

## 《ノート》

腎シンチグラフィによる糸球体濾過量および  
有効腎血漿流量算定の検討

——同時測定クリアランス法との比較——

The Renal Scintigraphic Evaluation of Glomerular Filtration Rate and  
Renal Plasma Flow with Use of Simultaneous Renal Clearance Study

小沢 尚\* 水入 苑生\* 平田 清文\* 高野 政明\*\*

Takashi OZAWA\*, Sonoo MIZUIRI\*, Kiyofumi HIRATA\*  
and Masaaki TAKANO\*\*\*Department of Nephrology, \*\*Division of Nuclear Medicine,  
Toho University School of Medicine, Tokyo

## I. はじめに

ガンマカメラとデータ処理装置を用いた腎シンチグラフィより糸球体濾過量 (GFR) および有効腎血漿流量 (ERPF) を算出する方法として, Gates 法<sup>1)</sup> および Schlegel 法<sup>2)</sup> に代表される Tc-99m DTPA や I-131 hippuran 投与後の腎摂取率, すなわち renal fractional uptake (RFU) を測定する方法が有用であるとされている. 一方, Assia ら<sup>3)</sup> は, 腎実質からのトレーサ消失率をあらわす renal elimination capacity (REC) が GFR および ERPF を算出する指標として, その有用性の高いことを報告している. そのため, われわれは Tc-99m DTPA と I-131 hippuran 同時投与により測定した RFU および REC の値を, 同一時間帯内に測定したクレアチニンクリアランスおよびパラアミノ馬尿酸 (PAH) クリアランスの値とそれぞれ比

較することによって, RI による測定法の有用性を検討した.

## II. 対 象

対象は尿路通過障害のない成人 10 例 (男性 9, 女性 1) で, 完全寛解状態のネフローゼ症候群 4 例, 健常人 4 例, 腎摘後の腎移植ドナーおよび腎移植レシピエントがおのおの 1 例であった (Table 1). なお, 腎移植後の腎機能測定はドナーでは術後 1 か月, レシピエントでは術後 3 か月にそれぞれ腎機能の安定した時期に施行した.

## III. 方 法

## (1) 腎クリアランス法および RI 法

Figure 1 に測定方法の実施プロトコールを示した. 早朝空腹時, 尿量確保のためにまず 20 ml/kg の飲水をさせ, 30 分後に 10% PAH 8 mg/kg を静脈内に投与した. これに引き続いて PAH 血中濃度 1.5 mg/dl 前後を維持するよう 20% PAH を腎

\* 東邦大学医学部腎臓学研究室

\*\* 同 RI

受付: 63 年 6 月 22 日

最終稿受付: 63 年 9 月 6 日

別刷請求先: 東京都大田区大森西 6-11-1 (☎ 143)

東邦大学医学部附属大森病院腎臓学研究室

小 沢 尚

**Key words:** Glomerular filtration rate (GFR), Effective renal plasma flow (ERPF), Renal fractional uptake (RFU), Renal elimination capacity (REC), Renal scintigraphy.

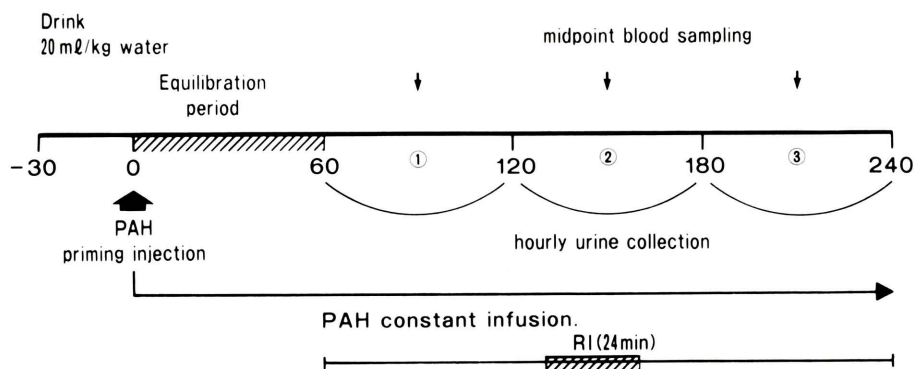
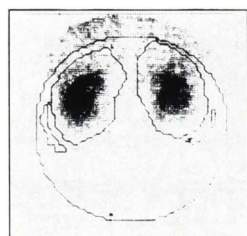


Fig. 1 Methods of clearance study and radioisotope study.



| Time<br>min | count rate 2min       |                |                 |
|-------------|-----------------------|----------------|-----------------|
|             | Total<br>camera field | Left<br>kidney | Right<br>kidney |
| 0-2         | Max                   | Max            | Max             |
| 2-4         |                       |                |                 |
| 4-6         |                       |                |                 |
| 6-8         |                       |                |                 |
| 8-10        |                       |                |                 |
| 10-12       |                       |                |                 |
| 12-14       |                       |                |                 |
| 14-16       |                       |                |                 |
| 16-18       |                       |                |                 |
| 18-20       |                       |                |                 |
| 20-22       |                       | Min            | Min             |
| 22-24       |                       |                |                 |

Effective dose (Operational value)

## (1) Fractional uptake

 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$  2-3 min  $\mu=0.153$  $^{131}\text{I-Hippuran}$  1-2 min  $\mu=0.11$  $\frac{\text{kidney counts} - \text{background}}{e \cdot \mu Y}$  $\frac{\text{counts of injected dose}}{\text{counts of injected dose}}$ 

Y: kidney depth measured by ultrasonography

## (2) Elimination Capacity (EC)

 $\frac{\text{Maximum value} - \text{Minimum value}}{\text{Effective dose}}$ 

Fig. 2 Calculation of renal fractional uptake (RFU) and renal elimination capacity (REC).

機能に応じて持続注入した。持続注入する PAH の量は、既知のクレアチニンクリアランスよりおよその  $\text{ERPF} (= \text{GFR}/0.2)$  を求めて決定した。注入 60 分後より 1 時間ごと計 3 回の PAH クリアランス ( $C_{\text{PAH}}$ ) を測定し、その平均を算出した。同様の手順で 3 回平均のクレアチニンクリアランス ( $C_{\text{Cr}}$ ) を算出した。

RI 法による測定はこの 3 時間のクリアランス期間内に行った。腹臥位の状態で背面より中エネ

ルギーコリメータを装置したガンマカメラをあて、 $\text{Tc-99m DTPA}$  3 mCi,  $\text{I-131 hippuran}$  100  $\mu\text{Ci}$  を肘静脈より bolus injection した後、 $64 \times 64$  の matrix で 10 秒ごと 24 分間のデータ収集を行った。

## (2) renal fractional uptake (RFU) および renal elimination capacity (REC) の算出法

Figure 2 に RFU および REC の実際の算出方法を示した。左右腎およびバックグラウンドとしてその下方に、それぞれ手動的に関心領域を設定

した。Gates 法および Schlegel 法に準じて、GFR 算出の指標とされている Tc-99m DTPA の 2 分から 3 分の RFU, および ERPF 算出の指標とされている I-131 hippuran の 1 分から 2 分の RFU を左右腎について Fig. 2 上段に示す式により算出した。吸収補正に必要な腎の深さの計測は超音波にて行い、線吸収係数 ( $\mu$ ) は、Tc-99m では 0.153, I-131 では 0.110 とした。

Tc-99m DTPA, I-131 hippuran についての REC の算出は Fig. 2 下段に示すように、腎を含む半径 26 ピクセル (30 cm) のカメラ視野の 0 から 2 分のカウントを、投与されたトレーサの実際の op-

erational value と考え、この値を effective dose とした。そして左右腎について 2 分ごと 24 分間に測定したカウントのうちで、最大値から最小値を引いた値を effective dose で除して、その比を REC として算出した。なお、単腎患者の場合を除き、RFU および REC の値は両腎の総和とした。

#### IV. 結 果

Table 1 に対象 10 例の同時測定した Ccr,  $C_{PAH}$  および filtration fraction (FF) の測定値を示した。

Ccr 値は 46.1 ml/min~153.0 ml/min,  $103.9 \pm 31.9$  (mean  $\pm$  SD) ml/min であった。 $C_{PAH}$  値は

Table 1 Subjects characteristics and results of renal clearance studies

| Case No.      | Age | Sex | Profile  | Ccr (ml/min)     | $C_{PAH}$ (ml/min) | FF (Ccr/ $C_{PAH}$ ) |
|---------------|-----|-----|--|------------------|--------------------|----------------------|
| 1             | 27  | M   | Nephrotic syndrome<br>(Complete remission)     | 111.0            | 486.3              | 0.228                |
| 2             | 24  | M   | „  | 108.1            | 460.9              | 0.235                |
| 3             | 23  | M   | „  | 115.0            | 796.5              | 0.144                |
| 4             | 27  | M   | „  | 153.0            | 633.2              | 0.242                |
| 5             | 25  | M   | Healthy volunteer                              | 109.3            | 581.0              | 0.188                |
| 6             | 25  | M   | „  | 99.5             | 566.5              | 0.176                |
| 7             | 24  | M   | „  | 129.3            | 851.7              | 0.152                |
| 8             | 30  | M   | „  | 109.1            | 637.5              | 0.171                |
| 9             | 45  | F   | Kidney transplant donor<br>(After nephrectomy) | 46.1             | 350.1              | 0.132                |
| 10            | 24  | M   | Kidney transplant recipient                    | 58.3             | 415.1              | 0.140                |
| Mean $\pm$ SD |     |     |  | 103.9 $\pm$ 31.9 | 577.9 $\pm$ 159.9  | 0.181 $\pm$ 0.004    |

Table 2 Results of RFU and REC determinations

| Case No.      | <sup>99m</sup> Tc-DTPA |                 | <sup>131</sup> I-Hippuran |                 |
|---------------|------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|               | Fractional uptake (%)  | EC (%)          | Fractional uptake (%)     | EC (%)          |
| 1             | 12.4                   | 25.5            | 9.2                       | 48.1            |
| 2             | 16.4                   | 32.2            | 15.6                      | 56.0            |
| 3             | 17.7                   | 28.9            | 16.4                      | 71.3            |
| 4             | 22.1                   | 38.2            | 17.6                      | 69.5            |
| 5             | 16.0                   | 37.9            | 17.2                      | 65.4            |
| 6             | 16.1                   | 35.1            | 14.5                      | 60.2            |
| 7             | 18.0                   | 44.0            | 18.1                      | 68.8            |
| 8             | 23.1                   | 48.5            | 17.2                      | 80.0            |
| 9             | 7.0                    | 17.5            | 12.5                      | 43.0            |
| 10            | 9.0                    | 12.5            | 8.0                       | 32.9            |
| Mean $\pm$ SD | 15.8 $\pm$ 5.1         | 32.0 $\pm$ 11.3 | 14.6 $\pm$ 3.6            | 59.5 $\pm$ 11.5 |
| P value       | N.S.                   |                 | p < 0.01                  |                 |

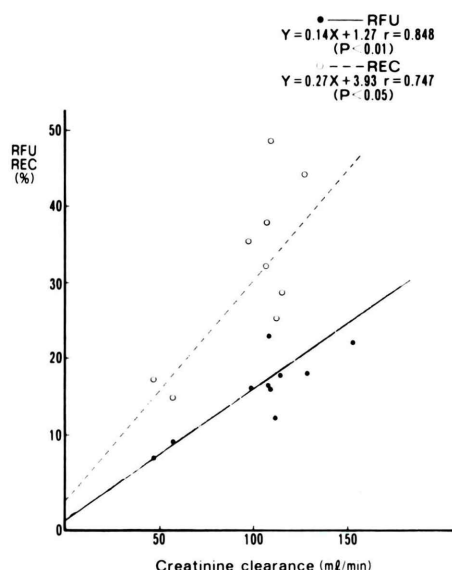


Fig. 3 Comparison between creatinine clearance and Tc-99m DTPA RFU and creatinine clearance and Tc-99m DTPA REC. RFU is more closely related to creatinine clearance ( $r=0.848$ ,  $p<0.01$ ) than REC ( $r=0.747$ ,  $p<0.05$ ).

350.1 ml/min~851.7 ml/min,  $577.9 \pm 159.9$  (mean  $\pm$  SD) ml/min であった. なお FF ( $C_{cr}/C_{PAH}$ ) は  $0.132 \sim 0.242$ ,  $0.181 \pm 0.004$  (mean  $\pm$  SD) であった.

Table 2 に, 個々の対象例についての Tc-99m DTPA による RFU および REC 値, I-131 hippuran による RFU および REC 値を示した. RFU 値に関しては Tc-99m DTPA と I-131 hippuran との間に有意差を認めなかったが, REC 値に関しては, Tc-99m DTPA で  $32.0 \pm 11.3\%$ , I-131 hippuran で  $59.5 \pm 11.5\%$  と後者のほうが前者より有意に大きかった ( $p<0.01$ ).

#### (1) 同時測定した $C_{cr}$ と Tc-99m DTPA による RFU および REC との関係 (Fig. 3)

RFU, REC ともに  $C_{cr}$  と有意な正相関を示したが, その相関係数は, RFU が  $0.848$  であるのに対し REC は  $0.747$  と, 前者のほうがより高い値を示した.

#### (2) 同時測定した $C_{PAH}$ と I-131 hippuran による RFU と REC との関係 (Fig. 4)

RFU, REC ともに  $C_{PAH}$  と有意な正相関を示

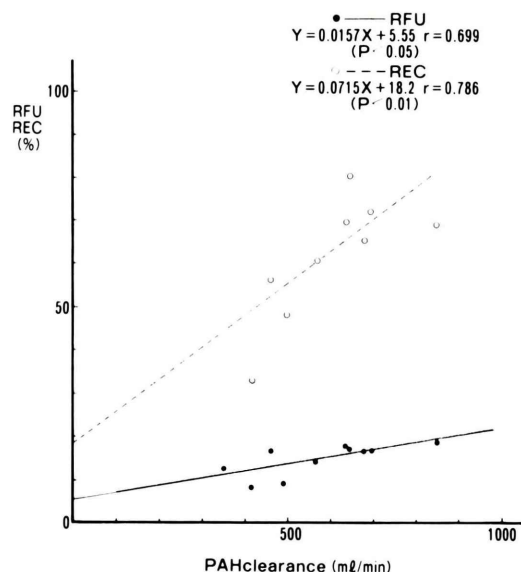


Fig. 4 Comparison between PAH clearance and I-131 hippuran RFU, and PAH clearance and I-131 hippuran REC. REC is more closely related to PAH clearance ( $r=0.786$ ,  $p<0.01$ ) than RFU ( $r=0.699$ ,  $p<0.05$ ).

したが, その相関係数は, RFU が  $0.699$  であるのに対し REC は  $0.786$  と, 後者のほうがより高い値を示した.

## V. 考 察

腎シンチグラフィによる GFR および ERPF の算出は, 採血と排尿を必要とすることなく, 腎機能の評価できるという点で大きな利点があり, 特に腎血管性高血圧などの片腎性疾患の機能評価に際して有用と考えられている. われわれは, これらの RI 法による GFR および ERPF の算出指標とされている RFU および REC の値を, 同時測定したクリアランス値と比較することにより, その定量的信頼性を検討した.

生理的な状態において, 腎機能は一定のレベルに固定しているわけではなく, 正常の日内変動として GFR および ERPF はそれぞれ約  $\pm 20\%$  程度の変化をおこすことや, 高蛋白質食事摂取後数時間にわたって有意の増加がみられることなどが知られている<sup>4,5)</sup>. したがって, 各種の方法で得ら



れた腎機能検査値を比較検討する際には、この腎機能の生理的変動を十分に考慮する必要がある。そして特に、今回検討した RFU および REC はともに短時間内の測定結果であるため、同一時間内、同一条件下で測定した腎クリアランス値との比較検討をすることが評価上不可欠であると考えた。

また  $C_{PAH}$  に関しては、簡便 1 回静注法による測定もあるが、血中濃度の変動が大きく、その成績は定量的信頼性に乏しい。そのため本来の腎クリアランス法に従って、持続静注法により  $C_{PAH}$  を測定した<sup>6)</sup>。

これらの条件下で行われた成績では、Tc-99m DTPA による RFU および REC はともに Ccr と有意な正相関を示し、また I-131 hippuran による RFU および REC とともに  $C_{PAH}$  と有意な正相関を示した。したがって、RFU および REC はいずれも GFR および ERPF の指標としてそれぞれの有用性が認められたが、その相関係数を比べてみると、GFR 算出の指標としては Tc-99m DTPA による RFU が、ERPF 算出の指標としては I-131 hippuran による REC が、それぞれ、より優れていると思われた。

糸球体濾過物質である Tc-99m DTPA と尿細管分泌物である I-131 hippuran は、異なる腎動態を示すことが知られている。川村<sup>7)</sup> は、4 人の正常腎機能者に対し、腎動脈内にカテーテルを介して Tc-99m DTPA 2~3 mCi、I-131 hippuran 300  $\mu$ Ci を bolus に投与し、腎部の活性を経時的にシンチカメラで記録したところ、腎部活性の半減期は Tc-99m DTPA が平均 49 分であるのに対し、I-131 hippuran は平均 17 分と明らかに短く、I-131 hippuran の腎排泄が Tc-99m DTPA に比してより速やかであることを確認している。Table 2 に示したように RFU 値に関しては、Tc-99m DTPA と I-131 hippuran の間に有意差を認めなかったが、腎実質からのトレーサ消失率をあらわす REC 値は I-131 hippuran のほうが Tc-99m DTPA の約 2 倍と有意に大きい値が得られた。したがって、REC はトレーサの特性をよく反映した指標であ

ると考えられた。

REC 算出の際、effective dose として用いる測定値は、0 から 2 分の全カメラ視野のカウント数である。この値は RFU 算出の際に必要な値となる、投与前後のシリンジカウントの測定によって得られる、実際の投与量に相当するものである。よって、REC の算出に必要な測定値は全てガンマカメラ上でカウントされたそのままの数値であり、誤差の原因ともなり得るシリンジカウントの測定や、腎の深さの吸収補正を必要としない。これらの点において考慮すると、REC による測定は、臨床的に簡便かつ有用な腎機能の指標になり得るものと思われた。

## VI. 結 論

腎機能の生理的変動を考慮して、Tc-99m DTPA、I-131 hippuran を用いた RI 法による RFU および REC の値を、同時に測定した厳密な腎クリアランスの成績と比較検討した。

1) RI 法による RFU および REC はいずれも Ccr および  $C_{PAH}$  に対して有意な正相関を示した。

2) 得られた相関係数の比較により、GFR の指標としては Tc-99m DTPA による RFU が、ERPF の指標としては I-131 hippuran による REC が、より優れていると思われた。

3) REC の測定値は GFR の指標としては劣るもののトレーサの特性をよく反映し、RFU の場合のようにシリンジカウントの測定や腎の深さの吸収補正などを必要としない点を考慮すると、簡便かつ有用な腎機能の指標になり得るものと考えた。

## 文 献

- 1) Gates GF: Glomerular Filtration Rate: estimation from fractional renal accumulation of <sup>99m</sup>Tc-DTPA (stanous). AJR 138: 565-570, 1982
- 2) Schlegel JU, Hamway SA: Individual renal plasma flow determination in 2 minutes. J Urol 116: 282-285, 1976
- 3) Aissa AH, Collard M, Pozet N, et al: Separate calculation of glomerular and tubular clearance by means of renal scintigraphy with Hippuran and

- DTPA. *Nephron* **40**: 401-404, 1985
- 4) Wesson LG Jr, Lauler DP: Diurnal cycle of glomerular filtration rate and sodium and chloride excretion during responses to altered salt and water balance in man. *J Clin Invest* **40**: 1967-1977, 1961
  - 5) Bosch JP, Lew S, Glabman S, et al: Renal hemodynamic changes in humans. Response to protein loading in normal and diseased kidneys. *Am J Med* **81**: 809-815, 1986
  - 6) Smith HW: The kidney. Structure and function in health and disease. New York: Oxford University Press, 1951
  - 7) 川村寿一: 腎シンチグラフィー, 腎の機能と形態検査, 第一版, 南江堂 株式会社, 東京, 1981, p. 15