総説

アザフ アミカ

182

SF 前立腺の画像診断 SF アミカ

112

京都府立医科大学泌尿器科学教室

渡 辺 決

DIAGNOSTIC IMAGING OF THE PROSTATE

Hiroki Watanabe

Department of Urology, Kyoto Prefectural University of Medicine

Modalities for the diagnostic imaging of the prostate are surveyed. Transrectal sonography is thought to be the best method for the purpose, because of its non-invasive nature, fine picture quality, sufficient reproductivity and less expensive cost. Up-to-date utilizations of the method are described, such as diagnostic capability, staging, monitoring, screening and intervention. CT is less effective but MRI is promising to visualize internal structure inside the prostate. Two very new techniques, namely, ultrasonic Doppler color flow mapping and positron emission CT (PET), of which application to the prostate is being investigated originally in our laboratory, are introduced.

Key words: transrectal sonography, CT, MRI, PET, prostate

122 EM 24倍 Gk7

見中へ / (I. 緒の言)

私が泌尿器科医になった頃, 唯一の前立腺の画像診断は尿道膀胱造影だった。しばらくして精管精囊造影が行われるようになったが, いずれにせよ前立腺そのものは写っておらず, 周りの臓器の変形をみて前立腺の具合を類推するものだった。今から考えると, 何であのようなもので前立腺の診断ができたのか, 不思議な気がするが, ほかに客観的な検査法がなかったのだから仕方がない。尿道膀胱造影が使われなくなって一番得をしたのは患者さんだろう。造影剤を注入される時の痛さは, また格別らしい。

経直腸的超音波断層法が登場した時, この方法の将来性に気づいた人はきわめて僅かだった。何しろ超音波といえば, 悪名高い A モード法に始まって, やっと再現性も解像度も悪い接触複合走査による B モード法が使われ出した時代である。超音波といったら訳のわからないものの代名詞で, その名前を聞いただけで受けつけてもらえなかった。いくら経直腸的超音波断層法は, ほかの超音波と違って解像度もよいし, 画像をよく理解できると説得しても, およそ無駄だった。とにかく, からだの断面を見るという習慣が, 当時まったくなかったからである。

そのうちに CT が現れた。これは経直腸的超音波断層法にとって, 大変よい認知の機会となった。何故な

ら, 臨床医がからだの断面を見ることに抵抗を感じなくなっただけで, いざ CT で前立腺を見ると, 形だけあって中が何もわからないのに対し, 経直腸的超音波断層法では, とにかく内部構造がよくわかるからだった。

それでも, 経直腸的超音波断層法が米国を中心に爆発的に普及し出したのは, 1985年以後のことである。私が最初の前立腺の断面を手にしてからでも, 20年近い月日が経っている¹⁾²⁾。進歩のすさまじい現代医学にあっては, 珍しく一般化に時間がかかった。そのひとつの理由は, 米国では超音波は主として放射線科医が扱う習慣があり, 泌尿器科医には馴染みがうすかったことと, その放射線科医自体も, 体腔内走査という方法に多少の躊躇を感じたためだろうと思う。いずれにせよ, 現在米国でこれだけの利用度があれば, 我が国を含めて世界各国がそれに追随するのは時間の問題であろう。

したがって, 前立腺の画像診断の主流は, あくまでも経直腸的超音波断層法である。最近発達した MRI が, これについて有望であるが, まだまだ情報量そのものが超音波より不足している。それ故本稿では, まず経直腸的超音波断層法について, その生い立ちから現状の応用範囲を私なりの立場から述べ, CT・MRI にも触れたのち, さらにきわめて新しい画像診断技術であるカラードプラ断層法と PET について, その将来

性を論じようと思う。このような機会を得たことは、永年この道を歩んで来たものにとって、大きな喜びである。

II. 経直腸的超音波断層法

1. 沿革

夙に Wild & Reid³⁾は、1957年ピストル型の手持ち体腔内探触子を製作し、これを直腸内に挿入して走査を行った。当時の電子技術では、やっと直腸粘膜とおぼしき像を得たにすぎなかったが、このアイデアは現行の経直腸的超音波断層法そのものである。

この後、経直腸的超音波断層法は、我が国の研究者たちの手によって大きく発展してゆく。高橋・大内(1963)⁴⁾、後藤・西(1965)⁵⁾のAモード法、高橋・大内(1964)⁶⁾のラジアル走査などが初期の業績であるが、まだ説得性のある診断情報を提供するには至らなかった。

1967年秋、私たち¹²⁾は、田中ら⁷⁾が経食道的に心の走査を行う目的で開発した新型探触子を経直腸的走査に転用して、美しい前立腺の断層像を得ることに成功した。これが本法の実用化の最初だと credit されている⁸⁾。その後、1974年の日本泌尿器科学会雑誌⁹⁾、同年の Journal of Clinical Ultrasound¹⁰⁾、1975年の Journal of Urology¹¹⁾に掲載された3編の論文が、本法を総合的に論じた原著で、現在行われている本法の応用領域が、ほとんどすべて初歩的な形で論じられている。

米国における最初の論文は、Winston-Salemの King・Boyce ら(1973)¹²⁾によって発表され、この業績を引き継いだ Resnick¹³⁾が現在米国泌尿器科学会の超音波のリーダーであることは、周知のとおりである。欧州では、Antwerpの Hallemans・Denis ら(1977)¹⁴⁾、Glasgowの Lerski・Morley ら(1979)¹⁵⁾の論文を嚆矢とする。なおこれら初期の欧米における業績は、いずれも私たちが開発した探触子と診断装置を輸入して行われたものである。

その後本法は、徐々に世界各国の限られた研究者たちによって利用されるようになったが、1985年以後の米国における爆発的普及の火つけ役は、やはり Fred Lee¹⁶⁾であろう。中国系米国人の放射線科医である彼は、自身前立腺癌に罹患し、それを超音波で早期発見されて治癒してから、精力的に本法の研究を開始し、“cancer is black”との相言葉のもとに、経直腸的超音波断層法で癌巣は黒くぬけてみえることを強く主張した。いわゆる hypoechoic lesion という terminology は一種の流行語となり、彼の代名詞となった。現在米

国で、彼に対する評価は一方的に高いという訳ではないが、いずれにせよ本法をここまで世間に認知させた彼の功績は、忘れることができない。

現在の米国は、前立腺超音波のつぼである。数年前から、前立腺癌が男子癌死亡の首位になったこともあって、超音波の論議は賛成反対いり乱れて、まことにかまびすしい。すでに、経直腸的超音波断層法の前立腺癌に対する staging, monitoring, 穿刺誘導の評価は確立し、目下 screening の是非が大きな話題となっている。しかし米国では、前立腺癌ばかりがあまりに取りあげられすぎ、他の前立腺疾患への応用が等閑視されているきらいがある。

2. 方法

経直腸的超音波断層法は、どの国でも切石位による体位から始まった。それが従来からの泌尿器科検査の常道だったからである。ただこの体位では、本法の宿命として探触子周囲にかぶせなければならないゴムバルーンの中の空気が、ちょうど検査の対象である前立腺の方向に集まってしまう傾向がある。このため現在の経直腸的探触子には、空気を抜く様々の工夫がなされているが、私たちはそれとともに、検査体位を座位に変えることによって検査を能率化することをはかり、成功した¹⁰⁾。

切石位をとるかぎり、探触子は検者が支えねばならず、探触子の挿入角度や深度が不安定なので、必らず1人の検査に10～20分かかってしまうが、座位によるいす型の専用装置では、長くて3～4分で検査が終わってしまう¹⁷⁾。走査軸も安定しているので、再現性が非常に高い。欧米ではほとんど切石位で検査が行われているが、通常の検査においては、どのような観点からみても座位のほうが優れていることは、一度経験した人なら誰でも口にするところである。

ただし座位の場合は、走査断面は水平面に限られる。通常の前立腺疾患の診断には、矢状面は不要であるが、urodynamics の検査や超音波穿刺術のモニタには、矢状面が必要になる。また最近では、小さい癌結節の発見のために、水平面と矢状面を併用することもある。

水平面を得るためには、従来からラジアル走査と呼ばれる、探触子のついた内管が外管の中で回転する型の、機械的走査が行われてきた。矢状面もかつてはこの型で、内管が外管内で上下にずれる機械的走査によっていたが¹¹⁾、電子走査が経直腸的超音波断層法にも導入されるに至り¹⁸⁾、操作が簡単でリアルタイムで断層像が得られるこの方法に、すっかり置き代わった。

さらに最近では、電子走査によるセクタ走査も可能となった結果、ひとつの探触子にリニア走査用とセクタ走査用の2個のトランスデューサを並べてとりつけた、いわゆる“bi-plane”探触子が登場し¹⁹⁾、一種の流行となっている。

しかし、日常の臨床にあっては、座位によるいす型の専用装置の能率性は、ほかに代えがたいものがあり、結局多くの患者のルーチンワークとしてはいす型装置を、穿刺や特殊の観察の目的には bi-plane 探触子を、あわせて持つのが理想であろう。

私たちの10,000件の検査成績²⁰⁾によると、本法の検査成功率は99.4%で、失敗例の原因はほとんど人為的なものである。ただし人によっては、探触子挿入によって一過性の低血圧をみるものがあり、この時は探触子を抜けば回復する。また、これまで本法による直腸穿孔は世界的に報告されていないが、私たちは昨年、膀胱悪性リンパ腫の患者でこの検査後の直腸穿孔を経験した²¹⁾。稀有のこととはいえ、一応の注意が必要である。

3. 診断

経直腸の超音波断層法の診断基準としては、1974年に私が提唱し⁹⁾¹¹⁾、のちに文部省総合研究班(渡辺班)²²⁾によって小改変が行われたものが、日本超音波医学会でも公式診断基準として認められている²³⁾。これは、前

立腺の形状・被膜エコー像・内部エコー像の3所見に基づいたもので、正常・前立腺肥大症・前立腺癌・前立腺炎を比較対照している(表1)。

前立腺の形状の変化は、断層像をみる際の基本である。最近では小さな癌巣に注目するあまり、内部エコー像にばかり気をとられる傾向があるが、かなり早期の癌でも断面に変形が来る例は多く、何となくおかしいなど感じる印象は、たいてい断面の変形によるものである。もちろん前立腺肥大症の診断では、後述するように直接断面の変形そのものを読みとらなければならない。

前立腺癌の内部エコー像は、やはり hypoechoic な所見が主体である(図1)。これを前述の診断基準では「往々部分的に消失」occasionally disappearsと表現していた。どうした訳か、その後の外国文献で、私が hyperechoic 説をとっているように紹介されたことが間々あったが、それは誤解である。ただ、初期の小さい癌巣は例外なく hypoechoic であるが、進展したものの中にはどうみても hyperechoic なものもあるのは事実で、宮下ら²⁴⁾の成績もそれと裏づけている。

また、何でも黒ければ癌だとも思うのも間違いで、米国における超音波に対する非難の多くは、超音波で黒かったのに癌がないという、やや的是はずれた議論に根ざしている。癌の診断は、あくまでも断面形状・内

表1 前立腺超音波断層法の診断基準

疾患 所見	正 常	前立腺肥大症	前 立 腺 癌	前 立 腺 炎
断 面 形 状	三角形または半月形 拡大なし	半月形または円形 拡大	種々に変形 拡大すること多し	急性例は拡大 慢性例は変形
前 後 径	短い	左右径と対応しつ つ延長	延長 ただし例外あり	急性例は延長 慢性例は短い
上 下 径	短い	前後径と対応しつ つ延長	往々不つりあい 延長	急性例は延長 慢性例は短い
対 称 性	あり	あり	なし	失われることもある
断面形状の相似性	あり	あり	なし	失われることもある
被膜エコー像				
厚 さ	薄い	厚い	不規則	不規則
連 続 性	あり	あり	進行したものではなし	通常あり
平 滑 性	あり	あり	なし	なし
内部エコー像				
密 度	中等度	増加	往々部分的に消失	急性例は減少 慢性例は増加
質	規則的	規則的	不規則	不規則

注 1) 本診断基準は、経直腸的ラジアル走査を基本としたものである。

2) 被膜エコー像は、装置の条件により描出の程度に差がある。

3) 結石様エコー像は、肥大症では肥大症結節の外側に圧排されて描出され、癌では不規則に散在することが多い。

図1 前立腺癌の経直腸的超音波断層像。前立腺の左(画面では右)半分を占める癌巣が、明瞭な hypo-echoic lesion として示されている。1カ所でかつ全周の1/4未満の被膜の断裂(CA₁)が認められ、UT3aと判定された。全摘除標本における組織所見もこれと一致した。

部エコー像・被膜エコー像の総合判定によってくださなければならない。超音波の場合、ある領域に音響インピーダンスを変える密度差がなければ、その領域は一樣に黒く表示される訳で、硬い組織であろうと軟かい組織であろうと、そこが均質なら黒くみえるのである。だから別に癌がなくても、いわゆる hypo-echoic lesion は出現しうる可能性は十分ある。

経直腸的超音波断層法の前立腺癌に対する診断適中率については、きわめて多くの報告がある。最も新しいCarterらの論文²⁵⁾では、実験研究ではあるが、sensitivity (有病正診率) 52%, specificity (無病正診率) 68%となっている。しかし診断適中率は、その診断が行われる状況で非常に結果が異なってくる。しかしいづれにせよ、直腸内指診よりかなり優れていることは明らかである²⁶⁾。

私たちの結果を述べると、泌尿器科外来(超音波以外の診断情報もある程度3,479与えられる)での有病正診率は102例中99例97.1%²⁰⁾、例の前立腺集団検診では有病正診率86.3%、無病正診率91.4%²⁷⁾、厚生省がん研究助成金(福田班)による泌尿器科医21人の公式 blind test²⁸⁾では有病正診率64.2%、無病正診率76.7%であった。とくに公式 blind test では、読影経験の差に

よる正診率の較差が著明で、3,000例以上の読影経験を有する5人の成績は有病正診率80.0%、無病正診率78.3%であり、中でも最も優秀な人は、有病正診率88.9%、無病正診率78.9%という驚異的な成績を挙げた。この test は、全国から無作為に集められた100例の超音波断層像を、それ以外に何らの情報もなく読影するもので、しかも自分の施設から出た症例の読影結果は算入しないきまりになっているので、これ以上はないほど厳しい状況下での結果である。したがって、一般の臨床レベルでの正診率はもう少し高いところにあるだろうと思われる。

有病正診率と無病正診率はたがいに拮抗するものであって、少しでも所見のあるものをひっかけようとする、有病正診率は上がるが無病正診率は下がってしまう。その辺の兼ねあいが読影者に要求される訳で、両正診率とも80%前後という成績は、いわゆる画像診断の中ではベストに位置する。しかしそこに到達するまでには長年の努力と経験が要求される。一般的にいて、超音波診断は無病正診率の低いのが問題点であって、その意味では経直腸的超音波断層法も例外ではない。

前立腺肥大症の診断こそ、経直腸的超音波断層法がその真価を最も発揮する領域である。すなわちこの疾患では、腺腫(いわゆる内腺)がある程度育って、物理的な mass として尿道を圧排するようになって、はじめて疾患としての意味が出てくる²⁹⁾³⁰⁾。組織学的に肥大症が証明されたとしても、また触診などでどれほど前立腺を大きく感じたとしても、それだけでは臨床的な前立腺肥大症とはいえない³¹⁾。どれだけ腺腫が育って、どれだけ尿道の圧排が起こっているかを一目で教えてくれる検査法は、本法以外には見あたらない。

前立腺肥大症の前立腺水平断面は、必ず丸くなる。それも正円に近づくほど進行した肥大症である。これを数値で示したものが、仮想円面積比 PCAR³⁰⁾³²⁾の理論である。PCARが0.75以下なら、決して残尿が生じることはない。もしそれでも残尿があれば、排尿障害の原因は前立腺以外にある。この、除外診断の能力一排尿障害の原因が前立腺か否かーが、経直腸的超音波断層法の大きな特色なのである。腺腫と被膜の境界も、断層像上たいていの場合明瞭で(図2)、摘出腺腫の容量も予測できる。

前立腺癌の場合、経直腸的超音波断層法はそれを示唆するだけであるが、肥大症においてはその最終診断法となりうるのである。

図2 前立腺肥大症の経直腸的超音波断層像。腺腫が前立腺内部に明瞭な境界をもって表示され、腺腫の中心部のエコー像はやや乱れている。

急性前立腺炎の超音波所見は特徴的で、前立腺全体が腫張して円形に近づき、浮腫を示すごとく内部エコー像が減少する³³⁾。腫張が非常に強い場合は肥大症の断面のようになり、実際残尿も発生する。これに対し、慢性前立腺炎の超音波所見は不定で多様であり、診断も複雑なことが多い³⁴⁾。ただこれだけははっきり言えるのは、慢性前立腺炎は常に同じ状態にあるのではなく、慢性の経過中に数カ月あるいは数年間に1回の急性増悪期があり、その時の超音波所見は急性前立腺炎のそれと同じになるということである³⁵⁾。その場合、治療も急性前立腺炎と同様に行うと十分な効果がある。急性期が去ると、超音波像も旧に復する。すなわち、経直腸的超音波断層法は、慢性前立腺炎の経過観察に適しており、定期的に検査を行えば、急性増悪期を適確に察知し対応することが可能となる。

なお、経直腸的超音波断層法の開発頭初から、前立腺炎の患者では往々前立腺被膜が二重に見えることがあり（図3）、sonolucent zone³⁶⁾と呼ばれて注目されてきた。私たちは以前から、これが拡張した被膜周囲の血管の断面像なのではないかと推察していたが、あまりに太いものもあるため半信半疑であった。ところが、後述するカラードプラ断層法の出現によって、これがやはり血管像であることが確認された³⁷⁾。近い将来、この所見から前立腺炎の病態生理に新しい知見がもたらされるのは確実であると思われる。

4. Staging

Staging, すなわち癌の浸潤度判定では、経直腸的超

図3 慢性前立腺炎に軽度の肥大症が加味された症例の経直腸的超音波断層像。前立腺の前方の被膜外側に著明な sonolucent zone がみられる。

音波断層法における被膜エコー像の所見が、大きな力をもっている。被膜外浸潤が起ると被膜エコー像に断裂が現れ、さらには浸潤した癌組織そのものも見えることがある。

文部省総合研究班（渡辺班）では、経直腸的超音波断層法による前立腺癌の浸潤度判定基準を作製した（表2）²²⁾。これは、TNM分類のT項目に対応するように、超音波所見から浸潤度判定が行えるよう配慮したもので、UT分類と呼んでいる。TNM分類におけるT項目と若干異なるのは、T3をUT3aとUT3bに分けたところで、UT3aは、直腸内指診ではT2と判定されるが超音波では僅かな浸潤が考えられる症例を対象としたものである。本基準は米国でも発表され³⁸⁾、反響を得た。

経直腸的超音波断層法で被膜の断裂を見ると、一番問題になるのは artifact による被膜エコー像の不鮮明化である。例えば前立腺内に結石があると、その音響陰影によって石から向こうの部分の被膜エコー像は描出されない。また、前立腺の後側方の部分では、超音波ビームが被膜に並行に当たるため、ほかの部分より解像度が落ちる。したがってこの場合も、被膜エコー像ばかりに注目するのではなくて、前立腺全体の状態を勘案しながら、浸潤を判定する注意が要求される。

浸潤度判定の成績は、米国と違って³⁹⁾我が国では前立腺全摘除症例が少ないため、なかなか多数例について調べることができない。私たちが米国における症例

表2 前立腺腫瘍の浸潤度判定基準

前立腺腫瘍の超音波検査による浸潤度判定は下記の3項目によって行われ、各項目の間で最も高い数値を示したものをその患者の浸潤度とし、程度によってUT0～UT4までの6段階にて表示する。

超音波所見にもとづく前立腺腫瘍の浸潤度判定

超音波による 浸潤度判定	断面の変形	被膜エコー 像の断裂	隣接臓器へ の浸潤	相当する従来の浸潤度判定	
				TNM	Americal system
UT0	DF ₀	CA ₀	NI ₀	T0	A _{1~2}
UT1	DF _{0a}	CA ₀	NI ₀	T1	B ₁
UT2	DF ₁	CA ₀	NI ₀	} T2	B ₂
UT3 _a	DF ₂	CA ₁	NI ₀		B _{2~C1}
UT3 _b	DF ₂	CA ₂	NI ₁	T3	C ₂
UT4	DF ₂	CA ₃	NI ₂	T4	D ₁

前立腺断面の変形；DF

- DF₀：変形なし
- DF_{0a}：変形はないが癌結節を認める
- DF₁：左右対称性の消失のみ
- DF₂：明らかな変形

被膜エコー像の断裂；CA

- CA₀：断裂なし
- CA₁：1カ所であつ全周の1/4未満
- CA₂：2カ所以上または全周の1/4以上
- CA₃：2カ所以上または全周の1/4以上で、かつ骨盤骨まで進展し、前立腺の境界が不明瞭

隣接臓器への浸潤；NI

- NI₀：浸潤なし
- NI₁：精囊への浸潤あり
- NI₂：精囊以外の隣接臓器への浸潤あり

注 1. 走査方法については下記の記号を最後に付記する。

- TR：経直腸的超音波断層法(ラジアル走査)
- TL：経直腸的超音波断層法(リニア走査)
- TU：経尿道的超音波断層法

注 2. UT3_b, UT4についてはCTの併用も有用である。

31例について私たちの教室で行った blind test の結果では、浸潤の有無についてみた場合、一致率が89%であった⁴⁰⁾。また、私たちの教室で経験した全摘除例27例では、一致率63%であった⁴¹⁾。厚生省がん研究助成金(佐久間班)による泌尿器科医21人の公式 blind test⁴²⁾(診断の blind test の3年後に行われた)では、上位9人の平均一致率65.2%、最優秀者の一致率68.2%であった。因みに、この時の最優秀者も、診断の公式 blind test の時の最優秀者と同じ人であって、読影という作業には、何か個人個人の適性が大きく作用している印象を受けた。私自身の成績は、診断が21人中3位、浸潤度判定が21人中4位だった。まあまあ結果で安堵したものだった。

5. 計測と Monitoring

計測が正確に行えるのは、超音波の利点のひとつであるが、経直腸的超音波断層法開発の初期の頃、私はあまりこの問題に注意を払っていなかった。それに気づかせていただいたのは、故黒田恭一教授で、フューズを直腸内に入れてレントゲン撮影するなど、前立腺計測の昔の苦労話をしてくださり、ぜひ超音波計測に力を入れるように励ましていただいた。

それに力を得て1974年から1975年にかけて三つの論

文を発表した^{43)~45)}。この中で、経直腸的超音波断層法による前立腺の容積計測の誤差は5%以内であること、前立腺の比重はほぼ1に等しいので、容積は重量に置換しうることを述べた。

超音波を用いた研究で、一番反論が少なく、容易に受け入れてもらえるものは、計測に関する研究のように思う。診断のように主観が混じらないし、数字で結果が出るので説得力があるためだと思う。

この超音波計測を通じて、これまでの前立腺に関する常識がずいぶん覆えされた。例えば、正常前立腺の容積は10歳代に急速に増大し、あとは次第に小さくなる一方であること⁴⁶⁾、前立腺の容積には20%近くの日内変動があること⁴⁷⁾、前立腺肥大症では前立腺が徐々に大きくなるのではなく、数年間という比較的短期間に急速に大きくなり、その後はあまり大きさが変わらないらしいこと²⁹⁾³⁰⁾、などである。

超音波計測を経時的に施行すれば、治療や薬剤の効果判定 (monitoring) が容易に行える。Estracyt⁴⁸⁾やLHRH アナログ⁴⁹⁾の癌に対する効果などが、精密に測定された。以前は、このような前立腺の大きさの monitoring が直腸内指診で行われていたのであるが、直腸内指診による大きさ判定はまったくあてにならない

いことが、初期の業績⁴⁴⁾⁴⁵⁾でも最近の業績⁵⁰⁾でも示されている。

この種の monitoring の研究で、最も大きな成果を挙げたのは、前立腺癌に対する除手術後の前立腺容積の kinetics⁵¹⁾であろう。除手術施行後の前立腺容積の減少は指数関数で表され、その公式の定数のひとつ τ (除手術に反応する部分の容積が10分の1になるのに要する日数)を計測することにより、各々の患者の予後を恐ろしいほど正確に予言できる。このようなことがわかっているのは、各種の癌のうちでも前立腺癌だけであろう。

6. screening

経直腸的超音波断層法の応用領域のうちで、一番評価が分かれているものが、screening であろう。

私は、本法の開発を手がけた最初の段階から、screening への応用を考えていた⁹⁾。そして1975年から前立腺集団検診のモデル実験を開始し⁵²⁾、1980年に世界最初の前立腺集団検診車「ドルフィン号」を開発して⁵³⁾、その実用化に入った。1989年までの成績を総合すると、55歳以上の外見上正常な男子7,235人に対し、経直腸的超音波断層法に一部直腸内指診を併用した1次検診を施行し、うち1,901人(26.3%)を前立腺肥大症・癌あるいはその他の有病者として2次検診(通常の泌尿器科検査、癌の疑の場合は生検)に回した結果、最終的に前立腺癌45人(0.6%)、前立腺肥大症1,475人(20.4%)を発見した。発見された癌患者の53%は早期癌で、外来患者中における早期癌の比率を大幅に上回っていた⁵⁴⁾。癌の検出率0.6%という数字は、胃癌検診の0.1%、子宮癌検診の0.15%、乳癌検診の0.06%に比べ、圧倒的に高い。したがってこの検診の経済効率、生命の値段を計算に入れないでも明らかに positive である⁵⁵⁾⁵⁶⁾。最近我が国では、すでに全国数十カ所で前立腺集団検診が始まっている(超音波を使用していない所もある)のは、周知のとおりである⁵⁷⁾。

しかし、前立腺癌の本場米国では、超音波による前立腺癌の screening は、必ずしも大方の賛成を受けているとはいいがたい。米国泌尿器科学会(AUA)の超音波のリーダー-Resnick が screening に反対であることもあって、AUA は公式見解として経直腸的超音波断層法は早期前立腺癌の screening に適していないと発表した⁵⁸⁾。

これに対し、超音波 screening の有用性を強く主張しているのが、前述した Lee⁵⁹⁾である。彼の意見には反対者も多いが、一方熱烈な賛同者も多く、すでに一般

のクリニックのレベルでは相当広く screening が行われている⁶⁰⁾。そこで NIH では、1988年から全米3カ所で大規模な randomized studyを開始し、超音波 screening の可否を検索中である。

つい最近、そのうちの1カ所である Cooner のところから、中間的な報告が行われた⁶¹⁾。その結論は、前立腺癌の screening のための三つの手段、すなわち直腸内指診・経直腸的超音波断層法・PSA のいずれにも一長一短があるが、64歳以上の患者に限って言えば超音波が最も優れた成績を示したというものであった。

欧米では、大規模 randomized study で有効と判定されなければ screening は行えない。しかし我が国でその検討なしにとにかく走った胃癌検診が、結局大きな成果を挙げたのを見ると、一体どちらがよいのか迷うところである。我が国の平均寿命はすでに米国より3~4年長い。あまりゆっくり大規模研究の結果を待ってもいられない気がする。

7. 超音波穿刺術

超音波断層法をガイドとして穿刺を行う超音波穿刺術⁶²⁾⁶³⁾の発展はめざましい。前立腺に対する超音波穿刺術も1980年頃から実用化された⁶⁴⁾⁶⁵⁾。ことに、経直腸的超音波断層法で続々発見される hypoechoic lesion が実際に癌であるかどうかを確かめるには生検しがなく、そのような小さな対象が従来の盲目的生検で組織を採取できるはずもないので、経直腸的超音波断層法と、それをガイドとする超音波穿刺術とは、今では一組の技術とさえ考えられている⁶⁶⁾⁶⁷⁾。

ガイドに用いる装置としては、経直腸的電子リーフ走査装置に穿刺用アタッチメントを装着したもの⁶⁸⁾が有利だが、矢状面・水平面の両者が得られる bi-plane 探触子¹⁹⁾はさらに有利である。

超音波穿刺術による前立腺生検は、targetting の点ばかりでなく、出血などの副作用が盲目的生検に比べて格段に少ない点でも優れている。

さらに超音波穿刺術は治療面にも応用されている。前立腺炎に対する薬液注入⁶⁹⁾はかなり以前から試みられており、また前立腺癌に対する前立腺内局所照射⁷⁰⁾(放射性ラドン針などを打ちこむ)は、欧米で広く行われている。

8. 精囊への応用

経直腸的超音波断層法では、前立腺と同時に精囊もよく観察でき、これは in vivo で人の精囊の形をみた最初であった¹⁰⁾。もちろん精管精囊造影は以前からあったが、精囊の内腔と精囊全体の形とは、かなりの

図4 超音波穿刺術による精嚢穿刺，経直腸的電子リーフ走査による矢状面断層像上で，精嚢に刺入された針が明瞭に表示されている。

違いがあった。

精嚢の大きさも計測でき⁷¹⁾，射精前後でその容積は大きく変化する⁷²⁾。精嚢炎では腫張が強く，血精液症の患者でもよく精嚢の腫張を認める⁷³⁾。前立腺癌の精嚢浸潤はかなりの正確性で判定できる⁴⁰⁾。

超音波穿刺術による精嚢穿刺（図4）では，吸引細胞診や精嚢炎に対する薬液注入が可能である⁷⁴⁾。血精液症の患者では，ほとんどの場合精嚢穿刺液に出血を証明する⁷⁵⁾。

図5 前立腺炎の経直腸的超音波カラードプラ断層像。Sonolucent zone に対応する場所に流速の遅い静脈と思われる血流像を認める。電子セクタ走査による水平面断面。

なお，経直腸的超音波断層法を中心とした前立腺の超音波診断に関する著書^{76)~84)}および前立腺の超音波穿刺術に関する著書^{85)~87)}を，文献欄に掲げておく。

III. 経直腸的カラードプラ断層法

経直腸的超音波断層法に，1980年代後半から心臓・腹部を中心に応用が始まったカラードプラ断層法を併用する試みは，つい最近開始されたばかりである。

私たちは，胃腔内から腎動脈の超音波ドプラ信号を採取する目的で独自に開発した超音波内視鏡⁸⁸⁾を経直腸的に転用することにより，1987年初めて前立腺内お

図6 前立腺癌の経直腸的超音波カラードプラ断層像。前立腺内部に流速の速い動脈と思われる血流像を認める。電子セクタ走査による水平面断面。

よび前立腺周囲の血管に起因する超音波ドプラ信号を画像化することに成功した⁸⁹⁾。その後、経直腸的走査専用装置を開発し⁹⁰⁾、鋭意その応用領域を探索中である。

経直腸的カラードプラ断層法によりまず得られた成果は、前述のごとく、前立腺炎患者においてよく認められた sonolucent zone が、明らかに前立腺周囲の血管断面であることを証明したことである⁹¹⁾(図5)。つぎに、前立腺の血管ドプラ信号が出現する部位およびその拍動性の有無は、前立腺炎・肥大症・癌(図6)で各々異なり、正常前立腺では通常血管ドプラ信号が認められないという事実が、どうやらわかってきた(表3)。すなわち、本法は前立腺疾患の新しい診断法となりうる可能性がある。

さらに本法を駆使することにより、複雑難解な骨盤腔内血行の状態を、無侵襲で知りうる可能性もあり⁹²⁾、将来新しい疾患単位の解明につながるのではないかと思われる。大いに期待される前立腺の画像診断法である。

IV. CT・MRI

CTの登場は、前立腺ではほかの臓器ほど劇的には

なかった。すでに経直腸的超音波断層法によって、CTと同じ水平断面が日常広く得られており、しかも誰が見ても、前立腺がただ白く抜けてみえるCT(図7)よりも、経直腸的超音波断層法のほうが情報量の多いことが理解できたからである。CTにとっては、超音波より後から出たのが不幸であった。

実際、前述の厚生省がん研究助成金(福田班)による泌尿器科医20人の公式 blind test²⁸⁾では、CTの前立腺癌に対する有病正診率は49.0%、無病正診率は77.1%と、経直腸的超音波断層法のそれぞれ64.2%、76.7%に比べて、とくに有病正診率でかなり劣る成績だった。また同じく厚生省がん研究助成金(佐久間班)による泌尿器科医21人の公式 blind test⁴²⁾では、CTの前立腺癌被膜浸潤の有無に対する組織診との一致率

図7 図1と同一症例における前立腺CT像。このように、CTで前立腺の内部構造が表示されることは、むしろ珍しい。

図8 図1と同一症例における前立腺MRI像。左：T₁強調画像、右：T₂強調画像。前立腺の内部構造は、CTに比べ相当よく表示されているが、T₁・T₂強調画像のそれぞれで非常に表現のされ方が違うことに注意。

は、上位 8 人の成績で 48.6% であり、経直腸の超音波断層法の 65.2% に比べて相当低かった。ただし、被膜を大きく越えた癌進展に対しては CT は有力な武器であり、被膜の微細な変化しかとらえられない超音波を補うことができる。

これに対し、MRI は有力な前立腺の画像診断法である。とくに任意の断面の断層像が得られる点は大きな特長で、経直腸の超音波断層法では不可能な前額面断面では、前立腺とその下部の括約筋群との関係がわかる。

本法では周知のように、繰り返し時間とエコー時間を変化させることにより、種々の階調の断層像が示される。通常は、繰り返し時間・エコー時間ともに短いいわゆる T_1 強調画像と、両者ともに長い T_2 強調画像とが、診断に供される。

前立腺の MRI では、 T_1 強調画像の場合、前立腺そのものと周囲脂肪組織、尿などとの対照が明瞭となり、 T_2 強調画像の場合、膀胱と前立腺との境界や、前立腺内部の構造、前立腺周囲の静脈叢などが観察されやすいといわれる⁹³⁾。しかし実際は、両者の画像を同時に見比べながら、種々の所見を読むのが一般的である。

前立腺内に限局した癌巣も、ある程度示すことができる(図 8)。しかし、経直腸の超音波断層法における hypoechoic lesion のような繊細な所見ではなく、かなり粗大な変化である。このほか、経直腸的超音波断層法と同じように、左右対称性・辺縁の不整などが、癌の診断の根拠となる⁹⁴⁾。肥大症と癌との鑑別は、症例によっては可能であるが⁹⁴⁾、癌の所見も特異的ではなく、

画像上の濃度の違いや緩和時間などのパラメータの変化によって良性・悪性を区別することは不可能というのが、現在までの最大公約数の意見である⁹³⁾。

最近では、surface coil を併用することによって、単純な MRI 像よりかなり解像度のよい前立腺の画像が得られることがわかってきた⁹⁵⁾。実際、この方法で上手に撮られた写真には、相当説得性のある前立腺の内部構造が表示されており、経直腸的超音波断層法に比肩しうる情報量がある。MRI は、装置が高価で検査に時間がかかる欠点はあるものの、将来の発展が期待される。

図 9 O-15CO 吸入後の定常状態における前立腺部 PET 像。水平面断面、CO は赤血球にとりこまれるので、左右の大腿動・静脈および Santorini 静脈叢が描出されている。

図10 O-15CO₂を持続吸入させて平衡状態に達した時の PET 像。CO₂は肺で H₂O に変換されるので、H₂O の image をみている。PET 像で hot に描出されているのが前立腺である。それに対応する同じレベルの X 線 CT 像を右側に並べて示した。

V. PET

Positron Emission Tomography (PET) は、ポジトロン崩壊核種で標識した薬剤を人体に投与して、その体内分布を体外から断層像として描出する新しい画像診断法で、生体内での生理的・生化学的情報を定位的に知ることができるので、現在大いに注目を集めている。しかし、一般にポジトロン崩壊核種の半減期は非常に短時間なので、自施設内にサイクロトロンを設置して、核種をその都度製造する必要がある。したがって、大規模かつ高額な設備となるので、我が国でもまだ数カ所で稼動しているにすぎない。

PET の研究は、1960年代後半から始められ、まず Jones ら⁹⁶⁾ (1976, O-15CO₂を用いた) および Phelps ら⁹⁷⁾ (1977, N-13NH₃を用いた) によって脳血流量が測定された。さらに Schelbert ら⁹⁸⁾ (1979, N-13NH₃使用) は心筋のイメージングを行い、これまでのところ、この脳と心臓への応用が主な研究領域である。

当教室稲葉ら⁹⁹⁾は、京都市西陣病院に設置されている装置を用い、1979年に初めて PET を腎に應用して、O-15H₂O により人体の腎血流量を測定するのに成功した。続いて現在、前立腺血流量の測定に努力を傾けており、何とか実用化のめどがついたところである。ここでは、その未発表の hot なデータの一部をお示しする。

方法は、O-15CO₂(約30mCi)の1回吸入法によった。吸入後、5秒スキャンを連続12回、30秒スキャンを8回行い、同時に肘動脈より連続的に採血して、その放射能をガンマシンチレーションカウンターで測定した。One compartment model を用いた解析を行い、血流量と水の分布容積を計算した。

図9には、別の例として O-15CO を吸入させ、血液の分布をみた際の定常状態における PET 像を示した。左右の大腿動静脈および Santorini 静脈叢が描出されている。図10は、血流量をみるために O-15CO₂を持続吸入させて平衡状態に達した時の、肺で CO₂から変換された H₂O の PET 像と、それに対応する同じレベルの X 線 CT 像である。PET 像で hot に描出されているのが前立腺である。

表4に、正常4例、前立腺肥大症6例、進行前立腺癌4例、計14例における、前立腺血流量と水の分布容積の計算結果を示した。3者の血流量は、それぞれ 11.7 ± 4.7 , 17.7 ± 5.2 , 33.3 ± 9.4 ml/min/100g であった。癌と他群の間に有意差が認められ、癌の血流量は大きかった。正常前立腺と肥大症との間には、有意差

表4 PET による前立腺血流量と水の分布容積

症例	診断	年齢	血流量 (ml/m/100g)	水の分布容積
1	正常	56	7.8	0.63
2	正常	75	8.8	0.56
3	正常	80	12.0	0.43
4	正常	61	18.2	0.31
5	肥大症	75	10.8	0.56
6	肥大症	63	14.5	0.68
7	肥大症	78	16.5	0.59
8	肥大症	58	16.9	0.69
9	肥大症	76	23.3	0.60
10	肥大症	84	24.2	0.62
11	癌	83	20.0	0.63
12	癌	54	33.5	0.66
13	癌	62	39.7	0.66
14	癌	81	40.1	0.55

がなかった。また、水の分布容積は0.31~0.69の範囲に分布したが、いずれもほとんど一定の値であった。

本法によれば、無侵襲に臨床的に前立腺血流量が容易に測定でき、しかも癌では血流量に差がありそうなので、診断や monitoring にきわめて有用な情報が提供される可能性が強い。さらに症例を重ねて検討を加え、新しい前立腺の画像診断法としての地位を確立させたい。

VI. 結 語

1967年、初めて前立腺の断層像がブラウン管に映じるのを目にした時、私は目の前がバラ色に輝くのを覚えた¹⁰⁰⁾。その7年後の総説⁹⁾には、将来考えられる経直腸的超音波断層法の応用として、診断, staging, 計測, screening, 他臓器への利用などが挙げてあり、これまでにそのいずれもが実現した。しかしその時には、超音波穿刺術や超音波ドプラの応用などは、およそ予想することさえできなかった。この20年間を振り返るとき、現代の技術の進歩の速さには、ただ驚くばかりである。今から20年後に書かれる前立腺画像診断の総説には、いったいどんな新技術が登場しているだろうか。

ただこの20年間の研究の流れをみると、あるひとつの大きな傾向があることに気づく。それは、純粋な形態学に始まった前立腺の画像診断が、次第に機能の追求の色彩を帯びつつあることである。カラードプラ断層法や PET の出現が、それを如実に示している。

形態学は、形態に留まっているだけでは、いわば生命のない学問である。形態から機能を知ってこそ、あるいは機能を意識しつつ形態を眺めてこそ、形態学の意義が生じてくる。これからの前立腺画像診断は、よ

り一層機能の探求に向かって進まねばなるまい。

それとともに、画像診断は文字どおり診断のための道具ではあるが、そこから一步踏みこんで、前立腺の生理学、すなわち前立腺とはいったい何なのか、前立腺が人体において、あるいは一生において占めている意義は何処にあるのかといった、もっと普遍的恒常的な疑問に対してどう応えられるか—これが画像診断に課せられるつぎの大きな命題であろう。すでに超音波で得られつつあるいくつかの前立腺生理学に関する新見解は、いわばそのシーズである。

最後に、経直腸的超音波断層法の研究を通じて大変お世話になった、諸先輩や教室員の皆さん方に、この機会を借りてあつく御礼申しあげる。

文 献

- 1) 渡辺 決, 加藤弘彰, 加藤哲郎, 森田昌良, 田中元直, 寺沢良夫: 超音波断層法による前立腺診断. 日泌尿会誌, 59, 273—279, 1968.
- 2) Watanabe, H., Kaiho H., Tanaka, M. and Terasawa, Y.: Diagnostic application of ultrasonotomography to the prostate. Invest. Urol., 8, 548—559, 1971.
- 3) Wild, J.J. and Reid, J.M.: Progress in techniques of soft tissue examination by 15MC pulsed ultrasound. in Ultrasound in Biology and Medicine, p. 30—48, American Institute of Biological Sciences, Washington, D.C., 1957.
- 4) Takahashi, H. and Ouchi, T.: The ultrasonic diagnosis in the field of urology —On the diagnosis of prostate disease—. Proc. 3rd Meeting Jpn. Soc. Ultrasonics Med., 7, 1963.
- 5) Gotoh, K. and Nishi, M.: Ultrasonic diagnosis of prostatic cancer. Act. Urol. Jpn., 11, 87—89, 1965.
- 6) Takahashi, H. and Ouchi, T.: The ultrasonic diagnosis in the field of urology (The 2nd report) —On the diagnosis of prostate disease —. Proc. 4th Meeting Jpn. Soc. Ultrasonics Med., 35—37, 1964.
- 7) 田中元直, 菊池喜充: 凹面振動子の超音波断層像に及ぼす効果. 医用電子と生体工学, 5, 352—363, 1967.
- 8) Waterhouse, R.L. and Resnick, M.I.: The use of transrectal prostatic ultrasonography in the evaluation of patients with prostatic carcinoma. J. Urol., 141, 233—239, 1989.
- 9) 渡辺 決: 経直腸的超音波断層法の開発と応用. 日泌尿会誌, 65, 613—632, 1974.
- 10) Watanabe, H., Igari, D., Tanahashi, Y., Harada, K. and Saitoh, M.: Development and application of new equipment for transrectal ultrasonography. J. Clin. Ultrasound., 2, 91—98, 1974.
- 11) Watanabe, H., Igari, D., Tanahashi, Y., Harada, K. and Saitoh, M.: Transrectal ultrasonotomography of the prostate. J. Urol., 114, 734—739, 1975.
- 12) King, W.W., Wilkiemeyer, R.M., Boyce, W.H. and McKinney, W.M.: Current status of prostatic echography. J. Am. Med. Assoc., 226, 444—447, 1973.
- 13) Resnick, M.I., Willard, J.W. and Boyce, W.H.: Recent progress in ultrasonography of the bladder and prostate. J. Urol., 117, 444—446, 1977.
- 14) Hallemans, E., Declercq, G. and Denis, L.: Transrectal ultrasonotomography. Eur. Urol., 3, 37—40, 1977.
- 15) Lerski, R.A., Barnett, E. and Morley, P.: Ultrasound equipment for intra-rectal imaging of the prostate. Brit. J. Radiol., 52, 225—231, 1979.
- 16) Lee, F., Gray, J.M., McLeary, R.D., Meadows, T.R., Kumasaka, G.H., Borlaza, G.S., Straub, W.H., Lee, F.Jr., Solomon, M.H., McHugh, T.A. and Wolf, R.M.: Transrectal ultrasound in the diagnosis of prostate cancer: Location, echogenicity, histopathology, and staging. Prostate, 7, 117—129, 1985.
- 17) Watanabe, H., Date, S., Ohe, H., Saitoh, M. and Tanaka, S.: A survey of 3,000 examinations by transrectal ultrasonotomography. Prostate, 1, 271—278, 1980.
- 18) 関根英明, 岡 薫, 竹原靖明: リニア電子スキャンによる経直腸前立腺縦断層法. 臨泌, 34, 1079—1084, 1980.
- 19) Watanabe, H.: Instrumentation in Prostatic ultrasonography. in Prostatic Ultrasonography, p. 17—23, B.C. Decker, Inc., Philadelphia, 1990.
- 20) 渡辺 決, 大江 宏, 斉藤雅人, 板倉康啓, 宮下浩明, 稲葉 正, 大西克実, 阿部昌弘: 京都府立医科大学で行った経直腸的超音波断層法10,000件の統計的観察. 日超医論文集, 47, 921—922, 1985.
- 21) 大江 宏, 内田 陸, 渡辺 決: 経直腸的超音波断層法により直腸膀胱瘻をきたした悪性リンパ腫の1例. 日超医論文集, 56, 449—450, 1990.
- 22) 渡辺 決(研究代表者): 超音波とCTを用いた泌尿器科領域における新しい診断情報の解明に関する研究. 昭和58年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 1984.
- 23) 日本超音波医学会医用超音波診断基準に関する委員会: 泌尿器科の超音波診断基準案公示のお知らせ. 超音波医学, 12, 178—181, 1985.

- 24) 宮下浩明, 板倉康啓, 大西克実, 大江 宏, 渡辺 決: 前立腺癌の超音波診断(第11報)—前立腺癌の内部エコー像一. 日超医論文集, 49, 263—264, 1986.
- 25) Carter, H.B., Hamper, U.M., Sheth, S., Sanders, R.C., Epstein, J.I. and Walsh, P.C.: Evaluation of transrectal ultrasound in the early detection of prostate cancer. *J. Urol.*, 142, 1008—1010, 1989.
- 26) Drago, J.R. and Badalament, R.A.: Prostate cancer: Early detection and screening. in *Prostatic Ultrasonography*. p. 103—112, B.C. Decker Inc., Philadelphia, 1990.
- 27) 渡辺 決, 大江 宏: 前立腺集検の問題点と今後の方向. *Karkinos*, 2, 1009—1014, 1989.
- 28) 渡辺 決, 大江 宏, 棚橋善克, 寺田為義, 原田一哉, 中村昌平, 吉田英機, 沢村良勝, 杉山義樹, 神林知幸, 秋山隆弘, 天野正道: 経直腸の超音波断層法およびX線CTにおける前立腺疾患の診断能に関する検討. 日泌尿会誌, 79, 1202—1209, 1988.
- 29) 渡辺 決, 中川修一, 大西克実, 大江 宏, 小島宗門, 齊藤雅人, 内田 睦: 前立腺肥大症の新しい考え方—その病態生理から治療まで—. *Inner-vision*, 5, 9—33, 1990.
- 30) Watanabe, H.: Natural history of benign prostatic hypertrophy. *Ultrasound Med. Biol.*, 127 567—571, 1986.
- 31) 大西克実: 前立腺の物理的諸性質に関する実験的研究 第1報: 前立腺圧係数と仮想円面積比よりみた前立腺肥大症における排尿障害の病態. 日泌尿会誌, 77, 1377—1387, 1986.
- 32) 大江 宏, 齊藤雅人, 田中重喜, 板倉康啓, 渡辺 決: 前立腺肥大症の超音波診断(第2報)—前立腺肥大症の成り立ちと仮想円面積比—. 日超医論文集, 32, 121—122, 1977.
- 33) 田中重喜: 前立腺炎. 臨床超音波シリーズ7・泌尿器, p. 114—118, 南江堂, 東京, 1983.
- 34) 宮下浩明, 渡辺 決, 大江 宏, 金子 宏, 板倉康啓, 伊達成基, 田中重喜: 前立腺炎の超音波診断(第6報)—慢性前立腺炎超音波断層像の分類—. 日超医論文集, 44, 487—488, 1984.
- 35) 田中重喜, 稲葉 正, 伊達成基, 板倉康啓, 齊藤雅人, 大江 宏, 渡辺 決: 前立腺炎の超音波診断(第3報)—長期観察例の検討—. 日超医論文集, 35, 307—308, 1979.
- 36) Peeling, W.B. and Griffiths, G.J.: Imaging of the prostate by ultrasound. *J. Urol.*, 132, 217—224, 1984.
- 37) 大西克実, 田中稔之, 渡辺 真, 川瀬義夫, 速水久嗣, 宮下浩明, 大江 宏, 渡辺 決: 前立腺炎の超音波診断(第7報)—経直腸のカラードブラ断層法よりみた前立腺炎の検討—. 日超医論文集, 55, 747—748, 1989.
- 38) Watanabe, H.: A staging system employed in Japan. in *Clinical Aspects of Prostate Cancer*, p. 93—99, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1989.
- 39) Scardino, P.T., Shinohara, K., Wheeler, T.M., Cantini, M. and Fujino, A.: Staging of prostate cancer. *Urol. Clin. North Am.*, 16, 713—734, 1989.
- 40) Pontes, J.E., Eisenkraft, S., Watanabe, H., Ohe, H., Saitoh, M. and Murphy, G.P.: Preoperative evaluation of localized prostatic carcinoma by transrectal ultrasonography. *J. Urol.*, 134, 289—291, 1985.
- 41) Watanabe, H.: The Japanese staging system. in *Diagnostic Ultrasound of the Prostate*, p. 4—12, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1989.
- 42) 渡辺 決, 大江 宏: 前立腺癌浸潤度判定における経直腸の超音波断層法およびX線CTの診断能に関する検討. 日超医論文集, 55, 751—752, 1989.
- 43) Watanabe, H., Igari, D., Tanahashi, Y., Harada, K. and Saitoh, M.: Measurements of size and weight of prostate by means of transrectal ultrasonotomography. *Tohoku J. Exp. Med.*, 114, 277—285, 1974.
- 44) 渡辺 決, 猪狩大陸, 海法裕男, 棚橋善克, 原田一哉, 齊藤雅人: 超音波断層法による前立腺計測. 西日泌尿, 37, 222—232, 1975.
- 45) 渡辺 決, 猪狩大陸, 海法裕男, 棚橋善克, 原田一哉, 齊藤雅人: 超音波断層法よりみた前立腺の大きさに関する触診とThumann計測の信頼性. 臨泌, 29, 313—318, 1975.
- 46) 森 康行: 正常前立腺の超音波計測. 日泌尿会誌, 73, 767—781, 1982.
- 47) 大江 宏: 前立腺の kinetics と urodynamics. 日本泌尿器科学会第73回総会特別講演, 1985年4月6日, 日本都市センター, 東京.
- 48) Watanabe, H., Ohe, H., Ando, K., Sawamura, Y., Nijima, T., Nakamura, S., Orikasa, S., Tanahashi, Y., Imamura, K. and Yoshida, H.: The effect of estramustine phosphate on prostatic cancer estimated by transrectal ultrasonotomography. *Prostate*, 2, 155—161, 1981.
- 49) Kojima, M., Watanabe, H., Ohe, H., Miyashita, H. and Inaba, T.: Kinetic evaluation of the effect of LHRH analog on prostatic cancer using transrectal ultrasonotomography. *Prostate*, 10, 11—17, 1987.
- 50) Ohe, H., Ohnishi, K., Watanabe, H., Itakura, Y. and Inaba, T.: Accuracy of digital palpation

- for size assessment of the prostate evaluated by transrectal sonography. *Tohoku J. Exp. Med.*, 154, 323—328, 1988.
- 51) Ohe, H. and Watanabe, H.: Kinetic analysis of prostatic volume in treating prostatic cancer and its predictability for prognosis. *Cancer*, 62, 2325—2329, 1988.
 - 52) Watanabe, H., Saitoh, M., Mishina, T., Igari, D., Tanahashi, Y., Harada, K. and Hisamichi, S.: Mass screening program for prostatic diseases with transrectal ultrasonotomography. *J. Urol.*, 117, 746—748, 1977.
 - 53) Watanabe, H., Ohe H., Inaba, T., Itakura, Y., Saitoh, M. and Nakao, M.: A mobile mass screening unit for prostatic disease. *Prostate*, 5, 559—565, 1984.
 - 54) 渡辺 決, 橋本哲也: 前立腺癌早期診断と集団検診. *医学のあゆみ*, 155, 31—34, 1990.
 - 55) 渡辺 決: 癌の第二次予防. *Oncologia*, 12, 54—68, 1985.
 - 56) 中尾昌宏, 渡辺 決: 前立腺疾患の国家社会的損失と集団検診の経済的効果. *泌尿紀要*, 33, 1542—1546, 1987.
 - 57) Watanabe, H.: Screening for prostatic cancer in Japan. in EORTC Genitourinary Group Monograph 5: Progress and Controversies in Oncological Urology II, p. 99—107, Alan R. Liss, Inc., New York, 1988.
 - 58) American Urological Association: The AUA's-current policy on the role of transrectal ultrasonography in the early diagnosis of cancer of the prostate. A.U.A. Today (Urology's Clinical, Research & Socioeconomic Newspaper), 2 (No. 2), 5, 1989.
 - 59) Lee, F., Littrup, P.J., Torp-Pedersen, S.T., Mettlin, C., McHugh, T.A., Gray, J.M., Kumasaoka, G.H. and McLeary, R.D.: Prostate cancer: comparison of transrectal US and digital rectal examination for screening. *Radiology*, 168, 389—394, 1988.
 - 60) Ragde, H., Bagley, C.M. Jr., Aldape, H.C. and Blasko, J.C.: Prostate cancer screening with high resolution transrectal ultrasound. *J. Endourology*, 3, 115—123, 1989.
 - 61) Cooner, W.H., Mosley, M.R., Rutherford, C.L. Jr., Beard, J.H., Pond, H.S., Terry, W.J. Igel, T. C. and Kidd, D.D.: Prostate cancer detection in a clinical urological practice by ultrasonography, digital rectal examination and prostate specific antigen. *J. Urol.*, 143, 1146—1154, 1990.
 - 62) 渡辺 決: 序に代えて. 超音波穿刺術, p. v-viii, テクノ, 東京, 1979.
 - 63) Holm, H.H. and Kristensen J.K., eds.: Ultrasonically Guided Puncture Technique. Munksgaard, Copenhagen, 1980.
 - 64) Saitoh, M., Watanabe, H. and Ohe, H.: Ultrasonically guided puncture for the prostate and seminal vesicles with transrectal real-time linear scanner. *J. Kyoto Pref. Univ. Med.*, 90, 47—53, 1981.
 - 65) Holm, H.H. and Gammelgaard, J.: Ultrasonically guided precise needle placement in the prostate and the seminal vesicles. *J. Urol.*, 125, 385—387, 1981.
 - 66) Abe, M., Hashimoto, T., Matsuda, T., Saitoh, M. and Watanabe, H.: Prostatic biopsy guided by transrectal ultrasonography using real-time linear scanner. *Urology*, 29, 567—569, 1987.
 - 67) Gerber, G. and Chodak, G.W.: Prostate cancer: Sonographically guided biopsy. in Prostatic Ultrasonography, p. 97—102, B.C. Decker Inc., Philadelphia, 1990.
 - 68) Watanabe, H.: Ultrasound in association with endoscopy. *Brit. Med. Bull.*, 42, 318—324, 1986.
 - 69) 田中重喜, 板倉康啓, 伊達成基, 稲葉 正: 前立腺炎の超音波診断(第4報)—前立腺内局所注射療法の試み—. *日超医論文集*, 36, 375—376, 1980.
 - 70) Holm, H.H., Juul, N., Pedersen, J.F., Hansen, H. and Strøyer, I.: Ansperineal ¹²⁵Iodine seed implantation in prostatic cancer guided by transrectal ultrasonography. *J. Urol.*, 130, 283—286, 1983.
 - 71) Tanahashi, Y., Watanabe, H., Igari, D., Harada, K. and Saitoh, M.: Volume estimation of the seminal vesicles by means of transrectal ultrasonotomography: A preliminary report. *Brit. J. Urol.*, 47, 695—702, 1975.
 - 72) 棚橋善克: 精囊. 泌尿器科超音波医学, p. 126—136, 金原出版, 東京, 1979.
 - 73) 稲葉 正, 大江 宏, 齊藤雅人, 田中重喜, 板倉康啓, 渡辺決: 血精液症患者における精のう・前立腺の超音波断層像. *日超医論文集*, 35, 317—318, 1979.
 - 74) Abe, M., Watanabe, H., Kojima, M., Saitoh, M. and Ohe, H.: Puncture of the seminal vesicles guided by a transrectal real-time linear scanner. *J. Clin. Ultrasound*, 17, 173—178, 1989.
 - 75) 阿部昌弘, 齊藤雅人, 稲葉 正, 伊達成基, 渡辺決: 泌尿器科領域における超音波穿刺術(第12報)—精囊穿刺による血精液症の検索—. *日超医論文集*, 45, 653—654, 1984.
 - 76) 高橋博元, 安藤 弘, 新島端夫, 渡辺 決, 編: 泌尿器科超音波医学, 金原出版, 東京, 1979.
 - 77) Watanabe, H., Holmes, J.H., Holm, H.H. and

- Goldberg, B. B., eds: Diagnostic Ultrasound in Urology and Nephrology, Igaku-Shoin, Tokyo, 1981.
- 78) 渡辺 決, 編: 臨床超音波シリーズ7・泌尿器, 南江堂, 東京, 1983.
- 79) Resnick, M.I. and Sanders, R.C., eds.: Ultrasound in Urology, Williams & Wilkins, Baltimore, 1979.
- 80) Rosenfield, A.T., ed.: Genitourinary Ultrasonography, Churchill Livingstone, New York, 1979.
- 81) Lee, F. and McLeary, R.D., eds: The Use of Transrectal Ultrasound in the Diagnosis and Management of Prostate Cancer, Alan R. Liss, Inc., New York, 1987.
- 82) Fornage, B.D.: Ultrasound of the Prostate, John Wiley & Sons, Chichester, 1988.
- 83) Resnick, M., Watanabe, H. and Karr, J.P., eds.: Diagnostic Ultrasound of the Prostate, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1989.
- 84) Resnick, M.I., ed.: Prostatic Ultrasonography, B.C. Decker, Philadelphia, 1990.
- 85) 渡辺 決, 和賀井敏夫, 竹原靖明, 編: 超音波穿刺術, テクノ, 東京, 1979.
- 86) Watanabe, H. and Makuuchi, M., eds.: Interventional Real-Time Ultrasound, Igaku-Shoin, Tokyo, 1985.
- 87) Holm, H.H. and Kristensen, J.K., eds.: Interventional Ultrasound, Munksgaard, Copenhagen, 1985.
- 88) Inaba, T., Watanabe, H., Ohe, H., Miyashita, H., Hayami, H. and Watanabe, M.: Non-invasive transgastric detection of ultrasonic Doppler signals from canine renal vessels. Tohoku J. Exp. Med., 153, 75-76, 1987.
- 89) 宮下浩明, 渡辺 決, 稲葉 正, 大西克実, 速水久嗣, 渡辺 真, 大江 宏: 前立腺診断に対する経直腸的カラードブラ法応用の試み. 日超医論文集, 50, 1013-1014, 1987.
- 90) 渡辺 真, 田中稔之, 大西克実, 速水久嗣, 大江 宏, 渡辺 決, 柳川 隆, 吉川憲明, 石山和文: 経直腸的 bi-plane 探触子によるカラードブラ断層法の試み. 日超医論文集, 57, 169-170, 1990.
- 91) 大西克実, 田中稔之, 渡辺 真, 川瀬義夫, 速水久嗣, 宮下浩明, 大江 宏, 渡辺 決: 前立腺炎の超音波診断(等7報)ー経直腸的カラードブラ断層法よりみた前立腺炎の検討ー. 日超医論文集, 55, 747-748, 1989.
- 92) 大西克実, 沖原宏治, 田中稔之, 渡辺 真, 速水久嗣, 大江 宏, 渡辺 決: 経直腸的カラードブラ断層法を用いた男子正常小骨盤腔内血流マッピング. 日超医論文集, 56, 427-428, 1990.
- 93) Dooms, G.C. and Hricak, H.: Magnetic resonance imaging of the pelvis: Prostate and urinary bladder. Urol. Radiol., 8, 156-165, 1986.
- 94) 藤原恭一郎, 井坂茂果, 島崎 淳: 前立腺癌と肥大症の MRI 診断. 日泌尿会誌, 80, 1336-1342, 1989.
- 95) Pollack, H.: Open discussion: Monitoring response to therapy. in Diagnostic Ultrasound of the Prostate, p. 188, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1989.
- 96) Jones, T., Chester, D.A. and Ter-Pogossian, M. M.: The continuous inhalation of oxygen-15 for assessing regional oxygen extraction in the brain of man. Brit. J. Radiol., 49, 339-343, 1976.
- 97) Phelps, M.E., Hoffman, E.J. and Raybaud, C.: Factors which affect cerebral uptake and retention of $^{15}\text{NH}_3$. Stroke, 7, 694-702, 1977.
- 98) Schelbert, H., Gould, L., Wisenberg, G., Marshall, R., Phelps, M. and Hoffman, E.: N-13 ammonia and positron emission computerized axial tomography for the assessment of coronary artery disease in man. J. Nucl. Med., 20, 604, 1979.
- 99) Inaba, T., Yamashita, M., Kawase, Y., Nakahashi, H. and Watanabe, H.: Quantitative measurement of renal plasma flow by positron emission tomography with oxygen-15 water. Tohoku J. Exp. Med., 159, 283-289, 1989.
- 100) 渡辺 決: 私と ME, スズケンメディカル, 6(No. 4), 70-73, 1983.