

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560243

研究課題名（和文） 心臓弁膜症診察支援のための高分解度心音解析評価法に関する基礎研究

研究課題名（英文） Research on High Resolution Analysis of Heart Sound and Identification Method for Valvular Heart Disease Examination

研究代表者

江 鐘偉 (JIANG ZHONGWEI)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60225357

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず一般ユーザも簡易に取り扱える心音を採集する聴診ウェアを試作開発した。この聴診服を用いて、正常者ならびに心疾患の症例心音データを採集し、心音信号を特徴値化したパラメータを含めてデータベース化を行った。時間および周波数の分解能を向上させるため、時間域ならびに周波数域に局所拡大レンズ機能をもつ **Frequency Slice Wavelet Transform (FSWT)** 方法を開発した。本方法を用いることで、時間域および周波数域における分解能を心音の解析目的に合わせて自由に設定することができ、より高精度な心音特徴パラメータを抽出することができる。さらに、採集した各種心疾患症例心音の特徴パラメータを抽出し、これらのパラメータに対しサポートベクトルマシン(SVM)のデータクラスタリング方法を適用した結果、弁膜症等の心疾患症例を高精度に識別できることが確認された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we first developed a prototype of auscultation cloth which is easy to wear and to collect good quality heart sound even by general users. The heart sounds both from the normal persons and heart disease patients have been collected by using the auscultation wear. The collected sound signals including their feature parameters obtained by analysis have been made in the heart disease sound database. To improve the resolution both in time and frequency domains analysis, a novel time-frequency analysis, called as Frequency Slice Wavelet Transform (FSWT), was proposed. By using this method, it is possible to extract more accurate heart sound feature parameters both in the frequency and time domains. By applying the data clustering method (SVM) to these parameters, the results shown that the heart disease can be identified with high accuracy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学、ライフサイエンス

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：心音計測と解析、心音特徴パラメータ、時間周波数解析法、心疾患の識別

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 突然死の約 60%が心筋梗塞、狭心症であり、約 20%が脳出血、脳梗塞である。突然死のおよそ 80%は心臓や脳の血管が詰まったり、破綻したりすることによる心臓血管疾患が原因となっている。心臓血管病というと、多くの人は死亡者数の多い狭心症や心筋梗塞を思い描く。しかしながら、心臓の弁に不具合が生じる『心臓弁膜症』にかかっている患者が意外に多い。わが国においては推定患者数が 200 万人、手術を受けている患者が年間約 1 万人といわれている。アジアなどの貧困地域においては、栄養不足と生活環境の悪化などによって弁膜症の発症率が高くなる傾向があるといわれている。

(2) 弁膜症の原因には、先天性と後天性（リウマチ熱、動脈硬化、心筋梗塞、変性など）があり、原因を特定できないものも多くある。一方、高齢化に伴い、大動脈弁に動脈硬化と同じような変化が起きて硬くなってうまく開かなくなる「大動脈弁狭窄症」や、弁の組織が弱くなって起きる「僧帽弁閉鎖不全」が増加している。

(3) 現在心臓疾患の検査方法には、心臓の大きさや形を見る胸部 X 線、不整脈や心臓肥大の状態を検査する心電図、心臓肥大の程度や心臓が収縮する力の状態や狭窄や逆流の程度などを診断する心エコー、心臓やその周りの血管の血液循環の状態を調べる心臓カテーテル、心臓やその周りの血管の形状や血液循環の状態を診断する心血管造影法、心筋の血流状態や動きを調べる心核医学検査がある。そのうち、心電図検査は在宅でも使用可能であるが、その以外の検査を受けようとしたら、専門病院に行かなければならない。

(4) 患者自身が病院に行かず手軽に自分の心臓状態の変化を日常的に調べる方法として、心電図が挙げられる。心電図は不整脈や心房細動などのモニタリングに有効である一方、心臓弁の状態を見るには不向きである。一方、聴診器は古来“医師の芸術”と呼ばれて心疾患や肺疾患の診察によく使用されていた。最近先端医療診断機器が開発されたため、聴診器が医師の首飾りとなってしまった。高齢化社会の到来や在宅介護のニーズをにらみ、申請代表者らは十年前から聴診システムの開発と心音解析方法の研究を行い、多くの成果が得られた。しかしながら、体格差や聴診器の当て方、心臓合併症などが心音解析精度に影響を与える場合があるため、より高感度の

心音解析手法の開発ならびに有効な症例データベースの構築が心臓疾患の聴診精度の向上にとって大きな課題となってきている。

(5) 申請代表者らは、今までに聴診器チェストピースにマイクロフォンを取り付けた電子聴診器を用い、正常ならびに異常心音の計測と解析を行ってきた。心音解析モデルとして鼓膜を模擬した振動モデルを導入し、心音の異常を容易に判別するための心音特徴値波形法を開発した。この心音特徴値波形法を心音データに適用し、正常心音と異常心音を容易にわかる心臓特性パラメータの抽出と表示方法を提案し、9 割を超える正常心音と異常心音の識別率を得た。

(6) しかし、心臓病の多くは合併症を伴っている。申請代表者らが今までに提案してきた心音特徴値波形法は典型的な弁膜症の識別に有効であることが確認された一方、合併症や測定雑音などによる複合的成分を含む弁膜症の心音に対して判別率の低下をもたらす場合もある。これらの難題を解決するためには時間域ならびに周波数域の双方においてより高分解能かつ干渉の少ない時間周波数解析法を確立する必要性である。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、時間および周波数の分解能を向上させるため、時間域ならびに周波数域に局所拡大レンズ機能をもつ短時間窓と短周波数窓を総合的に導入し、振動理論に基づく主成分分析解析を行い、各種弁膜症の特徴や心機能に関連する心音成分特徴パラメータを抽出する方法を開発する。

(2) さらにこれらのパラメータに対し SVM などのデータクラスタリング方法を適用し、合併症を含む種々な弁膜症の高精度自動識別方法を研究する。さらに、一般ユーザも簡易に取り扱える心音を採集する装置を開発し、大量の心音データを採集しながら心音の特徴値化したデータベースを構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 申請代表者らが提案した心音特徴値波形法を基軸にして、心臓弁膜症の振動応答特徴を利用し、ウェーブレットという時間軸での拡大・縮小関数を周波数軸での拡大・縮小関数に拡張した周波数幅ウェーブレット関数を見出し、さらに時間周波数分布の Wigner-Ville 法と Choi-Williams 法を参考に、心臓の運動と心臓弁の開閉時に発生する振

動、血流が弁を経由して動脈に送り出されたときに発生する摩擦振動などを心音データから抽出することを試みる。さらに抽出された心臓特性パラメータに対して、サポートベクトルマシン(SVM)やファジークラスタリング(FCM)方法などのデータクラスタリング方法を活用し、弁膜合併症識別方法や心雑音の定量評価方法を開発する。

(2) 心臓弁膜症の症例データの採集をより効率的かつ患者に負担がかからないように行うため、装着性優れかつ良質な心音データを収録できる聴診ウェアを改良試作する。心音の聴診は通常4箇所(心音の場合:大動脈弁領域、肺動脈弁領域、三尖弁領域、僧帽弁領域)で行っているため、心音症例データを上記4箇所ですべて同時に採集する。また、心エコーの画像データも同時に記録し、これらの画像データを心音解析結果の検証データとして利用する。

#### 4. 研究成果

(1) 4箇所同時に心音を採集できる聴診服の開発について、材料の選定や形的设计試作などを繰り返した結果、市販の肩サポーターを改良し、さらに服に縫い付けることにより普通の服を着る感覚で、誰にでも容易に着用できる。試作した聴診服着用時の表面と裏面の写真を図1に示す。体型に合わせてマジックテープによって締め付けを変えることが可能のため、チェストピースを体に密着させることができ、良質な心音を4チャンネルの同時採集が可能となった。



図1 開発した聴診服の表面と裏面

(2) 図2に開発した聴診服を着用して採集された心音例である。上から大動脈弁(aortic valve)、肺動脈弁(pulmonary valve)、三尖弁(tricuspid valve)、僧帽弁(mitral valve)の近辺で採取された心音の例で、図2(a)は正常者の場合、図2(b)が心房中核欠損(ASD)の患者、図2(c)が心室中核欠損(VSD)の患者の場合の心音データである。設計通りの心音が採集できたことが分かる。

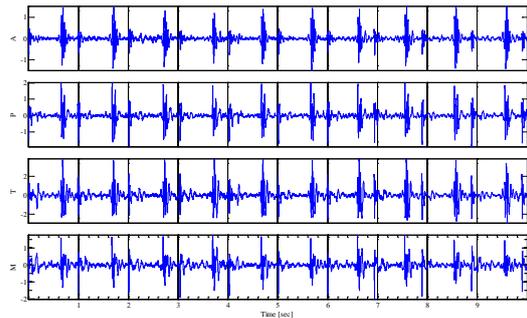


図2(a) 正常者の心音波形

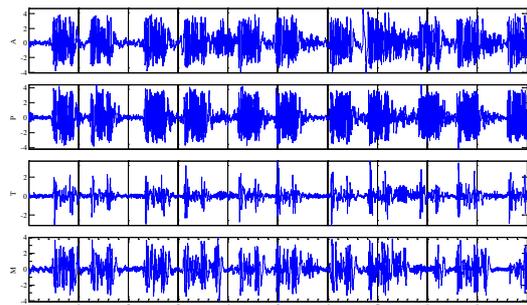


図2(b) ASDの心音波形

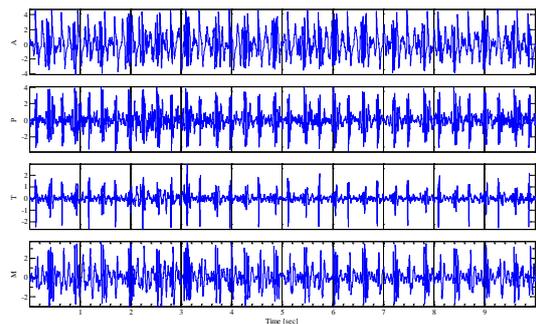


図2(c) VSDの心音波形

(3) 採集した心音データ $x(i)$ に対してウェーブレット解析を施し、4つの周波数領域、超低周波数(VLF, 21.53~86.1Hz)、低周波数(LF, 86.1~172.2)、中周波数(MF, 172.2~344.4)と高周波数域(HF, 344.4~1378)に分解する。各々の周波数域に対応する信号を再構築したものを $x_m(i)$ とし、さらにその正規化したもの

$$\hat{x}(i) = \frac{x_m(i)}{\max(x_m(i))}$$

に対して

$$\hat{E}_j = \frac{E_j}{E_{total}} \times 100\%, \quad \text{and} \quad E_j = \sum_{i=1}^N |\hat{x}(i)|^2, \quad E_{total} = \sum_{j=1}^n E_j$$

各周波数領域に対応するエネルギーを求める。その結果を表1に示す。表より超低周波数域におけるエネルギー $E_{VLF}(\%)$ が正常者の値が高く、心雑音が多く含まれる心疾患の値が低いことと、高周波数におけるエネルギー $E_{HF}(\%)$ がその逆となることから、心雑音の定量評価基準

を下記の式で定めることができる。

$$E_{ml} = (E_{HF} / E_{VLF}) \times 100$$

表 1 周波数領域におけるエネルギー分布

Eave±std	E <sub>VLF</sub> (%)	E <sub>LF</sub> (%)	E <sub>MF</sub> (%)	E <sub>HF</sub> (%)
NHS	90.33±2.54	6.91±1.57	2.15±0.85	0.34±0.14
ASD	86.89±6.70	9.31±4.58	2.95±1.90	0.85±0.63
VSD	77.85±8.99	15.24±6.51	5.23±2.74	1.68±0.98
TOF	78.11±7.23	13.19±4.14	6.39±2.68	2.32±1.32
Others	79.58±9.64	13.89±6.40	5.01±3.30	1.51±1.67

(4) 時間および周波数の分解能を解析心音対象に応じて自由に設定できる Frequency Slice Wavelet Transform (FSWT)方法を開発した。その基本概念は図3に示す。信号  $x(t)$  に対してフーリエ変換を施した  $f(u)$  に短周波数窓関数  $p((u-\omega)/\sigma)$  をかけて、比較的に高いエネルギーを含む信号特徴を抽出する方法である。

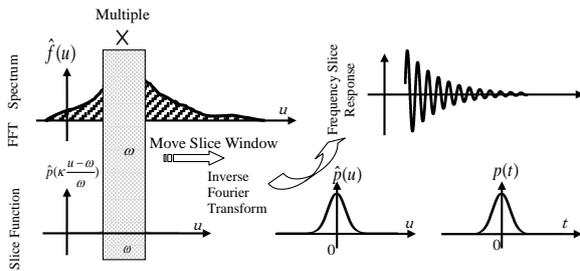


図 3 FSWT の基本概念図

FSWT の変換式は

$$w(t, \omega, c, \sigma) = \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(u) \hat{p}^* \left( \frac{u-\omega}{\sigma} \right) e^{iut} du$$

となり、さらにスライスされた FSWT について次式を用いてそれに対応する時間域の信号を再構成できる

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} w(\tau, \omega, c, \sigma) e^{i\omega(t-\tau)} d\tau d\omega$$

(5) 中国側の協力研究者の協力により、幼児から高齢者まで各種心疾患の症例データを数多く採集しデータベース化した。これらの心音データから時間域における特徴パラメータならびに周波数域における特徴パラメータを抽出した後、サポートベクトルマシン(SVM)のデータクラスタリング方法を活用し、心疾患や弁膜合併症識別を行った。心音データをとって、正常心音(NM)と、大動脈弁狭窄症(AS)、大動脈弁閉鎖不全または逆流(AR)、心房性細動(AF)、分裂性雑音(SPLIT)、

僧帽弁狭窄症(MS)などの症例心音を用いた。図4にその SVM により求めた識別境界線を示す。SVM による判別は基本的に 2 種類の心音より判別する。本研究での判別方法として、まず、正常心音が異常心音かを判別し、異常心音と判断された場合、大動脈弁狭窄症(AS)かその他かを判別する。その他と判断されたら、次のステップとして、大動脈弁閉鎖不全または逆流(AR)かその他かを判断する。このように引き続き、心房性細動(AF)、分裂性雑音(SPLIT)、僧帽弁狭窄症(MS)の順に判別していく。

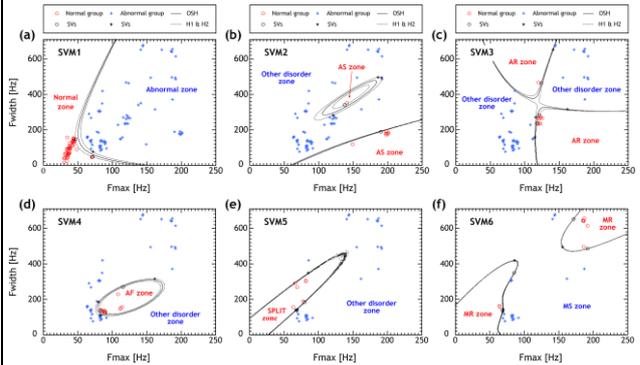


図 4 SVM による心疾患の判別

(6) 心音データの周波数特徴値パラメータに対して SVM を適応した結果を図5に示す。図より正常かと異常かの識別率は 98.98%に達し、さらに各種の心疾患の識別率はそれぞれ、大動脈弁狭窄症(AS)が 91.88%、大動脈弁閉鎖不全または逆流(AR)が 86.46%、心房性細動(AF)が 88.89%、分裂性雑音(SPLIT)が 75.57%、僧帽弁狭窄症(MS)が 68.02%である。心疾患の識別率がほぼ 90%未満であるが、時間域における特徴値パラメータをさらに導入すると、識別率が格段に高めることができることを確認されている。

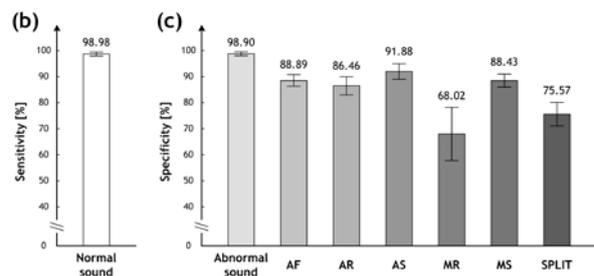


図 5 SVM による各心疾患の判別率

(7) 本研究で得られた成果をさらに発展させ、今までに行ってこなかった4箇所的心音間の相互関係を重点的かつ詳細に調べ、弁膜症病理との対応関係を明らかにするとともに、より高度な心臓弁膜機能を解析するための

弁膜症診断支援用多チャンネル同期心音解析法と心臓機能評価法の確立を目指す。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Sleep-wake stages classification and sleep efficiency estimation using single-lead electrocardiogram”, Mourad Adnane, Zhongwei Jiang, Zhonghong Yan, Expert Systems with Applications, 39, pp.1401-1413, 2012. 査読あり.
- ② Heart Sound Analysis for Discrimination of VSD, Shuping Sun, Zhongwei Jiang, Haibin Wang, Ting Tao, Advanced Engineering Forum Vols. 2-3, pp 243-248, 2012. 査読あり.
- ③ Frequency slice algorithm for modal signal separation and damping identification, Zhonghong Yan Ayaho Miyamoto, Zhongwei Jiang, Computers and Structures, Vol.89, pp.14-26, 2011. 査読あり.
- ④ Development of ECG beat segmentation method by using lowpass filter and irregular R-R interval checkup strategy”, Samjin Choi, Mourad Adnane, Gi-Ja Lee, Hoyoung Jang, Zhongwei Jiang and Hun-Kuk Park, Expert Systems with Applications, Vol.37, pp.5208-5218, 2010. 査読あり.
- ⑤ Cardiac sound murmurs classification with autoregressive spectral analysis and multi-support vector machine technique, Samjin Choi, Zhongwei Jiang, Computers in Biology and Medicine, Vol.40, pp.8-20, 2010. 査読あり.
- ⑥ The moment segmentation analysis of heart sound pattern, Zhonghong Yan, Zhongwei Jiang, Ayaho Miyamoto and Yunlong Wei, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.98(2), pp.140-150, 2010. 査読あり.
- ⑦ An overall theoretical description of frequency slice wavelet transform, Zhonghong Yan, Ayaho Miyamoto, Zhongwei Jiang, Xinglong Liu, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol.24, pp.491-507, 2010. 査読あり.
- ⑧ Detecting Specific Health-Related Events Using an Integrated Sensor

System for Vital Sign Monitoring, Mourad Adnane, Zhongwei Jiang, Samjin Choi and Hoyoung Jang, Sensors, Vol.9, pp.6897-6912, 2009. 査読あり.

- ⑨ Development of QRS detection algorithm designed for wearable cardiorespiratory system, Mourad Adnane, Zhongwei Jiang, Samjin Choi, Computer methods and programs in biomedicine, Vol.93, pp.20-31, 2009. 査読あり.
- ⑩ Heart Sound Measurement and Analysis System with a Stethoscope, Wang Haibin, Zhongwei Jiang, Dong Xiucheng, Choi Samjin, Zhang Junqi, Sun Shupin, Journal of Biomedical Engineering, Vol.26(2), pp.282-287, 2009. 査読あり.

[学会発表] (計 7 件)

- ① Study on Cardiac Murmurs Evaluation Based on Wavelet Packet Energy Distribution, Ting TAO, Haibin WANG, Xiaochen WU, Shuping SUN, Zhongwei JIANG, Proceedings of the 3rd International Symposium on Digital Manufacturing, pp.159-164, 2011.12.1. Kokura, Japan
- ② Sleeping Condition Monitoring by Analysis of Respiratory Sound, Akimitsu UBARA, Zhongwei JIANG, Syunpei OGAWA, Shuping SUN, Proceedings of the 3rd International Symposium on Digital Manufacturing, 273-278, 2011.8.Shenyang, China.
- ③ 加負荷運動後の心音解析による心臓特性評価に関する研究, 加藤健剛, 孙樹平, 江鐘偉, 森田実, 日本機械学会講演論集, 2011. 3.5. 岡山大学, 岡山
- ④ 日常生活における聴診服の試作・開発, 永野勝哉, 加藤健剛, 森田実, 江鐘偉, 日本機械学会中国四国学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011. 3.4. 岡山大学, 岡山
- ⑤ 呼吸解析による日常的な睡眠状態評価の解析, 松岡昂, 松本佳昭, 森信彰, 江鐘偉, 日本機械学会中国四国学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011.3.4. 岡山大学, 岡山.
- ⑥ Heart Sound Clustering Method Using Time-Frequency Distribution Energy, Shuping, Sun, Zhongwei Jiang, Haibin Wang, 日本機械学会講演論集, 2010.3.6, 広島工大, 広島.
- ⑦ 心拍変動による精神ストレスの解析に

- 関する研究, 田村一真, 森信彰, 松本佳昭, 江鐘偉, 日本機械学会中国四国学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2009. 3.5, 山口大学, 宇部
- ⑧ 装着用心音計測システムの開発, 加藤健剛, 江鐘偉, 森田実, 日本機械学会中国四国学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2009.3.5, 山口大学, 宇部

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

江 鐘偉 (JIANG, ZHONGWEI )  
山口大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号 : 60225357

### (2) 研究分担者

木戸 尚治 (KIDO, SHOJI )  
山口大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号 : 90314814