대한방사선의학회지 1999;40:1133-1139

양성 및 악성 고립성 폐결절의 감별에 있어 역동적 조영증강 자기공명영상의 유용성[1]

김정호 · 김형진 · 한 헌[1,2] · 이홍렬[3] · 김광호[4] · 서창해

목적 : 역동적 조영증강 자기공명영상을 이용하여 고립성 폐결절의 조영증강 정도를 측정함으로써 양성과 악성 폐결절의 감별에 도움이 되는지를 알아보았다.

대상 및 방법 : 조직학적 또는 방사선학적으로 확진된 4 cm 이하의 고립성 폐결절을 가진 23명의 환자를 대상으로 하였다. 이 중 악성 결절은 9예였고 양성 결절은 14예였다. 역동적 자기공명영상은 fast multiplanar spoiled gradient echo 펄스파형을 이용하였으며 조영증강 전 영상을 얻고 조영증강 후 1분, 2분, 3분, 4분, 그리고 5분 후에 각각 영상을 얻었다. 각 시기별로 결절의 신호강도를 측정하여 조영증강 전 신호강도와 조영증강 후 최고 신호강도 사이의 최고백분율증가(peak percentage increase in signal intensity, p%SI)를 구하여 양성과 악성 결절 간에 유의한 차이가 있는지를 알아 보았다. 각 시기별로 평균백분율증가(mean percentage increase in signal intensity, m%SI)를 구하여 시간-m%SI 곡선을 얻고 악성과 양성 결절을 비교하였다. 육안적인 폐결절의 조영증강 유형을 균질한 조영증강, 변연부 조영증강, 불균질한 조영증강, 뚜렷하지 않은 조영증강 등 4가지로 나누어 분석하였다.

결과 : 악성 결절의 p%SI는 120.6±30.7(mean±SD)이었으며 범위는 81.8-171.6 이었다. 양성 결절의 p%SI는 29.5±21.4(mean±SD)였으며 범위는 3.7-78.9였다. 양성 결절과 악성 결절의 p%SI는 단 1예에서도 중복되지 않았으며 유의하게 악성 결절이 양성 결절보다 높은 p%SI를 보였다($p < 0.0001$). 악성 결절의 시간-m%SI 곡선은 1분에서 급격하게 증가하여 서서히 감소하였으며 양성 결절의 곡선은 3분까지 서서히 증가하다가 고원부를 이루었다. 악성 결절은 89%(8/9)에서 균질한 조영증강을 보였으며 양성 결절은 50%(7/14)에서 변연부 조영증강을 보였고 나머지 50%(7/14)에서는 뚜렷한 조영증강을 보이지 않았다.

결론 : 역동적 조영증강 자기공명영상은 고립성 폐결절의 조영증강에 대한 동역학적 정보를 제공함으로써 악성과 양성 고립성 폐결절을 감별하는데 도움이 될 수 있다.

고립성 폐결절의 진단은 환자의 치료방침을 결정하고 예후를 예측하는데 매우 중요하지만 진단에 많은 어려움이 있다. 단순흉부사진에서 폐결절이 2년간 성장하지 않을 때 양성의 가능성이 높지만(1-3) 성장이 느린 악성 결절의 경우에도 비슷한 양상을 보일 수 있다. 기관지경 생검이나 경피적 흡인술 등의 침습적인 방법은 악성 결절의 경우에 비교적 높은 정확도를 보이지만 양성 결절인 경우는 낮은 조직 특이도를 보인다. 고립성 폐결절의 감별진단을 위해 최근 전산화단층촬영술(computed tomography, CT)이 가장 보편적으로 이용되고 있으며, 주로 CT에서 관찰되는 폐결절의 형태적 특징과 CT 수치가 감별진단의 기준으로 사용되고 있다.

Folkman(4)과 Brem 등(5)은 종양의 악성도가 신생혈관생성의 정도와 관련이 있다고 주장하였으며 이후 고식적 단층촬영술 (6), CT (7-9), 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MR) (10,11), 2-[fluorine-18]- fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) PET/SPECT (12-13) 등을 이용하여 폐종양의 혈류분포에 관한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구들의 결과는 종양의 관류, 조영제의 간질내 축적 및 세포 대사의 변화를 영상화하는 것이 형태 및 CT수치의 평가보다 악성도 예측에 더 정확하다는 주장을 뒷받침하였다. 자기공명영상술은 조직특성에 대한 민감도가 높기 때문에 병변의 조영증강 양상을 연구하는데 매우 우수한 검사방법이나 스캔시간의 지연으로 인하여 발생하는 호흡 및 심장박동에 의한 인공물과 감수성 인공음영(susceptibility artifact) 때문에 폐병변을 평가하는 데

[1]인하대학교 의과대학 방사선과학교실
[2]강원대학교 의과대학 방사선과학교실
[3]인하대학교 의과대학 내과학교실
[4]인하대학교 의과대학 흉부외과학교실
본 논문은 1998년도 인하대학교 의과대학 인하대병원의 학술연구비 지원으로 이루어졌음.
이 논문은 1999년 2월 1일 접수하여 1999년 3월 17일에 채택되었음.

에는 상당한 제약이 있었다. 최근 MR 기법의 발달은 고속촬영을 가능하게 하였고 이에 따라 한번의 호흡정지로 폐병변을 검사할 수 있게 되었다. 고립성 폐결절에 대한 MR 조영증강 양상에 대하여는 국외적으로 몇 편의 연구보고가 있지만(10,11), 국내에는 이에 대한 연구가 없다.

이 연구의 목적은 양성 및 악성 고립성 폐결절의 감별에 있어서 시간에 따른 역동적 조영증강 양상을 관찰함으로써 자기공명영상의 유용성을 알아보기 위함이다.

대상 및 방법

1997년 8월부터 1998년 10월까지 단순흉부사진상 직경 4 cm 이하의 고립성 폐결절을 가진 43명의 환자를 대상으로 역동적 자기공명영상을 시행하였다. 모든 환자에서 자기공명영상 전에 시행한 CT상 폐결절내에 석회화나 지방음영은 관찰되지 않았다. 총 43예의 결절 중 20예가 대상에서 제외되었는데 18예는 조직학적 또는 방사선학적으로 확진되지 않았고 1예에서는 호흡에 의한 인공음영이 심하여 조영증강에 대한 분석이 불가능하였다. 또한 1예의 동정맥기형은 자기공명영상에서 특징적 혈관 기형의 소견을 보여 대상에서 제외하였다.

연구대상에 포함된 23예의 고립성 폐결절 중 18예는 조직학적으로 확진하였으며 5예는 방사선학적으로 진단하였는데 5예 모두 단순흉부사진상 2년 이상의 추적 후에도 결절의 크기와 모양이 변하지 않거나 감소하여 양성으로 간주하였다. 23예의 결절 중 악성 결절은 모두 원발성 폐암으로서 9예였고 양성 결절이 14예였다. 악성 결절을 가진 9명 중 남자가 7명, 여자가 2명이었으며 평균 연령은 54세, 연령 범위는 36-73세였다. 양성결절을 가진 14명 중 남자가 9명, 여자가 5명이었으며 평균 연령은 46세, 연령 범위는 19-70세였다(Table 1).

자기공명영상은 1.5-T Signa Advantage Horizon(GE Medical Systems, Milwaukee, Wis, U.S.A.)을 사용하였으며 표면코일인 Torso coil(GE Medical Systems, Milwaukee, Wis, U.S.A.)을 수신코일로 사용하였다. 역동적 자기공명영상을 시행하기 전에 TR/TE/NEX = 500-1000 msec/8-14 msec/2로 스핀에코 T1강조영상, TR/TE/NEX = 4000-6000 msec/102 msec/2로 고속스핀에코 T2강조영상의 축상스캔을 하였다. 역동적 자기공명영상은 호흡을 멈춘 상태에서 fast multiplanar spoiled gradient echo (FMPSPGR) 펄스파형을 이용하여 결절을 중심으로 여러 절편의 축상 영상을 얻었다. FMPSPGR 펄스파형의 영상변수는 TR/TE/ NEX = 100-150 msec/1.8-2.2 msec/1, 절편두께는 3.0-5.0 mm, 간격은 0-1.5 mm, 획득매트릭스는 256 x 128, 스캔시간은 12-15초였다. 조영증강 전 영상을 얻고 나서 0.2ml/kg (0.1mmol/kg)의 dimeglumine gadopentetate(Schering, Berlin, Germany)를 사용하여 조영증강을 하였는데 조영제를 주입하기 시작한 시점으로부터 1분, 2분, 3분, 4분, 그리고 5분 후에 스캔하여 모두 6개의 조영증

Table 1. Summary of Benign and Malignant Solitary Pulmonary Nodules (SPNs)

Patient No./Sex/Age	Histological or Radiological Diagnosis	Diameter (mm)	p%SI	Time of p%SI (min)	Enhancement Pattern
	Malignant SPNs				
1/F/58	Bronchioloalveolar cell carcinoma	22	132.6	2	Homogeneous
2/M/57	Bronchioloalveolar cell carcinoma	37	111.8	2	Homogeneous
3/M/65	Squamous cell carcinoma	36	102.5	3	Homogeneous
4/M/41	Adenocarcinoma	17	171.6	2	Homogeneous
5/M/55	Squamous cell carcinoma	15	164.3	1	Homogeneous
6/M/47	Adenocarcinoma	23	109.1	1	Homogeneous
7/M/50	Squamous cell carcinoma	32	91.8	3	Homogeneous
8/M/73	Small cell carcinoma	33	119.8	2	Homogeneous
9/F/36	Bronchioloalveolar cell carcinoma	36	81.8	5	Inhomogeneous
	Benign SPNs				
10/M/19	TB granuloma	26	30.5	3	Peripheral rim-like
11/M/64	TB granuloma	24	54.5	5	Peripheral rim-like
12/M/69	Benign*	19	51.2	5	No or minimal
13/F/42	TB granuloma	24	21.0	4	Peripheral rim-like
14/F/31	TB granuloma	25	3.7	3	No or minimal
15/F/44	Benign*	19	45.9	3	No or minimal
16/F/44	TB granuloma	25	26.9	4	Peripheral rim-like
17/M/58	Aspergilloma	21	13.0	2	No or minimal
18/M/39	TB granuloma	30	30.6	2	Peripheral rim-like
19/F/46	TB granuloma	40	23.9	5	Peripheral rim-like
20/M/52	TB granuloma	22	78.9	2	Peripheral rim-like
21/M/31	Benign*	17	9.8	3	No or minimal
22/M/70	Benign*	26	17.9	2	No or minimal
23/M/55	Benign*	24	5.5	5	No or minimal

p%SI = peak percentage increase in signal intensity
*radiological diagnosis

강 전후의 영상을 얻었다.

결절의 신호강도는 각 시기별로 결절이 가장 크게 보이는 절편을 선택하여 관심영역(region of interest)을 설정하여 측정하였다(Fig. 1). 관심영역은 자기공명영상 콘솔에서 폐결절 영상을 2-4배로 확대한 후 방사선과 의사가 직접 도해하였으며 관심영역의 신호강도를 3번 측정한 후에 평균값을 구하였다. 부분용적효과를 최소화하기 위하여 관심영역은 육안적 판단하에 부분용적효과가 없으리라고 생각되는 최대면적의 경계로 표시하였다. 공동성 결절의 경우 CT의 소견을 참고하여 공기음영은 관심영역에서 제외하고 공동의 벽만을 대상으로 하였다. 조영증강 후 영상에서 폐결절 내에 조직괴사와 같은 조영증강이 없는 부위가 있어도 관심영역에 포함시켰다. 변연부 조영증강을 보이는 폐결절의 경우에도 동일한 기준을 적용하였으며 변연부의 대부분이 포함되었다. 조영제 주입의 적합성을 판정하기 위하여 대동맥의 신호강도를 측정하여 조영제 주입에 대한 기술적 실패를 배제하였다.

역동적 자기공명영상 소견은 악성 및 양성 폐결절의 조영증강 양상을 바탕으로 후향적으로 분석하였다. 고립성 폐결절의 조영증강 정도를 알아보기 위하여 다음과 같은 공식으로 각 시기별로 신호강도의 백분율증가(percentage increase in signal intensity, %SI)를 계산하였다.

$$\%SI = (SIpost - SIpre) \times 100 / SIpre$$

SIpre ; 조영증강 전 신호강도
SIpost ; 조영증강 후 신호강도

조영증강이 최고치일 때의 최고신호강도(peak signal intensity, pSI)와 그 시기를 기록하였으며 이 때의 %SI를 최고백분율증가(peak percentage increase in signal intensity, p%SI)로 정의하여 악성 결절과 양성 결절의 p%SI에 유의한 차이가 있는지 Wilcoxon rank sum test를 이용하여 알아 보았다. 또한 조영증강 후 %SI의 시기별 평균치를 구하여 평균백분율증가(mean percentage increase in signal intensity, m%SI)로 정의하고 시간-m%SI 곡선을 도해하여 양성과 악성 결절 간에 차이를 분석하였다. 악성과 양성 결절의 크기와 p%SI 사이의 상관관계를 Pearson 상관계수를 구하여 비교하였는데 결절의 크기는 관심영역을 선택한 절편에서 최대직경과 최소직경의 평균치로 결정하였다(Table 1).

이러한 조영증강 정도와 함께 육안적인 폐결절의 조영증강 유형을 균질한 조영증강을 보이는 경우, 변연부 조영증강을 보이는 경우, 불균질한 조영증강을 보이는 경우, 뚜렷한 조영증강이 없는 경우의 4가지로 나누어 분석하였다.

결 과

9예의 악성 결절의 p%SI는 120.6±30.7(mean±SD)이었으며 최소값과 최대값은 각각 81.8과 171.6이었다. 14예의 양성 결절의 p%SI는 29.5±21.4(mean±SD)였으며 최소값과 최대값은 각각 3.7과 78.9였다(Talble 1). 양성 결절과 악성 결절의 p%SI는 단 1예에서도 중복되지 않았으며 두 군 사이에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.0001$ by Wilcoxon rank sum test)(Fig. 2). p%SI의 결정치(cut-off value)를 80으로 할 경우 민감도, 특이도, 정확도가 모두 100%였다.

악성 결절은 9예 중 8예(89%)에서 3분 이내에 p%SI에 도달하였으며 양성 결절은 14예 중 10예(71%)에서 3분 이후에 p%SI에 도달하였다(Table 1). m%SI는 악성 결절이 1분에서 급격하게 증가하여 서서히 감소하는 추세를 보였으며 양성 결절은 3분까지 서서히 증가하다가 고원부(plateau)를 이루는 추세를 보였다(Fig. 3).

결절의 크기는 악성이 평균 27.9mm, 범위는 17-37mm였고, 양성이 평균 24.5mm, 범위는 17-40mm였다. 결절의 크기와 p%SI 사이에 상관관계를 비교하였을 때 악성결절은 결절이 클수록 p%SI는 작아져 반비례관계($r = -0.84$)를 보였으나 양성결절에서는 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았다($r = -0.17$).

조영증강 유형은 악성 결절이 9예 중 8예(89%)에서 균질한 조영증강을 보였으며(Fig. 4) 1예(11%)에서 불균질한 조영증강을 보였다. 양성 결절은 14예 중 7예 (50%)에서 변연부 조

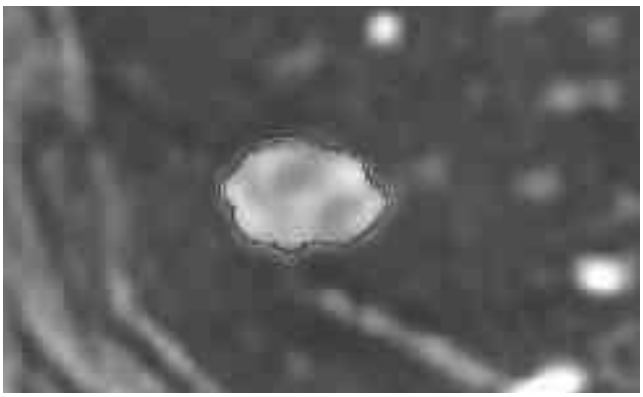

Fig. 1. The measurement of the signal intensity of a solitary pulmonary nodule (SPN). We set the region of interest by a manual drawing along the margin of SPN with care so partial volume effect should be as minimal as possible.

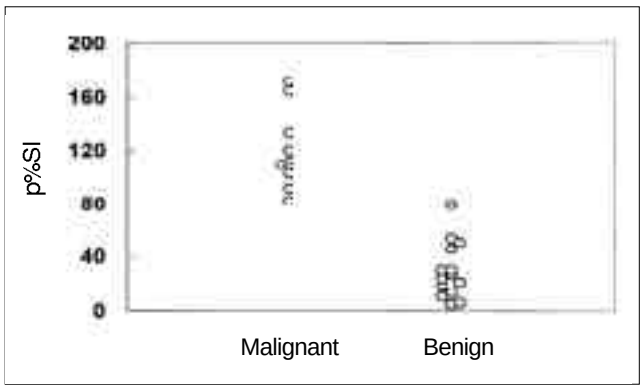

Fig. 2. The peak percentage increase in signal intensity (p%SI) of malignant and benign solitary pulmonary nodules (SPNs). With the cut-off value of 80 p%SI, graph shows no overlap of the p%SI between malignant and benign SPNs.

영증강을 보였고(Fig. 5), 나머지 7예(50%)에서는 뚜렷한 조영증강을 보이지 않았다.

고 찰

일반적으로 고립성 폐결절의 악성도를 예측할 때 주로 형태적 기준(크기, 경계, 석회화, 지방음영), 성장속도, 환자의 연령 및 흡연력, CT 수치 등을 이용해왔다(1-3). 1990년 Littleton 등(6)은 조영증강 고식적 단층촬영술을 이용한 연구에서 폐암이 양성 결절에 비하여 높은 조영증강을 보인다는 결과를 보고한 이후 CT와 MR영상을 이용한 조영증강에 관한 연구가 진행되었다. 최근 연구(14,15)에 따르면 종양의 조영증강 속도는 양성이건 악성이건 간에 신생혈관의 밀도에 비례하기 때문에 악성종양에 대해 민감도는 높으나 특이도는 낮다고 하였다. 그러나 조직학적으로 미세혈관의 밀도를 측정함으로써 수많은 종양의 예후를 예측한다는 사실을 볼 때 자기공명영상을 이용한 조영증강 정도의 측정은 진단적 가치를 가질 수 있다(14,15). 또한 자기공명영상은 경계면의 형태, 조영증강의 패턴 및 조직학적 구성 등과 같은 형태적 특징들에 대한 부가적인 정보를 제공한다. 따라서 이러한 형태적 특징 및 동역학적 정보를 종합함으로써 악성종양에 대해 진단의 정확도를 높일 수 있다(16).

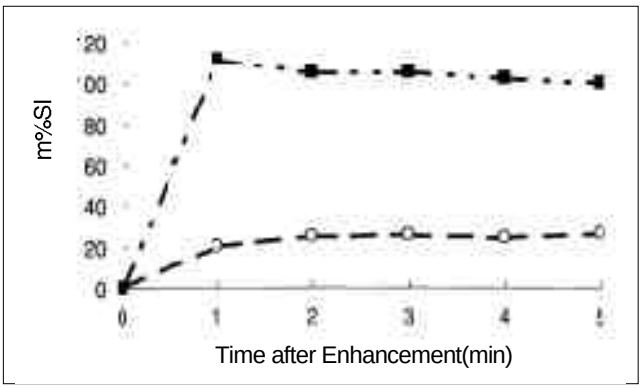

Fig. 3. The time-m%SI (mean percentage increase in signal intensity) curve. The m%SI of malignant SPNs rapidly increased at 1 minute and decreased gradually thereafter, whereas that of benign SPNs more slowly increased to form a plateau.

역동적 자기공명영상을 이용한 본 연구 결과를 토대로 악성 및 양성 폐결절의 p%SI를 비교해보면 결정치(cut-off value)는 80으로 악성과 양성을 정확히 감별할 수 있었다(Fig. 2). 이러한 결과는 자기공명영상을 이용한 이전의 연구들에서 보고한 악성 결절이 양성 결절에 비하여 높은 조영증강을 보인다는 결과와 일치하였다(Table 2). 본 연구에서는 FMPSPGR 펄스파형을 사용하였는데 일반적으로 경사자장 에코신호(gradient echo signal)는 스핀에코 신호(spin echo signal)에 비하여 스캔시간이 짧으며 움직임에 의한 영향이 적고 흐르는 혈액이 강조되어 동맥혈류도 높은 신호강도를 보이는 장점이 있다(17).

역동적 조영증강 자기공명영상은 정적(Static) 조영증강 자기공명영상보다 종양의 동역학적 정보를 더 잘 알 수 있어 감별에 도움이 되며 역동적 영상은 조영제의 양과 주입기법이 중요하다. T1강조 펄스파형을 이용하여 Kono 등(11)은 역동적 영상을 얻었으며 Gückel 등(10)은 정적 영상을 얻었는데 양성 및 악성 결절의 조영증강 정도의 차이면에서는 상반된 결과를 보여주었다. Kono 등(11)은 0.1mmol/kg의 조영제를 1분에 걸쳐 주입하였고 Gückel 등(10)은 0.05mmol/kg의 조영제를 아주 빠른 속도(4초 이내)로 일시주사(bolus injection)를 하였다. 일시주사의 기간이 길면 혈관내에서 조영제가 최고농도에 도달하는 시간이 늦어지며 최고농도값도 낮아진다. 또한 낮은 최고농도값을 보상하기 위해서는 많은 양의 조영제가 필요하게 된다. 따라서 높은 혈관분포를 가진 악성종양조차도 낮고 점진적으로 증가하는 조영증강 유형을 보이게 된다. 이러한 배경하에 본 연구에서는 정확한 동역학적 정보를 얻기 위해 약 12 cc (몸무게 60kg 기준, 0.1mmol/kg)의 조영제를 수 초 이내에 일시주사하였으며 1분

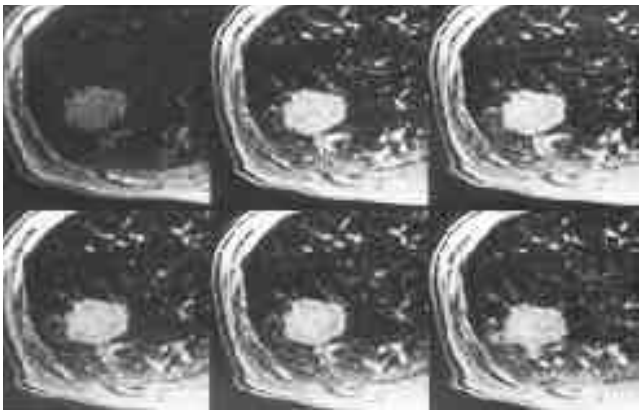

Fig. 4. 73-year-old man with small cell carcinoma (patient 8). Serial MR images show homogeneous enhancement of SPN. The p%SI is reached in 2 minutes after contrast enhancement (Top right).

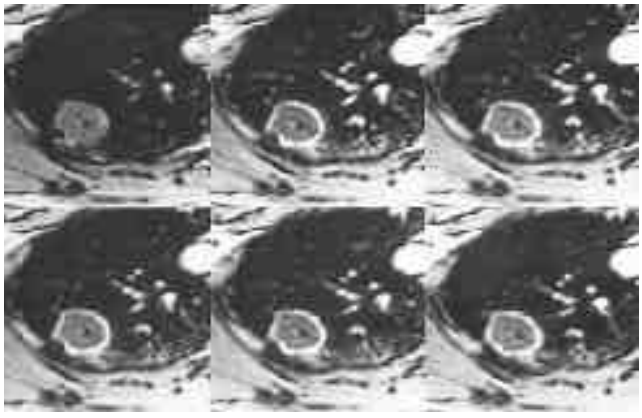

Fig. 5. 39-year-old man with tuberculoma (patient 18). Serial MR images show peripheral rim-like enhancement of SPN. The nodule has small cavity in the center. The p%SI is reached in 2 minutes (Top right) and forms a plateau thereafter.

Table 2. Summary of Reported Results of Enhancement Characteristics between Malignant and Benign Solitary Pulmonary Nodules (SPNs)

	Modality	Malignant	Benign	Parameter	P value
Kono et al (11)	T1-weighted SE (D)	62	23	%SI	< 0.001
Gückel et al (10)	T1-weighted SE (S)	53.4 *	33.0 *	%SI	> 0.2
Gückel et al (10)	Snapshot GRE (D)	18.1 *	2.3 *	%SI/sec	< 0.0001

SE = spin echo, D = dynamic MRI, S = static MRI, GRE = gradient echo
FMPSPGR = fast multiplanar spoiled gradient echo
* = median value = mean value
%SI = percentage increase in signal intensity
%SI/sec = percentage mean slope of time-intensity curve of nodule
= (SIpostcontrast - SIprecontrast) × 100 / SIprecontrast × (Tmax-art - T_0-art)
where, Tmax-art = time of maximal SI of pulmonary artery during the first transit of the bolus of contrast material
T_0-art = time before the arrival of the bolus of contrast material in the pulmonary artery

간격으로 다섯번의 스캔을 하여 조영증강 유형을 비교하였다.

관심영역의 설정은 조영증강정도의 재현성(reproducibitity)을 높이는데 매우 중요하다. CT의 경우 폐실질이 상당히 낮은 음값을 가지므로 결절의 경계부위는 심한 부분용적효과(partial volume effect)를 보인다. Yamashita 등(9)은 결절의 최단직경의 60%에서 원형의 관심영역을 선택하였으며 Swensen 등(7)은 결절의 가장자리 1-2mm를 포함시키지 않았다. 저자 등은 Gückel 등(10)이 한 것처럼 폐결절을 전부 포함하는 관심영역을 설정하였으며 부분용적효과를 줄이기 위해 육안적으로 부분용적효과를 보이지 않는 최대면적을 경계로 하였는데 결과적으로 결절의 가장자리 1-2mm 정도가 관심영역에서 제외되었다(Fig. 1). 따라서 테두리 조영증강을 보이는 폐결절의 경우는 Yamashita 등(9)과 Swensen 등(7)의 경우보다 높은 조영증강을 보였다. 테두리 조영증강이 특징적인 결핵종의 경우 건락성 괴사영역이 비괴사영역보다 적으면적을 수록 결절의 p%SI는 높아지며 하나의 함정 (pitfall)이 될 수 있다. 실제로 본 연구에서도 높은 조영증강을 보인 결핵종에서 건락성 괴사영역이 상대적으로 많은 절편을 선택하였을 경우 낮은 p%SI를 보였다.

지금까지 자기공명영상은 주로 결절의 조직학적 특성을 결정짓는데 사용되어 왔다. Kono 등(11)은 조영증강을 하지 않은 T1 강조영상 하에서 악성결절이 양성결절에 비하여 높은 신호강도를 보인다고 하였다. 이러한 신호강도의 차이는 중복이 많아 감별에 적용하기는 어렵다고 생각되어지지만 조영증강 전 영상도 종양의 혈관구조 및 대사활동을 어느정도 반영한다고 생각되며 이에 대한 병리적 연구가 필요하리라 사료된다.

시간에 따른 m%SI의 변화를 보면(Fig. 3) Gückel 등(10)의 연구 결과와 대체로 일치하지만 Gückel 등(10)은 최고신호강도보다는 조영제가 폐동맥을 일차통과(first pass)하는 동안 보이는 조영증강 속도 즉, 경사(slope, %SI/sec)에 관심을 가졌다(Table 2). 이러한 조영증강의 경사는 주로 혈관내 조영제의 농도와 관련이 있는 반면, 시간-강도 곡선의 최고점(peak)은 혈관내 및 혈관외 간질공간(interstitial space)의 조영제 농도를 반영한다(18). 최근 문헌(18)에 따르면 최고점은 암치료의 효과를 보는데 중요하다고 하며, 본 연구에서는 최고점을 이용한 p%SI를 비교의 대상으로 택하였으나 양성 및 악성결절의 감별에 있어서 어려움은 없었다.

결절의 크기와 p%SI는 악성결절에서는 역상관관계를 보였고 양성결절에서는 상관관계가 없었다. 이러한 결과는 통념적으로 결절의 크기가 클수록 악성도가 높으리라는 것과는 반대되는 결과이다. 악성결절에 있어서는 조직학적으로 내부괴사의 증가가 원인일 수도 있다. 그러나, 본 연구에 포함된 악성결절 9예 중 수술로 specimen을 얻은 경우는 3예에 불과하여 더 많은 대상을 얻고 난 후에 병리학적 상관관계에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

본 연구에서 조영증강 유형은 악성도 예측에 도움을 주었다. Fumikazu 등(19)은 자기공명영상에서 결핵종이 특징적으로 얇은 변연부 조영증강을 보여 괴사를 동반한 기관지폐암과 감별이 가능하다고 주장하였다. 본 연구에서도 결핵종으로 확진된 경우는 88%(7/8)에서 분명한 변연부 조영증강을 보였다(Fig. 5). 반면 악성결절의 경우에는 89% (8/9)에서 균질한 조영증강을 보였다(Fig. 4). 방사선학적으로 확진된 5예의 고립성 폐결절은 거의 조영증강을 보이지 않아 결핵종과는 구별되었다.

조직학적으로 확진된 양성결절의 대부분이 결핵종인 것은 본 연구의 제한점으로 결핵종 외에도 여러 종류의 양성결절을 대상으로 한 추가연구가 필요하리라 사료된다. 결핵종을 포함하여 지금까지 연구된 양성결절의 조영증강 패턴을 알아보면 Fumikazu 등(20)은 과오종의 자기공명영상 소견에 대한 연구에서 과오종은 높은 조영증강을 보이는 격막을 가지나 소엽 자체는 낮은 조영증강을 보인다고 하였다(20). Swensen 등(8)은 비활동성 육아종이 활동성 육아종보다 낮은 조영증강을 보인다고 하였고 Yamashita 등(9)은 10예의 결핵종 중에서 8예는 테두리 조영증강을 보이고 2예는 조영증강을 보이지 않았다고 하였다. Murayama(21)는 비석화화 결핵종의 CT상 조영증강 패턴을 연구한 바 있는데 12예 중 3예가 미약한 테두리 조영증강을 보였으며 이는 조직학적으로 중앙의 건락성 괴사와 함께 가장자리의 빈약한 혈관분포를 나타낸다고 보고하였다. 조직학적으로 종양이 아닌 염증성 조직으로 증명된 폐결절이 악성결절보다 높은 조영증강을 보인다는 보고도 있다(22).

다른 제한점 중 하나는 2년 이상의 추적 후에도 크기가 증

가되지 않은 5예의 폐결절을 포함시킨 점이다. Gurney(1)는 악성결절의 1% 미만이 2년 이상의 배가 시간 (doubling time)을 가진다고 하였다. 하지만 Yankelevitz 등(23)은 여러 문헌을 재고찰하면서 결절이 2년 이상 성장하지 않는다고 해서 악성을 배제할 수는 없으나 악성결절이라 하더라도 긴 배가 시간을 가진다면 좋은 예후를 보인다고 하였다.

역동적 자기공명영상에서 낮은 조영증강 정도는 양성의 특징이지만 기술적 실패가 원인이 될 수도 있다. 기술적 실패의 원인으로는 호흡운동에 의한 인공음영 생성 및 결절의 위치 변화, 조영제 주입의 실패 등 영상을 얻기 전의 원인과 영상 분석시 관심영역 설정의 오류 등이 주요 이유이다. 분석에 포함시키지 않은 1 예에서 호흡을 제대로 참지 못해 심한 인공음영이 발생하였다. 따라서 악성결절을 감별해내는데 있어서 조영증강 정도의 평가보다도 이러한 기술적 실패의 원인을 사전에 제거하는 것이 상당히 중요하리라고 생각된다.

결론적으로 역동적 조영증강 자기공명영상은 고립성 폐결절의 조영증강에 대한 동역학적 정보를 제공함으로써 악성과 양성 고립성 폐결절을 감별하는데 도움이 될 수 있다.

참 고 문 헌

1. Gurney JW. Determining the likelihood of malignancy in solitary pulmonary nodules with Bayesian analysis. I. Theory. *Radiology* 1993;186:405-413
2. Shulkin AN. Management of the indeterminate solitary pulmonary nodule: a pulmonologist's view. *Ann Thorac Surg* 1993;56:743-744
3. Siegelman SS, Khouri NF, Leo FP, Fishman EK, Braverman RM, Zerhouni EA. Solitary pulmonary nodules: CT assessment. *Radiology* 1986;160:307-312
4. Folkman J. Tumor angiogenesis: therapeutic implications. *N Engl J Med* 1971;285:1182-1186
5. Brem S, Cotran R, Folkman J. Tumor angiogenesis: a quantitative method for histologic grading. *J Natl Cancer Inst* 1972;48:347-356
6. Littleton JT, Durizch ML, Moeller G, Herbert DE. Pulmonary masses: contrast enhancement. *Radiology* 1990;177:861-871
7. Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, Weaver AL, Midthun DE. Lung nodules enhancement at CT: prospective findings. *Radiology* 1996; 201:447-455
8. Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, Weaver AL. Pulmonary nodules: CT evaluation of enhancement with iodinated contrast material. *Radiology* 1995;194:393-398
9. Yamashita K, Matsunobe S, Tsuda T, Nemoto T, Matsumoto K, Miki H, Konishi J. Solitary pulmonary nodule: preliminary study of evaluation with incremental dynamic CT. *Radiology* 1995;194: 399-405
10. Gückel C, Schnabel K, Deimling M, Steinbrich W. Solitary pulmonary nodules: MR evaluation of enhancement patterns with contrast-enhanced snapshot gradient-echo imaging. *Radiology* 1996; 200:681-686
11. Kono M, Adachi S, Kusumoto M, Sakai E. Clinical utility of Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging in lung cancer. *J Thorac Imaging* 1993;8(1):18-26
12. Worsley DF, Cellar A, Adam MJ et al. Pulmonary nodules: differential diagnosis using 18F-fluorodeoxyglucose single-photon emission comptued tomography. *AJR* 1997;168:771-774
13. Gupta NC, Maloof J, Gunel E. Probability of malignancy in solitary pulmonary nodules using fluorine-18-FDG and PET. *J Nucl Med* 1996;37:943-948
14. Buadu LD, Murakami J, Murayama S, et al. Breast lesions: correlation of contrast medium enhancement patterns on MR images with histopathologic findings and tumor angiogenesis. *Radiology* 1996;200:639-649
15. Frouge C, Guinebretiere J-M, Contesso G, DiPaola R, Blery M. Correlation between contrast enhancement in dynamic magnetic resonance imaging of the breast and tumor angiogenesis. *Invest Radiol* 1994;29:1043-1049
16. Passe TJ, Bleumke DA, Siegelman SS. Tumor angiogenesis: tutorial on implications for imaging. *Radiology* 1997;203:593-600
17. 이성우, 은충기, 문치웅, 박수성. *최신자기공명영상학*. 여문각, 1998: 169-189
18. Grieble J, Nayr NA, Alexander de V et al. Assessment of tumor microcirculation: a new role of dynamic contrast MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 1997;7:111-119
19. 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* 1992;7(4):64-69
20. Sakai F, Sone S, Kiyono K et al. MR of pulmonary hamartoma: pathologic correlation. *J Thorac Imaging* 1994;9:51-55
21. Murayama S, Murkami J, Hashimoto S, Torii Y, Masuda K et al. Noncalcified pulmonary tuberculomas : CT enhancement patterns with histological correlation. *J Thorac Imaging* 1995;10:91-95
22. Hittmair K, Eckersberger F, Klepetko W, Helbich T, Herold CJ. Evaluation of solitary pulmonary nodules with dynamic contrast-enhanced MR imaging- a promising technique? *Magn Reson Imaging* 1995;7:923-933
23. Yankelevitz DF, Henschke CI. Does 2-year stability imply that pulmonary nodules are benign? *AJR* 1997;168:325-328

대한방사선의학회지 1999;40:1133-1139

J Korean Radiol Soc 1999;40:1133-1139

Differentiation of Benign and Malignant Solitary Pulmonary Nodules : Value of Contrast-Enhanced Dynamic MR Imaging[1]

Jeong-Ho Kim, M.D., Hyung-Jin Kim, M.D., Heon Han, M.D.[1,2], Hong Lyeol Lee, M.D.[3], Kwang Ho Kim, M.D.[4], Chang Hae Suh, M.D.

[1]*Department of Radiology, Inha University, College of Medicine, Inchon, Korea*
[2]*Department of Radiology, Kangwon University College of Medicine*
[3]*Department of Internal Medicine, Inha University, College of Medicine, Inchon, Korea*
[4]*Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Inha University, College of Medicine, Inchon, Korea*

Purpose : To evaluate the usefulness of contrast-enhanced dynamic MR imaging for differentiation of benign and malignant solitary pulmonary nodules (SPNs).

Materials and Methods : Twenty-three patients with histologically or radiologically provened SPNs smaller than 40mm (14 benign, 9 malignant) underwent MR examination using the breath-hold fast multiplanar spoiled gradient echo (FMPSPGR) technique. Pre-enhancement MR examination was followed by serial scans obtained at one-minute intervals, beginning one-minute after the onset of bolus injection of paramagnetic contrast agent for a total of five scans. Signal intensities of SPNs were measured from pre- and post-contrast enhanced MR images and peak percentage increase in signal intensity (p%SI) was calculated. Mean percentage increase in signal intensity (m%SI) was also calculated and the time-m%SI curve was plotted. The enhancement patterns of SPNs were classified as homogeneous, peripheral rim-like, inhomogeneous, or no (or minimal) enhancement. We compared differences in p%SI, the pattern of the time-m%SI curve, and the pattern of enhancement between benign and malignant SPNs.

Results : On dynamic MR images, alignant SPNs (n = 9) showed a significantly higher p%SI than benign SPNs (n = 14) (malignant : mean 120.6, range 81.8-171.6; benign: mean 29.5, range 3.7-78.9) ($p < 0.0001$). With 80 p%SI as the threshold for malignancy-positive, both sensitivity and specificity were 100%. The m%SI of malignant SPNs rapidly increased at one minute after enhancement and decreased gradually thereafter, whereas that of benign SPNs increased more slowly to form a plateau. Eighty-nine percent (8/9) of malignant SPNs showed homogeneous enhancement. In contrast, among benign SPNs, peripheral rim-like enhancement and no (or minimal) enhancement occurred in the same proportion of cases : 50% (7/14).

Conclusion : The superb demonstration of different enhancement characteristics obtained using dynamic contrast-enhanced MR imaging is useful to discriminate malignant from benign SPNs.

Index words : Lung neoplasms, diagnosis
Lung neoplasms, MR
Lung, nodule

Address reprint requests to : Hyung-Jin Kim, M.D., Department of Radiology, Inha University Hospital, #7-206 3rd St., Shinheung-dong, Choong-ku, Inchon, 400-103, Korea.
Tel. 82-32-890-2769 Fax. 82-32-890-2743