

機関番号：32717

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20592518

研究課題名 (和文) コロトコフ音の波形分析による新たな健康管理指標の検討

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 (KATAYAMA FUMIYO)

桐蔭横浜大学・工学部・准教授

研究者番号：70309649

**研究成果の概要 (和文)：**現在、コロトコフ音は血圧計測にのみ使用されている。しかしながら、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、コロトコフ音の波形を収集し、データ解析を行った。実験結果から、血圧測定時のコロトコフ音波形に健康に関する情報が含まれていることを確認した。

**研究成果の概要 (英文)：**The Korotkoff sounds are used at only blood pressure measurement now. However, we think it seems that the information about the circulatory system of the human body is included in its waveform. Therefore we collected the waveform data of the Korotkoff sound and performed the data analysis. From the experimental results, we confirmed that the information about the health is included in the Korotkoff sounds in itself at the time of the blood pressure measurement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：健康心理学、基礎看護学

科研費の分科・細目：看護学・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の開発を目的に始められた。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医療関連施設と連携をとり、高齢者と若年者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う。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により、高齢者と若年者の波形の違いの原因について検討を行う。

## 3. 研究の方法

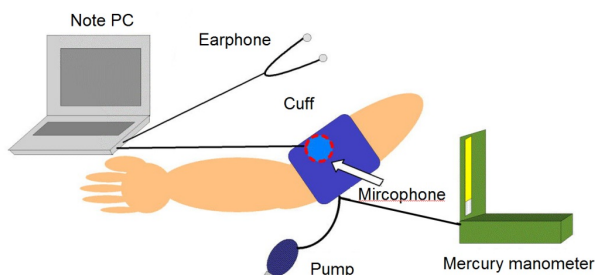
### (1) 上腕部からの K 音取得方法

本研究では主に計測のしやすさの観点から K 音第 2 点の波形に着目する。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 相で行う。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 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近隣デイケアセンターに通う 60 代以上の高齢者延べ 100 名程度の協力を得て行われた。

### (2) 指尖部からの加速度脈波取得方法

また、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.2 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.1.** Fundamental concept of the Korotkoff sounds analysis. A microphone is set in the inside of the cuff. The waveform is recorded by using the microphone terminal of the notebook computer. The operator confirms the second Korotkoff sound while coordinating pressure with a pump.



**Photo.1** BC Checker (Future Wave Co., Ltd. Blood Circulation Checker Ver.10.00).

### (3) 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.2 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.3 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 4 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。

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

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

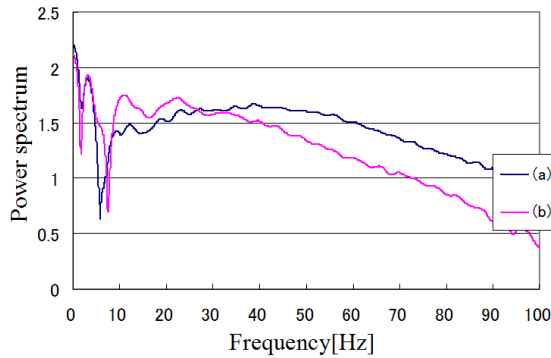


Fig.2. An example of the minus peak frequency. The frequency of the minus peak changes before and after exercise. (a) black line : before exercise , (b) red line : after exercise.

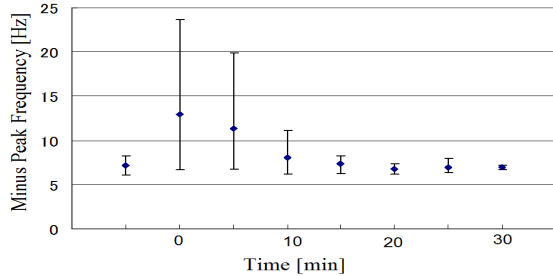


Fig.3. The average data for three days of the minus peak frequency change, before and after exercise.

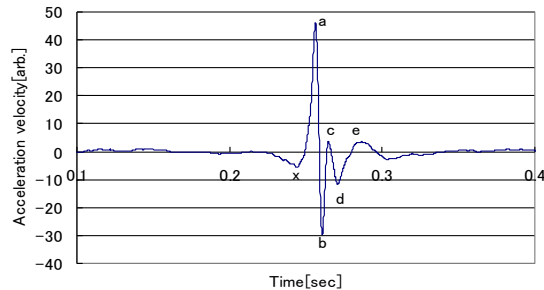


Fig.4. An example of the acceleration waveform at the upper arm. a-e show the five characteristic peaks. x is appeared only in the upper arm data.

## 4. 研究成果

### (1) 速度波形の比較

マイクロホンは速度センサであるため、取得した波形は速度波形に対応する。20代の若者と60代の高齢者のK音の波形例をFig.5に示す。黒の実線が20代の波形で、灰色の実線が60代のものを示している。この図から若者と高齢者の波形に違いがあることが分かる。20代の波形は振幅が大きく、上下に振動している様子が見て取れる。一方、60代の波形は20代に比べ振幅が小さく、あまり振動しない傾向があった。さらに高齢者に多くみられた特徴として、波形の後部が緩やかに上昇する点が挙げられる。これは若者の波形にはみられず、高齢者の波形にのみ存在した。

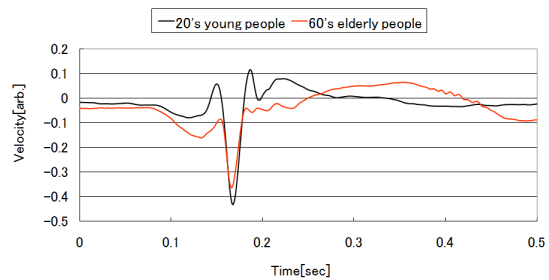


Fig.5 An example of velocity waveform comparison of Korotkoff sound. black solid line : 20's young people , gray solid line : 60's elderly people.

### (2) 周波数の比較

20代と60代のK音の周波数解析結果例をFig.6に示す。血流の周波数比較は100Hz以下の低周波領域に存在するマイナスピークを指標値とし、ピークの個数を比較することで行う。図より、20代の波形には約1Hz付近と6Hz付近に鋭いマイナスピークが存在することが分かる。一方、60代の波形には20代のような鋭いマイナスピークが存在していない。マイナスピークは年齢が若いほど明確に現れる傾向があり、高齢になるにつれてピークがあまり出現しなくなる傾向がみられた。加齢の影響を受け、血流のスペクトルに変化が生じたと思われる。

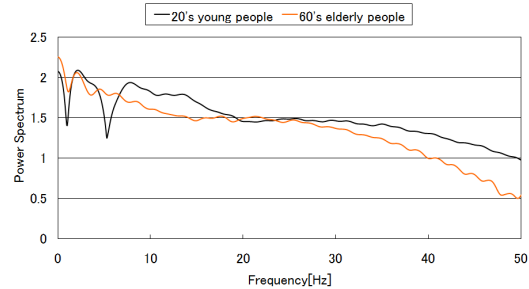
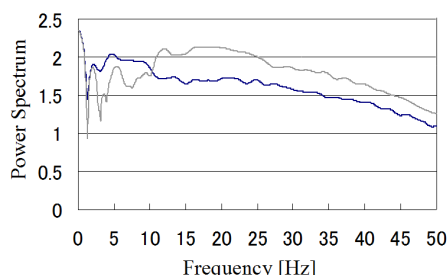


Fig.6 The comparison example of the spectrum. Black solid line : 20's young people , Gray solid line : 60's elderly people.

また、Fig.7に20代学生の脱臼歴有り無しで周波数特性に変化が出ている例を示す。灰線が脱臼歴の無い右腕であり、マイナスピークが2つ確認できるのに対して青線の脱臼歴の有る左腕にはマイナスピークが1つしかないことが確認できる。

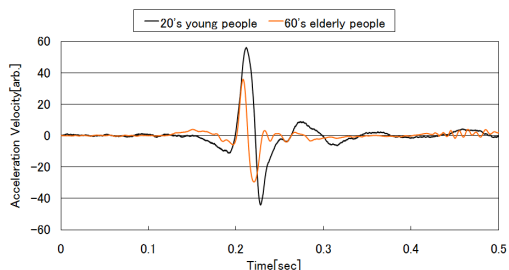


**Fig.7** The influence by the presence of the dislocation careers. Gray line : without dislocation career (right arm), Blue line : with dislocation career (left arm).

### (3) 上腕部加速度波形の比較

上腕部の加速度波形の比較例を Fig.8 に示す。図より20代若者の波形は最初のプラスピーク以降、徐々にピーク振幅が減衰していくのに対して、60代高齢者の場合マイナスピーク以降の波形の振幅が極端に小さく、波形があまり振動していないことが分かる。

また、上腕部波形に加速度脈波加齢指数を適用し血管年齢の算出を試みたが、実年齢とかけ離れた結果となった。この理由は指尖部波形と上腕部波形の違いに起因していると思われる。

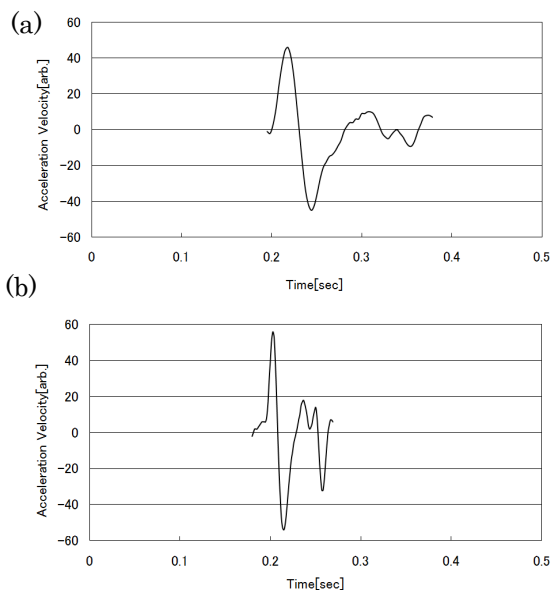


**Fig.8** The comparison example of an acceleration waveform. black solid line : 20's young people, gray solid line : 60's elderly people.

### (4) 指尖部加速度波形の比較

BC チェッカーを用いて取得した加速度脈波の波形例として、Fig.9(a)に20代若者、Fig.9(b)に60代高齢者のものをそれぞれ示す。波形の最初と最後の部分が途切れているのはBCチェッカー側が波形の振幅が大きく変化した部分のみ記録しているためでないかと考えられる。上腕部の測定は血圧計による聴診法、指尖部の測定は光学式のBCチェッカーとそれぞれ異なっているものの上腕部の波形に似た結果が得られた。指尖部波形への加速度脈波加齢指数の適用結果は、実年齢に近い推定血管年齢が算出され信頼性の

あるものであった。しかしながら、上腕部および指尖部波形は共にほぼ同じ変化の傾向を示しているため、上腕部にも適用可能で指尖部波形と同様に血管年齢の算出および波形の評価が行える指標値を構築することは可能であると思われる。



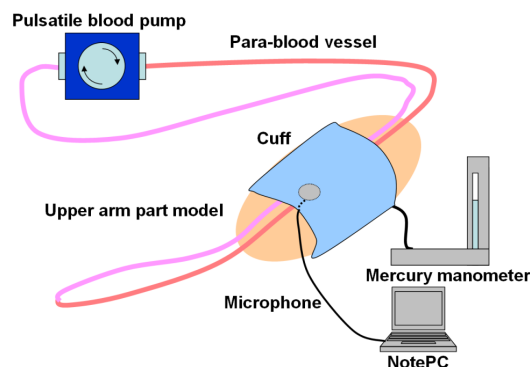
**Fig.9** The example of an acceleration waveform of a fingertip. (a) 20's young people, (b) 60's elderly people.

### (5) 拍動血流モデルを用いたモデルの製作

高齢者と若年者の波形の違いを検証するために拍動血流ポンプを用いた循環モデルの製作を行った(Photo.2、Fig.10 参照)。



**Photo.2** Pulsatile blood pump, Harvard apparatus, model 1423.



**Fig.10** Experimental setup using pulsatile blood pump and upper arm part model.

上腕部モデルとしては以下のように4つのモデルを製作して波形取得実験を行った。

・モデル0

シリコン内の擬似血管として三本のタイゴンチューブ(内径1mm, 3mm, 5mm)を中心部に骨の代わりとしてアクリルの攪拌棒(□30mm)が埋設したモデルを製作した。

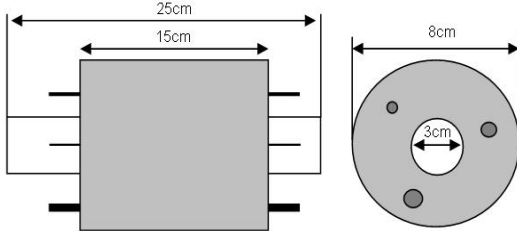


Fig.11 Upper arm model using silicon (model 0).

・モデル1

人間の腕を意識し、骨と皮膚の代わりに、スチール缶とシリコン素材の含まれるバスボンドを使用した。カフでチューブをしっかりと圧迫できるようにスチール缶を土台に、シリコンチューブをバスボンドで固めたモデルを製作した。モデルの概要を Fig.12 に示す。

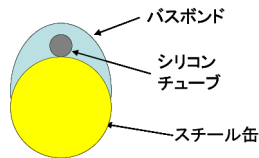


Fig.12 Upper arm model using silicon tube and steel can (model 1).

・モデル2

市販シリコンチューブは肉厚が厚いために肉厚の薄いモデルとしてゴム風船を使用し、皮膚の変わりとしてシリコンより柔らかい寒天を使用したモデルを製作した(Fig.13)。ただし、カフによる圧迫ではなく、マイクロホンに重りを乗せて波形を取得した。

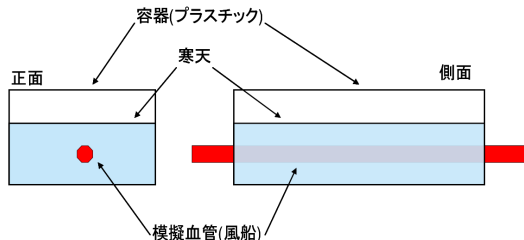


Fig.13 Upper arm model using balloon tube and agar (model 2).

・モデル3

血管が圧迫された形状を模擬するために Fig.14 のように音を取得する部位の内径を序所に細いチューブに変えたモデルを製作した。この場合はサランラップの芯とカフでマ

イクロホンとモデルを固定して波形を取得した。

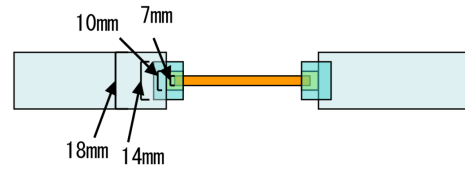


Fig.14 Pressed blood vessel model using silicon tubes with different diameter (model 3).

・時間波形の比較例

モデル0を用いた場合の取得波形例を Fig.15(a)にモデル1-3を用いた場合の取得された時間波形の例を Fig.15(b)に示す。

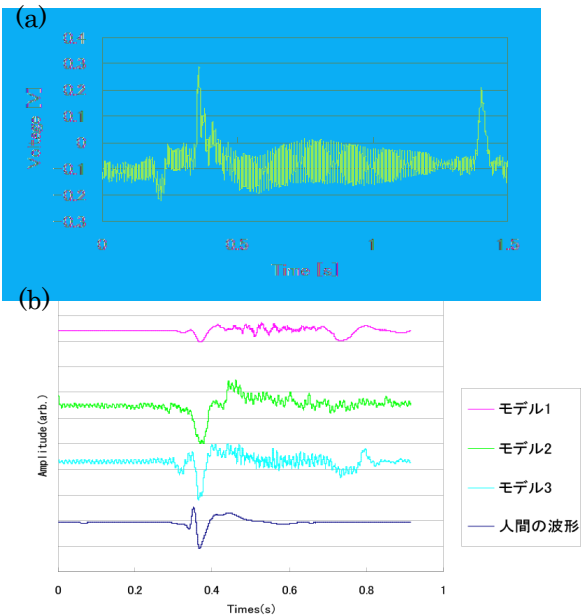


Fig.15 Examples of acquired waveform. (a) model 0, (b) model 1-3 and a Korotokoff sound.

モデル0の場合は使用したシリコンがやや硬いものであったことに加えて擬似血管として使用したタイゴンチューブの肉厚が1mm以上あり、カフの圧力程度では擬似血管がつぶれないという現象が発生したため、波形としては人間の波形とはかけ離れたものとなってしまった。

人間の場合のK音の波形の特徴として、一度振幅が若干下がった後、プラスピークに到達し、一気にマイナスピークへと変化している。その特徴を最も捉えているのは、モデル3であることがわかる。モデル3は、血管が圧迫された形状に着眼点を置き、製作したので、K音の発生起因にはやはりその形状が重要であると考えられる。

モデル1とモデル2とを比較すると、モデル2の方が実際のK音に近いことが分かる。これは、モデル2の方が柔らかい素材を使用

したため、モデル1よりも急激に模擬血管が圧迫され、形状が急激に変わったためと考えられる。

・周波数解析結果例

最も人のK音に近いと思われるモデル3の周波数解析結果を、人間の波形と比較してFig.16に示す。

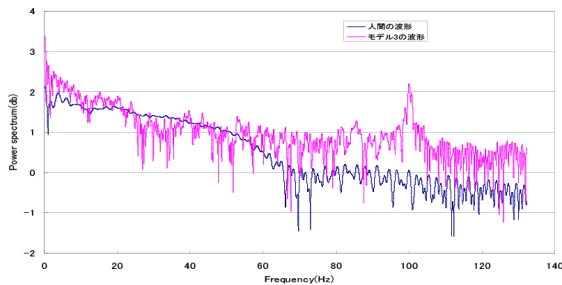


Fig.16 Fourier analysis result. Blue line: human waveform, Red line: model 3 waveform.

グラフより傾向に類似性はあるものの、ノイズ成分やマイナスピークの出方に差があるため、改善の必要性があることが分かった。

(5)まとめと今後

20代および60代のK音の波形の比較を行い年齢によってK音波形に変化が生じることを確認した。また、上腕部と指尖部の波形の比較を行い、両者の波形には相関がみられることが確認できた。上腕部と指尖部の比較結果から振幅に差異が見受けられるが波形のピーク位置はほぼ一致する傾向があり、上腕部波形においても指尖部波形と同様に評価が行える可能性がでてきた。上腕部波形と指尖部波形をどのように評価するのかが今後重要になると考えられる。上腕部波形の評価が可能となればK音が新たな健康指標値として活用できる可能性が高まるといえる。しかしながら、現時点では上腕部波形の評価が出来る段階には至っていないため、今後の課題は波形の評価方法について検討を行うことである。

また、拍動血流ポンプを用いた循環モデルの構築においては、様々なモデルを製作した結果、K音の発生要因が内径の急激な変化によるものであることおよびそのような現象を起こすためには肉厚の薄い擬似血管が必要であることが明らかになった。今回の研究では高齢者と若年者の波形の違いを検証できるまでにはいたらなかったものの、モデル構築に必要な条件が明らかになったため、今後も循環系モデルの製作と波形解析をしていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1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, (2011.6) (掲載予定) 査読無

〔学会発表〕(計7件)

- (1) 小川和樹, 外園良輔, 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, -疲労によるコロトコフ音波形の変化と脈圧値の検討-”, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 3-2-9, p115, pp1247-1248, (2009.3.19)
- (2) T.Sugimoto and F.Katayama, “Study on the health index value using the waveform of the Korotkoff sounds”, The 20th International Congress on Acoustics Proc. of The 20<sup>th</sup> ICA, P185, 3pages, (2010.8.24)
- (3) 杉本恒美, 片山富美代, “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-”, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 1-P-19, pp1253-1254, (2010.9.14)
- (4) 杉本恒美, 片山富美代, “コロトコフ音の波形解析による循環機能検査に関する研究 -若年者と高齢者の波形比較-”, 日本超音波医学会関東甲信越地方会 第22回学術集会抄録集, 基03, p138, (2010.10.30)
- (5) K.Koyama, T.Sugimoto and F.Katayama, “Study on the Healthy index value by the Korotkov’s sound analysis”, Toin International Symposium on Biomedical Engineering 2010, (TUBME), Abstract Book, IM4, pp109-110, (2010.11.6)
- (6) 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, -上腕部と指尖部の波形比較-”, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 1-P-2(b), p39, p1439-1440, (2011.3.9)
- (7) 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回日本生体医工学学会大会抄録集, P2-4-4, p186, (2011.4.30)

〔その他〕

- ・アクアメイト稲城におけるデータ取得実験 (2009.11-2011.2)

6. 研究組織

- (1)研究代表者  
片山 富美代 (KATAYAMA FUMIYO)  
桐蔭横浜大学・工学部・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・工学部・教授  
研究者番号：80257427