

ベット上での下肢運動に伴う筋ポンプと 呼吸の影響について

東京医科大学 長田卓也
(共同研究者) 同 勝村俊仁
東京都健康づくり
推進センター 仲 眞美子
東京医科大学 浜岡隆文

Effects of Respiration and Muscle Pump During Leg Exercise

by

Takuya Osada, Toshihito Katsumura,
Takafumi Hamaoka

*Department of Preventive Medicine and Public
Health, Tokyo Medical University*

Mamiko Naka

Tokyo Metropolitan Health Promotion Center

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of the interaction between respiration and muscle pump on venous blood flow (BF) return from right leg during right knee exercise in eight healthy males. BF was measured in femoral vein (FV) during respiration without knee exercise and during knee exercise synchronized with respiration. At semi-supine position, subjects performed a one-legged voluntary knee extension-flexion exercise for 2 s, at three different knee angle (low, middle and high) in arrested respiration (*Protocol A*), synchronized with normal-inspiration or normal-expiration (*Protocol B*). As the results, in *Protocol A*, BF_{FV} at the middle and high knee angle exercise was a significantly ($p < 0.05$) higher than that at the low knee angle

exercise. In *Protocol B*, BF_{FV} at low knee angle exercise during inspiration, and at low and middle knee angle exercise during expiration significant ($p < 0.05$) increased compare to that during arrested respiration. This study demonstrated that higher range of knee angle at knee exercise showed the increasing in venous return from leg. As the combination of muscle pump and respiration, the middle knee angle exercise during expiration showed the increasing in venous return from leg effectively.

要 旨

健常人男性8名を対象に、下肢運動（膝伸展-屈曲）と呼吸が下肢静脈還流量（大腿静脈）に及ぼす影響を検討した。半臥位ベット上にて両下肢膝屈曲位（0度）にて、膝伸展角度をそれぞれ30度（低度）、60度（中等度）、90度（高度）伸展屈曲させる3種類の角度を用い、膝伸展角度の違いによる静脈還流量の影響（プロトコールA）を検討した。さらに3種類のそれぞれの運動に、呼吸あるいは吸気を同調させることにより呼吸が運動中の下肢静脈還流量に及ぼす影響（プロトコールB）を検討した。結果は、プロトコールAでは、大腿静脈血流量は低度膝伸展角度に比べ中等度及び高度で有意（ $p < 0.05$ ）に増加した。次に、プロトコールBではそれぞれの膝伸展角度について呼吸静止時と吸気時及び呼気時の静脈還流を比較すると、吸気中における低度膝伸展角度、そして呼気中における低度及び中等度膝伸展角度は呼吸静止時に比較して有意（ $p < 0.05$ ）に下肢静脈還流量は増加した。以上のことから、動的な運動範囲として伸展角度が大きいほど下肢静脈還流量は高く、呼吸と筋ポンプの同調効果は、静脈還流の面からみた場合には、呼気時に中等度の膝伸展角度の運動を行うことが効果的であると示唆された。

緒 言

虚血性心疾患や脳血管障害などの動脈硬化性疾

患は、日本人の死亡原因の多くを占めている。この動脈硬化性疾患発症の背景にある高血圧、糖尿病、高脂血症などの冠危険因子の発症予防・改善における運動の重要性が広く認識されるようになり、「健康づくり、生活習慣病予防」を目的とした運動の実践指導が行われるようになった。しかしながら、人口の高齢化に伴って増加している「寝たきりの高齢者」に対する、実践的かつ科学的根拠に基づいた適切で安全な運動の方法を検討した研究は少ない。ベット上での運動は低強度の運動に限定されるので、運動形態の検討や運動処方作成のためには、心肺機能を反映する運動耐容能ばかりでなく、末梢血流・筋代謝に関連した局所血行動態の評価も重要であると考えられる。とくに下肢運動時における静脈系循環調節には、筋ポンプや呼吸などが関与しており、廃用性筋萎縮などではこれらの作用が低下することが推測される。先行研究において、筋ポンプや呼吸の静脈系に及ぼす影響を調べた多くの報告があるが、筋ポンプと呼吸の協調効果についての検討は少なく、また局所運動における血行動態と呼吸運動の関連性の検討は安全な運動処方の作成のために重要であると考えられる。そこで本研究では、健常人を対象に、ベット上での半仰臥位運動をモデルとして下肢運動における筋ポンプ及び呼吸の影響について下肢静脈還流の面から検討することを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 被験者

特別な運動習慣のない健康男性8名を対象にした。被験者の年齢は33歳(23-34歳),身長168cm(158-177cm),体重は68kg(58-74kg)。高血圧,貧血等の既往のないことを確認した。各被験者には,研究目的を説明するとともに研究に参加することの同意を受けた。

1. 2 運動形態

被験者の姿勢は半臥位で上半身体幹部をベット上に,両下肢は90度屈曲位にて下垂した状態を保った。運動形態は動的な無負荷随意右下肢膝伸展運動とし,運動の頻度は1秒伸展-1秒屈曲(膝伸展-膝屈曲)とした。また,この2秒間の膝伸展屈曲運動は単一のものとし,連続的に行なわないようにした(図1)。

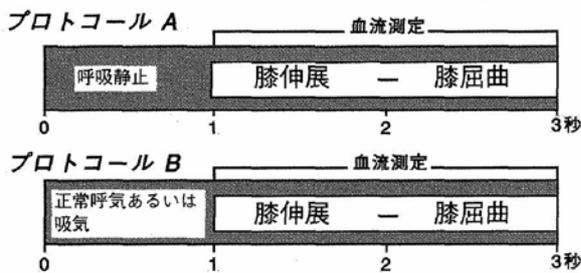


図1 実験プロトコル

プロトコルA) 膝伸展角度の影響: 90度膝屈曲位にした状態を膝角度0度とし,膝伸展角度をそれぞれ30度(低度),60度(中等度),90度(高度)伸展屈曲させる3種類の角度を用い,膝伸展角度の違いによる下肢静脈還流量の影響を観察した。半臥位ベット上にて,両下肢を90度屈曲位とし,両下肢足底は地面に触れないようにした。更に,下肢静脈還流量は,胸腔内圧や腹腔内圧などの呼吸に伴う変化により強く影響を受けるために,それぞれ3種類の運動時には,呼吸を静

止した状態で下肢運動を行った。呼吸の静止は,自然な呼吸の呼気終了後に数秒間止めることとした。

プロトコルB) 呼吸(呼気及び吸気)の影響: A)のプロトコルで,正常呼吸を膝伸展-膝屈曲の下肢運動に同期させた。すなわち,1.呼気中に膝伸展-屈曲を行った場合及び2.吸気中に膝伸展-屈曲を行った場合の2種類の方法にて検討した。呼吸は,自然な正常呼吸とし,意識的に深くあるいは浅くしないものとし,また腹圧が極度に上がらないような胸式呼吸とした。上記A)B)の結果より,膝伸展角度の違いにより下肢静脈還流への筋ポンプ効果が異なることが推測され,さらに呼吸を加えることにより,運動-呼吸同調効果を検討することとした。

1. 3 血流測定

測定部位は,右大腿静脈とし,大伏在静脈との分岐部や静脈弁などの血行動態に影響を与えない部位とした。超音波ドプラ測定機器としてはHewlett-Packard社製(Sonos 1500, Ultrasound imaging system, HP 77035A)を用いた。パルス・ドプラ法により7.5MHzの周波数を使用し,血流速度波形,超音波断層法(2-D echography)により血管横断面における長径及び短径を測定し横断面積を計算した。サンプル部位は血管の中心に設置されるように超音波断層法にて確認した。血管径に対するドプラ入射角度は,血流速度計測に誤差を生じさせないように60度以下を保った⁶⁾。また,無負荷膝伸展運動を用いたことにより,運動中の横断面積は大きく変化しないものとし,運動中の経時的な横断面積の値は,安静時の横断面積の値を用いることとした。なお,血流量は,血管の断面を通る平均血流速度と血管横断面から算出した横断面積との積により求め,以下の式により分時間あたりの血流量として算出した。

$$\text{血流量 (ml/min)} = 2 \text{ 秒間の膝伸展-屈曲運動}$$

における平均血流速度×横断面積×60

1. 4 統計

測定値は平均±標準誤差で示した。膝伸展屈曲の低角度に対して、中等度及び高度さらに、プロトコルA及びBにおける各項目（3種類の膝伸展屈曲角度）について、対応のある Student's-test を用いて検定を行った。有意水準は5%とした。

2. 研究結果

安静時の大腿静脈の横断面積は、 $181.4 \pm 11.8 \text{ mm}^2$ であった。プロトコルA及びBにおける静脈還流量を図3に示す。それぞれ3種類の動的膝伸展角度における大腿静脈血流量は、プロトコルA及びBともに、低度膝伸展角度に比べ中等度及び高度で有意 ($p < 0.05$) に増加した。呼吸静止時には、低度膝伸展角度に対し中等度及び高度でそれぞれ2.9倍、4.3倍、呼気時には、それぞれ2.2倍、3.0倍、吸気時には、それぞれ1.7倍、2.1倍と増加した。次にそれぞれの膝伸展角度について静止時と吸気時及び呼気時の静脈還流を比較すると、吸気時における低度膝伸展角度、呼気時における低度及び中等度膝伸展角度において有意 ($p < 0.05$) に静脈還流量は増加した。

3. 考察

3. 1 膝伸展角度の違いが下肢静脈還流量に及ぼす影響

プロトコルAにおいて、膝伸展の角度移動に伴う筋収縮弛緩による静脈還流を検討した結果、伸展角度が大きいほど静脈還流量は高く、動的な運動範囲が大きいほど筋ポンプ効果が大きいと言えた。筋ポンプ効果^{7), 8), 11)}は、第二の心臓とも呼ばれ、静脈還流量の増大や心拍出量の増大に欠かせないものであり、とくに、筋の収縮と弛緩に伴う筋ポンプ作用は、心臓への静脈還流を促進させ、運動初期や運動中の血流再分布に貢献してい

る。筋ポンプに伴う動静脈圧較差の変化が、静脈の還流と動脈の流入に影響を与えており、歩行などの下肢運動においては、下肢筋群の収縮弛緩や膝屈曲伸展に伴う筋の収縮による静脈の圧排と圧搾効果が、心臓へ静脈還流を増大させている。膝伸展-屈曲における大腿静脈の血流プロフィールを図2に示す。膝伸展及び屈曲において静脈血流速度の増加が認められ、大腿筋群の収縮弛緩に伴い静脈の圧排と圧搾効果が血流速波形より観察できる。ベット上においてもより動的範囲の広い下肢関節運動が下肢鬱血や血行動態の向上に意味をなしていると示唆された。

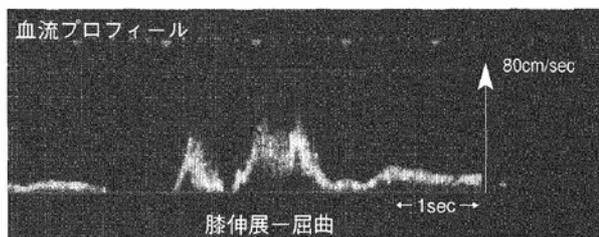


図2 血流プロフィール

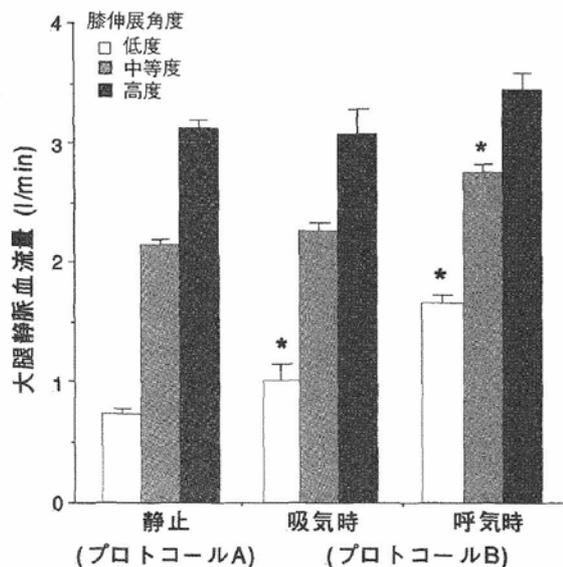


図3 プロトコルAおよびBにおける大腿静脈血流量 * $p < 0.05$ プロトコルAに比較して

3. 2 呼吸が膝伸展屈曲運動における静脈還流に及ぼす影響

呼気時・吸気時に同期させた膝伸展屈曲運動中の静脈還流量をみると、呼吸を静止した時に比較して吸気時及び呼気時ともに、低角度の膝伸展屈

曲において有意に静脈還流量が増加していた。このことは、呼期あるいは吸期にとらわれず、筋ポンプによる静脈還流量増加の効果が、軽度の伸展-屈曲運動においても認められることが観察され、少しでも関節を動かし、筋活動を行うことの重要性が示唆された。また、吸気と呼気の違いでは、中等度膝伸展屈曲角度の運動を呼気時に行うと吸気時よりも有意に静脈還流量が増加していることから、呼吸と筋ポンプの同調効果は、静脈還流の面からみた場合には、呼気時に中等度の膝伸展角度の運動を行うことが効果的であると考えられた。Makin (1969) は、臥位姿勢において、腹圧が上昇するバルサルバ負荷は、大腿静脈血流速度を減少させ、また腹式の呼吸は胸式の呼吸に比べ、腹圧上昇に伴う下大静脈圧排により下肢からの静脈還流を抑える傾向があると述べている⁷⁾。一方で、胸式呼吸は、吸気中の胸腔内圧陰圧上昇に伴い、胸郭付近にある頸静脈、肝静脈や下大静脈の血流速度が上昇し、反対に呼気中にはこれらの静脈内血流速度は低下すると報告している⁹⁾。このように、下肢からの静脈還流は、呼吸に伴う腹圧の変化や下肢の筋ポンプ作用に影響されており、息堪えせず、息を吐きながら無理なく下肢運動を行うことが生理機能面から見た点で負担が少ないと思われる。しかしながら、下肢からの静脈還流は、筋ポンプ効果や呼吸変動のみならず、静脈弁^{3), 5), 10)}、右房圧²⁾、重力や姿勢^{1), 4), 12)}などのさまざまな他の因子によっても影響されており、運動形態や体位、心肺機能に沿った運動処方と血行動態の検討が必要と思われる。

4. 結 語

健常男性8名に対し、半仰臥位下肢運動における筋ポンプ効果と呼吸の影響を静脈還流量の面から検討した。動的な運動範囲として伸展角度が大きいほど下肢静脈還流量は高いことが示されたが、軽度の伸展運動においても下肢静脈還流量の増加

が認められた。呼吸と筋ポンプの同調効果は、静脈還流の面からみた場合には、呼気時に中等度の膝伸展角度の運動を行うことが効果的であると示唆された。また、ベット上においてもより動的範囲のある下肢関節運動が下肢鬱血や血行動態の向上に意味をなしており、また少しでも関節を動かし、筋活動を行うことの重要性が示唆された。

謝 辞

本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Abel F.L., Waldhausem J.A. ; Respiratory and cardiac effects on venous return, *Am. Heart J.*, 78 : 266-275 (1969)
- 2) Abu-Yousef M.M., Mufid M., Woods K.T., Brown B.P., Barloon T.J. ; Normal lower limb venous Doppler flow phasicity: Is it cardiac or respiratory? *AJR. Am. J. Roentgenol.*, 169 : 1721-1735 (1997)
- 3) Andersson J., Thurin A., Thulesius O. ; Valvular function of peripheral veins after hyperemic dilation, *J. Vasc. Surg.*, 23 : 611-615 (1996)
- 4) Arnoldi C.C. ; The influence of posture upon the pressure in the veins of the normal human leg at rest and during rhythmic muscular exercise, *Acta. Chir. Scand.*, 131 : 423-431 (1966)
- 5) Criado E., Daniel P.F., Marston W., Mansfield D.L., Keagy B.A. ; Physiologic variations in lower extremity venous valvular function, *Ann. Vasc. Surg.*, 9 : 102-108 (1995)
- 6) Gill R.W. ; Measurement of blood flow by ultrasound: Accuracy and sources of error, *Ultrasound Med. Biol.*, 11 : 625-641 (1985)
- 7) Makin G.S. ; Velocity in the femoral vein. The effect of respiration exercise and tilt on blood velocity in the femoral vein as detected by an ultrasonic technique, *Angiologie*, 21 : 319-328 (1969)
- 8) McLachlin J.A., McLachlin A.D. ; The peripheral

- venous heart, *Arch. Surg.*, 77 : 568-573 (1958)
- 9) Moneta G.L., Bedford G., Beach K., Strandness D.E. ; Duplex ultrasound assessment of venous diameters, peak velocities, and flow patterns, *J. Vasc. Surg.*, 8 : 286-291 (1988)
- 10) Pollack A.A., Taylor B.E., Myers T.T., Wood E.H. ; The effect of exercise and body position in patients having venous valvular defects, *J. Clin. Invest.*, 28 : 559-563 (1949)
- 11) Stegall H.F. ; Muscle pumping in the dependent leg, *Cir. Res.*, 19 : 180-190 (1966)
- 12) Wright P., Osborn S.B. ; Effect of posture on venous velocity, measured with $^{24}\text{NaCl}$, *Brit. Heart J.*, 14 : 325-330 (1952)