RI 動態画像による移植腎機能評価に関する研究 —因子分析法を適用した Rutland 処理の有用性について—

東海大学医学部移植学教室 I (主任: 佐藤 威教授)

角 田 隆 俊

EVALUATION OF RENAL GRAFT FUNCTION WITH RADIONUCLIDE DYNAMIC IMAGES —With Special Reference to the Application of the Modified Rutland's Analytical Method—

Taketoshi Kakuta

Department of Transplantation I Tokai University School of Medicine
(Director: Prof. T. Satoh)

In calculation of an uptake coefficient (UC), proportional to the glomerular filtration rate for renal dynamic images with ^{99m}Tc diethyl triamine pentaacetate (DTPA), by the graphic method proposed by Rutland. We developed a new method of estimating input and output functions, by applying a factor analysis method to the renal dynamic images. The purposes of this paper are to describe the results obtained through phantom experiments and its clinical application.

In the phantom experiments, a hemofilter was used as a method for real kidney and the filtration rate was changed to estimate the reproducibility of UCs. the UCs were estimated by trying different input functions; abdominal aorta curve, renal artery curve and intrarenal artery curve. The UCs estimated by using the intrarenal artery curve as an input function showed the best correlation with the pre-determined filtration rate. In clinical applications 8 normal subjects, 3 patients with acute renal failure, 11 donors and 22 recipients were studied. The USs obtained were compared with clinical data of renal function. A group of subjects having with both kidneys in the normal body space were classified as Cluster 1, another group of transplant recipients were classified as Cluster 2. In Cluster 1 the UCs showed a good correlation with Ccr ($r=0.909$), and effective renal plasma flow ($r=0.798$), and an inverse correlation between UCs and serum creatinine values ($r=0.747$). The median value of UCs in 11 donors at pretransplantation were 0.30, which increased to 0.46 at 3 weeks after transplantation. Cluster 2 has many risk factors (to be abnormal space, rejection, toxicity of Cyclosporin and immuno suppression) compared to Cluster 1, but in Cluster 2 the UCs showed a good correlation with Ccr ($r=0.955$), and effective renal plasma flow ($r=0.653$), and an inverse correlation between UCs and serum creatinine values ($r=0.857$). Cluster 1 and Cluster 2 showed the same correlations with Ccr and UCs. But Cluster 1 is a different group from Cluster 2.

The results of the study showed that the modified Rutland's analytically method can estimate the renal filtration rate accurately, evaluate the residual renal function in donors quantitatively and be a useful parameter for monitoring renal graft function.

Key words: renal graft function, factor analysis method, Rutland method

要旨: 腎を対象にトレーサを ^{99m}Tc -DTPAとしてRI動態画像を求めた場合、deconvolution analysis法によって得られる初期伝達関数は、入出力関数をRutlandの方法で処理して得られる集積係数と等価といわれ、糸球体濾過率(GFR)と相関がある。しかし集積係数算出における入出力の規定が問題であつ

た。著者は腎の各画素における時間放射能曲線 (TAC) に因子分析法を適用した後、得られた成分曲線を入出力関数に導入し、集積係数を算出する事を可能とした (factor uptake coefficient: Factor UC)。今回は先ず循環モジュールを作成し、Rutland 処理の入力の設定と再現性に関し検討を加えた。次に腎提供者を含めた健常人、急性腎不全症例及び腎移植後経過観察中の症例について Factor UC の有用性を検討した。正常の位置に 2 腎がある症例、腎移植者共に、Factor UC と Ccr, 1/sCr, Tauxe らの有効腎血漿流量 (ERPF) と有意の相関を認めた。腎移植ドナーにおいては残腎の Factor UC は術後、有意に増加している事を確認できた。また腎移植者と 2 腎を有する群では、Factor UC と Ccr の関係において別の Cluster に属し、腎機能として異なる状態にある事が推定された。本法はリアルタイムでの腎糸球体機能評価にも適していると考えられ、本法の原理と有用性について報告を行った。

キーワード: 移植腎機能, Rutland 法, 因子分析法

緒 言

近年腎移植後の病態は、シクロスポリンなどの新しい免疫抑制剤の導入によって複雑化し、リアルタイムによる腎機能の迅速かつ正確な評価が益々必要となっている¹⁾。

RI トレーサを用いた動態シンチグラフィには、非観血、非侵襲性のほか、形態的および機能的情報が同時に得られるという大きな利点がある。とくに deconvolution analysis 法^{2)~4)}によって得られる伝達関数は、半減期補正や全投与量の算出、放射能の組織吸収補正等の煩わしい操作を要することが無く、臓器の機能を示す指標として用いられ、種々の測定法や解析法に應用されている。この伝達関数の計測において、排泄が始まるまでの初期伝達関数 (initial height; IH) は、入出力関数を Rutland の方法⁵⁾で処理して得られる集積係数と等価され、著者らは臨床応用に際しこのパラメータを uptake coefficient (UC) と名づけた⁶⁾。この UC は、^{99m}Tc 標識ジェチレントリアミン五酢酸 (^{99m}Tc-DTPA) をトレーサにした場合、腎臓を対象にすると糸球体濾過率 (GFR) と相関があることが報告⁷⁾されており、腎機能指標の一つとなりうると考えられた。

また因子分析法 (factor analysis: FA)⁸⁾は RI 動態画像に適用した場合、画像所見の単純化および客観化を可能とする優れた方法である。腎臓について因子分析を行った場合には、腎血管床、腎実質、排泄相に分けることができる。

それゆえに著者は先ずファントム実験を行って腎臓における Rutland 処理の入力の設定に検討を加え、その再現性を確認したうえで、健常人および急性腎不全 (ARF) 回復期、腎提供者 (ドナー) の術前後、腎移植後経過観察中の症例を対象として、因子分析法を適用した Rutland 処理を行い、UC による腎機能評価の有

用性を検討したので報告する。

対象と方法

Rutland 処理の原理を Fig. 1 に示す。破線内領域における臓器の時間放射能曲線 (Time activity curve: TAC) を $R(t)$ とすると、流入する血中放射能 $I(t)$ がすべて臓器に集積した場合、 $R(t)$ は $I(t)$ の積分で表示され、 $R(t) = \int_0^t I(t) dt$ となる。しかし、多くの場合 $R(t)$ は、 $I(t)$ のうち a の割合で集積したものと、 b の割合で通過または血中バックグラウンドとなったものに分かれるため両者の和となり、(1) 式の形で表される。両辺を $I(t)$ で除すると (2) 式が得られ、 $y = ax + b$ の一次関数の形となる。従って x 軸に $\int_0^t I(t) dt / I(t)$, y 軸に $R(t) / I(t)$ をプロットすると直線部分の傾き a が得られ、この a が集積係数であって前述したように UC で表示される。

1. ファントム実験

1) ファントムの設定

Rutland 法を用いて腎機能を測定する場合 2 つの問題がある。1 つはガンマカメラの有効視野に限界があるため、心領域を入力として用いる事が困難な場合があり、腹部大動脈、大動脈弓部などに入力の設定され

Fig. 1 The principle of Rutland method

Fig. 2 Schema of phantom modules constructed from blood purification equipments

ているが、個々の症例で差異があるため安定しない事である。もう1点は入力と出力にタイムラグが生じる事である。それゆえ血液浄化装置を利用して、(Fig. 2) 心臓のポンプ機能 (MP)、腹部大動脈 (AA)、腎動脈 (RA)、腎血管床 (IRA)、腎実質による取り込み (reservoir)、および排泄部分を備えた循環モジュールを作成した。なお煩雑になるため模式図中から排泄の部分は省略してある。

2) 実験方法

バッグに満たした生理食塩水に ^{99m}Tc -DTPA を注入し、MPによって循環を開始する。Mixing timeを経過させた後に濾過ポンプ (FP) を作動させる。濾過率を15ml/min から30ml/min へ変化させ、再び15ml/min に戻した。実験は再現性を確認するため2回施行し、 $R(t)$ をIRA+reservoir とし、 $I(t)$ はそれぞれAA, RA, IRA にとり、Rutlandの方法によりUCを求め、FPによって得られる濾過値との比較検討を行った。

2. 臨床症例

1) 対象

当施設において、健常人で腎移植ドナー検査のみを受けた8症例 (I群)、急性腎不全 (ARF) 回復期の3症例 (II群)、腎移植ドナー11症例 (III群)、生体腎移植14例および死体腎移植8例の計22症例 (IV群) を対象とした。なお因子分析を適用したUCの測定はI群で8回、II群で6回、III群は術前11回術後14回の計25回、IV群は51回、計90回行った (Table 1)。

2) 方法

Table 1 Objectives and numbers of Factor UC measurement

	n	No. of factor UC measurement
Phantom experiment	2	2
Clinical patients	I Normal control	8
	II Recovered acute renal failure	6
	III Renal transplant donors	25
	IV Renal transplant recipients	51
Total	46	92

UC 測定の30分前に約300ml の飲水負荷を行い、正常位置に腎があるものは仰臥位にして後面より、移植者は仰臥位で前面より測定した。次に ^{99m}Tc -DTPA 600MBq を肘静脈より急性静注し、その直後より10秒毎に経時的イメージデータを20分間収集した。収集マトリックスは 64×64 (5.5mm²/pixel) としている。なお使用装置は東芝GCA602Aで、データ処理装置は東芝GMS550Uを用いた。

腎への入力関数 $I(t)$ 、出力関数 $R(t)$ を動態シンチグラフィのTACより求めてUCを算出する。

従来は移植腎が骨盤領域に存在しカメラの有効視野に限界があるため、腹部大動脈を入力に設定し、腎のレノグラムカーブを出力として計算している。すなわち各カーブをそれぞれ関心領域 (ROI) 面積補正後、腎近傍に矩形ROIを設定してバックグラウンド減算を行い、3点スムージング後にRutland処理を加えてUCを求めていた。しかし、今回は因子分析法を適用して入出力関数を求め、これによって得られたUCを検討に供したわけである。

因子分析の方法は、先ずオリジナル画像に空間フィルタリング (Butterworth filter order-10, cut off-0.3 cycles/pixel) 処理を施し、腎を中心に2.7倍の拡大を行う。次に因子分析後の形態成分の腎領域の境界を得るため、あらかじめ腎領域のROIを取得しておき、因子分析後入力と出力の成分を画像で示される形態成分とTACで示される機能成分から判断する。機能成分は面積が1に正規化されているので、それぞれの形態成分の腎領域内のトータルカウントに機能成分を掛けることにより、入出力のTACに該当するカーブが得られ、以下は従来の方法と同様スムージング後にUCを求めることができる。このようにして得られた因子分析後のUCについては、以下Factor UCと呼ぶ事とした。

Fig. 3 Factor UC of the left kidney in normal control (renal transplant donor)

a: Factor 1, intrarenal artery component (input function), b: Factor 2, uptake at renal cortex component (output function), c: Factor 3, excretion component, d: Regression line (Factor UC) calculated with the Rutland method

Fig. 4 a: Input function and output function in the phantom experiment Input function is shown as abdominal aorta curve, renal artery curve and intrarenal artery curve estimated with the experiment. b: Slope of respective curves calculated with the Rutland method Filtration rate is increases from 15 ml/min to 30 ml/min and decreases to 15 ml/min

Lines: regression line. a: FR=15 ml/min, b: FR=30 ml/min, c: FR=15 ml/min

Fig. 3 に健常人の左腎における Factor UC 測定の実際を示す。a が factor 1 で腎血管床における入力成分、b が factor 2 で腎実質における集積 (uptake) の成分、c が factor 3 で排泄の成分を表している。factor 1 と factor 2 の TAC (それぞれの画像の右側グラフ) を入出力関数に導入する事により、Factor UC を求めることが出来る (d)。この方法によって腎領域のみの TAC を利用している事になる。

結 果

1. ファントム実験

ファントム実験によって得られた AA, RA, IRA, それぞれの TAC および RI 集積の TAC を Fig. 4a に示す。各部において入力のカブが異なっている事がわかる。Fig. 4b は IRA の TAC を入力として Rutland 処理を行ったものである。傾きから濾過率を求める事が可能である。直線 a, b, c はそれぞれ濾過率を 15ml/min, 30ml/min, 15ml/min に変化させた時の回帰直線を示している。真の濾過率と、入力をそれぞれ AA, RA, IRA に置いて求めた UC を比較すると、ポンプの送液量の誤差は最大±3%であり、その範囲内にあるものを真値と有意差がないと判定した (Table 2)。濾過率の精度範囲内に入っている割合は、入力を IRA に取ったものでは83.3%, RA に取ったものは50.0%, AA に取ったものは16.7%であった。

2. 健常人と急性腎不全症例の測定結果

次に正常の位置に2腎がある健常人 (I, III群) および ARF 回復期の症例 (II群) (まとめて Cluster 1 とする) について左右腎の Factor UC の和と腎機能の各指標とを比較した。クレアチニンクリアランス (Ccr) とは $r=0.909$ ($p<0.001$) の相関を認め (Fig. 5a),

Fig. 5 a: Relationship between Factor UC and Ccr (normal kidney: Cluster 1), b: Relationship between Factor UC and 1/sCr (normal kidney: Cluster 1), c: Relationship between Factor UC and ERPF (normal kidney: Cluster 1)

1/sCr とは $r=0.747$ ($p<0.01$) の相関があり (Fig. 5b), Tauxe らの有効腎血漿流量 (Effective renal plasma flow: ERPF)⁹⁾ とは, $r=0.795$ ($p<0.01$) の相関を認めた (Fig. 5c)。

3. 腎移植ドナーの測定結果

第III群は全例生体腎移植のドナー例で、男性6例女性5例、6例に右腎摘を5例に左腎摘を施行している (Table 3)。腎摘後 Ccr は全例に低下しているが、術前の50%以下にまで低下しているものは、症例2の1例のみであった。Factor UC は摘出前の分腎機能と、摘出後の残腎機能の推移を定量的に示している。腎摘後3週間で、11腎中9腎の Factor UC が増加しており、2腎には変化を認めなかった。次に、腎摘出前後のドナー残腎における Factor UC の比較を行った。摘出前後で Factor UC は、中央値で0.30から0.46へと有意に

Table 2 Comparison between true filtration rate and that estimated with the Rutland method using different input functions

No. of measurement	True filtration rate (ml/min)	Filtration rate estimated		
		Input function		
		Abdominal aorta (ml/min)	Renal artery (ml/min)	Intrarenal artery (ml/min)
Measurement I	15	15.6	15.3*	15.1*
	30	32.4	31.5	30.8*
	15	13.9	14.6*	14.8*
Measurement II	15	15.4*	15.3*	15.3*
	30	27.3	28.4	29.2*
	15	18.5	17.6	17.6

An observational error : 3% * : Within range of accurate flow rate

Table 3 Renal function of renal transplant donors (pre and post nephrectomy)

Case	Age (y/o)	Sex	Side of Nephrectomy	Ccr (ml/min)		Side	Factor UC		
				Pre	Post		Pre	After 3 weeks	After 1 year
1	53	F	R	80	60	R	0.15		
						L	0.28	0.68	
2	36	M	R	100	49	R	0.48		
						L	0.60	0.61	
3	39	M	R	87	65	R	0.29		
						L	0.32	0.56	
4	71	F	R	68	48	R	0.34		
						L	0.16	0.37	
5	57	M	R	100	73	R	0.27		
						L	0.31	0.46	0.52
6	50	M	R	100	73	R	0.55		
						L	0.65	0.72	
7	60	F	L	78	45	R	0.27	0.29	
						L	0.30		
8	47	M	L	100	56	R	0.88	0.88	
						L	0.78		
9	56	M	L	45*	35	R	0.30	0.37	0.38
						L	0.20		
10	55	F	L	87	65	R	0.30	0.30	0.39
						L	0.40		
11	58	F	L	87	50	R	0.23	0.41	
						L	0.27		

*sCr = 0.9 Side of nephrectomy Pre : Pre Txp Post : Post Txp

Fig. 6 Comparison of Factor UC in donor kidney between pre and post nephrectomy (residual kidney)
a: Change in Factor UC, b: Change in Post Factor UC/Pre Factor UC × 100 (%)

上昇を示した (Fig. 6a). 又摘出前の値を100%とした場合に、中央値は123.3%へと増加している (Fig. 6b). この結果は、Ccr や ERPF では示し得なかった定量的な1腎のみの機能の変化を示していると考えられる。次に腎摘出前後で、移植腎について Factor UC の比較を行った (Fig. 7a). 残腎とは異なり、ドナーの体内にあった時と移植された後の Factor UC では中央値で 87.5%と減少が認められたが (Fig. 7b), 11腎中 3腎で Factor UC の上昇が見られた。この 3 症例の腎機能は sCr 0.9から1.1mg/dl, Ccr 42から56ml/min と現在も

Fig. 7 Comparison of Factor UC in renal allograft between pre and post transplantation
a: Change in Factor UC, b: Change in Post Factor UC/Pre Factor UC × 100 (%)

Fig. 8 a: Relationship between Factor UC and Ccr (renal allograft: Cluster 2), b: Relationship between Factor UC and 1/sCr (renal allograft: Cluster 2), c: Relationship between Factor UC and ERPF (renal allograft: Cluster 2)

極めて良好な経過を辿っている。

4. 腎移植患者の測定結果

移植腎における Factor UC 算出法も健常人の場合と同様に行うことができる。腎移植症例(IV群) (この群を Cluster 2とする) について Factor UC と腎機能の指標を比較した。Ccr と $r=0.955$ ($p<0.01$) の相関が得られ (Fig. 8a), $1/sCr$ とは, $r=0.857$ ($p<0.01$) の相関を (Fig. 8b), ERPF とは $r=0.653$ ($p<0.01$) の相関を認めた (Fig. 8c)。

考 察

1. RI 動態画像による腎機能評価について

腎臓の糸球体機能を正確に把握するためには、イヌリンクリアランス (C inuline) を測定することが理想的である。しかし実際の C inuline の測定は煩雑であり、患者の負担も大きいため、現在では一般的に Ccr によって代用されている。

Ccr は、腎機能の低下している症例や、腎機能の推移が急激な症例の正確な糸球体機能評価の指標とはなりにくい欠点がある。しかし他の方法に比し広く臨床に応用されていることから、今回は腎糸球体機能の比較評価のパラメータとして用いた。Ccr を正確に測定するには24時間法で行う必要があり入院を必要とする。一方、腎動態シンチグラフィは外来通院で簡便に行え、採血や採尿などの必要性もなく小児にも簡単にいう事が可能である。さらに本法は運動負荷後などにリアルタイムで腎機能を知る事も可能であり、これらが本法の有用性と考えられる。

レノグラムカーブの機能相の傾きや面積が、GFR を反映していることは従来から指摘されている。Nielsen¹⁰⁾は注射後早期のレノグラムの傾きが GFR と良く一致すると報告し、Shore¹¹⁾は初期摂取率よりも傾きの方が GFR との一致率が良かったと報告している。Gates¹²⁾は^{99m}Tc-DTPA の腎初期摂取率と Ccr との相関式から糸球体機能を算出する方法を考案しており、この方法が現在広く普及している。

著者は、因子分析法を用いて通常のレノグラムカーブに重なりあって表示されている腎血管床における入力成分 (factor 1)、腎実質の集積成分 (factor 2)、排泄成分 (factor 3) を各々別個に取り出し、factor 1 と factor 2 の TAC を入出力関数に導入する事により、腎領域のみの TAC から Factor UC を算出している。

^{99m}Tc-DTPA レノグラムにおける初期摂取率測定の時間帯を、瀬戸¹³⁾は静注後80~160秒、Gates¹²⁾は2~3分、伊藤¹⁴⁾は1~2分、菅野¹⁵⁾は1.5~2.5分とし

ている。Rutland 処理で直線近似する時間帯は、レノグラムカーブの機能相と一致する。著者の方法ではこの直線近似によって初期摂取率を求めているため、初期摂取率測定の時間帯を定める必要はなく、個々の症例の初期摂取率の時間帯に対応が可能である。従って、病態によって腎の初期摂取の時間帯が変化する場合も対応できる利点がある。

中川¹⁶⁾は心領域の TAC を入力として、Rutland 法で GFR を算出し、赤平¹⁷⁾は、入力を AA にとり Rutland 法を応用して移植腎の初期摂取率を測定している。当初著者も、AA を入力に設定し、出力は腎のレノグラムカーブとして Rutland 処理を行っていたが、Ccr との相関が低いいため因子分析法を適用することによって入出力関数を求めたところ、初めて良好な相関が得られた。その理由としては、入出力のタイムラグが少なくなった事と、より真の入力に近づいたためと考える。

2. ファントーム実験の結果について

今回作成したファントームモデルは、血液浄化装置を用いて腎の血管相と実質への取り込み、排泄の3要素を備えるようにしたものであり、濾過ポンプの調節によって濾過率を変化させる事が可能で、真の濾過率を明らかにしている。本モデルにおいて、真の濾過率と Rutland 法を用いて得られた濾過率とは、ほぼ一致を認め、Rutland 法を用いて得られる UC は、実際の濾過率を反映しているものと考えられた。又 IRA, RA, AA と見なせる部分における入力は各々異なったカーブを形成した。そして、同一回路内での入力にも係わらず、真の濾過率の範囲内に Rutland 法で求められた濾過率が入っていた割合は、タイムラグが少なくなるにつれ高くなった (Table 2)。実際の人体において心臓や腹部大動脈を入力とした場合、出力である腎臓とは、解剖学的にタイムラグが大きくなり種々の因子の影響を受ける。また腎動脈に入力を取る事は臨床上的困難であるから、入力を腎血管床に求める事は現実的で有効と考えられる。

3. 健常人及び急性腎不全回復期症例の測定結果について

因子分析法を用いた Rutland 処理によって得られた Factor UC は、Cluster 1において Ccr, $1/sCr$, ERPF と有意の相関を示し、とくに Ccr との相関は強く腎糸球体機能の指標として用いる事が可能である。

現在外来通院の患者における腎機能の指標としては、一般的に sCr を用いることが多いが、 sCr の上昇を

認めた時間ではすでに糸球体機能はかなり低下しており、本法によるスクリーニングで早期の腎機能低下を診断し治療を行う事が可能であると考えられる。

4. 腎提供者の残腎について

本法の有用性の1つに分腎機能を定量的に評価できることが挙げられる。腎移植ドナーについての検討から、腎摘出術後のCcrが術前の50%以上の値を示した(Table 3)ため、残腎機能の上昇が考えられたが、Factor UCの測定を行い、初めて1腎のみの機能の変化を定量的に知る事が可能となった。術後3週間の時点で残腎のFactor UC値が増加しており(Fig. 6)、すでに機能の代償が行われている事が明らかとなった。今後は、摘出側決定の一助としてもFactor UCを用いる方針である。

Najarianら¹⁸⁾は、20年以上にわたる生体腎移植ドナーの経過観察を行い、sCr、Ccrや血圧、尿蛋白等を指標として、片腎であるにも拘わらず腎機能は健常人と大差が無い事を報告しているが、著者の検索した限りでは、ドナーの1腎のみにについての定量的な機能評価を行っている報告はない。今回のドナーについての検索では、術後1年までしか追跡していないが、20年に亘る検索の後にも更なる経過観察が必要であるとの指摘¹⁸⁾から、著者も今後長期的にドナーの観察を行う予定である。

5. 本法による移植腎機能評価について

Factor UCは、腎移植症例を対象としたCluster 2においてもCcr、1/sCr、ERPFと有意の相関を示し(Fig. 8)、とくにCcrとの相関が強く、移植腎の糸球体機能の指標として有用であると考えられた。Cluster 2の相関式は、Cluster 1(Fig. 5)の相関式と共分散分析を用いて危険率5%以内で差が認められないことから、Cluster 1および2におけるFactor UCとCcrには、同一の関係があると考えられる。しかしそれぞれのClusterの分布は異なり、Cluster分析を行うと、Cluster 1と2は各々独立したClusterである事が示された。このことは腎移植患者と正常の位置に2腎がある症例では、病態が別である事を意味していて大変興味深い。移植腎は、移植されたことにより正常の位置ではなく、拒絶反応、シクロスポリンの腎毒性、免疫抑制などの影響のもとで正常の状態とは別の病態にある事を示していると考えられた。またCcr自体が30ml/min以下では、尿細管からのCrの排泄が増加し実際よりも高い値になってしまうことも関与していると考えられる。

但しCluster 1のFactor UCは1近傍、Ccrは60～100ml/min近傍に集中しており、Cluster 2のFactor UCは、0.1近傍、Ccrは20～60ml/minに集中していることからCluster 1が腎機能良好群、Cluster 2が腎機能不良群である可能性がある。Cluster 2が移植腎に特徴的な所見であるのか、腎機能不良群を示すClusterであるのかについての結論は、今後正常位置に2腎ある症例の腎機能低下例に関して検討する必要があると考えられた。他の病態についてもFactor UCとCcrの関係で、独自のClusterを形成する可能性が予測され、今後更に検索を続ける予定である¹⁹⁾。

6. 本法の問題点と将来性

因子分析法は画像所見の単純化あるいは客観化という点で優れた方法である。しかしこの処理によって画像データやカーブデータ以外にどこまで新しいデータが提供され得るか、あるいは定量的評価への応用が可能かといった点が問題であった。後者については、今回本法をRutland処理に適用することでその可能性を明らかにした。しかし、今回の方法の有用性も腎自体に因子分析を行い、的確に腎血管床、腎実質、腎排泄に分かれた場合に限られる。極端に信号/雑音(signal/noise, S/N)比の悪い画像では、空間フィルタリング処理を施しても本法の適用は困難である。従って、腎機能が極度に低下している患者では、データの再検討が必要である。

また因子分析法では、対象患者個々の相対的な変化を詳細に示すことはできるが、Factor UCの値を絶対値として評価するためには、検査の時点における水負荷等の条件統一が不可欠である。データ処理上においても、腎領域設定方法および拡大率、因子分析計算フレーム数、計算Dixel数等、すべての条件を常に一定に設定する事により、はじめて良好な結果が得られており、至適条件の確立が必要である。

結 語

1. 循環モデルを作成し、真の濾過率とRutland法により求めた濾過率(UC)を比較した。UCは再現性を持って真の濾過率を反映しており腹部大動脈部、腎動脈部、腎血管床部でそれぞれ別のカーブが得られ、腎血管床部分を入力としたものが最も真値に近かった。

2. 腎移植ドナー症例を含む健常人および急性腎不全回復期症例を対象に、^{99m}Tc-DTPAによる画像を因子分析し、抽出された時間放射能曲線(TAC)にRutland処理を行い求めた指標(Factor UC)について、

腎機能の評価における有用性を検討して以下の結果を得た。

1) 腎糸球体機能の測定に関して、本法は24時間尿Ccr検査と同様の意義を有する。

2) 本法は、24時間尿Ccr検査に比べ外来通院で簡便に行え、リアルタイムでの腎機能の評価が可能な点で優れている。

3) 本法は提供腎の選択をはじめ、谷腎機能検査法として有用である。

3. 腎移植者に対し同様の検討を行い以下の結果を得た。

1) 正常の位置に2腎がある症例と同様、移植腎(単一腎)機能についても本法で精査可能である。

2) 腎移植者と正常位置に2腎を有するものでは、Factor UCとCcrには、同様の相関関係があるものの、それぞれ異なったClusterを形成した事から、その病態を反映しているものと考えられた。

稿を終えるに際し、御指導と御校閲を賜った恩師佐藤威東海大学医学部移植学教室1教授および鈴木 豊東海大学医学部放射線学教室1教授に心から感謝いたします。

なお直接の御指導を戴いた東海大学医学部移植学教室1平賀聖悟助教授、また飛田美穂助教授および教室の諸先生、ご協力戴いた東海大学病院腎センター田中進一臨床工学士、東海大学医学部放射線村上 剛技師、中辻 博技師に深謝いたします。

本論文の要旨はその一部を第33回日本核医学会総会、第29回日本移植学会総会、第27回日本腎移植臨床研究会において発表した。(本研究は1993年度東海大学医学部研究助成金、1994年度文部省科学研究費一般研究C課題番号06671618の補助を受けた。)

文 献

- 角田隆俊, 平賀聖悟, 飛田美穂, 佐藤 威, 久保田光博: 移植腎におけるDoppler検査法の意義について. 日超医論文集, 60, 243-244, 1992.
- Flemming, J.S. and Goddard, B.A.: A technique for the deconvolution of the renogram. *Phys. Med. Biol.*, 19, 546-549, 1974.
- Kenny, R.W., Ackrey, D.M., Flemming, J.S., Goddard, B.A., Finst, P. and Grant, R.W.: Deconvolution analysis of the scintillation camera renogram. *Brit. J. Radiology.*, 48, 481-486, 1975.
- Diffey, B.L., Hall, F.M. and Corfield, J.R.: The ^{99m}Tc -DRPA dynamic renal scan with deconvolution analysis. *J. Nucl. Med.*, 17, 352-355, 1976.
- Rutland, M.D.: A single injection technique for subtraction of blood back ground in ^{131}I -hippuran renograms. *Brit. J. Radiology.*, 52, 134-137, 1979.
- 角田隆俊, 平賀聖悟, 飛田美穂, 佐藤 威, 鈴木 豊: RI動態画像を用いた移植腎機能評価の新しい試み—Rutland処理への因子分析法の導入—. 核医学, 30, 717-726, 1993.
- Rehling, M., Moller, M., Lund, O.J., Jensen, B. K., Thamdrup, B. and Trap, J.J.: ^{99m}Tc -DTPA gamma-camera renography: Normal values and rapid determination of single kidney glomerular filtration rate. *Eur. J. Nucl. Med.*, 11, 1-6, 1985.
- Schlegel, J.U., Hakikiopoulos, H.L. and Prima, R.: Determination of filtration fraction using the gamma scintillation camera. *J. Urol.*, 122, 447-450, 1979.
- Tauxe, W.N., Maher, F.T. and Taylor, W.F.: Effective renal plasma flow: Estimation from theoretical volumes of distribution of intravenously injected ^{131}I orthiodohippurate. *Mayo Clin. Proc.*, 46, 524-531, 1971.
- Nielsen, S.P., Moller, M.L. and Trap, J.J.: ^{99m}Tc -DTPA scintillation camera renography, A new method for estimation of single kidney function. *J. Nucl. Med.*, 18, 112-117, 1977.
- Shore, R.M., Koff, S.A. and Mentser, M.: Glomerular filtration rate in children: Determination from the ^{99m}Tc -DTPA renogram. *Radiology.*, 57, 347-349, 1984.
- Gates, G.F.: Glomerular filtration rate: Estimation from fractional renal accumulation of ^{99m}Tc -DTPA (Stannous). *Am. J. Roentgenol.*, 138, 565-570, 1982.
- 瀬戸 光: ^{99m}Tc -DTPAによる分腎機能の定量的評価と腎動態イメージングに関する研究. 金沢大学十全医会誌, 88, 386-404, 1979.
- 伊藤綱郎, 竹田 寛, 豊田 俊, 前田寿登, 北野外紀夫, 中川 毅: ^{99m}Tc -DTPA腎摂取率による糸球体機能の評価. 核医学, 21, 1579-1586, 1984.
- 菅野 理: 体外計測によるRIクリアランス法を用いた定量腎機能検査法. 日泌尿会誌, 77, 1546-1588, 1986.
- 中川 毅, 前田寿登, 竹田 寛, 中村和義, 権 重祿, 大井 牧, 寺田尚弘, 佐久間肇, 小野元嗣, 北野外紀雄夫, 山口信夫: 核医学における定量解析の基礎とその臨床応用. メディカルレビュー, 35, 1-9, 1989.
- 赤平秀昭, 小長井治恵, 下山藩次郎, 有馬秀男, 森田 秀, 二川原和男, 舟生富寿, 川口俊明: ^{99m}Tc -DTPAによるdynamic ECTへのRutland法の応用—移植腎機能の局所的評価—. 核医学技術,

- 13, 113—140, 1993.
- 18) Najarian, J.S., Blanche, M., Chavers, L.E. and Mchugh, A.J.M.: 20 years or more of followup living kidney donors. *Lancet*, **340**, 807—810, 1992.
- 19) 若林正則, 平賀聖悟, 角田隆俊, 佐藤 威, 金淵一雄, 鈴木 豊: 左腎動脈狭窄 PTA 施行例に対するレノグラムによる分腎機能評価の一考察. *臨床核医学*, **26**, 70—72, 1993.
(1994年8月23日受付, 12月12日受理, 特別掲載)
-