

## 学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 183 号	氏名	新井 正樹
論文題目	ベッド上の布電極による複数生体信号の非接触・同時計測と血圧関連指標の連続推定		

近年、世界的に心不全患者数が増加しており、心不全パンデミックと呼ばれる状態に陥っている。心不全は、悪化を繰り返し最終的に死に至る（5年死亡率が約50%）疾患であり、発症後の入院と死亡の回避が重要となる。悪化の兆候を早期に発見し、入院・死亡リスクを低減するには、患者の複数生体信号、特に心電図（ECG）、平均血圧（MAP）、体重、呼吸（RESP）を日常的に計測することが有効であると考えられている。また、血圧関連指標である心拍出力（CPO）と末梢血管抵抗（PVR）の日常計測も死亡リスクの低減に寄与すると期待されている。しかしながら、一般的な ECG, MAP, RESP 計測では、センサと皮膚の直接接触や拘束を伴う。また、CPO・PVR の計測では、患者への負担が大きく、専用の装置・医師の技術が必要である。さらに、血圧サージの共振仮説では、様々な要因で変動する血圧が共振することで生み出される大きな変動が心不全発症のトリガとなると考えられている。この仮説の観点から、血圧を日常的に連続計測（理想は1拍ごと）することが望ましい。以上より、ECG, MAP, RESP を患者の日常生活を妨げない方法で、日常的に連続計測することが望まれる。さらに、CPO と PVR も簡便な方法での計測が望ましい。したがって、本論文では、ECG, MAP, RESP の非接触・無拘束・連続計測と簡便な方法による CPO と PVR の連続推定を含む全5項目を満たすことが望ましいと考えた。しかし、5項目を満たす研究は行われていない。一方、ベッド上の布電極により容量性 ECG (cECG)、容量性心弾動図(cBCG)、RESP を非接触・無拘束で連続計測できる手法が提案されている。この手法を用いた踵システム（背部から cECG を、右踵部からの cBCG を同時計測）では、血圧推定の可能性が報告された。しかし、RESP 計測や MAP, CPO, PVR の連続推定は行われていない。また、同様の手法を背部に適用し、cECG, cBCG, RESP を非接触・無拘束・連続計測できる一体型布電極システムが報告された。しかし、MAP, CPO, PVR の連続推定は実施されていない。そこで、本論文では、ベッド上の布電極で計測された cECG と cBCG を用いた相対 MAP の連続推定法を提案し、最終的に PVR と CPO の各相対値の連続推定の可能性についても検討することで、全5項目を満たすことを目的とした。

本論文は、全5章からなっている。

第1章では、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べた。

第2章では、相対 MAP の推定式の導出と相対 MAP 推定法の概要について述べた。本研

究では、MAP の基本的な式（MAP は心拍出量と PVR の積で決定される）を基に、cECG と cBCG から得られた 3 つの特徴量を用いて論理的に相対 MAP の推定式を導出した。3 つの特徴量として、cECG から心拍数を、cBCG から BCG 振幅を、cBCG と cECG から時間差である脈動到達時間（PBAT）をそれぞれ算出した。本論文では、計測データ（1 名の 1 回の計測）内の 1 拍ごとの推定を目指すため、自由度に余裕を持たせながら 3 つの特徴量と一回拍出量（一回拍出量と心拍数の積が心拍出量である）や PVR の関係を論理的に仮定し、計測データごとの相対 MAP を 1 拍ごとに（連続）推定する方法を提案した。

第 3 章では、提案法の検証として、踵システムで計測された cECG と cBCG に提案法を適用した。対象とした全 14 データ（7 名×2 回、80 秒間）は、PBAT が血圧との間で高い相関（相関係数が 0.7 以上）を示すことが示唆されたが、一部のデータでは高い相関を示さなかった。そこで、提案法の適用により全データで高い相関を示し、推定精度（相関係数、RMSE: root mean square error, CI: 95%信頼区間）の向上を目的とした。そのため、PBAT のみの推定（従来法）と提案法を推定精度の点で比較した。まず、学習区間の相関係数において、従来法は 14 データ中 10 データで高い相関を示した。一方で、提案法は全データで高い相関を示した。さらに、平均相関係数は従来法の  $0.75 \pm 0.25$  から提案法の  $0.93 \pm 0.06$  へ有意に向上した。また、平均 RMSE が  $1.46 \pm 0.60$  mmHg から  $0.75 \pm 0.33$  mmHg へ有意に減少し、平均 CI が  $5.73 \pm 2.32$  mmHg から  $2.96 \pm 1.29$  mmHg へ有意に減少した。最後に、従来法に比べて、提案法は、未学習区間の RMSE が 14 データ中 10 データで減少した。以上より、提案法は、cECG を非接触・無拘束・連続計測できる踵システムに相対 MAP の連続推定できる可能性を追加し、有用性を示した。しかし、5 項目を満たせていない。

第 4 章では、背部システム（先行研究を基に、一体型布電極システムを cBCG 計測向けに改良）を構築し、cECG と cBCG, RESP の非接触・無拘束・連続計測を行った。さらに、提案法の適用で相対 MAP の連続推定を目指した。背部システムでは、背部から RESP と cBCG を同じ原理で計測しているため、cBCG 振幅の検出感度の低下が想定された。そこで、提案法の BCG 振幅の項を一定と仮定し背部システムに適用した。さらに、相対 MAP の推定式から 2 次的に PVR と CPO の各相対値の算出式を導出し、PVR と CPO の連続推定の可能性についても検討した。構築した背部システムにより、cECG と cBCG, RESP を非接触・無拘束・連続計測できることを確認した。さらに、相対 MAP の連続推定（120 秒間）では、全被験者（7 名）が高い相関を示し、平均相関係数  $0.84 \pm 0.09$  を示した。さらに、平均 RMSE が  $1.58 \pm 0.15$  mmHg であり、平均 CI が  $6.05 \pm 0.54$  mmHg を示した。また、PVR の相対値と CPO の相対値のそれぞれが 7 名中 6 名で高い相関を示し、平均で  $0.85 \pm 0.13$  と  $0.84 \pm 0.13$  と高い相関を示した。以上より、構築した背部システムと提案法により、cECG と RESP の非接触・無拘束・連続計測が行え、血圧関連指標（MAP, PVR, CPO）を連続推定できる可能性を示唆した。以上、本論文は全 5 項目を満たす研究としての可能性を示唆した。

第 5 章では、本研究を総括するとともに今後の課題・展望について記述した。