

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

脳卒中後片麻痺患者における深部静脈血栓症に
対する各理学的予防法が麻痺側下肢静脈還流に
与える影響

平成 28 年度

保健医療学専攻・理学療法学分野・基礎理学療法学領域

学籍番号：14S3061 氏名：松岡 文三

研究指導教員：丸山 仁司 教授

副研究指導教員：黒澤 和生 教授

脳卒中後片麻痺患者における深部静脈血栓症に対する各理学的予防法が 麻痺側下肢静脈還流に与える影響

松岡 文三

要旨

[目的]脳卒中後片麻痺患者における深部静脈血栓症に対する各理学的予防法が麻痺側下肢静脈還流に与える影響について検討すること

[対象]下肢の麻痺が中等度から重度の男性 19 名 (60.2±10.9 歳) とした。

[方法]機械的な予防法である間欠的空気圧迫療法施行時ならびに弾性ストッキング装着時、そして、自動運動による予防法である背臥位ならびに車いす座位時における 30 回/分と 50 回/分での非麻痺側足関節運動時における、麻痺側大腿静脈の最大血流速度、平均血流速度、分時血流量はエコーを用いて、麻痺側下腿局所の血流量は近赤外線分光法を用いて測定した。

[結果]機械的な予防法は、間欠的空気圧迫療法施行時における大腿静脈の平均血流速度のみが有意に減少した。非麻痺側足関節自動運動によって、4 条件全てで麻痺側大腿静脈血流が有意に増加した。麻痺側下腿局所血流量はベースラインと比較をして有意な増加を認めなかった。

[結語]脳卒中後片麻痺患者に対して、非麻痺側の足関節自動運動が麻痺側の大腿静脈血流を増加させるのに有効であることが示唆された。

キーワード：深部静脈血栓症 大腿静脈血流 下腿静脈血流量

The influence of various physical prophylaxes on preventing deep venous thrombosis in the venous blood flow of the lower limb in hemiplegic patients after stroke

Bunzo MATSUOKA

ABSTRACT

【Purpose】 The purpose of the present study was to examine the changes in venous blood flow in the lower limb in hemiplegic patients after stroke following the use of various physical prophylaxes.

【Subjects】 The study enrolled 19 patients with chronic hemiplegia without deep venous thrombosis whose paralysis was moderate to severe.

【Methods】 To evaluate venous return, the maximum venous blood flow velocity on the paretic side(cm/sec), mean venous blood flow velocity(cm/sec), and blood flow volume(mL/min) assessed using duplex ultrasound and the concentrations of oxygenated hemoglobin, deoxygenated hemoglobin, and total hemoglobin in the calf on the paretic side assessed with near-infrared-spectroscopy were measured while the patient was undergoing intermittent pneumatic compression(IPC), wearing elastic stocking(ES), or engaging in active ankle exercise of the non-paretic side at supine and sitting position (30 times/min and 50 times/min).

【Results】 IPC showed a significant decrease in the mean blood flow compared to that at baseline. And all patterns of ankle exercise showed significant increases in the blood flow velocity and volume compared to those at baseline.

【Conclusion】 Venous blood flow and volume on the paretic side can be induced by active ankle exercise on the non-paretic side.

KEYWORDS: deep venous thrombosis, femoral venous blood flow, blood flow volume at the calf

目次

第 I 章 序論	1
1.1 深部静脈血栓症	2
1.2 DVT の発生状況	3
1.3 静脈系の循環	4
1.4 脳卒中後片麻痺患者における DVT の理学的予防法	5
1.5 本研究の目的	6
1.6 倫理上の配慮	6
第 II 章 研究 1.脳卒中後片麻痺患者における間欠的空気圧迫療法や弾性ストッキング装着は麻痺側下肢静脈環流を増加させるか	7
2.1 緒言	8
2.2 対象と方法	8
2.3 結果	15
2.4 考察	18
2.5 結語	19
第 III 章 研究 2.脳卒中後片麻痺患者における非麻痺側下肢の足関節自動運動が麻痺側下肢静脈環流に与える影響	20
3.1 緒言	21
3.2 対象と方法	22
3.3 結果	26
3.4 考察	32
3.5 結語	34
第 IV 章 結論	35
謝辞	37
引用文献	38

第 I 章 序論

1.1 深部静脈血栓症

深部静脈血栓症（deep venous thrombosis: DVT）とは、主に骨盤内から下肢の深部静脈に何らかの原因で血栓を形成したものをいう。血栓形成の原因としては、Virchowの3兆候（血流うっ滞、血管内皮障害、凝固能亢進）が提唱されている¹⁾。静脈内に発生した血栓は静脈を閉塞し二次的に血栓性静脈炎を生じる。同様の病態は、震災時の避難生活においても発症が増加することが知られていて、遠藤ら²⁾は、東日本大震災後、仮設住宅団地の住民に対して、3年間におけるDVT陽性率の推移を調査したところ、2011年が9.8%、2012年が9.4%、2013年が14.6%と上昇傾向であったことを報告している。もし、DVTが肺動脈に遊離すると前駆症状を伴わずに発症する致死性肺血栓塞栓症となることがある。致死性肺血栓塞栓症は、機械的な閉塞と神経液性因子によって血管痙攣や気管支痙攣を生じ、低酸素血症や肺高血圧症を急激に來し、右心室から肺動脈へ流れる血流量の低下に伴い、右心圧の上昇が心室中隔を圧排し左心室の拡張を障害することも重なり心拍出量が急激に低下することで、死に至ることもある非常に留意すべき疾患である³⁾。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⁴⁾によると、DVTを発症する原因には、脱水、感染、旅行、長期臥床、一般外科手術などによる血流うっ滞が挙げられる。また、発症リスクの決定に際しては、肥満、高齢、麻痺等の付加的な危険因子も考慮する必要があるとされている（表 1-1）。

表 1-1 DVTの危険因子とその強度
（文献 4. より引用改変）

危険因子の強度	危険因子
弱	肥満 エストロゲン治療 下肢静脈瘤
中	高齢 長期臥床 うっ血性心不全 呼吸不全 悪性疾患 中心静脈カテーテル留置 がん化学療法 重症感染症
強	静脈血栓症の既往 血栓性素因 下肢麻痺 下肢ギブス包帯固定

1.2 DVT の発症状況

DVT の診断数は経年的に増加してきており、2011 年の調査では 10 万人あたり 12.6 名であり、診断された約半数で血行動態が安定した下腿に血栓が限局した DVT であり、背景に高リスク症例におけるスクリーニング検査が一般化してきたことが考えられる⁵⁾。DVT の発生頻度について、整形外科領域における人工股関節全置換術後の DVT 発症頻度は 25.6～46.8% であり、人工膝関節全置換術後に関しては、58.1～71.4% に及ぶ (表 1-2)。一般外科術後に関しても、開腹術後に 16.4～18.9% の報告がある (表 1-2)。クリティカルケア領域においては、心筋梗塞後の DVT 発症頻度は 29.4%、熱傷後は 0.8% であったと報告されている (表 1-3)⁶⁾。

表 1-2 整形外科・一般外科術後における DVT 発症率
(文献 6. より引用改変)

報告者 (発表年)	術式 : DVT 発症率
荻野ら ⁷⁾ (2000)	THR : 46.8 (15/32) TKR : 71.4 (10/14)
Piovella ⁸⁾ ら(2005)	THR:25.6(31/121) TKR:58.1(61/105)
施ら ⁹⁾ (2006)	THR : 34.9 (60/172) TKR : 64.1 (59/92)
熊田ら ¹⁰⁾ (1979)	開腹術 : 18.9 (7/37)
稲田ら ¹¹⁾ (1982)	開腹術 : 16.4 (42/256)

THR: total hip replacement. 人工股関節全置換術
TKR: total knee replacement. 人工膝関節全置換術
DVT 発症率・・・% (発症数/手術数)

表 1-3 クリティカルケア領域における DVT 発症率
(文献 6. より引用改変)

報告者 (発表年)	疾患名 : DVT 発症率
Marks ら ¹²⁾ (1974)	心筋梗塞 : 29.4 (30/102)
Harrington ら ¹³⁾ (2001)	熱傷 : 0.8 (10/1,300)

DVT 発症率・・・% (発症数/症例)

1.3 静脈系の循環

1) 静脈還流量

静脈還流量は大静脈から右心房に流入する血液量である。これは左心室から大動脈へ拍出される心拍出量に等しい。血液は循環系平均充満圧 (mean circulatory filling pressure: MFP) と中心静脈圧 (右房圧) の圧差で駆動されて還流する。中心静脈圧は右心房から約 5cm 以内の上, 下大静脈領域の静脈圧である。MFP は心臓が停止し, 全循環系の内圧が平均したと想定したときの血管内圧であり, 全循環系の充満度を反映する。右房圧と静脈還流量の関係は静脈還流曲線で示される (図 1-1)。曲線では, 右房圧が -2mmHg 以下ではプラトーでほぼ一定である。右房圧が上昇するにつれてほぼ一定の勾配で次第に減少し, 右房圧が MFP と一致すると静脈還流量は 0 となる。循環血液量が増大すると MFP が増大するので, 静脈還流量が増大する。中心静脈圧は経皮的に中心静脈カテーテルで測定される。正常値は $1\sim 5\text{mmHg}$ である。静脈還流量は筋ポンプ, 呼吸, 心拍動の影響も受ける¹⁴⁾。

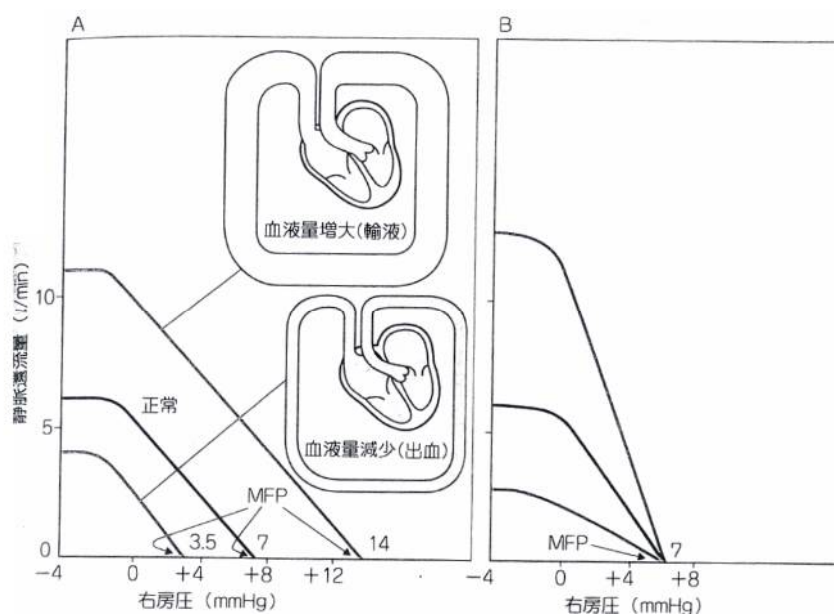


図 1-1 静脈還流曲線の変化

(文献 14. より引用)

2) 静脈還流量と心拍出量の平衡

静脈還流曲線は循環系の機能をあらわすので循環機能曲線とも呼ばれる。循環血液量は一定であるから, 平衡状態では静脈還流量と心拍出量は一致する。心臓全体のポンプ機能は, 心拍出量の右房圧との関係, すなわち心機能曲線 (心拍出曲線) で示される。静脈還流曲線と心機能曲線の交点で静脈還流量と心拍出量は平衡する。正常安静時の平衡点は 5l/分, 右房圧は 1.5mmHg に近い (図 1-2A 点)。交感神経刺激時には心機能曲線は上方に偏位して, より大きな心拍出量で右房圧が低下した B 点で平衡する。輸液で血液量が増すと, MFP が増大して心拍出量が増えるが, このとき交点 C では右房圧も増大している。

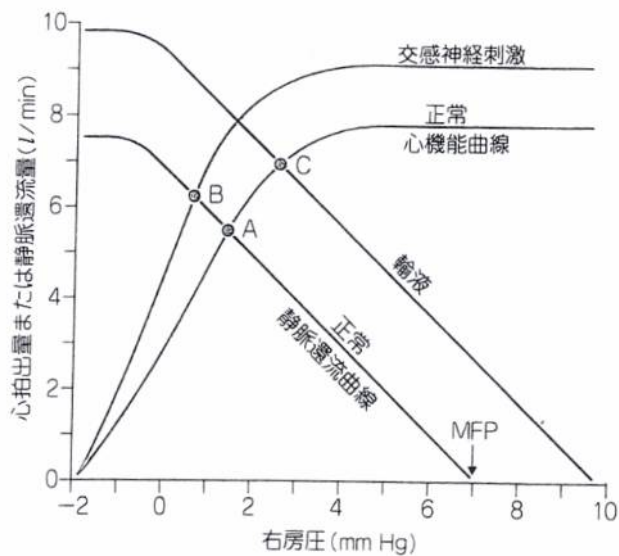


図 1-2 静脈還流曲線と心機能曲線の平衡点
(文献 14. より引用)

3) 呼吸や体位の影響

胸腔内陰圧は呼吸運動の吸息時に増し (-8cmH₂O), 呼息時に減る (-5cmH₂O) .

よって吸息では胸腔内の血管は伸展されて抵抗が減少し, 静脈環流量が増大する. このとき心拍出量は, 右室拍出量については静脈環流量が増し, 肺の血管抵抗が減るので増大し, 一方, 左室拍出量は肺循環系に血液が貯留されて還流量が減少する. 呼息時の変化は逆になる.

血圧には心臓の高さの差に比例する静水圧が加わる. 横臥位では血管の部位による静水圧の差は小さいが, 立位では大きい. 静脈系では右房圧は立位でも 0 に近い. 立位では心房からの高さの差に比例して静水圧が加わる.

4) 筋ポンプ

静脈周囲の骨格筋が収縮すると静脈は圧排され, 静脈弁が逆流を阻止するので血液は心臓の方向へ流れる. すなわち, 筋ポンプとして働き, 正常の血流維持を助ける. この効果は立位の下肢の筋に対し特に著しい. 静止した起立状態の大きな静脈圧は, 歩行により 20mmHg となる.

1.4 脳卒中後片麻痺患者における DVT の理学的予防法

脳卒中後片麻痺患者は, 合併症として下肢の DVT を来しやすい. 脳卒中後片麻痺患者におけるその発症頻度は, 11.2~28.9%であるとされており¹⁵⁻¹⁷⁾, DVT は極めて留意すべき合併症である. DVT は, 血栓が肺動脈に遊離して, 前駆症状を伴わずに突然ショック症状で発症する致死性肺血栓塞栓症となり, 死に至る場合もある. 現在, DVT の誘発因子として

Virchow の 3 兆候（血流うっ滞，血管内皮障害，凝固能亢進）が提唱されており¹，これらの予防策として，早期よりリハビリテーションを開始して，薬物療法や下肢自動運動を行う方法の他に，機械的な理学的予防法として間欠的空気圧迫療法（intermittent pneumatic compression: IPC）や弾性ストッキング（elastic stocking: ES）を用いる方法がある．しかし，2015 年度脳卒中治療ガイドライン¹⁸)によると，IPC は DVT の予防に勧められるとされているが，ES の DVT 予防効果は科学的根拠がないので，勧められないとされている．IPC について，CLOTS III による大規模臨床試験の結果，IPC は DVT リスクを減らすための有効な方法であると報告¹⁹)している．ES については，国内において，緒方ら²) は DVT 予防効果がなかったと報告しており，海外においても，CLOTS I による大規模臨床試験の結果，DVT 予防の効果はみられなかったという報告²⁰)がされている．

1.5 本研究の目的

著者らは，1.1, 1.2 で記した DVT のリスク背景のもと，1.3 で記した静脈系における循環の観点から，脳卒中後片麻痺患者に対して実施する各理学的予防法が麻痺側下肢静脈還流に与える影響を検討していくことを目的とした．

1.6 倫理上の配慮

本研究遂行にあたり，著者が勤務している星城大学研究倫理委員会から承諾を得た（承認番号：2014C0001, 2016C0002）．また，研究協力施設である岐阜県岐阜市に所在がある岐阜中央病院ならびに愛知県春日井市に所在がある東海記念病院での倫理委員会で承認手続きを行った．そして，著者が所属している国際医療福祉大学より内諾を受けて実施をした．

なお，本研究遂行にあたり，万が一に生じうるリスクとその対処法を列挙した．

- 1) 測定中に体調不良を起こした場合は，すぐに測定を中止して，同院医師の診察を迅速に受けることとする．
- 2) 姿勢変換時の転倒を防止するために必ず験者が介助を行う．
- 3) エコーのプローブを当てる場所が大腿静脈の近位部であり鼠径部に近いことを同意文書に明記して，あらかじめ理解を頂く．

第 II 章 研究 1. 脳卒中後片麻痺患者における間欠的空気圧迫療法
や弾性ストッキング装着は麻痺側下肢静脈環流を増加させるか

2.1 緒言

機械的予防法実施時における静脈血流の変化について、間欠的空気圧迫療法 (intermittent pneumatic compression: IPC) 施行時に、加圧と休止から成る1サイクルの大腿静脈血流速の経時的变化を調べたところ、開始5秒で有意な上昇を認めたという報告²¹⁾がある。一方、初期設定における1分間あたりのサイクル数の違いが静脈血流量に変化をもたらしたとの報告²²⁾や、IPCの全サイクルを通して血流速度に変化が認められなかったとする報告²³⁾もある。また、弾性ストッキング (elastic stocking: ES) 装着については、出産後の女性に対して坐位での大腿静脈の血流速度を有意に増大させたという報告²⁴⁾や、健常者に対しても坐位での膝窩静脈の平均血流速度や血流量を増大させたという報告²⁵⁾がある。一方、健常者に対して坐位での膝窩静脈の血流速度の増大を認めなかったという報告²⁶⁾もあり、議論が分かれている。いずれにおいても、脳卒中後片麻痺患者に対してIPC施行時またはES装着下において、実際の血流評価を行った報告は渉猟したところみられなかった。そこで、著者等は脳卒中後片麻痺患者に対してIPCまたはESによる機械的予防法が、麻痺側下肢静脈環流を増加させるか否かを明らかにするために、エコーおよび近赤外線分光法 (near-infrared-spectroscopy: NIRS) を用いて検証することを目的とした。

2.2 対象と方法

1) 対象

対象は、回復期リハビリテーション病棟に入院中かデイケアを利用中の慢性期脳卒中後片麻痺患者の男性17名とした。脳卒中は初発で下肢の麻痺が中等度から重度 (Brunnstrom-stageがIV以下) の患者を選択してデータ収集を行った。年齢の平均±標準偏差は60.8±10.6歳、肥満指数 (body mass index: BMI) の平均±標準偏差は26.2±4.8kg/m²、発症からの期間の中央値 (範囲) は12.1カ月 (2.3~192.0カ月) とした。対象は、内、右片麻痺が11名、下肢におけるBrunnstrom stageのIが1名、IIが3名、IIIが7名、IVが6名で、脳梗塞が5名、脳出血が12名であった。また、日常生活活動は全員がT字杖もしくは四脚杖を使用して屋内歩行が介助レベル以上であり、運動FIMスコアの平均±標準偏差は72.1±16.5点であった。なお、エコーを用いた方法ではIPC施行時に測定エラーのため16名の結果提示となり、ES装着による方法では対象の身体に合ったESを準備することが出来なかったため11名の結果提示となった。また、NIRSを用いた方法では、上記の理由の他、NIRS機器の不具合のために、IPC施行は11名、ES装着は9名のデータ提示となった。なお、対象者の基本属性 (各研究課題に対する対象の内訳を含む) を表2-1に示した。

除外基準としては、合併症として意識障害や高次脳機能障害、重度の膝関節・股関節の拘縮を有している者、ならびに重症心不全等や皮膚潰瘍等のIPC施行とES装着の一般的な禁忌疾患を有している場合とした。測定前には、必ず対象の両下肢に治療が必要な陳旧性でない深部静脈血栓症（**deep venous thrombosis: DVT**）を有していないかについて、エコーを用いて評価を行い、DVTを有していた場合は対象から除外した。なお、対象については、本研究についての方法と目的を十分に説明して口頭と文書にて同意を得た。

表 2-1 対象者の基本属性

サンプル数	No.	被験者	エコーによる測定		NIRSによる測定		性別	年齢	診断名	麻痺側	発症後月数 (カ月)	身長	体重	BMI	下肢BRS	A D L	杖の使用	運動FIM
			IPC	ES	IPC	ES												
1	2	H.K.	○				男性	68	脳梗塞	左	4.5	169.0	60.0	23.4	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	82
2	3	T.K. (1)	○				男性	67	脳梗塞	右	12.1	160.0	55.0	21.5	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	81
3	4	H.Y.	○		○		男性	78	脳梗塞	左	5.5	165.0	57.4	22.4	Ⅲ	屋内歩行介助	T字杖	53
4	5	K.H.	○		○		男性	63	脳出血	右	6.0	174.0	79.0	30.9	Ⅲ	屋内歩行介助	T字杖	44
5	7	T.A.	○		○		男性	70	脳出血	右	192.0	160.0	65.0	25.4	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	73
6	8	T.K. (2)	○	○			男性	52	脳出血	右	4.7	169.0	103.0	40.2	Ⅱ	屋内歩行監視	四脚杖	51
7	9	R.N.	○	○	○		男性	51	脳出血	右	2.3	160.0	48.0	18.8	Ⅳ	屋外歩行自立	四脚杖	75
8	10	H.N.	○	○	○	○	男性	76	脳出血	左	84.0	162.0	63.0	24.6	Ⅳ	屋外歩行自立	T字杖	83
9	11	M.M.	○	○	○	○	男性	53	脳梗塞	左	65.0	169.0	78.0	30.5	Ⅳ	屋内歩行自立	T字杖	79
10	12	I.U.	○	○	○	○	男性	63	脳梗塞	左	107.0	169.9	64.0	25.0	Ⅲ	屋外歩行自立	T字杖	84
11	13	M.N.	○	○		○	男性	68	脳出血	右	41.0	170.0	68.0	26.6	Ⅳ	屋内歩行自立	T字杖	49
12	14	H.T.				○	男性	47	脳出血	左	5.5	165.0	66.0	25.8	Ⅳ	屋内歩行監視	T字杖	61
13	15	T.S.	○	○			男性	41	脳出血	右	26.0	174.0	75.0	29.3	Ⅳ	屋外歩行自立	T字杖	91
14	16	K.T. (1)	○	○	○	○	男性	65	脳出血	右	173.0	168.0	63.0	24.6	Ⅱ	屋外歩行自立	T字杖	96
15	17	T.A.	○	○	○	○	男性	58	脳出血	右	3.0	168.0	61.3	23.9	Ⅱ	屋内歩行介助	四脚杖	53
16	18	T.O.	○	○	○	○	男性	48	脳出血	右	6.5	180.0	61.1	23.9	Ⅰ	屋内歩行自立	四脚杖	85
17	19	K.T. (2)	○	○	○	○	男性	66	脳出血	右	51.5	177.0	72.0	28.1	Ⅲ	屋外歩行自立	T字杖	85

IPC: Intermittent pneumatic compression, ES: Elastic Stocking, NIRS: Near-Infrared-Spectroscopy, BMI: Body Mass Index, BRS: Brunnstrom Recovery Stage, ADL: Activities of daily living, FIM: Functional Independence Measure

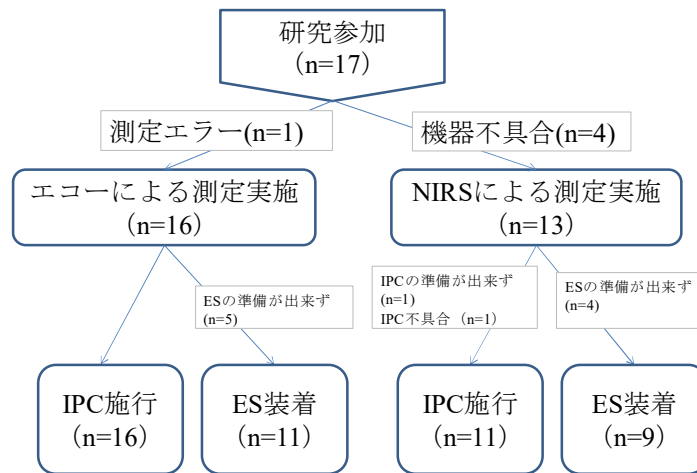


図2-1 対象における研究参加内訳のフローチャート

2) 方法

測定機器は、超音波診断装置 Xario（東芝メディカルシステムズ社製：図 2-2）と 3 波長 2 受光 2 演算レーザー組織血液酸素モニター（BOM-L1TRW：オメガウェーブ社製；図 2-3）とした。



図 2-2 超音波診断装置



図 2-3 レーザー組織血液酸素モニター

NIRS による下腿局所筋血流評価の妥当性について、佐々木ら²⁷⁾は、健常男性 19 肢の下腿に対して、NIRS の原理を用いて開発されたバイオメディカルサイエンス社製 PSA-III N で得られた venous occlusion 施行時の血流量と、四肢血流量の無侵襲的測定法であるストレンゲージ容積脈波計（RSG）法で得られた血流量の値を比較したところ、NIRS によって得られた血流量と RSG によって得られた血流量について、高い相関があり、NIRS が血流量測定に利用可能であることを報告している。測定項目は、エコーより得られる麻痺側大腿静

脈における最大血流速度 (V_{max} , cm/sec.), 平均血流速度 (V_{m-mean} , cm/sec.), ならびに分時静脈血流量 (blood flow volume: BFV, ml/min.) とした. なお, BFV は V_{m-mean} (cm/sec.) \times 静脈断面積 (cm^2) \times 60 (sec.) より算出した. また, NIRS より得られる麻痺側下腿局所における酸素化ヘモグロビン量 (OxyHb, 個/ mm^3), 脱酸素化ヘモグロビン量 (DeoxyHb, 個/ mm^3), 全ヘモグロビン量 (TotalHb, 個/ mm^3) とした. 測定手順について, まず対象はベッド上で背臥位をとり両下肢に治療が必要な DVT が無いことをカルテ上もしくは B モードエコーにて評価をした. NIRS の送受光プローブは DVT が最も発生しやすい麻痺側のヒラメ静脈が走行しているヒラメ筋の筋腹中央がターゲットとなるように設置した (図 2-4). その際, プローブは外からの光が入らないように専用のゴム製のホルダーとゲルシートから成る固定装置にて覆い, 深さ 3cm となるように調整した. 次に, IPC (Flowtron TM Excel, ショートカフ使用; 村中医療器社製, 図 2-5) は麻痺側下腿部に取り付けた (図 2-6). 初期設定は 40mmHg として, 12 秒間で加圧して 48 秒間で休止として, 片脚ずつ交互に施行ができるように設定した.

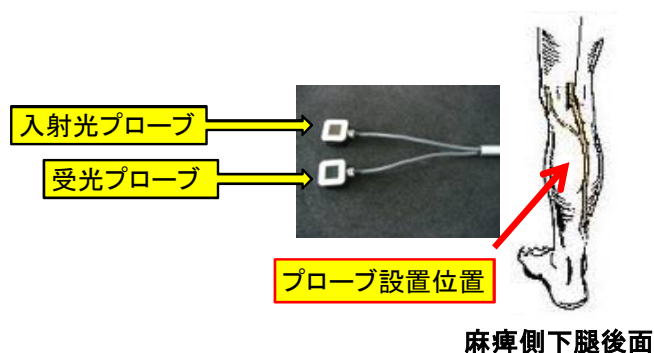


図 2-4 NIRS プローブ設置位置



図 2-5 IPC 機器



図 2-6 IPC 設置

そして、対象に疲労がみられないことならびにエコーパルスドップラー画面上で測定部位である大腿静脈の血流が安定していることを確認後、各測定前にベースラインを決定した。エコープローブは大腿静脈と大伏在静脈合流部近位にあて、Bモードエコーにて血管直径 (cm) を測定した (図 2-7, 図 2-8)。次に、同一部位においてエコーパルスドップラー法 (図 2-9) により、20 秒間を 2 回の計 40 秒の波形から、同部位における V_{max} , V_{m-mean} , BFV を測定した。この時、入射角は 60° 未満として、血管のサンプルボリュームは血管径の 3 分の 2 とした。なお、エコーの測定にあたっては、全例、同一験者 (A.M.) が行った。

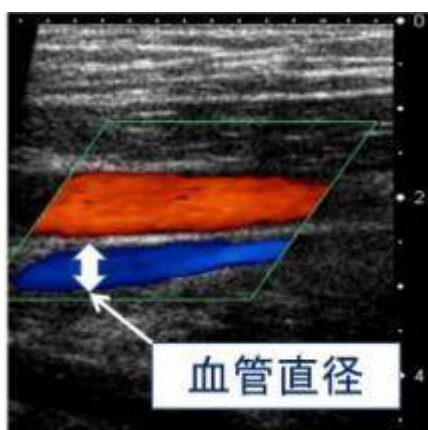


図 2-7 血管直径の測定

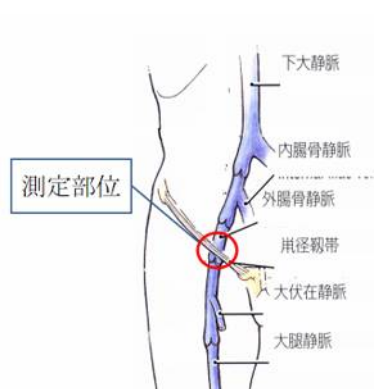


図 2-8 エコープローブ測定部位

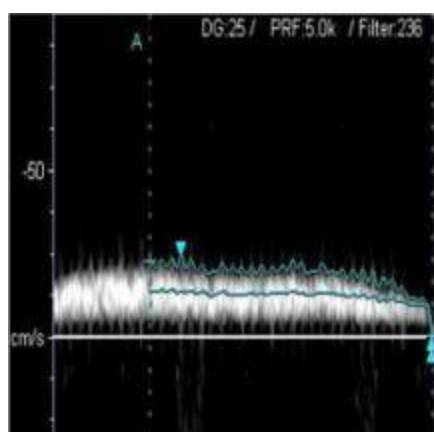


図 2-9 パルスドップラー法

NIRS による麻痺側下腿部局所血流量は、 $OxyHb$, $DeoxyHb$, $TotalHb$ の 1 分間のデータを抽出した。IPC を開始後、エコーは 1 サイクルもしくは 2 サイクルを施行中における、加圧開始のタイミングから測定を開始した。NIRS から得られたデータは IPC 施行終了から遡り 1 分間のものを抽出した。

IPCのショートカフを取り外した後に、再度ベースラインを決定後に、エコープローブは当てたまま、ES（T.E.D.サージカルストッキング、大腿丈タイプ：COVIDIEN社製）をニルスプローブを覆うように両側下肢に装着した（図2-10）。ESによる圧力は、Sigelら²⁸⁾による実験的研究結果に基づき、足関節で18 mmHg、下腿中央部で14 mmHg、膝窩部で8 mmHg、大腿遠位部で10 mmHg、大腿近位部で8 mmHgと遠位より段階的になっている。サイズは対象の最大下腿周径（3段階）と下肢長（3段階）に合わせて9種類の中から選択した。測定はIPCの測定と同様に装着後直に行った。また、IPC施行ならびにES装着の測定手順を図2-11に示した。



図 2-10 ES（弾性ストッキング）装着

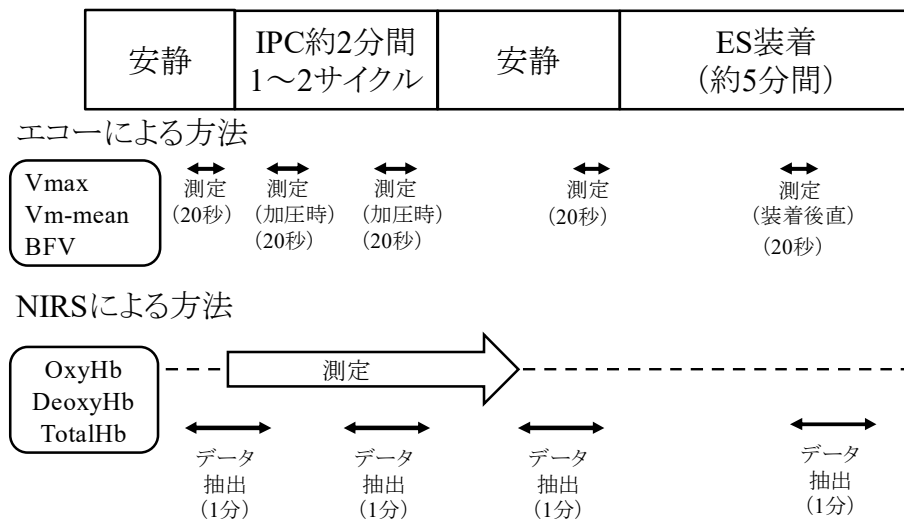


図 2-11 IPC 施行ならびに ES 装着の測定手順

なお、本研究において、ベースラインと比較した時の OxyHb の変化を麻痺側下腿局所動脈血流量の指標、DeoxyHb の変化を麻痺側下腿局所静脈血流量の指標、OxyHb と DeoxyHb の和から得られる TotalHb を下腿局所全血流量の指標とした。統計処理においては、Vmax, Vm-mean, BFV の変化、また OxyHb, DeoxyHb, TotalHb の変化についてベースラインと比較をして、実測値ならびに相対率で表した。なお、ベースラインと実施時の比較については、Shapiro-Wilk 検定にて正規性が認められる場合は対応のある t 検定を、正規性が認められなければ Wilcoxon 符号付順位和検定を用いて検討した。なお、解析にあたっては、統計用解析ソフトウェア SPSS Ver.17 を用い、危険率は 5%とした。

2.3 結果

Shapiro-Wilk 検定を行った結果、ES 装着時における Vmax でのみ正規性を認めなかった (P=0.024)。

各予防法施行時における Vmax, Vm-mean, および BFV のベースラインとの比較を表 2-2 に示した。IPC 施行時の Vm-mean でのみ有意な減少を示したが、他は有意な変化がみられなかった。Vmax は、IPC で平均 11.8±4.7cm/sec.から 12.4±4.3cm/sec.と 11.1±35.0%の増加、ES においては 11.7±4.4cm/sec.から 10.6±4.5cm/sec.と 8.2±21.1%の減少がみられたが有意差は認めなかった (図 2-12)。Vm-mean では、IPC で 5.2±2.9cm/sec.から 4.7±2.7cm/sec.と 9.1±15.2%の有意な減少がみられたが、ES においては 5.1±2.5cm/sec.から 5.5±2.7cm/sec.と 14.7±59.2%の増加がみられたが有意差は認めなかった (図 2-13)。BFV では、IPC で 46.7±25.4cm/sec.から 45.1±26.6cm/sec.と 3.5±19.0%の減少、ES においては 69.7±42.9 cm/sec.から 76.9±47.9cm/sec.と 20.2±53.4%の増加がみられたが有意差は認めなかった (図 2-14)。

表 2-2 各予防法施行時における血流速度ならびに血流量の比較

	IPC(n=16)			ES(n=11)		
	base line	施行中	相対率	base line	装着後	相対率
Vmax (cm/sec)	11.8±4.7	12.4±4.3	111.1±35.0	11.7±4.4	10.6±4.5	91.8±21.1
Vm-mean (cm/sec)	5.2±2.9	4.7±2.7	90.9±15.2 *	5.1±2.5	5.5±2.7	114.7±59.2
BFV (ml/min)	46.7±25.4	45.1±26.6	96.5±19.0	69.7±42.9	76.9±47.9	120.2±53.4

IPC: intermittent pneumatic compression, ES: elastic stocking, Vmax: 最大血流速度, Vm-mean: 平均血流速度, BFV: blood flow volume; 血流量, *p<0.05

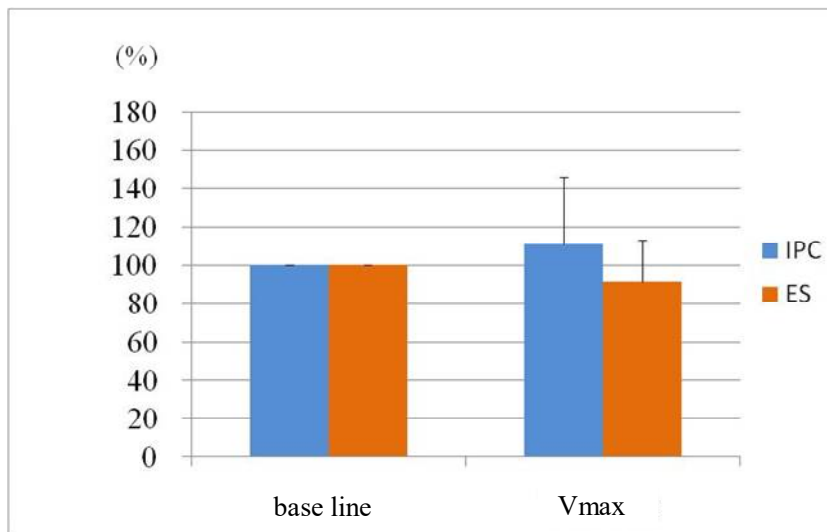


図 2-12 IPC 施行ならびに ES 装着時における Vmax の変化
(IPC: n=16, ES: n=11)

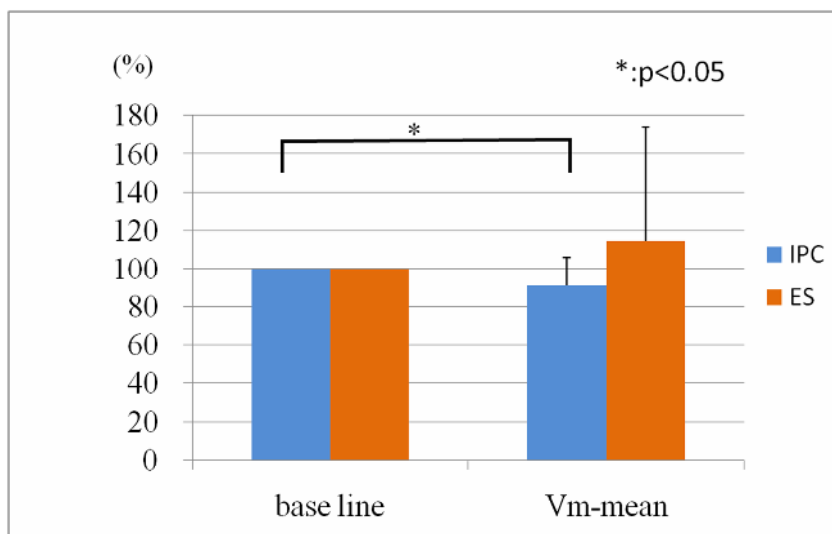


図 2-13 IPC 施行ならびに ES 装着時における Vm-mean の変化
(IPC: n=16, ES: n=11)

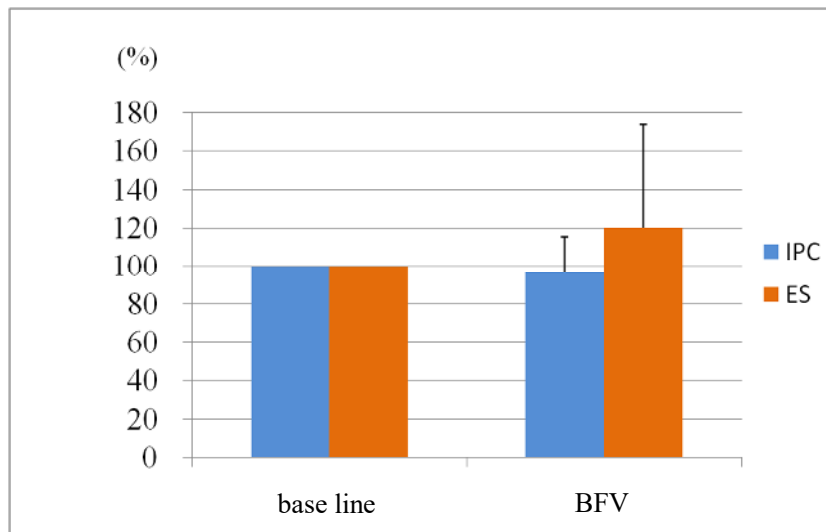


図 2-14 IPC 施行ならびに ES 装着時における BFV の変化
(IPC: n=16, ES: n=11)

次に、各予防法施行時における下腿局所血流量のベースラインとの比較を表 2-3 に示す。OxyHb, DeoxyHb, TotalHb の全てがベースラインと比較をして有意な変化を認めなかった。IPC 施行時は、OxyHb で平均 11.2 ± 1.9 個/mm³ から 11.3 ± 1.8 個/mm³ と $0.5 \pm 1.4\%$ の増加、DeoxyHb では 8.0 ± 2.6 個/mm³ から 7.9 ± 2.5 個/mm³ と $0.9 \pm 3.0\%$ の減少、TotalHb では、 19.3 ± 3.9 個/mm³ から 19.3 ± 4.0 個/mm³ と $0.1 \pm 0.8\%$ の減少がみられたが有意差は認めなかった。また、ES 装着時においても、OxyHb で平均 11.2 ± 2.1 個/mm³ から 11.3 ± 1.9 個/mm³ と $1.2 \pm 5.4\%$ の増加、DeoxyHb では 7.6 ± 2.0 個/mm³ から 7.8 ± 1.9 個/mm³ と $2.3 \pm 5.2\%$ の増加、TotalHb では 18.9 ± 3.6 個/mm³ から 19.1 ± 3.3 個/mm³ と $1.6 \pm 4.5\%$ の増加がみられたが有意差は認めなかった。

表 2-3 各予防法施行時における下腿局所血流量の変化

	IPC(n=11)			ES(n=9)		
	base line	IPC施行中	相対率	base line	装着後	相対率
OxyHb(個/mm ³)	11.2 ± 1.9	11.3 ± 1.8	100.5 ± 1.4	11.2 ± 2.1	11.3 ± 1.9	101.2 ± 5.4
DeOxyHb(個/mm ³)	8.0 ± 2.6	7.9 ± 2.5	99.1 ± 3.0	7.6 ± 2.0	7.8 ± 1.9	102.3 ± 5.2
TotalHb(個/mm ³)	19.3 ± 3.9	19.3 ± 4.0	99.9 ± 0.8	18.9 ± 3.6	19.1 ± 3.3	101.6 ± 4.5

IPC: intermittent pneumatic compression, OxyHb: 酸素化ヘモグロビン, DeoxyHb: 脱酸素化ヘモグロビン, TotalHb: 全ヘモグロビン, P<0.05

2.4 考察

脳卒中後片麻痺患者は、DVT を合併しやすい。その予防法とされている IPC 施行時および ES 装着時における下肢静脈環流の変化について、エコーと NIRS を用いてベースラインと比較をした。その結果、IPC 施行において、Vm-mean でのみ有意な減少を認め、仮説とは反対の結果となった。先行研究で、徳田ら²⁹⁾は健常な男女 17 名を対象として、IPC 施行時の膝窩静脈血流速度の経時的変化を調査したところ、静脈収縮期最高血流速度が安静時 $8.6 \pm 2.2 \text{ cm/sec}$ から開始 1 分で $24.0 \pm 12.1 \text{ cm/sec}$ と有意な増加を認めたと報告している。また、太田ら³⁰⁾は健常男性 10 名を対象として、下腿型間欠的空気圧迫法施行時の最大血流速度ならびに血流量の相対率を計測したところ、膝窩静脈での最大血流速度が $388 \pm 269\%$ 、血流量は $536 \pm 557\%$ と有意に増加して、総大腿静脈での最大血流速度は $135 \pm 89\%$ 、血流量は $122 \pm 128\%$ と有意な増加がみられたと報告している。本研究では最大血流速度である Vmax で有意な変化を認めず、平均血流速度である Vm-mean でむしろ有意な減少を示した。この結果は、IPC により軽度の静脈血流が駆出された後はむしろ下腿筋内の静脈血貯留の低下に伴い、Vm-mean も低下したことが考えられた。また、NIRS 装着では、OxyHb, DeoxyHb, TotalHb でベースラインと比較をしてほとんど変化がみられなかった。DeoxyHb の変化に関して、Hosoi ら³¹⁾は、下腿 DeoxyHb は静脈血にしかほとんど存在しないため、その有意な増加は、静脈血流量の増加を示すとしている。我々の結果では、DeoxyHb の有意な減少がみられなかったことから、IPC 施行中に下腿の静脈血流量がほとんど変化しなかったと考えられる。本研究では大腿静脈の血流測定のみであったため膝窩静脈の血流は不明だが、大腿静脈よりも血流の変化が大きいことが推測される。本研究では、IPC のスリーブは下腿カフ型のタイプを選択して圧迫圧の設定は 40 mmHg と統一したものの、先行研究と比較して対象にかかる圧負荷が弱かった事が考えられる。他に、対象によって下肢長や下腿周径が異なったために、加わる圧が異なったこともあり得る。また、現在 IPC の設定基準は統一されておらず、各メーカーによってスリーブの装着部位は、大腿部、下腿部、足底部の場合と異なり、圧迫圧、圧迫感覚、圧迫回数も装置に依存するため、結果が異なった可能性が示唆された^{32,33)}。

ES 装着条件において、大腿静脈の Vmax, Vm-mean, BFV, ならびに下腿局所における OxyHb, DeoxyHb, TotalHb のいずれにおいても、ベースラインと比較してほとんど変化がみられなかった。しかしながら、IPC と異なる点は有意差はみられなかったものの、ベースラインと比較をして Vmax は減少、Vm-mean は増加する傾向がみられたことである。加えて、体型に合った ES を選択したにもかかわらず Vm-mean は個人差が大きかった。CLOTS I による大規模臨床研究において、脳卒中後片麻痺患者における ES の着用は DVT の発生頻度を低下させる効果が無く、皮膚の損傷、潰瘍、水泡、壊死を引き起こすことから、むしろ弊害もたらされることが報告²⁰⁾されている。本研究の限界として、ベースラインが、エコーパルスドップラー画面上で、測定部位である大腿静脈血流が安定していることを視覚的に確認はしたものの客観的な数値までは出来なかったために、生理学的に安静に戻っ

ていないまま決定されたことが挙げられる。また、ES 装着時の対象が少なく、IPC 施行時との統計的な比較が困難であったことが挙げられる。他に、大腿静脈のみの血流評価となり、それより遠位の膝窩静脈の血流について、評価をすることができなかったことも挙げられる。以上より、得られた結果は、これらの問題点を考慮しても、脳卒中後片麻痺患者の IPC または ES を用いる方法は大腿静脈に大きな血流変化を与える効果はないことを示唆している。

2.5 結語

IPC 施行と ES 装着とも静脈還流の大きな変化を示さなかったことより、機械的予防法には限界があることが示唆された。

第 III 章 研究 2. 脳卒中後片麻痺患者における非麻痺側下肢の
足関節自動運動が麻痺側下肢静脈環流に与える影響

3.1 緒言

本章では非麻痺側下肢運動が麻痺側下肢静脈環流に与える影響について検討した。

現在、深部静脈血栓症（deep venous thrombosis: DVT）予防のための運動プログラムとして、足関節の自動運動が推奨されている^{4, 34, 35}。また、足関節の自動運動は同側下肢の静脈血流や静脈血流量を増加させることが報告されている^{36, 37}。太田ら³⁰は健常男性 10 名に対して背臥位での足関節の最大背屈、他に最大底屈の自動運動を行った際、総大腿静脈の最大血流速度が安静時と比較をして最大背屈で 289±165%の有意な増加、最大底屈で 198±171%の有意な増加がみられ、血流量は最大背屈で有意な 147±132%の増加、最大底屈で 95±108%の有意な減少がみられたと報告している。また、石井ら³⁸は健常者 10 名 20 肢に対して足関節自動運動時を行った際、大腿静脈の流速が安静時と比較をして平均 6.33 倍になったと報告している。以上より、足関節自動運動は、運動と同側の大腿静脈血流量速度を増大させる作用があると考えた。

足関節の最適な底背屈運動時における速度に関して、川名ら³⁹は足関節背屈運動の速度指標を明確にするために、40 回/分、50 回/分、60 回/分、70 回/分、80 回/分、の 5 通りの運動時における大腿静脈血流速度を調べたところ、50 回/分で大腿静脈血流速度がもっとも増加したと報告している。臨床場面では、患者に対して DVT 予防のために、足関節の自動運動を指導する事が多いがもっとも効果的な 1 分あたりの運動回数は明確になっていない。

足関節底背屈の効果的な運動強度に関して、最大強度で静脈収縮期最高血流速度を上昇させたという報告⁴⁰があり、もっとも効果的な運動強度である最大筋力下にて測定を実施していくこととした。

姿勢の違いによる影響に関して、DVT の予防には早期離床が不可欠とされているが、安静背臥位時と比較をして車いす坐位保持開始 10 分間で有意な下腿深部静脈血流速度の低下がみられたとの報告⁴¹がある。临床上、脳卒中発症後、廃用を予防するために車いすへの早期離床を積極的に進めていくことが多いが、下肢が不動であれば尚のこと車いす坐位は背臥位よりも DVT リスクは高まる可能性がある。そのため、車いす坐位時も下肢うっ滞や DVT を予防するような効果的な運動を実施していく必要がある。佐谷ら⁴²は車いす坐位での足関節の自動底背屈運動において安静坐位時と比較をして有意な静脈血収縮期最高血流速度の増加を認めたことを報告している。

近赤外線分光法（near-infrared-spectroscopy: NIRS）による下腿局所血流量について、森ら⁴³は健常若年者 11 名に対して、右足関節底背屈運動を 1 秒間に 1 回のペースで 20 回を 3 セット実施した時の腓腹筋の血流や末梢循環動態の変化について NIRS によって調べたところ、有意差は認めなかったものの、酸化ヘモグロビン（OxyHb, 個/mm³）が安静時と比較をして運動中に増加し、休息中には減少する傾向がみられ、脱酸素化ヘモグロビン（DeoxyHb, 個/mm³）は運動中に有意な減少を認め、総ヘモグロビン（TotalHb, 個/mm³）は運動前後で有意な変化を認めなかったことを報告している。このように運動と同側における下腿の血流量についての報告はみられる。本研究において、著者らは足関節運動中に筋ポンプ作用

によって、同側の下腿の静脈血流量の減少に伴い DeoxyHb も減少した結果、対側麻痺側も DeoxyHb の減少がみられると仮説を立てた。

脳卒中後片麻痺患者は、麻痺による活動性の低下とともに麻痺側の自動運動が困難なために健常者と比較をして DVT を発症しやすい。そこで、著者らは DVT を防ぐための運動療法として、麻痺側他動運動の他に、対側である非麻痺側自動運動が麻痺側静脈環流を増加させることができれば DVT 予防に繋がると推測した。先行研究では、片麻痺患者を対象として、介助者による麻痺側他動運動が静脈環流を増加させたという報告⁴⁴⁾がみられる。また、健常若年者を対象として、右下肢の足関節底背屈自動運動を 20 秒間実施したところ、対側左下肢の大腿静脈の平均血流速度や血流量が有意に増加したという報告^{45, 46)}がある。しかし、脳卒中後片麻痺患者を対象としたものはみられない。

そこで、非麻痺側下肢の足関節自動運動によって麻痺側下肢の静脈還流が増加すると仮説を立て、検証することを目的とした。

3.2 対象と方法

1) 対象

対象は、慢性期脳卒中後片麻痺患者の男性 19 名とした。年齢の平均±標準偏差は 60.2±10.9 歳、肥満指数 (body mass index: BMI) の平均±標準偏差は 26.1±4.6kg/m²、発症からの期間の中央値 (範囲) は 12.1 カ月 (2.0~360.0 カ月) とした。対象は、内、右片麻痺が 12 名とした。下肢における Brunnstrom stage の I が 1 名、II が 4 名、III が 8 名、IV が 6 名で、脳梗塞が 7 名、脳出血が 12 名であった。また、日常生活活動は全員が T 字杖もしくは四脚杖を使用して屋内歩行が介助レベル以上であり、運動 FIM スコアの平均±標準偏差は 71.5±16.5 点であった。なお、対象者の基本属性 (各研究課題に対する対象の内訳を含む) を表 3-1 に示した。また、包含基準や除外基準は研究 1.と同様とした。

表 3-1 対象者の基本属性

サンプル数	No.	被験者	エコーによる測定 (足運動)	NIRSによる測定 (足運動)	性別	年齢	診断名	麻痺側	発症後月数 (カ月)	身長	体重	BMI	下肢BRS	A D L	杖の使用	運動FIM
1	1	J.I.	○		男性	67	脳梗塞	左	360.0	160.0	60.0	23.4	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	82
2	2	H.K.	○		男性	68	脳梗塞	左	4.5	169.0	60.0	23.4	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	82
3	3	T.K.(1)	○		男性	67	脳梗塞	右	12.1	160.0	55.0	21.5	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	81
4	4	H.Y.	○	○	男性	78	脳梗塞	左	5.5	165.0	57.4	22.4	Ⅲ	屋内歩行介助	T字杖	53
5	5	K.H.		○	男性	63	脳出血	右	6.0	174.0	79.0	30.9	Ⅲ	屋内歩行介助	T字杖	44
6	6	Y.T.	○		男性	43	脳梗塞	右	2.0	165.0	72.0	28.1	Ⅱ	屋内歩行自立	T字杖	52
7	7	T.A.		○	男性	70	脳出血	右	192.0	160.0	65.0	25.4	Ⅲ	屋内歩行自立	T字杖	73
8	8	T.K.(2)	○		男性	52	脳出血	右	4.7	169.0	103.0	40.2	Ⅱ	屋内歩行監視	四脚杖	51
9	9	R.N.	○	○	男性	51	脳出血	右	2.3	160.0	48.0	18.8	Ⅳ	屋外歩行自立	四脚杖	75
10	10	H.N.	○	○	男性	76	脳出血	左	84.0	162.0	63.0	24.6	Ⅳ	屋外歩行自立	T字杖	83
11	11	M.M.	○	○	男性	53	脳梗塞	左	65.0	169.0	78.0	30.5	Ⅳ	屋内歩行自立	T字杖	79
12	12	I.U.	○	○	男性	63	脳梗塞	左	107.0	169.9	64.0	25.0	Ⅲ	屋外歩行自立	T字杖	84
13	13	M.N.	○	○	男性	68	脳出血	右	41.0	170.0	68.0	26.6	Ⅳ	屋内歩行自立	T字杖	49
14	14	H.T.	○	○	男性	47	脳出血	左	5.5	165.0	66.0	25.8	Ⅳ	屋内歩行監視	T字杖	61
15	15	T.S.	○		男性	41	脳出血	右	26.0	174.0	75.0	29.3	Ⅳ	屋外歩行自立	T字杖	91
16	16	K.T(1)	○	○	男性	65	脳出血	右	173.0	168.0	63.0	24.6	Ⅱ	屋外歩行自立	T字杖	96
17	17	T.A.	○	○	男性	58	脳出血	右	3.0	168.0	61.3	23.9	Ⅱ	屋内歩行介助	四脚杖	53
18	18	T.O.	○	○	男性	48	脳出血	右	6.5	180.0	61.1	23.9	Ⅰ	屋内歩行自立	四脚杖	85
19	19	K.T.(2)	○	○	男性	66	脳出血	右	51.5	177.0	72.0	28.1	Ⅲ	屋外歩行自立	T字杖	85

NIRS: Near-Infrared-Spectroscopy, BRS: Brunnstrom Recovery Stage, ADL: Activities of daily living, FIM: Functional Independence Measure

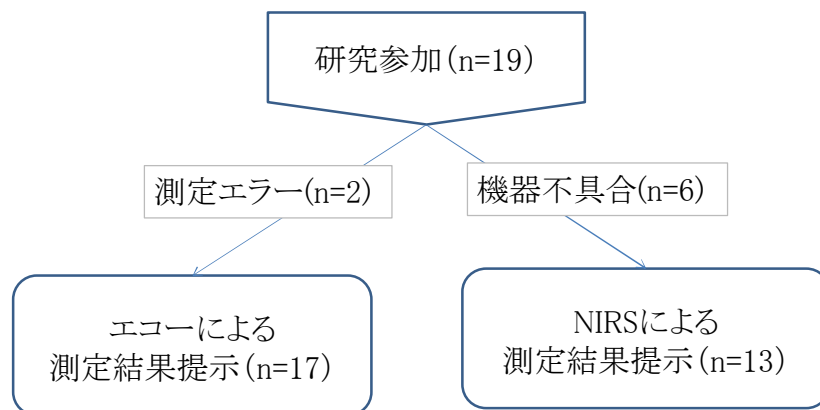


図 3-1 対象における研究参加内訳のフローチャート

2) 方法

運動課題は、背臥位と車いす坐位姿勢において、それぞれ非麻痺側足関節自動運動を 30 回/分と 50 回/分の異なる 4 条件とした。測定機器は研究 1. と同様、超音波診断装置 Xario とレーザー組織血液酸素モニターを用いた。測定項目も研究 1. と同様、エコーより得られる麻痺側大腿静脈における 1) 最大血流速度 (Vmax, cm/sec.), 2) 平均血流速度 (Vm-mean, cm/sec.), そして 3) 分時静脈血流量 (blood flow volume: BFV, ml/min.) とした。また、NIRS より得られる麻痺側下腿ヒラメ筋の筋腹中央の深さ 2~3 cm における OxyHb, DeoxyHb, TotalHb とした。

測定手順について、まず対象はベッド上で背臥位をとり両下肢に治療が必要な DVT がないことをカルテ上もしくは B モードエコーにて評価をした。測定時の姿勢は背臥位で、膝関節伸展位とした。この時、足関節の運動を妨げないようにするために非麻痺側足部がベッド床面から出るようにした。次に、研究 1. と同様にエコープローブを麻痺側大腿静脈と大伏在静脈の合流部近位に当てた。課題前に、対象に疲労がないことならびにエコーパルスドップラー画面上で測定部位である大腿静脈血流が安定していることを確認後、背臥位足関節運動課題のベースラインを決定した (図 3-2)。その後、背臥位での非麻痺側の足関節の底背屈自動運動を全可動範囲で最大の運動努力にて、「出来るだけ、大きく強く、麻痺していない方の足首を上下に動かして下さい。」と指示をして、メトロノームのリズムに合わせて 30 回/分にて 20 秒間実施した。安静をとり再度ベースラインを決定後に 50 回/分においても同様に実施した。

その後、プローブを一旦外した後、験者による最小限の介助下で車いすに移乗した。麻痺側足底は床につけた。非麻痺側は足底面の形状に合わせた滑り止めシートを貼った木製台の上に乗せるようにした（図 3-3）（木製台を図 3-4 に示した）。



図 3-2 背臥位足関節運動



図 3-3 車いす坐位足関節運動

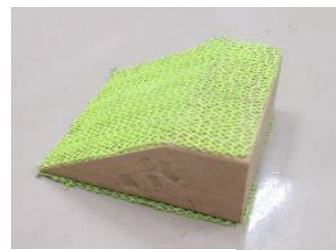


図 3-4 木製台

エコープローブを麻痺側大腿静脈と大伏在静脈の合流部近位に再度当て、背臥位での運動課題時と同様に各ベースラインを決定後、30 回/分にて 20 秒間の運動、50 回/分にて 20 秒間の運動を行った。また、呼吸ポンプによる影響をなくすために測定中は通常の呼吸を指示した。また、NIRS によるデータの抽出は、運動課題中に 20 秒間、各測定前に 1 分間とした。なお、エコーの測定にあたっては、全例、同一験者（A.M.）が行った。また、背臥位ならびに車いす坐位での非麻痺側足関節運動の測定手順を図 3-5 に示した。

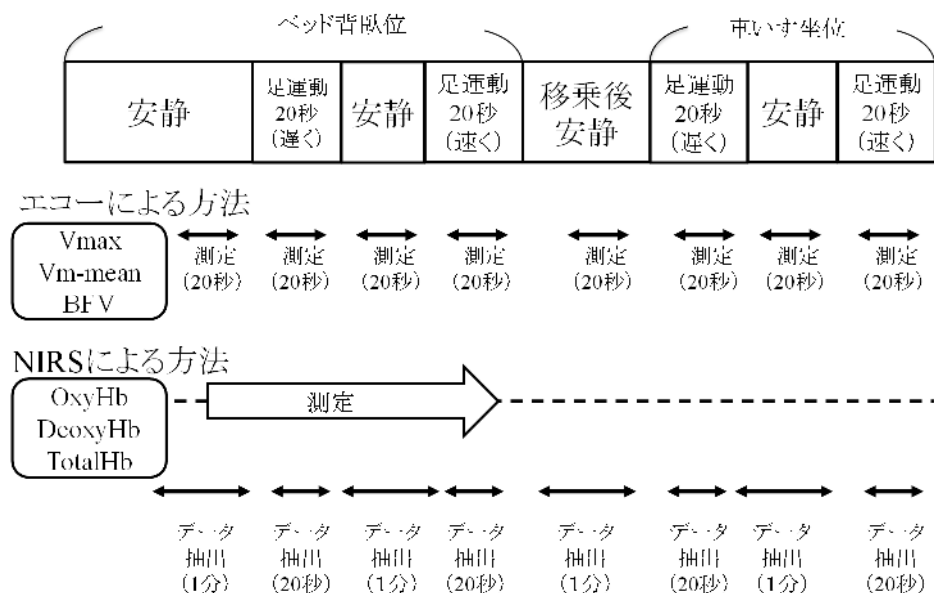


図 3-5 背臥位ならびに車いす坐位での非麻痺側足関節運動の測定手順

統計処理においては、Vmax, Vm-mean, BFV の変化, また OxyHb, DeoxyHb, TotalHb の変化についてベースラインと比較をして, 実測値ならびに相対率で表した. なお, ベースラインと足関節自動運動 (30 回/分と 50 回/分) との比較ならびに背臥位と車いす坐位間での比較については, Shapiro-Wilk 検定にて正規性が認められる場合は対応のある t 検定を, 正規性が認められなければ Wilcoxon 符号付順位和検定を用いて検討した. 解析にあたっては, 統計用解析ソフトウェア SPSS Ver.17 を用い, 危険率は 5%とした.

3.3 結果

Shapiro-Wilk 検定を行った結果, 背臥位での 30 回/分での足関節運動中の BFV (P=0.002), 50 回/分での足関節運動のベースラインの BFV (P=0.036), 車いす坐位では 30 回/分でのベースラインの Vm-mean (P=0.001) ならびに 50 回/分でのベースラインの Vm-mean (P=0.001) ならびに運動中の Vm-mean (P=0.001), 50 回/分での運動中の BFV (P=0.001) で正規性を認めなかった. 下腿部局所血流量は全ての測定項目で正規性を認めた.

背臥位での足関節運動時における Vmax, Vm-mean, BFV のベースラインとの比較を表 3-2 に, 車いす坐位でのベースラインとの比較は表 3-3 に示した. Vmax, Vm-mean, BFV とも, 各ベースラインと比較をして有意な増加を認めた.

表 3-2 背臥位での足関節運動時の血流速度ならびに血流量の変化

	足関節運動 (背臥位・30回/分, n=17)			足関節運動 (背臥位・50回/分, n=17)		
	base line	運動中	相対率	base line	運動中	相対率
Vmax (cm/sec)	11.9±4.1	18.1±7.7	152.2±34.7 *	11.7±4.2	19.7±8.1	168.0±40.5 *
Vm-mean (cm/sec)	5.3±2.5	6.6±3.6	130.0±52.6 *	5.0±2.5	7.0±3.0	150.9±42.4 *
BFV(ml/min)	66.5±47.3	102.9±95.5	149.0±79.3 *	65.4±50.2	116.7±103.0	181.0±39.7 *

Vmax: 最大血流速度, Vm-mean: 平均血流速度, BFV: blood flow volume; 血流量, *p<0.05

表 3-3 坐位での足関節運動時の血流速度ならびに血流量の変化

	足関節運動 (座位・30回/分, n=17)			足関節運動 (座位・50回/分, n=17)		
	base line	運動中	相対率	base line	運動中	相対率
Vmax (cm/sec)	8.8±2.3	12.3±4.3	140.3±36.8 *	8.7±2.6	12.4±4.7	143.0±34.5 *
Vm-mean (cm/sec)	1.3±0.9	2.3±1.1	206.1±86.8 *	1.3±0.8	2.3±1.2	217.6±100.0 *
BFV(ml/min.)	35.8±25.3	64.8±37.4	196.1±73.4 *	35.8±26.6	72.6±49.7	218.1±95.3 *

Vmax: 最大血流速度, Vm-mean: 平均血流速度, BFV: blood flow volume; 血流量 *p<0.05

Vmax の変化に関して、背臥位における 30 回/分で平均 $11.9 \pm 4.1 \text{ cm/sec.}$ から $18.1 \pm 7.7 \text{ cm/sec.}$ と $52.3 \pm 34.7\%$ の増加, 50 回/分で平均 $11.7 \pm 4.2 \text{ cm/sec.}$ から $19.7 \pm 8.1 \text{ cm/sec.}$ と $68 \pm 40.5\%$ の増加がみられ, 車いす座位における 30 回/分では平均 $8.8 \pm 2.3 \text{ cm/sec.}$ から $12.3 \pm 4.3 \text{ cm/sec.}$ と $40.3 \pm 36.8\%$, 50 回/分で平均 $8.7 \pm 2.6 \text{ cm/sec.}$ から $12.4 \pm 4.7 \text{ cm/sec.}$ と $43.0 \pm 34.5\%$ の増加がみられた (図 3-6).

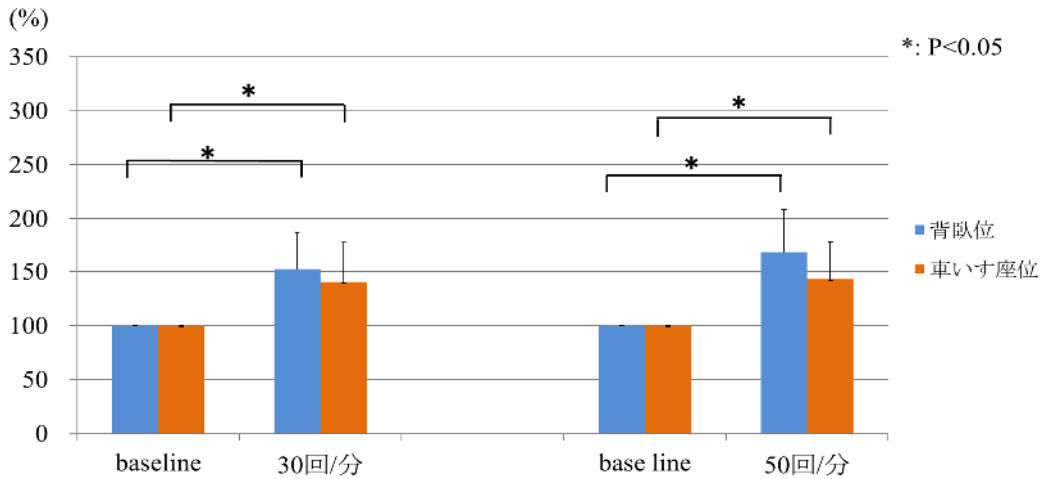


図 3-6 足関節運動時の Vmax の変化
(背臥位 : n=17, 車いす座位 : n=17)

Vm-mean の変化に関して、背臥位における 30 回/分で平均 $5.3 \pm 2.5 \text{ cm/sec.}$ から $6.6 \pm 3.6 \text{ cm/sec.}$ と $30.0 \pm 52.6\%$ の増加, 50 回/分で平均 $5.0 \pm 2.5 \text{ cm/sec.}$ から $7.0 \pm 3.0 \text{ cm/sec.}$ と $50.9 \pm 42.4\%$ の増加がみられ, 車いす座位における 30 回/分では平均 $1.3 \pm 0.9 \text{ cm/sec.}$ から $2.3 \pm 1.1 \text{ cm/sec.}$ と $106.1 \pm 86.8\%$, 50 回/分で平均 $1.3 \pm 0.8 \text{ cm/sec.}$ から $2.3 \pm 1.2 \text{ cm/sec.}$ と $117.6 \pm 100.0\%$ の増加がみられた (図 3-7).

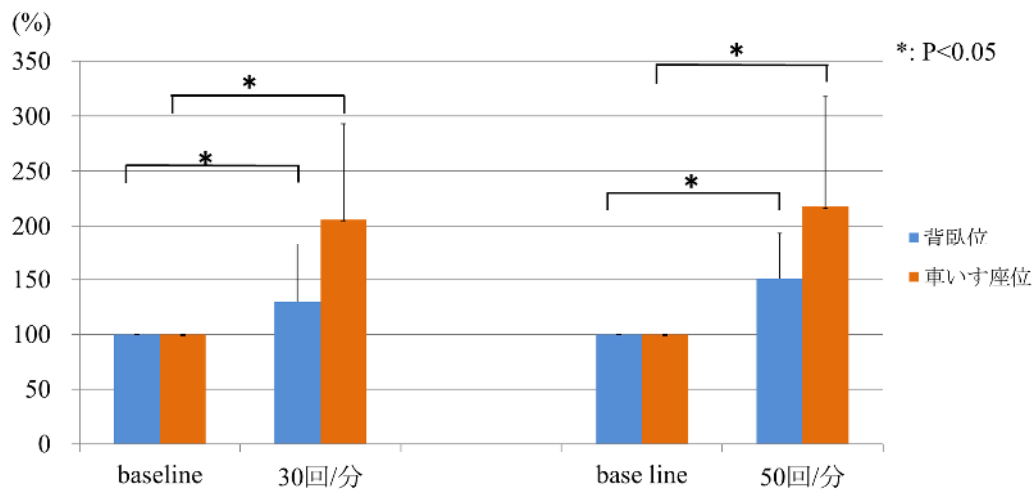


図 3-7 足関節運動時の Vm-mean の変化
(背臥位 : n=17, 車いす座位 : n=17)

BFVの変化に関して、背臥位における30回/分で平均66.5±47.3ml/min.から102.9±95.5ml/min.と49.0±79.3%の増加,50回/分で平均65.4±50.2ml/min.から116.7±103.0ml/min.と81.0±39.7%の増加がみられ,車いす坐位における30回/分では平均35.8±25.3ml/min.から64.8±37.4ml/min.と96.1±73.4%,50回/分で平均35.8±26.6ml/min.から72.6±49.7ml/min.と118.1±95.3%の増加がみられた(図3-8).

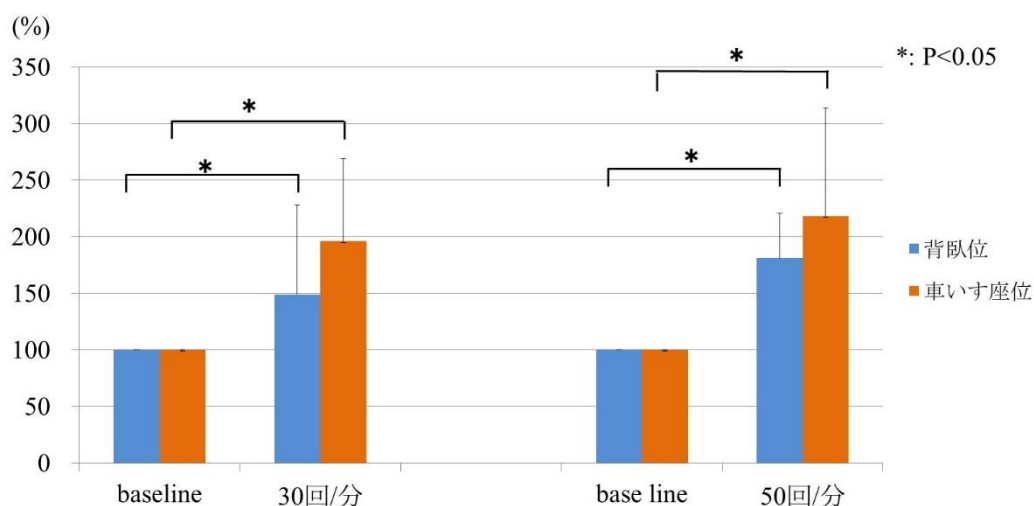


図3-8 足関節運動時のBFVの変化
(背臥位：n=17, 車いす坐位：n=17)

背臥位ならびに車いす坐位での姿勢の違いによる要因におけるVmaxの変化を図3-9, 図3-10に示し, Vm-meanの変化を図3-11, 図3-12に示し, BFVの変化を図3-13, 図3-14に示した. いずれの測定項目においても, 背臥位と車いす坐位の姿勢間において, BFVの30回/分の運動時以外の全てで有意差を認めた.

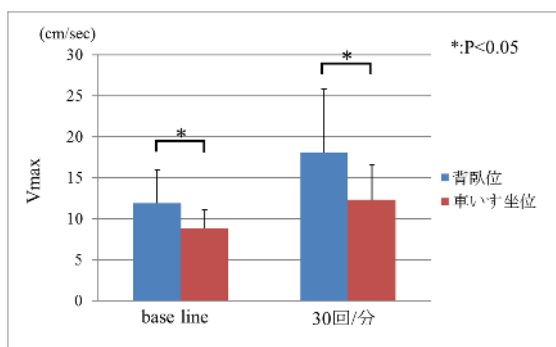


図3-9 背臥位と車いす坐位でのVmaxの変化
(30回/分, n=17)

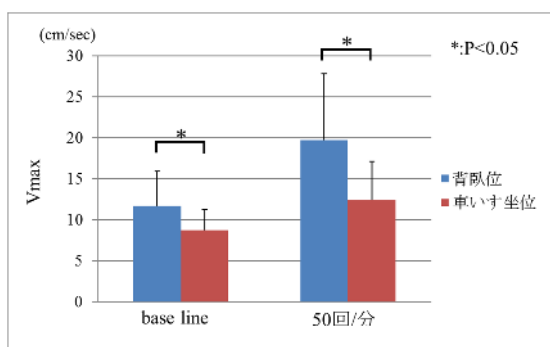


図3-10 背臥位と車いす坐位でのVmaxの変化
(50回/分, n=17)

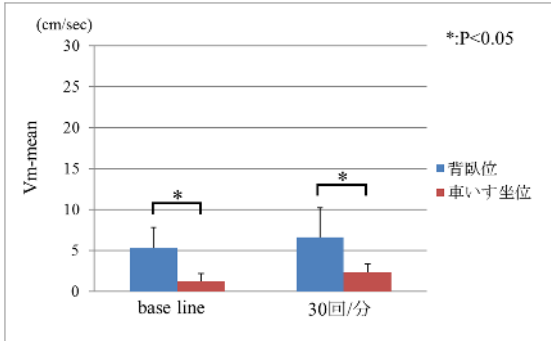


図 3-11 背臥位と車いす坐位での Vm-mean の変化 (30 回/分, n=17)

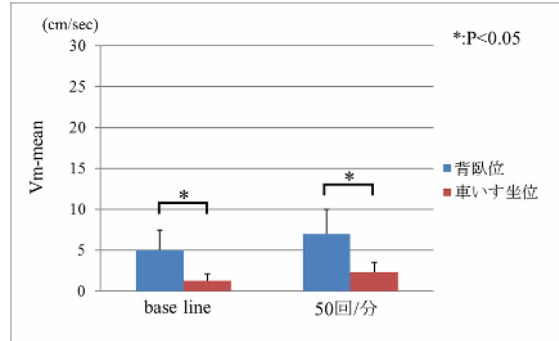


図 3-12 背臥位と車いす坐位での Vm-mean の変化 (50 回/分, n=17)

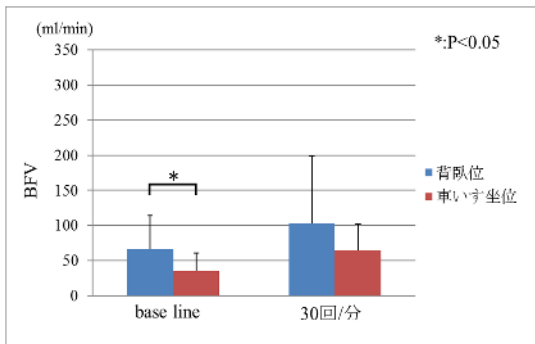


図 3-13 背臥位と車いす坐位での BFV の変化 (30 回/分, n=17)

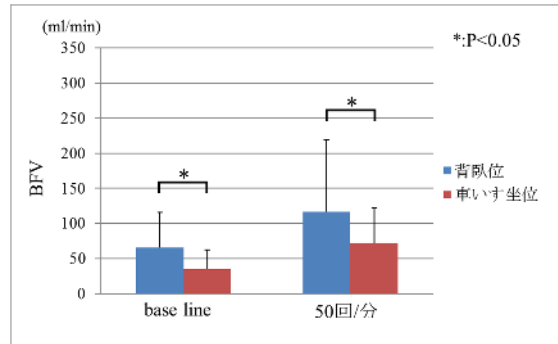


図 3-14 背臥位と車いす坐位での BFV の変化 (50 回/分, n=17)

次に、各足関節運動時における下腿部局所血流量のベースラインと比較をして実測値ならびに相対値で示したものを、背臥位での結果を表 3-4 に示し、車いす坐位による結果は表 3-5 に示した。OxyHb, DeoxyHb, TotalHb の全てがベースラインと比較をして有意な変化を認めなかった。背臥位における 30 回/分の足関節運動時は、OxyHb で平均 11.0 ± 1.7 個/mm³ から 11.0 ± 1.8 個/mm³ と $0.4 \pm 1.6\%$ の減少、DeoxyHb では 7.8 ± 2.3 個/mm³ から 7.7 ± 2.3 個/mm³ と $0.6 \pm 2.3\%$ の減少、TotalHb では、 18.9 ± 3.7 個/mm³ から 18.8 ± 3.6 個/mm³ と $0.3 \pm 1.4\%$ の減少がみられたが有意差は認めなかった。50 回/分の足関節運動時は、OxyHb で平均 11.1 ± 1.8 個/mm³ から 11.1 ± 1.8 個/mm³ と $0.1 \pm 1.3\%$ の減少、DeoxyHb では 7.8 ± 2.3 個/mm³ から 7.7 ± 2.3 個/mm³ と $0.6 \pm 2.3\%$ の減少、TotalHb では 18.9 ± 3.7 個/mm³ から 18.8 ± 3.6 個/mm³ と $0.3 \pm 1.4\%$ の減少がみられたが有意差は認めなかった (表 3-4)。車いす坐位における 30 回/分の足関節運動時は、OxyHb で平均 11.8 ± 2.5 個/mm³ から 11.7 ± 2.4 個/mm³ と $0.9 \pm 1.9\%$ の減少、DeoxyHb では 10.4 ± 4.1 個/mm³ から 10.5 ± 4.0 個/mm³ と $2.0 \pm 5.3\%$ の増加、TotalHb では、 22.2 ± 5.4 個/mm³

から 22.3 ± 5.2 個/mm³ と $0.4 \pm 3.2\%$ の減少がみられたが有意差は認めなかった。50 回/分の足関節運動時は、OxyHb で平均 11.7 ± 2.5 個/mm³ から 11.7 ± 2.4 個/mm³ と $0.1 \pm 1.9\%$ の増加、DeoxyHb では 10.2 ± 3.4 個/mm³ から 10.2 ± 3.2 個/mm³ と $0.3 \pm 4.9\%$ の増加、TotalHb では 21.9 ± 4.9 個/mm³ から 21.9 ± 4.8 個/mm³ とほとんど変化がなく有意差は認めなかった (表 3-5)。

表 3-4 背臥位での下腿部局所血流量の変化

	足関節運動 (背臥位・30回/分, n=13)			足関節運動 (背臥位・50回/分, n=13)		
	base line	運動中	相対率	base line	運動中	相対率
OxyHb(個/mm ³)	11.0±1.7	11.0±1.8	99.6±1.6	11.1±1.8	11.1±1.8	99.9±1.3
DeOxyHb(個/mm ³)	7.8±2.3	7.7±2.3	99.4±2.3	7.8±2.3	7.7±2.3	99.4±2.3
TotalHb(個/mm ³)	18.9±3.7	18.8±3.6	99.7±1.4	18.9±3.7	18.8±3.6	99.7±1.4

OxyHb: 酸素化ヘモグロビン, DeoxyHb: 脱酸素化ヘモグロビン, TotalHb: 全ヘモグロビン, P<0.05

表 3-5 車いす坐位での下腿部局所血流量の変化

	足関節運動(座位・30回/分, n=13)			足関節運動(座位・50回/分, n=13)		
	base line	運動中	相対率	base line	運動中	相対率
OxyHb(個/mm ³)	11.8±2.5	11.7±2.4	99.1±1.9	11.7±2.5	11.7±2.4	100.1±1.9
DeOxyHb(個/mm ³)	10.4±4.1	10.5±4	102.0±5.3	10.2±3.4	10.2±3.2	100.3±4.9
TotalHb(個/mm ³)	22.2±5.4	22.3±5.2	100.4±3.2	21.9±4.9	21.9±4.8	100.0±2.1

OxyHb: 酸素化ヘモグロビン, DeoxyHb: 脱酸素化ヘモグロビン, TotalHb: 全ヘモグロビン, P<0.05

次に背臥位と車いす坐位での姿勢の違いによる要因における OxyHb, DeoxyHb, TotalHb の変化を図 3-15~20 に示した。

OxyHb では、ベースライン時でのみ車いす坐位と背臥位との間で有意差を認めたが、他は有意差を認めなかった (図 3-15, 図 3-16)。DeoxyHb では、30 回/分の運動時以外の全てで、車いす坐位と背臥位との間で有意差がみられた (図 3-17, 図 3-18)。TotalHb では、30 回/分と 50 回/分における車いす坐位と背臥位との間の全てで有意差を認めた (図 3-19, 図 3-20)。

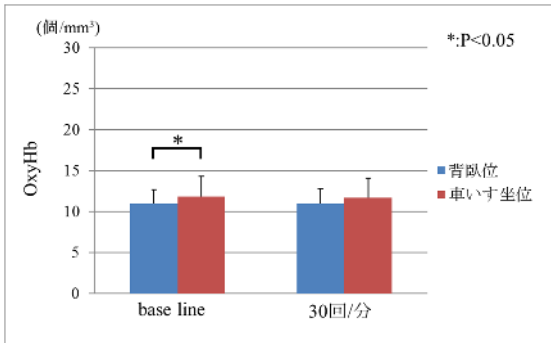


図 3-15 背臥位と車いす坐位での OxyHb の変化
(30 回/分, n=13)

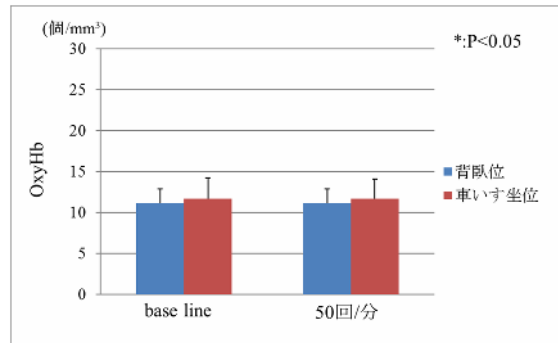


図 3-16 背臥位と車いす坐位での OxyHb の変化
(50 回/分, n=13)

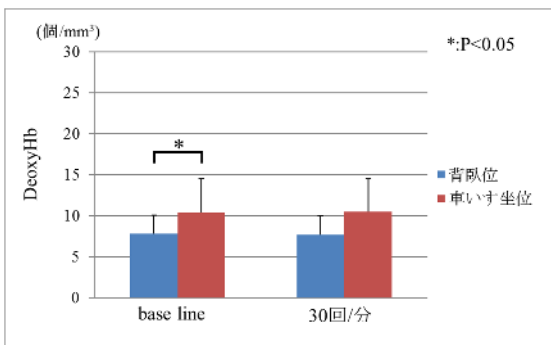


図 3-17 背臥位と車いす坐位での DeoxyHb の変化
(30 回/分, n=13)

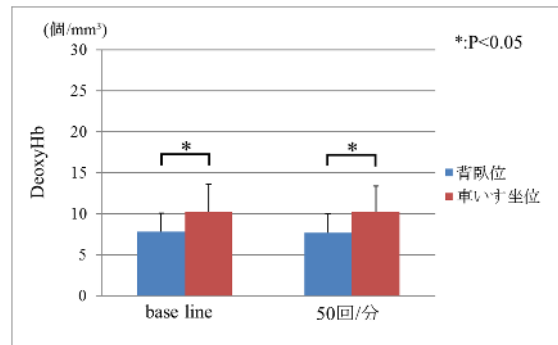


図 3-18 背臥位と車いす坐位での DeoxyHb の変化
(50 回/分, n=13)

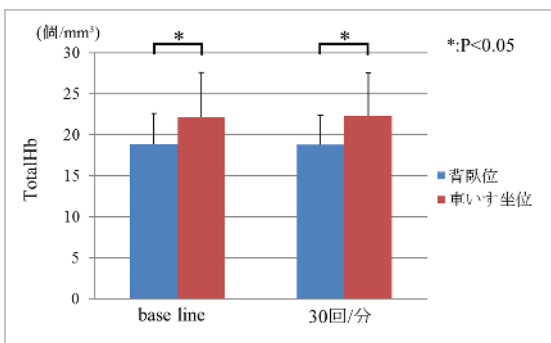


図 3-19 背臥位と車いす坐位での TotalHb の変化
(30 回/分, n=13)

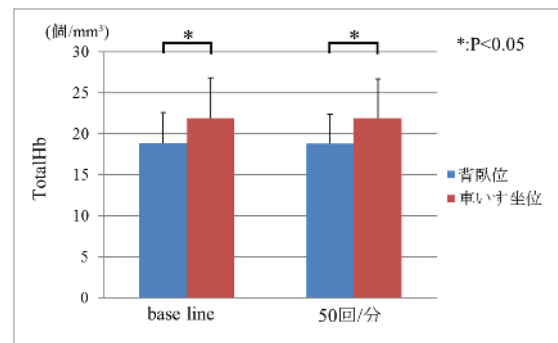


図 3-20 背臥位と車いす坐位での TotalHb の変化
(50 回/分, n=13)

3.4 考察

非麻痺側足関節自動運動によって、麻痺側近位大腿静脈の Vmax, Vm-mean, BFV とも、全ての運動条件下で、各ベースラインと比較をして有意な増加がみられた。よって、非麻痺側足関節自動運動は、麻痺側下肢静脈還流を増大させるのに有効であることが示唆された。この運動は単純かつ経済的であり、特別な装置を必要としないために医療者にも負担がなく、効率的であると考えられる。しかし、患者への指導にあたって、運動の目的を十分に説明して必要性を十分に理解して頂いた上で、十分なコンプライアンスのもとに実施することが高い効果をもたらすと考えられる。

静脈血流速度を効果的に増大させるための足関節の適切な運動回数について、本研究において、30回/分と50回/分の異なる2種類で検討を行ったところ、50回/分での足関節自動運動が30回/分よりも、大腿静脈血流を増加させた。このことより、患者に足関節運動を指導する際、効果的な筋ポンプ作用を期待するためにはやや速めにその分だけ運動回数を多くするように指導をすると良いと考えられる。

背臥位と車いす坐位での非麻痺側足関節自動運動時の大腿静脈血流について、麻痺側大腿静脈血流速度や血流量は、ベースライン時ならびに運動時とも、背臥位の方が車いす座位よりも常に高値を示した。一方、麻痺側下腿の DeoxyHb 及び TotalHb はベースライン時及び運動時とも、車いす座位の方が背臥位よりも常に高値を示した。これは車いす座位をとることで重力による影響を大きく受けた結果、静脈血が下肢に貯留したためと考えた。中村ら⁴¹は臥位と比較をして、車いす座位10分で下腿深部静脈血流速度が有意な低下を示したと報告している。本研究においても先行研究と同様に車いす座位をとることで、下肢の静脈血流速度が低下を示した。その際、下腿の血流量は増加した。笹谷ら⁴²は車いす座位時においても足関節自動運動は同側の下腿静脈血流を改善させたことを報告している。本研究においては車いす座位時で対側であっても足関節自動運動は大腿静脈血流を増加させた。以上より、車いす座位をとることは生理的に下肢のうっ滞を生じるために静脈血が貯留しやすく DVT が発生しやすい。そのため、離床に成功して長時間車いす座位をとれるようになった患者においても、足関節自動運動を促すことが重要であることが示唆された。

本研究では、麻痺側に筋収縮がみられないことをドップラーエコーにて麻痺側近位大腿静脈の血流を測定中、同時に、同画面上で確認することで、麻痺側下肢の筋ポンプ作用が生じないようにした。また、通常の呼吸を指示して呼吸ポンプの影響を受けないようにした。以上のことより、非麻痺側の静脈還流の増加そのものが対側である麻痺側静脈還流を増加させたことが示唆される。その機序として、一つ目に血行力学上の影響を考えた。血流量=圧差(ΔP)/R(血管半径)の式が成り立ち、血管内の血流量は両端の圧差と血流抵抗に依存するとされる⁴⁷。本研究において、非麻痺側の足関節の運動によって下大静脈の血管径が増大した結果、下大静脈圧の血管抵抗が低下して麻痺側からの腸骨動脈からの血流が増加した可能性が示唆された。本研究での方法は、自動での足関節運動の反復であり、下大静脈圧は上昇と下降を繰り返すと予想が出来る。その際に生じた下大静脈圧較差が律

動的に生じたと予想され、下大静脈の圧が低下したタイミングで麻痺側下肢の血液が流入したことが要因として挙げられた。

二つ目に呼吸筋のポンプ作用を考えた。本対象には、通常の呼吸をするよう指示をした。それでも非麻痺側の足関節運動により、呼吸ポンプ作用が測定課題前のベースラインよりも増大した結果、麻痺側下肢静脈環流が増加した可能性が挙げられた。この過程を、運動による心血管反応の図⁴⁸⁾(図3-21)より、†として記した。

三つ目に筋の化学・機械的受容体の活性化を考えた。骨格筋の運動により、代謝が亢進して、血管拡張に伴いH⁺や乳酸などを産生する⁴⁹⁾。その結果、血中pHが酸性に傾きCO₂分圧が増加する。こうした筋の化学・機械的受容体の活性化が延髄に働きかけ交感神経が優位に働き、内臓静脈が収縮して、静脈環流が増加した可能性がある。この過程を心血管反応の図(図3-21)より、‡で記した。

四つ目に血管収縮機序を考えた。骨格筋の運動で交感神経因子、内分泌性(ホルモン)因子、また血管内皮性因子により血管が収縮する⁵⁰⁾。それに伴う交感神経活動により、静脈環流が上昇した可能性が考えられた。この過程を心血管反応の図(図3-21)より、*で記した。以上より、足関節自動運動時には活動筋と心臓、血管系等、様々な機序が働いていた可能性が考えられた。

運動による心血管反応

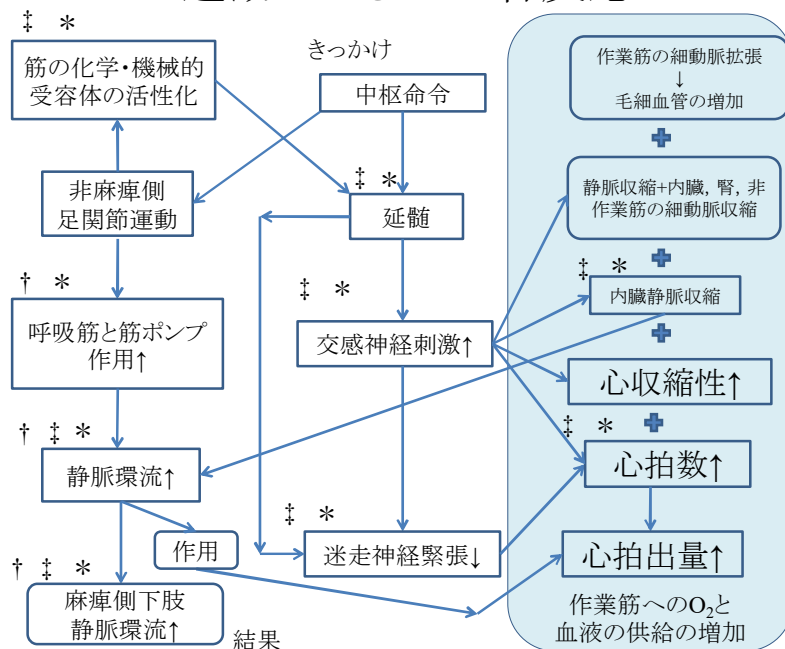


図3-21 運動による心血管反応
(文献48. より引用・改変)

研究の限界として、血流測定が麻痺側のみに留まったことが挙げられる。そのため、麻痺側と非麻痺側の血流の対比が出来なかった。また、非麻痺側の足関節運動時は連合反応として麻痺側下腿部の筋収縮が生じやすく筋ポンプが働いた可能性が考えられた。そのため、麻痺側における下腿部の筋収縮がみられないことを筋電図等で確認をしておく必要があった。また、自律神経系、呼吸ポンプ、血圧、心拍数、心拍出量等の測定が出来なかったために詳細な機序までは判明することが出来なかった事が挙げられた。今後の研究の展望として、両側の下肢静脈還流量を測定していく事が詳細な解明に繋がると考えられる。

3.5 結語

非麻痺側下肢の足関節運動によって、異なる運動回数や肢位においても、対側麻痺側下肢の大腿静脈の血流速度や血流量が上昇することが確認された。

第 IV 章 結論

本研究は脳卒中後片麻痺患者における背臥位での IPC 施行時や ES 装着時、背臥位ならびに車いす坐位での異なる運動回数下での非麻痺側足関節自動運動が麻痺側下肢静脈環流を増加させるかについて検討することを目的とした。測定項目は麻痺側下肢の大腿静脈の Vmax, Vm-mean, BFV, 麻痺側下腿の OxyHb, DeoxyHb, TotalHb とした。結果, IPC 施行及び ES 装着では, IPC 施行時の Vm-mean のみが有意な減少を認めた。また, 背臥位と車いす坐位における 30 回/分と 50 回/分での足関節自動運動時は 4 条件全てにおいてベースラインと比較をして有意な増加がみられた。一方, OxyHb, DeoxyHb, TotalHb では, 全てで有意な変化がみられなかった。他に, 背臥位と車いすにおける姿勢の相違での違いを調べたところ, 背臥位での血流速度や血流量が車いす坐位と比較をして高値を示した。反対に, 背臥位での DeoxyHb や TotalHb は車いす坐位と比較をして低値を示した。

以上より, IPC 施行や ES 装着によって静脈還流の増大がみられなかったため, 機械的予防法の効果には限界があることが示唆された。一方, 非麻痺側の足関節自動運動は姿勢や運動回数によらず麻痺側下肢の静脈還流の増大を認めた。よって, 脳卒中後片麻痺患者に対する DVT 予防には, 非麻痺側の足関節自動運動の指導が有効であることが示唆された。

謝辞

本研究の実施にあたって、御協力を頂いた被験者の皆様、岐阜中央病院ならびに東海記念病院のリハビリテーションスタッフの皆様に深謝致します。

なお、学士、修士、そして博士課程を通じて御指導を頂いた研究指導教員である丸山仁司教授、副研究指導教員である黒澤和生教授を始めとした国際医療福祉大学の先生方に、心より感謝申し上げます。

また、研究遂行にあたり、厳しく熱意のある御指導を頂いた安倍基幸教授ならびに博士課程進学にあたって勤務に御配慮を頂いた星城大学の教職員の方々に、厚く御礼申し上げます。

最後に、生活を支えてくれた家族に心より感謝します。

引用文献

- 1) Brotman DJ, Deitcher SR, Lip GY, et al. Virchow's triad revisited. *South Med J*. 2004;97:213-214
- 2) 遠藤杏菜, 阿部香代子, 木村富貴子ら. 東日本大震災後3年間の石巻市における深部静脈血栓症の推移. *日赤医学*. 2015;66:422-424
- 3) 黄俊憲, 山本剛. 【イラストで「機序」がわかる チャートで「どう動くか」がわかるところとん極める!循環器救急ビジュアル】肺血栓塞栓症. *EMERGENCY CARE*. 2015;28:1100-1106
- 4) 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編. 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. *Medical Front International Limited*, 2004
- 5) 太田覚史. 【静脈血栓塞栓症2016～わが国の最新の情報から～】近年のわが国の静脈血栓症の疫学. *血液フロンティア*. 2016;26:325-329
- 6) 立野淳子, 山勢博彰. 【静脈血栓塞栓症予防のエビデンス】静脈血栓塞栓症の領域別の発症状況. *EB NURSING*. 2007; 7: 284-289
- 7) 荻野浩, 山本哲章, 大塚哲也. 術後深部静脈血栓の頻度と部位. *中四整学会誌*. 2000; 12(2) : 271-276
- 8) Piovello F, Wang CJ, Lu H, et al. Deep-vein thrombosis rates after major orthopedic surgery in asia. An epidemiological study based on postoperative screening with centrally adjudicated bilateral venography. *Journal of thrombosis and haemostasis: JTH*. 2005; 3: 2664-2670
- 9) 施徳全, 須藤啓広, 長谷川正裕ら. 人工関節置換術後における下腿部DVTの発生部位と分布パターン. *Therapeutic Research*. 2006; 27: 1100-1102
- 10) 熊田馨, 松田香華, 松田晋ら. 本邦人における術後深部静脈血栓症125i-fibrinogenlegscanによる腹部外科手術後の検索. *Medical Postgraduates*. 1979; 17: 636-641
- 11) 稲田潔, 白井直樹, 林勝知ら. 術後深部静脈血栓症-発生頻度と予防. *外科*. 1982; 44: 221-226
- 12) Marks P, Emerson PA. Increased incidence of deep vein thrombosis after myocardial infarction in non-smokers. *British medical journal*. 1974; 3: 232-234
- 13) Harrington DT, Mozingo DW, Cancio L, et al. Thermally injured patients are at significant risk for thromboembolic complications. *The Journal of trauma*. 2001; 50: 495-499
- 14) 大地陸男. 生理学テキスト. 文光堂, 福島, 2007, 302-303
- 15) 江崎孝徳, 野々村論香, 白石哲也ら. 回復期リハビリテーション病棟に入院した脳血管障害患者の深部静脈血栓症. *脳卒中*. 2016; 38: 8-13
- 16) 緒方利安, 矢坂正弘, 湧川佳幸. 脳内出血患者における弾性ストッキングによる深部静脈血栓の予防効果についての検討. *脳卒中*. 2009; 31: 10-14
- 17) 渡部憲昭, 今田隆一. 脳卒中患者の下肢静脈血栓症 下腿静脈血栓は安全か? *日本脳神経外科学会総会 CD-ROM 抄録集*. 2008; 67 回: 2J-01-P26-08
- 18) 日本脳卒中学会. 脳卒中ガイドライン委員会. 脳卒中治療ガイドライン2015. 協和企画, 東京都, 2015, 79-80

- 19) CLOTS Trials Collaboration: Effectiveness of intermittent pneumatic compression in reduction of risk of deep vein thrombosis in patients who have had a stroke (clots 3) : A multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2013; 382: 516-524
- 20) CLOTS Trials Collaboration: Effectiveness of thigh-length graduated compression stockings to reduce the risk of deep vein thrombosis after stroke (clots trial 1) : A multicentre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2009; 373: 1958-1965
- 21) Delis KT, Knaggs AL. Duration and amplitude decay of acute arterial leg inflow enhancement with intermittent pneumatic leg compression: An insight into the implicated physiologic mechanisms. *J Vasc Surg*. 2005; 42: 717-725
- 22) Andrews B, Sommerville K, Austin S, et al. Effect of foot compression on the velocity and volume of blood flow in the deep veins. *Br J Surg*. 1993; 80: 198-200
- 23) Uchida M, Katoh M. Verification of the effect of techniques used to prevent deep-vein thrombosis. *J Phys Ther sci*. 2011; 23: 243-245
- 24) Jamieson R, Calderwood CJ, Greer IA. The effect of graduated compression stockings on blood velocity in the deep venous system of the lower limb in the postnatal period. *BJOG*. 2007; 114: 1292-1294
- 25) Charles T, Mackintosh D, Healy B, et al. Merino wool graduated compression stocking increases lower limb venous blood flow: A randomized controlled trial. *Adv Ther*. 2011; 28: 227-237
- 26) Stein PD, Matta F, Yaekoub AY, et al. Effect of compression stockings on venous blood velocity and blood flow. *Thromb Haemost*. 2010; 103: 138-144
- 27) 佐々木規之, 飛田研二, 四方裕夫. 近赤外線分光法を用いた下腿筋血流測定. *脈管学*. 2003; 43: 345-349
- 28) Sigel B, Edelstein AL, Savitch L, et al. Type of compression for reducing venous stasis. A study of lower extremities during inactive recumbency. *Arch Surg*. 1975; 110: 171-175
- 29) 徳田裕. 間歇的空気圧迫装置による経時的な静脈血流改善効果. *日本物理療法学会会誌*. 2011; 18: 32-35
- 30) 太田覚史, 山田典一, 辻明宏ら. 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. *Therapeutic Research*. 2004; 25: 1204-1206
- 31) Hosoi Y, Yasuhara H, Shigematsu H, et al. Influence of popliteal vein thrombosis on subsequent ambulatory venous function measured by near-infrared spectroscopy. *Am J Surg*. 1999; 177: 111-116
- 32) Westrich GH, Specht LM, Sharrock NE, et al. Pneumatic compression hemodynamics in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2000: 180-191
- 33) 掛田崇寛, 山勢博. 【静脈血栓塞栓症予防のエビデンス】 静脈血栓塞栓症の予防法 間歇的空気圧迫法. *EB NURSING*. 2007; 7: 320-327
- 34) 高木大輔, 西田裕介. 動脈伸展性に対する簡便で効率的な運動の再考 ヒラメ筋を有する

- 下腿三頭筋の muscle pumping の重要性. 理学療法科学. 2011; 26: 323-328
- 35) 石井政次, 大楽勝之, 川路博之ら. 【整形外科医のための静脈血栓塞栓症】 静脈血栓塞栓症に対する理学的予防法. 骨・関節・靭帯. 2007; 20: 1247-1252
 - 36) McNally MA, Cooke EA, Mollan RA. The effect of active movement of the foot on venous blood flow after total hip replacement. J Bone Joint Surg Am. 1997; 79: 1198-1201
 - 37) Sochart DH, Hardinge K. The relationship of foot and ankle movements to venous return in the lower limb. J Bone Joint Surg Br. 1999; 81: 700-704
 - 38) 石井政次, 川路博之, 浜崎允ら. 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. 2001; 27: 557-559
 - 39) 川名俊和, 江上健, 原田聡美ら. 高齢者における足関節底背屈運動の至適運動速度の検討 大腿静脈血流速度における検討. 臨床福祉ジャーナル. 2010; 7: 23-26
 - 40) 増田賢, 徳田裕. 筋収縮強度による静脈収縮期最高血流速度の変化について. みんなの理学療法. 2012; 24: 22-25
 - 41) 中村拓人, 徳田裕, 菱田実ら. 車いす坐位保持時間が下腿深部静脈血流速度に及ぼす影響. みんなの理学療法. 2012; 24: 12-14
 - 42) 笹谷勇太, 中村拓人, 増田賢ら. 車いす坐位保持時の下腿静脈血流改善のための介入について 足関節自動底背屈運動および間欠的空気圧迫法を用いての検討. みんなの理学療法. 2012; 24: 26-29
 - 43) 森明子, 国安勝司, 藤田大介ら. 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. 川崎医療福祉学会誌. 2008; 18: 163-167
 - 44) 木内和江, 川西千恵美, 折部知子. 麻痺のある脳梗塞患者における深部静脈血栓症予防としての足関節底背屈運動の効果 運動前後の大腿静脈流速の変化より. 国立看護大学校研究紀要. 2015; 14: 11-19
 - 45) 橋本貴文, 本田雄一. 一側の下肢運動は対側下肢の静脈環流に影響を与えるか. 星城大学リハビリテーション学部理学療法学専攻卒業課題研究論文集. 2011; 6: 49-52
 - 46) 酒井一正, 田村光輝, 永井謙次. 臥位での下肢静脈血流はどのような方法で増加するか. 星城大学リハビリテーション学部理学療法学専攻卒業課題研究論文集. 2012; 7: 29-32
 - 47) John T. Hansen, Bruce M. Koeppen(相磯貞和, 渡辺修一訳). ネット解剖生理学アトラス. 南江堂, 東京, 2006, 78
 - 48) PHILIP I. AARONSON, JEREMY P.T. WARD, CHARLES M. WIENER(村松準訳). 一目でわかる心血管系. メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京都, 2000, 58-59
 - 49) 杉春夫. 人体機能生理学. 南江堂, 東京, 2009, 434-435
 - 50) 奈良勲. 標準理学療法学 運動療法学 総論. 医学書院, 東京, 2017, 114-127