

04.

泌尿器

年表（泌尿器）

年 号	研究課題	研究内容
1955年	PPIによる体腔内走査のアイデア（Wild,J.J & Reid,J.M.）	PPIによる体腔内走査の最初のアイデアと試み
1963年	経直腸的PPIによる前立腺描出の試み（高橋・大内）	前立腺を描出しようという国内最初の試みだったが，平面振動子を使用していたため，近距離音場の影響で，前立腺の明瞭な描出には課題があった．
1968年	凹面振動子を用いた経直腸的超音波断層法（渡辺・海法）	菊地喜充の開発した凹面振動子でフォーカシングをおこなっているため，前立腺，精嚢，膀胱の形態を明瞭に描出することが可能となった．ただし，輪郭は明瞭だが，内部の微細構造は描出不可能であり，また脱気水をゴムカフ内に注入する水浸法をもちいていたため，気泡の混入による検査時間の長さが問題だった．
1972年	座位による経直腸的走査（棚橋）	棚橋は患者を仰臥位ではなく，座位にすることにより，気泡の問題を解決し，検査時間の短縮，計測精度の向上を計った．
1977年	経直腸的超音波のグレースケール化（原田）	原田は，ログアンプを用いた階調性表示（グレースケール）化をはかり，前立腺癌の好発部位である前立腺直腸面の早期癌の発見におおきな力となった．
1979年	経直腸的超音波ガイド下の前立腺生検の試み（原田）	このアイデアは，経直腸的超音波プローブの電子化とともに実用化され，前立腺癌生検になくてはならない必須手段となっている．
	超音波穿刺術（斉藤）	斉藤は，超音波ガイド下の穿刺に積極的にとりくみ，腎実質の安全・確実な穿刺生検法の開発は，腎内科領域でもひろく応用されている．また，斉藤は，同様の方法で，腎杯腎盂に直接ルートを穿ち，このルートを通して，上部尿路結石を摘出するPNLを開発した．
1982年	Fine needle 法による安全・確実な内視鏡的腎・尿管結石の摘出術（棚橋・千葉）	棚橋・千葉は，穿刺針，砕石器具，内視鏡など，経皮的尿管結石摘出術を総合システムとして開発した．21Gの穿刺針から腎瘻を作成し，16Frの内視鏡を用いて腎結石を破碎・摘出する方法である．
2005年	HIFU（高密度収束超音波）の開発	内田らは，超音波エネルギーを前立腺の治療に用いるための研究を進め，当初は前立腺肥大症に，のちには前立腺癌の治療に応用している．その泌尿器科領域（前立腺疾患）での臨床的意義については未だ結論はでていないが，同様な方法が，婦人科領域でも試みられるようになっている．

04.

泌尿器

1968年： 経直腸的超音波断層法について

海法 裕男

経直腸的超音波断層法について書けとのことですが、当時から42～44年経過していることと、よわい77歳を越えたこと等で、記憶がさだかでなく、あとさきも少し違うかもしれませんが、思いつくままに書いてみますのでお許し下さい。

私の超音波への最初の出会いは1968年、田中元直先生の教室でした。高さ2m巾1m奥行1m位の枠組みに、露出した真空管が並んで立ち、使用時に真空管を冷やすための扇風機がまわり、正面にパッカード社製の丸く大きな電磁偏光のブラウン管がついた大きな機器でした。食道用に試作されたトランスジューサーを肛門から挿入して試用したところ、奇跡的に前立腺が描出され、のち再現がむずかしかったのを、恒常的に描出できる様にする目的で田中元直先生の教室で機器を使わせていただき御指導をいただくためでした。

当時前立腺の描出はx-pでは撮れず、前立腺は血管分布が少ないので血管造影でも全体像の描出は出来ませんでした。前立腺の大きさは、指診と称して肛門から（指囊をつけて）指を入れて、触れる範囲から大きさ想定をしていました。私ごとですが私は他の方より少し指が短く、指を肛門から挿入した場合前立腺奥行きは2/3位しか触れられず、大きさの想定が大変でしたので、超音波で前立腺が描出できるのならと、渡りに舟とわくわくしながら研究に飛びついた次第です。

再現のためにまず、前立腺側の直腸壁と振動子の間に空気が入ることが問題で、これは振動子にコンドームを被せて水を入れること（水浸法）で、一応安定した描出が可能になりました。余談です

がコンドーム選びのため数種のコンドームを多数購入し、奇異の目でみられ恥ずかしかった思い出があります。以外なことに当時新発売で人気のあったスキンレススキン等上等なものよりゴム壁厚の古いタイプの安価なものが、変化のある直腸壁でその変化どおりに変形することなく独自にふくらみ、間に水を入れるので良かった記憶があります。

次に当時は婦人科の診察台と同じ診察台で載石位でトランスジューサーを挿入していました。振動子と被せたコンドームの間に入れた水に気泡が発生し、載石位のため前立腺が振動子の上部に位置し、丁度前立腺の画像をさまたげる位置に気泡が鎮座して多重反射を起こすため、何とかならないものかと、「脱気水」と称して水をまる一日沸騰させ、37度（体温）まで冷まして使用する等、気泡対策に苦勞していました。それがなんとコロンプスの卵でして、2年度後輩の棚橋善克先生が泌尿器科教室に入局してきて、当時の長いトランスジューサーを縦に入れるための、椅子の座に穴のあいた2m位の高い高い椅子を考案してくれ、載石位での欠点（横位にすると気泡は前立腺の前に来ず回避できるのですが、いつでも同じ画像が得難く載石位に固執してました）が、トランスジューサーを縦にいったため、普通の水で気泡が出来ても上方に行き、前立腺が振動子の横に位置することになり、一気に解決しました。気泡での一年半の苦勞が一瞬で水泡に帰りました。（トランスジューサーを短くして、椅子式の前立腺診断装置の土台になりました。）

一方ブラウン管に大きさを表示するためには前立腺組織の比重が必要でした。比重により音速が算出され正しい大きさが表示できます。前立腺摘出手術のある度ごとに、工学部の菊池喜充先生の教室の恒温装のスイッチを朝早く入れておいていただき、摘出したばかりの前立腺を直ちに手術室から2km離れた工学部に運び、比重を測定してもらい前立腺組織の平均比重を算出しました。これにより大きさが表示できました。

また、当初使用しているトランスジューサーに付いている振動子が平面振動子で、周波数は2.25MHzでした。ブラウン管に表示すると、裾引きの中が大分あり、特に斜めに超音波があたる処で、立ち上がり測るのか中間点を測るのかで誤差が大きく、それを避けるために半径6.3cmの球面振動子に改良してもらい、また、3.5MHzのタップ（5MHzを使いたかったのですが、振動子の直径が小さいため5MHzだと、当時アウトプットが少なく減衰が影響するため）を出してもらって大分改善しました。（焦点の関係から放物線を回転して出来る回転放物面が理想的でしたが、費用・採算等で無理と言われ諦めました。）

再現ということで、いつでも同じ断面が再現できなければ比較も出来ず、よって万人共通の指標が必要でした。前立腺が骨盤腔にあるということで、骨盤位の横断面がほしかった処（今ならCTがありますが）、骨盤腔横断面の解剖標本がたまたま横浜になり、学生時代に教えていただいた東北大助教授だった市川先生が教授になっておら

れ、骨盤位の横断面スライスの写真をいただき、骨盤位の指標にすることが出来て解決しました。

思い出すと同じ場所の画像を得て比較することによって、前立腺癌の前後径／左右径が1より大きいのか多いとか、輪切りの像の辺縁に凹凸が癌に多くみられるとか、感度断層法と称してSTCを使いレンジ・レベル・カーブを操作して癌・炎症・結石の区別をつけようとか、なんやかんや試行錯誤していました。

いずれにしてもすぐあとに電磁偏光ブラウン管が静電偏光ブラウン管になって（感度断層の情報は失われたものの）大きさ計測はより正確になり、アウトプットが得られる様になったことから、小さな振動子でも5MHzを使いこまかい画像が得られる様になり、また、あらゆる所が改良され、40余年前とは隔世の感があります。それに加えてCTの出現で、前立腺描出が格段の差できれいに出る様になりました。遠い昔の記憶を辿る時、私のやっていたことは一体なんだったんだろうかと、考えさせられます。ちなみに私の博士論文は「経直腸的超音波断層法による前立腺形態計測の意義」でした。

今言えることは、指導教官だった宍戸仙太郎教授・実際に御指導いただいた田中元直教授・その他多くの先生方・技術者の方々にお世話になり支えられ、今日があるということだと思います。

思い起こすと、私にとって懐かしい・楽しい・楽しい時代でした。今になって昔の楽しい時代に帰るのは 夢のまた夢ですかね？

04.

泌尿器

1972年：ゴムカフを買いに走った頃 / 水平思考から垂直思考へ

棚橋 善克

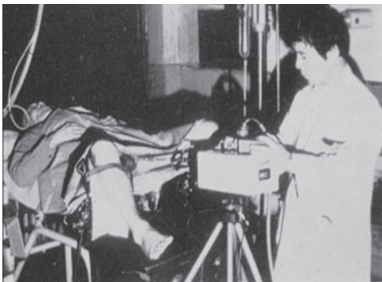
(棚橋よしかつ+泌尿器科)

心臓超音波の田中元直先生が、経食道の超音波プローブを作った。それまでの心拍同期のセクタ走査から、犬を用いた実験ではリアルタイムの断層像が描出できるようになったが、先端部直径が14mmもあり、しかも屈曲しない硬性の長い探触子を、首をそっくり帰して飲み込める患者さんはそうざらにはいない。結局、そのプローブは実験室の片隅で眠っていた。それに目をつけたのが、渡邊 決先生。上の口からではなく、下の口（肛門）からなら、なんとかなるだろう。まさに発想の逆転です（図1-①）。

この装置で前立腺の映像を得ようと、部下の海法裕男先生が日夜努力され、各種前立腺疾患での特徴的な超音波像を得て博士号をものにした。このころは、電子走査方式が実用化する遙か前の時代で、腹部領域ではまともな超音波画像など得ら

れなかったから、生体内画像を安定的に得られる経直腸的走査は、当時としては圧倒的に優れた方法であった。しかし、海法先生の日夜を分かたないその努力の大半は意外なところ、すなわち検査の準備段階あるいは検査を途中で中断せざるを得ないという問題による時間のロスで、本質的なところでのロスではなかった。

そのころ、泌尿器科に入局した私は、この隘路を解決する策の提案を指示された。その問題点とは、仰臥位で行っていたので振動子の前面に気泡が混入し、超音波ビームを遮ることによる多重反射であり、その部の映像が欠落することになる。それを防ぐため、ガスコンロにヤカンをかけて煮沸させ、脱気水を作る。先端部にゴムカフ（コンドーム）を装着したプローブを肛門をへて直腸内に挿入。用意した脱気水を注入して、ゴムカフを



①仰臥位での検査風景



②座位の実験装置



③市販装置

図1. 経直腸的超音波断層法（TR-US） 仰臥位から座位へ

ふくらませて検査を始める。単振動子のPPI（ラジアル走査）だったので、近距離音場の影響を排除するため、振動子と対象の間に水で距離を保つ必要があったのである。ここまでの過程で、ほぼ1時間を要していた。しかし、検査をはじめると程なくして、どこからともなく気泡が出現し、多重反射というアーチファクトを生じる。やむなく、プローブをいったん直腸から引き抜き、気泡を取り除く作業を行う。再度、プローブを直腸に挿入し、検査を始める。したがって、検査時間も1時間ほどかかることになる。これをやる医師も大変だが、患者さんは何回もプローブを出し入れされてももっとかわいそうだった。準備も入れた検査時間は2時間程度はかかることになる。これは、医師の報酬の安い日本だからできた研究かもしれない。

やがて患者数も増え、患者さん一人につき2時間の検査時間は問題となっていた。そこで、小生が、渡邊先生の厳命をうけ、この気泡の問題を解決させる方法を考えることになった。

この実験的研究をやっている、とてもいやなことがあった。それは、一番下っ端の私が、ゴムカフ（コンドーム）を買いに行く役目を負っていたことだった。大学病院の前の薬局に行くのだが、何ダースかまとめて買うので、店員が“うさんくさい”目で見える。何軒かの薬局を渡り歩いて、一件あたりの購買の間隔が長くなるように工夫するのだが、それにしても異常な消費量だ。お店の人は、「まあ、こんなに細っこい体なのに、お元気な人だこと!」と思っても、まさか研究目的とは思わないから、「何にお使いになるのですか?」とは聞いてくれない。そうだ、研究のため買っていることが分かるようにすればよいと気づき、白衣を着て買いに行くようにした。お店の方は少し安心したようにも見受けられたが、まだすっかり疑いの目が消えたわけではない。そこで、ポケットマネーで買っていたので、本当は必要もなかった領収書を書いてもらうことにした。そうすると、不思議なことに、お店の人の雰囲気が変わり、安

心してゴムカフを大量消費できるようになった。考えれば知恵がわいてくるものである。研究も大いに進んだ。

さて、どんなに周到に準備をしても、検査中に気泡は発生する。いったん取り除けたとしても、かならず再発生する。界面活性剤をいれてもだめだった。そうだ、気泡をとり除こうとしても無理なら、気泡と共存すればいいだろうと、発想の転換をはかった。気泡はかならず上にいくから、気泡の位置を超音波ビームと交わらないようにすればよい。気泡がゴムカフの最上部に位置すればよいのだ。そのためには、患者さんを座らせればよいのだ。しかし、経食道用プローブは全長70cmもある。これを直腸に安定的に挿入するために、座面の高さ120cmの椅子（木製の槽）をつくり、スキャナーを取り付けた。病院の大王さんに5000円を渡して作ってもらったものである（図1-②）。みごと、気泡の影響なく、多重反射のない超音波画像が安定的に取得できる。そこで、多くの患者さんに実験台となるのをがまんしてもらって、直腸に入れる深さや角度を計測し、座位による経直腸的走査専用装置をつくるためのデータを集めた。研究に協力してくれたほとんどの患者さんが好意的で、「いやあ、けっこうたいへんだけど、しっかり研究すればいいものになるんじゃない」などと、はげまされたものだ。周囲からは、当時はやっていた“エドワード・デ・ボノ”の水平思考をもじって、まさに「水平思考から垂直思考だね」とほめられた。このようにして、経直腸的超音波は、準備段階も含めて15分ほどの検査に短縮され、プロトタイプ2機種を経て、製品版（図1-③）が世界中で使われるようになった。やがて、同じ装置が、産婦人科の経膣走査にも応用されるようになり、世の男女、分け隔てなく、体腔内走査が広まることとなったのである。

こうしてみると、いくつかのわれわれが陥りやすい隘路のパターンが浮かび上がってくる。

①医学は経験。先輩に教わった方法が全てと

錯覚し、それを疑うことすらしない。

- ②日本の泌尿器科医が、直腸にもものを入れるというときに頭に浮かぶ患者さんの体位は、仰臥位だった。それは、直腸に示指を挿入して前立腺を検査するときの体位が、仰臥位として教育を受けていたからだ。
- ③ヨーロッパの泌尿器科医なら同様の理由で、四つん這いの体位を選んでいたかもしれない。それであれば、気泡の問題は最初からなかったかもしれない。
- ④わたしも、水平がだめなら垂直でと考えたが、四つん這いとは思ってもよらなかった。いまこの文章を書いていて初めて気づいた。

そうだ、四つん這いでもよかったんじゃないかと。

- ⑤でも、座位による方法の利点は、気泡が邪魔にならないだけでなく、“意外に大きい”前立腺の呼吸移動やプローブを動かすことによる前立腺の移動の問題を最小限にいくとめる。やっぱり座位が正解だったんだと、今、再認識している。
- ⑥また、四つん這いの体位は、ヨーロッパの女性には受け入れがたいらしく、産婦人科での超音波診断もこんなに発達していなかったかもしれない。

04.

泌尿器

1977年：泌尿器科領域のグレースケール表示化の思い出

原田 一哉

経直腸体腔内走査による前立腺超音波断層法は、今や泌尿器科医にとって必須の検査法となっている。近年は腫瘍マーカーであるPSAの測定が健診に組み込まれるようになってから、癌疑いの症例が激増しており、その確定診断として行われる超音波ガイドの下生検が世界中で急速に普及している。

この経直腸的超音波断層法を世界で初めて実用化したのが、東北大学泌尿器科学教室の渡邊決講師（当時）の率いる超音波グループであった。私が東北大学を卒業してすぐ泌尿器科に入局したのが1972年。同郷の先輩である棚橋善克先生に誘われ、このグループに入るようになった。当時の腹壁からの前立腺像は何が写っているかわからない程情報量が乏しいものだったが、経直腸走査では前立腺の形、大きさ、対称性、内部エコー像などの判定から鑑別診断や体積の測定などが可能であった。入局当時は木製のヤグラのような高いイスに上向きにラジアル走査装置を取り付けたもので、下の方から肛門の位置を確かめながらプローブを挿入していくものだった。プローブ先端にはコンドームが被せてあり、ガートルから水を注入して直腸内でふくらますようになっていたが、たまに下から覗き込んでいる時にバルーンが破裂して顔に肛門から出てきた水を浴びることもあった。

その後は専用装置が完成し、本格的に検査が行われるようになった。とにかく他でやっていない検査法なので、やること為すことすべて超音波医学会に発表できるものであった。毎年グループ全

員が一題ずつ演題を用意して、遠足のように各地への学会旅行を楽しんだ時期がしばらく続いた。

しかし、やがて渡邊先生が京都府立医大の泌尿器科教授に就任され、他のメンバーも赴任や出張に行ってしまう、とうとう私一人で留守を預かるはめになってしまった。毎日外来や入院患者の検査で研究どころではない日々が続いていたがそんな状況の中、或る日幸運の女神が偶然舞い降りてきた。

その日は全く検査予定はなかったが、超音波検査室に何の気なしに足が向いた。すると中で誰かがいる気配がしてのぞいてみると、どういう訳かアロカの技術の人達が我々の使っている診断装置で何かのテストをしているところだった。それはこれまでの直線アンプの代わりに疑似対数アンプを入れて画質のデータをとっていたところで、説明によるとこれまでより階調性のある画質になるとのことだった。その対数アンプのこともよく理解できぬまま、とにかく前立腺で実際どういう画像になるのか少し試させてくれるように頼んだところ、しばらく貸してくれることになった。次に幸運だったのは最初の症例が典型的な肥大症の症例で、今まで見たこともないような内部構造が明瞭に描出され、Hutchの本にある前立腺肥大の横断組織像と瓜二つだったことである。これで自信を深め次々と他の症例でも試してみた。やがてアロカの新しい対数アンプも手に入り、さらに階調性の向上したいいわゆる“グレースケール”画像となった。

これらの成果は1977年の超音波医学会で「前

立腺経直腸的超音波診断像の階調表示」というタイトルで報告させてもらった。さらに1979年に宮崎で開催された第2回世界超音波医学会議とそれに先立って京都で行われたサテライトワークショップ（渡邊決教授主催）では、名だたる外国からの諸先生の前で初めてグレースケール表示での前立腺の各病態像を呈示したところ、驚きをもって迎えられ、最後には「ミスターグレースケール」という有難い名前まで頂戴した。

その後月日の流れとともに、電子走査化やディ

ジタル化によって診断装置や体腔内探触子も大きく進化した。解像度も階調性も向上した現在の画像では、もうわざわざグレースケールと呼ぶこともなくなってしまったが、初期のコントラストの強い on-off 画像から、我々の呈示したグレースケール表示への移行は大きな変革の糸口になったことは間違いなく、この歴史的転換点に立ち合えたことは大きな喜びであった。この道に導いて下さった渡邊先生、棚橋先生や諸先輩に深く感謝する次第である。

04.

泌尿器

1979年：泌尿器科領域における超音波穿刺術

齊藤 雅人

(齊藤医院)

これは記念誌なので、超音波穿刺術という用語がどのようにして決められたかをまず述べておく必要があるかと思う。以前日本超音波医学会では学術集会の他に、ある主題をもとに談話会という集会を開催していた。1978年の12月に「超音波穿刺術」という主題で日本超音波医学会第54回談話会が、当時の京都府立医科大学教授（泌尿器科学）であった渡邊決先生（現在同大学名誉教授）を会長として京都国際会館で開催された。このときに初めて、超音波穿刺術という言葉が発案され使用された。談話会を開催するにあたっては、主題を公表しなければならない訳であるが、それまでは超音波画像で穿刺針を誘導する技術の名称は、定まっていなかった。日本超音波医学会の談話会の主題になるということは、日本超音波医学会が将来この技術の名称を学会の用語として選定する際に、相当に重きを置かれることになるだろうことが予想された。そこで当時筆者も在籍していた京都府立医科大学泌尿器科学教室では、この談話会の主題すなわちこの技術の名称を慎重に議論し、「超音波穿刺術」というネーミングで行こうということになった。この談話会の講演内容をもとに「超音波穿刺術」という単行本が刊行されているが、その中で渡邊決先生が、このあたりのいきさつを詳しく記載している。この本には、それまでの超音波穿刺術の歴史についても詳しく述べられていたりして興味深い¹⁾。

1961年英国のBerlyneが、A-scopeを用いて腎生検を行ったことを報告した²⁾。超音波穿刺術の臨床応用は、腎生検からはじまったのである。私

が泌尿器科医になったのは1973年であるが、当時先輩の泌尿器科医から教えられたことがある。それは腎生検は経皮的に行ってはならないというものであった。なぜならば当時の腎生検は盲目的な穿刺で、しかもシルバーマン針などの太い針で行う危険極まりない方法だったからである。おそらく先輩たちは、経皮的腎生検で多くの苦い経験をされたことと思われる。どうしても生検する必要があるれば、開放性腎生検といって開腹手術によって腎を露出して腎の組織を一部切り取る方法で行った。ほんの数mmくらいの腎組織を採取するのに、背部から大きな切開を加えなければならなかった。今の時代では、犯罪に近い所業である。若い先生方は、この開放性腎生検などという手術は聞いたこともないであろうし、信じられないことかもしれない。

1970年代の後半は、接触複合走査から高速走査への移行期であった。超音波穿刺術もその移行期にさしかかっていた。1978年私が京都府立医科大学に在籍してたころ、メカニカルセクタスキャナに針のガイド装置をとりつけた新しい超音波穿刺術専用装置を開発した³⁾。2次元のリアルタイム画像上で、穿刺針が臓器に刺入される様子が手に取るようにわかり、画期的であった。腎生検もこの装置を用いれば、禁忌と教えられていた経皮的腎生検も難なく行えた。もう完璧であると思われた。しかしそんな私たちに落とし穴が待ち構えていた。超音波穿刺術による腎生検で、大出血がおきてしまったのである。その当時私は京都府立医科大学の講師であったが、その日は教授、助

教授（今風に言えば准教授）が出張中で、私は代理で病棟の総回診をしていた。その途中、内科病棟から緊急呼び出しがかかった。泌尿器科外来で腎生検を受けた患者の容態が悪いということであった。これは内科から依頼されて、泌尿器科外来の担当医が腎生検を実施したものであった。駆けつけてみると、20代のうら若き女性患者であったが、生検を受けた側の腹部に小児頭大のふくらみがあり（これは血腫のためである）顔面は蒼白であった。生検後の出血が明らかであったので輸血がなされていたが、いくら輸血しても血圧は低く脈は速くなるばかりとのことだった。容易ならざる事態である。私は即座に開腹手術の必要性を指示し、緊急手術に踏み切った。開腹してみると患側の腎周囲はまさに血の海で、手探りで腎を見出し、周囲を剥離して腎を露出してみると、表面の1箇所から動脈性に出血していた。明らかに生検したときの針穴である。そこを指でふさぐと出血は止まり、すぐにバイタルサインが落ち着いたのには驚いた。この患者は一步間違えば命を落としていたかもしれない。幸い大学病院という大きな組織の中で、泌尿器科医という外科医が麻酔科医の協力を得てすぐに対処したから、腎臓も温存でき命を救うことができた。ご家族の「もうだめかと思った」という言葉が、いまでも耳に残っている。このときの問題は超音波穿刺術ではなく、生検針にあった。当時の生検針は現在のように細いものではなく、14GのTru-cut針で、手動で組織を採取するものであった。その後18G生検針を装着した自動生検装置（Biopsy Gun）が開発され、それを用いて行うようになってからは、大出血は経験しなかったし組織採取率も格段に向上した。今や超音波穿刺術による腎生検は、安全な技術として定着している⁴⁾。

超音波穿刺術は、A-scopeからはじまり超音波診断装置の発達とともに発展してきた。現在のリアルタイム装置による超音波穿刺術が定着するまでには、コペンハーゲンの泌尿器科医であるHH Holmらのグループならびに米国のGoldbergが、

それぞれ独自に開発した中心孔型探触子を用いた接触複合走査で、種々の超音波穿刺術を行っていた^{5,6)}。ただこの方法も穿刺針の刺入のモニターはA-scopeで行うので、腎のような実質臓器そのものの穿刺には限界があった。やはり超音波穿刺術が広く応用されるようになったのは、現在のリアルタイム画像による方法が登場してからであった。そしてそれはいろいろな医療分野で技術革新をもたらした。泌尿器科領域においては、腎生検以外にも、腎瘻術、尿路結石の手術、前立腺生検などにおいて超音波穿刺術による技術革新がもたらされた。

腎瘻術とはなんらかの原因（悪性腫瘍によることが多い）で尿管閉塞をきたし、尿が膀胱へと流れない場合に、経皮的に腎臓にカテーテルを留置して、そのカテーテルを通して尿を直接体外に流出させる方法である。超音波穿刺術の出現以前は、これも開腹手術で腎を直接露出して行っていたのである。このような患者の多くは全身状態も悪化している場合が多く、その上での開腹手術なので、患者の負担は計り知れないものであった。この腎瘻術を超音波穿刺術によって、はじめて経皮的に行ったのは、HH HolmらのグループのひとりであるJEPedersenである⁷⁾。中心孔型探触子を用いた接触複合走査で、経皮的に腎盂に穿刺して細いカニューレを腎盂に留置し、尿を体外に流出させた。これもリアルタイム装置による超音波穿刺術にて、より簡便にそして安全確実に、太いカテーテルを留置することができるようになった。

私が泌尿器科医に成り立てのころは、尿路結石の手術（開腹手術）がもっともポピュラーな手術で、それで手術の技量を磨いていったものである。それがいまや、ほとんど過去の遺物になってしまっている。私はリアルタイム装置による超音波穿刺術を開発したてのころ、この技術を応用すれば経皮的に尿路結石を捕りだせるのではないかという発想が浮かんた。当時は尿路結石の摘出といえ、開腹手術が主な手段であった時代である。そして1981年に、超音波穿刺術により経皮、経

腎的に直接腎結石あるいは尿管結石に到達して、1期的に腎結石を摘出することに成功した⁸⁾。これで尿路結石の手術は、ほとんどこの経皮的腎尿管切石術（PNL）で行われるのではないかと思った。しかし不思議なもので、こういった技術革新は全く別の技術もほぼ同時期に起こるもののようである。体外衝撃波碎石術（ESWL）や尿管鏡による経尿道的碎石術（TUL）も開発され、現在は症例に応じて、これら3つの手技が選択され適用されている。

超音波穿刺術の前立腺生検への応用も画期的であった。泌尿器科領域においては、もっとも超音波穿刺術の有用性が発揮された技術といってもいいかもしれない。超音波穿刺術が導入される以前の前立腺生検は、直腸内指診により前立腺を触診することによって、前立腺のおよその位置を確認し、経会陰的あるいは経直腸的に生検針を穿刺するという原始的な方法であり、とにかくどの部位からでも前立腺の組織が1個でも2個でも採取できれば完了であった。当然組織採取率も低く、出血などの合併症も少なからず起こった。

私はメカニカルセクタスキャナによる超音波穿刺術専用装置を開発した際、経会陰的にそのスキャナを当てて前立腺を描出し、経会陰的に前立腺生検を実施した。これは超音波穿刺術の前立腺生検への応用としては、世界で初めての試みであったと思われる⁹⁾。ただ残念ながら、スキャナに邪魔されて穿刺ルートを自由に選ぶのが困難であり、あまり実用的ではなかった。そこで技術革新の必然として、超音波画像は経直腸的に描出し、穿刺針は経会陰的に穿刺する方法を開発した¹⁰⁾。経直腸的リニア走査装置により、前立腺の矢状断面上で経会陰的に穿刺された生検針をリアルタイムで描出して生検する方法で、前立腺を確実に生検できるし、生検針が前立腺外に突き抜けてしまうことのないようにコントロールできるので、非常に安全に生検できるようになった。ほぼ同時期にコペンハーゲンのH.H.Holmらのグループが、やはり経直腸的に前立腺の横断像を描出し

ながら、経直腸的に前立腺生検を行う超音波穿刺術を開発している¹¹⁾。いずれも前立腺の断面を描出して、複数の部位を選択的に生検することができるようになった。現在、前立腺生検は超音波穿刺術で行うことがゴールドスタンダードになっている。前立腺生検に超音波穿刺術を応用しはじめたころには、前立腺生検に超音波穿刺術などは要らない、といった意見が大勢であったように思う。それを思うと隔世の感がある。

このような超音波穿刺術の技術開発を通して、いくつかの教訓を得た。第1に基礎的な技術開発（今回はリアルタイム装置による超音波穿刺術専用装置の開発）を行うと、その技術を応用して多くの新しい技術開発（たとえばPNL）や既存の技術の革新（たとえば腎生検）が行えるということ。第2に新しい技術開発や研究は、世界中の複数の研究者によってほぼ同時になされ、その成果もほぼ同時に報告されることが多いこと。リアルタイム装置による超音波穿刺術専用装置の開発も、同時期にいくつかの装置が開発されている。PNLという技術開発にも競争があったが、PNL、ESWL、TULについてもそれぞれ全く異なる技術であるが、ほぼ同時期に開発された。これは尿路結石を開放的手術ではない方法で除去するということでは同じ目的であったからであろう。第3に新しい技術開発や知見は、当然のことながら、できるだけインパクトファクターの高い雑誌に掲載されなければ国際的に認知されないということである。

50年という節目にあたって、今後ますます日本超音波医学会が発展し、その機関誌である本誌が充実していくことを願ってやまない。そしてこの記念誌に執筆の機会を与えていただいたことを光栄に思うとともに、発刊にご尽力された皆様に心より感謝する。

文献

- 1) 渡辺決, 和賀井敏夫, 竹原靖明 (編). 超音波穿刺術. 東京, テクノ社, 1979.

- 2) Berlyne GM. Ultrasonics in renal biopsy: an aid to determination of kidney position. *Lancet* 1961;2(7205):750-1.
- 3) Saitoh M, Watanabe H, Ohe H, et al. Ultrasonic real-time guidance for percutaneous puncture. *J Clin Ultrasound* 1979;7:269-72.
- 4) Saitoh M. Selective renal biopsy under ultrasonic real-time guidance. *Urol Radiol* 1984;6:30-7.
- 5) Holm HH, Kristensen JK, Rasmussen SN, et al. Ultrasound as a guide in percutaneous puncture technique. *Ultrasonics* 1972;10:83-6.
- 6) Goldberg BB, Pollack HM. Ultrasonic aspiration transducer. *Radiology* 1972;102:187-9.
- 7) Pedersen JF, Cowan DF, Kristensen JK, et al. Ultrasonically guided percutaneous nephrostomy: report of 24 cases. *Radiology* 1976;119:429-31.
- 8) Saitoh M, Watanabe H, Ohe H. Single stage percutaneous nephroureterolithotomy using a special ultrasonically guided pyeloscope. *J Urol* 1982;128(3):591-2.
- 9) Saitoh M, Watanabe H, Ohe H. Ultrasonic real-time guidance for percutaneous puncture in urology. In: Holm HH, Kristensen JK (eds). *Ultrasonically Guided Puncture Technique*. Copenhagen, Munksgaard; 1980. p. 55-60.
- 10) Saitoh M, Watanabe H, Ohe H. Ultrasonically guided puncture for the prostate and seminal vesicles with transrectal real-time linear scanner. *J Kyoto Pref Univ Med* 1981;90(1):47-53.
- 11) Holm HH, Gammelgaard J. Ultrasonically guided precise needle placement in the prostate and the seminal vesicles. *J Urol* 1981;125:385-7.

04.

泌尿器

1982年： PNL（経皮的尿路結石摘出術）

千葉 裕

（東北公済病院泌尿器科）

私が医学部を卒業して泌尿器科に入局したのは30年以上も前の1980年4月のことでした。そしてその秋より棚橋先生の病室を受け持つことになり、その後32年続く超音波医学との関係が始まることになります。当時の腹部超音波検査はまだコンタクトコンパウンドの時代で、円筒状のプロブをなぞって苦勞して腎臓の絵を出していたことを覚えています。その後メカニカルセクターが登場し、リアルタイムで腎臓が描出されるようになりひどく感激したことを覚えています(図1)。そしてこの超音波でリアルタイムの画像が得られるようになり一気に発達したのが超音波穿刺術でした(図2)。泌尿器科ではしばしば腎後性腎不全症例に対して、腎瘻造設という尿路変更を行

うことがありますが、当時は解放手術で行うのが一般で、全身状態の悪い患者さんに全身あるいは腰椎麻酔で行っていました。そこでこの超音波穿刺術を利用して局所麻酔で経皮的に腎瘻を造設する手技、すなわち経皮的腎瘻造設術（以下PNS）を確立することが私の最初の臨床テーマでした。その成果を1980年秋の日超医総会で発表したのが私の最初の学会発表（日超医論文集, 37:447, 1980）でしたが、同じころ京都府立医大の齊藤雅人先生らもわれわれと同様の手技を確立なさり、経皮的腎盂鏡の開発（日超医論文集, 38:65, 1981）と経皮的腎盂鏡による腎尿管切石法（日超医論文集, 39:197, 1981）を報告なさっており、この報告が本邦における経皮的尿路結石摘出術

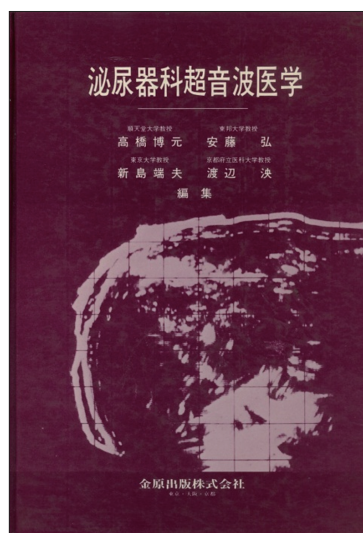


図1 泌尿器科超音波医学
金原出版 1979年



図2 超音波穿刺術
テクノ 1979年

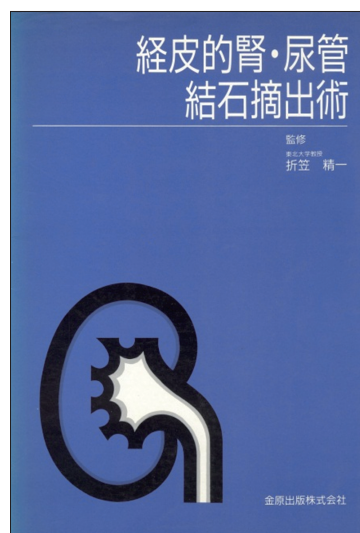


図3 経皮的腎・尿管摘出術
金原出版 1986年

(以下PNL)の最初の報告と思われます。齊藤先生らの報告に遅れる事1年でわれわれ東北大学でもPNLの臨床例に成功し、1982年の日超医で8例のPNLの成功例を報告しました(日超医論文集, 41:109, 1982)。この頃京都府立医大と東北大学以外にも、東京女子医大(日超医論文集, 41:105, 1982)、東邦大学(日超医論文集, 43:315, 1983)、千葉大学(日超医論文集, 43:317, 1983)、北里大学(日超医論文集, 43:319, 1983)などでも同様に超音波穿刺術を用いた腎瘻造設やその他腎疾患への応用の発表が続きましたが、なぜかPNLは苦勞なざる施設が多く、当時東北大学には全国から多数の泌尿器科医が見学に訪れていました。東北大学では私のみではなく医局全員でこのPNLに取り組んでいたのが全国に誇れる多数例の成功に繋がったものと思われます(図3)。

私自身は日超医総会場でこのPNLに関する工夫を毎年のように報告しています。

1983年5月には一期的腎瘻造設術の手技(日超医論文集, 42:327, 1983)、同年12月にはダイレーターに関する検討(日超医論文集, 42:321, 1983)、また棚橋先生が強力超音波による結石破碎(日超医論文集, 42:325, 1983)を報告いたしました。そして1985年6月に私が結石摘出を目的とした安

全な腎瘻術の工夫(日超医論文集, 46:839, 1985)を同年11月に棚橋先生が約300例の臨床例の報告(日超医論文集, 47:881, 1985)し、私が1986年5月と1988年6月にDMSA腎シンチグラフィーとダイナミックCTを用いたPNLの腎機能への影響について報告し(日超医論文集, 48:839, 1986, 日超医論文集, 52:189, 1988)、PNLは安全確実な尿路結石治療法として確立したものとなり現在に至ります(図4)。

ただその後の体外衝撃波による結石破碎法の発明・普及やレーザーと軟性尿管鏡を用いた経尿道的尿路結石摘出術の普及により、以前ほどPNLの症例数は多くなく、施設によってはPNLを施行できない施設や、PNLを経験したことのない泌尿器科医が増えていることが、PNLの開発から携わってきたものとしてはさびしい限りです。

今後も恐らくPNLはなくなることはない手術術式と考えられますので本術式の教育に関わっていくことが私の使命と考えている今日この頃です。またPNLは私にとっては超音波医学への関わりと同時に関わってきた切っても切れない関係であり、超音波医学もまた私にとっては欠かすことの出来ないものであることは言うまでもありません。最近のPNLの実際の手技については、DVD: Endourologyの進歩シリーズ6: 珊瑚状結石に対する経皮的腎砕石術【PNL】(図5)に詳しく述べてありますので興味のある方はどうぞご参照下さい。

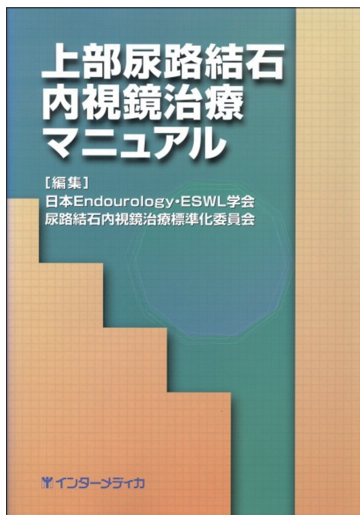


図4 上部尿路結石内視鏡治療マニュアル
インターディカ 2007年



図5 DVD: Endourologyの進歩シリーズ6
珊瑚状結石に対する経皮的腎砕石術【PNL】
大日本製薬 2010年

04.

泌尿器

2005年：前立腺癌に対する高密度焦点式超音波療法（HIFU）

内田 豊昭

（東海大学医学部付属八王子病院泌尿器科）

20年前の1992年、当時の上司であった小柴 健教授から「超音波で前立腺を焼いて、前立腺肥大症を治療するという治療法が米国で開発されたので、本当に可能性のある治療法なのかどうかチェックしてほしい、との話があるので行ってみないか」、とお話があり、2人で米国のインディアナ州立大学病院泌尿器科のドナヒュー教授を訪問したのが、高密度焦点式超音波高密度焦点式超音波療法（high-intensity focused ultrasound, HIFU）との最初の出会であった。

HIFUの歴史と原理

超音波を治療に応用する試みは、1950年代に米国、インディアナ州立大学のFry兄弟によって

開始された。彼らは、猫の脳にHIFUによる熱で限局した凝固壊死巣を作製した。超音波音場の強さはワット（W）/cm²として定義される。現在広く用いられている画像診断用超音波装置の強度は0.094 W/cm²である。一方、100W/cm²を超える超音波音場は一般に強力超音波と呼ばれる。この強力超音波を虫眼鏡で光を集めるように凹面プローブから放射すると、プローブ面から3～4cm離れた小さな焦点領域に収束し、その強度は1,300～1,680 W/cm²と、診断用超音波強度と比較すると約15,000倍の強度となる（図1）。HIFUは、生体内の焦点領域に収束した超音波振動エネルギーが組織の吸収係数に応じて80～98℃に熱変換されることを利用している（図2）。この際、焦点領域以外の部位や途中に介在する組織には影響を及ぼさないのが特徴である。

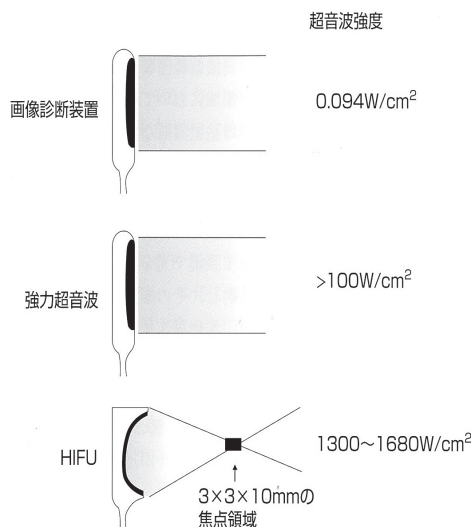


図1 一般の画像診断用超音波と比較すると、HIFUの照射強度は、約15,000倍に達する。

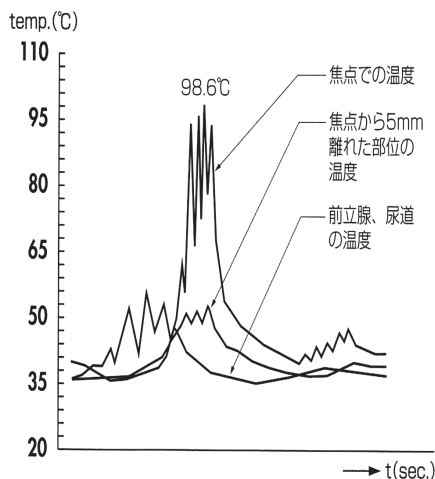


図2 焦点領域の温度は、98.6度に達する。

HIFUの前立腺癌に対する応用

1998年11月、HIFUのタカイ医科工業の高井氏と学会場の片隅で話したことを思い出す。「1993年から前立腺肥大症に対するHIFU治療を開始したが、それまでの5年間のHIFUの前立腺肥大症に対する効果は前立腺高温度療法とほぼ同等であり、脊椎麻酔が必要なHIFUは局所麻酔下で外来治療可能な高温度療法に劣り、前立腺肥大症の機器としてはあまり将来性がない」、ということであった。それは、それまでの何億円という研究開発費が無駄に終わることを意味していた。「ただひょっとすると、前立腺肥大症よりも前立腺癌の方がHIFU療法にとってより適しているのかもしれない。しかしそれを達成するには、さらに5年、いや10年かかり、しかもさらに何億円という資金が必要になるだろうから、タカイ医科工業のような小さな企業にとって命取りになる可能性がある。そのためには、これ以上傷を広げないためにもこの辺で開発・販売から手を引いたらどうだろうか。ただHIFUは医学にとって画期的な治療法となる可能性があり、ここでその臨床応用を断念することは残念だ」、という内容であったと思う。その時、高井氏は、「もしこの治療法が人のためになるなら会社がつぶれてもかまわない、夢があるじゃないですか」、と答えたのであった。

その後、大学の倫理委員会に「前立腺癌のHIFU療法」を申請し、1999年1月に第1例目のHIFU療法を9時間かけて施行した。術後の血清PSAも低値を維持し、かつ前立腺生検では癌は認められなかった。これは、いけるのではないかと少し自信がわき、これまでの13年間1,269例という多くの方々に本法を施行させていただいた。

これまでの前立腺癌に対するHIFUの流れをみると、最初はいかにして治療時間を短縮するかであった。HIFUは小さな焦点領域が500～1,200か所集まることによって、最終的に前立腺全体を照射する。そのため、1焦点領域2x2x10 mm大のsingle beamから3x3x12 mm大のsplit beam方式が

梅村らによって開発され、また、1焦点あたり16秒かかっていた照射サイクルを6秒に短縮することにより、現在では約2時間で治療を終了することが可能となった。その後、より安全性を高めるために、プローブ内の温度を冷却する持続灌流装置や直腸面の変化を検知する反射係数システムが追加された。さらに、治療途中で照射領域を随時変更できるSTACKシステムや焦点領域の温度を示すTissue Change Monitor (TCM) システムが追加された第5世代のSonablate 500 TCMシステム(図3)が開発され、治療成績も各段に向上した。

HIFU療法の適応と長所

限局性前立腺癌に対するHIFU療法の長所として、①身体に傷がつかない(非観血的)、②本法は何回でも繰り返し治療することが可能である、③手術療法や放射線療法など他の治療法後に局所再発が認められた場合でも治療可能、④HIFU療法後に根治的な前立腺全摘術や放射線療法が可能である、⑤外来治療が可能、⑥合併症が少ない、⑦手技が容易、⑧医療コストが安い、などの利点がある。

HIFU療法は、いまや前立腺癌のみでなく、子宮筋腫、乳癌、肝癌、膵臓癌など固形腫瘍や、網膜症、骨折の治癒促進、不整脈の治療などその応用範囲は広がっている。今後、治療技術や機器の進歩とともに、さらに発展していくものと思われる。



図3 最新のSonablate 500 TCMシステムと持続灌流装置および経直腸プローブ