

# 倒立訓練装置による血管反射リハビリシステムの基礎研究

福本 一朗\*

A study for the vascular reflex rehabilitation system by tilting bed

Ichiro FUKUMOTO\*

**Abstract :** In order to treat orthostatic disorders, passive physical trainings using a automatic tilting bed are studied. The subjects are 6 healthy adults, who are grouped into two groups according to their training experiences. The blood pressure changes, heart rate changes and body surface temperatures before & after trainings show clear activation of the parasympathetic nerve systems, which suggests the possibility of non medical treatment of the orthostatisms.

**Key words :** orthostatic disorders, physical training, rehabilitation, thermography, tilting bed

## 1. はじめに

起立性低血圧は女性や高齢者に多発する自律神経障害のひとつであり、通常は自律神経機能改善剤などの薬剤療法が行われている。しかし薬剤療法は副作用を伴うことも多い。特に妊娠中の婦人や薬剤耐性の低下している高齢者に対する薬剤投与は避けるべきであり、可能なかぎり非薬剤療法を第一手段として選択すべきであると考えられている。非薬剤療法の一つに物理的治療法があり、その中でも簡単な傾斜ベッドを用いた倒立訓練装置は効果対費用比が大きく世界中で多用されている。特に北欧諸国では高血圧・脳血管傷害などの循環器系疾患をもつ患者を除き、通常の更年期疾患や自律神経機能不全の患者に対して病院・老人施設などで一般的に使用され、歴史も古くその有効性は広く認められている。

しかし我が国では自国の研究者による科学的検証が必ずしも十分になされていないこともあって知名度が低く、内科領域での利用は寡聞にしてその例を見ない。わずかに整形外科領域において脊柱疾患に対する物理的リハビリ用具として用いられているに過ぎない。

このような状況下において、倒立訓練装置を内科的/神経内科的疾患に応用するためには、一般開業医が営む診療の場で容易かつ安全に利用できる血管反射機能改善システムの開発が必要とされる。そのた

め本研究においては倒立訓練中の循環動態解析を行い、倒立訓練装置の起立性低血圧治療への応用可能性を検討するための基礎実験を行った。

## 2. 循環反射と血圧調節機構

一般に何らかの理由で動脈圧が上昇すると、頸動脈洞および大動脈弓にある動脈圧受容器が興奮し、心臓血管中枢が抑圧される。その結果、心臓交感神経と血管収縮神経の活動が低下して、心拍数の低下(徐脈)と心拍出量の減少および血管拡張が起こり、血圧を下げる反射が生じる。これを「動脈圧受容器反射」という。血圧が下降した場合にはこれと逆の反応が生じる。この動脈圧受容器反射は血圧が60~200mmHgの範囲で駆動され血圧を一定にたもつホメオスタティス任務を担っている。一方、心房や肺血管には心肺部圧受容器が分布しており、血液量の増加を検出して下垂体後葉からのバソプレッシンの分泌を抑制することを通して、腎臓からの水の再吸収を減少させるために循環血液量が減少するとともに血管を拡張させるので、やはり血圧を下げる機能を有している。なお心臓血管中枢は延髄腹外側部にあると考えられており、特に減圧中枢は尾側延髄腹外側部に存在して血圧下降と交感神経抑制を司り、昇圧部は吻側延髄腹外側部にあつて血圧上昇と交感神経興奮に重要な働きを果たすとされている。(Fig. 1)

原稿受付：平成15年5月26日

\*長岡技術科学大学工学部生物系医用生体工学教室

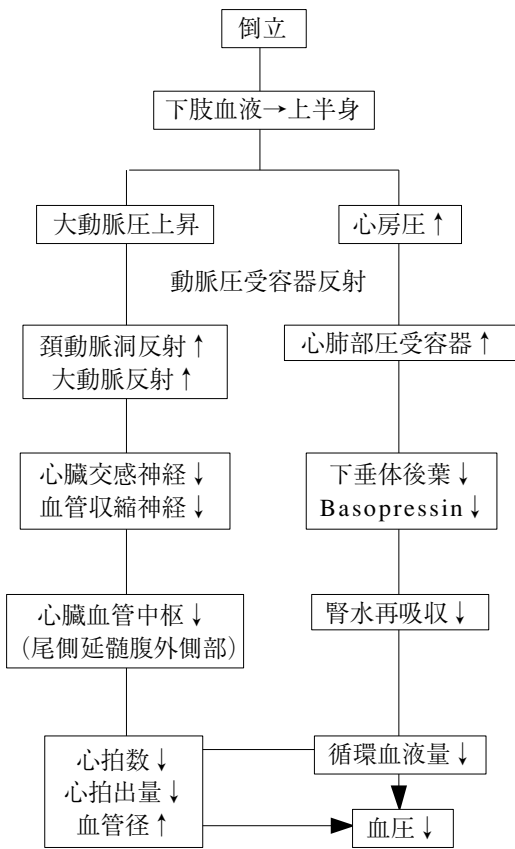


Fig.1 倒立による動脈圧受容器反射経路

[体位血圧反射]

老人などが急に起立すると立ちくらみを起こすことがある。学童が朝礼などで長く起立しても同様なことが起こる。これはいずれも重力が循環器系に及ぼす影響の結果である。起立の影響を最も受けやすいのは、静脈・右心室・肺循環などの低圧系であるが、脳動脈圧の効果も医学的には重要である。起立により脳動脈圧の収縮期圧が80mmHg以下になると「立ちくらみ」が起こり、60mmHg以下になると意識が混濁してくる。さらに下半身に血液が貯留するため静脈還流が減少し心拍出量が減少するために血圧も下がる。心肺部圧と血圧の低下は、心肺部圧受容器反射と動脈圧受容器反射を引き起こす。この2つの反射は心拍数を高めて心拍出量を増加させることにより血圧を上昇させるため、結果として脳血流および全身血流を確保する。このような起立に伴う循環器系の適応反応を特に「体位血圧反射」と呼ぶ。

起立の逆現象である倒立においては、下半身の血液が上半身に移動して同じ低圧系に反対の効果が生じる。具体的には心肺部の容積が増大し、心肺部圧受容器への入力が増加して、心肺部圧受容器反射が起こり、心

拍数と血圧を低下させることになる。

3. 実験方法

被験者としては健常成人6名（男性4名、女性2名、平均年齢26.4±1.8歳）に対し倒立訓練装置G-Magic（ネクスト社製、寸法910×1990×2048、重量165Kg、消費電力90W）を用いて毎日10分2週間の訓練を行った。（Fig.2）

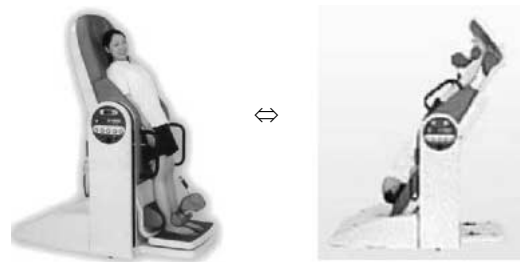


Fig.2 倒立訓練装置の外観

本来G-Magicは筋力を必要としない高齢者向けの受動的トレーニングマシンであり、軽度の障害もっている高齢者でも単に乗っているだけで訓練することができ、操作は内蔵コンピュータにより全て自動化されているためその簡便性と安全性を特徴としている。その効用としては、(1)全身の血行促進による冷え性の改善、(2)自重により脊椎の歪みを正常化、(3)消化器系などの内蔵機能の活性化、(4)脳血行促進とほけ防止、(5)運動機能の向上などの効果があるとされている。またその基本性能としては、(1)−60度までの倒立と揺動によるヘッドダウン動作、(2)腰部への振動刺激、(3)小川のせせらぎなどの環境音によるリラクゼーション、が備えられているが、本実験では腰部振動刺激はOFFとし、環境音はOFFにはできないシステムであったため、最少音レベルとしたためほとんど聴取不可能な状態で施行した。なお被験者の支持は足首のみを半自動固定するラッチシステムが採用されているため、ワンタッチで装置本体への被験者固定が可能になっている。また被験者への指示は内蔵の音声ガイド機構によって行われ、停電などの非常時には電源バックアップシステムが備えられており、異常感知機構により自動的にまた手動で緊急停止しベッドを正立位へと強制復帰させるシステムとなっている。

ベッド傾斜角は内蔵のプログラムに従い自動的に変更されるが、本実験では正立→水平→倒立（30°

～45°) →水平→正立の倒立訓練シーケンスに従い各30秒(倒立時は60秒)停止しつつベッド角度を変化させた(Fig. 3)。また自動血圧計を用いて臥位と立位の心拍数・収縮期血圧・拡張期血圧を計測し、それらの差の絶対値を倒立訓練効果パラメータとして採用した。システムの有効性は訓練開始日と訓練終了日の値の平均値をt-検定を用いて判定した。

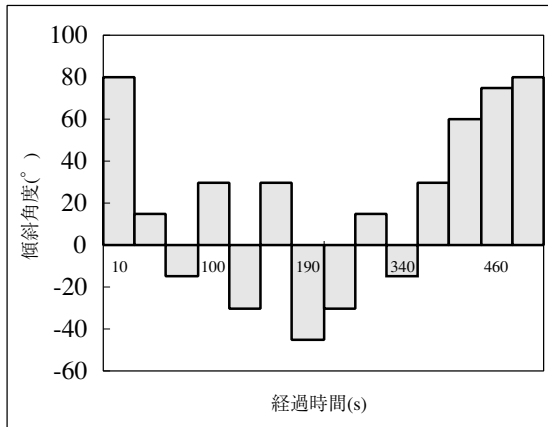


Fig. 3 G-Magic 訓練チャート

また一部の実験に関しては日本アビオニクス社製サーモグラフィTVS-8200MKII(最少検出温度差0.025℃、(Fig. 4))を用いて被験者の手指と肩の温度変化を計測するとともに、被験者の内G-Magic訓練に熟練している2名(男女各1名ずつ)とそれ以外の非熟練者の2群に分けて解析した。



Fig. 4 サーモグラフィ装置外観

#### 4. 実験結果と考察

計測結果例として、訓練開始日と訓練終了日の6名の被験者の収縮期血圧差変化を示す(Fig. 5)。2週間の倒立訓練により、臥位-立位間の収縮期血圧差は全例で有意に減少した( $p < 0.05$ )。この事実は倒立訓練により、起立性低血圧を予防する効果がある可能性を直接に示唆するもので興味深い。

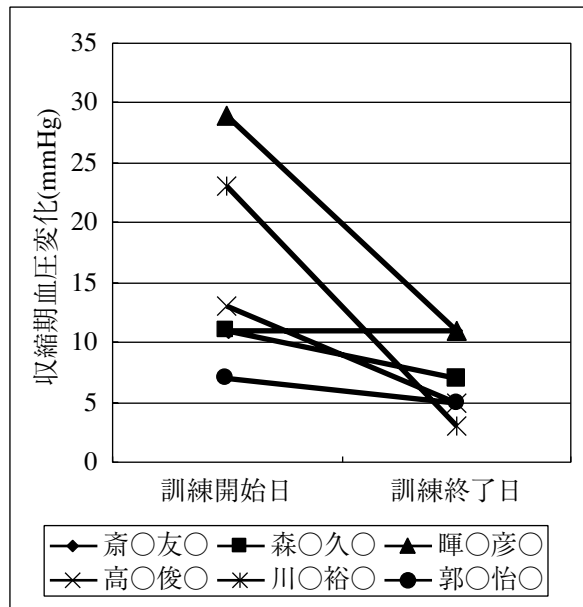


Fig. 5 臥位立位収縮期血圧差の変化

Fig. 6に示すように拡張期血圧も同様に減少していた( $p < 0.10$ )。この現象は低圧系に貯留していた血液が有効に体循環系に戻されたためか、あるいは抵抗血管系の緊張が解除されたために生じたと推定される。

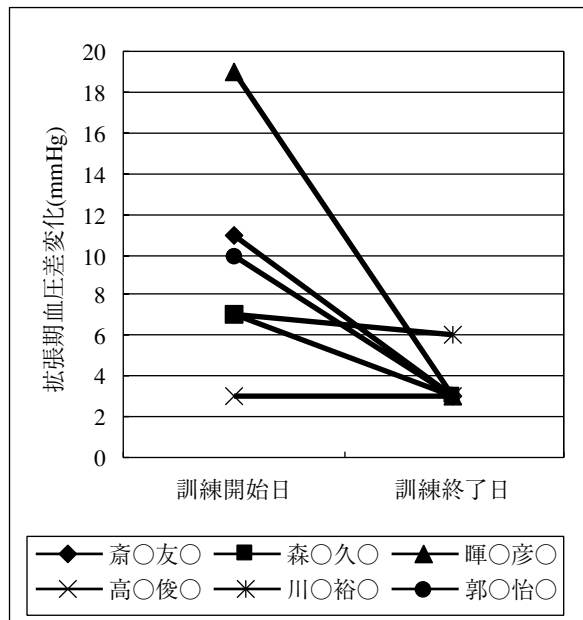


Fig. 6 臥位立位拡張期血圧差の変化

これに反して心拍数差は減少しているグループと増加しているグループに別れた(Fig. 7)。このうち増加群においては $p < 0.01$ で有意であったが、減少群では訓練開始日と訓練終了日の毎回訓練前後心拍数差間に

有意差は認められなかった。訓練前後の心拍数差増加は、自律神経系活動度上昇を意味していると考えられる。心拍数差減少に対する合理的な生理学的説明は困難であり、訓練前の体調などの個人差に依存するものと推定された。

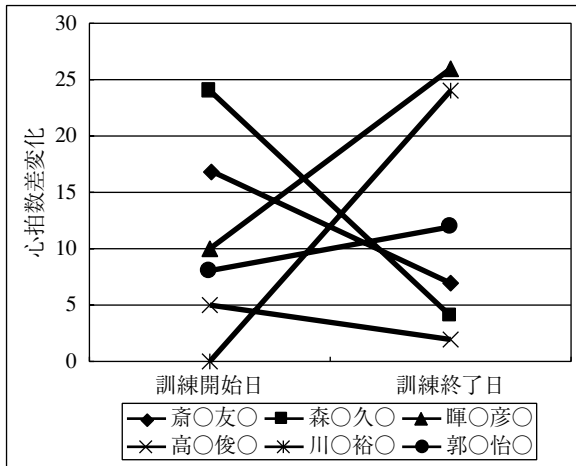


Fig. 7 臥位立位心拍数差の変化

倒立訓練による血圧差変化を見たものをFig. 8に示す。収縮期血圧 ( $p<0.05$ ) も拡張期血圧 ( $p<0.10$ ) も有意に減少していることがわかる。これは訓練により、順応減少が生じて倒立負荷というストレスに対する自律神経応答が緩和されたと考えられる。

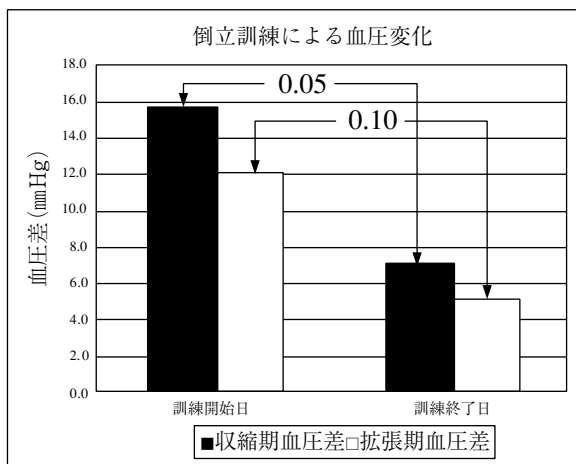


Fig. 8 倒立訓練による血圧差変化

なお明瞭な結果が得られなかった心拍数差変化を詳細に検討するために、観測結果を2名の熟練者と4名の非熟練者に分けて解析した結果を以下に示す。熟練者というのは、G-Magicが設置されている部屋に居住しており、本訓練以前にもほぼ毎日自主的にG-Magicに搭

乗しその動作を知悉して操作にも完熟しているものを言う。またここでは非熟練者とは、訓練室とは別の部屋に居住しており、訓練初日にG-Magicに始めて搭乗した者を言う。熟練度別に見た搭乗前後の脈拍数変化をFig. 9に示す。これを見ると、非熟練者においては搭乗直後の心拍数は上昇しており、訓練終了後15分においては訓練前より却って低下している傾向が見られた。それに対して熟練者では訓練後には脈拍数は低下し、15分後においても低いままであった。これは非熟練者では慣れない訓練のために交感神経が緊張し、15分後ではその反動として副交感神経優位状態が惹起されたものと考えられる。また熟練者においては倒立訓練は副交感神経を活性化させたために、心拍数が減少し、その効果は訓練終了後も持続すると考えられる。

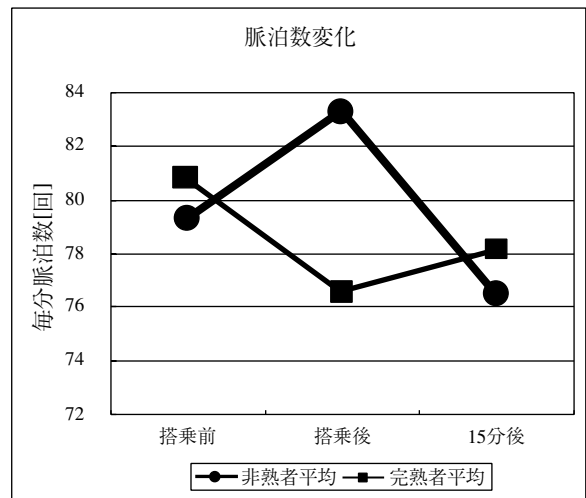


Fig. 9 熟練度別に見た脈拍数変異差

自律神経系の活動度のもう一つの指標である体表温度計測結果について述べる。Fig.10に熟練度別に見た肩部の平均温度変異を示す。検定の結果は有意ではなかったが両者とも訓練時間経過とともに体表温が低下してゆく傾向が見られた。これは実験室温が低めに設定されていたため体表温が単純に低下していったものと考えられる。

Fig.11に手指温度計測結果を示す。犯罪捜査に用いられる“うそ発見器”は手指温度計測を用いていることからわかるように、手指温度計測を用いることにより、被験者の自律神経系活動度を鋭敏に検知可能になると考えられる。これによると、非熟練者では登場後は手指温が低下する ( $p<0.1$ ) のに対して、熟練者では明らかに手指温の上昇 ( $p<0.01$ ) が見られた。手指温の低下は交感神経緊張による皮膚毛細血管収縮を意味

し、手指温上昇はこれと逆に副交感神経緊張による皮膚毛細血管拡張を意味していると考えられる。

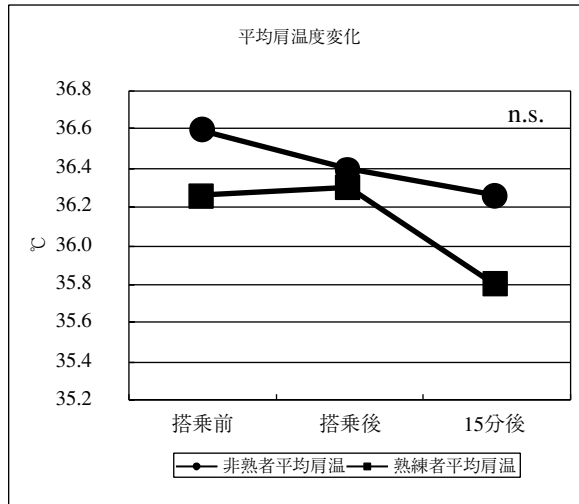


Fig.10 熟練度別に見た平均温度変異 (肩部)

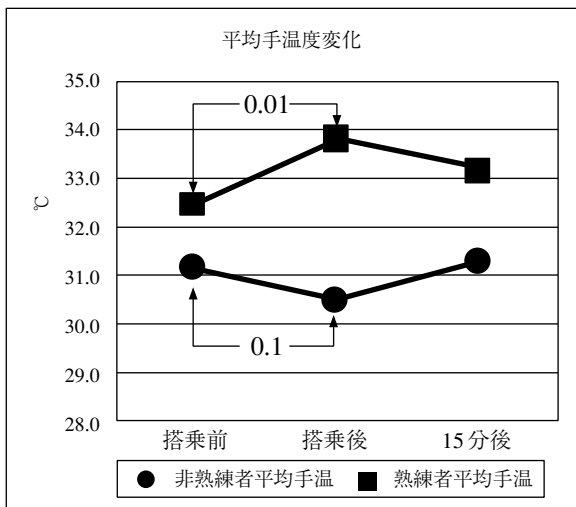


Fig.11 熟練度別に見た平均温度変異 (手掌部)

## 5. 結論

今回の実験結果では2週間の倒立訓練の訓練開始日と終了日の間の、臥位-立位間収縮期血圧差 ( $p<0.05$ ) および拡張期血圧 ( $p<0.10$ ) は全例で有意に減少していた。

また特に頻回倒立訓練装置を使用し完熟している被験者において、血圧・脈拍・皮膚温ともに副交感神経活性化作用が生じたことを示していた。副交感神経の活性化はリラックス作用をもたらすと同時に、交感神経系の過剰応答を緩和する働きがあると考えられるため、倒立訓練により起立性低血圧を防止できる可能性

が示されたといえよう。

今後は被験者数を増やすとともに、自律神経失調症や起立性低血圧症の患者を被験者として倒立訓練療法の有効性を実地に検証してゆく必要があると考えられる。

## 参考文献

- (1) Guyton.C: Essential cardiovascular regulation; the controll linkages between bodily needs and circulatory function in developments, Cardiovascular Medicine, edited by C.J. Dickinson and J. Marks. Baltimore: University Park Press, pp265-302. 1978.
- (2) 小幡邦彦,外山敬介・他:新生理学 (第2版)、361-394、文光堂、1996
- (3) James J. Smith. John P. Kampine.: CIRCULATORY PHYSIOLOGY (Second Edition) The Williams & Wilkins Company, Baltimore, U.S.A. 1984 (村松準,茂在省一・他:循環の生理、175-275、医学書院、東京、1989)
- (4) 奈良勲, 網本和・他: 標準理学療法学専門分野物理療法学 (第1版)、16-29、医学書院、2001
- (5) William E. Prentice.:THERAPEUTIC MODALITIES IN SPORTS MEDICINE (SECOND Edition) Times Mirror/Mosby College Publishing, U.S.A.1990 (石田肇,秦洋一他訳:ベッドサイドの物理療法、209-210、医道の日本社、1990)
- (6) 豊田輝他:「G-MAGICによる身体への影響について-安全性の確認を目的として」日本物理療法学会機関誌 (ISSN1345-4439)、2002年、Vol. 9

