下部尿路の尿流動態研究

Ⅱ. 排尿パラメーターのコンピューター分析

名古屋大学医学部泌尿器科 近 藤 厚 生
(主任: 三矢英輔教授)

URODYNAMIC STUDY OF LOWER URINARY TRACT

II. Computer Analysis of Micturition Parameters

Atsuo Kondo

Department of Urology, Nagoya University School of Medicine, Nagoya, Japan

(Director: Professor Hideo Mitsuya)

Thirty-five micturition parameters of urinary flow curves have been statistically evaluated by computer analysis. The flow rate and urinary volume voided were calculated every second by the analysis of flow curve. Parameters involve the correlation found among flow rate, total urinary volume, volume voided each second, voiding time and sex. A flow curve, obtained through Mictiograph (DISA, 14F43), was photographed and mounted on a slide. Enlarged curve by a slide projector was plotted every second with Graph pen, which was simultaneously recorded on teletype printer. 249 flow curves out of 500 obtained in 150 healthy male and female volunteers aged from 18 to 45 were fed into a digital computer.

Experimental study of the accuracy of Mictiograph demonstrated that the change in urinary stream velocity and centripetal force on the rotating disk had yielded a significant error upon its flow rate and the subsequent total urinary volume computed in the present study. The response to change in urinary volume alone was quite satisfactory. The volume coefficient (computed urinary volume/real urinary volume) was found spread between 0.5 and 1.3. Reliability of data to be utilized for computer analysis was defined to be ± 15 percent of volume coefficient, which further reduced the number of flow curves from 249 to 176.

1) Total urinary volume, average flow rate and maximum flow rate: they are all proportional to the total urinary volume in both sexes. Significant difference between sexes was found only at the maximum flow rate; the values are higher in females than in males.

2) Time and time percent at maximum flow rate: the time at maximum flow rate is correlated with the total urinary volume in males, but not in females. Flow rate reaches the maximum in one third of total voiding time.

3) Volume and volume percent until time of maximum flow rate: the former is proportional to the total urinary volume in both sexes. Approximately 40 percent of total urinary volume is voided within this period.

4) Volume and volume percent for the first 1 to 5 seconds: the former is correlated with the total urinary volume. During the first 5 seconds 70 percent of total volume is evacuated in the group of 50 to 99ml, while only 25 percent in the group of 400 to 499 ml.

5) Correlation between voiding time and volume voided: Regardless of sex and total urinary volume, 25 percent of total volume is voided in one fifth of total voiding time, 50 percent in one third and 75 percent in one half.

6) In general females have a stronger urinary stream force than males.

7) A drop is observed in the flow rate curve at 1 to 5 seconds in males and at 2 and 3 seconds in females. No significant meaning can be drawn from this phenomenon.

8) Mictiograph is one of the valuable clinical tools to evaluate the mode of micturition qualitatively. However it possesses a certain intrinsic limitation as a method for the quantitative analysis of micturition parameters.

諸 言

尿波形測定 (uroflowmetry) は今日泌尿器科領域で頻繁に使用され、日常診療における検査法として欠くべからざる地位を確立した。1974年より我々は尿流量計 Mictiograph (DISA, 14F43) を外来・入院患者に使用しているが、排尿障害のパターンは直ちに識別でき、更に薬物療法・外科治療の効果は客観的に分析可能となつた。この検査法の他の長所は患者に苦痛を与えない、尿道・膀胱ヘカテーテル挿入を要しない、操作が簡便でしかも短時間で完了する等々である。

最大排尿率、平均排尿率、総排尿時間の各排尿パラメーターに関する定量的分析結果¹⁾²⁾、および種々尿路疾患における排尿曲線の定性的変化³⁾⁴⁾⁵⁾についてはすでに多く報告されている。しかし経時的排尿量についての詳細なデータは報告されていない。今回は健康人の排尿曲線よりコンピューターを用いこの経時的排尿量の変化と排尿率、総排尿時間を計算し、性別、総排尿量との相関について統計的分析をおこなつたので報告する。なお Mictiograph の精度については松田等⁶⁾がすでに本誌上で発表しているが、この研究途上解明された機構上の本質的欠陥についても検討を加える。

対象と方法

検査対象は18歳から45歳の健康人、男女150名である。その構成は名古屋大学学生、名古屋大学病院および中部労災病院附属高等看護学院学生、医師、看護婦、下路尿路に障害を有さない患者が主である。

排尿曲線は尿流量計 Mictiograph (DISA, 14F43) を経て入手した。Mictiograph は次のような作働原理を有している。尿流トランスデューサー (uroflow transducer) には一定数にて回転する縁付円盤 (直径70mm、外縁高7mm、重量6g) が接続している。この円盤上に負荷 (尿流量) が加わると回転数は瞬時低下するが、電気回路に組みこまれたサーボ機構の働きで余分の電流を消費し回転数を一定に保つ。電流消費量の変化を微分し記録紙に描出したものが排尿曲線である。総排尿量は記録紙の終末に表示され、これは余分に消費した電流総量に等しい。しかし今回の研究ではこの総排尿量表示が不正確なため、尿量は1000ml メスシリンダーで実測した。排尿率は全例 50ml/sec/50mm の目盛で測定し、記録紙速度は 3mm/sec であつた。排尿は腹圧を加えておこなうよう要請した。尿流量計と女子用排尿台は隔離室に設置し、周囲からの心理的要因を除去するよう配慮した。男子は立位で排尿し、外尿道口と回転円盤との距離は約

30cm とした。女子は日本女性の一般的排尿姿勢を考慮し、特製排尿台を作り蹲踞位で排尿させた。前方に排出孔を有する和風大便器 (伊奈, C-102) を用い、前方に10度傾斜させ床高61cmの排尿台 (100 × 110cm) に設置した。排尿時に心理的安定感を与えるため台の前方に遮蔽板 (100 × 37cm) を立て、これにロールペーパーを装着した。排出孔直下に尿流トランスデューサーをおき、女子外尿道口からの距離は約40cm となる。

排尿曲線のコンピューター解析

150名の健康人が1～数回排尿し、500枚の排尿曲線が得られた。排尿パラメーターは総排尿量と強い相関を示すといわれ²⁾、又女子の排尿は解剖学的差異より男子とは当然異なる。排尿曲線をまず性別により2群に分け、更に実測尿量で次の5群に分類した。すなわちグループⅠは50～99ml、グループⅡは100～199ml、グループⅢは200～299ml、グループⅣは300～399ml、グループⅤは400～499ml である (Table 1)。排尿量49ml 以下および

Table 1. Five groups of urinary volume and number of data. 249 flow curves out of 500 were first fed into computer. When the error of these data was taken into account, the number of data was reduced from 249 to 176.

Group (Range of urinary volume)	Data fed into computer		Final number for computer analysis	
	Male	Female	Male	Female
I (50 ~ 99 ml)	19	12	15 (70 ml)*	7 (74 ml)
II (100 ~ 199 ml)	29	41	23 (149 ml)	25 (136 ml)
III (200 ~ 299 ml)	30	47	22 (241 ml)	26 (228 ml)
IV (300 ~ 399 ml)	28	24	26 (338 ml)	17 (317 ml)
V (400 ~ 499 ml)	13	6	10 (421 ml)	5 (437 ml)
Subtotal	119	130	96	80
Total	249		176	

* Mean urinary volume of each group.

500ml 以上は正常排尿パターンを示さずこれらの資料は棄却した。排尿曲線の余白に氏名、性別、実測尿量、測定年月日を記入し、これを一定距離より写真撮影しスライド (ライカ版) を製作した。スライドをスライドプロジェクターにて、グラフペン (Science Accessory Corp, GP-2) XY 座標値測定盤に拡大投影する。拡大率は3.3倍すなわち排尿曲線横軸上の3mm (1秒) をX軸上の10mm に拡大する。グラフペンを用い排尿曲線の立ち上

Fig. 1. Enlarged flow curve is plotted by Graph pen every second, which subsequently calculates flow rate and urinary volume.

Table 2. 35 parameters obtained by computer analysis.

1. Total voiding time (sec)
2. Computed total urinary volume (ml)
3. Volume coefficient (computed volume/real volume)
4. Average flow rate (parameter 2/parameter 1) (ml/sec)
5. Maximum flow rate (ml/sec)
6~7. Time (sec) and time % at maximum flow rate
8~9. Volume (ml) and volume % until time of maximum flow rate
10~19. Volume (ml) and volume % for the first 1 to 5 seconds
20~25. Time (sec) and time % at 25, 50 and 75%-total-volume
26~35. Flow rate at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13 & 15 seconds

りから最終点まで10mm 毎に曲線に忠実に追従し (Fig. 1), 各点のデータを XY 座標値として テレタイプブリッシャー (Teletype Corp, ASR-33) により紙面に印刷し同時に紙テープに穿孔記録する。この紙テープ上のデータをプログラムにしたがいデジタルコンピューター (DEC Corp, PDP-12) に入力する。最後に男女各5群での35パラメーター (Table 2) についてその平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値をコンピュータープログラムにより求めた。

コンピューター解析による排尿率 (ml/sec), 排尿時間 (sec), 排尿量 (ml) の計測は次の方法でおこなった (Fig. 1)。排尿曲線上の値のすべては第一点A点の XY 座標値を基準とする。ただし, Yのマイナス値は棄却する。拡大投影された排尿曲線と XY 座標の関係により,

$$944 Y = 50 \text{ ml/sec}$$

$$Y = \frac{1}{18.1} \text{ ml/sec} \quad (1)$$

となる。一方X軸上の各点間の距離は1秒である。したがって,

$$\Delta X = 1 \quad (2)$$

となる。最大排尿率は公式 (1)によりC点Y座標値とA点のY座標値との差を18.8で除した商である。総排尿時間Tは曲線上の点数nから1を引いた差である。すなわち AG 間の時間は

$$T = n - 1$$

$$= 7 - 1$$

$$= 6$$

となり6秒である。総排尿量は本来排尿曲線 $f(x)$ を積分した値Sで求められる。

$$S = \int f(x) dt \quad (4)$$

今回は曲線 $f(x)$ を1秒毎に分割して得られる三角形および台形の面積総和により近似値として求めた。 S_1 と S_2 は次のように求める

$$S_1 = \frac{BH \cdot AH}{2}$$

$$= \frac{BH}{2}$$

$$S_2 = \frac{(CI + DJ) \cdot IJ}{2}$$

$$= \frac{CI + DJ}{2}$$

故に Fig. 1 の総面積 S' は,

$$S' = \int_A^G f(x) dt$$

$$= \sum_{i=1}^{n-1} S_i \quad (5)$$

コンピューター測定尿量Vは公式 (1), (2), (3), (4),

$$(5) \text{により}$$

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} S_i \times \frac{1}{18.8} \quad (6)$$

平均排尿率 AFR は公式 (3)と (6)により

$$AFR = \frac{V}{T}$$

$$= \sum_{i=1}^{n-1} S_i \times \frac{1}{18.8 (n-1)}$$

となる。

当初500枚の排尿曲線より男女各グループ毎に30枚を無作為に抽出し300枚を統計処理する計画を立てた。しかし男子ではグループIとV, 女子ではグループI, IV, Vで資料数が30枚に満たなかつた。そこで282枚をグラフペンにより分析したが, グラフペンの誤作動, 誤操作のため33資料が無効となり, 残る249資料 (男119, 女130) のデータをコンピューターへ入力した (Table 1, 左)。

コンピューター測定尿量と実測尿量との相関は公式 (6)の妥当性を検定するのみでなく, Mictiograph の精

Fig. 2. Volume coefficient (computed urinary volume/real urinary volume) calculated in 249 flow curves is spread between 0.5 and 1.3.

度を含めた一連の分析手技の信頼性をも反映するものである。そこでコンピューター測定尿量を実測尿量で除し、排尿量係数 (volume coefficient) をすべての資料で計算しヒストグラムに示した (Fig. 2)。排尿量係数は0.5~1.3の範囲に分散している。男女の最頻数 (モード) はいずれも0.9~1.0の間に在る。男子では係数1.0以上に65資料、1.0以下に54とほぼ同数が分布している。一方女子では各々39と91が分布し、コンピューター測定尿量が実測尿量より少なく計算された資料が多い。係数1.0又はそのごく周辺に資料が集約されていない事実は Mictiograph の精度に欠陥があるか、又はそれ以後の過程における操作ミスの存在を示唆するものである。後に述べる理由に基づきコンピューター解析した資料の誤差を±15%に限定し、排尿量係数0.85~1.15の範囲内のデータを採用した。このため73資料が更に棄却され、最終的資料数は176 (男96, 女80) となつた (Table 1, 右)。統計的有意差検定は最小2乗法, χ^2 検定, t 検定法を用いた。

排尿パラメーター

1. 総排尿時間 (total voiding time)

グループIでは約10秒, グループVでは約20秒で排尿が完了する (Fig. 3)。このグラフは明らかに一定の増加傾向を示す。そこで最小2乗法により傾向線を求めた。男女の傾向線は,

$$y = 3.3x + 6.5$$

$$y = 2.4x + 7.4$$

となり各々有意であつた ($0.01 > p$)。男子は一般に女子より排尿時間が長い, 男女間の傾向線には有意差を認

Fig. 3. Total voiding time is proportional to total urinary volume in both sexes.

めない ($p > 0.05$)。y は時間 (sec), x はグループを示す。

2. 平均排尿率 (average flow rate)

総排尿量と正の相関を有し, グループVの平均排尿率, 19~23ml/sec はグループI, 7ml/sec の約3倍である (Fig. 4, 左)。男女の傾向線は,

$$y = 2.9x + 5.4$$

$$y = 3.8x + 4.3$$

となり各々有意であつた ($0.01 > p$)。グループIV, Vで男子の値は低くなるが, 男女間の傾向線には有意差を認めない ($p > 0.05$)。y は排尿率 ml/sec, x はグループを示す。

3. 最大排尿率 (maximum flow rate)

総排尿量と正の相関を示す (Fig. 4, 右)。男女の傾向線はそれぞれ

$$y = 4x + 12.1$$

$$y = 6.6x + 10.2$$

となり各々有意であつた ($0.01 > p$)。y は排尿率 ml/sec, x はグループ。女子の値はグループII, III, IV, Vで男子より有意に大きく (t 検定, 0.05 又は $0.01 > p$)。又男女間の傾向線でも有意差を認める ($0.05 > p$)。

4. 最大排尿率までの時間と時間百分率 (time and time percent at maximum flow rate)

男子では総排尿量と相関を示すも, 女子では5秒が上限である (Fig. 5, 左)。男女の傾向線はそれぞれ

$$y = 1.1x + 2.6$$

$$y = 0.64x + 2.5$$

となる。y は時間 (sec), x はグループ。男子の傾向線

Fig. 4. Average flow rate (left) and maximum flow rate (right) are correlated with the total urinary volume in both sexes. Sex difference is statistically significant in maximum flow rate.

Fig. 5. Time at maximum flow rate (left) is proportional to the total urinary volume in male, but not in female. Flow rate reaches the maximum in one third of total voiding time (right).

は有意であるが ($0.01 > p$), 女子ではグループIV, Vの値が低下し有意性を認めない ($p > 0.05$). 時間百分率は総排尿時間に対する割合を示す。総排尿時間の約1/3で排尿率は最大となる (Fig. 5, 右)。

5. 最大排尿率までの排尿量と排尿量百分率

(volume and volume percent until time of maximum flow rate)

最大排尿率までに排泄される尿量は総排尿量と正の相関を有する (Fig. 6, 左). 男女の傾向線はそれぞれ

$$y = 35.3x - 4.4$$

$$y = 31.1x - 4.2$$

となり各々有意であつた ($0.01 > p$). 男女間の傾向線には有意差を認めない ($P > 0.05$). y は排尿量 (ml), x

Fig. 6. Volume until time of maximum flow rate (left) is correlated with the total urinary volume in both sexes. Approximately 40 percent of total volume is evacuated until time of maximum flow rate (right).

Fig. 7. Volume (left) and volume percent (right) for the first 1 to 5 seconds are illustrated.

はグループを示す。Fig. 6, 右図は膀胱容量のいかんを問わず, その40~45%が最大排尿率にいたる間に排泄されることを示している。

6. 1~5秒後までの排尿量と排尿量百分率

(volume and volume percent for the first 1 to 5 seconds)

総排尿量が多いほど又排尿開始後の経過時間が長いほど, 最初の5秒間に排泄される尿量は多くなる (Fig. 7, 左). グループIでは男女間に差を認めないが, グループVでは3秒以後に有意差をもつて女子の方が多く排泄される (0.05 又は $0.01 > p$). 排尿量百分率の5秒後ではグループIはすでに70%が排泄されているが, グループVではまだ25%しか排尿されていない (Fig. 7, 右). なおグループII, III, IVの値は図中のIとVの間に在る。

Fig. 8. Time (left) and time percent (right) in relation to volume percent are illustrated.

Fig. 9. Standardized flow curves based upon computed data.

7. 25%, 50%, 75% 排尿量に要する時間と時間百分率 (time and time percent at 25%, 50%, 75%-total-volume)

所要時間は総排尿量と正の相関を示す (Fig. 8, 左). 膀胱容量の 50% を排泄するのにグループ I では 3 秒,

グループ V では 6 ~ 9 秒を必要とする, 排尿量と排尿時間との関係は両者を百分率で比較するとより明確となる (Fig. 8, 右). 総排尿量の 25% は総排尿時間の 1/5 で, 50% は 1/3 で, 75% は 1/2 で排泄される.

8. コンピューター解析による標準化排尿曲線 (standardized flow curve based upon computed data)
コンピューター計算された総排尿時間, 最大排尿率, 経時的排尿率の各平均値をなだらかな曲線で結び, 標準化排尿曲線を作成した (Fig. 9). 男女共にグループ毎の排尿曲線は互に相似形を示している. 男子排尿曲線終末に通常認める棘波は平均化され, このグラフには描写されていない. 最後に日常診療に参考となる 3 つの排尿パラメーターを Table 3 に示す (小数第 1 位を 4 捨 5 入).

討 論

日常我々は排尿曲線を定量的というむしろ定性的, 視覚的に認識し評価している. 尿線中絶は容易に識別可能である. しかし最大排尿率, 平均排尿率, 排尿時間の各パラメーターは性別, 総排尿量と強く相関し, 標準値と比較することなく見過ごすことが多い. 本論文は健康日本人男女の排尿運動におけるこれらの値を明確にし, さらに経時的排尿量の変化を分析し報告した. 排尿量を一秒毎に測定する方法は 1967 年 Koontz & Roman⁷⁾ により報告された. 回転ドラムの周囲に 60 本のガラス管を装置し, このドラムを 60 秒で 1 回転させる. これは単純明確な方法で各ガラス管内の尿量をグラフ用紙に記入すれば, 経時的排尿量と共に排尿率が直ちに判明する. Whitaker⁸⁾, Edwards⁹⁾ も同じ測定法を発表した. しかし自動記録計が無く又 60 秒以上にわたる排尿には無効である等の欠点を有し, この方法による排尿パラメーター

Table 3. Standard values of 3 parameters found in normal Japanese men and women aged from 18 to 45. The urinary flow curve has been obtained through Mictiograph (DISA, 14F43), where voiding was performed with abdominal strain.

Urinary volume	Total voiding time (sec)		Maximum flow rate (ml/sec)		Average flow rate (ml/sec)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
50 ~ 99 ml	10 (1)*	11 (2)	15 (4)	15 (3)	7 (2)	7 (1)
100 ~ 199 ml	13 (2)	11 (2)	20 (5)	27 (7)	12 (3)	13 (3)
200 ~ 299 ml	15 (2)	15 (4)	27 (6)	30 (7)	16 (3)	17 (4)
300 ~ 399 ml	21 (4)	18 (5)	29 (6)	34 (10)	17 (3)	20 (5)
400 ~ 499 ml	22 (4)	19 (2)	32 (6)	44 (8)	19 (3)	23 (4)

* Standard deviation

の分析報告はない。コンピューター解析による排尿量の経時的連続的測定法は生理的排尿に伴う新しいパラメーターの検討を可能にした。すなわち最大排尿率までの排尿量 (Fig. 6), 1~5秒後の排尿量 (Fig. 7), 一定排尿量とそれに要する排尿時間の相関関係 (Fig. 8) の3つである。最大排尿率までの排尿量は総排尿量との間に正の相関を有する。Susset 等²⁾もこのパラメーターを報告しているが、人種による差はほとんどない。一定排尿量とそれに要する時間の相関は極めて興味深い。膀胱容量と性別のいかんを問わず、排尿量の50%は総排尿時間の1/3で、75%は1/2で排泄される。例えば400mlを20秒間で排泄する健康人は前半の10秒で300mlを後半の10秒で100mlを排泄する。したがって平均排尿率は前半30ml/secから後半10ml/secへと低下する。

総排尿時間、平均排尿率、最大排尿率の3つは外来で定量的に比較検討が可能である (Table 3), これらの傾向線はいずれも有意性を有し、総排尿量とは直線関係にあるといえる。黒田¹⁾の報告した健康男子の平均・最大排尿率はほぼ著者のデータに重複するが、排尿量との相関については検討されていない。これら3パラメーターをカナダ人男子と比較してみると、値は相互に極めて類似している²⁾。男子における最大排尿率までの時間 (Fig. 5) は有意な傾向線を示し、総排尿量との間に正の相関を有する。一方女子の所要時間は5秒が上限であり、傾向線には有意性を認めなかった。しかしこの傾向線以外にはすべて総排尿量との間に相関を示すことより、これは単にグループVの資料数 (Table 1) が少ないため偶然に発生したものと推定する。

Susset 等²⁾は男子排尿曲線での排尿2秒後排尿率を総排尿量と相関させグラフに描写した。この曲線は総排尿量150mlと350mlで2つの頂点を作り、その間に谷を形成したが、その生理的意義は不明と報告した。著者は排尿後1~5秒の排尿率をグラフに描きその凹凸について検討を加えた。男子排尿率曲線は5本共に240ml (グループⅢの平均排尿量)と420ml (グループV)に頂点を、340ml (グループVI)に谷を形成していた (Fig. 10, 左)。女子では2秒, 3秒後排尿率で総排尿量230ml (グループⅢ)に谷が形成された (Fig. 10, 右)。しかし男女いずれの場合にも頂上と谷の値には統計的有意差が証明されず ($p>0.05$), この現象に特別な意義を見つけることは妥当でない。

性別: 女性の尿道は男性に比べて短かくて太く、又屈曲も少ない。尿流線のもつエネルギーは尿道粘膜との摩

Fig. 10. A drop is observed in the flow rate curve in both sexes. No significant meaning can be drawn from this phenomenon.

擦, 尿流速度, 尿流線の方角転換度に比例し, 尿道直径の4乗に反比例して減弱する¹⁰⁾。この結果女性の尿線エネルギー喪失度は男性よりも一般に少ないといわれる¹¹⁾。事実, 最大排尿率は女性の値が統計的有意差をもつて男性を凌駕していた (Fig. 4, 右)。更に女性排尿曲線の排尿量係数が1.0以下に多く分布していたことは (Fig. 2), 次に述べる Mictiograph の特性より女性尿線のもつエネルギーが大きいことを示唆するものである。

加齢: Drach & Binard¹²⁾によれば10歳以後では, 30歳毎の加齢と共に最大排尿率は10ml/secづつ低下するといわれる。これは利尿筋の機能的機質的变化に基づく膀胱収縮力の低下と¹³⁾、男性では50歳頃より始まる前立腺肥大のためであろう。検査対象者の年齢は18~45歳であり, 加齢の影響は除外できる。

Mictiograph の特性: 排尿量係数は0.5~1.3に分布し (Fig. 2), 最終的誤差許容範囲を±15%に限定した結果男子では119資料中23 (19%)が女子では130資料中50 (38%)が棄却された (Table 1)。女子の棄却率は有意に男子より高い (X^2 検定, $0.005>p$)。排尿量係数が広く分散し, 男女間での棄却率が異なるのは何故であろうか? 尿流線のもつエネルギーが男女間で異なり, このため Mictiograph の反応性に差が生ずるのではないかと考えた。Fig. 11に示す実験装置を組み立て, 水を定常流 (31ml/sec) で流して速度Vを変化させ, 尿流トランスデューサーの反応を検定した。速度Vは次の2成分の和である。

Fig. 11. Experimental study of accuracy of Mictiograph.

$$v = v_0 + v_1$$

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

$$v_1 = \sqrt{2gH}$$

v_0 は貯水ビン先端での速度、 v_1 は距離 H で生ずる速度、 h と H は図に示した距離である。距離 h は固定し H を 5cm, 30cm, 100cm, 130cm と変化させ、定常流を回転円盤の中心へ落下させた。定常流に反応した Mictiograph の指す値 W は Fig. 11, 上段に示した。30cm での反応は良好で 31.5ml/sec と標示される。これより距離が短くなるとプラスの、長くなるとマイナスの誤差 (+5 ~ -24%) が生ずる。 W と H との間には負の相関が成立する。

$$W = \frac{-7.5}{100} H + 33.2 \quad (7)$$

回転円盤に加わる力 F は次のように一般化される。

$$F = \frac{mV' - mV}{\Delta t}$$

m は質量、 V は円盤にあたる前の尿流速、 V' は円盤から跳ね返った後の速度で、 Δt は円盤への衝突時間である。円盤に加わる反作用力 F' は

$$F' = -F = \frac{mV' - mV}{\Delta t} \quad (8)$$

となる。Mictiograph の指す値 W は公式 (8) より

$$W = \frac{mV}{\Delta t} \quad (9)$$

となるべきである。次に $H=30$ cm で定常流 (31ml/sec) を、回転円盤の外縁へ落下させた。Mictiograph の標示は中心へ落下させた場合の -8 % となつた (Fig. 11, 下段)。これは向心力 F (centripetal force)

$$F = mr\omega^2 \quad (10)$$

の影響をうけるためである。 m は質量、 r は半径、 ω は角速度を示す。尿線落下点が円盤の外側になるほど、 r は大きくなり向心力は増大する。最後に尿流量変化に対する反応性を検定した。 H を通常の外尿道口と回転円盤との距離に相当する 30cm に固定し、水流線は円盤の中心へ落下させ、流量を 8~30ml/sec の範囲で 10 通りに変化させた。生じた誤差は 0 ~ +7 % で、平均 +3 % と計算された。このように Mictiograph の反応性に影響をおよぼすものは尿流速、向心力、尿流量の 3 要因と判明した。尿流量の変化に対する反応性は良好であり、この関係は速度 V を定量化と想定すれば公式 (9) によつて示されている。一方尿流速と向心力の変化に対する追従性は不良で、何ら補正能力を備えず、その結果は公式 (9)、(10) と逆相関を示す。逆説的には Mictiograph が尿流量計と称される以上、流量以外の要因に追従できない無能力性を責めることはできない。排尿運動を総合的かつ高精度に分析把握するには尿流力 (urinary stream force) の測定をも同時におこなう dynamometer^{10) 14)} が必要となる。排尿量係数の誤差 $\pm 15\%$ の内、 $\pm 10\%$ は理論上 Mictiograph に由来するものと考えた。松田等⁹⁾ は Mictiograph の尿流量と向心力の変化に対する反応について検討を加えたが、尿流速については全く考慮を払っていない。

誤差の起源

和式便器：西洋式便器は臀部に不潔感を覚えるとの理由で採用せず、和式便器を用い蹲踞位にて排尿せしめ

た。尿流が便器の壁面をつたわり、反応時間の遅延、排尿時間の延長等が予想された。しかし実際には女性の長年の経験により「排尿時には尿の跳返りを最小限に抑えるよう、無意識に体位を交換している」との証言を多く得た。すなわち排尿は前方排出孔を目がけておこなわれ、排尿曲線に与える影響はほとんど無視できるものと考えた。

尿流量計：データのすべてを生み出す重要な器械である故、松田等⁹⁾の報告にしたがい尿流量変化に対する精度検定は2カ月に1度おこなった。通電後、時間の経過と共にゼロ基準線と較正幅がしばしば浮動するため、原則として排尿前には zero ツマミと gain ツマミにて必ず微調整をおこなった。排尿曲線再現性の本質的欠陥はすでに述べた。総排尿量は1000ml メスシリンダーを用い測定した。目盛は25ml 毎に区切られ、10ml 以下の値を正確に判読することはできない。総排尿量100ml では±10%の、500ml では±2%の測定誤差が生じ、平均±5%と推定した。

スライド拡大投影：10mm 毎に細い縦線を引いた薄いビニールシートをグラフペン XY 座標値測定盤上へ固定し、記録紙の3mm (1秒) が縦線に合致するようスライドを投影した。データー相互間の誤差はない。

グラフペン操作：最大排尿率は排尿曲線の最高点に一致する。一方グラフペンは排尿曲線を一秒毎に記録する故、本来の値を正確に計測しないことがある。例えば Fig. 1 の C' 点が C 点として記録される。現実にはこの差は1ml/sec 以下であり、最大排尿率27ml/sec (男女の平均値、Table 3) で生ずる誤差は2% (0~4%) と予想される。同様に総排尿時間は本来 AG' のものが AG として過大と記録される (Fig. 1)。この値は1秒以下で、総排尿時間15秒 (男女の平均値、Table 3) で生ずる誤差は平均3% (0~6%) と想定される。

コンピューター測定尿量：コンピューターによる尿量計算は公式 (6) に基づき、三角形と台形の総和として求められ、理論的には実測尿量より小さな値となる。男女各々一名で尿量を1ml の単位まで測定し、排尿量係数を求めた。男子 (A.K., 37歳) では 1.1 ± 0.1 (平均値±標準偏差) (n=15)、女子 (M.N., 22歳) では 1.0 ± 0.1 (n=12) となつた。男子ではコンピューター測定尿量の方が大きい値であつた。これは外尿道括約筋と球海綿体筋の収縮による棘波を男子排尿曲線の終末に認め、この山の部分をも計算するためと推測される (Fig. 1)。

上述の如く誤差の源として最もその影響力が大きい

は Mictiograph そのものであり、次いで尿量実測、グラフペン操作に基づくものである。排尿量係数はこれらの誤差を一括内包している。したがって Mictiograph による誤差を±10%、その他の誤差を±5%と想定し、その和±15%を排尿量係数の信頼限界とした。

要 約

デジタルコンピューターを用い、排尿曲線より得られる35の排尿パラメーターについて、性別・総排尿量との相関について統計的分析を試みた。尿流量計は Mictiograph (DISA, 14F43) を用い、18~45歳150名の健康男女より500枚の排尿曲線を入力した。XY 座標値測定盤上に拡大投影した排尿曲線上の点を1秒毎にグラフペンで検出し、1秒毎の排尿率のみならず排尿量も連続的に計測し249資料をコンピューターへ入力した。

Mictiograph は尿量の変化には良好な反応を示す。しかしこれに尿流速と向心力の変化が加わると追従性は不良となり、排尿率と排尿量はその変化量に反比例して標示される。排尿量係数 (コンピューター測定尿量/実測尿量) を指標として誤差範囲を検出すると0.5~1.3に分散していた。誤差の許容範囲を±15%に限定した結果53資料が棄却され、残る176資料に基づき今回の統計的分析をおこなった。

1. 総排尿時間、平均排尿率、最大排尿率：男女共に総排尿量との間に正の相関を有する。男女間の値に有意差を認めたのは最大排尿率のみで、女性の方が大きい。
2. 最大排尿率までの時間と時間百分率：男子は総排尿量との間に相関を示す。女子の値は5秒が上限であり、総排尿量との間に有意な相関を認めない。総排尿時間の約1/3で排尿率は最大となる。
3. 最大排尿率までの排尿量と排尿量百分率：男女共に総排尿量との間に正の相関を示し、最大排尿率までに総排尿量の約40%が排泄される。
4. 1~5秒後までの排尿量と排尿量百分率：総排尿量と排尿開始後の経過時間とに比例する。5秒後にグループ I (総排尿量、50~99ml) では総排尿量の70%が、グループ V (400~499ml) では総排尿量の25%が排泄される。
5. 排尿量と排尿時間との相関：性別、総排尿量の如何をとわず膀胱容量の25%は総排尿時間の1/5で、50%は1/3で、75%は1/2で排泄される。
6. 一般に女性の排尿力は男性よりも大きい。
7. 排尿後1~5秒の排尿率と排尿量との相関図を作成すると、男子ではグループ IV (1~5秒後) に、女子

ではグループⅡ（2と3秒後）に曲線の下降を認めた。統計的有意差はなく、この現象に特別な意義を見つけることは妥当でない。

8. Mictiograph は排尿の定性的検査法として極めて簡便であり有用である。しかし定量的に排尿パラメーターを分析するにはその機構上に問題点がある。

稿を終るに際し、御指導御校閲をいただいた三矢英輔教授に深甚なる謝意を表します。労働福祉事業団労災義肢センター職員松尾功一、小熊和彦氏にはコンピュータープログラミングを担当していただいた。更に中部労災病院泌尿器科部長鳥居肇博士、名古屋大学医学部第三内科佐藤祐造博士、当教室員各位など多くの方々の御協力に感謝します。

文 献

- 1) 黒田清輝：泌尿紀要，15，779，1969.
- 2) Susset, J.G., Picker, P., Kretz, M. and Jorest, R.: J. Urol., **109**, 874, 1973.
- 3) Scott, F.B.: Medical Record and Annals, **60**, 263, 1967.

- 4) Susset, J.G., Shoukry, I., Schlaeder, G., Cloutier, D. and Dutartre, D.: J. Urol., **111**, 504, 1974.
- 5) Madersbacher, H.: Paraplegia, **13**, 95, 1975.
- 6) 松田 稔, 森 義則, 高橋香司, 永田 肇, 坂口 強, 拍井浩三：日泌尿会誌，**64**, 837, 1973.
- 7) Koontz, W.W. and Rowan, G.A.: Invest. Urol., **5**, 35, 1967.
- 8) Whitaker, R.H.: Brit. J. Urol., **42**, 203, 1970.
- 9) Edwards, L.: Brit. J. Urol., **43**, 226, 1971.
- 10) Gleason, D.M. and Bottaccini, M.R.: in Hydrodynamics of Micturition, Hinman, F., Jr., Boyarsky, S., Pierce, J.M. and Zinner, N.R., p. 175, C.C. Thomas Publisher, Springfield, 1971.
- 11) Byrne, J.C., Bottaccini, M.R. and Gleason, D.M.: Invest. Urol., **10**, 221, 1972.
- 12) Drach, G.W. and Binard, W.: J. Urol., **115**, 175, 1976.
- 13) Brocklehurst, J.C.: Geriatrics, **27**, 154, 1972.
- 14) Whitaker, J. and Johnston, G.S.: Invest. Urol., **3**, 379, 1966.

(1977年3月10日受付)