上部尿路機能の研究 (第1報)

Radio Pyelography について

助 教 授 土 田 正 義

助 手 今 林 健 一

東北大学医学部泌尿器科学教室 大学院学生 渡 辺 昌 美
(主任 矢野仙太郎教授)

" 染 野 敬

" 菅 原 博 厚

STUDIES ON FUNCTION OF THE UPPER URINARY TRACT

(I) ON RADIOPYELOGRAPHY

Seigi Tsuchida, Kenichi Imabayashi, Masami Watanabe,

Takashi Someno and Hiroatsu Sugawara

From the Department of Urology School of Medicine,

Tohoku University.

(Director: Prof. S. Shishito)

Radiopyelography, a new method for observing function of the renal pelvis has been documented in this communication with brief explanation of its basic concepts and procedure. Its graphic recording, radiopyelogram, showed a constant curve which could be expressed in a given formula. In addition it is valuable means for analysing a radiorenogram.

1. 緒言

上部尿路は全体として1つの機能体と考えなければならないが、その各部分は大ざっぱにいつても Nephron, 腎盂腎杯, 尿管と3個以上の器官より成立ち、たがいに協調しながらも、それぞれ別個の働きをもっているわけである。したがって上部尿路機能をより詳細に探求するためには、腎、腎盂腎杯、尿管の動態をそれぞれ分離して研究する必要が起ってくる。

私どもは以上の考えからこれまで種々研究を行なつて来たが、最近 Radio Renography にヒントを得て、腎盂腎杯の動態を知るための新検査法である Radio Pyelography を考案した。本法は臨床的に簡単に実施できて、腎盂腎杯の動態を1つの曲線として数的に簡単に表現できるばかりでなく、Radio Renogram の分析にも役立つことが判明した。そこでこの論文には Radio Pyelography の概要について述べる。

2. 実験方法および成績

1) Radio Pyelography の原理

本法は逆行性に尿管カテーテルを腎盂内に挿入し、これより少量の Radio Isotope (R.I.) を注入する。そして Radio Renography と同様の装置を使用して試料が腎盂から排泄される状態を1個の曲線、すなわち Radio Pyelogram として描記するものである。

2) Radio Pyelography の実施法

a) 使用する R.I. の種類及び注入量: R.I. の種類は γ 線を発生するものであればどのような物質を用いてもよいわけであり、最初私どもは ^{131}I でラベルした Diodrast と Hippuran を選定した。ところが Diodrast は Hippuran に比較して蛋白結合性が強いので腎盂内に注入した場合、尿路粘膜に吸着される残存率が大きく、これが経時的測定曲線に影響を与えたと考えた。そこで実際には ^{131}I -Hippuran のみを使用した。

投与量は $10\sim 20\mu\text{C}/50\text{kg}$ を生理的食塩水により正確に 1.0 ml に稀釈し、その 0.1 ml を試料皿に取つて対照とし、残りの 0.9 ml を注射器に吸引して注入に使用した。対照試料は乾燥後計数率を測定し、これより実際に

注入に使用した試料の総計数率を算出した。

b) R.I. の腎盂内注入器：常法により膀胱鏡的に尿管カテーテルを腎盂まで挿入してから、患者に坐位を取らせる。この際必要に応じてカテーテル先端が腎盂内にあることを Image Intensifier によつて確認した。そして計測器を所定位置に設置してから、尿管カテーテルの一端に R.I. の入った注射器を連結し、経カテーテル的に試料を腎盂内に注入して計測を開始した。なお、腎盂内注入終了後さらに同じ部位より食塩水 1.0 ml を注入し、カテーテル内の死腔に残存した試料が完全に腎盂内に注入され、かつ腎盂内に適当に稀釈され平等に分布するようにした。そして以上の操作が終了次第たちちに尿管カテーテルを体外に抜去した。このようにして測定必要量の R.I. が腎盂内に注入されたことになり、尿管より尿の分泌と腎盂運動に伴つて、試料は次第に稀釈されながら膀胱に排泄されることになる。

c) Radio Pyelography の記録法：計数記録装置はγ線用 Scintillation Detector, Ratemeter, Recorder の 3 部より成立つている。

Scintillation Detector には $1 \times \frac{1}{2} \phi$ の NaI Scintillator を持つ日立製 PC-3 型を使用し、これに 40m/m ϕ の Flat Collimator を装置し、これを被検者の背面で Winter¹⁾ の行なつた Radio Renography 装置と同様の位置に設定した。

Ratemeter は Full Scale を一般に 2×10^4 c.p.m. に設定し、計数時には 5×10^3 または 2×10^3 c.p.m. とし、用い、時定数は 5 秒とした。また Recorder の記録紙の速度は毎分 1 cm とし、Balance Meter に直結した実

第 1 図 正常人の Radio Pyelogram

線ペン書き方式を採用した。

実際に Radio Pyelogram を作成するには、まず R.I. 注入前の Back Ground を 3 分間記録した。つづいて試料を注入してから、正常人では計数値が Plateau に達するまでの約 10 分間を、また病的状態に対しては同様な状態になるまでに必要な時間を記録観察した。

3) 正常および病的状態における Radio Pyelogram

私どもはまず泌尿器科的に異常のない症例 1 から 5 までの成人 5 例を選んで Radio Pyelography を行なつたが、尿量が一定であればほぼ同一の曲線を示した。第 1 図は症例 1.29 才男（測定時における尿量＝毎分約 1.1 ml）の Radio Pyelogram であるが、I が R.I. 注入開始時を示し、C が最高計数率点で、このとき腎盂内の試料濃度が最高に達したと考えられる。また D は Plateau に達してほぼ注入前の状態に戻つた状態を示し、CD 間は約 6 分 30 秒となつている。CD 間の曲線を Segment c と名付けると、この時間的間隔と Segment c の性状は腎盂が Hippuran を含んだ尿を排泄する動態を表わしていると考えられる。

つぎに第 2 図は病的状態の 1 例として示した症例 6.23

第 2 図 病的状態における Radio Pyelogram

才女、左腎結核症における Radio Pyelogram である。この症例における尿量は 1 分間 2 cc であつたが、28 分以上を経過しても Plateau に到達せず、腎盂内に注入した試料が排除されるのに長時間要することを示している。

4) Image Intensifier による造影剤消失時間の観察と Radio Pyelography の比較実験

逆行性に造影剤を腎盂内に注入して映像の変化と消失時間からその排泄状態を観察する X 線の観察方法と、Radio Pyelography によつて R.I. の排泄状態を外部から Scanning する方法との相関性を比較検討するため、つぎの 2 実験を行なつた。

まず基礎実験として、造影剤が直接螢光板に投影する映像の濃淡程度と R.I. 溶液の計数率とがそれぞれの濃度の変化に応じてどの様に変化するかを観察した。すなわち規定の R.I. 試料皿の底面に直径 1 cm の穴を打抜き、その部分にセロファン紙を貼つた容器を作成した。こ

第1表 a. 各種条件下におけるレ線フィルムの黒化濃度
(撮影距離1 m)

No.	ウログラフィン濃度	50 mA 60 KV. 0.04秒	50 mA 50 KV. 0.06秒	50 mA 40 KV. 0.1秒	Hippuran濃度 (μC を 100%とする)	GM管を使用した計数率
1	0 %	0.29	0.18	0.35	Background	24
2	3.8 "	0.37	0.205	0.4	5%	171
3	7.6 "	0.38	0.21	0.4	10 "	317
4	15.2 "	0.41	0.23	0.47	20 "	628
5	22.8 "	0.57	0.30	0.63	30 "	920
6	30.4 "	0.58	0.30	0.68	40 "	1211
7	38.0 "	0.68	0.35	0.825	50 "	1493
8	45.6 "	0.87	0.48	1.05	60 "	1807
9	53.2 "	1.05	0.605	1.3	70 "	2101
10	60.8 "	1.1	0.67	1.36	80 "	2407
11	68.4 "	1.21	0.77	1.45	90 "	2623
12	76.0 "	1.24	0.815	1.50	100 "	2912

b. ^{131}I -Hippuran の濃度差による計数率の相違

第3図 造影剤濃度差によるレ線フィルム黒化濃度の相違を印画によって示したもの

数字は第1表 a, No. 数字に相当するウログラフィン濃度を示す。

の容器に 3.8%, 15.2%より76.0%に至る11段階のウログラフィン水溶液 3 ml を満し, FS 増感紙使用により, 異なつた条件下でレ線フィルムに撮影した. そして各濃度の溶液がフィルム上に作る映像の黒化濃度を東京光電研究所製 Multiplier Photometer を使用して次式により測定した.

フィルムに I_0 の光が当つて I の光が透過すると, 黒化濃度 (Photographic Density)

$$(D) = \log I_0/I \text{ で表わされる.}$$

この成績を第1表 a に示したが, 濃度に比例して黒化濃度が増加している. また第3図は距離 1 m, 60KV, 50 mA, 0.04秒で撮影した場合のレ線フィルムを印画にし

たものである. 肉眼的にみると 1 から 12 に至るまで造影剤の濃度が増加するに従つて, 次第に印画紙上の濃度も増加して行くことがわかるが, 濃度差があまり相違しない 2 つ, たとえば 8 と 9, 11 と 12 のような場合には, その映像から両者の濃度差を判別することは困難である.

つぎに同じ規格の R.I. 試料皿に ^{131}I -Hippuran 極微量 ($0.03\mu\text{C}$) を取り, 造影剤の場合と同じ濃度比, すなわち $0.03\mu\text{C}$ の濃度を 100% とし, その 5, 10, 20, …… 90 および 100% 11 段階の濃度の試料を作成し, それぞれの計数率を G.M. Counter で測定した. その結果は第1表 b の通りで, 濃度の差に比例して計数率は確実に段階的に増加して行くことが判明した. すなわち以上の実験の結果から造影剤がフィルム上に作る映像の黒化濃度と R.I. の計数率はほぼ相関関係にあり, 濃度を各段階に変化させた場合には, R.I. の方がより厳密な比率をもつてその差を示すことがわかつた.

つぎに前述の泌尿器科的に正常な症例 1 から 5 までの成人 5 例, および病的状態である症例 6 に対して坐位で

第2表 Image Intensifier でみた造影剤消失時間と Radio Pyelogram における CD 間隔

症 例	造影剤消失時間	CD 間隔
1	4分20秒	6分30秒
2	3" 50 "	5" 30 "
3	4" 20 "	5" 30 "
4	5" 5 "	6" 30 "
5	5" 5 "	7" 30 "
6	20" 30 "	23" 0 "

第4図 片対数グラフに取ったRadio Pyelogram

逆行性に尿管カテーテルを腎盂内に挿入し、76%ワログラフイン2ccを腎盂内に注入してから、カテーテルを抜去した。そしてImage Intensifierで透視しながら、造影剤が腎盂から消失する時間を計測した。また同様症例におけるRadio Pyelogramで最高点CからPlateau Dに達するまでの時間を計測し、透視を行なった場合の成績を比較した。その結果は第2表に示すように、両者は1～3分のずれはあつてもほぼ相関する結果を示した。

5) Radio Pyelogramの分析

私どもは前述のようにして得られた正常Radio Pyelogram上の任意の点における計数率を求め、これを片対数グラフにplotしたところ、第4図のように最高点Cに達してから30秒～1分以後にはほぼ一直線を示すことが判明した。そこでRadio Pyelogramを一定の数式に表現できるのではないかと考えて、つぎのような仮定をたてた。

すなわち腎盂自体の収縮運動等の要因を除外すれば、正常状態にある腎盂は尿管より一定の割合で排泄される尿を貯留し、同じ割合で尿管から膀胱に排泄している1つの容器と考えることができる。そこで尿管を水道の蛇口とし、この蛇口より毎分 a mlの速度で尿が容量 V mlの容器(腎盂)に流入し、この容器から同じように毎分 a mlの速度で尿管に流出しているものと仮定した(第5図)。こゝで、尿管カテーテルを使用して腎盂内にR.I.を総量 A count注入したとする。 t 秒後の容器内の試料の量を x countとすると、その濃度 c は

第5図 尿管、腎盂模型図

x/V である。したがって排泄される ^{131}I -Hippuranの状態は次式で表わすことができる。

$$\frac{dx}{dt} = -ac = -\frac{a}{V}x \dots\dots\dots (1)$$

初期条件として $t=0$ の場合

この模型では $x=A$ であることを考慮に入れ(1)式を解くと

$$x = A \exp\left(-\frac{a}{V}t\right) \dots\dots\dots (2)$$

となり、これは実際の正常Radio Pyelogramと基本的に一致する。

$\log_{10}x$ を t に対して描くと、そのSlopeはつぎのようになる。

$$\text{Slope} = -\frac{a}{V} \times \log_{10}e \dots\dots\dots (3)$$

すなわちこの値には容器(腎盂)の容積 V と流動量 a が関係していることがわかる。

実際に症例1のSlopeを測定すると $0.28 (\text{min}^{-1})$ となつたが(3)式でSlopeを症例1と同値に取り腎盂容量 $V=4$ mlと仮定して計算すれば、尿量 $a=1.1 \text{ ml/min}$ となり、症例1において実測した毎分尿量とも一致した。

つぎに病的状態である症例6のRadio Pyelogram上でも同様に任意の点を設定して計数率を求め、片対数グラフにplotしてみた。しかしこの場合には曲線となつて、正常例におけるような直線性は得られず、一定の数式に表現することは困難なことを知つた。

6) Radio Renogram 解釈のための Radio Pyelographyの応用

私どもはRadio Renogramと同時にRadio Pyelogramを施行すれば、病的状態におけるRadio Renogram

第6図 a. 腎性高血圧症, b. 先天性水腎症における Radio Renogram

第7図 a. 腎性高血圧症, b. 先天性水腎症における Radio Pyelogram

とくに Segment c の分析に役立つと考えた。すなわち第6図aは63才男、腎性高血圧症患者の Radio Renogram であり、第6図bは28才男、先天性水腎症患者の Radio Renogram であるが、両者は類似した曲線を示し、とくに Segment c に相当する部分はいずれも水平線に近い形態を示している。しかし Radio Pyelography を行なった結果、腎性高血圧症では第7図a、先天性水腎症では第7図bの曲線が得られ、腎性高血圧症においては腎盂の R.I. 排泄状態はほぼ正常であるが、先天性水腎症においてはほとんど排泄されていないことを知った。

3. 考按

腎盂腎杯の動態を知るには、これまで逆行性に造影剤を腎盂に注入して造影剤が腎盂より排泄される状態と消失するまでの時間的關係を直接レ線透視下に観察した

り、連続撮影あるいは映画撮影によって知る方法等が主として用いられて来た。これらの方法は腎盂腎杯の微細な運動を観察できる点では確かに秀れた方法であるが、腎盂内の造影剤が次第に排泄されていく状態を経時的に数値として表現することは困難であつた。また造影剤が一定濃度以下になれば、螢光板上に造影しなくなるので、腎盂内の造影剤消失時間を肉眼的に判定する上にも一定の限界が存在する。さらに高濃度の造影剤を注入した場合には、腎盂粘膜に刺激を与える恐れがあり、また造影剤と尿の比重も異なつて来るので、それによって腎盂の異常運動が起る可能性がある。

Radio Pyelographyはその手技においては前述の方法と共通の点もある。すなわち逆行性に尿管カテーテルを腎盂内に挿入し、造影剤の代りに ^{131}I -Hippuran 10~20

$\mu\text{Ci}/50\text{kg}$ を生理的食塩水に稀釈して腎盂内に注入する。そして Image Intensifier の代りに Scintillation Detector, Ratemeter, Recorder より成る Scanning 装置を用いて1個の曲線、すなわち Radio Pyelogram として記録する方法である。かくして得られた泌尿器科的に異常のない成人の Radio Pyelogram は、尿量が正常であれば最高計数点Cより Plateau D までの曲線すなわち Segment c はほとんど同一の曲線を描き、CD の時間的間隔は5~8分となっている。しかし病的状態においては、Segment c の形態が変化し、CD 間隔も延長する。したがって、本法は尿が腎盂から排泄されて行く状態を連続的に数的に表現できる点で、新しい腎盂動態検査法としての価値を持っているといえよう。

また実際に腎盂内造影剤注入によるレ線の観察法と、R. I. を腎盂内に注入して体外から Scanning する方法を比較するために、段階的濃度差をもつ造影剤がレ線フィルム上に映像する黒化濃度と、同じ濃度差の ^{131}I -Hipuran の計数率を比較したところ、両者は相関性をもっていることが判明した。また臨床実験においても、Radio Pyelogram における CD 間隔と Image Intensifier により観察した腎盂内造影剤の消失時間はほぼ一致することを知った。したがって、本実験からも、本法は腎盂内造影剤消失時間を知る検査法に充分代用できる方法であるといえよう。

つぎに Radio Pyelogram の分析であるが、私どもは尿細管、腎盂模型図の設定により、正常状態における本曲線の基本型は、尿量、腎盂内容量、時間を函数にした対数曲線として一定の数式に表現することができた。一方、病的状態における Radio Pyelogram 上の各点を片対数紙に取ると、いずれの場合にも正常状態より Slope が緩やかでかつ直線性を示さず、試料の稀釈排出が理論式通り能率良く行なわれないことを示している。私どもはその理由について、尿量と腎盂容量以外に次の可能性を考えている。すなわち腎盂腎杯が正常状態にある場

合には、第8図aのように尿細管から集合管を経て腎杯に排出された尿は、平等な量と速度で腎盂に移行するから、腎盂内の R.I. も平等に稀釈されながら尿管に移行する。ところが病的状態では、その1例として、たとえば第8図bのように腎杯の一部に病巣があつたとすれば、これが1種の Depot となり、R.I. はそこに停滞して容易に排泄されない。また第8図cのように腎盂が異常に拡張した状態でも、両側の陰影で示した部分の R.I. は対流現象を起し腎盂から遅延して排泄される。結局病的状態ではこのような機構がいくつか組合せられ、Radio Pyelogram 形態の変化となつて表われるのであろう。

つぎに Radio Renogram 解析のための本法の応用について述べる。Radio Renography は Winter¹⁾ により詳細に研究された新しい腎機能検査法であり、患者に苦痛を与えないこと、左右腎機能を分離して検査できる等の点で秀れた方法である。しかし同一個体でも常に一定の Renogram が得られるわけではなく、R.I. の投与量、注入速度、患者の体位、尿量、測定装置と患者の位置的関係等が大きく影響するので曲線の形態は種々変化する。またこれらの条件を厳密に一定化することができても、病的状態における曲線を分析することはやはり困難である。それはつぎのような理由による。すなわち Radio Renogram は一般に R.I. が腎血管を経由して腎組織内に到達する状態 (Segment a) と尿細管細胞によって分泌される状態 (Segment b)、さらに腎盂に貯留してから膀胱に排泄される状態 (Segment c) より成立つとされているが、これらの状態は明確な区切りをもつて継時的に起こっているわけではない。したがって Radio Renogram はそれらを一部重複して描記しているわけであり、厳密には Radio Reno Pyelogram といわなければならない。ゆえにある疾患に者の Radio Renogram を判定する場合に、腎と腎盂の動態はそれぞれ相違していても、両者の相互関係如何によつて、ときには曲線が類似した形態を取ることもあり得る。

私どもは、Radio Renogram で Segment c と思われる平坦部分が類似した形態を示した腎性高血圧症患者と先天性水腎症患者に対して、Radio Pyelographyを行ない、この部分は両者で全く別個の性質をもっていることを知った。この分析結果から、両者の Renogram の平坦部分の意味についてはつぎのように解釈することができよう。すなわち腎性高血圧症においては、注射された R.I. が腎血流より尿細管を経て腎盂内に移行する状態は不良であるが、腎盂まで運ばれた試料は速やかに膀胱に

第8図 腎盂腎杯の正常および病的状態

排泄されている。これに反して先天性水腎症では、R.I. は腎血流より尿細管を経て腎盂まで排泄される状態は前者より比較的良好であるが、腎盂より膀胱に排泄される機構が障害されているものと考えられる。

4. 結語

私どもは腎盂腎杯の動態を簡単に知ることができる Radio Pyelography を考察してつぎの結果を得た。

1) 本法は ^{131}I -Hippuran 溶液を逆行性に腎盂内に挿入し、その排泄状態を Scintillation Detector, Ratemeter, Recorder により、Radio Pyelogram として記録する方法である。

2) 正常の Radio Pyelogram は形態の一定した曲線

を示すが、病的状態では種々の変化を来す。

3) Radio Pyelogram の基本形は、尿量、腎盂内容量、時間を函数にした一定の数式に表現することができる。

4) Radio Pyelography は、病的状態における Radio Renogram の分析に利用することができる。

(御指導、御校閲下さった恩師実戸仙太郎教授に深く感謝する。また本研究は文部省科学研究費の補助を受けたことを明記する。)

文 献

1) Winter, C.C.: J. Urol., 76, 182, 1956.

(昭和38年11月22日受付)