

膀胱重量算出ノモグラムを使用した 下部尿路閉塞の評価

群馬大学医学部泌尿器科 (教授 : 山中英壽)

曲 友弘, 深堀 能立, 鈴木 和浩, 山中 英壽

黒沢病院泌尿器科 (院長 : 黒沢 功)

小 倉 治 之

THE EVALUATION OF BLADDER OUTLET OBSTRUCTION USING THE BLADDER WEIGHT CALCULATION NOMOGRAM

Tomohiro MAGARI, Yoshitatsu FUKABORI, Kazuhiro SUZUKI and Hidetoshi YAMANAKA

From the Department of Urology, Gunma University School of Medicine

Haruyuki OGURA

From the Department of Urology, Kurosawa Hospital

The ultrasound estimated bladder weight (UEBW) of 15 patients (13 male, 2 female; mean age 64.7 years) who underwent pressure flow study (PFS) were evaluated using the nomogram. In the nomogram, thickness of bladder wall (T) and bladder weight (BW) were plotted on the horizontal axis and on the vertical axis, respectively. BW points calculated from various values of T by the formula were plotted on the volume-fixed bladder capacity curve. BW of each case was estimated by the nomogram from echo-measured T at maximum bladder filling and injected volume (V) into the bladder. Bladder outlet obstruction (BOO) was evaluated from obtained results, and compared with the results of PFS. The features of the distribution on Schafer's nomogram were also investigated. It was possible to estimate BW immediately after ultrasonic examination. BW was under 35 g in one patient, and over 35 g in 14 patients. Obstruction grade on the Schafer's nomogram ranged from III to VI. BOO could be evaluated quantitatively with little invasion even in patients who could not undergo PFS for urinary retention and urge incontinence. In conclusion, the bladder weight calculation nomogram immediately showed the BOO information of the patient with neither invasive technique, complicated calculation, electronic calculator nor expansive computer. This nomogram may make a breakthrough for utilizing UEBW.

(Acta Urol. Jpn. 50 : 7-14, 2004)

Key words: Bladder weight nomogram, Bladder outlet obstruction

緒 言

下部尿路閉塞 (Bladder Outlet Obstruction : BOO) の有無を評価する方法としては, pressure flow study (PFS) が gold standard とされているが, 検査の侵襲性が高いため患者の負担が大きく, また医療を行う側にとっても高価な専用機器が必要であり, かつ検査の煩雑さのため負担が大きい. そのためより低侵襲に評価する方法として, 近年数多くの非侵襲的検査・パラメーターが報告されている¹⁻⁸⁾ 小島らは超音波推定膀胱重量 (以下膀胱重量) を BOO の有無を評価するパラメーターとして提唱した⁹⁾

本方法は一般的とは言えないが, 感度, 特異度, 陽性的中率, 陰性的中率ともに高く¹⁰⁾, 有用であると考えられるが, 計算方法が複雑で, 通常の電卓では計

算出来ず, 日常診療の現場では利用困難であるという欠点がある.

今回われわれはその欠点を克服し, より簡単に利用するために膀胱重量算出ノモグラムを作成し, その有用性について検討した.

対 象 と 方 法

PFS を試みた15例を対象とした (男性13, 女性2, 平均年齢64.7歳) (Table 1). 膀胱重量は, 小島らの報告⁹⁾をもとに算出した. ノモグラムは, 横軸に膀胱壁の厚さ (T), 縦軸に膀胱重量 (BW) をとり, 一定の膀胱容量 (IV) における計算上の T と BW のプロットから作成した. 各症例の膀胱重量は, 先ず膀胱内圧測定を実施し, 最大蓄尿時にエコー測定上の T と生理的食塩水膀胱注入量 (IV) から, 今回作成したノ

Table 1. Clinical characteristics in 15 patients for the pressure flow study

症例	年齢	性別	疾患	Abrams & Griffiths	Schafer 閉塞度	膀胱壁厚 (mm)	膀胱容量 (ml)	膀胱重量 (g)	Qmax (ml/s)	Pdet Qmax (cmH ₂ O)
1	70	M	BPH, 切迫性尿失禁	obstructed	IV	3.8	282	87	12.1	84
2	60	M	BPH, 尿閉	obstructed	VI	2.3	220	43	1.5	110
3	47	M	薬剤性尿閉	equivocal	III	1.7	300	38	22.8	73
4	71	F	腰髄ミエロパチー	equivocal		1.3	401	35	10.1	29
5	53	M	脳脊髄炎後遺症	equivocal	II	2.1	134	28	13.0	42
6	70	F	尿道狭窄	obstructed		3.1	398	87	6.5	190
7	69	M	BPH	obstructed	VI	2.3	277	50	6.0	135
8	68	M	BPH, 脊索腫	equivocal	III	3.5	250	73	0	42
9	85	M	BPH, NB	obstructed	IV	2.5	374	67	11.6	84
10	74	M	BPH, 尿閉	obstructed	VI	3.0	163	47	1.1	117
11	74	M	BPH	obstructed	III	2.1	351	53	11.7	67
12	70	M	BPH	obstructed	IV	1.8	496	57	8.4	78
13	62	M	BPH, DM	obstructed	IV	1.5	371	39	7.4	80
14	26	M	尿道狭窄	obstructed	III	1.5	400	40	18.6	90
15	72	M	BPH, 尿閉	obstructed	VI	2.6	270	56	0	115

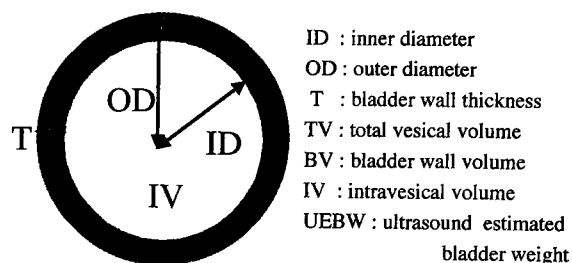
モグラムを使用して推定した。膀胱壁は、排尿筋に一致する低エコー領域と漿膜下組織および粘膜・粘膜下組織の高エコー領域からなる3層構造として描出されるので、排尿筋を挟む上下の高エコー領域の幅を計測することによって、膀胱壁の厚さを計測した。膀胱中央の一番厚い部位を除き、左右で3カ所測定し、その平均値をTとして使用した。なお使用機器は、Toshiba 社 Sonolayer α SSA-260A 特Ⅱおよび専用3.75 MHz プローブであった。今回は膀胱壁の厚さを測定後、直ちに排尿させPFSを行った。えられた数値からBOOの評価を行い、PFSの結果と比較した。また、Schaferのノモグラム上における分布について検討した。

膀胱重量の計算

膀胱が球体であると仮定し、計算式にTとIVを代入すると、膀胱重量が求められる (Fig. 1)。今回われわれは膀胱重量のノモグラム化のために、Fig. 1のように計算式を変形し、この計算式のTとIVに数値を入力して全体の体積 (TV) を算出後、IVを差し引いてBWを求めた。

ノモグラムの作成

まずIVを一定にし、Fig. 1の式にTの値 (0.10～0.40 cm) をそれぞれ代入すると、1本の線が引ける (Fig. 2)。IVを90から500 mlまで10 mlずつ変化させて線を引くと、ノモグラムが完成する (Fig. 3)。縦軸が膀胱重量 (g)、横軸が膀胱壁の厚さ (cm) を示している。これらの斜線は、各膀胱容量における膀胱壁の厚さと膀胱重量の関係を表すことになる。膀胱重量35 gが太線になっているが、これは小島らが提唱しているBOOの診断におけるカットオフ値を示して



$$ID = \sqrt[3]{\frac{3 \times IV}{4\pi}}$$

$$OD = ID + T$$

$$TV = \frac{4\pi \cdot OD^3}{3}$$

$$BV = TV - IV$$

$$UEBW = BV \times \text{Specific gravity (1.0)}$$

$$TV = \frac{4\pi}{3} \times \left(T + \sqrt[3]{\frac{3 \times IV}{4\pi}} \right)^3$$

$$UEBW = TV - IV$$

Fig. 1. Schematic drawing of calculation of the ultrasound estimated bladder weight and transformation of the calculation formula for nomogram of the bladder weight.

いる⁶⁾ 実際の使用は、検査時の膀胱容量と膀胱壁の厚みの交点の座標をY軸上で読みとり、膀胱重量を求める。

結 果

われわれが実際に測定した3.75 MHzのプローブを使用した膀胱壁の写真を示した (Fig. 4)。小島らが使用した周波数は7.5 MHzであり、それに比較する

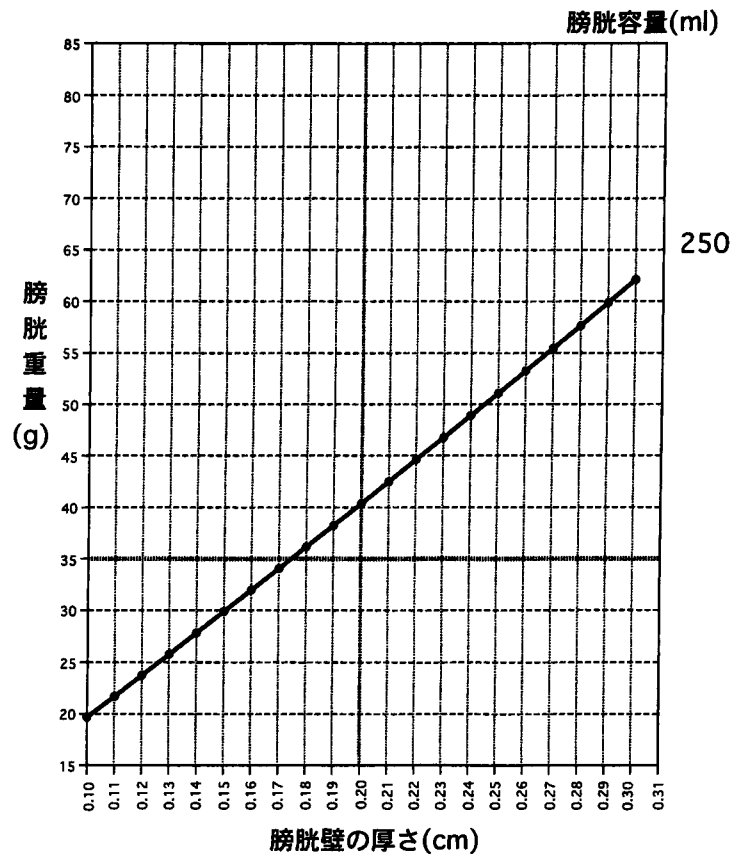


Fig. 2. Preparation of the nomogram. The bladder capacity is fixed, and I line closes, when the value of the bladder wall thickness is substituted into the equation in figure 1.

と若干見にくいですが、測定は可能であった。超音波検査後、Tの平均値の算出時間およびノモグラムからの膀胱重量の読みとり時間などを合わせて約30秒で膀胱重量の推定が可能であった。ノモグラム上にプロットした症例を Fig. 5 に示した。症例 8, 15 は排尿できず PFS が行えなかったが、参考までにプロットした。小島らが提唱した下部尿路閉塞のカットオフ値に基づく、膀胱重量 35 g 未満は 1 例、35 g 以上は 14 例であった。Schafer のノモグラム上にプロットした症例を Fig. 6 に示した。症例 4, 6 は女性のため、本ノモグラムでは評価できず、除外した。膀胱重量 35 g 以上の症例は、Schafer のノモグラム上の閉塞程度はⅢからⅥに分布していた。閉塞の有無は明らかに出来たが、膀胱重量の程度と下部尿路閉塞の程度の関係は、今回の検討では明らかには出来なかった。

考 察

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、それに関する研究はもっぱら動物実験で行われてきた¹¹⁾ ヒト膀胱に関する報告も散見されるが、いずれも膀胱造影や膀胱鏡で観察される肉柱形成の程度から膀胱肥大の

有無やその程度を主観的に判定する以外に方法がなく、客観的かつ定量的に診断する方法がなかった¹²⁾

そこで小島らは、ベッドサイドで非侵襲的かつ定量的に膀胱肥大を評価する方法として、経腹的超音波断層法を用いた超音波推定膀胱重量（以下膀胱重量）の測定法を開発した。膀胱重量の測定は、経腹的に 7.5 MHz の高周波数のプローブを用いて膀胱前壁を描出し、膀胱壁の厚みを計測し、その時の膀胱内容量を測定することで可能である。ここで膀胱壁の厚みが一樣でかつ膀胱が球体であると仮定すると、前出の式に示されるように、膀胱重量を算出することが出来る。膀胱壁は、排尿筋に一致する低エコー領域と漿膜下組織および粘膜・粘膜下組織の高エコー領域からなる 3 層構造として描出されるため、排尿筋を挟む上下の高エコー領域の幅を計測することによって、膀胱壁の厚みを計測できる。臨床の間では患者にあらかじめ適度に蓄尿するよう指示しておき、仰臥位で膀胱壁の厚みを計測する。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、前述の計算式から算出している⁹⁾

膀胱重量の臨床的有用性については、様々な報告がされている。排尿症状を有する男性患者 154 例を対象

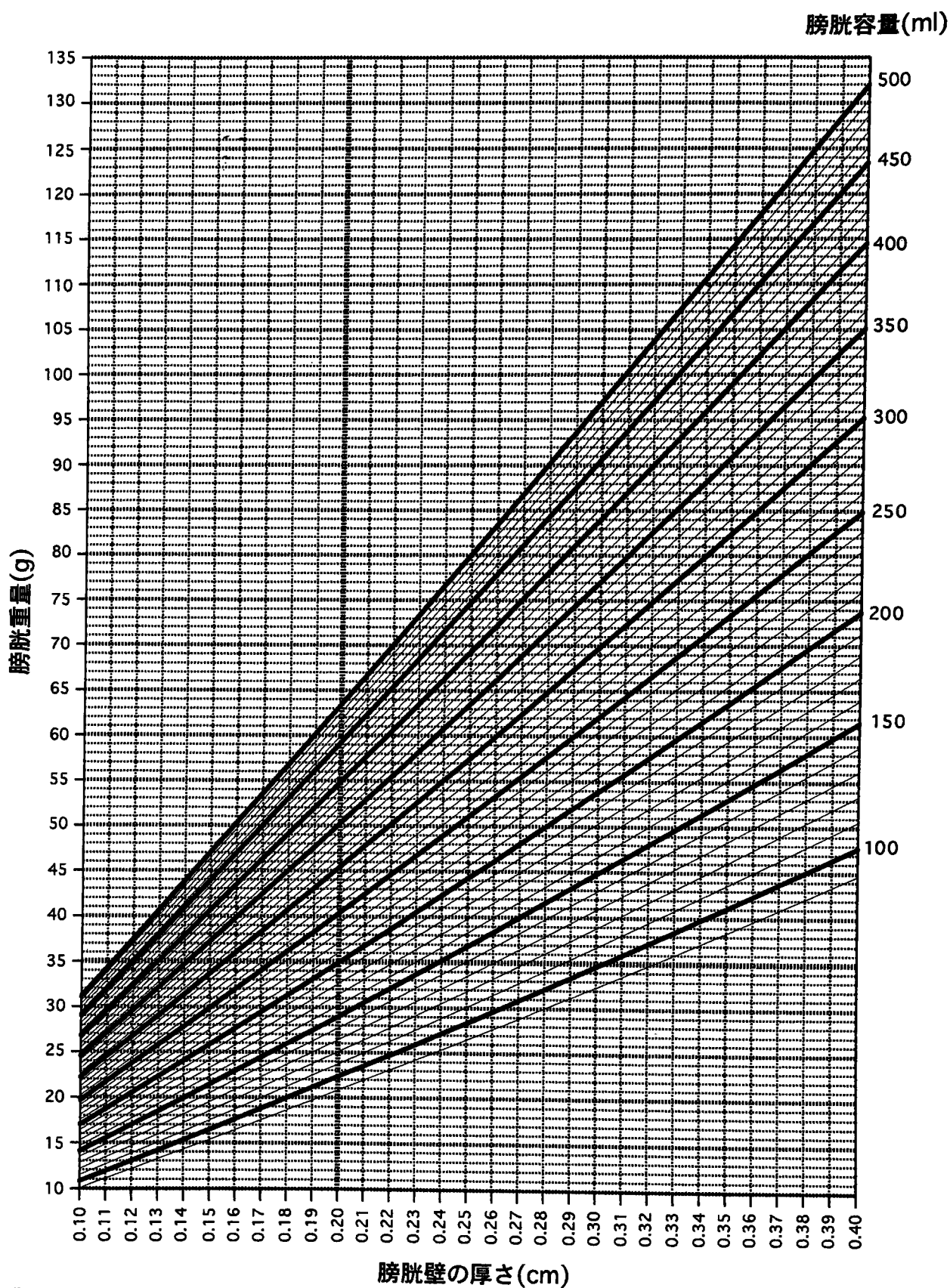


Fig. 3. The nomogram is completed, when the line is drawn by the change of the bladder capacity at each 10 ml. This 35 g becomes a bold line, and cutoff value in the diagnosis of BOO which Kojima advocated is shown.

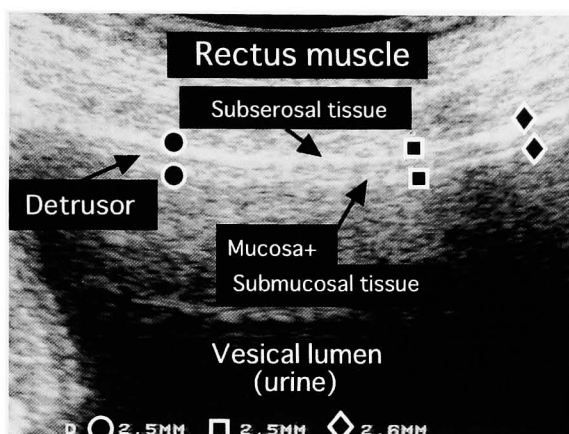


Fig. 4. Ultrasonogram of the anterior wall of the bladder in a 67-year-old patient with infravesical obstruction by BPH. Bladder wall thickness was measured as 2.5 mm with an intravesical volume of 276 ml. The ultrasonically estimated bladder weight was calculated as 55 g. Bladder wall was measured at 3 points and the average value was recorded as the thickness.

に、PFS で下部尿路閉塞の有無を判定し、膀胱重量と比較検討したところ、閉塞のない患者の膀胱重量の平均値は 30.4 g、閉塞のある患者では 45.2 g と有意に高値であった。また、閉塞のある患者の 70% で膀胱重量が 35 g 以上であり、閉塞のない患者では 35 g 以上のものはわずかに 21% であった。そこでカットオフ値を 35 g とすると、positive predictive value は 83%, diagnostic accuracy は 73% であった⁶⁾ また、急性尿閉の予測因子として、年齢・前立腺容量・transition zone (TZ) 容積 TZ index・膀胱重量の中では膀胱重量が最も優れており、この結果は膀胱重量が 35 g 以上の前立腺肥大症患者では、急性尿閉に陥る危険性はそれ以外の患者に比べて 13.4 倍高い¹³⁾ これらの報告のように、特に下部尿路閉塞の診断には高い有用性を有している。今回の検討でも、Abrams and Griffiths のノモグラム上閉塞有りの症例は全例膀胱重量が 35 g 以上、平均 57 g であり、また 35 g 以上の症例で閉塞があったのは 71% で、同様の傾向であった。また Schafer のノモグラムでの検討では、35 g 以上の症例は全例閉塞度ⅢからⅥに分布し、閉塞の有無に関しては一致していた。しかし膀胱重量の程度と閉塞度との間に明らかな傾向は見い出せなかった。今後症例を増やし、さらなる検討が必要である。その他、膀胱重量とその可逆性¹⁴⁾、また下部尿路閉塞のみならず神経因性膀胱¹⁵⁾、小児泌尿器科¹⁶⁾ などに関する多くの知見も得られており^{7, 17-19)}、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。より低侵襲に BOO の有無を評価するために、PFS にかわるパラメーターが検討されている¹⁻⁸⁾ 残尿量、最

大尿流率、前立腺体積、膀胱鏡所見、前立腺仮想円面積比などが報告されているが、陽性的中度・陰性的中度・感度・特異度すべてにおいて膀胱重量は 80% を超えており、有用な検査であると考えられる (Table 2)¹⁰⁾

以上のように膀胱重量は低侵襲かつ定量的な検査であり、有用性の報告が最近徐々に増加してきたが²⁰⁻²²⁾、未だ臨床で幅広く利用されているとはいえない。その理由として、計算式が複雑で、関数計算機付き電卓や表計算ソフトが使えるコンピューターなどを使用しないと計算できず、判定に時間がかかるためであると考えられる。そこでわれわれは膀胱重量算出のノモグラム化を行い、短時間で BOO の判定が可能か試みた。膀胱壁の厚みと、膀胱容量の交点の座標を Y 軸上で読みとると、瞬時に膀胱重量を求めることが可能であった。

次に、計算値の誤差についてであるが、経尿道的に膀胱カテーテルが留置されている患者による検討で、膀胱容量が 100~300 ml の範囲では膀胱重量に有意差は認めなかったという報告を踏まえ²³⁾、今回作成したノモグラム上でも 100~300 ml の間で使用すると最も誤差が少なく利用できると考えられる。誤差を少なくするための 1 つの方法として、われわれは膀胱内圧測定時に膀胱重量測定を同時に行った。この方法ならば超音波による測定ではなく、膀胱容量は絶対値となる。また、プローブの周波数と解像度との関係であるが、7.5~10 MHz の周波数では 0.3~0.5 mm の解像度をもつという報告²⁴⁾を踏まえ、3.75 MHz の解像度では、ノモグラム上での膀胱壁の厚さの最小単位 0.01 cm にはおよばない。しかしどのプローブを使用しても、壁の厚さが測定できればノモグラムの使用は可能である。3.75 MHz のプローブでも 0.01 cm の単位までの測定は可能であるため、今回は解像度ではおよばないが、一般病院で普及している 3.75 MHz のプローブを使用した。膀胱容量が 100~300 ml から外れた場合の誤差、膀胱壁の厚さ残尿のエコー測定による誤差、3.75 MHz と 7.5 MHz のプローブでの違い、またどの程度の厳密さを求めるか、などについては今後さらに症例を重ねて検討する必要があると思われる。

今回作成したノモグラムでは、膀胱壁の厚さの評価も明らかになっており、膀胱重量算出だけでなく、2 つのパラメーターによる判定が可能になっている。これは、超音波検査で計測した最大蓄尿時の膀胱壁の厚さが 2 mm 以上では BOO が存在する²⁵⁾という内容が報告され、これにも対応出来る形にしたためである。また、膀胱内への前立腺突出が 1 cm 以上の場合には BOO による尿閉の危険性が高いために手術適応とすべきである^{26, 27)}など、PFS に代る低侵襲の検

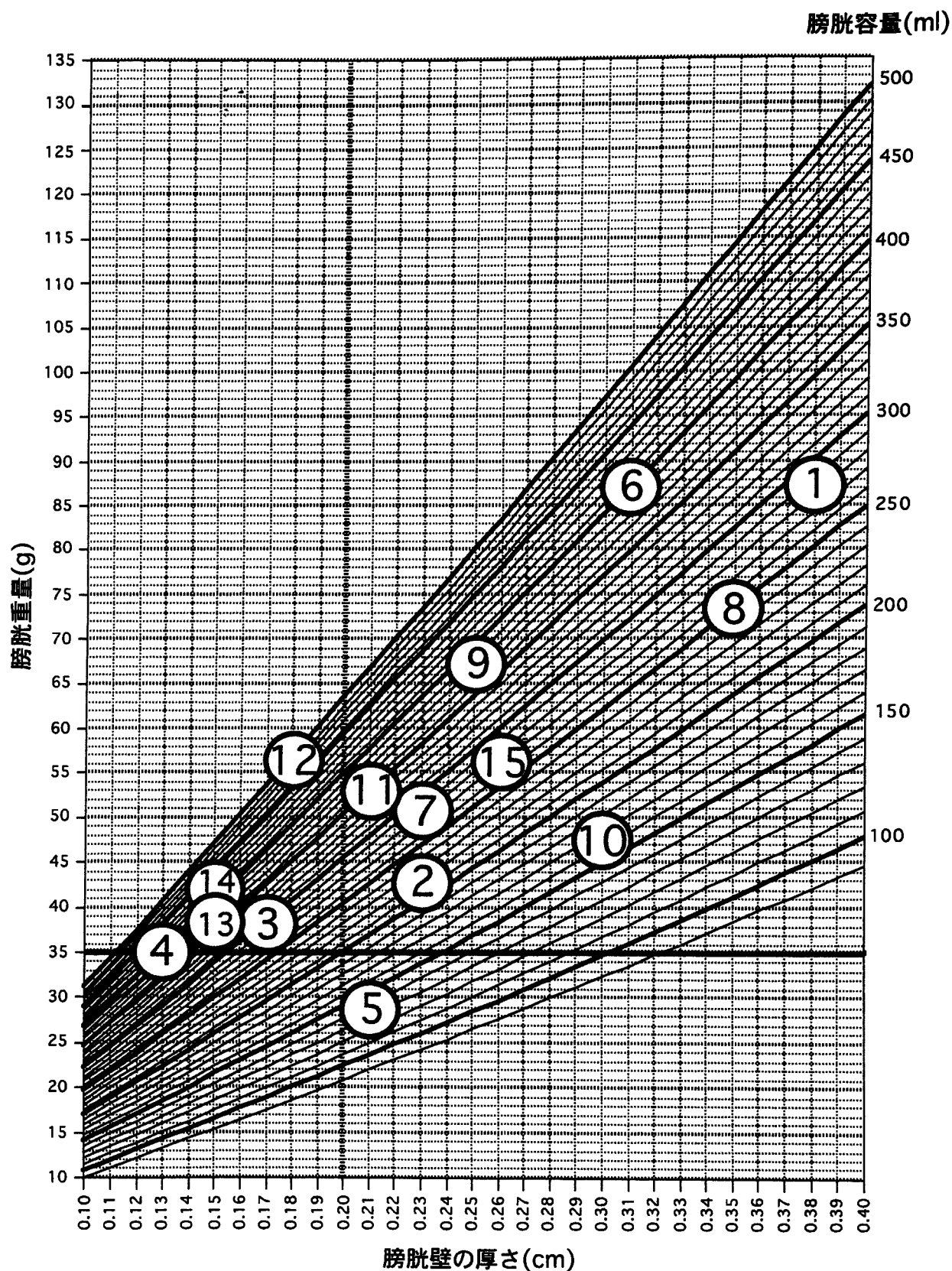


Fig. 5. Estimation of bladder weight in each case using the nomogram. Bladder weight was under 35 g in 1 patient, and over 35 g in 14 patients.

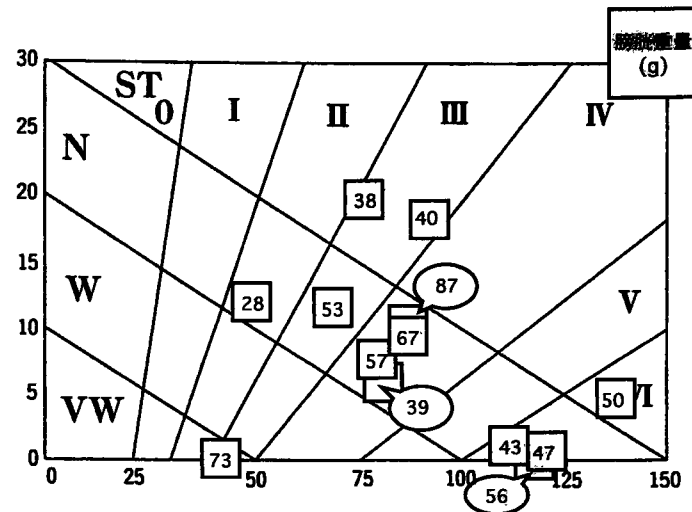


Fig. 6. Distribution of UEBW on Schafer's nomogram. Obstruction on the Schafer's nomogram ranged from III to VI in all 13 male patients.

Table 2. Predictive factors of BOO¹⁰⁾

著者	発表年	指標となる検査 (BOO (+)/BOO (-))	PPV (%)	NPV (%)	SEN (%)	SPC (%)
Abrams ¹⁾	1979	残尿量 (≥ 50 ml/ < 50 ml)	86	25	69	48
Poulsen ²⁾	1994	最大尿流率 (≤ 10 ml/s/ > 10 ml/s)	75	50	69	57
		最大尿流率 (≤ 15 ml/s/ > 15 ml/s)	71	63	90	31
		前立腺体積 (> 50 ml/ ≤ 50 ml)	78	36	34	80
Ezz EI Din ³⁾	1996	膀胱鏡所見 (grade 3/grade 1, 2)	約90	約30	?	?
van Venrooij ⁴⁾	1996	BOO number (≥ -2 / < -2)	90	約37	66	74
Rosier ⁵⁾	1996	prostate score (≥ 11 / < 11)	?	?	81	53
Kojima ⁶⁾	1997	推定膀胱重量 (> 35 g/ ≤ 35 g)	88	84	85	87
Kojima ⁷⁾	1997	前立腺仮想円面積比 (≥ 0.8 / < 0.8)	86	62	77	75
Homma ⁸⁾	1998	最大尿流率 (< 15 ml/s/ ≥ 15 ml/s)	88	42	97	17
		前立腺体積 (≥ 30 ml/ < 30 ml)	77	23	52	90
		膀胱鏡所見 (grade 2/grade 0, 1)	97	19	60	91

PPV: positive predictive value, NPV: negative predictive value, SEN: sensitivity, SPC: specificity.

査の報告が増加している。有用性を評価されながら、実用性に乏しかった膀胱重量も、われわれのノモグラムを使用することで臨床の実用性が高まり、これによって簡単に BOO を推定出来るので、今後非侵襲的 BOO 推定パラメーターの中心として幅広く利用されるのではないかと考えられた。

結 語

1. 膀胱重量算出ノモグラムを作成し、その有用性について検討した。尿閉 切迫性尿失禁のために PFS が行えない患者でも低侵襲かつ定量的に BOO の評価が可能と思われた。

2. 膀胱重量算出ノモグラムは、複雑な計算式を使わず、関数計算機付き電卓や表計算ソフトが使えるコンピューターなどを必要とせず、直ちに膀胱重量を推定でき、また高価な専用機器も使用せずに BOO を評価出来るので、非常に有用であると思われた。

文 献

- 1) Abrams P and Griffiths DJ: The assessment of prostatic obstruction from urodynamic measurements and from residual urine. Br J Urol **51**: 129-134, 1979
- 2) Poulsen A, Schou J, Puggaard L, et al.: Prostatic enlargement, symptomatology and pressure/flow evaluation: interrelations in patients with symptomatic BPH. Scand J Urol Nephrol **157**: 67-73, 1994
- 3) Ezz EI Din K, De Wildt MJAM, Rosier PFWM, et al.: The correlation between urodynamic and cystoscopic findings in elderly men with voiding complains. J Urol **155**: 1018-1022, 1996
- 4) van Venrooij GEP and Boon TA: The value of symptom score, quality of life score, maximal urinary flow rate, residual volume and prostate size for the diagnosis of obstructive benign prostatic

- hyperplasia : a urodynamic analysis. *J Urol* **155** : 2014-2018, 1996
- 5) Roiser PFWM, De Wildt MJAM, Wijkstra H, et al. : Clinical diagnosis of bladder outlet obstruction in patients with benign prostatic enlargement and lower urinary tract symptoms : development and urodynamic validation of a clinical prostate score for the objective diagnosis of bladder outlet obstruction. *J Urol* **155** : 1649-1654, 1996
- 6) 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
- 7) 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
- 8) Homma Y, Gotoh M, Takei M, et al. : Predictability of conventional tests for bladder outlet obstruction assessment in benign prostatic hyperplasia. *Int J Urol* **5** : 61-66, 1998
- 9) Kojima M, Inui E, Ochiai A, et al. : Ultrasonic estimation of bladder weight as a measure of bladder hypertrophy in men with intravesical obstruction : a preliminary report. *Urology* **47** : 942-947, 1996
- 10) 本間之夫 : 前立腺肥大症 (3) —プレッシャーフロースタディの必要性— 排尿障害プラクティス **5** : 244-251, 1997
- 11) Brent L and Stephens FD : The response of smooth muscle cells in the rabbit urinary bladder to outflow obstruction. *Invest Urol* **12** : 494-502, 1975
- 12) Gosling JA and Dixon JS : Detrusor morphology in relation to bladder outflow obstruction and instability. In : BPH, Hinman F Jr (eds), New York, Springer-Verlag, 666-671, 1983
- 13) Kojima M, Iwata K, Inaba M, et al. : The possible use of ultrasonic measurement of bladder weight as a predictor of acute urinary retention in patients with benign prostatic hyperplasia (BPH). *J Urol* **165** : 268, 2001
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 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
- 17) Ochiai A and Kojima M : Correlation of ultrasound-estimated bladder weight with ultrasound appearance of the prostate and postvoid residual urine in men with lower urinary tract symptoms. *Urology* **51** : 722-729, 1998
- 18) Inui E, Ochiai A, Naya Y, et al. : Comparative morphometric study of bladder detrusor between patients with benign prostatic hyperplasia and controls. *J Urol* **161** : 827-830, 1999
- 19) 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 hypertrophy. *Acta Histochem Cytochem* **33** : 131-139, 2000
- 20) 宮下浩明, 沖原宏治, 鈴木 啓, ほか : 超音波推定膀胱重量による前立腺肥大症における尿閉の予測. *日泌尿会誌* **93** : 280, 2002
- 21) 関口由紀, 井上裕美, 浮村 理, ほか : Bladder outlet obstruction nomogram for women と女性における超音波推定膀胱重量による下部尿路閉塞評価の比較について. *日本排尿機能学会* **13** : 154, 2002
- 22) 曲 友弘, 深堀能立, 河野真意, ほか : 膀胱重量測定による下部尿路閉塞の評価—膀胱重量算出ノモグラムの作成と試用. *北関東医* **52** : 215, 2002
- 23) Naya Y, Kojima M, Honjo H, et al. : Intraobserver and interobserver variance in the measurement of ultrasound estimated bladder weight (UEBW). *Ultrasound Med Biol* **24** : 771-773, 1998
- 24) 田中元直 : 高解像度超音波診断. *日医師会誌* **90** : 2464-2468, 1983
- 25) Matthias Oelke, Klaus Hoefner and Udo Jonas : Enhancement of detrusor wall thickness indicates BOO in men. *J Urol* **165** : 267-268, 2001
- 26) Sing Joo Chia, Chin Tiong Heng and Keong Tat Foo : Intravesical prostatic protrusion significantly predicts for obstruction in BPH. *J Urol* **165** : 268, 2001
- 27) Yeh Hong Tan and Keong Tatt Foo : Predicting the outcome of trial voiding following acute urinary retention using transabdominal ultrasound. *J Urol* **165** : 269, 2001

(Received on May 28, 2003)
(Accepted on September 13, 2003)