

マルチチャンネルセンサを用いた透析シャント音による

血管狭窄スクリーニング装置の要素開発

Elemental Development of the Shunt Stenosis Screening Equipment Using Multi-Channel Sensors

鈴木 裕[†] 阪田 治[‡] 深澤 瑞也[‡] 加藤初弘[‡]

Yutaka Suzuki Osamu Sakata Mizuya Fukasawa Hatsuhiro Kato

1. はじめに

腎不全患者は血液人工透析を行うために、一般的に静脈と動脈を吻合した内シャントを前腕部に作成する。シャントによるバスキュラーアクセスを維持することが重要であるが、血管が狭窄してしまうことがある。狭窄を早期に見出すことができれば血管拡張手術により回復することができるが、狭窄が進行し、閉塞に陥ると回復は難しくなる。従来のスクリーニングにはシャント部の血流音(シャント音)の聴診が行われているが、熟練を要する。ゆえに、シャントの血管スクリーニング支援装置の開発が強く望まれている。そこで我々は熟練者が聴診によってシャント狭窄スクリーニングを行っていることを受け、システムとして代替させるべく、シャント音による血管狭窄スクリーニング装置の開発を行ってきた[1-4]。

これまでに行われている研究[1-7]では基本的に1つのセンサで採音しており、センサの設置決めにはシャント音を聴診で確認した後に行う必要があり、熟練した技術を持たない人が採音を行うことは難しかった。そこで我々は患者自身でも装着可能なことを目指し、マルチチャンネル構造としたセンサを開発することとした[8]。しかしながら、[8]ではセンサ間に1cm程度の採音不可の位置があり、狭窄を見逃してしまう可能性が大きかった。本報告ではマルチチャンネルセンサの集音部をハニカム型とすることでセンサ間のピッチを3mm以下に収め、さらに、採音したシャント音による狭窄スクリーニングシミュレーションを行った結果について報告する。

2. 方法

2.1 センサ部の開発

シャント音はシャント付近静脈から外れると聴取できない。また、狭窄音は血管の狭窄した部位で確認される一方、狭窄した部位から離れた静脈上では正常音と捉えられるシャント音が聴取されることがある。そこで、センサをアレイ状に配置し、前腕部に巻きつける構造とすることで、熟練した技術が無くとも狭窄音の取りこぼしを抑えた採音を行えると考えた。

図1に開発したマルチチャンネルセンサを示す。小型アンプ内蔵シリコンマイクロホン(KNOWLES SP0103NC3-3)をセンサとした。この計15個のセンサをアレイ上に並べ

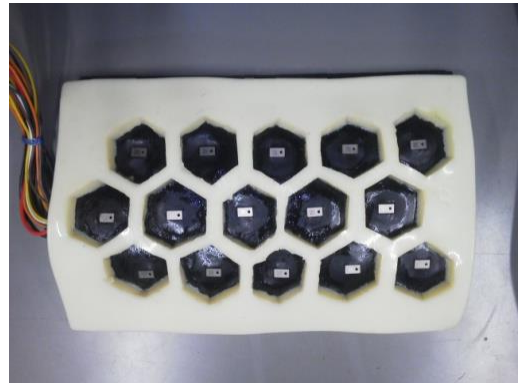


図1 マルチチャンネルセンサ

ることで、センサのいずれかが静脈上に位置するよう設計した。センサと皮膚のインターフェースには軟質ウレタン造形用樹脂(エクシールコーポレーション製人肌のゲル[®])を用い、センサごとにハニカム型に六角形の孔を形成し、ピッチが3mm以下の集音部とした。この軟質ウレタン造形用樹脂では、センサと被験者の皮膚表面とを隙間無くシールすることでS/N比を高めることができる。このマルチチャンネルセンサを腕に巻きつけ、外側より血圧計用カフ(Welch Allyn製DS55)により圧をかけて固定した。電圧に変換されたシャント音を4チャンネルアナログ入力モジュール(NATIONAL INSTRUMENTS製NI 9234)を4台用いてPCに取り込んだ。サンプリング周波数50kHz、量子化ビットは24bitとした。

2.2 信号処理法

シャント音は狭窄によって異音が生じ、聴診では「高周波の狭窄音」や「断続的狭窄音」と表現される。そこで、狭窄シャント音を検出するには、時間情報と周波数情報の両面を診断に用いることが有効であると考え、およそ一拍動分の短時間最大エントロピー法(STMEM: Short-Time Maximum Entropy Method)結果[2]を入力ベクトルとし、自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Maps)で学習させて視覚的に狭窄・正常を判断する。信号処理の流れを以下に説明する。

- ① シャント音を時系列で分割: 時系列波形の半波の低周波成分のみを取り出すことでエンベロープを取得し、その極大点と極小点の中間の時刻を拍動の開始点として切り出す。

[†] 山梨大学総合分析実験センター, Center for Life Science Research, University of Yamanashi

[‡] 山梨大学大学院医学工学総合研究部, Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

- ② STMEM: 1拍動ごとに STMEM ベクトルを算出し, SOM への入力ベクトルとして扱う。
- ③ SOM: 指標サンプルを用意し, 診断サンプルと同時に SOM に学習させる。指標サンプルは予めシャントの状態と対応した音響的特徴を確認したサンプルである。また, 診断サンプルは 10 拍動分に対応する 10 個の STMEM ベクトルである。SOM は類似した特性のデータを近傍に集めたマップを出力するため, 診断対象がどの指標サンプルのグループに属するのかを視覚的に判断する。

3. 結果と考察

図 2 に示すように, マルチチャンネルセンサの設置は穿刺痕にセンサの中心 (Ch.8) が位置するようにし, カフ圧は 20[mmHg]とした。被験者は血管造影画像より, Ch.1, Ch.6 付近と Ch.5, Ch.10 付近に狭窄がある患者であった。

チャンネル毎の時系列波形を図 3 に示す。本管静脈上であっても信号は小さく, 診断に使えるシャント音は 6 つのセンサのみであった。それら 6 つのセンサから採取された各シャント音の SOM への入力結果を図 4 に示す。SOM 結果から 6 つ全てのセンサにおいて診断データは断続的狭窄音の領域に出力されており, 狭窄と診断することができる。しかしながら, シャント音を検出できなかったセンサ (チャンネル) に対して, 「シャント音検出不能」とする対応ができておらず, 今後の課題である。また, さらに他の被験者に対して試験を行う予定である。

4. まとめ

患者自身でも取り扱える, シャント音による血管狭窄スクリーニング装置の開発を目指している。集音部をハンカム型とすることでセンサピッチを 3mm 以下とするマルチチャンネルセンサを開発した。採音したシャント音において狭窄スクリーニングシミュレーションを行った結果, 断続的狭窄音として血管狭窄を検出することができた。今後さらに被験者を増やし試験を行い, 狭窄検出精度を高めるとともに「シャント音検出不能」の出力や偽検出について検討を行う予定である。

謝辞

本研究の一部が JST 復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ (241FT0069) の研究助成により遂行されたことを記し, 謝意を表する。

参考文献

- [1] 鈴木裕, 他, “ANN を用いた透析シャント音による狭窄診断支援装置システムの要素研究”, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.3 pp.401-406 (2010).
- [2] 鈴木裕, 他, “自己組織化マップを用いた透析シャント音による狭窄診断支援装置”, 電気学会論文誌 C, Vol.131, No.1, pp.160-166 (2011).
- [3] 加藤初弘, 鈴木裕, 他, “逐次細分化自己組織化マップを用いたシャント音の分類と狭窄スクリーニング法の提案”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.1, pp.139-148 (2012).

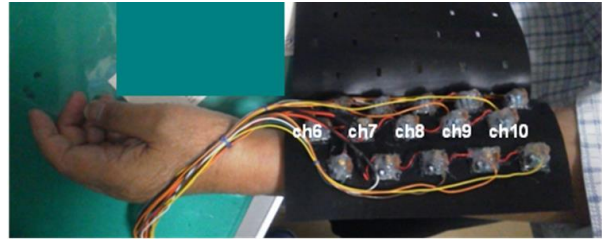


図 2 センサの装着写真

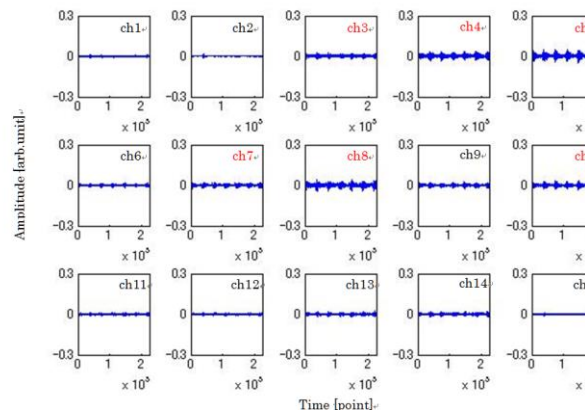


図 3 時系列波形

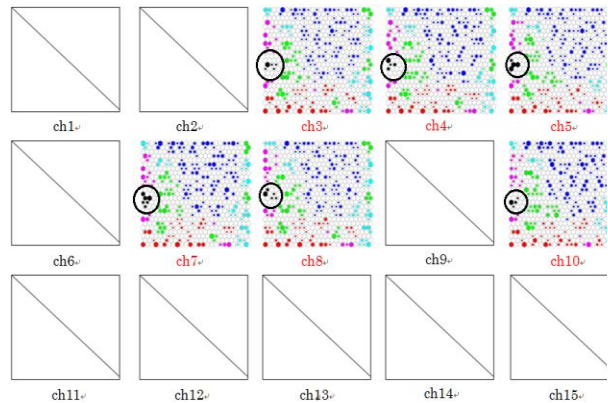


図 4 SOM 結果

(青:正常音,赤:高周波 A,緑:高周波 B,水色:高周波 C,ピンク:断続狭窄音,黒:診断シャント音)

- [4] 脇隼人, 鈴木裕, 他, “自己組織化マップと隠れマルコフモデルを用いた透析シャント音による血管狭窄診断支援装置”, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.132, No.10, pp.1589-1594 (2012).
- [5] H. A. Mansy, S. J. Hoxie, N. H. Patel, and R. H. Sandler, “Computerised analysis of auscultatory sounds associated with vascular patency of haemodialysis access”, Medical & Biological Engineering & Computing, Vol.43, No.1, pp.56-62 (2005).
- [6] T. Sato, K. Tsuji, N. Kawashima, T. Agishi, and H. Toma, “Evaluation of blood access dysfunction based on a wavelet transform analysis of shunt murmurs”, Journal of Artificial Organs, Vol.9, No.2, pp.97-104 (2006).
- [7] 西谷陽志, 坂井瑠実, 申曾洙, 森上辰哉, 清水康, 稲田紘, “シャント狭窄に伴うシャント音周波数特性変化の解析”, 透析会誌, Vol.43, No.3, pp.287-295 (2010).
- [8] 脇隼人, 鈴木裕, 他, “透析シャント音解析による血管狭窄スクリーニング装置のセンサ部の改良”, 電子情報通信学会 2012 総合大会 学生ポスターセッション予稿集, p.203, (2012).