

循環・呼吸の遠隔解析モニタシステムの研究開発 (072302005)

Tele-measuring system for the successive multi-modulating analysis on the multi-leads ECG

研究代表者

三田 光男 岩手医科大学

Mitsuo Mita Iwate Medical University

研究分担者

齊藤 正人[†] 照井 康文[†] 斎藤 浩一^{††} 藤巻 和夫[†] 小野 保^{†††}

Masato Saito[†] Yasutake Terui[†] Koichi Saito^{††} Kazuo Fujimaki[†] Tamotsu Ono^{†††}

[†](株)アドテックシステムサイエンス R&D センタ^{††} フクダ電子(株)開発本部第一開発部^{†††} 岩手看護短期大学

研究期間 平成 19 年度～平成 20 年度

概要

心電信号には心筋興奮だけでなく肺換気・血液還流(肺気量)の情報が含まれている。これらの微小かつ複雑なゆらぎ信号の分解は、多重ゆらぎ信号の解析原理によって達成される。しかし、そのリアルタイム解析にはスーパーコンピュータが必要であった。そこで、信号入力や SFT 演算の PCI デバイスを開発し、複数の SFT 演算器による並列演算と最適な解析条件とから PC 単独の約 100 倍の高速演算による連続ゆらぎ解析を達成した。ゆらぎ解析は 1/125 の情報圧縮を満たし、インターネット上の信号転送量を大幅に軽減することから、多導出・リアルタイム解析の多機能な遠隔システムに纏めた。その解析機能は、標準 12 導出の心電計測のみならず、心筋興奮、肺換気、静脈還流のゆらぎ信号、また 3 種類のゆらぎ情報およびそれらの周波数帯域別相互ゆらぎ関連情報、さらには多導出信号の肺換気分布などの胸部分布情報など、病院並みの高度で多彩な診断性能を示した。したがって、この遠隔システムは老人介護施設や在宅医療における不整脈、心筋傷害、COPD、心不全などの早期発見や治療効果を追跡する遠隔モニタシステムとしての発展が期待できる。

Abstract

The principle of the multi-modulating analysis has achieved to generalize the maximum information of three modulating signals, heart activation, lung ventilation and venous return, from the ECG. Each segmental waveform of these signals has time-modulation supplying information for diagnosis and treatment. Multi-leads' ventilations are the ventilatory distribution in the thorax, which provides the uneven lung ventilation without X ray. The parallel calculations by the SFT devices, an USB data recorder, and adequate analytical conditions contribute to perform the successive analysis of the signals. The high effective coding of 1/125 for the source signal performs real-time transport and high effective recording, which ensures the tele-measuring system on the internet.

1. まえがき

多重ゆらぎ信号とは、心筋興奮、肺換気や静脈還流の平均的な信号がそれぞれ独立に時間的・強度的に変調された複雑な形態の信号のことである。多重ゆらぎ信号はゆらぎの周波数成分が相互に干渉してフーリエ解析のみでゆらぎ信号を分離することはできない。多重ゆらぎ解析の原理とは、心筋興奮を規格化(周期)信号に変換するスケールによって、狭帯域の飛び飛びのフーリエ成分に封じ込め、同時に基線動揺のゆらぎを広帯域のフーリエ成分に分配させることにより、心筋興奮と基線動揺とをフーリエ解析により分離し、逆スケール変換から 2 種類のゆらぎ信号を導く原理である。ゆらぎ解析を反復することにより、すべてのゆらぎ信号を導くことができる。しかし、信号雑音比(S/N ratio)の高いスケール変換を導くには、ゆらぎの情報理論と信号の局所形態に歪を生じないフーリエ解析法が不可欠になる。

本研究では、周期化・項リダクションおよび強度均一化の 3 種類のスケール変換群を整備し、ゆらぎ信号を規格化する情報理論を確立する。また信号から偏りなく最大の情報を収集する多重尺度標本化による統計的フーリエ変換法(SFT 法)を導入することにより多重ゆらぎ解析を達成する。さらに、FPGA デバイスである SFT 演算器と USB データレコーダとを開発し、並列演算と最適な連続解析の条件との組み合わせによって、3 種類のゆらぎ信号の多チャンネル・リアルタイム解析を達成する。正常人を対象とした実測成績により解析器の性能については多チャンネル

性、多機能性、リアルタイム性から評価し、また遠隔計測・解析システムの性能については転送性能および安全・利便性から評価する。

2. 研究内容及び成果

解析器は開発された USB 心電計、USB データレコーダと複数の SFT 演算デバイスおよび 32bit の PC により構成する。図 1 は連続解析の多重ゆらぎ解析のフローチャートである。

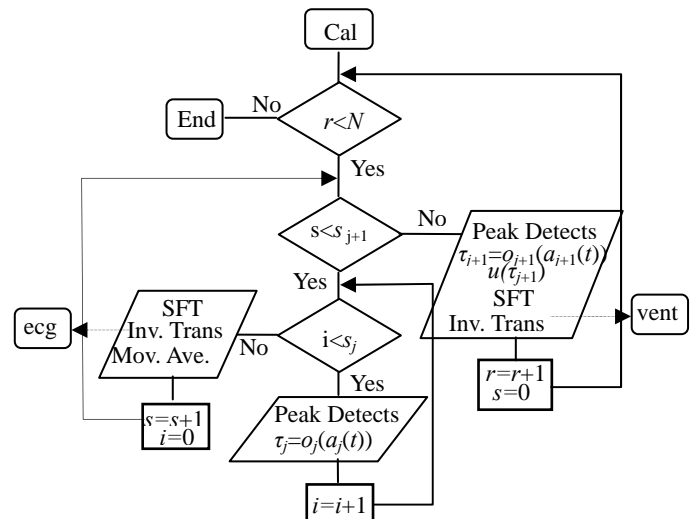


図 1 多重ゆらぎ連続解析の手順

解析条件が $n=150, s_f=30(\text{CarS}), s_{f+1}=8(\text{VenS}), N=1(\text{AnaS})$ において 6 導出信号のリアルタイム遠隔連続ゆらぎ解析を達成した。解析器の機能はモードおよび解析条件の指定により制御する。図 2 は制御画面の一部であり、解析器の状態は、遠隔ユーザ (Remote) が収録済みデータ (Disk) のゆらぎ解析 (Ana) を指定して、 $s_f=16$ 拍 (CarS) ごとに SFT 解析と、基線動揺を $s_{f+1}=2$ 個 (VenS) 連結して換気解析を連続 $N=2$ 回 (AnaS) 反復する解析条件での遠隔解析を表わす。また、3 枚の SFT 基板が演算中 (図 2 d) の状況にあることを表わす。



図 2 解析状態の表示メニュー

図 3 は心電信号 (a) から導かれた 3 種類のゆらぎ信号、心筋興奮 (b)、換気 (c)、静脈還流 (d) である。

源信号に見られる $0.1\sim 0.2\text{mV}$ 微小変動の基線動揺から低周波数帯域の肺換気および血液還流 (肺気量) と関連するゆらぎ信号が導かれる。

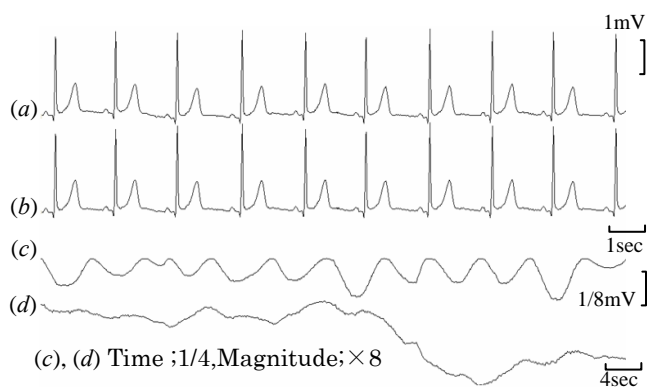


図 3 心電図、換気、静脈還流の多重ゆらぎ解析

図 4 は前額面の aVR、aVL、aVF および横断面の V1、V4、V6 導出の換気信号である。

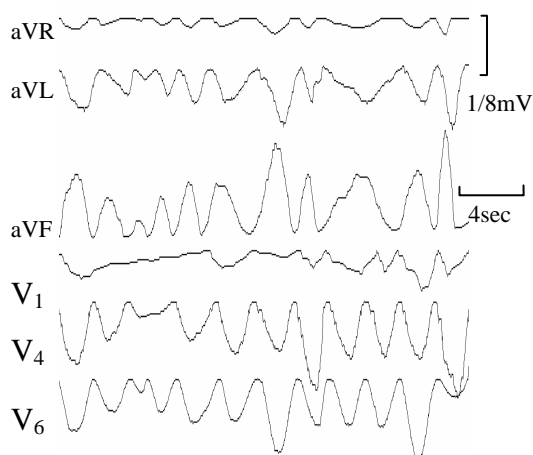


図 4 肺換気の導出分布

換気は aVF 電極のみ軸方向に換気が起こり、その他の電極軸では軸方向と逆方向に換気が生じる。横断面の換気は V1 導出軸に垂直の右背面の方向であり、横断面の胸郭容積変動に対応する。また、前額面の換気は右下方に生じ

る。表 1 は年齢 19~22 歳の女子 32 名の 544 換気から換気の高さ $|V_T|$ と方向 (オイラー角 φ, θ) の平均および標準偏差である。

表 1 換気ダイポールの大きさ $|V_T|$ と方向 φ, θ

Dipoles (mV)	n	$ V_T (\mu\text{V})$	$\varphi(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$
$ V_T < 0.172$	323	130 ± 25	29.1 ± 2.5	6.9 ± 1.6
$ V_T \geq 0.172$	221	234 ± 66	26.9 ± 2.6	8.3 ± 1.4
Total	544	172 ± 69	28.2 ± 2.7	7.5 ± 1.7

正常の換気方向は右後方 28° 下方より 7.5° の方向である。また、浅い換気ではより下後方に、深い換気では右上向きに偏移する。この結果は肺葉が左葉より右葉が大きく、横隔膜が胸郭の後方に位置するという肺の解剖学的な構造と一致する。また、深い換気では腹式呼吸に胸郭の水平方向の胸式呼吸が加わる生体機構に対応した換気が生じる。肺換気の導出分布では不均一換気分布から X 線検査なしに、肺炎や COPD 病変の簡便な部位診断を期待できる。これは心筋虚血の ECG による部位診断と同様である。また治療経過の追跡では、非侵襲性と生体反応を観察できるという視点から X 線検査より有効と考える。

さて、周期化スケール変換の逆変換アドレスが周期信号からのゆらぎを表わすことから、図 5 に瞬時 SFT 解析より導いた換気周波数帯域の時間軌跡を描いた。ここに HRV は心筋興奮のゆらぎ、RRV は換気ゆらぎ、VT は換気信号を表わす。換気信号と換気周波数帯域の HRV 信号との形態の違いは導出軸で信号強度が変わることや、極性反転や位相差が生じることだが、その周期は (a)、(b) に見られるように、換気周期が変動しても常に一致する。一方、RRV は (a) のように換気 1 周期に呼息と吸息に対応する 2 峰性のピークが出現する。即ち、肺の伸展レセプタが関与する吸息・呼息の生体調節機構が心臓のゆらぎ (HRV) には存在しないことが直截的に表現される。

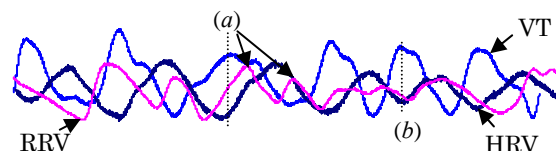


図 5 換気周波数帯域の換気 HRV、RRV の相互関連

多重ゆらぎ解析からのゆらぎ情報は心拍タコグラムのそれと較べるとき、単に高精度のゆらぎ情報が導かれるのみならず SFT 解析による周波数帯域別のゆらぎやそれらの相互関連など多彩な情報が導かれる。即ち、高域の ECG 各波から低域の静脈還流に至るまでの広域の高精度の同期ゆらぎ情報は診断や治療評価にきわめて有効である。

3. むすび

多重ゆらぎ解析では、ゆらぎ信号のみならず、ゆらぎ情報から診断・治療情報や肺の不均一換気分布による部位診断など多彩な情報が導かれる。また解析器の高速演算性能と高能率符号化法によってリアルタイムの遠隔計測・解析が確立された。遠隔システムでは複数の解析器による安全な計測・解析が保証され、在宅医療への応用が期待できる。

【誌上发表リスト】

- [1] 小野保、三田光男、“標準 12 導出心電図を用いた換気分布に関する研究”、岩手医学誌 Vol.60.No5p327-335, 2008
- [2] M.Mita, T.Ono, M.Saito, Y.Teru, K.Saito, M.Matsuoka : “Successive Multi-modulation Analyzer for Electrocardiogram” (BME 投稿予定)

【申請特許リスト】

- [1] 三田光男、多重ゆらぎ解析方法および装置、日本、2008 年 12 月 13 日