

移植腎における ^{31}P MRS の有用性

瀬戸一彦

聖路加国際病院放射線科*

はじめに

^{31}P magnetic resonance spectroscopy (以下 ^{31}P MRS と略す) は、移植前の腎の viability を評価する上で有用な検査法とされているが^{1)~7)}、移植後の腎のスペクトルについての検討は、あまり行われていない⁸⁾。そこで、移植後の腎について、スペクトルのピークの相対比と腎機能の経過とを比較し、 ^{31}P MRS の移植腎の予後判定における有用性について検討した。

基礎的検討

^{31}P MRS を用いて移植腎を評価する上で、スペクトルのピークの相対比を用いたが、リン酸化合物の濃度とピークとの関係について基礎的検討を行った。

1. 方法

使用した装置は、シーメンス旭メディテック社製 RS-200 (静磁場強度 2.0 T) および Philips 社製 Gyroscan S 15 (1.5 T) である。RS-200 では、test tube にリン酸化合物 2 ml を入れて測定を行った。また、Gyroscan S 15 では、臨床例に用いたものと同じ surface coil の上にリン酸化合物を入れた球体ファントム (体積 24

ml) を置いて測定を行った。

2. 検討項目と結果

(1) KH_2PO_4 の濃度とスペクトルのピークとの相関性

5 種類の濃度の異なる KH_2PO_4 水溶液各 2 ml を RS-200 で各濃度について 5 回ずつ測定し、スペクトルのピークと KH_2PO_4 水溶液の濃度との相関性を調べた (Fig.1-a, b)。グラフの縦軸は、0.4 mmol/2 ml の KH_2PO_4 水溶液を 5 回測定して、そのピークの平均値を 1 とした場合のピークの相対比を表し、グラフの黒丸 (●) は、5 回の測定の平均値を表している。ピークの高さの相対比を用いた場合、相関係数は 0.9964 であり (Fig.1-a)、面積比を用いた場合は 0.9976 (Fig.1-b) と、いずれも良い相関が認められた。

同様に、5 種類の濃度の KH_2PO_4 水溶液の入った球体ファントム (体積 24 ml) を Gyroscan S 15 で測定した (Fig.1-c, d)。グラフの縦軸は、2 mmol/24 ml の KH_2PO_4 水溶液を 5 回測定した平均を 1 とした場合の相対比を表している。 KH_2PO_4 水溶液の濃度とピークの相対比との間の相関係数は、高さの相対比を用いた場合が 0.9985 (Fig.1-c)、面積比を用いた場合が 0.9994 (Fig.1-d) であった。

(2) 複数のリン酸化合物の濃度とスペクトルの

キーワード magnetic resonance spectroscopy, phosphorous-31 MRS, renal transplantation

*前 国立佐倉病院放射線科

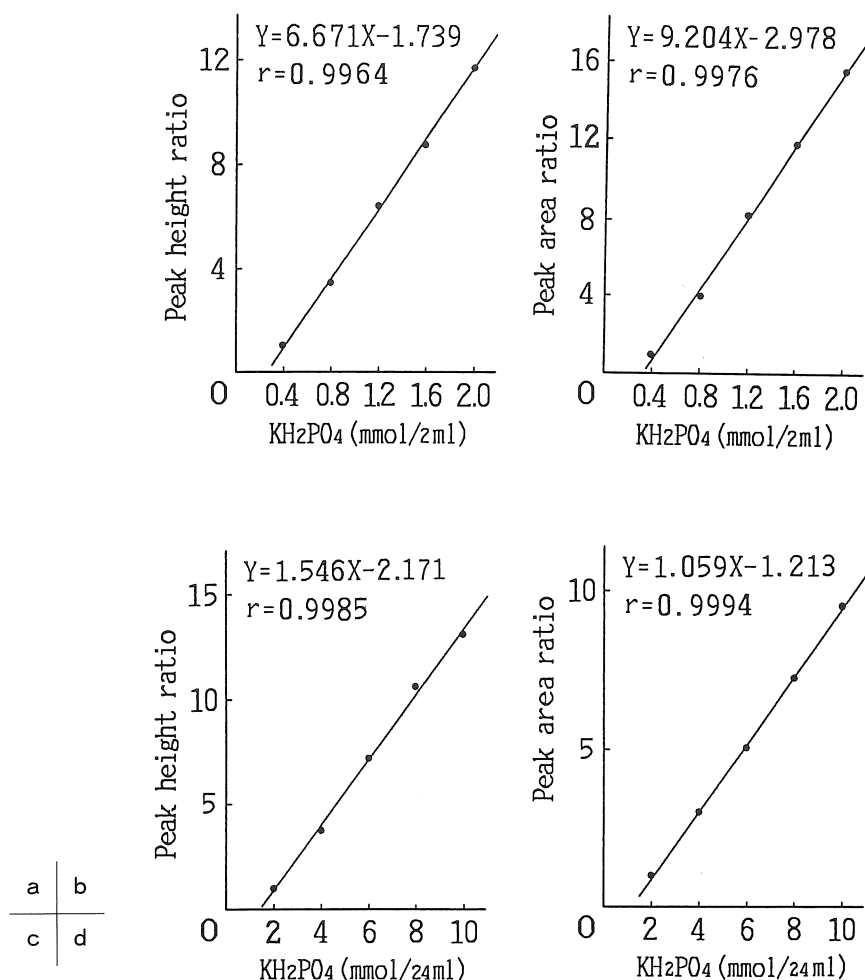


Fig.1. Correlation between the concentration of KH_2PO_4 solution and peak ratio. (a) Peak height ratio with a RS-200 system (b) Peak area ratio with a RS-200 system (c) Peak height ratio with a Gyroscan S 15 system (d) Peak area ratio with a Gyroscan S 15 system.

ピークの相対比に関する検討

Adenosine-5'-monophosphate disodium salt (AMP), KH_2PO_4 , creatine phosphate (PCr) を含む水溶液 2 ml を RS-200 で測定し、各スペクトルのピークの相対比について検討を行った。各球体ファントムに含まれる AMP および KH_2PO_4 の量は一定 (各 0.2 mmol/2 ml) とした。PCr の量をそれぞれ 0.2, 0.4, 0.6

mmol/2 ml として、PCr の他の化合物 (AMP および KH_2PO_4) に対する相対比について検討した。その結果、リン酸化合物の量の相対比とスペクトルのピークの相対比との間には良好な相関が認められた (Fig.2-a, b)。

Gyroscan S 15 を用いた検討でも、同様に、リン酸化合物の量の相対比とスペクトルのピークの相対比との間には、良好な相関が認められた

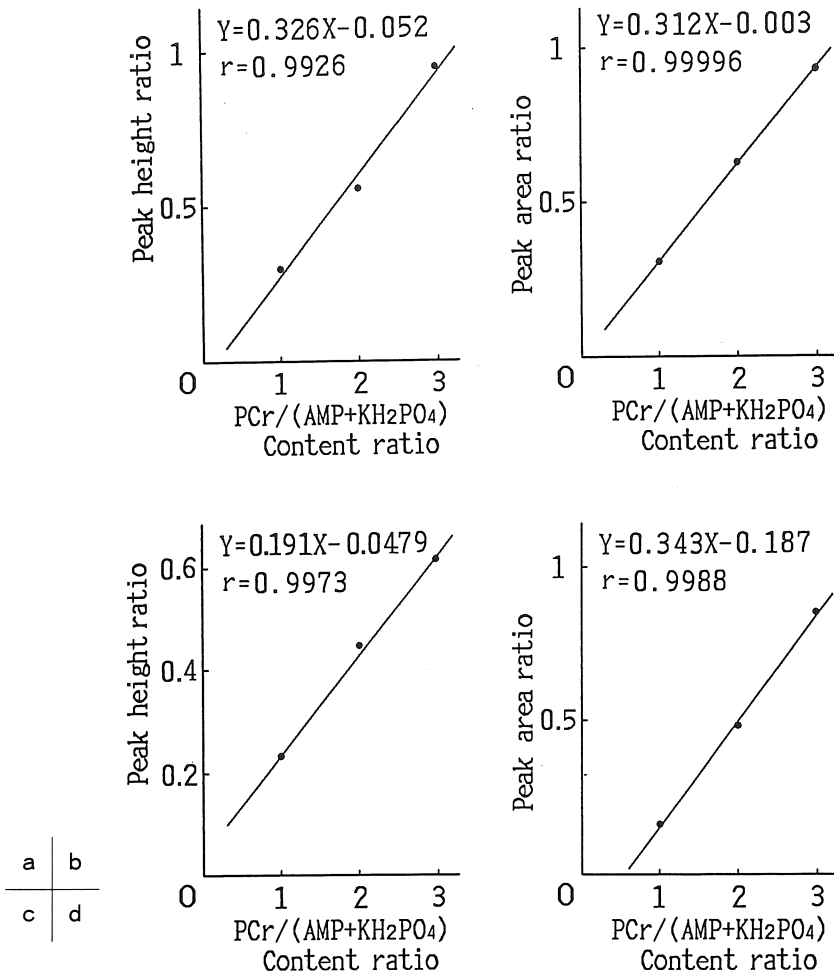


Fig. 2. Correlation between the concentration ratio of phosphate compounds (AMP, KH_2PO_4 and PCr mixtures) and peak ratio. (a) Peak height ratio with a RS-200 system (b) Peak area ratio with a RS-200 system (c) Peak height ratio with a Gyroscan S15 system (d) Peak area ratio with a Gyroscan S15 system.

(Fig.2-c, d).

(3) 基礎的検討の考察

リン酸化合物の濃度とスペクトルのピークの相対比との間には、良好な相関が認められた。従来から、化合物の濃度とスペクトルのピークの面積比との間には、良好な相関があるとされているが、今回の検討では、これを裏付ける結果が得られた。また、十分な磁場の均一性が得られる状態では、化合物の濃度とピークの高さの相対比との間にも、良い相関が存在すること

が示唆された。

臨床的検討

1. 対象と方法

対象は、腎移植を行った15例（男性11例，女性4例）である。年齢は、16才から42才で、平均31.4才、移植から検査までの期間は、平均41.0カ月である。なお、生体腎移植は9例，死体腎移植は6例である。

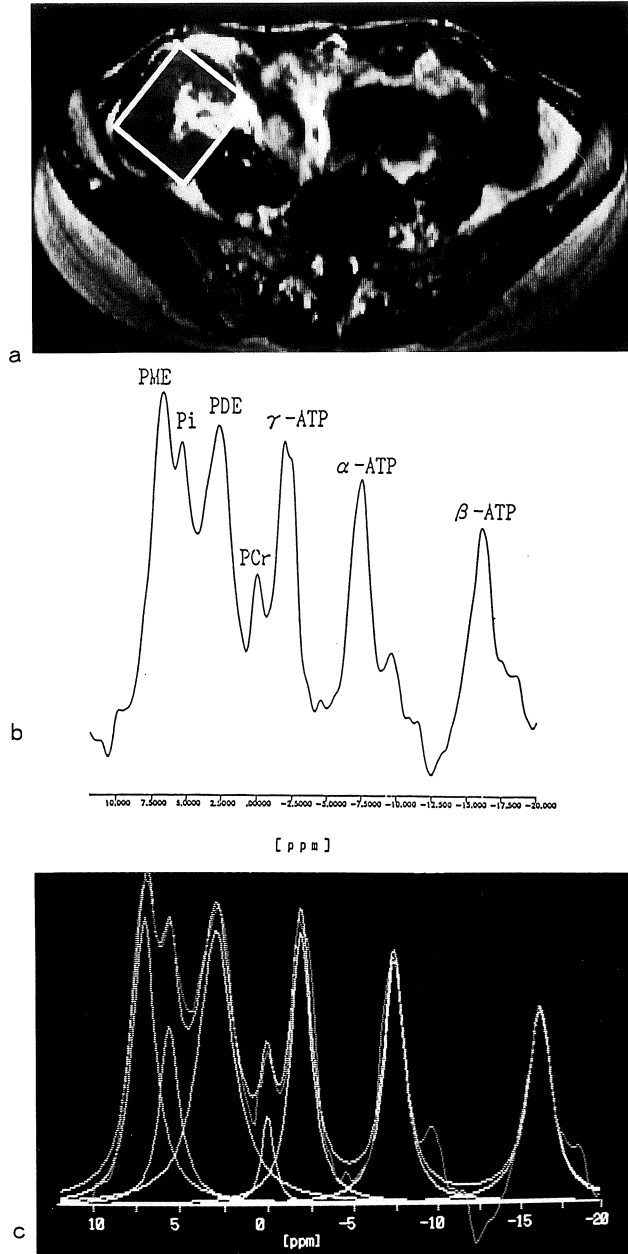


Fig.3. ^{31}P spectrum (a) Proton images of the transplanted kidney shows the position of VOI (volume of interest) used to obtain the ^{31}P spectrum of Fig. 3-b (b) ^{31}P spectrum of transplanted kidney. PME=phosphomonoesters ; Pi=inorganic phosphate ; PDE= phosphodiesters ; PCr=phosphocreatinine ; and ATP=adenosine triphosphate. (c) The line fitting of ^{31}P spectrum of transplanted kidney. The line fitted spectrum (yellow line) can be obtained from the original one (blue line), assuming the presence of 7 signal with Lorentzian line shape (white line).

³¹P MRS の測定には、静磁場強度 1.5 T の MRI/S 装置 (Gyrosan S 15) および surface coil を使用した。まず、¹H イメージから測定領域を設定したのち (Fig.3-a), ISIS 法を用いて測定を行った。Fig.3-a で、骨盤腔右寄りに、移植腎が認められるが、その移植腎に重なってみられる四角い枠が、設定した測定領域を表している。繰り返し時間は 2 秒、積算回数は 512 回とした。得られたスペクトルの一例を Fig.3-b に示す。PME は phosphomonoester, Pi は無機リン酸, PDE は phosphodiester, PCr はクレアチンリン酸, α -, β -, γ -ATP は、アデノシン三リン酸を表している。

得られたスペクトルに対して、非線形最小二乗法を用いてローレンツ曲線への curve fitting を行い (Fig.3-c), 各ローレンツ曲線の面積を求めた。Fig.3-c で、青線は実測値を、白線はローレンツ曲線を、黄線はローレンツ曲線の和を表している。得られたスペクトルのピークのうち、PME, Pi, PDE, β -ATP, について、各々の高さの相対比およびローレンツ曲線の面積比を求め、腎機能との比較を行った。

2. 結果

(1) 腎機能ピークの相対比に関する検討

MRS 施行時期における血清クレアチニン (S-Cr) および尿素窒素 (BUN) の値 (Table 1-a) と、ピークの相対比との間に相関があるかどうか検討を行った (Table 1-b)。表の値は相関係数を表している。S-Cr, BUN の値とピークの相対比との間には、有意な相関は認められなかった。

(2) 腎機能の経時的変化とピークの相対比に関する検討

血清クレアチニン (S-Cr) の経時的変化を、Fig.4 に示す。横軸の値は MRS 施行時からの月数を表し、横軸の 0 点は、MRS 施行時を表している。S-Cr が経時的に上昇 (腎機能が低下) 傾向を示すものと、腎機能が横ばい傾向を示すものが認められる。

腎機能の経時的変化に着目し、Table 2-a に示す基準を用いて、その総点数から分類を行った。Table 2-b の一番右側の列で、P は経時的腎機能低下群 (progressive group) を、S は腎機能安定群 (stable group) を表している。

腎機能の経時的変化のパターンによって分類した 2 つの群について、ピークの高さの比およ

Table 1. Correlation between peak ratio obtained from ³¹P spectrum and serum creatinine (S-Cr), and BUN levels. (a)Subjects list and S-Cr and BUN levels at MRS study (b)Correration coefficient.

a

Case	Age	Sex	TPS	S-Cr	BUN	U-Prot
1	30	M	L	2.5	36	+
2	22	F	L	1.0	16	-
3	31	M	L	2.1	36	±
4	39	M	L	1.4	29	++
5	30	M	C	1.7	21	±
6	40	M	C	1.4	23	±
7	39	M	L	2.5	41	++
8	21	M	L	2.2	34	-
9	29	F	C	1.5	33	+++
10	38	M	L	1.5	25	++
11	42	M	C	1.1	19	-
12	23	M	C	2.2	44	±
13	33	F	L	3.1	64	++
14	38	M	C	1.0	16	-
15	16	F	L	1.0	24	-

Height ratio	S-Cr	BUN
β -ATP/Pi	-0.330	-0.378
β -ATP/PME	-0.295	-0.209
β -ATP/PDE	-0.180	-0.132
PDE/PME	0.392	0.070
PDE/Pi	-0.080	-0.387
PME/Pi	-0.294	-0.473

Area ratio	S-Cr	BUN
β -ATP/Pi	-0.264	-0.357
β -ATP/PME	0.327	0.507
β -ATP/PDE	-0.085	-0.238
PDE/PME	0.374	0.586
PDE/Pi	-0.285	-0.259
PME/Pi	-0.056	-0.187

b

び面積比を比較した (Fig.5-a). β -ATP/Pi をはじめ多くのピーク比で, P 群は S 群よりも有意に低い値を示した. その中で, 特に β -ATP/Pi は, 他のピーク比に比べて, 顕著な有意差が認められた.

β -ATP/Pi の値を Fig.5-b に示す. 図の左側の, ピークの高さから求めた値では, S 群であるのに P 群と同じレベルの値を示すものがみられた. しかし, 図の右側の, 面積から求めた値では, P 群と S 群で値がオーバー・ラップするものは認められなかった. 今回の検討では, 両者の間の境界値は 1.16 程度と思われた. また, 同一被検者に対して同一日に行った 3 回の測定では, ピークの高さの相対比を用いた場合, 変動係数は 4.11%, 面積比を用いた場合 2.21% と比較的良好な値が得られた.

(3) 血清クレアチニン値および血清尿酸値と移植腎の予後に関する検討

MRS 施行前の血清クレアチニン値 (S-Cr) あるいは血清尿酸値 (UA) 値からその予後を推

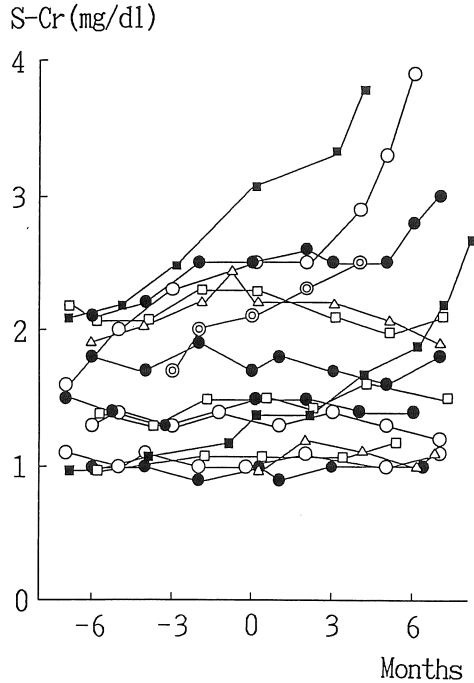


Fig. 4. Changes of serum creatinine levels, before and after MRS study.

Serum creatinine	Score
Cr \geq 1.5mg/dl, Δ Cr/ Δ month \geq 0.04mg/dl/month	4
Cr \geq 1.5mg/dl, Δ Cr/ Δ month < 0.04mg/dl/month	1
Cr < 1.5mg/dl	0
BUN	
BUN \geq 25mg/dl, Δ BUN/ Δ month \geq 1.0mg/dl/month	3
BUN \geq 25mg/dl, Δ BUN/ Δ month < 1.0mg/dl/month	1
BUN < 25mg/dl	0
Uric acid (UA)	
UA \geq 12mg/dl	1
UA < 12mg/dl	0
Urine protein (UP)	
UP(+), (++) , (+++)	1
UP(\pm)	0

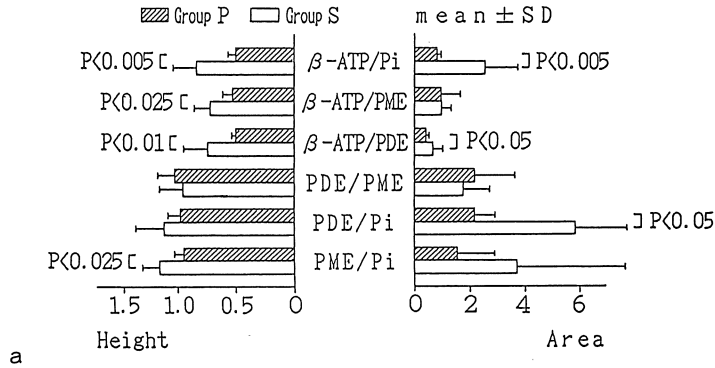
0 \leq Total score \leq 4 : good renal function (Stable group)
 5 \leq Total score : poor renal function (Progressive group)

Table 2. Rating of renal function (a) Rating (b) 15 cases were classified into two groups ; P=Progressive group ; S=Stable group

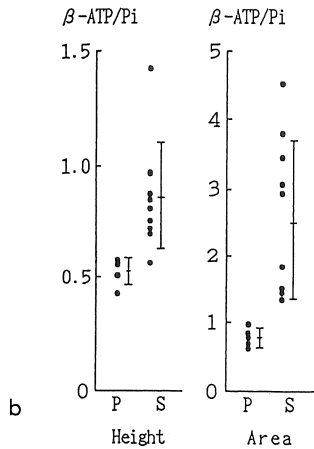
Case	S-Cr	BUN	UA	UP	Score	Group
1	4	3	0	1	8	P
2	0	0	0	0	0	S
3	4	3	1	1	9	P
4	4	3	0	1	8	P
5	1	1	0	1	3	S
6	0	0	0	0	0	S
7	4	3	0	1	8	P
8	1	1	1	1	4	S
9	0	1	0	1	2	S
10	0	1	0	1	2	S
11	0	0	0	0	0	S
12	1	1	0	0	2	S
13	4	3	0	1	8	P
14	0	0	0	0	0	S
15	0	0	0	0	0	S

b

a



a



b

Fig. 5. Peak ratios of ^{31}P spectrum of transplanted kidney in group P and group S. (a) Peak ratios calculated from both height and areas of each peaks. (b) Comparison of β -ATP/Pi between the two groups of patients with group P and group S.

測することが可能かどうか検討を行った。

P群(経時的腎機能低下群)のS-Crの経時的変化をFig.6-aに示す。Case 4(図中□)では、検査前のS-Crは1.5 mg/dl未満の良好な値を示しており、MRS施行後の急激な腎機能低下を予測することは困難と思われる。なお、この症例は β -ATP/Piによる評価では、P群とS群の境界値より低い値を示していた。残りの4例については、MRS施行前のS-Crは1.5 mg/dl以上の値を示し、かつ上昇傾向が認められることから、MRS施行後、ひきつづき腎機能が低下する可能性は高いと推測される。

S群(腎機能安定群)のS-Crの変化をFig.6-bに示す。Case 12(図で上側にある○の症例)では、MRS施行前のS-Crは1.5 mg/dl以上の

値を示し、しかも上昇傾向が認められている。このデータからは、クレアチニンは引き続き上昇する可能性が高いと推測され、MRS施行後にS-Crが再び低下し、経時的に腎機能が横ばい傾向を示すことを予測するのは困難と思われる。なお、この症例では、 β -ATP/PiはP群とS群の境界値より高い値を示していた。また、Case 15(Fig.6-bで下側にある○の症例)は、移植後3週でMRSを施行した症例だが、この場合には、移植後MRS施行までの期間が短いため、S-Crによる予後の推測は極めて困難と思われる。

(4)尿蛋白とピークの相対比とについての検討

Fig.7に示すように、 β -ATP/PiおよびPDE/Piでは、ピークの高さの比においても、また面

積比を用いた検討でも、尿蛋白陽性群は、陰性もしくは疑陽性の群に比べ、有意に低い値を示す傾向が認められた。

3. 考察

わが国でも腎移植が普及しつつあるが、慢性拒絶反応には2つのタイプがあると言われている。1つは、短期間に機能廃絶に至るタイプのものであり、もう1つは、長い年月をかけて徐々

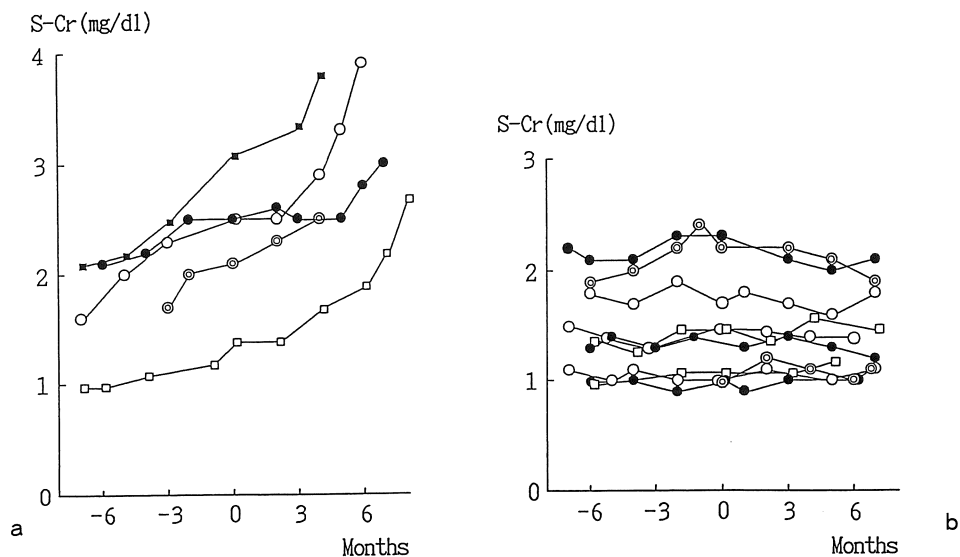


Fig.6. Changes of serum creatinine levels (a)Group P (b)Group S.

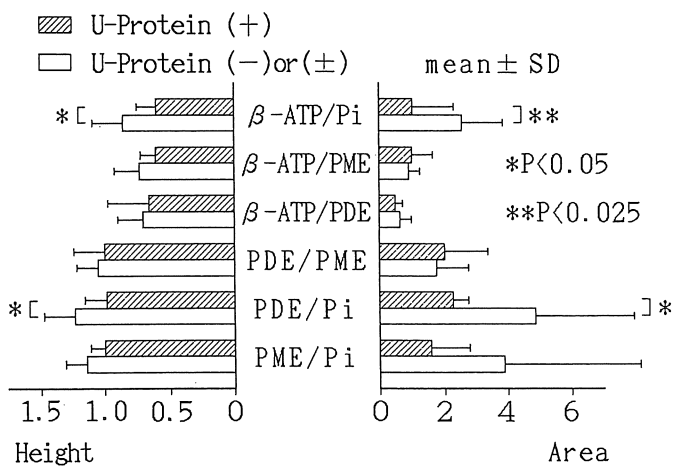


Fig.7. Comparison of peak ratio between the two groups of patients with urine protein (+) group and urine protein (-) or (±) group. U-Protein=urine protein.

に進行するものである。前者の場合には、患者に負担がかからぬよう、時期を逸せずに、透析再開などの処置を行う必要がある。また、移植腎では、腎機能がその経過中に一時的に低下することがしばしばみられる。したがって、腎機能低下がみられる場合問題となるのは、急激に腎機能低下をきたす予後不良群であるのか、あるいは、腎機能低下は一時的なもので、回復する可能性があるのかという点である。また、良好な腎機能を示すものの中から、近い将来急激な腎機能低下をきたす可能性が高いものを捜し出すことができれば、早期に治療を開始することも可能である。したがって、移植腎の予後を推測することは、治療上重要な意味をもつと考えられる。

移植前の腎臓の評価から移植後の腎機能を推定する試みは以前から行われている。単純冷却保存中の死体腎の viability を判定する microangiogram を用いる方法⁹⁾や、低温灌流保存中の viability を灌流量から評価する方法など¹⁰⁾があるが、臨床応用の点からは難があるといわれてきた。Weiner らは、MRS を単純冷却保存中の腎臓に対して用い、 β -ATP が低値を示したものは、移植後、急性尿細管壊死をおこす頻度が高かったと報告している¹⁾。Chan らは、単純冷却保存中に β -ATP が高値を示し、Pi が低値を示したものでは、移植後早期に腎機能の改善が認められたと述べている⁷⁾。また、Bretan らは、低温灌流保存中の死体腎に対して MRS を施行し、その viability の評価に MRS が有用であったと報告している⁶⁾。

Weiner¹⁾ や Chan⁷⁾ らは、MRS を移植前の保存腎の viability の評価に用いたが、そのメカニズムについて、彼らは、ATP が減少し、Pi が増加する原因は、血管系の虚血状態あるいは拒絶反応そのものによる変化であると述べている。Marshall らは、死体腎を用いて、実験的に虚血状態をつくりだし、虚血状態と ATP および Pi の変化との関連性を確かめている¹¹⁾。

移植後の腎の状態からその予後を推定する方

法としては、血流再開後における腎組織の ATP 再合成能を調べる方法¹²⁾ や腎生検があるが、侵襲的であるために、ルーチンには行われていない、病理学的に、移植腎には、大きく分けて2つの変化がおきると考えられている。1つは、急性拒絶反応にみられる細胞浸潤を主体とする変化であり、もう一つは、慢性拒絶反応にみられる免疫反応による動脈内膜の障害である。内膜が障害されることにより、内膜肥厚および内腔狭窄を生じ、細胞レベルで虚血状態がおこると考えられている。腎生検は、移植後の腎の状態を把握するために行われるが、このような病理学的な変化はしばしば巣状におこるために、1回の検索では判断を誤る可能性があり、数回の検索が必要とされている¹³⁾。

Chan らは、移植後早期 (14 日前後まで) の症例に対しても、MRS を用いた評価を試みている⁸⁾。そして、拒絶反応を示した群では、Pi/ β -ATP が高値を示したと述べている。また、Chan らは、移植後早期 (14 日前後まで) の症例に対して MRS を行い、その有用性について検討を加えている⁸⁾ が、それより後の時期に関しては触れていない。

そこで、移植後3週以降の症例について、MRS による評価を試みたが、腎機能が経時的に低下傾向を示すもの (P 群) と横ばい傾向を示すもの (S 群) の間には、 β -ATP/Pi をはじめ多くのピーク比で有意差がみられ、これらのピーク比は、腎機能の経時変化を反映していると思われた。また、ピークの相対比の中で、特に面積比から求めた β -ATP/Pi では、P 群と S 群がオーバーラップすることなく分かれ、両者の間の境界値は 1.16 程度と思われた。以上から、面積比から求めた β -ATP/Pi は、移植後の腎臓において、その予後を推測する上で有用であることが示唆された。

臨床用 MRI/S 装置では、生体内にある移植腎のリン酸化合物を非侵襲的に測定することが可能であり、生理的な状態で ATP, Pi などの細胞内の高エネルギーリン酸代謝に直接関与する

化合物を評価しうるものと思われる。今回の検討で、MRS 施行前は、血清クレアチニン値が 1.5 mg/dl 未満の良好な値を示していたが、MRS 施行後に急激な腎機能低下をきたした症例がみられた。この症例では、 β -ATP/Pi は低値を示しており、MRS の結果は、腎機能低下をきたすことを示唆していたものと思われる。ATP や Pi は細胞レベルの代謝を反映するものであることを考慮すると、血清クレアチニンの上昇という形で腎機能低下が現れる以前に、既に細胞レベルで生じている代謝異常を MRS は捕らえている可能性があると思われる。

既に述べたように、腎機能の低下が認められた場合、それが一時的なものなのか、あるいは、その後引き続いて急激な低下をきたすものであるのか予測することは、治療上重要な意味をもつと考えられるが、今回の検討では、そのような症例についても ^{31}P -MRS による評価は有用と思われた。

尿蛋白とピーク比についての検討では、尿蛋白陽性群が、陰性もしくは疑陽性の群に比べ、PDE/Pi が低値を示す傾向が認められた。PDE は、主として腎臓の髄質の乳頭部に多く存在し、髄質の細胞を高濃度の尿から、守る作用があるという報告がある¹⁴⁾。尿蛋白陽性群では PDE/Pi が低値を示すという傾向は、このメカニズムと関連がある可能性があると思われる。

MRS については、2つの問題点が残されている。その1つは、定量化の問題であり、もう1つは localization の問題である。

従来スペクトルの定量化は困難とされてきたが、成瀬らは、ガウス関数による近似を行って面積を求め、更に基準液を使って、定量化を試みている¹⁵⁾。近似に用いる関数の種類やその方法については、諸家の意見の分かれるところであり、どの方法を用いるのが適当であるのか定説はない。

Localization¹⁶⁾ については、ケミカルシフトによる誤差の問題や機械の性能による関心領域の大きさの制約などの問題が残されているが、

新しい領域選択法の開発や機械自体の性能の向上により、関心領域の大きさを腎臓の皮質と髄質を分離し得るほど小さくでき、しかも短時間で信号の得られる装置の開発が期待される。

ま と め

(1) ファントムを用いて基礎的検討を行い、リン酸化合物の濃度とスペクトルのピークの相対比との間に良好な相関が認められた。

(2) 移植腎に対して ^{31}P MRS を施行し、 α 、 β 、 γ -ATP、PCr、PDE、PME、Pi の各ピークが得られた。

(3) 得られたピークの高さの相対比および面積比について検討した結果、腎機能が経時的に低下傾向を示す群では、腎機能が横ばい傾向を示す群に比べて、 β -ATP/Pi などのピーク比が有意に低値を示した。

(4) 移植腎の予後については、血清クレアチニンの値およびその上昇率から、推測できる可能性があると思われるものも認められたが、推測が困難と思われるものも認められた。特に、後者のような症例では、 ^{31}P MRS を用いた評価、中でも面積比から求めた β -ATP/Pi による評価が有用であり、予後不良群と良好群との境界値は 1.16 程度と思われた。

(5) 蛋白尿陽性群では、尿蛋白陰性もしくは疑陽性の群に比べ、 β -ATP/Pi および PDE/Pi が低値を示す傾向がみられた。

(6) 以上から ^{31}P MRS は、移植腎の予後を評価する上で有用であることが示唆された。

本論文中の要旨は第 14 回日本磁気共鳴医学会総会 (1989 年、東京) および第 9 回 SMRM (Society of Magnetic Resonance in Medicine) 総会 (1990. New York) において発表した。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました千葉大学医学部放射線医学教室有水 昇

教授, 同第二外科学教室磯野可一教授, 並びに同第三内科学教室稲垣義明教授に深甚なる謝意を表します。また, 本研究に関して, 御指導賜った放射線医学総合研究所臨床研究部池平博夫先生, 橋本隆裕先生, 福田 寛先生, 同舘野之男部長, 国立佐倉病院臨床研究部柏原英彦部長, 同横山健郎副院長, 同外科大森耕一郎先生, 同三村信英院長に深謝致します。

本研究の一部は科学技術振興調整費により実施されました。

文 献

- 1) M. W. Weiner, W. R. Adam : Magnetic resonance spectroscopy for evaluation of renal function. *Semin Urol* 3 : 34-42, 1985.
- 2) G. M. Matson, D. B. Twieg, et al. : Application of image-guided surface coil P-31 MR spectroscopy to human liver, heart, and kidney. *Radiology*, 169: 541-547, 1988.
- 3) P. A. Bottomley : Human *in vivo* NMR spectroscopy in diagnostic medicine : Clinical tool or research probe ? *Radiology*, 170 : 1-15, 1989.
- 4) P. A. Sehr, G. K. Radda, et al. : A model kidney transplant studied by phosphorus nuclear magnetic resonance. *Biochem Biophys Res Com* 77 : 195-202, 1977.
- 5) H. Hricak : Phosphorus-31 MRS of the kidney. *Invest Radiol*, 24 : 993-996, 1989.
- 6) P. N. Bretan, A. C. Baldwin et al. : Preliminary clinical experience with pretransplant assessment of renal viability by phosphorus-31 magnetic resonance spectroscopy (31P-MRS). *Proc Transplantation*, 20 : 825-853, 1988.
- 7) L. Chan, M. E. French, et al. : Studies of human kidneys prior to transplantation by phosphorus nuclear magnetic resonance. in Pegy, Halasz, Jacobsen (eds) : *Organ Preservation*, vol. 3, MTP Press, Lancaster, 1981.
- 8) L. Chan, J. I. Shapiro : Magnetic resonance study of renal transplantation. *Renal Physiol Biochem*, 12 : 181-190, 1989.
- 9) 田中一誠 : 犬腎の単純灌流冷却-保存腎の Microangiography 所見. *移植*, 12 : 231-239, 1977.
- 10) L. H. Tolendo-Pereyra, J. S. Najarian, et al. : Pulsatile flow and viability of isolated perfused kidneys. *Transplantation*, 16 : 63-64, 1973.
- 11) V. Marshall : Organ and tissue preservation for transplantation : Monitoring by P-31 nuclear magnetic resonance. *Transplantation Proceedings*, 17 : 1693-1696, 1985.
- 12) P. J. Bore : Adenosine triphosphate regeneration and function in the rat kidney following warm ischemia. *Transplantation*, 27 : 235-237, 1979.
- 13) H. U. Zollinger : Morphology and pathogenesis of glomerulopathy in cadaver kidney allografts treated with antilymphocyte globulin. *Curr Top Pathol*. 57 : 1, 1973.
- 14) P. H. Yancy, M. E. Clark, et al. : Living with water stress-evaluation of osmolyte systems. *Science*, 217 : 1214-1222, 1982.
- 15) 成瀬昭二 : P-31 MRS による脳および脳腫瘍のリン化合物定量化の試み. *日磁医誌*, 8 : 243-254, 1989.
- 16) 上嶋康裕 : 領域選択スペクトロスコピー. *日磁医誌*, 7 : 3-23, 1987.

Phosphorus-31 Magnetic Resonance Spectroscopy for Evaluation of Renal Transplants

Kazuhiko SETO

*Department of Radiology, St. Lukes International Hospital
10-1 Akashi-cho, Chuo-ku, Tokyo 104*

^{31}P MRS was studied in 15 patients after renal transplantation. One group with gradual increase in serum creatinine has lower $\beta\text{-ATP/Pi}$ ratio than another group with stable course.

This work suggests that MRS parameters (such as $\beta\text{-ATP/Pi}$) correlate with the clinical course of renal function after transplantation. It seems possible to predict the prognosis of human transplanted kidney noninvasively by ^{31}P MRS.