

||||| 特集 2 : 航空機による学生無重力実験コンテスト |||||
(解説)

重力変化時の血圧調節におけるヒト前庭系のはたらき

栗津 ちひろ¹・田中 邦彦²・安部 力²・森田 啓之²

Vestibular System Contributes Human Blood Pressure Control upon Gravitational Changing

Chihiro AWAZU¹, Kunihiko TANAKA², Chikara ABE² and Hironobu MORITA²

Abstract

Previous studies from our laboratory demonstrated that the vestibular system has a significant role in controlling arterial pressure during gravitational stress in conscious rats. However, the role of vestibular system in humans is still unclear. Accordingly, the role of vestibular system in controlling arterial pressure during gravitational stress was examined in humans. To disturb the normal vestibular function, GVS (galvanic vestibular stimulation) was applied. In GVS, electrical stimulation was applied through the electrodes attached on the mastoids. This artificial stimulation would mask the optimum input to the vestibular system, thus could not accept the normal input induced by position or gravitational change. With measuring the arterial pressure, microgravity for 20 seconds was applied by parabolic flights. The arterial pressure response was compared between GVS (on) and GVS (off). In GVS (off), arterial pressure was increased at the onset of microgravity, and then decreased below the pre-microgravity control level. The initial increase in arterial pressure was completely abolished in the subjects with GVS (on). These results indicate that the vestibular system operates for controlling arterial pressure upon the gravitational change in humans.

1. 実験の目的

最近行ったラットを用いた実験において、重力の受容器官である前庭系が血圧調節に関与し、微小重力曝露や過重力負荷時の血圧応答に重要な役割を果たしていることを報告した (Gotoh et al. *Am J Physiol*, 296: R25-30, 2004; Matsuda et al. *Brain Res*, 2004). このような前庭-血圧調節系は、宇宙へ行ったり帰ったりする時のように、重力変化が生じるような場合の血圧変化を決める大きな要因となっている可能性がある。また前庭系は可塑性が高いことが知られており、このような血圧調節系がヒトにも存在しているとすれば、長期の微小重力曝露により、前庭-血圧調節系の調節力が変化し、地球帰還後に前庭-血圧調節系が正常に動作せず、帰還後の起立性低血圧に関与している可能性がある。今回行った研究の目的は、ラットで見られたような前庭系を介した血圧調節系がヒトにおいても存在し、それが重力変化時の血圧調節に働いているという仮説を証明することである。

2. 実験手順

実験では前庭系が正常に働く状態とそうでない状態で、パラボリックフライトを行った時の血圧変化がどう違うかを比較した。

正常な前庭入力を妨げるための方法として、GVS (Galvanic Vestibular Stimulation) を用いた。GVS では両耳の後ろの部分 (茎状突起) に電極を貼り付け、微弱電流を流す。こうして前庭に人工的な入力を入れることで「めまい」の状態を作り出し、前庭が本来の重力変化を感知するのを妨げる。今回の実験では、パラボリックフライト中ランダムに電気刺激を与えることによって被験者の前庭に常に重力変化 (垂直方向の変化) の入力を与え、実際の重力変化をマスクした。今回の実験では GVS (+) (-) それぞれ 2 回ずつ、計 6 人分のデータを取得した。

3. 実験結果

重力変化に伴う血圧変化の様子は Fig. 1 に示すとおりである。

GVS (-)、すなわち正常な前庭機能がある状態では微小重力になると同時に血圧が約 20 mmHg 上昇し、その後重力が回復するまで徐々に低下していった。また、心拍数も、一度上昇した後減少が見られた。この減少は「圧受容器反射」のはたらきであると考えられる。これに対して GVS によって正常な前庭入力を障害した状態 (GVS (+)) では重力変化時の血圧上昇を認めることなく、血圧が低下した。

1 福井大学医学部 〒910-1193 吉田郡松岡町下合月23-3
23-3 Shimoaitsu, Matsuoka-town, Yoshida-gun, Fukui 910-1193, Japan (E-mail: chihiro-awa@r5.dion.ne.jp)
2 岐阜大学医学部大学院医学研究科生理学分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1
1-1 Yanagido, Gifu-city, Gifu 501-1194, Japan

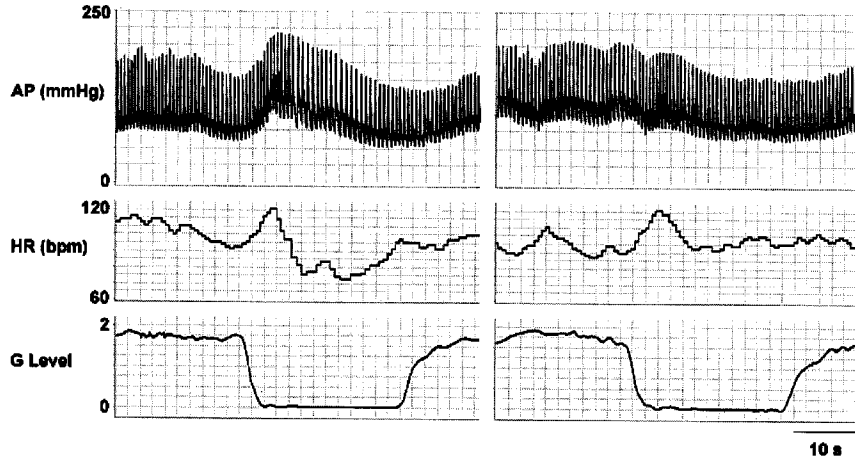


Fig. 1 The representative response of the AP, HR and G level during parabolic flight.

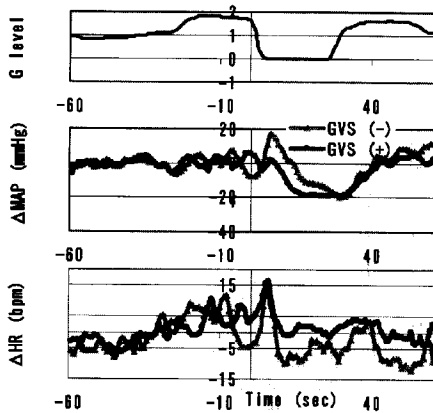


Fig. 2 Summarized data of 4 subjects' AP response.

Fig. 2 に示すのは有効なデータが取れた被験者 4 人分のパラボリックフライトで見られた血圧変化、心拍数変化の平均である。Fig. 2 の X 軸は時間経過 (秒) を、Y 軸は重力変化前 (2 G 状態) の血圧の平均値を 0 とした血圧の変化値を表している。

平均すると GVS(-) でみられる血圧上昇は約 20 mmHg であり、GVS(+) では血圧上昇はみられなかった。微小重力終了時には両者とも約 20 mmHg の血圧低下がみられ、重力が 2 G になるとともにもとのレベルまで回復した。この血圧低下の程度には GVS(-) と (+) の差は見られなかった。微小重力中血圧が低下するのは、血圧を測定した部位 (指尖部) と心臓の高さの差による静水圧差が微小重力中にはなくなったからであると考えられる。

4. 考 察

Fig. 3 は、ラットにおける前庭系を介した血圧調節系を説明したものである。

過重力が感知されると、血圧変化が起こる前に前庭-交感神経反射を介して動脈血圧が増加する。この変化は重力増加に伴って起こる血圧低下を予測して前もって血圧増加を引き起こす予測制御的な調節である。しかし、この働きは低下した動脈血圧に基づいたものではないため、制御誤差が生じるこの誤差は圧受容器反射により補正される。今

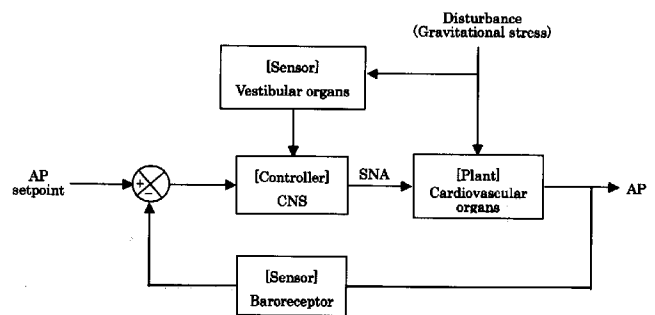


Fig. 3 Diagram of AP controlling system (from the previous study with rats).

回のパラボリックフライトでの実験でもこのような予測的な反射が働いたと考えられる。

今回の実験では、ヒトにおいても前庭系が重力変化に伴う血圧変化に関与していることが証明できた。しかしながら、正常な前庭系入力がある状態が必ずしもヒトの体にとって有利とは限らないのではないかと感じた。例えば、重力が μG に変化したとき、無理に血圧を上昇させるような反応が起こることがヒトにとって有利であるのかどうかは疑問である。また、何人かの被験者は、「GVS(+) の時の方が重力変化の際の気持ち悪さを感じにくかった」と訴えた。血圧との関係、重力変化によって生じる酔いとの関係など、前庭系はまだまだ多くのことがらに関係していそうである。今回の実験は、重力変化時の前庭系の役割について今後さらなる研究を続けていく面白さを見つけた実験となった。

謝辞

本実験は宇宙航空研究開発機構、日本宇宙フォーラムの援助を受け「第 2 回航空機を利用した無重力実験コンテスト」の一環として実施されました。航空機実験の実施にあたり、多大なご協力を賜ったダイヤモンドエアサービス株式会社の皆様に深く感謝致します。

(2005年12月12日受理)