

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：32717

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23593192

研究課題名(和文) コロトコフ音波形解析による健康管理指標値の研究

研究課題名(英文) Study on the health index value using the waveform of the Korotkoff sounds

研究代表者

片山 富美代 (Fumiyo, Katayama)

桐蔭横浜大学・スポーツ健康政策学部・准教授

研究者番号：70309649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：血圧測定時に発生するコロトコフ音の波形そのものに人体の循環系システムに関する情報が含まれていると思われる。そこで、その波形解析を行い、健康に関する情報が含まれているかどうかについて検討した。実際に各年代の波形を比較してみたところ、血管の弾力性が失われていくにつれて、波形後部が緩やかに振動する傾向にあることが明らかになった。また、腕モデルを用いて人体と同様な波形を発生させることができることなどを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It seems that the information about the circulatory system of a human body is included in the waveform of the Korotkoff sounds which occurs at the time of measurement of blood pressure. Then, we examined whether the information about health would be included in the waveform. Waveform comparison of each age was actually performed. As a result, it became clear to have the tendency for the waveform rear to vibrate gently as the elasticity of the blood vessel was lost. Moreover, it became clear to be able to generate the same waveform as a human body using an arm model.

研究分野：看護学

科研費の分科・細目：基礎看護学

キーワード：コロトコフ音 循環モデル 医療・福祉 波形解析 健康指標

### 1. 研究開始当初の背景

近年、心臓疾患は著しく増加している疾患のひとつである。そのため、健康管理に携わる医療職者は心臓・血管系のアセスメント技術を習得する必要がある。血圧測定技術は循環器系アセスメントをおこなう方法のひとつであり日常頻回に使われている。水銀血圧計を用いた聴診法による血圧測定はコロトコフ音(以下K音)の発生と消失を聞き分けることで行われる。この測定法は他の身体機能検査に比べ測定者の感覚を頼りにしているため、曖昧な部分がある。そのため自動血圧計の開発が行われているが、その正確さや簡便さから水銀血圧計による測定はいまだに多い場面で使用されているというのが実情である。

K音を用いた国内における研究は、主に事例に対する健康指標として医師がおこなっているものと、血流動態との関係を明らかにしようとしている臨床工学系のものの2種類に大別される。このうち、臨床工学系の研究の中にK音の波形そのものに着目した研究としては、例えばK音の発生原因に関する検討、K音と動脈壁振動の比較および血管コンプライアンスの違いによるK音の比較などがすでに行われている。しかしながら、従来のK音解析の多くが全体としての音の変化および変化パターンに着目したものが多く、K音に含まれる波形そのものに着目した解析が行われていない。しかしながら現在では電子聴診器などを使用することによってK音の採取自体は簡単になっているため、デジタルデータ化することで音声などの波形分析がパーソナル・コンピュータでも比較的容易に行える状況にある。

### 2. 研究の目的

本研究は、K音を解析することで生体循環動態のアセスメントツールを開発するために始められた。K音の発生は圧迫部における血管の流量、流速、血管の弾性率など循環器系の要因に強く依存して変化することが考えられる。そのため、K音の波形には測定対象者の血管の粘弾性特性や血液の粘度、血流量という被験者側の身体的な要因が強く反映されているものと思われる。その波形成分そのものに関して周波数および加速度波形解析を行い、日常健康管理の指標のひとつとして確立することが本研究の目的である。

そのために近隣の保健福祉関連施設と連携を取り、各年代の波形を比較することで、実際に健康管理の指標値として使用できるかどうかの検討を行った。また、拍動血流ポンプを用いた循環モデルの構築を試みることで、各年代の波形の違いの原因について検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1)上腕部からのK音取得方法

上腕部を用いた場合のK音取得セットア

ップをFig.1に示す。K音の取得には圧電セラミックマイクロホンと手動型水銀血圧計(No.605P YAMASU)を用いた。カフの内側にマイクロホンをセットすることにより、パソコンにK音を取り込むことが可能である。K音の取得は聴診法を用い、波形が比較的安定しているK音分類5相のうちの第2相で行った。カフを加圧していきK音が聞こえ始めたことを確認し、その時点から約10~15 mmHg下げた時点で減圧を止め、その状態のまま波形を16 bit, 11 kHzのサンプリングで記録する。実験は研究室の20代若年者数名および学内の教職員(30-50歳代)、近隣デイケアセンターであるアクアメイト稲城に通う60代以上の高齢者など延べ100名程度の協力を得て行われた。

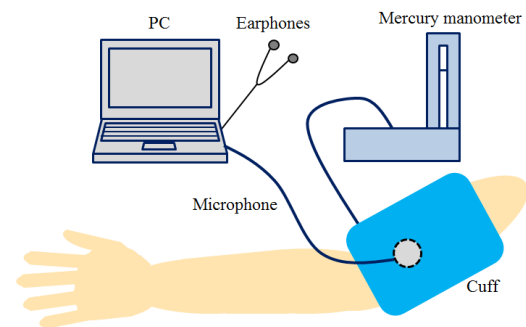


Fig.1. Experimental setup for acquisition of the Korotkoff's sound from the upper arm.

#### (2)腕モデルを用いた波形取得方法

拍動血流ポンプと腕モデルを用いて循環モデルを構築した場合の実験セットアップ図をFig.2に示す。腕モデルとしては静脈注射練習用の上腕モデル(株高研 LM-086)を使用した。このモデルには自由に取り付け、取り外しが可能な模擬血管が付属しており、血管形状により全5種類のパリエーション(標準、細い、太い、深い、蛇行)が存在している。この模擬血管を付け替えることにより様々な人体の状況が再現出来ると思われる。今回は、この模擬血管に拍動血流ポンプ(Harvard model 1423)を接続し、血液の代わりとして、主に純水を循環させ実験を行った。実験セットアップ図をFig.2に示す。

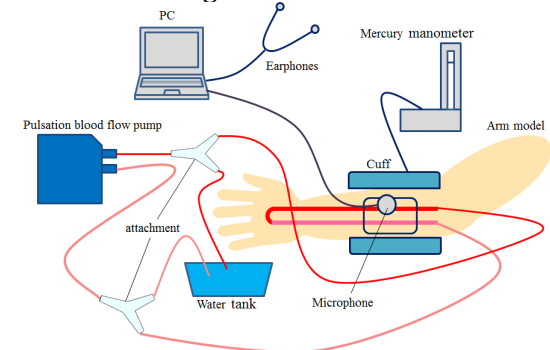


Fig.2. Experimental setup of acquisition of the waveform from the arm model.

また、実際の実験風景を Fig.3 に示す。



Fig.3. Photograph of experimental setup.

### (3) 指尖部からの加速度脈波取得方法

上腕部波形での K 音波形との比較用に指尖部波形の取得に使用した BC チェッカーを Fig.4 に示す。この機器は右手の人差し指を中央のセンサ部分にセットし加速度脈波の測定を行うことで、末梢血管波形の評価および推定血管年齢の算出が可能である。測定には赤外線を用いており、これを指先に照射する。照射された光の一部は体組織中の血液の増減による光量の変化を伴い、体外に放出される。この光を受光素子で捉えることで、脈波信号を得ることが出来る。



Fig.4. BC Checker (Future Wave Co., Ltd. Blood Circulation Checker Ver.10.00).

### (4) 解析に用いた指標値

本研究では速度波形のほかに以下の指標値を使用した。

#### ・マイナスピーク周波数

運動前後で K 音スペクトラムの変化を測定してみたところ、マイナスピーク周波数の変化が見られることが確認された。実験としては 20 代の学生に市販のエクササイズバイクを用いた 100W の運動を 3 分間行ってもらった。運動前後の K 音スペクトラムの変化を Fig.5 に示す。このグラフからマイナスピーク周波数が運動前後で変化していることがわかる。また、運動後のマイナスピーク周波数の時間変化を調べた結果を Fig.6 に示す(データは 3 回分の平均値)。この実験の結果からマイナスピーク周波数は運動により変化し、運動後 30 分程度で平常時の値に戻ることが確認された。

#### ・加速度脈波

マイクロホンで取得される波形は速度波形であるが、これは時間微分することで加速度波形に変換することができ、指尖部での BC Checker により取得された加速度脈波

波形と比較することができる。また加速度波形から加齢度を推定する方法として、加速度脈波加齢指数 (APG aging index : 以下 APGAI) が提案されている。加速度脈波加齢指数は波形の変曲点の波高比から算出することが可能である。Figure 7 に示すように変曲点は波形の最初のプラスピークを変曲点 a とし、以降の変曲点を順に b, c, d, e と定める。加速度脈波加齢指数 (APGAI) の算出式は式 (1) で表わされる。またこの式を用いて血管年齢を推定する式も存在しており、式 (2) で表わされる。

$$\text{加速度脈波加齢指数} = (b-c-d-e)/a \dots (1)$$

$$\text{推定血管年齢} = 43.5 \times \text{APGAI} + 65.9 \dots (2)$$

そのため、加速度波形も参考として比較に用いた。

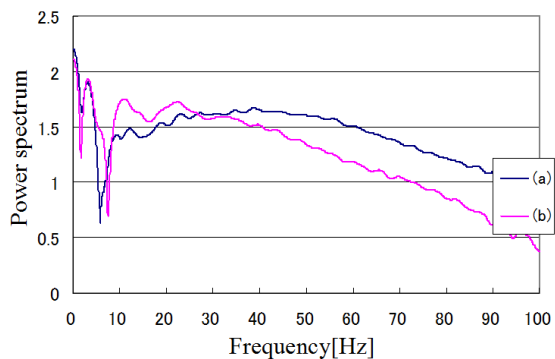


Fig.5. An example of the minus peak frequency. The frequency of the minus peak changes before and after exercise. (a) black line : before exercise, (b) red line : after exercise.

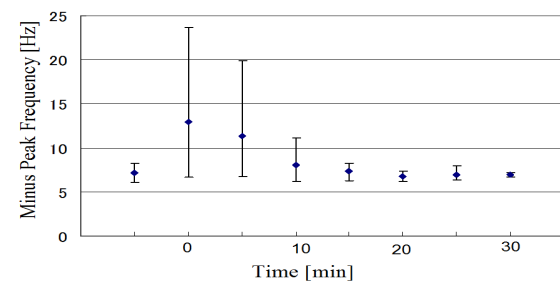


Fig.6. The average data for three days of the minus peak frequency change, before and after exercise.

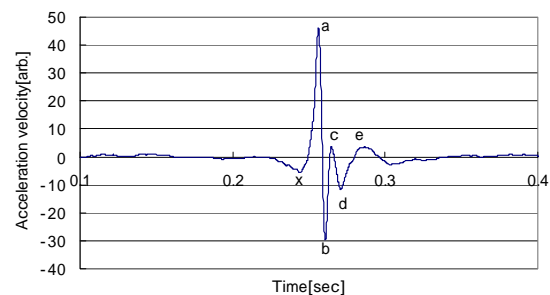


Fig.7. An example of the acceleration waveform at the upper arm. a-e show the five characteristic peaks. x is appeared only in the upper arm data.

## 4. 研究成果

### (1) 速度波形の比較

各年代の被験者から取得した K 音速度波形例と、腕モデルから取得した速度波形例を Fig.7 に示す。グラフの上から順に 20 代前半の若者波形、30 代後半の中年層波形、70 代後半の高齢者波形、そして一番下が腕モデルを用いて人工的に発生させたコロトコフ音の速度波形となっている。波形の変化を分かりやすく図示するため、縦軸方向に各年代の波形を並べた。若者の波形は一旦下降した後上昇しプラスピークが立つ後に、大きく下降しマイナスピークが立つことが分かる。その後もわずかではあるが上下に振動している様子が見て取れる。しかしながら、中年層と高齢者の波形は、若者波形のようなくっきりとしたプラスピークが立つこともなく、また年齢が高くなるにつれて波形後部の振動も比較的緩やかになっていくことが分かる。腕モデル波形は一度大きく下降した後にプラスピークが立ち、緩やかに上昇しつつ振動を繰り返している様子が見て取れる。この波形の形状は、波形後部が緩やかに振動している点と、マイナスピーク後にややプラスのピークが見える点が中年層の波形と共通していると思われる。このプラスピークと多少間延びしている点を除けば、この波形は人体から取得した波形に似ていると言える。

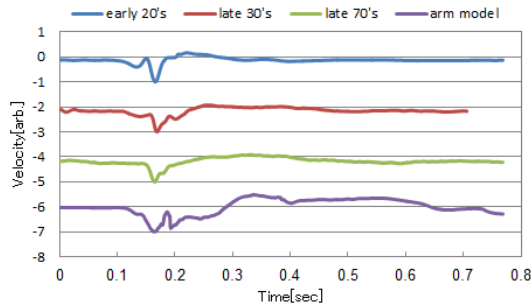


Fig.7. Comparison result of velocity waveform.

### (2) 周波数の比較

各年代と腕モデルから取得した K 音の周波数解析結果例を Fig.8 に示す。青い実線が 20 代前半の波形、赤い実線が 30 代後半の波形、緑の実線が 70 代後半の波形、紫の実線が腕モデルの波形を示している。この結果から、人体から取得した K 音には一様に、およそ 2Hz 付近に鋭いマイナスピークが存在していることが分かる。一方、腕モデル波形にはそれよりもさらに低い周波数帯にマイナスピークが存在している。それに加えて、6~7Hz 付近に 2 つの鋭いマイナスピークが存在することも特徴的である。これにより、人体の K 音には存在しない周波数成分が存在していることになる。

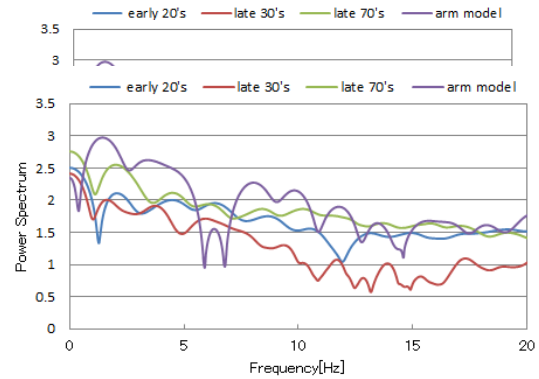


Fig.8. Comparison result of Fourier analysis waveform.

### (3) 加速度波形の比較

各年代と腕モデルから取得した K 音の加速度波形の解析結果例を Fig.9 に示す。波形の並び順は速度波形結果例と同様となっている。この結果から中年層と高齢者の波形は、一度下降した後あまり上昇せずにマイナスピークが 2 つ生じている。これに対して、若者の波形はマイナスピークの個数は 1 つだけである。腕モデル波形の場合、最初のプラスピークの後にそれを上回るピークが生じているのが特徴的である。

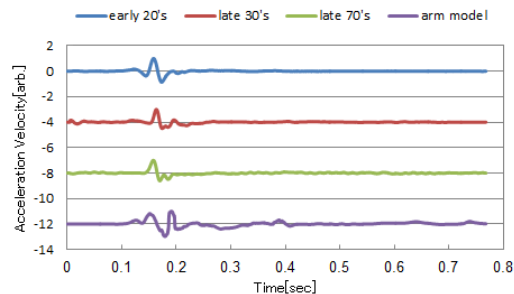


Fig.9. Comparison result of acceleration waveform.

### (4) 議論

速度波形および加速度波形の結果において、主に人体から取得した K 音波形の年代別変化は、老化によって次第に血管の弾力が失われたためであると考えられる。周波数解析結果からは年代別による大きな変化は見られなかった。老化によって波形の振動状態が変化しても周波数成分にはあまり変化が見られないようである。この波形が変化する要因を特定することが出来れば、今後 K 音波形が新たな健康指標として活用できる可能性が生じると思われる。また、腕モデルを用いた循環システムにおいて人工的に疑似 K 音を発生させることが出来たものの、各種解析結果を見ると人体の K 音と異なる点が存在している。特に周波数解析結果では人体の K 音波形には存在しない周波数帯に 2 つマイナスピークが生じている点が最大の違いである。この原因が循環システムによるものか、モデル中を流れる溶液によるものかは現時点では不明である。

## (5)まとめと今後

各年代の K 音波形と腕モデル波形の解析及び比較を行った。各年代の K 音波形の計測結果からは年齢を重ねることにより次第に変化していくことが判明した。波形からは血管の弾力性が失われていくにつれて、波形後部が緩やかに振動する傾向にあるものと思われる。腕モデルを用いた波形取得実験結果からも、改善の余地はあるものの K 音と同様な特徴を持つ波形を取得することができた。

したがって、このような腕モデルを改善していくことで、将来的には、人体の K 音波形の変化の根本的な原因を明らかにすることができると考えられる。具体的には、例えば今回の腕モデル実験では主に標準タイプの模擬血管を用いて、波形の取得を行った。今後はこのタイプのみならず、他のタイプの異なる模擬血管を用いた実験を行う予定である。また、現在までの実験では、血液の代わりに純水を循環させたため、溶液の粘性の違いが波形に影響を及ぼした可能性が高いと思われる。したがって、循環モデル中を循環する溶液としては、将来的には粘度をより血液に近づけたグリセリン水溶液を用いることを考えている。

このような K 音の波形自体を健康指標とした手法の活用法が見出されることが期待されるため、今後も研究を継続予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### 〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) 小山賢太郎、杉本恒美、片山富美代、“健康指標値としてのコロトコフ音の活用法に関する検討、-上腕部および指尖部波形の解析-”，桐蔭論叢，第 24 号，pp.239-243 (2011.6) 査読無
- (2) Kentaro Koyama and Tsuneyoshi Sugimoto and Fumiyo Katayama，“Study on the Healthy Index Value by the Korotkoff Sound Analysis, -A comparison with the Waveform Acquired from an Arm Mode-”，桐蔭論叢，第 26 号，pp.15 -20 (2012.7) 査読無
- (3) 小山賢太郎、杉本恒美、片山富美代，“コロトコフ音解析による健康指標値の検討、-腕モデルと各年代の波形比較-”，桐蔭論叢，第 28 号，pp.191-195 (2013.7) 査読無

### 〔学会発表〕(計 8 件)

- (1) 小山賢太郎、片山富美代、杉本恒美，“コロトコフ音解析における循環機能検査、-高齢者の波形解析-”，第50回日本生体医工学会大会抄録集，P2-4-4，p186，(2011.4.30)
- (2) Kentaro Koyama and Tsuneyoshi Sugimoto and Fumiyo Katayama，“Study on the Healthy Index Value by the Korotkoff Sound Analysis, - A Comparison with the Waveform Acquired from an Arm Model -”，Toin International Symposium on Biomedical Engineering 2011(TUBME)，Abstract Book，IM6，pp.112-113，(2011.11.05)

- (3) 杉本恒美、小山賢太郎、片山富美代，“コロトコフ音解析における循環機能検査、-腕モデルを用いた波形比較-”，日本音響学会春季研究発表会講演論文集，2-P-4，pp.1339-1340，(2012.3.14)
- (4) 杉本恒美、小山賢太郎、片山富美代，“コロトコフ音解析による健康指標値に関する検討、-腕モデルを用いた波形計測-”，第51回日本生体医工学会大会抄録集，P2-2-1，p248，(2012.5.11)
- (5) 小山賢太郎、杉本恒美、片山富美代、池田遼、波多野悠，“コロトコフ音解析による健康指標値に関する検討、-各年代および腕モデルを用いた波形比較-”，生体医工学シンポジウム2012予稿集，2-4-6，pp.243-246 (2012.9.7)
- (6) Kentaro Koyama and Tsuneyoshi Sugimoto and Fumiyo Katayama，“Study on the Healthy Index Value by the Korotkoff Sound Analysis, - Comparison with the waveform obtained from arm model and each age-”，Toin International Symposium on Biomedical Engineering 2012(TUBME)，Abstract Book，IM4，pp.94-95，(2012.11.10)
- (7) 杉本恒美、小山賢太郎、片山富美代、鴫崎山人、岡崎雄馬，“コロトコフ音解析による健康指標値に関する検討、-各年代および腕モデルを用いた波形比較(2)-”，生体医工学シンポジウム2013予稿集，4-3-3，pp.361-364 (2013.9.2)
- (8) Kentaro Koyama and Tsuneyoshi Sugimoto and Fumiyo Katayama，“Study on the Healthy Index Value by the Korotkoff Sound Analysis, -Waveform comparison using each generation and the arm model (II)-”，Toin International Symposium on Biomedical Engineering 2013(TUBME)，Abstract Book，pp.152-153，(2013.10.26)

### 〔その他〕

- ・アクアメイト稲城におけるデータ取得実験 (2009.11-2014.02)

## 6. 研究組織

- (1)研究代表者  
片山富美代 (KATAYAMA FUMIYO)  
桐蔭横浜大学・スポーツ健康政策学部・准教授  
研究者番号：70309649
- (2)研究分担者  
杉本恒美 (SUGIMOTO TSUNEYOSHI)  
桐蔭横浜大学大学院・工学研究科・教授  
研究者番号：80257427