超音波 Doppler 法による尿管内尿流の記録

土 田 正 義
 山 口 脩*
 秋田大学医学部泌尿器科教室
 (主任: 土田正義教授)
 松 村 文 隆*
 森 田 隆*

A METHOD FOR RECORDING INTRALUMINAL URINE FLOW
 (Application of Ultrasonic Doppler Technique)

Seigi Tsuchida, Osamu Yamaguchi, Fumitaka Matsumura and
 Takashi Morita

Department of Urology, Akita University School of Medicine, Akita
 (Director: Prof. S. Tsuchida)

Velocity changes of intraluminal urine flow were recorded by ultrasonic Doppler technique on exposed ureters of 5 adult mongrel dogs. This method served for understanding the behavior of urine flow within the ureter, which was affected by ureteral peristalsis. In addition, simultaneous recording of urine velocity curves and electroureterograms were performed, which provided with a direct relationship between intraluminal urine flow and peristaltic contraction.

はじめに

尿管蠕動運動の研究は筋電図法や urometry を中心に近年著しく進歩し, その生理学的特徴についても多くの報告がなされている。しかし尿管蠕動運動と尿管中の尿流動態の関係については現在も不明な点が多い。尿管蠕動に伴う管内尿流を観察するには一般にX線学的方法が行われているが, 蠕動方向を明確に区別することが困難であり, X線造影像から尿流曲線を描出したり筋電図との同時記録を行おうとすれば非常に大規模な装置を要することとなる。したがって管内尿流の状態を経時的かつ簡便確実に記録できる方法が開発されれば, 尿管機能の研究上大変有意義なことは明らかである。

私どもは, このような観点から実験的に超音波 Doppler 法を応用して尿管内における尿流速の測定を試みたところ, 満足すべき流速曲線の記録に成功した。本稿では主にその方法について述べ, そこから得られた2~3の知見も加えて報告する。

実験方法および対象

本法による管内尿流速の測定原理は, よく知られた

Doppler 効果に基づくものである。すなわち鋭い指向性をもつ連続超音波 (f Hz) を尿管に向つて入射角度 (θ) で発射させると, 尿流に乗つて速度 (v) で運動している尿中微粒子に当つて入射超音波の反射が起る。この反射超音波の周波数 (f') は Doppler 効果により次式に示す値に変換される。

$$f' = \frac{C + V \cos \theta}{C - V \cos \theta} f \quad (C \text{ は尿中の音速度})$$

そこで f と f' の“喰り” (以下検出音とする) をとり出すと

$$fd = f - f' = \frac{2V \cos \theta}{C} f$$

(但し $V/C \ll 1$) となり C, f, θ は一定値であるから検出音 (fd) より尿流速 V が測定できるはずである。

実験対象には 15~20kg の雑種成犬 5 頭を利用し, pentobarbital (25~30mg/kg) 静脈麻酔下で実験した。実験方法は図1のように下腹部正中切開により腹腔を開き, 尿管および膀胱を露出後, まず尿量測定のためF 5号尿管カテーテルを右尿管へ約5cm挿入し, つぎに超音波 transducer を尿管口から7~10cmの高さで左尿管壁に設置した。設置方法は長さ3~4mmの壁の薄いゴム管を尿

図1 実験方法.

図2 測定系のブロックダイアグラム.

管周囲から尿管直下の腹膜を通し、左右から transducer と尿管を包込むようにしてゴム管の両端を絹糸で結んだ。

測定系のダイアグラムは図2のとおりで、超音波発生装置、超音波 transducer および frequency meter はすでに市販されている三栄測器社製超音波血流計を使用した。この場合の入射超音波周波数 (f) は 5 MHz である。また超音波用 transducer は single crystal 方式¹⁾の

ものを使用した。その大きさは $15 \times 10 \times 15 \text{ mm}$ と従来のものより小型で、振動面が斜めに設置され、尿管壁に水平に固定すると入射角度が 30° となるように設計されている。尿流よりの検出音は receiving system で検波、増幅し、frequency meter によつて平均周波数に変換、その出力を DC-amp により増幅後、記録計によつて平均流速曲線を経時的に描出できるようにした。なお検出音を周波数分析計によつて処理すると正確な定量的観察が可能であるが、今回は管内尿流の検出とその傾向を観察するのが目的であるから、frequency meter による記録を行うだけにとどめた。

尿管蠕動の記録は直接肉眼的観察により、蠕動収縮波が transducer 固定部位を通過した時に記録紙上にマークをつけるようにするか、あるいは既報²⁾により双極針状電極を transducer から 1 cm 上方の尿管壁に取り付け、尿管筋電図法により行つた。

実験順序としてはまず2頭の犬を使用し、Doppler 法で記録した波形が実際に管内尿流によつて生じたものであることを実証する目的で乏尿ないし正常尿量状態の流速記録を Doppler 法で行い、続いて上部尿管を指で圧迫して尿流を止めた場合の記録曲線の変化を観察した。つぎに3頭の犬を使用し、乏尿ないし正常尿量時と多尿時における蠕動と尿流の関係を検討するため、Doppler 法による記録と尿管蠕動の同時記録を行なつた。

実験成績

0.3~1.0 ml/min の乏尿ないし正常尿量時に Doppler 法で記録した結果を図3に示す。記録曲線は鋭い立上りをもつスパイク状の波形として記録され、肉眼的に観察した蠕動収縮と一致していた。つぎに図4のように、超音波用 transducer 設置部より上方の尿管を指で圧迫して尿流を止めると、蠕動収縮が transducer 固定部位を通過

図3 超音波ドップラー法による管内尿流速速度曲線。尿量 0.3 ml/min の状態における記録を示す。流速曲線はスパイク状でピーク値は平均 20 cm/sec である。

図4 尿流停止時における流速曲線の変化。上段は尿管蠕動が transducer 固定部 を通過 した際のマークを示す。下段は同時に記録した管内流速曲線である。尿管を圧迫し尿流を止めると(矢印)流速曲線は記録されなくなる(尿量 0.3ml/min)。

図5 正常尿量時管内流速曲線と尿管筋電図の同時記録。蠕動放電と流速曲線は1対1に対応している。(尿量 0.9ml/min)

図6 多尿時における管内流速曲線と尿管筋電図の同時記録。尿量 3 ml/min 以上の時の記録であるが、蠕動放電の休止期にも 5 cm/sec の速度で尿が尿管内を流れる状態が示されている。

しても立上り曲線はまったく記録されなかつたことから、この曲線が蠕動収縮に伴う artifact ではなく実際の尿流を表わすことが確認された。一方、図5のように尿管筋電図と流速曲線の同時記録を行つても流速曲線と蠕動放電は完全に1対1の対応を示した。すなわち乏尿ないし正常尿量の状態では、流速曲線は蠕動放電と同時に出現し、筋電図上の休止期に入ると流速曲線も消失した。すなわち尿量が0.9 ml/min の場合蠕動収縮に伴う尿の管内流速は約10cm/secであつたが、休止期には流速曲線は記録されなかつた。

つぎに多尿状態で両者の同時記録を行つた結果を図6に示す。蠕動放電に伴つて流速曲線は一瞬立上りを示すが、ピーク値は低く、続いて1~2秒間記録されなくなり、その後、ふたただ5 cm/sec 程度の値を維持しており、このことから蠕動収縮が起ると尿流は一瞬加速されるが、すぐ低下し一時尿流が停止した後蠕動休止期にも尿は一定速度で流れることが明らかになつた。

考 按

超音波 Doppler 法による流速測定はこれまでもつばら血流測定の目的で開発されてきたため、本研究で得られた流速曲線が血液とは性質の異なる管内尿流を本当に表わしているのかという点がまず問題になる。しかし、今回の実験結果では、尿流を transducer 固定部より上方で止めると、蠕動収縮波が固定部を通過しているにもかかわらず、流速曲線は完全に消失した。この事実は本法による記録曲線は確かに尿管内の尿流を検出していることを示しており、曲線が蠕動収縮による尿管壁の運動などに由来する artifact でないことは明らかである。

つぎに蠕動収縮とそれに伴う管内尿流の関係を知るため、流速曲線と尿管筋電図法の同時記録を行つた結果では、尿量が1 ml/min 以下のときには蠕動放電に一致した鋭い立上りを持つスパイク状の流速曲線が観察されたが、尿量3 ml/min 以上の多尿状態になると蠕動放電の休止期においても流速曲線が記録されるようになった。この点に関して Morales ら³⁾は犬の膀胱を開いて尿管口から噴出する尿流を観察し、尿量が4 ml/min 以上を越えると蠕動収縮に一致した間歇的な尿噴出はみられなく

なり、常時連続的な尿流出が起るようになったと報告している。また Constantinou ら⁴⁾は尿管へ挿入したカテテルより流出する尿の stroke volume を正確に測定し、蠕動放電と stroke volume の間にある1対1の対応関係は急激な利尿状態になると消失することを述べている。私どもの結果も彼らの報告とよく一致しており、尿管蠕動は正常尿量時には尿輸送の主体をなすが、極端な多尿状態になると尿輸送に積極的な関与をせず、尿は水力学的な圧力によりその全長にわたつて開いた状態になつた尿管内腔を受動的に移動するといふことができる。

以上本稿には Doppler 法により観察した正常状態にある尿管内尿流の動態について述べたが、本法を利用すれば尿管逆蠕動発生、尿管結石存在、膀胱尿管逆流発生時等の異常状態における尿流動態の解析が可能になり、今後応用面に拡大するものと思われる。

む す び

超音波 Doppler 法による尿管内尿流の記録方法を試み、つぎの結果を得た。

1) 露出尿管に超音波 transducer を設置して尿流よりの検出音を receiving system で検波増幅し frequency meter で平均周波数に変換、その出力をDC-amp により増幅後記録計によつて平均流速曲線を描出し、これが尿管内尿流速度を表わすことを確めた。

2) 乏尿ないし正常乏尿量時には、尿管蠕動に一致した流速曲線が記録され、尿管内の尿は蠕動収縮により送られる。

3) 極端な多尿状態には、蠕動休止期にも流速曲線が記録されたことから、尿は蠕動収縮と直接関係なく管内膀胱に向つて移動する。

文 献

- 1) Okumura, T., Fukamachi, M., Omoto, R., Wanibuchi, Y., Yokote, Y., Furuta, S. and Oya, G.: Med., Ultrason., **10**, 27, 1972.
- 2) 土田正義: 臨泌, **28**, 49, 1974.
- 3) Morales, P.A., Crowder, C.H., Fishman, A.P. and Maxwell, H.M.: J. Urol., **67**, 484, 1952.
- 4) Constantinou, C.E., Granato, J.J. and Govan, D.E.: Urol. int., **29**, 249, 1974.

(1975年7月11日受付, 特別掲載)