

間のうちに任意の角度での CISS 再構成画像なども簡単に得られるようになり、3次元で内耳を立体的に観察することも可能である。

脳膿瘍は輪状造影効果を示す疾患の1つとして知られているが、SE法のT2強調像では辺縁部のT2強調像での低信号が特徴的所見といわれていた<sup>3)</sup>。しかしFSE法ではこの特徴的な低信号が検出しにくい。脳膿瘍の診断に際しては、輪状造影効果を示す他の悪性神経膠腫(膠芽腫)や転移性腫瘍などとの鑑別が重要であるが、脳膿瘍では拡散強調像で著明な高信号を示すことが特徴であり、鑑別が容易である。

### 結 語

FSE法に代表されるような高速撮像法が現在のMRI検査の主流であり、SE法とGRE法の両者を合わせたGRASE法も高速撮像法の1つとして用いられている。今やMRIの検査時間はCTよりも短くなった。またGRE法でも従来のFLASH法やFISP法に加え、CISSなど新たな撮像法も臨床応用されるようになった。最も大きな進歩の1つとしてEPIが臨床機でも可能となったことも挙げられる。これらの進歩によりMRIは従来の形態診断に加え、拡散強調像など形態以外の情報をも画像化できるようになり、MR診断の可能性を広げてくれた。しかし現在でもまだ十分有用性を評価されていない

撮像法も多く、今後も新しい撮像法が次々と加わってくると考えられる。少しずつこれらの撮像法に臨床的評価を加え、数多い撮像法の中から臨床に有用な撮像法を取捨選択して用いてゆくことが必要である。

### 参 考 文 献

- 1) 岡本浩一郎: 脳のMRI診断. 新潟医学会誌, 104: 702~706, 1990.
- 2) 吉川宏起, 戸辺公子, 鈴木捷三: 高速撮像法. 日医放会誌, 55: 付録2~8, 1995.
- 3) Haines, AB., Zimmerman, RD., Morgello, S., Weingarten, K., Becker, RD. and JennisR, Deck MDF.: MR imaging of brain abscesses. AJR, 152: 1073~1085, 1989.
- 4) Stejskal, EO. and Tanner, JE.: Spin diffusion measurements: spin-echoes in the presence of a time-dependent field gradient. J. Chem. Phys 42: 288~292, 1965.
- 5) Casselman, JW., Kuhweide, R., Deimling, M., Ampe, W. and Dehaenel, Meeus L.: Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. AJNR, 14: 47~57, 1993.

## 2) 骨・関節 MRI 診断における最近の進歩

新潟大学医学部放射線医学教室 (主任: 酒井邦夫教授)

樋口 健史・酒井 邦夫

Recent Advances in MR Imaging of Bone and Joints

Takesi HIGUCHI and Kunio SAKAI

Departments of Radiology, Niigata University

School of Medicine

(Director: Prof. Kunio SAKAI)

Advances in MR technology have enabled us to obtain high-quality images of bone and joints. In this article we described the efficacy of three new techniques. 1) FS

Reprint requests to: Takesi HIGUCHI,  
Department of Radiology, Niigata University  
School of Medicine, Niigata City,  
951-8510, JAPAN.

別刷請求先: 〒951-8510 新潟市旭町通1番町  
新潟大学医学部放射線医学教室 樋口 健史

3D-SPGR (FLASH) to detect the articular cartilage of the knee. 2) Dynamic contrast enhanced MR study for soft tissue changes of rheumatoid arthritis. 3) Dynamic contrast enhanced MR imaging to evaluate the response to preoperative chemotherapy. These techniques are very usefull for detecting and evaluating the bone and jounts disorders, but more detailed studies correlated with histologic findings are necessary to determine the role of these new pulse sequence and dynamic MRI.

Key words: MRI, bone and joints, articular cartilage, rheumatoid arthritis, osteosarcoma  
磁気共鳴画像, 骨関節, 関節軟骨, 慢性関節リウマチ, 骨肉腫

## 1. はじめに

当院の MRI 装置は Magnetom H15 が稼働して10年が経過し, 昨年新たに Magnetome Vision が導入された. この間に MRI はハード, ソフト両面で技術的改良が進み, 様々な領域で多くの成果をあげている.

最近の MRI で以前と比較して進歩した点は要約して次の3点である.

- 1) 撮像時間の短縮
- 2) 画質 (S/N 比, 空間分解能) の向上
- 3) 新たな撮像法の導入

撮像時間の短縮は Fast SE (Turbo SE) が可能になったことにより, S/N 比の向上は主としてコイルの改良によって, 撮像時間の短縮は検査時間を短縮させ, 患者負担を軽減した. また, 画質の向上は病変のより詳細な検討を可能にした. さらに, 新たな撮像法の導入により, これまで描出不能であったか, あるいは明瞭に描出できなかった構造を描出可能とした.

ここでは, 骨関節領域の MRI でこれまでにその臨床における有用性が認められている疾患を列举し, さらにこれまで余り検討されていないが今後の臨床応用が期待される疾患について述べる.

## 2. MRI の有用性が確立している骨・関節疾患

関節領域において MRI の有用性が確立している疾患として, 次のものが挙げられる.

- 1) 膝関節
  - 半月板損傷
  - 靭帯損傷
  - 膝窩部嚢胞 (Baker's cyst)
- 2) 股関節
  - 大腿骨頭壊死

滑膜骨軟骨腫症

色素性絨毛結節性滑膜炎

(これらの疾患は他の骨関節でもみられる)

### 3) 肩関節

腱板断裂

肩関節不安定症

(Bankart lesion, Hill-Sacks lesion)

### 4) 手関節

キーンベック病

靭帯損傷

## 2. MRI の有用性が期待される骨・関節疾患

関節領域において今後の臨床応用が期待される疾患としては, 変形性関節症と慢性関節リウマチが挙げられる. これらの疾患は関節疾患のなかで日常よく遭遇する代表的なものであるが, これまでは MRI の対象とされることは慢性関節リウマチにおける頸椎病変を除けば多くはなく, 通常はX線写真により評価されていた. しかし, X線写真で変化が生ずるのはいずれも進行した段階であり, MRI でその病態の評価と初期像把握の試みがなされている.

### 1) 関節軟骨の描出について

変形性関節症は関節軟骨の変性が基盤となり引き起こされると考えられている. 軟骨が変性し, 粘弾性が傷害されると軟骨下骨層に衝撃の応力が伝わり, 軟骨下骨層にも形態学的変化が生じる. 従って, 変形性関節症の初期像をとらえるには, 関節軟骨の変性を早期に検出する必要がある. MRI による画像的アプローチとしては, いかに関節軟骨をより明瞭に描出するかがひとつの課題となる.

関節軟骨の描出に関しては, これまで様々な撮像法が提唱されているが<sup>1)-4)</sup>, 近年の報告では種々の撮像法

を検討した結果、脂肪抑制併用 3D-SPGR (spoiled gradient recalled acquisition) あるいは脂肪抑制併用 3D-FLASH (fast low angle shot) 法が最も明瞭に描出可能であるとされており<sup>5)-7)</sup>、自験例でもこの撮像法が他の撮像法に比して関節軟骨を周囲構造より高信号に明瞭に描出可能であった (図 1)。

また、この撮像法では関節軟骨は表層から高信号、低信号、高信号の3層に描出されるが、一方、関節軟骨は組織学的には表層から tangential zone, transitional zone, radial zone, calcified zone の4層に分けられ、脂肪抑制併用 3D-SPGR 法における表層高信号が tangential zone に、低信号層が transitional zone に、深部の高信号層が radial zone と calcified zone に相当すると考えられていた。しかし最近、脂肪抑制併用 3D-SPGR 法における3層構造は truncation artifact であると報告されており<sup>8)9)</sup>、この点も含めてさらなる検討が必要と考えられる<sup>6)</sup>。

## 2) 慢性関節リウマチにおける炎症性滑膜の描出について

慢性関節リウマチは多発性非化膿性関節炎を主症状とする原因不明の慢性全身性疾患で、滑膜炎からはじまり、軽快と憎悪を繰り返して軟骨や骨が破壊され、変形と機能傷害をおこす。従って、画像上も関節の破壊の主因となる炎症性滑膜の描出がもっとも重要であり、慢性関節リウマチの初期像を画像的にとらえるには滑膜の変化を早期に検出する必要がある。MRI では正常滑膜は描出困難であるが、慢性関節リウマチの炎症性滑膜は描出可能である。炎症性滑膜の信号強度は通常 T1 強調像では低信号、T2 強調像では低信号から高信号まで様々であり、また、Gadolinium 造影後よく造影されることは周知のことである。

通常のスピエコー法では炎症性滑膜と関節液が厳密に区別できず、さらに通常の造影 MRI でも関節液が造影剤の拡散により徐々に造影されるため、増強効果を有する滑膜の性状を正しく評価できない。しかし造影剤の関節液への拡散は遅いが active な炎症性滑膜は造影早期に濃染することから contrast enhanced dynamic study では両者をより明瞭に区別することが可能である<sup>10)</sup>。

さらに慢性関節リウマチにみられる肥厚滑膜は組織学的に高度の vascularity を有するものから線維化したものまで存在するが、炎症の activity を反映すると考えられる vascularity の評価にも dynamic MRI が有用である。すなわち造影剤の急速静注後 pannus はそ

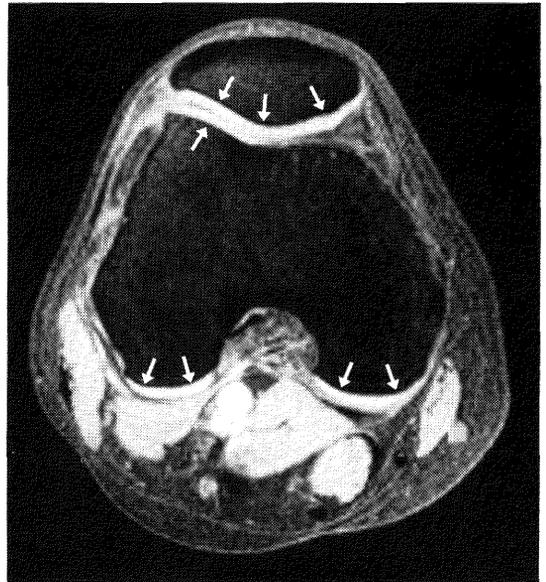


図 1 24歳健常男性、膝関節横断像  
脂肪抑制併用 3D-SPGR (FLASH) TR  
33 ms, TE 5.0/1  
関節軟骨が高信号に描出されている (矢印)。

の vascularity に応じて早期濃染を示す<sup>11)</sup>。症例を提示する (図 2)。

さらに、骨破壊のない早期の慢性関節リウマチの滑膜炎、腱鞘炎を描出するには脂肪抑制併用造影 T1 強調像が現在最も有用と考えられる<sup>12)</sup>。

## 3) 原発性骨腫瘍の治療効果判定について

骨腫瘍の診断においてはいまだに X線写真と X線 CT が重要な位置を占めている。しかし、腫瘍の骨髄内進展や骨外病変の把握に関しては MRI が不可欠となっている。さらに、ここでは骨原発悪性腫瘍の術前化学療法の効果判定における MRI について述べる。

骨肉腫やユーイング肉腫といった high grade な原発性骨腫瘍に対しては近年、術前化学療法を施行し、患肢を温存する方法が一般的となっている。そのため術前に非侵襲的な治療効果判定が必要とされている。

日本整形外科学会骨・軟部腫瘍委員会原発性骨悪性腫瘍の治療効果判定基準 (案)<sup>13)</sup>では、効果の判定を単純 X線もしくは CT 像で行い、臨床所見は、四肢発生例では腫瘍の最大周径、その他では最大径、局所疼痛および熱感で判定、骨肉腫では血清アルカリフォスファターゼ値が 1.25 倍以上の例では血清アルカリフォスファター



図 2 66歳女性，慢性関節リウマチ，右手冠状断像  
脂肪抑制併用 2D-FLASH TR 245 ms，TE  
6.0/1  
肥厚した滑膜の著明な早期濃染像を認める  
(矢印)。

ゼ値を補助判定法としてよい，としている。またこの基準では 1) 著効 (CR)：骨外腫瘍陰影の消失と髓内病変の正常化が原則として 3 週間以上継続したもの，2) 有効 (PR)：骨外腫瘍陰影の辺縁の明瞭化と髓内骨破壊性病変に骨硬化像の出現が原則として 3 週間以上継続したもの，とされている。しかし，骨肉腫において骨硬化像の出現がかならずしも腫瘍の治療への良好な反応を示す所見とはかぎらず，また，縮小していなくとも内部の腫瘍が壊死になっている可能性があることより，この方法

のみでは十分な術前評価は不可能である。

骨原発悪性腫瘍の術前化学療法後の効果判定については，以前から種々のパルス系列における信号強度の検討や造影 MRI の検討がなされていたが満足 of いく結果は得られていなかった。造影 MRI の検討では，造影剤投与後の病変部の増強効果は残存腫瘍のみならず壊死組織にもみられることから，非特異的所見と考えられている。

近年，Erlman や Bloer らによって dynamic-contrast enhanced MRI の Time-dependent enhanced curve を用いることにより残存腫瘍と他の組織とをより特異的に分離可能であることが指摘されてから，技術的な進歩とあいまって臨床に用いられるようになってきている<sup>14-21)</sup>。

具体例を提示する。dynamic study は 1) 2D-FLASH (TR 105 ms，TE 6.0/1 ms) か 2) Turbo spin echo T1WI (TR 500 ms，TE 15 ms) を用い，いずれも Gadolinium 造影剤 0.1 mmol/Kg of body weight を静注開始直後から 20 sec 毎に 7～9 回 (140 sec～180 sec まで) 連続で撮像し，横軸に時間を縦軸に信号強度をとって関心領域での時間経過にもともなう信号強度の変化をみている。

症例 1 13歳女性：大腿骨遠位部骨肉腫化学療法後の dynamic MRI (2D-FLASH TR 105 ms，TE 6.0/0.1 ms)。多くの領域で time-intensity curve の急峻な立ち上がり，すなわち早期濃染像が認められ，かなりの範囲 (50%以上) で viable tumor cell が残存していると考えられる。化学療法の効果判定は無効と判定された (図 3 A, B)。

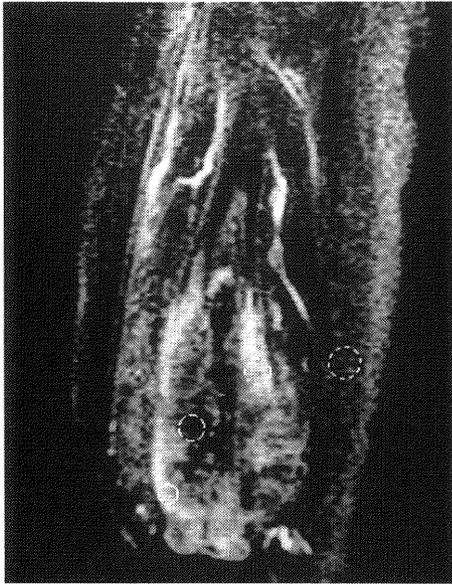
症例 2 13歳女性：脛骨近位部骨肉腫化学療法後の dynamic MRI (Turbo spin echo T1WI TR 500 ms，TE 15 ms)。計測したすべての領域で time-intensity curve は穏やかな立ち上りを示し，著効ないしかなりの効果 (viable tumor cell が 10%以下) と判定された (図 4A, B)。

いずれの症例も組織学的効果判定と一致した。

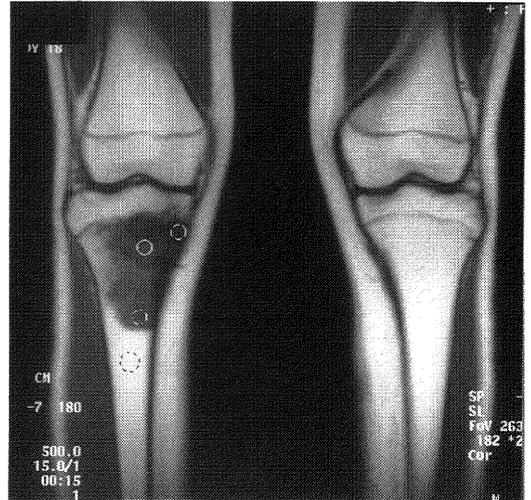
また，最近では Iwasawa らが骨肉腫の microscopic な骨内進展が Time-intensity curve の解析により診断可能と報告をしている<sup>20)</sup>が，これに関しては今後も検討が必要と思われる。

#### 4. おわりに

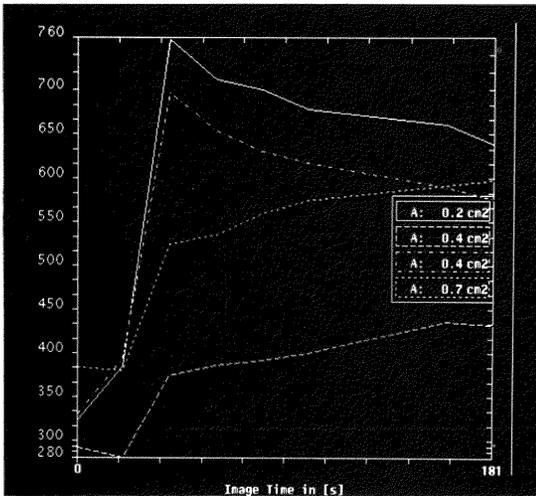
骨関節領域の MRI は最も成功した分野のひとつであり，既にその有用性は多くの疾患で確立している。ここでは最近の MRI のこの領域での新たな活用法とし



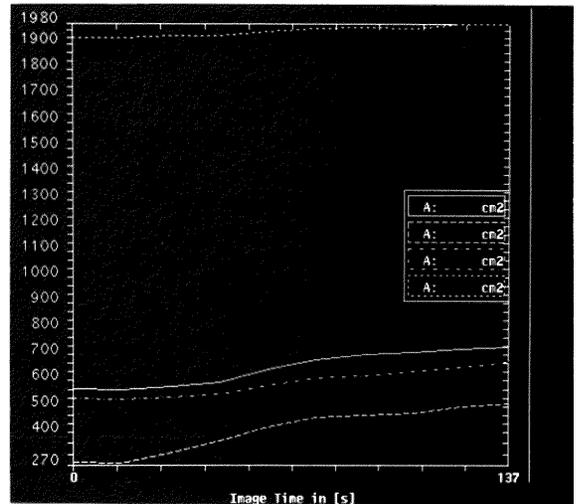
A



A



B



B

図3 13歳女性，大腿骨遠位部骨肉腫化学療法後 dynamic MRI  
脂肪抑制併用 2D-FLASH TR 105 ms，TE 6.0/1 サブトラクション像で関心領域を設定(図3A)し，time-intensity curve を作成(図3B)．多くの領域で time-intensity curve は急峻な立ち上がりを示し，化学療法は無効と判定された．

図4 13歳女性，脛骨近位部骨肉腫化学療法後 dynamic MRI  
Turbo spin echo T1WI (TR 500 ms，TE 15 ms) 冠状断像で関心領域を設定(図4A)し，time-intensity curve を作成(図4B)．計測したすべての領域で time-intensity curve は穏やかな上昇を示すのみで，化学療法は著効ないし，かなりの効果と判定された．

て関節軟骨の描出, 炎症性滑膜の描出, 骨原発悪性腫瘍の術前化学療法後の効果判定における dynamic MRI について簡単に述べた。いずれも臨床的に有用な方法と考えられるが, さらなる検討が必要である。またこれからも臨床における MRI の役割は, コイルを含めた装置の改良と新たな撮像法の開発とにより常に変化していくと考えられる。その状況下で何が今必要であるかを画像診断医と各科担当主治医が検討していくことが MRI の進歩にとって重要といえる。

### 参 考 文 献

- 1) **Joel, D. Rubenstein, MD., Jae, K. Kim, SB., SM., Izabella, Moraba-Protzner, MD., PhD., Peter, L. Stanchev, PhD. and R. Mark-Henkelman, PhD.:** Effect of collagen orientation on MR imaging characteristics of bovine articular cartilage, *Radiology*, **188**: 219~226, 1993.
- 2) **Scott, J. Erickson, MD., Ian, H. Cox, MD., James, S. Hyde, PhD., G. F. Carrera, MD., Julie, A. Strandt, RTR. and Lloid, D. Estkowski, RTR.:** Effect of tendon orientation on MR imaging signal intensity: A manifestation of the "magic angle" phenomenon: *Radiology*, **181**: 389~392, 1991.
- 3) **Jean, M. Modl, MS., Lowell, A. Sether, PhD., Victor, M. Haughton, MD. and J. Bruce, Kneeland, MD.:** Articular cartilage: correlation of histologic zones with signal intensity at MR imaging: *Radiology*, **181**: 853~855, 1991.
- 4) **Steven, D. Wolff, PhD., Scott, Chesnick, Joseph, A. Frank, MD., Kelvin, O. Lim, MD. and Robert, S. Balaban, PhD.:** Magnetization transfer contrast: MR imaging of the knee, *Radiology*, **179**: 623~628, 1991.
- 5) **Michael, P. Recht, MD., Josef, Kramer, MD., MD., Stefan, Marcellis, MD., Mini, N, Pathria, MD., Debra, Trudell, RA., Parviz, Haghghi, MD., David, J. Sartoris, MD. and Donald, Resnick, MD.:** Abnormalities of articular cartilage in knee: analysis of available MR techniques, *Radiology*, **187**: 473~478, 1993.
- 6) **Joel, Rubenstein, MD., Michael, Recht, MD., David, G. Disler, MD., Jae, Kim, PhD. and R. Mark, Henkelman, PhD.:** Lamellar structure on MR images of articular cartilage, *Radiology*, **204**: 15~18, 1997.
- 7) **David, G. Disler, Thomas, R. McCauley, Carl, R. Wirth and Marc, D. Fuchs:** Detection of knee hyaline cartilage defects using fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging: comparison with standard MR imaging and correlation with arthroscopy, *AJR*, **165**: 377~382, 1995.
- 8) **Erickson, SJ., Waldschmidt, JG., Czervionke, LF. and Prost, RW.:** Hyaline cartilage: truncation artifact as cause of trilaminar appearance with fat-suppressed three dimensional spoiled gradient-recalled sequence, *Radiology*, **201**: 260~264, 1996.
- 9) **Frank, LR., Brossmann, J., Buxton, RB. and Resnick, D.:** MR imaging truncation artifacts can create a false lamellar appearance in cartilage, *AJR*, **168**: 547~554, 1997.
- 10) **Yamato, M., Tamai, K., Yamaguchi, T., Ohno, W.:** MRI of the Knee in Rheumatoid Arthritis: Gd-DTPA Perfusion Dynamics, *JCAT*, **17(5)**: 781~785, 1993.
- 11) **Hermann, Konig, MD., Juergen, Sieper, MD. and Karl-Juergen, Wolf, MD.:** Rheumatoid Arthritis: Evaluation of Hypervascular and Fibrous Pannus with Dynamic MR Imaging Enhanced with Gd-DTPA, *Radiology*, **176**: 476~477, 1990.
- 12) **Sugimoto, H., MD., Takeda, A., MD., Masuyama, J., MD. and Furuse, M., MD.:** Early-Stage Rheumatoid Arthritis: Diagnostic Accuracy of MR Imaging, *Radiology*, **198**: 185~192, 1996.
- 13) **日本整形外科学会骨軟部腫瘍委員会編:** 整形外科・病理, 悪性腫瘍取扱い規約, 第2版, 金原出版株式会社, 1990.
- 14) **Henk-Jan, van der Woude, Johan, L. Bloem, Koenraad, L. Verstraete, Anthonie, H.M. Tamini- au, Marianne, A. Nooy and Pancras, C.W. Hogen- doorn:** Osteosarcoma and Ewing's sarcoma after neoadjuvant chemotherapy: value of dynamic MR imaging in detecting viable tumor before surgery, *AJR*, **165**: 593~598, 1995.
- 15) **Koenraadl, Verstraete, MD., PhD., Yves, De Deene, MSc., Hendrik, Roels, PhD., Annemie, Dierick, MD., Dirk, Uyttendaele, PhD. and Marc,**

- Kunnen, PhD.**: Benign and malignant musculoskeletal lesion: dynamic contrast-enhanced MR imaging—parametric “first-pass” images depict tissue vascularization and perfusion, *Radiology*, **192**: 835~843, 1994.
- 16) **Reddick, WE., Bhargava, R., Taylor, JS., Meyer, WH. and Fletcher, BD.**: Dynamic contrast-enhanced MR imaging evaluation of osteosarcoma response to neoadjuvant chemotherapy. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **5**(6): 689~694, 1995.
- 17) **Fletcher, BD., Hanna, SL., Fairclough, DL. and Gronemeyer, SA.**: Pediatric musculoskeletal tumors: use of dynamic contrast-enhanced MR imaging to monitor response to chemotherapy, *Radiology*, **184**(1): 243~248, 1992.
- 18) **Erlemann, R., Sciuk, J., Bosse, A., Ritter, J., Kusnierz-Glaz, CR., Peters, PE. and Wuisman, P.**: Response of osteosarcoma and Ewing sarcoma to preoperative chemotherapy: assessment with dynamic and static MR imaging and skeletal scintigraphy. *Radiology*, **175**(3): 791~796, 1990.
- 19) **van der Woude HJ., Bloem, JL., Schipper, J., Hermans, J., van Eck-Smit BL., Van Oostayen, J., Nooy, MA., Taminiau, AH., Holscher, HC. and Hogendoorn, PC.**: Changes in tumor perfusion induced by chemotherapy in bone sarcomas: color Doppler flow imaging compared with contrast-enhanced MR imaging and three-phase bone scintigraphy. *Radiology*, **191**(2): 421~431, 1994.
- 20) **Iwasawa, T., Tanaka, Y., Aida, N., Okuzumi, S., Nishihira, H. and Nishimura, G.**: Microscopic intraosseous extension of osteosarcoma: assessment on dynamic contrast-enhanced MRI, *Skeletal Radiol.*, **26**: 214~221, 1997.
- 21) **Barry, D., Fletcher, MD., Soheil, L. Hanna, MD., Diane, L. Fairclough, DrPH. and Suzanne, A. Gronemeyer.**: Pediatric musculoskeletal tumors: use of dynamic, contrast-enhanced MR imaging to monitor response to chemotherapy, *Radiology*, **184**: 243~248, 1992.

### 3) 心臓 MRI 領域における最近の進歩

新潟大学医学部放射線医学教室 (主任: 酒井邦夫教授)

吉村 宣彦・木村 元政

Recent Advance of Cardiac MR Imaging

Norihiko YOSHIMURA

*Department of Radiology,*

*Niigata University School of Medicine*

*(Director: Prof. Kunio SAKAI)*

Recent advance of MR imaging makes the acquisition time shorter. Therefore, the data acquisition can be performed with the subject holding his breath. It gives the great

Reprint requests to: Norihiko YOSHIMURA,  
Department of Radiology, Niigata  
University School of Medicine,  
Niigata City, 951-8510, JAPAN.

別刷請求先:

〒951-8510 新潟市旭町通1番町757番地  
新潟大学医学部放射線医学教室

吉村 宣彦