

《原 著》

Functional Image による腎内 RI 動態の解析と 臨床的検討

西村 恒彦*

1. 緒 言

腎 RI 検査に使用される放射性薬剤の中で、¹³¹I-hippuran は 1 回の腎循環で 92% が尿細管細胞に選択的に摂取され、尿中に分泌されるので非観血的に腎血行動態並びに尿排泄動態を把握できる優れた特性を有している¹⁾。

¹³¹I-hippuran によるレノグラムでは左右腎それぞれ全体の腎機能を窺い知ることができる。また、シンチカメラを使用すれば経時のシンチグラフィの撮影が可能であり、腎皮質から腎孟への RI 濃度分布の推移を視覚的に追求することができる。

一方、シンチカメラとオンラインで接続した RI データ処理装置を用いれば、¹³¹I-hippuran による RI 画像を連続的に撮影すること、腎内局所における RI 動態を定量的に捉えることが可能である^{2),3)}。とりわけ、臓器の局所毎の動態機能を 1 枚の画像で表現できる Functional Image^{4),5),6)} は有用な方法と考えられる。

そこで、本研究ではオンラインデータ処理装置に収集された¹³¹I-hippuran による経時の腎シンチグラムデータを用いて腎内局所毎の RI 動態曲線

から腎の生理機能である血流、排泄などに相当するパラメータを算出し、パラメータ・マップとして表示する腎の Functional Image の作成を行い、さらに各種腎疾患症例に臨床応用した結果、その画像は腎内局所機能の把握並びに腎疾患診断上有用であると考えられるので報告する。

2. 対象および方法

1) 装置および放射性薬剤

使用した装置はシンチカメラ (RC-IC-1205) とオンラインで接続した RI データ処理装置 (日立製) である (Fig. 1-a)。処理装置の構成は中央処理部 (HITAC-10, 16KW), 磁気テープ装置、データタイプライタ、高速テープリーダおよび CRT ディスプレイ、XY プロッタからなる。使用した放射性薬剤は ¹⁹⁷Hg-chlormerodrin (科研製), ¹³¹I-hippuran (第 1 ラジオアイソトープ製) である。

2) 対象

検査対象は各種腎疾患 77 例である。症例の内訳は、腫瘍、う腫などの腎内局在性病変 16 例、腎結石、水腎症などの尿路閉塞性病変 14 例、腎血管性高血圧症、腎硬塞などの腎血管性病変 14 例、慢性腎炎、慢性腎不全などのびまん性病変 23 例および腎機能正常例 10 例である。これらの診断は各種臨床検査、腎動脈撮影などのレ線検査、腎生検あるいは手術により確認した。

3) データ収集方法

被験者を腹臥位とし、背面からシンチカメラを

* 大阪大学医学部第一内科 (主任 阿部裕教授)

受付：51 年 8 月 23 日

採用：51 年 10 月 12 日

別刷請求先：大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

大阪大学医学部第一内科

西村 恒彦

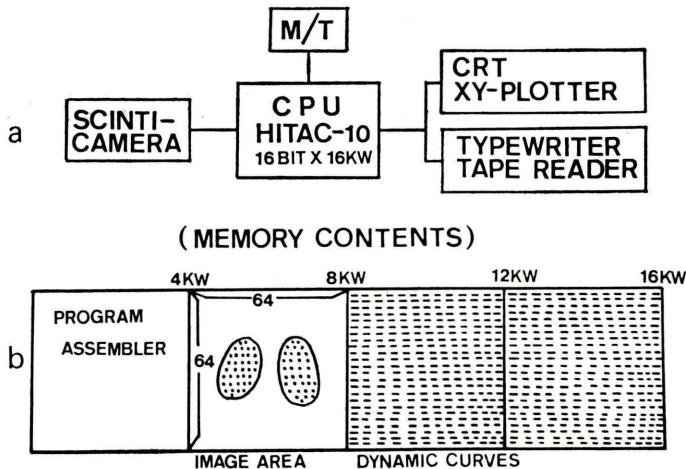


Fig. 1 (a) RI data processing system for the functional image of the kidney
 (b) Memory contents of mini-computer (HITAC-10, 16 KW)

当て、先ず ^{197}Hg -chlormerodrin $150\mu\text{Ci}$ 静注、30 分後に 50,000 カウントの撮影により腎の位置ぎめを行った。次いで ^{131}I -hippuran $500\mu\text{Ci}$ を肘静脈より急速静注後サンプリングタイム 20 秒にて 20 分間連続的に撮像し、RI データ処理装置を用いて一旦データを磁気テープに転送記憶、以下の Functional Image の作成にはこのようにして得られた経時的腎シンチグラムデータを対象として用いた。なお前処理として ^{131}I -hippuran 静注 30 分前に水 300ml および局方ヨウ化カリウム (0.3g) を投与した。

4) Functional Image 作成方法

Functional Image 作成に使用した中央処理部のコアメモリの配分は、最初の 4 KW はプログラム領域、次の 4 KW をイメージ領域、残り 8 KW を各絵素の RI 動態曲線 (dynamic curve) の領域とした (Fig. 1-b)。

Functional Image の作成手順は、①処理すべき領域の設定、②各絵素からの dynamic curve の抽出、③パラメータの計算、④処理後のディスプレイの 4 段階に分けられる (Fig. 2-a)。

処理する腎の領域を決定するため 20 分間の全加算像から一定カウント以上 (cut off レベル) の

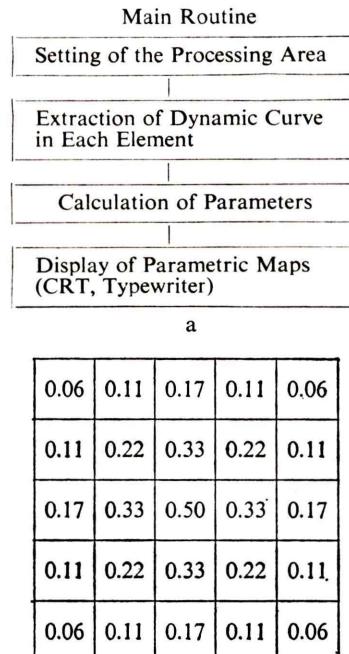


Fig. 2 (a) Flow chart of the functional image of the kidney (main routine)
 (b) Contribution of neighbouring elements to a labeled element

Service Routine
1. Display of Total Renogram
2. Display of Images in Any Phase
3. Print Out of Data Number
4. Display of Dynamic Curves in Interested Elements
5. Print Out of Previous Data

Fig. 3 List of service routine

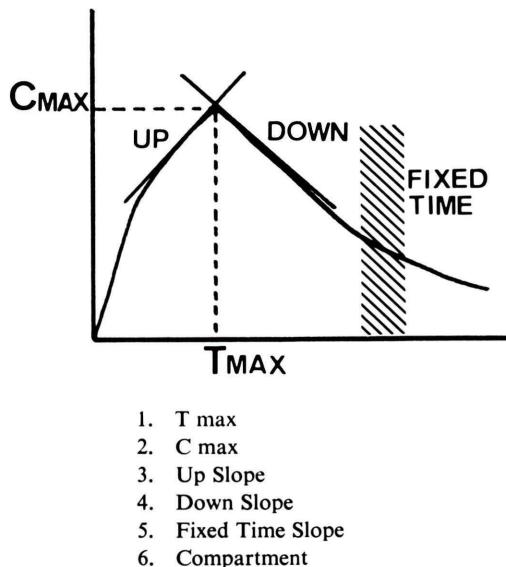


Fig. 4 Six parameters chosen from a dynamic curve in each element

領域を設定し腎を過不足なく被う大きさとした。この際、cut off レベルの設定は可変とし、バックグラウンドが十分消去され、¹⁹⁷Hg-chlormerodrinによる腎シンチグラムと比較して腎の大きさに誤差を生じない程度の数値とした。

dynamic curve を抽出する絵素は 64×64 マトリックスにおいて腎の領域にて奇数行、奇数列とし、メモリの MSD* に 1 をラベルすることにより求めた。

各絵素毎の dynamic curve の作成は統計的変動を減少させるため磁気テープをプレイバックしながら画面毎に 9 点スムージングを行ったのち

*MSD: Most Significant Digit

MSD にラベルされた各絵素を中心として周囲の 8 点を併せたデータを抽出、逐次所定のメモリに収納することにより行った。このような処理により得られたデータに対する周囲点の関与の割合を示す(Fig. 2-b)。dynamic curve はさらに時間軸方向に 3 点スムージングを行った。これらの処理の結果、各絵素の dynamic curve は以下の症例の腎内局所における曲線に示すように統計的変動が抑えられパラメータ算出に適用可能である。

次いで dynamic curve から次項 5) に示すような 6 種類のパラメータを算出した。

処理後のディスプレイは補間処理により中間点を入れ 64×64 マトリックスに変換した。また得られた画像を客観的に評価するため CRT ディスプレイによる輝度表示のほか、タイプライタディスプレイにて Functional Image 中の最大値を calibration とする 10 段階表示を併用した。

以上のメインプログラムのほか、詳細な病態の観察のためサービスプログラムとして左右腎のレノグラム、および各絵素の dynamic curve にデータ・ナンバーを付与することによりこれを任意に表示可能などとした (Fig. 3)。

Functional Image 作成、表示プログラムの過程はすべてアセンブラー言語を使用したので演算時間は極めて短かく処理が行えた。

5) パラメータの選定 (Fig. 4)

- (1) Cmax; 静注後 dynamic curve における最大カウント
- (2) Tmax; 静注後 Cmax に至るまでの時間
- (3) Up Slope; Tmax 前 5~7 点の勾配
- (4) Down Slope; Tmax 後 15 点の勾配
- (5) Fixed Time Slope; レノグラムにおいて任意に指定する関心時相、たとえば、RI の集積相および排泄相などにおけるそれぞれ 5~7 点、15 点の勾配(正、負)

これらの勾配 ((3), (4), (5)) は最小二乗法による直線近似 ($Y = aT + b$) により係数 a として求めた。

- (6) Compartment; 観測した後の Compartment のトレーサの濃度曲線から先行する Compartment の最少の数を決定する London⁷⁾ らの理論を応用

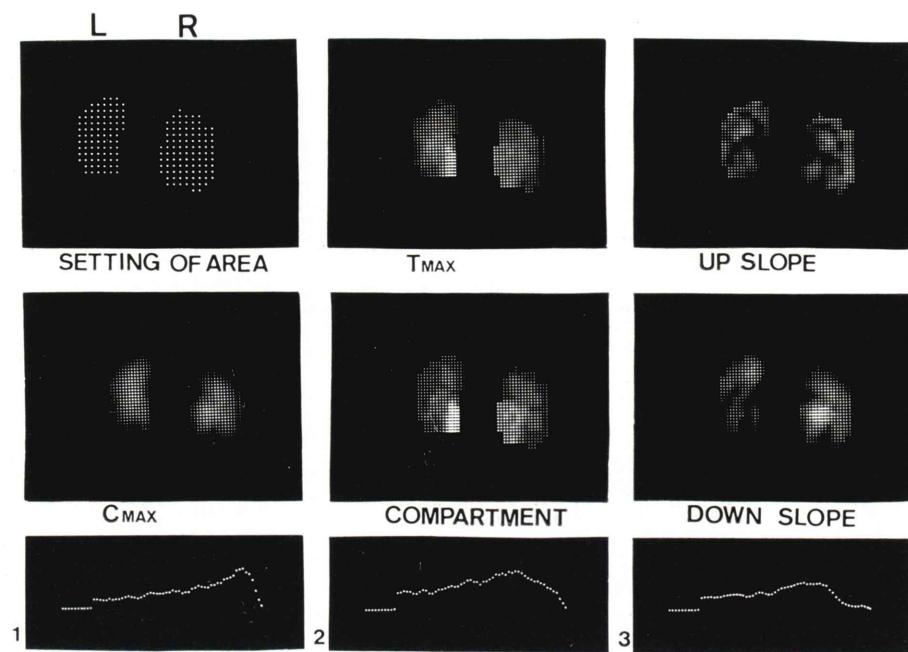


Fig. 5 (a) Functional images in the case of normal renal function

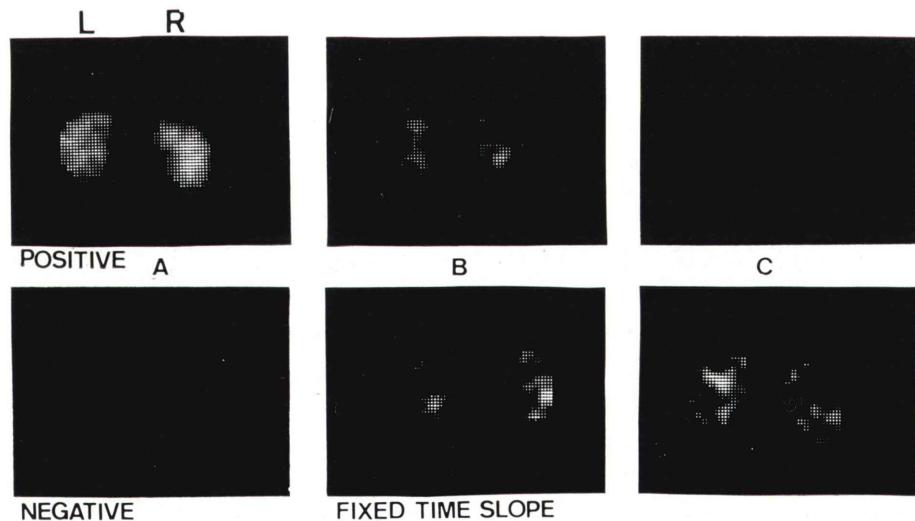


Fig. 5 (b) Images of Fixed Time Slopes in the case of normal renal function

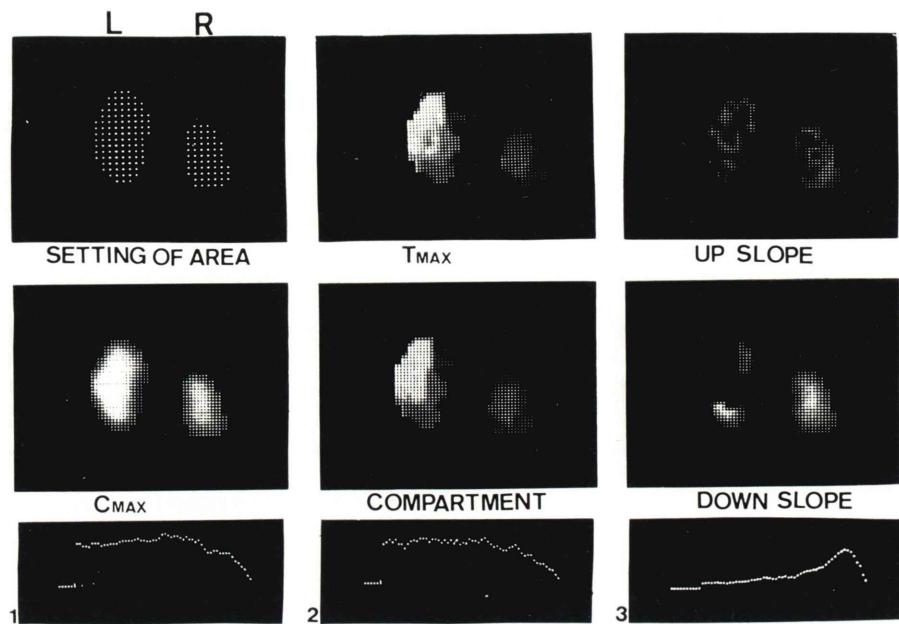


Fig. 6 (a) Functional images in the case of hydronephrosis

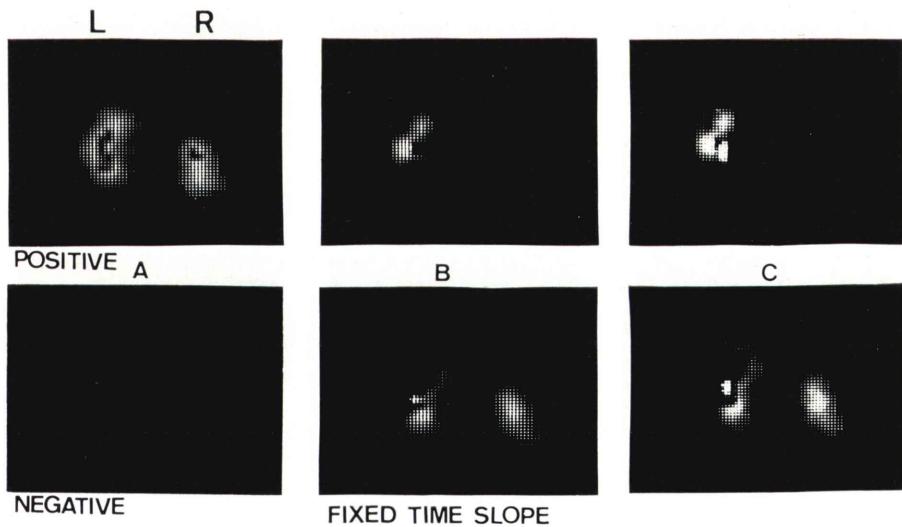


Fig. 6 (b) Images of Fixed Time Slopes in the case of hydronephrosis

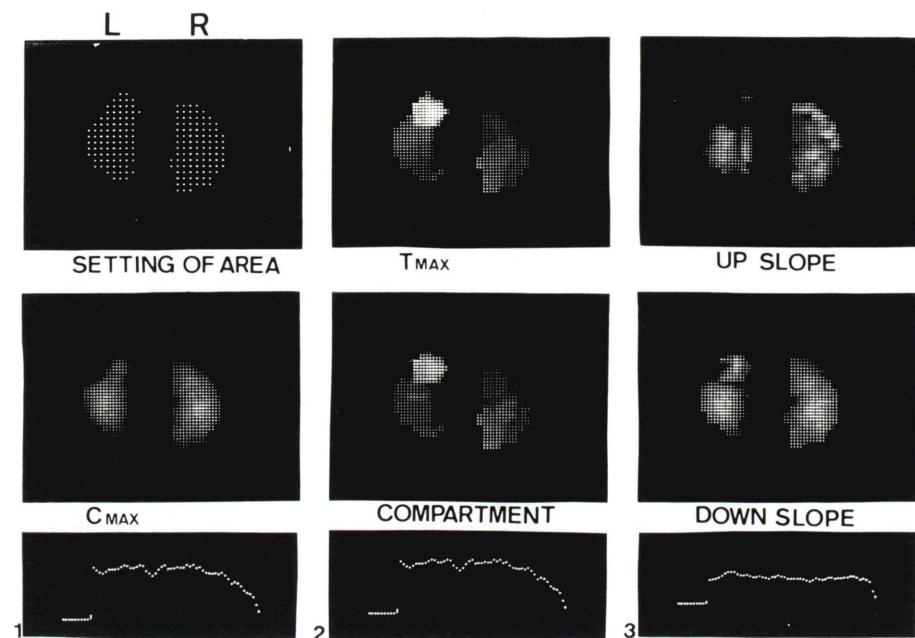


Fig. 7 (a) Functional images in the case of renal tuberculosis

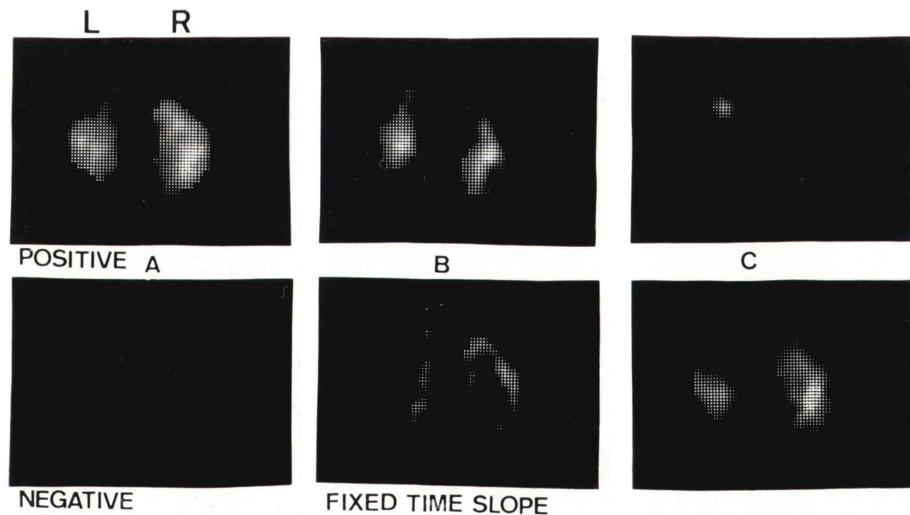


Fig. 7 (b) Images of Fixed Time Slopes in the case of renal tuberculosis

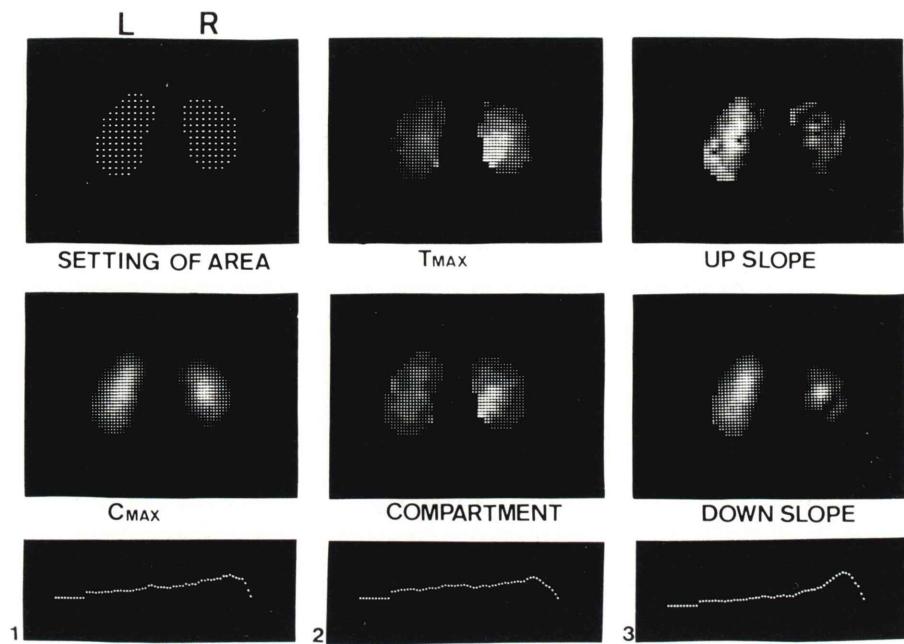


Fig. 8 (a) Functional images in the case of renovascular hypertension

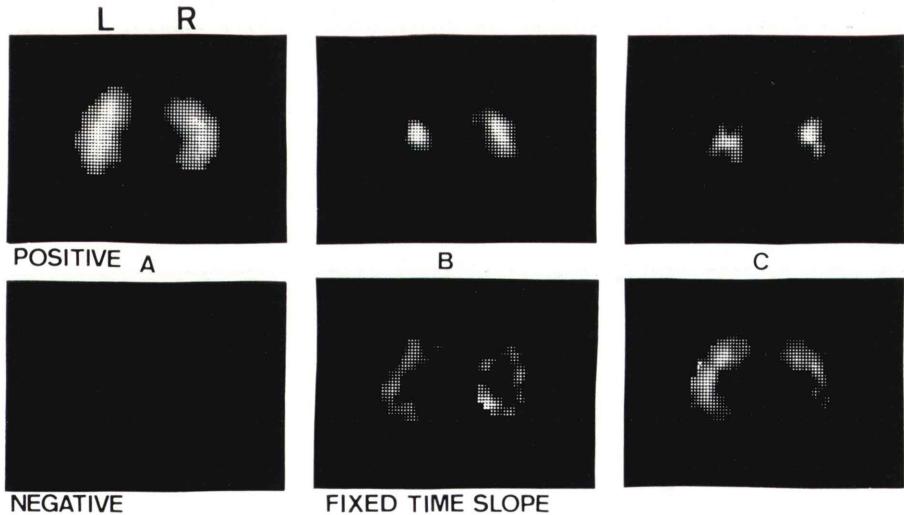


Fig. 8 (b) Images of Fixed Time Slopes in the case of renovascular hypertension

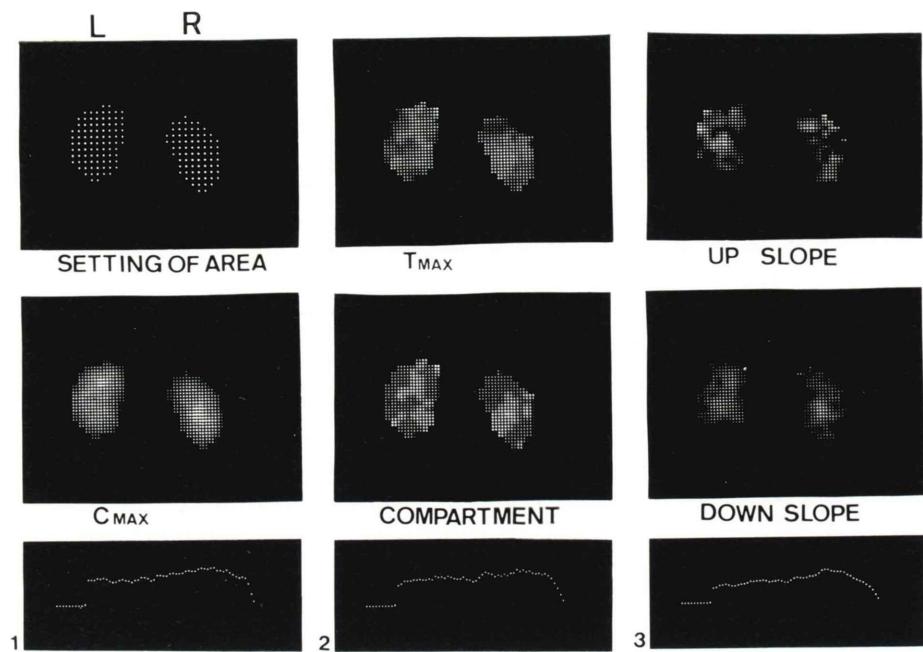


Fig. 9 (a) Functional images in the case of chronic glomerulonephritis

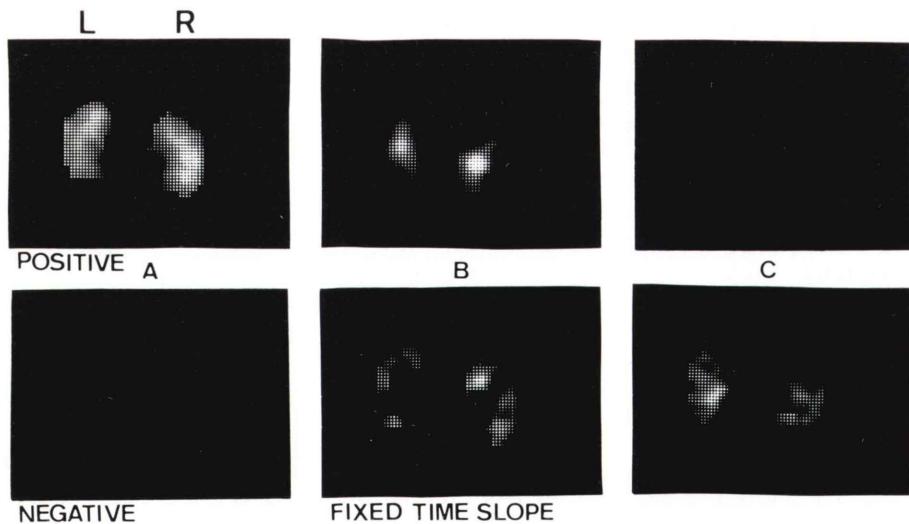


Fig. 9 (b) Images of Fixed Time Slopes in the case of chronic glomerulonephritis

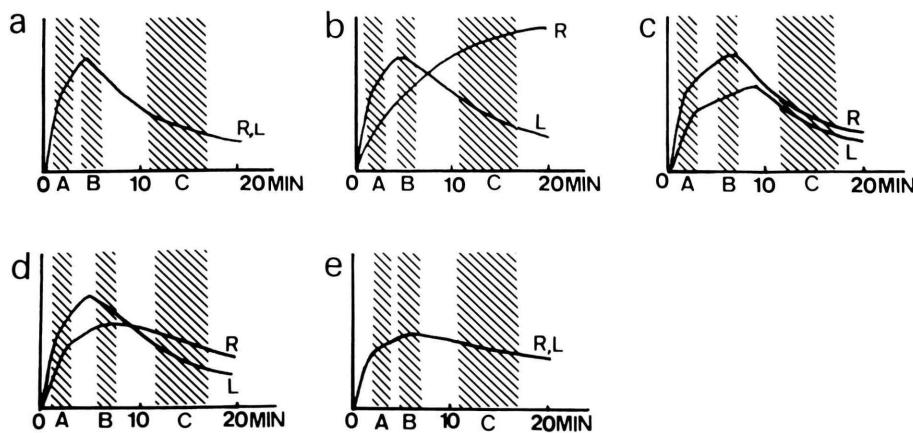


Fig. 10 Setting the “Fixed Time Slope” in the renogram in the case of
(a) normal renal function, (b) hydronephrosis, (c) renal tuberculosis, (d) renovascular hypertension, (e) chronic glomerulonephritis.

することにより求めた（付録）。

3. 結 果

各種腎疾患症例を、腎内局在性病変、尿路閉塞性病変、腎血管性病変、びまん性病変および腎機能正常の5群に分類、6種類のパラメータ・マップを作成し、レノグラム、腎シンチグラムと比較検討した。さらに症例により各種腎機能検査、静脈性腎孟造影、腎動脈撮影などの所見と併せ、腎内局所機能の対比を行った。各疾患群における Functional Image 处理の結果を代表例を提示しながら以下に記述する。

I. 腎機能正常群

腎機能正常例として選んだ症例は腎移植時の donor 4 例、生理的蛋白尿 6 例である。

症例：M. S. 35 才、男、生理的蛋白尿

PSP 排泄試験(15分値)40%，各種臨床検査、静脈性腎孟造影で異常を認めない症例である。本症例における Functional Image 处理を示す(Fig. 5-a)。Cmax の画像では腎中央部から辺縁にかけて濃度分布が表示され、Tmax の画像では腎皮質から腎孟にかけて段階的な Tmax の増加を認める。Compartment 数の画像は Tmax の画像に類似し、皮質部 2 個、腎孟部 5 個である。Up Slope の画像では皮質部において勾配の増加を示し、Down

Slope の画像では腎内局所の排泄態度に応じた濃度分布が認められる。

図 5-a 下に示す腎内局所における各部位での代表的な絵素の dynamic curve は統計的変動が少なく、皮質部で立上りの急峻な排泄も速い曲線(1)を、腎孟部では時間遅れを有する山型の曲線(3)を示す。また髓質部では両者の中間的な曲線(2)を示す。

レノグラムにおける(A)(B)(C)の各時相(Fig. 10-a)での Fixed Time Slope の画像を示す(Fig. 5-b)。静注後 2~3 分の RI 集積相の画像(A)では腎実質がほぼ一様に正の勾配として、10~15 分後の排泄相の画像(C)ではすべて負の勾配として、中間相の画像(B)では蓄積されつつある腎孟部と排泄されつつある皮質部がそれぞれ正、負の勾配として認められる。

腎機能正常 10 例における Functional Image による画像はほぼ本症例と同様の傾向を示し、Tmax は皮質部 2~3 分、腎孟部 6~9 分であり、Compartment 数もそれぞれ 2 個、5~6 個である。

II. 尿路閉塞性病変群

症例の内訳は腎孟尿管移行部の狭窄由来する水腎症 3 例、結石に由来する水腎症 8 例および部分的通過障害 3 例である。

症例：F.K. 44 才、男、水腎症



Fig. 11 Intravenous pyelography in the case of hydro-nephrosis.

静脈性腎孟造影 (Fig. 11) にて左腎結石による巨大な水腎を認める症例である。腎シンチグラムでは左腎の腫大を、レノグラムでは左腎は閉塞型、右腎は正常型を示す。本症例における Functional Image 处理を示す (Fig. 6-a)。Tmax の画像では拡大した腎孟に一致して Tmax の遅延を認める。Compartment 数も腎孟部で 8 個である。(Cmax の画像では腎孟部に相当して高度の RI 集積を認め、とくに Down Slope の画像ではこの部位の排泄が 20 分間で認められないことから欠損像として表現され排泄の良好な左腎下極部と境界が明瞭であり水腎部位の大きさを把握できる。

腎内局所における dynamic curve は病変部位では閉塞型の曲線 (1), (2) を示し、一方左腎下極部 (3) では正常皮質型を示し皮質機能が残存しているのが認められる。

レノグラムにおける (A) (B) (C) の各時相 (Fig. 10-b) での Fixed Time Slope の画像を示す (Fig. 6-b)。(A) の時相では左腎上部にも正の勾配が認められこの部位に腎実質が重なって存在することが、(C) の時相ではなお病変部位が正の勾配として示され排泄障害が認められる。

水腎症 11 例において病変部位に一致して Tmax の遅延が認められ、この部位は Down Slope では欠損像として表現され残存皮質部位と明瞭に境界された。結石による一部腎杯の拡張を認める部分的通過障害 3 例では腎孟の一部に限局して Tmax の増加と Down Slope の欠損像が画像として認められた。

III. 局在性病変群

症例の内訳は腎腫瘍 4 例、腎のう腫 3 例、多発性のう胞腎 3 例、腎結核 1 例、腎孟腎炎 5 例である。

症例 : K.R. 24 才、♀、腎結核症

尿結核菌培養陽性、点滴静注腎孟造影を併用した断層撮影 (Fig. 12-a) にて左腎上極部に空洞およびこれに絡がる上極部腎杯の拡張さらに外側部にのう腫を認める症例である。腎シンチグラムでは左腎上極外側のう腫部に欠損像、空洞部にて RI の摂取低下を認める。レノグラムでは正常型の右腎に比し、左腎では第 2 相の低下を認める。本症例における Functional Image 处理を示す (Fig. 7-a)。Cmax の画像では左腎のう腫部位に欠損像、空洞部位にて Cmax の低下を認める。Tmax の画像では空洞部それに絡がる腎杯部にて Tmax の遅延が認められ Compartment 数もこの部位で 8 個である。とくに Up Slope の画像では病変部に一致して欠損像として表現され RI 集積の低いことが認められる。

腎内局所における dynamic curve は拡張した腎杯部では RI が蓄積される曲線 (1) (2) を示し、空洞部位では RI 摂取は少ないが 20 分間までは排泄されない曲線 (3) を示す。

術前に施行した腎動脈撮影 (Fig. 12-b) では左腎動脈上枝は末梢に至るまでのう腫および空洞による血管の偏位、牽引を示し同部位の皮質薄層化、血行障害を認める。Up slope の画像はアンギオ所見と併せると局所血流障害の範囲を表示しており手術決定に役立つ所見が得られた。本症例は左腎

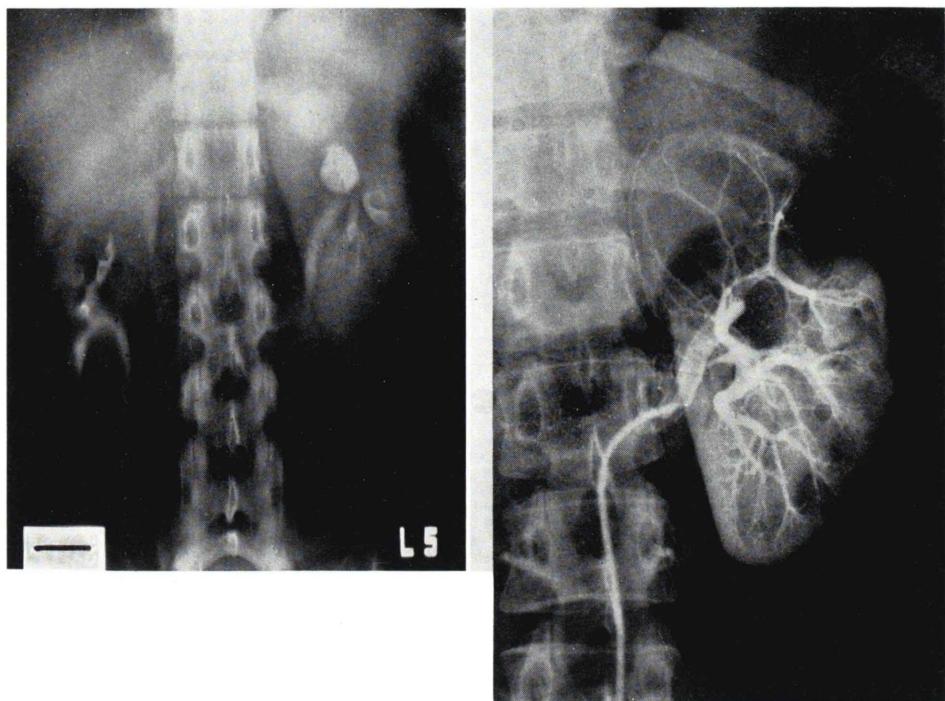


Fig. 12 (a) Nephrotomography with Drip Infusion Pyelography, (b) Renal angiography in the case of renal tuberculosis

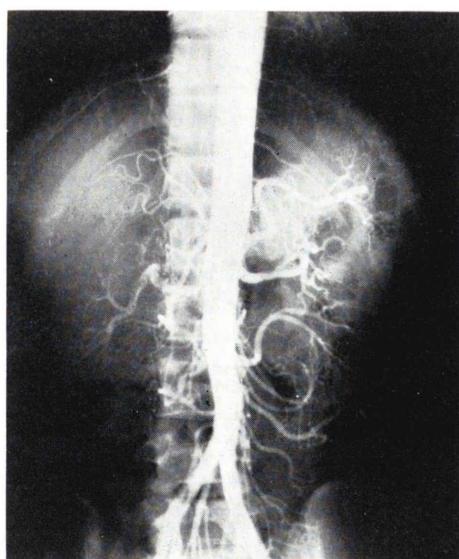


Fig. 13 Renal Angiography in the case of renovascular hypertension

部分切除術を施行した。

レノグラムにおける (A) (B) (C) の各時相 (Fig. 10-c) での Fixed Time Slope の画像を示す (Fig. 7-b). (A) の時相では左腎上極部の勾配は低く (C) の時相ではなお正の勾配としてこの部位が示され、排泄障害が認められる。

局在性病変全例において、Cmax の画像では病変部に一致して Cmax の低下、もしくは欠損像として明瞭に捉えられ、dynamic curve は平坦な無機能型を示した。また腫瘍、のう腫などで圧迫された腎盂部を認める症例では Down Slope の画像にて尿路停滞による勾配の低下を認めた。

IV. 血管性病変群

症例の内訳は腎血管性高血圧 6 例、腎硬塞 1 例、腎静脈血栓 3 例、悪性腎硬化症 4 例である。

症例 : S.K. 23 才, 男, 腎血管性高血圧症

尿蛋白陽性、腹部血管雜音を有し腎動脈撮影 (Fig. 13) にて、右腎動脈および上枝の狭窄と壁不

整が、さらに末梢部位にも走向の断絶、壁不整があり右腎実質が一部しか造影されない症例である。腎シンチグラムは右腎の萎縮と RI 摂取低下を、レノグラムでは右腎第2相の低下と排泄遅延を認める。本症例における Functional Image 处理を示す (Fig. 8-a)。Cmax の画像では右腎上極部の Cmax の低下を、Tmax の画像では左腎に比し右腎乏血による Tmax の遅延を認める。とくに Up Slope の画像では右腎上極皮質部の著明な勾配の低下を示し、Down Slope の画像ではこの部位の排泄遅延が示される。これらの所見は腎動脈撮影と併せると虚血性病変の範囲が示唆される。

腎内局所における dynamic curve は左腎正常皮質部の曲線 (3) に比し右腎上極皮質部の曲線 (1) (2) は第2相の低下と排泄遅延を示す。

レノグラムにおける (A) (B) (C) の各時相 (Fig. 10-d) での Fixed Time Slope の画像を示す (Fig. 8-b)。(A) の時相では右腎萎縮と上極皮質部の勾配の低下が、(C) の時相では右腎排泄遅延がそれぞれ正の勾配で示される。

腎血管性高血圧 3 例では Up Slope の画像は勾配の低下あるいは欠損像として表現され腎動脈撮影と一致する所見が得られた。とくに腎硬塞では Cmax、Up Slope の画像で楔型の欠損像が認められた。腎動脈狭窄の強度な腎血管性高血圧 3 例および腎静脈血栓 3 例では腎シンチグラムにても偏腎の描出が不明瞭であり、悪性腎硬化症 4 例では両腎とも描出が不明瞭であった。これらの症例における Functional Image は Cmax の画像にて全体に Cmax の低下と Up Slope の画像で勾配の低下を認めた。

V. びまん性病変群

症例の内訳は慢性腎炎 5 例、慢性腎炎、代謝性疾患などに基く慢性腎不全 18 例である。

症例: M.N. 35 才、男、慢性腎炎

PSP 排泄試験 (15 分値) 17%，クリアランス 40ml/min, BUN 38mg/dl, 生検にて proliferative glomerulonephritis を認める症例である。腎シンチグラムでは両腎の摂取不良を、レノグラムは左右腎とも第2相の平坦化と排泄遅

延を認める。本症例における Functional Image 处理を示す (Fig. 9-a)。Cmax の画像では腎全体が一様に表示される。Tmax の画像では皮質から腎孟への Tmax の増加が緩徐である。Up Slope の画像では皮質、腎孟での勾配の差異が少なくほぼ一様に表示され、Down Slope の画像も腎内局所における排泄が一様であることから均等に分布が認められる。

腎内局所における dynamic curve は皮質、腎孟とも平坦な排泄の遅い曲線 (1) (2) (3) を示す。

レノグラムにおける (A) (B) (C) の各時相 (Fig. 10-e) での Fixed Time Slope の画像を示す (Fig. 9-b)。(A) (C) の時相で左右腎とも一様に表示されそれぞれ正、負の勾配で示される。

慢性腎炎で腎機能中等度障害を認める 5 例では Functional Image にて本症例と同様の傾向の画像を呈した。一方、腎シンチグラムで明瞭に腎影が描出されず、レノグラムで無機能型を示す慢性腎不全例では RI の摂取低下のため抽出した dynamic curve の統計的変動が大きく、Functional Image では各画像にてバラツキの大きい画像を呈した。

4. 考 案

シンチカメラとオンラインで接続した RI データ処理装置の使用により、¹³¹I-hippuran などによる RI 画像を連続的に撮影することから腎機能を形態的に追求することや腎内局所動態を定量的に把握することが可能である³⁾。

Wang⁸⁾は腎全体を皮質、髓質、腎孟の3領域に等分割し得られた区域レノグラム (Regional Renogram) の比較検討を、Halko ら⁹⁾は腎を固む長方形を 21 領域に、著者ら^{10),11)}も 12 領域に等分割し、因子分析法によるレノグラムの構成成分を求めるとともに腎実質、腎孟および病変部の区域レノグラムの比較検討を行っている。

しかし、これらの処理は関心領域の大きさにより得られる区域レノグラムに差異を生じ、また視覚的に病変部を捉えることは困難である。これに対し、デジタル化した画像において各絵素毎の

dynamic curve を求め腎血流、排泄機能などに相当するパラメータを計算し、パラメータ・マップとして表示する Functional Image は腎の局所機能を1枚の画像として視覚的に観察しうるものである。前田ら⁵⁾も、腎の functional imaging に関する研究を行っているがこれらは腎疾患診断上極めて有力な方法と考えられる。

1) Functional Image の作成について

本研究に使用した RI データ処理装置はミニコンピュータにて 16KW の記憶容量で且つ磁気ディスクを有しないのでシンチカメラの全視野 4096 本 (64×64 マトリックス) の dynamic curve を収容することは困難である。そこでオンライン処理の際、メモリの不足はソフトウェア面で補った。すなわち、メモリの配分を Fig. 1-b に示したが収集したデータは 20 秒単位とし処理領域も腎の部分に限定、dynamic curve を抽出する絵素の間隔を 1 つおきとし (32×32 マトリックスに変換)、他方メモリの 1 語 16bit を上下 8bit ずつ 2 語に使用することにより 8KW で 64W の長さの dynamic curve を 256 本収容可能になり丁度腎の大きさを被うに十分であった。

ところで、dynamic curve はデータ収集、演算および表示マトリックスの大きさにより統計的変動が異なるためデータ収集、処理方法について考察する。

①データ収集方法について

データとして磁気テープに収集された RI イメージは 64×64 マトリックスのデジタルな分布であり、個々のフレームないし絵素の統計的変動に関しては、サンプリング間隔、フレーム数、投与量などがデータ収集の際問題となる¹²⁾。投与量が少量の場合、当然計数率が低く統計的変動が大きいため、今回各症例にて ^{131}I -hippuran 500 μCi を投与したが本剤は生物学的半減期も短かく被曝線量も極めて少ない。しかし、 ^{123}I -hippuran などの短半減期核種の大量投与により計数率の高い RI イメージが得られるとフレーム毎の統計的変動がさらに抑えられる。

次に時間に関するシステムの特性として RI デ

ータ処理装置における数え落しが問題である¹⁴⁾。使用した RI データ処理装置における分解時間は二線源法で求めた所、シンチカメラ $7\mu\text{sec}$ 、測定系全体で $20\mu\text{sec}$ であり放射能とカメラ全視野の計数率は 50,000 カウントまで直線性を示した。今回の臨床例ではフレーム毎の全視野の計数率は最高 10,000 カウント以下であったので数え落しの補正は必要ないと思われる。

②データ処理方法について

Functional Image の作成にあたり重要なことはイメージの基本が画像要素を局所機能に関連した指標で表現されることにある。従って、データ収集のみならずデータ処理においても dynamic curve の統計的変動が十分抑えられている必要がある。

Functional Image におけるスムージング回数について種々検討した結果、dynamic curve 抽出時における原データのスムージング 2 回および時間軸方向のスムージング 1 回行うことにより提示した各症例に示すような統計的変動の少ない滑らかな曲線が得られ以後の演算処理に十分耐えることが示された。

処理後のディスプレイは補間処理により 64×64 マトリックスに変換、最大値を calibration として 10 段階表示によるタイプライタ表示を併用した。この結果、画像を数値情報として客観的に把握できる利点がある。

なお各種腎疾患 7 例にて 2 回日時を変えて検査を施行した所、Functional Image の再現性については良好な結果が得られた。

Functional Image による RI 画像処理は従来の関心領域の局所 RI 動態曲線を解析する方法に比し、局所動態機能を微視的に捉えることができる。且つ得られた Functional Image の画像から興味ある部位の dynamic curve を任意に抽出し検討することは病態生理の把握に役立つと考えられる。

これらの処理はオンラインミニコンピュータシステムにてアセンブラー言語を使用することによりデータ収集後 cut off レベルの入力を可変的に行う以外、すべてコマンド命令のみで処理が行え日

常ルーチン使用可能である。

2) Functional Image の臨床的検討について

従来よりレノグラムの評価法に関しては、定性的にはパタンによる分類¹⁵⁾が、半定量的にはレノグラムの各相に注目し、各種の Index 抽出を試み、臨床像と対比する方法^{16),17)}が行われている。また、定量的評価法としては、RI 血中濃度の経時曲線より分布相、移行係数を算出する方法^{18),19)}と体内動態、腎血行並びに尿排泄動態の生理的モデルを作成、腎血流量、尿量、尿路容積など具体的な変量との対応を求めるとする解析^{20),21)}がある。

一方、区域レノグラムに関しては、腎性高血圧の鑑別に皮質、髓質、腎孟の区域レノグラムが役立つこと⁸⁾、また腎内関心領域における RI 動態曲線の比較により腎内局在性病変、血管性病変、尿路停滞性病変に特異なパタンが抽出できること^{9),10,11)}などを認めている。

ところで、dynamic curve の解析に関しては、半定量的にレノグラムのシンボル情報である腎血流、排泄機能などに相当する 6 種類のパラメータを選定、各種腎疾患症例にて臨床的検討を行った。

Cmax, Tmax は dynamic curve から単純に求まりそれぞれ RI 注入後のピーク・カウントおよびそれに至る時間であり他のパラメータ算出の指標になる。Cmax の画像は腎内のピーク・カウントの少ない部位である腫瘍、のう腫、空洞など腎内局在性病変の検出に役立つ。Tmax の画像は腎内 RI 動態の推移を 1 枚の画像で表現しており、乏血部位、水腎部位ではそれぞれ腎実質内転送時間の遅れ、腎孟部の停滞性病変を反映して特徴的に遅れるという所見が得られる。

Compartment 数は、London⁷⁾ らの Compartment 数同定理論を応用することにより容易に求まり個数で表示できる。腎機能正常例では大部分、皮質 2 個、腎孟 5 個である。但し、本理論による Compartment Model は一方向カテナリーモデルを想定していることから Compartment 数の生理的意義よりも、むしろ曲線のなまり具合を表現するものと考えられる。

Fixed Time Slope および Wiener²²⁾ らの regional

rate constant を用いる方法はレノグラムの関心時相における勾配に注目したものである。すなわち、レノグラムにおいて静注 2~3 分後の RI 集積は RPF に相関すること²³⁾から集積相の時相 (A) は RPF に相当する画像を示すと考えられる。また、排泄相 (C) で正の勾配の画像を示す場合高度の排泄障害が認められ、とくに局所における排泄の遅れを画像として捉えられる。本法は左右腎のレノグラムの時相の差異を明瞭に画像として表現している。

これに対し、Up Slope, Down Slope の画像は、Dynamic curve における RI 集積、排泄を示すパラメータとして腎内動態を微視的にみることができる特徴がある。実際、腎血管性高血圧症例や腎血行障害のある症例では Up Slope の画像では病変部が Up Slope の低下ないし欠損像として表現され、腎動脈撮影などの所見と対比すれば虚血部位の範囲の推定が可能である。一方、水腎症例では Down Slope の画像で病変部が欠損像として表現され排泄の良好な皮質残存機能と明瞭に区別され尿路停滞性病変の程度が把握できる。

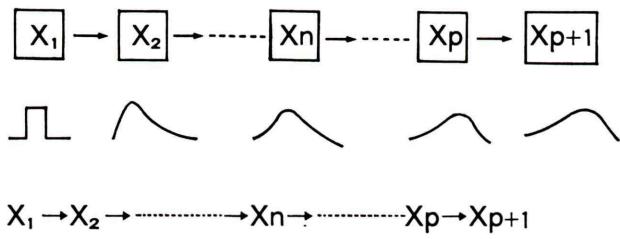
以上、6 種類のパラメータ・マップを各種疾患群との関連においてその臨床的意義について考察すると Table 1 のようになる。従って、このようにして求めた Functional Image を臨床応用した結果、その画像はレノグラム、腎シンチグラムで得られない情報や腎動脈撮影などと対比できる所見が非観血的に得られ腎疾患診断上極めて有用である。さらに、これらの処理の特徴として、各種腎疾患の病態診断、病態生理の把握に役立つことが示唆された。

5. 結論

1. ¹³¹I-hippuran による経時的腎シンチグラムデータを対象として腎内局所毎の動態機能を画像として表現できる Functional Image 作成プログラムを開発した。これらの処理はオンラインミニコンピュータシステムにてアセンブラー言語を使用、日常ルーチンに使えるものとした。
2. Functional Image 作成上、基本要素である

Table 1 Clinical significance of parametric maps

	C max	T max	Compartment	Up Slope	Down Slope	Fixed Time Slope
Normal Renal Function	peak count middle ↗ margin ↘	cortex → pelvis gradually delay	resemble Tmax cortex 2 pelvis 5-6	cortex ↗ pelvis ↘	cortex → pelvis homogeneous →	positive (A) homogeneous ↗
Obstructive Uropathy	peak count ↗ in the lesion	Tmax significantly delay in the lesion	maximum 8 in the lesion	remaining cortex ↗ pelvis ↘	down slope ↘ defect in the lesion	positive (C) in the lesion
Focal Lesion	peak count ↓ in the lesion	variable	variable	variable	variable	variable
Renal Vascular Change	peak count ↘ in the lesion	Tmax significantly delay in the lesion	maximum 8 in the lesion	up slope ↘ defect in the lesion	cortex → pelvis homogeneous →	positive (A) ↘ in the lesion
Renal Parenchymal Change	peak count ↓ in all areas	cortex → pelvis slowly delay homogeneous →	cortex → pelvis homogeneous → 3-6	cortex → pelvis homogeneous →	cortex → pelvis homogeneous ↘	positive (A) homogeneous ↘



$$Q_n(T_n) = T_n \cdot X_n(T_n) / A_n \leq \frac{(n-1)^n}{(n-1)!} \exp(1-n) \quad (1)$$

$Q_n(T_n)$: the minimum number of compartments

T_n : the time of the unique maximum of $X_n(T_n)$

$X_n(T_n)$: the value of X_n at the maximum

A_n : $A_n = \int X_n(t) dt$

Fig. 14 Determination of minimum number of precursoring compartments

局所毎の dynamic curve はデータ収集、データ処理の面にて種々の処理を行った結果、統計的変動が抑えられパラメータ抽出に適用できることがわかった。dynamic curve から腎の血流、排泄機能などを表現する 6 種類のパラメータを選定、各種腎疾患症例にて臨床応用を行った。

3. 各種腎疾患を腎内局在性病変、尿路閉塞性病変、血管性病変、びまん性病変および腎機能正常の 5 群に分類、6 種類のパラメータを比較検討した所、各疾患群に特徴的な画像で表現されることがわかった。

4. これらの処理により、レノグラム、腎シンチグラムで得られない情報や腎動脈撮影と対比できる所見が非観血的に得られ、また腎疾患診断のみならず病態生理の把握に有用である。

付録：Compartment が一方向カテーテリーモデルの連続した系において最初にパルス状入力があったと仮定したとき (Fig. 14)，観察した後の Compartment のトレーサの濃度曲線から先行 Compartment 数の最少の数を同定する理論である。

いま、動態曲線がピークに達する時間 T_n , T_n におけるピーク値 $X_n(T_n)$ 、動態曲線と時間軸が囲む面積 A_n とすれば先行 Compartment 数 n は(1)式を満足する。従って、dynamic curve より C_{max} , T_{max} および A_n を求めれば先行 Compartment 数が決定できることになる。

本論文の要旨は第15回日本核医学会プレナリーセッションにて発表した。

稿を終るにあたり、御指導、御校閲賜った阿部裕教授、終始、直接御指導頂いた中央放射線部木村和文講師並びに御協力頂いた第一内科情報研究室の諸兄に感謝いたします。

文 献

- 1) Nordyke RA, Tubis M and Blahd WH: Use of radioiodinated hippuran for individual kidney function tests. *J Lab Clin Med* **56**: 438-445, 1960
- 2) 木村和文: RIデータ処理装置とイメージ処理. 総合臨床. **20**: 1784-1792, 1971
- 3) 木村和文、西村恒彦: 腎機能検査の精度、評価、判定 (RI 検査). 総合臨床 **24**: 601-609, 1975
- 4) Kaihara S, Natarajan TK, Maynard CD et al: Construction of a functional image from spatially localized rate constants obtained from serial camera and rectilinear scanner data. *Radiology* **93**: 1345-1348, 1969
- 5) 前田寿澄、古川勇一、中川毅他: オンラインデータ処理装置による腎の functional imaging に関する研究. 核医学 **12**: 341-347, 1975
- 6) Ishii Y, Kawamura J, Mukai T, et al: Functional imaging of intrarenal blood flow using scintillation camera and computer. *J Nucl Med* **16**: 899-907, 1975
- 7) London WP, Hearon TZ: Estimation of the number of precursors in a sequence of the first order reaction. *Math Biosci* **14**: 281-295, 1972
- 8) Wang Y: Regional (compartmental) renogram for hypertension evaluation. *Amer J Roentgenol* **118**: 842-851, 1973
- 9) Halko A, Burke G, Sorkin S, et al: Computer-aided statistical analysis of the scintillation camera renogram. *J Nucl Med* **14**: 253-264, 1974
- 10) Takeda H, Kimura K, Nishimura T, et al: Computer-aided simulation analysis of RI dynamics in the kidney. In proceeding of the first world congress of Nuclear Medicine. Tokyo p 557-559, 1974
- 11) 西村恒彦、古川俊之、木村和文他: 腎内関心領域における RI 動態曲線の解析と臨床応用、第17回日腎総会予稿集、p 269, 1974
- 12) 向井孝夫: 電子計算機による RI イメージ処理に関する研究(第2編)シンチカメラによる functional imaging に関する研究、日放医誌 **35**: 883-894, 1975
- 13) Short MD, M Inst P, Glass HI et al: Gamma-camera renography using ^{123}I -hippuran. *Brit J Radiol* **46**: 289-294, 1973
- 14) Fukuhisa K, Iinuma T, Matsumoto T: Measurement of resoluting time for gamma-camera, 核医学 **11**: 172-173, 1974
- 15) 町田豊平: ラジオアイソotopeによる腎機能検査法(レノグラムを中心に), 日本臨床 **23**: 1344-1349, 1965
- 16) Krueger RP, Sanders AP, Demaria W et al: Analysis of the radiorenogram curve. *Amer J Roentgenol* **118**: 842-851, 1973
- 17) Hirakawa A, Corcoran AC, Loyke H: Radioisotope renogram as a sensitive test of kidney function. *J Lab Clin Med* **58**: 825, 1961
- 18) Blaufox MD, Orvis AL, Owen CL; A compartment analysis of the radiorenogram and distribution of ^{131}I -hippuran in the dogs. *Am J Physiol* **204**: 1059-1064, 1963
- 19) 阿部裕、古川俊之、木村和文他: レノグラム特性の解析、第7回日本ME学会大会予稿集、p114, 1969
- 20) Coe F, Burke G: A theoretical approach of the

- ¹³¹I-hippuran renogram. J Nucl Med **5**: 555-561, 1964
- 21) 平川顕名, 上山秀磨, 桑原道義: レノグラムのアナログ・シミュレーション, 総合臨床 **20**: 1706-1720, 1971
- 22) Wiener SN, Borkat FR and Floyd RM: Functional Imaging; A method of analysis and display using regional rate constant. J Nucl Med **15**: 65-68, 1974
- 23) Hayes M, Taplin GV et al; Determination of differential renal function by sequential renal scintigraphy. J Urology **111**: 556-559, 1974

Summary

A New Method of Analysis and Display of Intra-Renal Dynamics Using Functional Images

Tsunehiko NISHIMURA

First Department of Internal Medicine, Medical School, Osaka University

Functional images of the kidney, the parametric maps of the regional renal function were developed using sequential hippuran renoscintigraphy.

In this study, an Anger-camera connected with on-line minicomputer system was employed for the data processing. Sequential images were stored for 20 minutes as twenty-seconds frame of digitalized data and transferred in the magnetic tape in a 64×64 matrix form per one frame.

A dynamic curve in each element was extracted after nine-element bounding smoothing of the data and pertinent parameters were calculated and displayed on a CRT as the functional image. Six parameters chosen from a dynamic curve were the time interval from injection to the peak time (Tmax), peak count (Cmax), slopes of dynamic curves (UP&DOWN) in a pre and post-peak period, slopes in the phase of interest (FIXED TIME SLOPE) and the minimum number of compartments.

Computer program for these processing was

written in assembler languages and the processing time is sufficiently short for daily routine study.

These methods were performed clinically in 77 cases with various renal diseases. There were 16 patients with focal lesions, 14 patients with obstructive uropathy, 14 patients with renal vascular changes, 23 patients with renal parenchymal diseases and 10 patients with normal renal function. In all cases, the functional images of these parameters were proved to be useful for the evaluation of the regional distribution of the function in the kidney and in five groups of renal diseases, each parametric map showed the characteristic image which reflects clinical significances.

Finally, these methods are very useful for assessment of the pathologic state of the lesions as well as the detection of the lesions which would not be detected by the conventional method such as renogram and scintigram and the finding in the functional images were in good agreement with those in the angiogram.