

血圧脈波の可聴化

○村原雄二, 石田妙子, 荒井隆行 (上智大・理工), 金井 寛* (東京電機大)

1. はじめに

聴診器による心機能の診断は古くか行なわれているが、この場合聴診器のチェストピースから耳に到るチューブまでの音響特性を基本波 1Hz 付近の脈波によって駆動された可聴域の音を聞いていることになる [1]。血圧脈波は心臓からの拍出された血流により発生し、体循環器系の血管を通して末梢へ向かって波動として伝搬する。したがって波動の伝搬路である血管の状態の変化は直接伝搬する波形に影響する [2]。血管の分岐、動脈瘤、血管狭窄などのある部位においてはその程度に応じて波の反射を起こし、この反射波と進行波が重畳されて波形を形づくっている。末梢へ伝搬する脈波もこれら不整合部位の後で波形は変化する [3]。したがって血圧脈波の波形には体循環器系の状態が反映した重要な情報が含まれており、繰り返し周波数 1Hz 近くの本来人間の耳では聞くことのできない成分の多い血圧脈波形を可聴化できれば、それらを聞くことが可能となり、聴覚的に状態推定ができるものと期待できる。

近年においては血圧脈波を非侵襲的に測定する装置も普及しており、その波形を形を維持しながら可聴化できれば通常健康診断などに有効な手段となるものと考えられる。我々は血圧脈波に LPC 分析を行なって可聴化する方法を試みた。この分析で循環器系の状態に関する情報が LPC スペクトラム包絡に反映されるものと考えられ、可聴周波範囲に推移した予測残差を駆動源とする LPC 合成を行なって可聴化した。本報告では循環器系モデルを用いたシミュレーション結果と実測した血圧波形についての結果について述べる。

2. 循環器系モデルとシミュレーション

循環器系の種々の血管状態を実現させるための循環器系モデルをつくった。体循環系を血管の小セグメントに区分し、各セグメントを単位長あたりの抵抗、キャパシタ、インダクタの電気回路素子で表した。このモデルでは血流と血圧、が電流と電圧にそれぞれ対応する [4]。この血管モデルを用いて、血管閉塞による血圧脈波の変化をシミュレーションで調べた。シミュレーションでは 5 個のセグメントによる一様な管の一部の血管セグメントの半径を変化させ、その出力波形の変化を求めた。Fig.1 は 5 個のセグメントによる一様な管を表しており、図でセグメント 3 は閉塞を想定した部位としている。(b) はシミュレーションで用いた血流波形である駆動波形を示しており、(c) は終端を無反射にした場合の各セグメントを伝搬している血圧波形を示している。

3. 分析

血圧脈波形は繰り返し周波数がほぼ 1Hz に対し 10Hz の低域通過フィルタを通し、20Hz のサンプリング周波数とした。この可聴域以下の低周波成分に対してフレーム長は 64 点とし、12 次の LPC 分析を行なった。この分析から得られたスペクトル包絡が波形の特徴を表している。この係数から自己回帰モデル (AR モデル) の極が求まるがその位置は規格化した角周波数 2π に対して与えられる。したがって予測残差信号を駆動信号としてそのサンプリング周波数を上げていってもその特徴を維持しながら周波数上の変換を行なうことができる。

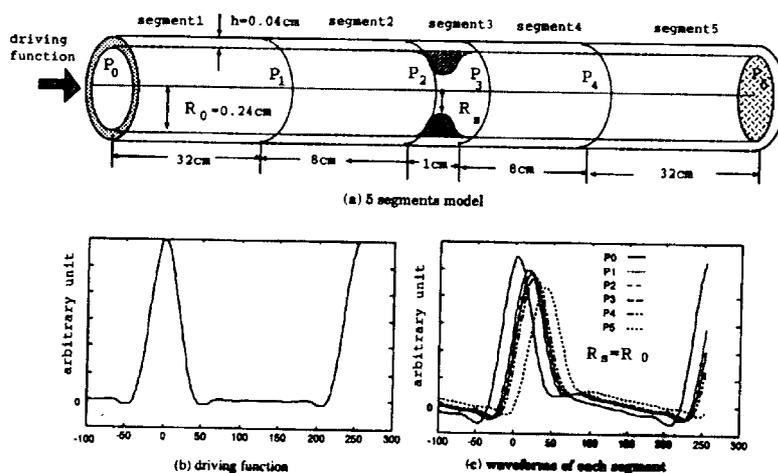


Fig.1 5 個の血管セグメントによるモデル

* Audible Method for Blood Pressure Wave

By Yuji Murahara, Taeko Ishida, Takayuki Arai (Sophia Univ.) and Hiroshi Kanai (Tokyo Denki Univ.)

4. 結果および考察

本報告では血圧波形は循環系のモデルからシミュレーションした波形と実測した血圧波形を対象とした。Fig.2で(1)はシミュレーション波形であり、モデルの終端での反射係数を0.8としている。(2)はその波形から求めたスペクトル包絡である。図で(a)はモデルのセグメント3の半径を変化させない場合、(b)は血管閉塞を想定して半径を30%とした場合である。実測した血圧波形はトノメトリ法(日本コーリン、自動血圧計CBM-3000)により大腿部で測定したデータを用いた。ここでは2例を載せているがいずれも健康な成人のデータであり、病変に対するものではなく今回は個人による相違を調べる目的として用いた。

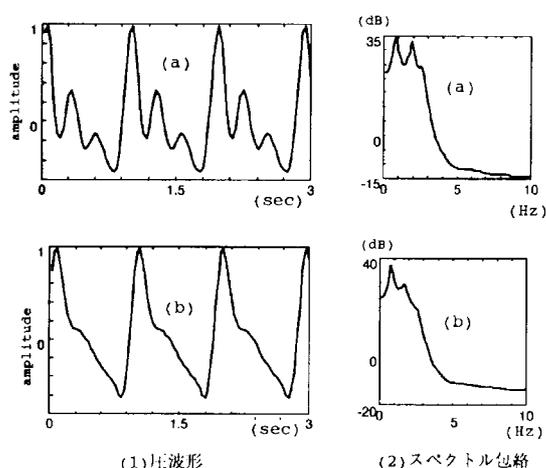


Fig.2 モデルによるシミュレーション波形の分析結果

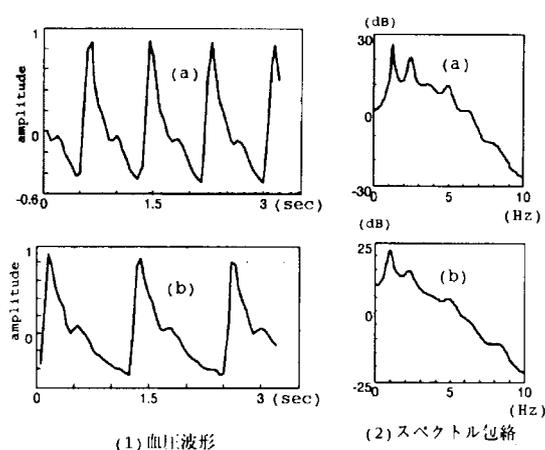


Fig.3 血圧波形による分析結果

LPC分析による結果に基づいて可聴域へのシフトの実験を行なった。まずモデルの波形にたいしてARモデルによる合成を行なった。分析から得られた残差信号を80倍のサンプリング周波数にして、これをARモデルの駆動信号として可聴化による効果を調べた。この場合1Hzが80Hzに偏位することに相当する。聞き取りによる実験ではモデル上の血管閉塞による聴覚上の相違は認められるが、波形から予想したほどは大きくはなかった。実測波形についても同様の実験を行なったが、2つのデータの心拍数の違いがあり、その点では相違は認められるものの、健康な成人に対する個人差を聴覚上の違いとして実感できなかった。

5. おわりに

古くから行なわれている聴診器による診断には脈波形に内在する非常に重要な情報があるにもかかわらず、聞きとることができない。それが動機となって血圧波形の可聴可について提案した。本報告では著しい聴覚上の相違は得られなかったが、更にモデルの検討、また実際の循環器系の疾患のある実測データなどに適用し、波形上の相違が耳で聞きとることのできるものと期待している。

参考文献

- [1] Manuel Abella and John Formolo, "Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscope" The Journal of the Acoustical Society of America, vol.91, No.4, pp.2224-2228, 1992.
- [2] A. McDonald, "Blood flow in arteries", McGraw-Hill, 1974.
- [3] 増田善如、金井寛 "動脈脈波の基礎と臨床", コロナ社, 2000.
- [4] A.P. Avolio, "Multi-blanch model of human arterial system". Med. & Biol. Eng. & Comput. vol.18, pp709-718, 1980.