

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：21501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560277

研究課題名(和文)立位時の身体動揺を利用した簡便な自律神経機能評価方法の開発

研究課題名(英文) Estimation of cardiac dynamics for ballistocardiography during quiet standing

研究代表者

南澤 忠儀 (Minamisawa, Tadayoshi)

山形県立保健医療大学・保健医療学部・講師

研究者番号：40347208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は静止立位時に心弾動図と心電図の2つの方法によって心拍変動を評価してその相関を明らかにすることである。対象者は健常若年者12名と健常高齢者18名である。1分間の静止立位中に床反力垂直成分から心弾動図を抽出した。同期して心電図計を使用してR-R間隔波形を収集した。解析方法は自律神経機能(LF/HF)、周波数領域のpower law(FFT power law)、時間領域のpower law(scaling exponent)を評価した結果、ECGとBCGの相関係数はいずれの指標でも弱い相関となった。静止立位のBCGによる心拍変動解析は一定の精度で評価が可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：Heart rate variability was compared using ballistocardiography (BCG) and electrocardiography (ECG). Heart rate R-R intervals were measured in 12 healthy young and elderly individuals during 1 min of quiet standing, and J-J intervals of BCG were extracted from the vertical ground reaction force. The autonomic nervous system ratio of low-frequency to high-frequency components (LF/HF), detrended fluctuation analysis (time domain), and fast Fourier transform (FFT) power law (frequency domain) were evaluated. Correlation coefficients between LF/HF calculated using ECG and BCG were weak. In addition, two power laws confirmed that correlations between ECG and BCG indicators were higher than those between LF/HF, suggesting non-linear analysis of BCG data. FFT power laws were approximately -1 for both ECG and BCG, which provides support for a more detailed study of frequency domain power laws for BCG. Our findings indicate that cardiac function while standing is weakly evaluated by BCG.

研究分野：理学療法

キーワード：心弾動図 心拍変動 静止立位 非線形解析

1. 研究開始当初の背景

加齢による心拍変動の変化は、心疾患と関連することが報告されており、心拍変動を日常的にモニタリングすることは心疾患を予測あるいは予防することにつながる期待がもてる。心電図計のような電気的信号を使用せずに心拍変動をモニタリングする方法として、心弾動図による方法が挙げられる。これは、心筋の収縮によって生じる身体の上方向の加速度変化を捉えたものであり、非侵襲的に心筋の強さや血管の状態を評価するための技術である。一般的に心弾動図の収集は背臥位で行われるが、立位姿勢での収集が可能になればヘルスメーター型のデバイスで計測が可能になることが期待できる。

立位姿勢では身体が常に微小動揺しており、生理的振戦や身体動揺による加速度成分など様々な成分が混入するためにそれらを分離する必要がある。

近年では立位姿勢から心弾動図の抽出を目的としたハードウェア開発が行われているが、例えば加重センサーのみを使用して簡単な機構によって抽出が可能になれば汎用性は高いと思われる。

2. 研究の目的

本研究課題では立位時の身体動揺加速度成分を利用して心拍変動を評価することが目的である。以下の2つの課題について取り組み、心弾動図の抽出のための方法を検討した。なお、本研究課題の将来的な目標として、自宅で心拍変動を評価するための汎用性デバイス開発を目的としており、その為の基礎研究として位置づけられる。

(1)立位時の心弾動図の評価

静止立位時の上下方向加速度成分(Fz/m)から心弾動図を抽出して心拍変動を分析する。同期して心電図計(ECG)を使用した心拍変動の評価を行い、心弾動図と心電図の2つの方法から分析した心拍変動の相関値を明らかにする。

(2)心弾動図の周波数構造の分析

立位時の Fz/m の周波数構造を明らかにすることは身体動揺成分から心弾動図を抽出するための処理方法の参考になると考える。本課題では、ウェーブレット変換による若年者と高齢者の Fz/m の分析を行い2群間の差異を明らかにした。特に高齢者の場合には生理的振戦の増大、身体動揺の増加、心拍出力の低下等により心弾動図の抽出には困難が伴うと予想される。よって、加齢による Fz/m への影響を確認する目的で時間-周波数解析を行なった。

(1)- 若年者と高齢者の心弾動図の評価

(1)- -1: 健康若年者を対象とした BCG 評価

3. 研究の方法

本研究に参加した健康若年者は、12名(年齢: 21 ± 0.7 歳)で、重篤な骨関節疾患や循環器疾患、神経疾患の無いものである。

計測課題は、開眼静止立位を60秒間保持する課題であり、心電図の収集には表面筋電図計(Delsys社製, Bagnoli-8 EMG System, USA)を使用して EKG センサーによる双極誘導で収集した。心弾動図はピエゾ式床反力計(Kistler社製 Type-9287, 60×90 cm, Switzerland)を使用して、床反力垂直成分から抽出した。サンプリング周波数は心電図計、床反力計ともに1000Hzで収集して、2つの機器の信号は同期して解析用パーソナルコンピュータに取り込んだ。ECGとBCGのpeak to peakの時系列データは、次の3つの測定値を明らかにした。(1)LF/HF; 高周波成分(High Frequency; HF, $0.04 \sim 0.15$ Hz)と低周波数成分(Low Frequency; LF, $0.15 \sim 0.4$ Hz)の比率、(2)周波数領域のpower law; FFT power law、(3)時間領域のpower law; scaling exponentの3つである。検定方法は、2つの計測方法によって得られた各指標の相関値を求めた。

(1)- -2: 健康高齢者を対象とした BCG 評価

実験に参加した健康高齢者は18名(72.9 ± 3.6 歳)で、全ての被験者は日常生活動作が自立しており心疾患の既往が無い者である。計測方法については、健康若年者と同様の方法で行った。

4. 研究成果

(1)- -1: 若年者(図2)

(LF/HF)

ECGとBCGの相関係数は $r=0.44$ 、平均値はECG; 2.03 ± 1.25 、BCG; 1.11 ± 0.89 となった。

(FFT Power law)

ECGとBCGの相関係数は $r=0.49$ 、平均値はECG; -1.05 ± 0.05 、BCG; -1.04 ± 0.06 となった。

(Scaling exponent)

ECGとBCGの相関係数は $r=0.50$ 、平均値はECG; 1.01 ± 0.11 、BCG; 0.75 ± 0.26 となった。

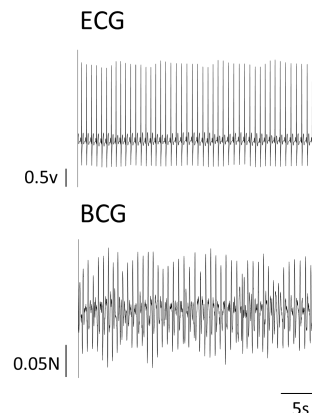


図1 健康若年者の心電図と心弾動図の波形

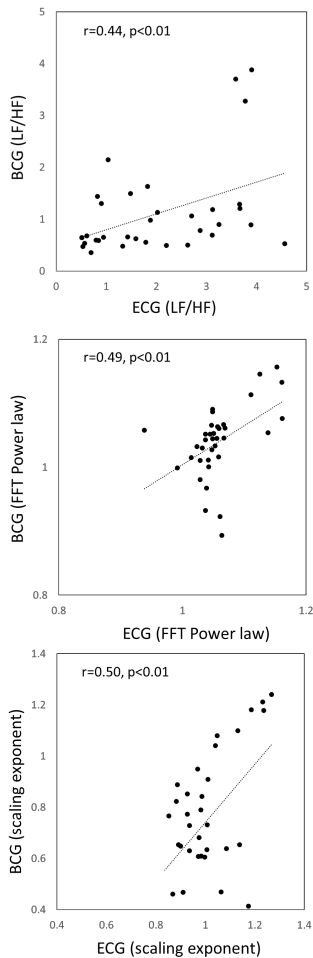


図2 健康若年者の ECG と BCG の相関図
(上図)LF/HF (中図)FFT power law
(下図)scaling exponent

(1)- -2 高齢者
(LF/HF)

ECG と BCG の相関係数は $r=0.28$, 平均値は ECG; 2.04 ± 2.41 , BCG; 0.99 ± 0.41 となった .

(FFT Power law)

ECG と BCG の相関係数は $r=0.55$, 平均値は ECG; -0.91 ± 0.06 , BCG; -0.66 ± 0.05 となった .

(Scaling exponent)

ECG と BCG の相関係数は $r=0.53$, 平均値は ECG; 0.91 ± 0.19 , BCG; 0.70 ± 0.21 となった .

若年者の BCG と ECG の相関係数はいずれの指標でも弱い相関となり , 立位からの BCG の抽出は一定の精度で可能だった . 特に FFT Power law については多くの被験者で BCG と ECG とともに -1 付近の値となり古典的指標である LF/HF よりも高い精度で抽出が可能だった . このような Power law は急性心筋梗塞の予後予測が一般的な周波数解析よりも感度が高いとされており , 加えて LF/HF よりもフラ

クタル解析は恣意性を回避できる方法として好ましいとする報告もある . よって , BCG の評価ではこのような非線形解析を使用した解析が検討されてもよい . 床反力垂直成分から BCG を抽出するには Fz に含まれる振戦や身体動揺によって混入するモーションアーチファクトを除去する必要がある , 本研究では幾つかの信号処理方法を組み合わせることで抽出を試みた . 本研究の結果から , 荷重センサーのみからの心拍変動の評価が可能であることが示唆された .

本研究課題では高齢者を対象とした BCG の分析を行なった . Power law による非線形解析では一定の精度で抽出できることを確認したが , LF/HF は相関係数が非常に低い結果となった . この背景については今後の検討が必要である . 最も大きな課題は , 高齢者の場合には若年者と比較して身体動揺による Fz/m の変動が大きいこと , 心弾動図の J 点(ピーク点)が加速度成分に埋没して検出できない被験者も多い . よって高齢者の Fz/m の特性を踏まえた処理方法を検討することが必要である . このような背景については , 課題 (2) による分析を行なった .

(2)立位時の Fz/m の周波数構造の分析

本研究では心弾動図を高い精度で抽出する目的で , Fz/m の周波数構造を明らかにした . 特に高齢者の場合 , 加齢による生理的振戦の増加や身体動揺による加速度変化の増大など心弾動図以外の成分が混入することが考えられる . よって加齢の影響が Fz/m 変動に及ぼす影響を分析することで心弾動図の抽出への方法を検討することが目的である .

3 . 研究の方法

本課題は , 若年者 (HY; $n=16$, 年齢 : 20.4 ± 0.6 歳) および健康高齢者 (HE; $n=18$, 72.9 ± 3.6 歳) を対象とした . 具体的なデータ収集方法は課題と同様の計測機器を使用して静止立位時の Fz/m を収集した .

解析方法は , Morlet 関数を用いた連続ウェーブレット変換によって分析を行ない , さらに各周波数帯域のパワーを二乗して時間積分を行なった .

(time-integral-squared amplitude, TISA)

周波数領域の分析として , 0-20Hz の各周波数帯域を 1Hz 毎に相対的パワースペクトル密度 (relative power) を求めた . また , 時間領域の分析として , Fz/m の平均パワー値 (Root mean square; RMS) を評価した . 統計学的検定としては群間および周波数帯域毎の比較を 2 元配置分散分析を用いて周波数領域の分析をおこなった . 時間領域については t 検定による 2 群間の比較を行なった .

4 . 研究成果 (図 3, 図 4)

高齢者と若年者の周波数構造の主な違い

は以下の3点だった。1)高齢者は若年者と比較して6-8Hzの周波数帯域での著しい増加があった。一方で、若年者は3-6Hzの低い周波数帯域で含有率が高かった。2)高齢者のFz/mのRMSは、高齢者で有意に増加していた。3)高齢者の相対的パワーは一峰性、若年者は二峰性の特徴を示した。

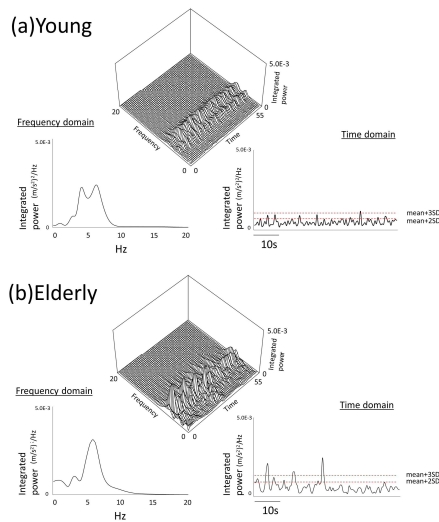


図3 周波数構造の分析を目的に周波数領域と時間領域の評価を行なった。(上図)健常若年者(下図)健常高齢者

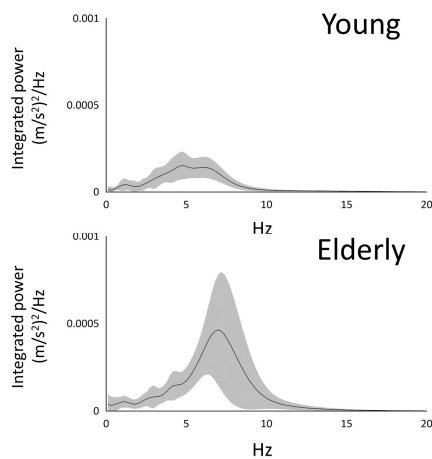


図4 周波数領域の分析結果から(上図)若年者と比較して、(下図)高齢者では6-8Hzの周波数帯域が特徴だった。また、パワースペクトル密度の増大が見られた。図は各群の全被験者データである。

BCG 抽出のためには以下の点について考慮する必要がある。

高齢者の特徴は6-8Hzの周波数パワーが著しく大きい。この周波数成分の生理学的背景として、下腿周囲筋の振戦および身体動揺の影響が考えられる。静止立位時の身体動揺の

基本的な制御は下腿三頭筋によって行われるが、先行研究によればこれらの筋群の振戦は10Hz付近とされる。高齢者では振戦が増加することでBCGのJ点が身体加速度の振幅に埋没すると思われる。よって、高齢者のBCG抽出のためには6-8Hz付近の周波数成分に対する対策が必要と考えられる。

もう一つの特徴が4Hz付近の周波数であり、この成分は若年者、高齢者ともに観察される成分である。BCGの周波数特性に関する先行研究では、背臥位でのBCGの周波数成分は立位姿勢に比べてより低い帯域に観察されることを報告している。若年者でこの帯域が顕著に観察できる背景としては身体動揺の安定や筋振戦の抑制が特徴で、これがより安定したBCGのJ点が観察可能な背景と考えられる。

今後の展望について、以下の2点を検討している。

1 点目としては、本研究課題は将来的に汎用性デバイスを開発することが目的であるため床反力計よりも安価となる方策を考える必要がある。現在、試作品として、非直線性、定格容量、応答周波数の3つのスペックを重視したビーム型ロードセルを取り入れたデバイス開発を予定している。これらのスペックは医療機器として市販されている重心動揺計よりも高いスペックであり、さらにFz/mの分析対象となる周波数帯域を0-20Hzに設定して開発を検討している。この背景には、本研究課題で行った、BCGとECGのコヒーレンス解析に基づいている(図5)。2つの信号に共通する周波数帯域を分析した結果、ほぼ全ての被験者で4-8Hzと12-16Hzの2つの帯域でコヒーレンス値が0.6以上となっている事を確認した。より高周波数帯域の成分が心拍出力とどのような関連があるかは明らかになっていないため今後の分析が必要である。

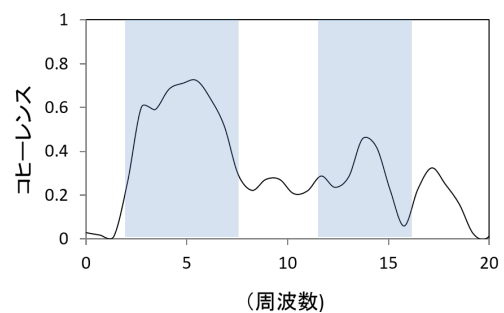


図5 BCGとECGのコヒーレンス解析結果 20Hz以内に複数の高いピークが観察される。

2 点目の検討として、信号解析のためのソフトウェアのプログラム変更である。高齢者を対象としたBCGのJ点の抽出が困難な背景の一つは計測中のパワースペクトル密度の増大である。これは、生理的振戦の影響と考

えられ、これを除去するためのプログラミングを行なう。

以上を考慮したデバイス開発を行ない、汎用性のある家庭内で使用可能なデバイス開発を行ないたい。

5．主な発表論文等

なし

6．研究組織

(1)研究代表者

南澤忠儀 (MINAMISAWA TADAYOSHI)

山形県立保健医療大学保健医療学部・講師

研究者番号：40347208