超音波断層法による前立腺診断

	渡	辺	決
	加	藤	弘
東北大学医学部泌尿器科学教室	加	藤	哲
(主任: 矢野仙太郎教授)	森	田	昌
	田	中	元
東北大学抗酸菌病研究所内科	寺	沢	良
(主任: 岡捨己教授)			直
			夫

DIAGNOSTIC APPLICATION OF THE ULTRASONOTOMOGRAPHY FOR THE PROSTATE.

Hiroki Watanabe, Hiroaki Kato, Tetsuro Kato and Masayoshi Morita

From the Department of Urology, Tohoku University School of Medicine, Sendai

(Director: Prof. S. Shishito)

Motonao Tanaka and Yoshio Terasawa

From the Research Institute for Tuberculosis and Leprosy, Tohoku University, Sendai

(Director: Prof. S. Oka)

A prostatic ultrasonogram was clearly visualized with transrectal PPI-scanning using a specially prepared concave transducer. Results of the measurement on the size of the prostate agreed almost with that on the specimen. Prostatic hypertrophy and prostatic calculi were successfully diagnosed with this procedure. A considerable improvement on the ultrasonic diagnosis of the prostate would be expected from application of the concave transducer.

I 緒 言

私達は凹面振動子を用いて直腸内から PPI (Plan-position-indication) 走査を行なう超音波断層法によつて、従来の報告よりかなり明瞭な前立腺および精嚢の超音波断層像を得ることに成功し、その臨床的意義の大きいことを認めたので、2, 3 の症例における結果とともに報告する。

II 方 法

共振周波数 5 MC, 直径 10mm, 曲率半径 60mm の円形凹面チタン酸バリウム振動子を装着した。直径 11mm, 長さ 450mm の体腔内 PPI 走査用探触子を用いた¹⁾。直腸壁の損傷を防ぐため、その先端部を直径約 12mm, 厚さ約 0.5mm のポリエチレン管で覆い、さらに水浸法で走査を行なうため、ラテックスゴムカフを装着した。接触剤としてキシロカインゼリーを塗布したのち、この探触子を碎石位に固定した患者の肛門より直腸内へ挿入し、ゴム

カフ内に約 20°C の脱気水 10~20cc を注入して直腸壁へ密着せしめ、手動によつていわゆる極近接水浸法²⁾ による PPI 走査を行なつた。探触子の PPI 走査運動と投射された超音波ビームの方向とをブラウン管上で一致させるため、変換器としてレゾルバーを使用した。

超音波送信器調度は発振周波数を 5 MC, くり返し周波数を 1 KC とし、パルス巾は振動子端子間において 1.2ないし 1.3μS として使用した。受信器の増巾度は 100ないし 110dB としたが、近距離エコーの飽和を防ぐため追込みの深さを約 -10dB とし、水中距離に換算して約 5mm の距離から、15μS の時定数で受信器感度が回復するような function をもつ STC³⁾ を加味した。なおこの装置の詳細については、すでに海老名ら⁴⁾ が報告している。挿入図における二重同心円は、振動子よりそれぞれ 50mm および 100mm の距離における標識信号である。

III 症例および結果

症例 1. 石○庄○, 18才, 自衛隊員.

臨床診断: 左遊走腎. 前立腺正常.

前立腺触診所見: クルミ大, 弾性硬, 表面平滑, 左右対称で, 圧痛を認めず. 精嚢は両側とも軟で, 硬結・腫脹を認めず.

超音波診断所見: 膀胱内に 150ccの水をカテーテルにて注入した. 肛門より11cmの点で, 直腸壁とほぼ接して方形の膀胱壁に起因すると考えられるエコー (以下膀胱エコーと呼ぶ) 像が描出され, その中央にカテーテルのエコー像が明瞭に認められた. さらに前方には数層にわたる腹筋と腹壁のエコーが認められた. 直腸前側方には, 右はほぼ円形, 左は半月形の精嚢に起因するとみられるエコー像 (以下精嚢エコーと呼ぶ) があり, その一部は直腸前方へと向つていた (第1図). 膀胱エコーは肛門より14cmの点から9cmの点の範囲で得られた.

肛門より8cmないし6cmの間では, 前立腺に起因するエコー像 (以下前立腺エコーと呼ぶ) が得られた. 肛門より7cmの点では, 前立腺は横約2.5cm, 縦約2cmの三角形に近いエコー像として描出され, その後部には細かい点状の大きさ均一なエコーが無数にみられ, 中央にはカテーテルによるエコー像が認められた. 前立腺の側方をおおい, 直腸側方へと向う内骨盤筋膜とおぼしきエコーも明瞭であつた. 直腸後方には尾骨によるとされるエコー像が得られた (第2図).

症例 2. 山○義○, 29才, 大学助手.

臨床診断: 左尿管結石症. 前立腺正常.

前立腺触診所見: クルミ大, 弾性硬, 表面平滑, 左右対称で圧痛を認めず. 精嚢は触知せず.

超音波診断所見: 肛門より13cmから9cmの深さで膀胱エコーが得られ, 10cmから8cmにかけて直腸前側方に左右対称な半月状の精嚢エコーが認められた. 前立腺エコーは8cmから5cmにかけて得られた.

肛門より5cmの点では, 前立腺エコーは横約3cm, 縦約1.5cmで, その後半部には前例と同様細かい均一な点状エコーが多数散在した (第3図). カテーテルは挿入していない.

症例 3. 及○吉○郎, 67才, 会社員.

臨床診断: 前立腺肥大症.

前立腺触診所見: 鶏卵大, 弾性やや軟, 表面顆粒状, 左右ほぼ対称で圧痛を認めず, 限局性. 精嚢は触知せず.

レ線診断所見: 尿道膀胱造影で前立腺部尿道は延長し

(約5cm), 鞘状拡張を示し, その下端前右方に僅かな石灰化像をみた. 精管精嚢造影では, 精嚢は水平型で右が左に比べやや拡張するも, 両側とも破壊像はなく, 射精管は両側とも欠損せず, 射精管間隙は僅かに開大していた.

手術所見: 恥骨後前立腺被膜内摘出術施行. 外科的被膜との癒着はみられなかつた. 摘出標本は横4cm, 縦2.5cm, 高さ3cm, 17gで, 下端に僅かな石灰沈着があり, 組織学的には腺腫様過形成であつた.

超音波診断所見: 肛門より12cmから10cmにかけて膀胱, 10cmで両側精嚢, 9cmから4.5cmにかけて前立腺によるエコーが得られた. 精嚢エコーは右が左に比べ拡張していたが, 周辺は平滑であつた. 前立腺エコーは横約4cm, 縦約2.5cmで, 前述の細かい均一な点状エコーを欠き, 周縁および左右両葉間に連続した粗な点状エコーをみるのみであつた. 前立腺下端の尿道附近に, 尿道膀胱造影における石化像と一致する密集した明瞭なエコー群を認めた (第4図).

症例 4. 高○与○治, 70才, 無職.

臨床診断: 前立腺肥大症兼結石症.

前立腺触診所見: 超クルミ大, 一般に硬, 表面平滑, 左右ほぼ対称で圧痛あり, 周囲との移行はやや不明瞭. 精嚢は触知せず.

レ線診断所見: 尿道膀胱造影にて前立腺部尿道は軽い鞘状拡張を示し, その周囲全体にわたり多数の結石を認めた. 精管精嚢造影では, 精嚢は水平型で嚢状拡張と小腔の消失が著るしく, 右側は強く拡張していたが, 左側はかなり萎縮していた. 左射精管像は欠損していた.

手術所見: 経恥骨的前立腺全摘出術施行. 前立腺を両側精嚢とともに一塊として摘出した. 前立腺は横4.7cm, 縦3.5cm, 高さ約3cm, 55g (精嚢を含む) で, 割面には多数の小結石および結節がみられた (第5, 6図).

超音波診断所見: 肛門より10cmの深さで, 膀胱および両側精嚢エコーが得られた. 左精嚢はやや小さく, 右は拡張しており, その周囲はいずれも凹凸不平であつた.

肛門より9ないし6cmにかけて前立腺エコーが得られた. エコー像からみた前立腺の大きさは横約4.5cm, 縦約3.5cmで摘出標本とほとんど完全に一致していた. 前立腺後半部および一部右側部にかけて, 前述の均一な点状エコーよりやや大かつ密集した不規則な群状エコーが認められたが, これは摘出標本における硬い結節を形成する部分とほぼ一致していた. また前立腺各部にわた

第1図 症例1 肛門より11cm. 正常膀胱および精囊のエコー像.

第2図 同例 肛門より7cm. 正常前立腺のエコー像.

第3図 症例2 肛門より5cm. 正常前立腺のエコー像.

第4図 症例3 肛門より4.5cm. 前立腺肥大症の前立腺下端部におけるエコー像. 左右両葉の分離および尿道周囲の石灰化像をみる.

第5図 症例4 前立腺肥大症兼結石症. 肛門より7 cm附近の前立腺エコー像とその摘出標本剖面および組織像.

第6図 同例 左上, 右上, 左下, 右下の順に, 前立腺上部から下部にかけてのエコー像およびその部分に相当する摘出標本剖面.

り、さらに一層強い点状エコーがみられたが、これは結石の存在部に相当していた。これらの所見は摘出標本のそれぞれの断面と対比して、第5、6図に示した。

IV 考 察

前立腺の巨視的診断法としては、現在尿道膀胱造影・精管精囊造影などの間接的に前立腺陰影を示すにすぎない2、3のレ線診断法が実用化されているのみで、前立腺そのものの形態を摘出することは、多くの試みがなされながらもなお未解決のままであつた。これは前立腺が軟性組織なのでレ線透過性は周囲組織とあまり異ならず、また周囲へ何らかの造影剤を注入することも解剖学的にきわめて困難なためと思われる。これに対し超音波は、軟性組織あるいは実質性臓器の透過性がよく、僅かな密度差のある組織境界面（音響インピーダンスの異なる境界面）で反射波を生ずるという物理的性質をもっている。そのため骨盤内臓器疾患を超音波パルス反射法により診断しようとする試みは、早くからなされてきた。

前立腺についても、まず直腸内からAスコープ法によりそのエコーを検知する方法が、主として本邦の泌尿器科学者を中心に試みられた。すなわち高橋・大内⁵⁾⁶⁾および後藤・西⁷⁾⁸⁾は、直腸内へ挿入可能な振動子を用いて得たAスコープ像において、前立腺肥大症、癌および結石症に、それぞれ特有なエコーパターンがみられることを指摘した。また Pell⁹⁾も同様な方法で、前立腺癌が正常とまったく異なるエコーを示すと述べている。大内ら¹⁰⁾によればこのAスコープ方式による前立腺診断適中率は非常に高く、日常検査の1つとして十分な価値を有するとのことである。

しかしながらAスコープ方式は、超音波が伝播する1次元方向のみのエコーの大きさを表示するものであるから、対象物までの距離とそのエコーの大きさを知るにはよいが、生体のごとくそれぞれ音響インピーダンスを異にする組織境界面が複雑にいくつもあるものを対象とする場合には、その分布状態を示し得ないため、得られたエコーパターンの判定が非常に難しく、再現性にも乏しい。またAスコープによるエコーパターンの上で癌と肥大症に相違があるといつても、その差はかなり微妙なものであつて、判定に苦しむ場合も少なくない。私達はPPI走査施行と同時にAスコープによる反射波図形も観察しているが、これのみで組織性状を云々するのは相当困難と思われた。前立腺診断のために超音波反射法を応用する本来の目的は、前立腺の形態の変化、すなわち単にその大きさのみならず内部構造の変化をも非観血的

に把握するところにあると考えられる。この目的のためにはAスコープ表示は好都合な方法とはいえない。そこでエコーの大きさを定量的に測定することは困難であるが、エコーを生ずる組織境界面の分布状態やその距離を、直観的な断面図として表示しうる超音波断層法が大きな意義を有することになる。超音波断層法にはPPI走査のほかにはBスコープ表示あるいはCompound走査があるが、私達は前立腺の水平断面が示されるPPI走査をまず応用した。その他の走査法については現在検討中である。

前立腺のPPI走査についても高橋・大内⁵⁾⁶⁾の報告がある。しかしその断層像から判断すると必ずしも実用的なものとはいえず、像の精度の点にかなりの問題があると思われた。一般にPPI方式・Bスコープ方式などを含む超音波断層法において得られる像の良否、すなわち解像度の良否は、主として距離分解能・方位分解能および指示器の指示性能の3つの因子によつて左右される。ある均一媒質中に存在する小反射体を走査して得られるエコーをブラウン管上に表示した場合、距離分解能が悪いときは、実際には点状の物体でも音波伝播方向（あるいは超音波ビーム方向）に縦に長い直線状のエコー像として示され、また方位分解能が悪いときは、走査方向（あるいは方位方向）に横に長い直線状あるいは円弧状のエコー像として示される。両者の分解能が悪ければ、その物体からのエコー像は実際よりはるかに大きい円形の像となるわけである。したがつて前立腺のような小さい物体の内部を仔細に検討するためには、この両者の分解能を相当向上させねばならない。

距離分解能を決定するのは主として超音波パルスの巾であり、方位分解能を決定するのは主として振動子より放射される超音波ビームの巾である。すなわち超音波パルスの巾を短かくし、超音波ビームの巾を狭くしてやれば、よい像を得ることができる。超音波ビームの巾を狭くするためには、音響レンズ・反射鏡なども利用されるが、なるべく寸法の小さいことを要求される体腔内振動子の場合には、凹面振動子を用いるのが有利である。田中・菊地¹¹⁾によれば、凹面振動子を反射法に用いる場合（振動子半径）²/（曲率半径）×（波長）≤4とするとビームが音波伝播方向に細長くなり、ビーム巾が狭くなつて方位分解能を向上させ得るが、この値が極端に小さいと平面振動子の特性に近くなつて、凹面効果が失われてしまうという。ここでは前立腺診断用振動子として、5 MC、直径10mm、曲率半径60mmの凹面振動子を使用し

て良好な効果を得ることができた。この場合上述の値は1.4となる。

一方距離分解能に影響する超音波パルスの巾は、前述のごとく短かいほどよいのであるが、そのためには生体内での超音波の透過性を考慮して、可能なかぎり高い周波数の超音波を用いる必要がある。ここでは振動子端子間の測定で1.2ないし1.3 μ Sの送信パルス巾を使用し、5MCの周波数を選んだが、その結果距離分解能およびエコー検出可能距離範囲ともにほぼ満足の成績が得られた。

直腸内からPPI走査を行なつて前立腺の超音波断層像を得ようとする際のもう1つの問題点として、近距離投射の影響を考慮しなければならない。振動子の大きさが超音波波長より大きい場合には、振動子から比較的近い距離にある音場内では、投射された音波が干渉しあつて強弱の縞を作り複雑な干渉帯を形成する。この近距離干渉帯の範囲内にある物体からのエコーは、ブラウン管上では実物とかなり違った像になる可能性があるから、この範囲はなるべく狭める必要がある。凹面振動子は同一寸法の平面振動子に比べ、近距離干渉帯の及ぶ距離を短縮できる¹¹⁾ので有利である。

また同一反射率をもつ反射体でも、近距離にある反射体からのエコーは遠距離のものに比べ非常に大きく、両者を同一感度で受信すると近距離からのエコーが飽和の現象を起し、解像度を低下させることになる。この点を改善するため、私達は方法の章で述べたときSTC (Sensitivity time control. 受信器感度を時間経過とともに人為的に変化せしめ、近距離エコーに対する感度を下げてそのエコーの大きさを遠距離エコーの大きさと同程度にし、断層像全体をほぼ均一な輝度の像にするための機構)を用いた。この場合凹面振動子を使用すると、その音場分布の上ですでに近距離での音圧が低くなっている¹¹⁾から、STCの効果はさらによく現われてくる。これらの方法によつて図に示したごとく近距離のエコー像は良好となり、充分解読しうるものとなつた。

なお極近接水浸法でPPI走査を行なうため、接触子先端部にポリエチレン管とラテックスゴムカフとを装着したが、多重反射を生ずることもなく、また著明な超音波減衰をも来さず、直腸壁の防護、振動子の接着、PPI走査時の回転抵抗の軽減および探触子先端部の固定に役立ち、良好な効果をあげることができた。

さてこれらの方法によつて得られた臓器エコーについて、少ない症例ではあるが多少の検討を加える。

膀胱エコーは肛門より14ないし9cmの距離で得られた。膀胱内に約100ccの水を注入するとその像はより明瞭となり、膀胱内にあるネラトシカテーターテルはいずれの症例においてもきわめて明確なエコーとして認められた。膀胱側壁もよく描き出され、膀胱壁の形態的变化もかなりの程度に吟味が可能であり、将来膀胱腫瘍の浸潤度判定などにも超音波診断を応用できる可能性がある。肛門より11ないし8cmの深さで、膀胱エコーとともに精囊エコーが得られた。精囊は内腔のぬけた半円状または三日月状の像をなし、その側壁のエコーはかなりの確実性をもつていた。

さらに振動子を抜いてくると、膀胱底部から生じたとされる均質なエコーが現われ、肛門より9ないし5cmの附近で前立腺エコーが認められた。この深さは正常例にあつてはやや浅く、前立腺肥大症々例にあつてはやや深い。私達の経験では、直腸内のどここの位置から走査しても、同じ振動子の位置で膀胱と前立腺とのエコーを同時に得ることは不可能であつた。これは直腸走行に対する膀胱および前立腺の解剖学的位置関係によるものと考えられた。なお振動子の位置を表示するために、私達は肛門よりの深さを用いたが、肛門はかなりの可動性を有するために絶対的な基準としては適当でない。この点に関しては将来何らかの指標を設定する必要があると思われる。

正常前立腺内部では例外なく、大きさ均一な細かい点状エコーを無数に認めた。このエコーはかなり特徴的で、前立腺上部と下部では多少その分布を異にし、前立腺肥大症や結石症にあつても、組織性状が正常に近いと思われる部分では同様に出現した。これが腺内のいかなる組織から生ずるかはなお不明であるが、以上の所見よりみて、このエコーはいわば正常前立腺エコーと称しても差支えないように思われる。

前立腺肥大症および結石症にあつては、この正常前立腺エコーの出現が少ないか、あるいはこれを欠いている。手術により摘出した実物標本の断面と超音波断層像を対比してみると、組織性状の硬い結節をなす部分に一致して、やや大きい密集した不規則な斑点状エコーが認められた。組織性状がさらに硬いと考えられる部分ではその振動子に面する部分に強いエコーがみられ、それより遠距離では、音響陰影が現われた。結石からはさらに強い明瞭なエコーが得られた。そして結石エコーの大きさは結石の大きさに比例しており、他の部分のエコーとの判別も可能であつた。

以上の所見は、凹面振動子を用いた前立腺超音波断層写真法が、現段階の技術でもかなりの組織解像力を有していることを示した結果と考えられる。またエコー像の上から計測した前立腺の大きさは、手術摘出標本のそれとほぼ完全に一致した。このことは、他に前立腺の大きさを測定する適当な検査法がない現在、それだけでも有力な前立腺診断法ということができる。

私達は数例の前立腺癌症例に対しても同様な超音波断層法を適用し、いくつかの興味ある所見を得たが、その像は相当複雑であり、結論を出すにはなお多くの検討が必要である。前立腺癌の早期発見や他疾患との鑑別は、前立腺超音波診断の大きな目的の1つであると思われるので、少ない症例における結果をもとにして軽々に論じることが許されない。私達は今後さらにこの方面に関する研究を一層進めたいと考えている。

いずれにせよ、前立腺の超音波診断はすでに実用段階に入りつつある。近い将来この検査法が、前立腺疾患の判定に必要不可欠なものとなることは、疑いない事実であると思われる。

V 結 語

PPI 走査方式による経直腸前立腺超音波断層法に凹面振動子を応用し、明瞭なエコー像を得ることに成功したので、2, 3の症例を供覧するとともに若干の考察を加えた。凹面振動子の使用はこの検査法にとつてはなほだ有効である。超音波断層法による前立腺の大きさ計測は

非常に正確であり、また前立腺内部の組織構造の変化もかなりよく表示し得るものであつた。今後の電子技術の発達にともない、前立腺超音波診断法は大いに発展する可能性があると思われる。

御指導・御校閲いただいた矢戸仙太郎教授・岡捨己教授、ならびに超音波機器の製作に御協力いただいた日本無線医理学研究所に深謝する。

文 献

- 1) Ebina, T. et al.: Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.-C, 12, 199, 1965.
- 2) 田中元直ら：第9回日超医論文集, 11, 1966.
- 3) 田中元直ら：第11回日超医論文集, 27, 1967.
- 4) 海老名敏明ら：抗研誌, 17, 300, 1965.
- 5) Takahashi, H. & Ouchi, T.: Jap. Med. Ultrasonics, p. 7, Oct. 1963.
- 6) Takahashi, H. & Ouchi, T.: Jap. Med. Ultrasonics, p. 35, May 1964.
- 7) Gotoh, K. & Nishi, M.: 泌尿紀要, 11, 87, 1965.
- 8) Gotoh, K. & Nishi, M.: 泌尿紀要, 13, 18, 1967.
- 9) Pell, R.L.: Ultrasonics, 2, 87, 1964.
- 10) Ouchi, T. et al.: Jap. Med. Ultrasonics, 3, 15, 1965.
- 11) 田中元直・菊池喜充：医用電子と生体工学, 5, 352, 1967.

(昭和43年2月1日受付, 特別掲載)