

## 人体の血流の計測

Singer JR, Crooks LE : Nuclear magnetic resonance blood flow measurements in the human brain (Science 1983 ; 221 (4611) : 654-656)

### はじめに

この筆者の Singer は 1959 年に Science 誌上に NMR 技術を用いた血流計測法についてマウスのしっぽを使って初めて報告し、引き続き 1970 年には人体の表面の静脈に応用している。1983 年に掲載されたこの論文では、初めて臨床用の MRI 装置を用い深部の血流を計測した。時代的な背景としては、最初の臨床用 MRI 装置が 1980 年に発表され、日本には 1983 年に導入されている。

MRI においては、血流などの流体からの信号は静止部位からの信号に比べ、その位相と振幅が大きく異なる。この効果を利用して、造影剤を用いずに非侵襲的に血管像を得る試みが多くの研究者によってなされた。MR 現象による流体の計測に関する研究は 1940 年代の NMR 現象発見後まもなく始まり、現在の MRA の主流となっている TOF 効果や、位相シフト効果などが明らかにされていった。その努力が、今の診断能の高い MR angiography (MRA) へとつながっている。本稿は、編集委員会から歴史的論文として Singer らの論文の紹介を依頼されたものである。3 ページ弱と短いものの、技術者による基礎的な論文であり内容に医学的な事柄は全く含まれず、一般の放射線科医にとって必ずしも容易に理解できるものではないが、私なりにまとめてみた。

### 論文の要約

このレポートでは人体の頭部において NMR 法を用いた血流計測法について述べている。臨床用の NMR 装置を用いて計測することができること、頸静脈を用いているが、どの動脈、静脈においても原理的には可能であることが強調されている。

方法は以下のごとくである。人体を磁場中へ 5 秒間置き、ある一定の volume (V) を選択して、血管に垂直な断面を決める。選択した volume を RF パルス (90 度スライス選択 RF とスポイラー gradient) を用いて depolarize する。ある一定時間  $t(x)$  の後に、2 番目の RF パルスを与え、 $t(x)$  の間に流入した水素原子のスピンを 90 度倒す。2 番目の RF パルスにより、スライス面内に残っているスピンの回復した成分も倒されている。そしてスピネコー法により倒れたスピンを画像化する。それぞれのピクセルからの電圧は volume 中へ流入した血液の体積に比例する。したがって、選択されたピクセルの電圧を集めることによって血流データが得られる。 $t(x)$  の間に回復した信号は、血管の信号と画像上で明確に区別できるため、血流測定の際にはならない。

時間  $x$  を 50, 100, 150, 200 ms と変えることによってより血流の正確な値が求められる。血流量 (ml/s) は血管の容積を NMR depolarization pulse 後に血管が再充足される時間で

割って求める。動脈あるいは静脈それぞれについて血流速度を求めることが可能である。Filling time は時間変化のピークから求める。そして血流量  $Q$  (ml/s) は静脈の容積  $v(a)$  を filling time  $t(a)$  で除して求められる。同様に面積を掛ければ平均流速  $V$  (cm/s) も求まる。ここでは、内頸静脈の平均流速が左 2.12, 右 2.56 cm/s, 血流量が左 0.344, 右 0.501 ml/s という値を示している。

## 解 説

臨床 MRI 検査において、血流を観察する MRA は極めて重要な役割を担っており、血管を非侵襲的に検査できる優れた方法として急速な発展を遂げてきた。生理的な血流情報である、血管以外の構造を評価できる、ボリュームデータが得られるといった通常の X 線血管撮影にない利点も有している。空間分解能や末梢血管の描出能は通常の X 線血管撮影に及ばないものの、MR 装置の進歩、新しい撮像法や画像処理法の開発などにより、撮像時間の短縮や画質の著明な向上が得られてきている。

中でも脳の MRA は臨床応用が開始されて既に長い年月が経過しており、多くのデータが蓄積されている。現在では脳血管性病変のスクリーニングや経過観察に日常臨床に必須のものとなっている。MRA の出現により従来の医学的常識が大きく変化したのが無症候性未破裂脳動脈瘤である。非侵襲的に見つけることができるようになり、その自然史や治療方針について大きな論争を巻き起こした。現在では大規模な疫学調査もスタートしている。

ここで紹介した論文は、1983 年という極めて早い時期に人体の血流を計測している。同じ範疇の過去の文献のリストを調べると、これよりあと 1980 年代に、臨床機での血流の画像化に関する論文が多数出てきたことが分かる。しかしながら、MRI に従事する医師や技師向けの教科書、参考書の類で、基礎的な事項につい

ての解説がある本を 10 冊程度目を通して見たところ、MR の flow 現象や、MRA の項目で、この論文を積極的に取り上げているものは見当たらなかった。限られた教科書などで引用はしてあるものの、他の論文と合わせて一括しての紹介である。少なくとも医師にとっては、あまり関心を引く論文ではなかったのだろうか。そういう訳で、臨床 MRA の領域でのこの論文の歴史的な意義、現在までに至る MRA 開発の中でこの論文が果たした役割を理解することは、やや難しい印象がある。MRI が非常に便利になった今の状況からは、何が問題なのか、なかなか分かりにくいように思われる。論文の最後に述べてあるように、MR 画像ができるようになれば血流も測定できるというメッセージが、5 年後、10 年後の MRA の発展を予測して重要な論文なのかもしれない。すなわち MRI の臨床応用の一つとして MRA の可能性を予言したと言えるかもしれない。

なお、 $t(x)$  の間に  $T_1$  で回復した組織の信号をどうやって除くかについて、この論文では、血管とそうでない組織の区別は画像上では明白であるとしているが、今の技術でもこの点が一番の問題点だと思われる。このバックグラウンド信号をサブトラクションなどの方法で除くことによって STAR や FAIR などの方法では血管の外での微小な信号から microcirculation の情報が得られている。そこでも、バックグラウンド信号の消去に多大な努力が払われており、そういう意味では現時点でもうまい解決方法がないとも言える。

## 謝 辞

本論文を執筆するに当たって、シーメンス旭メディテック社チーフサイエンティスト、滝沢修博士に貴重なご助言を頂いたことに感謝いたします。

熊本大学医学部放射線医学教室  
興 梶 征 典