

<原 著>

MRIを用いた肺血流減少型心疾患の肺動脈の評価

(平成3年2月4日受付)

(平成4年2月7日受理)

千葉県こども病院循環器科, 心臓血管外科

丹羽公一郎 青墳 裕之 内柴 三佳

藤原 直 松尾 浩三

key words: MRI, 肺血流減少型先天性心疾患

要 旨

肺血流減少型先天性心疾患29例(年齢2カ月から17歳)を対象としてMRIを用い肺動脈の形態の評価, 肺動脈径の計測を行い血管造影の結果と比較した. MRI診断装置はGE社製0.5テスラ超伝導診断装置を用い, 心電図同期法で水平断面, 冠状断面, 矢状断面の3方向で撮像した. 疾患の種類をとわず全例で左右の肺動脈が描出され, その形態, 径の計測などの評価が可能だった. MRIでは肺動脈分枝部狭窄は3例中2例で診断できたが, 肺動脈高度狭窄例でその判定が困難であった. 肺動脈径計測値およびPA indexをMRIと心血管造影とで比較すると右肺動脈は $Y=0.85X+0.44$ ($r=0.973$), 左肺動脈は $Y=0.87X+0.44$ ($r=0.958$)とMRIのほうがやや小さく評価されるものの両者に良好な相関が認められた. またPA indexは $Y=0.83X+0.54$ ($r=0.941$)であった. 以上からMRIは肺血流減少型先天性心疾患の肺動脈の非侵襲的評価に有用な方法と考えられた.

肺血流減少型心疾患は姑息手術, 心内修復術のいずれの方法を行う場合でも手術前に肺動脈(PA)の形態, 走行, 肺動脈径の評価が必要である. またPA indexは, 肺動脈低形成心疾患の修復の判断基準の一つとして広く用いられている⁴⁾. 肺血流減少型心疾患では肺動脈の走行が正常でないことが多く, 心エコー法での肺動脈の評価が難しい場合が少なくない. そこで従来肺動脈の走行, 肺動脈径の評価は心血管造影法により行うことが多かった. 一方MRIは自由な角度で心臓, 大血管の描出が可能で先天性心疾患の形態診断に広く用いられており¹⁾³⁾, 肺動脈の形態評価⁵⁾⁷⁾, 径の評価⁸⁾⁹⁾の報告も見られている. しかしながら肺動脈径計測の報告は, 肺動脈分枝後近位部の計測の報告であり, PA indexに応用することは難しい. そこで我々は種々の肺血流減少型心疾患を対象とし, 肺動脈の走行, 肺動脈径, PA indexの評価を試み, この結果を心血管造影結果と比較し, 肺血流減少型心疾患におけるMRIの

有用性につき検討した.

対象および方法

肺血流減少型先天性心疾患29例(年齢は2カ月から17歳)を対象とした. フォロー四徴症12例, 右室性単心室, 肺動脈閉鎖(PA)2例, 肺動脈弁狭窄(PS)4例・両大血管右室起始, PS1例・修正大血管転換(すべて心室中隔欠損を伴う), PA1例, PS3例・三尖弁閉鎖IA1例, IB2例・完全大血管転換II型1例, 純型肺動脈弁閉鎖2例の計29例であった. 肺動脈分枝部狭窄は3例に認めた. Blalock-Taussig shunt術後は9例(左6例, 右1例, 両側2例)であった. MRI診断装置はGE社製0.5テスラ超伝導診断装置を用い, 心電図同期法, SE (spin echo) 法で水平断面, 冠状断面, 矢状断面の三方向断面を撮像した. 繰り返し時間は心拍数に依存, 画像加算回数は4回, エコー時間は30 msec, FOV (field of view) は20~30cm, マトリックスは128, 256×128, 256, スライス厚は10歳以上の例は10mm, これ以下は5ないし7mmとした. また各方向2回の撮像とし, 1回目の撮像のgapを2回目の撮像で埋め, 結果的にgapは0とした. 5歳以下では

別刷請求先: (〒280-02) 千葉市辺田町579-1
千葉県こども病院循環器科 丹羽公一郎

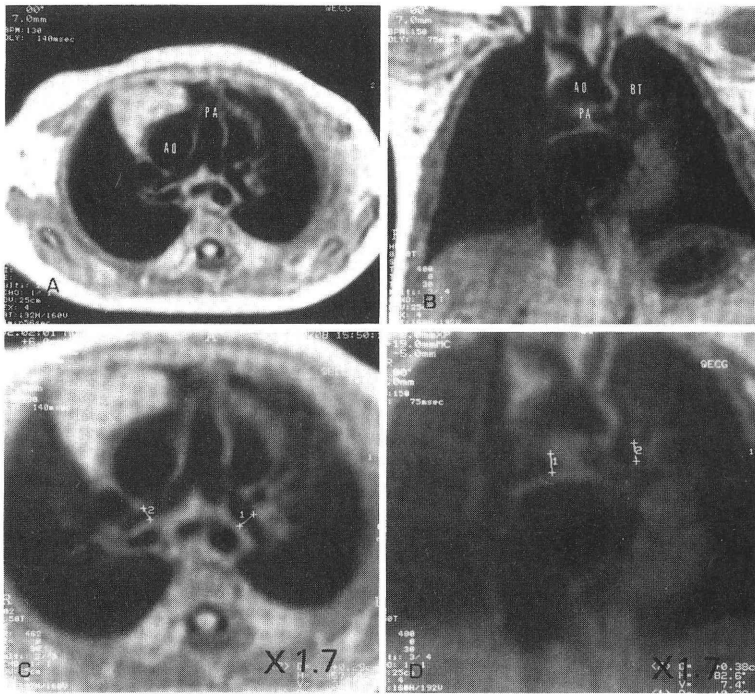


図1 1歳，純型肺動脈閉鎖の症例。Aは肺動脈を含む横断像，Bは肺動脈を含む冠状断像，C，Dはそれらの拡大像(×1.7)である。TR/TE：400/30，slice厚7mm。この例では，肺動脈径は横断像，および冠状断像で計測（左肺動脈はBlalock-Taussig shuntのdistalで計測）し，左右とも冠状断像の値を肺動脈径として用いた。AO：大動脈，PA：肺動脈，BT；Blalock-Taussig shunt。

30×30cm径の head coil を使用した。この三方向を multi-slice 法で撮像し主に主肺動脈，肺葉枝分枝以前の左右の肺動脈の走行，形態の診断，左右肺動脈径の評価を行った。肺動脈診断時の肺動脈を含む断面が，安静時の心電図上で収縮後期となるように（T波の頂点から下行部分で撮像されるように），multi-sliceの開始断面を設定した。肺動脈径の計測は，三方向撮像のいずれかの断面で第一分枝を決定し，その直前の肺動脈内径を計測した。また肺動脈分枝狭窄例，Blalock-Taussig shunt 施行例では，その distal で計測した。また今回の検討では，三方向で測定した肺動脈径のうちの最大値を肺動脈径として採用した。心血管造影法は，60コマ/分でシネ撮影し，肺動脈第一分枝の直前で，最大拡張時の肺動脈径を採用した（図1）。PA index⁴⁾は $PA\ index = \pi(R^2 + L^2) / 4 \cdot BSA$ （R：右肺動脈枝の最大拡張時の径(mm)，L：左肺動脈枝の最大拡張時の径(mm)，BSA：体表面積(m²))で計算した。またMRIは全例，心血管造影検査前1週間以内に施行した。

結 果

疾患の種類を問わず全例で左右の肺動脈の走行，形態，左右肺動脈の接合性，肺動脈径の評価が可能だった。PAを伴う単心室の2例では肺動脈幹が無く，MRIでは，肺動脈幹と考えられる部分にやや輝度の強い組織を認めた。左右肺動脈は全例 confluent であった。肺動脈分枝狭窄は3例中2例で診断できた（図2）。残りの1例はMRIで肺動脈分枝閉塞と診断したが，心血管造影では分枝部の高度狭窄を認めた。肺動脈径計測値およびPA indexをMRIと心血管造影とで比較すると，右肺動脈は $Y = 0.85X + 0.44$ ($r = 0.973$)，左肺動脈は $Y = 0.87X + 0.44$ ($r = 0.958$)とMRIのほうがやや小さく評価されるものの両者に良好な相関が認められた（図3，4）。またPA indexは $Y = 0.83X + 0.54$ ($r = 0.941$)であった（図5）。

考 案

肺血流減少型心疾患は姑息的手術を行うにせよ，心内修復術を施行するにせよ肺動脈の形態，走行，発育程度の評価が必要となる。CT，RIなどでその評価を行

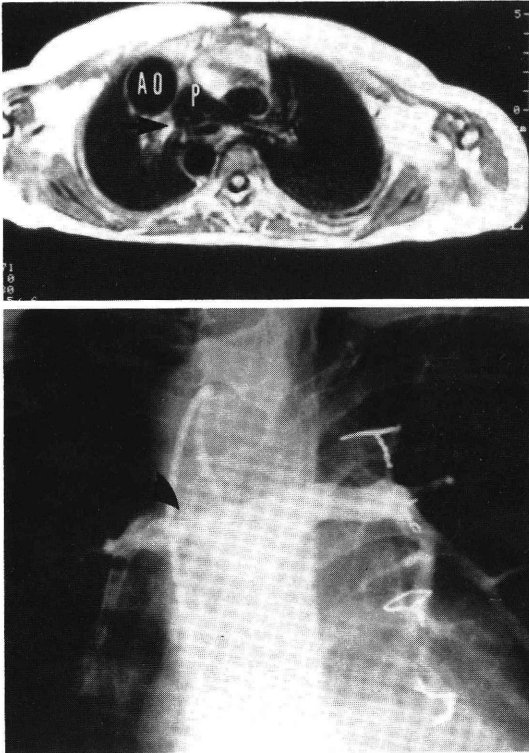


図2 8歳、右肺動脈狭窄を伴う修正大血管転換、右胸心の肺動脈所見。上段はMRIの横断像 (TR/TE=571/30, slice厚7mm), 下段はシャント造影の右前斜位像, MRIで狭窄部位が明瞭に描出されている。AO: 上行大動脈, P: 肺動脈, 矢印は狭窄部位を示す。

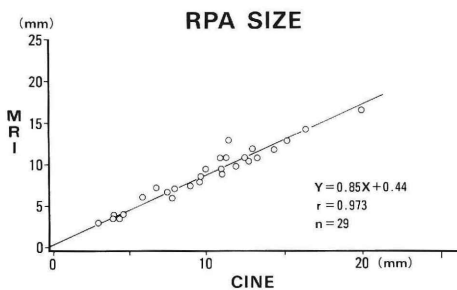


図3 右肺動脈径のMRIと心血管造影による計測結果の相関図および回帰直線, $r=0.97$ と良好な相関が得られている。

うこともできるが、患者の被曝、施行方法の複雑さ、肺動脈の描出精度を考慮するとこれらの方法は実際的ではない。心エコー法は簡便で肺血流減少型心疾患の診断にも非常に有用であり広く用いられている。しか

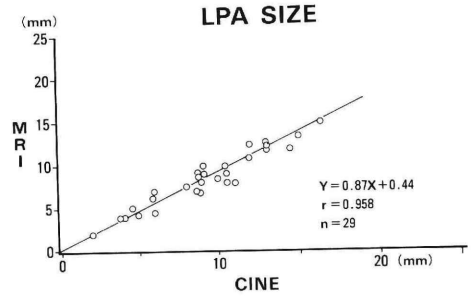


図4 左肺動脈径のMRIと心血管造影による計測結果の相関図および回帰直線, $r=0.96$ と良好な相関が得られている。

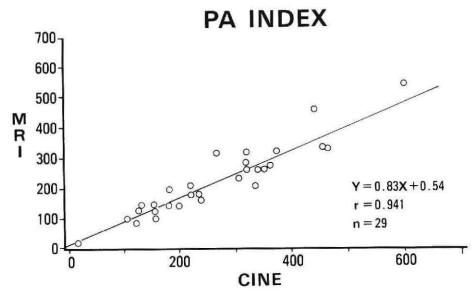


図5 PA indexのMRIと心血管造影による計算結果の相関図および回帰直線, $R=0.94$ と良好な相関が得られている。

し心エコー法は、肺動脈の描出は可能だが、正常大血管関係の場合でも左肺動脈の定量的評価が難しいとされている¹⁰⁾¹¹⁾。一方、MRIは胸廓の変形、心臓の位置異常にかかわらず、大血管を自由な角度から描出出来るため血管系の描出は容易で、肺血流減少型心疾患の肺動脈の形態評価に有用と考えられる。これまでにMRIによる肺動脈の評価に関する報告はいくつかみられている⁵⁾⁹⁾。心室中隔欠損に伴う肺動脈弁閉鎖を中心とした報告では^{5)~7)}、右室流出路、低形成の肺動脈、側副血行の近位部の描出が可能で臨床的に有用と述べられている。今回の肺血流減少型心疾患を対象とした検討でも、MRIは全例肺動脈の主幹部、肺動脈分枝の明瞭な描出、診断が可能だった。また今回の検討例中、肺動脈分枝が大動脈など他の構造物と重なるため、心血管造影では肺動脈、左右肺動脈分枝部を十分に描出しにくい例があったが、MRIはこういった例でも肺動脈を明瞭に描出可能であった。これは心血管造影は投影図であるがMRIは断面図であるため画像の重なりが少ないためと考えられる。またCanterら⁸⁾は種々の

チアノーゼ型心疾患を対象としたMRIの検討を行い、肺動脈狭窄について、central typeはMRIと心血管造影で良く一致したが、focal typeではMRIで診断できなかったと報告している。我々の検討例中1例でも、肺動脈の高度狭窄病変と閉塞病変の鑑別は困難であった。この理由としてMRIの分解能による制約の可能性もあるが、高度狭窄病変では血流がうっ滞し血管内に血流シグナルを生じ、SE法では肺動脈壁と血管内腔との判別が難しいことがある¹²⁾¹³⁾。このためSE法を用いた検討では、高度狭窄病変の診断が難しい場合があるものと考えられる。

また肺動脈の定量的評価に関して、Canterらの二つの報告があり、一つはチアノーゼ型心疾患20例⁸⁾を対象とした報告、もう一つは重複はあるがファロー四徴症22例⁹⁾を対象とした報告である。両報告とも肺動脈径は、MRIと心血管造影法で良い相関が得られており、我々の結果と同様であった。回帰直線は、左肺動脈がMRI=0.86(Angio)+1.43、右肺動脈がMRI=0.92(Angio)+0.80と報告した。我々の結果はXの勾配が彼らの結果と類似しており、同様の傾向(肺動脈が太くなると心血管造影より細く評価される)ではあるが、彼らの報告より肺動脈をやや細く評価する結果となっている。この原因として肺動脈径の計測部位、phaseの違い、スライス厚の違い(報告例は5mm、我々の例は7ないし10mm厚の症例も含んでいる)などが考えられる。報告例は左肺動脈は肺動脈分枝直後、右肺動脈は上行大動脈の後方で収縮期に計測している。我々はPA indexを肺血流減小型心疾患の心内修復基準の一つとしているため、左右肺動脈とも肺動脈第一分枝の直前で計測した。肺動脈第一分枝の同定は、三方向の撮影を組み合わせることにより殆どの例で可能である。また今回の検討では、三方向の肺動脈撮像断面すべてが必ずしも適切な肺動脈計測断面となっていない可能性がある事を考え、三方向で計測した肺動脈径の最大径を用いた。従って肺動脈径の測定部位が、心血管造影法と大幅に異なった可能性は少ないものと考えられる。肺動脈計測時のphaseは、心血管造影ではその最大拡張時の径を採用し、MRIは収縮期で撮像した。症例により収縮期が肺動脈の最大拡張時でない例がある可能性は考えられる。肺動脈径をより正確に計測するためには、肺動脈の走行に垂直な断面を用いると良いと考えられ、今後この検討も必要と思われる。しかしこの方法を用いるためには斜断層を用いることが必要になり、肺動脈以外の評価も同時に行うことを

考えると、現状ではやや時間がかかりすぎる欠点がある。

我々の結果はMRIの方がやや細く評価するものの、MRIと心血管造影法の両方で非常に良い相関が得られており、心血管造影による拡大率、計測法による誤差、臨床で要求される血管径計測の正確さから判断しPA indexの判定に有用と考えられる。以上からMRIによる肺動脈の形態診断、肺動脈径の計測は非侵襲的画像診断法として非常に有用な方法と考えられる。

文 献

- 1) Boxer, R.A., Singh, S., LaCorte, M.A., Goldman, M. and Stein, H.L.: Cardiac magnetic resonance imaging in children with congenital heart disease. *J. Pediatr.*, 109: 460, 1986.
- 2) Didier, D., Higgins, C.B., Fisher, M.R., Osaki, L., Silverman, N.H. and Cheitlin, M.D.: Congenital heart disease: Gated MR imaging in 72 patients. *Pediatr. Radiol.*, 158: 227, 1986.
- 3) Chung, K.J., Simpson, L.A., Newman, R., Sahn, D.J., Sherman, F.S. and Hesseink, J.R.: Cine magnetic resonance imaging for evaluation of congenital heart disease: Role in pediatric cardiology compared with echocardiography and angiography. *J. Pediatr.*, 113: 1028, 1988.
- 4) Nakata, S., Imai, Y., Takanashi, Y., Kurosawa, H., Tezuka, K., Nakazawa, M., Ando, M. and Takao, A.: A new method for the quantitative standardization of cross-sectional areas of the pulmonary arteries in congenital heart disease with decreased pulmonary blood flow. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 88: 610, 1984.
- 5) Rees, R.S.O., Somerville, J., Underwood, S.R., Wright, J., Firmin, D.N., Klipstein, R.H. and Longmore, D.B.: Magnetic resonance imaging of the pulmonary arteries and their systemic connections in pulmonary atresia: Comparison with angiographic and surgical findings. *Br. Heart J.*, 58: 621, 1987.
- 6) Parsons, J.M., Baker, E.J., Hayes, A., Ladusans, E.J., Qureshi, S.A., Anderson, R.H., Maisey, M. N. and Tynan, M.: Magnetic resonance imaging of the great arteries in infants. *Int. J. Cardiol.*, 28: 73, 1990.
- 7) Kersting-Sommenhoff, B.A., Sechtem, U.P. and Higgins, C.B.: Evaluation of pulmonary blood supply by nuclear magnetic resonance imaging in patients with pulmonary atresia. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 11: 166, 1988.
- 8) Canter, C.E., Gutierrez, F.R., Mirowitz, S.A.,

- Martin, T.C. and Hartmann, A.F. Jr.: Evaluation of pulmonary arterial morphology in cyanotic congenital heart disease by magnetic resonance imaging. *Am. Heart J.*, 118: 347, 1989.
- 9) Mirowitz, S.A., Gutierrez, F.R., Canter, C.E. and Vannier, M.W.: Tetralogy of Fallot: MR findings. *Cardiac. Radiol.*, 171: 207, 1989.
- 10) Huhta, J.C., Piehler, J.M., Tajik, A.J., Hagler, D.J., Mair, D.D., Julstrud, P.R. and Seward, J. B.: Two dimensional echocardiographic detection and measurement of the right pulmonary artery in pulmonary atresia-ventricular septal defect: Angiographic and surgical correlation. *Am. J. Cardiol.*, 49: 1235, 1982.
- 11) 神田 進, 里見元義, 片山博視, 安河内聡, 門間和夫: 断層エコー法による PA index 測定の問題点 アンギオグラフィとの比較. *日小循誌*, 7: 284, 1991.
- 12) 渡辺 滋, 今井 均, 増田善昭, 稲垣義明: MRI による血流診断, 呼吸と循環, 34: 487, 1986.
- 13) Niwa, K., Tashima, K., Kawasoe, Y., Okajima, Y., Nakajima, H., Terai, M. and Nakajima, H.: Magnetic resonance imaging of myocardial infarction in Kawasaki disease. *Am. Heart J.*, 119: 1293, 1990.

Magnetic Resonance Imaging of the Pulmonary Arteries in Patients with Congenital Heart Disease with Decreased Pulmonary Blood Flow

Koichiro Niwa, Hiroyuki Aotsuka, Mika Uchishiba, Tadashi Fujiwara and Kozo Matsuo

Departments of Cardiology and Cardiovascular Surgery, Chiba Children's Hospital

We performed magnetic resonance imaging in 29 patients (2 months to 17 years of age) with congenital heart disease with decreased pulmonary blood flow to assess the usefulness of the technique in evaluation of pulmonary artery tree and calculation of diameter of the pulmonary arteries. Imaging was performed with a superconducting magnet operating at 0.5 T with spin echo sequence and ECG-gated multiple slices. In all of the 29 patients, bilateral pulmonary arteries were clearly visualized. In 2 of 3 patients with branch pulmonary stenosis, the sites of the pulmonary stenosis were clearly demonstrated. The diameter of the pulmonary arteries and PA index, as measured by magnetic resonance imaging, were significantly correlated those measured by cine angiogram ($r=0.973$, $y=0.85x + 0.44$ in the right pulmonary artery, $r=0.958$, $y=0.87 + 0.44$ in the left pulmonary artery and $r=0.941$, $y=0.83 + 0.54$ in PA index). In conclusion, magnetic resonance imaging was a useful modality for noninvasive assessment of pulmonary artery in congenital heart disease with decreased pulmonary blood flow.