

心肺蘇生中の心電図波形解析に基づく除細動適用波形の検知

岡井 貴之, 桐岡 茂 (株式会社 CAE ソリューションズ),
大屋 英稔 (徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部),
萩野 剛二郎 (電気通信大学システム工学科),
山口 芳裕, 島崎 修次 (杏林大学救急医学)

Detection of Waves to Which Defibrillation Should be Applied, Based on Analysis of
the Electrocardiogram During CPR.

Takayuki OKAI, Shigeru KIRIOKA (Signals&Systems Analysis Group, Fluid Division, CAE Solutions Co. Ltd.)

Hidetoshi OYA (Institute of Technology and Science, The University of Tokushima)

Kojiro HAGINO (Dept. of Systems Engineering, The University of Electro-Communications)

Yoshihiro YAMAGUCHI, Shuji SHIMAZAKI (Dept. of Traumatology and Critical Care of Medicine, Kyorin University)

Abstract

According to the American Heart Association (AHA)'s guideline providing a standardization of the cardiopulmonary resuscitation (CPR.) law, a continuous cardiac massage is basic and the most important concept. On the other hand, in order to determine whether the electrocardiogram waves need to be subjected to defibrillation, all cardiopulmonary resuscitations must be stopped. However, this stop contradicts the continuous cardiac massage. In addition, stopping the CPR. for the moment causes a critical adverse effect on a recovery of a patient. In this study, we propose a detection system based on analyzing the electrocardiogram waves during the continuous cardiac massage.

キーワード：心電図波形，絶え間ない心臓マッサージ，除細動，リアルタイム表示，早期認知システム
(Electrocardiogram (ECG), A Continuous Cardiac Massage, Defibrillation, Real-Time Display, Early Detection System)

1. はじめに

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，出来るだけ早期の除細動（電氣的除細動）が有効であることが知られており，空港，駅，大学等の教育機関などに Automated External Defibrillator (AED) が設置されている．また，心肺蘇生法 (CardioPulmonary Resuscitation (CPR.)) 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，「絶え間ない心臓マッサージ」を重要な基本コンセプトとしている．すなわち，心肺停止患者に対する蘇生処置の要点は，「絶え間ない心臓マッサージ」と「早期の除細動」である．しかしながら，この除細動を適用すべき心電図波形が出現しているか否かを判断するためには，いったん患者からすべての医療者が手を離し，かつ外部からの人為的な刺激を排除して波形を確認するという作業が必要である．心肺蘇生法の標準的なガイドラインを提供している 2005 年の AHA ガイドラインでは，5 サイクル (約 5 分) ごとの心リズム，および心電図波形のチェックを定めているが，当然のことながら，この方法に従うと，この時間の周期で一定期間の心臓マッサージの中断を余儀なくされることになり，同ガイドラインの最も重要な基本コンセプトである「絶え間ない心臓マッサージ」を阻んでしまうという重大な内部矛盾に直面する．

このような背景から，われわれは，平成 17 年度から 3 カ年にわたり，極めて低電位であっても除細動の適用波形 (心室細動波形，心室頻拍波形) の確実な認知を可能としながら，その一方で，環境および蘇生処置にともなって人為的に加わるノイズ波形を除去できるシステム，および機器の開発を目的とした総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度による研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」を実施した⁽²⁾．この研究課題において，蘇生行為 (心臓マッサージ) 実施中の心電図波形データを解析することにより，心臓本来の電氣的活動から得られるであろう心電図波形を抽出するシステム (心電図波形認知アルゴリズム) を開発した．本システムを臨床応用 (実用化) できれば，「絶え間ない心臓マッサージ」を講じながら，安全かつ確実に除細動適用波形を判断でき，迅速な搬送と早期除細動を両立させることが可能となるため，心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすと考えられ，現在は，システムの臨床応用・実用化に向けた検証を進めている⁽³⁾．

本稿では，早期認知システムによる心肺蘇生中の心電図波形解析，解析によって得られた心電図波形の除細動適用波形の検知についてまとめ，最後に今後の課題について述べる．

2. 蘇生処置中の心電図波形と心電図波形認知アルゴリズムによる波形抽出

心臓の電氣的活動として得られる心電図波形は、医学的見知から大まかに次のように分類される⁽⁴⁾。

- 正常洞調律[†] (Sinus Rhythm)
- 心室細動 (Ventricular Fibrillation:VF)
- 心室頻拍 (Ventricular Tachycardia:VT)
- 電気収縮解離 (Pulseless Electrical Activity:PEA)

一方、CPR. において最も重要である心臓マッサージでは、胸骨の下半分^{††}を1分間に100回のリズムで胸部が4~5[cm]程度沈むように圧迫するように推奨されている。

心臓マッサージ実施中の心電図波形には、心臓本来の電氣的活動によって得られるもののみではなく、マッサージによる影響も含まれており、この影響は、心臓本来の電氣的活動として得られる心電図波形よりも大きな波形として得られることが分かってきている。また、心臓マッサージは、マッサージ実施者によって圧迫のリズム、圧迫の強度が異なるため、心電図波形に及ぼす影響も実施者によって異なり、そのため、心臓マッサージ実施者が異なる場合でも、心臓本来の電氣的活動から得られる心電図波形を推定することが要求され、筆者らは、次のような処理を行うことで、この目的を達成する早期認知システム(心電図波形認知アルゴリズム)を開発した⁽²⁾。

- (1) 心肺蘇生処置中の心電図波形データの近似波形生成
- (2) 近似波形を用いた特徴解析
- (3) 得られた特徴から心臓マッサージによる影響(以下、単に心臓マッサージ成分と呼ぶ)を推定
- (4) 推定した心臓マッサージ成分を記録された心電図波形データから除去。

早期認知システム(心電図波形認知アルゴリズム)によって得られた心電図波形データの一例を図1に示す。図1は、心臓マッサージ間歇期に心室細動(VF)であると判断された心電図波形データの直前の心臓マッサージ実施中の心電図波形データであり、心室細動波形に心臓マッサージによる影響が重畳しているものと考えられる。図中、上段が解析対象(心臓マッサージ実施中の心電図波形データ)の心電図波形であり、下段が提案するシステムによって処理した波形データ、すなわちシステムの出力である。

3. 既存の AED 判定アルゴリズムによる除細動適用波形の検知とリアルタイム表示

われわれは、早期認知システム(心電図波形認知アルゴリズム)によって処理された結果について、心臓マッサージ間歇期に記録された心電図波形データとともに医師によって除細動適用波形であるか否かを判断することでその有用性を検証してきた。しかしながら、実用化を考えた場合、蘇

[†] 基本調律ともいう。

^{††} 剣上突起の2横指上、左右の乳頭を結ぶ線の中点(胸骨上であることを)を圧迫の中心とするなどの方法がとられることが多い⁽⁴⁾。

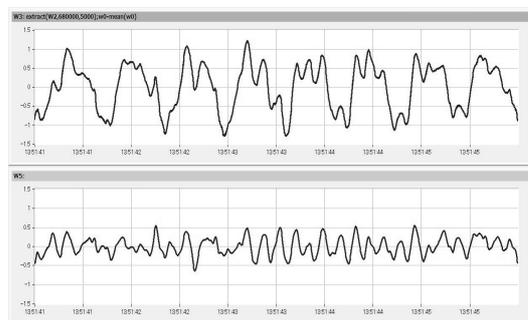


図1 心肺蘇生中の心電図波形データの処理結果の一例

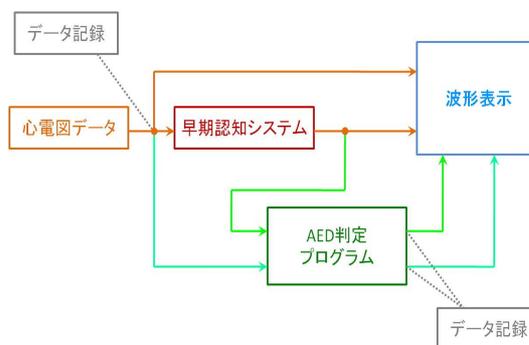


図2 検証システムのフローチャート

生処置中の心電図波形データの記録、解析、要除細動波形か否かの判定といった一連の処理をオンラインで行う必要がある。そこで、このような検証をオンラインで実施可能なシステム(検証システムと呼ぶことにする)を杏林大学高度救命救急センター ER 室に設置し、臨床現場による検証を行っている。検証システムでは、早期認知システム(心電図波形認知アルゴリズム)に基づいて処理された結果を既存の AED に組み込まれている除細動適用判定アルゴリズムに誘導することで、上記の処理をオンラインで実施することができるようになっており、その概要を図2に示す。検証システムでは、現在行われている蘇生処置に対応できるように、解析後の心電図波形データと共に元の心電図波形データをについても AED の除細動適用判定アルゴリズムに誘導し、その判定結果を保存している。また、図3に検証システムでのモニタ表示の様子を示す。モニタ上部の青色の波形が元の心電図波形データ、モニタ下部の赤色の波形が早期認知システムによって処理された波形データである。AED の除細動適用判定アルゴリズムによる判定結果は、図の赤枠で囲っている部分に表示されるようになっている。

医療現場で用いられている心電図波形モニタでは、25[mm/sec]±5%の掃引速度で心電図波形データが表示されている。これまでに筆者らの開発した早期認知システムは、5[sec]の心電図波形を解析しており、処理時間は1[sec]未満となっているが、医療現場の心電図モニタと同様に心電図波形を表示するには、解析時間を100[msec]未満にす

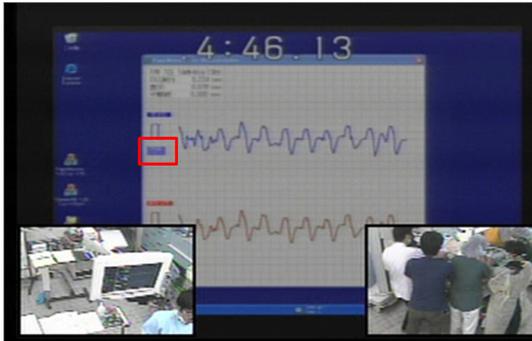


図 3 検証システムによるモニタ表示の一例



図 4 リアルタイムによる表示例

る必要がある。そこで、解析を行う心電図波形の記録時間を短くし、解析処理に用いている設計パラメータを調整することで医療現場の心電図波形モニタと同様の表示が可能となった^{†††}。図 4 にリアルタイムによる表示例を示す。

4. むすび

本稿では、蘇生処置中の心電図波形を解析することによって、心臓本来の電気的活動から得られる心電図波形を推定する早期認知システム、および解析結果を現状の AED で使用されている除細動適用波形検知アルゴリズムで判定するシステムについて報告した。

今後の課題は、実用化に向け、医療現場での臨床応用、および高精度化のためのカスタマイズ、リアルタイムでの解析および除細動適用波形の検知などが挙げられる。

なお、本研究は、総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度による助成により実施された。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- (1) American Heart Association :”ACLS プロバイダマニュアル”, シナジー, 2008.
- (2) 山口芳裕, 島崎修次, 萩野剛二郎, 大屋英稔, 桐岡茂, 岡井貴之 :”心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発”, 平成 19 年

^{†††} ただし、解析結果として得られる心電図波形データが、除細動を適用すべき波形か否かについては、処理結果を 5[sec] 程度の波形に繋げ合わせて行うことに注意されたい。

度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題報告書, 2008.

- (3) 山口芳裕, 島崎修次, 大屋英稔, 桐岡茂, 岡井貴之 :”心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化に向けた検証”, 平成 21 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題報告書, 2010.
- (4) 兼本成斌 :”はじめての心電図 (第 2 版)”, 医学書院, 2002.