

Title	Gd-DYPA Dynamic MR imagingを用いた移植腎機能評価の検討
Author(s)	古川, 顕; 村田, 喜代史; 朴, 勺 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1996, 56(12), p. 807-812
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14874
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Gd-DTPA Dynamic MR imagingを用いた移植腎機能評価の検討

古川 顕¹⁾ 村田喜代史¹⁾ 朴 勺²⁾ 山崎 道夫¹⁾ 川口 信之¹⁾
井上 均²⁾ 友吉 唯夫²⁾ 阿部 元³⁾ 迫 裕孝³⁾
沖野 功次³⁾ 小玉 正智³⁾ 中根 佳宏⁴⁾ 森田 陸司¹⁾

1) 滋賀医科大学放射線医学教室 2) 同泌尿器科学教室 3) 同第1外科学教室 4) 近江八幡市民病院

Dynamic Gd-DTPA-enhanced MR Imaging in Evaluation of the Function of Transplanted Kidneys

Akira Furukawa¹⁾, Kiyoshi Murata¹⁾, Kyun Pak²⁾, Michio Yamasaki¹⁾, Nobuyuki Kawaguchi¹⁾, Hitoshi Inoue²⁾, Tadao Tomoyoshi²⁾, Hajime Abe³⁾, Hirotaka Sako³⁾, Kouji Okino³⁾, Masashi Kodama³⁾, Yoshihiro Nakane⁴⁾ and Rikushi Morita¹⁾

The purpose of the study was to evaluate the potential of dynamic Gd-DTPA-enhanced MR imaging in assessing of the function of transplanted kidneys. Dynamic MR imaging was performed using the GRASS pulse sequence in 21 subjects (56 examinations), and in each examination 30 images were obtained after a bolus injection of Gd-DTPA. Imaging findings including signal increase and/or signal drop in cortex, signal drop in medulla, and signal drop in calyces were utilized for the evaluation of renal function. Renal function was also evaluated using the following parameters: Ta, time between the initial observation of signal increase in cortex and signal drop in medulla, Tb, time between the initial observation of signal drop in medulla and in calyces; Tc, Ta+Tb, and Max. C/M, maximum ratio of signal intensity between cortex and medulla among 30 images. In the group of patients with normal graft function (Ccr. \geq 60ml/min), all imaging findings were observed. In the group of patients with mild graft dysfunction (30ml/min \leq Ccr < 60ml/min), all imaging findings but signal drop in cortex were observed. The time parameters of Ta, Tb, and Tc were significantly larger, and Max. C/M was significantly smaller than those observed in the group with normal graft function. In the group of patients with severe graft dysfunction (Ccr < 30ml/min), almost none of the findings were observed. The investigation in patients in the postoperative state revealed a close correlation of the imaging findings and the values of parameters with changes in graft function over time. The results indicated the usefulness of the method in semiquantitative evaluation of graft function, including that of patients in postoperative state. This study suggests that dynamic Gd-DTPA-enhanced MR imaging could be a valuable method for the management of transplanted kidneys.

Research Code No. : 518.0

Key words : MR imaging, Dynamic study, Kidney, Transplantation, Renal function, Gd-DTPA

Received Oct. 9, 1995; revision accepted Mar. 19, 1996

Dept. of Radiology¹⁾, Dept. of Urology²⁾, and First Dept. of Surgery³⁾, Shiga University of Medical Science, and Omihachiman City Hospital⁴⁾

はじめに

腎機能評価に画像診断法を用いることは、分腎機能情報を簡便にかつ直接所見として得られる点で、臨床的意義が大きいと言える。その際、腎排泄性薬剤を用いることは有効な手法で、日常臨床においては、腎動態シンチグラフィに代表される¹⁾。CTを用いた腎機能評価法の報告も見られるが^{2),3)}、使用するヨード系造影剤には腎毒性があるため⁴⁾、その臨床応用には制限がある。一方、MRIに用いられる造影剤Gadolinium diethylenetriamine penta acetic acid (Gd-DTPA)は、糸球体濾過性の腎排泄性薬剤で⁵⁾、腎毒性が低く、透析における除去率にも優れている⁶⁾⁻⁹⁾。現在まで、Gd-DTPAに起因する腎障害の臨床報告はなく、透析患者を含めた腎機能障害患者への投与が可能であると考えられている⁶⁾⁻⁹⁾。また、MRIは、高速撮像法を用いることにより、優れた時間空間分解能を有する画像の撮像が可能であることから、dynamic Gd-DTPA-enhanced MRIを用いた腎機能評価法には、理論上、大きな期待が持たれ、その方法論の確立が望まれる。Gd-DTPAを用いた正常腎 dynamic MRIでは、造影剤の通過に伴う皮質、髄質、腎杯の経時的な信号変化が明瞭に区別して観察される (Fig. 1)¹⁰⁾。この経時的な信号変化は、血管内、あるいは、糸球体濾過後尿細管から集合管を経て腎杯へ移行する造影剤によってもたらされるもので、その信号強度や時間経過は、腎血流量や糸球体濾過率、尿管機能などを反映しているものと考えられる。したがって、本法を用いて得られるdynamic 画像からは、腎の形態情報のみならず、機能情報を得ることが期待される¹⁰⁾⁻¹⁶⁾。今回われわれは、腎移植患者に、dynamic MRIを施行し、その有用性について検討したので報告する。

対 象

対象は、腎移植患者21症例(延べ56回検査)で、生体腎移植患者16例、死体腎移植患者5例である。患者の性別は、男性15例、女性6例で、年齢は7~62歳、平均35.7歳である。また、症例中、生体腎移植患者5例、死体腎移植患者3例の計8例は、術後早期からdynamic MRIが施行された。

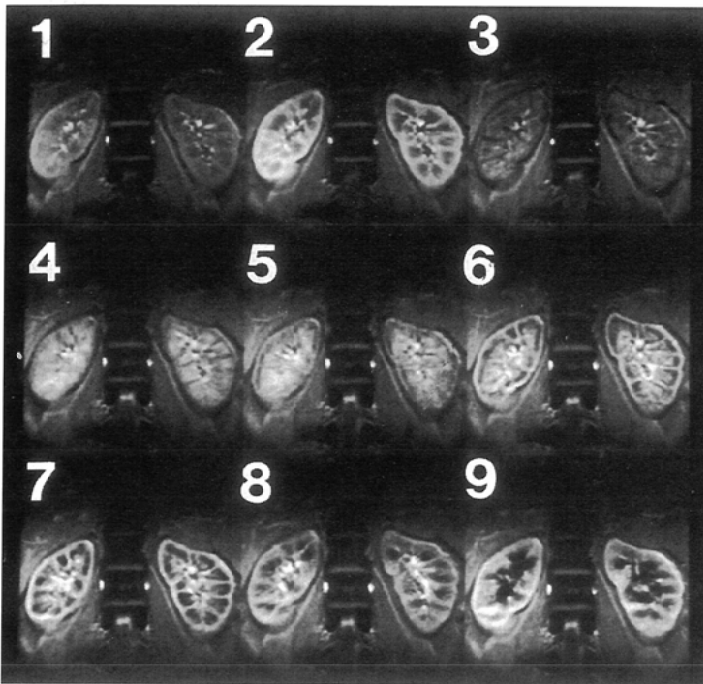


Fig. 1 Dynamic MR Images of a normal volunteer with a serum creatinine level of 0.6mg/dl. The images were taken at (1)2.5sec. (2)8.5sec. (3)14.5sec. (4)36.5sec. (5) 50.5sec. (6)58.5sec. (7)66.5sec. (8)90.5sec. (9)202.5sec. after the administration of Gd-DTPA, respectively. Alterations in the MR signal intensity within the different anatomic regions are clearly demonstrated.

そのうち死体腎移植患者は、全例、術後、急性尿細管壊死を発症したが、1例を除き回復した。残りの1例は、急性尿細管壊死に引き続いて、急性血管性拒絶を発症し、術後65日目に腎摘出術を受けた。生体腎移植術を受けた5例は、良好な術後経過をとった。移植腎の機能評価は、クレアチンクリアランス値を指標とし、対象をクレアチンクリアランス値が ≥ 60 ml/min以上の機能良好群、60ml/min未満、30ml/min以上の軽度機能障害群、および30ml/min未満であった高度機能障害群の3群に分け検討した。また、各群の血清クレアチン値が、機能良好群では1.5mg/dl未満、軽度機能障害群では1.5mg/dl以上、2.5mg/dl未満、高度機能障害群では2.5mg/dl以上の高値を示したため、MR検査時に対応するクレアチンクリアランス値の測定が行われなかった5検査については血清クレアチン値から所属群を決定した。

方 法

使用した装置は、GE社製SIGNA 1.5Tである。Rectangular Surface coilを使用し、通常のSE法で移植腎の冠状断像T1強調像(TR = 500msec, TE = 20msec)を撮像した後、正中冠状断面にて、dynamic MRIを施行した。dynamic MRIでは、GRASS法を用い、0.2mmol/kgのGd-DTPAを肘静脈から急速静注し、その直後から30枚の画像を撮像した。撮像条件は、TR = 35msec, TE =

9msec, Flip angle = 20° , NEX = 1, FOV = 30cm, 128×256 matrixes, 8mm slice thicknessとした。1枚の画像の撮像に要する時間は約5秒で、呼吸停止下に行った。各画像の撮像間隔は、1-5秒とした。

解 析

得られたdynamic MRIから、以下の点について結果の解析を行った。

- 1) 最初に見られる皮質の信号上昇が髓質と区別して(以下、初期皮髓信号区別)観察できるか。
- 2) 1)に引き続く皮質の信号低下(以下、皮質信号低下)が観察できるか。
- 3) 髓質に信号低下(以下、髓質信号低下)が観察できるか。
- 4) 腎杯に信号低下(以下、腎杯信号低下)が観察できるか。

また、髓質、腎杯に信号低下が観察された症例については次に示すパラメーターの測定を行った。

Ta: 最初に皮質の信号上昇が観察されてから髓質信号低下が観察されるまでの時間。

Tb: 髓質信号低下が観察されてから腎杯信号低下が観察されるまでの時間。

Tc: 最初に皮質の信号上昇が観察されてから腎杯信号

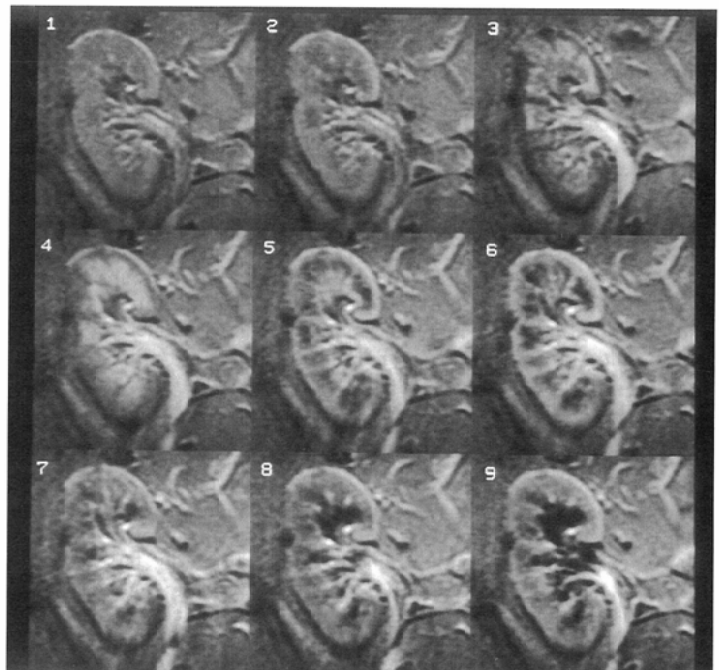


Fig. 2 Dynamic MR Images of a patient with normal graft function (Cr = 65.0ml/min.). The images were taken at (1)2.5sec. (2)8.5sec. (3)22.5sec. (4)36.5sec. (5)50.5sec. (6)58.5sec. (7)82.5sec. (8)106.5sec. (9)130.5sec. after the administration of Gd-DTPA, respectively. Initially, signal increase in cortex was seen (#2), and followed by signal drop (#3). After the signal intensity in cortex returned to same as in medulla, a dark band appeared at the corticomedullary junction and it spread centrally toward the inner medulla (#5,6). After the dark band reached the inner medulla, dark spots appeared in the calyces and they became larger (#7,8,9). These findings were similar to those observed in the normal volunteer (Fig. 1).

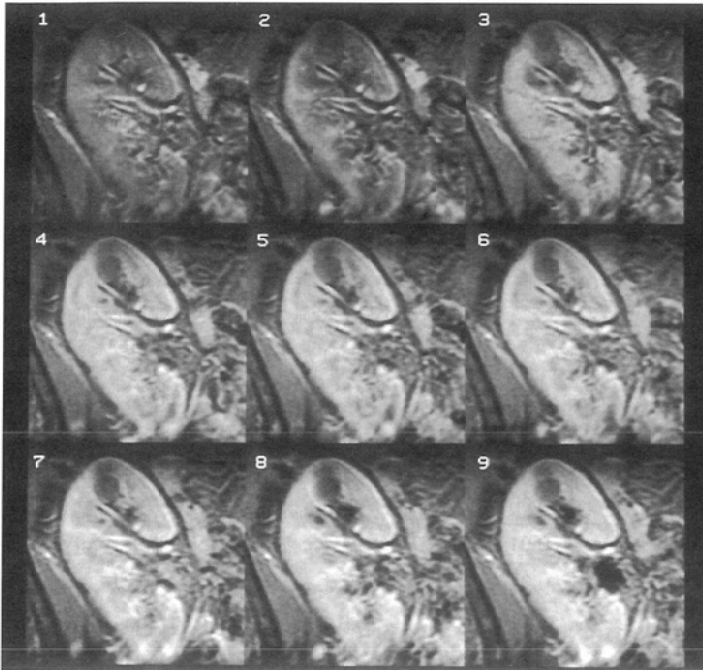


Fig.3 Dynamic MR Images of a patient with mild graft dysfunction (Ccr = 45.0 ml/min.). The images were taken at (1)2.5sec.(2)8.5sec.(3)22.5sec.(4)66.5sec.(5)74.5sec.(6)82.5sec.(7)114.5sec.(8)162.5sec.(9)222.5sec. after the administration of Gd-DTPA, respectively. Although the pattern of the MR signal alteration is similar to that of a normal subject, the signal contrast among different anatomic regions is not clearly demonstrated.

低下が観察されるまでの時間(Ta + Tb).

Max C/M: 髓質信号低下最大時の皮髓信号強度比.

検討項目

前述の解析結果をもとに、以下の2点について検討した。また、それぞれでCMD(cortico-medullary differentiation)を指標とした造影前T1強調像とdynamic MRI所見の比較を行った。

- 1)腎機能とdynamic MRI所見:腎機能をもとに分類した3群におけるdynamic MRI所見を比較検討した。
- 2)腎移植手術後経過におけるdynamic MRI所見:術後早期からdynamic MRIが施行された8症例について検討した。

結果

1. 腎機能とdynamic MRI所見

最初に代表例を提示する。

症例1:クレアチンクリアランス値65ml/min(血清クレアチニン値1.4mg/dl)で機能良好群に属した症例のdynamic MRIをFig.2に示す。最初に、皮質の信号上昇が髓質と区別して観察され(Fig.2(2)),引き続き皮質の信号低下が観察される(Fig.2(3))。次に一旦、腎全体が比較的均一な信号強度を呈した後、皮髓境界領域に、線状の低信号領域が出現し、次第に髓質全体に広がる(Fig.2(5), (6))。その後、腎杯に点状の低信号が

出現し、時間経過とともに拡大する(Fig.2(7), (8), (9))。

症例2:クレアチンクリアランス値45.2ml/min(血清クレアチニン値2.3mg/dl)の軽度機能障害群に属した症例のdynamic MRIをFig.3に示す。皮質、髓質、腎杯の経時的信号変化は、症例1に類似するが、皮質の信号低下が観察されず、髓質の信号低下はやや不明瞭である。また、髓質、腎杯信号低下の出現時刻が、症例1に比べ遅延している。

症例3:クレアチンクリアランス値10.1ml/min(血清クレアチニン値3.5mg/dl)であった高度機能障害群の症例のdynamic MRIをFig.4に示す。信号の経時変化に、皮質、髓質、腎杯の区別は認識できず、腎全体が単一構造物として、次第に信号上昇を示す。

各群における単純およびdynamic MRIの解析結果をTable 1およびTable 2に示す。

機能良好群—24検査—

単純MRIのT1強調像におけるCMDは、95.8%(23/24)に認められた。dynamic MRIでは、皮質信号低下は79.2%(19/24)に、初期皮髓信号区別、髓質信号低下、腎杯信号低下は、いずれも全例100%に観察された。パラメーターの値は、Ta = 39.9 ± 8.7sec., Tb = 57.0 ± 21.9sec., Tc = 97.0 ± 25.6sec., Max C/M = 1.07 ± 0.04であった。

軽度機能障害群—14検査—

単純MRIのT1強調像におけるCMDは78.6%(11/14)で認められた。dynamic MRIでは、初期皮髓信号区別、髓質信号低下、腎杯信号低下の各所見は、それぞれ、92.6%(13/14)、

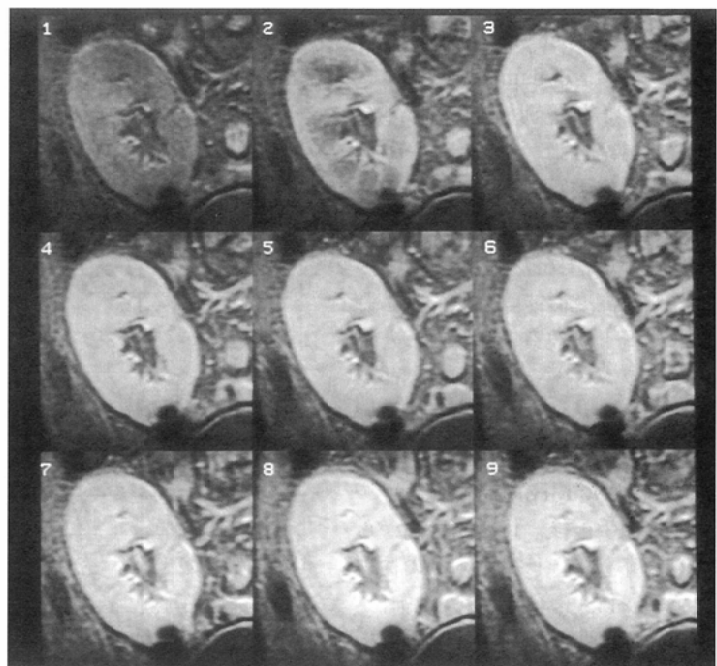


Fig.4 Dynamic MR Images of a patient with severe graft dysfunction (Ccr = 10.1ml/min.). The images were taken at(1)2.5sec.(2)14.5sec.(3)28.5sec.(4)42.5sec.(5)58.5sec.(6)82.5sec.(7)146.5sec.(8)202.5sec.(9)242.5sec. after the administration of Gd-DTPA, respectively. Signal difference among different anatomical regions is not observed.

Table 1 Detectabilities of MR findings

	Group of good renal function	Group of renal dysfunction	Group of severe renal dysfunction
CMD in plain MRI	23/24 (95.8%)	11/14 (78.6%)	10/18 (55.6%)
CMD in early phase	24/24 (100%)	13/14 (92.6%)	12/18 (66.7%)
Signal drop in cortex	19/24 (79.2%)	3/14 (21.4%)	0/18 (0%)
Signal drop in medulla	24/24 (100%)	12/14 (85.7%)	0/18 (0%)
Signal drop in calyces	24/24 (100%)	12/14 (85.7%)	3/18 (16.7%)

Table 2 Values of parameters

	Group of good renal function	Group of renal dysfunction	p
Ta (cortex-medulla)	39.9 ± 8.7	57.7 ± 21.6	0.05
Tb (medulla-calyces)	57.0 ± 21.9	87.1 ± 42.6	0.05
Tc (cortex-calyces)	97.0 ± 25.6	144.8 ± 55.7	0.01
Max C/M	1.07 ± 0.04	1.03 ± 0.02	0.01

85.7%(12/14), 85.7%(12/14)に観察された。しかし、皮質信号低下が観察されたのは、21.4%(3/14)であった。髄質信号低下が認められなかった2検査と、腎杯信号低下が認められなかった2検査は一致していた。パラメーターの値は、Ta = 57.7 ± 21.6sec., Tb = 87.1 ± 42.6sec., Tc = 144.8 ± 55.7sec. と、機能良好群の値に比して延長する傾向が認められ、両者の間に、Ta, Tbについては危険率5%, Tcについては、危険率1%で有意差が認められた。Max C/Mは、1.03 ± 0.02と機能良好群の値に比べ低い値を示し、両者の間に危険率1%で有意差が認められた。

高度機能障害群—18検査—

単純MRIのT1強調像におけるCMDは、55.6%(10/18)で観察可能であった。dynamic MRIでは、初期皮髄信号区別は、66.7%(12/18)で観察された。皮質信号低下、髄質信号低下は、18検査全てにおいて観察されなかった。腎杯信号低下は、16.7%(3/18)に認められた。高度機能障害群では、髄質信号低下が観察されなかったため、パラメーターの計測は不能であった。

2. 腎移植手術後経過におけるdynamic MRI所見

腎移植手術後、比較的早期からMRI検査を施行し得た8例の検査結果をTable 3, 4に示す。症例1~5は、術後良好な経過をとった生体腎移植症例である。この5例では、前述のdynamic MRIの各所見が全例に観察され、短いタイムパラメーター値および高いMax C/M

値を呈した。症例6~8は、死体腎移植の症例である。いずれも無尿期に行われた検査結果で、検査時の診断は生検および臨床経過から急性尿細管壊死である。造影前MRIでは、症例7で皮髄の識別が不能であったが、他の2例では観察可能であった。dynamic MRIでは全例で初期皮髄信号区別は観察されたが、皮質、髄質、腎杯の信号低下は、観察されなかった。症例6および8は、その後回復し、利尿がつく時期からすみやかにdynamic MRI所見に変化が見られ、髄質、腎杯の信号低下が観察されるようになった。一方、症例7は、経過中無尿期に急性拒絶反応を発症し、生検組織より急性血管性拒絶と診断された。その後状態は回復せず、術後65日目に移植腎の摘出術が施行された。手術後第4日、第36日、第65日に施行された同症例のdynamic MRIをFig.5に示すが、術後経過に伴い、血管相に相当すると思われる腎の増強効果が、特に髄質において著しく低下し、同時に濃染の出現時刻が次第に遅延した。また、術後第36日の検査からは、腎の辺縁部に、楔状の不染色領域が出現した。

Table 3 Values of parameters in patients of postoperative state

	postoperative date (days)	Ta (sec.)	Tb (sec.)	Tc (sec.)	Max C/M
Case 1	7	40	40	80	1.05
Case 2	13	28	54	82	1.04
Case 3	13	42	56	98	1.07
Case 4	6	36	40	76	1.08
Case 5	4	42	48	90	1.06
Case 6	5	-	-	-	1.00
Case 7	4	-	-	-	1.00
Case 8	6	-	-	-	1.00

Table 4 Detectabilities of MR findings in patients of postoperative state

	CMD on T1WI	Signal Increase in Cortex	Signal Drop in Cortex	Signal Drop in Medulla	Signal Drop in Calyces
Case 1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Case 2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Case 3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Case 4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Case 5	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Case 6	Yes	Yes	No	No	No
Case 7	No	Yes	No	No	No
Case 8	Yes	Yes	No	No	No

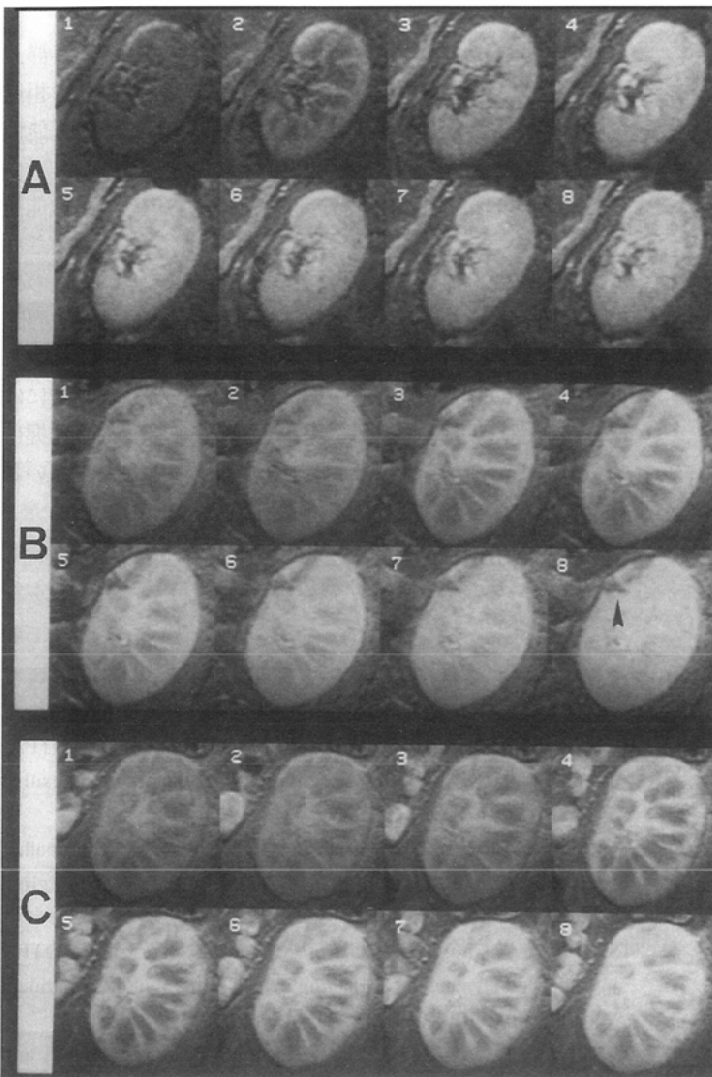


Fig. 5 Follow up dynamic MR studies of a case No. 7 with acute vascular rejection. Studies were performed (A) 4 days, (B) 36 days, (C) 65 days after the operation of renal transplantation, respectively. The images were taken at (1) 2.5sec. (2) 8.5sec. (3) 14.5sec. (4) 50.5sec. (5) 146.5sec. (6) 242.5sec. after the administration of Gd-DTPA, respectively. In the follow up studies, the appearance of renal enhancement was delayed gradually, and the degree of the renal enhancement was decreased less and less, especially in medulla. In the study of 36th day after the operation, the wedge-shaped unenhanced area became apparent (arrow head)

考 察

健常人の腎dynamic MRIでは、腎の解剖学的構築に一致した特徴的な経時信号変化が観察され、豊富な腎血流量、糸球体濾過率、尿細管機能を反映しているものと考えられる。われわれの注目した画像所見について言えば、初期皮髄信号区別および皮質信号低下の所見は腎糸球体血流量を、髄質信号低下および腎杯信号低下の所見は、糸球体濾過ならびに尿細管、集合管機能を反映するものと考えられ、腎の機能的、器質的障害がさまざまな所見の変化をもたらす¹⁾。

移植腎を対象に行った腎dynamic MRIにおいても、良好な機能を有する場合には健常例同様に、早期腎皮髄信号区別、皮質信号低下、髄質信号低下、腎杯信号低下の各所見

がほぼ全例に観察された。一方、障害腎では、各所見の消失やパラメーターの値に変化が認められた。所見の変化と腎の障害程度についてみると、皮質信号低下の消失、およびパラメーターの値の変化は、比較的軽度の腎機能障害例から認められ、髄質信号低下、腎杯信号低下の両所見の消失は、より高度の腎機能障害を有する例にのみ限られる傾向があった。初期皮髄信号区別は、高度機能障害群においても、約半数に観察され、消失したのは、特に経過の長い高度の機能障害例に限られていた。初期皮髄信号区別の消失は、高度の糸球体障害や、それに続発する小動脈シャントの発達などによる腎内の血流再分布がその原因として考えられ、各所見の中でも最も高度の器質的腎障害を示す所見であると推測される。したがって、機能良好群と軽度機能障害群とは、パラメーターの値および皮質信号低下の有無をもって、また軽度機能障害群と高度機能障害群とは、初期皮髄信号区別、髄質、腎杯信号低下の所見の有無をもって区別されるものと考えられ、腎dynamic MRIの半定量的腎機能検査法としての可能性が示されたものと考えられる。

腎移植後の急性期には血管合併症、尿路合併症や拒絶、急性尿細管壊死、薬剤障害などといった複雑な病態が存在し、その鑑別診断は必ずしも容易でない。臨床診断は、血管合併症、尿路合併症に対しては超音波、CT、MRI、血管造影などの画像診断法が用いられる¹⁷⁾⁻²¹⁾。一方、拒絶、急性尿細管壊死、薬剤障害に対しては、シンチグラフィや超音波、MRI T1強調像を用いた診断法の報告が見られるが¹⁷⁾⁻²⁴⁾、特異的所見に乏しいことや、各病態が合併して存在する場合があることから、正確な病態の把握には生検を必要とすることも少なくない。しかし、複数回の検査による経過観察を行うことにより、病態の鑑別診断に重要な情報を得ることは可能で、日常臨床においては有効な手法である。

今回の移植術後経過の検討では、dynamic MRIは、急性期の腎機能推移を非常によく反映した所見を呈した。また、同所見が血液生化学検査や尿検査の結果と異なり、透析や代謝、あるいは患者自身の残存腎機能の影響を受けない直接所見であることを考え合わせると、本法の移植術後管理における臨床的有用性は高いものと考えられる。一方、死体腎移植後、急性血管性拒絶を発症した症例7のdynamic MRIでは、他の症例と明らかに異なり、経過観察において腎の血管相に相当すると思われる早期の腎実質、特に髄質の増強効果が進行性に低下し、また腎内に小梗塞を思わせる楔状の不染色領域の出現を見た。いずれの所見も腎実質内における強い血流障害を反映するものと推測され、急性血管性拒絶の病理に合う所見で、その特異性について症例を重ねた検討が必要であると思われる。

造影前、T1強調像におけるCMDは、腎機能状態を示す指標の一つであるとされている。CMDは、健常腎では観察さ

れるが、機能低下腎では、腎皮質の水分含有量の増加や線維化のために消失するものと考えられている²²⁾⁻²⁵⁾。今回のわれわれの検討例では、CMDは、Table 1に示すように、機能的良好群において24検査中23検査、軽度機能障害群において14検査中11検査、高度機能障害群において18検査中10検査に観察された。したがって、軽度機能障害以上を異常(有所見)とした場合の同法のsensitivity, specificityはそれぞれ34.4%, 95.8%, 高度機能障害のみを異常とした場合には、それぞれ44.4%, 89.5%と算出され、単純T1強調像のCMDを指標とした腎機能評価法には、sensitivityの点において問題がある結果を得た。正確な腎機能の把握には、複数の所見から、半定量的評価の可能性が示されたdynamic Gd-DTPA enhanced MRIを行うことが望ましいと考えられた。

結 語

1) Gd-DTPA dynamic MRIを用いた移植腎機能評価法の検討

を行った。

2) 腎機能をもとに分類した機能良好群、軽度機能障害群、高度機能障害群の3群におけるdynamic MRIの結果に相違が確認され、本法の半定量的腎機能検査法としての可能性が示された。

3) 術後経過の検討においてdynamic MRIは急性期の腎機能推移をよく反映し、移植術後管理における有用性が示唆された。また、急性血管性拒絶を発症した一症例では、他の機能障害例と異なる画像所見が観察され、その特異性に興味を持たれる。

4) 造影前のT1強調像のCMDを指標とした腎機能評価法にはsensitivityの点において問題があり、正確な腎機能の把握にはGd-DTPAを用いたdynamic MRIを行うことが望ましいと考えられた。

本研究は、文部省科学研究、奨励研究A(課題番号03857132)の助成を受け行った。

文 献

- 1) Fommei E, Volterrani D: Renal nuclear medicine. *Semin Nucl Med* 25: 183-194, 1995
- 2) Dawson P, Peters AM: Functional imaging in computed tomography. The use of contrast-enhanced computed tomography for the study of renal function and physiology. *Invest Radiol* 28: S79-S86, 1993
- 3) Dawson P, Peters AM: Dynamic contrast bolus computed tomography for assessment of renal function. *Invest Radiol* 28: 1039-1042, 1993
- 4) McClennan BL: Ionic and nonionic iodinated contrast media: Evolution and strategies for use. *AJR* 155: 225-233, 1990
- 5) Barnhart JL, Kuhnert N, Douglas BA, et al: Biodistribution of GdCl₃ and Gd-DTPA and their influence on proton magnetic relaxation in rat tissues. *Magn Reson Imaging* 5: 221-231, 1987
- 6) Haustein J, Niendorf HP, Krestin G, et al: Renal tolerance of gadolinium-DTPA/dimeglumine in patients with chronic renal failure. *Invest Radiol* 27: 153-156, 1992
- 7) Haustein J, Schuhmann GG: Elimination of Gd-DTPA by means of hemodialysis. *Eur J Radiol* 11: 227-229, 1990
- 8) Rofsky NM, Weinreb JC, Bosniak MA, et al: Renal lesion characterization with gadolinium-enhanced MR imaging: Efficacy and safety in patients with renal insufficiency. *Radiology* 180: 85-89, 1991
- 9) Terens WL, Gluck R, Golimbu M, et al: Use of gadolinium-DTPA-enhanced MRI to characterize renal mass in patients with renal insufficiency. *Urology* 40: 152-154, 1992
- 10) 古川 顕, 村田喜代史, 森田陸司: Dynamic MR imagingを用いた腎機能評価法. *日本医放会誌* 56: 264-274, 1996
- 11) Carvin MJ, Arger PH, Kundel HL, et al: Use of Gd-DTPA and Fast Gradient-Echo and Spin-Echo MR Imaging to Demonstrate Renal Function in the Rabbit. *Radiology* 170: 705-711, 1989
- 12) Carvin MJ, Arger PH, Kundel HL, et al: Acute Tubular Necrosis; Use of Gadolinium-DTPA and Fast MR Imaging to Evaluate Renal Function in the Rabbit. *JCAT* 11: 488-495, 1987
- 13) Choyke PL, Frank JA, Girton ME, et al: Dynamic Gd-DTPA-enhanced MR Imaging of the Kidney; Experimental Results. *Radiology* 170: 713-720, 1989
- 14) Semelka RC, Hricak H, Tomei E, et al: Obstructive Nephropathy; Evaluation with Dynamic Gd-DTPA-enhanced MR Imaging. *Radiology* 175: 797-803, 1990
- 15) Frank JA, Choyke PL, Girton ME, et al: Gadolinium-DTPA Enhanced Dynamic MR Imaging in the Evaluation of Cisplatin Nephrotoxicity. *JCAT* 13: 448-459, 1989
- 16) Kikinis R, von Schulthess GK, Jager P, et al: Normal and Hydronephrotic Kidney; Evaluation of Renal Function with Contrast-enhanced MR Imaging. *Radiology* 165: 837-842, 1987
- 17) Salaman JR: Monitoring of rejection in renal transplantation. *Immunol Lett* 29: 139-142, 1991
- 18) Oliver 3rd JH: Clinical indications, recipient evaluation, surgical consideration, and the role of CT and MRI in renal transplantation. *Radiol Clin North Am* 33: 435-446, 1995
- 19) Shah AN: Radionuclide imaging in organ transplantation. *Radiol Clin North Am* 33: 473-496, 1995
- 20) Tublin ME, Dodd 3rd GD: Sonography of renal transplantation. *Radiol Clin North Am* 33: 447-459, 1995
- 21) Orons PD, Zajko AB: Angiography and interventional aspects of renal transplantation. *Radiol Clin North Am* 33: 461-471, 1995
- 22) Hricak H, Terrier F, Demas BE: Renal allografts: Evaluation by MR Imaging. *Radiology* 159: 435-441, 1986
- 23) Rholl KS, Lee JKT, Ling D, et al: Acute renal rejection versus acute tubular necrosis in a canine model: MR evaluation. *Radiology* 160: 113-117, 1986
- 24) Winsett MZ, Amparo EG, Fawcett HD, et al: Renal Transplant Dysfunction: MR evaluation. *AJR* 150: 319-323, 1988
- 25) Liou JTS, Lee JKT, Heiken JP, et al: Renal transplants: Can acute rejection and acute tubular necrosis be differentiated with MR Imaging? *Radiology* 179: 61-65, 1991