

機関番号：21102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500598

研究課題名(和文)四肢運動・物理療法の毛細血管血流への影響

研究課題名(英文)Capillary blood flow velocity after aerobic exercise and physical therapy

研究代表者

渡部 一郎(Watanabe, Ichiro)

青森県立保健大学・健康科学部・教授

研究者番号：50241336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：リハビリ治療では、疾患や障害に合わせ、運動強度や物理療法の種類や強さを設定する。近年開発された毛細血管顕微鏡観察装置では非侵襲的に毛細血管血流速度が定量化できる。この臨床的意義を検討した。健康人の手指冷水負荷後毛細血管血流速度は皮膚温の改善とともに上昇した。姿勢保持や介入困難な脳性麻痺症例では障害側手指の毛細血管血流速度低下を認めた。

糖尿病では毛細血管の狭小、変形などの形態学的異常と、有意の毛細血管血流速度低下が示された。糖尿病の有酸素運動では、毛細血管血流速度が改善し微小血管循環の治療への有用性が示された。

研究成果の概要(英文)：We evaluated morphology and blood flow velocity using peripheral capillary observation with microscopy and thermography after physical therapy. We observed the capillaries in the proximal nail folds of the 4th finger of 27 patients with diabetes mellitus and analyzed capillary blood flow velocity. We performed thermography on both hands. The patients performed bicycle ergometer exercise tests to evaluate the mean value of their 4th finger temperature, capillary blood flow velocity before and after exercise. The results indicated that ergometer exercise tests significantly increased the temperature using thermography and capillary blood flow velocity. In conclusion, the improvements in peripheral blood flow were easily observed with M320 and thermography.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：末梢循環 サーマグラフィ 毛細血管血流 糖尿病 脳性麻痺 自律神経 有酸素運動 物理療法

## 様式 C-19, F-19, Z19(共通)

### 1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション治療では、疾患や障害の重症度に、最適な運動強度や物理療法強度(種類・量や時間)を定める必要がある。申請者はこれまで運動療法や物理療法の効果を、電流疼痛閾値、体表温(サーモグラフィ)、自律神経機能(局所発汗量計測)や運動強度や作業達成率などで評価しリハビリテーション診療に応用してきた(平成17-19年度基盤研究C,平成20-22年度基盤研究B)。糖尿病およびその予備軍である生活習慣病では栄養指導とともに、有酸素運動療法が重要である。適切な有酸素運動療法の処方には、合併症や病態、治療内容を把握し、各人に適正な運動強度を示す必要がある。糖尿病患者は、微小血管病変が予後を規定するため、3大合併症(網膜症・神経症・腎症)・足病変がある場合、高強度の運動強度は禁忌とされる。運動療法の強度指標である心拍数のみでは安全性を優先し低強度運動療法を取らざるを得なかった。実際の毛細血管の血流観察が可能ならば、より精密な運動処方が行える。近年、非侵襲性に手指爪上皮部毛細血管を顕微鏡観察、録画し、PCの動画解析で赤血球の移動速度(血流速度)を定量する手法が報告され、病態の評価や有酸素運動評価に利用できる。

### 2. 研究の目的

非侵襲性の末梢毛細血管観察装置、サーモグラフィを用い毛細血管の形態学的異常を評価し、毛細血管血流速度の臨床的な測定法を開発する。

温熱寒冷療法・運動負荷による末梢循環動態について毛細血管血流速度や皮膚温の経過を観察し、その意義や計測法を確立する。

自転車エルゴメーターによる運動療法について、健常人や糖尿病患者の有酸素運動前後で、毛細血管血流速度を計測した。

### 3. 研究の方法

(1)健常人30例(男性14例,女性16例,年齢 $49.9 \pm 19.9$ (平均 $\pm$ 標準偏差;以下同様)歳)と糖尿病例15例(男性13例,女性2例,  $59.6 \pm 10.6$ 歳、経口糖尿病薬2例、インスリン自己注射12例)について、恒温馴化後(25-50%)の安静時の右手第4指の爪上皮部の毛細血管を観察し、血流速度を検討した。

M320では11秒間の血流観察動画をPC画像解析し赤血球の移動速度で短時間に毛細血管血流速度を算出できる。

(2)温熱物理療法による生理反応を調べるため、冷水0-10秒間の冷水負荷試験前後の毛細血管血流速度の変化を検討した。

(3)健常人(男子学生7名)に対する自転車エルゴメータ(AEROBYKE75XL,ME,COMBIWELLNESS社)を用いた有酸素運動による効果を、呼吸代謝装置(Vmax29c, Sensormedics社)を用い、酸素消費量、呼気二酸化炭素排出量、運動強度、嫌気性呼吸代謝閾値、最大運動量、総運動量、消費カロリー、心拍数などの運動強度の指標と手指温(FLIR620SC, FLIR社),手指爪上皮部毛細血管血流速度(以下毛細血管血流速度)を検討した。運動介入前後で第4指の同一の毛細血管血管を選択し血流速度を求めた。

(4)A病院治療中の27例の糖尿病患者で同様に、理学療法室で恒温馴化後、エルゴメータによる有酸素運動療法を施行し、両手サーモグラフィ、毛細血管血流速度を検討した。

(5)脳性麻痺障害児(者)は、検査のための姿勢変化や保持が困難なうえ、採血や検査機器の装着などの使用や疼痛を恐れ拒否するため、障害や訓練の到達度の評価は困難であった。障害手指は、随意性に乏しく、痙攣麻痺による拘縮や皮膚温低下が示される。A病院入院中の脳性麻痺9例に対して、両手サーモグラフィ(Flir-i5, FLIR社)自律神経機能・血管弾性度(SA-3000P, 東京医研製)を検討した。

### (6)倫理的配慮

対象者には、目的、個人情報保護についてインフォームドコンセントを行い、文書により同意が得られた者に対して研究を行った。

本研究は、青森県立保健大学研究倫理委員会(承認番号:11035, 1109, 1012-5)、A病院倫理委員会(平成23年3月3日,平成24年3月31日)の承認を得た。

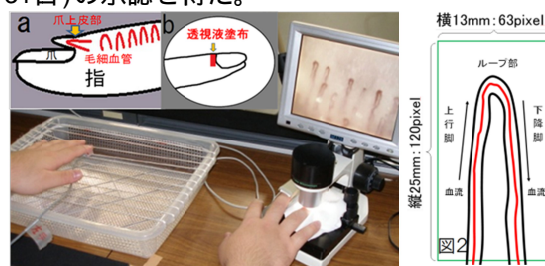


図 1.2.毛細血管観察装置 M320 と血流速度観察部位

### 4. 研究成果

#### (1)健常人と糖尿病例の毛細血管形態

計測には鮮明な毛細血管を選択し、解析領域枠(縦25×横13mm:縦120×横63pixel)で囲む。解析領域枠上部と毛細血管ループ部の距離はPC画面上5mm(24pixel),動脈脚(上行脚)、静脈脚(下降脚)は、解析領域枠の底辺に位置させた。ループ部では赤血球が変形移動する様子が観察される(図1,2)。

健常人で多くみられる明瞭なループの毛細

血管像(図3A)に対し、糖尿病例では、短い毛細血管(B)、細く上行脚、下降脚の区別が難しい交叉した毛細血管(C)、細く複雑な走行、交叉を示す毛細血管(D)が示された。

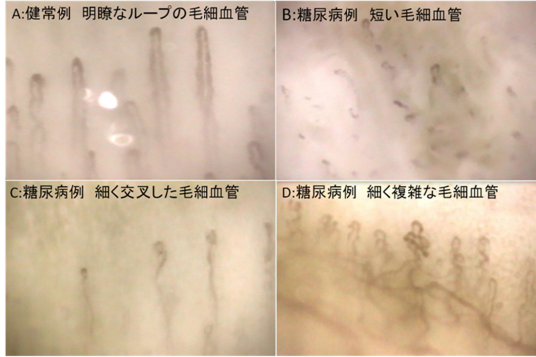


図3. 糖尿病例の毛細血管像

糖尿病の毛細血管血流速度は健常人に比べ有意の低下を示した。健常人では、収縮期血圧が高いほど毛細血管血流速度は高値を示した( $p < 0.05$ ,  $r = 0.40$ ,  $n = 28$ )。HbA1cが高い糖尿病重症例では毛細血管血流速度は低下した(図4,  $p < 0.05$ ,  $r = -0.72$ ,  $n = 18$ )。

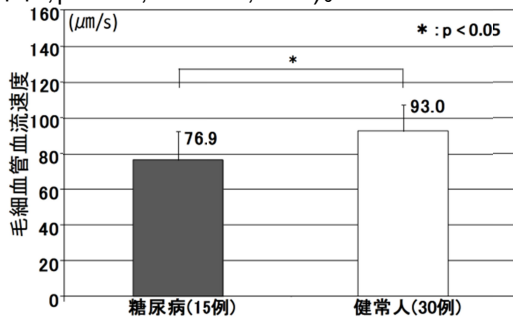


図4. 糖尿病と健常人の毛細血管血流速度

(2) 0-10秒間の冷水浸水負荷後の毛細血管血流は有意の血流速度の増加が示された。

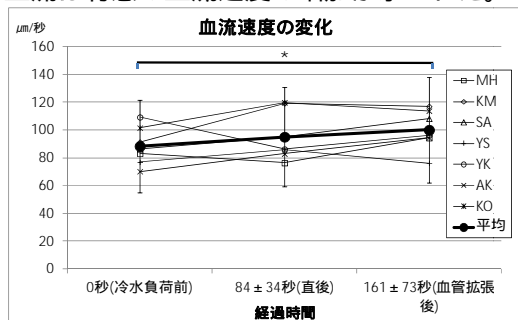


図5. 冷水負荷後の毛細血管血流速度

(3) 7例の男子大学生で最大運動負荷試験を行い、呼吸代謝閾値から求めた有酸素運動強度は平均4.6METsであった。それぞれの運動強度の有酸素運動を20分間施行(図6)し、運動前の毛細血管血流速度は $124.6 \pm 3.4 \mu\text{m/s}$ から

$133.1 \pm 2.22 \mu\text{m/s}$ に有意に増加した。

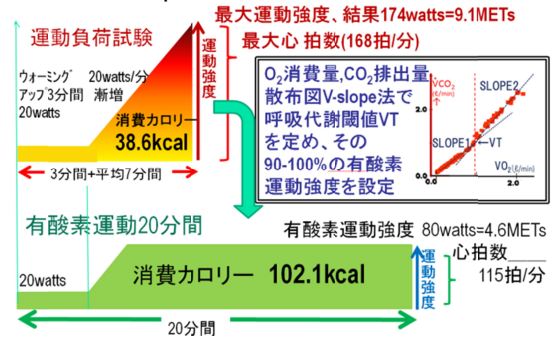


図6. 呼吸代謝閾値による有酸素運動強度の設定

(4) 糖尿病の有酸素運動療法では、運動前にサーモグラフィ上低温の症例でも運動後には指尖部の皮膚温上昇を示した。図7に示す症例では爪上皮部の平均皮膚温は25.4から有酸素運動後33.5に上昇した。毛細血管血流速度は運動前 $50.5 \pm 17.2 \mu\text{m/s}$ から有酸素運動後 $64.5 \pm 16.8 \mu\text{m/s}$ に増加した。また毛細血管形態において管腔が有酸素運動後拡張することが観察された。

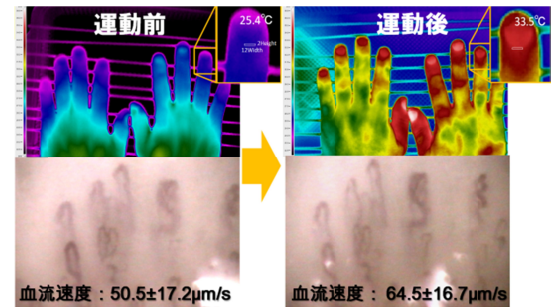


図7. 糖尿病例(40歳, 罹病期間5年間, 体重93.5kg, HbA1c, 12.2%, インスリン治療中)

糖尿病27例の有酸素運動療法では、有酸素運動後の毛細血管血流速度 $108.8 \pm 29.4 \mu\text{m/s}$ は、有酸素運動前の毛細血管血流速度 $104.2 \pm 31.5 \mu\text{m/s}$ より有意の増加を示した。多くの症例で運動前には、観察困難な細い血管が有酸素運動後拡張し形態の変化が観察された。

(5) 9例の脳性麻痺障害児(者)について非侵襲性のサーモグラフィ、顕微鏡観察による毛細血管血流速度を施行し得た。3分間を要する脈波計による自律神経機能は症例の多くが不動の維持が困難であったが、サーモグラフィや毛細血管血流観察や11秒間要する血流速度計測は可能であった。健常人に比べ毛細血管密度が低く管腔が細く血流速度の低下を認めた。手指温は随意性低下・痙性亢進などの障害により低下が示された。

(6) 結論

糖尿病や脳性麻痺児(者)の毛細血管は、細く、蛇行し、密度が低いことが示された。毛細血管血流速度の比較は、毛細血管形態が障害されているため、困難であった。糖尿病の有酸素運動では、細く蛇行する血管が拡張する様子を認めた。毛細血管観察は、血流速度定量の意義もあるが、患者と対面で同じ PC 画面で自身の血管の様子や有酸素運動後の改善が理解できる点で運動療法の有用性と指導において、今後の研究で行動変容にも有用な装置であることが示された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文](計 18 件)

渡部 一郎, 下山諭史, 勘林秀行, 長門五城, 渡部 朋子: 肩手症候群を呈する脳卒中患者に対する頸腕部温熱療法と上下肢運動療法が交感神経機能に与える影響. Biomedical Thermology, 査読有, 30(2), 35-40, 2011

渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎, 桑田侑衣, 長門五城: 接触性温熱・寒冷刺激による電流知覚閾値および自律神経の変化について. Biomedical Thermology, 査読有, 30(2), 41-46, 2011

長門五城, 渡部 一郎: 車いす坐位時の体幹パッドの使用が皮膚表面温度に与える影響. Biomedical Thermology, 査読有, 30(2), 47-52, 2011

渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎: 手指の毛細血管血流観察と定量化の臨床的意義. Biomedical Thermology, 査読有, 31(2), 39-43, 2012

渡部 一郎, 高橋康博, 三浦雅史, 林正春, 清水兼悦: 臨床医家に必要なリハビリテーションの実際. 日本 RA のリハビリ研究会誌 25(1), 96-98, 2011

三浦雅史, 川口徹, 渡部 一郎: 関節リウマチに対する介護予防トレーニングが運動機能向上に及ぼす影響. 日本 RA のリハビリ研究会誌 25(1), 67-71, 2011

長門五城, 渡部 一郎, 須郷磨衣子, 小倉良介: 上肢の自動・他動運動が生理機能に与える影響. 日本 RA のリハビリ研究会誌 25(1), 91-94, 2011

渡部 一郎: 物理療法のエビデンス. 総合リハ 39(4), 317-324, 2011

渡部 一郎: 臨床医家に必要なリハビリテーションの実際. RA のリハビリテーション医療の Overview. 日臨リウマチ会誌

三浦雅史, 川口徹, 渡部 一郎: 日常の疼痛を軽減する物理療法. 下肢装具. 日臨リウマチ会誌, 23, 228 ~ 232, 2011

渡部 一郎: 気候療法 特にマイナスイオン. 日温気物誌 75 (1), 31 - 32, 2011

渡部 一郎: 糖尿病のリハビリテーション. 今日のリハビリテーション指針. 医学書院, 299-302, 2013

渡部 朋子, 今淳, 鎌田英一, 長門五城, 渡部 一郎: 星状神経節近傍へのキセノン光照射が疼痛閾値, 交感神経機能へ与える影響. Biomedical Thermology 32(2), 査読有, 53-58, 2013

渡部 朋子, 今淳, 鎌田良夫, 三浦雅史, 長門五城, 渡部 一郎: 手指冷水浸漬負荷試験による手指毛細血管血流速度の変化. 日本 RA のリハビリ研究会誌 26(1), 64-68, 2012

渡部 一郎: リハに生かす温泉療法: 内科疾患. Journal of Clinical Rehabilitation 22(2), 139-147, 2013

渡部 一郎, 長門五城, 木村磨衣子, 渡部 朋子: 脳卒中肩手症候群の評価とアプローチ. Biomedical Thermology 32(2), 72-76, 2013

渡部 朋子, 松村菜緒子, 及川隆司, 今淳, 渡部 一郎: 重症心身障害児(者)における手指毛細血管観察の臨床的意義. 日本 RA のリハビリ研究会誌 27(1), 82-86, 2013

渡部 朋子・今淳・渡部 一郎: 糖尿病の有酸素運動による手指毛細血管血流速度の改善作用. Biomedical Thermology, 査読有, 33(2), 60-65, 2014

[学会発表](計 20 件)

長門五城, 渡部 一郎, 須郷磨衣子, 渡部 朋子: 車いす座位における体幹サポートの違いが皮膚表面温度と電流知覚閾値に与える影響. 日本生理人類学会第 64 回大会 2011.6.12 福岡市

長門五城, 渡部 一郎: 車いすにおける体幹パッドの使用が皮膚表面温度・電流知覚閾値に与える影響. 日本サーモロジー学会第 28 回大会 2011.6.25 秋田市  
渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎: 手指爪上皮の毛細血管血流速度の臨床的研究. 日本サーモロジー学会第 28 回大会 2011.6.25 秋田市

Ichiro Watanabe: PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF POLARIZED INFRARED PHOTOTHERAPY (招待講演), 25th Korean Thermology congress, 2011, 12, 10 (Seoul)

Tomoko Watanabe, Atsushi Kon, Ichiro Watanabe: Analysis of flow velocity in proximal nail folds, 25th Korean Thermology congress, 2011, 12, 10 (Seoul)

渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎: 毛細血管血流解析装置による手指爪上皮血流の臨床的研究. 日本温泉気候物理医学会平成 23 年度東北地方会 2011.12.3

I. Watanabe: PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF POLARIZED INFRARED PHOTOTHERAPY (招

待教育講演), Korean Physical Therapy congress(大館国民理学療法士協会招待講演), 2012,6,17(Daejeon city)

渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎, 松村 菜緒子, 及川 隆司: 重症心身障害児(者)における毛細血管観察の症例報告, 第 29 回日本サーモロジー学会(長岡), 2012,6,22

I. Watanabe, T.Watanabe, A.Kon: SYMPATHETIC NERVE BLOCK EFFECTS OF PHOTOTHERAPY NEAR STELLATE GANGLION, XII EAT Congress on Thermology, 5-8, September 2012, Porto, Portugal

T. Watanabe, A.Kon, I.Watanabe: Observation of blood flow velocity in proximal nail beds, XII EAT Congress on Thermology, 5-8, September 2012, Porto, Portugal

渡部 一郎: RA の新しい治療戦略とリハビリテーション(招待講演, 教育講演), 日本リハビリテーション医学会生涯教育講演(青森), 2012,9,30

渡部 一郎: 関節リウマチのリハビリテーション~最新の話(招待講演), 第 5 回基礎と臨床を結ぶ分子病態研究会, 東京, 2012,10,27

渡部 一郎: (招待教育講演)リハビリテーション医療とサーモグラフィ, 第 30 回日本サーモロジー学会(つくば), 2013.6.22

渡部 一郎, 大石 瞳, 長門 五城, 渡部 朋子: 有酸素運動が末梢循環動態に及ぼす影響について, 第 30 回日本サーモロジー学会(つくば), 2013.6.22

渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎: 糖尿病患者の有酸素運動療法後の手指爪上皮部毛細血管観察とサーモグラフィ, 第 30 回日本サーモロジー学会(つくば), 2013.6.22

渡部 一郎: リハビリテーション(理学療法・作業療法域)今できることできないこと(教育講演), 平成 25 年度リウマチの治療とケア研究会(リンクステーション青森), 2013.8.10

松村 菜緒子, 及川 隆司, 渡部 朋子, 今淳, 渡部 一郎: 当院の重症心身障害児(者)における皮膚温・毛細血管血流観察の症例報告, 第 67 回国立病院総合医学会, 金沢, 2013.11.8(ベストポスター賞)

I.Watanabe: Immunological and physiological effects of balneotherapy (招待), 39th. International Society of Medical Hydrotherapy (Kyoto, JAPAN), 2014.5.13

渡部 一郎, 長門 五城, 渡部 朋子: 有酸素運動と無酸素運動の末梢循環に及ぼす影響, 第 31 回日本サーモロジー学会(大阪), 2014.6.7

渡部 一郎: (教育講演)リハビリテーション医学と熱画像, 第 31 回日本サーモロ

ギー学会(大阪), 2014.6.6

〔図書〕(計 6 件)

渡部 一郎: 代謝・内分泌疾患のリハビリテーション, 今日のリハビリテーション指針, 医学書院, 297-299, 2013

渡部 一郎: 肥満のリハビリテーション, 今日のリハビリテーション指針, 医学書院, 302-304, 2013

渡部 一郎: 糖尿病のリハビリテーション, 今日のリハビリテーション指針, 医学書院, 299-302, 2013

渡部 一郎: リウマチ性疾患 9) リハビリテーション, 内科学第 9 版, 1249-1251, 2013, 朝倉書店(東京, ISBN:4254322607)

渡部 一郎: モーターコントロール第 4 版 4 章可塑性, 87-105, 2013, 医歯薬出版 (ISBN978-4-263-21431-2)

渡部 一郎, 藤本真記子: 看護技術がみえる Vol1. 基礎看護技術, 電法・冷電法, pp244-259, 2013, Medical Media (ISBN978-4-89632-511-9)

〔産業財産権〕

特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡部 一郎 (WATANABE ICHIRO)

公立大学法人青森県立保健大学・健康科学部・教授

研究者番号: 50241336

研究の計画・統括、論文作成・指導を行う

### (2) 研究分担者

長門 五城 (NAGATO ITSUKI)

公立大学法人青森県立保健大学・健康科学部・助教

研究者番号: 20457740

研究機器の組立・実験を行う

三浦 雅史 (MIURA MASASHI)

公立大学法人青森県立保健大学・健康科学部・講師

研究者番号: 90315557

補装具の考案・指導を行う