

- E.C.: Microinvasive carcinoma of the cervix. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, **145**: 981~989, 1983.
- 19) **Tsakamoto, N., Kaku, T., Matsukuma, K., et al.**: The problem of stage I a (FIGO, 1985) carcinoma of the uterine cervix. *Gynecol. Oncol.*, **34**: 1~6, 1989.
- 20) **Seski, J.C., Abell, M.R. and Morley, G.W.**: Microinvasive squamous carcinoma of the cervix: definition, histologic analysis, late results of treatment. *Obstet. Gynecol.*, **50**: 410~414, 1977.
- 21) **Burghardt, E., Girardi, F., Lahousen, M., Pickel, H. and Tamussino, K.**: Microinvasive carcinoma of the uterine cervix (International Federation of Gynecology and Obstetrics stage I a). *Cancer*, **67**: 1037~1045, 1991.
- 22) **Togashi, K., Nishimura, K., Sagoh, T., et al.**: Carcinoma of the cervix: staging with MR imaging. *Radiology*, **171**: 245~251, 1989.
- 23) **Hricak, H., Lacey, C.G., Sandles, L.G., Chang, Y.C.F., Winkler, M.L. and Stern, J.L.**: Invasive cervical carcinoma: comparison of MR imaging and surgical findings. *Radiology*, **166**: 623~631, 1988.
- 24) **Rubens, D., Thornbury, J.R., Angel, C., et al.**: Stage IB cervical carcinoma: comparison of clinical, MR, and pathologic staging. *AJR*, **150**: 135~138, 1988.
- 25) **Sironi, S., Belloni, C., Taccagni, G.L. and DelMaschio, A.**: Carcinoma of the cervix: value of MR imaging in detecting parametrial involvement. *AJR*, **156**: 753~756, 1991.
- 26) **Sironi, S., Cobelli, F.D., Scarfone, G., et al.**: Carcinoma of the cervix: value of plain and gadolinium-enhanced MR imaging in assessing degree of invasiveness. *Radiology*, **188**: 797~801, 1993.
- 27) **Yamashita, Y., Takahashi, M., Sawada, T., Miyazaki, K. and Okamura, H.**: Carcinoma of the cervix: dynamic MR imaging. *Radiology*, **182**: 643~648, 1992.
- 28) **Seki, H., Azumi, R., Kimura, M. and Sakai, K.**: Stromal invasion by carcinoma of the cervix: assessment with dynamic MR imaging. *AJR*, **168**: 1579~1585, 1997.

## 6) 新しい磁気共鳴画像

新潟大学脳研究所脳機能解析・脳神経外科 藤井幸彦

New Magnetic Resonance Imaging

Yukihiko FUJII, M.D., Ph.D.

*Departments of Integrated Neuroscience and Neurosurgery  
Brain research Institute, Niigata University*

New magnetic resonance imaging techniques were briefly outlined. T2 reversed (T2R) imaging is achieved through application of reversal of the gray scale and expansion of the

Reprint requests to:

Yukihiko FUJII, M.D., Ph.D.,  
Department of Integrated Neuroscience,  
Brain research Institute,  
Niigata University School of Medicine,  
Niigata City, 951-8585, JAPAN.

別刷請求先: 〒951-8585 新潟市旭町通1番町  
新潟大学脳研究所脳機能解析 藤井幸彦

gray scale window utilizing a high field magnetic resonance system. High field T2R imaging can provide both detailed anatomic resolution as well as contrast resolution in a single contrast study under various physiological as well as pathological condition. Axonography can produce color coded contrast of exceptionally high anatomic resolution utilizing three dimensional anisotropy contrast. The EPISTAR (echo-planar imaging and signal targeting with alternating radio frequency) technique and BOLD (blood oxygenation level contrast) functional MRI are used to create maps of perfusion and brain function, respectively.

Key words: magnetic resonance imaging, high magnetic field, axonography

磁気共鳴画像, 超高磁場, 軸索画像

## はじめに

今回の内容は、第524回医学会シンポジウム(平成9年1月18日):新しい磁気共鳴画像法の抜粋であり、詳細については、その稿を参考にされたい。

### 1) T<sub>2</sub> Reversed Images

T<sub>2</sub> Reversed Image (T2R) は、FSE を用いた T<sub>2</sub> コントラストで撮像された画像の gray scale を逆転し、window の幅を広げることにより、より多くの情報が得られるように工夫した画像である。SNR が落ちる T<sub>2</sub> 強調画像の基本的な欠点を超高磁場磁気共鳴装置が補い、高空間分解での T<sub>2</sub> 強調画像に含まれる臨床情報を T<sub>1</sub> 強調画像のような高画質をもって提供することを目的としている。超高磁場装置による T2R 画像法では、高い空間分解能と優れたコントラストの画像が得られる。すなわち、1つのコントラスト法の撮像法だけで、詳細な解剖学的観察および病的状態診断が可能となる。

### 2) 軸索画像

軸索画像は、軸索の持つ見かけの拡散の不等方性 anisotropism を利用した true color-contrast による三次元コントラストの獲得により、飛躍的に高いコントラスト解像度を実現した画像法である。三原色の配合の違いによる色の違いが不等方性成分の方向を表すことになる。解剖学的に極めて優れたコントラストが得られるため、生理学的・解剖学的研究、臨床研究に幅広く応用されることが期待される<sup>1)2)</sup>。

### 3) EPISTAR

EPISTAR (echo-planar imaging and signal targeting with alternating radio frequency) は、Robert R. Edelman が1994年に報告している超高速の磁気共鳴撮像法

を用いて、非侵襲的に局所脳血流(主に灌流 perfusion)を測定する方法論である<sup>3)</sup>。基本的には2組の画像(血流標識画像と非血流標識画像)を subtraction することにより局所血流を測定する。

### 4) BOLD functional MRI

還元ヘモグロビンの磁化率効果(magnetic susceptibility)によってもたらされる磁気共鳴画像信号強度の変化は BOLD (blood oxygenation level dependent) 効果とよばれる。この内因性の造影剤とも言うべき還元ヘモグロビンの局所濃度の変化が脳機能に伴う脳循環の微細変化を反映することから脳皮質賦活を捉える新技術として登場したのが機能的磁気共鳴画像 functional MRI (fMRI) である<sup>4)</sup>。

## 参考文献

- 1) 中田 力: 拡散テンソルと拡散強調画像: 画像数学. 日磁誌, 15: 133~144, 1995.
- 2) Nakada, T., Matsuzawa, H. and Kwee, I.L.: Magnetic resonance axonography of the rat spinal cord. Neuro Report, 5: 2053~2056, 1994.
- 3) Edelman, R.R., Siewert, B., Darby, D.G., Thangaraj, V., Nobre, A.C., Mesulam, M.M. and Warach, S.: Qualitative mapping of cerebral blood flow and functional localization with echo-planar MR imaging and signal targeting with alternating radio frequency. Radiology, 192: 513~305, 1994.
- 4) Ogawa, S., Menon, R.S., Tank, D.W., Kim, S.G., Merkle, H., Ellermann, J.M. and Ugurbil, K.: Functional brain mapping by blood oxygenation level dependent contrast magnetic resonance imaging. Biophys J., 64: 803~812, 1993.

司会 それでは、各シンポジストの方々には前の方に  
お座りいただいて、ディスカッションを始めたいと思  
います。

各演者のお話をお聞きすると、最近のMRIの進歩  
は、高速で撮影できるようになったこと、エコープラナ  
イメーシングのような新しい撮像法が可能になったこと  
に集約されると思います。こういう診断方法の進歩に伴  
って、どのような臨床的な有用性が加わったかについて  
、繰り返しになるかもしれませんが、各演者から今日のお  
話のまとめをお聞きしたいと思います。

岡本 まず撮像の時間が短くなったということは臨床  
の上でいろいろな利点があります。ほかの演者もおっしゃ  
ておりましたが、まず患者の拘束時間が短くなったこと  
、拘束時間とは患者さんが検査のためにMRIの台に乗  
っている時間が減ったということです。最初に申ししま  
したが、以前ですと最低のT1強調画像とT2強調画像と  
造影を行いますとこれで40分かかっておりました。40分  
という時間は動いてはいけないということなので大変長  
かったです。今はそれだけのことをするのに10分ちょ  
とで済みます。そうしますと、差し引き25分くらいの時  
間が余ります。その時間で従来ではなかなか得られな  
かった多方向からの撮像も可能となります。MRIは磁場  
をもとに画像を作っているのですが、患者さんの動き、  
体動ではなく、例えば脳脊髄液の動き、血流の動きなど  
どうしても避けられない動きがMRIの画像に反映され  
てしまいます。そういう信号が病的なものなのか診断  
する必要がどうしてもあったわけですが、そういうもの  
を除外するためにほかの撮像方向で取れるようになった  
こと、すなわち、T2強調画像で高信号、低信号が本  
当に病的なものかを確認できるようになったことがあり  
ます。次に、中枢神経系は上下左右どこでも立体です  
ので病変の広がりもそれにあわせて診断することができ  
るようになりました。さらに余った時間で高速撮像法で  
FLAIR法で確認してみる、さらにMR血管造影(MRA)  
が必要であればやってみる。ということで、同じ40分使  
うのであれば以前えられなかった情報を付加することが  
できるようになりました。また、形態だけでなく、機能  
に関する情報も得られようになったことがあげられます。

司会 ありがとうございます。岡本先生にご質問ご  
ざいますか。

では次に樋口先生に骨・関節についてどういう有用性  
が加わったかをお話ししていただきたいと思います。

樋口 いま岡本先生がお話になったように、もっと  
も有用になったことは、撮像時間が短くなったことで検

査時間が短縮されたことです。これに関連して、ほかの  
領域でも同じですが、限られた検査時間内にさらに違う  
方向から撮像してより正確な診断ができるようになった  
ことがあげられます。また、撮像時間の短縮を検査時間  
の短縮だけでなく、画像の向上に振り向けることができ  
るようになったことです。マトリックスの数を増やした  
り、加算回数を増やすことができますので、同じ時間で  
あればより画質のいい、空間分解能の高い画像が得られ  
るようになりました。

司会 ありがとうございます。骨・関節の領域はス  
ポーツ医学などいろんな分野に関係するので、整形外科  
の先生にもスピーカーとしてお願いしたのですが、今回  
は学会と重なったためにご参加いただくことはできませ  
んでした。ご承知のように、整形外科ではすでにMRI  
は日常診療上なくてはならない武器になっております。  
では次に心・大血管の領域について吉村先生にお願いま  
す。

吉村 心臓領域では呼吸停止によってかなり、正確に  
形態の評価ができるようになったことがあります。非侵  
襲的な検査として今までエコーがあったのですが、エコー  
では死角があったりですか、術者の経験に左右される  
傾向があったわけですが、MRIでは客観的に評価でき  
ること、また非侵襲的に検査できる点は大きく評価でき  
るところだと思います。

司会 先ほど、MRIでもCoronary-angioが撮れる  
とおっしゃいましたが、どのくらいの分岐まで可能です  
か？

吉村 先ほどのシーケンスですと、約1.5mmで  
すので、まだ十分な空間分解能とはいえない段階です。  
エコープランナーですか、ケーススペースを埋めるのに  
もう少し向上したものが開発されているかと思いますが、  
まだまだこれからというところですよ。

司会 エコープランナーが実用化すれば、ischemia  
の診断にも利用できる可能性はありますか。

吉村 あると思いますが、まだ現在のところでは難し  
いと思います。

司会 心臓の領域で質問はございますか。では次に腹  
部の診断についてお願いします。

加村 先ほど申しましたように、胆道系や脾に關して  
も少しいいところが出てきましたが、基本的にはMRI  
が有用な領域は肝です。血管腫と肝細胞癌がいいわけ  
ですが、これまでもよかったのですが、検査技術の進歩に  
連れて検出率の向上もみられます。また、先ほど全くい  
いませんでしたが、いろんな検査をやってみるとこれは

hepatoma ではないかと思われるのですけども、実は違う、いわゆる pseudolesion (偽病変) があります。そういうものが新しい撮像法によってなくなるわけではないんですけども、空間分解能が高くなるに連れてこれは違う pseudolesion ということが少しいやくなるかと思えます。いままで6人の先生のお話を聞いてみますと、関先生の領域を除きますと、悪性腫瘍の検出にあっているのは肝の領域だけだということで臨床的意義は大きいと思えます。もちろん、実際の臨床では、エコーが第一義的に肝細胞癌の検出に役立つわけですが、MRが診断のきっかけになることがかなり多くなった印象があります。ということで実地にはCTと同じくらい使ってもいいかと思えます。

司会 腹部MRIについて何かご質問はございますでしょうか。どうぞ。

武藤 骨盤に入っていない腹部臓器でたとえば膀胱などの perineural invasion とか、脈管浸潤とか、そういうものを Dynamic MRI にしたらどうなるんですか。

加村 膀胱は難しいんですけども、基本的には脂肪抑制画像を併用すればちょうどCTと同じように脂肪が黒い画像が撮れます。それで Dynamic study をやりますと基本的には見えます。膀胱は hypovascular ですのでたとえば腹腔動脈ですとか上腸間膜動脈にあるような perineural invasion と思われる索状影がゆっくり染まってくのが描出されるのですが、まだ症例の経験が少ないので分かりませんが濃度分解能が高いという利点がありますので、空間分解能は低いのですがこちらCT なみになっていくものと期待しています。

司会 どうもありがとうございます。では Dynamic MRI について関先生をお願いします。

関 今、他の演者の方がいいましたように、高速の撮影ができるようになりましたので、それが骨盤の部位においても有用なのはほかの部位でも有用なのと同じです。また、腹部のほうと重なりますけども、phased array coil という surface coil が使えるようになったことで、解像度が非常によくなりました。Dynamic study は撮像時間が短く、信号強度を得るのが難しかったのですが、surface coil を用いることにより解像度があがってきまして最近では画像がよくなりました。また、子宮は、血流が豊富な臓器ですので、血管がたくさん入ってきます。そういった意味でも臓器の特殊性を考えても分かれますように、血流を見ながら病変の深達度を見るのは子宮の場合重要であります。いろいろな施設に入っているMRIのソフトやハードがよくなってきますと、

今後はスタンダードな高速スピエコー法と並んで Dynamic study が、ルーチン検査の中に入ってくるのではないのでしょうか。

司会 子宮がんの診断についてどなたかご質問はございませんでしょうか。どうぞ。

子宮頸癌の Dynamic で見えなければ3mm以下の浸潤だということですが、解像度があがると見えてくるわけですね。そうすると診断基準が変わる可能性もありますね。また、よくみれば見た深さが浸潤度と相関するという点で、どのようなお考えを持っていますか。

関 そういうことはあるかと思えます。現状では3mmを超えるものを診断基準としているのですが、将来的には surface coil の改善ですとか、もう少しマトリックスを増やしてみると、もっと浅い間質浸潤を早期濃染として検出できる可能性はあります。ただ、どのくらいの浸潤度で vascularity であがってくるかという問題はMRIの分解能とは違った問題です。それは今後の課題です。

司会 ほかにございませんでしょうか。

扁平上皮癌や腺癌も交えて3mm以内とおっしゃっているのでしょうか。

関 頸癌の場合扁平上皮癌がほとんどですので腺癌での検討は少数例なのですが、今の時点ではほとんど変わりがないと考えています。人によっては腺癌のほうが染まりが悪いといいますが、私はほとんど変わりがないと考えています。

司会 最後に藤井先生には、すばらしい画像を見せていただいたのですが、1.5テスラの装置に比べて、先生ご使用の3テスラの装置は、どのような点が優れているのでしょうか。

藤井 いいことばかりではありません。T1のコントラストがつかないのは致命的だったと思っていましたが、1.5テスラに比べてシグナルノイズ(S/N)が倍に増えるということを使いますと、普通のT2強調画像でも十分なコントラストつけることができるのが今回のT2Rの出現した理由です。Spectroscopyを含めてすべてのstudyにおいてシグナルノイズ(S/N)の影響が大きいと思います。高速化ということについては、今使っている機械のバージョンが1つ前のものなので、先生方の使用していらっしゃるシーケンスは使えません。ですから、シグナルノイズ(S/N)が圧倒的にいいということが誇れることだと思います。

司会 3ステラの装置では生体への影響を考慮しなく

てはいけないと思うのですが、いかがでしょうか。

**藤井** SAR という基準がありますが、年々変化しており、まだはっきり決まっていないようです。僕らのほうも中田先生を中心として超高磁場における SAR の基準を作っていかなければいけないと思っています。厳密にいきますと、先ほどお見せした high resolution の image は fast spin echo 法を使っているのですが、ものすごい量の RF が被験者にかかっています。しかし動物実験等、僕らの経験によりましては、fast spin echo 法を行っても人体に害があることはなく、もしあるとすれば、少し温度が上がるのではないかと、あがったとしても 0.1 程度というレベルですので、まずは心配ないかと思っております。

**司会** ご質問でございますでしょうか。

一時、BOLD 効果の function を見たときに脳実質の変化を見ているのか血管を見ているのか分からなかったのですが、あれば、実質を見ているとして結論づけているとしていいのでしょうか。

**藤井** 今 BOLD 効果の解釈も変わってきており、返答に困るのですが、現時点では、脳実質・血管系の両方を見ていると思います。今後の課題としては、perfusion をみる EPICSTAR という撮像法が僕らのほうで可能になってきていますので、2つのコンビネーションで、perfusion の部位と BOLD 効果の部位とを subtractionしながら、どれだけ脳実質の賦活された部位をみているのかを検討していきたいと思っております。

**司会** ほかにございますでしょうか。

**木村** 分解能が高いとおっしゃいましたがどのくらい高いのでしょうか。FOV がどのくらいで、matrix がどのくらいかということをお願いしたいのですが。

**藤井** 今僕らが行っている FOV が 12 cm です。今

日お見せした像の FOV が 12 cm の 512×512 の matrix ですので、pixel size として1つが 230 μm くらいです。それ以上試みたのですが、今の方法でも、加算回数を8回行って、echo train を12回で12分かかります。被験者にじっとしているのを強いるのはこれが限界ではないかと思えます。またこれ以上分解能をあげるには FOV を下げて加算回数を増やせばいいのですが、contrast がつきにくくなってきてしまいます。さらに Resolution をあげるることについては可能だと思いますが、生きた人を対象とする際には、超えなければならない問題が沢山あると思えます。

**木村** それでは、倍くらいの分解能があると考えてよろしいでしょうか。

**藤井** 全くそのとおりです。1.5 テスラでできないといっているのではなく十分に可能だと思います。

**木村** 1024 matrix を頑張ってみれば少しはできるのですが。

**藤井** FOV 20 cm で 1024 matrix を考えたのですが、情報量が莫大になるので FOV を下げて 12 cm で 512 matrix を使いました。

**司会** 時間になりましたので、これでシンポジウムを終わりたいと思います。本日のシンポジウムでは、最近10年間で MRI の診断能が著しく向上し、いろいろな部位の画像診断に実際に非常に役立っていることが示されたと思います。最新の機種では形態的な診断に優れるだけではなく、機能的な情報も加味されるようになってきて、また、非侵襲的であることとあいまって、MRI の有用性は今後ますます高まるものと思われまふ。演者の皆さんのこれからますますのご活躍をお祈り致します。本日はありがとうございました。