

3. MR 換気画像の現状と将来展望

岩澤 多恵 神奈川県立循環器呼吸器病センター放射線科

肺という臓器の実質は、解剖学的には空気である。人体の中で、空気が実質である臓器は肺だけである。肺胞壁には毛細血管が縦横に走り、肺動脈や肺静脈、リンパ管、末梢の気管支が複雑に配置している。肺は、呼吸に伴い膨張と収縮を繰り返す高度な弾性系臓器であり、さらに生理的な状態では、これに内部の血管の拍動による動きが加わる。こうした解剖学的、生理学的特徴を持つ肺を、MRI で画像化するには多大な困難が伴う。しかし、逆に言えば、肺からの信号は呼吸と循環の情報の宝庫であり、MRI を使って肺の機能を解明しようとする研究が、現在盛んに行われている。

本稿では、MRI を用いた肺の換気に関する最近の話題を紹介する。

超偏極希ガス

肺の気腔は通常のプロトン MRI では無信号であるが、 ^3He や ^{129}Xe といった超偏極希ガスを造影剤として用いることで画像化できる。これが超偏極希ガス画像である^{1), 2)}。 ^3He や ^{129}Xe は本来、MRI で信号を出さない不活化ガスであるが、これらを Rb 蒸気と一緒にガラス容器に入れて封入し、弱い静磁場において偏光レーザーを照射することで超偏極させ、MRI で信号を収集できる状態にしたものが超偏極希ガスである。超偏極率は ^3He で 50%、 ^{129}Xe で 30% 程度であり、これらの超偏極希ガスを吸入させることにより、鮮明な肺の換気画像が得られる。

超偏極希ガスは、健常者では最大吸気で呼吸停止させた状態では肺内に均一に分布する。一方、喘息や慢性閉塞性肺疾患 (COPD) の症例では、閉塞性障害による局所の換気の低下が、信号の低下や欠損として描出される (図 1)。超偏極希ガスは RF パルスにより減衰してしまうため、これらのガスは投与後すぐに信号を出さなくなる。これは、超偏極希ガス画像の欠点でもあるが、逆に喘息における薬物負荷検査などの繰り返しの撮像に向いている (図 1)。

吸入した超偏極希ガスは、肺胞腔内を速やかに拡散するので、拡散強調画像の ADC 値を測定すれば、肺胞の大きさが推測できる³⁾。肺気腫の症例では肺胞が破壊され、気腔が拡大するが、超偏極希ガス画像を用いれば、個々の肺胞の大きさといった微細な構造の情報

が得られる。肺気腫の定量評価法としては現在、CT 値を利用した方法が広く用いられているが、CT 値では個々の肺胞の大きさまでは言及できない。この点で、超偏極希ガス画像は優れた方法である。

超偏極希ガス画像は、被ばくがなく、時間分解能、空間分解能ともに高いので、生理学的な研究にも広く応用されている。Halaweish らは、正常ボランティアで ^3He の拡散強調画像を肺活量の 20%、60%、100% の吸気状態で撮像し、肺胞の拡張の程度を検討している⁴⁾。これによれば、肺活量の 100% を吸入し、仰臥位、息止めで撮像した場合、肺胞の大きさに左右差、あるいは腹側、背側の差は見られなかった。一方、肺活量の 20% 吸気の画像では、腹側の ADC 値が高く (つまり肺胞が大きく)、右肺の ADC 値が高かった。彼らは、肺活量の 20% 吸気の画像を機能的残気量 (FRC) レベルの含気と考えているが、その状態では背側の肺胞は腹側より虚脱し、右肺と比較して左肺の肺胞がより虚脱していると考えられる。この結果は非常に示唆に富んでいる。例えば、特発性肺線維症の大部分の症例では、背側の荷重域で病変が目立ち、また右肺に比較して左肺が進行しているが、なぜこうした病変の偏在が起こるのか実はよくわかっていない。超偏極希ガス画像による生理学的研究が、さまざまな病気のメカニズムを解明するヒントになると期待される。

純粋な超偏極希ガスの T1 緩和は非常に長い (^3He で数十時間)。ただし、酸素には T1 短縮効果があるので、吸入した超偏極希ガスの T1 値は、空気中の酸