段階的弾性ストッキング着用による下腿圧増加が 下腿静脈コンプライアンスを増加させる

早 田 剛¹⁾ 三 浦 隆¹⁾
岩 寄 徹 治¹⁾ 宮 地 元 彦²⁾

THE HIGHER CALF PRESSURE INDUCED BY WEARING GRADUATED ELASTIC COMPRESSION STOCKING INCREASES CALF VENOUS COMPLIANCE

GOU HAYATA, TAKASHI MIURA, TETSUJI IWASAKI and MOTOHIKO MIYACHI

Abstract

The purpose of the present study was to clarify effect of increase in calf pressure on calf venous compliance. The calf pressures were increased by wearing elastic compression stockings with different pressures (Calf pressure 0, 12, 17, 21 mmHg). Healthy twelve people (six men and six women, 43.3 ± 15.3 years) volunteered to participate in this study. Changes in calf venous volume during spine rest were measured by mercury plethysmography. We analyzed the calf venous compliance by inflating the venous collecting cuff to 60 mmHg for 7 min, then decreasing cuff pressure at 1 mmHg/sec (over 1 min) to 0 mmHg, using cuff pressure as an estimate of venous pressure. This method produced pressure-volume curves fitting the quadratic regression ($\Delta \text{limb volume} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (\text{cuff pressure}) + \beta_2 \cdot (\text{cuff pressure})^2$, where Δ is change. The higher calf venous compliance and volume were observed in with the higher pressure stocking. These results suggest that higher calf pressure induced by wearing elastic compression stocking increases calf venous compliance and maximum venous outflow.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2006, 55 : 421~428)

key word : mercury plethysmography, elastic compression stocking, venous compliance, venous capacitance, venous outflow

I . 緒 言

肺血栓塞栓症 (pulmonary thromboembolism : PTE) は、静脈内に入り込んだ血栓、空気、脂肪、腫瘍などの塞栓子によって、肺動脈が閉塞し肺組織の壊死が起こる疾患である。肺塞栓症の塞栓子は血栓がもっとも多く、肺塞栓症の90%は下肢の深部静脈血栓が原因といわれており、その血栓形成は、①血液凝固能の亢進、②血管内皮細胞障害、③血流停滞の3つの因子 (Virchow の3要因) が相互に関係すると考えられている^{1,2)}。

近年、肺血栓塞栓症・深部静脈血栓症は臨床の場のみならず、エコノミークラス症候群、あるいはロングフライト症候群として、世間一般に広く認知さ

れだしており、また2004年には、肺血栓塞栓症予防管理料が制定され、段階的弾性ストッキングが術前、術中、術後の予防処置として、全科で使用される状況になっている^{1,2)}。その意味で段階的弾性ストッキングは長時間の同一姿勢下での静脈血の鬱滞に対して有効性が示されている³⁾。

静脈には全血液量の2/3があるといわれ、新たに水分や血液が注入されるとその約90%は静脈に収容され、貯留槽としての役割を担っている⁴⁾。このことは静脈コンプライアンスが動脈の20~30倍前後も大きく伸展性に富む⁵⁾ことによると考えられている。循環血液量が一定と考えた場合、静脈の血管コンプライアンスレベルによって、静脈還流量は変化し、心臓を充満させる能力が変化するものと推察さ

¹⁾ アルケア(株)医工学研究所
〒131-0046 東京都墨田区京島1-21-10

ALCARE Co., Ltd. Medical Engineering Laboratory

²⁾ 独立行政法人国立健康・栄養研究所 健康増進研究部
〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1

National Institute of Health and Nutrition

れ, 静脈還流時, 下肢静脈コンプライアンスが低い場合には, 浮腫が生じ, 血流停滞が起こり, 血栓症のリスクが上昇すると考えられる.

静脈疾患を評価する方法の一つに, ストレンゲージプレチスモグラフを用いる静脈圧迫脈波法⁴⁾がある. この方法は, 静脈駆血用カフを大腿部に巻きつけ, 空気の流入により駆血用カフ圧をコントロールさせ, 下腿静脈容積の変化量を評価する方法である. この方法を用いることで, 静脈容量 (Venous Capacitance) および最大静脈還流量 (Maximum Venous Outflow) の計測を行なうことができる. また, 静脈コンプライアンスの測定については, Halliwill たち⁶⁾により, 静脈圧迫脈波法を応用した非侵襲的な測定方法が確立されており, この方法を用いた Monahan たち⁷⁾の報告では, 下腿静脈コンプライアンスは加齢に伴い低下し, 習慣的運動がその予防に繋がると示された. また段階的弾性ストッキングの装着により, 下腿静脈コンプライアンスが上昇するとの報告⁶⁾はあるが, 段階的弾性ストッキングの着圧変化について検討した報告は見当たらない. そこで本研究では, 段階的弾性ストッキング着用による下腿圧増加が下腿静脈コンプライアンスに及ぼす影響を検証することを目的とした.

II. 方 法

A. 被検者

本実験には, 健康な成人男女各 6 名ずつの合計 12 名が参加した. 被検者の身体的特性については, Table 1 に示すとおりである. なお本研究は, 独立行政法人国立健康・栄養研究所倫理委員会の承認を得, また被検者には事前に口頭にて実験の内容・趣旨を説明し, 承諾を得た後, 実験を開始した.

Table 1. Physical character of subjects.

Variable	Data
Subjects	12 (6 men & 6 women)
Age, yr	44.2±15.6
Height, cm	165.2±6.6
Body mass, kg	61.8±5.8
Calf girth, cm	36.6±1.8

Values are means±SD

B. 使用段階的弾性ストッキングの圧設定と計測方法

段階的弾性ストッキングの着圧は, EN (ヨーロッパ) 地域規格の弾性ストッキング⁸⁾に則り, 円筒状の木製足型モデルを用い, 圧力測定機 MST (Salzmann AG 社製) にて足首部と脛脛部の着圧を測定した. 使用した膝下丈のストッキングは, 低圧迫の非段階的弾性ストッキング (スリムライン: アツギ^(株)社製; 以下 Low), 中圧迫の段階的弾性ストッキング (アンシルク II: アルケア^(株)社製; 以下 Middle), 高圧迫の段階的弾性ストッキング (アンシルク III: アルケア^(株)社製; 以下 High), および裸足の 4 試技にて実施した. その結果を Table 2 に示す.

下腿静脈容積の測定には, あらかじめ被検者の足首周径を計測し, サイズ適合した段階的弾性ストッキングを選定し, 被験者の計測順序は, 無作為に実施した.

C. 下腿静脈容積の測定

被検者は, 室温 25℃ に保たれた静かな部屋にて仰臥位を取らせ, 15 分以上の安静を保たせた. その後, 下腿静脈容積の測定には, Halliwill たち⁶⁾の方法に従い, ストレンゲージプレチスモグラフ (EC-5R, D. E. Hokanson, Inc.) を用いた. 組織 100 ml 当りの血

Table 2. Characterization of stockings pressure estimated by leg model.

Sample	Ankle (mmHg)	Calf (mmHg)
Non stocking	0.0±0.0	0.0±0.0
Low	12.3±1.2	12.0±0.0
Middle	21.6±1.2	16.6±0.5
High	30.0±1.2	20.5±1.4

Values are means±SD

液量の変化を計測したストレンゲージには、チューブの伸縮に応じ電気抵抗の変化量として表示できる方式を採用し、被験者へ装着後、電気抵抗変化がなくなったことを確認した上で実験を行なった。静脈容積を計測する下腿部は、心臓の高さと同じになるように、大腿部と踵部の下に高さ約 10 cm の枕を引き、水平に浮かせた。ストレンゲージの装着場所は、下腿最大位の皮膚にマーキングを行ない、誤差が少ないように実験を行なった。ストッキングの試技においても、マーキングを編目の隙間から確認しながら、ストッキングの外側にストレンゲージを装着した。大腿中央部には、任意に設定した圧をカフに加えることができるカフインフレーター (E20, D. E. Hokanson, Inc.) に接続された幅 18 cm の大腿部駆血用カフ (CC17, D. E. Hokanson, Inc.) を巻いた。

ストレンゲージを下腿最大位に巻いた後、ストレンゲージプレシモグラフのゼロリセットを行い、データ取込を開始した。開始 1 分後に大腿部の駆血用カフ圧を 60 mmHg まで加圧し、静脈還流障害を起こすことにより、下腿静脈容積を上昇させ、その後下肢の静脈還流障害を 7 分間維持し、下腿静脈容積が平衡状態になることを確認した後、1 mmHg/s の割合にて駆血用カフ圧を 0 mmHg まで減圧し、下腿静脈容積を計測した (Fig. 1 左)。

D. 下腿静脈コンプライアンス、静脈容量、最大静脈還流量の算出

駆血用カフ圧と下腿静脈容積のデータは、100 Hz で A/D 変換 (PowerLab 2/25 (ADInstruments, Inc.)) を行ない、パーソナルコンピュータに取込み解析した。

Halliwill たちの研究⁶⁾において、直接測定した静脈内圧と駆血用カフ圧との関係は、駆血用カフ圧が 10 mmHg 以上の場合で直線性が得られているため、解析には駆血用カフ圧が 60 から 10 mmHg まで減圧した時の下腿静脈容積を用いた。そのデータを用いて、駆血用カフ圧を X 軸、下腿静脈容積を Y 軸とし、駆血用カフ圧—下腿静脈容積曲線を描いた。駆血用カフ圧—下腿静脈容積曲線より、二次回帰式：下腿静脈容積 = $\beta_0 + \beta_1(\text{駆血用カフ圧}) + \beta_2(\text{駆血用カフ圧})^2$ を算出し、係数を求めた (Fig. 1 右)。コンプライアンスは $\Delta\text{容積}/\Delta\text{圧}$ にて表現できるため、駆血用カフ圧—下腿静脈容積曲線の二次回帰式を微分し、下腿静脈コンプライアンスを求めた。

静脈圧迫脈波法⁴⁾の指標である静脈容量と最大静脈還流量は、下腿静脈容積の変化より算出した (Fig. 2)。静脈容量は、大腿部カフによる駆血前後での下腿静脈容積の増加量とし、最大静脈還流量はカフ駆血開放 1 分間における下腿静脈容積の減少量を時間 (1 分) で除したものとした。

Fig. 1. Representative tracing from plethysmograph and venous occlusion cuff pressurizing during 60 mmHg (minutes 1-8). AP: Maximum change in calf venous volume after pressurized the cuff. Data for calculation of Calf Venous Compliance are derived during linear down in venous pressure from 60 to 10 mmHg at a rate of 1 mmHg/s (minutes 8-9).

Fig. 2. A sample of change in calf venous volume before, during, and after venous occlusion by cuff pressurized. BP : Change in calf venous volume before pressurized the cuff. AP : Maximum change in calf venous volume after pressurized the cuff. OP : Change in calf venous volume after one minute Cuff pressurized opening. Calf venous capacitance is difference between calf volume in BP and AP. Maximum venous outflow is amount derived change in calf volume between AP and OP on one minute.

下腿静脈コンプライアンスと静脈容量および最大静脈還流量の相関関係の解析には、Monahan たち⁷⁾の報告を参照し、カフ圧 20 mmHg の下腿静脈コンプライアンス(下腿静脈コンプライアンス_{20 mmHg} = $\beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot 20$)を用いた。

E. 統計処理

統計処理は、統計ソフト SPSS11.5J(SPSS Japan Inc 社製)を用いて行なった。有意差検定には一元配置分散分析を用い、その後 Bonferroni の多重比較を行なった。また、相関係数の検定には、Pearson の相関係数を用いた。結果は、全て平均値±標準偏差にて表記し、統計学的な有意水準は 5 %とした。

Ⅲ. 結 果

A. 使用段階的弾性ストッキングの着圧

円筒状の木製足型にストッキングを履かせ、圧力測定機 MST にて測定した足首部と脛脛部の着圧を Table 2 に示す。その結果、非段階的弾性ストッキングである Low は足首部 12.3±1.2 mmHg、脛脛部 12.0±0.0 mmHg であり、足首部と脛脛部に着圧差はなかった。一方、段階的弾性ストッキングである Middle は足首部 21.6±1.2 mmHg、脛脛部 16.6±0.5 mmHg、High は足首部 30.0±1.2 mmHg、脛脛部 20.5±1.4 mmHg であり、両品とも足首部が

脛脛部より高い段階的圧迫になっていた。

B. 下腿圧増加に対する下腿静脈コンプライアンス、静脈容量、最大静脈還流量

駆血用カフ圧—下腿静脈容積曲線における二次回帰式の係数を Table 3 に示した。下腿静脈コンプライアンスを表す一次式は、Table 3 に示す二次回帰式の係数 β_2 、 β_1 を用いて、下腿静脈コンプライアンス = $\beta_1 + 2 \beta_2$ (駆血用カフ圧)と示される。この一次式を用いて、静脈内圧と直線的な関係がある⁶⁾駆血用カフ圧 10~60 mmHg に対する下腿静脈コンプライアンスを Fig. 3 に示した。その結果、段階的弾性ストッキングの着圧増加につれて、下腿静脈コンプライアンスは上昇傾向を示し、コンプライアンスの傾きを示す β_2 は、High、Middle が裸足と比較し有意に上昇した。

下腿圧増加に対する静脈容量ならびに最大静脈還流量を Table 4 に示した。その結果、段階的弾性ストッキングの着圧が増加するにつれて、静脈容量は増大し、High が 5.5±1.4 ml/dl、Middle が 5.4±2.6 ml/dl を示し、裸足(3.0±0.8 ml/dl)と比較し有意な差異を示した。また、最大静脈還流量も段階的弾性ストッキングの着圧が増加するにつれて増大し、High が 5.3±1.4 ml/dl/min、Middle が 4.8±2.6 ml/dl/min を示し、High は Low(3.5±1.0 ml/dl/min)、裸足(2.5±0.6 ml/dl/min)と比較し、Middle

Table 3. Pressure-volume regression parameters.

Limb Volume = $\beta_0 + \beta_1 \cdot (\text{Cuff Pressure}) + \beta_2 \cdot (\text{Cuff Pressure})^2$			
Sample	β_0	β_1	β_2
Non stocking	0.630±0.688	0.081±0.022	-0.0008±0.0004
Low	0.774±0.650	0.114±0.036	-0.0012±0.0006
Middle	0.052±1.209	0.184±0.096 [§]	-0.0018±0.0010 [§]
High	-1.790±1.695 ^{§#b}	0.263±0.080 ^{§#}	-0.0025±0.0067 ^{§#}

Values are means ± SD.

§P<0.05 vs Nonstocking. #P<0.05 vs Low. bP<0.05 vs middle.

Venous Compliance = $\beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot (\text{Cuff Pressure})$ β_1 is a slope of the venous compliance. β_2 is an intercept of the venous compliance.

Fig. 3. Relations between calf venous compliance and collecting cuff pressure by graduated elastic compression stockings.

Table 4. Venous Capacitance and Maximum Venous Outflow.

Sample	Venous Capacitance (ml/dl tissue)	Maximum Venous Outflow (ml/dl/min)
Non stocking	3.0±0.8	2.5±0.6
Low	4.0±1.0	3.5±1.0
Middle	5.4±2.6 [§]	4.8±2.6 [§]
High	5.5±1.5 [§]	5.3±1.4 ^{§#}

Values are means ± SD

§P<0.01 vs Non stocking. #P<0.05 vs Low.

は裸足と比較し, 有意な差異を示した.

Ⅳ. 考 察

C. 下腿静脈コンプライアンスと静脈容量ならびに最大静脈還流量の関係

カフ圧 20 mmHg の下腿静脈コンプライアンスに対する静脈容量と最大静脈還流量の関係を Fig. 4 に示した. その結果, 下腿静脈コンプライアンスが上昇するにつれて静脈容量は増大し, 有意な正の相関関係($r=0.77$, $P<0.001$)を示した. また最大静脈還流量も同様に有意な正の相関関係($r=0.84$, $P<0.001$)を示した.

下肢深部静脈血栓症の理学療法の 1 つである弾性ストッキング着用の効果は, 筋ポンプ作用の増強および微小循環の改善の 2 つと考えられている. また, 浮腫の改善も, 弾性ストッキングの段階的圧迫により血液と組織間液が毛細血管壁を介するときの静水圧と膠質浸透圧のバランスが良くなることにより, 濾過の減少と再吸収の増加が起こるものと考えられている²⁾.

静脈還流に対する段階的弾性ストッキングの効果に関しては, 超音波パルスドップラ法による静脈血

Fig. 4. Relations between calf venous compliance at 20mmHg and Venous Capacitance, Maximum Venous Outflow.

流速度を測定した先行研究においても着圧の効果が検証されており、ベルトによる段階的圧迫での大腿静脈速度の上昇⁹⁾や、弾性ストッキングによる着圧によって膝窩静脈速度の増加¹⁰⁾などが報告されているものの、段階的弾性ストッキングの着圧変化が下腿静脈コンプライアンスにどのような影響を及ぼしているかは明らかにされていなかった。そこで本研究では、Halliwill たち⁶⁾の方法に従い、ストレンゲージプレスチモグラフを用いて下腿静脈容積を測定し、段階的弾性ストッキングの着圧増加につれて、下腿静脈コンプライアンスが上昇すること (Table 4, Fig. 3) を明らかにした。

段階的弾性ストッキングの着圧増加が下腿静脈コンプライアンスを上昇させる要因の一つとして、段階的弾性ストッキングの着圧が静脈外圧を高めることが考えられる。静脈壁は静脈内圧と静脈外圧の差が低い場合、血管壁の周長を変えなくても容積を変えることができ、静脈内圧と静脈外圧の差がほぼゼロであっても静脈容積は増加する¹¹⁾。つまり静脈内圧と静脈外圧の差が小さい場合、静脈コンプライアンスは高いことを意味する。段階的弾性ストッキングを装着することによって静脈外圧が上昇し、鬱血で上昇した静脈内圧との差を低下させることができ、下腿静脈コンプライアンスは上昇したと考察する。

Louisy たち¹²⁾は、末梢静脈内にある血液と細胞間液は体幹に移動しやすく、その移動量が下腿静脈コンプライアンスの変化に影響を与えることを示唆している。従って、段階的弾性ストッキングの皮膚表面からの着圧によって、皮膚に近い毛細血管や表在静脈にある血液と細胞間液を体幹部に還流させ、その結果として、静水圧と膠質浸透圧のバランスが良くなり、動脈より流入した血液と細胞間液に対する濾過の減少と再吸収の増加が得られ、静脈還流時の下腿静脈コンプライアンスを上昇させたことが、もう一つの要因と考えられる。

また、段階的弾性ストッキングの着圧増加に伴って、静脈容量と最大静脈還流量は共に増大を示した (Table 4)。静脈還流障害の評価において、静脈容量や最大静脈還流量の増大は、静脈瘤の所見として捉えられる⁴⁾。静脈瘤は逆流防止弁の機能低下や静脈壁の脆弱によって瘤ができる疾患であり、通常の静脈と比較し、静脈容量は増大する²⁾。このことに

対して、段階的弾性ストッキングの着圧増加に伴う静脈容量の増大は、駆血前における安静時静脈容積が影響していると推察する。大腿部カフの駆血によって、下腿静脈容積が全ての試技で平衡状態になったことから、静脈容量は全ての試技において最大でほぼ同一と考え、逆に駆血前における安静時静脈容積の減少が考察される。

更に静脈内圧 20 mmHg での下腿静脈コンプライアンスと静脈容量と最大静脈還流量の関係 (Fig. 4) には、有意な高い正の相関が示唆され、下腿静脈コンプライアンスの上昇が、静脈容量および最大静脈還流量の増大に寄与することが示された。このことから段階的弾性ストッキングの着圧増加は、下腿静脈コンプライアンスを上昇させることにより、静脈容量と最大静脈還流量を増大させることが明らかになった。

本研究では心臓と下腿を同じ高さを維持する仰臥位での下腿静脈容積および下腿静脈コンプライアンスの測定を行なったが、立位では心臓から足までの距離に応じた静水圧が加わり、足部の静脈内圧は 90 mmHg 前後にまで上昇する⁴⁾と報告されている。肺血栓塞栓症の要因として考えられる長時間の同一座位や立位姿勢のような静水圧や重力が作用する場合とは、段階的弾性ストッキングの最適圧が異なる可能性が予想される。従って、長時間の座位や立位における検討が今後の課題と考えられる。

Ⅶ. ま と め

本研究では、異なる圧迫圧の段階的弾性ストッキングの着用による下腿圧の変化が下腿静脈コンプライアンスに及ぼす影響を、仰臥位安静時に検討した。その結果、段階的弾性ストッキングの着圧が増加するにつれて、静脈還流時における下腿静脈コンプライアンスは上昇し、静脈容量および最大静脈還流量は増大した。このことから段階的弾性ストッキング着用による下腿圧増加は、下腿静脈コンプライアンスの上昇を生じさせ、静脈還流を亢進することが示唆された。

(受理日 平成18年 5月26日)

参 考 文 献

- 1) 肺血栓塞栓症/深部静脈血栓症(静脈血栓塞栓症)予防ガイドライン作成委員会。肺血栓塞栓症/深部静脈血

- 栓症(静脈血栓塞栓症)予防ガイドライン, 第1版, Medical Front International Limited, 東京(2004), 5-15.
- 2) 平井正文, 岩井武尚, 星野俊一, 弾力性ストッキング・コンダクター, 第2版, どんな治療があるのか, へるす出版, 東京, (2004), 27-29.
- 3) 平井正文, 深部静脈血栓症・肺塞栓症予防における弾力ストッキング, 間欠的空気圧迫法の応用法, 静脈学, (2003), **14**(1), 49-62.
Masafumi Hirai, Elastic Stockings and Intermittent Pneumatic Compression in the Prevention of Deep Vein Thrombosis and Pulmonary Embolism. Jpn. J. Phlebol.(2003) **14**(1), 49-62(in Japanese)
- 4) 平井正文, (静脈血栓症) 静脈循環について, 臨床科学, (1996), **32**, 1571-1577.
- 5) 管 弘之, 教育講座「心機能」3回シリーズ 第三回, 日生誌, (2003), **65**(9), 60-276.
- 6) John R. Halliwill, Christopher T. Minson, and Michael J. Joyner, Measurement of limb venous compliance in humans: technical considerations and physiological findings. J. Appl. Physiol(1999) **87**, 1555-1563.
- 7) Kevin D. Monahan, Rank A. Dinunno, Douglas R. Seals, and John R. Halliwill, Smaller age-associated reductions in leg venous compliance in endurance exercise-trained men., Am J Physiol Heart Circ Physiol(2001) **281**, H1267-H1273.
- 8) DD ENV 12718: 2001 Medical compression hosiery
- 9) Bernard Sigel, Annette L. Edelstein, Lane Savitch, James H. Hasty, W. Robert Felix, Jr., Type of Compression for Reducing Venous Stasis-A Study of Lower Extremities During Inactive Recumbency. Arch Surg(1975) **110**, 171-175.
- 10) 太田覚史, 山田典一, 辻 明弘, 石倉 健, 田雅 弘, 谷津卓宏, 中村真潮, 伊藤正明, 井阪直樹, 中野 起, 静脈血栓症に対する各種理学的予防法の静脈血流増加効果についての検討, 静脈学, (2004), **15**(2), 89-95.
Satoshi Ota, Norikazu Yamada, Akihiro Tsuji, Ken Ishikura Masahiro Ota, Takahiro Yazu, Mashio Nakamura, Masaaki Ito, Naoki Isaka and Takeshi Nakano, A Comparative Effect of Various Mechanical Prophylactic Methods for the Prevention of Venous Thromboembolism, Jpn. J. Phlebol.(2004) **15**(2), 89-95(in Japanese)
- 11) 南山 求, 二宮石尾, 下肢静脈, CURRENT THERAPY, (1994), **12**(2), 9-14.
- 12) Francis Louisy, Philippe Schroiff, and Antonio Guell. Change in leg vein filling and emptying characteristics and leg volume during long-term head-down bed rest(1997) **82**(6) 1726-1733.