

《原 著》

¹³¹I-Orthoiodohippurate (¹³¹I-OIH) Renogram における 有効腎血漿流量 (ERPF) と Retention Function との相関について

—Matrix 法による Deconvolution—

前田 盛正* 長谷川 隆* 吉田 博*

要旨 ¹³¹I-OIH レノグラムの retention function を matrix 法の deconvolution によって求めた。流入曲線として腹部大動脈の曲線を多項式近似によってスムージングしたものを用いた。Rutland の BBGSを行うとともに matrix 法による deconvolution (Piepsz) により比較的簡単に良好な retention function が得られた。Uptake constant K (Rutland) は H(1) とよく一致した。1～2 分値による分腎 ERPF および 30 分膀胱排泄率を 1～2 分値左右比に分けた分腎 ERPF は H(1) とよく相関を示した。また分腎 ERPF の低下例に MTT 延長の傾向を認めた。

I. はじめに

レノグラムの初期の 1～2 分値から分腎 ERPF が推定できること、また注射後 30 分の膀胱排泄率から両腎の合計の ERPF を算出し、これを 1～2 分値の左右比で、左右の分腎 ERPF とすることを前報¹⁾で報告した。近年レノグラムを retention function または transfer function によって分析すると、流入曲線の影響が除去され、真の腎機能が求められるとしてこの分析法が推奨されている²⁻¹²⁾。われわれもこの方法を試み、得られた H(1) および平均通過時間 (MTT) と先に報告した分腎 ERPF との相関について検討したので報告する。

II. 方 法

対象は昭和 57 年 9 月から昭和 58 年 12 月までにレノグラム検査の依頼のあった 78 例で、高血圧症 37

例、慢性腎炎 9 例、腎結石 8 例などの患者である。使用せる装置は東芝製大型ガンマーカメラ GCA 202-3 に高エネルギー用 1,500 ホール平行コリメーターを装着し、島津製シンチパック 230 に連結したものである。30 分前に水 300 cc をのませ、検査直前に排尿させた後、患者を背臥位とし、ベットをへだててカメラを背部よりあてがった。¹³¹I-OIH 250 μ Ci (9.25×10^6 Bq) を肘静脈から急速に注射し、15 秒ごとの腎イメージを 25 分間、64×64 matrix にて採取した。その後患者を腹臥位にし、注射後 30 分の膀胱部のイメージを 1 分間採取した。

¹³¹I-OIH の投与量は、注射前後に注射器をベット上において 1 分間計測し、その差の計数値とした。

腎の ROI は、注射後 0～6 分間の像を集め、これの微分像を作り、この像は 10% ほどの 100 分率表示となるので、その 20% のところを腎の外周とした。

1) レノグラムの 1～2 分値からの ERPF の算出

レノグラムの作成には background subtraction を行った。Background の ROI は、腎の外周か

* 大阪鉄道病院放射線科

受付：59 年 1 月 11 日

最終稿受付：59 年 6 月 8 日

別刷請求先：大阪市阿倍野区天王寺町南 1-3-5 (☎ 545)

大阪鉄道病院放射線科

前田 盛正

ら 1 matrix 離れたところで腎の下半分を円弧状にかこむ 1 matrix 幅のものとし, background subtraction には面積比を考慮して行った. スムージング¹⁾後, レノグラムの起始部から 1~2 分の 1 分間の計数値を求め, 次式によって ERPF を算出した.

$$\begin{aligned} & 1 \sim 2 \text{ 分値による分腎 ERPF (ml/min)} \\ &= \frac{1 \sim 2 \text{ 分値 cpm} \times 2.52 \times 100 \times 7.4}{\text{投与量 cpm} \times e^{-0.11T}} \end{aligned}$$

$$\text{右腎の深さ } Y = 13.3x + 0.7$$

$$\text{左腎の深さ } Y = 13.2x + 0.7$$

$$X = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (cm)}$$

2) 30分膀胱排泄率による分腎 ERPF の算出

前報に同じく, 次式によった.

30分膀胱排泄率による分腎 ERPF (ml/min)

$$= \frac{30 \text{ 分膀胱 cpm} \times 100 \times 7.4 \times \text{分腎率}}{\text{投与量 cpm} \times e^{-0.11Z}}$$

分腎率: 1~2 分値 cpm から算出

$$\text{膀胱の深さ } Z = 14.7x - 1.7$$

$$X = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (cm)}$$

3) Blood background subtraction factor (F) と uptake constant (K)

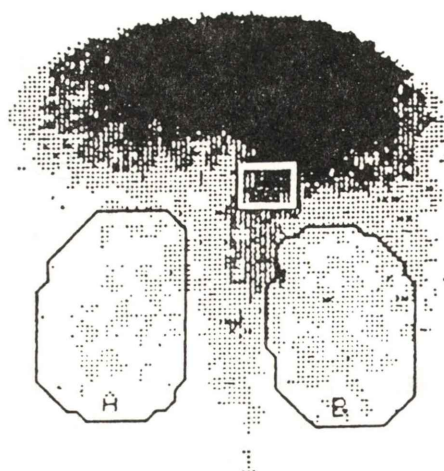
流入曲線としては腹部大動脈の曲線を選んだ.

その ROI は Fig. 1 に示すごとく, 両腎の上縁直上で大動脈の像に 30 matrix の ROI を設けた.

Rutland の方法⁶⁾により, レノグラム $R(t)$ と流入曲線 $B(t)$ との関係を Fig. 2 のごとくプロットした. 縦軸は $R(t)/B(t)$, 横軸は $\sum_{t=0}^t B(t) \cdot \Delta t / B(t)$ である. Δt は測定間隔の 15 秒である. この際流入曲線には, ピークを $t=0$ としその後の部分を 5 次の多項式近似によって smoothing したものを用了. 得られた曲線の直線傾向を示す部分から最小二乗法により傾斜値 K を求め, K 線が $t=0$ で縦軸と交わる点の縦軸の値を F とした. ただし $t=0$ における $R(0)/B(0)$ の観測値が K 線から著しく下方に外れている場合には, ピークの次の点が K 線付近にあるのでこの点を $t=0$ とし F を定めた.

4) Retention function の算出法

a) 流入曲線を前述のごとく多項式近似する.



Aorta: 30 matrix

Kidney: ca 300 matrix \times 2

Fig. 1 ROI of aorta and kidney.

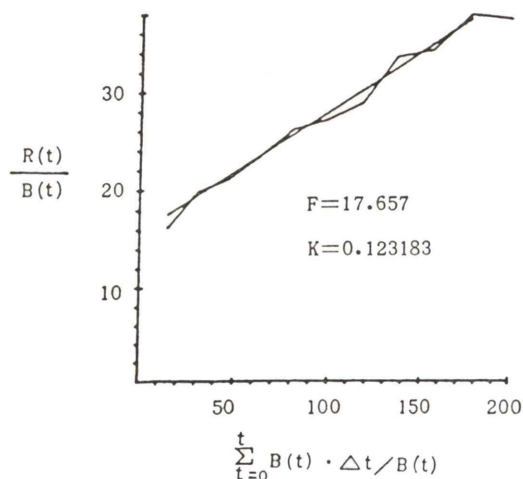


Fig. 2 The method to obtain F and K (Rutland).

b) Blood background subtraction を行う.

$$CR(t) = R(t) - FB(t)$$

$CR(t)$: 補正レノグラム

c) $CR(t)$ について 1:2:1 の linear nonstationary smoothing を 6 回行う.

d) Matrix 法による deconvolution (Piepsz⁹⁾)

補正レノグラム $CR(t)$ は流入曲線 $B(t)$ と retention function $H(t)$ との convolution したものである.

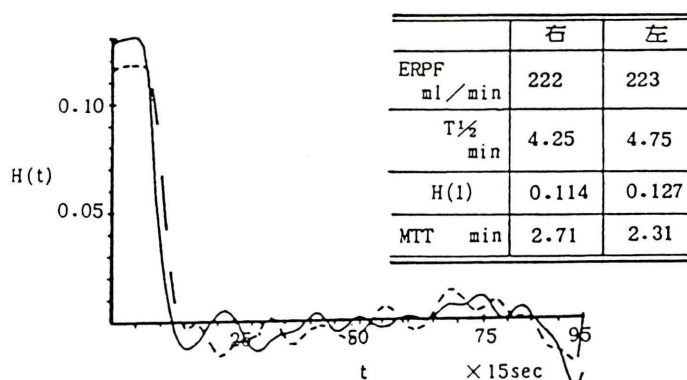
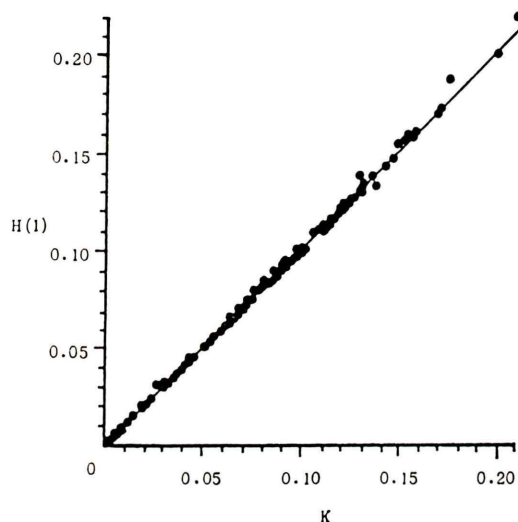
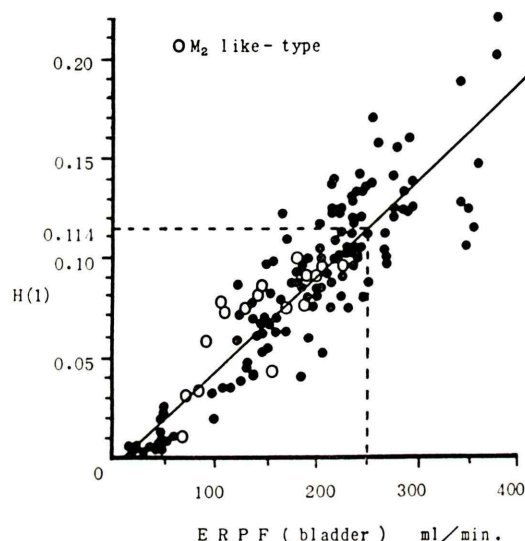


Fig. 3 A case of hypertension of 50 y.o., female.



$n=141$ $r=0.998705$
 $H(1)=1.025 \times K + 0.0005$

Fig. 4 H(1) and K.



$n=141$ $r=0.885178$
 $H(1)=0.00047 \times ERPF - 0.00322$

Fig. 5 H(1) and ERPF (bladder).

$$CR(t) = \int_0^t B(t-T) \cdot H(T) dT$$

T は retention function に関する時間である。

Retention function H(t) を求めるには matrix 法により、次式を用いて H(1) から逐次計算する。

$$H(t) = \frac{1}{B(1) \cdot \Delta t} [CR(t) - \sum_{T=1}^{n-1} B(t-T+1) \cdot H(t) \cdot \Delta t]$$

(ただし Piepsz では後の Δt がない)

MTT の計算は height over area 法にて、 $t=1$ から H(t) 曲線が基線に至るまでの面積を H(1)

で割って求めた。

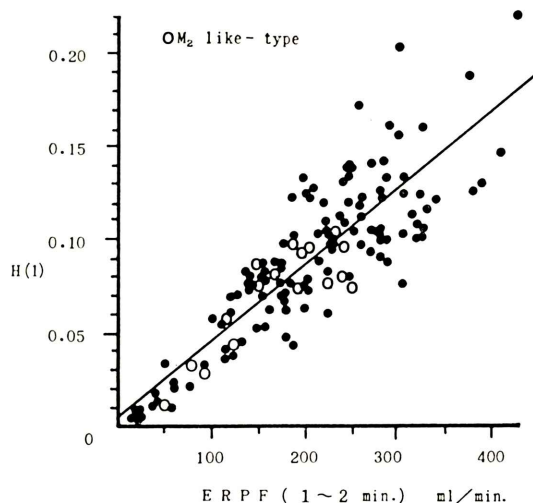
$$MTT = \frac{\sum_{t=1}^n H(t) \cdot \Delta t}{H(1)}$$

III. 結 果

Retention function の計算例を Fig. 3 に示す。高血圧症の女性であるが、腎機能は正常である。

1) K と H(1) との相関

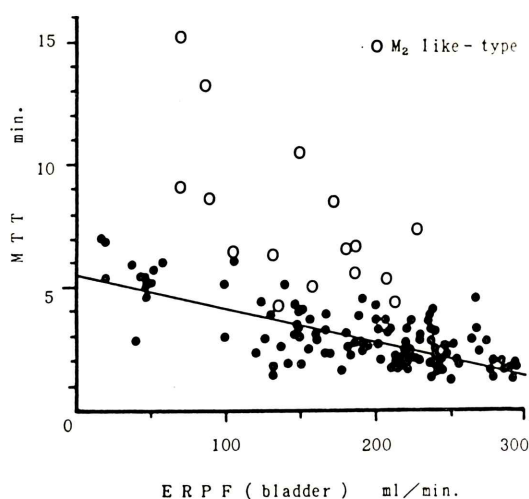
Figure 4 に示すごとく、相関係数は 0.9987 と



$n=141$ $r=0.85977$

$H(1)=0.00041 \times ERPF + 0.00413$

Fig. 6 H(1) and ERPF (1-2 min.).



$n=114$ $r=-0.721283$

$MTT=5.53-0.0136 \times ERPF$

Fig. 7 MTT and ERPF (bladder) (≤ 300 ml/min.).

きわめて良好である。

2) H(1) と分腎 ERPF (膀胱値) との相関

分腎 ERPF (膀胱値) と H(1) との相関を Fig. 5 に示した。図中の M_2 類似型とは定型的な閉塞型ではないが、 T_{max} や $T_{1/2}$ が著明に延長しており、検査終了の25分時には下行曲線を描くものである。

H(1) と分腎 ERPF との相関は 0.885178 と良好な結果が得られた。分腎 ERPF 250 ml/min に相当する H(1) は 0.114 である。

3) H(1) と分腎 ERPF (1~2 分値) との相関

Figure 6 に示すごとく相関係数は 0.85977 と前者よりやや劣るが、臨床的には良好な相関を示すものといえよう。ことに本図においても M_2 類似型が相関線によく一致していることを指摘したい。

4) MTT と分腎 ERPF (膀胱値) との相関

M_2 類似型を除いて計算した相関係数は -0.721283 とあまりよい相関ではない。しかし Fig. 7 にみられるごとく ERPF の低下例に MTT の延長の傾向が認められる。 M_2 類似型は相関線から明らかに外れている。

MTT の正常値として、 M_2 類似型や T_{max} およ

び $T_{1/2}$ の異常例を除き、分腎 ERPF 200 ml/min 以上の症例53例の平均値および標準偏差を求めると、 2.12 ± 0.61 分であった。

IV. 考 案

1) Rutland の K 値について

Rutland⁶⁾ によれば、注射後 150 秒までは腎からの流出がなく、 $R(t)$ は $B(t)$ の蓄積であるという。Fig. 2 にみられるごとく、レノグラムの A 点(または流入曲線のピーク)から B 点までは直線性を示す。この直線の傾斜角 K は $\Sigma B(t) \cdot \Delta t$ すなわち大動脈血流の増加分に対する $R(t)$ すなわち腎の増加分であるから、大動脈血流に対する腎動脈の分流量と考えられる。

また K は Retention function によって得られる $H(1)$ と理論的に一致するという⁶⁾。Fig. 4 にみられるごとく、 K と $H(1)$ はきわめて良好な相関を示し、われわれの行った matrix 法による deconvolution の妥当性を示すものといえよう。

2) Rutland の F 値と blood background subtraction (BBGS) について

$B(t)$ 曲線のピークは通常レノグラムの A 点また

はその前後の点に相当するが、方法のところでのべたとく $t=0$ を $B(t)$ のピークまたは次の点(その症例の A 点)とすることにより $CR(0)$ は 0 となる。この際用いられる factor F は、Fig. 2 の操作によって得られるが、この F も腎機能に比例し、これは perfusion index とか slope ratio¹²⁾ と同じものと考えられるが、Fig. 8 に示すごとく F は K に比例する。ただしその分散はかなり大きい。 K 線上の点の直線性がよくない症例では、その選択により F 値はかなり変動するが、 K 値、 $H(1)$ および MTT への影響は少ない。

BBGS とは、 $CR(t) = R(t) - F \cdot Bt = R(t) - \alpha \cdot K \cdot \beta t \cdot \Delta t$ と考えられ、A 点までは腎への血液の流入であり、それ以後が腎の尿分泌で、これを retention と考える。 F または α はこの血流部分を $R(t)$ から除くための係数である。

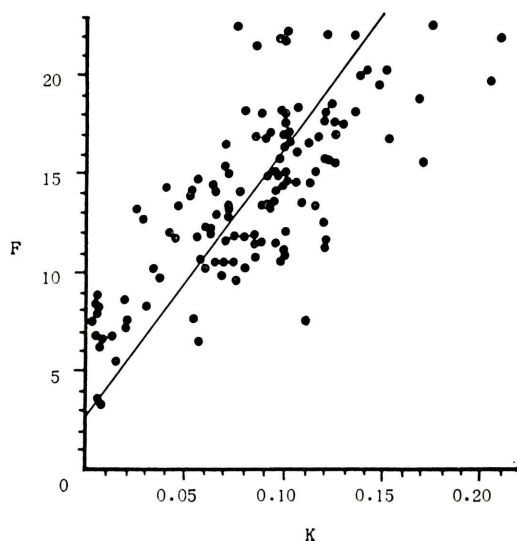
BBGS を行わなくても Piepsz の式は使用できるが、その際も A 点以後について計算する。そのとき $H(0) = F/\Delta t$ となり、 $H(1)$ 以下が BBGS を行ったと同じ数値になるはずである。しかし上述のごとく BBGS を行って得られた $CR(t)$ を smoothing したものの方がよりよい $H(t)$ 曲線が得られる。

また大動脈や腎周囲の tissue background subtraction も理論的には望ましいが、 $250 \mu\text{Ci}$ ($9.25 \times 10^6 \text{ Bq}$) の ¹³¹I-OIH ではカウント数が少なく、データー処理を重ねることにより歪みが増大するため良い結果が得られなかった。

3) Piepsz の式について

Piepsz の式は Diffey⁵⁾ の式に比べ、 $t=0$ からではなく $t=1$ から始めている。これは $t=0$ を A 点とすると BBGS により $CR(0)=0$ となり、 $H(t)$ は $t=1$ から計算すればよいからであろう。

Piepsz の式に見られる Δt は sampling interval とある。これを用いることにより、sampling interval の差が補正されるとともに、次に述べるように $H(t)$ は $B(t)$ に対する分流量としての数値となる。ただし Δt を用いるなら括弧内は $[CR(t) - \sum B(t-T+1) \cdot H(T) \cdot \Delta t]$ とすべきであろう。



$$n=109 \quad r=0.773811$$

$$F=128 \times K + 3.3$$

Fig. 8 F and K.

4) $H(1)$ の意味について

Rutland の K 値すなわち uptake constant とは、大動脈から腎への分流量と考えられる。

数式上からも $H(1)$ は K に等しいから、 $H(1)$ も分流量を意味することになる。

このように考えると、Fig. 5 において分腎 ERPF 250 ml/min のとき $H(1)$ は 0.114 であり、両腎を合わせると 0.228、すなわち大動脈血流の 22.8% が腎へ流入したことになる。ただしこの値は大動脈の ROI の大きさに左右されるほか、大動脈と腎の深さ等による吸収の差もあり、絶対的なものではない。しかし前報において膀胱排泄曲線から求めた k 値が 0.16 であり、これは全心拍出量に対するもので、腹部大動脈血流量が全心拍出量の 70%¹³⁾ と仮定すれば $0.16 \div 0.7 = 0.228$ となり、上記の分流量と一致する。

5) $H(1)$ と ERPF との相関について

$H(1)$ も 1~2 分値による ERPF もレノグラム第二相の傾斜角または高さ(この両者は比例する)から算出されるものであるから、両者の相関は当然であろう。 M_2 類似型のごとく T_{\max} が延長し

ているような症例でも、1～2分値による ERPF の推定値が $H(t)$ と良好な相関を示す。しかし分腎 ERPF としては1～2分値による ERPF よりも30分膀胱値による ERPF を1～2分値による左右比に分けたものの方が全体として分散が少なく、臨床報告にはこれを用いているが、 $H(1)$ との相関も後者の方が良好であった。

6) MTT と ERPF との相関について

Piepsz は高血圧症や実質性腎疾患では MTT は正常域に止まるといい、Kenny⁴⁾ は延長を認めるという。

われわれの症例では M_2 類似型を除いた相関係数は -0.721283 とあまりよい相関ではないが、腎機能の悪いものに MTT の延長の傾向を認めた。

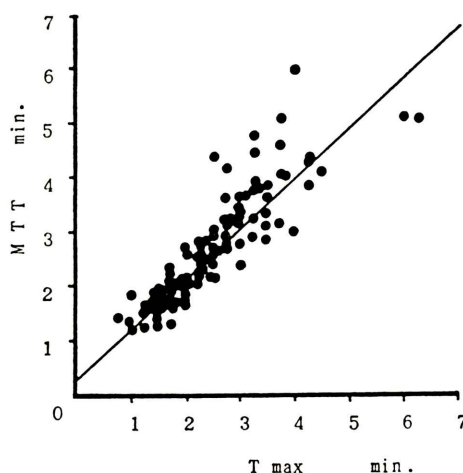
M_2 類似型のもでも腎皮質のみの MTT を求めると、正常値に近づくものが多い。これらの症例では単に腎盂に停滞があるのみで、腎皮質の障害ではないと考えられる。これに反し真の閉塞のあるものでは皮質の MTT も延長するといわれている⁸⁾。われわれの症例ではそのような症例が少なく、今後の検討課題としたい。

7) MTT と T_{max} および R7 との相関について

Retention function から求められる MTT も本来レノグラム曲線に基づいている。そこで T_{max} および R7 (最高値の75%になる時間) との相関を求めたのが Fig. 9 および10である。Fig. 9 および10では M_2 類似型と L 型 (分腎 ERPF < 80 ml/min) を除き、さらに Fig. 10 では R7 が6.5分までのものであるが、いずれも良好な相関関係にある。Piepsz も MTT と T_{max} との間に相関を認めているが、古くから用いられているパラメーターが新しい分析法によって、その値が再評価されたものといいたい。ただし MTT と $T_{1/2}$ との相関係数は 0.6799 と低くなる。

8) Laplace 変換による deconvolution について

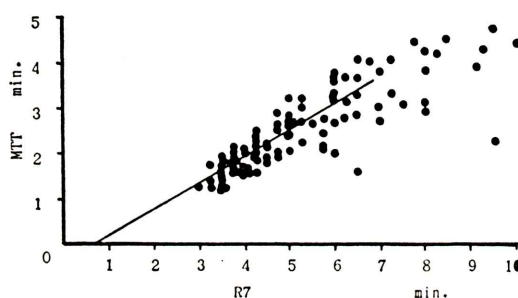
Rutland の BBGS を行うと Kenny の Laplace 変換法による deconvolution でも matrix 法と同様な結果が得られ、76例について試算するに、 $H(0)$ と K との相関係数は 0.993696 ときわめて良好であった。



$n=108$ $r=0.871435$

$$MTT = 0.9075 \times T_{max} + 0.4255$$

Fig. 9 MTT and T_{max} .



$n=85$ $r=0.821354$

$$MTT = 0.575 \times R7 - 0.414$$

Fig. 10 MTT and R7.

ただし、その際 Kenny の式に $B(1)$ に相当する $A+B$ を加え、 $t(0)$ の選択や Δt についての考慮は matrix 法のときと同様にし、 $dR(t)/dt$ の計算には三点法による数値微分法を行った。

MTT についても、 $MTT(Kenny) = 0.957 \times MTT(Piepsz) + 0.286$ とほぼ等しく、その相関係数も 0.981331 ときわめて良好であった。

したがっていずれの方法でもよいことになるが、matrix 法の方が数式が簡単であり計算時間が短い。

V. 結 語

Retention function を求めるには流入曲線としてどの臓器をえらぶか、またデーター処理すなわち smoothing や subtraction のやり方や deconvolution の方法など、むずかしい問題が多い。われわれは上述の方法によって比較的簡単に良好な H(t) 曲線を得ることができた。

最後に、これらレノグラムや膀胱排泄率から得られる各種パラメーターと PAH の血中濃度および尿中排泄量による ERPF との相関を検討すべきであるが、われわれは未だ小数例にしか行っていない。平川¹⁴⁾や Schlegel¹⁵⁾の報告に基づき、注射後30分の尿中排泄率の正常値を ERPF の正常値とすることから算出したことは前報のとおりである。しかしこれらの ERPF の推定値が今回報告した H(1) とも良好な相関関係にあることは、これらの推定値の正当性に傍証を与えるものであろう。

文 献

- 1) 前田盛正, 山口三男, 長谷川隆, 吉田 博: ¹³¹I-Orthiodohippurate (¹³¹I-OIH) による Renogram および Cystogram と有効腎血漿流量 (ERPF) の測定. 核医学 20: 391-398, 1983
- 2) Reeve J, Crawley JCW: Quantitative radioisotope renography: The determination of physiological data by deconvolution analysis using a single-injection technique. Clinical Science and Molecular Medicine 47: 317-330, 1974
- 3) Valentinuzzi ME, Montaldo Valachec EM: Discrete deconvolution. Med & Biol Eng 13: 123-125, 1975
- 4) Kenny RW, Ackey DM, Flemming JS, et al: Deconvolution analysis of the scintillation camera renogram. Brit J Radiology 48: 481-486, 1975
- 5) Diffey BL, Hall FM, Corfield JR: The ^{99m}Tc-DTPA dynamic renal scan with deconvolution analysis. J Nucl Med 17: 352-355, 1976
- 6) Rutland MD: A single injection technique for subtraction of blood background in ¹³¹I-hippuran renograms. Brit J Radiology 52: 134-137, 1979
- 7) 前田寿登, 竹田 寛, 松田 彰, 他: Deconvolution analysis およびその臨床への応用について. 映像情報 11: 1058-1062, 1979
- 8) Britton KE, Nimmon CC, Whitfield HN, et al: The Evaluation of obstructive nephropathy by means of parenchymal retention functions. Radionuclides in nephrology, Proceeding of the 4th International Symposium, Hollenberg NK, Lange S. eds. Georg Thieme Boston, 1980, pp. 164-172
- 9) Piepsz A, Ham HR, Erbsmann F, et al: A cooperative study on the clinical value of dynamic renal scanning with deconvolution analysis. Brit J Radiology 55: 419-433, 1982
- 10) Yamamoto K, Tanada S, Kawamura M, et al: Method of determining transfer functions in the case of the intravenous injection of radioactive tracers. Med & Biol Eng & Compt 20: 215-222, 1982
- 11) 石根正博, 村瀬研也, 小泉 満, 他: ¹²³I-Orthiodohippurate (¹²³I-OIH) による腎機能検査の臨床的意義——局所レノグラム, Functional Image, Deconvolution Analysis に関して——. 核医学 19: 1483-1492, 1982
- 12) Gruenewald SM, Collins LT: Renovascular hypertension: Quantitative renography as a screening test. Radiology 149: 287-291, 1983
- 13) 相川貞男, 伊藤寛志: Guyton エッセンス, 人体の生理学, 広川書店, 東京, 1983, p. 150
- 14) 平川顯名, 上山秀麿, 桑原道義: 臓器循環測定の実際——腎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
- 15) Schlegel JU, Bakule PT: A diagnostic approach in detecting renal and urinary tract disease. J Urol 104: 2-10, 1970

Summary

Correlation Between ERPF and Retention Function on the ^{131}I -OIH Renogram

Morimasa MAEDA, Ryu HASEGAWA and Hiroshi YOSHIDA

Department of Radiology, JNR, Osaka Hospital

Retention function of the kidney was calculated by the deconvolution using the matrix algorithm (Piepsz).

Uptake constant K (Rutland) showed a good correlation with H (1). ERPF of a single kidney which is estimated from counts at 1 to 2 minutes of the renogram or from bladder excretion rate at

30 minutes (divided to right and left kidneys by the count ratio at 1 to 2 minutes of the renogram), also correlated with H (1).

In the cases of decreased ERPF, the prolongation of mean transit time was observed.

Key words: Retention function, ERPF, Renogram, ^{131}I -OIH.