

一般口演

一般口演28

機械学習・アルゴリズム・解析モデル

2017年11月23日(木) 12:45 ～ 14:15 E会場 (10F 会議室1003)

[4-E-2-OP28-4] ベクトル心電図特徴量と不整脈発生起源との関係

稲田 慎¹, 井上 優子², 柴田 仁太郎³, 山本 剛², 芦原 貴司⁴, 相庭 武司², 草野 研吾², 池田 隆徳⁵, 三井 和幸⁶, 中沢 一雄²
(1.姫路獨協大学医療保健学部, 2.国立循環器病研究センター, 3.新宿三井ビルクリニック, 4.滋賀医科大学循環器内科・不整脈センター, 5.東邦大学医学部, 6.東京電機大学大学院先端科学技術研究科)

〔背景・目的〕不整脈の治療方法の一つとして、発生起源を高周波により焼灼する方法がある。そのためには、不整脈発生起源を同定する必要がある。現在は、不整脈発生起源同定のために12誘導心電図が用いられているが、熟練を要する。そのため、より客観的かつ容易な同定方法が確立すれば、手技時間の短縮が期待される。本研究では、不整脈発生起源同定のための心電図解析システムを開発し、健常者と患者の心電図を比較検討することを目的とした。〔方法〕12誘導心電図を解析し、不整脈発生起源を同定するためのシステムを試作した。システムは12誘導心電図から、心臓内の電氣的興奮の広がりを経路的に捉えることが可能なベクトル心電図へ変換し、ベクトル心電図の特徴量から不整脈発生起源を同定するものである。ベクトル心電図の特徴量として、三次元空間内におけるベクトルループが最大となる方向を選択した。〔結果〕まず、健常者およびペースメーカー外来患者の心電図の解析を行った。健常者と患者では、心室の興奮開始と終了に対応するベクトルループの特徴量が明らかに異なった。このことから、心室内の興奮発生起源をベクトル心電図から捉えることが可能であると考えられた。そこで、焼灼治療施行前の患者の心電図について、自発興奮と不整脈に対応する心電図の解析を行った。それぞれのベクトル心電図からは異なる特徴量を得ることができた。また、不整脈発生起源が異なると特徴量も異なったことから、ベクトル心電図から不整脈発生起源を同定できる可能性が示唆された。〔まとめ〕本研究で検討した特徴量を用いることにより、不整脈発生起源を同定することが可能になると考えられた。今後は、心電図を自動的に解析し不整脈発生起源を同定するアルゴリズムを開発するとともに、シミュレーションで得られた興奮伝播過程から心電図を理論的に算出することで、実計測と理論を併用した高精度の同定手法確立を目指す。

ベクトル心電図特徴量と不整脈発生起源との関係

稲田慎^{*1}、井上優子^{*2}、柴田仁太郎^{*3}、山本剛^{*2}、芦原貴司^{*4}、
相庭武司^{*2}、草野研吾^{*2}、池田隆徳^{*5}、三井和幸^{*6}、中沢一雄^{*2}

*1 姫路獨協大学医療保健学部、*2 国立循環器病研究センター、*3 新宿三井ビルクリニック、
*4 滋賀医科大学循環器内科・不整脈センター、*5 東邦大学医学部、*6 東京電機大学大学院先端科学技術研究科

Relationships between characteristics of vectorcardiogram and location of premature ventricular contraction

Shin Inada^{*1}, Yuko Inoue^{*2}, Nitaro Shibata^{*3}, Tsuyoshi Yamamoto^{*2}, Takashi Ashihara^{*4},
Takeshi Aiba^{*2}, Kengo Kusano^{*2}, Takanori Ikeda^{*5}, Kazuyuki Mitsui^{*6}, Kazuo Nakazawa^{*2}

*1 Faculty of Health Care Sciences, Himeji Dokkyo University, *2 National Cerebral and Cardiovascular Center,
*3 Shinjuku Mitsui Building Clinic, *4 Department of Cardiovascular Medicine, Shiga University of Medical Science,
*5 Department of Cardiovascular Medicine, Toho University Faculty of Medicine,
*6 Graduate School of Advanced Science and Technology, Tokyo Denki University

Electrical excitation of the heart is initiated from the sinoatrial node which is a physiological pacemaker in normal heart. Arrhythmias such as ventricular fibrillation lead to sudden death. Premature electrical excitation could be related to arrhythmia. In clinically, identifying the location of premature electrical excitation in the heart is important to treat arrhythmias. In this study, we developed a system to record 12 lead electrocardiogram (ECG), convert ECG to vectorcardiogram related to propagation of electrical excitation in the heart and analyze vectorcardiogram to detect the location of premature electrical excitation. We analyzed vectorcardiograms converted from 12 lead electrocardiograms recorded from patients with arrhythmia for determining the location of premature electrical excitation. Characteristics of vectorcardiograms in premature beats were apparently different compared to its recorded from normal beats. Our results suggest that our method might be useful to predict the location of the premature electrical excitation.

Keywords: Vectorcardiogram, Electrocardiogram, Arrhythmia, Premature ventricular contraction

1. 背景・目的

正常な心臓では、心房内のペースメーカー細胞である洞結節から発生した電気的興奮が心臓全体へ広がることにより収縮し、血液を送り出すポンプとしての機能を果たしている。電気的興奮が洞結節以外の場所から発生すること(期外収縮)は、不整脈の発生要因の一つである。臨床においては、この期外収縮の発生位置に対して高周波を用いて焼灼する治療(アブレーション)が行われている。しかしながら、アブレーションを施行するためには、期外収縮の発生位置を同定する必要がある。臨床では、期外収縮発生位置を同定するために、12誘導心電図が用いられている¹⁾が、熟練を必要とする。そのため、より客観的かつ容易な同定手法を確立することができれば、手技時間の短縮が期待される。

我々はこれまで、12誘導心電図から期外収縮の発生部位を同定するためのシステムの開発を行ってきた^{2) 3) 4)}。開発したシステムを用い、健常者とペースメーカーが植え込まれた患者の心電図を解析したところ、健常者と患者との区別、ペースメーカーの植え込まれた部位を区別することが可能であった。さらに、心房内における電気的興奮の発生部位を推定できる可能性も示唆された。

本研究では、心電図の解析対象について、不整脈を有する患者に拡大し、心電図の特徴量からの期外収縮の発生部位同定の可能性について検討することを目的とした。

2. 12誘導心電図解析システム

開発したシステムは、12誘導心電図を計測する心電計、計測した12誘導心電図を解析し、自発興奮または期外収縮の発生部位を同定し表示するソフトウェアから構成される。図1に開発したソフトウェアの画面を示す。まず図1左に示すような12誘導心電図を、右上に示すようなXYZ誘導心電図へ変

換する。変換にはDowerにより開発された方法⁵⁾を用いた。ベクトル心電図は、XYZ誘導心電図を三次元空間内に示したものであり、心臓内の電気的興奮の広がり三次元的に捉えることが可能である。これに対して、一般に用いられる12誘導心電図はスカラー心電図と呼ばれる。開発したソフトウェアでは、図1右中に示すように、ベクトル心電図を人体の正面(Frontal)、水平面(Horizontal)、左側面(Sagittal)に投影したものをして示される(2次元表示)。スカラー心電図の主な構成成分として、P波、QRS波、T波があるが、これに対応するベクトル心電図はそれぞれPループ、QRSループ、Tループとなる。スカラー心電図と同様に、Pループは心房内の電気的興奮の広がりを、QRSループは心室内の電気的興奮の広がりを、Tループは心室の電気的興奮の終了過程を示す。各ループが最大となる方向は、電気的興奮が広がる方向を示している。また、実装中の機能として、ベクトル心電図の3次元による表示(図1右下)、自動解析による期外収縮発生部位の同定および表示がある。

3. 解析結果

不整脈を有する患者の12誘導心電図を解析対象($n=21$)とし、開発したソフトウェアを用いて解析を行った。なお、各患者の心電図には正常な心拍(洞調律)に対応する心電図と不整脈(期外収縮)に対応する心電図がそれぞれ含まれている。図2は洞調律時(A)および期外収縮発生時(B)におけるQRSループの一例である。洞調律時のベクトルループは多くの例において、正面から見た場合左下を、水平面で見た場合は左後方を、左側面から見た場合は左後方をそれぞれ向いていた。これに対して、期外収縮が発生したときにはベクトルループは洞調律時と比較して大きく変化することがあった。Bに示した例では、正面から見たループが下方に、水平面で

見た場合には左方に、左側面から見た場合には下方にそれぞれ変位した。

各患者のベクトルループ特徴量をまとめたものを図 3 に示す。ここでは、各患者の洞調律(Sinus rhythm)および心室期外収縮(PVC: Premature Ventricular Contraction)発生時における QRS ループおよび T ループの特徴量をそれぞれ示した。特徴量として、正面および水平面から見たときの QRS ループおよび T ループが最大となる角度をそれぞれ求め、正面から見たときの最大角度を横軸に、水平面から見たときの最大角度を縦軸としてそれぞれ示した。白丸は QRS ループ、黒丸は T ループの特徴量である。

4. 考察

図 3 より、洞調律においては多くの場合、QRS ループは正面から見て 0° から 90° の範囲に、水平面から見て -90° から 0° の範囲にあった。このことは、QRS ループが最大となる方向が正面から見て左下を、水平面から見て左後方を向いていることを示しており、図 2 に示した代表例や健常者のベクトル心電図の解析結果⁴⁾と一致した。これらの結果は、洞調律時における電氣的興奮が右心房から左心室へ広がる過程を反映していると考えられた。また T ループについては、水平面から見た場合には 0° から 90° の範囲にあったが、水平面から見たときの角度の分布は -90° から 90° の範囲と広く分布していた。健常者の T ループは水平面で見ると 0° から 90° に分布していた⁴⁾ことを考慮すると、T ループの分布の違いは、健常者と患者の年齢の差や患者における何らかの病態を反映している可能性が考えられた。

心室期外収縮が発生した場合、T ループが最大となる角度は正面から見たときは -90° 付近に、水平面で見たときは 90° 付近にあった。これに対して QRS ループが最大となる角度は患者ごとに異なり、正面から見て 90° 付近、水平面で見て -90° 付近に分布する群と、水平面で見て 0° 付近に分布する群に分かれた。従来手法を用いると、これらの群は、それぞれ期外収縮の発生部位が右室流出路にある群と左室流出路にある群であった。期外収縮の発生部位が異なると、心室内の興奮が広がる過程が変化し、このことがベクトル心電図の特徴量の違いに反映されていると考えられた。

以上の結果は、ベクトル心電図の特徴量を用いた期外収縮発生部位同定の可能性を示唆していると考えられた。

5. まとめ

本研究で開発したシステムを用いることにより、12 誘導心電図からベクトル心電図への変換および解析が実現した。また、ベクトル心電図の解析により得られた特徴量は、期外収縮発生部位の同定に有用である可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Ito S, Tada H, Naito S, et al. Development and validation of an ECG algorithm for identifying the optimal ablation site for idiopathic ventricular outflow tract tachycardia. J Cardiovasc Electrophysiol 2003; 14: 1280-6.
- 2) 稲田慎, 朝井隆裕, 小野多佳子ら. 不整脈起源の推定が可能な 12 誘導心電図解析システムの開発. 第 34 回医療情報学連合大会論文集 2014; 514-5.
- 3) 稲田慎, 竹村匡正, 鈴木信宏ら. 心房での不整脈起源の同定を目指した 12 誘導心電図解析システムの開発. 第 35 回医療情報学連合大会論文集 2015; 302-3.
- 4) 稲田慎, 井上優子, 柴田仁太郎ら. 12 誘導心電図からの期外収縮発生起源同定手法の検討. 信学技報 2016; 37-40.

- 5) Edenbrandt L, Pahlm O. Vectorcardiogram synthesized from a 12-lead ECG: Superiority of the inverse Dower matrix. J Electrocardiol 1998; 21: 361-7.

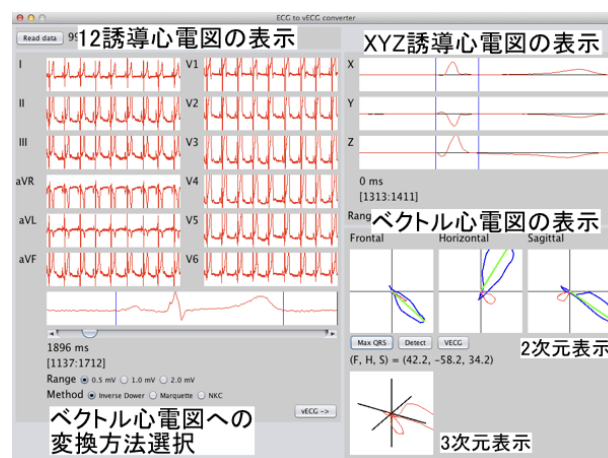
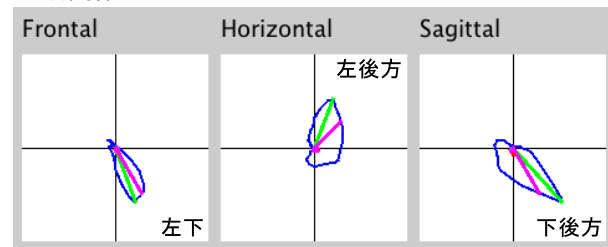


図 1 心電図解析ソフトウェア

A. 洞調律



B. 期外収縮

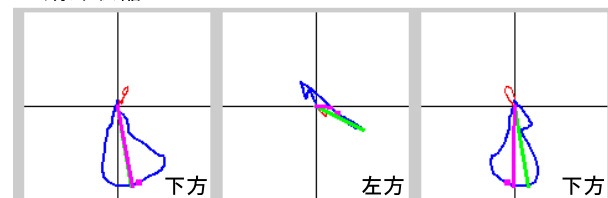


図 2 洞調律時と期外収縮発生時のベクトルループの違い

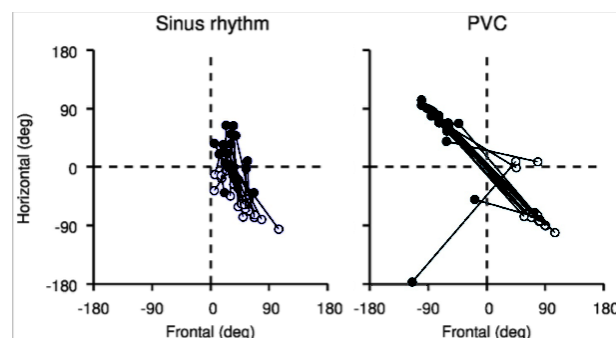


図 3 洞調律時および期外収縮発生時におけるベクトルループ特徴量の比較