

高周波超音波診断装置による前眼部構造の 超音波生体顕微鏡的画像診断

太根 節直, 筋野 哲也, 土屋 款, 伊藤 弘人, 橋本真理子, 木村陽太郎

聖マリアンナ医科大学眼科学教室

要 約

最近新たに我が国で開発された高周波・高解像度超音波診断装置(30 MHz 探触子を使用)を用いて, ヒト生体眼において, 前房隅角, 虹彩, 毛様体, 毛様体小帯, 水晶体前面などの前眼部構造の微細画像表示を試みた. 対象は, ボランティアの正常者 20 名 35 眼, 各種の緑内障 36 例 58 眼, ぶどう膜疾患 6 例 6 眼, 偽水晶体眼 28 例 32 眼および虹彩毛様体炎, 角膜炎など他疾患 12 例 12 眼である. 使用装置は UX-02 超音波診断装置(RION)で, 振動子はアニュラ・アレイ型 3 素子, 周波数 30 MHz(15 MHz も可能)で, 理論分解能は距離方向 50 μm , また, 実測分解能は距離方向 90 μm , 方位方向 180 μm (ともに 30 MHz)であった. 超音波ビームの組織浸透度は 6 mm である. 本法により生体眼で前, 後房の詳細かつ精密な生体顕微鏡的画像観察が可能となり, 種々の型の緑内障の臨

床診断と, 原因の解明の双方に有用であった. また, 眼内レンズ挿入眼の眼内レンズ・ループの固定位置の無侵襲的な判定が初めて可能となった. 従来の内外の眼科用超音波診断装置(5~15 MHz 探触子使用)では精密な画像の得られなかった前眼部の診断において, 本装置を使用することにより, 従来の超音波画像よりも遥かに鮮明な分解能の向上を認め, より多くの形態的診断情報を得ることができ, また, 計測にも有用と考えられる画像が得られた. (日眼会誌 99: 1254-1258, 1995)

キーワード: 高周波・高解像度超音波診断装置, 超音波生体顕微鏡的検査法, 緑内障, 眼内レンズ, 振動子

Ultrasound Biomicroscopic Imaging Diagnosis of the Anterior Segment of the Eye with High-frequency Ultrasonic Diagnostic Equipment

Sadanao Tane, Tetsuya Sujino, Makoto Tuchiya,
Hirotaro Ito, Mariko Hashimoto and Yohtaro Kimura

Department of Ophthalmology, St. Marianna University School of Medicine

Abstract

Micro-imaging displays of the anterior segment of the eye, such as of the anterior chamber angle, iris, ciliary body, ciliary zonule of Zinn, and anterior surface of the crystalline lens, were obtained in human eyes *in vivo* by means of a recently developed, high-frequency, high-resolution ultrasonic diagnostic unit (30 MHz). Much clearer displays than conventional ultrasonic imaging displays (5-15 MHz) were obtained, showing improved resolution, and greater morphologic diagnostic information was provided. Displays considered useful for making measurements were also provided. The subjects were 20 normal volunteers (35 eyes), 36 patients with glaucoma (58 eyes), 6 patients with uveal diseases (6 eyes), and 28 patients with pseudophakia (32 eyes). The equipment used was a model UX-02 ultrasonic diagnostic unit (RION), and the transducer was the three-element annular array type. The frequency

was 30 MHz, the resolution was below 50 μm , and tissue penetration was 6 mm. This method enabled close ultrasound biomicroscopic imaging observations of details of the anterior and posterior chambers of the eyes *in vivo* and was also useful for clinical diagnosis and elucidation of the cause of glaucoma of various types. It also for the first time enabled evaluation of the position of fixation of an intraocular lens loop in the pseudophakic eyes containing an intraocular lens. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 1254-1258, 1995)

Key words: High-frequency, High-resolution ultrasonic diagnostic equipment, Ultrasound biomicroscopy (UBM), Glaucoma, Intraocular lense (IOL), Transducer

別刷請求先: 216 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
(平成 6 年 11 月 16 日受付, 平成 7 年 7 月 11 日改訂受理)

Reprint requests to: Sadanao Tane, M.D. Department of Ophthalmology, St. Marianna University School of Medicine, 2-16-1, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa-ken 216, Japan

(Received November 16, 1994 and accepted in revised form July 11, 1995)

I 緒 言

最近, Pavlin¹⁾²⁾は, 米国製の高周波・高解像度超音波診断装置を用いて, 前眼部像を詳細に表示し, 本法による検査法を超音波生体顕微鏡的検査法(ultrasound biomicroscopy: 以下, UBM)と呼んでいる。また, 本邦では菅田³⁾も国産の高周波装置の応用を試みている。そこで我々もまた, 最近新たに国産で開発された高周波・高解像度超音波診断装置を用いて, ヒト生体眼において, 前房隅角, 虹彩, 毛様体, 毛様体小帯, 水晶体前面などの前眼部構造の微細画像表示を行い, 従来の超音波画像よりも遥かに鮮明な分解能の向上を認め, より多くの形態的診断情報を得ることができ, また, 計測にも有用と考えられる画像が得られたので, その成績の概要を述べ, 若干の画像解析上の考察を試みた。

II 対象および方法

対象は, ボランティアの正常者 20 名 35 眼, 各種の緑内障 36 例 58 眼, ぶどう膜疾患 6 例 6 眼, 眼内レンズ(intraocular lense: 以下, IOL)挿入の偽水晶体眼 28 例 32 眼および虹彩毛様体炎, 角膜炎などの他疾患 12 例 12 眼である。

使用装置は UX-02 超音波診断装置(RION 社製)で, 振動子の型式はアニュラー・アレイ型・ポリフッ化ビニリデン(PVDF)3素子, 周波数 15, 30 MHz(任意切り換え可能)で, 超音波の組織内浸透度は 6 mm である。また, 本装置の探触子(30 MHz)の理論分解能は 50 μm であるが, 実測分解能は距離方向 90 μm , 方位方向 180 μm である。焦点距離は 20 mm であり, 出力強度は水中計測で 68 mW/cm^2 , 標準ファントーム内では 17 mW/cm^2 である。毎秒 10 掃引の機械的セクタースキャンを行い, リアルタイム表示が可能である。表示強度は 0~80 dB である。また, 本装置は医用電気機器の安全規則⁴⁾に適合しており, JIST 1504(手動走査 B モード/超音波診断装置)規格に準拠し, 安全性は JIST T 1001~T 1004(医用電気機器の安全通則)規格に適合している。本装置により, 直接法ではスコピゾルを点眼し, 開瞼器を用いて探触子を直接角膜に当てて走査した。また, 水浸法ではアイカップを用いた。なお, 本表示図のスケールは 1 目盛 0.5 mm を示す。

なお, 本装置を用いての分解能については, 予め直径の既知の手術用ナイロン糸を用いての水中での実測データにより計測した。

隅角角度の計測については, Pavlin²⁾の方法に従った。すなわち, 強膜岬から 500 μm の範囲の線維柱帯上の接線と, 対側の虹彩表面上に下した垂直線と虹彩面との交点を通る虹彩表面の接線との成す角(trabecular-iris angle)を以て隅角角度と規定した。

また, Schlemm(シュレム)管の同定は, 高出力条件(30 MHz, 75 dB, Focus 12.3, Gain 10)の時は可能となった

が, この際は他の部分の画像化が不十分となり, 全体像が正確に把握出来なくなることが多かった。

III 結 果

1) 従来の眼科用超音波診断装置の画像では明らかにされなかった前眼部の鮮明なリアルタイム画像が得られ, 前房隅角の角度の算定⁵⁾⁶⁾がさらに精密正確に行えるようになり, 種々の疾患による角膜, あるいは虹彩の炎症などによる厚みや位置の変化, 毛様体の形状変化, 虹彩, あるいは毛様体腫瘍の形態観察, IOL のループの固定位置, 白内障術後の前房形態の変化などの観察に極めて有用であった。

2) 特に緑内障の成因の解明において, 本装置による前眼部の精密画像表示により, 各種緑内障, すなわち, 原発開放隅角緑内障(primary open angle glaucoma: 以下, POAG), 原発閉塞隅角緑内障(primary angle-closure glaucoma: 以下, PACG), 続発緑内障および先天性緑内障などの前房隅角の角度や形態の変化などの生体人眼における定性的, および定量的計測が可能となり, 緑内障の成因の一部を解明する形態的情報が得られた。また, 緑内障術後の濾過胞の形態, および機能の有効性のある程度推測することのできる画像が得られた。

次に実際の症例について述べる。

1. 正常眼

正常眼(35 歳, 男性, 右眼)の前眼部の定型的所見を図 1 に示す。検査は 30 MHz の探触子を使用し, 直接法で行った。隅角構造の認識の指標となる強膜岬の後方に操作条件の設定を調整するとシュレム管が認められることがあるが, 必ずしも全例には認められなかった。シュレム管の後方に相当する部分に上脈絡膜腔に相対する反射減弱部分が認められる。虹彩は正常者ではやや前方に突隆を示す走行がみられ, 根部で薄く, 瞳孔縁の直前で厚くなっている。虹彩の裏面は高度の反射線として画像化され, 毛様体冠の膨隆とそれに続く毛様体扁平部が認められる。虹彩根部と毛様体冠との間に毛様溝が認められる。水晶体前囊の一部が虹彩裏面に表示され, 角膜は反射の強い上表層と内皮層の間に音響透過性の良い実質層がみられ, 音響的には三層に分離されている。なお, 図のスケールの 1 目盛は 0.5 mm を示す。強膜岬は角膜と強膜の B モード像上での反射エコーの強度の差の見られる部分として同定した。

図 1 B は, 上段は Pavlin の方法に従った隅角々度計測法と, 強膜岬(scleral spur)の超音波画像上での位置を示す。

強膜岬は角膜実質と強膜の B モード上での反射の強さの相違から, 角膜内皮の延長上に求められる(矢印)。また, 隅角角度は Pavlin 法¹⁾によると, 強膜岬から 500 μm 離れた部位から隅角底に向かって引いた線維柱帯面上の接線と, この端の部分から虹彩面へ下ろした垂直線と虹彩

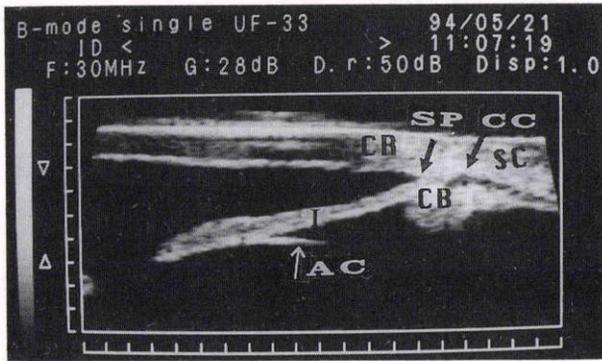


図1A 正常眼前眼部の超音波生体顕微鏡的(UBM)断層所見。

開放隅角を示している。

CR:角膜, SC:強膜, I:虹彩, AC:水晶体前囊の一部, CB:毛様体, 矢印 SP:強膜岬, 矢印 CC:シュレム管後方に続く上脈絡膜腔, 30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

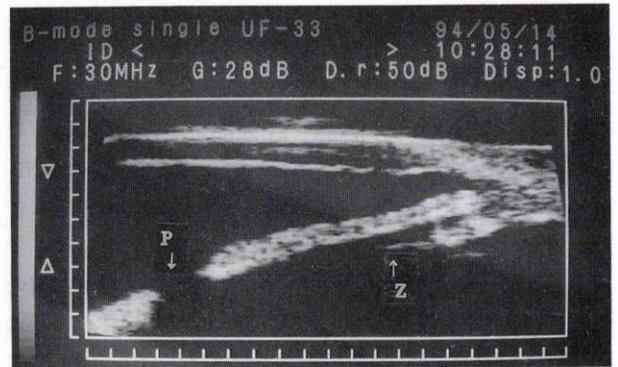


図2 開放隅角緑内障のUBM断層所見。

矢印 P:瞳孔領, 矢印 Z:毛様体小帯, 30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

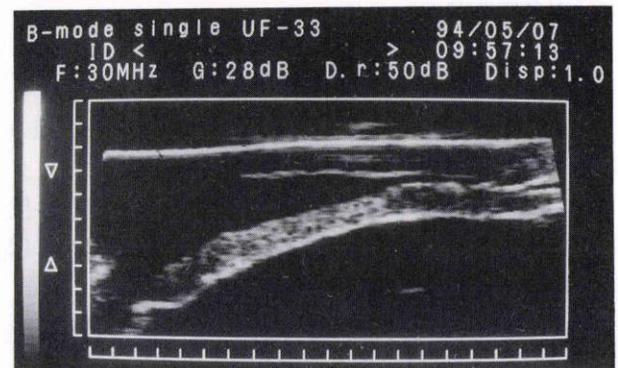


図3 閉塞隅角緑内障に対する laser iridotomy 直後のUBM断層所見。

前後房間の内圧差による虹彩の突隆の残存と狭隅角所見が認められる。30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

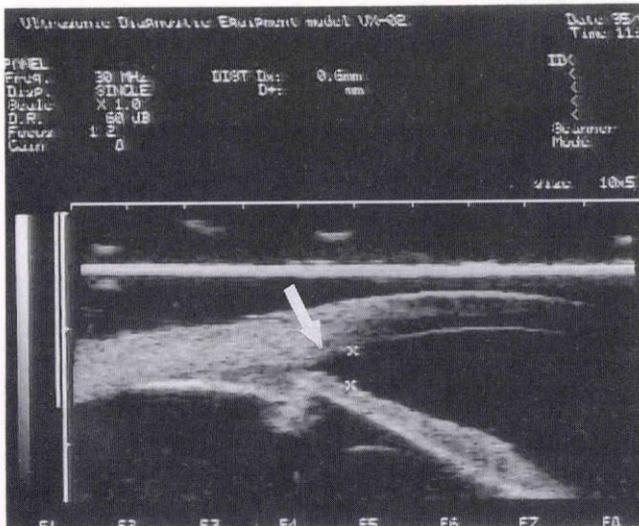


図1B 隅角計測法と強膜岬の位置同定。

画像設定条件: Freq. 30 MHz, Disp. Single, Scale $\times 1.0$, D.R. 60 dB, Focus 12(mm), Gain 8

面との交点から虹彩面で隅角底へ向かって引いた接線との成す角(trabecular-iris angle)として求められる。

2. 緑内障

図2はPOAG眼(58歳,男性)で,30 MHzの探触子を使用し,直接法での画像であり,Shaffer 3°の広隅角で,隅角角度は太根法⁴⁾で計測し25°,Pavlin法では28°となった。角膜は,反射の強い上皮層と内皮層の間に音響透過性の良い実質層が正常眼と同様にみられ,三層に分離していた。隅角底には癒着はみられない。

図3は,PACG眼(43歳,女性)の30 MHz探触子使用による直接法を行った急性発作後のレーザー虹彩切開後の所見で,隅角が極度に狭く,隅角の深部は2°~3°の角度を示し,隅角入口部は13°である。瞳孔ブロックの解除直後の所見で,前,後房間の内圧差による虹彩の突隆の残存

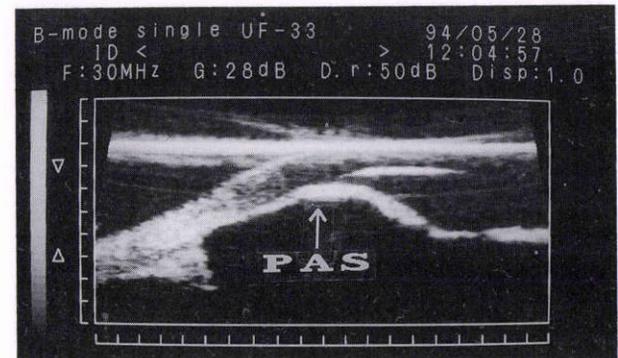


図4 糖尿病網膜症を有する白内障の術後の無水晶体眼に続発した虹彩炎と続発緑内障で生じた周辺虹彩後癒着(矢印 PAS)が認められる。

30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

と,狭隅角所見が認められる。

図4は,糖尿病網膜症を伴った白内障の術後の無水晶体眼(78歳,男性)で,併発した虹彩炎と続発緑内障による虹彩周辺前癒着が顕著にみられる。

図5は,プラトー虹彩(71歳,女性)で,隅角の広さが極



図5 プラットー虹彩のUBM断層所見。

隅角の幅が広範囲にわたって極端に狭く(矢印NA), 瞳孔ブロックがなくとも眼圧上昇に発展する可能性を秘めている。30 MHz 探触子使用, 水浸法所見。

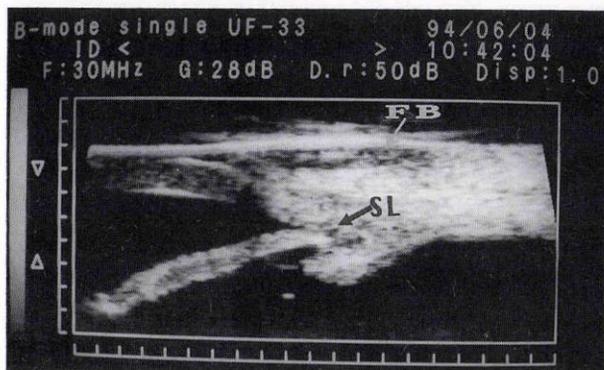


図6 Trabeculectomy後の濾過胞(矢印FB)のUBM所見。

矢印SL: シュレム管。30 MHz 探触子使用, 水浸法所見。

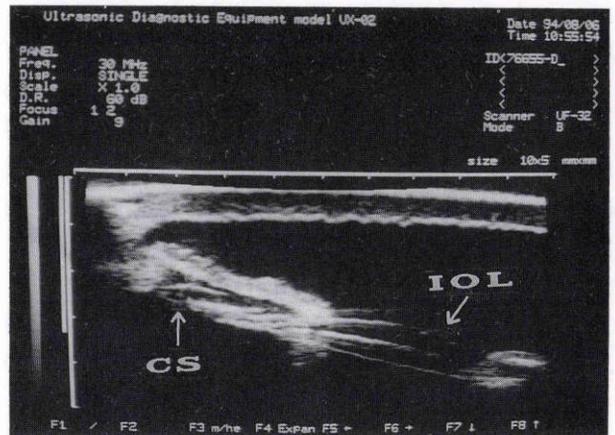


図7 白内障超音波乳化吸引術々後の眼内レンズ嚢内固定のUB所見。

ループは毛様溝(矢印CS)に固定されている。30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

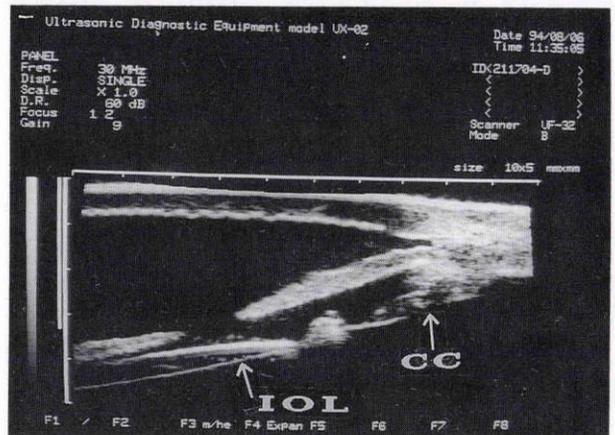


図8 白内障嚢外摘出手術々後にIOLループが嚢外へ固定されたUBM断層所見。

非毛様溝固定となり, 毛様体冠(矢印CC)側面にループが固定されている。30 MHz 探触子使用, 直接法所見。

端に狭く, 瞳孔ブロックなしに隅角閉塞が生ずる形態的可能性が画像上明らかであり, 眼圧上昇に発展する可能性が理解される。

図6は, POAG眼(35歳, 男性)の濾過手術(trabeculectomy)後の30 MHz 探触子使用による水浸法所見で, 十分に濾過胞が形成され, シュレム管も認められた。

3. 眼内レンズ挿入眼(pseudophakia)のUBM断層所見

図7は, 老人性白内障(75歳, 男性)の超音波乳化吸引術(以下, PEA)の施行後のIOL挿入眼の30 MHz 探触子使用, 直接法による所見で, IOLループは毛様溝に固定されていることが確認できる。

図8は, 老人性白内障(64歳, 男性)の嚢外摘出術(以下, ECCE)施行後のIOL挿入眼の30 MHz 探触子使用, 直接法所見で, 本例ではIOLループはやや偏位し, 非毛様溝固定となり, 毛様体冠側面に固定されている。これは, IOL挿入時の過度のダイアリングによるものと思われるが, しかし, 矯正視力も十分出ており, 視機能には何らの悪影響はなかった。

IV 考 按

現在, 医学・生物学の分野では, 生物組織と細胞の微視的領域の粘弾性の性質を定量的に測定する装置として, 100~200 MHzの超高周波の振動子を使った超音波顕微鏡の研究開発が進められているが⁷⁾, 今回のUBMは, 30 MHzの振動子を用いて, 前眼部の細隙灯生体顕微鏡のレベルでの断層像の画像化を試みたもので, 従来の5~20 MHzの振動子では十分描ききれなかった微細な高解像度画像による前眼部の具体的画像が得られ, そのため, 緑内障をはじめとして各種疾患の形態的発生病理像の解析が非常に容易となった。すなわち, 特に分解能が大幅に向上し, 現在一般に使用されている眼科用診断装置では実際の分解能の限界が200 μmであるが, 本装置では90 μm(距離方向)に改良された。

前述のように, Pavlinら¹⁾²⁾は高周波超音波検査法を

50~100 MHzの振動子を備えた装置で行い、UBM法と呼び、最近、菅田ら³⁾も Aloca製の30 MHzの振動子を有する装置を用いて前眼部の画像化を試みている。Pavlinら¹⁾の装置は分解能50 μm 以下と称しているが、焦点距離30 mmで、かつ、4×4 mm範囲を毎秒5掃引する機械的セクターキャンを行い、菅田ら³⁾の装置は焦点距離30 mmでのポリフッ化ビニリデン凹面振動子を角膜に直接法で接触し、走査幅10 mmで手動直線走査を行うとされている。著者⁸⁾の用いた今回の装置では、焦点距離30 mmのPVDF凹面振動子を45°の走査角度で毎秒10掃引の速度で機械的セクターキャンを行い、直接法、または水浸法を行っており、Pavlinの装置の画像と同等以上の鮮明な分解能を得ており、かつ、走査範囲もやや広い。組織へのエコーの浸透度が4 mmのPavlinの装置よりも、著者の装置では浸透度は6 mmと優れ、また、著者は正確で再現性に富む機械的走査(mechanical scan)を行っており、Pavlinの走査に比べて掃引スピードでも勝り、リアルタイム画像表示において再現性と精密度により一層有利である。また、機械的セクターキャンのため同様に、菅田らの手動装置よりも再現性や画像分解能に優れている。

本UBM法では、種々の型の緑内障の成因の解明や隅角の広狭の計測などに应用することができ、特に、従来の検査法では未解決であった虹彩裏面下の変化をも観察することができるようになった。隅角閉塞や先天異常を含んだ多くの型の緑内障の発病機序が形態的・構造的異常に基づくことが、通常の超音波法の5~10倍の分解能を有する本UBM法で証明、解析し得るようになり、定量的計測も可能となった。本装置の振動子の実際の分解能は90 μm (距離方向)~180 μm (方位方向)であり、アニューラ振動子のため、焦点位置も可変となっており、距離分解能ばかりでなく、方位分解能の変形も最小に抑えられている。

正常眼や緑内障の隅角の開大角度の計測法を初めて著者ら⁵⁾⁶⁾は報告したが、また、Pavlinら¹⁾のいうように、強膜岬から500 μm 離れた点で、線維柱帯平面から虹彩まで下ろした垂直線の長さとして計測する方法も新しい開大度の表示法として有用と考えられる。

ブラッター虹彩に関しては、Pavlin¹⁾は、毛様体突起が異常に前方へ位置移動し、虹彩根部が上方へ押し上げられて隅角が裂隙状となることが明らかとなったとしており、虹彩切除術で後房圧を下降させることが眼圧下降に有用なことが構造的に解明されたといっているが、著者

らの画像上での観察では、虹彩切除のみでは眼圧下降に不十分で、trabeculectomyなどの濾過手術を要するものと画像上判断された。

また、UBM法は濾過手術においては組織内の内部的なドレナージ通路を評価できる方法であることが明らかとなった。

IOL挿入眼のUBM法による観察では、レンズの傾き、位置、また、特にループの固定状況が虹彩下において生体眼でも十分把握され、従来の細隙灯顕微鏡観察よりも格段に有用であることが判明した。本UBM法はIOLループの術後の固定状況の臨床的観察法としては、現段階では最も無害、無侵襲の有用な方法であると評価できる。

以上、UBM法は種々の型の緑内障の形態的発生病理の解明や、IOLループの固定状態の臨床的観察に画期的な新しい検査法として有用である。

また、シュレム管の同定は高出力条件の時のみ可能となり、この際はかえって他の全体像が不明瞭となり、通常全体像からは映像化が困難であった。

文 献

- 1) Pavlin CJ, Foster FS: Ultrasound biomicroscopy in glaucoma. *Acta Ophthalmologica* 70: 7-9, 1992.
- 2) Pavlin CJ, Foster FS: Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. *Ophthalmology* 97: 244-250, 1990.
- 3) 菅田安男, 伊東正安, 山本由記雄, 加藤恵司: 高周波超音波断層撮影装置による前眼部構造の画像化. *日本超音波医学会講演論文集* 61: 287-288, 1992.
- 4) 前田一雄: 超音波の安全性. *超音波診断*. 日本超音波医学会(編), 632-634, 医学書院, 東京, 1994.
- 5) 太根節直, 大庭久貴, 小松 章, 井口登紀子: 前房隅角の定量計測に関する研究. *日眼会誌* 83: 1319-1328, 1979.
- 6) Tane S, Ohba H: Quantitative Biometric Studies of the Anterior Chamber Angle. The Proceeding of VIth Congress of the European Society of Ophthalmology, International Congress and Symposium Series, 40, 169-174, Academic Press Inc, London, 1980.
- 7) 中鉢憲賢: *超音波顕微鏡*, *超音波診断*. 第1版, 日本超音波医学会(編), 46-48, 医学書院, 東京, 1988.
- 8) Tane S: Ophthalmic imaging ultrasonography. *J Med Ultrasound (Excerpta Medica Asia Ltd)*, 3: 19-23, 1995.