

シネ MRI による僧帽弁逆流パターンの画像解析

山本 秀樹¹, 則安 俊昭², 中川 富夫²
神崎 典子², 山本 淑雄², 木本 真²
上者 郁夫², 平木 祥夫²
林 英博³, 桑原 道義⁴

¹岡山大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

²岡山大学医学部放射線科

³岡山赤十字病院放射線科

⁴大阪産業大学

1. はじめに

MRI 技術のめざましい発展により^{1)~4)}, 最近では心血管系における血流を可視化できるようになってきた。これに伴い, 心内腔における血流動態局所壁運動や弁逆流の検出などのような心機能の定量的評価に関する研究が活発に行われている^{5)~7)}。

筆者らは, 心臓における弁疾患に起因する逆流パターンの画像解析を試みてきた⁸⁾⁹⁾。本研究の目的は, 1) 弁疾患に起因する逆流領域の正確な検出, 2) 検出された逆流パターンの定量的評価, を行うことにある。ここでは, 領域分割法による逆流パターンの検出, A I (Artificial

Intelligence) による診断支援の一手法について検討したので報告する。

2. 対 象

症例は 74 才, 男性, 中程度の大動脈弁狭窄兼逆流に軽度の僧帽弁逆流を伴っている。大動脈弁逆流は心電図, 心超音波断層法, 大動脈造影法で, また, 大動脈弁狭窄は心音図, 心超音波断層法でそれぞれ確認されている。僧帽弁逆流は MRI 以外の検査法では確認されていない。

3. 方 法

3. 1 撮像断面の決定

キーワード image analysis, flow visualization, cine MRI, mitral regurgitation, expert system

使用 MRI 装置は静磁場強度 1.0 Tesla 超電導型 (島津製作所 SMT-100) である。撮像断面の決定は SE (Spin echo) 法を用いて以下の手順で行った。

心電図非同期 SE (200/29) 冠状断面 (図 1(a)) の撮像を行い、これをもとにマルチスライスにて心電図同期 SE (600~1200/29) にて横断面

を得た。この中より心室上部を含む画像 (図 1 (b)上) 及び心尖部を含む画像 (図 1 (b)下) を選択する。これより左室長軸マルチスライス像を得、このうち最も左室の見やすい画像 (図 1(c)) を用いこの長軸に直交する左室短軸マルチスライス像を得る。この左室短軸マルチスライス像から僧帽弁口と大動脈弁口を含む断面 (図 1(d))

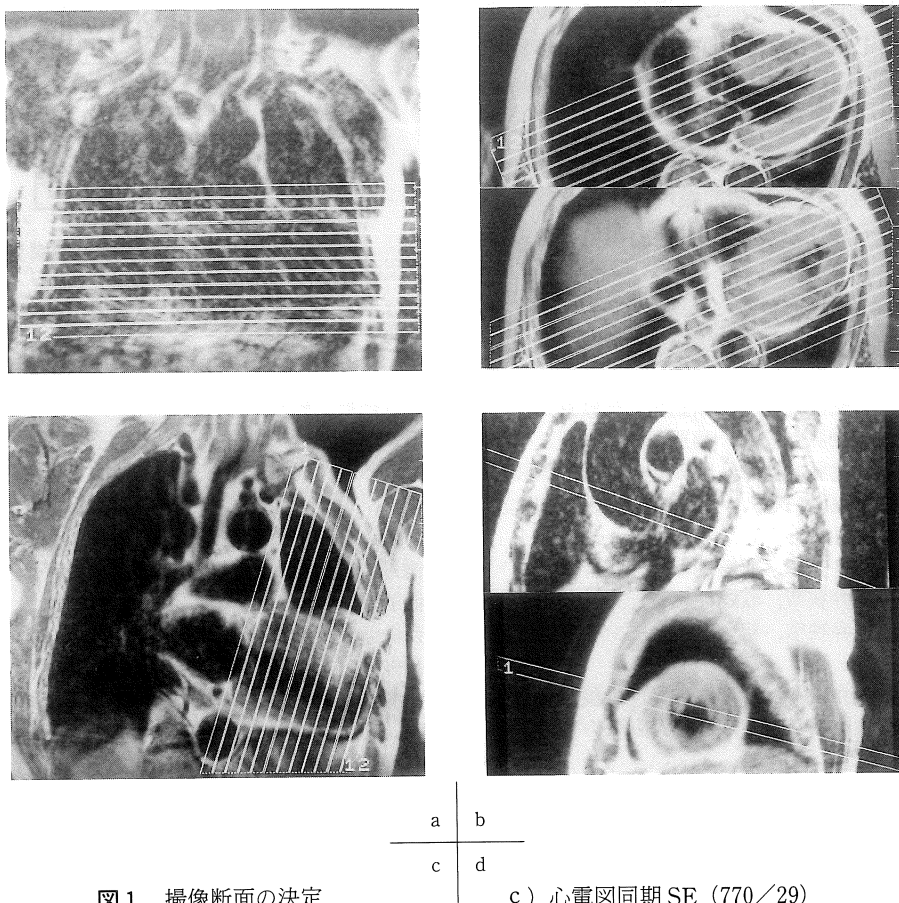


図 1 撮像断面の決定

- a) 心電図非同期 SE (200/29) 冠状断面
- b) 心電図同期 SE (770/29) 横断面

- c) 心電図同期 SE (770/29) 左室長軸断面
- d) 心電図同期 SE (770/29) 左室短軸断面

受付年月日 1990年2月19日

別刷請求先 (〒700) 岡山市鹿田町2-5-1 岡山大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科 山本秀樹

上)と心尖部を求めるとの一断面(図1(d)下)を選択し、これを用いて、僧帽弁口、心尖部及び、大動脈弁口を通る断面を決定する。この断面においてシネ画像の撮影を行った。シネ画像の撮影には心電図同期FE(Field Gradient Echo)法(STAGE(Small Tip Angle Gradient Echo)法 TR=30~50 msec, TE=14 msec, Flip angle=30°)にて一心拍に14~16枚の経時的な心動態画像を得た。この場合、マトリックスサイズは128×128で同期加算の回数は8回である。

3.2 領域分割による弁逆流領域の検出

弁逆流領域の付近に関心領域を設定し、関心領域の濃度ヒストグラムから逆流領域の濃度範

- 自覚症状 (大動脈弁狭窄, 労作時急死)。
- 他覚症状 (大動脈弁狭窄, 脈圧小)。
- 他覚症状 (大動脈弁狭窄, 遅脈)。
- 他覚症状 (大動脈弁狭窄, 頸動脈に振戦触知)。
- 他覚症状 (大動脈弁狭窄, 鶏冠型頸動脈波)。
- 他覚症状 (大動脈弁狭窄, 晩期隆起型頸動脈波)。
- 他覚症状(大動脈弁狭窄, 心尖部左下方への偏位, 持続性隆起性拍動)。
- 聴診 (大動脈弁狭窄, 収縮期駆出性雑音)。
- 聴診 (大動脈弁狭窄, 収縮期雑音)。
- 聴診 (大動脈弁狭窄, 粗いダイヤモンド型駆出性雑音)。
- 聴診 (大動脈弁狭窄, II音の奇異性分裂)。
- 胸部X線 (大動脈弁狭窄, 上行大動脈の狭窄後拡張)。
- 胸部X線 (大動脈弁狭窄, 大動脈弁の石灰化)。
- 心電図 (大動脈弁狭窄, 洞性リズム)。
- 心電図 (大動脈弁狭窄, 左室肥大)。
- 心エコー(大動脈弁狭窄, 大動脈弁尖エコー増強)。
- 心エコー (大動脈弁狭窄, 左室肥大)。
- 心エコー (大動脈弁狭窄, 拡張期大動脈弁多層エコー)。
- 心エコー(大動脈弁狭窄, 大動脈弁閉鎖速度緩徐)。

a) 知識の一部

図3 心臓弁疾患診断のための医学知識の一部

囲を設定した後、逆流領域の輪郭線を領域分割¹⁾によって求める。

その手順は次の通りである。

- (1) 画面全体から関心領域の切り出しを行う。
- (2) 切り出された画像全体に対し、逆流領域の濃度範囲内の画素については濃度値をそのままにし、濃度範囲外の画素については濃度値を

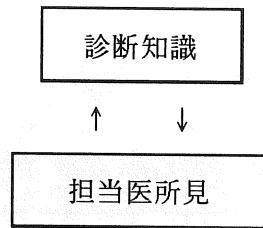


図2 診断支援システムの構築

- 心エコー (大動脈弁狭窄, 大動脈弁の先端の開放小)。
- 心カテーテル検査 (大動脈弁狭窄, 左室一大動脈の収縮期圧較差圧)。
- MRI-se (大動脈弁狭窄, 左室肥大)。
- MRI-se (大動脈弁狭窄, 上行大動脈の狭窄後拡張)。
- MRI-cine (大動脈弁狭窄, 収縮期左室内血液の信号に比し大動脈弁直上部の血液の信号が著明に低下)。
- 合併症 (大動脈弁狭窄, 狭心症)。
- 合併症 (大動脈弁狭窄, 心不全)。
- 合併症 (大動脈弁狭窄, 細菌性心内膜炎)。
- 内科的治療 (大動脈弁狭窄, 抗生剤予防投薬)。
- 内科的治療 (大動脈弁狭窄, 安静)。
- 内科的治療 (大動脈弁狭窄, 利尿薬)。
- 内科的治療 (大動脈弁狭窄, ジギタリス)。
- 外科的治療の適応 (大動脈弁狭窄, 失神)。
- 外科的治療の適応 (大動脈弁狭窄, 狭心症)。
- 外科的治療の適応 (大動脈弁狭窄, 大動脈-左室圧較差 50 mmHg 以上)。
- 外科的治療 (大動脈弁狭窄, 弁置換)。

0 にするしきい処理をする。

(3) 画面の上方から下方へ、水平方向における探索によって、逆流領域の2つの端の画素を決定する。この操作を上方から下方へ繰り返す、水平方向における2つの端の画素の座標が一致するまで繰り返す。この結果、逆流領域の輪郭線が決定される。

3. 3 臨床診断のための AI 手法の開発

心疾患に関する診断知識ベースの構築を行う。

PROLOG を用いて、症状、異常部位、特徴などの医学知識を入力する。図2に示すように構築された知識ベースに対し、担当医は問い合わせを繰り返すことによって、診断を進めていく。新しく確立された医学知識は知識ベースに組み

込むことができる。図3に構築された知識ベースの一部を示す。

4. 結 果

症例は74才、男性、中程度の大動脈弁狭窄兼逆流に軽度の僧帽弁逆流を伴っている。

撮影断面の決定によって得られたUCG相当左心室長軸断面像を図4から図7に示す。

図4は心室の収縮開始を示す心電図R波より14 msec 後のほぼ拡張期の画像で、大動脈弁からの逆流により左室内には乱流が生じており左心室内腔は低信号を呈している。

図5は心電図R波より53 msec 後の像で、左室の収縮により左室内圧の上昇に伴い血液は大

心カテーテル検査 (僧帽弁狭窄症, 左房圧上昇, 左房左室間に拡張期圧格差)。
心カテーテル検査 (僧帽弁狭窄症, 弁口血流速度増大)。
心カテーテル検査 (僧帽弁狭窄症, 左室流入血流減少)。
心カテーテル検査 (僧帽弁狭窄症, 心拍出量減少)。
MRI-se (僧帽弁狭窄症, 左房拡大)。
MRI-se (僧帽弁狭窄症, 肺静脈, 肺動脈拡張)。
MRI-se (僧帽弁狭窄症, 右室拡大)。
MRI-cine (僧帽弁狭窄症, 拡張期左房内血液は高信号, 左室内は著明に低信号)。
合併症 (僧帽弁狭窄症, 心不全)。
合併症 (僧帽弁狭窄症, 心内膜炎)。
合併症 (僧帽弁狭窄症, 塞栓症)。
合併症 (僧帽弁狭窄症, 心房細動)。
合併症 (僧帽弁狭窄症, 肺高血圧症)。
内科的治療 (僧帽弁狭窄症, 抗不整脈薬)。
内科的治療 (僧帽弁狭窄症, 抗凝血薬)。
内科的治療 (僧帽弁狭窄症, ジギタリス)。
外科的治療 (僧帽弁狭窄症, 弁置換)。
外科的治療 (僧帽弁狭窄症, 交連切開術)。

病態生理 (大動脈弁閉鎖不全症, 大動脈から左室への拡張期逆流)。

病態生理 (大動脈弁閉鎖不全症, 左室容量負荷)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, リウマチ性)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 細菌性心内膜炎)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 先天性)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 梅毒)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 動脈硬化)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 高血圧)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 大動脈炎症候群)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, 解離性大動脈瘤)。

病因 (大動脈弁閉鎖不全症, Marfan 症候群)。

成因 (大動脈弁閉鎖不全症, 大動脈弁自体の破壊)。

成因 (大動脈弁閉鎖不全症, 大動脈起始部の拡大)。

自覚症状 (大動脈弁閉鎖不全症, 労作時息切れ)。

自覚症状 (大動脈弁閉鎖不全症, 夜間胸痛発作)。

自覚症状 (大動脈弁閉鎖不全症, 労作時呼吸困難)。

自覚症状 (大動脈弁閉鎖不全症, 夜間発作性呼吸困難)。

b) 知識の一部

図3 心臓弁疾患診断のための医学知識の一部

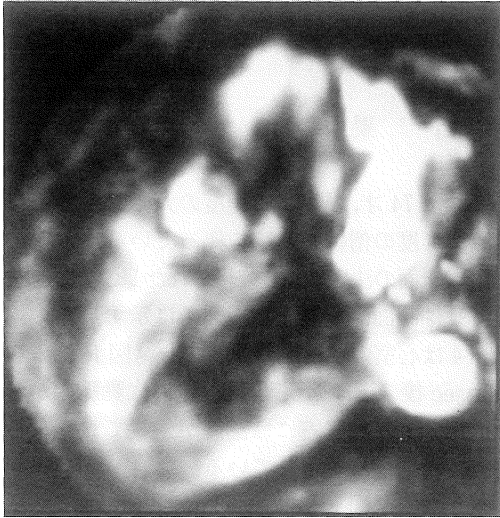


図4 心電図 R 波より 14 ms 後の画像

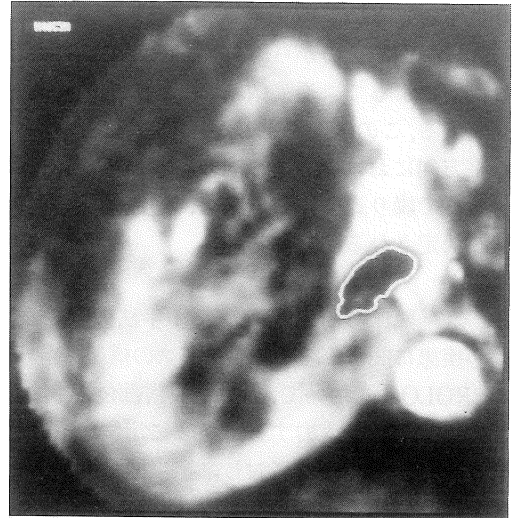


図6 心電図 R 波より 92 ms 後の画像と検出された逆流パターンの輪郭(到達距離=3.6 cm, 面積=4.4 cm²)

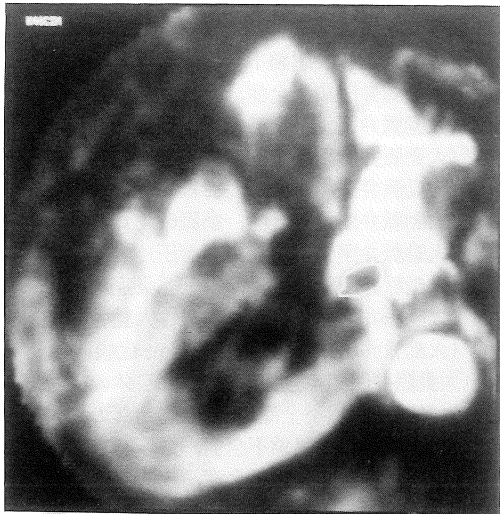


図5 心電図 R 波より 53 ms 後の画像と検出された逆流パターンの輪郭(到達距離=1.9 cm, 面積=1.1 cm²)

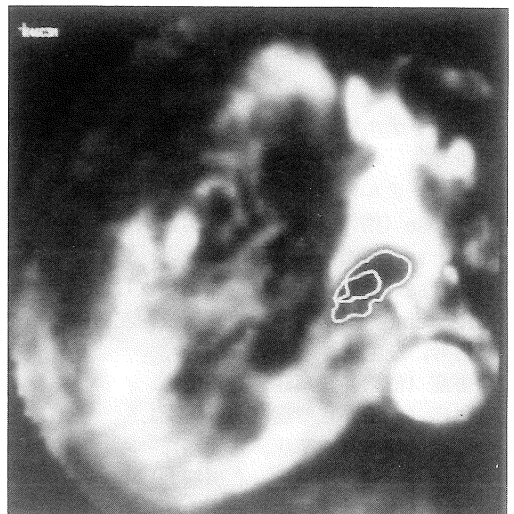


図7 逆流パターンの経時変化

動脈より駆出される。ここで僧帽弁より左房内へ見られる低信号領域が正常では見られない僧帽弁逆流を反映している。図5は僧帽弁逆流領

域の輪郭を検出した結果である。図6は心電図 R 波より 92 msec 後の像である、

左室の収縮に伴い僧帽弁逆流を示す低信号領

域は更に拡大している。図 7 は逆流領域の輪郭を検出した結果である。図 5 の弁逆流の輪郭を図 6 の弁逆流の輪郭に重ねた結果を図 7 に示す。これから逆流パターンの挙動を明瞭に把握できる。

図 4, 図 5 及び図 6 の画像に対し, 知識ベースを用いた診断過程の一部を図 8 に示す。本症例では疾患を後天性弁疾患に限定すると SE 像にて左房拡大が見られ, これより僧帽弁閉鎖不全症, 僧帽弁狭窄症, 大動脈弁閉鎖不全症といった可能性のある疾患名が出力される。また逆に僧帽弁閉鎖不全症といった疾患名より MRI—SE 像あるいは MRI—Cine で予想される所見も出力される。

このように, 構築した知識ベースを利用することにより, 画像診断が効率よく行えることが明かである。

5. 考 察

以上, MRI からの心臓血流パターンの画像解

析の手法及び臨床例について述べた。

1) US の簡便さに比べ, MRI では位置ぎめに相当な時間と手間を必要とするが, MRI では肺や肋骨などに影響されず弁逆流の評価に有効である任意の断面で撮像することが可能である。

2) 撮像法の進歩によって, 心臓の血流パターンの可視化及び弁疾患に起因する逆流パターンの可視化が行えるようになった。現在では 1 心拍を 16 枚程度のサンプリング間隔での撮像が可能である。従来から, 心エコー断層法では左心室長軸断面, 四腔断面において僧帽弁逆流の評価が行われている。Sechtem らは僧帽弁を含む各種弁疾患の評価に Cine—MRI 法がきわめて有用であることを示している¹⁰⁾。又, 久保田らは横断面において心エコー法と MRI 法による僧帽弁逆流の定量的評価を行い, 両者の間に高い相関があることを指摘している¹¹⁾。筆者らも, 左心室長軸断面すなわち, 僧帽弁口, 心尖部, 大動脈口を通る断面において, 僧帽弁逆流パターンの撮影を行った。本論文では最大到達距離に基づいて重症度を評価している。最大到達距離, 重

```

└─MRI—se (X, 左房拡大).
X          =僧帽弁閉鎖不全症;
X          =僧帽弁狭窄;
X          =大動脈弁閉鎖不全症;
no
└─MRI—se (僧帽弁閉鎖不全症, X).
X          =左房拡大;
X          =左室拡大;
X          =肺動脈拡張;
X          =肺静脈拡張;
X          =右室拡大;
no
└─MRI—cine (僧帽弁閉鎖不全症, X).
X          =収縮期に僧帽弁より左房内に広がる無信号域;
no
└─MRI—cine (僧帽弁閉鎖不全症, X, 到達距離, 3.6 cm).
X          =逆流度 II 度;
no

```

図 8 診断過程の一部

心の移動、面積等と重症度との関係については、多数の臨床例による検討及びカラードプラー法等の他の検査法との比較検討が望まれる。僧帽弁逆流では、その逆流ジェットの方角と選択された撮像断面が一致しているか否かが重症度評価において問題とされる。今回の研究では撮像断面は一断面のみでありこの問題は解決されていないが、今後、これに平行あるいは直交する複数の断面より逆流パターンを三次元的に再構成することにより解決されると考えられる。

2) 領域分割によって逆流領域を検出することが可能となった。この結果、逆流領域の高精度な検出、定量化、省力化、自動化が可能となった。弁逆流領域の輪郭線を重ねて表示することにより、逆流パターンの挙動を明確に把握できることが明らかとなった。さらに、面積、重心の座標、最大到達距離等も容易に求められる。

3) A I 手法の導入により、知識ベースに問い合わせを繰り返すことによって、診断を得る。新しく確立された医学知識は知識ベースに組み込むことができる。このことにより、画像診断を効率よく行うことができるようになった。これに伴い正診率の向上が期待できる。

6. むすび

以上から、画像解析手法を用いることにより、僧帽弁逆流パターンの検出と逆流パターンの挙動の解析が可能となった。又、A I による診断支援手法を導入することにより、弁疾患に関する診断知識の構築が可能となった。これにより臨床診断を効率よく行うことができる。今後、さらに多くの臨床例について適用を検討したい。

文 献

- 1) 山本秀樹, 山本淑雄, 美咲隆吉, 他. MRI からの脳下垂体血腫の三次元表示, 日磁医誌 7(3): 43-51, 1987
- 2) 山本秀樹, 神崎典子, 山本淑雄, 他. MRI からの頭部浮腫画像の V フィルタによる鮮鋭化, Medical Imaging Technology 7(3): 55-63, 1989
- 3) Hideki Yamamoto, Katsuhiko Sugita, Noriko Kanzaki, et al.: Magnetic Resonance Image Enhancement Using V-Filter. Proceedings of the International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Raders and Imaging Sensors 196-201, 1989
- 4) 山本秀樹, 則安俊昭, 神崎典子, 他. MRI 画像データベースシステムとその応用, 映像情報 21: 1294-1298, 1989
- 5) 大西修作, 渥美千里, 福井須賀男, 他. 高速スキャンによる心血管腔内血流動態の検討, 日磁医誌 8(1): 3-9, 1988
- 6) 赤木 治, 清松由美, 加藤裕久, 他. 先天性心疾患におけるシネ MRI の有用性一形態診断と血行動態評価一, 日磁医誌, 9(1): 13-19, 1989
- 7) 大西修作, 福井須賀男, 守田瑠璃子, 他. シネ MRI 法における位相補正の意義一弁逆流疾患における検討一, 日磁医誌 9(3): 175-181, 1989
- 8) 山本秀樹, 則安俊昭, 神崎典子, 他. MRI による心臓血流の解析, 信学技報 MBE 89-50. 1989
- 9) 山本秀樹, 則安俊昭, 神崎典子, 他. MRI からの心臓血流パターンの画像解析, 第 14 回日本磁気共鳴医学会大会抄録集 263, 1989
- 10) Udo Sechtem, Peter W. Pflugfelder, Richard G. Gould, et al.: Cine MR Imaging: Potential for the Evaluation of Cardiovascular Function, AJR 148: 239-246, 1987
- 11) 久保田修平, 西村恒彦. シネ MRI 法による心疾患に於ける弁逆流の評価一現時点での有用性の限界一, 日磁医誌 9(4): 246-257, 1990

Image Analysis of Mitral Regurgitation Flow Patterns in Cardiac Cine MRI

HIDEKI YAMAMOTO,¹ TOSHIKI NORIYASU²
TOMIO NAKAGAWA,² NORIKO KANZAKI²
YOSHIO YAMAMOTO,² SHIN KIMOTO²
IKUO JOHJA,² YOSHIO HIRAKI²
HIDEHIRO HAYASHI,³ MICHIOHSHI KUWAHARA⁴

¹*Department of Radiology, School of Health Sciences, Okayama University
Shikata, Okayama 700*

²*Department of Radiology, Okayama University Medical School
Shikata, Okayama 700*

³*Okayama Red Cross Hospital
Aoe, Okayama 700*

⁴*Osaka Industrial University
Nakagaito, Daito 574*

The purpose of this study is to detect and evaluate the regurgitant blood flow patterns in the cine MRI.

Image data in a patient with the mitral regurgitation, aortic regurgitation and stenosis are taken and digitized in the constant time intervals.

After gray level thresholding and region segmentation, the boundaries of the mitral regurgitant flow regions are precisely extracted.

By using an expert system for the diagnosis of valvular heart diseases, a doctor can easily form a correct diagnosis.

This method presented in this study may be useful for the diagnosis of the various heart diseases.