〔第18回秋季学術大会シンポジウム—MRS の現状と技術的課題〕

4. MRS の現状と今後の課題

森 田 博 文

東芝メディカル(株)営業技術部

Key words: MRS, Subject, Clinical validity

MRS-THE SUBJECT TODAY AND TOMORROW

HIROBUMI MORITA

MR Sales Department, TOSHIBA Medical Systems Co., Ltd.

Summary

Recently, we have used the magnetic resonance spectroscopy (MRS), using a clinical MR imager/spectrometer as well as a high resolution spectrometer, as a tool for the clinical research. *In vivo* studies using a high resolution spectrometer have been limited to the clinical application due to a small bore size and a high field. The clinical MR imager/spectrometer, however, associates with different problems, such as clinical validity, scan time, quantification, and so on. In order to achieve the usefulness of MRS as a clinical validity, there are three significant points; clinical validity, easy-operation, and multi- and single-voxel localization. The clinical validity is the most important goal for MRS because MRS must be useful to clinical application. An easy-operation enables one to collect a spectrum within a reasonable time. The localization is the key point for MRS to clinical application in order to select a region of interest.

近年、一般臨床用 MRI 装置でも MRS (スペクトロスコーピー) が行えるようになり、これまでの研究用装置での MRS とはまた状況が異なりつつある。ここでは、こうした変化に対し MRS の現状と今後の課題について大まかに述べてみたい。

1. MRS の現状

1. 磁場強度

磁場強度は従来いわれているように 1.5 T 以上が必要であり、実際に臨床研究として使われているものは 1.5 T と 2.0 T が殆どである。スペクトロメータとしてはこれ以上の磁場強度の装置があるが、MRI との併用が臨床の場では要求されるので事実上臨床用としては 1.5 T または 2.0 T のみと考えられる。

2. 核種

MRS の核種は現在実用化されているものとしては ^{31}P または ^1H があげられる。 ^{31}P は比較的早くから臨床応用が試みられてきたので、現在最も多くのデータが得られている。これに対して ^1H は最近になって臨床応用が実用化されてきた核種であり、まだデータが豊富にあるとは言い難い。 ^{31}P や ^1H 以外にも ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na 等があるが、臨床用 MRI 装置で実用化されるにはまだ時間がかかりそうである。

3. シーケンス

MRS 用のシーケンスは、ひとことで言うと「どのよう信号収集領域を局所化するか」と言い表せる。すなわち信号の収集領域を限定することによって、疾患部位または正常部位を区別するわけである。MRS のシーケンスは大まかにいってこれまで 3 回程度の変化を遂げている。一番最初は Dress 法に代表されるスライスによる領

域限定法である。これは簡便な方法であるがどうしてもスライスによる平面全体からの信号収集になるため領域限定の面からはあまり精度が確かではない。二番目には ISIS 法に代表されるシングルボクセルによる領域限定法である。ボクセルサイズが小さくなることにより S/N の点で厳しいが、シングルボクセルによる領域の限定には大きな価値があった。三番目として登場したのが MRSI (CSI) 法に代表されるマルチボクセルである。これは MRI のようにエンコードにより領域を限定する方法で、一度に沢山のデータを収集することができるメリットがある。現在 MRS のシーケンスとしてはマルチボクセルに移行しつつあるのが現状である。

4. 収集手順

実際 MRS を施行するには、多くの手順を必要とする。まず被検体のセッティングをしなければならない。より良いデータを収集するためにはこの被検体のセッティングを失敗してはならない。MRS では領域があまり小さくとれないためセッティングを間違えると違う部位からの信号を収集してしまう可能性があるためである。次に位置決め画像 (MRI) を収集する。そして次にシミングと呼ばれる磁場均一性の補正を行わなければならない。これは被検体を磁場中に入れることによって生じる磁場均一性の乱れを補正するものであり、MRI にはない MRS 独特のものである。そして周波数調整、コイルチューニングを行い、最後に RF パワーを入力して MRS データの収集を行うことができる。MRS データ収集には比較的長い時間がかかり、被検体の拘束時間は、セッティングから MRS 収集が完了するまで約 1 時間程度必要になる。さらに MRS ではデータ解析を行わなければならない。これはフーリエ変換等の数学的な処理を行いデータに含まれる情報を引き出す作業であるが、通常このデータ解析に多大な時間が費やされてしまうため、MRS は難しいという先入観を持たれやすい。

2. MRS の問題点

簡単に MRS の現状を述べたが、まだ MRS は開発途上の要素が強く、まだまだ問題点を多く抱えている。MRS の問題点は細かく挙げれば沢山の項目になるので、大きく 5 つの問題点について述べるに止める。

1. 収集時間

MRS では MRI のようにすべてが自動的に調整されてデータ収集するわけではなく、データ収集前の諸調整を一つ一つ行わなければならない。したがってデータを収集する前の調整に無駄な時間が費やされてしまう。さ

らに実際の MRS のスキャンは約 30 分ほどの時間がかかるため、結果的に被検体を 1 時間程度拘束してしまうことになる。あまり熟練していないオペレータがこれらの諸調整を行うと際限なく時間が経ってしまうのが実状である。シミング、コイルチューニング、パワー等の調整と比較的長いスキャン時間が収集時間の長さの原因になっている。

2. 有用性

ここで言う有用性とは、臨床的に MRS が価値を持つか否かという観点に立っている。したがってただ信号が取れるだけでは、MRS の有用性があるとはいいがたい。具体的には MRS で判別できる疾患、MRS で分かるようになった疾患、MRS で追跡していける疾患等があまり知られていないという問題点がある。これまでの精力的な研究のおかげで腫瘍、筋性疾患、老人性疾患等である程度有用性が分かりつつあるが、まだ一般的に認知されているとはいいがたい。現状の問題点として臨床的な有用性を見付けることがまず当面の急務と思われる。

3. 定量化

MR では定量化は非常に難しいといわれている。MRS に限らず、MRI でも定量化はなかなか実現していない。MRS では MRI と異なり画像で判別するわけではなく、スペクトラムのピーク値やピーク面積等で判別しなければならないので、定量化は避けて通れない問題である。もし定量化が可能になれば、生体内に含まれる物質の大体の量が推測 (完全に量が測定できるとは限らない) できるので、MRS の有用な応用例として大きく評価されるものになると思われる。ただし定量化のためにはいくつかの問題を克服しなければならない。まず、得られた信号強度とその物質の量が比例していることが保証されなければならないが、そのためには生体内の物質の総量ないしそれに近い量から信号が得られている保証がなければならない。さらに得られた信号は T1・T2、RF パルス、コイルチューニング、シミング、シーケンス等の影響を受けてしまうためこれらの検証も必要になってくる。実際には人体では個人差も加味しなければならないため、簡単なリファレンスだけではある程度の目安にしかならないので、補正またはリファレンスに替わる方法が望まれる。

4. MRI との併用

ほとんどすべての臨床 MRS 研究施設では MRS 単独だけの運用は行っていない。必ず MRI と併用していて、通常は MRI の時間以外を MRS の時間として充てている。当然時間的には MRI が 1 日の大半を占めて、MRS

は夜間または土日等の MRI を使用していない時間に行わなければならない状態が多い。このため時間的に非常に厳しい条件で MRS を行わなければならない、被検体の数、データ数も思うように増えていかない。結局、回り回って有用性を確認するために十分なデータがなかなか揃わないという問題に行きついてしまう。しかし、一概に MRI の時間を減らして MRS の時間を増やしても、MRI の採算性を圧迫するだけで、必ずしも MRS の有用性が確立できるかどうかは分からないのが悩みの種である。

5. ジレンマ

MRS の現状の問題点を述べるにあたり、最後に MRS が抱えるジレンマについて述べる。MRS は 1～4 で述べた諸々の問題点を持っているが、それぞれが関係し合い、悪循環を繰り返している感がある。すなわち、MRI 用に設計されている臨床用 MRI 装置はやはり純粋に MRS 装置としてみると操作が難しい部分があり、初心者にとっては操作性が悪いという印象を受けるものと思われる。例えばデータ収集前の調整だけで、周波数調整、パワー調整、コイルチューニング、シミングがあり、それぞれ専門的な知識がなければどのように調整すればいいのかわからないため、データがなかなか取れないことになる。このため MRS が使えないという評価を受けやすくなり、装置の改良・開発速度も鈍くなっていく。そしてそれがまた操作性の悪さに繋がり、また同じ繰り返しになってしまう。こうしたジレンマが存在しているのが現状の最大の問題点である。しかし現在ではこのジレンマも多くの研究者によって少しずつ改善している。

3. MRS の今後の課題

最後に、MRS が解決していくべき今後の課題について簡単に述べる。現時点で考えられる代表的な課題だけについて言及する。細かく見ればより多くのものがある

ことは言うまでもないのは確かだが、ここでは多くの項目を列挙するより、重要な 3 点だけに限らせていただく。

1. 簡便化

MRS には多くの調整が必要であるが、今後より普及させるためにはだれが収集しても同等にしかも簡便に取れるシステムにする必要がある。MRS に必要な諸調整をフルオート化し、MRI と同様の操作性にしなければならない。

2. 有用性

MRS 普及の最大ポイントは、やはり臨床的な価値があるかどうかである。そのためには MRS の有用性が確立し、理想的には MRS だけで判別可能な疾患が見つかることである。そのためにはメーカ、ユーザ両方の協力がなければ実現は難しい。

3. マルチボクセル・シングルボクセル

MRS データ収集は大まかに分けて収集領域としてシングルボクセルとマルチボクセルに分けられるが、それぞれ一長一短があり、それぞれの特長を生かすためにはマルチボクセル・シングルボクセルの両方が使える方が望ましい。マルチボクセルでは一度にたくさんのボクセルからデータを収集できるため、ルーチンとして使い、シングルボクセルで精査として使うのも一つの方法であろう。

4. ま と め

問題点でも述べたが、研究用としての MRS から、MRI のようなルーチンとしての MRS へ変化を遂げなければ、最終的に MRS は MR の一研究用アプリケーションとして消滅していつてしまうだろう。そうならないためには、簡便な操作性を持った装置で、有用性を見出し、最終的には MRI のように一つの検査方法として広く承認されていく必要があると思われる。最後に MRS のデータをマルチボクセル法も含めていくつか列挙しておく。

Fig. 1 FID signal from a normal skeletal muscle.

Fig. 2 FID signal with filter (10 Hz).

Fig. 3 Spectrum from a whole head.

Fig. 4 Spectrum from a localized region.

Fig. 5 A simulation of Curve fitting.

Fig. 6 An example of MRSI (spectroscopic imaging) data.

Fig. 7 An example of PCr chemical shift imaging.

Fig. 8 An example of ATP chemical shift imaging.

Fig. 9 An example of α -ATP chemical shift imaging.

Fig. 10 An example of chemical shift imaging.

Fig. 12 An example of chemical shift imaging.

Fig. 11 An example of chemical shift imaging.

Fig. 13 An example of chemical shift imaging.