

別紙A 「自由テーマ」応募フォーム詳細」

1. 実験テーマ名

重力変化が血流量と自律神経活動に及ぼす影響

2. 実験の目的・概要

実験の動機（ねらい）：

私たちの体には、恒常性（ホメオスタシス）を維持する機能があります。そのために重要な働きをしているのが自律神経です。自律神経は、平滑筋・心筋・腺を支配しており、循環・呼吸・体温維持・消化・代謝・排泄・生殖などの自律機能を調整する重要な役割を担っています。

宇宙への滞在で微小重力に曝露されると、恒常性が崩れることが明らかにされています。たとえば、微小重力に曝露されると体液シフトが起こり、上半身（とくに頭部）への体液移動が起こります。毛利衛宇宙飛行士がスペースシャトルで宇宙へ滞在した時の地上とのテレビ対話において、「宇宙滞在6日目になりますが、地上にいる時と比較して大腿周りが4cm小さくなり、首周りが2cm大きくなりました」と説明されていました。

微小重力への曝露によって恒常性が乱れると体にさまざまな問題（障害）が生じると考えられます。そのような問題を検討するための資料として、「血流量」と「自律神経活動」の変化を分析することが有効だと考えました。

末梢の細胞や組織に酸素や栄養分を送るためには、「血流量」の維持が重要です。「自律神経活動」とは、交感神経と副交感神経の働きのことです。「交感神経」の過剰な活動は、高血圧を引き起こしたり、過緊張を持続させることとなります。一方、「副交感神経」の過剰な活動は、活動意欲を減退させたり、食欲を促進させることとなります。

「血流量」は、自律神経、ホルモンの分泌、免疫系によって調節されています。とくに皮膚血流量の調節には皮膚交感神経が関与しており、皮膚交感神経の緊張により血流量は減少します。自律神経の活動パターンに変化（乱れ）が生じると、末端への血流量が減少します。自律神経の活動パターンに変化が生じる理由としては、「ストレス」や「器質的な障害」などが考えられています。パラボリックフライトによっても自律神経の活動パターンに変化が生じると考えられ、これにより微小重力への曝露時に血流量の減少が生じていると考えられます。

仮説：

本実験では、下記の仮説を検証します。

1. 加重力・微小重力によって血流量が変化する。
 - ・加重力への曝露時：血流量が増大する。
 - ・微小重力への曝露時：血流量が減少する。
 2. 加重力・微小重力によって自律神経活動が変化する。
 - ・交感神経と副交感神経の活動がどのように変化するかは見当がつかない。
- (上記のように仮説を設定した理由につきましては、下記の「これまでの準備状況」を参照して下さい)

目的：

パラボリックフライトによって引き起こされる加重力や微小重力時の「血流量」と「自律神経活動」の変化や相互関係を、「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」を使用して明らかにすることを目的とします。

期待される成果：

加重力や微小重力における「血流量」と「自律神経活動」の変化を明らかにすることができれば、宇宙飛行士の健康管理のための基礎資料を得ることができます。また、微小重力時の「血流量」と「自律神経活動」の変化を把握することができれば、それを解決するための新たな実験（研究）へと発展することができます。

これまでの準備状況：

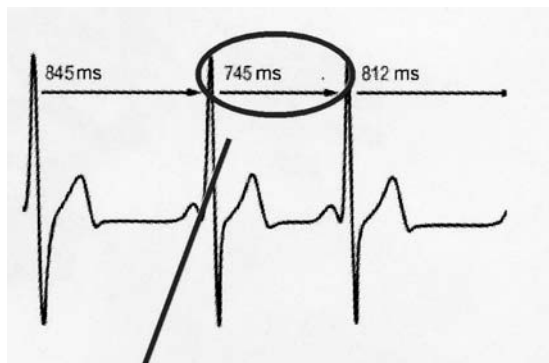
血流量の変化

宇宙環境では、下半身へ流れる体液が減少して、上半身へ流れる体液が増大します。Matsumoto et al. [1] は、ヒトを用いたパラボリックフライト実験から、手と足の指先における脈波を記録して、得られた波形から血流量の変化を分析したところ、足の指先ではパラボリックフライト時に血流量が減少して、手の指先では血流量の変化は認められなかったと報告しています。しかしながら、先行研究 [1] では、手、または足の指先の血流量の変化を相対的 (%) に分析しており、どの程度の血流量の変化が認められたのかを定量的に測定していません。本研究では、レーザードップラー式血流量測定装置によって、上肢と下肢の血流量を定量的 (ml/min/100g) に測定できますので、測定部位の経時的な血流量の変化を分析できるだけでなく、異なる部位での血流量の比較が可能になります。

- [1] Matsumoto A et al. Comparison of blood volume in upper and lower limbs during exposure to hyper- and micro-gravity. J Jpn Soc Micrograv, 25: 607-609, 2008.

自律神経活動の変化

「自律神経機能測定装置」を使用して、心拍の波形を記録することによって RR 間隔（波形の尖った部分から尖った部分まで）を分析します（図 1）。連続した RR 間隔を測定して、間隔の「揺らぎ」を分析すると、交感神経が優位に活動しているのか、副交感神経が優位に活動しているのかが分かります。具体的には、心拍変動をパワースペクトル解析して、低周波数成分（0.03~0.15Hz：交感神経・副交感神経両者を反映）と高周波数成分（0.15~0.4Hz：副交感神経を反映）を定量化します。



RR 間隔

図 1. 心拍の記録による RR 間隔の測定。図の黒丸の RR 間隔は、745ms (0.745 秒) になります。連続して測定した RR 間隔の「揺らぎ」を分析することによって、自律神経の機能を判定します。

活動時（昼間の仕事中等）には、交感神経の活動が優位であり、休息時（夜間の睡眠中など）には、副交感神経の活動が優位であることが明らかにされています。しかしながら、これまでに加重力や微小重力の環境で自律神経の機能を連続して測定した研究はありません。したがって、交感神経と副交感神経の活動がどのように変化するのかが見当が付きません。

パラボリックフライトによる微小重力への曝露中に血流量の減少や心拍数の増大が生じるならば、交感神経の活動が優位であると考えられます。一方、微小重力への曝露の前後において、血流量の増大や心拍数の減少が生じるならば、副交感神経の活動が優位であると考えられます。いずれにしても、このような関係が認められるかどうかについては、パラボリックフライトによる実験を実施しないと解決できません。

実験の問題点（限界）：

パラボリックフライトで得られる 20 秒間 × 10 回程度の断続的な微小重力の環境への滞在が、そのまま長期間にわたって宇宙に滞在する宇宙飛行士の「血流量」や「自律神経活動」の変化につながると考えるのは難しいと思われます。しかしながら、微小重力への曝露によって生じる初期の変化を把握することは、体で生じる「恒常性」の変化のメカニズムを把握するために重要なことと考えます。

パラボリックフライトを行うことができる被験者は2名と限られていますので、2名で同様な血流量・自律神経活動・心拍数の変化が得られるのかが不安ですが、1名が10回前後のパラボリックフライトを行うことができるため、何らかの傾向が認められると期待されます。

3. 実験内容の区分

生物・医学

4. 実験手順

パラボリックフライトの前日と翌日、パラボリックフライト時（1G→2G→ μ G→1.5G→1Gのそれぞれのステージごと）の血流量・自律神経活動・心拍数を「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」を用いて測定します。

飛行前：

被験者には、健康な学生2名を用います（2名のうち1名は飛行1日目に、他の1名は2日目に搭乗します）。パラボリックフライトの実施までに地上での予備実験を行い、血流量、心電図、血圧に異常がなく、安定して測定できる2名を選出します。

パラボリックフライトの前日（正午）に「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」を使用して椅子に着席した状態で1分間にわたって安静時の血流量・自律神経活動・心拍数を測定します。

1) 血流量の測定

「血流量測定装置」1台とデータを保存するためのコンピュータ1台を使用します。左側の「肘の直下部」と「手甲の中心部」、左側の「膝の直下部」と「足甲の中心部」を走行する静脈の血流量（4か所）を測定します。1パラボリックフライト毎に「肘の直下部」、「手甲の中心部」、「膝の直下部」、「足甲の中心部」と順に測定部位を移動していきます。測定部位には、最初から電極を固定する「円形ゴム」を取り付けておき、1パラボリックフライトが終わるごとに電極の位置を移動していきます。

微小重力では腕が上がるので、意識して腕を膝置き部分から移動しないように心掛けます。腕を固定すると緊急脱出時に瞬時の避難できなくなるので、固定器具やロープなどを用いての固定は行いません。

2) 自律神経機能の測定

「自律神経機能測定装置（本体と送信機）」1個を使用します。「本体（図2）」は腕時計式になっているので、右手に装着して測定します。心拍変動をパワースペクトル解析して、低周波数成分（0.03~0.15Hz：交感神経・副交感神経両者を反映）と高周波数成分（0.15~0.4Hz：副交感神経を反映）を定量化します。胸部に取り付けた「送信機

(図3)」から心電図の信号を「本体」に送信して、「本体」でデータを保存します。



図2. 本体(右腕に付けます)

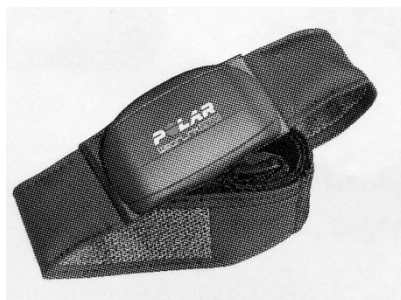
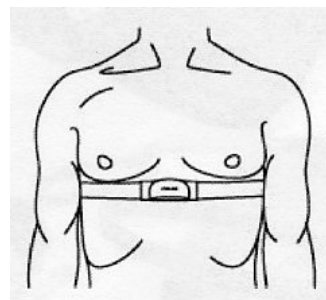


図3. 送信機(胸部に付けます)



送信機を胸部に取り付けた様子

3) 心拍数の測定

上記の2) で使用する「自律神経機能測定装置」に心拍数を記録できるメモリーが内蔵されています。したがって、心拍数の測定には「自律神経機能測定装置」を用います。

飛行中：

飛行の前日と当日に被験者の健康チェックを行います。健康チェックについては、血圧、体温、心拍数を測定します。航空機に搭乗後、座席に着席してシートベルトを締めます。搭乗中は、血流量・自律神経活動・心拍数の測定のために座席に着席したままの状態を保持します。パラボリックフライトが始まる前に「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」のスイッチをオンにします。1パラボリックフライトが終了したところで、「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」のスイッチをオフにします(スイッチのオン・オフは、パラボリックフライトの約1分前と約1分後に被験者がシートベルトをはずしてラックに設置されている装置のボタンをオン・オフすることにより行います)。これをパラボリックフライトの回数だけ繰り返します。

血流量の測定に際しては、1パラボリックフライト毎に「肘の直下部」、「手甲の中心部」、「膝の直下部」、「足甲の中心部」と順に測定部位を移動していきます。測定部位には、最初から電極を固定する「円形ゴム」を取り付けておき、1パラボリックフライトが終わるごとに電極の位置を移動していきます。したがって、下記の順に血流量の測定を行います。

- ・パラボリックフライト1回目：肘の直下部
- ・パラボリックフライト2回目：手甲の中心部
- ・パラボリックフライト3回目：膝の直下部
- ・パラボリックフライト4回目：足甲の中心部
- ・パラボリックフライト5回目以降：上記の1～4回目と同様の順序で測定を行い、パラボリックフライトが終了するまで繰り返します。

飛行後：

パラボリックフライトの翌日（正午）に「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」を使用して椅子に着席した状態で1分間にわたって安静時の血流量・自律神経活動・心拍数を測定します。

データ解析：

「血流量測定装置」と「自律神経機能測定装置」をパーソナルコンピュータに接続して、パラボリックフライトの前日（正午）とパラボリックフライト時（1 G→2 G→ μ G→1.5 G→1 Gのそれぞれのステージごと）、パラボリックフライトの翌日（正午）の血流量、自律神経活動、心拍のデータを保存・整理します。さらに、ダイヤモンドエアサービス株式会社から提供される重力変化のデータを上記のデータに加えて分析を行います。

5. 実験装置概要

- 1) 血流量測定装置（1台）：ニューロサイエンス社 FLO-N1



- 2) 血流量測定装置のデータを保存するためのコンピュータ（1台）：東芝 Dynabook VX/670LS



- 3) 自律神経機能測定装置（本体+送信機）：ポラール・エレクトロ・ジャパン株式会社 RS800CX（図2と図3を参照）

6. 実験装置のサイズ／重量概算

1) 血流量測定装置 (1台)

26.0cm (幅) × 32.5cm (奥行) × 7.0cm (高さ) / 1台あたり 4kg

2) 血流量測定装置のデータ保存用コンピュータ (1台)

35.9cm (幅) × 27.0cm (奥行) × 3.8cm (高さ) / 1台あたり 3kg
コンピュータを開いたときの高さ 29.5cm

3) 自律神経機能測定装置 (1個)

5.0cm (幅) × 7.5cm (奥行) × 7.0cm (高さ) / 1個あたり 37g

7. 必要な電源容量概算

1) 血流量測定装置 (1台)

AC100V, 50/60Hz, 20VA

2) 血流量測定装置のデータ保存用コンピュータ (1台)

AC100V, 50/60Hz, DC15V, 5VA

3) 自律神経機能測定装置 (1個)

水銀電池 1個使用 (外部からの電源は不要です)

8. 実験支援装置の利用要望

被験者の動きを確認するためにビデオカメラ1台の搭載を希望します (ビデオカメラは代表提案者が準備します)。

9. 危険物等の搭載の有無

無

10. 実験実施時の航空機への搭乗希望有無

(有) ・ 無)

1フライトにつき搭乗者1名

11. 役割分担

代表提案者

永友文子 (京都大学大学院人間・環境学研究科)

地上での航空機実験支援、データの解析・整理

共同提案者①

池田展世 (放送大学・教養学部)

地上での航空機実験支援、データの解析・整理

12. その他特記事項