直接管腔穿刺による尿管内圧変動曲線の記録法

—従来の Urometry との比較について—

東北大学医学部 泌尿器科学教室

(主任：矢野仙太郎教授)

土田 正義, 菅原 博厚, 原田 忠, 山口 脩

INTRALUMINAL PHASIC PRESSURE CHANGES OF THE URETER RECORDED THROUGH A HYPODERMIC NEEDLE INSERTED INTO THE LUMEN.

Seigi TSUCHIDA, Hiroatsu SUGAWARA, Tadashi HARATA & Osamu YAMAGUCHI

Department of Urology, Tohoku University School of Medicine, Sendai.

(Director : Prof. S. Shishido)

One method of examining ureteral function is the measurement of intraluminal pressure changes which occur during peristalsis. To record the pressure change, two different procedures may be employed, one of which utilizes an indwelling ureteral catheter (urometry), the other a needle directly inserted into the lumen (the direct insertion method). For the sake of comparison, both were performed simultaneously on anesthetized dogs weighing 9-12 kg, with the following results.

1. When a No. 4 or larger sized Fr. catheter was introduced into the ureter, urine retention above the tip of the catheter usually occurred and the regularity of interperistaltic interval was disturbed. When employing a No. 3 Fr. ureteral catheter, both contracting pressure and resting pressure increased with little change in interperistaltic interval. Furthermore, since the time constant of the No. 3 Fr. catheter-transducer system is longer than that of No. 4, pressure wave forms were distorted. This phenomenon was most evident as the urine flow rate or intrabladder pressure increased.

2. In the direct insertion method using a 22G. hypodermic needle, both contracting pressure and resting pressure were recorded with little interference with the normal physiological state. The irregularity of wave forms was minimal.

3. The conclusion was that for animal with narrow lumen of the ureter, the 'direct insertion method' is most useful.

緒

言

ヒトおよび動物の尿管機能を *in situ* の状態で研究する方法の1つとして、蠕動収縮に伴う内圧の変化を連続的に観察する尿管内圧記録法がある。本法については1906年すでに Lucas¹⁾ が、イヌ尿管壁に小切開を加え、canura を内腔に挿入し

て内圧を記録する方法を報告している。その後1955年に Gould ら²⁾ も細い皮下注射針を直接尿管壁から内腔に穿刺することによって、内圧を記録する方法を報告している。しかしこれらの方法で記録した波形は均一性を欠いており、また露

出した尿管に切開や穿刺を加えることは尿管機能を著しく障害するという批判³⁾ も加えられてあまり利用されることなく捨て去られてしまった。

現在、主として行なわれているのは、Kiil³⁾ により発表された *urometry* という方法である。これは F5-6 号の比較的細い尿管カテーテルを逆行性に尿管内に挿入し、内圧変動を *transducer* で記録する方法で、臨床的ならびに動物実験に広く利用されている。この場合尿管内にカテーテルを挿入すると尿がうっ滞して尿管蠕動頻度は変化することが考えられるが、Kiil³⁾ は尿はカテーテル周囲を伝って容易に膀胱に排出されるから尿管径の比較的太い臨床例ではその恐れは無いと述べ、Boyarsky & Martinez⁴⁾ はイヌを使用した動物実験で、尿のうっ滞は起こり得るが、尿量が少ない状態では、カテーテルの挿入が尿管機能に影響を与える恐れはほとんどないと述べている。

たしかに対象が臨床例であればうっ滞の恐れは少なからうが、イヌ、ウサギなど尿管腔の狭い動物では事情は異なってくる。Dale ら⁵⁾ は 40~50 ポンドのイヌ尿管内に F5 号カテーテルを挿入

し、同じ場所で尿管外壁から筋電図を記録して尿管機能を調べたところ、挿入前後で明らかな差がみられ、多尿状態でとくに著しかったと述べている。この成績から尿管径の細い動物実験で *urometry* を行なう場合はとくに細いカテーテルを使う必要が起こってくるが、F3 号以下のカテーテルでは時定数（後述）が延長して速い変化には正しく応じ得ないので記録した波形が歪められることも考えられる。

私どもは以上の事情を考慮した結果、理論的に尿管腔を閉塞する恐れのない直接穿刺による内圧測定法をもう 1 度取り上げてみた。そして Gould ら²⁾ の報告を検討した結果、彼らの方法に 2, 3 の工夫を加えれば、尿管蠕動にほとんど影響を与えることなく、生理的状態の内圧変動曲線を安定した波形として記録できることがわかった。

本論文にはその概要を述べるとともに、従来行なわれている *urometry* と比較検討しながら、尿管内圧測定の際の基礎的問題について若干の考察を加える。

実験対象および方法

実験は直接尿管壁穿刺による尿管内圧測定法（穿刺法）と *urometry* による尿管内圧変動曲線を記録して両者を比較するとともに、この場合の周波数特性についても検討を加えた。

動物実験には体重 9-12 kg の類種成犬 8 頭を使用し、pentobarbital 20-30 mg/kg 静注で正中切開により、腹腔を開き、腸管を圧排して尿管蠕動を直接観察できるようにした。こうしてからまず尿管に何の操作も加えない状態の蠕動状態をみるため、左、右尿管の蠕動それぞれ 100 個を数え、蠕動間隔の histogram を作製した。

尿管内圧の記録は次のようにして行なった（図 1）。穿刺法の場合、22 G の注射針の先端 4 mm を L 字形に曲げ尿管膀胱移行部より約 10 cm 上方の左尿管腔に腎盂の方向に向けて刺入し、先端 4 mm の部分のみが尿管腔内にあるようにして、基部を直接 Statham 製 P-37 型低圧 *transducer* に連結し、日本光電製 Biophysical preamp, Polygraph R80 型を介して同社製直線ペン書き式記録計で記録した。

urometry は Kiil³⁾ の方法に従い、同じ犬の膀胱を用いて長さ 71 cm の F3 号尿管カテーテルを右尿管口から左尿管の穿刺部位とほぼ同じ高さまで挿入し、*transducer* に接続した。次いで膀胱内に 10 号ネラトンカテーテルを留置し、膀胱を閉鎖した。

以上の操作が終わってから、膀胱が空虚な状態で左、右それぞれ穿刺法と *urometry* による尿管内圧曲線の記録を行ない、次いで 10 号ネラトンカテーテルから生理的食塩水の注入を行なって膀胱内圧を上昇させた状態における変化を記録した。実験中は生理的食塩水の点滴注入を行ない、任意の尿量に変化させられるようにした。

測定系の周波数特性は、直接穿刺法に使用される注射針、*transducer*、*preamp*、*recorder* よりなる測定系と、*urometry* に使用される尿管カテーテル、*transducer*、*preamp*、*recorder* よりなる測定系の両者について、それぞれ時定数を求めることによって比較検討した。時定数は図 2 に示すように、入力にステップ状圧変化を加え、その応

図 1 実験方法

図 2 測定系の周波数特性比較

ゴム球によって左上容器内の空気を加圧しコックを急に開放すると step 状圧変化が入力側に生じ、その応答曲線が recorder に記録される。

答曲線を記録し、最大値の $1/e$ に相当する時間を 読みとることによって求めた。

結 果

I. 穿刺およびカテーテル挿入の尿管蠕動運動に与える影響

尿量 $1\text{ml}/\text{min}$ 状態で穿刺を行ない、その前後各 100 個の蠕動について測定した蠕動間隔の

histogram は図 3 のとおりで、穿刺前の蠕動間隔は 6 秒から 20 秒の pace に分布していたが、穿刺後もほとんど変化せず、穿刺による尿管蠕動への影響はほとんど認められなかった。一方、図 4

図3 穿刺前後における蠕動間隔の histogram.
 穿刺の前後で蠕動運動の pace は、ほとんど変化しないことが解る。

図4 F4号カテーテル挿入後における蠕動間隔の histogram.
 F4号カテーテルを挿入すると histogram はかなり分散し、いくつかの pace が新しく出現している。

図5 乏尿時における穿刺法(上)と Urometry (下)による尿管内圧変動曲線。
 穿刺法では 静止圧 3~5 cm H₂O, 平均収縮圧 18 cm H₂O で典型的な 2 相性の収縮波が記録されている。
 urometry では静止圧 10~15 cm H₂O, 平均収縮圧 25 cm H₂O で穿刺法に比較して静止圧, 収縮圧がともに高いことが特徴である

図6 乏尿時における膀胱内圧上昇に対する尿管内圧曲線の変化（上：穿刺法，下：urometry）

穿刺法では膀胱内圧上昇にともなって収縮圧の発生頻歩は増加するが、収縮波形は一度静止圧レベルまでもどり、収縮波の形が保たれている。

urometry では収縮波の頻発にともなって波形が全体に不規則となり歪みが生じている。

に示すように尿管へF4号カテーテルを挿入すると、挿入前に比較して蠕動運動のペースはかなり分散し、いくつかのペースをもつ蠕動波が出現し、多少の影響のあることが解った。そこで以下の実験にはF3号カテーテルを使用することにした。

II. 尿管内圧変動曲線

尿量を0.5 ml/min以下の乏尿状態にしたときの尿管内圧変動曲線を図5に示す。内圧変動波形は、穿刺法でもF3号尿管カテーテルを使用したurometryでも基本的には一致しており、静止圧

の緩徐な上昇に次いで大きな収縮波をもつ2相性の波形によって特徴づけられる。しかし、静止圧は穿刺法で3-5 cm H₂O、urometryで10-15 cm H₂Oとなり、最大収縮圧も静止圧を基準にして穿刺法で平均18 cm H₂O、urometryで平均25 cm H₂Oとなり、urometryの方が静止圧収縮圧共に高値であった。

次に腔内圧を上昇させた状態における変化を図6に示す。穿刺法でもurometryでも収縮波の発生間隔は短縮し、収縮圧、静止圧ともに上昇し

たが、穿刺法では発生間隔が短縮しても、内圧変動曲線は一度静止圧まで戻る期間があるのに対し、urometry では発生間隔の短縮に伴って始めの収縮波に次の収縮波が重なり、変動波形が全

体に不規則になるのが認められた。

次に尿量を 3 ml/min 以上の多尿状態にして前と同じ観察を行なった。図7に示すように穿刺法では静止圧が平均 $14\text{ cm H}_2\text{O}$ であるのに対し、

図7 多尿時における穿刺法(上)とurometry(下)による尿管内圧変動曲線。

穿刺法では静止圧 $14\text{ cm H}_2\text{O}$ で乏尿時より上昇しているが、変動曲線は、収縮波のパターンをまだ保っている。

urometry では、収縮波は次第に消失し、いわゆる fluctuation が認められ、静止圧は平均 $20\text{ cm H}_2\text{O}$ と著明に上昇している。

図8 (1)

(2)

図 8 多尿時における膀胱内圧上昇に対する尿管内圧曲線の変化

穿刺法も urometry も膀胱内圧上昇とともに尿管内圧が著明に上昇し、尿のうっ滞によって拡張した尿管が直接動脈に触れるため脈波成分が出現する。(1: 穿刺法, 2: urometry)

図 9 測定系の時定数

初期値 A から A/e まで減衰するのに要する時間 (t) を時定数として計測した。F3号になると時定数の延長が著明である。

図 10 F3号カテーテルで記録した内圧記録曲線(上)と実際の波形(下)
 実際には速く減退する2相性の波形であるが、F3号カテーテルでは記録曲線が緩慢で平滑化されている。
 また、速い圧変動や振動に対しては、その変化が対応できずいわゆる damping effect が起こってくる。

urometry では平均 20 cm H₂O と著明に上昇していた。また、波形についてみると、穿刺法では2相性の収縮波が認められたが、urometry では単相性の小さな変動波に変わり収縮波は消失していた。この状態で膀胱内圧を上昇させると図8のように、両者とも収縮波は完全に消失し、単に尿管内圧のみが一過性に上昇し、脈波成分の出現が認められた。

III. 測定系の時定数

図9に注射針およびカテーテルを接続した測定系の応答曲線と、それから求めた時定数 (τ) を示す。測定系の時定数を τ とすれば、 $f=1/5\tau$ で与えられる f は、この測定系が 0 cps から f cps の範囲で安全に使用できることが経験的に知られている⁶⁾。各 τ に相当する f もそれぞれ下に記載した。

22G 注射針を接続した測定系の時定数は、0.04

sec と短く、5 cps までの速い圧変動を記録することができる。尿管カテーテルを接続した測定系では、カテーテルの太さが F4号までは時定数の値に大差なかったが、F3号になると時定数は 0.17sec と急に遅くなり、 f は 1.2cps までであった。したがって、F3号カテーテルでは、収縮波の発生間隔が極端に短縮したような場合に記録した波形には、多少の誤差が含まれていることが予想される。そこで人工的に収縮波様の圧変動を発生させ、T字管を利用し長さ 71cm の F3号カテーテルを介して transducer に接続する場合と圧変動を直接 transducer に接続する場合について、同時入力による内圧記録を行なった。その成績は図10に示すように、実際の波形曲線は早く減衰しているのに、F3号を介して記録すると減衰が遅れ次の波が重なっているのが示されている。

考

案

これまでの直接尿管穿刺による尿管内圧記録法(穿刺法)の欠点として、Lucas¹⁾、Gould²⁾らの記録した記録曲線にみるように、波形の不均一さが挙げられるが、私どもの場合は、尿量が正常以下であれば、precontraction phase, contraction

phase の2相性の山を持つ安定した波形として記録されている。Lucas¹⁾の波形が不安定であったのは当時の技術的水準からして止むを得ない。これに対して Gould ら²⁾の波形が、私どもと類似した方法を取りながら不安定であったのは、尿管

腔内にある部分の注射針の長さを一定にしなかったことと、注射針の基部を細く長い polyethylene tube を介して transducer に接続したために、種々の干渉因子が加わったものと思われる。この点について、尿管壁に傷害を与えないような細い注射針を使用しても尿管内に留置される部分の長さが長くなれば、やはりある程度尿のうっ滞が起こり得るし、また細く長い tube を使用することは、今回の実験でも検討したように時定数の延長が起こり、正確な内圧曲線の波形を記録できなくなるからである。私どもは尿管内に留置する針先を4mm と短くし、また針の基部を直接 transducer に接続するように工夫したので安定した再現性のある波形を記録できたと考えている。

次に直接穿刺法で問題にされるのは穿刺に伴う蠕動運動への影響である。Kiil³⁾ は尿管壁に小切開を加えたり、穿刺を行なうことは、尿管蠕動に著しい障害を与えると述べて穿刺法を否定している。しかし今回の実験では直接法で記録しても頻度はほとんど変化せず、単に針を刺す位の侵襲では、その影響はきわめて少ないことが立証された。

これに対して F4 号尿管カテーテルを挿入すると、挿入前のペースが、さらにいくつかのペースに分散する傾向を示し、尿管の細い犬ではかなり影響のあることが解った。一方、F3 号カテーテルを使用した urometrogram では、乏尿状態では収縮波の間隔は直接法の場合とほぼ同様であったが、静止圧は尿管の同じ部位で記録しながら後者では 3~5cm H₂O と低いものに対して前者では 10~15cm H₂O とかなり高い成績がえられた。これは直接法では注射針の太さが 22G と著しく細く、また注射針は尿管内に 4mm 挿入されているだけであるから、尿がうっ滞する心配はほとんど無いのに対して、urometry では尿管の解剖学的狭窄部を含む尿管末端部から 10cm の長さにもわたって尿管内にカテーテルが存在しているために F3 号の細さでもやはり尿のうっ滞を生じ、そのため静止圧が上昇したのと考えられる。Kiil³⁾ はヒト尿管の urometry で F6 号から 4 号の太さのカテーテルではその外周に沿って自由に尿が流れ、尿のうっ滞を伴わずに内圧変動を記録できると述べ、細いカテーテルを使用すれば蠕動には全く影響が無いと考えているが、ここではカテーテルが

尿流に対して抵抗として働く点を考慮すべきであろう。生理的状态では、尿管の蠕動収縮エネルギーは、閉鎖している尿管腔を拡張させながら尿を押し出す仕事にのみ消費されている。しかしカテーテルを挿入するとその太さに応じて尿管内腔は狭くなり、尿を膀胱に向かって押し出し難くなるので、蠕動収縮エネルギーは尿を押し出す仕事に使う分だけ減り、余分のエネルギーは尿管内圧を上昇させる方に働くことになる。カテーテルを挿入している urometry の方で、収縮圧が穿刺法より高くなっているのは以上の理由によるものであろう。したがって Kiil³⁾ が臨床例の尿管内圧について報告した成績では、膀胱内圧が低い状態でも収縮圧は 30mmHg に達しているが、実際の尿管収縮圧はこれよりも低いものと考えられる。尿量が増加すればカテーテルの尿流に対する抵抗効果は、一層著明になる。多尿時の尿管内圧変動曲線では、urometry の場合には収縮波が消失し静止圧も次第に上昇し、いわゆる尿うっ滞のパターンを示していた。Boyersky & Martinez⁴⁾ も成犬に F5~6 号のカテーテルを挿入し、多尿状態で同様の知見を得ている。したがって多尿状態では穿刺法はより生理的状态に近い内圧変動の記録が可能である。

次に測定系自体のもつ問題について検討するため、測定系の周波数特性を取りあげてみると、urometry に使用される長さ 71cm の尿管カテーテルは、直径が細くなるに従って時定数は延長したが、F3 号以下になると時定数が急に長くなることは注意を要する。Kiil³⁾ もヒト尿管に対しては F6 号か 5 号が適当であり 3 号以下になると damping effect が生ずると述べている。しかし、イヌのような動物では尿管が細いことが大部分で、F3 号カテーテルを使用して urometry を行なうことが多い。尿管内圧変動は時定数の遅い緩な現象であるから、乏尿状態であれば F3 号でも十分記録可能である。ところが、多尿状態や膀胱内圧上昇時のように蠕動頻度が増加し収縮波が頻発する状態になると、時定数の影響が現われてくる。乏尿時に膀胱内圧を上昇させた記録では、urometry による収縮波は前後の波形が重なり不規則な形になっていたが、これは時定数の長い F3 号カテーテルなので収縮波が頻発するような速い変化に応じきれなかったためと考えられる。

この点について収縮波様の圧変動を F3 号カテーテルを介して transducer に接続する場合と、直接 transducer へ接続する場合の内圧曲線を比較すると、実際には波形曲線が早く減衰しているのに、カテーテルを介すると減衰が遅れ次の波が重なっていた。したがって urometry で細いカテーテルを使用するときの波形の分析には時定数を考慮することが重要である。他方、穿刺法に利用する注射針では、時定数は 22 G で 0.04 sec, で 27 G 0.067 sec と短かった。このことは、注射針はカ

テーテルより著しく短いから流体が内壁と接する部分も短く、受ける粘性力も小さいからである。

以上、穿刺法と urometry を比較検討したが、穿刺法は尿管の生理的状態をよく保ち、周波数特性も必要な範囲に定めることができる。したがって穿刺法はその性質上開腹を必要とし、臨床面での利用は制限されるが、動物の実験では以上述べたかすかすの利点により優れた研究手段になり得るものと期待される。

結

尿管機能検査法に1つとして、蠕動収縮に伴う尿管内圧の変化を連続的に測定記録する方法が行なわれる。これには膀胱から尿管列に細いカテーテルを挿入し、これを通じて内圧を記録する方法 (urometry) と、開腹し尿管壁から注射針を刺入して管内圧を記録する方法 (穿刺法) とがある。

穿刺法と urometry の優劣を比較するため、体重 10-12 kg の成犬を使用して実験を行ない、次の結果を得た。

1. urometry では F4 号以上の太さの尿管カテーテルを使用すると、尿管内に尿うっ滞を生じ、本来の尿管蠕動間隔に変化を生じた。F3 号カテーテルを使用すると蠕動間隔は余り変化しなかったが、蠕動に伴う収縮圧が生理的状態における実際の内圧よりも著しく高い値として記録さ

論

れ、静止圧も上昇した。また F3 号カテーテルでは時定数が増大するため、damping effect が現われ、そのため内圧曲線波形に歪みを生じ、この現象は多尿時および膀胱内圧上昇時に著しかった。

2. 穿刺法では 22 G 注射針を使用した場合、蠕動間隔はほとんど変化せず、収縮圧、静止圧ともに生理的状態に近い値として記録され、多尿時、膀胱内圧上昇時における波形の歪みも少なかった。

3. 以上の成績から尿管の細い動物では、穿刺法により内圧を記録すべきである。

御指導、御校閲下さった 恩師 宇戸仙太郎教授に深く感謝する。

文

- 1) Lucas, D.R.: Studies of the peristalsis of the ureter of dogs by the graphic method. *Am. J. Physiol.*, **17**, 392-407, 1906.
- 2) Gould, D.W., Hsieh, A.C.L. and Trinckler, L.F.: The behaviour of the intact ureter in dogs, rabbits and rats. *J. Physiol.*, **129**, 436-447, 1955.
- 3) Kiil, F.: *The function of the ureter and renal pelvis*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1957.
- 4) Boyarsky, S. and Martinetz, J.: Ureteral

献

- peristaltic pressures in dogs with changing urine flows. *J. Urol.*, **87**, 25-32, 1962.
- 5) Dale, R.L. et al.: Dynamics of the upper urinary tract. The effect of an indwelling ureteral catheter on ureteral peristalsis. *Invest. Urol.*, **8**, 655-672, 1971.
 - 6) Sterling, A.M. and Zinner, N.R.: In S. Boyarsky et al. (editor), *Ureteral pressure measurements. Urodynamics.*, p. 441-423, Academic Press, Inc. New York, 1971.