

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20660

研究課題名（和文）トイレ環境下での事故予防に向けた便座脈波伝播速度計測技術の開発

研究課題名（英文）Development of Pulse Wave Velocity Measurement Technology on Toilet Seat for Accident Prevention

研究代表者

前田 祐佳（Maeda, Yuka）

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：20650542

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では家庭での日常的な健康管理の実現に向け、非装着で計測可能な BCG を用いてトイレで生体情報を計測するシステムを提案した。体動アーチファクトの影響により ECG や PPG などの手法と比較して心拍検出精度が劣る BCG に対し、心拍の周期性を利用した心拍検出アルゴリズムと PPI 時系列から誤検出を検知し推定値で補完するシステムを構築した。13 名の被験者を対象に実験を行い、提案システムにより MAE の中央値が 2% 以下での計測を実現した。以上により、トイレでの日常的な生体情報モニタリングにおいて、提案手法による BCG 計測は心機能、自律神経機能の評価に有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の国民医療費の増加から医療費削減は国を挙げての急務となっている。治療医療から予防医療への転換が求められており、一次予防として日常での健康管理、生活習慣病予防の重要性が広く認識されるようになった。年・月オーダーの長期健康モニタを可能とする方法として、浴槽内やベッド内での心拍変動計測など、家具や調度品にセンサを組み込んだ無意識生体計測技術の開発が進められている。そのなかで、トイレ環境下での生体計測は事故発生率が高いことから注目されている。本研究課題の実現は、トイレ環境下での事故予防に寄与するものであり、異常値の早期発見やスクリーニング適用など、その波及効果は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a system that measures biometric data in the toilet using a BCG, which can be measured without being worn, for the realization of daily health management at home. The proposed system detects false positives based on a heartbeat detection algorithm using the periodicity of heartbeats and a PPI time series, and complements them with estimated values. The median MAE was measured to be less than 2%. The results suggest that the proposed BCG measurement method is useful for the evaluation of cardiac and autonomic nervous system functions in the daily monitoring of biological information in the restroom.

研究分野：生体計測

キーワード：心弾図 トイレ環境下 脈動 心拍数測定 心拍変動

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の国民医療費の増加から医療費削減は国を挙げての急務となっている。治療医療から予防医療への転換が求められており、一次予防として日常での健康管理、生活習慣病予防の重要性が広く認識されるようになった。年・月オーダーの長期健康モニタを可能とする方法として、浴槽内やベッド内での心拍変動計測など、家具や調度品にセンサを組み込んだ無意識生体計測技術の開発が進められている。そのなかで、トイレ環境下での生体計測は事故発生率が高いことから注目されている。

トイレ環境は短時間滞在にもかかわらず日常下での事故(疾病、外傷等)の発生率が高い。温暖差によるヒートショックや血管迷走神経反射、怒責(いきみ)による血圧変動が循環系への負荷となるためである。さらにこれらの急激な血圧上昇は失神などの意識消失による外傷が発生する危険も伴う。トイレ環境下で発生する瞬時的な血圧変動の検出が実現されれば、強い怒責への注意(循環系負荷の軽減)や血圧変動直後の立ち上がりへの注意(転倒予防)など、トイレ環境下での事故予防に向けたフィードバックが可能となる。

しかし、従来の血圧測定手法はカフ減圧過程の信号強弱から最高・最低血圧を検出するため一回の測定に30秒以上要する。この測定の間欠性のため、既存の家庭用血圧計は瞬時的な血圧変動の検出には適していない。またカフ式血圧計の測定は上腕または手首にカフを装着し、カフ部位を心臓位置と同一にする必要があり、トイレ環境下での毎回使用は困難である。

連続的な血圧測定として、カテーテル型トランスデューサを血管内に留置し、測定する手法もあるが、その侵襲性より麻酔中や重傷患者のモニタとして臨床レベルで使用されるのが主で、トイレ環境下で使用することは不可能である。また容積補償法を利用した非観血的連続血圧計の開発も行われているが、高額かつ複数の指にカフを装着し心臓高さ位置に保持する必要があるため、日常生活への導入は現実的でない。本研究課題の実現は、トイレ環境下での事故予防に寄与するものである。またトイレ環境下での無意識血圧測定の実現は、日常生活での定期的な血圧測定につながり、異常値の早期発見やスクリーニング適用など、その波及効果は大きい。

### 2. 研究の目的

トイレという特殊な環境下において、日常生活で求められる非拘束・無意識的な計測のみならず、衛生面やプライバシーへの配慮が求められる。光電容積脈波(Photoplethysmography: PPG)は直接皮膚に触れる必要があるため、トイレで利用する際に衛生面の懸念、センサ部分の汚れや接触位置の変化による計測精度の低下の恐れがあり、トイレでの計測に適していない。カメラを必要とする動画像による心拍推定もプライバシーの観点からトイレに導入することは難しい。一方、心弾図(Ballistocardiogram: BCG)は圧電センサを用いて便座を介して非接触で計測可能であるため、衛生面やプライバシーのようなトイレ特有の課題が障壁にならないためBCGはトイレでの計測に適した手法であるといえる。そこで本研究ではBCGを用いてトイレで日常的に生体情報を計測するシステムの開発に向けた、BCGの心拍検出アルゴリズムの構築とトイレにおけるBCGの計測精度の評価を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究ではトイレにおける無意識的な計測の実現に向け、便座に伝わるBCGを計測し心拍検出を行うシステムを作成した。本研究では100Hz以下の低周波帯における感度が優れる、直径約1.2cmの円形圧電センサ(AYA-P06s, 太陽誘電)を使用した。

センサの位置は被験者が座る位置により信号強度に差が出ることを考慮し、便座(LIXIL)裏側の臀部(hip)、大腿部(thigh)、膝窩部(knee)の3カ所に圧電センサを設置した。

BCGは信号が微弱かつ体動アーチファクトが重畳するため、ECGやPPGと比較して心拍ピークの検出が難しい。近年は心拍検出に機械学習を用いる試みがあり、寝返りなどの体動を検出し自己回帰モデルによりBCG波形を再構成する研究や数秒間のBCG波形を教師なし学習によりクラスタリングし、プロトタイプを作成する研究が行われている。これらの手法は心拍の検出精度の向上に有用であるが、いずれの研究も体動が少なく、また大量のデータを得られる睡眠時が前提の研究であり、対象者が座っている時間が限られるトイレへの応用は難しい。機械学習を用いない手法として、包絡線を用いる心拍検出やHVを用いた手法がある。これらの手法は大量のデータを必要としないためトイレでの短時間計測に適していると考えられる。

しかし、包絡線を用いる手法は振幅に依存するため、体動により振幅が増大した区間では、

ノイズによる振動を心拍として検出するという課題がある。また、HV 信号を使用する手法では 1.5 Hz のローパスフィルタを要するため、心拍位置の正確な検出が困難になる。

そこで本研究では各極大点における振幅に対し、心拍の周期性を利用して重み付けを行うことで心拍検出精度の向上を試みた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験概要

提案システムの心拍検出精度および HRV の測定精度を検証するため、健康な成人男性 13 名(年齢  $23.9 \pm 2.1$  歳, 身長  $170.6 \pm 5.0$  cm, 体重  $62.0 \pm 5.9$  kg) を対象に実験を行った。被験者が便座に座る位置は実際にトイレに座る位置とし、サンプリング周波数は 256 (Hz) で 120 秒間の計測を行った。また、参照値として ECG, PPG をそれぞれ胸部誘導法, 右手薬指で反射型光電脈波センサにより同時に計測した。

##### (2) 解析

心拍の周期性を利用するために、HV の自己相関関数を用いて心拍の中心周期  $T_c$  を算出した。計測システムにより得られる BCG は誘導ノイズを除去するため、2 次バタワースフィルタにより 49-51 (Hz) のバンドストップフィルタ処理を行い、さらにバンドパスフィルタ処理により 3-20 (Hz) の BCG と、20-40 (Hz) の HV に分離した。HV には体動アーチファクトが重畳しており、自己相関関数の値に大きな影響を与える。本研究では HV を 1 (s) 毎の短い信号に分割して分散を計算し、その値が中央絶対偏差の 5 倍を超える区間を体動アーチファクトが重畳していると判定した。アーチファクトが重畳する区間を線形補間したうえで自己相関関数を計算し、健康成人の 95% 範囲内である 0.6 - 1.2(s) の区間内において極大値となる点を中心周期  $T_c$  とした。

信号の振幅に加え隣接する極小値の間隔を用いることで体動による不規則な振動を除去し、BCG の特徴的な波形 (I 波から K 波) の検出精度を向上させた。

本研究ではさらに極大点による心拍検出への影響を軽減するために、心拍の周期性を用いた。人の心拍間隔(Heart Beat Interval: HBI) は交感神経系や副交感神経(心臓迷走神経系)の影響により絶えず変動しており、健康な成人の場合 5 分間の HBI の標準偏差は 140 (ms) 程度とされている。そこで、BCG の k 番目の極大点から  $T_c \pm 140$  (ms) の範囲内に存在するピークに対して重み付けを行うことで心拍間隔を算出した。提案手法により得られるピーク間隔(Peak-to-Peak Interval: PPI)を  $PPI\_BCG$  とした。

##### (3) 結果

提案手法によって検出された  $PPI\_BCG$  と ECG より算出された RRI を比較した結果 MAE は 1.69%, RMSE は 455.0 (ms) となり、PPG と同等の心拍検出精度であることが示された。

##### (4) 考察

提案手法により便座で計測した BCG は、MAE の中央値が 2% 以下、RMSE の中央値が 500(ms) 以下で計測可能なことが示された。提案手法では振幅に加えて隣接する極小値の間隔を加味したことで、BCG に特徴的な波形 (I 波から J 波) の検出が可能となり。また、中心周期  $T_c$  (s) 前後の値を参照して算出したことで、振幅では捕捉できなかった心拍を検出し、同時に心拍間に生じる体動による影響を軽減したことが計測精度改善の要因であると考えられる。

##### (5) 結論

本研究では家庭での日常的な健康管理の実現に向け、非装着で計測可能な BCG を用いてトイレで生体情報を計測するシステムを提案した。体動アーチファクトの影響により ECG や PPG などの手法と比較して心拍検出精度が劣る BCG に対し、心拍の周期性を利用した心拍検出アルゴリズムと PPI 時系列から誤検出を検知し推定値で補完するシステムを構築した。13 名の被験者を対象に実験を行い、提案システムにより MAE の中央値が 2% 以下での計測を現した。以上により、トイレでの日常的な生体情報モニタリングにおいて、提案手法による BCG 計測は心機能、自律神経機能の評価に有用であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中村壮志, 前田祐佳, 若槻尚斗, 海老原格
2. 発表標題 睡眠時血圧推定に向けた心弾図を用いる深層学習手法の検討
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林健太, 前田祐佳, 若槻尚斗, 海老原格, 吉村拓巳, 田村俊世
2. 発表標題 特徴量選択アルゴリズムを用いる運動時カフレス血圧推定システムの提案
3. 学会等名 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村壮志, 前田祐佳, 若槻尚斗, 海老原格
2. 発表標題 深層学習を用いた心弾図による血圧推定手法の提案
3. 学会等名 IEEE TOWERS 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場紘太郎, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 トイレでの自律神経機能評価に向けた心弾図計測に関する研究
3. 学会等名 第30回 ライフサポート学会 フロンティア講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, Koichi Mizutani
2. 発表標題 The Fluctuation of Pulse Transit Time in Continuous Cuff-less Blood Pressure Monitoring
3. 学会等名 The 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関