

## 眼科超音波診断に関する研究（第22報）

硝子体病変に対する超音波 RF 信号周波数分析診断（図4，表1）

太根 節直・梯 龍洋・平田 昌也・橋本 武光（聖マリアンナ医科大学眼科学教室）  
橋本真理子・小鹿倉 寛・小松 章Studies on Ultrasonic Diagnosis in Ophthalmology  
(Report 22) Power Spectrum Analysis of Ultrasonic  
Radio-frequency Signals in Vitreous DiseasesSadanao Tane, Tatsuhiro Kakehashi, Masaya Hirata,  
Takemitsu Hashimoto, Mariko Hashimoto,  
Hiroshi Kogakura and Akira Komatsu

Department of Ophthalmology, St. Marianna University, School of Medicine

## 要 約

超音波の A モードの radio-frequency 信号 (RF 信号) の周波数スペクトル成分を画像化して解析し、生体の acoustic staining と呼ぶべきスペクトル波形解析鑑別診断を行うことを目的として、今回の硝子体病変について検討を行った。方法は ZD-252型眼科用超音波診断装置と10MHz 焦点型 PZT 振動子を使用し、硝子体病変の B モード像を水浸法にて描出し、病変の最も顕著に現われている部分に切換えた A モードを合わせ、この部分の RF 信号を DATA-6000 Universal Wave Form Analyzer にて高速フーリエ変換し、周波数分析を行った。基礎実験として家兎22眼、また臨床的に種々の硝子体病変を有する生体人眼86眼を対象とした。その結果、高周波数領域で、網膜剝離では $-44.0\text{dB}$ 、硝子体出血 $-31.5\text{dB}$ 、及び硝子体膜では $-25.6\text{dB}$ のパワースペクトル強度の平均値が得られた。このような周波数分析法は、従来の超音波 A モードや B モードによる形態的なマクロ診断に加えて、エコー画像における眼病変の微細なマイクロ解析診断として組織鑑別に基き有用と思われる。(日眼 91:935-939, 1987)

キーワード：radio-frequency 信号 (RF 信号), 周波数分析診断, パワースペクトル, スペクトル波型解析鑑別診断, 超音波周波数依存性減衰係数

## Abstract

The objective of this study was to express and qualitatively record various vitreous diseases by means of the spectral analysis of the ultrasonic radio-frequency (RF) signal. Lithium niobate transducers (5mm $\phi$ , focused type, 10MHz) were attached to the St. Marianna Ophthalmic high-resolution Ultrasonic Diagnostic Equipment (ZD-252 type) for the in vivo examination of 86 human eyes with various vitreous disorders. An echo-beam was directed along the optical axis using the immersion method, and the obtained A-mode of the vitreous lesion was converted to an RF-signal by a Hitachi V-650-type Oscilloscope. By means of a DATA-6000 Universal Waveform Analyzer, Fourier analysis of the waveform was carried out with the built-in computer, together with frequency power spectral analysis. In the spectral frequency domain of 10~50MHz, various ultrasonic RF-signal spectrum patterns were observed in terms of the mean sum for each condition: A flat type pattern at  $-44.0\text{dB}$

別刷請求先：〒213 神奈川県川崎市宮前区菅生 2-16-1 聖マリアンナ医科大学眼科学教室 太根 節直  
Reprint requests to: Sadanao Tane, M.D. Dept. of Ophthalmol., St. Marianna Univ. School of Med.  
2-16-1, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki 213, Japan

(昭和62年5月18日受付) (Accepted May 18, 1987)

for retinal detachment, a flat type pattern at  $-31.5\text{dB}$  for vitreous hemorrhage, and a flat type pattern at  $-25.6\text{dB}$  for the vitreous membrane. These results suggested that this procedure is useful for differential diagnosis of pathological conditions of vitreous diseases. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 935—939, 1987)

**Key words:** power spectrum analysis, ultrasonic radio-frequency signals, Fourier analysis, Data-6000 Universal Waveform Analyzer, Frequency dependent attenuation

## I 緒 言

近年は超音波医学の分野で、超音波が生体内組織を伝播する際に受ける物理量の変化が注目され、これを利用して、その組織の音響的特徴を定量化、画像化して鑑別診断を行おうとするいわゆる ultrasonic tissue characterization の研究が盛んになりつつある<sup>1)~6)</sup>。

眼科領域の超音波診断法では、時間軸対振幅の関係を画像表示する A モード法か、これを二次元的に走査する B モード法を主流として発展してきたが、いずれも周波数成分に関する情報には関与しておらず、少なからぬ診断情報のとりこぼしがあった。一方、最近では高性能、かつ小型のコンピューターを超音波装置に接続して、比較的容易かつ短時間で、高度の信号解析処理を行うことが可能となった<sup>3)~6)</sup>。これらの点に鑑み、今回は A モードの radiofrequency 信号(RF 信号)の周波数成分をパワースペクトルとして画像表示して視覚化し、生体の acoustic staining と呼ぶべきスペクトル波型解析鑑別診断を行い、硝子体内の各種病変の鑑別に応用し、興味ある結果が得られたので、その成績の概要を報告する。

## II 方 法

先づ本検査法の信頼性を検討するため、動物眼での予備実験を行い、次いで生体人眼に於ける診断を行った。

### (1) 予備実験

日本在来種の成熟家兎22羽22眼を用い、ネンブター麻酔を行い、各個体の片眼に自家血0.3mlの硝子体内注入による硝子体出血モデル眼(10眼)、注射針による網膜搔爬による裂孔原性網膜剝離モデル眼(6眼)、卵白感作による硝子体混濁と硝子体膜を有するぶどう膜炎のモデル眼(6眼)をそれぞれ作成し、特に第3群の4眼ではぶどう膜炎発症後自家血0.3mlを注入し、硝子体膜の形成を促した。

### (2) 臨床例

1983年10月より、1987年3月まで、当科を訪れた患者のうち、硝子体内に病変があり、眼底検査などの所見と、超音波検査の結果とを比較検討できた裂孔原性特発性網膜剝離42例42眼、外傷や各種の網膜血管障害、あるいは糖尿病性網膜症による硝子体出血18例18眼、更に硝子体出血後の硝子体膜14例14眼、後部硝子体剝離10例10眼の計84眼を対象とし、他に網膜芽細胞腫2例2眼についても観察した。

### (3) 実験方法

超音波 RF 信号周波数の分析診断の方法としては、前報<sup>7)</sup>と同様に以下のように行った。即ち、ZD-252型眼科用超音波診断装置(聖マ医大式)と10MHz、5mmφ焦点型ニオブ酸リチウム振動子を使用し、硝子体内病変の B モード像を水浸法にて描写し、病変の最も定型的に現われている部分(関心領域)に、切替えた A モードビームを合わせ、この部分の RF 信号を V-650型オシロスコープ(日立)でとらえ、さらにそれを DATA-6000 コンピューター内蔵波型解析装置(DATA-6000 Universal wave Form Analyzer-ヤーマン)にて波型のフーリエ解析を行い、更に周波数分析を行った。

関心領域からは、サンプリング周波数100MHz、10 bit AD 変換で、縦方向(Y方向)1,024ライン、横方向(X方向)512ラインの範囲で RF 信号を収集した。また超音波周波数依存性減衰係数(Frequency dependent attenuation, 以下 FDA とする<sup>8)</sup>)を各疾患につき算定し、比較した。本係数は生体組織の厚み1cm当りの超音波の吸収減衰を1MHz当りの dB 値で換算表現した組織の音響係数である。

## III 結 果

### (1) 予備実験：動物眼の RF 信号周波数分析

家兎眼で実験的に作成された網膜剝離、硝子体膜、及び硝子体出血の三者共、使用振動子の周波数に一致して10MHzの所でパワースペクトルの最高峰の振幅(電圧)がみられた。

更に網膜剝離(6眼)では、数回にわたり同一部位

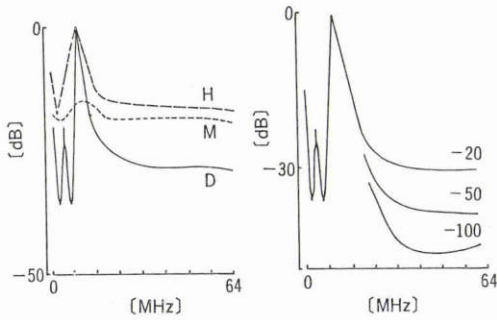


図1 動物(家兎)眼における実験的硝子体病変の超音波RF信号のワースペクトル。  
 (左) H:新鮮な硝子体出血, M:硝子体膜, D:網膜剝離の各々のRF信号周波数分析曲線(加算平均値)。DはHとMに比し,高周波領域(低域:11~50MHz)で有意の反射波成分(dB)の低下をみるが,低周波領域(低域:0~10MHz)では三者に大差をみない。(右)硝子体出血では経時的に高域では,-20dBより,-50dBへ(3月後),更に-100dBへ(半年後)とワースペクトル強度の低下をみた。

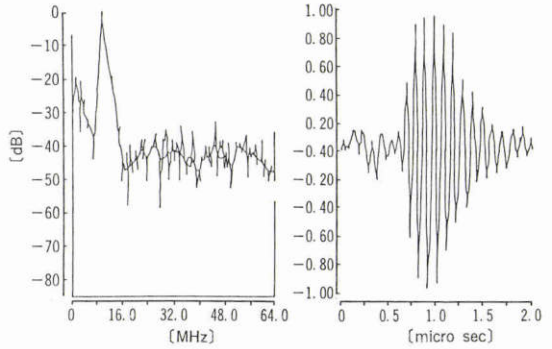


図2 新鮮な裂孔原性網膜剝離(42眼)のRF信号ワースペクトル(加算平均波型)。  
 低域では10MHzで最高ピークをみとめ,高域では平均-44.0dBの水平波型を示す。(右はRF信号波形を示す。)

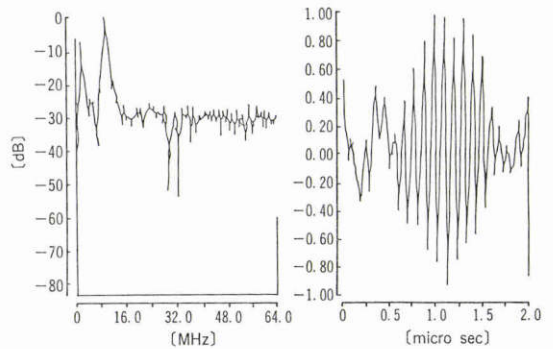


図3 硝子体出血(18眼)のRF信号ワースペクトル(加算平均波型)。  
 低域では10MHzの部分に最高ピークがみられ,高域では平均-31.5dBの水平波型を示す。(右はRF信号波形を示す。)

の波形をとり,パターンを平均すると,0~10MHzの低周波数領域(以下低域と略記)でV型,高周波数領域(以下高域と略記する)(10~50MHz)では,-30~-35dBの水平の波形となった(図1)。

新鮮な塊状の硝子体出血(10眼)は,明瞭な音響インピーダンス上の境界面を持ち,平均波型では0~10MHzの低域で浅いV型,10~50MHzの高周波数領域では-20dB前後の,緩やかな右下りのパターンである。やはり10MHz(使用振動子周波数)で最高峰がみられる。3カ月の経過で,10MHzの峰は0dBから-20dBへ,高域では,ワースペクトル強度は-20dBから-50dB(3カ月後)へと低下をみた。更に半年~1年後では-100dBへと低下した。

硝子体膜(ぶどう膜炎,6眼)のRF信号は振幅が小さく,膜厚も薄いものが多い。低域は明かな特徴がみられず,10MHzのピークの裾幅は広く緩やかな波形で,高周波数領域では-20dB以下の波高が得られた。また一度形成された硝子体膜のRF波形は,長期間その波形を保つ傾向があった。

RF信号とそのワースペクトルの振幅(電圧)は,一般に網膜剝離と硝子体膜では経過による変形が殆んどみられないが,硝子体出血では塊状の出血の境界が崩れるにつれて,連続的かつ不規則な波形に変化した。

実験的硝子体出血と硝子膜との高域での平均dB値では,有意差がみられなかったが,網膜剝離ではこの

両者と比べ,高域dB平均値では有意の低下がみられた( $p < 0.05$ )。

(2) 臨床例:人眼に於けるRF信号周波数分析

新鮮な網膜剝離,硝子体出血,及び硝子体膜(形成)のRF信号とそのワースペクトル解析のパターンは動物実験の結果と同様で,高域周波数のdB(電圧)もほぼ一致した数値であった。

新鮮な裂孔原性網膜剝離(42眼)のワースペクトルの波形は,各症例で数回にわたり同一部位の波形をとり,全例のパターンを平均化すると,高域(10~50MHz)では,-44.0±0.96dBの水平波型であった。低域では,動物実験の場合と同様に10MHz(使用振動子周波数)の部分で最高峰がみられた。6~12カ月放置

された陳旧な網膜剥離では、低域(0~10MHz)では変化しないが、高域でもパワースペクトル強度の低下はみられなかった(図2)。

網膜の種々の血管性病変や糖尿病性網膜症などによる硝子体出血では、全例(18眼)のRF信号パワースペクトルの平均パターンでは、低域では10MHzの部分に最高ピークがみられ他疾患と同様パターンであるが、高域では、 $-31.5 \pm 0.78\text{dB}$ の水平波型が得られた。3~6カ月の経過と共に症例によって、このdB値(電圧)は更に経時的に3~6カ月後では下降する傾向がみられた(図3)。

硝子体剥離や各種網膜病変による硝子体出血後に形成された硝子体膜としては、同一眼球内では、厳密なAモード、Bモード検査で確認し得たもの14眼に、RF信号パワースペクトル解析を行った。その結果、高域にて平均 $-25.6 \pm 0.82\text{dB}$ の平均強度(電圧)が得られた。低域では10MHzに最高ピークがみられ、他疾患と同様のパターンが得られた。硝子体膜のスペクトルパ

ターンでは、経時的な低下はみられなかった(図4)。

以上の生体人眼の症例に於ける網膜剥離、硝子体出血、及び硝子体膜のパワースペクトルの平均強度(表1)では、硝子体出血と硝子体膜の間では有意差はみられず、これらと網膜剥離の間では、平均スペクトル強度に、有意差がみられた( $p < 0.05$ )。

網膜芽細胞腫(2眼)では、病変部をおおう剥離網膜は新鮮な裂孔原性網膜剥離と同様なRF信号スペクトルパターンを呈したが、腫瘍自体は高域で複数の20dB程度のピークを有する特異な波形を呈したが、症例が少く、その解析は今回の成績から除外した。

FDAの検討では、網膜剥離では $1.82 \pm 0.163\text{dB/cm/MHz}$ 、硝子体出血 $0.96 \pm 0.026\text{dB/cm/MHz}$ 、及び硝子体膜 $1.18 \pm 0.039\text{dB/cm/MHz}$ となり、三者間にそれぞれ有意差をみとめなかった。

#### IV 考 按

超音波のRF信号のパワースペクトル解析による tissue characterization を各種眼疾患の鑑別に応用しようとする試みは、未だ端緒についたばかりで少く、Coleman<sup>1)</sup>、Thijssen<sup>2)</sup>、Trier<sup>3)</sup>、著者<sup>4)~7)</sup>、及び小鹿倉<sup>8)</sup>により、眼腫瘍や眼内膜様病変について研究されているに過ぎない。ここ数年来の電子技術の急激な進歩と、コンピュータの小型高性能化により、信号解析装置を臨床検査装置に接続して使用できる様になったため、Aモード信号をA-D変換して、高速フーリエ変換し、周波数成分を多数の正弦波により表現し、一定の周波数幅における振幅(出力)を相対値(dB)で表現するパワースペクトラムを用いて、従来からのAモード、Bモードに加えて、周波数成分の診断的应用による診断精度の向上を望むことが可能になったので、今回はこの手法を硝子体内疾患に应用して検討した。

使用した超音波診断装置(ZD-252)は、Bモード画

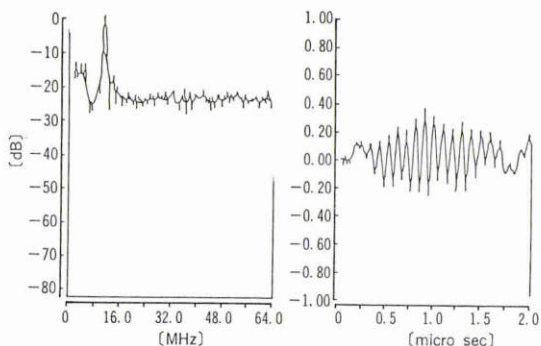


図4 硝子体膜形成(14眼)のRF信号パワースペクトル(加算平均波型)。

低域では10MHzで最高ピークをみとめ、高域では平均 $-25.6\text{dB}$ の水平波型を示す。(右はRF信号波型を示す。)

表1 硝子体病変の超音波パワースペクトル強度と周波数依存性減衰係数

症例 (eyes)	高周波領域(10~50MHz)の 平均スペクトル強度 (dB)	超音波周波数依存性 減衰係数(Frequency dependent attenuation) (dB/cm/MHz)
Retinal detachment (42)	$-44.0 \pm 0.96$	$1.82 \pm 0.163$
Vitreous hemorrhage (18)	$-31.5 \pm 0.78$	$0.96 \pm 0.026$
Vitreous membrane (24)	$-25.6 \pm 0.82$	$1.18 \pm 0.039$

(10MHz, LiNbO<sub>3</sub>-transducer による)

像上で A モードの軌跡を検討しながら、診断に適した病変部位 (box) を選択でき、写真記録もできる点が優れている。パワースペクトルの 0~15MHz の低域については、すでに Coleman & Lizzi<sup>1)</sup>により、その有用性が報告されたが、著者らの成績では、0~10MHz の低域にみられる網膜剥離、硝子体出血、及び硝子体膜の波型については、かなり症例により個体差や変動がみられ、簡単に捕えられるとはいいがたく、Coleman らが言う様な特異性はみられず、現状では診断的応用は困難であろうと思われた。パワースペクトラムの 0~10MHz の低域の解析には、振動子の中心周波数の高域化、指向性の改善と、診断装置の超低周波数成分を除去するフィルター回路などを挿入する必要がある。

今回は RF 信号のパワースペクトルの 10~50MHz の高域に注目して実験を行い、この周波数領域の波形は、0~10MHz の低域に比較して安定しており、波高 (dB) も読み取りやすく、診断情報としては応用しやすいことが明らかとなった。

今回は超音波反射波の周波数分析図の高周波領域のパターンにより、生体から送り返される貴重な情報の利用度を高め、網膜剥離とその他の眼内膜様物の鑑別を試み、高域でのパワースペクトルの平均強度は、実験的に家兎眼と、臨床的に生体病人眼とでは、高域でのパワースペクトルの平均強度が類似し、特に生体人眼では、網膜剥離と硝子体出血、及び硝子体膜の両者の間でパワースペクトル平均強度に有意差がみられ ( $p < 0.05$ )、網膜剥離と他の眼内膜様病変との鑑別が周波数分析の面からも可能であることが判明した。

特に網膜剥離で、高域で平均パワースペクトル強度が他の 2 者と比べ有意に低いことの理由は、今後の課題として検討に値するが、A モードのエコービームが剥離網膜面に垂直に入射した場合、表面が不規則な、硝子体膜や、更に粗な構造を有する硝子体出血に入射した場合よりも、当然ビームパワーは全反射にやや近い反射を示し、より多くの高域周波成分も中心周波数の 10MHz を中心とした低域周波成分と共に反射し去るので、高域成分パワーの平均強度の当然の低下がみられるものと推測される。RF 信号周波数分析法は生体から送り返される貴重な超音波情報の利用度を高め得る上で、期待できる方法と考えており、今後の発展

のためには、より高い中心周波数で、ピーク周波数幅の広い振動子と、眼球の後半部分においても、さらに高解像力を持つ超音波診断装置を実現する必要がある。本法の臨床的応用範囲の拡大を目指して、今後も検討を続ける方針である。

FDA の検討では、三者間に有意差がなく、超音波ビームの反射成分と透過減衰成分の生体組織に対する態度の違いが浮き彫りにされたが、眼内の病的組織は、肝や腎などの実質臓器と厚みが比較にならない程薄いので、本指数の診断的意義も再検討の余地があると考えられた。

#### 文 献

- 1) Coleman DJ, Lizzi FL, Jack RL: Ultrasonography of the Eye and Orbit. Lea & Febiger, Philadelphia, 1977.
- 2) Thijssen JM, Cloostermans MJTM, Verhoef WM: Ultrasonic Tissue Differentiation in Ophthalmology, Ultrasonic Tissue Characterization, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague: JM Thijssen, P Nicholas, Eds, 146—160, 1982.
- 3) Trier HG, Lepper RD: Tissue Characterization in Ophthalmology, Ultrasonic Tissue Characterization, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague: JM Thijssen, D Nicholas, Eds, 74—84, 1982.
- 4) 太根節直, 神野順子, 小松 章他: 超音波コンピューター周波数分析診断による眼内病変鑑別の試み. あたらしい眼科 1: 724—725, 1984.
- 5) Tane S: The tissue characterization by computerized ultrasonic spectral analysis on ocular diseases. Proceeding of SIDUO-X, Florida 1984: KC Ossoing, Ed, 1984. (in contributing).
- 6) 太根節直他19名: 眼科画像診断に関する諸問題—総合画像診断における新しい試み, 日眼会誌 90: 67—103, 1986.
- 7) 太根節直, 松本匡彦: 眼科超音波診断に関する研究. (第21報) 水晶体病変の超音波 RF 信号パワースペクトル解析. 臨眼 41: 769—773, 1987.
- 8) 赤岩 明, 前田一雄: 産婦人科領域における超音波 RF 信号の解析 (第2報). 日超医論文集 49: 999—1000, 1986.
- 9) 小倉 寛: 生体眼の超音波パワースペクトラム解析に関する研究. 臨眼 39: 861—866, 1985.