

흉부질환의 자기공명영상

울산대학교 의과대학 진단방사선과학교실

송 균 식

= Abstract =

Magnetic Resonance Imaging in Thoracic Disease

Koun Sik Song, M.D.

Department of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center,
University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

The role of magnetic resonance(MR) imaging in the evaluation of thoracic disease has been limited. Nonetheless, MR has inherent properties of better contrast resolution than CT allowing tissue-specific diagnosis. MR has capability of direct imaging in sagittal, coronal, and oblique planes which provide better anatomic information than axial images of CT such as lesions in the pulmonary apex, aorticopulmonary window, peridiaphragmatic region, and subcarinal region. MR is sensitive to blood flow making it an ideal imaging modality for the evaluation of cardiovascular system of the thorax without the need for intravenous contrast media. Technical developments and better control of motion artifacts have resulted in improved image quality, and clinical applications of MR imaging in thoracic diseases have been expanded. Although MR imaging is considered as a problem-solving tool in patients with equivocal CT findings, MR should be used as the primary imaging modality in the following situations:

- 1) Evaluation of the cardiovascular abnormalities of the thorax
- 2) Evaluation of the superior sulcus tumors
- 3) Evaluation of the chest wall invasion or mediastinal invasion by tumor
- 4) Evaluation of the posterior mediastinal mass, especially neurogenic tumor
- 5) Differentiation of fibrosis and residual or recurrent tumor, especially in lymphoma
- 6) Evaluation of brachial plexopathy

With technical developments and fast scan capabilities, clinical indications for MR imaging in thorax will increase in the area of pulmonary parenchymal and pulmonary vascular imaging.

Key Words: Thorax, Magnetic Resonance(MR), Radiology

서 론

심혈관계질환을 제외한 흉부질환의 영상진단은 단순 흉부촬영과 전산화단층촬영(CT)이 주로 이용되어 왔다. 단순흉부촬영은 공간분해능(spatial resolution)이 좋고 폐내의 공기와 병변간의 방사선학적 대조도(contrast resolution)가 높아 폐질환의 진단을 위한 가장 기

본적인 검사방법이다. CT는 연부조직(soft tissue)간의 방사선학적 대조도가 단순촬영보다 우수하여 석회화의 유무 등 병변의 특성을 좀 더 명확히 알 수 있고, 단면영상(sectional image)이므로 중첩이 없어 정확한 해부학적 정보를 얻을 수 있다. 근자에는 고해상 CT(high-resolution CT)의 개발로 육안병리조직에 필적하는 영상을 얻을 수 있어 미만성폐질환의 진단에 널리 이용되고 있다. 자기공명영상(MRI; magnetic resonance

imaging)은 X-선을 이용한 단순촬영이나 CT와는 달리 조직 구성성분의 차이에 따른 자기공명현상의 차이를 이용하여 영상을 얻으므로 CT보다 월등한 대조도의 영상을 얻는다. 여러 방향의 단면영상이 가능하여 해부학적 특성상 CT의 측방향 단면영상 만으로는 충분한 정보를 얻을 수 없는 흉곽입구(thoracic inlet) 및 폐첨부, 대동맥-폐동맥창(aorticopulmonary window), 횡경막 주위 병변의 평가에 특히 유용하다¹⁻⁶⁾. 또한 조영제를 주입하지 않고도 심혈관계의 영상을 얻을 수 있는 것이 장점이다. 반면에 호흡운동 및 심혈관의 박동에 따른 인공물(artifact)에 의한 영상의 저하가 현저할 수 있고 검사비가 비싼 것이 가장 큰 단점이다. 현재 MR은 CT로 판정하기 모호한 경우에 이차적인 검사로 대부분 이용되고 있으나, 질환에 따라서는 MR이 일차적인 검사로 이용되는 빈도가 증가하고 있다⁷⁻¹²⁾.

기본 원리

MR장비의 강력한 자석에 의한 외부자장이 환자 체내의 수소원자핵과 서로 작용하고 있는 상태에서 고주파펄스를 보내면 수소원자핵은 다시 고주파신호(radiofrequency signal)를 발산한다. 이때 방출되는 고주파신호는 주로 물(water)과 지방(fat)의 수소원자핵으로부터 나오는데 물분자의 환경에 따라 다양한 강도의 신호가 방출된다. 가장 보편적으로 사용되는 spin echo image에서는 신호가 강할 경우에는 밝게 보이고(high signal intensity), 신호가 약할 경우에는 어둡게 보인다(low signal intensity). MR영상에서 신호강도는 첫째, 수소원자핵의 밀도에 비례하여 밀도가 낮은 공기나 골피질(cortical bone)은 어둡게 보인다. 둘째, 혈관속을 움직이는 혈액(flowing blood)은 일반적으로 신호를 내지 않으므로(flow void) 검게 보이나, 혈류에 의한 신호는 매우 복잡하여 다양한 신호강도를 보일 수 있다. 셋째, 신호강도는 T1 relaxation time에 반비례 하는데 순수한 물은 T1 relaxation time이 길어 T1-weighted image에서 어둡게 보이고, 단백질이 많은 물은 T1 relaxation time이 짧아 밝게 보인다. 지방은 T1 relaxation time이 아주 짧아 매우 밝게 보인다. 넷째, 신호강도는 T2 relaxation time에 비례하는데 순수한 물은 T2 relaxation time이 길어 T2-weighted image에서 밝게 보이고, 이물질이 혼합된 물은 T2 relaxa-

tion time이 짧다¹³⁻¹⁷⁾.

T1-weighted image는 종격동의 지방과 연부조직 간의 대조도가 좋고 인공물에 의한 영상의 질저하가 적어 많이 이용되며, 해부학적인 정보를 주로 얻는다. T2-weighted image는 병변과 조직간의 대조도(contrast resolution)가 우수하나 인공물에 의한 영향이 많아 해부학적인 정보보다는 병변의 특성을 파악하는데 주로 이용된다⁷⁻¹¹⁾.

검사 방법

가장 보편적으로 이용되는 것은 spin echo 방법으로 T1 relaxation이나 T2 relaxation효과에 의한 신호강도를 보기에 적합한 TR(pulse repetition time)과 TE(echo delay time)를 선택한다. T2 relaxation 효과를 보기 위해서는 TR 및 TE를 길게 한다(T2-weighted image). 또한 심박동에 의한 인공물(artifact)을 줄이기 위하여 심전도를 이용한 gating을 하는데 QRS complex의 R wave를 기준으로 하고 있다. 따라서 T1-weighted image는 TR을 매 심박동에 맞추고(700~1000 msec) TE를 20 msec로 하며, T2-weighted image는 TR을 매 세번째 심박동에 맞추고(2100~3000 msec) TE를 60~120 msec로 한다⁷⁻¹⁰⁾. 호흡운동에 의한 인공물을 줄이기 위해 호흡정지상태에서만 신호를 받는 방법(respiratory gating)이 있으나 검사시간이 매우 길어지므로 대부분은 소프트웨어적으로(respiratory compensation) 해결한다^{18,19)}.

Gadolinium(Gd)-diethylenetriamine pentacetic acid(DTPA)를 조영제로 사용할 수 있는데, 이 조영제는 CT의 조영제에서와 같이 perfusion이 잘 되는 조직, 과혈관성 종양, 모세혈관투과성이 증가된 조직 등에서 T1 relaxation time을 감소시켜 밝은 신호강도를 나타낸다²⁰⁻²²⁾.

영상 이용

1. 정상 영상

심박동의 수축기에 영상을 얻으므로 혈류가 빠른 대동맥, 대정맥, 중심부 폐동맥, 폐정맥 및 기정맥은 신호를 내지 않아(signal void) 검게 보인다. 기관 및 기관분지는 공기중의 수소밀도가 매우 낮아 신호를 내지 않으므로

로 역시 검게 보이고 그 벽만이 보인다. 종격동, 늑막의 측 흉벽의 지방 및 피하지방은 T1-weighted image 에서는 고신호강도로 밝게 보이고, T2-weighted image 에서도 밝게 보이나 T1-weighted image 보다는 그 신호강도가 저하된다. 종격동 임파절은 근육과 같거나 약간 높은 신호강도를 보이므로 종격동 지방과의 대조도가 증가되어 뚜렷이 보인다. 때때로 정상 크기의 임파절이 여러개 모여있을 경우에 하나의 임파절비대처럼 보일 수 있으므로 주의하여야 한다. 정상적으로 존재하는 pericardial recess의 심낭액을 CT에서는 임파절로 오인할 수 있으나 MR에서는 T1-weighted image에서 근육보다 낮은 저신호강도, T2-weighted image에서 고신호강도로 나타나므로 쉽게 구별할 수 있다. 때때로 혈관내의 고신호강도가 보일 수 있는데 유체유입단면 신호증가 효과(entry slice phenomenon)와 짝수반향신호 위상 모임(even echo rephasing)에 기인하며 대부분 혈전과의 감별이 어렵지 않다.

2. 폐 암

폐암의 병기판정에 있어 원발종양에 의한 종격동침습 및 횡격막을 포함한 흉벽침습의 판정은 심혈관의 혈류에 의한 signal void로 인하여 조영제를 사용하지 않고도 종양과의 대조도가 CT에 비하여 월등히 좋고, 흉벽의 근육 및 지방과 종양과의 대조도도 우월하므로 심혈관, 종격동 및 흉벽의 침습이 의심되는 경우 MR을 시행하

는 것이 좋다^{23~25}. 특히 폐첨부종양(superior sulcus tumor)의 경우에는 시상(sagittal) 및 관상(coronal) 영상으로 CT로는 불가능한 쇄골하동맥, brachial plexus의 침습유무를 알 수 있어 반드시 MR을 시행하여야 한다^{3,5,26}(Fig. 1).

폐문임파절 비대는 CT보다 MR로 정확히 평가할 수 있으나 절제가능성에는 영향을 주지 않으므로 큰 의미는 없다. 종격동임파절 전이의 판정은 신호강도의 차이로는 구별할 수가 없어²⁷ CT에서와 같이 임파절의 크기를 기준으로 하므로 민감도와 특이도는 CT와 비교하여 차이가 없다^{25,28~32}. 때때로 CT상 pericardial recess의 심낭액을 임파절비대로 오인할 수 있는데 MR상 T1-weighted image에서는 저신호강도, T2-weighted image에서는 균질한 고신호강도를 보이므로 쉽게 구별할 수 있다. 임파절의 해부학적 위치상 CT로는 간과하기 쉬운 대동맥-폐동맥창(aorticopulmonary window) 및 기관분지부 하방의 임파절비대도 시상 및 관상영상으로 쉽게 판정할 수 있으므로 CT상 애매할 경우에 도움이 된다^{3,4,6}. 석회화 병소는 MR에서 매우 다양한 신호강도를 보이므로 추정하기가 어렵고, 정상 크기의 임파절이 여러개 모여있을 경우 커진 하나의 임파절로 오인할 수 있는 점 등은 MR의 단점이라 할 수 있다^{33~35}.

중심성 종양에 의한 폐쇄성 폐경결이나 폐허탈이 동반된 경우 CT상 원발종양과 이차적 변화를 구별하기 힘든 경우가 있는데 T2-weighted image에서 종양은 경결된 폐에 비해 상대적인 저신호강도를 보여 구별할 수 있고, 또한 Gd-DTPA 주입후 T1-weighted image에서 폐허탈은 조영증강이 잘 되므로 종양보다 고신호강도를 보여 75~80%의 환자에서 구별이 가능하다^{23,29,33,36~39}(Fig. 2).

방사선치료후 종양의 재발은 방사선폐렴에 의한 섬유화가 있는 경우 CT상 구별이 힘들다, T2-weighted image에서 섬유화된 부위는 신호강도가 낮고, 종양은 신호강도가 높아 구별이 가능하다. 급성기 및 아급성기의 방사선폐렴은 T2-weighted image에서 고신호강도를 보이므로 이 시기에는 Gd-DTPA 주입후 T1-weighted image에서 폐실질의 조영증강이 종양보다 잘 되므로 고신호강도를 보여 구별할 수 있다⁴⁰.

단일폐결절은 T1 및 T2-weighted image에서 양성 과 악성결절간에 신호강도의 중복이 있고 석회화 유무의 판정이 쉽지 않아 MR이 불리하나^{38,41}, Gd-DTPA 주

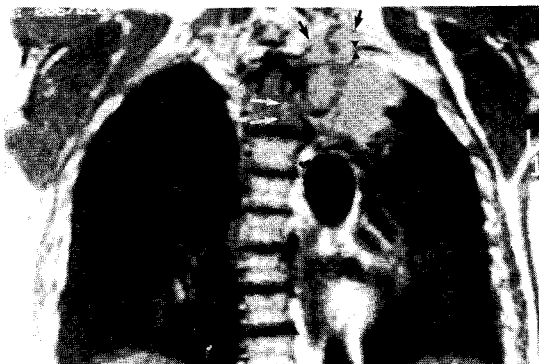


Fig. 1. Superior sulcus tumor.

The coronal T1-weighted MR image shows extension into the chest wall (black arrow) and vertebral body (white arrow). Left subclavian artery and brachial plexus are encased by the tumor (arrowhead).

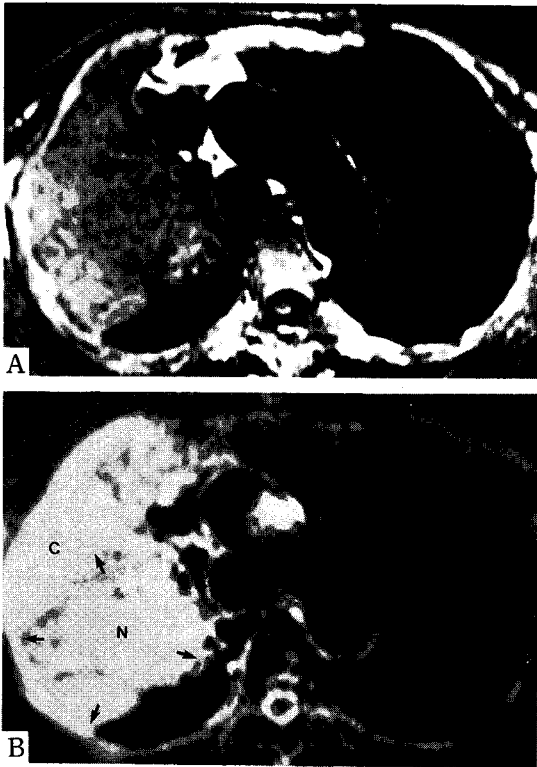


Fig. 2. Bronchogenic carcinoma with obstructive pneumonitis.

- A: The T1-weighted MR image does not allow differentiation of mass and consolidation.
- B: The T2-weighted MR image allows clear differentiation of tumor (black arrow) and consolidation. Consolidation(C) and extensive tumor necrosis(N) show bright signal intensity.

입시 결핵종은 전락성괴사 부위의 조영증강이 없으나 종양은 일반적으로 조영증강이 되고, 결핵종은 변연부의 섬유화 부위가 강한 조영증강을 보여 감별에 도움이 된다^{40,42}. 또한 전반적인 폐결절의 발견율은 MR이 나쁘나, 중심부 결절의 경우 폐문부 혈관과의 구별이 용이하므로 기관지선종(bronchial carcinoid) 등의 경우는 CT보다 MR이 우월하다⁴³.

3. 종격동 종양

일반적으로 CT를 우선적으로 시행하나 다음과 같은 경우에는 MR이 도움이 된다. 종격동의 낭성 종양은 CT상 균질한 저음영 및 조영증강이 되지 않는 것이 특징이나, 1/3 정도에서는 단백질이 많이 포함되어 고음

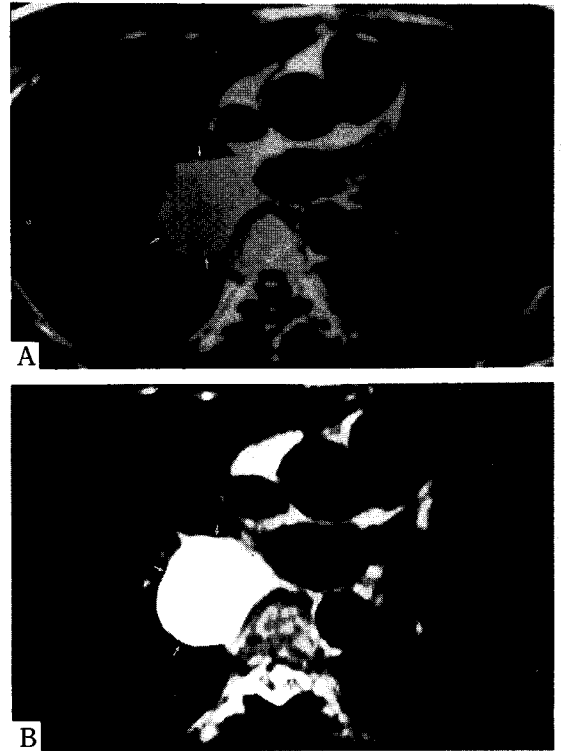


Fig. 3. Mediastinal bronchogenic cyst.

- A: The T1-weighted MR image shows well defined middle mediastinal mass. Signal intensity of the mass is higher than muscle suggesting solid mass (arrow).
- B: The T2-weighted MR image shows homogeneous increase in signal intensity suggesting the cystic nature of the mass (arrow). Bright signal intensity in T1-weighted image is due to high protein and mucin content of the mass.

영으로 보이는 경우가 있는데 CT로는 고형종괴와의 감별이 힘든 경우가 많다⁴⁴. 장액성 낭종은 T1-weighted image에서 저신호강도, T2-weighted image에서 균등한 고신호강도를 보여 진단이 어렵지 않다. 때때로 T1-weighted image에서 중등도의 신호강도를 보일 수 있는데 심전도 gating 하에 영상을 얻으므로 심박동수가 적을 경우 TR이 증가되어 proton density image의 효과를 나타내기 때문이다. 단백질, 점액(mucin)이 많이 포함된 경우나 출혈이 있는 경우에 T1-weighted image에서 증가된 신호강도를 보일 수 있으나 T2-weighted image에서는 항상 장액성 낭종과 같이 균등한 고신호강도를 보인다. 고형종괴도 때로는 T2-

weighted image에서 균등한 고신호강도를 나타낼 수 있으나, 이 경우에는 Gd-DTPA 주입후 T1-weighted image에서 낭종의 경우 전혀 조영증강이 없는 것으로 진단이 가능하다^{34,45-47}(Fig. 3).

임파종에 있어서는 대부분 치료후의 잔존종양이나 종양재발과 섬유화된 종괴의 구별에 관한 논문들이 발표되어 있다. 잔존종양이나 임파종의 재발은 CT로는 종양용적의 변화로 판정하는데 장기간 종양용적의 변화가 없는 경우에도 많게는 호지킨씨 임파종의 88%와 비호지킨씨 임파종의 40%는 잔존종양이 있는 것으로 보고되고 있고, 잔존종양이 있는 경우 반수의 환자는 재발되기 때문에 양자의 구별은 매우 중요하다. 임파종 세포에는 수분

이 많이 포함되어 있어 T2-weighted image에서는 고신호강도를 보인다. 반면에 섬유화된 병소는 polymerized protein이 많아 T1 및 T2-weighted image에서 모두 저신호강도를 보인다. 그러나 방사선 치료후 6개월까지는 T2-weighted image에서 불균질한 신호강도를 보일 수 있으므로 주의를 요한다⁴⁸⁻⁵¹.

후경격동의 신경종양(neurogenic tumor)은 MR을 우선적으로 시행하는 것이 좋은데, T1-weighted image에서 중등도의 신호강도를 보이고 T2-weighted image에서는 고신호강도를 보인다. 척추강내 종양의 파급은 CT로는 판정하기 힘들으나, Gd-DTPA 주입후 T1-weighted image에서 강한 조영증강이 있어 척추강내 파급 및 주위조직, 골수의 침범을 평가할 수 있으므로 CT보다는 MR을 먼저 시행하는 것이 좋다^{11,52}(Fig. 4).

중격동의 고형종양은 일반적으로 T1-weighted image에서 근육보다 낮거나 비슷한 정도의 신호강도를 보이고 T2-weighted image에서는 고신호강도를 보인다. 종양내 괴사, 출혈, 낭성변성, 석회화 등이 있을 경우 불균질한 신호강도를 보인다. 흉선종은 CT와 MR간에 큰 차이가 없으나 MR로 종양 내부의 섬유화격막 등을 볼 수 있어 진단이 용이하고, 심낭막 및 심혈관 침범 등이 있을 경우 침습성흉선종(invasive thymoma)으로 쉽게 진단 할 수 있다^{53,54}. 기형종은 낭성종양으로 부터 지방, 석회화, 출혈 등을 동반하는 고형종괴에 이르기까지 다양하므로 T1 및 T2-weighted image에서 불균질한 신호강도를 보이는 경우가 많고, 신호강도 보다는 주위조직으로의 파급 유무로 양성과 악성을 구별한다⁵⁵.

4. 폐실질 질환

폐실질 질환의 MR 진단은 공간분해능(spatial resolution)의 문제 뿐 아니라 수많은 폐포내 공기-폐포벽 경계부에서 나오는 magnetic susceptibility artifact에 의한 T2 shortening, 호흡 및 심박동에 의한 motion artifact, 공기중의 수소원자핵 밀도가 낮아 신호-잡음비(signal-to-noise ratio)가 낮은 것 등이 장애요인이 되어 영상화 하기가 힘들다^{7,8,11}. 현재 새로운 영상방법을 연구 중에 있으며, 부분적으로는 fast scan 등으로 폐실질의 영상화가 가능한 단계에 있어 미만성폐질환의 초기 병변과 말기병변의 구분이 가능할 것으로 예상된다^{56,57}. 아급성출혈이나 폐포단백증(pulmonary alveolar

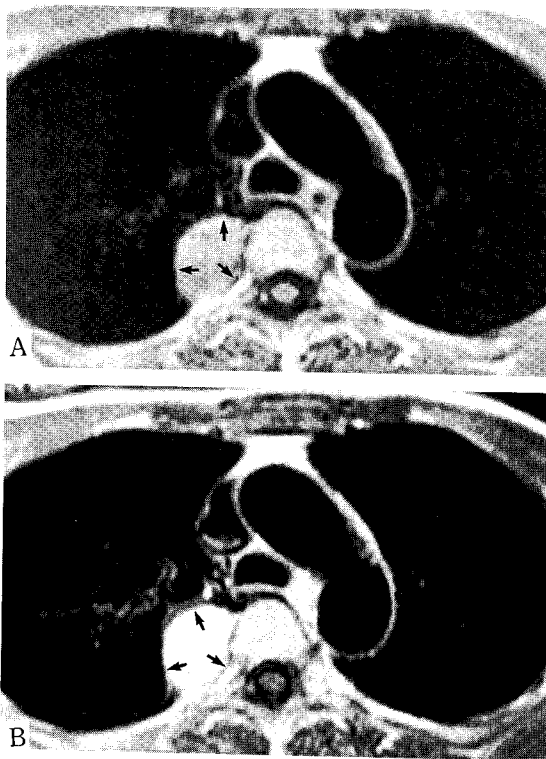


Fig. 4. Neurogenic tumor of the posterior mediastinum.

- A: The T1-weighted MR image shows well defined posterior mediastinal mass (arrow). Signal intensity of the mass is isointense with muscle. Intrapleural component of the mass is not found.
- B: Gd-DTPA enhanced T1-weighted image shows inhomogeneous enhancement suggesting solid nature of the mass.

proteinosis) 등은 T1-weighted image에서 고신호강도를 나타내고, pulmonary hemosiderosis는 T2-weighted image에서 저신호강도로 나타나 진단이 가능하다. 국소폐질환은 주로 출혈을 동반하는 혈종이나 침습성폐국균증(invasive pulmonary aspergillosis), lipid pneumonia의 경우 T1-weighted image에서 고신호강도를 보여 진단이 가능하다^{58,59)}.

5. 폐동맥 질환

폐동맥색전증은 T1 및 T2-weighted image에서 모두 고신호강도를 보인다. 근위부 폐동맥의 색전은 진단이 가능하나, 말초부 폐동맥의 색전은 혈류에 의한 인공물 및 공간분해능이 나쁜점 등으로 한계가 있다. 현재 폐혈관 질환의 진단과 폐혈관의 영상화를 위한 연구가 진행되고 있으며 향후 폐혈류의 측정도 가능하리라 본다⁶⁰⁻⁶⁶⁾.

결 론

공간분해능의 제한이나 심박동 및 호흡운동에 의한 인공물 등에 의한 영상의 질적 한계에도 불구하고 자기공명영상은 우수한 조직대조도, 여러방향의 단면촬영이 가능한 점, 조영제를 사용하지 않고도 심혈관계의 영상을 얻을 수 있는 등의 장점으로 인해 흉부질환에서 점차 그 이용이 증가되고 있다. 자기공명영상은 현재 대부분 CT로 판단하기 힘든 경우에 이차적인 검사로 주로 이용되고 있으나 다음의 질환에서는 일차적 검사로 이용하는 것이 좋다.

- 1) 대동맥질환을 포함한 심혈관계 및 흉부의 혈관성 병변
- 2) 폐첨부폐암(superior sulcus tumor)
- 3) 폐암의 종격동침습 및 흉벽침습의 판정
- 4) 후종격동의 신경원성 종양
- 5) 종격동 임파종의 치료후 재발유무 판정
- 6) Brachial plexus를 침범하는 질환

관련 새로운 imaging technique의 개발과 fast scan의 도입으로 향후 흉부질환에서의 MR의 이용도는 점차로 증대될 것으로 예상된다.

REFERENCES

- 1) Batra P, Brown K, Steckel RJ, et al: MR imaging of the thorax: a comparison of axial, coronal, and sagittal imaging planes. *J Comput Assist Tomogr* 12:75-81, 1988
- 2) Webb WR, Gamsu G, Crooks LE: Multisection sagittal and coronal magnetic resonance imaging of the mediastinum and hila: work in progress. *Radiology* 150:475-478, 1984
- 3) Webb WR, Jensen BG, Gamsu G, et al: Coronal magnetic resonance imaging of the chest: normal and abnormal. *Radiology* 153:729-735, 1984
- 4) Webb WR, Jensen BG, Gamsu G, et al: Sagittal MR imaging of the chest: normal and abnormal. *J Comput Assist Tomogr* 9:471-479, 1985
- 5) Heelan RT, Demas BE, Caravelli JF, et al: Superior sulcus tumors: CT and MR imaging. *Radiology* 170:637-641, 1989
- 6) O'Donovan PB, Ross JS, Sivak ED, et al: Magnetic resonance imaging of the thorax: the advantages of coronal and sagittal planes. *AJR* 143:1183-1188, 1984
- 7) Gamsu G, Sostman D: Magnetic resonance imaging of the thorax. *Am Rev Respir Dis* 139:254-274, 1989
- 8) Gefter W: Chest applications of magnetic resonance imaging: an update. *Radiol Clin North Am* 26:573-588, 1988
- 9) Webb WR, Sostman HD: MR imaging of thoracic disease: clinical uses. *Radiology* 182:621-630, 1992
- 10) Fischer MR: Magnetic resonance for evaluation of the thorax. *Chest* 95:166-173, 1989
- 11) Weinreb JC, Naidich DP: Thoracic magnetic resonance imaging. *Clin Chest Med* 12:33-54, 1991
- 12) Link KM, Samuels LJ, Reed JC, et al: Magnetic resonance imaging of the mediastinum. *J Thorac Imaging* 8:34-53, 1993
- 13) Mayo JR: Thoracic magnetic resonance imaging: physics and pulse sequences. *J Thorac Imaging* 8:1-11, 1993
- 14) Naidich DP, Zerhouni EA, Siegelman SS: *Computed tomography and magnetic resonance of the thorax*, 2nd Ed, p19-32, New York, Raven Press, 1991
- 15) Bradley WG, Waluch V: Blood flow: magnetic resonance imaging. *Radiology* 154:443-450, 1985
- 16) Dinsmore RE, Wedeen VJ, Miller SW, et al: MRI of dissection of the aorta: recognition of the intimal

- tear and differential flow velocities. *AJR* **146**:1286-1288, 1986
- 17) White RD, Winkler ML, Higgins CB: MR imaging of pulmonary arterial hypertension and pulmonary emboli. *AJR* **149**:15-21, 1987
 - 18) Bailes DR, Gilderdale DJ, Bydder GM, et al: Respiratory ordered phase-encoding(ROPE): a method for reducing respiratory motion artifacts in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* **9**:835-838, 1985
 - 19) Lewis CE, Prato FS, Drost DJ, et al: Comparison of respiratory triggering and gating techniques for the removal of respiratory artifacts in MR imaging. *Radiology* **160**:803-810, 1986
 - 20) Weinreb JC, Davis SD, Berkman YM, et al: Case report: pulmonary artery sarcoma: evaluation using Gd-DTPA. *J Comput Assist Tomogr* **14**:647-649, 1990
 - 21) Weinmann HJ, Brach RC, Press WR, et al: Characteristics of gadolinium-DTPA complex: a potential NMR contrast agent. *AJR* **142**:619-624, 1984
 - 22) Strich G, Hagen PL, Gerber KH, et al: Tissue distribution and magnetic resonance spin lattice relaxation effects of gadolinium-DTPA. *Radiology* **154**:723-726, 1985
 - 23) Kameda K, Adachi S, Kono M: Detection of T-factor in lung cancer using magnetic resonance imaging and computed tomography. *J Thorac Imaging* **3**:73-80, 1988
 - 24) Haggar AM, Pearlberg JL, Froelich JW, et al: Chest-wall invasion by carcinoma of the lung: detection by MR imaging. *AJR* **148**:1075-1078, 1987
 - 25) Musset D, Grenier P, Carette MF, et al: Primary lung cancer staging: prospective comparative study of MR imaging with CT. *Radiology* **160**:607-611, 1986
 - 26) Takasugi JE, Rapoport S, Shaw C: Superior sulcus tumors: the role of imaging. *J Thorac Imaging* **4**:41-48, 1989
 - 27) Glazer GM, Orringer MB, Chenevert TL, et al: Mediastinal lymph nodes: relaxation time/pathologic correlation and implications in staging of lung cancer with MR imaging. *Radiology* **168**:429-431, 1988
 - 28) Webb WR, Gatsonis C, Zerhouni EA, et al: CT and MR imaging in staging non-small cell bronchogenic carcinoma: report of the Radiologic Diagnostic Oncology Group. *Radiology* **178**:705-713, 1991
 - 29) Webb WR, Jensen BG, Sollitto R, et al: Bronchogenic carcinoma: staging with MR compared with staging with CT and surgery. *Radiology* **156**:117-124, 1985
 - 30) Poon PY, Bronskill MJ, Henkelman RM, et al: Mediastinal lymph node metastasis from bronchogenic carcinoma: detection with MR imaging and CT. *Radiology* **162**:651-656, 1987
 - 31) Batra P, Brown K, Collins JD, et al: Evaluation of intrathoracic extent of lung cancer by plain chest radiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging. *Am Rev Respir Dis* **137**:1456-1462, 1988
 - 32) Patterson GA, Ginsberg RJ, Poon PY, et al: A prospective evaluation of magnetic resonance imaging, computed tomography, and mediastinoscopy in the preoperative assessment of mediastinal lymph node status in bronchogenic carcinoma. *J Thorac Cardiovasc Surg* **94**:679-684, 1987
 - 33) Levitt RG, Glazer HS, Roper CL, et al: Magnetic resonance imaging of mediastinal and hilar masses: comparison with CT. *AJR* **145**:9-14, 1985
 - 34) Gamsu G, Stark DD, Webb WR, et al: magnetic resonance imaging of benign mediastinal masses. *Radiology* **151**:709-713, 1984
 - 35) Higgins CB, Stark DD, McNamara M, et al: Multiplane magnetic resonance imaging of the heart and major vessels: studies in normal volunteers. *AJR* **142**:661-667, 1984
 - 36) Cohen AM: Magnetic resonance imaging of the thorax. *Radiol Clin North Am* **22**:829-846, 1984
 - 37) Tobler J, Levitt RG, Glazer HS, et al: Differentiation of proximal bronchogenic carcinoma from postobstructive lobar collapse by magnetic resonance imaging: comparison with computed tomography. *Invest Radiol* **22**:538-543, 1987
 - 38) Shioya S, Haida M, Ono Y, et al: Lung cancer; differentiation of tumor, necrosis, and atelectasis by means of T1 and T2 values measured in vitro. *Radiology* **167**:105-109, 1988
 - 39) Herold CJ, Kuhlman JE, Zerhouni EA: Pulmonary atelectasis: signal patterns with MR imaging. *Radiology* **178**:715-720, 1991
 - 40) Kono M, Adachi S, Kusumoto M, et al: Clinical utility of Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging in lung cancer. *J Thorac Imaging* **8**:18-26, 1993
 - 41) Ross JS, O'Donovan PB, Novoa R, et al: Magnetic resonance of the chest: initial experience with imag-

- ing and in vivo T1 and T2 calculations. *Radiology* **152**:95-101, 1984
- 42) Sakai F, Sone S, Maruyama A, et al: Thin-rim enhancement in Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance images of tuberculoma: a new finding of potential differential diagnostic importance. *J Thorac Imaging* **7**:64-69, 1992
 - 43) Doppman JL, Pass HI, Nieman LK, et al: Detection of ACTH-producing bronchial carcinoid tumors: MR imaging vs CT. *AJR* **156**:39-43, 1991
 - 44) Nakata H, Nakayama C, Kimoto T, et al: Computed tomography of mediastinal bronchogenic cysts. *J Comput Assist Tomogr* **6**:733-738, 1982
 - 45) Barakos JA, Brown JJ, Brescia RJ, et al: High signal intensity lesions of the chest in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* **13**:797-802, 1989
 - 46) von Schulthess GK, McMurdo K, Tscholakoff D, et al: Mediastinal masses: MR imaging. *Radiology* **158**:289-296, 1986
 - 47) Nyman RS, Rehn SM, Glimelius BLG, et al: Residual mediastinal masses in Hodgkin disease: prediction of size with MR imaging. *Radiology* **170**:435-440, 1989
 - 48) Webb WR: MR imaging of treated mediastinal Hodgkin disease(editorial). *Radiology* **170**:315-316, 1989
 - 49) Negendank WG, Al-Katib AM, Karanes C, et al: Lymphomas: MR imaging contrast characteristics with clinical-pathologic correlations. *Radiology* **177**:209-216, 1990
 - 50) Rholl KS, Levitt RG, Glazer HS: Magnetic resonance imaging of fibrosing mediastinitis. *AJR* **145**:255-259, 1985
 - 51) Burk DJ, Brunberg JA, Kanal E, et al: Spinal and paraspinal neurofibromatosis: surface coil MR imaging at 1.5T. *Radiology* **162**:797-801, 1987
 - 52) Molina PL, Siegel MJ, Glazer HS: Thymic masses on MR imaging. *AJR* **155**:495-500, 1990
 - 53) Batra P, Hermann C, Mulder D: Mediastinal imaging in myasthenia gravis: correlation of chest radiography, CT, MR, and surgical findings. *AJR* **148**:515-519, 1987
 - 54) Ruzal-Shapiro C, Abramson SJ, Berdon WE: Posterior mediastinal cystic teratoma surrounded by fat in a 13 month old boy. Value of magnetic resonance imaging. *Pediatr Radiol* **20**:107-109, 1989
 - 55) Bergin CJ, Pauly JM, Macovski A: Lung parenchyma: projection reconstruction MR imaging. *Radiology* **179**:777-781, 1991
 - 56) Bergin CJ, Noll DC, Pauly JM, et al: MRI of lung parenchyma: a solution to susceptibility. *Radiology* **183**:673-676, 1992
 - 57) Carrillon Y, Tixier E, Revel D, et al: MR diagnosis of lipoid pneumonia. *J Comput Assist Tomogr* **12**:878-887, 1988
 - 58) Rubin GD, Edward DK III, Reicher MA, et al: Diagnosis of pulmonary hemosiderosis by MR imaging. *AJR* **152**:573-574, 1989
 - 59) Rubin GD, Steiner RM, Pelc NJ, et al: MR imaging of the pulmonary vasculature: optimization with a breath-holding spoiled gradient-echo technique. *Radiology* **181**:156(Abstract), 1991
 - 60) Foo TKF, MacFall JR, Hayer CE, et al: Pulmonary vasculature: single breath-hold MR imaging with phased-array coils. *Radiology* **183**:473-477, 1992
 - 61) Hatabu H, Geftter WB, Listerud J, et al: Pulmonary MR angiography utilizing phased-array surface coils. *J Comput Assist Tomogr* **16**:410-417, 1992
 - 62) Wielopolski PA, Haacke EM, Adler LP: Three-dimensional MR imaging of the pulmonary vasculature: preliminary experience. *Radiology* **183**:465-472, 1992
 - 63) Caputo GR, Kondo C, Masui T, et al: Right and left lung perfusion: in vitro and in vivo validation with oblique-angle, velocity-encoded cine MR imaging. *Radiology* **180**:693-698, 1991
 - 64) Kondo C, Caputo GR, Masui T, et al: Pulmonary hypertension: pulmonary flow quantification and flow profile analysis. *Radiology* **183**:751-758, 1992
 - 65) Berthezene Y, Vaxler V, Clement O, et al: Contrast-enhanced MR imaging of the lung: assessment of ventilation and perfusion. *Radiology* **183**:667-672, 1992