

## 超音波ウロダイナミクス

京都府立医科大学泌尿器科学教室 (主任 : 三木恒治教授)

小島 宗門\*, 鴨井 和実, 沖原 宏治

浮村 理, 中尾 昌宏, 三木 恒治

### ULTRASOUND IN URODYNAMICS

Munekado KOJIMA, Kazumi KAMOI, Kohji OKIHARA,

Osamu UKIMURA, Masahiro NAKAO and Tsuneharu MIKI

*From the Department of Urology, Kyoto Prefectural University of Medicine*

Recent developments of ultrasound imaging have contributed much to the understanding of urodynamics in patients with lower urinary tract symptoms (LUTS). These include ultrasound estimated bladder weight (UEBW), transrectal power Doppler imaging of the prostate and transrectal ultrasonography during voiding (voiding TRUS).

UEBW, which is obtained by measuring the thickness of the anterior bladder wall using a 7.5 MHz probe, represents well the degree of bladder hypertrophy caused by obstruction. This parameter is, accordingly, of clinical use in the evaluation of obstruction. The UEBW predicted the presence of obstruction as determined by pressure-flow study with a diagnostic accuracy of 73%.

Transrectal power Doppler imaging of the prostate has made it easy to detect prostatic vessels and furthermore to obtain their resistive index (RI). Accumulating data suggest strongly that RI reflects the intraprostatic pressure. More interestingly, RI decreases significantly during voiding in normal subjects but not in patients with benign prostatic hyperplasia. Thus, this method is of particular use in monitoring noninvasively the dynamic change in intraprostatic pressure during voiding.

Voiding TRUS makes it possible to monitor the movement of not only the posterior urethra but also the prostate during voiding. Based on our recent study, the anterior fibromuscular stroma (AFMS) seems to contract to open the urethra. Although the physiological function of the AFMS in the prostate remains unknown, AFMS may play a significant role in normal micturition.

Due to its noninvasiveness and ease of application, ultrasound imaging would play a vital role in the diagnostic process for patients with LUTS in future.

(Acta Urol. Jpn. 46 : 841-845, 2000)

**Key words :** Ultrasound, Urodynamics, LUTS

### 緒 言

超音波検査は現代医療における代表的な画像診断法の1つであり、泌尿器科領域においても広く臨床応用され、いまや日常診療の場において必要不可欠なものとなっている。このような超音波の臨床応用はウロダイナミクスの分野にも拡大されつつあり、現在では「超音波ウロダイナミクス」という新しい画像診断体系が構築されようとしている。

超音波ウロダイナミクスのうち、最も身近なものとして定着している技術は経腹的走査による残尿測定であろう。従来から行われてきたカテーテル導尿による残尿測定は、今日ではほとんど過去のものとなりつつある。一方、前立腺に対する経直腸的超音波断層法は超音波ウロダイナミクスの原点ともいえるものであ

る。経直腸的超音波断層法は前立腺の大きさのみならず形状についても評価することが可能で、前立腺肥大症(以下BPH)の診断に必要な不可欠なものとなっている。これらの技術に加え、最近では各種の診断技術が開発され、超音波ウロダイナミクスは新たな展開を迎えつつある。

本稿では、これまで私たちが行ってきた超音波ウロダイナミクスに関する研究のうち、超音波推定膀胱重量、経直腸的前立腺パワードプラ法および排尿時経直腸的超音波断層法の3つを取り上げ、それぞれの手技ならびに臨床的有用性について概説する。

#### 1. 超音波推定膀胱重量 (ultrasound estimated bladder weight, 以下膀胱重量)

下部尿路閉塞により膀胱が代償性に肥大することは、以前よりよく知られた現象であるが、それを超音波で評価し定量化したのが膀胱重量である。

\* 現 : 名古屋泌尿器科病院

膀胱重量の測定は、患者にあらかじめ適度に蓄尿するよう指示しておき、仰臥位で経腹的走査を行い7.5 MHzの高周波数のプローブを用いて膀胱の厚みを計測する (Fig. 1)。その後、排尿量と超音波で計測された残尿量とを合計した量を膀胱容量として、膀胱壁の厚みが一様でかつ膀胱が球体であると仮定し、膀胱重量を算出する<sup>1)</sup> (Fig. 2)。

私たちのこれまでの検討では、こうして得られた膀胱重量は病理解剖で得られた膀胱の実測重量とよく相関することが判明している ( $r=0.97, p<0.0001$ )<sup>1)</sup> また膀胱重量の測定における intraobserver variation は平均1.7%, interobserver variation は平均6.7%で、いずれの検討でも測定誤差は小さく、膀胱重量の測定は臨床的使用に十分耐えうる再現性と信頼性を有している<sup>2)</sup>

これまでの研究から、膀胱重量には多くの臨床的有用性があることが判明している。特に下部尿路閉塞の診断には高い有用性を有している<sup>3)</sup> 下部尿路症状 (以下 LUTS) を有する男性患者154例を対象にした検討でも、pressure-flow study で下部尿路閉塞がないと診断された患者の膀胱重量の平均値は 30.4 g であったが、閉塞のある患者の膀胱重量の平均値は 45.2 g で、閉塞のない患者に比べ有意に高値であった。また、閉塞のある患者の70%が膀胱重量が 35 g

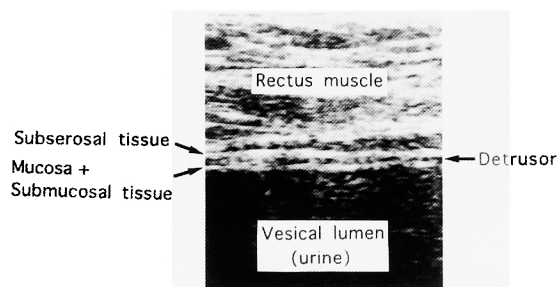


Fig. 1. Transabdominal ultrasonogram of the bladder in a patient with a normal prostate.

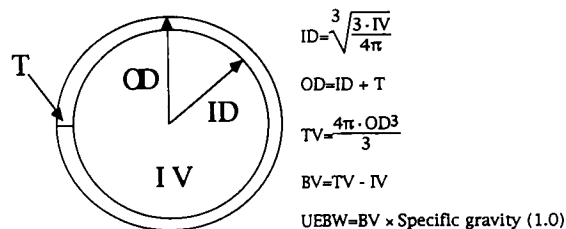


Fig. 2. Schematic drawing of calculation of the ultrasound estimated bladder weight. ID: inner diameter, OD: outer diameter, T: thickness of bladder wall. BV: volume of bladder wall, IV: intravesical volume, TV: total vesical volume, UEBW: ultrasound-estimated bladder weight.

以上であり、閉塞のない患者で膀胱重量が 35 g 以上のものはわずかに21%であった (Fig. 3)。そこで下部尿路閉塞の診断におけるカットオフ値を 35 g とすると positive predictive value は 83%, diagnostic accuracy は73%であった。

下部尿路閉塞の最も顕著な症状が急性尿閉であり、その予測因子としての膀胱重量の有用性を検討した。尿閉の既往のある BPH 患者を対象に年齢・前立腺容積・transition zone 容積 transition zone index・膀胱重量について ROC curve を用いて検討すると、膀胱重量が他のパラメータに比べ最も優れた予測因子であった (Fig. 4)。膀胱重量が 35 g 以上の BPH 患者 81例のうち、28例に急性尿閉の既往がみられたが、膀胱重量が 35 g 未満の BPH 患者79例では、急性尿閉の既往がみられたのはわずか3例のみであった。この結果は、膀胱重量が 35 g 以上の BPH 患者では、急

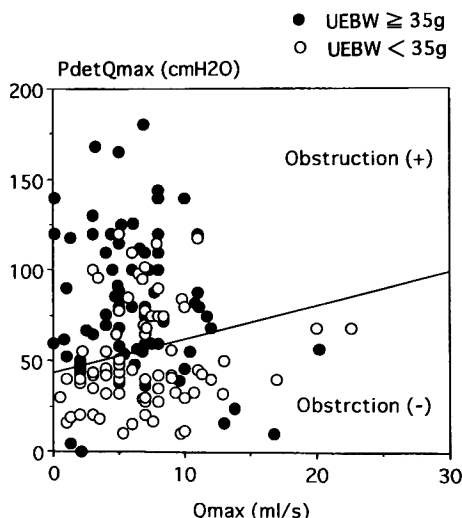


Fig. 3. Distributions of ultrasound estimated bladder weight (UEBW) on Abrams-Griffiths nomogram.

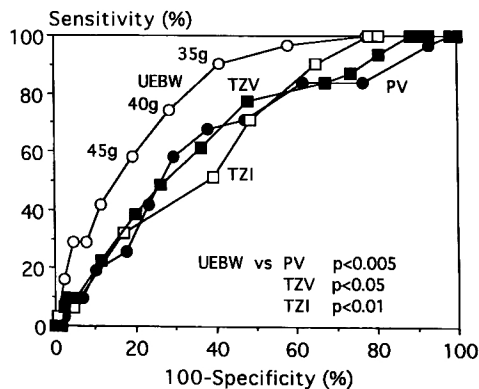


Fig. 4. Receiver-operating characteristic curve analysis comparing prostatic volume (PV), transition zone volume (TZV), transition zone index (TZI) and ultrasound-estimated bladder weight (UEBW).

性尿閉に陥る危険性はそれ以外の患者に比べ13.4倍高いことを示している。したがって、膀胱重量が35g以上のBPH患者では、経尿道的手術などの積極的な治療が必要であると考えられる。

膀胱重量測定は、下部尿路閉塞とくにBPHの病態生理を研究するうえでも有用な検査であり、これまでも多くの新知見が得られている<sup>4-8)</sup> さらに膀胱重量は、下部尿路閉塞のみならず膀胱機能障害を有する患者においても、高い臨床の有用性が示唆されている<sup>9)</sup>。最近では、その臨床応用は小児泌尿器科<sup>10)</sup>の分野にまで及んでおり、今後さらに広く臨床の場で活用されることが期待される。

## 2. 経直腸的前立腺パワードプラ法

最近開発された経直腸的前立腺パワードプラ法は、高い感度で前立腺内血流を描出することを可能とした<sup>11,12)</sup>。そこで私たちはドプラー法から得られるパラメータの1つである resistive index (RI) に注目して、そのウロダイナミクスへの応用を試みた。

患者を側臥位とし、プローブを直腸内に挿入して前立腺内の血管を検索し、拍動性血流についてRIを測定した。

LUTSを有する患者を対象に検討した結果では、BPH患者のRIは $0.72 \pm 0.06$ で、正常前立腺患者の $0.64 \pm 0.04$ に比べ有意に高値であった ( $p < 0.0001$ ) (Fig. 5)。またRIの予測因子について各種パラメータについて多変量解析を行った結果、年齢および前立腺仮想円面積比(前立腺の横断面が如何に円形に近いかを示すパラメータ)の2つがRIの予測因子であることが判明した<sup>12)</sup>。さらに、経尿道的前立腺切除を行ったBPH患者で手術前後でのRIの変化をみると、RIは $0.72 \pm 0.04$ から $0.63 \pm 0.01$ と有意に低下していた ( $p < 0.0001$ ) (Fig. 6)。これらの結果は、前立腺内血管のRIが前立腺内圧を反映し、BPH患者においては肥大結節の増大に伴う前立腺内圧の上昇の

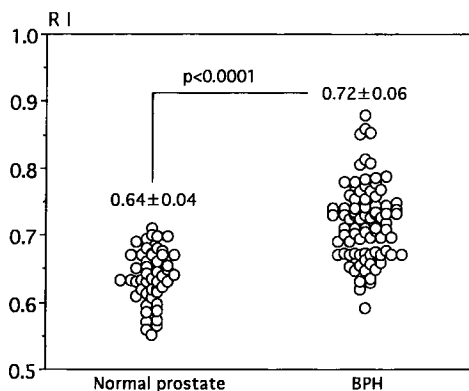


Fig. 5. Distributions of resistive index (RI) of the prostate in men with a normal prostate and benign prostatic hyperplasia (BPH).

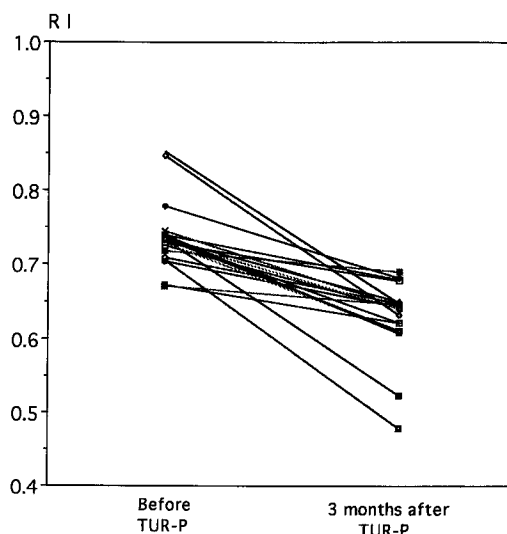


Fig. 6. Changes in resistive index (RI) of the prostate in patients with benign prostatic hyperplasia treated by transurethral resection of the prostate (TUR-P).

結果、RIが上昇していると考えられる。

ここで興味深いのは、RIは蓄尿時だけでなく排尿時にも測定可能なことであり、排尿に伴う前立腺内圧の変化を評価できることである。正常男性の場合には、排尿時にはRIが $0.66 \pm 0.03$ から $0.59 \pm 0.03$ へ低下する ( $p < 0.0001$ ) のに対し、BPH患者では $0.75 \pm 0.03$ から $0.74 \pm 0.02$ へと低下は認められなかった<sup>13)</sup> (Fig. 7)。このことから、RIの測定が前立腺内圧の変化を知るための有用なパラメータとなりうると考えられた。

## 3. 排尿時経直腸的超音波断層法 (以下排尿時TRUS)

排尿時TRUSは、排尿の際の膀胱内尿道口から外尿道括約筋部尿道までの尿道の開大の様子をリアルタイムに観察でき、排尿障害の原因をより正確に診断できる方法として有用である。本法は従来から膀胱頸部硬化症などの診断に用いられてきたが、尿道のみならず前立腺の変化も同時に観察できることから、最近では排尿時の尿道開大と前立腺の関係が注目されている。

被検者は直腸内に超音波プローブが挿入された状態で排尿することになるので、膀胱を十分に充満した状態で強い尿意が生じている状態で検査を行う必要がある。患者を立位にし、リニア型プローブを挿入した状態で排尿し、その際の膀胱頸部および後部尿道さらに前立腺の動きを観察する。

McNealの前立腺解剖では、前立腺は peripheral zone, transition zone, central zone の三つの腺構造と、尿道前方の anterior fibromuscular stroma (以下

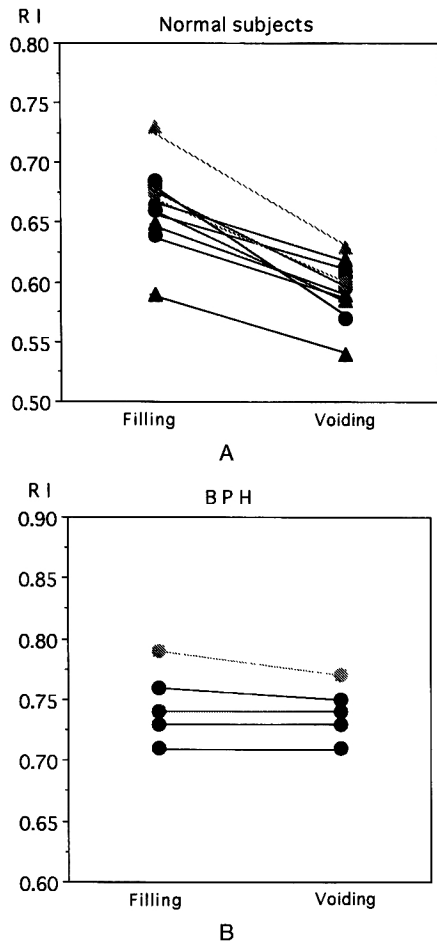


Fig. 7. Changes in resistive index (RI) of the prostate associated with micturition in normal subjects (Fig. 7A) and patients with benign prostatic hyperplasia (BPH) (Fig. 7B).

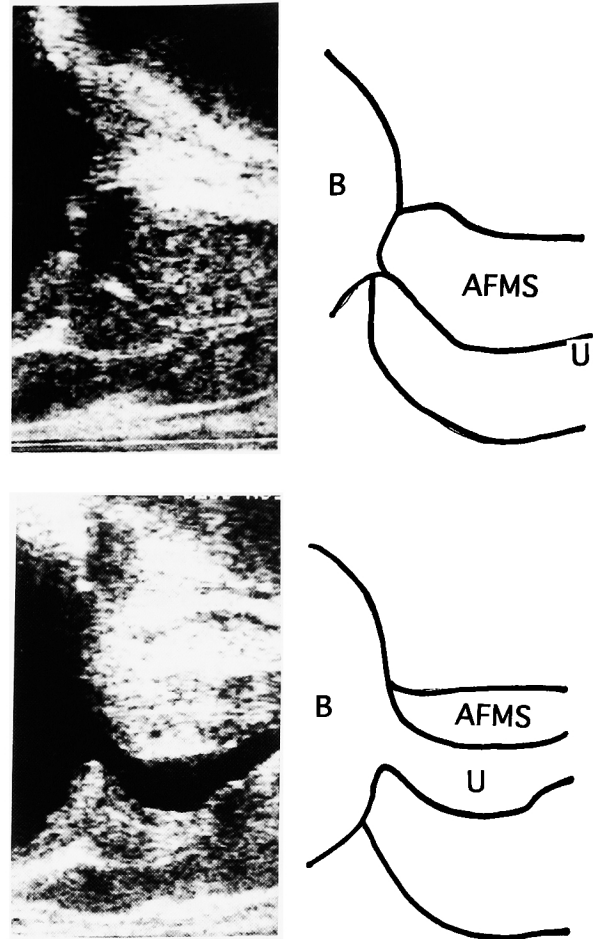


Fig. 8. Transrectal ultrasonogram at the rest (upper) and voiding (lower) in a normal subject. B: bladder, AFMS: anterior fibromuscular stroma, U: urethra.

AFMS) という線維筋性構造とに区別されている。Peripheral zone や transition zone は BPH や前立腺癌との関係から、その病的意義などについては多くの研究がされている。それに対して、AFMS についてはこれまでほとんど注目されておらず、したがってその生理的意義もまったく不明である。

排尿時 TRUS を用いた私たちの最近の研究からは、AFMS が排尿時に前方に偏位し、AFMS 自体が収縮して尿道を開大させている可能性が示唆されている<sup>14)</sup> (Fig. 8)。すなわち AFMS が排尿時の尿道開大に積極的に関与している可能性が示唆されている。

### 結 語

超音波検査の最大の利点は非侵襲性にあり、超音波ウロダイナミクスは、非侵襲的に多くの情報を提供し、その結果、診断効率のさらなる向上に寄与するものである。本稿では代表的な検査について解説したが、超音波ウロダイナミクスの今後一層の発展 普及が期待される。

### 文 献

- 1) Kojima M, Inui E, Ochiai A, et al.: Ultrasonic estimation of bladder weight as a measure of bladder hypertrophy in men with infravesical obstruction: a preliminary report. *Urology* **47**: 942-947, 1996
- 2) Naya Y, Kojima M, Honjyo H, et al.: Intraobserver and interobserver variance in the measurement of ultrasound estimated bladder weight (UEBW). *Ultrasound Med Biol* **24**: 771-773, 1998
- 3) Kojima M, Inui E, Ochiai A, et al.: Noninvasive quantitative estimation of infravesical obstruction using ultrasonic measurement of bladder weight. *J Urol* **157**: 476-479, 1997
- 4) Kojima M, Ochiai A, Naya Y, et al.: Correlation of presumed circle area ratio with infravesical obstruction in men with lower urinary tract symptoms. *Urology* **50**: 548-555, 1997
- 5) Kojima M, Inui E, Ochiai A, et al.: Reversible change of bladder hypertrophy due to benign prostatic hyperplasia after surgical relief of obstruction. *J Urol* **158**: 89-93, 1997

- 6) Ochiai A and Kojima M : Correlation of ultrasound estimated bladder weight with ultrasonic appearance of the prostate and postvoid residual urine in men with lower urinary tract symptoms. *Urology* **51** : 722-729, 1998
- 7) Inui E, Ochiai A, Naya Y, et al. : Comparative morphometric study of bladder detrusor between patients with benign prostatic hyperplasia and control. *J Urol* **161** : 827-830, 1999
- 8) Inaba M, Fushiki S, Yaoi T, et al. : Changes in extracellular matrix components of bladder detrusor in relation to bladder hypertrophy and compliance in patients with benign prostatic hyperplasia. *Acta Histochem Cytochem* **33** : 131-139, 2000
- 9) Kojima M, Inui E, Ochiai A, et al. : Possible use of ultrasonically-estimated bladder weight in patients with neurogenic bladder dysfunction. *Neurourol Urodyn* **15** : 641-649, 1996
- 10) Ukimura O, Kojima M, Inui E, et al. : Noninvasive evaluation of bladder compliance in children using ultrasound estimated bladder weight. *J Urol* **160** : 1459-1462, 1998
- 11) Kojima M, Watanabe H, Watanabe M, et al. : Preliminary results of power Doppler imaging in benign prostatic hyperplasia. *Ultrasound Med Biol* **23** : 1305-1309, 1997
- 12) Kojima M, Ochiai A, Naya Y, et al. : Doppler resistive index in benign prostatic hyperplasia. correlation with ultrasonic appearance of the prostate and infravesical obstruction. *Eur Urol* **37** : 436-442, 2000
- 13) Inui E, Inaba M, Iwata K, et al. : Non-invasive monitoring of intraprostatic pressure during voiding phase using Doppler resistive index of prostatic vessels. *Neurourol Urodyn* **17** : 376-377, 1998
- 14) Ukimura O, Inui E, Ochiai A, et al. : Transrectal ultrasonic monitoring of the prostate at voiding with reference to anterior fibromuscular stroma. *Neurourol Urodyn* **17** : 377-379, 1998

(Received on July 14, 2000)  
(Accepted on July 19, 2000)