

II 最新MRI技術の可能性：基礎編

4. 超偏極イメージング

兵藤 文紀
松尾 政之

岐阜大学大学院医学系研究科先端画像開発講座
岐阜大学大学院医学系研究科放射線医学分野

超偏極法 (hyperpolarization) は核磁気共鳴信号を数十～数万倍に増幅する技術を言う。近年、さまざまな超偏極手法が開発され、超偏極法とMRIを組み合わせた超偏極イメージングにより、生体内の代謝情報をMRIで検出することが可能となってきた。そのため、超偏極MRイメージングは、代謝に基づく新たなMRI診断法として、早期診断や早期治療効果の判別などへの応用が期待されている。生体応用が報告されている超偏極イメージングとして、①電子スピン (フリーラジカル) と核スピンの二重共鳴を用いる動的核偏極 (dynamic nuclear polarization: DNP) 法、②³He や ¹²⁹X などの希ガスをを用いる方法、③パラ水素を用いる偏極法などが挙げられる。DNP法には大きく分けて2種の

有用な方法があり (図1)、1つは偏極装置内 (体外) でDNP現象を誘発し、超偏極された¹³C標識化合物を造影剤として投与して、¹³C MRIにより¹³C化合物の動態を観察して代謝イメージングを行う dissolution DNPと呼ばれる方法、もう1つは安定なフリーラジカル分子 (電子スピン) をあらかじめ注射し、体内でDNP現象を誘発する *in vivo* DNP法である。希ガスをを用いた超偏極法はすでに臨床研究へと展開されており、肺のイメージングなどに应用されている。パラ水素を用いた超偏極法は近年、研究が盛んに行われており、生体への応用例はまだ少ないが、今後の装置開発や疾患応用が期待されている。本稿では、筆者らが主として進めているDNP法を用いた最新の装置および応用例を紹介する。

Dissolution DNP法

dissolution DNP法では、まず¹³Cで標識された化合物と安定なフリーラジカル (電子スピン) を混合し、極低温下 (液体ヘリウム温度下) および強磁場で電子スピン共鳴させ、電子スピンの分極と核スピンの分極の交差遷移により電子スピンの分極が周囲の¹³Cの標識化合物へ遷移することで超偏極状態を惹起する。その後、高温のバッファで速やかに溶解後、投与して¹³C MRIを行う。これにより¹³C化合物を用いたリアルタイムな代謝イメージングが可能となる^{1), 2)}。最も汎用されている¹³C標識化合物は¹³Cピルビン酸である。¹³Cピルビン酸はエネルギー代謝で重要な役割を担うとともに、多くのがん組織ではピルビン酸は酸素の有無にかかわらず乳酸へ優位に代謝される、がん特有の代謝機構を有する。乳酸は、ケミカルシフトによりピルビン酸とは異なるピークとして現れる。そのため、¹³Cピルビン酸を造影剤として活用し、¹³C乳酸の産生をchemical shift imaging (CSI) にて観察することで、リアルタイムながん代謝イメージングが可能となる¹⁾。図2 aには、当研究室のdissolution DNP装置 (HyperSense: Oxford Instruments社製) を用いて¹³Cピルビン酸を超偏極しdissolution後に、小動物用1.5 T MRI (¹³C用の16.12 MHzの受診コイルを使用) でMR信号を検出した例を示す。超偏極前は

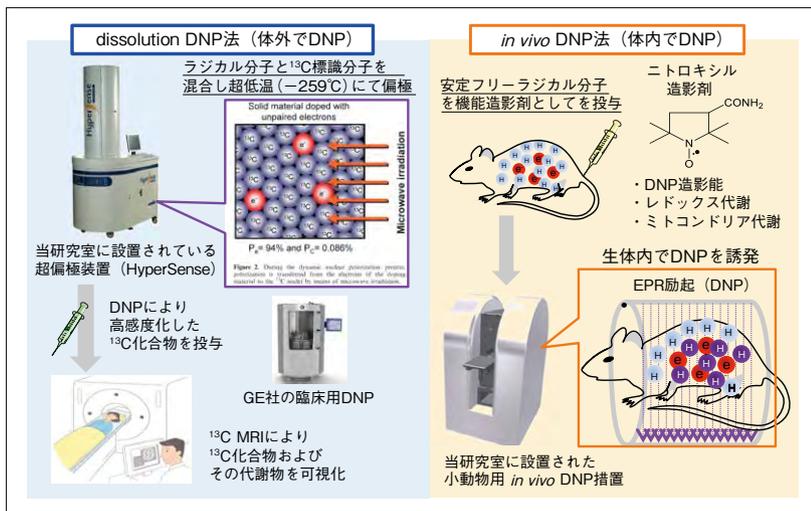


図1 動的核偏極 (DNP) 法
2種類のDNP法: dissolution DNP法は、偏極装置内でDNPを誘導し超偏極された¹³C標識分子を投与して¹³C MRIで撮像する。一方、*in vivo* DNP法は、安定フリーラジカルを持つ分子をあらかじめ投与して体内でDNPを誘導し、高感度化されたプロトンMR画像を取得する。