

研究概要報告書

資料 - 2

(1/4)

研究題名	動脈硬化の非侵襲的診断を目指した 大動脈壁の発する微小音計測法の開発	報告書作成者	金井 浩
研究従事者	金井 浩（東北大学工学部助教授）中鉢憲賢（東北大学工学部教授）小岩喜郎（東北大学医学部助教授） 広瀬功一（東北大学大学院修士課程）川辺健一（東北大学大学院修士課程）佐藤宏明（東北大学大学院博士課程）		
研究目的	<p>心筋梗塞・狭心症の主原因となる動脈硬化は、正常な人でも30代から進行が始まり、早期動脈硬化症の非侵襲的診断が今後必要不可欠となる。動脈硬化の診断方法としては、生理機能検査による間接的診断の他に、頸動脈と股動脈間で鼓動に伴う圧力波（脈波）の伝搬速度を測定し、その速度の正常値からの増加度から、血管の弾性値を判定する方法がある。しかし、頸部と股間の2点間の距離測定など精度上の問題や、早期に症状が現れる心臓付近の血管の局所的特性が測定できないという問題がある。そこで申請者は、<u>心臓壁・動脈壁が発する音・振動を体表面から計測する新しい超音波診断法を提案するとともに、得られた波形の画期的分析法を提案した。</u>本研究の目的は、これらの原理に基づく新しい計測装置を作製し、詳細な検討と実験的評価を行って、大動脈が発する音・振動の計測法として確立させると共に、検出した動脈の音に基づく循環器の新しい早期診断の領域を開拓することにある。</p>		
研究内容	<p>申請者は、従来にはない全く新しい動脈壁の微小振動の定量的計測診断法を開発し、次のように動脈壁の微小振動・音の新しい超音波計測法に関する研究成果を挙げた。</p> <p>図1の心臓壁や心臓付近の大動脈壁は、心臓の拍動に伴う振幅1cmの大振幅の変位があるため、その壁上の振幅数十<math>\mu\text{m}</math>の微小振動を、数拍にわたって連続して計測することは、従来の超音波計測技術では困難であった。申請者はこの問題を解決し、超音波によって胸壁上からこれらの部位の微小振動を高精度に計測するための手法を提案し、以下のシミュレーション・水槽実験・人体の実験からその有効性を裏付けた。</p> <p>図2は、本手法の計測精度をシミュレーション実験によって評価した結果であり、心臓の拍動に伴う大振幅変位とその上の数十<math>\mu\text{m}</math>の振幅の微小振動の両者を高精度に計測することが本手法によって初めて可能となったことを示している。</p> <p>図3は、心臓近傍での大動脈壁の微小振動を模擬し、大振幅拍動上の微小振動の計測精度を評価するための水槽実験を示したもので、図4は、この水槽実験における加振器への入力信号と本手法によって得られた微小振動推定波形の間のコヒーレンス関数を示している。従来、20～30Hzまでの周波数帯域までしか得られなかった変位波形が、本手法によって1kHzまでの周波数帯域の微小振動まで得られることが確かめられ、本手法によって、図2と同様に高精度の生体計測が可能であることがわかった。</p> <p>図5は、心臓近傍（大動脈弁近傍）の大動脈壁（図1点A）の微小振動波形を一拍の長さで計測した結果であり、申請者らが世界で初め</p>		

で計測した結果である。従来は、図5中段の変位波形しか得られていなかったが、下段の微小振動波形から、大動脈弁の開閉に伴う振幅数十 $\mu\text{m}$ 以下の微小振動が発生していることがわかった。

さらに高齢者と正常者数人における実験によって得られたこれらの微小振動パルスを切り出し、ウェーブレット変換を行った結果を図6に示す。図6によれば、高齢者と正常者の主周波数・振動振幅に顕著な差異があるという興味ある結果が得られている。特に、これらの違いは、高齢によって動脈壁が硬くなることを裏付けた結果であり、本手法による動脈硬化定量的診断の可能性を強く示したものである。

以上は、動脈壁上の1点での微小振動の計測に関する研究成果であるが、さらに、大動脈上の離れた2点での微小振動の同時計測を行って、その間の圧力波の伝搬時間・伝搬速度を求める試みを行った。伝搬速度と壁の内径・肉厚から、さらに動脈壁の弾性率を算出することが可能となる。申請者が開発した手法では、超音波で体内の血管壁の微小振動を上記のように高精度・高帯域にわたって計測することが出来るため、この2点の計測箇所の距離を数mm程度の短い距離に設定することができ、局所的な動脈の弾性的特性の計測が可能となる。図7は、このための計測システムの構成図である。

図8は、図7の計測システムで計測した心臓近傍の2点(図1の点A、点B)における壁の半径方向の微小振動の計測結果である。クロススペクトル法による伝達関数の推定のために、ここでは、3拍から4拍を連続して計測している。さらに、心電図と対比させて同じタイミング( $T_1$ 、 $T_2$ )で切り出した波形を図9に示す。これらのA点B点で計測した波形間に約7msの時間差があり、2点間の距離を考慮して、3.7m/sという圧力波の伝搬速度が得られた。さらに、壁の半径・肉厚を考慮して、縦弾性率 $E = 0.33 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ と算出することができた。これらは、青年正常者のみにおける結果であり、今後被験者の数を増やし、さらに水槽を用いた基礎実験などを用いて評価していく予定である。

以上のように、申請者が提案した超音波計測診断法は、全く新しい高精度計測手法といえ、また今後の高齢化社会における動脈硬化の進行予防の点からも非常に重要な課題であり、早急な計測診断装置の開発が望まれる。今後この研究によって音・振動を用いた全く新しい医療分野が開拓される可能性が大きく、国民の福祉へ確実に貢献できるものと期待できる。

(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式-10

説明書

(3/4)

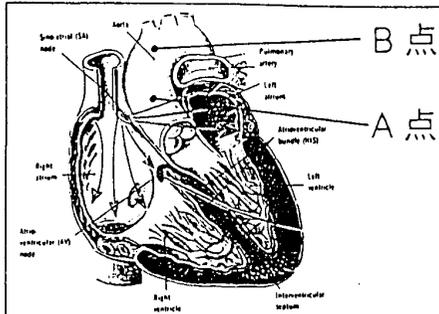


図1 心臓近傍の大動脈の計測箇所

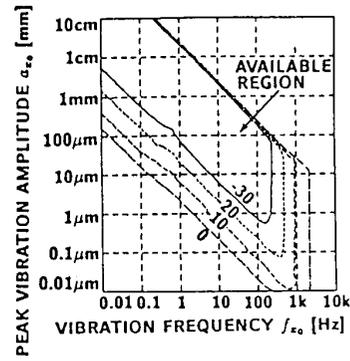


図2 シミュレーション実験による本手法精度評価結果

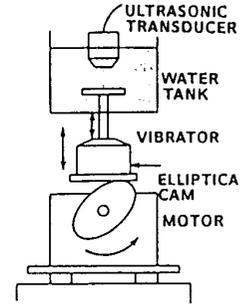


図3 心臓壁の微小振動を模擬した水槽実験

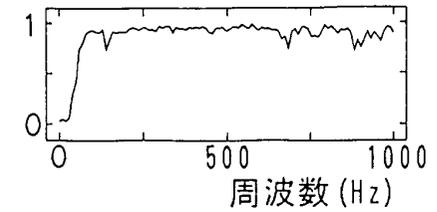


図4 水槽実験において、本手法で得られた微小振動と加振器の入力信号間コヒーレンス関数

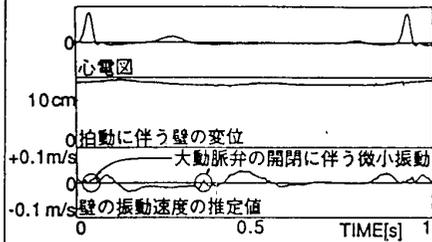


図5 大動脈壁の微小振動計測結果 (図1点A)

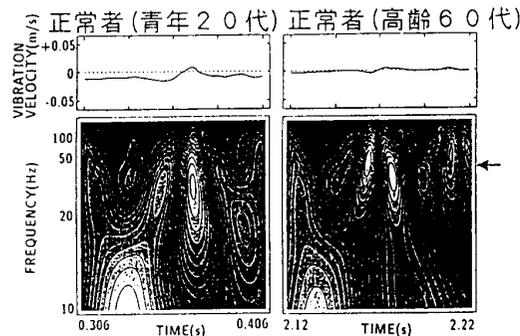


図6 正常者(青年と高齢者)の大動脈壁の微小振動の大動脈弁閉鎖時の振動波形とウェーブレット解析結果 (a)青年 (b)高齢者

(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式-10

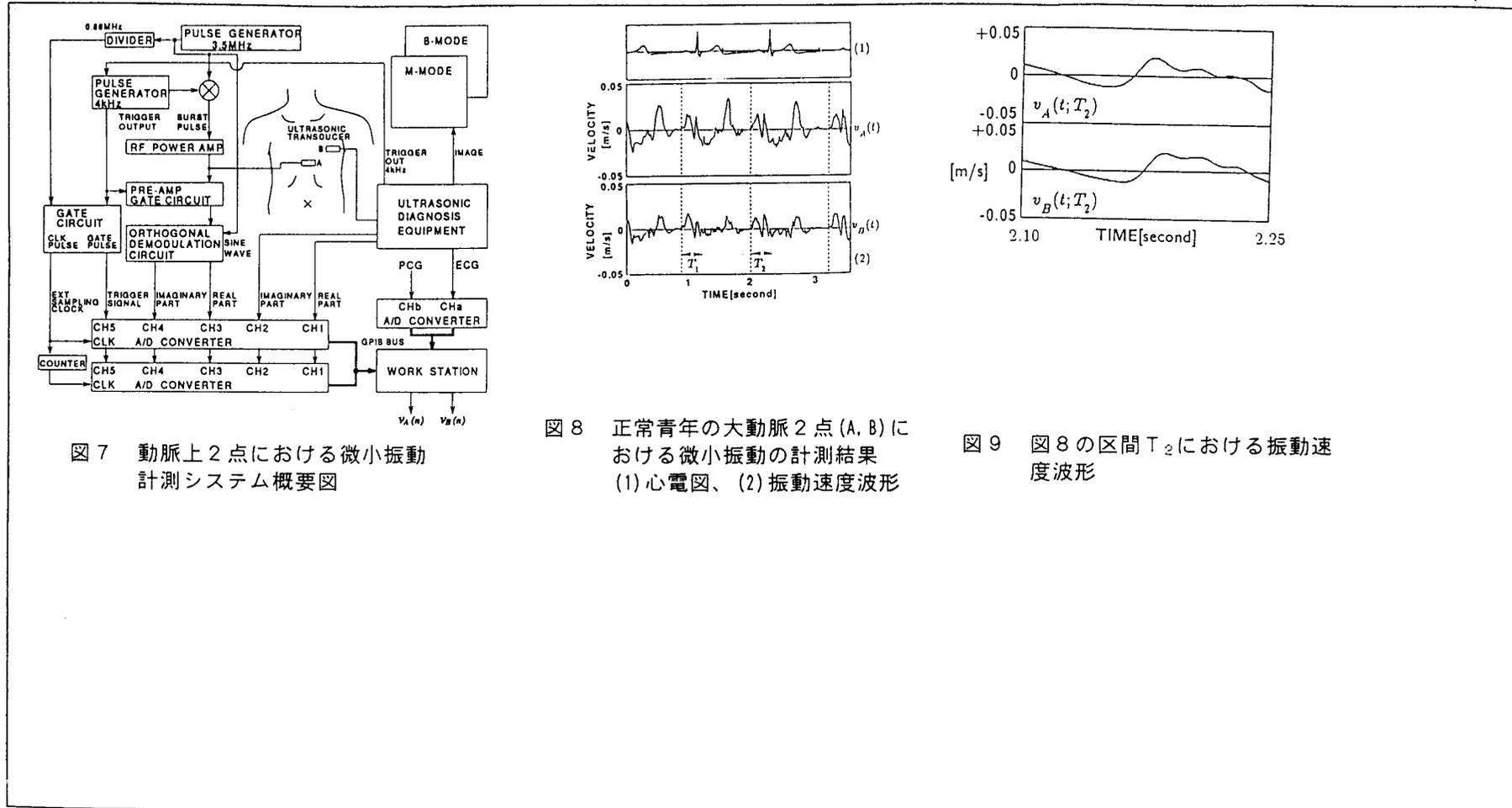


図7 動脈上2点における微小振動計測システム概要図

図8 正常青年の大動脈2点(A, B)における微小振動の計測結果 (1)心電図、(2)振動速度波形

図9 図8の区間T<sub>2</sub>における振動速度波形

(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)