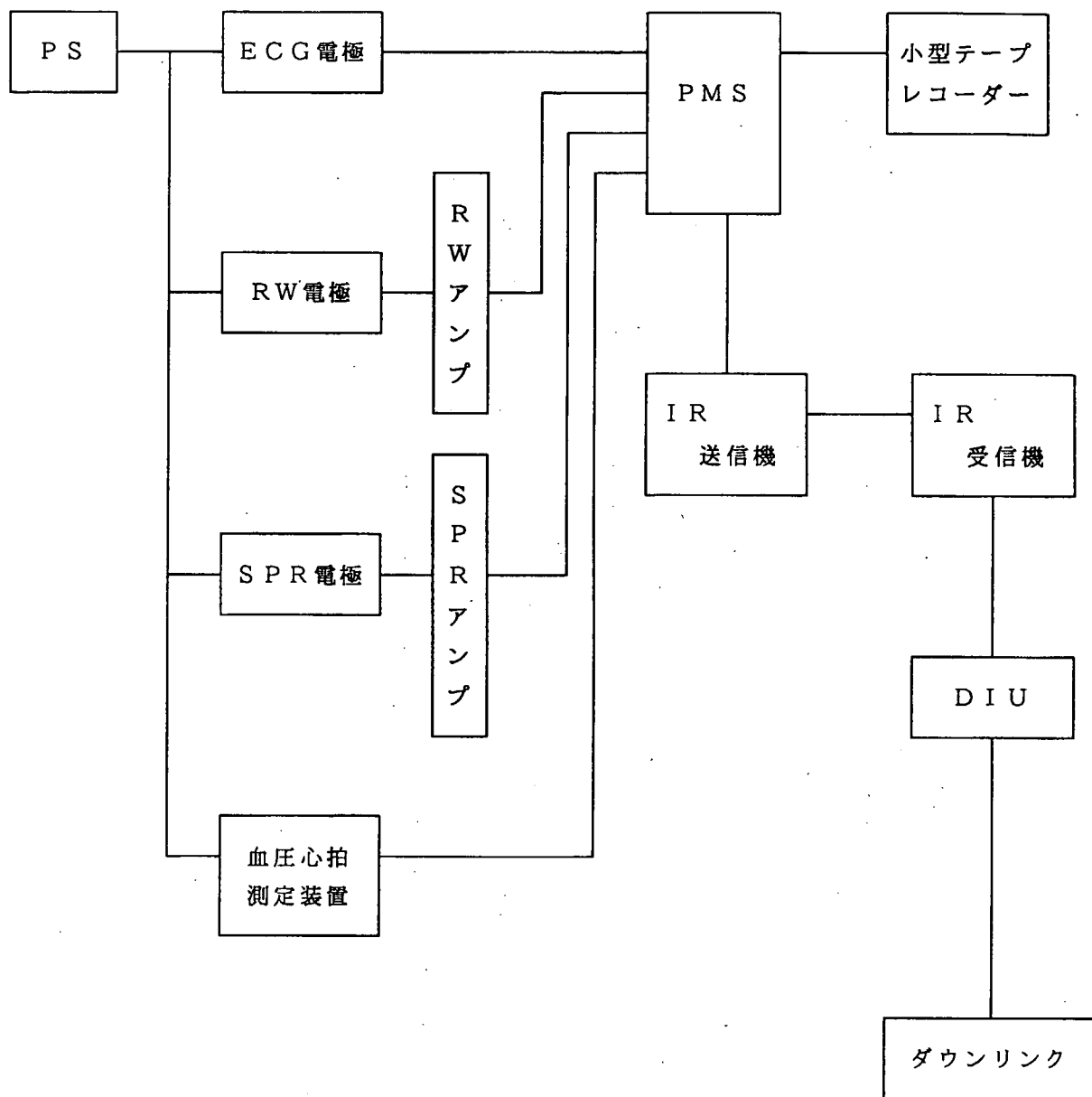


図 1 0 実験装置ブロック図 ( 1 )



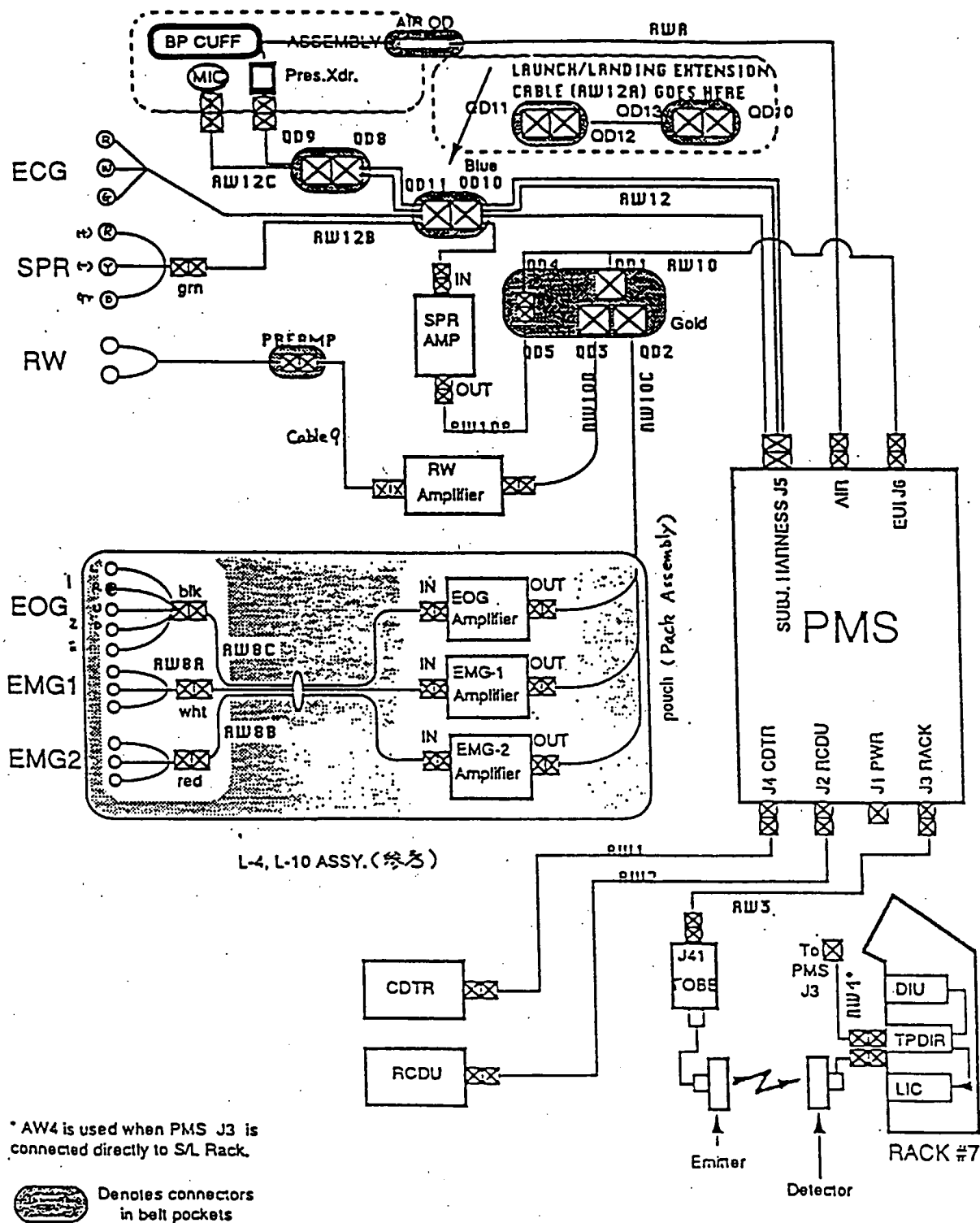


図 1 1 実験装置ブロック図 (2)

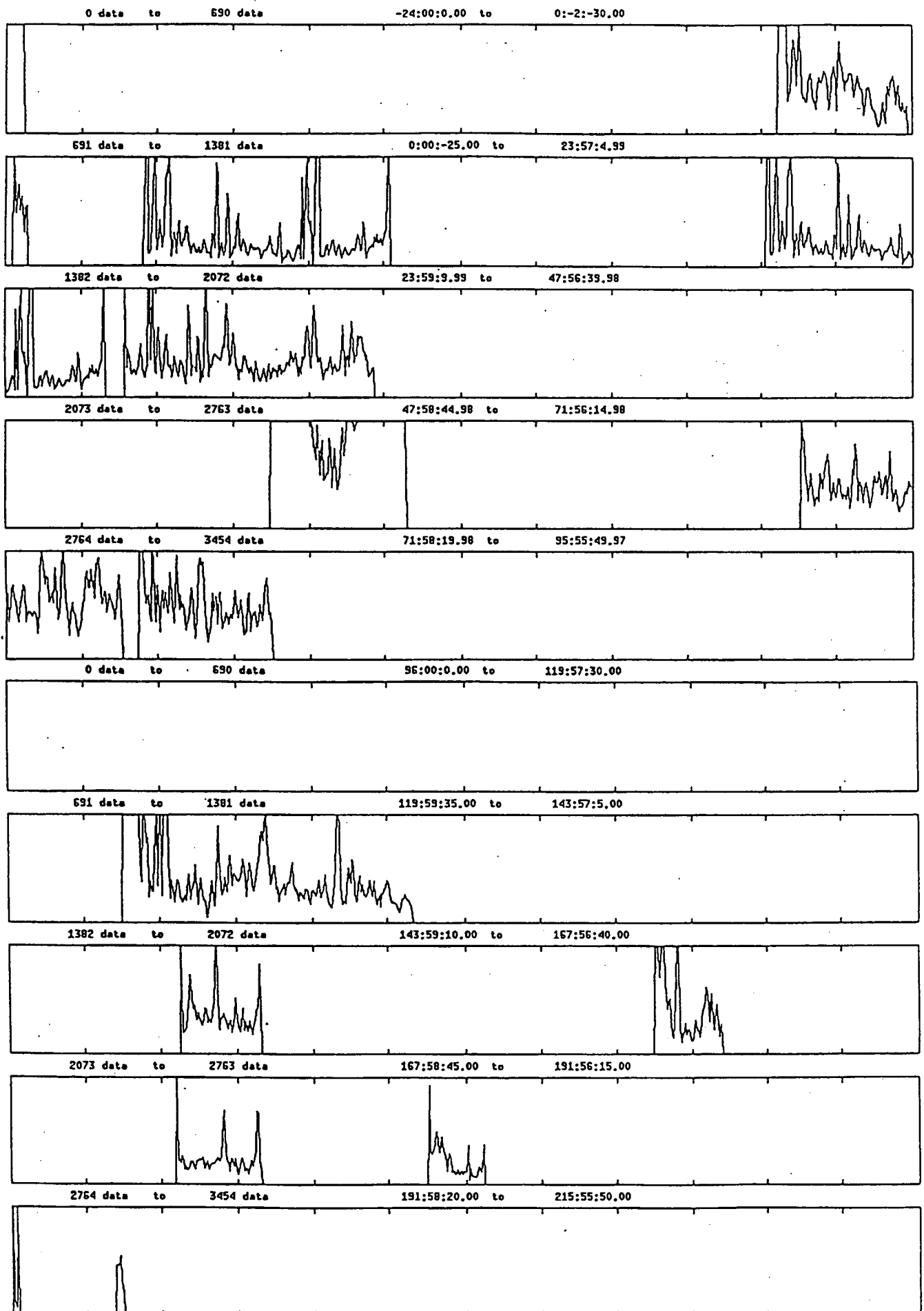


図 1 2 HF 相対値の継時的変化

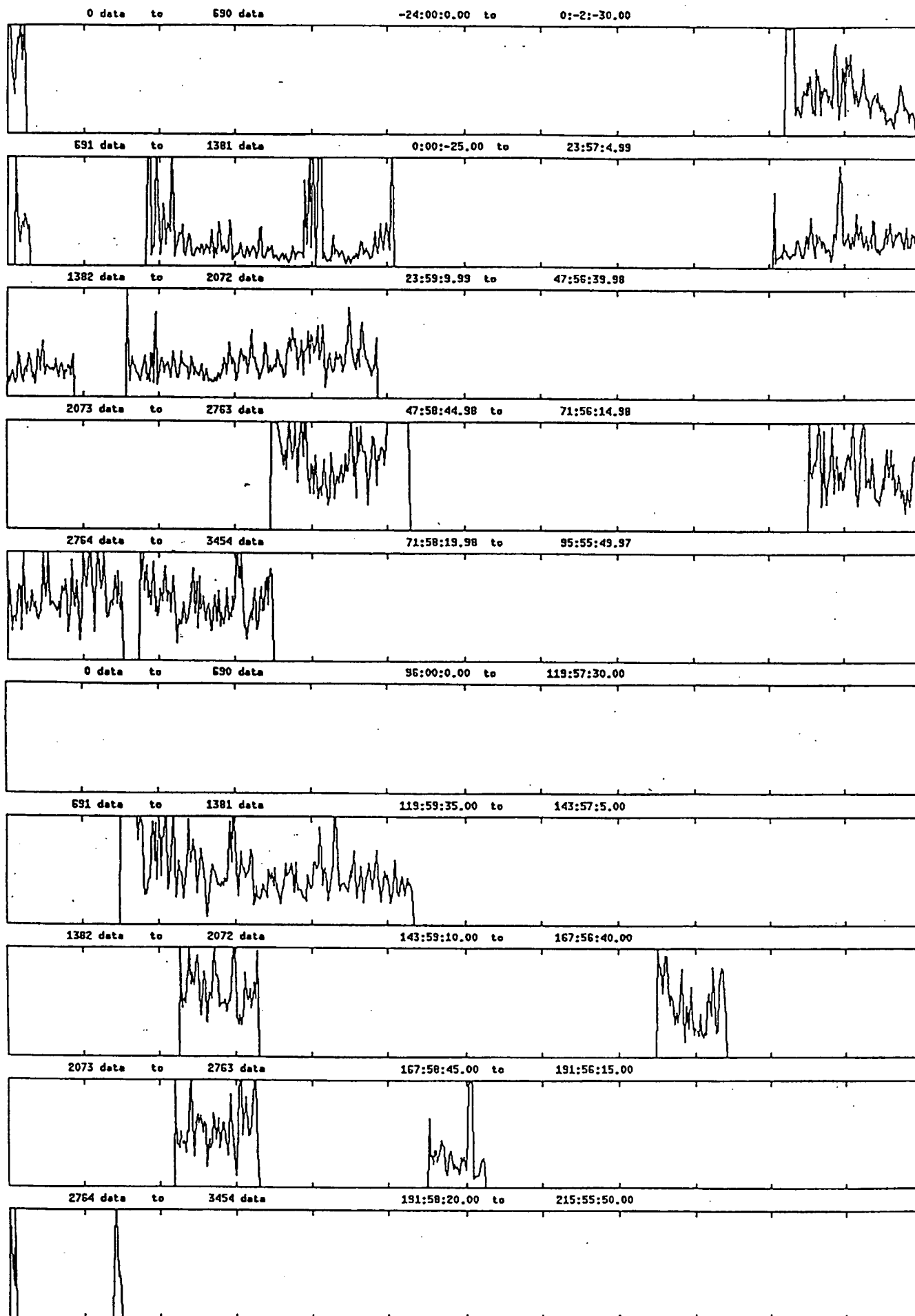


図 1 3 LF相対値の継時的変化

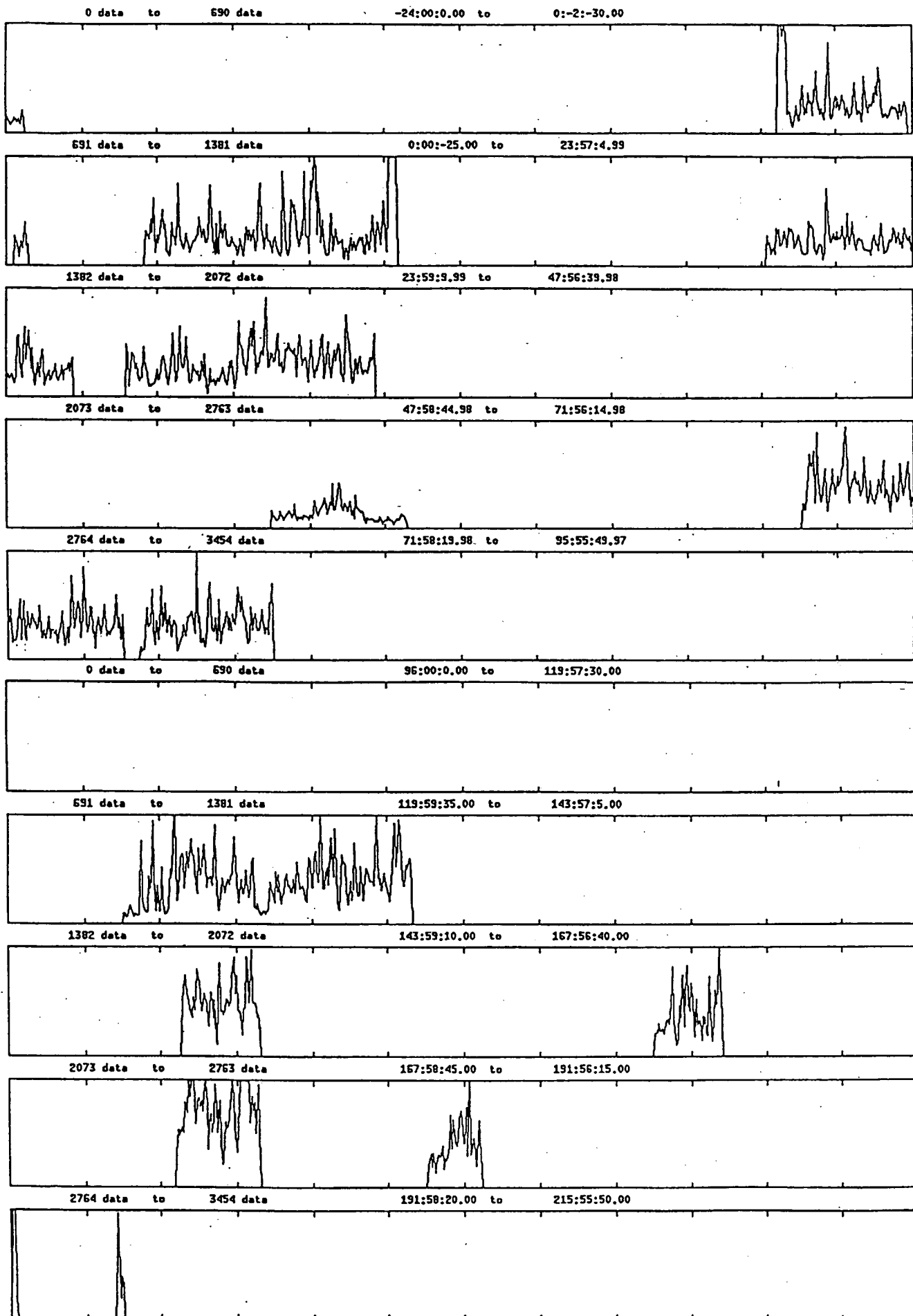


図 1 4 LF/HFの継時的変化

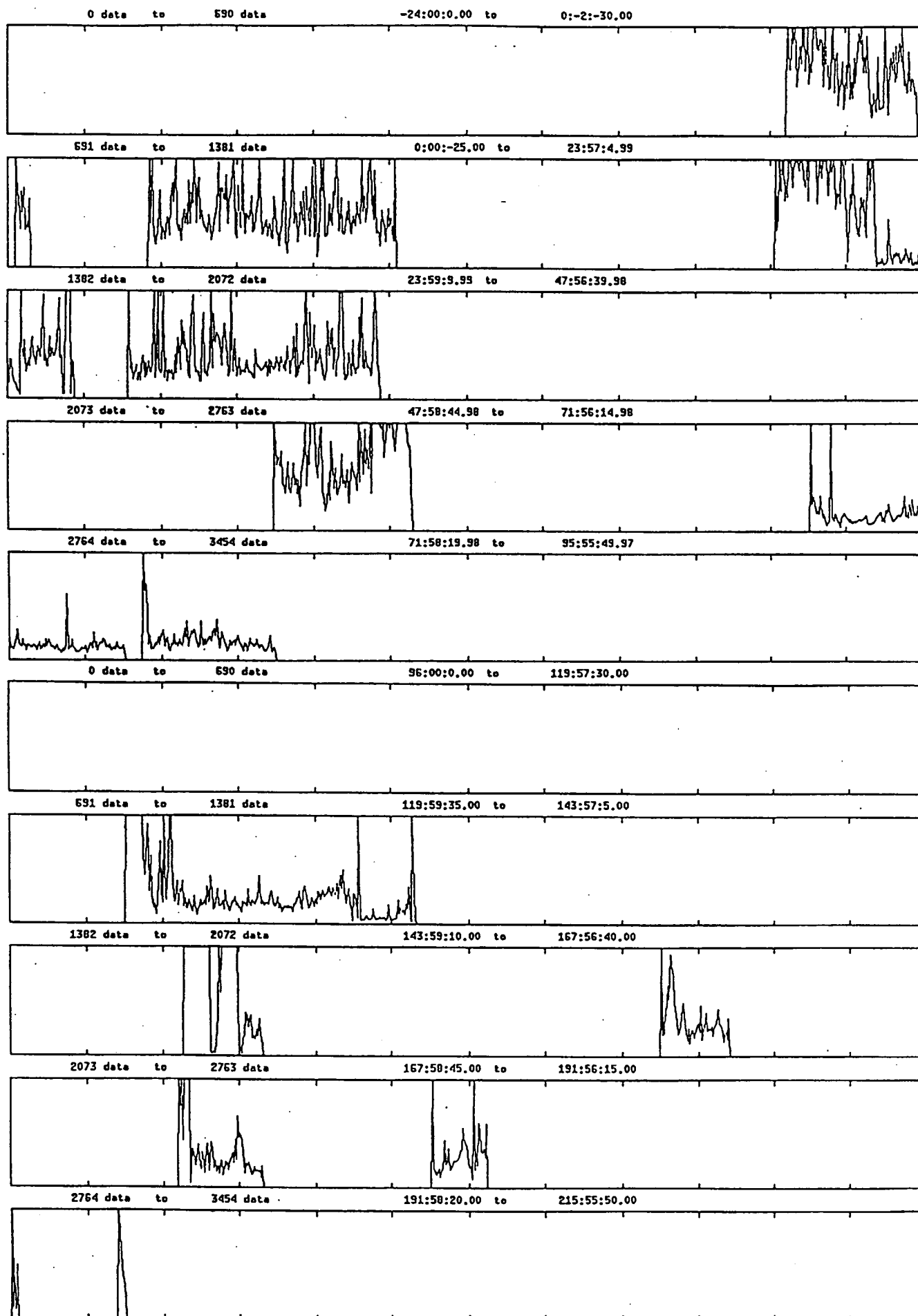


図 1 5 呼吸—心拍間隔の伝達特性値の継時的変化

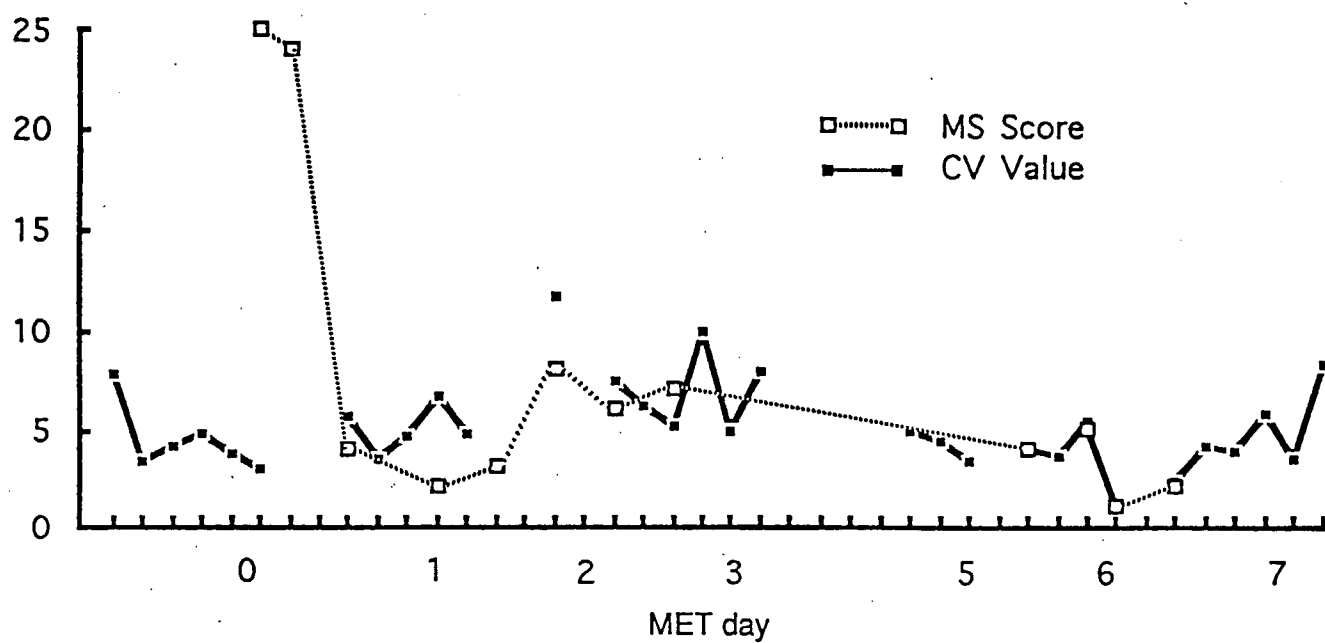


図 1 6 飛行中CV値とMSスコアーの変化

MS SCORE \* CV% MET 1-7

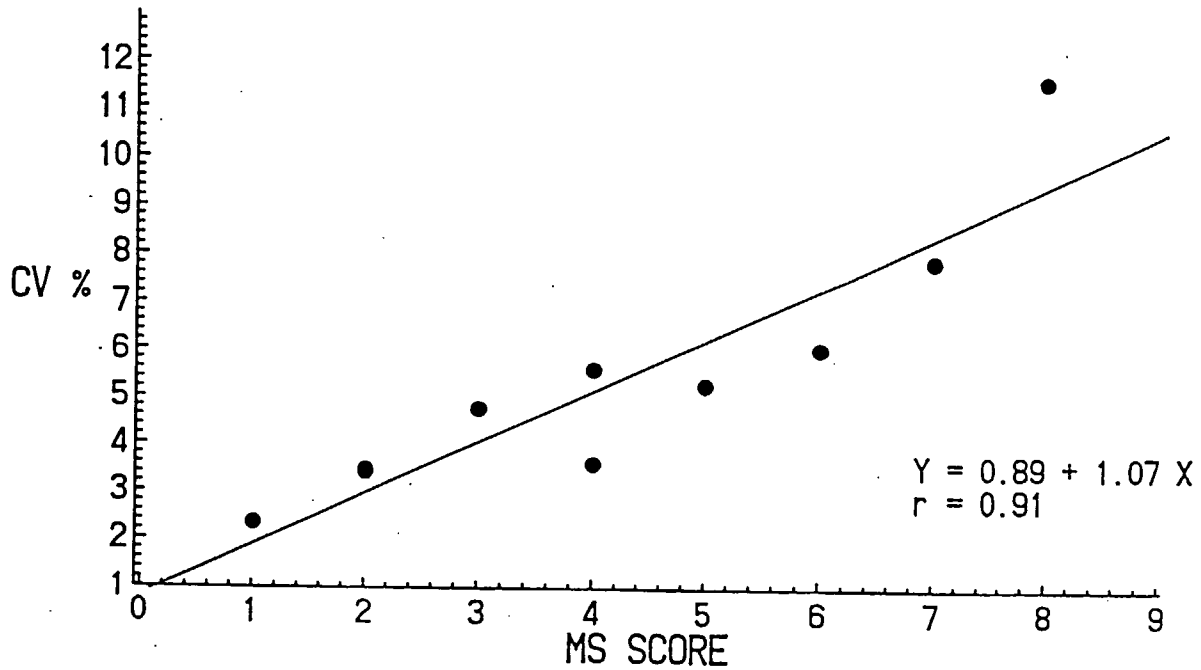


図 1 7 CV値とMSスコアの相関関係  
(MET 0 日を除く)

L-0 MS SCORE \* CV%

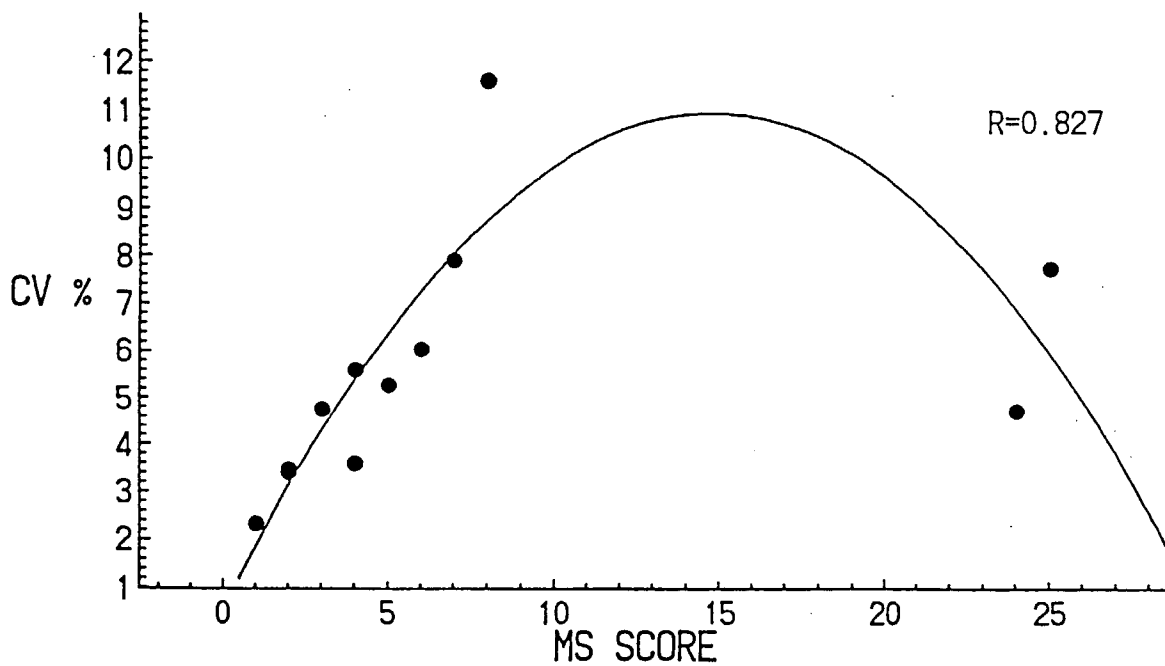


図 1 8 CV値とMSスコアの相関関係  
(2 次曲線)

## HR and BP Changes

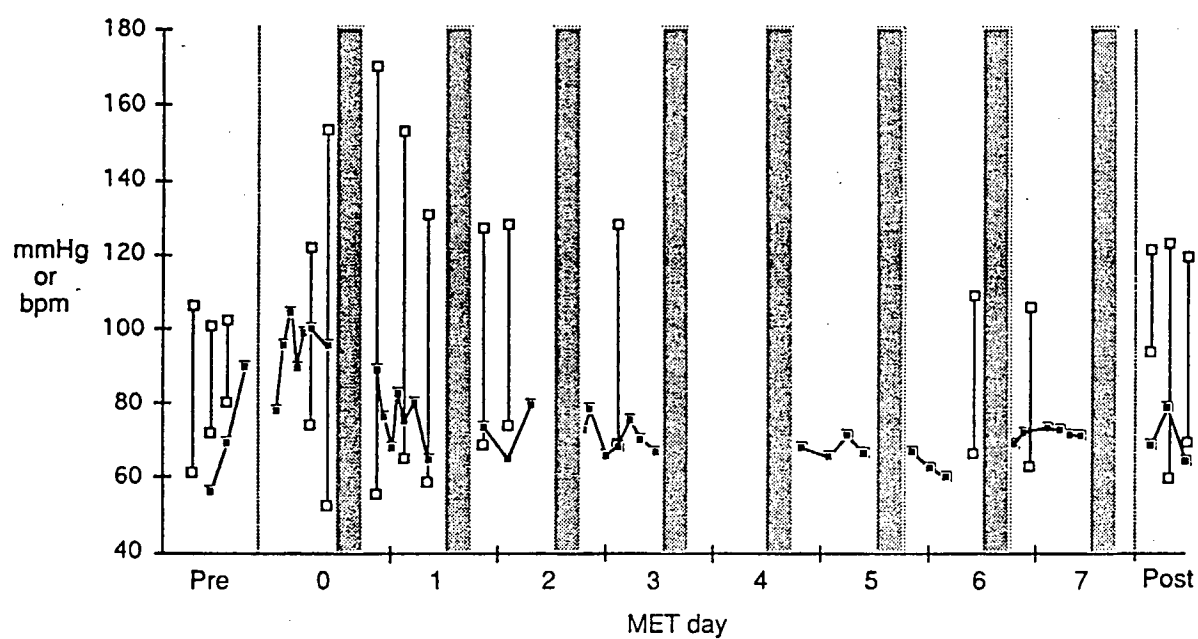


図 1 9 飛行前・中・後の心拍数と血圧変化



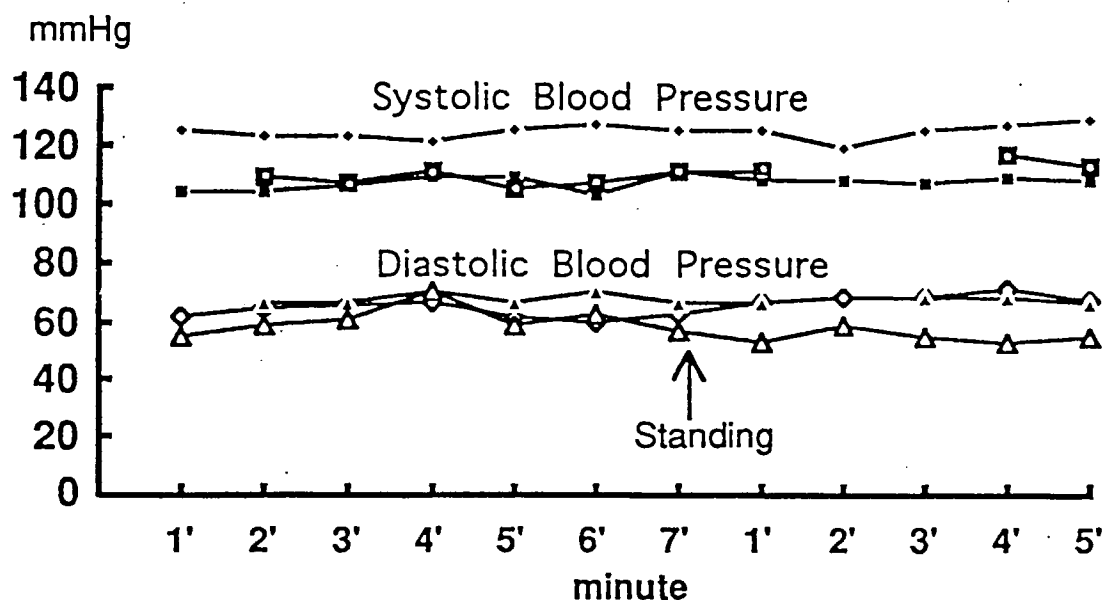


図 2 0 起立テスト時の血圧変化

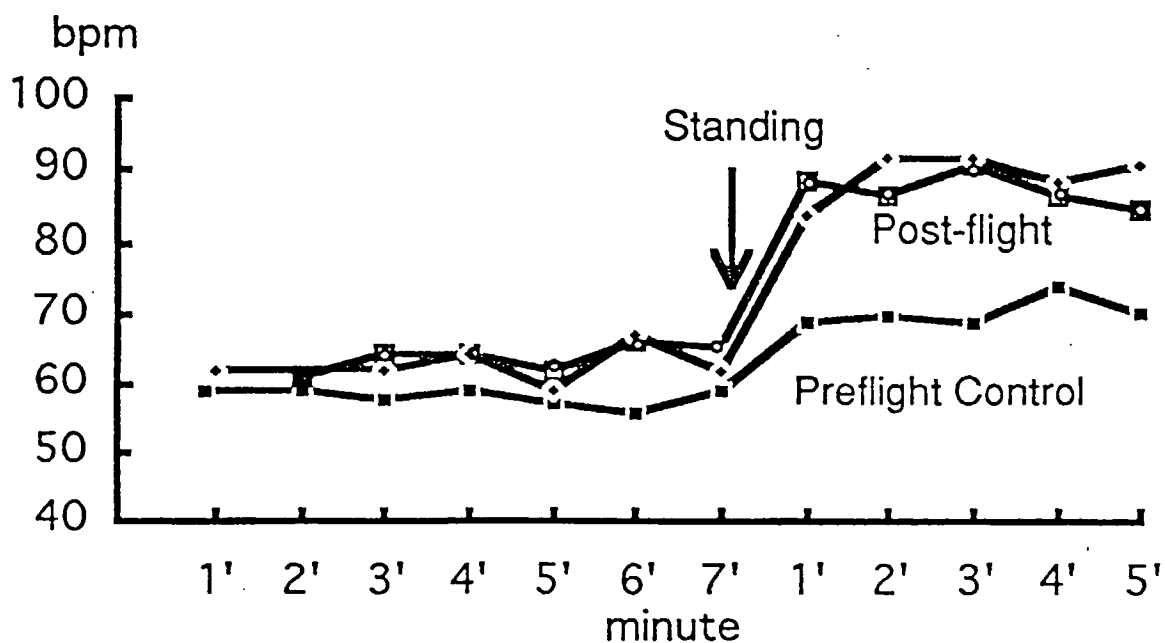


図 2 1 起立テスト時の心拍数変化

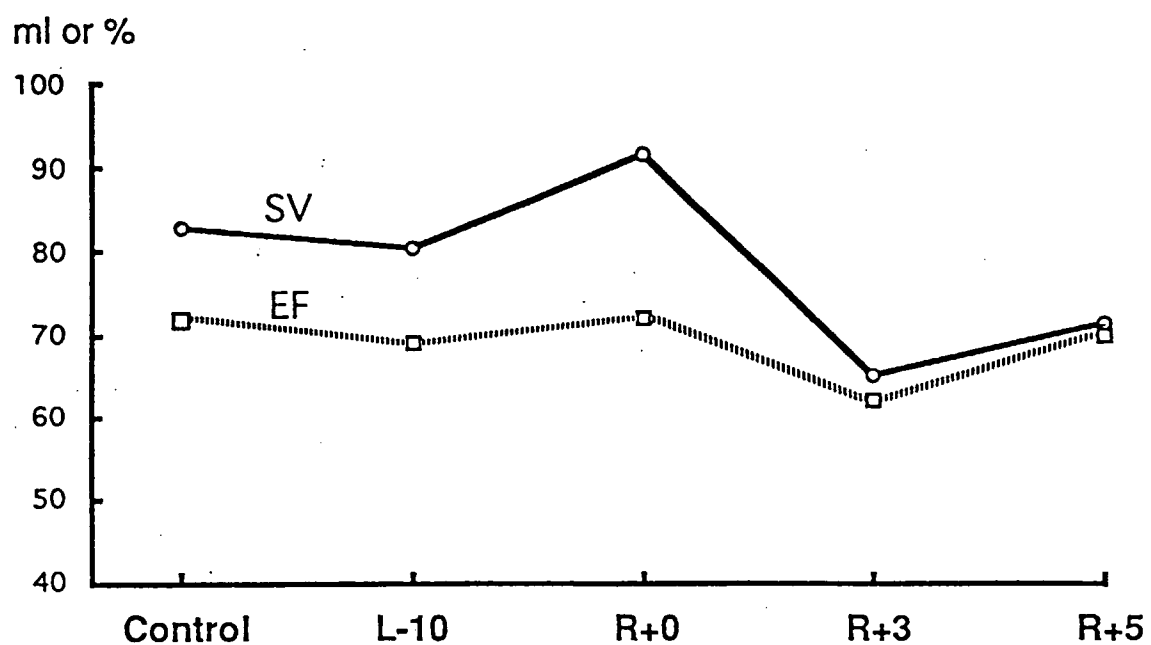


図 2 2 飛行前後の 1 回拍出量と駆出率変化

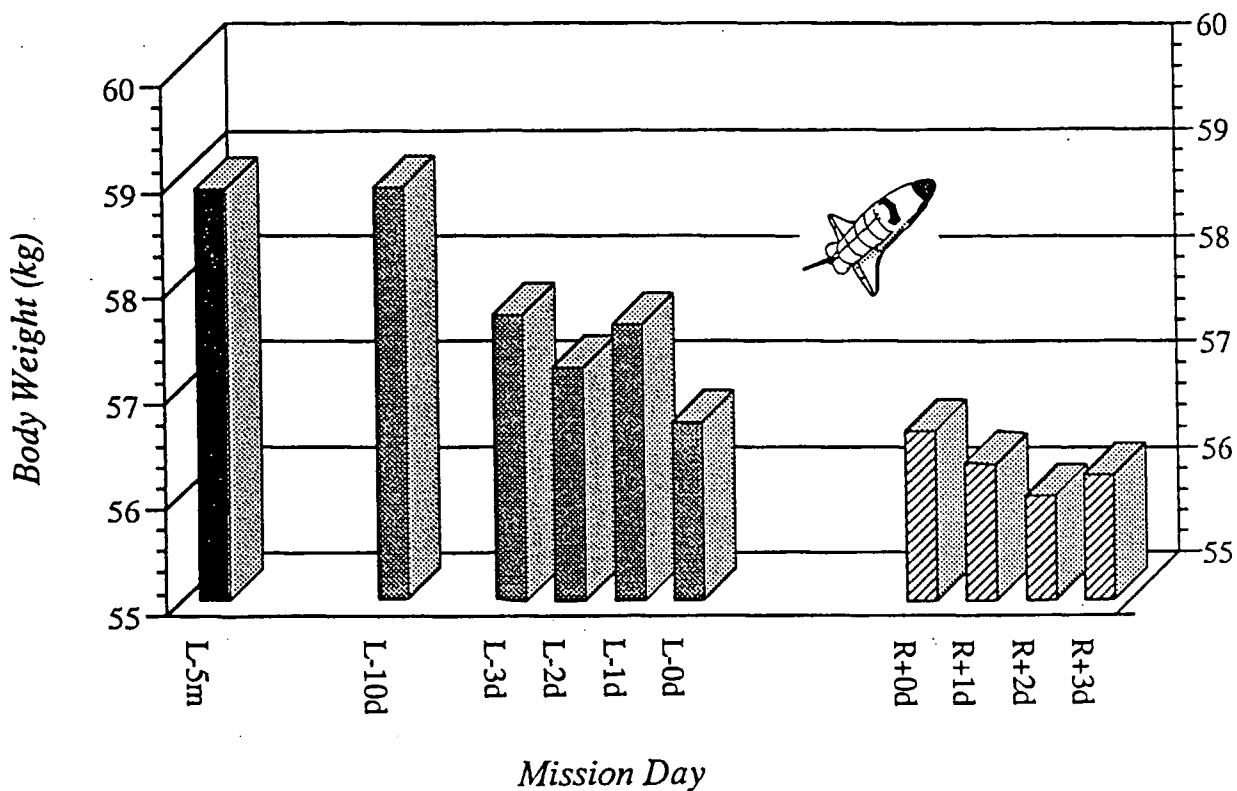


図 2 3 飛行前後の体重変化

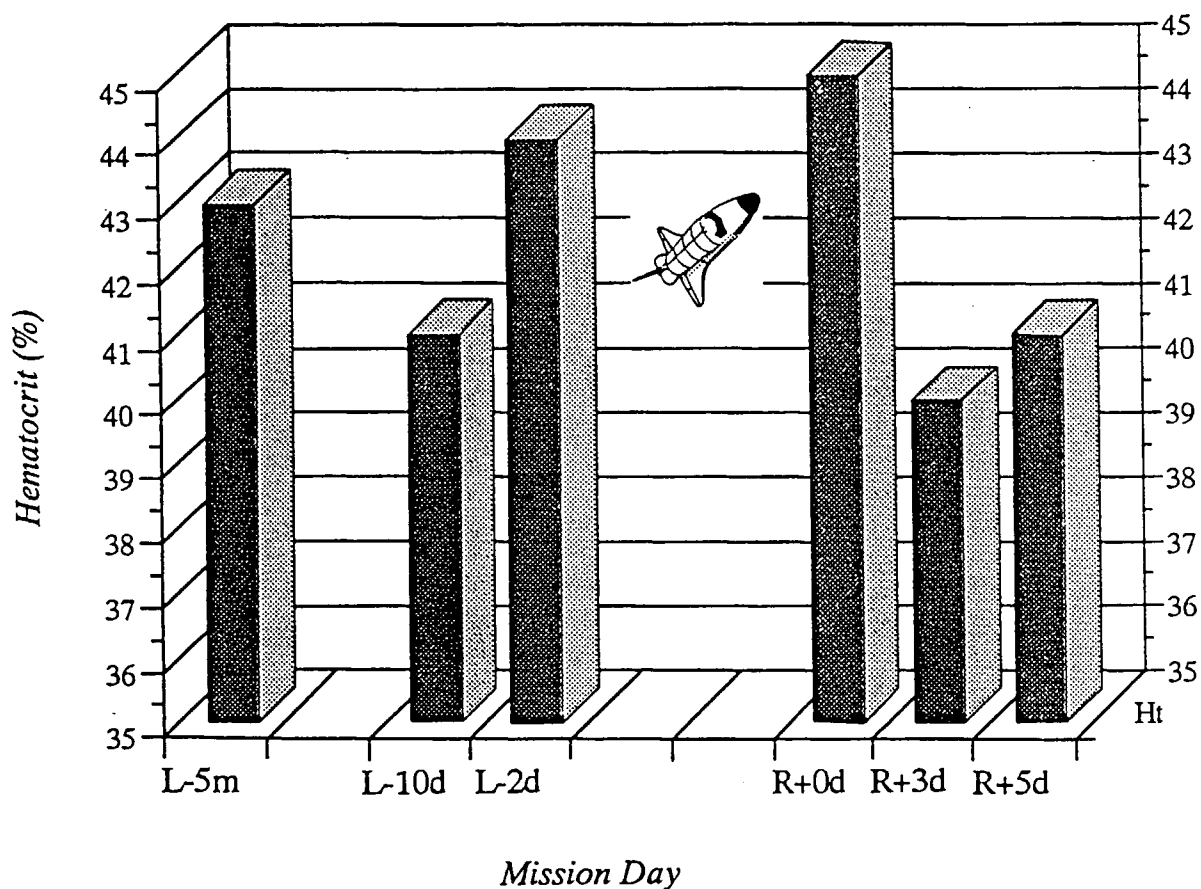


図 2 4 飛行前後のヘマトクリット変化

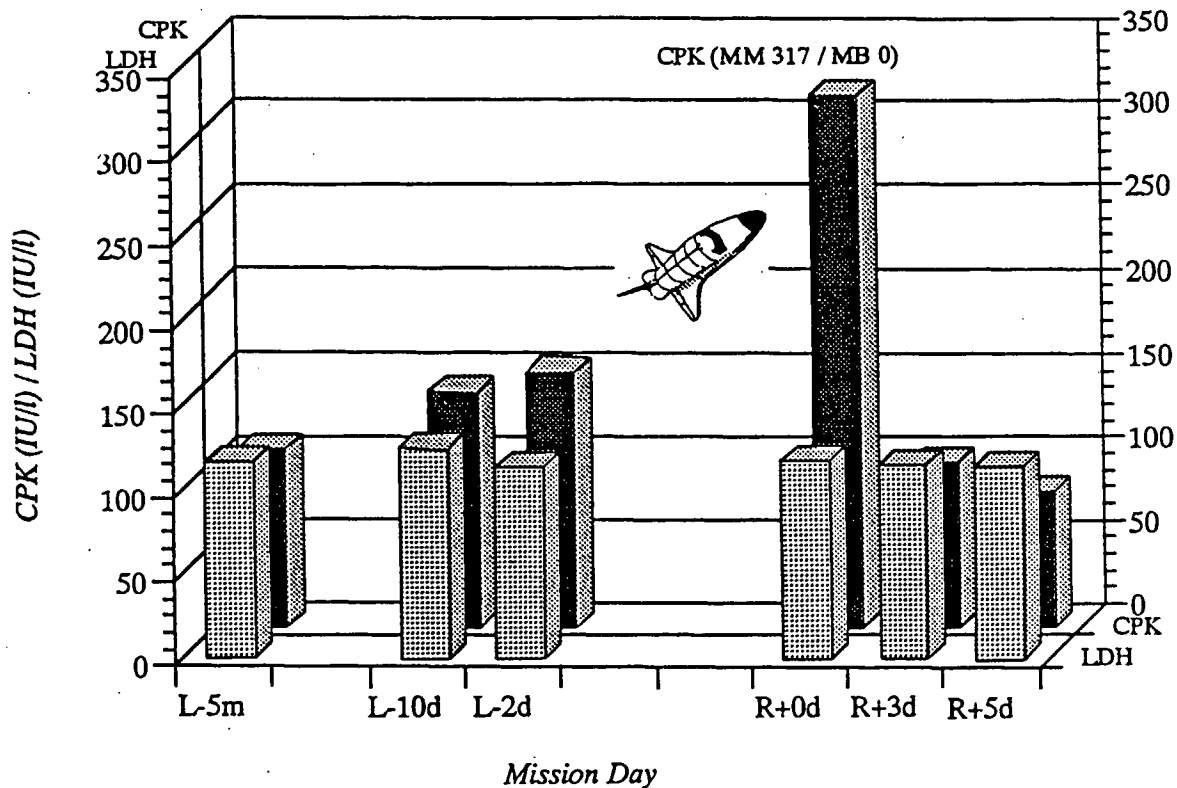


図 2 5 飛行前後のCPKとLDH変化

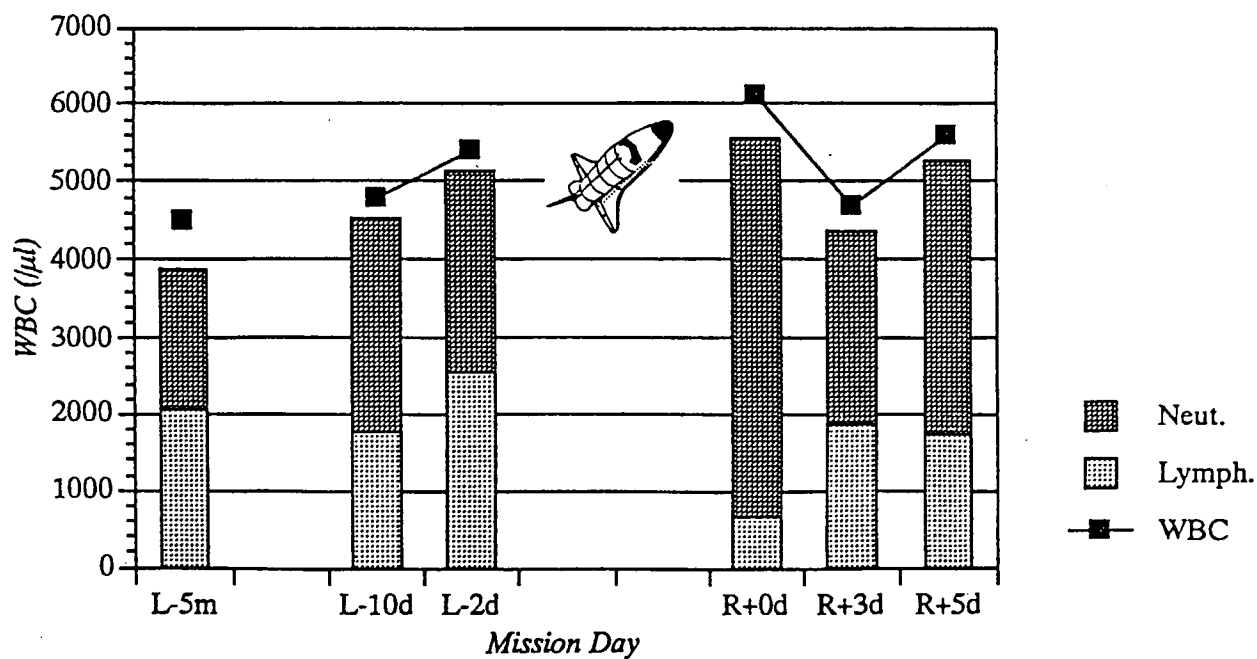


図 2 6 飛行前後の白血球数変化