

原 著

足関節底背屈運動が腓腹筋の血行動態に及ぼす影響について

森 明子*¹ 国安勝司*¹ 藤田大介*¹ 渡邊 進*¹

要 約

深部静脈血栓症は、医療現場やエコノミークラス症候群の想定される状況下において、安静臥床や長時間の座位等の不動により発症し、重篤なケースでは肺塞栓をも引き起こすことで問題となっている。深部静脈血栓症は肺塞栓症を引き起こす場合もあり、効果的な予防が必要である。今回は11名の健常若年者を対象に右足関節底背屈運動を1秒間に1回のペースで20回行わせ、これを3セット実施し、レーザー組織血液酸素モニターを用いて足関節底背屈運動中の腓腹筋の血流や末梢循環動態の変化について測定した。その結果、酸化ヘモグロビン(以下、Oxy-Hb)は安静時と比べて運動中に増加し休息中には減少する傾向が見られたが、有意な変化は認められなかった。脱酸化ヘモグロビン(以下、Deoxy-Hb)は安静時と比べて、運動中では有意な減少が認められた。また、Deoxy-Hbは運動中と比べて、休息中では有意な増加が認められた。総ヘモグロビン量(以下、Total-Hb)は運動前後にて有意な変化は認められなかった。今回の結果から、足関節底背屈運動は血流のうっ滞の改善に効果があることが示唆された。

はじめに

深部静脈血栓症(deep vein thrombosis:以下、DVT)は、医療現場やエコノミークラス症候群の想定される状況下において、安静臥床や長時間の座位等の不動により発症し、重篤なケースでは肺塞栓をも引き起こすことで問題となっている^{1,2)}。DVTは欧米では非常に頻度の高い疾患であり、古くからその予防に力が注がれてきている。近年、本症は我が国においても決して少なくない疾患と認識され、2004年には我が国独自の肺血栓塞栓症/深部静脈血栓症(静脈血栓塞栓症)予防ガイドラインが示された。その中で、予防法の一つとして「早期離床および積極的な運動はDVTの予防の基本となる。臥床を余儀なくされる状況下において早期から下肢の自動他動運動やマッサージを行い、早期離床を目指す」と掲げられている³⁾。しかし、そこに具体的な実施頻度等の内容は記されておらず、経験的判断に委ねられている傾向がある。DVTは肺塞栓症を引き起こす場合もあり、効果的な予防が必要とされる。一方で、医療現場では術後の安静期間は短縮されてはきているものの、急性期、慢性期を問わず臥床を強いられる患者も少なくない。そこで今回我々

は予防的見地より、近赤外線分光法(near infrared spectroscopy:以下、NIRS)を用い、足関節底背屈運動中の腓腹筋の血流や末梢循環動態がどのように変化するかを測定することを目的とした。

対象と方法

対象は循環器疾患の既往歴のない健常若年者11名(男性6名、女性5名、平均年齢は 20.8 ± 0.6 歳)であった。服装は軽装とし、下肢や体幹を締め付けるようなものがないように配慮した。測定肢位はセミファーラーとし、指定した運動以外には四肢・体幹の運動が加わらないように指示した。

組織酸素動態は3波長2受光2演算レーザー組織酸素モニター(オメガウェーブ社製BOM-L1TRW)を用いて測定した。組織血液酸素モニターの測定に際しては、受光部が腓腹筋外側頭筋腹中央になるように、また、受光部と発光部の距離が一定になるようにプローブを固定し、測定深度が2~4cmになるように調整した。測定にあたり、組織酸素飽和度(以下、StO₂)をパラメータとし、それが安定していることを確認してから測定を開始した。1分間の安静後、右足関節底背屈運動を1秒間に1回のペー

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 リハビリテーション学科
(連絡先) 森 明子 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-Mail: moakiko@mw.kawasaki-m.ac.jp



図1 組織酸素モニター貼付部位
受光部が腓腹筋外側頭筋腹中央になるように、受光部と発光部の距離が一定になるようにプローブを固定し、測定深度が2~4 cmになるように調整した。

スで20回を行わせることを1セットとして、合計3セット実施した。1セット目(以下、運動1)の運動後は、休息を取り(以下、休息1)、StO₂値が運動前の値に近づき、安定したことを確認してから、2セット目(以下、運動2)の運動へ移行した。そして再度、休息を挟み(以下、休息2)、3セット目(以下、運動3)へと運動を進め、再度休息(以下、休息3)を取り終了とした。

これら運動中の測定機器からのデータは、16bit A/D 変換装置(Power Lab 16sp)を介し、コンピューターで記録した。安静時の総ヘモグロビン量(以下、Total-Hb)、酸素化ヘモグロビン(以下、Oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン(以下、Deoxy-Hb)の平均を100とし、その後の変化の割合(百分率)を求めた。統計処理は、安静時と各運動間、安静時と各休息間の2群間の差で検討し、t検定を用いた($p < 0.05$)。

結 果

各測定項目の変化率(%)を表1に示した。各運動間の平均回復時間は 134.4 ± 24.5 秒であった。

1. Oxy-Hb

安静時と比べて、運動中に増加し休息中には減少する傾向が見られたが、有意な変化は認められなかった。

2. Deoxy-Hb

安静時と比べて、運動1($94.2 \pm 6.9\%$)、運動2($94.3 \pm 8.2\%$)、運動3($95.2 \pm 6.6\%$)では、有意な減少が認められた。

3. Total-Hb

安静時と比べて、運動時、休息時いずれにおいても有意な変化は認められなかった。

考 察

DVTは1856年Virchowが提唱した3つの誘発因子が大きく影響している。その因子は①血流の停滞、②血管内皮障害、③血液凝固能の亢進である。DVT予防法には、薬物的予防法と理学的予防法があり、リスクに応じて両者を組み合わせて対応される場合もあるが、出血の危険性がある症例には理学的予防法が優先して用いられている⁴⁾。したがって、早期離床および積極的な運動を促す理学的予防法は、血流の停滞の予防・改善の面から考えても、大きな役割を占めると言える。太田ら⁵⁾は早期離床が困難な患者においては、静脈還流を促進するために、下肢の挙上や関節運動を自動的に実施することが効果的であると報告している。また、他動運動やマッサージにも高くはないが効果が認められるとも報告している。平井らは⁶⁾いくつかの理学的予防法について血流速度の指標を用いて検討しており、足関節の背屈運動、背底屈運動は有効であると述べている。しかしながら、各種理学的予防法の効果についての先行研

表1 運動前後における各測定値

| | Oxy-Hb | 安静時との比較 | Deoxy-Hb | 安静時との比較 | Total-Hb | 安静時との比較 |
|-----|-------------|---------|------------|---------|-------------|---------|
| 運動1 | 101.34±3.99 | n.s. | 94.20±6.86 | * | 98.71±2.62 | n.s. |
| 休息1 | 100.01±4.39 | n.s. | 98.96±6.29 | n.s. | 99.73±3.39 | n.s. |
| 運動2 | 101.56±4.34 | n.s. | 94.28±8.15 | * | 98.96±3.34 | n.s. |
| 休息2 | 100.36±4.25 | n.s. | 99.79±5.82 | n.s. | 100.35±3.29 | n.s. |
| 運動3 | 102.61±4.87 | n.s. | 95.18±6.59 | * | 99.98±3.07 | n.s. |
| 休息3 | 100.36±4.51 | n.s. | 97.61±5.79 | n.s. | 99.57±3.74 | n.s. |

n=11人

(安静時を100とした場合) (単位:%)

n.s.:not significant

*: $p < 0.05$ (Deoxy-Hbについて安静時と運動の間を比較したもの)

究はまだ少なく、実質的な方法は各施設、各担当理学療法士の経験をもとに行われているのが現状である。なお、本研究では、運動介入として底背屈運動を20回×3セットを条件とした。先行研究では1時間毎に5分間¹⁾、頻回に実施させる^{7,8)}、体位変換時に行う⁹⁾などが見受けられるが、運動の回数には定説がない。したがって、我々は、日常の臨床で使いやすい回数を本研究では条件とし適応した。

理学的予防法による効果として、血流量の増加と線溶能の活性化があげられる。後者は血管内皮表面でshear stressの変化によるものであり、血流速度によるところが大きいと報告されている¹⁰⁾。よって、DVT予防に対する効果を判定するにあたり、血流量および血流速度を評価することは意義のあることとされており¹¹⁾、本研究では血流量の変化に着目し、足関節底背屈運動が下肢血行動態に及ぼす影響について検討した。

本研究で行った足関節底背屈運動の介入後では、安静時と比べてOxy-Hbについては有意な変化は認められなかったが、運動中に増加し休息時には減少する傾向が見られた。これは、運動による酸素需要に伴う循環血流量の増加が、下肢筋への動脈血流入量に影響を与え、Oxy-Hbが増加したものと考えられる。

一方、Deoxy-Hbは安静時と比べて、運動1(94.2±6.9%)、運動2(94.3±8.2%)、運動3(95.2±6.6%)では、それぞれ有意な減少が認められた。Deoxy-Hbは動脈にほとんど存在せず、その経時変化は静脈の動態を反映するため、Deoxy-Hbの減少は静脈還流量の増加を示すという報告もある¹²⁾。従って、本研究の場合も、Deoxy-Hbが運動中に有意に減少した結果より、静脈還流量が増大したと考えられる。

Total-Hbは安静時と比べて、運動時、休息時いづれにおいても有意な変化は認められなかった。これ

は、運動によるOxy-Hbの増加(動脈血の増加)と、Deoxy-Hbの減少(静脈還流量の増加)が相殺し合う結果となり、Total-Hbの変化が起らなかったものとする。また、血流量の変化を示すとされているTotal-Hbが本研究では運動介入前後を比べても有意な変化が認められなかったのは、健常人の場合、20回×3セットでは運動負荷として少なく、血流量の変化まで及ばなかったものとする。動的運動中の筋血流量に関してSaltinらは、単位時間あたりの筋血流量は運動強度に比例して増加すると報告している¹³⁾。これについてKagayaら¹⁴⁾は、膝伸展運動では約10ℓ/分に達し、掌握運動のような小筋群では1ℓ/分以下であると報告している。また、運動を決めるもう一つの要因に運動のテンポがあるという報告もある。ヒトの下腿血流量は、低頻度では、頻度に比例して血流量は増加するが、高頻度(100回/分)になると、血流増加の起こる弛緩時間が短くなるのでむしろ血流量は減少すると報告されている¹⁵⁾。これらの先行研究を考えると筋収縮強度、運動のテンポ、筋の緊張と弛緩時間の比率など、様々な運動条件を組み合わせて用いることにより、運動によって血流量が変化してくるものとする。

下肢筋のポンプ作用は静脈還流を増加させ、血流のうっ滞を改善するだけでなく、様々な血管作動性物質を産生・活性化させ、抗凝固作用や線維素溶解作用を發揮すると報告されている¹⁶⁾。今回の結果から、足関節底背屈運動は血流のうっ滞の改善に効果があることは認められたが、適切な運動負荷量、頻度、運動の持続的な持ち越し効果などの検証は困難であった。したがって、今後も健常人での基礎的なデータを収集すると共に、臨床現場で、より効果的に運動療法の一環として取り入れることができるように、今後の課題として取り上げていきたいと考えている。

文 献

- 1) Flanc C, Kakkar VV and Clarke MB: Postoperative deep-vein thrombosis. Effect of intensive prophylaxis. *Lancet*, 1, 477-478, 1969.
- 2) 森尾比呂志: エコノミークラス症候群。呼吸と循環, 50(3), 291-296, 2002.
- 3) 中村真潮, 中野昶: 肺血栓塞栓症/深部静脈血栓症(静脈血栓塞栓症)の予防ガイドライン。外科治療, 91(3), 265-273, 2004.
- 4) 山田典一, 藤岡博文, 中野昶: 深部静脈血栓症・肺塞栓症の予防と治療。臨床科学, 32, 1531-1537, 1996.
- 5) 太田覚史, 山田典一, 辻明弘, 石倉健, 太田雅弘, 矢津卓宏, 中村真潮, 伊藤正明, 井阪直樹, 中野昶: 静脈血栓塞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, 15(2), 89-95, 2004.
- 6) 平井正文, 岩田博英, 温水吉仁, 城所仁, 早川直和, 錦見尚道: 深部静脈血栓症予防における運動, 弾性ストッキング, 間欠的空気圧迫法の臨床応用。静脈学, 15(1), 59-66, 2004.

- 7) 柏木宏, 遠藤則之, 古田一裕, 三好俊策, 加藤裕一, 原田龍一, 永井秀雄: 外科術後の肺塞栓症; 診断, 治療および予防と対策の現状. 血液・腫瘍科, **40**(6), 492-501, 2000.
- 8) 石井政次, 川路博之, 浜崎允, 井田英雄, 高木理彰, 小林真司, 山川正紀, 佐藤哲也, 新田長生: DVT 予防のための大腿静脈流速からみた血流改善の比較. Hip Joint, **27**, 557-559, 2001.
- 9) 原寛美: DVT の予防と治療. *Journal of Clinical Rehabilitation*, **10**, 775-780, 2001.
- 10) Chen AH, Fangos SG, Kilaru S and Sumpio BE: Intermittent pneumatic compression device-physiological mechanisms of action. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **21**, 383-392, 2001.
- 11) Lurie F, Awaya DJ, Kistner RL and Eklof B: Hemodynamic effect of intermittent pneumatic compression and the position of the body. *Journal of Vascular Surgery*, **37**(1), 137-142, 2003.
- 12) Hosoi Y, Yasuhara H, Shigematsu H, Komiyama T, Onozuka A and Muto T: Influence of popliteal vein thrombosis on subsequent ambulatory venous function measured by near-infrared spectroscopy. *The American Journal of Surgery*, **177**, 111-116, 1999.
- 13) Saltin B, Radegram G, Koskolou MD, and Roach C: Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, **162**, 421-426, 1998.
- 14) Kagaya A: Maximal exercise-induced vasodilatation and peak pulmonary oxygen uptake during dynamic forearm and calf exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **4**, 55-62, 1994.
- 15) Kagaya A: Reduced exercise hyperaemia in calf muscle working at high contraction frequency. *Journal of Applied Physiology*, **64**, 298-303, 1992.
- 16) 冷水陽子, 阿久根和恵, 浜田和美, 本坊まゆ子, 新福優子, 大瀬克広, 大脇哲洋, 吉中平次, 垣花泰之: 下肢深部静脈血栓症予防に対する間歇的下肢加圧装置の有用性. 手術医学, **22**(1), 28-31, 2001.

(平成20年5月31日受理)

The Influence of Planterflexion and Dorsiflexion Exercise of the Ankle Joint on the Changes in Blood Flow in the Gastrocnemius

Akiko MORI, Katsushi KUNIYASU, Daisuke FUJITA and Susumu WATANABE

(Accepted May 31, 2008)

Key words : ankle joint exercise, NIRS, blood flow

Abstract

A major challenge at the moment in the field of medical treatment and economy-class syndrome is to prevent deep vein thrombosis (DVT). Effective prevention is necessary because DVT may induce pulmonary embolism. We examined changes in blood flow in the gastrocnemius muscle to investigate the influence of exercise. Eleven healthy adult volunteers (20.8 ± 0.6 years old) participated in this study. They were asked to perform dorsiflexion and planterflexion exercise of the ankle joint reciprocally at a pace of once per second, 20 times \times 3 sets. The change in blood flow in the gastrocnemius muscle was measured using a laser tissue blood oxygenation monitor. Oxy-Hb increased during exercise and decreased during rest, but not significantly. The level of Deoxy-Hb increased significantly during rest compared with that during exercise. Total-Hb did not change significantly. These results suggest that the ankle exercise improved blood flow.

Correspondence to : Akiko MORI

Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science and
Technology, Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan

E-Mail: moakiko@mw.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.18, No.1, 2008 163–167)