

# チルト台を用いた起立負荷時の 自覚的症状と循環動態に関する研究

細川 恵子<sup>1)</sup>, 坂口 暁洋<sup>1)</sup>, 関川 清一<sup>1)</sup>, 高橋 真<sup>1)</sup>,  
川口浩太郎<sup>2)</sup>, 大成 浄志<sup>2)</sup>, 甲斐 健児<sup>3)</sup>, 平松和嗣久<sup>3)</sup>,  
豊田 章宏<sup>3)</sup>

キーワード (Key words) : 1. 気分不良 (feel ill) 2. 循環 (circulation) 3. チルト台 (tilt table)

起立負荷時における気分不良の有無と体循環, 脳循環との関係について検討することを目的とし, 電動チルト台を用いて起立負荷を行った. 対象者は20代の自律神経疾患を有さない健常女性12名とし, 起立負荷によって気分不良を示さなかった群を正常群とし, 示した群を気分不良群とした. 電動 tilt table を0° 30° 45° 60° 0°と変化させ, 各段階を約3分ずつ保持した. その際, 平均動脈血圧 (MBP), 心拍出量, 心拍数, 1回拍出量, 総末梢血管抵抗, 腓腹筋内側頭部のTotal Hb, 中大脳動脈の平均血流速度 (FV) と末梢血管抵抗 (PI) を測定し, 気分不良尺度を10段階評価でもって記録した. その結果, 正常群は起立負荷に伴いFVは低下を示したが, MBP, PIに著変はなく, 気分不良群はMBPの上昇に対してPIは減少し, FVはほぼ変化はみられなかった. 一般的にめまいなどの気分不良症状は脳血流量の減少により生じるとされていたが, 今回の結果では気分不良には脳血流量の増加による脳細動脈へのストレスなどが考えられた.

## 緒 言

理学療法ではベッド上での座位練習やチルト台を用いた起立練習などの体位変換が行われ, 中には失神性めまいや立ちくらみなどの気分不良を示す人がみられる. 気分不良という自覚的症状は理学療法施行の際に, 継続や中止を判断するための有用な情報となりうるため, 実際にどのようなメカニズムで発生するか把握しておくことは必要であると考えられる.

体位変換時の気分不良発生のメカニズムは, 体位変換に対する血圧調節機構の障害によって, 起立性低血圧 (以下, OH) が起こり, 脳血流量が減少した結果, 立ちくらみや失神性めまいなどの症状を伴って生じるとされている<sup>1-3)</sup>. しかし, 脳には自動調節能 (autoregulation) が存在するので, 本来であれば, OHが発生しても脳血流量は一定に維持されるようになっている<sup>4-7)</sup>.

現在, 脳循環の評価は3次元局所脳血流測定法 (PET, SPECT), 経頭蓋ドップラー法 (以下, TCD) や近赤外分光法 (以下, NIRS) などを用いての測定が可能となっている. 中でもTCDとNIRSはプローブの固定が得られれば, 非侵襲的に, しかも経時的に測定が可能であり<sup>8,9)</sup>, 起立負荷を行ったところ切迫失神が誘起され, その際, 血圧は低下したものの脳血流速度は保たれていたとの報

告がされている<sup>10)</sup>. しかし一方では, 気分不良に関係なくOHを示した者, 示さなかった者の脳循環動態について検討したところ, 脳血流速度 (FV) は両者とも低下することがJohannesら<sup>11)</sup>によって報告されている. このように気分不良という自覚症状と体循環, 脳循環との関係について一致した見解は得られておらず, 包括的に検討された報告は散見する程度である. そこで, 本研究では健常女性を対象にチルト台を用いた起立負荷試験を実施し, 気分不良といった自覚症状の有無と体循環, 脳循環との関係について検討することを目的とした.

## 対象および方法

### 1. 対象

測定に先立ち, 測定の趣旨・方法について十分に説明し, 同意の得られた自律神経疾患を有さない健常女性12名 (年齢 $22.3 \pm 1.5$ 歳, 身長 $158.1 \pm 2.7$ cm, 体重 $50.7 \pm 4.4$ kg) を対象とした. その際, 独自に作成した気分不良に対する10段階スケール (表1) を用いて, 安静時からHead-up tilt (以下, HUT), 臥位復帰時まで変わらず気分不良尺度が8以上の範囲に留まった者を正常群とし, 安静時の気分不良尺度が8であり, 且つ, それ以降2以上気分不良尺度が低下した者を気分不良群とした. また, 両群とも6名に達した時点で測定は終了とした.

・ The relation between subjective symptom and circulation during orthostatic stress using a tilt table

・ 1) 広島大学大学院医学系研究科保健学専攻 2) 広島大学医学部保健学科理学療法学専攻

3) 中国労災病院リハビリテーション科

・ 広島大学保健学ジャーナル Vol. 2(2) : 46~52, 2003

表1 自覚症状の指標

10: 非常に気分が良い
9: 気分が良い
8: 普通
7:
6: やや気分が悪い
5:
4: 気分が悪い
3:
2: かなり気分が悪い
1: もうだめ

2. 方法

(1) 測定プロトコル (図1)

対象者には食後性低血圧の発生を避けるために、測定の前2時間前から飲食を禁止した。また、測定当日は激しい運動や血圧に影響を及ぼす可能性のある薬物の服用も禁止した。起立負荷には電動チルト台(OG GIKEN社製)を使用した。対象者はチルト台上に仰臥位となり、両膝と骨盤を圧迫しない程度に固定した。十分な安静をとった後、チルト台を0° 30° 45° 60° 0°と変化させ、各段階を約3分ずつ保持した。各段階でチルト台を変化させるのに要した時間はそれぞれ13秒, 6秒, 6秒, 21秒であった。測定中に著しい血圧の低下や、吐き気・眼前暗黒感などの自覚症状を訴えた場合は測定を中止とした。

(2) 体循環動態の測定

起立負荷中の指尖動脈圧波形を連続指血圧測定装置(PORTAPRES MODEL-2, TNO-TPD社製)を用いて計測し、平均動脈血圧(MBP)、心拍数(HR)を算出した。これをオンラインにてパーソナルコンピューターに取り込んだ後、専用解析ソフト(Beat Scope Ver.1.0)を用いModel Flowアルゴリズムにより心拍出量(CO)、1回拍出量(SV)及び総末梢血管抵抗(TPR)を算

出・記録した。

同時にレーザー組織血液酸素モニターNIRS(BOM-L1TR, オメガウェーブ社製)を用いて、下肢血液量の指標とするために腓腹筋内側頭部での全組織血液ヘモグロビン(Total Hb)を測定し、アナログ・デジタル変換(Mac Lab 8S, A/D Instrument社製)を行い、サンプリング周波数10Hzにてパーソナルコンピューターに経時的に記録した。

得られたデータは、安静時においては起立負荷開始前30秒間の平均値を算出した。また、各段階と臥位復帰時においては体位変換直後5秒間、30秒経過後5秒間、1分経過後5秒間、2分経過後5秒間の平均値をそれぞれ算出した。

(3) 脳循環動態の測定

経頭蓋ドップラー法(COMPANION TCD System, Nicolet EME社製)を用いて、側頭より中大脳動脈(MCA)の速度波形を記録し、平均血流速度(以下、FV)と末梢血管抵抗の指標であるpulsatility index(以下、PI)を算出した。FVとPIは定期的に測定を行い、測定ポイントは安静時において値が安定した点、各段階と臥位復帰時の体位変換直後、30秒後、1分後、2分後の計17点で統一した(図1)。

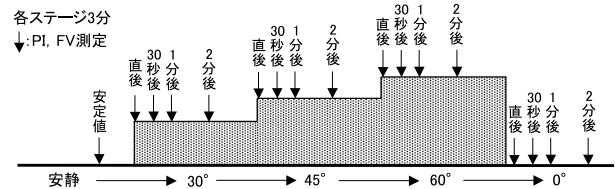


図1 測定プロトコルと脳循環の測定タイミング

(4) 自覚的症状

各段階の2分経過時での気分不良尺度を今回独自に作成した10段階評価(表2)でもって記録した。

(5) 統計処理

得られた測定値は、平均値±標準偏差(mean±S.D.)

表2 各パラメータにおける安静値

	正常群 (n=6)							気分不良群 (n=6)						
	A	B	C	D	E	F	平均	G	H	I	J	K	L	平均
SBP (mmHg)	104	123.2	83.8	131.4	102.4	104.5	108.2 ± 16.9	84.1	100	81.8	98.6	86.7	91.5	90.5 ± 7.7 *
DBP (mmHg)	47.8	57.9	40.8	65.2	41.4	53.9	51.2 ± 9.6	37.2	40.3	39.3	41.0	35.0	34.0	37.8 ± 2.9 *
MBP (mmHg)	66.3	78.1	56.7	85.4	61.0	70.4	69.7 ± 10.7	52.7	58.8	54.5	59.5	50.7	51.6	54.6 ± 3.7 *
TPR (MU)	0.54	0.83	0.83	0.77	0.71	0.86	0.76 ± 0.12	0.71	0.72	0.88	0.66	0.86	0.60	0.73 ± 0.11
CO (l/min)	7.34	5.66	4.10	6.63	5.16	4.92	5.63 ± 0.76	4.44	4.88	3.72	5.41	3.54	5.11	4.52 ± 1.18
HR (bpm)	69.5	67.9	65.1	95.1	69.4	77.2	74.0 ± 11.1	69.7	69.6	60.7	77.6	60.1	72.8	68.4 ± 6.9
SV (ml)	106.1	84.0	63.3	70.1	74.6	64.0	77.0 ± 16.2	64.1	70.4	61.8	69.8	59.4	70.6	66.0 ± 4.9
TotalHb (AU)	20.9	19.1	15.2	17.2	15.0	16.4	17.3 ± 2.3	18.5	16.0	14.9	15.4	17.8	21.3	17.3 ± 2.4
PI	0.65	0.93	0.67	0.58	0.69	0.88	0.73 ± 0.14	0.72	0.80	0.52	0.85	0.88	0.78	0.76 ± 0.13
FV (cm/sec)	88	43	84	64	86	69	72.3 ± 17.4	44	64	84	79	60	79	68.3 ± 15.2

\* : 2群間での有意差 p<0.01 (unpaired t-test)

(mean ± S.D.)

で表した。2群間における各安静測定値の比較には対応のない検定を用いた。また各パラメータの経時的変化は各群ごとに一元配置分散分析 (One-way ANOVA) を用いて検討し、多重比較検定にはTukey-Kramer検定を用いて、安静値に対する差について検討した。統計処理は、統計解析ソフト (Statview5.0J, SAS Inc) を用い、いずれも有意水準は5%未満とした。

## 結 果

### 1. 自覚的症状の経時的変化

被験者12名のうち、6名は正常群であり、他6名は気分不良群であった。正常群は6名とも全く気分不良を示さなかったのに対して、気分不良群は安静状態と比較して45° HUTから徐々に低下し、60°で最も低値を示し、臥位復帰後もほぼ回復を示さなかった (図2)。

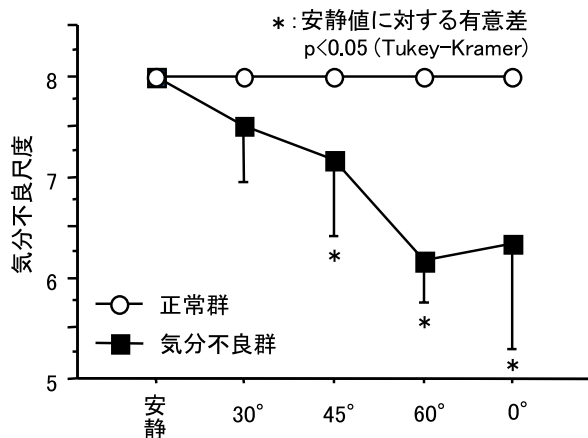


図2 気分不良尺度の経時的変化

### 2. 循環動態パラメータの経時的変化

各パラメータの安静時平均値を両群間で比較したところ、収縮期血圧 (SBP)、拡張期血圧 (DBP)、MBPは、いずれも気分不良群のほうが低値を示し、2群間に有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。しかし、他のパラメータにおいては2群間で有意差は認められなかった (表2)。

正常群、気分不良群それぞれにおける各パラメータの経時的変化に対する分散分析の結果は、正常群のTPR、CO、HR、SV及びFVにおいて有意差が認められ (各  $p < 0.01$ )、気分不良群では、全てのパラメータにおいて有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。

#### 1) MBP

正常群はHUT時、臥位復帰時とも著変は示さず、分散分析の結果からも動態に変化はなかった。気分不良群は、安静値と比較して60° HUT 2分経過時に  $64.8 \pm 9.1$  を示し有意に上昇し ( $p < 0.05$ )、臥位復帰によって一旦減少はしたものの、臥位復帰 2分後に再び有意な上昇を示した ( $p < 0.05$ )。

#### 2) TPR

正常群は安静値が  $0.76 \pm 0.12$  MUであるのに対して、60° HUT30秒後において  $0.83 \pm 0.14$  MUを示しており、有意差は認められないものやや増加しており、臥位復帰により安静値に速やかに回復を示した。気分不良群はHUTに伴い徐々に上昇をはじめ、60° HUT直後、30秒後及び2分後において有意な上昇を示し (各  $p < 0.05$ )、臥位復帰によって安静値まで回復を示した。

#### 3) CO

気分不良群は、有意に変化を示さなかったが、正常群は安静値と比較して45° HUT直後、30秒及び1分後に有意に減少し (各  $p < 0.05$ )、60° HUT直後から有意に減少した (各  $p < 0.05$ )。臥位復帰に伴い正常群は安静値に回復を示し、気分不良群は安静値よりもやや高い値を示した。

#### 4) HR

両群とも同様な動態を示し、正常群では安静値と比較して60° HUT直後、1分後及び2分後において有意に上昇を示し (各  $p < 0.05$ )、気分不良群では45° HUT 1分後、60° HUT直後から2分後において有意に上昇した (各  $p < 0.05$ )。また、両群とも臥位復帰に伴い、速やかに安静値まで回復を示した。

#### 5) SV

両群共にHUTに伴って減少し、45°及び60° HUT時での全ステージにおいて、安静値と比較して有意に減少を示した (各  $p < 0.05$ )。正常群では安静値が  $77.0 \pm 16.2$  mlであるのに対し、60° HUT 2分後では  $56.2 \pm 12.5$  mlまで減少しており、気分不良群では安静値が  $66.0 \pm 4.9$  mlであるのに対して、60° HUT 30秒後では  $50.1 \pm 5.8$  mlまで減少していたので、減少率は正常群のほうがより大きかった。また、両群とも臥位復帰によって安静値まで速やかに回復したが、気分不良群はわずかに安静値より高い値を示した。

#### 6) 腓腹筋内側頭部 Total Hb

両群とも同様な変化を示し、経時変化に有意な差は認められなかった。

#### 7) PI

両群とも経時変化に有意な差は認められなかった。特に、正常群は著明に変化せず、気分不良群は安静値  $0.76 \pm 0.13$  であるのに対して60° HUT30秒後に  $0.68 \pm 0.17$  まで減少し、反対に臥位復帰 1分後では  $0.87 \pm 0.11$  まで上昇した。

#### 8) FV

気分不良群はHUTによって、有意な変化は認められなかった。正常群は30° HUT30秒経過時、45°及び60° HUTの30秒後から2分後において、安静値と比較して有意に低下し (各  $p < 0.05$ )、臥位復帰に伴い速やかに安静値まで回復した。

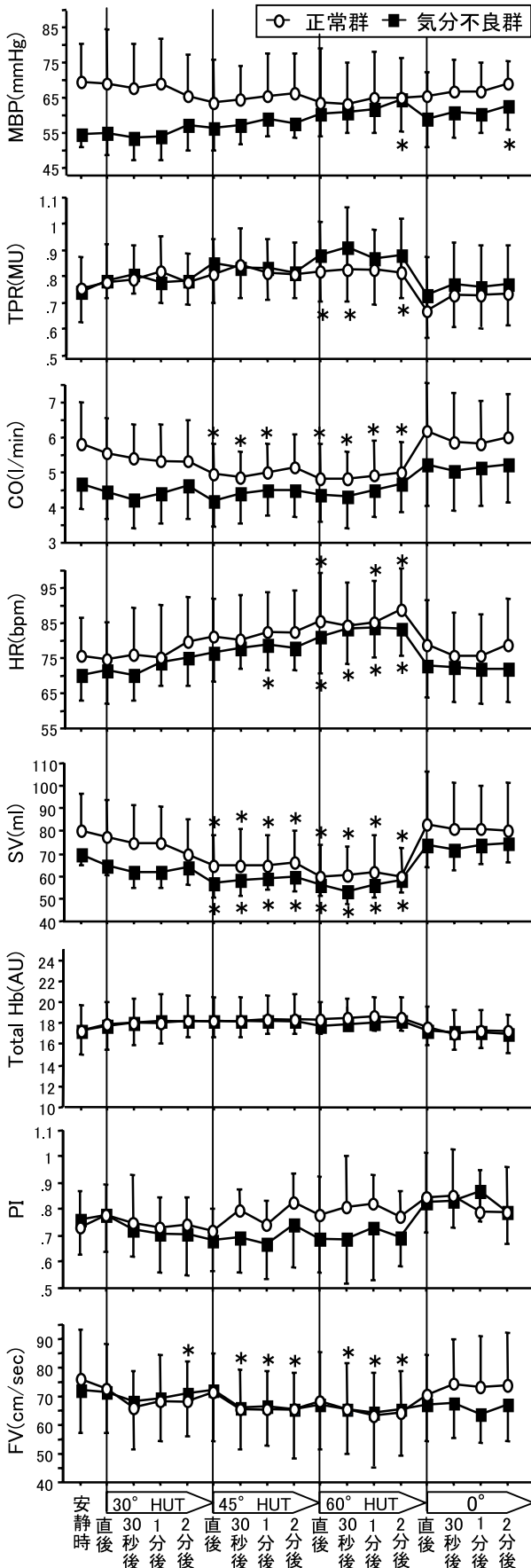
## 考 察

血圧はCOとTPRの影響を強く受け、COとTPRにもそれぞれ数多くの因子が関係しており、中でも特にCOにはHRとSVが関係し、TPRには細動脈の血管収縮力が関係している<sup>12)</sup>。

血圧調節機構<sup>13-16)</sup>には、レニン-アンジオテンシン系、化学受容体反射、圧受容体反射など様々なものが存在するが、このうち圧受容体反射(心肺圧受容体、動脈圧受容体)による神経性調節は血圧変化に対して反応が早く、運動や姿勢変化による血圧の変動を強力に調節する作用をもつ。起立時の血圧調節機構を圧受容体に焦点を絞って追っていくと、起立に伴い約500~600mlの血液が下肢に移動するため静脈還流は減少し、SVは約40%、COは約20%減少する。静脈還流の減少は心房圧、心室拡張期圧の低下を介して心肺圧受容体からの信号を、CO低下による血圧の低下を介して動脈圧受容体からの信号を減少させることになる。これらの信号は循環中枢である延髄の孤束核に送られ、その結果、迷走神経核への出力が減少し迷走神経活動が低下しHRが増加する。また、孤束核からの出力の低下は血管運動中枢への抑制解除ともなり交感神経の活動性を高める。これらはTPRの増加、COの回復へつながる。以上の作用により血圧は維持される。

まず、HUT時における体循環の反応については、気分不良群のMBPは安静値と比較して、60° HUTにおいて有意に上昇していたが、正常群のMBPの経時変化には有意差が認められなかった。このとき、気分不良群はHRが増加していたが、SVが低下していたため、結果としてCOは著変を示さなかった。しかしながら、TPRが60° HUTをピークに増加を示したため、MBPはTPRの影響を受け上昇したと考えられる。正常群は、45°及び60° HUTにおいてCOが安静値より有意に低下を示した。これはHRの有意な上昇よりも、起立負荷によるSVの減少が影響したためと考えられる。また、COの低下と60° HUTでのTPRの有意な上昇が相殺的に働き、MBPは著明に変化しなかったと思われる。下肢血液量の指標である腓腹筋内側頭部のTotal Hbは両群とも経時変化に有意な差は認められず、ほぼ同様な値を示していた。このことから、下肢への血液貯留による静脈還流量の減少が及ばず、大循環への影響は低いことが示唆され、末梢での筋ポンプ機能などによるミルクング量には両群で大差がないように考えられる。

臥位復帰時の反応については、正常群はいずれのパラメーターも安静値に回復を示していた。気分不良群では、MBPは有意に上昇しており、その際HRは安静値に回復していたが、SVが若干増加したため、COが安静値より



\*: 安静値に対する有意差 (mean ± S.D.)  
p < 0.05 (Tukey-Kramer)

図3 各パラメータの経時的変化

も高値を示し、また、TPRは安静値レベルであったため、結果としてMBPIは上昇を示したと考えられる。

脳循環のうち、FVの反応については正常群では45°及び60° HUTにおいて有意な減少が見られたが、気分不良群では著明な変化を示さなかった。FVについてはJohannesによって下半身陰圧負荷や起立負荷によって減少することが報告されており<sup>11)</sup>、今回の研究において正常群はこの報告を支持するものであったが、気分不良群は異なっていた。また、正常群では脳血管抵抗の指標であるPI、全身動脈血圧の指標であるMBPともに有意な変化を認めなかった。気分不良群ではMBPが増加し、PIが若干減少するという動態を示した。この気分不良群の反応は脳循環にとっては、不合理なものであり、自動調節能 (autoregulation) の理論に反するものである。自動調節能 (autoregulation)<sup>6-7)</sup>とは主要な臓器に発達しているもので、脳循環のautoregulationとは生理的条件下で脳血流は一定に保つように働くしくみである。詳細には、全身動脈圧が上昇し脳血管内圧が上昇すると、脳血管は収縮し血管抵抗を上げることで脳血流を維持し、反対に全身動脈圧が低下すると脳血管は拡張して血管抵抗を下げることによって脳血流を維持するというものである。よって、気分不良群は、全身動脈圧の上昇に対して、本来ならばautoregulationの働きにより脳内の末梢血管は収縮し血管抵抗を上げることによって脳血流量を一定に保つように働くところが、末梢血管は収縮不全を示し、さらに血流速度も低下を示さなかったため、実際には脳血流量が増加してしまい細動脈に対して過剰な負担がかかっていたのではないかと予想される。

臥位復帰時の反応については、正常群はPI、FVともに安静値にまで回復を示した。気分不良群において、PIは安静値よりも高い値を示していたが、これはautoregulationの理論に合うものであり、さらにFVも安静値を保っていたので、脳血流は維持されていたと考えられる。

今回、気分不良群は予想に反して、OHを示すことなく血圧は上昇した。よって、気分不良群におけるHUT時の気分不良という自覚症状の出現には、血圧の低下ではなく脳循環が深く関係しており、また、脳の虚血症状というよりもむしろ、脳血流量の過剰な増加が引き起こす脳細動脈に対するストレスの可能性が考えられる。しかし、autoregulationの理論に反した、気分不良群のHUT時のPIの動態の原因は、今回の結果からは推察することは困難であった。また、今回は自動調節に関与してくるMCAという比較的太い血管で脳循環を評価したが、今後、脳代謝や血液ガスの変化に対応してくる細動脈の評価が必要であると考えられた。

## 結 語

20代の健康女性を対象として、チルト台を用いた起立負荷によって誘起される、めまいや立ちくらみなどの自覚症状と体循環、脳循環との関係について検討した。その結果、正常群では起立負荷に伴い脳血流速度は低下したものの、血圧、脳末梢血管抵抗は著変を示さなかった。しかし、気分不良群においては、起立負荷に伴い血圧は上昇し、脳末梢血管抵抗は低下を示し、脳血流速度はほぼ変化を示さなかった。一般的にめまいなどの気分不良症状は血圧の低下、脳血流量の減少により生じるとされているが、今回の結果では気分不良には脳血流量の増加による細動脈へのストレスなどが考えられた。

## 文 献

1. 松林公蔵：起立性低血圧、臨床と研究，77（5）：1046-1047，2000
2. 佐々木直：めまい・たちくらみ 起立性低血圧やメニエール病との鑑別，心身医療，9（5）：622-625，1997
3. 田村直俊：起立性低血圧と食後性低血圧，臨床神経，36：1349-1351，1996
4. 森山光一：頭位変換時の脳循環調節におよぼす心血管系の反応について，日医大誌，56（3）：428-435，1991
5. 林 理之：体位変換試験-起立試験（いわゆるシェロング試験を含む）とヘッドアップ・ティルト試験 -，自律神経機能検査第2版 日本自律神経学会編，p.4-8，文光堂，1995
6. 掘 進悟：ティルトテスト-失神例評価への意義 -，医学のあゆみ，169（10）：999-1003，1994
7. Wishwa, N, Kapoor., Melanie, A, Smith., Nancy, L, Miller., et al : Upright Tilt Testing in Evaluating Syncope: A Comprehensive Literature Review. Am. J.Med. , 97 : 78-88 , 1994
8. Krakow, K., Ries, S., Daffertshofer, M. et al. : Simultaneous assessment of brain tissue oxygenation and cerebral perfusion during orthostatic stress. Eur. Neurol., 43（1）：39-46, 2000
9. 今村 剛, 久留島秀朗, 北山次郎 他：起立性低血圧の脳循環動態 経頭蓋ドブラ（TCD）法を用いた検討，脳卒中，22：191，2000
10. Kuriyama, K., Ueno, T., Ballard, RE. et al. : Cerebrovascular responses during lower body negative pressure-induced presyncope, Aviat Space Environ. Med.,71(10) 1033-1038, 2000
11. Johannes, J, van, Lieshout., Frank, Pott., Per, Lav, Madson. et al. : Muscle Tensing During Standing -Effects on Cerebral Tissue Oxygenation and Cerebral Artery Blood Velocity, Stroke, 32 : 1546-1551 , 2001

- 12 . Yoshimoto, S., Ueno, T., Mayanagi, T. et al. : Effect of head up tilt on cerebral circulation. Acta Astronaut., 33 : 69-76, 1994
- 13 . 檜垣寅男, 萩原俊男 : 血圧・循環調節システム, 日本臨牀, 58 : 13-18, 2000
- 14 . 山本真千子, 佐藤 廣 : 失神と血圧調節機構の破綻, 呼吸と循環, 48 (4) : 361-368, 2000
- 15 . 瀧下修一 : 起立性低血圧の発生機構, 循環器科, 30 : 428-435, 1991
- 16 . Arthur, G, Guyton. , John, E, Hall. : ガイトン臨床生理学, p.231-235, 医学書院

# The relation between subjective symptom and circulation during orthostatic stress using a tilt table

Keiko Hosokawa<sup>1)</sup>, Akihiro Sakaguchi<sup>1)</sup>, Kiyokazu Sekikawa<sup>1)</sup>,  
Makoto Takahashi<sup>1)</sup>, Kotaro Kawaguchi<sup>2)</sup>, Kiyoshi Onari<sup>2)</sup>,  
Kenji Kai<sup>3)</sup>, Kazuhisa Hiramatsu<sup>3)</sup> and Akihiro Toyota<sup>3)</sup>

1 ) Health Sciences, Graduate School of Medical Sciences, Hiroshima University

2 ) Division of Physical Therapy, Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University

3 ) Department of Rehabilitation, Chugoku Rosai Hospital

Key words : 1 . feel ill 2 . circulation 3 . tilt table

This study aimed at considering the relation between subjective symptoms and the circulation of healthy women during orthostatic stress using a tilt table. From 12 healthy women in their twenties who don't have autonomic nervous disorders, two groups were formed: 1) a normal group which didn't feel ill during orthostatic stress, and 2) a FI group which feel ill during orthostatic stress. An electric tilt table was changed from 0° 30° 45° 60° 0°; and each stage was held for about 3 minutes. Mean artery blood pressure (MBP), cardiac output, heart rate, stroke volume, total peripheral resistance and total hemoglobin at the part of interior gastrocnemius (Total Hb), flow velocity (FV) and peripheral resistance (PI) of the middle cerebral artery (MCA) were measured. The scale of poor feeling was also recorded by 10 stage evaluations. Consequently, although the normal group showed an FV fall with orthostatic stress, there were no significant changes in MBP and PI. In the FI group, PI decreased but FV didn't show much change with the rise of MBP. According to this result, the stress to the arteriola caused not by a fall but an increase in the cerebral blood flows etc. seems thus to have been the source of the feeling.