携帯型 3 次元超音波断層装置による膀胱容量測定の有用性と問題点 —特に 100ml 以下の膀胱容量の測定について—

独立行政法人国立病院機構神戸医療センター泌尿器科

大岡均至 野瀬隆一郎

EFFICACY AND PROBLEMS OF BLADDER VOLUME MEASUREMENT USING
PORTABLE THREE DIMENSIONAL ULTRASOUND SCANNING DEVICE
—IN PARTICULAR, ON MEASURING BLADDER VOLUME LOWER THAN 100ML—

Hitoshi Oh-oka and Ryuichiro Nose

Independent Administrative Institution

National Hospital Organization, Kobe Medical Center

Department of Urology

(Objectives) Using a portable three dimensional ultrasound scanning device (The Bladder Scan™BVI6100, Diagnostic Ultrasound Corporation), we examined measured values of bladder volume, especially focusing on volume lower than 100 ml.

(Materials and Methods) A total of 100 patients (male : 66, female : 34) were enrolled in the study. We made a comparison study between the measured value (the average of three measurements of bladder urine volume after a trial in male and female modes) using BVI6100, and the actual measured value of the sample obtained by urethral catheterization in each patient. We examined the factors which could increase the error rate. We also introduced the effective techniques to reduce measurement errors.

(Results) The actual measured values in all patients correlated well with the average value of three measurements after a trial in a male mode of the BVI6100. The correlation coefficient was 0.887, the error rate was $-4.6 \pm 24.5\%$, and the average coefficient of variation was 15.2. It was observed that the measurement result using the BVI6100 is influenced by patient side factors (extracted edges between bladder wall and urine, thickened bladder wall, irregular bladder wall, flattened rate of bladder, mistaking prostate for bladder in male, mistaking bladder for uterus in a female mode, etc.) or examiner side factors (angle between BVI and abdominal wall, compatibility between abdominal wall and ultrasound probe, controlling deflection while using probe, etc).

(Conclusions) When appropriate patients are chosen and proper measurement is performed, BVI6100 provides significantly higher accuracy in determining bladder volume, compared with existing abdominal ultrasound methods. BVI6100 is a convenient and extremely effective device also for the measurement of bladder urine over 100 ml.

Key words: portable three dimensional ultrasound scanning device, residual urine, measurement errors

要旨: (目的) 携帯型 3 次元超音波断層装置 (DIAGNOSTIC ULTRASOUND 社製 Bladder Scan™BVI6100) を用い, 100ml 以下の膀胱容量の測定値を中心に検討した。

(対象と方法) 男性 66 名, 女性 34 名の計 100 名. BVI6100 を用い, 全例に対して男性モードと女性モードにおける 1 回空打ちの後の 3 回の計測値の平均値と導尿により得られた実測値との相関を検討し

た、誤差率を大きくする因子や測定誤差を小さくする測定手技についても考察した。

(結果) 全症例実測値は BVI6100 の男性モードにおける 1 回空打ちの後の 3 回の計測値の平均値と良好に相関し、相関係数 0.887, 誤差率 $-4.6 \pm 24.5\%$, 平均変動係数 15.2 であった。測定結果は症例側の要因(膀胱壁と尿との境界面の描出, 膀胱壁の肥厚, 膀胱壁の不整, 膀胱の扁平率, 男性における前立腺の膀胱誤認や女性モードにおける膀胱の子宮誤認等)や験者側の要因(BVI と腹壁との角度, 腹壁とプローベのフィッティング, プローベの手振れのコントロール等)により影響を受けることも判明した。

(結論) BVI6100 は、適切な症例を選択し正しい測定法を行えば経腹的超音波断層検査の各種測定値を凌駕する計測値を得ることが可能で、100ml 以上の膀胱容量に対してもより簡便で正確な計測が可能な機器である。

キーワード：携帯型 3 次元超音波断層装置, 残尿, 測定誤差

緒 言

われわれ泌尿器科医にとって、正確な膀胱容量の把握は種々の排尿機能障害を来す疾患の治療方針の決定や治療効果を判定する上で非常に重要であり、避けることのできない検査である。日常臨床において、膀胱容量測定は経腹的超音波断層法を用いて行われることが多いが 100~150ml 以下の測定値の測定誤差は 50% 前後認められることはすでに明らかである¹⁾。我々は、カテーテル導尿を用いない、非侵襲的かつ誤差率の少ない検査法として携帯型 3 次元超音波断層装置を用い、泌尿器科医にとって臨床的に重要な 100ml 以下の膀胱容量の測定値を中心にその臨床応用につき検討したので報告する。

対象と方法

2005 年 1 月から 3 月までに当科を受診した 50 歳以上の男性 66 名、女性 34 名の計 100 名で年齢は 51~91 歳(中央値 72 歳)である。基礎疾患は前立腺肥大症、神経因性膀胱等の良性疾患症例である。使用した携帯型 3 次元超音波断層測定装置は DIAGNOSTIC ULTRASOUND 社製 Bladder Scan™ BVI6100 (以下 BVI と略す)である(図 1)。プローベは B モードで 15° ごとに 12 方向画像(180°)を作成するメカニカルセクタ方式(図 2)で、センサーがプローベに内蔵されスキャンのスタート位置は測定終了後、常に元の位置に戻るシステムになっている。プローベ部が鳥の嘴様に前方に突出する形状で腹壁との密着性にも優れている。スキャンアングルは 120°, 使用周波数は 3.7MHz, 重量は 309g で携帯性に優れ、女性にも十分使用可能である。非使用時は、家庭用 AC 電源対応の充電機能を搭載したスタンディングホルダーに保管し、常にフル充電の状態が維持できるシステムになっている。液晶表示画面はバッテリーの充電状態・男性、女性の性別を示すアイコン・膀胱と BVI との位置関係を示す矢印と膀胱容量を示す部位よりなる。操作ボタンは超音波プ

ローベの下方・ハンドル部の腹側にエコー走査開始ボタン、プローベ背面、液晶表示部下方に性別切り替え用のボタンの 2 つのみと非常にシンプルな設計となっている。測定に要する時間は約 5 秒間と非常に短時間で計測が終了する。あらかじめ、泌尿器科でのルーチンの診察、諸検査の後、3.5MHz コンベックス型プローベを用いた B モード経腹的超音波断層法(ALOKA 社製, Pro Sound SSD-5000)により膀胱・前立腺・子宮の形態、膀胱壁の状態、膀胱周囲等の状況等を十分に観察し、著明な膀胱形状の変形、膀胱壁の非常に高度な肥厚、活動性尿路感染症、尿路悪性腫瘍の合併、膀胱周囲に嚢胞性疾患(卵巣嚢腫等)の存在等認められる症例は本検討より除外した。

BVI を用いた計測法は、事前の検討と臨床現場での使用の便宜を鑑み、BVI のプローベの初回計測時のプローベの回転不良に起因する過小計測値の影響を排除するため、男女とも 1 回の BVI の空打ちの後、男性の場合、男性モードで 3 回計測した後女性モードで 3 回の計測を行い、女性の場合、女性モードで 3 回計測した後男性モードで 3 回の計測し、各々の平均値を計測値として採用した。その直後に 14Fr. ネラトンカテーテルを膀胱内に挿入し、導尿量を実測した。この際、カテーテルからの尿の自然流出がなくなった時点で、カテーテルを緩徐に回転させながら出し入れし膀胱が完全に空虚になるようにし、さらに 5ml の注射器をカテーテルに接続し軽度の陰圧をかけながら膀胱内から抜去して得られた尿量を実測膀胱容量(以下実測値と略す)とした。これらの操作中、膀胱内が空虚になる状態を 3.5MHz エコーガイド下でリアルタイムに観察・確認も行った。本検討を行うに際して、導尿を施行する症例に対しては検討の趣旨を十分に伝え、文書による同意を全例に得た。測定値の評価は、1) 各症例の測定値の傾向と平均値採用の妥当性、相関係数(Pearson correlation coefficient; 以下 R と略す)、変

図1 BVI6100の外観と液晶表示画面

DIAGNOSTIC ULTRASOUND 社製 Bladder Scan™BVI6100 のプローブはBモードで15°ごとに12方向画像(180°)を作成するメカニカルセクタ方式である。プローベ部が鳥の嘴様に前方に突出する形状で腹壁との密着性にも優れている。スキャンアングルは120°, 使用周波数は3.7MHz, 重量は309g. 液晶表示画面はバッテリーの充電状態・男性, 女性の性別を示すアイコン・膀胱とBVIとの位置関係を示す矢印と膀胱容量を示す部位よりなる。操作ボタンはプローブの腹側にエコー走査開始ボタン, プローベ背側に性別切り替え用のボタンの2つのみのシンプルな設計であり, 測定時間は約5秒間。

図2 BVI6100の画像作成イメージ

プローブはBモードで15°ごとに12方向画像(180°)を作成するメカニカルセクタ方式で, センサーがプローブに内蔵されスキャンのスタート位置は測定終了後, 常に元の位置に戻るシステムになっている。

動係数 (coefficient of variation; 以下, CV と略す) の傾向, 2) 性別による男性モード・女性モードでの測定値 (誤差率 $[(BVI \text{ での測定値} - \text{実測値}) \times 100 / \text{実測値}]$) についての検討, R および CV の傾向, 3) 男性モードでの測定誤差率が20%以上の症例 (エラー症例) に関して, 誤差率を大きくした原因と判断された因子の影響につき誤差率が20%以下の症例 (非エラー症例) と比較し, R についても検討した。誤差率を大きくする要因はBVIの性能のみならず, 医師の測定手技や被験者の体格, 腹部手術の有無, 膀胱の形態等, 多くの因子の影響を受けるため客観的な指標となる因子の抽出はきわめて困難と考えられる。その中で我々は, 通常の経腹的超音波断層法による検討の結果, 以下の因子との関連につき検討した。1) 膀胱壁の描出状態 (膀胱壁と尿との境界面の描出が極めて明瞭・中等度・不良の3段階に分類), 2) 膀胱壁の肥厚 (あり・なしに分類), 3) 膀胱壁の不整 (あり・なしに分類), 4) 膀胱の扁平率 (= 通常のBモード経腹的超音波断層法での最大膀胱横断面における膀胱左右径と前後径の比率),

表1 全症例の実測値と BVI6100 での計測値

	BVI 男性モード				BVI 女性モード			
	平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV	平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV
実測値	59.6 ± 24.2	0	1.000		59.6 ± 24.2	0	1.000	
1 回目測定値	55.6 ± 27.7	- 6.9 ± 23.9	0.865		34.4 ± 40.7	- 53.4 ± 51.6	0.697	
2 回目測定値	57.1 ± 26.8	- 3.5 ± 31.2	0.858		34.6 ± 39.8	- 52.7 ± 51.4	0.679	
3 回目測定値	58.0 ± 28.9	- 3.3 ± 29.4	0.853		32.4 ± 39.5	- 55.0 ± 51.5	0.625	
3 回の測定平均値	56.9 ± 26.9	- 4.6 ± 24.5	0.887	15.2	33.8 ± 38.0	- 53.7 ± 48.9	0.702	34.4

5)男性における前立腺を膀胱と誤認したと判断される症例, 6)女性モードにおいて膀胱を子宮と誤認したと判断される症例, の6項目である。

今回の検討で得られた測定値と従来の経腹的超音波断層法を用いた種々の膀胱容量測定値との比較・検討も行った。さらに BVI の至適使用法・使用上の注意点についても考察した。統計学的評価は, 対応のある2群の比較には『対応のある t 検定 (paired t-test)』, 対応の無い2群の比較には『対応のない t 検定 (Unpaired t-test)』, 対応のある3群の比較には『One-way Repeated Measures ANOVA』, 独立2群の順序変数の比較には『Mann-Whitney U-test』, 実測値と測定値の相関には Pearson correlation coefficient (Pearson の相関係数)を用い, $p < 0.05$ を統計学的に有意とした。

結 果

1) 100 症例の BVI を用いた計測結果について (表1)

実測値は 12~100ml (59.6±24.2ml; 平均値±標準偏差) に分布していた。全症例における男性モードでの測定値は 1 回目 11~140ml (55.6±27.7ml), 2 回目 0~127ml (57.1±26.8ml), 3 回目 0~148ml (58.0±28.9ml) であり各測定値間には統計学的有意差は認めなかった。しかし, 3 回の計測値の最小値と最大値を比較すると有意差が認められた ($p < 0.0001$)。また, 100 例中3例に計測値が 0ml と表示される場合 (1 回目; 0 症例, 2 回目; 1 症例, 3 回目; 2 症例) があり, 1 回の計測では計測値を誤認する危険性が示唆された。R は 1 回目; 0.865, 2 回目; 0.858, 3 回目; 0.853, 3 回の平均値; 0.887, と実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった。計測値には漸増傾向が認められ, mean CV が 15.2 であることから BVI による計測を 3 回施行することは妥当性を欠くものではないと判断された。全症例の男性モードによる誤差率は -4.6±

24.5% であった。

同様に女性モードで全症例を計測すると, 3 回の各測定値間に有意差は認められないが, 3 回の計測値の最小値と最大値を比較すると有意差が認められた ($p < 0.0001$)。また, 計測値が 0ml と表示される症例 (1 回目; 52 症例, 2 回目; 51 症例, 3 回目; 51 症例) が各計測時約半数に認められた。R は 1 回目; 0.697, 2 回目; 0.679, 3 回目; 0.625, 3 回の平均値; 0.702, と実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった。mean CV は 54 症例において算出可能であり, 34.4 と大きい変動傾向であった。全症例の女性モードによる誤差率は -53.7±48.9% であった。

全症例における誤差率, R, mean CV ($p = 0.0071$) とも男性モードでの測定が有意に優れており, 3 回の計測の平均値の採用が最も相関が良好であり, 複数回の計測による CV も臨床現場での使用の許容範囲内であることが判明した。

2) 性別による男性モード・女性モードでの測定値についての検討 (表2)

2) -1; BVI 男性モードで計測した男性 66 症例, 女性 34 症例について

誤差率について, 男女間に有意差は認められなかった ($p = 0.6280$)。男性 66 例につき, BVI 男性モード・女性モードでの誤差率を比較すると有意に男性モードが優れていた ($p < 0.0001$)。男性の男性モードでの R は 1 回目; 0.860, 2 回目; 0.832, 3 回目; 0.840, 3 回の平均値; 0.871, と実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった。

2) -2; BVI 女性モードで計測した男性 66 症例, 女性 34 症例について

誤差率について, 男女間に有意差は認められなかった ($p = 0.6014$)。女性 34 例につき, BVI 男性モード・女性モードでの誤差率を比較すると有意に男性モード

表2 性別による BVI6100 での計測値

		BVI 男性モード				BVI 女性モード			
		平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV	平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV
男性 (n = 66)	実測値	60.3 ± 24.9	0	1.000	16.0	60.3 ± 24.9	0	1.000	39.8
	1 回目測定値	56.0 ± 27.5	- 6.8 ± 24.6	0.860		35.5 ± 44.0	- 54.0 ± 55.0	0.697	
	2 回目測定値	58.8 ± 27.5	- 1.1 ± 34.1	0.832		33.5 ± 42.5	- 56.2 ± 54.2	0.679	
	3 回目測定値	58.7 ± 29.7	- 3.3 ± 30.2	0.840		32.1 ± 43.0	- 56.5 ± 56.4	0.625	
	3 回の測定平均値	57.8 ± 27.3	- 3.7 ± 25.8	0.871		33.7 ± 40.9	- 55.5 ± 52.5	0.702	
女性 (n = 34)	実測値	58.1 ± 23.1	0	1.000	13.6	58.1 ± 23.1	0	1.000	26.6
	1 回目測定値	55.0 ± 28.5	- 7.1 ± 22.9	0.878		32.4 ± 34.1	- 52.3 ± 45.0	0.697	
	2 回目測定値	53.8 ± 25.6	- 8.3 ± 24.5	0.917		36.6 ± 34.5	- 46.1 ± 45.6	0.679	
	3 回目測定値	56.6 ± 27.7	- 3.3 ± 28.2	0.881		33.0 ± 32.1	- 51.9 ± 40.8	0.625	
	3 回の測定平均値	55.1 ± 26.4	- 6.3 ± 22.2	0.920		34.0 ± 32.3	- 50.1 ± 41.7	0.702	

表3 誤差率からみた BVI6100 での計測値

		BVI 男性モード				BVI 女性モード			
		平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV	平均±標準偏差 (ml)	誤差率 (%)	R	mean CV
誤差率 20% 以上 (n = 35)	実測値	51.1 ± 23.3	0	1.000	22.5	51.1 ± 23.3	0	1.000	39.7
	1 回目測定値	45.0 ± 30.7	- 12.7 ± 35.4	0.766		20.2 ± 36.3	- 71.4 ± 49.7	0.600	
	2 回目測定値	46.2 ± 31.2	- 9.9 ± 48.1	0.763		21.8 ± 36.8	- 68.9 ± 51.4	0.619	
	3 回目測定値	45.9 ± 31.9	- 10.9 ± 44.3	0.740		24.9 ± 39.6	- 63.5 ± 55.0	0.635	
	3 回の測定平均値	45.7 ± 30.2	- 11.2 ± 38.5	0.783		22.3 ± 37.1	- 67.9 ± 51.1	0.627	
誤差率 20% 未満 (n = 65)	実測値	64.1 ± 23.7	0	1.000	11.2	64.1 ± 23.7	0	1.000	32.7
	1 回目測定値	61.4 ± 24.3	- 3.8 ± 13.9	0.923		42.1 ± 41.2	- 43.7 ± 50.4	0.711	
	2 回目測定値	63.0 ± 22.3	- 0.1 ± 15.5	0.930		41.5 ± 39.9	- 44.0 ± 49.7	0.677	
	3 回目測定値	64.5 ± 25.0	0.8 ± 15.7	0.920		36.4 ± 39.1	- 50.4 ± 49.3	0.605	
	3 回の測定平均値	62.9 ± 23.0	- 1.0 ± 10.4	0.958		40.0 ± 37.4	- 46.0 ± 46.3	0.714	

が優れていた (p<0.0001)。女性の男性モードでの R は 1 回目；0.878, 2 回目；0.917, 3 回目；0.881, 3 回の平均値；0.920, と実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった。

2) -3；男性モード・女性モードでの測定値の CV について

男性 66 例の 3 回計測の平均値の mean CV を BVI 男性モード・女性モードで比較すると男性モードでの CV が 16.0 と女性モードでの 39.8 に比し有意に優れていた (p=0.0175)。女性 34 例の mean CV を同様に比較すると男性モード・女性モードの間に統計学的有意差は認められなかったが、男性モードでの CV が 13.6 と良好な値を示した。

以上の結果から、今回の検討では膀胱容量の BVI

による測定は性別に関係なく男性モードでの測定が女性モードより優れており、実測値との相関は 3 回の計測値の平均値を用いることが妥当であり、CV も臨床現場での使用に際し、許容範囲内であることが判明した。女性モードを使用する理論的妥当性は確認できなかった。

3) エラー症例と非エラー症例の比較と誤差率に関する因子について (表 3)

BVI での測定誤差率の目標を 20% 以下に設定し、男性モードでの測定におけるエラー症例 (誤差率 20% 以上, 35 例) の検討を行った。

3) -1；エラー症例 35 例と非エラー症例 65 例の膀胱容量について

エラー症例の実測膀胱容量は 51.1±23.3ml, 非エ

表 4 誤差率に関与する因子の検討

	関 与 因 子						
	膀胱壁の境界面の描出***			膀胱壁の肥厚***		膀胱壁の不整***	
	極めて明瞭	中等度の描出	描出不良	なし	あり	なし	あり
誤差率 20% 以上 (n = 35)	3 (8.6%)	11 (31.4%)	21 (60.0%)	15 (42.9%)	20 (57.1%)	18 (51.4%)	17 (48.6%)
誤差率 20% 未満 (n = 65)	28 (43.1%)	30 (46.2%)	7 (10.8%)	53 (81.5%)	12 (18.5%)	62 (95.4%)	3 (4.6%)

	関 与 因 子		
	膀胱扁平率*	前立腺の膀胱誤認**	膀胱の子宮誤認*
誤差率 20% 以上 (n = 35)	2.5 ± 1.5	9 (25.7%)	24 (68.6%)
誤差率 20% 未満 (n = 65)	2.1 ± 0.7	4 (6.2%)	28 (43.1%)

注) 膀胱壁の境界面の描出, 膀胱壁の肥厚, 膀胱壁の不整, 前立腺の膀胱誤認, 膀胱の子宮誤認の検定は Mann-Whitney U-test, 膀胱扁平率の検定は Unpaired t-test により行った. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.0001$

ラー症例は $64.1 \pm 23.7\text{ml}$ と有意差を認めた ($p = 0.0098$). すなわち, エラー症例は膀胱容量の少ない症例に多く認められた. エラー症例の男性モードでの計測値の R は, 1 回目; 0.766, 2 回目; 0.763, 3 回目; 0.740, 3 回の平均値; 0.783, とやはり実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった. エラー症例全例の誤差率は, 男性モードで $-11.2 \pm 38.5\%$ であった.

3) -2; BVI 女性モードでのエラー・非エラー症例の比較

男性モードでのエラー症例は女性モードでも有意に誤差率が不良であった ($p = 0.0321$). エラー症例の女性モードでの計測値の R は, 1 回目; 0.600, 2 回目; 0.619, 3 回目; 0.635, 3 回の平均値; 0.627, と実測値との相関は 3 回目の計測値が最も良好であったが 3 回の計測値の平均値の相関は 1 回目, 2 回目の各々の計測値のそれより良好であった.

3) -3; 非エラー症例の R, CV について

非エラー症例の男性モードでの計測値の R は, 1 回目; 0.923, 2 回目; 0.930, 3 回目; 0.920, 3 回の平均値; 0.958, と実測値との相関は 3 回の計測値の平均値が最も良好であった. 3 回の計測値の平均値の mean CV は 11.2 であった.

以上より, BVI の測定値として 3 回の計測値の平均値を採用することは, 誤差率に関わらず妥当である, と判断された.

3) -4; エラー症例の関与する因子に関する検討(表 4)

・症例側の要因

a) 膀胱壁の描出状態; エラー症例は膀胱と尿の境界面の描出が非エラー症例と比較して有意に不良であった ($p < 0.0001$).

b) 膀胱壁の肥厚; エラー症例は膀胱壁の肥厚が非エラー症例と比較して有意に顕著であった ($p < 0.0001$).

c) 膀胱壁の不整; エラー症例は膀胱壁の不整が非エラー症例と比較して有意に顕著であった ($p < 0.0001$).

d) 膀胱の扁平率; エラー症例は膀胱の扁平率が非エラー症例と比較して有意に高値であった ($p = 0.0371$).

e) 男性において前立腺を膀胱と誤認したと判断される症例; エラー症例は前立腺の膀胱誤認と判断される症例が有意に高率であった ($p = 0.0058$). さらに, 誤認症例の前立腺の内部エコーは低エコーで尿に近いエコー輝度を示す傾向が認められた.

f) 女性モードにおいて膀胱を子宮と誤認したと判断される症例; エラー症例は膀胱の子宮誤認と判断される症例が有意に高率であった ($p = 0.0182$). 特に, 50 ml 以下の症例で誤認の傾向が顕著であった.

・験者側の要因

さまざまな要因が考えられるが, 我々が留意している測定時の注意点を踏まえ, 述べる. 各要因は客観性・再現性の面で問題があり, 正確な評価が困難であるた

表5 従来の経腹的超音波断層法を用いた測定値と BVI6100 を用いた計測値の比較

報告者 (年度)	Formula	mean%error ± SD	comment
・ Hakenberg (1983) ²⁾	$a \times b \times 6.6$	42 ± 24	100ml 以下は不良
・ Pederson (1975) ³⁾	$a \times b \times c$	50 ± 31	100ml 以上の症例多数含む
・ Haylen (1989) ⁴⁾	$5.9 \times a \times b - 14.6$	52 ± 28	経臍的, 100ml 以上の症例含む
・ Hakenberg (1983) ²⁾	$a \times c \times (b + d) / 2$	49 ± 35	100ml 以上の症例多数含む
・ Orgaz (1981) ⁵⁾	$12.56 \times a \times d$	58 ± 54	200ml 以下の症例 5%
・ Griffiths (1986) ⁶⁾	$\pi / 6 \times a \times b \times c$	60 ± 25	150ml 以下の症例 19%
・ McLean (1978) ⁷⁾	$a \times b \times c - 3.14 / 2.17$	66 ± 24	すべて 100ml 以上の検討
・ Griffiths (1986) ⁶⁾	$(\pi / 6 \times a \times b \times c + 8 \times Al \times At / 3 \pi \times d) / 2$	58 ± 53	150ml 以下の症例 19 例 (19%)
・ 自験例		- 4.6 ± 24.5	

注) a; sagittal height, b; sagittal depth, c; transverse width, d; transverse depth
Al; longitudinal area, At; transverse area

め、統計学的処理は行わずその傾向につき述べるに留める。

a) BVI と腹壁との角度；我々は、コンベックス型プローベを用いた B モード経腹的超音波断層法での膀胱や膀胱周囲の状況の観察の際に、矢状断面での最大面積を捉えた際のエコープローベの中心部の位置および水平面とのなす角度（傾斜角度；tilting angle）を正確に記録・計測し、同じ位置と角度で BVI を腹壁に当て、測定をおこなっている。この傾斜角度を約 10° 水平にすると約 20～30% 程度のマイナスの測定誤差が認められた。なお、この際 BVI と膀胱との位置関係を表示する液晶表示面の矢印が表示されることはほとんど認められない。

b) 腹壁とプローベのフィッティング；前述した様に、膀胱の扁平率は測定結果に影響を及ぼす。原則的には、当て方が弱いと容量は過大に、強くと過小に計測される傾向が認められる。腹壁の緊張は症例により異なるので、通常経腹的エコーでの観察時にプローベの圧と膀胱の扁平化との関係を把握して（手の感覚で覚えて）おき、症例に応じた適切な加圧によるフィッティング操作に留意している。通常測定時の加圧より強い圧で BVI の計測を行うと、約 20～30% のマイナスの測定誤差が生じる。

c) プローベの手振れ；我々は手振れを最小限に抑えるよう測定時には、1) 症例を仰臥位とし、験者はそのすぐそばに座る。2) 脇をしっかり閉め手首を固定し、上述した傾斜角度で BVI を保持し、加える圧に注意して測定する。3) 可能であれば患者の呼吸に同期して（最大呼気時）測定ボタンを押す、等の計測法を心掛けている。BVI の計測中のプローベの移動やぶれ、

加える圧の変化、症例の呼吸に同期しない測定操作等により最大 40～50% 程度の測定誤差が生じる。

4) 従来の経腹的超音波断層法を用いた測定値との比較（表 5）

表に示すようにこれまで多くの経腹的超音波断層法による計測値を用いた膀胱容量の測定法が提唱されているが、どの測定法を用いても誤差率は 40～50% 以上、標準偏差も 20% 以上である。しかも、これらの測定法は 100～150ml 以上の膀胱容量の測定結果が過半数を占めており、100ml 以下の計測値は表に示した数値より不良であることは明白である。我々の測定は全例 100ml 以下で測定誤差が男性モードにおいて -4.6±24.5% であった。表中の Hakenberg, Pederson らの計測法は我々も採用している方法であるが BVI を用いた計測法が明らかに優れている。

5) 100～150ml 以上の膀胱容量における測定値について

諸家の報告から明らかのように、従来の種々の経腹的超音波断層法による計測法や BVI を用いた計測法のいずれにおいても 100ml 以下の膀胱容量の計測値に比して測定誤差は明らかに改善する¹⁾⁸⁾⁹⁾。我々の事前の検討でも 300ml 程度までの膀胱容量であれば、前述した験者側の測定手技が測定値に及ぼす影響は相対的に小さくなるため、より精度の高い測定が可能になることが判明している。

6) BVI の液晶表示部の膀胱と BVI との位置関係を示す矢印について

今回の検討においては、位置関係を示す矢印と測定誤差との間にはよい相関が認められなかった。したがって、BVI を用いたより適切なプローベ位置の決定

は、通常のコンベックス型プローベを用いたBモード経腹的超音波断層法での膀胱や膀胱周囲の状況の観察の際に行うことが望ましいと判断された。

以上よりBVIを用いた100ml以下の膀胱容量の計測は、測定手技と症例選択を適切に行えば従来の経腹的超音波断層法の各種測定値を用いた容量測定法の結果を凌駕する測定結果を得ることが可能であり、100～150ml以上の膀胱容量においてはより簡便かつ正確に測定が可能であることが示された。

考 察

我々泌尿器科医にとってより正確な膀胱容量の把握は極めて重要であり、特に下部尿路疾患を有する症例の治療効果の判定や治療方針を決定する上でも必須の検査項目のひとつである。これまで主に経腹的超音波断層法を用いた種々の計測法が報告されているが、いずれの計測法も誤差率は40%以上であり特に100～150ml以下の膀胱容量の把握に関する非侵襲的な検査法は確立されていないのが現状である¹⁾。もっとも正確な膀胱容量の測定法はカテーテル導尿であるが、導尿操作時の苦痛、出血、尿道損傷や尿路感染症の危険性等を勘案すると臨床現場でルーチンに用いられるべき手技ではない。現在最も汎用されている膀胱容量測定法はやはり経腹的超音波断層法であり、特に矢状断面像のみを用いた計測法の誤差率が最も良好であると思われる²⁾。しかし、本測定法を用いても150ml以下の誤差率を40%以下に抑えることは極めて困難である。

近年、膀胱容量測定を目的とした携帯型経腹的超音波断層装置が開発され臨床現場においても使用されているが、やはり低容量時の膀胱計測値の誤差率の問題が解決されたわけではない⁹⁾¹⁰⁾。Coombesら¹¹⁾は1994年にBVI2500(重量2.5kg,計測時間30～60秒)を用いて $R=0.97$,かつ少量の膀胱容量であっても複数回の測定は不要であり、操作時の熟練度は計測値に影響せず、十分に誤差率の低い計測値が得られる、と報告している。恐らく、卓越した測定手技により導かれた結果であると思われるが、この測定結果の再現性には問題があると思われる。今回、特に100ml以下の膀胱容量の測定に関してBVI6100がどの程度の測定誤差率で計測可能かを検討し、男性モード計測による誤差率を $-4.6 \pm 24.5\%$ とこれまでの報告を上回る測定結果を得られた。BVIを用いて従来よりも優れた測定結果を得るためには、適切な症例の選択、本機器の特性の理解、およびMassagliら¹²⁾も述べているように、測

定手技による誤差を最小限にする験者の測定方法の確立が不可欠である。我々は本検討前から診断、治療の目的で導尿を必要とする多数の症例に対し導尿前の経腹的超音波断層法検査やBVIを用いた測定値と実測値との相関を検討しており、測定手技による誤差が小さかった事も今回の結果に繋がったものと思われる。BVIを用いた測定時の誤差を小さくするためには、上述した、a) BVIと腹壁との角度、b) 腹壁とプローベのフィッティング、c) プローベの手振れのコントロール等が重要である。これらの測定手技を実践すれば測定精度は上昇する。BVIは測定ボタンを押すだけで正確な計測値が算出されるように思われがちであるが、実際は計測値に影響する多くの因子が存在する検査機器である。症例側の誤差率を大きくする因子は、前述した症例件等を回避することによりある程度までは改善可能であるが、験者の測定方法により容易に数値が変動することを銘記すべきである。

今回の検討において、BVI女性モードを使用する有用性は全く見出せず、誤差率の大きい結果であった。BVIの女性モードにおける測定結果に関しては、測定原理が明らかになっておらず推測の域を出ないが、Bモードは反射強度を輝度変調した表示法であり、媒質中での音響インピーダンス(媒質の密度と音速の積)の異なる境界面でおきる反射の強さの差異を認識していることに関しては疑う余地は無い。BVI女性モードでは子宮の信号を削除するプログラムがなされているようであり、膀胱内の少量の尿と子宮の音響インピーダンスの差異をBVIが認識できない場合、少量の尿に関する信号も削除されてしまうため誤差が大きくなるものと考えている。この傾向は子宮の大きさには依存せず、膀胱内の尿量が増加するに従い誤差が小さくなる傾向が見られることも、我々の検討で明らかになっている。

以上述べたように、BVIは測定方法や測定原理を考慮した上で使用されるべきものであるが、適切に使用されれば我々泌尿器科医にとって重要な50～100ml程度の膀胱容量のより正確な把握は十分に可能であることが判明した。この精度は、非侵襲的検査としては我々泌尿器科専門医が各種治療法の効果判定等において必要とする精度を十分満たしているレベルである。

他方、日常臨床においては、正確な膀胱容量を必要とされる症例ばかりではなく半定量的な膀胱容量(残尿)の把握で十分な場合も少なくない。経腹的超音波断層法等の画像情報が必ずしも必要でない場面におい

でも、BVIは非侵襲的かつ簡便に膀胱容量（残尿）を把握することが可能であり、従来の侵襲を伴う導尿による残尿測定に替わりうる測定精度を有している。当院では、導尿に替わる残尿量の非侵襲的把握を目的としてBVIの使用を当科のみならず脳神経外科や整形外科等の医師やパラメディカルにも指導し、種々の病態に起因する残尿量のより迅速な把握と残尿量が多い場合の泌尿器科医へのコンサルテーションシステムが有効に稼動している。さらに、病診連携の一環として在宅ケアを担うかかりつけ医やパラメディカルに対し、BVIの特性の理解、測定手技による誤差を最小限にできるトレーニング、および積極的な使用を啓蒙し、より良質な在宅での尿路管理の一助になるよう種々の方策を講じている。BVIを有効に活用することにより、泌尿器科専門医のみならず泌尿器科以外の医師やパラメディカルによる下部尿路の病態のより正確な把握が可能となる。

現在、臨床現場での携帯型3次元超音波断層装置の普及率は十分とは言えず誤差率の高い経腹的超音波装置を用いた各種計測値が実測値であるかのように採用されていることが多い様に思われる。我々は携帯型3次元超音波断層装置の有効利用につき、もう一度考え直す時期に来ている。

文 献

- 1) Simforoosh, N., Dadkhah, F., Hosseini, S.Y., Asgari, M.A., Nasser, A. and Safarinejad, M.R.: Accuracy of residual urine measurement in men: comparison between real-time ultrasonography and catheterization. *J. Urol.*, **158**, 59—61, 1997.
- 2) Hakenberg, O.W., Ryall, R.L., Langlois, S.L. and Marshall, V.R.: The estimation of bladder volume by sonocystography. *J. Urol.*, **130**, 249—251, 1983.
- 3) Pederson, J.F., Bartrum, R.J. and Grytter, C.: Residual urine determination by ultrasonic scanning.

Am. J. Roentgenol., **125**, 474—478, 1975.

- 4) Haylen, B.T., Frazer, M.L., Sutherst, J.R. and West, C.R.: Transvaginal ultrasound in the assessment of bladder volumes in women; Preliminary report. *Brit. J. Urol.*, **63**, 149—151, 1989.
- 5) Orgaz, R.E., Gomez, A.Z., Ramirez, C.T. and Torres, J.L.M.: Application of bladder ultrasonography. I. Bladder content and residue. *J. Urol.*, **125**, 174—176, 1981.
- 6) Griffiths, C.J., Murray, A. and Ramsden, P.D.: Accuracy and repeatability of bladder volume measurement using ultrasonic imaging. *J. Urol.*, **136**, 808—812, 1986.
- 7) McLean, G.K. and Edell, S.L.: Determination of bladder volumes by gray scale ultrasonography. *Radiology*, **128**, 181—182, 1978.
- 8) 新保 斉, 影山慎二, 塚田 隆, 鈴木和雄, 藤田公生, 中西利方: 残尿量測定における携帯型超音波断層装置の臨床的有用性と問題点. *臨泌*, **53**, 999—1002, 1999.
- 9) 加藤祐司, 須江洋一, 藤井敬三, 沼田 篤, 谷口成美, 金子茂男, 八竹 直, 水永光博, 宮田昌伸: 携帯型膀胱容量測定装置 (BVI 5000) の精度に関する検討. *臨泌*, **54**, 459—462, 2000.
- 10) Ravichandran, G. and Fellows, G.J.: The Accuracy of a hand-held ultrasound scanner for estimating bladder volume. *Brit. J. Urol.*, **55**, 25—27, 1983.
- 11) Coombes, G.M. and Millard, R.J.: The Accuracy of portable ultrasound scanning in the measurement of residual urine volume. *J. Urol.*, **152**, 2083—2085, 1994.
- 12) Massagli, T.L., Cardenas, D.D. and Kelly, E.W.: Experience with portable ultrasound equipment and measurement of urine volumes; Inter-user reliability and factors of patient position. *J. Urol.*, **142**, 969—971, 1989.

(2005年5月2日受付, 7月13日受理)