

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420443

研究課題名(和文) ウェーブレット変換に基づく心電図波形の高精度識別システムの実用化に向けた検証

研究課題名(英文) Verification of high accuracy detection system based on wavelet transform for ECGs

研究代表者

大屋 英稔 (Oya, Hidetoshi)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：30361835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：現在、空港や駅、教育機関にAEDが設置されている。AEDは、心停止患者の心電図波形を解析し、除細動(電気ショック)を適用すべき心電図波形(心室細動などの重症不正脈)か否かを判定する機能を持っているが、判定が困難な心電図波形も存在するなど、その精度は十分ではない。そこで申請者らは、「ウェーブレット解析に基づく心電図波形の高精度識別システムの開発」(基盤研究(C))において、このような重症不正脈を更に高精度で識別できるシステムを開発を進めてきた。本研究課題の主な目的は、これまでに開発した高精度識別システムの実用化に向けた検証を行うことであり、研究期間内に予定していた作業を完了し、目的を達成した。

研究成果の概要(英文)：Currently, AEDs are installed in train stations, airports and so on. AEDs analyze the electrocardiogram (ECG) and recognize whether an electrical shock should be applied or not, i.e. the performance of detection algorithms in AEDs is of great importance. However, accurate, quick and reliable detection of ventricular arrhythmia is not easy, and thus many researchers are now tackling the development of ECG detection systems.

On the other hand, we have proposed a high accuracy detection system based on wavelet transform for ECGs (Grant-in-Aid for Scientific Research (C)). The objective in this study is that the proposed system is to be in practical use. The work scheduled in the research period has been completed, i.e. we have evaluated the efficiency of the proposed detection system. The proposed system can achieve good performance comparing with the existing results. Thus the proposed detection system can improve the survival rate for patients suffering from sudden cardiac arrest.

研究分野：制御工学

キーワード：高精度識別システム 心室細動 心室頻拍 無脈性電気活動 正常洞調律 除細動 ウェーブレット解析

1. 研究開始当初の背景

我が国では、心臓の発作(突然の心停止)により突然倒れてなくなる方が、1年間に約3万人もいるといわれており、交通事故や火災による死者数と比較しても非常に多いことが知られている。突然の心停止は、多くの場合、心室細動などの重症不整脈が原因であり、このような重症不整脈には、出来るだけ早期の電氣的除細動(以下、「除細動」と記す)が有効である。このような背景から、交通事故による死亡を防ぐためのシートベルトやエアバッグ、早く消火するための消火器と同じように、突然の心停止患者を救うための自動体外式除細動器(AED(Automated External Defibrillator))の普及が進んでおり、近年、駅、空港、大学等の教育機関などに設置されている。

AEDには、心停止患者の心電図波形を解析し、電氣的除細動を適用すべき波形が否かを判定するためのアルゴリズムが内蔵されており、その精度評価には、「感度」、「特異度」という指標が用いられる。既存のAEDでは、心室細動や自己心拍では95~99%程度の精度で識別が可能となっているものの、2[Hz]以下の心室頻拍や心電図波形がある状態から別の状態に遷移した場合などには識別が困難であることなど、改善の余地も残されている。一方、心肺蘇生の標準的なガイドラインを提供しているAHA(米国心臓学会)ガイドラインでは、心室細動などの重症不整脈に対しては、「早期の除細動」が最も重要であると記されている。心電図波形の識別に関する研究では、KuoとDilmanによるVF-filterアルゴリズム(1978)をはじめ、スペクトル解析を用いる方法(Barro et al. 1999)やヒルベルト変換に基づく方法(Amman et al. 2005)など、国外では多くの結果が報告されている。また、沢田らは、ファジィ推論を用いた方法を提案している(1999)が、心電図波形の識別に関する国内での研究は少なく、AEDメーカーが独自に開発しているものがほとんどである。一方で、除細動を適用した後に自己心拍再開とならず、「心静止」となる場合もある。このような場合、自己心拍再開率は、心静止より心室細動の方がはるかに高いため、より不利な状況に陥ることになってしまう。こういった状況に関しては、心電図波形の過去の状態遷移が関連していると考えられる。これまでも、心拍ダイナミクスのモデルに関する研究(小谷ら(2005))や心電図波形を確率過程として捕らえた研究(清野ら(2006))など、心電図波形の状態に関する研究も報告されているが、除細動適用前後の心電図波形とその状態遷移との関連性については明らかにされておらず、このような状態遷移も考慮した上で心電図波形を識別するようなアルゴリズムは提案されていない。

このような背景から、申請者らは、申請者らは、平成22年度から3年間にわたり、

「ウェーブレット解析に基づく心電図波形の高精度識別システムの構築」(基盤研究(C))に取り組み、これまで識別が困難であった除細動を適用すべき心電図波形に対しても対応できるシステムを構築した。構築したシステムにより、これまでは識別が困難であった要除細動波形に対しても正しく識別することが可能となった。ただし、自己心拍再開例については、システム上の問題(レコーダの老朽化等)から年間に数例程度のデータしか集積することができなかつたため、更なるデータ集積と解析・評価が課題として残された、更に、実用化にあたっては、識別に誤りがないかといった精度面のみでなく、識別に要する時間等も検証が必要であった。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、申請者らがこれまでに開発を進めてきた心電図波形の高精度識別システムの実用化に向けた検証を行うとともに、心電図波形の状態遷移と患者(生体)の状態、特に自己心拍再開例について詳細に検討し、その関連性と評価方法を明らかにすることであり、以上をもって心肺停止患者の蘇生率向上に寄与することである。提案するシステムの実用性を実際の医療現場において臨床応用し、また心電図波形の状態遷移と除細動適用後の心停止患者の容態との関連が明らかになれば、心停止患者の蘇生率向上に大きく貢献することが出来る。また、これまでの解析において、外国人の心電図波形データと日本人の心電図波形データには、異なる特徴があることが明らかになってきており、この点についても継続して検討する。

3. 研究の方法

本研究課題では、申請者らがこれまでに開発を進めてきた心電図波形の高精度識別システムの実用化に向けた検証を行うとともに、AEDメーカーにも協力を要請し、実用機(試作機)の開発を目指す。そのために、まず杏林大学病院高度救命救急センターに新たな心電図波形記録用のレコーダを設計・導入し、より多くの心電図波形データを効率的に記録・集積(年間50例程度以上)し、症例毎に分類する。また、これまでに開発したシステムのより詳細な検証、ならびに高精度化・高速化等、実用化のためのカスタマイズを行う。更に、新規に導入するレコーダで記録された心電図波形データ(自己心拍再開例)を解析し、心電図波形の状態遷移と心肺停止患者の蘇生との関連性について明らかにするとともに、その評価方法を検討する。ついで、日本人と外国人の心電図波形の特徴についても詳しく調査し、その差異を明らかにする。具体的な内容については、以下の通りである。

(1) 識別システムの検証とカスタマイズ

提案するシステムにおける識別精度(安

全性)の検証はもちろん,処理時間等(処理時間については現状のAEDを鑑み,3秒以内)についても検討・カスタマイズを行い,実用化を図る.更に,AEDメーカーにも協力を要請し,実用機(試作機)の開発を目指す.また,システムの有用性,及び安全性の検証,ならびに(2)で行う研究で用いるデータをより効率的に記録・集積するために,研究分担者の所属する杏林大学病院高度救命救急センターに心電図波形データ記録用レコーダを設計・導入し,年間50例以上のデータ集積を目指す.

(2)心電図波形の状態遷移と患者の状態(自己心拍再開例)との関連性と評価方法

(1)で導入したレコーダに記録されるデータを解析し,自己心拍再開例と非再開例(心静止等)における心電図波形データの特徴を抽出する.更に,特徴抽出結果に基づき,心電図波形の状態の遷移と患者(生体)の状態との関連性,すなわち心電図波形の状態がどのように遷移している場合に除細動が効果的なのかといったことを明らかにする.ついで,除細動適用後の患者の容態を予測する方法についても検討する.

(3)日本人,および外国人の心電図波形データの特徴の検討

(2)と並行して外国人,および日本人の心電図波形データの特徴を整理し,その差異を調査する.また,心電図波形識別アルゴリズムの精度との関連性を検討する.

なお,本研究課題の推進体制は,表1のようになっており,研究代表者,研究分担者(中野)が工学的な面から,研究分担者(山口)が医学的な面から取り組む医工連携研究となっており,双方の視点から見た有用性・問題点を検討できる体制となっている.

表1:本研究課題の推進体制

	氏名	役割
研究代表者	大屋	研究統括,及び心電図波形の高精度識別システムの実用化に向けた検証
研究分担者	中野	心電図波形の高精度識別システムの実用化に向けた検証
	山口	ウェーブレット解析結果と高精度識別システムの医学的検証

4. 研究成果

本研究課題では,申請者らがこれまでに開発してきた心電図波形の高精度識別システムを検証するとともに,実用に耐え得るようにカスタマイズすることを目的としており,予定していた作業を完了し,目的を達成した.

初年度は,提案する高精度識別システムの検証を行うために,まず杏林大学病院高度救命救急センターに心電図波形データ記録用レコーダを設計・導入し,心電図波形データをより容易に記録・集積できる環境を構築した.また,前年度までに開発した心電図波形識別システムについて,その精度,ならびに計算時間などについて検証を行った.

心電図波形は,心室細動(VF:Ventricular Fibrillation),心室頻拍(VT:Ventricular Tachycardia),正常洞調律(SR:Sinus Rhythm),心静止(Asys:Asystole),無脈性電気活動(PEA:Pulseless Electrical Activity)に大別されるが,PEAの識別は非常に困難であり,前年度までに開発したシステムにおいては,その識別精度を改善する必要があった.そこで,2年目には,各心電図波形の特徴を表すパラメータ(特徴量)を再度検討するとともに,識別を行うアルゴリズムを再構築した.また,電氣的除細動適用後の患者の容態と心電図波形の状態遷移についても調査し,その評価方法,ならびに外国人と日本人の心電図波形の特徴の差異について検討した.

図1,2に心室細動,正常洞調律の心電図波形の一例を示す.また,図3,4に図1の,および図2のスカログラムを示す.図3,4からわかるように,心室細動では,3~6[Hz]の周波数帯域に主な特徴があり,正常洞調律では,QRS波に対応した縞模様を確認できる.このような各心電図波形における特徴を捉えるためにNSI(Normalized Spectrum Index)などの特徴量を抽出した.

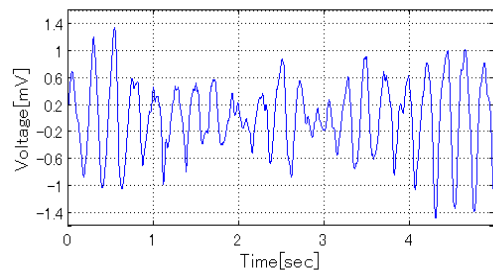


図1:心室細動の一例

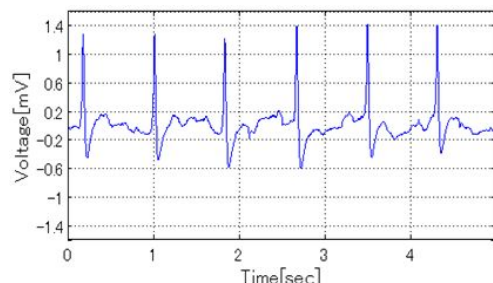


図2:正常洞調律の一例

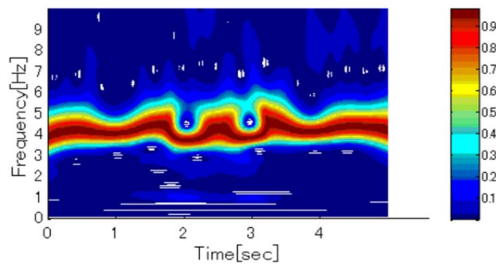


図3：図1のスカログラム

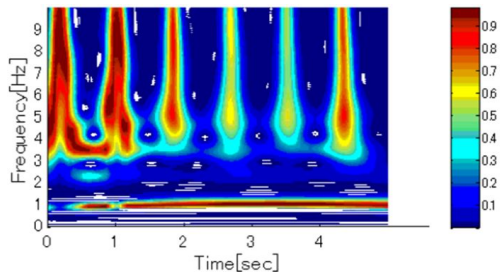


図4：図2のスカログラム

NSI(Normalized Spectrum Index)は次式のように定義されるパラメータであり、申請者らによって提案されたものである。

$$NSI(k) \triangleq \frac{\sum_j \mathcal{Y}_{(k,j)} f_j}{\sum_j \mathcal{Y}_{(k,j)}}$$

図5, 6は, 図3, 4から得られたNSIである。図5, 6からわかるようにNSIも時系列信号である。

さて, 最終年度である2014年度には, 構築を進めてきた識別システムを検証し, 従来に比べて高精度で識別が可能であることを確認した。提案する識別システムでは, 次のような流れで識別が行われる。

- (1) 対象とする心電図波形をウェーブレット変換し, スカログラムを求める。
- (2) スカログラムから NSI(Normalized Spectrum Index)など, 心電図波形の特徴量を抽出する。
- (3) 対象とする心電図波形が正常洞調律であるか否かを判定する(第1段階)。正常洞調律であれば, 除細動適用外波形であり, そうでなければ(2)へ。
- (4) 対象とする心電図波形が除細動適用すべき波形(心室細動, 心室頻拍)であるか無脈静電気活動であるかを判定する(第2段階)。

これにより, 本研究課題でこれまでに開発を進めてきた識別システムの識別精度が従来に比べて大きく向上したことを確認した。従来の方法においても, 第1段階は100%の精度で識別が可能であったが, 第2段階において, 従来は約80%(AUC: 0.80)であった精度が約87%(AUCが0.87)にまで向上した。また, 同時に外国人における心電図波形と日本人における心電図波形の特徴の差異についても継続して検討した。

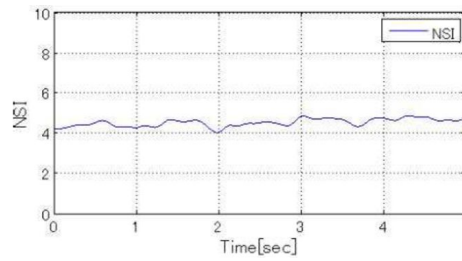


図5：図3から得られたNSI

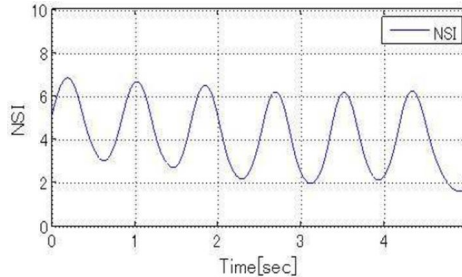


図6：図4から得られたNSI

一方, 心電図波形の状態遷移と除細動適用後の患者の容態については, 閾値処理やLDAよりも高い識別性能を持つことが知られている非線形サポートベクターマシン(SVM: Support Vector Machine)を適用し, 予測を行う手法を提案した。SVMに用いる特徴量については, 心電図波形そのものを識別する手法に用いられている特徴量を含め, 先行研究で用いられている特徴量以外にも種々の特徴量を検討した。有用な特徴量を見つけることが出来れば精度を高めることは可能であるが, 特徴量の数が増大してしまうと過学習や計算時間増加につながってしまうため, 本研究課題では, 特徴選択を行うこととした。本研究課題で提案する手法によって電氣的除細動の成否を短時間で予測し, 心停止患者に対する適切な処置をより短時間で行えるようになり, 患者の蘇生率向上に大きく貢献することが出来る。

本研究課題で提案する方法では, 心停止状態の心電図波形に対する電氣的除細動の結果として, 「除細動成功」, 「除細動失敗」, および「VF再発」の3種類について予測が行われる。ここで, 「除細動成功」は, 心電図波形がVFとなっている患者に対する電氣的除細動後に自己心拍を再開(心電図波形が正常洞調律(SR)に移行)し, その後に再度VFに戻ることがないことを意味する。また, 「除細動失敗」は, 電氣的除細動後も心電図波形がSRに戻らず, VFのまま変化しないこと, 「VF再発」は, VF波形の患者に対する電氣的除細動後に心電図波形がSRに戻ったものの, その後に再度VFとなってしまうことを意味している。すなわち, 「除細動成功」, 「除細動失敗」, および「VF再発」は, 同時には起こり得ない相互に排他的な事象であることに注意されたい。

以上のように, 本研究課題で予定していた作業を完了し, 当初の目的は達成することが出来た。ただし, 以下の点については十分に

はなく、今後も継続して検討すること必要である。

(1) 高精度識別システムの実用化

本研究課題では、国内のAEDメーカーとの協議を行っているが、実用器(試作器)の製作にまでは至っていない。今後は海外メーカーにも対象を広げた検討が必要である。

(2) 除細動適用後の患者の状態と心電図波形の状態遷移との関連

心電図波形用の記録レコーダを新規に導入したことにより、記録・集積は容易になったが、自己心拍再開例について十分な数の症例数を得ることが出来ておらず、今後継続してデータの集積を進めるとともに、提案する方法を検証することが必要である。また、外国人と日本人における心電図波形の特徴の差異についても明確な結論に得るには至っておらずあわせて調査していく予定である。

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 1 件)

Yoshihide Onishi, Hidetoshi Oya, Yuki Nishida, Yoshihiro Ogino, Kazushi Nakano, Yoshihiro Yamaguchi, Hiroshi Miyauchi and Takayuki Okai, "An Wavelet Transform-Based Discrimination Algorithm for Electrocardiogram," Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Submit and Conference 2014 (APSIPA ASC 2014), USB (ID:1107, pp. 1--7), Siem Reap, CAMBODIA, 2014年12月11日, Sokha Angkor Resort (Siem Reap, CAMBODIA), 査読有

[学会発表](計 3 件)

荻野義大, 中野和司, 船戸徹郎, 大屋英稔, 大西慶秀, 西田裕気, "スペクトルの特徴量を用いた電氣的除細動の効果の予測," 電気学会全国大会講演論文集, pp.317--318, 2015年3月25日, 東京都市大学(東京都世田谷区).
西田祐気, 大屋英稔, 大西慶秀, 荻野義大, 中野和司, 山口芳裕, 宮内洋, "ウェーブレット変換に基づく心電図波形の特徴解析とNSIを用いた識別アルゴリズム," 電気学会電子・情報・シス

テム部門大会論文集, pp.1018--1023, 2014年9月4日, 島根大学松江キャンパス(島根県松江市)

大西慶秀, 大屋英稔, 中野和司, "ウェーブレット変換に基づく心電図波形の特徴解析と識別アルゴリズム," 電気学会電子・情報・システム部門大会論文集, pp.1040--1045, 2013年9月6日, 北見工業大学(北海道北見市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大屋 英稔 (Oya Hidetoshi)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授
研究者番号: 30361835

(2) 研究分担者

中野 和司 (Nakano Kazushi)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 90136531

山口 芳裕 (Yamaguchi Yoshihiro)
杏林大学・医学部・教授
研究者番号: 10210379