日本体育大学紀要（Bull. of Nippon Sport Sci. Univ.），48 (2)，81–87，2019

【原著論文】

手技療法による骨格筋血流変化の定量評価：拡散相関分光法による検討

松田　康宏[1)2)]，中林実輝絵[2)]，宮本　彩華[3)]，小野　弓絵[3)]

[1)] 日本体育大学保健医療学部整復医療学科

[2)] 明治大学大学院理工学研究科

[3)] 明治大学理工学部

Quantitative evaluation of skeletal muscle blood flow by diffuse correlation spectroscopy: application to manipulative therapy

Yasuhiro MATSUDA, Mikie NAKABAYASHI, Ayaka MIYAMOTO and Yumie ONO

Abstract: Manipulative therapy (MT) is a typical treatment applied to the motor organ with a therapeutic objective in various medical fields. In a current clinical practice, however, the effectiveness of MT is subjectively evaluated by a therapist and/or a patient. MT has been expected to increase local blood flow and decrease edema and pain. However, these physiological changes have not been fully clarified due to the lack of non-invasive and cost-effective methodology to evaluate muscle blood flow. We here used diffuse correlation spectroscopy (DCS), a novel technique to non-invasively measure blood flow velocity, to quantitatively evaluate the effect of MT on the blood flow of the target muscle. Healthy participants (3 men/3 women, age: 22.5±0.7) took part in the study. Participants took a supine position on the treatment table to have a hip joint flexion test. The right leg was elevated to the maximum hip joint flection, and the hip flexion angle and the subjective pain intensity (evaluated by visual analog scale: VAS) were measured. Subsequently, the blood flow of the posterior surface of the femoral region was measured for 5 minutes at rest as a baseline. The blood flow of the same site was measured again after 5 minutes of MT. Finally, we measured a post-MT VAS under the hip joint flexion to the same angle as in the first flexion. Participant received two sessions of MT and control conditions, in which they received MT and no treatment (quiet rest for 5 minutes) between the two hip joint flexion measurements, respectively, in a random and counterbalanced order. Subjective pain intensity with hip joint flexion tended to decrease after MT ($p=0.08$) while no change was observed in case of control condition ($p=0.41$). The blood flow velocity of the treated muscle was significantly increased after MT relative to that of the pre-treatment state ($p<0.05$). There was no change in the blood flow velocity throughout the measurement in case of control condition. These results suggest that MT-induced mechanical pressure to the skin and muscle tissues promote venous return and increase local blood flow.

要旨：手技療法は様々な医療の分野での治療の目的として運動器へ適用されている代表的な治療法である。手技療法は局所血流を増加させ，浮腫および疼痛を減少させるという仮定のもとに適用されているが，科学的な根拠に基づく計測方法や評価方法が確立されていない。本研究では，近年開発が進んでいる血流光計測技術である拡散相関分光法（diffuse correlation spectroscopy: DCS）を用いて，手技療法前後の局所筋血流の変化を非侵襲的かつ定量的に評価することを目的とした。健康な被験者（男性3名 / 女性3名，年齢：22.5 ± 0.7 歳）がこの研究に参加した。股関節を屈曲するために被験者は施術ベッドで背臥位とした。始めに疼痛が誘発されるまで股関節を最大屈曲させ，股関節屈曲角度と主観的疼痛感（visual analog scale: VAS）を計測した（Pre 屈曲時）。続いて，腹臥位になり安静時 5 分間の大腿部後面の血流を計測した（Pre 安静）。その後，5 分間の手技療法を行い，手技療法後に再び大腿部後面の血流を計測した（Post 安静）。最後に背臥位の状態で Pre 屈曲時と同角度まで股関節を屈曲した際の VAS 値を再度計測した（Post 屈曲時）。被験者は，2 回の股関節屈曲の間に手技療法を行う手技療法条件と，手技療法を行わず腹臥位で安静とする対照条件の 2 試行をランダムな順序で行った。その結果，Post 屈曲時の VAS 値は Pre 屈曲時に比べて手技療法条件のみに減少傾向が確認された（$p=0.08$）が，対照条件では変化はみられなかった（$p=0.41$）。さらに，手技療法条件では Pre 安静時に比べて Post 安静時にお

いて筋血流速度の有意な増加がみられた（p<0.05）。このことは，手技療法による皮膚や筋組織への機械的な圧力が身体への静脈還流を促進し，組織血流の増加が引き起こされたことを示している。

(Received: October 29, 2018 Accepted: January 8, 2019)

Key words: diffuse correlation spectroscopy (DCS), Manipulative therapy, muscle blood flow
キーワード：拡散相関分光法（DCS），手技療法，筋血流

1. はじめに

日常生活動作に支障を及ぼす程度の筋緊張症状が出現した場合の治療法の１つに揉む，押す，叩くなどの手技療法（図１）が選択されている。その手技療法は，リハビリテーション[1]や柔道整復[2]，按摩マッサージ[3]など様々な医療の分野での治療の目的として適用されている。さらに，患者への治療用途のみならず，スポーツ選手の運動機能の増進や調整，練習後の筋肉疲労の回復，スポーツ外傷や障害の予防などを目的としたスポーツコンディショニング分野[4]でも用いられるなど，正に人の「手当て」となる極めて重要な治療法である。手技療法は局所血流を増加させ，浮腫および疼痛を減少させることでこうした治療効果をもたらすと考えられている[5)6)]。しかし，臨床において手技療法の効果は術者や患者の主観による満足度に委ねられ，evidence based medicine（EBM）に基づく評価方法が確立されていない治療技術として認識されていた[7]。現在では手技療法を施した部位の皮膚温度の変化[8]や酸素動態の変化[9]，自律神経応答[10]などの研究が行われているが，手技療法を施した局所の筋の血流速度の変化を非侵襲的に評価した研究は極めて少なく，その動態は明らかにされていない。

ヒトにおける血流の計測法には，指示薬あるいは熱希釈法（希釈法）[11]や 133Xenon クリアランス法（クリアランス法）[12]，ポジトロン断層法（PET 法）[13]，超音波ドップラー法（超音波法）[14]，核磁気共鳴画像法（MRI 法）[15]などがある。希釈法では，体内へカテーテルを挿入し指示薬または冷水の注入が必要である。また，クリアランス法と PET 法では，体内への放射性同位体やトレーサの注入が必要であり放射線を被曝する。つまり，これらの計測方法は，身体への侵襲性が高く負担が大きい。一方，非侵襲的な計測法のうち，超音波法は，血流の連続計測は可能であるが熟練した術者の施行が必須で再現性に乏しいという欠点があり，さらに大血管のみの観察となるため組織における末梢血流を評価する手段としては使用できない。さらに MRI 法では専用施設や大型，高額な測定装置が必要であり，ベッドサイドでの使用には適さない。手技療法の治療効果を定量的に評価する目的で施術前後の血流の変化を計測するためには，非侵襲的計測かつベッドサイドでの使用が可能で，拘束性が低くなければならない。上記にあげた従来の血流計測法はこれらの必要条件を満たしておらず，このことが柔道整復学における手技療法のエビデンス構築が停滞する要因であったといえる。我々は，近年新たに開発された血流光計測技術である拡散相関分光法（diffuse correlation spectroscopy: DCS）[16]に着目した。DCS は非侵襲的血流計測が可能であるばかりではなく，長コヒーレントレーザー光を組織表面から照射することにより皮下数 cm 程度の組織血流を計測可能であるため，深部筋の血流を簡易かつ定量的に評価することに適した手法である。一方，非侵襲的かつ簡便な筋組織酸素計測法として多くの研究で使用されている近赤外分光法（near infrared spectroscopy: NIRS）[17]は，組織を通過した光の吸収率から組織の酸素化ヘモグロビン（oxy-Hb）・脱酸素化ヘモグロビン（deoxy-Hb）濃度変化を推定する間接的な血流動態の計測手法である。しかし，DCS はヘモグロビン濃度ではなく血流速度を計測する手法であり，光が照射される組織範囲が一定であるとすると，NIRS では計測できない組織血流量の情報を得ることができるという利点がある。DCS 単独，あるいは DCS と NIRS の同時計測により，運動中の筋[18]や脳血管障害を伴う脳組織[19]の血流動態の詳細な検討が行われている。

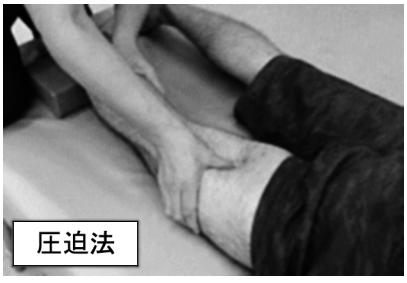


図１　手技療法の例

2. 方　　法

2.1 被験者

本研究は，腰部から下肢に怪我などの既往歴がない健康な被験者 6 名（男性 3 名，女性 3 名，平均年齢 22.5 ±0.7 歳）に協力を得た。本研究は明治大学理工学部の

ヒトを対象とした実験研究に対する倫理審査委員会の承認（承認番号理工安倫 16 第 527 号）を得ており，実験前には被験者にインフォームドコンセントを十分に行い，文書による承諾を得た者のみ被験者とした。

2.2　DCS による筋血流計測

2.2.1　DCS の原理

筋血流の計測法である DCS は，近赤外光を用いた血流速度計測の手法である[20]。人体に無害な近赤外光（波長 785 nm）を体表面から入射し，毛細血管中の赤血球による拡散を受けて再び体表面に戻ってきた赤血球の光子数を検出し，時系列変化から血流速度指標（blood flow index: BFI）を算定する。レーザー装置によって入射した近赤外光の光子は，生体内の組織を吸収と散乱を繰り返しながら進み，受光プローブを通じて光子数計測器（photon counter）に送られる（図 2）。photon counter で検出された光子数のデータは，コンピュータに送信され拡散光強度の関数として記録される。この光強度の時間変化情報（自己相関関数）を用いて，光が照射された範囲の組織体積における血流速度が BFI として算出される。安静時など非活動状態では光の照射体積は常に一定とみなせるため，BFI は組織血流量の指標ともとらえることができる。

BFI は，血流計測結果として一般的な流量や速度の形ではなく，血流速度の相対値（平均血球移動量）という形で得られる。また，近赤外光は皮膚の表面から照射され，同じく皮膚表面に戻ってきた光子を計測していることから，生体深部の血流動態のみが計測結果に反映されるわけではなく，皮膚の血流動態も含んだプローブ間距離の約半分の深さまでの血流動態が反映される[21]。

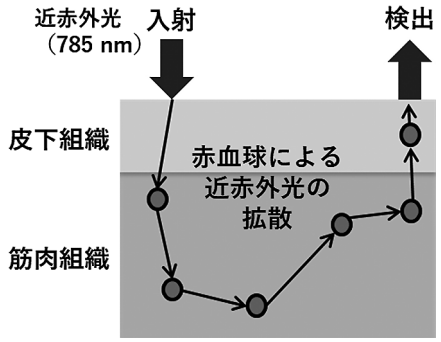


図 2　生体内における近赤外光の入射・拡散と検出

2.2.2　DCS の装置

本研究で使用した DCS 装置を（図 3a）に示す。生体に入射する近赤外光（波長 785 nm）は CrystaLaser 社の NIR Laser DL785-100-S（図 3a 右）により発生させた。近赤外光は入射プローブ（FT400EMT, Thorlabs Japan Inc.）により体内へ入射され，体内を拡散した光子数の時間変化を受光プローブ（S630-HP，Thorlabs Japan Inc.）ならびに Photon counter（count-T, LASER COMPONENTS）（図 3a 左）により検出した。プローブ間距離を 30 mm に設定したゴム板プローブホルダー（図 3b）を使用し，プローブホルダーを伸縮性マジックバンドで右大腿部後面中 1/3 中央部に装着した。手技療法中はプローブを外し，手技療法の前後で同位置に装着した（図 3c）。BFI は 1 秒ごとに計測した。これらの光子データの検出・記録ならびに BFI の算出には計測機器制御用プログラミング言語 Laboratory virtual instrument engineering workbench（LabVIEW）と数値解析プログラミング言語 MATLAB により開発した専用のソフトウェアを用いて行った[14]。

2.3　角度計による関節角度の計測

股関節の屈曲角度計測には傾斜計（DUALAR IQ Inclinometer, ZEVEX）を用いた。本装置は角度基準機と角度センサーに分かれた傾斜計で，角度基準機に対する角度センサーの傾きによる変化で角度が計測される。傾斜計の設置箇所は，角度基準機を右股関節外側部（大転子部）に設置し，角度センサーを右下腿下 1/3 外側部の下肢伸展位固定器具上に設置した（図 4）。股

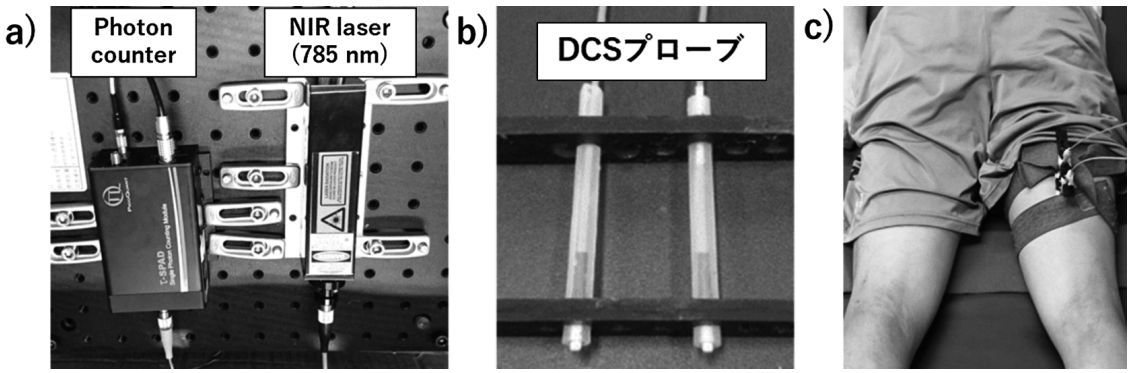


図 3　a）DCS の装置，b）DCS 光ファイバープローブとプローブホルダー，c）プローブ装着写真

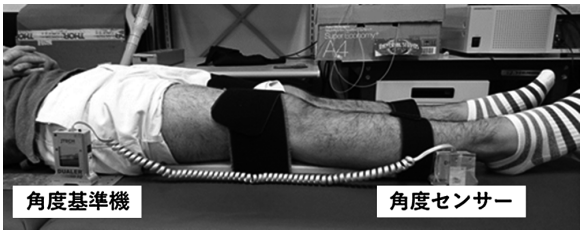


図4　傾斜計とマジックテープによる膝関節屈曲防止板の固定

関節屈曲時に膝関節が屈曲しないように両側の下肢後方に木製板を置き大腿部と下腿部をベルトで固定し，膝関節を伸展位固定とした。また，股関節を屈曲させない左下肢はベッドに固定した。

2.4　VAS の計測

被験者の主観的疼痛感は Visual Analogue Scale（VAS）を用いて評価した[22]。VAS は 0 ～ 100 mm の直定規にツマミが装着されたものであり，下肢後部の筋群の伸張時に無痛時の場合を最小（0 mm），耐えられない程度の痛みを感じた場合を最大（100 mm）とした。被験者は，実験終了後に VAS のツマミを操作して VAS 値（mm）を申告した[2]。

2.5　柔道整復師による手技療法

手技療法は，柔道整復師国家資格を有する者 1 名が行った。そして手技療法のうち，柔道整復学・理論編[23]に基づき軽擦法（開始と終了 30 秒ずつ合計 1 分間），揉捏法（2 分間），圧迫法（2 分間）を実施し，手技療法の範囲は右殿部～右大腿部後面～右下腿部後面までとした。軽擦法とは術者の手掌を体表に密着させ，末梢から中枢に向かって平らに撫で擦する方法で皮膚に機械的刺激を与えることにより，感覚神経を興奮させ，皮下の血流促進をもたらし，疼痛を緩和する擦る動作を行う手技療法である。揉捏法とは母指と四指の掌面および手掌との間に筋をつかみ，圧搾する動作を繰り返し，遠位から近位方向へ進め，主として筋の柔軟性の向上や血流を促進させるための揉みほぐす動作を行う手技療法である。さらに，圧迫法とは指頭部や手根部を用いて数秒間の持続圧や静止圧を与え，筋の柔軟性の向上をもたらす手法で指圧法とも言われる。手技療法中はリラックスした状態とした。

2.6　実験手順

被験者に傾斜計を装着し，ベッド上で背臥位安静とした。そして以下の手順で計測を行った。被験者は手技療法を行った場合（実験群）と行わない場合（対照群）の両方を計測し実験を遂行した。

手技療法前における股関節屈曲と VAS 計測は背臥位にて被験者が両足をベッドに置いた状態から，「下肢の筋の伸張による痛みが最大である」と感じるまで右股関節を屈曲し，股関節屈曲角度と VAS 値を計測した（Pre 屈曲時）。被験者の痛みが最大であるとの意思表示をするサインは，右手指 2 ～ 5 指の伸展動作とした。最大屈曲角に至った後はゆっくりと右足をベッド上に戻した。続いて被験者を腹臥位とし，DCS プローブを右大腿部後面中 1/3 中央部に装着し，手技療法前の安静時の筋血流を 5 分間計測した（Pre 安静時）。その後，被験者を腹臥位のまま柔道整復師による手技療法を行った。

手技療法終了後，被験者腹臥位のまま，DCS プローブを Pre 安静時と同様な部位に装着し，手技療法後の安静時の筋血流を 5 分間計測した（Post 安静時）。最後に被験者を腹臥位から背臥位に体位変換し，Pre 屈曲時と同等の股関節屈曲角度まで右股関節を屈曲し，VAS 値を計測した（Post 屈曲時）。所定の屈曲角度に至った後はゆっくりと右足をベッド上に戻した。

対照群は手技療法を介入せず，腹臥位の状態で 5 分間安静とし，それ以外は実験群と同じ手順で計測を行った。

2.7　データ解析

被験者個々の繰り返し計測によるデータのばらつきを確認するため，実験群と対照群の Pre 安静，対照群の Post 安静の BFI 平均値と標準偏差を算出し変動係数を求めた。DCS で計測される BFI は感度が高いため，安静時の微細な体動によって生じる筋収縮の影響も筋血流の変化として計測される。本研究では，安静時の筋弛緩状態での筋血流の計測を目的とするため，体動による筋収縮で計測された BFI データをノイズとみなして解析から除外した。筋収縮時 BFI を判定した基準は，腹臥位安静で計測した BFI 平均値の 3 倍以上の BFI の増大が見られたものとした。これらのノイズ除去を行った後，被験者ごとに Pre 安静時の 0 ～ 300 秒間をベースラインとして正規化した。そして，各被験者の実験群と対照群のそれぞれ Post 安静時の平均値を算出したものを正規化 BFI 変化量のデータとした。

被験者の正規化 BFI 変化量と股関節屈曲時の VAS 値に対してそれぞれ Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性の検定を行った結果，正規化 BFI 変化量においては正規性に従っていなかったため，中央値を 1 とした 1 標本のウィルコクソン符号付順位検定を行った。一方，VAS 値においては，正規性に従っていたので，Pre 屈曲時と Post 屈曲時の差分値について 1 標本の t-test を行い，危険率 5%（$p<0.05$）水準で有意差を判定した。

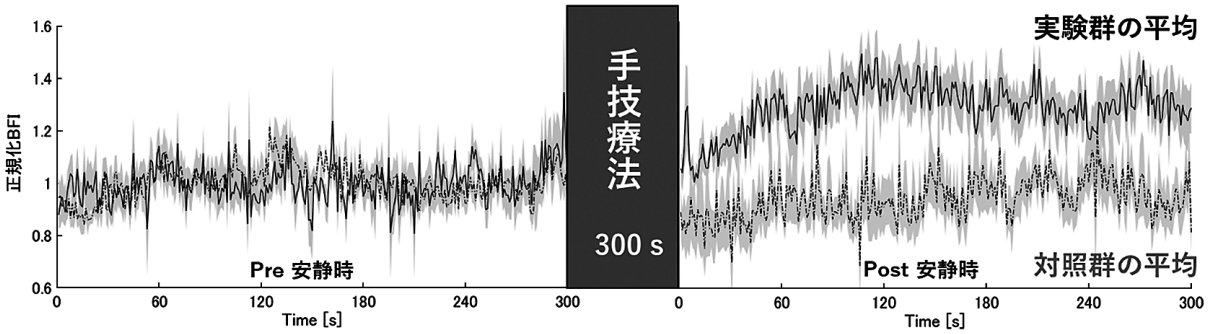


図 5　実験群と対照群における Pre 安静時と Post 安静時の正規化 BFI の手技療法前後における比較（全被験者の平均，手技療法施術中の正規化 BFI は省略している）。

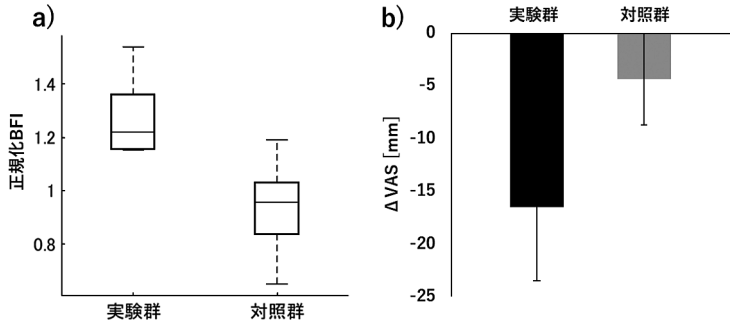


図 6　手技療法前後での安静時筋血流指標と股関節屈曲時の主観的疼痛感覚の比較。a）実験群と対照群の Post 安静時の正規化 BFI の結果（箱ひげ図の中央線が中央値を，箱の大きさが四分位点を表す）。b）実験群と対照群の Pre 屈曲時と Post 屈曲時の VAS 値の差分（ΔVAS）の結果（平均値 ± 標準誤差）。

3. 結　　果

被験者 6 名の変動係数の平均値は，0.32 であった。実験群と対照群の BFI を正規化し全被験者で平均した波形の Pre 安静時，Post 安静時の正規化 BFI の推移を図 5 に示した。

本研究で用いた DCS は血流指標の計測であり，計測値は血流の相対速度を示す。実験群では手技療法前後で大腿部後面の血流速度が増加の推移を呈していた。一方，手技療法をしない対照群では大腿部後面の血流速度の増加は認められなかった。

実験群と対照群の Post 安静時の正規化 BFI，実験群と対照群の Pre 屈曲時と Post 屈曲時の VAS 値の差分値をまとめた結果を図 6 に示した。実験群と対照群の Post 安静時の有意な差は認められなかったが，実験群の手技療法前後の大腿部後面の血流計測では，Pre 安静時に比べ Post 安静時で有意な増加が認められた（$p<0.05$）。一方，手技療法を行っていない対照群には有意差は見られなかった。VAS 値において実験群では，Post 屈曲時における疼痛感覚が Pre 屈曲時と比べて減少する傾向が確認されたが（$p=0.08$），対照群では認めなかった（$p=0.41$）。

4. 考　　察

本研究では，柔道整復師による手技療法の施術前後において，血流の指標である BFI の変化，主観的疼痛感覚である VAS 値，施術による筋の柔軟性変化の指標である股関節屈曲角度を計測し，手技療法による筋血流の変化を新しい血流計測技術である DCS を用いて骨格筋血流変化の定量的に評価する方法について検討した。

手技療法前の Pre 屈曲時では，被験者が「苦痛で耐えられないのでやめてほしい」とサインを出すまで股関節を屈曲し，下肢後部の筋群を伸張させ股関節屈曲角度と VAS 値を計測した。その後，手技療法を行い手技療法後の Post 屈曲時で Pre 屈曲時と同角度まで股関節を屈曲した際には，VAS 値は減少傾向を示した。被験者数 27 名で本実験と同様な股関節屈曲による VAS 値計測を行った私たちの研究[2]では，実験群の Pre 屈曲時と Post 屈曲時において有意な減少を示していた。しかし，その実験の被験者数に対して本実験では被験者数が少なかったため，実験群の Post 屈曲時で VAS 値の有意な減少に至らなかったものと考える。Pre 屈曲時に対する Post 屈曲時の主観的疼痛感の減少は，股関節の屈曲にかかわる下肢後部の筋群の柔軟性が 5 分間の手技療法により向上した結果であると考えられ

る。これは手技療法によって感覚受容器を刺激し，ホフマン反射の変化（H- 反射）の振幅や神経興奮性の減少，筋緊張の減少を示した先行研究[24]や，手技療法前後の関節可動域を計測し，静的な柔軟性の増加を示した先行研究と一致する[25)26)27)]。今後は被験者数を増やし実験を遂行したい。一方，DCS を用いて手技療法前後の大腿部後面の筋血流速度を計測した結果は，手技療法の Pre 安静時に比べ Post 安静時で大腿部後面の筋血流速度が約 27％上昇し有意な増加を示した。足関節最大屈曲力の 30％の筋収縮力で 1 分間に 10 回の足関節の等尺性屈曲運動を行った際の腓腹筋内側部の筋血流の変化を計測した研究[28]では，運動中は約 60％の血流速度の上昇をみたが，運動終了後の安静時には血流速度は急速に低下し，さらに 10 秒後には運動前のベースラインに戻ったとのことであった。一方，本研究では手技療法後から血流速度が徐々に上昇し，Post 安静時間である 5 分間では手技療法前のベースラインには戻らなかった（図 5）。今回の実験で 5 分間の手技療法により得られた血流速度の増大の程度は，低強度（最大強度の 10％程度）の持続的な筋運動を施行した直後の血流速度増加量とほぼ同一であった（未発表データ）。DCS は，生体組織の血行動態を非侵襲的に測定するための光計測技術であり，放出された近赤外光が伝播する組織内の血流の平均速度（BFI）を推定している。特に皮膚の表層から筋が存在する深層までの末梢血流の変化を捉えることができるものである[28]。以前に報告があった手技療法による血流変化を計測した研究では，手技療法は筋肉の血流に影響を与えなかったことが示された[29)30)]。これらの研究で使用された超音波ドップラー法では，大動脈および静脈の血流変化を検出したが，手技療法の影響を受け得る筋肉の微小循環，いわゆる末梢血流が検出されず，手技療法は筋肉の血流増加に期待できないため有益ではないと示していた。しかし，本研究で使用した DCS は，手技療法前後の末梢血流の変化を捉えることができ，手技療法による血流の増加の反応は，皮膚や筋組織への機械的な圧力であるポンプ作用によって身体への静脈還流を促進させ，末梢の血流が増加したものと考える。血流の増加によって各組織の代謝が改善されることで，筋肉内の疲労物質の除去，必要な酸素や栄養の供給，筋肉疲労の回復効果が期待でき，それに伴って運動機能の維持や向上がもたらされているものと考えられる[4]が，今回は血流指標のみの計測であり代謝的要因については検討が必要である。今後は，血流の変化と合わせて筋肉内の酸素動態や全身の自律神経反応についても検討を行い，これも併せて研究を遂行したい。

本研究では，DCS 計測を用いて手技療法の評価に係る応用を試みた。長年にわたり，手技療法の評価は術者の感覚や患者の主観に委ねられていたが，手技療法前後の局所筋血流の変化を計測し定量化する応用に成功した。これは手技療法を処方する臨床現場において，術者の手当てによってもたらされた治療部位の血流変化を科学的な根拠のもと客観的に評価できるため，患者にとって最適な手技療法を選択できる一助となり，DCS 活用への一歩となると考えられる。

5. ま と め

DCS 技術を用いて手技療法前後の局所筋血流の変化を定量的に評価した。5 分間の手技療法前後の股関節屈曲試験において，光計測技術である DCS を使用し，手技療法前後の筋血流速度の変化を計測した。手技療法前後で筋血流速度の有意な増加がみられた。今後，DCS による筋血流計測は，手技療法の効果を客観的に評価できるものとして臨床応用に期待したい。

6. 謝　　辞

本研究は科研費（助成金番号 JP 17K19932）と立石科学振興財団（助成金番号 2177005）から支援を受けて行った。

7. 文　　献

1) Paul A. Dolder', David L. Roberts: A trial into the effectiveness of soft tissue massage in the treatment of shoulder pain. Australian Journal of Physiotherapy 49: Issue 3, 183–8, 2003.
2) 松田康宏，鈴木達也，小野塚實，小野弓絵：脳機能計測による手技療法の疼痛緩和効果の評価．生体医工学 55 巻 1: 1–8, 2017.
3) Sizuto Masunaga: The position of Siatsu therapy in Oriental Medicine. Journal of the Japan Society for Oriental Medicine 17 Issue 2: 66–9, 1966.
4) 星　虎男：スポーツマッサージ―スポーツマンの障害の予防と記録の向上のために―．医療保健学研究 2: 1–19, 2011.
5) Hidetoshi Mori, Hideo Ohsawa, Tim Hideaki Tanaka, Eiichi Taniwaki, Gerry Leisman, Kazushi Nishijo: Effect of massage on blood flow and muscle fatigue following isometric lumbar exercise. Medical Science Monitor 10(5): 173–8, 2004.
6) Susan B. Howard, Sheama Krishnagiri: The Use of Manual Edema Mobilization for the Reduction of Persistent Edema in the Upper Limb. Journal of Hand Therapy 14 Issue 4: 291–301, 2001.
7) Peter M. Tiidus: Manual Massage and Recovery of Muscle Function Following Exercise: A Literature Review. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 25 Issue 2: 107–12, 1997.
8) Andrea P Soto, Lindsey E. Eberman, Timothy J Demchak, Charles R Peebles: Comparison of blood flow changes with soft tissue mobilization and massage therapy. Journal of alternative and com-

plementary medicine 20(12): 932–936, 2014.
9) Koji Iwamoto, Masafumi Mizukami, Yasutsugu Asakawa, Masaharu Yoshio, Ryo Ogaki, Masahiro Takemura: Effects of friction massage of the popliteal fossa on dynamic changes in muscle oxygenation and ankle flexibility. Journal of Physical Therapy Science 28(10): 2713–2716, 2016.
10) Alan D Kaye, Aaron J. Kaye S Baluch, Brad A. Bawcom, Thomas J. Lambert, Jason M. Hoover: The Effect of Deep-Tissue Massage Therapy on Blood Pressure and Heart Rate. The Journal of Alternative and Complementary Medicine 14(2): 125–128, 2008.
11) Daniel A. Reuter, Cecil Huang, Thomas Edrich, Stanton K. Shernan, Holger K. Eltzschig,: Cardiac Output Monitoring Using Indicator-Dilution Techniques: Basics, Limits, and Perspectives. Anesthesia & Analgesia 110 Issue 3: 799–811, 2010.
12) David J. B. Thomas, Elias Zilkha, Sheila Redmond, G.H. Du Boulay, John Marshall, Ralph W. Ross-Russel, Lindsay Symon: An intravenous 133Xenon clearance technique for measuring cerebral blood flow. Journal of the Neurological Sciences 40 Issue 1: 53–63, 1979.
13) Scott T. Grafton, John C. Mazziotta, Sharon Presty, Kart J. Friston, Richard S. J. Frackowiak, Michael E. Phelps: Functional Anatomy of Human Procedural Learning Determined with Regional Cerebral Blood Flow and PET. Journal of Neuroscience 12 (7): 2542–8, 1992.
14) 平井都始子，阪口昇二，東浦渉，伊籐博文，市橋成夫，吉川公彦：末梢血管における超音波検査の進歩と現状．THE JOURNAL of JAPANESE COLLEGE of ANGIOLOGY. 49: 523–8, 2009.
15) 工藤與亮：CT/MRI による定量解析．日獨医報 59(2): 105–114, 2014.
16) Turgut Durduran, Arjun G. Yodh: Diffuse correlation spectroscopy for non-invasive, micro-vascular cerebral blood flow measurement. NeuroImage 85: 51–63, 2014.
17) 山本克之：近赤外分光法を用いた筋組織酸素動態の計測．顎機能誌 12: 93–99, 2006.
18) Guoqiang Yu, Thomas F. Floyd, Turgut Durduran, Chao Zhou, Jiongjiong Wang, John A. Detre, Arjun G. Yodh: Validation of diffuse correlation spectroscopy for muscle blood flow with concurrent arterial spin labeled perfusion MRI. Optics Express 15: 1064–1075, 2007.
19) Meeri N. Kim, Turgut Durduran, Suzanne Frangos, Brian L. Edlow, Erin M. Buckley, Heather E. Moss, Chao Zhou, Guoqiang Yu, Regine Choe, Eileen Maloney-Wilensky, Ronald L. Wolf, M. Sean Grady, Joel H. Greenberg, Joshua M. Levine, Arjun G. Yodh, John A. Detre, W. Andrew Kofke: Noninvasive Measurement of Cerebral Blood Flow and Blood Oxygenation Using Near-Infrared and Diffuse Correlation Spectroscopies in Critically Brain-Injured Adults. Neurocrit Care 12: 173–180, 2010.
20) Mikie Nakabayashi, Yumie Ono: Detection of Blood Flow Speed in Shallow and Deep Tissues Using Diffuse Correlation Spectroscopy. Advanced Biomedical Engineering 6: 53–8, 2017.
21) Rickson C. Mesquita, Steven S. Schenkel, David L. Minkoff, Xiangping Lu, Christopher G. Favilla, Patrick M. Vora, David R. Busch, Malavika Chandra, Joel H. Greenberg, John A. Detre, A. G. Yodh: Influence of probe pressure on the diffuse correlation spectroscopy blood flow signal extracerebral contributions. Biomedical Optics Express 4: 978–94, 2013.
22) 平川奈緒美：痛みの評価スケール．Anesthesia 21 Century 13: 2–40, 2011.
23) 社団法人全国柔道整復学校協会教科書委員会：柔道整復学理論編改訂第 5 版．101–3, 2009.
24) Moreno Morelli, Derek E. Seaborne, S. John Sullivan: Changes in H-reflex amplitude during massage of triceps surae in healthy subjects. JOURNAL of Orthop Sports Phys Ther 12(2): 55–9, 1990.
25) Leivadi S, Hernandez-Reif M, Field T: Massage therapy and relaxation effects on university dance students. JOURNAL of Dance Med; 3(3): 108–12, 1999.
26) Meredith Nordschow, William Bierman: The influence of manual massage on muscle relaxation: effect on trunk flexion. American Journal of Physics 42(10): 653–7, 1962.
27) Margareta W. Moller, Birgitta Oberg, Jan Ekstrand: Effects of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. The American Journal of Sports Medicine 11(4): 249–52, 1983.
28) Zhe Li, Wesley B. Baker, Ashwin B. Parthasarathy, Tiffany S. Ko, Detian Wang, Steven Schenkel, Turgut Durduran, Gang Li, Arjun G. Yodh: Calibration of diffuse correlation spectroscopy blood flow index with venous-occlusion diffuse optical spectroscopy in skeletal muscle. Journal of Biomedical Optics 20(12): 125005, 2015.
29) Peter M. Tiidus, J. Kevin Shoemaker: Effleurage massage, muscle blood flow and long term post-exercise recovery. International Journal of Sports Medicine 16(7): 478–83, 1995.
30) J. Kevin Shoemaker, Peter M. Tiidus, Richelle Mader: Failure of manual massage to alter limb blood flow: measures by Doppler ultrasound. Medicine & Science in Sports & Exercise 29(5): 610–4, 1997.

〈連絡先〉
著者名：松田康宏
住　所：日本体育大学保健医療学部整復医療学科
所　属：神奈川県横浜市青葉区鴨志田町 1221-1
E-mail アドレス：ymatsuda@nittai.ac.jp