眼科超音波診断法

澤 田 惇

九州保健福祉大学保健科学部視機能療法学科

Ultrasonic Diagnosis in Ophthalmology

Atsushi Sawada

Department of Orthoptics and Visual Sciences, School of Health Sciences, Kyushu University of Health and Welfare

要 約

超音波診断についての方法、適応、有効性、あるいはその関連事項については、すでに学会や専門書でよく解説されているので、今回は比較的重視されていない事項について述べた。超音波の物理的性質をよく理解することが必要で、伝播、反射、屈折、減衰、音速と解像力との関係の重要性について解説した。パルス法とドブラ法、さらにAモード法、Bモード法について述べた。ついで、眼内および眼窩における定型的な病変の超音波像の特徴について解説し、増幅感度を落として多方向からスキャンすること、眼窩では他側と対比することが必要であると強調した。また、Aモード法に用いられた特殊検査法の底流にある概念はBモード法の実施にもあてはまるとした。おわりに最近の進歩として、虹彩や毛様体の病変の検索に用いられる高周波の超音波生体顕微鏡ならびに造影剤を使用したカラードブラ法の成績を紹介した。

別冊請求先 (〒882-8508) 延岡市吉野町1714-1 九州保健福祉大学保健科学部視機能療法学科

澤 田 惇

Tel. 0982-23-5604 Fax. 0982-23-5604

Key words : 超音波の物理的特性、眼内病変、眼窩病変、超音波生体顕微鏡、造影剤を用いたカラードブラ法、physical properties of ultrasound, intraocular disorders, orbital disorders, ultrasonic biomicroscopy, contrast enhanced color Doppler

Abstract

The principles of diagnostic methods, indications, effectivity and related issues have been well covered in both academic and professional publications. This paper addresses those issues which have generally been regarded as relatively unimportant, and draws attention to the need to more thoroughly understand the physical properties of ultrasound. Properties such as: propagation, reflection, refraction and attenuation. ; and the resolving power related to wave velocity are highlighted. Two methods: the pulse and the Doppler methods are discussed. The paper discusses the characteristics of the ultrasound image on typical intraocular and orbital disorders. Emphasis is given to the importance of scanning in multiple directions with a reduced sensitivity setting of amplification. In orbital scanning comparison of the opposite side is also vitally important. The fundamental concept of special examination techniques used in A-mode is discussed along with the adaptations required in B-mode examinations. Finally, the ultrasonic biomicroscopy (which has contributed to the analysis of lesions behind the iris and around the ciliary body) and Doppler color flow imaging with a contrasting agent are discussed.

1. 眼科領域における超音波診断法の意義

元来われわれは眼球内部の病変を直接自分の目でみることに慣れてきた。しかしながら、ひとたび角膜や中間透光体が混濁すると眼内の状態はわからなくなる。そこで、「人間の耳に聞こえないほど高い音程の音」である超音波を用いると、透光性がなくても超音波の伝搬に障害がなければ、組織構造に立脚した像が示され、具体的には、次のことが可能となる。

1) 組織の形態の計測 現在最も多く用いられているのは眼軸の測定である。これにはAモードが用いられ、眼内レンズの度数決定に不可欠なものである。また、腫瘍の治療に対する反応を評価する時にも有用である。また、精密な測定値が得られなくても、Bモードによって眼球のおおよその大きさが判れば鑑別診断に役立つ場合もある。

2) 生体構造の映像化 次項の病変の診断の基礎として、正常像を映像化できることである。これは形態的構造のみならずより微細な組織学的な特徴をも示すこともできる。

3) 組織の異常や病変の診断 画像診断法にもっとも求められるものであり、超音波所見と病理組織学的所見との相関についての研究がす

められているので、超音波像からの組織診断が可能である。異物の探知と同定もこの項に入れられるものと思われる。

4) 組織の運動性の診断 自動的なものとしては血管の拍動や血管内の血流速度の測定が挙げられるが、他動的なものとして眼球運動に伴う硝子体病変の動きの観察なども含まれる。

5) 治療方法の決定と効果の判定 手術に関する術前の情報の獲得や、術後あるいは治療後の経時的变化の把握に有用である。特に硝子体手術には必須のものである。

以上のことは、眼窩病変にも当てはめることができる。そのほか、X線の被爆のないこと、装置の持ち運びが容易であること、記録が簡単であることなどが、眼科領域での本法の特長として挙げられる。

2. 超音波についての知識

1) 超音波診断法に必要な超音波の物理的性質には次のようなものがある。

伝播：超音波は不透明な物質中や液体中をもよく伝播する。一般的に空気中よりも液体中のほうが減衰にくく、遠くまで伝わる。従って、眼瞼、強膜を通して、光の透過性

に関係なく眼球内あるいは眼窩を精査することができる。

直進：光と同じように直進する。

反射：異なる媒質の境界面で反射や屈折をおこす。表面の性質を知るには、超音波を対象とする病変に垂直に当てるのが肝要である。網膜剥離のような膜様病変では、組織からの反射の強弱が鑑別診断に役立つ。

屈折：超音波が水晶体、とくに辺縁部を通過する際に屈折する。そのために人工産物的な画像を呈することがある。

減衰：組織を通過する超音波は、反射、散乱、吸収などのために減衰する。その度合は病変の超音波組織特性すなわち病変の内部構造を示す。

2) 音速と周波数と波長との関係

音速と周波数と波長との間には、音速/周波数=波長という一定の関係がある。音速は生体内では1,500m/secと一定であるので、周波数が高くなれば波長は短くなり、距離分解能が増す。例えば、周波数が10メガヘルツならば波長は0.150mm、15メガヘルツならば0.100mmとなる。後述の超音波生体顕微鏡Ultrasound Biomicroscope (UBM) の50メガヘルツのものでは、波長は単純計算で0.03mmとなり、すぐれた分解能を示す。しかしながら、周波数の高いものでは、音波の到達距離が短くなるので、対象とする組織や検査の目的によって適当な周波数を選択する必要がある。

3. 超音波診断法の種類

超音波診断法には、超音波の利用法の違いによりパルス法とドプラ法とに分けられる¹⁾。

1) パルス法

振動子に短時間、高電圧を加え、発生された超音波パルスは生体組織のなかを伝搬し、音響的性質の異なる組織の境界において、音波の一部は反射し、一部は透過していく。反射して振動子に戻ったエコーは体内を伝搬した時間だけ

遅れる。この超音波パルスを検査に用いるものをパルス法という。

パルス法は、ブラウン管の時間軸上への振幅の表わし方の違いによりAモード法とBモード法とに分けられる。

Aモード法のAはAmplitudeに由来するもので、この方法では、ブラウン管の横軸上に時間が、縦軸上にエコーの強さが振幅の変化として表示される。振動子は固定したままで行う。(図1上)

Bモード法のBは、明るさBrightnessに由来するもので、この方法では、エコーの強さを明るさの強弱で表示する。探触子を機械的あるいは電子走査的に動かして、ブラウン管上に超音波ビームで生体を横断した断層像を示す。(図1下)

現在の眼科診療においては、パルス法であるAモード法は、距離、すなわち眼軸長の計測に

図1. 硝子体出血

Aモード法(図1上)では、ブラウン管の横軸上に時間を、縦軸上にエコーの強さを振幅の変化として表示し、Bモード法(図1下)では、エコーの強さを明るさの強弱で表示する。文献1)より転載。

用いられ、Bモード法は、病変の発見・診断に用いられている。

以前はA、Bモードそれぞれの単独装置が用いられていたが、近年、超音波診断装置が著しく発達し、一つのプローブで、両モードの画像が得られ、A、Bモードの画像を同時に表示することが可能となった。

2) ドブラ法

ドブラ法では、超音波のドブラ効果（運動体から反射される音波の周波数がその運動によって変化する現象）を応用して、血流状態の把握など、体内の運動体の速度成分を測定する。最近カラードブラ法に進展し、眼科領域でもよく用いられるようになった²⁾。

4. 超音波診断法の基本^{1,3,4)}

1) 検査目的ならびに安全性の説明

超音波による検査の目的は、眼内では角膜や中間透光体の混濁のために眼の中の様子がよくわからないので行うとか、眼窩では眼球突出があるので眼球の後ろになにか異常が無いかどうかを確かめるために行うとか説明する。後述の本法の適応の多くが検査が必要な理由になる。

超音波の安全性については、日本超音波医学会、日本産科婦人科学会、厚生省心身障害研究班などで、また、諸外国でも検討され、臨床的に超音波診断装置による障害は全く認められていないことが確認されている。繰り返し施行できることが本法の特長となっている。

2) 患者の準備 座り心地のよい、頭の位置を座位から仰臥位まで容易に変換することのできるヘッドレストのついた椅子を用いる。

3) 装置の配置 診断装置のモニターと、プローブを当てる患者の局所が同一視野に入るように、また反対眼の位置がよくわかるように検者と装置の位置を決める。患者の椅子も座り心地のよいものを選ぶ。

4) プローブのあてかた

プローブ（探触子）の中には、送信時の電気信号から超音波への変換と、受信時の超音波から電気信号への変換を行う振動子（電気音響変換器）がある。プローブは、眼瞼の上から空気

が介在しないように超音波検査用のゼリー（または角膜保護剤）をつけてあてる。点眼麻酔を行うと検査がやりやすく、必要に応じて角膜や球結膜にあてることができる。この場合には角膜の障害に注意する。プローブには、モニター画面の上方をしめす印がついているので注意しなければ、上下逆の像を読むことになる。超音波による走査の際には、プローブをずらして、かつ角度を変えて、すなわち超音波の方向を変えて、常に目的とするものに超音波を垂直にあてるように心がけねばならない。

5) 直接法（接触法）と水浸法（図2）

プローブは眼瞼や球結膜に直接当てることが多いが、眼瞼腫瘍や虹彩嚢腫のように非常に浅いところの病変の検索には水浸法で行うことがある。私どもが用いている方法は、被検者を仰臥位に寝かせ、サージカルドレイプと刺繍用の木製の枠により眼前に水を溜め、プローブを眼瞼や角膜に直接当てずに、水を介して検査するものである。開瞼のために開瞼器を用いることもある。図3は糖尿病硝子体網膜症のものである。

6) 走査についてのその他の注意点⁵⁾

超音波が水晶体を通過しないようにすることが重要である。図4では超音波が水晶体で屈折したために正常眼底でも薄い網膜剥離があるように表示される。そのほか、眼窩病変の検索には、健常な眼窩組織でも種々のパターンを示すので、常に反対側のものと比較しなければなら

図2. 著者らがやっている水浸法

眼瞼腫瘍や虹彩嚢腫、あるいは前部硝子体病変のように非常に浅いところの検査に用いる。サージカルドレイプと刺繍用の木製の枠により眼前に水を溜め、水を介して検査するものである。文献3)より転載。

図3. 糖尿病硝子体網膜症 (水浸法による)
眼球後方から組織の増殖が前方に拡がり、水
晶体の後囊に沿って増殖膜の形成がみられる。
文献4)より転載。

図4. 人工産物と思われる網膜剥離様の像
ここでは超音波が水晶体で屈折したために正
常眼底でも薄い網膜剥離があるように表示さ
れている。文献5)より転載。

ない。

7) 利得 (ゲイン) 増減の効用

増幅感度をあげることにより反射性の非常に弱いものも捉えることができる。たとえば、硝子体中の微細な混濁の呈示には増幅感度を挙げなくてはならない。一方、増幅感度をさげると反射性の強いもののみが残るので、図5のように異物の存在をより明確にすることができる。この利得増減の操作について記載されている解説書は多くはないが、利得増減による画像の変化をみることは非常に役に立つので、常に実行されることを奨めたい。

8) 特殊検査法

特殊検査法として、次のような考え方のあることを紹介しておきたい。

形態エコーグラフィーでは、病変の境界、形、大きさ、範囲、隣接組織との関係を明らかにする

ことができる。

計量エコーグラフィーでは、病変からの反射エコーの強さを、一定の組織からのもの、あるいは既知のものと比較することにより、膜様物にしる、塊状の病変にしる、その病変の超音波特性や内部構造を知ることができる。

動態エコーグラフィーでは、血流の存在、圧迫による変化、眼球運動中ならびに停止後の動きから病変の性状を知ることができるが、定量的な評価に問題がある。さらに血流動態についてはドプラ法のめざましい発展に一步譲ったようである。

これらは、本来Aモード法での進歩から生じたものであり、その目的や意味づけなどはBモード法についての解説にはあまり記載されていないようである。しかしながらその内容はBモード法の実施に当たっても役立つことが多い。むしろ、Bモード法では画像があまり考えることなしに目前に示めされるので、ともすれば、このような「考える」ということがないがしろになる傾向がある。これは厳に慎まねばならないことである。

5. 超音波診断法の実際

1) 眼内病変

a. 適応

中間透光体の混濁、瞳孔の閉鎖あるいは極度の縮瞳の場合、眼底に腫瘤が見える場合、剥離網膜下に腫瘤が疑われる場合のほか、外傷、異物、浅前房、眼圧上昇など、検眼鏡やスリットランプなどの器具を用いても、なお十分な情報が得られない場合には常に超音波診断の適応となる。

b. 代表的な眼内病変の超音波像

眼内病変の超音波像を点状、膜様、塊状のものに分けると理解が容易である。点状のものとして硝子体出血や異物、膜様のものとして網膜剥離、塊状のものとして網膜芽細胞腫の超音波像について説明する。

c. 硝子体出血の超音波像 (図1)

形や大きさは、出血の器質化の程度あるいは硝子体剥離との関連で、点状～塊状～膜状と多

彩である。眼底像と連なっていることがあり、その付着の場所により原因を類推することができる。一般に新鮮例では、出血の中に超音波をよく反射する膜がまだ十分に形成されていないので、超音波反射性は弱く、増幅感度をさげると著明に薄くなるか、あるいは消失する。硝子体剥離は剥離面に血球がある程度付着しておればよく作像される。硝子体が融解しておれば眼球運動とともによく動く。

d. 眼内異物の超音波像 (図5)

眼内異物の超音波像の特徴は、硝子体中の強いエコー源とその後方の眼窩組織像内にみられる音響陰影である。時には多重反射を示すことがある。図5で異物が眼球後壁につきささったようにみえるのは多重反射の故である。

e. 網膜剥離の超音波像⁴⁾ (図6)

網膜剥離は、超音波反射性が強く、新鮮なものでは平滑であるが、少し時間が経過すると皺

図5. 眼内異物

眼内異物の特長は、硝子体中の強いエコー源とその後方の眼窩組織像内にみられる音響陰影で、時には多重反射を示すことがある。図5上で異物が眼球後壁に突き刺さっているようにみえるのは、多重反射の故である。図5下は増幅感度を10デシベル下げたもので、異物が眼球内にあることが確認された。

状になる。裂孔が大きい場合にはプローブの向きを変えて検索すると裂孔の縁や翻転した剥離網膜が描き出されることがある。膜様物の眼球後壁への付着状態やその場所が診断に非常に参

図6. 網膜剥離

網膜剥離では、超音波反射性が強く、新鮮なものでは平滑であるが、少し時間が経過すると皺状になる。裂孔が大きい場合にはプローブの向きを変えて検索すると裂孔の縁や翻転した剥離網膜が描き出されることがある。文献4)より転載。

考になる。視神経乳頭に連なることが多い。

f. 網膜芽細胞腫の超音波像 (図7)

網膜芽細胞腫では、非常に強い超音波反射性が見ることが特徴で、図7の症例では、増幅感度を20デシベル落として他の眼組織が消失するぐらいにしても、まだ強い超音波反射性が見されている。しかしながら石灰化所見の乏しいものもあるので注意を要する。

2) 眼窩病変

a. 適応

片眼または両眼の眼球突出、眼底の皺襞形成、視神経萎縮、乳頭浮腫、外傷、異物、筋炎、パセドウ病、眼球運動障害など眼窩内または眼窩周囲に病変の存在が疑われる場合、超音波検査

図7. 網膜芽細胞腫

網膜芽細胞腫では、非常に強い超音波反射性が示されることが特長で、この症例では、増幅感度を20デシベル下げてもまだ強い超音波反射性が示されている。

図8. 眼窩膿瘍

眼窩膿瘍では、内容物の多い少ないによって、あるいは構成成分によって内部反射が異なる。この症例では、眼球が後方から圧迫され、眼底に皺襞が認められた。

の適応となる。

b. 眼窩病変の超音波像の特徴

眼窩病変の超音波像の特徴づけのポイントについては、ByrneとGreenの詳しい記載がある。その主な特徴づけは後述の特殊検査法によって得られるもので、1) 位置、2) 大きさ、3)

形態、4) 境界、5) 眼球や骨壁の変形、6) 内部反射、7) 内部構造、8) 超音波減衰、9) 硬度、10) 血管性、11) 運動性が挙げられている⁶⁾。

c. 眼窩膿瘍の超音波像 (図8)

眼窩膿瘍では、内容物の多い少ないによって、あるいは構成成分によって内部反射が異なる。図8の症例では、眼球が後方から圧迫され、眼底に皺襞が認められた。

d. 眼窩悪性リンパ腫の超音波像 (図9)

悪性リンパ腫は、細胞成分は小円形のもので、細胞間物質は多くないので、内部反射は低く、均一性であり、癌の転移巣とは異なる様相を呈するが、眼窩組織では、正常でも豊富にある、

図9. 眼窩悪性リンパ腫

悪性リンパ腫は、細胞成分は小円形のもので細胞間物質は多くないので、内部反射は低く、均一性であり、癌の転移巣とは異なるパターンを呈する。文献1)より転載。結合組織からの超音波像との鑑別が必要である。

6. 最近の話題

1) 超音波生体顕微鏡検査法 Ultrasound Biomicroscopy (UBM)⁷⁾

本法では、高い周波数 (50メガヘルツ、30メガヘルツ、25メガヘルツ) の超音波を用いるために、優れた距離分解能がえられる。本法では前房隅角や毛様体を描出することができ、緑内障の病因解明に非常に貢献している。最近は、角膜病変やその手術に関してもその有用性が認められている。しかしながら、走査範囲ならびに画像とし呈示できる深さに制限があり、また、水浸法のものでは技術 (または慣れ) が必要で

ある（図10）。

図10上の原田病での眼圧上昇の原因は、毛様体から後方にかけて滲出液が貯留し、隅角を前方に押し出すようにして、隅角を閉塞したものと思われる。また、図10下の外傷性低眼圧では、毛様体剥離が広範に起こっていることが示されている。

2) ドプラ法

パルスエコー法のほかの、もうひとつの超音波検査法として、音波のドプラ効果を応用するドプラ法がある。現在は、カラードプラ法として眼科領域でも用いられつつあるが、ごく最近、新しい超音波造影剤の使用が可能になり、新しい展開が得られるようになった。超音波は音響インピーダンス（媒質の密度と媒質中の音速との積）の差が大きいと強く反射される。この新しい造影剤では、パルミチン酸とガラクトースからなる微小気泡と周囲組織との音響インピーダンスの差が大きいので、超音波はその境界面で強く反射し、強い造影効果が得られる。この

図10. 超音波生体顕微鏡像

原田病の症例（図10上）では眼圧が上昇していた。その原因は毛様体から後方にかけて滲出液が貯留し、隅角を前方に押し出すようにして隅角を閉塞したものと思われる。

低眼圧の症例（図10下）では、毛様体剥離が広範におこっていることが示されている。

新しい造影剤の効果についての我が国眼科での最初の報告が徳島大学眼科の広川富彦らによって平成12年4月日本眼科学会総会で発表された。造影剤を用いない場合には、球後部から1センチ位の深さまでしか観察できなかったが、造影剤を用いると、眼動脈系の血管網が眼動脈の眼窩深部から樹状に観察可能となり、血管の同定と分析が容易となったといっている⁸⁾。この新しい造影剤の出現は、他の例えば臨床肝臓病学や臨床心臓病学の領域では極めて強く評価され、超音波医学（26巻11号、1999）の巻頭言には、超音波造影剤を核とするClinical Acoustic Bubbleologyという新しい世界が展開すると書かれている⁹⁾。今後眼科領域でも、視神経や網膜循環の研究にどのくらい寄与していくのか、大いに期待されるところである。

7. 国際眼科超音波診断学会 (SIDUO) について

国際眼科超音波学会の2年毎の学術集会が先日開催された。私は学会の副会長でありながら出席できなかったが、本会に出席した柊山 剰（宮崎県小林市）が日本臨床眼科学会の専門別研究会でその概要を報告したので、その要約を記す¹⁰⁾。第18回の学術集会は2000年9月18日から4日間Berges博士を学会長としてパリで開催された。フランスのCoscas教授がフランソア教授記念講演として黄斑疾患の超音波Bモード法とOptical Coherence Tomography (OCT) によるイメージングの比較について発表した。エキスパート講演は、Coleman教授が硝子体とその周囲の高周波超音波による画像、Ossoinig教授が標準化エコグラフィーの発展、Haigis博士が屈折手術後の眼内レンズの問題点についておこなった。その他、組織鑑別、ドプラ法と造影剤の使用、高周波超音波診断法が早朝討論会で論議された。4日間で86題の口演と13題のポスターが発表された。次回はメキシコで開催されることになった。

参考文献

- 1) 澤田 惇, 他: 眼超音波診断の実際. 日本の眼科54: 907-913, 1983.
 - 2) 宇治幸隆: 超音波カラー Doppler 法と緑内障における眼血流動態. 臨眼51: 1876-1881, 1997.
 - 3) 澤田 惇: 眼超音波診断の実際. 眼紀35: 1678-1686, 1984.
 - 4) 澤田 惇: 眼の超音波診断. 日本医事新報 3617: 37-40, 1993.
 - 5) 澤田 惇: Aモード, Bモード. 可児一孝 (編): 眼科診断機器とデータの読み方 72-75, 文光堂, 東京, 1995.
 - 6) Byrne SF et al: Ultrasound of the Eye and Orbit, 262-282, Mosby St. Louis, 1992.
 - 7) 澤田 惇: 緑内障と超音波診断 あたらしい眼科13: 921-927, 1996.
 - 8) 広川富彦: 私信, 2000.
 - 9) 工藤正俊: 超音波医学26: 1089-1090, 1999.
 - 10) 柊山 剩: 私信, 2000.
-