

磁気共鳴画像法による
Blalock-Taussig シェント
および肺動脈の形態機能評価

Magnetic resonance im-
aging: Evaluation of the
Blalock-Taussig shunts
and anatomy of the pul-
monary artery

市田 路子
橋本 郁夫
宮崎あゆみ
津幡 眞一
岡田 敏夫
村上 新*
中島 愛子**
二谷 立介**

Fukiko ICHIDA
Ikuo HASHIMOTO
Ayumi MIYAZAKI
Shinichi TSUBATA
Toshio OKADA
Arata MURAKAMI*
Aiko NAKAJIMA**
Ryusuke FUTATSUYA**

Summary

The morphology and circulation of the pulmonary arteries and shunt vessels were evaluated by magnetic resonance imaging (MRI) in 8 patients with cyanotic heart disease after a Blalock-Taussig shunt operation. Their ages ranged from one month to 17 years. MRI permitted assessment of the size and patency of the Blalock-Taussig shunts, as well as the size and morphology of the pulmonary arteries in all patients. Measurements of the vessel diameters on MRI correlated well with the angiographic measurements (main pulmonary artery, $r=0.98$; right pulmonary artery, $r=0.98$; left pulmonary artery, $r=0.98$; and Blalock-Taussig shunt, $r=0.97$).

MRI successfully imaged 3 of 4 shunt obstructions and 3 of 4 pulmonary stenoses with high resolution. In assessing peripheral pulmonary stenosis or obstruction, MRI was superior to echocardiography, the latter being unable to image peripheral pulmonary arteries satisfactorily.

We concluded that MRI is an excellent noninvasive method for serially evaluating the anatomy and function of Blalock-Taussig shunts and pulmonary arteries, which is particularly useful for children with cyanotic congenital heart disease.

Key words

Magnetic resonance imaging (MRI) Blalock-Taussig shunt

富山医科薬科大学 小児科
* 同 第一外科
**同 放射線科
富山市杉谷 2630 (〒930-01)

Department of Pediatrics, *the First Department
of Surgery and **Department of Radiology, Toyama
Medical and Pharmaceutical University, Sugitani
2630, Toyama 930-01

Received for publication September 28, 1991; accepted January 11, 1992 (Ref. No. 39-250)

はじめに

心疾患における磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging: MRI) は, 心電図同期撮像法およびスピネコー法の導入により, 非侵襲的な心形態機能診断法としての有用性が評価されている¹⁻⁵⁾.

特に MRI は血流と血管壁や周囲の組織を明瞭に区別し得る優れた空間分解能を有し, しかも, 血管壁や心室に沿った任意の断面での評価が可能であり, 他の診断法にはない特徴を有している. このため, 胸腔深部に存在する大血管, 末梢肺動脈や肺静脈などの診断においては, 断層心エコー図法に比し, さらに確実な情報を得ることが可能である⁶⁻¹⁵⁾. しかしながら, シヤント術施行後の肺血流減少性先天性心疾患において, シヤント血管の開存性や肺動脈形態の経過を MRI により観察し得たという報告は極めてまれである. 今回, Blalock-Taussig シヤント (BT シヤント) 施行後の肺血流減少性先天性心疾患において, シヤント血管および肺動脈の形態ならびに機能を評価する目的で MRI 画像診断を行ない, 血管造影, 肺血流シンチグラム, 心エコー図所見と比較検討した.

対象および方法

対象は富山医科薬科大学において, 1989年9月以降, 心血管系の MRI 診断が施行された生後1ヵ月より17歳までの肺血流減少性先天性心疾患8例で, 原疾患は三尖弁閉鎖, ファロー四徴症, 純型肺動脈閉鎖, 大血管転位の各2例である. BT シヤントは右側原法6本, 同変法1本, 左側原法1本, 同変法3本の合計11本である. 3例で両側 BT シヤント術が施行されている. シヤント術施行からの経過観察期間は1ヵ月から12年, 平均2年6ヵ月である.

撮影には超伝導型 MRI (シーメンス製, Magnetom H15; 1.5 tesla) を用い, 心電図同期スピネコー法にて多層断層撮像を行なった. 体軸横断

面, 冠状断面, 矢状断面およびその斜位断面を駆使し, シヤント血管と肺動脈の描出を行なった. また肺動脈を描出する断面が収縮後期となるように開始断面を設定した. 繰り返し時間は心拍数に依存し (400-600 msec), エコー時間は 15 msec とし, スライス幅は 3-7 mm, マトリックスサイズは 256×256, 画像再編成には二次元フーリエ変換法を用い, アベレージングは2回とした. 各断面において, シヤント血管のほか, 主肺動脈および左右肺動脈第一分枝部直前においてその血管径を計測し, 最終的に各断面における最大径をその血管径と判定した. 患児の鎮静にはリン酸トリクロエチルナトリウムシロップ (70-100 mg/kg) を用いた. なお MRI は延べ18回施行され, 読影は著者のみに統一した. 得られた画像を同時期に施行された血管造影法, 肺血流シンチグラフィ, 心エコー図法と比較検討した. 肺血流シンチグラフィには ^{99m}Tc-MAA を用い, 左右肺野における集積を比較して肺血流分布を評価した.

結 果

MRI による各血管の描出は良好で, 特に体軸横断面では末梢肺動脈まで連続的な観察が可能であり, 左右肺動脈の第一分枝直前までは全例において描出可能であった. また, 心エコー図法では観察しにくい左肺動脈も, 全例, 描出可能であった. シヤント血管の描出は体軸横断面について冠状断面の順に良好であったが, 矢状断面での描出率は低かった (18例中15例). 体軸横断面ではシヤント血管の横断面が描出され, 肺動脈との吻合部が観察された. また, 冠状断面と矢状断面ではシヤント血管の全体像が観察されたが, 血管が屈曲している場合には単一のスライスでは全体像を描出できず, 連続する数スライスで全体を把握できる場合もあった.

MRI 各断面における血管径の最大値と, 血管造影の心周期における最大血管径を比較検討した. 血管造影は8回施行し, 同時期に施行した MRI との比較を行なったが, いずれの血管にお

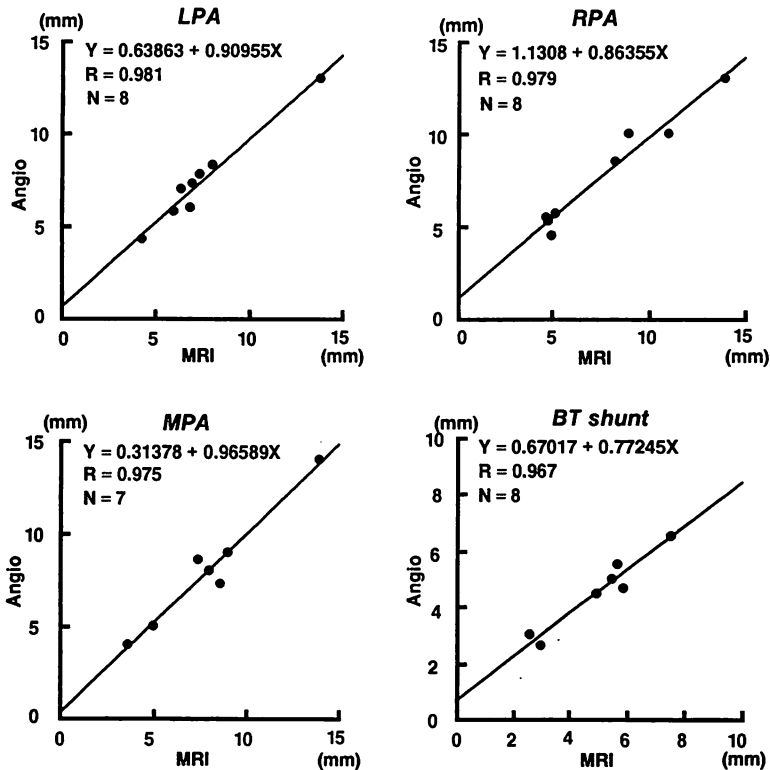


Fig. 1. Correlation of measurements of pulmonary artery diameter by angiography and by MRI.

LPA=left pulmonary artery; RPA=right pulmonary artery; MPA=main pulmonary artery; BT shunt=Blalock-Taussig shunt.

いても、血管造影の計測値と良く相関した (Fig. 1).

血管造影上、末梢肺動脈の狭窄や閉塞は4例に認められたが、MRIでは特に体軸横断面での観察が適していた。またMRI上、BTシャント後、左右肺動脈の不連続性へと進展したと考えられる症例は1例であった。これらの症例では、MRI上、血管腔の狭小化や閉塞所見の他、血流遅滞を示す血管内高信号の存在が認められ、対側肺動脈内は低信号で、明らかな左右差を認めた。この4例において11回のMRIを施行し、3例、7回(64%)でその狭窄、閉塞あるいは不連続性が確認された。一方、心断層エコー図法およびドプラー

一法で狭窄や閉塞を確実に診断し得た例は1例のみ(2/11回, 18%)であった。

血管造影上、4例にBTシャント末梢吻合部有意狭窄($\geq 75\%$)が認められた。これらの症例において、経過を通じて10回のMRIを施行したが、体軸横断、冠状、矢状のいずれかの断面でシャント狭窄と診断されたのは3例(8/10回, 80%)で、心エコー図法の2例(5/10回, 50%)に比べ、検出率は良好であった。

症例呈示

シャント吻合部狭窄、あるいは末梢肺動脈狭窄、閉塞や不連続性と診断された4例を呈示す

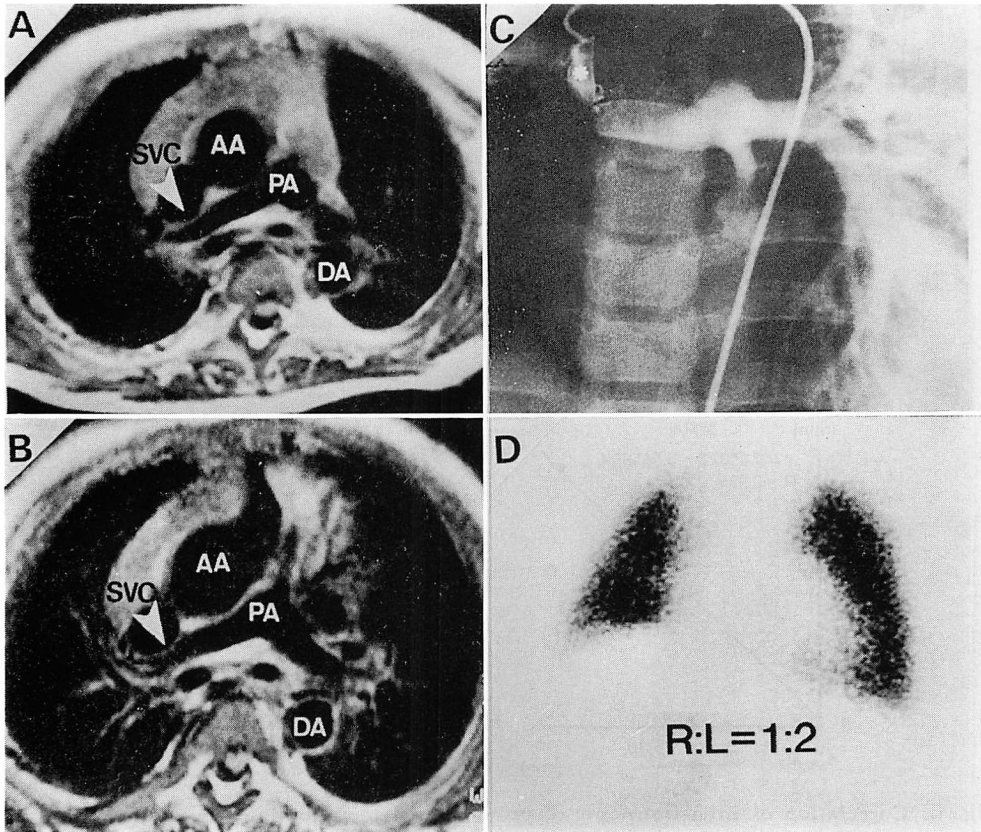


Fig. 2. Imagings of Case 1 (pulmonary atresia).

A: Transverse image 2 years and 2 months after right BT shunt operation. Right pulmonary artery (white arrowhead) distal to the right BT shunt is patent. B: Transverse image 3 years after right BT shunt showing obstruction of the distal right pulmonary artery (white arrowhead) at the right BT shunt. C: Selective angiography of the right BT shunt(*) delineated obstruction of the distal right pulmonary artery and stenosis of the right BT shunt. D: Radionuclide lung scan reveals decreased blood flow in the right lung field.

AA=ascending aorta; PA=pulmonary artery; DA=descending aorta; SVC=superior vena cava.

る。

症例 1 (Fig. 2): 3歳4ヵ月, 女児. 肺動脈閉鎖例で, 生後4ヵ月時に右側 BT シヤント術(原法)を施行した. シヤント術施行後2年2ヵ月での MRI 体軸横断面では, シヤント吻合部より末梢の右肺動脈は発育不良であるが開存していた. その後, 多血症が進行し, 10ヵ月後に MRI を再検したところ, シヤント吻合部末梢の右肺動脈は SVC により後方へ圧排され, 閉塞所見が認め

られた. また肺血流シンチグラフィでも右肺の血流低下が認められ, 同時期での選択的 BT シヤント造影では, 吻合部狭窄およびシヤント吻合部より末梢の右肺動脈閉塞と診断された. この症例では, 肺動脈の発育を経時的に観察する上で, MRI は極めて有力な情報を提供した. また, 血管造影法では不明瞭な周囲の構造との関係が, MRI では明瞭に観察された.

症例 2 (Fig. 3): 2歳9ヵ月, 女児. 肺動脈閉

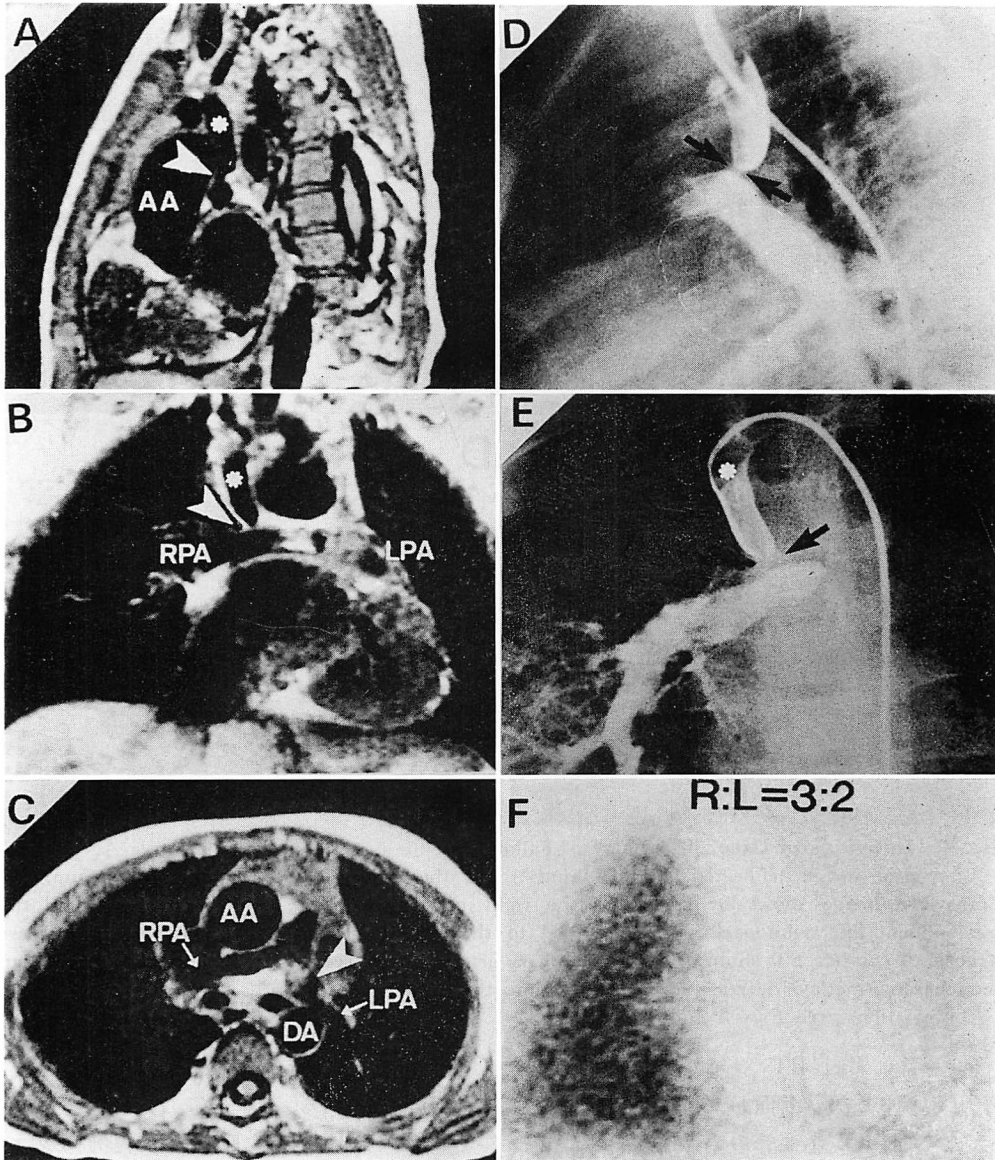


Fig. 3. Imagings of Case 2 (pulmonary atresia).

A : Sagittal image and B : coronal image delineated shunt vessel(*) and stenosis of the pulmonary ostium (white arrowhead). C : Transverse image shows stenosis of the left pulmonary artery. D, E : Selective angiography of the right BT shunt(*) reveals stenosis (black arrowhead) of the BT shunt and hypoplasia of the left pulmonary artery. F : Radionuclide lung scan shows marked decrease in blood flow into the left lung.

Abbreviations : see Figs. 1 and 2.

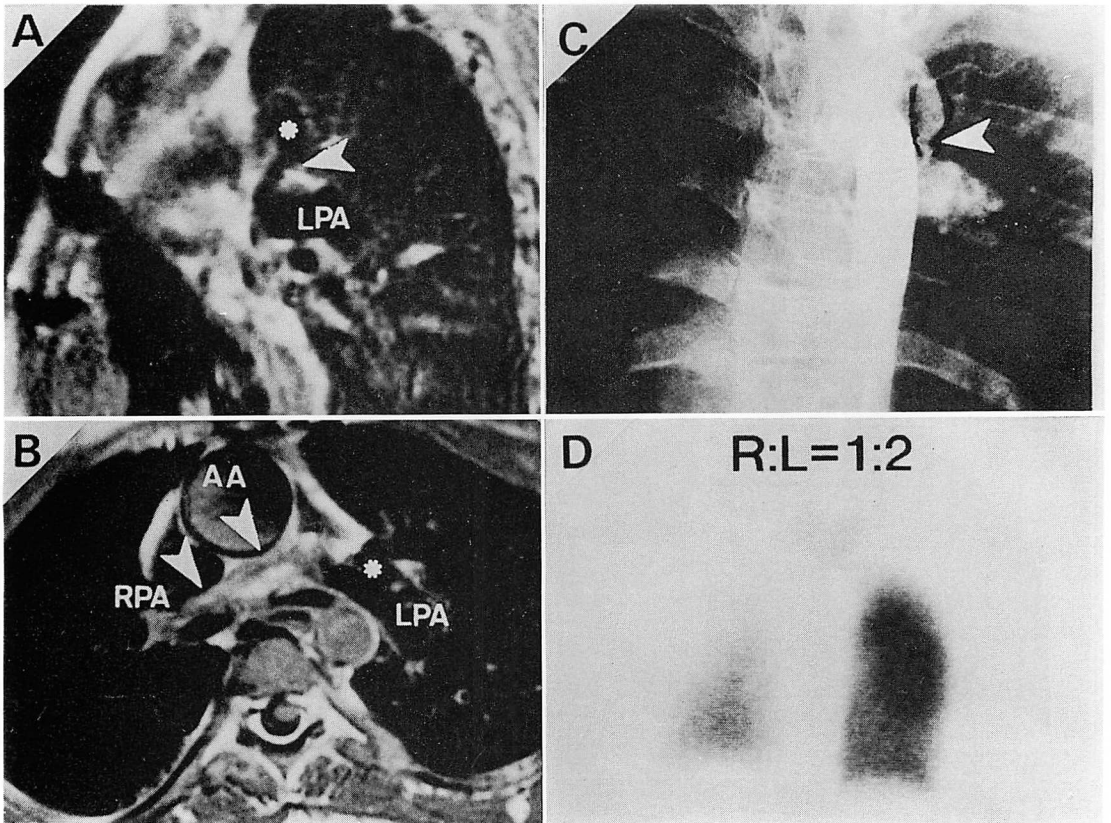


Fig. 4. Imagings of Case 3 (tetralogy of Fallot).

A: Sagittal image delineated left BT shunt(*) and the stenosis of the pulmonary ostium. B: Transverse image shows hypoplasia of the right pulmonary artery (white arrowhead) and the nonconfluent left pulmonary artery proximal to the left BT shunt(*). C: Aortography shows stenosis of the left BT shunt. Right pulmonary artery is not seen. D: Radionuclide lung scan demonstrates marked decrease in blood flow into the right lung.

Abbreviations: see Figs. 1 and 2.

鎖で生後6ヵ月に右側 BT シヤント術(原法)が施行された。MRI 矢状断面および冠状断面では単一スライスでシヤント血管の全体が描出されており、シヤント吻合部狭窄が明瞭に描出され、体軸横断面では、左肺動脈の最大径が描出される断面で血流遅延を示す血管内高信号が認められた。この血管内信号は右肺動脈には認められず、左右差が明らかである。続いて施行された血管造影上、シヤント末梢吻合部の狭窄と左肺動脈の低形成が確認された。同時期で肺血流シンチグラフィでも、左肺の血流低下が認められた。この症例

は、血管造影施行前にシヤント狭窄が確実に診断された例である。

症例3 (Fig. 4): 17歳, 女児例。ファロー四徴症で、6歳時に左側 BT シヤント術(変法)が施行されている。多血症の進行があり、シヤント狭窄を疑い MRI を施行した。MRI 矢状断面および冠状断面でシヤント狭窄が確認され、体軸横断面では右肺動脈内に血管内高信号を認め、血流遅延が示唆され、またシヤント吻合部より末梢の左肺動脈内は低信号で、左右肺動脈の不連続性が疑われた。肺血流シンチグラフィでも、右肺野の

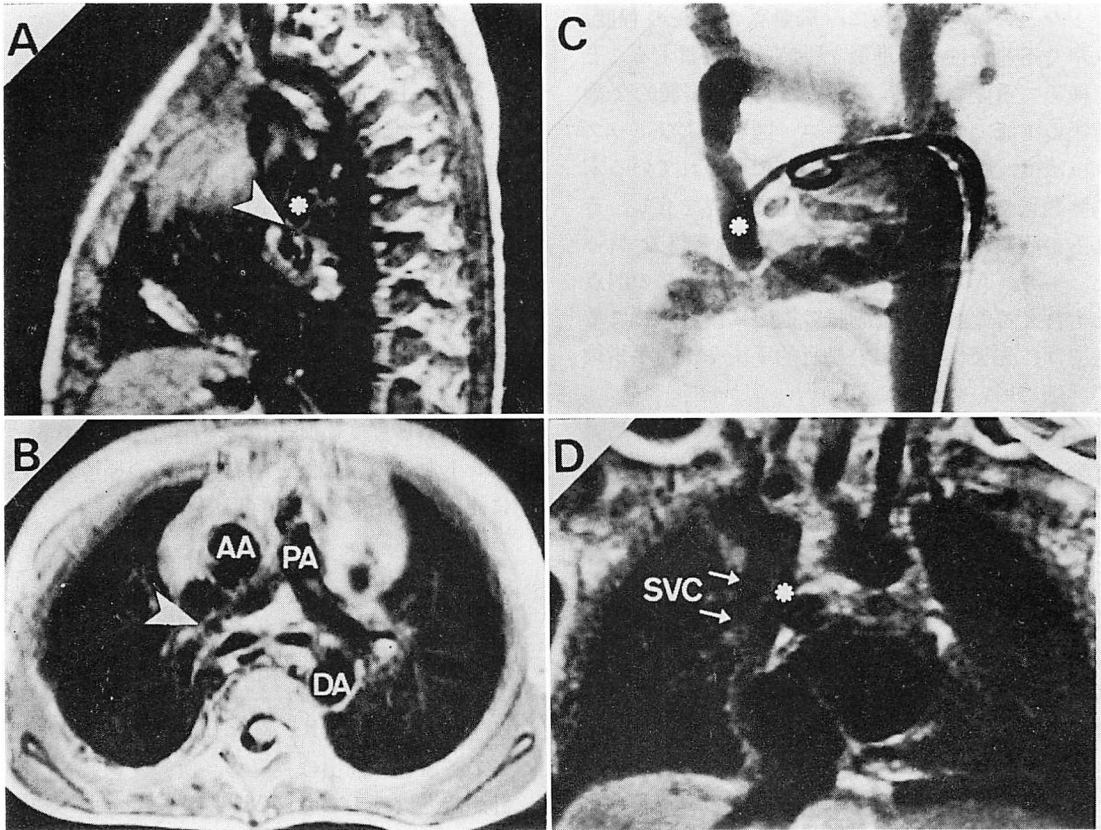


Fig. 5. Imagings of Case 4 (tricuspid atresia).

A : Sagittal image demonstrates stenosis (white arrowhead) of the right BT shunt(*). B : Axial image shows stenosis of the right pulmonary artery(*) at the right BT shunt. C : Aortography demonstrates stenosis of the BT shunt and the right pulmonary artery. D : Coronal image can not delineate the right BT shunt due to the superimposed superior vena cava.

Abbreviations : see Fig. 2.

血流低下が確認された。続いて施行した血管造影上、シャント末梢吻合部の狭窄と左右肺動脈の不連続性、および右肺動脈の低形成と診断された。この症例ではシャント術後すでに11年という長年月が経過しており、心エコー図法による描出は不良で、末梢肺動脈とシャント血管はMRIで初めて描出された。

症例4 (Fig. 5): 3歳、男児例。三尖弁閉鎖で、右側BTシャント術(原法)が施行されている。血管造影では吻合部狭窄が確認され、MRI冠状断面では拡張した上大静脈とシャント血管が重なり、

不明瞭であるが、矢状断面では狭窄が明瞭に描出された。体軸横断面ではシャント吻合部の末梢肺動脈狭窄が確認された。この症例は血管造影前にシャント末梢吻合部狭窄を確実に診断し得なかった例である。右側BTシャントは上大静脈の背側に位置するため、この症例のように描出しにくい場合があり、スライスの部位を変えて繰り返し撮像する必要があると反省させられた症例である。

考 按

肺血流減少性先天性心疾患において、BTシャ

ントなどの姑息手術後に, 肺動脈の成長の程度, 狭窄や不連続性への進展を継続的に観察することは極めて重要である. 従来より, 非侵襲的な診断法の主流である心断層エコー図法およびドップラー法は, 胸郭深部にあって肺に覆われている末梢肺動脈やシャント血管の描出に限界を有し, それらの観察は血管造影法に頼らざるを得なかった. 一方, MRI はこの心断層エコー図法の弱点とも言える大血管や肺動脈の描出に優れ, 特に最近では, 先天性心疾患の姑息的手術や根治手術後の評価に用いられている¹⁶⁻²⁰⁾.

今回, 我々の研究においても, MRI は肺動脈やシャント血管の描出に優れ, 特に心エコー図法では描出しにくい比較的末梢の肺動脈やシャント血管の観察も, いずれかの断面においてほぼ100% 可能であった. 従来の報告よりも描出率が高いが¹⁶⁾, これは, 撮像の時点でまず体軸横断面で肺動脈やシャント血管の位置を確認し, さらにスライス幅を 3 mm とし, 矢状, 冠状その斜位像を駆使し撮像したため, 十分な結果が得られたものと思われる.

血管径の最大径を計測するには, 多層断層スピンエコー法を用いているため一つの断面では難しく, 今回我々が行なったように, 各断面での最大血管径を計測する必要があり, その結果, 血管造影計測値と良好な相関を得ることができた. 肺動脈の狭窄, 閉塞や左右肺動脈の不連続性の形態的観察も可能であったが, 狭窄側肺動脈内に血管内高信号を認め, 一方, 対側肺動脈には血流信号を認めないような左右差の明らかな場合には, 診断が容易であった. 今回は cine MRI による肺動脈内血流の評価は行っていないが, 今後 cine MRI を用いて血管内血流信号を評価すれば, 狭窄部位での血流速度や, 圧較差, さらに左右肺動脈における肺血流量の評価も可能になると思われる²¹⁻²³⁾. 今回, 肺血流に関し, MRI による評価と肺血流シンチグラフィによる所見は一致し, 肺血流量の評価には両者の併用が臨床上極めて有用であると思われる.

結 語

MRI 上, 肺動脈とシャント血管の描出は良好で, その血管径は血管造影の測定値と比較的良く相関した. シャント吻合部狭窄や末梢肺動脈狭窄, 閉塞の判定では, MRI は心エコー図法に優っていた. 肺動脈の閉塞や狭窄の認められる例では, MRI 上, 血流遅延を示唆する血管内高信号が認められ, 肺血流シンチグラフィでも肺血流分布の左右差が明らかであった. MRI では BT シャント術後の心疾患において, 形態評価のみならず, ある程度の血流情報を得ることができ, シャント血管の開存性と左右肺動脈の発達を経時的に観察する上で極めて有用であった.

要 約

Blalock-Taussig シャント術施行後の肺血流減少性先天性心疾患 8 例 (年齢 1 ヶ月から 17 歳) において, シャント血管および肺動脈の形態機能評価を目的とし, MRI 画像診断を行なった. MRI での各血管の描出は良好で, 血管径を血管造影の計測値と比較すると, MRI ではやや過小評価される傾向にあるが, 両者には良好な相関が認められた (主肺動脈 $r=0.98$; 右肺動脈 $r=0.98$; 左肺動脈 $r=0.98$; シャント血管 $r=0.97$).

末梢肺動脈の描出と狭窄の有無の判定では, MRI は心エコー図法に優っていた. 血管造影上, シャントと反対側の肺動脈狭窄, 閉塞, および不連続性が確認された 4 例中 3 例は, MRI によってもまた診断可能であった. 一方, 心断層エコー図法およびドップラー法で狭窄や閉塞を確実に診断し得た例は 1 例のみであった. また, 肺血流シンチグラム上も肺血流分布の左右差が明瞭に認められた.

血管造影上 4 例に Blalock-Taussig シャント末梢吻合部有意狭窄が認められ, そのうち MRI 上シャント狭窄と診断されたのは 3 例で, 心エコー図法の 2 例に比べ検出率は良好であった.

MRI は Blalock-Taussig シャント術施行後の

心疾患において、形態評価のみならず、ある程度の血流情報を得ることができ、シャント血管の開存性と左右肺動脈の発達を経時的に観察する上で極めて有用である。

文 献

- 1) Higgins CB, Byrd BF III, Farmer D, Osaki L, Silverman NH, Cheitlin MD: Magnetic resonance imaging in patients with congenital heart disease. *Circulation* **70**: 851-860, 1984
- 2) Didier D, Higgins CB, Fisher MR, Osaki L, Silverman NH, Cheitlin MD: Congenital heart disease: Gated MR imaging in 72 patients. *Radiology* **158**: 227-235, 1986
- 3) Boxer RA, Singh S, LaCorte MA, Goldman M, Stein HL: Cardiac magnetic resonance imaging in children with congenital heart disease. *J Pediatr* **109**: 460-464, 1986
- 4) Chung KJ, Simpson IA, Newman R, Sahn DJ, Sherman FS, Hesselink JR: Cine magnetic resonance imaging for evaluation of congenital heart disease: Role in pediatric cardiology compared with echocardiography and angiography. *J Pediatr* **113**: 1028-1035, 1988
- 5) Kersting-Sommerhoff BA, Diethelm L, Stanger P, Dery R, Higashino SM, Higgins SS, Higgins CB: Evaluation of complex congenital ventricular anomalies with magnetic resonance imaging. *Am Heart J* **120**: 133-142, 1990
- 6) Kersting-Sommerhoff BA, Sechtem UP, Fisher MR, Higgins CB: MR imaging of congenital anomalies of the aortic arch. *Am J Roentgenol* **149**: 9-13, 1987
- 7) Simpson IA, Chung KJ, Glass RF, Sahn DJ, Sherman FS, Hesselink J: Cine magnetic resonance imaging for evaluation of anatomy and flow relations in infants and children with coarctation of the aorta. *Circulation* **78**: 142-148, 1988
- 8) Formanek AG, Witcofski RL, D'Souza VJ, Link KM, Karstaedt N: MR imaging of the central pulmonary arterial tree in conotruncal malformation. *Am J Roentgenol* **147**: 1127-1131, 1986
- 9) Rees RS, Somerville J, Underwood SR, Wright J, Firmin DN, Klipstein RH, Longmore DB: Magnetic resonance imaging of the pulmonary atresia: Comparison with angiographic and surgical findings. *Br Heart J* **58**: 621-626, 1987
- 10) Kersting-Sommerhoff BA, Sechtem UP, Higgins CB: Evaluation of pulmonary blood supply by nuclear magnetic resonance imaging in patients with pulmonary atresia. *J Am Coll Cardiol* **11**: 166-171, 1988
- 11) Mirowitz SA, Gutierrez FR, Canter CE, Vannier MW: Tetralogy of Fallot: MR findings. *Radiology* **171**: 207-212, 1989
- 12) Canter CE, Gutierrez FR, Mirowitz SA, Martin TC, Hartmann AF: Evaluation of pulmonary arterial morphology in cyanotic congenital heart disease by magnetic resonance imaging. *Am Heart J* **118**: 347-354, 1989
- 13) Julsrud PR, Ehman RL, Hagler DJ, Ilstrup DM: Extracardiac vasculature in candidates for Fontan surgery: MR imaging. *Radiology* **173**: 503-506, 1989
- 14) Hsu YH, Chien CT, Hwang M, Chiu IS: Magnetic resonance imaging of total anomalous pulmonary venous drainage. *Am Heart J* **121**: 1560-1567, 1991
- 15) Vick GW III, Rokeby R, Huhta JC, Mulvagh SL, Johnston DL: Nuclear magnetic resonance imaging of the pulmonary arteries, subpulmonary region, and aorticopulmonary shunts: A comparative study with two-dimensional echocardiography and angiography. *Am Heart J* **119**: 1103-1110, 1990
- 16) Jacobstein MD, Fletcher BD, Nelson AD, Clappitt M, Alfydi RJ, Riemenschneider TA: Magnetic resonance imaging: Evaluation of palliative systemic-pulmonary artery shunts. *Circulation* **70**: 650-656, 1984
- 17) Kersting-Sommerhoff BA, Seelos KC, Hardy C, Kondo C, Higgins SS, Higgins CB: Evaluation of surgical procedures for cyanotic congenital heart disease by using MR imaging. *Am J Roentgenol* **155**: 259-266, 1990
- 18) Chung KJ, Simpson IA, Glass RF, Sahn DJ, Hesselink JR: Cine magnetic resonance imaging after surgical repair in patients with transposition of the great arteries. *Circulation* **77**: 104-109, 1988
- 19) Kondo C, Hardy C, Higgins SS, Youg JN, Higgins CB: Nuclear magnetic resonance imaging of the palliative operation for hypoplastic left heart syndrome. *J Am Coll Cardiol* **18**: 817-823, 1991
- 20) Rees S, Somerville J, Warnes C, Underwood R, Firmin D, Klipstein R, Longmore D: Comparison of magnetic resonance imaging with echocardiography and radionuclide angiography in assessing cardiac function and anatomy following Mustard's operation for transposition of the great

市田, 橋本, 宮崎, ほか

- arteries. *Am J Cardiol* **61**: 1316-1322, 1988
- 21) Mirowitz SA, Lee JK, Gutierrez FR, Brown JJ, Eilenberg SS: Normal signal-void patterns in cardiac cine MR images. *Radiology* **176**: 49-55, 1990
- 22) White RD, Winkler ML, Higgins CB: MR imaging of pulmonary arterial hypertension and pulmonary emboli. *Am J Roentgenol* **149**: 15-21, 1987
- 23) Kilner PJ, Firmin DN, Rees RS, Martinez J, Pennell DJ, Mohiaddin RH, Underwood SR: Valve and great vessel stenosis: Assessment with MR jet velocity mapping. *Radiology* **178**: 229-235, 1991