

## 論文審査の結果の要旨

|  |                    |    |       |
|--|--------------------|----|-------|
| 博士の専攻分野の名称   | 博士 ( 医学 )          | 氏名 | 藤田 悦則 |
| 学位授与の条件  | 学位規則第 4 条第 1・2 項該当 |    |       |
| 論文題目<br>Extraction of apex beat waveform from acoustic pulse wave by sound sensing system using stochastic resonance<br>(確率共鳴を用いた音響センシングシステムにより得られた音響脈波からの心尖拍動抽出)  |                    |    |       |
| 論文審査担当者  |                    |    |       |
| 主査教授   | 中野 由紀子             | 印  |       |
| 審査委員 教授  | 東 幸仁               |    |       |
| 審査委員 准教授   | 佐伯 昇               |    |       |
| 〔論文審査の結果の要旨〕   |                    |    |       |
| <p>数十年前, 心音・心雑音の聴診所見を客観化するために, 心音図 (PCG) が用いられた頃, 心尖拍動 (apex beat) を記録するために心尖拍動図 (ACG) の記録が行われたが, 記録技術の困難さもあり, 広く使われるには至らなかった。</p> <p>このたび非侵襲的に生体表面から生体脈波を採取するために確率共鳴を用いた音響センシングシステム (4SR) を開発し, 0.5~80Hz の広帯域にわたって音響振動情報を得ることに成功し, それを Acoustic Pulse Wave (APW) と命名した。4SR は主として骨伝導を利用しているため, 計測対象となる部位に聴診器のチェストピースのように 4SR を皮膚に押し当てただけで APW を計測できる。APW をバンドパス・フィルタ処理することにより, より低音域の ACG 相当波形 (Cardiac Apex Beat: CAB) と, それよりも周波数の高い PCG 相当波形 (Cardiac Acoustic Sound: CAS) が得られる。これにより, 新しく得られる APW に視診, 触診, 聴診に関する従来の知見を組み合わせて, 効率良く新たな生体脈波へのアプローチを開発できる可能性が生まれた。</p> <p>本研究では, 健常被験者 70 人の参加を得て, 内 50 人で APW の解析を行い, 20 人でその検証を行った。50 人は 20~60 歳代の男性 39 名と女性 11 名で平均年齢は 38.2 (±10.3) 歳であった。</p> <p>まず ACG と PCG は, 共に周期性があり, 高周波帯域になるとパワースペクトルも近似してくる。したがって, 共に減衰自由振動である CAB と CAS は, 高周波数帯域での判別が難しい。そこで, 両対数軸表示し, APW と PCG の両周波数解析結果を引き算し, ゆらぎ係数に近似する傾きを持つ連続関数上に CAB と CAS 情報を載せることができることを見出した。</p> <p>APW と PCG の各波形の周波数解析結果を関数化 (APW 関数, PCG 関数) し APW 関数を PCG 関数で割ると変曲点が生じ, この変曲点を CAB と CAS の境界周波数 (Boundary Frequency: BF) と定義した。この BF を用いたフィルタ処理により, CAB と CAS の情報が混じることなく, 信号を分離できた。BF を縦軸に, HR を横軸にとった BF-HR 相関曲線は, <math>y = 0.0173 x^2 - 2.5847 x + 107.6111</math> (<math>R^2 = 0.8242</math>) で表された。BF が心拍数の 2 次関数で近似されることを見出したため, PCG のデータを用いずに, APW から得られる心拍数のデータのみを用いてリアルタイムに BF を決定することが可能になった。</p> <p>さらに対象者に心拍変動が生じたとき, BF が BF-HR 相関図の回帰曲線上を移動するため, 心臓の運動分析と圧力脈動・心臓の運動状態および心室血行動態が評価できる可能性が示唆された。</p> <p>BF-HR 相関図の BF は, HR が 75/min のときに極小値となった。また, ECG のデータを使った HRV のゆらぎ解析から 2 次関数の揺らぎ曲線が得られた。心拍数が 70~80/min で 1/f となることから, その心拍で心臓が効率的に動作していることが示唆された。これらの所見から, HR 75/min がエネルギー最小作用の原理で想定される, 心臓の機械効率の良い心拍数である可能性がある。</p> |                    |    |       |

前胸部で得られた APW 由来の CAB は、ACG で得られる心尖拍動波に極めて類似している。パワースペクトル密度 (PSD) によって、疑似正弦波 (S 波) と疑似三角波群 (T 波, C 波, G 波), および疑似全波整流波 (R 波) に分けられ, Correlogram からは正弦波の基本周期を持つ S 波と G 波に分類され, 高調波が顕在化する T 波, C 波, R 波に分類されている。

さらに, ラグに対する自己相関関数の差に注目すると, Correlogram の+側で, S 波と G 波が区別でき, Correlogram の-側で, T 波, C 波が区別でき, 多峰性を示すノッチで R 波が区別できている。

主観的分類では S 波と G 波の群, および T 波, C 波, R 波の群の 2 つの群に分類された。フーリエ級数展開を利用した波形分類によって, S 波と C 波および R 波が同一の式から誘導され, T 波と G 波が別の式より誘導されている。短時間フーリエ変換 (STFT) では S 波と G 波, T 波と C 波, および R 波に分けられ, CAB は 3 つの基本パターンで成り立っていることが示されている。したがって, これらの分類法から総合的に判断すると, S 波と T 波が心拍数に対応した基本波形で, C 波, G 波, R 波が前負荷と後負荷, および収縮能に対応したバリエーションとして分類できることになる。

APW・CAB・CAS のリアルタイム計測により, 臨床的意義のある音振動・圧力情報が加わり, 機械の故障診断に用いられてきた工学的アプローチの健康診断への適用の可能性が生まれ, また APW を計測する 4 SR システムは長期にわたり繰り返し非侵襲的に生体情報を取得することができる Physical diagnostic tool となり, AI を使用した分析を含め広範な応用が期待される。

以上の結果から, 非侵襲的に生体情報を収集し, 工学的に解析することを目的とする本研究の結果は臨床の場における有用性が非常に高いと考えられる。

よって審査委員会委員全員は, 本論文が藤田悦則に博士 (医学) の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。