

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：34451

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18190

研究課題名（和文）非接触測定による内シャント血流評価と狭窄部位推定に関する研究

研究課題名（英文）A Study on the Evaluation of Blood Flow in Arteriovenous Shunts and Stenosis Locations Using Non-Contact Measurement

研究代表者

島崎 拓則（Shimazaki, Takunori）

滋慶医療科学大学・医療科学部・准教授

研究者番号：80833722

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：SN比で得た定量値による正常内シャントの基準範囲を示す。延べ人数206名を対象とした分布中央95%による正常内シャントの基準範囲は、0.18から2.26となり、平均値は1.19であることが明らかとなった。教師あり機械学習を用いた正常群と狭窄群の二値分類による混同行列では、正常シャントの正答率は92.3%、狭窄シャントの正答率は76.7%、狭窄シャントの誤り率は7.7%、正常シャントの誤り率は23.3%となり、狭窄判定の有効性が示された。穿刺部の輝度を5階調で変換したヒートマッピング技術を用いて、軽度狭窄から重度狭窄までの範囲を可視化する技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の血液透析患者は30万人を超え、高齢者では100人に1人である。透析療法には内シャントが必要だが、狭窄が問題である。内シャントの血流確保は重要で、狭窄は合併症や死を招くこともある。現在は聴診法と触診法で状態を確認しているが、非接触で狭窄を早期発見する技術の確立が求められている。内シャントに異常が確認されると、超音波診断で狭窄部位を特定し、薬剤療法や経皮的血管拡張術が行われるため、肉体的精神的負担が大きく生活の質を著しく低下させている。本研究は、非侵襲で狭窄の早期発見と狭窄部位の推定を行うことで、既存の問題解決に寄与する可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：This study shows the reference range of normal AVF based on quantitative values obtained from the SN ratio. The reference range for normal AVF, covering 95% of the distribution among 206 subjects, was found to be from 0.18 to 2.26, with an average value of 1.19. The confusion matrix of the binary classification between the normal group and the stenosis group using supervised machine learning revealed an accuracy of 92.3% for normal AVF, an accuracy of 76.7% for stenotic AVF, an error rate of 7.7% for stenotic AVF, and an error rate of 23.3% for normal AVF, demonstrating the effectiveness of stenosis detection. Additionally, by using a heat mapping technique that converts the brightness of the puncture site into five gradations, a technique to visualize the range from mild to severe stenosis was established.

研究分野：血液透析

キーワード：血液透析 内シャント 狭窄 非接触 早期検出 スリル

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

透析療法時に内シャントと呼ばれる動静脈を吻合した血管に送脱血用の穿刺を行い治療が行われている。安定した治療を行う上で、内シャントの血流確保は重要な要素である。内シャントが狭窄すると様々な合併症を引き起こし、最悪は死に至るケースもある。そのため、初期スクリーニングが重要となるため、治療前に、聴診器による聴診法と、指先でスリルと呼ばれる振動の大きさを触知する触診法による2種類の方法で内シャントの状態が確認されている。

これら方法は、簡便で確実な方法であるが、次の課題がある。

1. 聴診器を皮膚に当てる強さや角度、聴取者でシャント音が異なるため再現性に乏しい。
2. 定性判定しかできないため、定量判定やデータの共有が難しい。
3. 接触感染に配慮する必要がある。

異常が確認されると、シャントエコーと呼ばれる超音波診断装置で狭窄部位を特定し、強度な狭窄や閉塞が確認されると、ウロキナーゼなどの薬剤療法や、シャントPTAと呼ばれる経皮的血管拡張術が行われる。そのときの精神状態は「良好な透析ができなくなるかもしれない」「再手術かもしれない」という不安が生じている。このように、内シャントの狭窄は精神的・肉体的負担を伴う。

狭窄の早期発見と、狭窄部位の特定は、確立すべき重要な課題である。先行研究では、聴診器で取得されたデジタルデータを周波数解析し、正常音と狭窄音を判定する研究が以前から行われているが、定量化や狭窄判定を行える製品が未だない現状にある。

2. 研究の目的

カメラと光源を用いた非接触連続撮像による非侵襲測定を行い、内シャント脈波から、橈骨動脈による脈波成分とスリル成分を分離・解析し、内シャントの定量値を求めるアルゴリズムを確立し、内シャントの基準値と、カラーマッピングによる狭窄部位の視覚的判定法の確立を目的とし、既存法の聴診法と触診法に代わる新しい初期スクリーニング法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

青色光源をシャント肢に12.8秒間照射し、40fpsのフレームレートでTIFFファイルを得る。得られた画像ファイルは1ピクセルごとに波形を得ることができるが、皮膚で生じる乱反射ノイズを多く含むため、これを軽減するために113ピクセル×113ピクセルで移動平均処理した内シャント脈波を得る。

内シャント脈波波形は橈骨動脈脈波とスリル脈波で構成され、周波数解析を用いてこれらを分離し、それぞれの信号成分に対してSN比(Signal-Noise ratio)を求め、これを定量値とする。得られた定量値は正規分布ではないため、Box-Cox変換で補正し、正常内シャントの基準範囲を求める。次に、教師あり機械学習の1つであるGradient Boostingで正常群と狭窄群の二値分類を行い、混同図で判定精度を検証する。さらに、正常内シャントから狭窄に至った過程を輝度・階調変換したヒートマッピングで可視化し、狭窄部位の推定能を検証する。最後に、正規化スリルSN比を用いて正常群と軽度狭窄群の統計的有意差を検討する。

4. 研究成果

SN比で得た定量値による正常内シャントの基準範囲を図1に示す。延べ人数206名を対象とした標準正規分布の95%に含まれる範囲を正常内シャントとした基準範囲は、0.18から2.26となり、平均値は1.19であることが明らかとなった。

教師あり機械学習による混同図を図2に示す。正常群と狭窄群の二値分類を行った結果、正常シャントの正答率は92.3%、狭窄シャントの正答率は76.7%、狭窄シャントの誤り率は7.7%、正常シャントの誤り率は23.3%となった。正常シャントと狭窄シャントそれぞれの正答率と、狭窄シャントの誤り率は良好な結果であったが、正常シャントの誤り率が十分な結果を得ることができなかった。これは正常を狭窄と判定してしまう誤り率であることから、十分に小さくする必要があるが、学習量を増やすことで向上すると考えられる。この結果から、実用性に至るにはさらに学習量を増やす必要があるが、本方式による狭窄判定のアルゴリズムは確立したと考えられる。

穿刺部の輝度を5階調で変換したヒートマッピングを図3上段に示す。同図左側は手のひらで、右側は体幹であり、階調スケールは赤色が濃くなるほど輝度が高いことを表している。このヒートマッピングを用い、3月から7月までに正常から狭窄に至った被験者1名の狭窄部位の推定を実証した。3月7日、6月29日、6月6日は正常であったが、7月20日は透析療法が可能な軽度狭窄が認められ、7月25日は重度狭窄となり、PTAを施術するに至った。図中の左上番号からでは、濃赤色は散在しているが、とで様に濃赤色になっている。図3下段の超音波エコーの所見では、穿刺部の体幹側に狭窄が確認された。このことから、体幹側への流れが妨げられることで血管がわずかに怒張し上昇した輝度が確

認められたと考えられる。正常から狭窄に至るまで輝度による定量値変化を図 4 に示す。正常であった 3 月 7 日と 6 月 29 日の中央値はそれぞれ -0.13、-0.92 であるのに対して、7 月 6 日から 20 日にかけて -0.26、-0.35 と単調に増加していき、強度狭窄が生じた 7 月 25 日は 1.10 となり、最も高い正の値となった。標準偏差 においても、正常から軽度狭窄、強度狭窄になるに従い、小さくなる傾向が認められた。被験者が 1 名であったため、この変化と狭窄の関係を統計的有意差で結論付けることはできなかったが、このように、時系列によるカラーマッピングと定量値の可視化が臨床応用において有望なツールとなるための技術的課題は確立した。

被験者数 21 名の内シャント波形を周波数解析して得られた正規化スリル SN 比の正常群と軽度狭窄群を図 5 に示す。正常群と軽度狭窄群の中央値はそれぞれ 0.14 と 0.09 となり、 $p < 0.01$ で統計的な有意差が認められた。

以上の結果から、本研究の非接触測定は、臨床で行われている聴診法と触診法の代用として有効な手段になり得ることが示唆された。

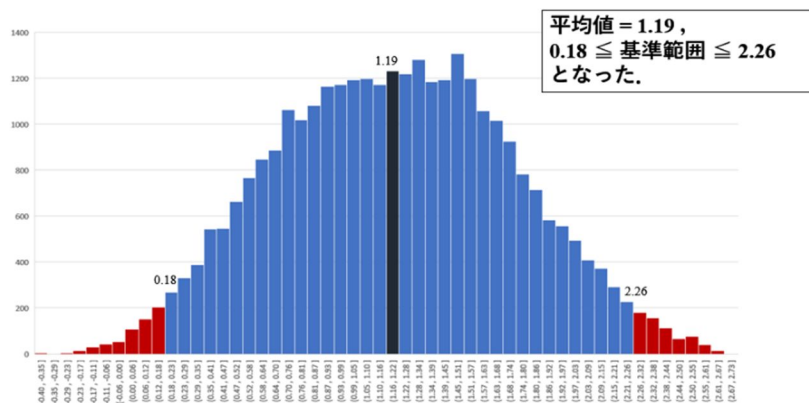


図 1. 正常内シャントの基準範囲の結果

True value	Normal	正常シャントの 正答率 92.3%	狭窄シャントの 誤り率 7.7%
	Stenosis	正常シャントの 誤り率 23.3%	狭窄シャントの 正答率 76.7%
		Normal	Stenosis
		Estimated value	

AI学習に使用した延べ人数: 313人
(正常シャント: 206人 / 狭窄シャント: 107人)

図 2. 教師あり機械学習による狭窄の推定結果

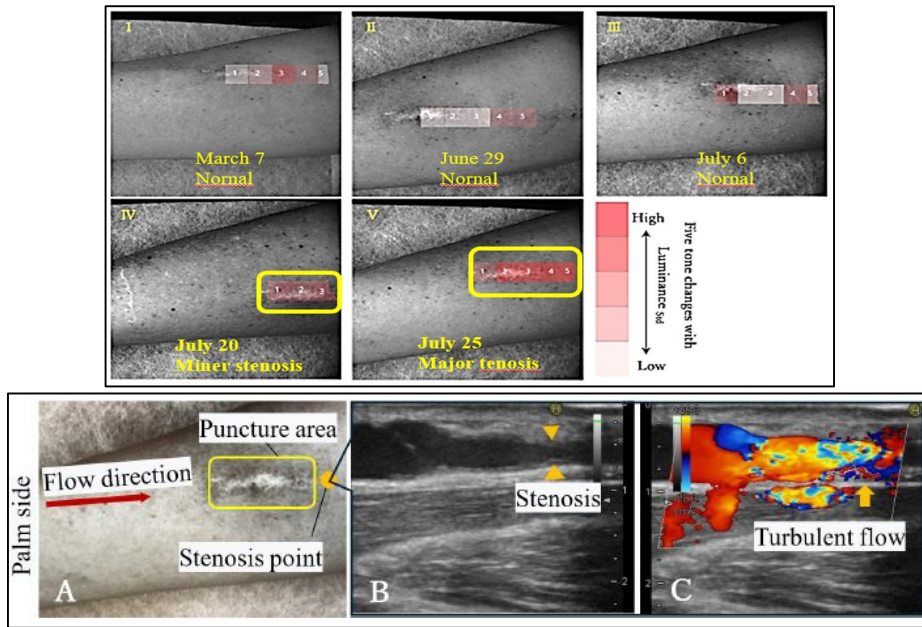


図 3 . 輝度・色調変換による狭窄部位の可視化（上段）
超音波診断装置による狭窄部位の特定（下段）

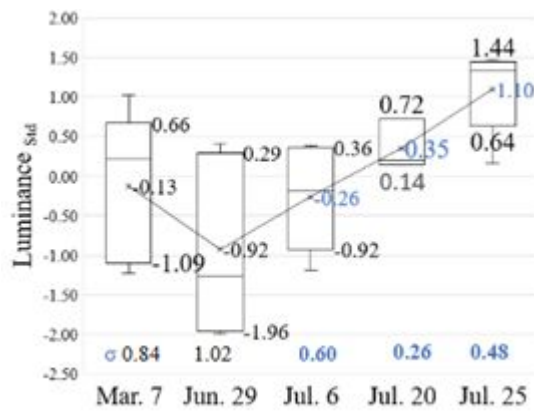


図 4 . 正常から狭窄至るまでの輝度変化

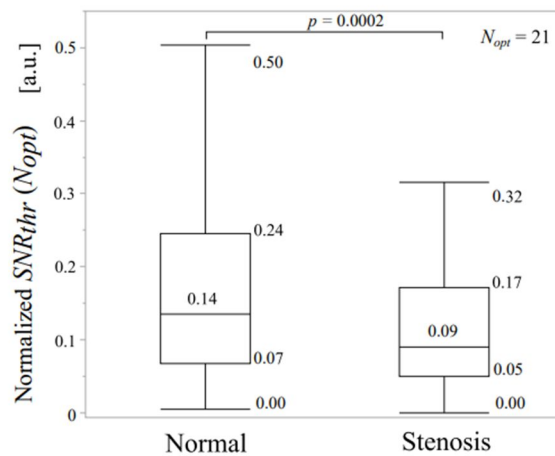


図 5 . スリル脈波による SN 比の正常群と狭窄群

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shimazaki Takunori, Kawakubo Yoshifumi, Iwai Rumi, Fukuhara Masashi, Aono Hiroki, Mitsudo Jun, Hayashi Yuhei, Ata Shingo, Yokoyama Takeshi, Anzai Daisuke	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study on Stenosis Detection Based on Non-contact Thrill Wave Imaging and Gradient-Boosting Decision Tree	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 leeexplore	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISMICT58261.2023.10152043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takunori Shimazaki, Rumi Iwai, Jaakko Hyry, Yoshifumi Kawakubo, Masashi Fukuhara, Hiroki Ando, Shingo Ata, Takeshi Yokoyama, Daisuke Anzai	4. 巻 -
2. 論文標題 Verification of AVF Stenosis Using Luminance Conversion by Non-contact Measurement Method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 leeexplore	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rumi Iwai, Takunori Shimazaki, Jaakko Hyry, Yoshifumi Kawakubo, Masashi Fukuhara, Hiroki Aono, Shingo Ata, Takeshi Yokoyama, Daisuke Anzai	4. 巻 -
2. 論文標題 Reliable Stenosis Detection Based on Thrill waveform Analysis Using Non-Contact Arteriovenous Fistula Imaging	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 MDPI Sensors	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 島崎 拓則
2. 発表標題 A Study of Reference Range Based on Non-Contact Arteriovenous Fistula Measurement.
3. 学会等名 BioEM（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島崎 拓則
2. 発表標題 内シヤントの非接触モニタリングによる基準範囲の検討
3. 学会等名 第34回日本臨床モニター学会総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島崎 拓則
2. 発表標題 非接触撮像によるAVFスリルの定量的考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 ヘルスケア・医療情報通信技術研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島崎 拓則
2. 発表標題 非接触撮像を用いたAVFの血流速度の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 ヘルスケア・医療情報通信技術研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takunori Shimazaki
2. 発表標題 A Study on Stenosis Detection Based on Non-Contact Thrill Wave Imaging and Gradient-Boosting Decision Tree
3. 学会等名 17th IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------