

原 著

受動的な下肢挙上が大静脈横断面積 および一回拍出量に及ぼす影響

吉岡 哲^{*1} 西村一樹^{*2} 関 和俊^{*3} 小野寺昇^{*4}

要 約

本研究の目的は、受動的な下肢挙上時の大静脈横断面積および一回拍出量を検討することとした。6名の健康な成人男性が、本研究に参加した。事前に全ての被験者にインフォームドコンセントを実施した。全ての被験者の仰臥位姿勢時および受動的な下肢挙上時の大静脈横断面積、一回拍出量および心拍数を測定した。大静脈横断面積および一回拍出量の測定には超音波検査法を用いた。受動的な下肢挙上は、股関節を15°屈曲位(15°条件)および30°屈曲位(30°条件)の2条件とした。受動的な下肢挙上時の大静脈横断面積は、30°条件($3.91 \pm 0.79 \text{cm}^2$)において、安静時($2.67 \pm 0.81 \text{cm}^2$)と比較して、有意に高値を示した。しかしながら、心拍数および一回拍出量は、仰臥位姿勢時と受動的な下肢挙上時の値に有意な差は観察されなかった。これらの知見から、受動的な下肢挙上により、重力の影響を受け、下肢からの静脈還流が促進されることが示唆された。しかしながら、受動的な下肢挙上により還流された下肢からの静脈血は、心臓への静脈還流量の増大に、ほとんど寄与しないことが示唆された。心臓への静脈還流量は、大静脈系の貯留量により調節されている可能性を示唆する。

緒 言

下肢挙上は、Head-down tiltとともに、循環障害に対する応急手当として、用いられている手法である¹⁻³。受動的な下肢挙上(Passive leg raising: PLR)は、重力を活用して、右心房圧を増大させることにより心拍出量が増大し、このことが動脈血圧を上昇させるものと考えられている⁴。Wong et al. は、急性の血液量損失後のPLRが心拍出量に及ぼす影響を検討した結果、低循環血液量患者に対するPLRが心拍出量を増大するという知見を報告した²。Boulain et al. は、急性期の心疾患を対象にPLRを実施した際の一回拍出量が増加し、心拍数に変化がないことを明らかにした⁵。しかしながら、健康成人を対象にPLRを実施した際の心拍出量は、一過性に増大するものの持続時間は短いと報告された^{4,6}。これらの知見から、意図的に還流された下肢からの静脈血が、直接的に右心房圧の増大、一回拍出量の増大に寄与するのではなく、何らかの機能が作用して心臓への還流量を調節しているものと推察する。

Onodera et al. は、立位浸水時に、大静脈横断面積が増大し、それらは、水位に依存することを明らかにした⁷。これらの知見は、水圧の作用で還流された下肢からの静脈血が、腹部の大静脈に一時的に貯留されていることを示唆する。重力および水圧等の物理的特性により増大した下肢からの静脈血は、腹部の大静脈に貯留され、心臓への還流量を調節していると推察される。

以上のことから、健康成人を対象としたPLRは、腹部の大静脈に静脈血を貯留し、一回拍出量の増大には寄与しないものと仮説立てた。本研究は、健康成人を対象に、PLRが大静脈横断面積、一回拍出量および心拍数に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方 法

1. 被験者

被験者は、6名の健康な成人男性とした。被験者の身体的特徴は身長: $172.1 \pm 6.8 \text{cm}$ 体重: $64.0 \pm 6.7 \text{kg}$ 、体脂肪率: $14.1 \pm 3.6\%$ 、年齢: 20歳(各平均値±標準偏差)であった。全ての被験者には、ヘルシンキ

*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学専攻 健康科学専攻 *2 広島工業大学 環境学部 地球環境学科
*3 流通科学大学 サービス産業学部 医療福祉サービス学科 *4 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科
(連絡先) 吉岡 哲 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-Mail: w8507002@mw.kawasaki-m.ac.jp

宣言の趣旨に沿って、研究の目的、方法、期待される効果、不利益が生じないこと、危険に対する安全管理を行った環境で実施することおよび個人情報の保護についての説明を行い、研究参加への同意を得た。本研究は、川崎医療福祉大学倫理委員会の承認を得た（承認番号：130）。

2. 実験手順

全ての被験者の仰臥位姿勢時および PLR 時の下大静脈横断面積、心拍数および一回拍出量を測定した。PLR には、電動ギャッチベッドを用い、股関節 15° 屈曲位条件（ 15° 条件）および股関節 30° 屈曲位条件（ 30° 条件）の 2 条件を設定した。各条件間は、仰臥位姿勢を維持した。図 1 に PLR の模式図を示した。仰臥位姿勢時の各パラメータの測定は、仰臥位姿勢で 20 分以上安静にし、心拍数が定常であることを確認してから行った。PLR 時の各パラメータの測定は、下肢挙上直後から開始した。測定は、それぞれ 1 分間行った。全ての被験者には、実験開始 3 時間前から絶食し、実験当日は激しい運動、服薬およびカフェインの摂取を避けるように指示した。

3. 下大静脈横断面積の測定

下大静脈横断面積（Cross sectional area of inferior vena cava: CSA_{Aivc}）は、超音波エコー装置（SonoSite; 180PLUS）を用いて測定した。マイクロコンベックス探触子を用い、B モードにて、下大静脈の横断面を描出し、動画をコンピュータに記録した。記録した動画から、再現性の高い⁸⁾ 呼吸時の映像を静止画像化し、画像解析ソフト（NIH image 1.63）を用いて横断面積を算出した。CSA_{Aivc} は、5 枚の画像の横断面積を算出し、それらの平均値を求めた。測定は、肋骨下縁から臍までの間の腹部を縦走査し、第 12 胸椎椎体、腹大動脈および下大静脈の横断像が同時に観察される位置で行った。

4. 心拍数および一回拍出量の測定

心拍数（Heart rate: HR）は、胸部双極誘導法

を用いて測定した。心電図テレメータ（日本光電; WEP-7404）に表示された数値を心拍数とし、心電図テレメータに表示された心電図を A/D 変換器（AD instruments; Mac Lab/800）によりデジタル信号に変え、1,000samples/sec でサンプリングし、コンピュータに取り込み、各条件中の 1 分間の平均値を算出した。

一回拍出量（Stroke volume: SV）は、血流速度および上行大動脈横断面積の積より求めた。上行大動脈直径と大動脈血流速度の測定には超音波画像診断装置（Aloka; Color Doppler SSD-870）を使用した。上行大動脈直径は 2.5MHz の探触子を第 3~4 肋間胸骨左縁にあて、大動脈弁尖がわずかに認められる位置で大動脈の内壁が明瞭に描出されるように B モード画面を設定し、M モードで連続的に 3~5 拍ずつ記録した。記録した画像から、収縮期および拡張期の直径を計測し、さらにそれらの平均値を求めた。得られた平均値から大動脈横断面積を以下の式より求めた。

$$\text{大動脈横断面積} = (\text{大動脈直径} / 2)^2 \times \pi$$

大動脈血流速度は超音波パルスドップラー法を使い、CW モードで 2.0MHz インディペンデント探触子を胸骨柄上端部にあて、一拍毎の大動脈血流速度波形をモニタリングした。モニタに映し出された画像を、コンピュータに取り込んだ後に、3 秒ごとの画像としてコンピュータに保存し、画像解析ソフト（NIH Image）を用いて上行大動脈血流速度を導きだした。

5. 統計処理

各測定値は、平均値 ± 標準偏差で示した。各パラメータを一元配置分散分析で検定し、post hoc test には、Fisher's PLSD を用いた。危険率 5% 未満を有意とした。

結 果

図 2 に CSA_{Aivc} の変化を示した。CSA_{Aivc} は、挙上角度の増大に伴い増加する傾向を示し、 30° 条件の

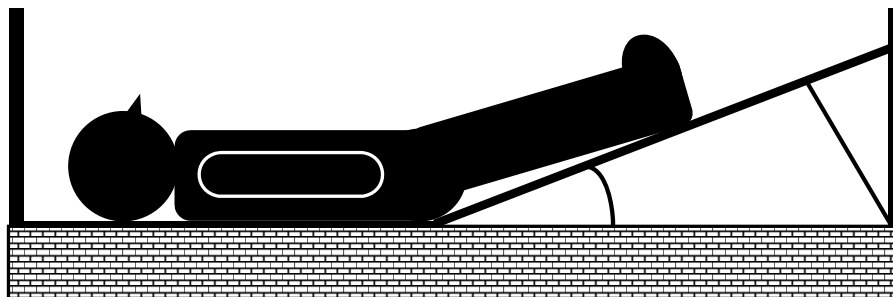


図 1 受動的下肢挙上の模式図

CSAiv($3.91 \pm 0.79 \text{cm}^2$)は 安静時 $2.67 \pm 0.81 \text{cm}^2$)と比較して、有意に高値を示した($P < 0.05$). この傾向は、全被験者ともに観察された(表 1). CSAivcの測定値の変動係数は、 $3.9 \pm 2.1\%$ であった. SVの変化を図 3 に示した. 安静時($88.3 \pm 20.5 \text{ml}$)と比較して、 15° 条件($99.3 \pm 22.7 \text{ml}$)および 30° 条件($104.3 \pm 22.5 \text{ml}$)ともに高値を示す傾向であったものの、いずれも有意な差は観察されなかった. HRの変化を図 4 に示した. 安静時($63.6 \pm 10.6 \text{bpm}$)と比較して、 15° 条件($59.4 \pm 13.4 \text{bpm}$)および 30° 条件($59.3 \pm 13.7 \text{bpm}$)ともに低値を示す傾向であったものの、有意な差は観察されなかった.

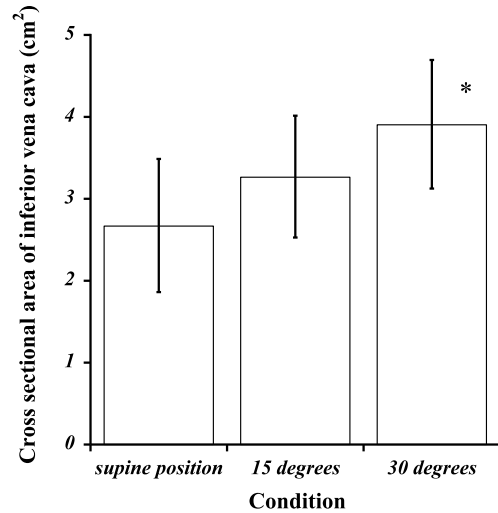


図 2 仰臥位姿勢時および受動的下肢挙上時の下大静脈横断面積

* : $P < 0.05$ vs supine position

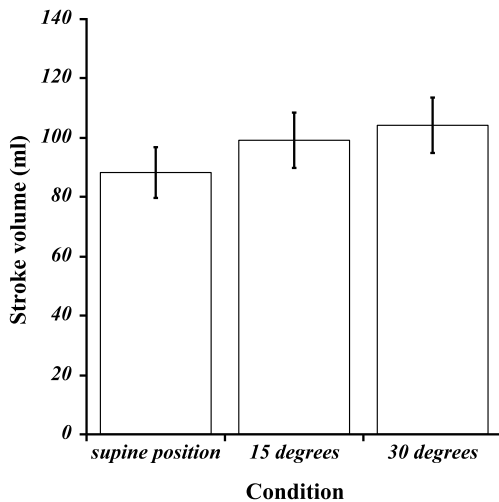


図 3 仰臥位姿勢時および受動的下肢挙上時の一回拍出量

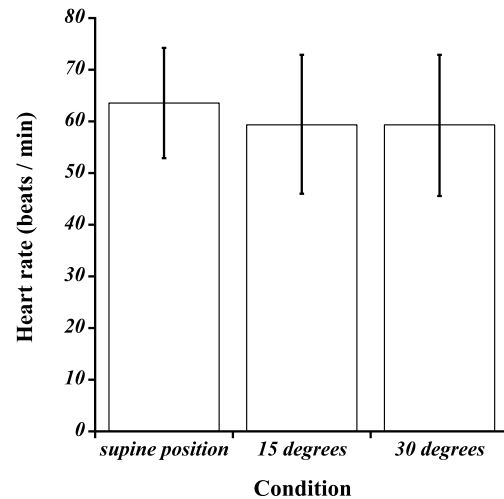


図 4 仰臥位姿勢時および受動的下肢挙上時の心拍数

表 1 被験者毎の仰臥位姿勢時および受動的下肢挙上時の下大静脈横断面積

	at rest (supine position)	Passive leg raising	
		15 degrees	30 degrees
Subject A	3.13	3.68	4.58
Subject B	2.21	2.98	3.64
Subject C	4.13	4.60	5.11
Subject D	2.10	2.71	3.02
Subject E	2.32	2.99	3.75
Subject F	2.12	2.69	3.35

Unit : cm^2

考 察

PLR 時の CSA_{ivc}, SV および HR の変化を明らかにすることを目的とした。CSA_{ivc} は、下肢の挙上角度の増加に伴い増大する傾向を示し、30° 条件の CSA_{ivc} は、仰臥位姿勢時と比較して、有意に高値を示した。しかしながら、HR および SV は、安静時と比較して、下肢挙上時の値に有意な差は観察されなかった。これらのことから、受動的な下肢挙上により、重力の影響を受け、下肢からの静脈還流が促進されることが示唆された。しかしながら、受動的な下肢挙上により還流された下肢からの静脈血は、腹部の下大静脈に貯留されたものと考えられ、受動的な下肢挙上は心臓への静脈還流量の増大には寄与しないことが示唆された。心臓への静脈還流は、大静脈系の貯留量により調節されている可能性があるものと推察した。

PLR は、Head-down tilt とともに、急性の低血圧や乏血性ショックの初期治療^{1,2)} に臨床で用いられる手技である。PLR は、下肢からの静脈還流量を増加し、動脈血圧を増大させると考えられている⁴⁾。しかしながら、PLR の影響は、下肢の挙上角度に依存し、挙上時間に伴い消滅することが明らかにされている^{1,4)}。Shiina et al. は、45° での PLR 中の血流速度を三尖弁で測定した結果、有意に増大するが、その継続時間は、数秒であったことを報告した⁶⁾。また、Gaffney et al. は、60° での PLR 中の心拍出量は、20秒目には、有意に増大するものの、7分後には安静時レベルであったことを報告した⁴⁾。この結果は、姿勢変化に対する血管収縮反応は、比較的、素早く生じるのに対し、静脈トーンスの反応が遅い⁹⁾ ことから、PLR 直後の心拍出量増加に対し、時間経過が、安静時レベルに回復させたものと推察される。本知見では、30° の PLR により CSA_{ivc} は増大したものの、一回拍出量は増大しなかった。このことから、PLR により下肢からの静脈還流量が増大し、一過性に心拍出量を増大させるが、短時間のうちに下大静脈が弛緩して静脈血を貯留し、心拍出量を調節するものと推察する。しかしながら、CSA_{ivc} は、呼吸により大きく変動する⁸⁾ ため、自然呼吸下で測定を行った本研究では、経時的に変化を確認することができなかった。そのため、下大静脈がどの程度の時間で弛緩したのかは詳細を明らかにすることができなかった。本研究における CSA_{ivc} は、30~60秒程度の静止画から算出している。このことから静脈トーンスは、PLR 後、少なくとも30秒以内に反応するものと推察する。

Boulain et al. は、4分間の45° での PLR 時に

一回拍出量が増加するが、心拍数は変化しないことを明らかにした⁵⁾。この結果は、本知見と異なる。Boulain et al. は、急性心疾患患者を被験者としており、被験者にはノルエピネフリンをはじめとするカテコラミンが投与されている者も存在した。このことが、本研究の知見と異なる要因であると推察される。健康な成人に PLR を実施した際の心拍出量は、安静時と比較して、20秒後に増大するものの、7分後には安静レベルに減少する⁴⁾。さらに、本知見から、PLR によって増大した下肢からの静脈血が、腹部の下大静脈に貯留することが明らかになった。これらのことから、カテコラミン投与患者の PLR 時の一回拍出量の増大には、投与されたカテコラミンが静脈の α アドレナリン作動性受容体に作用し、静脈の血管収縮が誘発されたことが寄与するものと推察される⁵⁾。健康成人の PLR 中に、短時間で変化する心拍出量の減少等の循環動態の変化には、動脈圧受容器反射¹⁰⁾ や低圧受容器を介した心肺受容器反射^{11,12)} などの求心性入力による自律神経系調節が寄与しているものと考えられる。カテコラミン投与により循環動態に変化がみられることから、大静脈系の血管トーンスも、動脈系と同様に自律神経系により調節されているものと推察する。

立位浸水により、下大静脈横断面積は増大し、それらは、水位に依存する。さらに一回拍出量は、水位に依存して増大する傾向を示すものの、脇窩位浸水時のみ、有意な増加を示す⁷⁾。これらの知見から、水の物理的特性である水圧が下肢からの静脈還流を促進するものの、脇窩よりも低い水位での浸水では下肢からの静脈血が水位以下の静脈、または腹部の下大静脈に貯留することが示唆された。PLR は、仰臥位姿勢から股関節を屈曲させた姿勢であるため、腹部の大静脈に貯留させることが可能であり、一回拍出量が増大しなかったものと考えられる。本研究の知見は、Onodera et al. の大転子位浸水時の下大静脈横断面積および一回拍出量の知見と同様のものではなかったと考えられる。これらのことから、下肢挙上時の循環調節と重力や水圧等の物理的特性による下肢からの静脈還流促進時の循環調節は、同様のメカニズムの働きによるものと推察された。

ま と め

次の知見が示された。

1. 受動的な下肢挙上時の CSA_{ivc} は、挙上角度の増大に伴い増加傾向を示し、30° 条件で、仰臥位姿勢よりも有意に高値を示した。
2. 受動的な下肢挙上時の SV は、挙上角度の増大に伴い増加傾向を、また HR は、減少傾向を

示したものの、いずれも有意な変化は観察されなかった。

以上の知見から、健常成人に対する受動的な下肢挙上は、下肢からの静脈還流量を増大するが、増大

した下肢からの静脈血は、腹部の下大静脈に貯留され、下大静脈に貯留される血液量が心臓への還流量を調節する可能性が示唆された。

文 献

- 1) Wong DH, Tremper KK, Zaccari J, Hajduczek J, Konchigeri HN and Hufstедler SM: Acute cardiovascular response to passive leg raising. *Critical Care Medicine*, **16**, 123-125, 1988.
- 2) Wong DH, O'Connor D, Tremper KK, Zaccari J, Thompson P and Hill D: Changes in cardiac output after acute blood loss and position change in man. *Critical Care Medicine*, **17**, 979-983, 1989.
- 3) Monnet X and Teboul JL: Passive leg raising. *Intensive Care Medicine*, **34**, 659-663, 2008.
- 4) Gaffney FA, Bastian BC, Thal ER, Atkins JM and Blomqvist CG: Passive leg raising does not produce a significant or sustained autotransfusion effect. *Journal of Trauma*, **22**, 190-193, 1982.
- 5) Boulain T, Achard JM, Teboul JL, Richard C, Perrotin D and Ginies G: Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest*, **121**, 1245-1252, 2002.
- 6) Shiina A, Kondo K, Nakasone Y, Tsuchiya M, Yaginuma T and Hosoda S: Contrast echocardiographic evaluation of changes in flow velocity in the right side of the heart. *Circulation*, **63**, 1408-1416, 1981.
- 7) Onodera S, Miyachi M, Nishimura M, Yamamoto K, Yamaguchi H, Takahashi K, Joo YI, Amaoka H, Yoshioka A, Matsui T and Hara H: Effects of water depth on abdominails aorta and inferior vena cava during standing in water. *Journal of Gravitational Physiology*, **8**, 59-60, 2001.
- 8) 中原英博, 宮地元彦: 超音波エコー法による呼吸変動を考慮した下大静脈横断面積測定再現性の再現性. *体力科学*, **47**, 623-628, 1998.
- 9) Epstein SE, Beiser GD, Stampfer M and Braunwald E: Role of the venous system in baroreceptor-mediated reflexes in man. *Journal of Clinical Investigation*, **47**, 139-152, 1968.
- 10) Roddie IC and Shepherd JT: The effects of carotid artery compression in man with special reference to changes in vascular resistance in the limbs. *Journal of Physiology*, **139**, 377-384, 1957.
- 11) Barbieri R, Triedman JK and Saul JP: Heart rate control and mechanical cardiopulmonary coupling to assess central volume: a systems analysis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **283**, R1210-R1220, 2002.
- 12) Parati G, Grassi G, Coruzzi P, Musiari L, Ravogli A, Novarini A and Mancia G: Influence of cardiopulmonary receptors on the bradycardic responses to carotid baroreceptor stimulation in man. *Clinical Science (London)*, **72**, 639-645, 1987.

(平成21年11月30日受理)

Effects of Passive Leg Raising on Cross Sectional Area of Inferior Vena Cava and Stroke Volume

Akira YOSHIOKA, Kazuki NISHIMURA, Kazutoshi SEKI and Sho ONODERA

(Accepted Nov. 30, 2009)

Key words : passive leg raising, cross sectional area of inferior vena cava, stroke volume, venous return, pre-load

Abstract

The purpose of this study was to determine the cross sectional area of inferior vena cava and stroke volume during passive leg raising. Six males volunteered to participate in this study. All subjects signed the informed consent forms prior to participation in this study. We determined cross sectional area of inferior vena cava, stroke volume using ultrasound and heart rate at rest and during passive leg raising. Passive leg raising as set up in two conditions, 1) hip joint flexion position of 15 degrees and 2) hip joint flexion position of 30 degrees (30 degree condition). The cross sectional area of inferior vena cava during passive leg raising in the 30 degree condition (3.91 (SD 0.79) cm^2) was increased, compared to at rest (2.67 (SD 0.81) cm^2). However, heart rate and stroke volume were no different between at rest and during passive leg raising. These results suggested that venous return from the lower limb during passive leg raising was facilitated by effects of gravity. However, we suggested the volume of venous return from the lower limb increased during passive leg raising, which contributed little to the increase of venous return to the heart. Our results implied that inferior vena cava might modulate venous return to the heart.

Correspondence to : Akira YOSHIOKA

Doctoral Program in Health Science
Graduate School of Health Science and Technology
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
E-Mail: w8507002@mw.kawasaki-m.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.19, No.2, 2010 285–290)