대한방사선의학회지 2002;46:119 - 125

전자선 단층 촬영을 이용한 폐종괴의 관류측정[1]

김 정 아[2] · 최 규 옥 · 최 병 욱

목적: 전자선단층촬영기를 이용하여 폐종괴의 관류 측정 및 관류 유형을 분석하고 폐종괴의 감별 진단에 도움이 되는지 알아보고자 한다.

대상과 방법: 28개의 폐종괴를 대상으로 하여 전향적 연구를 시행하였다. 남자가 23명이었고 여자가 5명이었으며 평균 연령은 57세였다. Multislice flow mode로 폐관류를 측정하고 관류 유형을 분석하였다. 관류 영상은 4기로 이루어졌다. 조영 전 병변의 HU, 병변의 관류량, 최대 조영 증가 HU 및 최대 조영 증가 시기, 지연기에서의 평균 밀도 및 1기 최대치에 대한 % 감소율을 구하고 병변의 진단에 따라 비교, 분석하였다.

결과: 19개의 종괴는 악성 종양으로, 9개는 양성 병변으로 진단되었고 악성 종양 중 14개의 병변은 원발성 폐암으로 5개의 병변은 폐전이로 진단되었다. 악성 종양이 양성 종괴보다 유의하게 높은 관류량 ($p<0.001$) 및 제2기 평균 밀도 ($p<0.05$)와 유의하게 짧은 최대 조영 증가 시기 ($p<0.05$)를 보였다. 원발성 폐암 (n=14)이 양성 종괴보다 유의하게 높은 관류량 ($p<0.001$) 및 제2기 평균 밀도 ($p<0.05$)를 보였다. 원발성 폐암과 폐전이는 유의한 관류량 및 관류 유형의 차이를 보이지 않았다.

결론: 전자선단층촬영을 이용한 폐종괴의 관류 측정 및 관류 유형의 분석은 악성 및 양성 폐종양의 감별 진단에 유용한 정보를 제공한다.

종양의 혈관성은 종양 혈관생성(tumor angiogenesis), 종양내 혈류 및 기질 교환 등에 의해 영향을 받으며 종양의 혈관성 측정은 종양의 활성도를 예측하고, 감별 진단과 치료에 대한 반응 및 예후를 예측하는 데 도움을 준다고 보고되고 있다 (1 - 8). 종양의 혈관성을 비침습적으로 예측하는 영상 진단 방법으로는 도플러 초음파, 역동적 컴퓨터단층촬영, 핵의학 검사 및 자기공명영상 등이 있으며, 이를 이용하여 종양내 관류를 측정하고자 하는 시도가 있었다 (1 - 7).

전자선단층촬영기(electron beam tomography, EBT)는 스캔 시간이 매우 짧아서 시간적 분해능이 높고, 조영제의 통과를 정확하게 측정함으로써 조직의 관류를 측정하여 기능적 정보를 줄 수 있을 뿐 아니라 (3), 호흡 운동에 따른 인공 산물을 줄여주어 폐조직의 병변을 영상화하는데 우수하다는 장점이 있다. 이에 저자는 이제까지 보고된 바가 없는 EBT를 이용한 폐종괴의 관류 측정 및 관류 유형의 분석을 통해 폐종괴의 감별 진단에 도움이 되는지 알아보고자 하였다.

[1]연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실, 방사선의과학연구소
[2]성균관대학교 의과대학 삼성제일병원 진단방사선과
이 논문은 2001년 4월 16일 접수하여 2001년 9월 11일에 채택되었음.

대상과 방법

단순 흉부촬영이나 흉부 컴퓨터단층촬영에서 2 cm 이상 크기의 단일 폐종괴를 보이는 28명의 환자를 대상으로 하여 전향적 연구를 시행하였다. 환자의 분포는 남자가 23명이었고 여자가 5명이었으며, 연령은 28세에서 85세로 평균 연령 57세였다. 폐종괴의 크기는 2 - 4.2 cm (평균 3.1 cm)이었으며 16개는 불규칙한 변연을 보였고, 12개는 평활한 변연을 보였다. 이들 폐종괴에서 EBT를 이용한 폐관류를 측정하고 관류 유형을 분석하였다.

EBT (Imatron C - 100 Imatron Inc., South San Francisco, CA., U.S.A.)의 multislice flow mode를 이용하여 폐관류 측정 및 관류 유형을 조사하였다. 영상은 150 kVp, 650 mA에서 시행하였다. EBT의 기계적 특성으로 절편 두께는 8 mm로 고정되었고 폐종괴의 크기에 따라 2 - 8개의 절편에서 동시에 관류 영상을 얻었다. 영상 획득 시간은 한 절편당 50 msec였다. 전주와 정맥(antecubital vein)을 천자한 후 주입기로 초당 3 cc의 Iopamiro 370 (Bracco, Milano, Italy)을 총 50 cc 주입하였고, 폐전이를 의심할 경우 조영제 주입 시작 후 5초에서10

초의 지연기를 가졌으며, 그 이외의 경우는15초의 지연기 후 종괴의 영상을 얻어 시간-농도 곡선(time-density curve, TDC)을 구하였다. 조영 증강 전 단면 영상에서 종괴와 대동맥의 hounsfield unit (HU)을 측정하였다. 지연기 후 처음 30초간을 제1기로 하였으며 종괴와 대동맥에서 초당 한 스캔씩 모두 30개의 영상을 얻었다. 제1기 후 30초의 지연기가 경과한 후의 30초간을 제2기 또는 제1 지연기 (delay phase 1, D1)로 하였으며 종괴에서 3초에 한 스캔씩 10개의 영상을 얻었다. 다시 30초의 지연기가 경과한 후의 30초간을 제3기 또는 제2 지연기 (delay phase 2, D2)로 하였으며 6초에 한 스캔씩 모두 5개의 영상을 얻었다. 영상을 얻는 30초간 환자는 호흡을 멈추었다 (Fig. 1).

EBT에 내장된 후영상 처리 프로그램(Ultraacess; Imatron Inc., SF, CA, U.S.A.)을 이용하여 종괴에 관심역을 설정하고 제1기, 2기, 3기 각각에서 종괴의 HU를 측정하여 종괴의 시간-농도 곡선을 얻었다. 관심역을 종괴에서 부분 용적 효과가 보이는 상하 부분을 제외하고 종괴의 중심 부위에 설정하였으며, 종괴내 석회화나 괴사 부분을 제외하고 동질한 연부 조직만 포함되도록 설정하였다. 제1기에서 종괴의 관류량과 종괴와 대동맥의 최대 조영 증가 HU (Peak HU=maximal HU-precontrast HU)를 구하였다. 또한 대동맥의 최대 조영 증가 시기(time to peak, TTP)로부터 종괴의 TTP까지의 시간 차이로 설정한 종괴의 최대 조영 증가 시기를 구하였다. 종괴의 최대 조영 증가 시기를 대동맥의 TTP로부터 종괴의 TTP까지의 시간 차이로 설정함으로써 대동맥이 최대 조영에 도달하는 시간의 개별 환자간의 차이에 따른 종괴의 최대 조영 증가 도달 시기의 차이를 교정하였다. 종괴의 관류는 제1기의 TDC로부터 gamma variate fitting을 통하여 곡선의 최대 기울기 (maximal slope)를 구한 후 다음의 공식에 의하여 구하였다 (4, 5).

Perfusion of nodule (ml/min/g) = (maximal slope of TDC/ Peak HU_{Ao}) × 60

Peak HU_{Ao}: peak HU of aorta (maximal HU of aorta - precontrast HU of aorta)

병변의 지연 조영 증강 유형을 알기 위해 제2기 (D1) 및 제3기 (D2)에서 다음의 공식에 의해 각각의 평균 밀도 (평균 D1 밀도 (mean D1 HU) 및 평균 D2밀도 (mean D2 HU) 및 제1기 최대치에 대한 % 감소율 (D1%, D2%)을 얻었다 (Fig. 2).

조영 전 병변의 HU, 제1기 영상에서 측정한 병변의 관류량, Peak HU, TTP와 지연 영상에서 측정한 mean D1 HU, mean D2 HU 및 D1%, D2%를 병변의 진단에 따라 비모수 분석 중 2개의 독립 변수를 이용한 Mann-Whitney U-test를 이용하여 비교, 분석하였다.

결 과

병변의 진단은 조직학적 검사 (n=28)와 세균 검사 (n=1), 추적 흉부촬영에서 항생제 치료후 크기 감소 (n=1) 등의 임상 검사 소견을 통하여 이루어졌다. 28개의 종괴 중 19개의 종괴는 악성 종양으로 진단되었고 9개의 종괴는 양성 병변으로 진단되었다. 19개의 악성 종양 중 14개의 병변은 원발성 폐암이었고 5개의 병변은 폐전이로 진단되었다 (Table 1).

악성 종괴 (n=19)와 양성 종괴 (n=9)의 비교에서, 악성 종괴가 양성 종괴보다 유의하게 높은 관류량 ($p<0.001$) 및 유의하게 높은 mean D1 ($p<0.05$)을 보였고, 유의하게 짧은 TTP

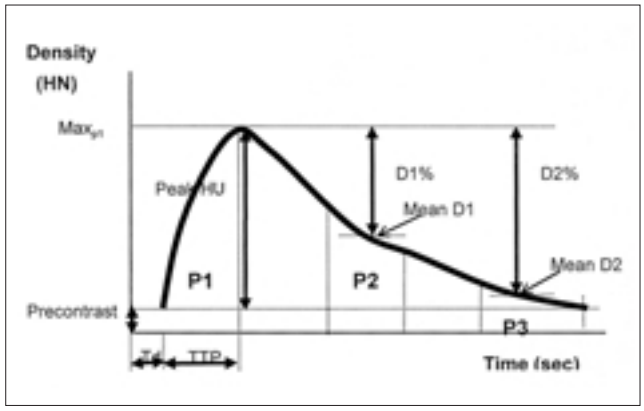


Fig. 2. Data analysis
Max_{P1} = maximal HU at phase 1
Peak HU = Max_{P1}-precontrast HU
Mean D1 HU = mean HU of delay 1 phase-precontrast HU
Mean D2 HU = mean HU of delay 2 phase-precontrast HU
D1(%) = {(Max_{P1}-Mean D1)/ Max_{P1}} × 100
D2(%) = {(Max_{P1}-Mean D2)/ Max_{P1}} × 100
Precontrast: precontrast HU
Td: time delay from start of contrast injection to start of scanning
TTP: time to peak

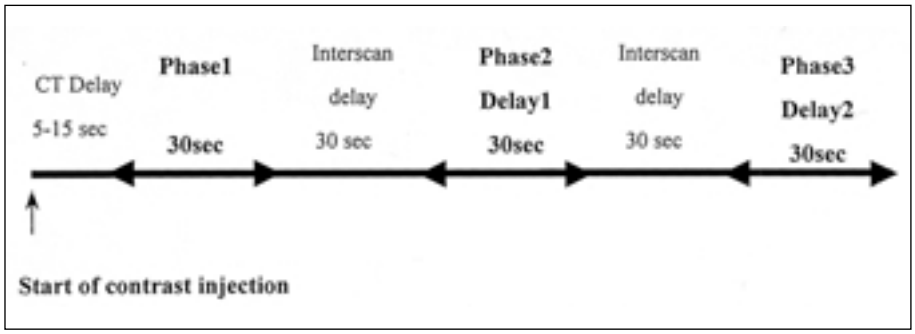


Fig. 1. Image acquisition protocol.
CT Delay ; time delay from start of contrast injection to start of phase 1
Phase 1 ; 30 scans during 30 seconds
Phase 2 ; 10 scans during 30 seconds
Phase 3 ; 5 scans during 30 seconds

Table 1. The Diagnosis of Pulmonary Nodules

Diagnosis	No. of Nodules
Malignant	19
Primary lung cancer	14
Squamous cell carcinoma	8
Adenocarcinoma	4
Small cell lung cancer	2
Metastasis	5
Adenocarcinoma	3
Lymphoma	1
Squamous cell carcinoma	1
Benign	9
Tuberculoma	2
Pneumoconiosis	2
Sarcoidosis	2
Inflammatory granuloma	2
Aspergilloma	1

(p<0.05)를 보였다. 조영 전 HU, peak HU, TTP, D1% 및 D2%는 유의한 차이를 보이지 않았다 (p>0.05) (Table 2).

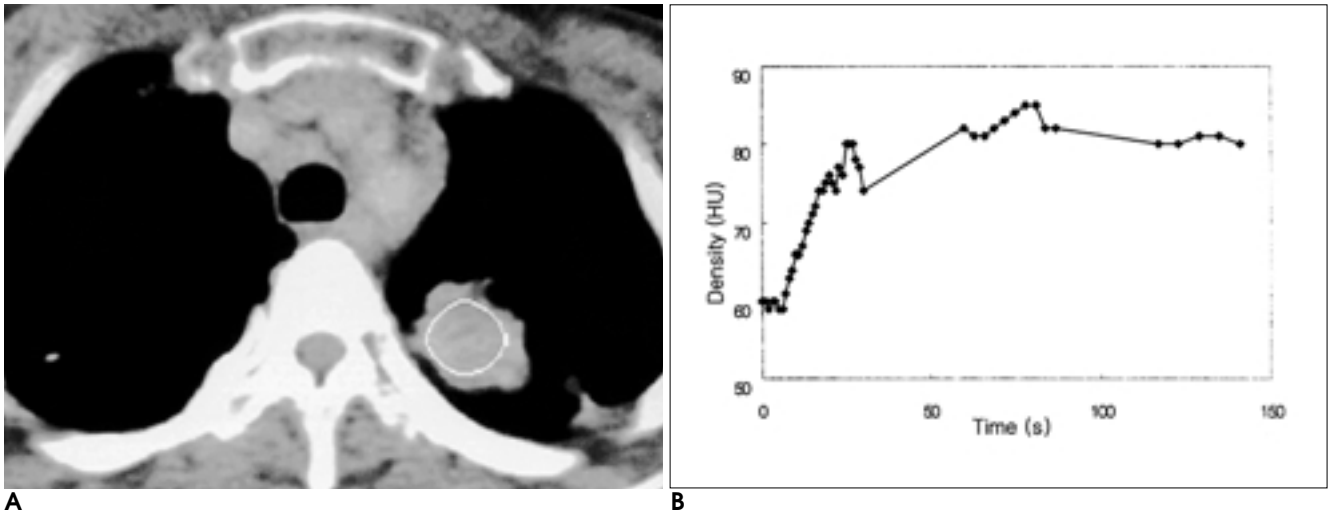
악성 종양 중 원발성 폐암과 양성 종괴의 비교에서 원발성 폐암이 양성 종괴보다 유의하게 높은 관류량 (p<0.001) 및 제2기에서 유의하게 높은 mean D1 (p<0.05)을 보였다. TTP는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (p>0.05) (Table 2).

악성 종양의 D1%는 13.0±22.0%, D2%는 10.0±24.00%이었다. 세 개의 영상기로부터 얻은 TDC의 유형은, 19개 중 13개의 종괴에서 제1기 영상에서 최대 조영 증강을 보인 후 점차 세출(wash out)되는 양상을 보였으나, 4개에서는 D1%가 각각 -34, -5, -17, -6% 이었고, D2%가 각각 -42, -2, -31, -22%로, 제1기 영상보다 지연 영상에서 더욱 조영 증강되는 양상을 보였다. 다른 2개에서는 D1%가 각각 0, -

Table 2. Perfusion and Flow Pattern according to Diagnosis

	Parameters according to Phase							
	Phase 0	Phase 1			Delay 1		Delay 2	
Diagnosis	Pre (HU)	Perfusion (ml/min/100 g)	Peak HU(HU) (HU)	TTP (sec)	Mean D1(HU) (HU)	D1%	Mean D2 (HU)	D2%
Benign(n=9)	56.5±40.8	18.0±11.0	26.0±14.3	20.4±20.8	13.4±10.0	23.0±16.0	13.90±11.20	8±15
Malignant(n=19)	45.5±15.7	82.2±51.9†	41.3±18.2	7.1±13.0*	23.6±14.3*	13.0±22.0	19.20±14.30	10±24
Primary(n=14)	41.0±14.3	78.4±51.2§	38.8±18.1	10.3±12.7	25.8±15.3‡	11.0±19.0	20.80±15.20	10±20
Metastasis(n=5)	58.1±13.3	93.0±58.5	44.2±17.0	-2.0±9.5	17.2±9.5	20.0±30.0	14.40±11.50	11±36

Pre: precontrast density of nodule, HU: Hounsfield unit, TTP: time to peak
Mean D1 HU: mean HU of nodule at delay phase 1
D1% = {(Max_{P1}-Mean D1)/Max_{P1}}×100
Max_{P1} = maximal HU at phase 1
Primary: primary lung cancer, Metastasis: metastatic lung malignancy
*, †: p-values between untreated malignant nodules and benign nodules,
*: p<0.05, †: p<0.001
‡, §: p-values between primary lung cancer and benign nodules
‡: p<0.05, §: p<0.001



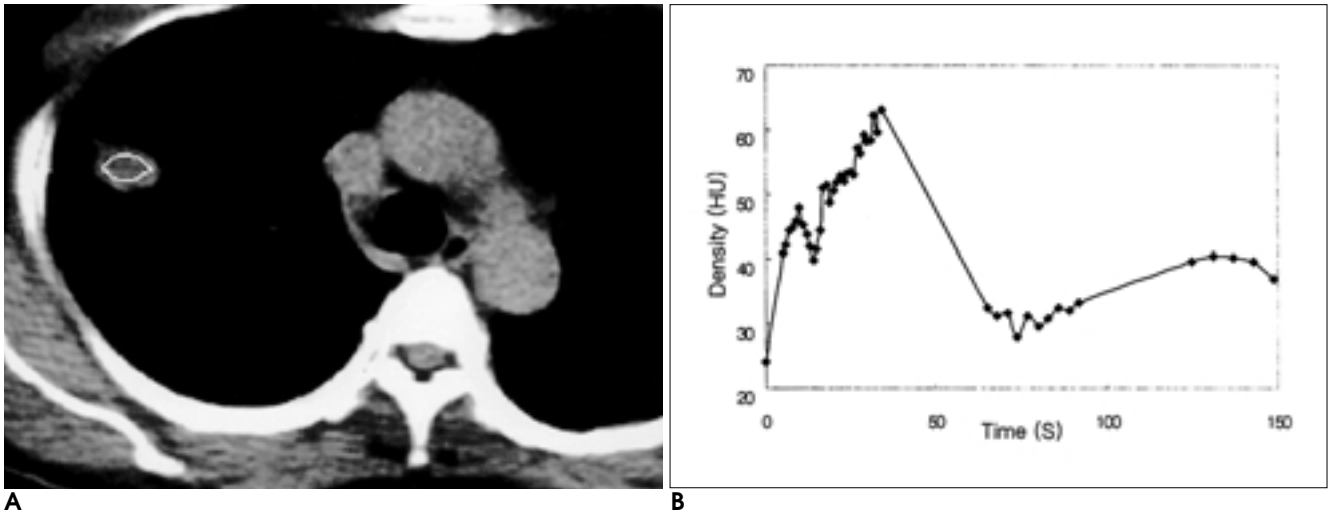
A B

Fig. 3. Primary lung cancer. Primary squamous cell carcinoma of left upper lobe (**A**) shows rapidly increased enhancement in phase 1, static enhancement in phase 2 and plateau in phase 3 in time-density curve (**B**).
Perfusion = 36.08 ml/min/100 g, mean D1 = 22.7 HU, mean D2 = 20.4 HU, D1% = -3.1%, D2% = -0.5%

3%이었으며 D2%가 각각 0.5, -0.5%로, 지연 영상에서 제1기와 평형(plateau)의 양상을 이루었다 (Fig. 3).

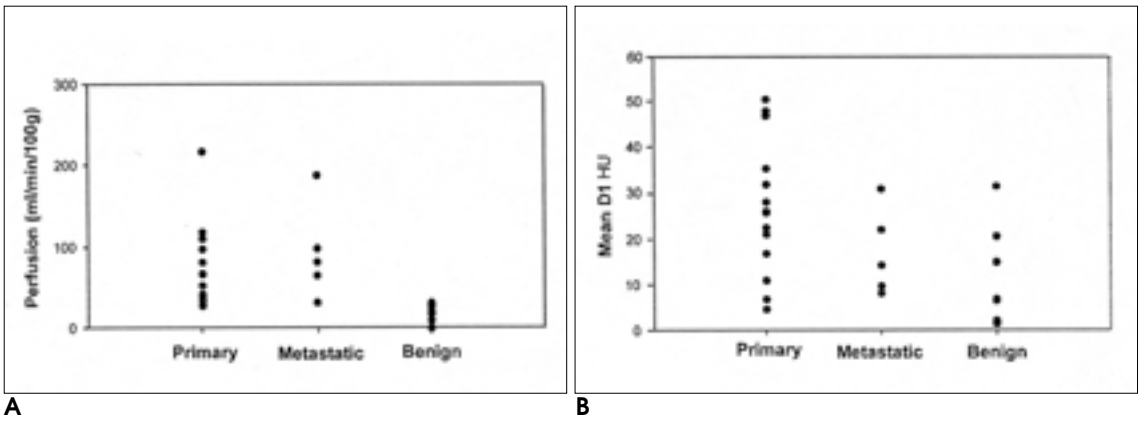
양성 종양의 TDC의 유형은, 5개에서 악성 종괴보다 현저히 낮은 관류 (perfusion<19.00 ml/min/100 g)를 보였고, 진단은 진폐증 (n=2), 염증성 육아종 (n=2), 국균종 (n=1) 등이었다. 2개의 결핵종 및 2개의 유육종증은 조기에 최대 조영 증가를 보인 후, 각각 50, 39, 15, 17%의 D1%와 36, 15, 7, -4%의 D2%를 보여 지연기에서 세출되는 TDC를 보였으며, 특히 D1기에서 빠른 세출 양상을 보였다 (Fig. 4).

원발성 폐암 (n=14)과 폐전이 (n=5)의 비교에서 유의한 관

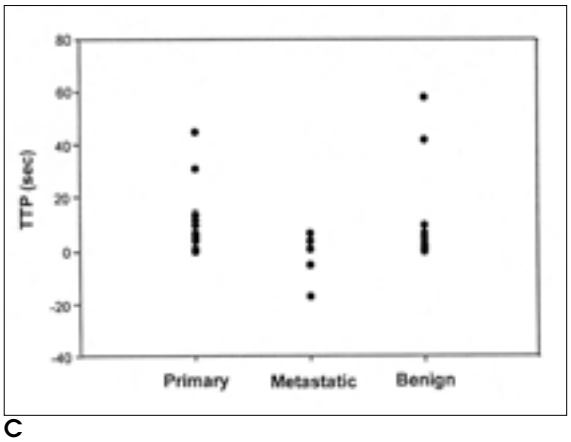


A B

Fig. 4. Benign nodule. Tuberculoma of right upper lobe (**A**) shows rapid contrast enhancement in phase 1 and rapid washout in phase 2 in time-density curve (**B**).
Perfusion = 20.10 ml/min/100 g, mean D1 = 2.3 HU, mean D2 = 10.4 HU, D1% = 50.1%, D2% = 36.0%



A B



C

Fig. 5. Differences of perfusion and flow pattern between diagnosis. **A**: Distribution of perfusion, **B**: Distribution of mean D1 HU, **C**: Distribution of TTP
Primary : primary lung cancer, Metastatic : metastatic cancer, Benign : benign nodule
Mean D1 HU : mean HU of delay 1 phase-precontrast HU
TTP (second) : time to peak of nodule-time to peak of aorta
$D1\% = \{(Max_{P1}\text{-Mean D1})/ Max_{P1}\} \times 100$
Max_{P1} = maximal HU at phase 1

Table 3. Diagnosis of Malignancy According to the Perfusion and Mean D1

Perfusion and Mean D1	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%)	NPV(%)	Accuracy(%)
Perfusion > 1SD(> 28.9)	95	78	90	83	89
> 2SD(> 39.9)	74	100	100	64	89
Mean D1 > 1SD(> 13.4 HU)	68	44	72	40	61
> 2SD(> 23.4 HU)	42	89	89	42	57
D1% < 1SD(< 7)	47	100	100	47	64
D2% < 2SD(< 9)	11	100	100	35	39
Perfusion & Mean D1 > 1SD	68	89	93	57	75
> 2SD	37	100	100	43	57
Perfusion(> 1SD) & D1%(< 1SD)	47	100	100	47	64
Perfusion(> 2SD) & D1%(< 2SD)	5	100	100	33	36

Unit of Perfusion = ml/min/100g, unit of Mean D1 = HU
SD; standard deviation, PPV: Positive predictive value, NPV: Negative predictive value

류량의 차이는 보이지 않았으며 TTP가 폐전이 (- 2.00±9.49초)에서 원발성 폐암 (10.29±12.74초)보다 짧은 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (p > 0.05) (Table 2) (Fig. 5). 폐전이 5예 중 2예에서 TTP가 대동맥의 TTP보다 짧아 대동맥보다 먼저 Peak HU에 도달하였으며, 대동맥보다 최대 조영 증가 시간이 빠른 (TTP < 0) 예는 전이암의 경우만 관찰되었다.

악성 및 양성 종양의 감별 진단에서 관류 측정 검사의 유용성을 알기 위해 초기와 지연기 영상에서의 매개변수를 이용하여 종괴의 악성 진단에 대한 감수성, 특이성, 양성 예측도, 음성 예측도 및 정확도를 구하였다. 양성 종괴의 평균 관류량과 mean D1, D1%를 기준으로 하여 이보다 클 때의 악성 예측성을 구하였다. 즉 양성 종괴의 평균 관류량+1표준편차(perfusion > 28.9 ml/min/100 g), 평균 관류량+2표준편차 (perfusion > 39.9 ml/min/100 g), 양성 종괴의 mean D1+1표준편차 (mean D1 HU > 13.4), mean D1+2표준편차 (mean D1 HU > 23.4)와 양성 종괴의 평균D1% - 1표준편차 (< 7%), 평균 D1% - 2 표준편차 (< - 9%)를 기준으로 하여, 종괴의 악성 진단에 대한 감수성, 특이성, 양성 예측도, 음성 예측도 및 정확도를 구하였다. 관류량만을 기준으로 하였을 때 (Mean+SD (perfusion)), mean D1만을 기준으로 하였을 때 (Mean+SD (mean D1)), 관류량과 mean D1을 조합한 값을 기준으로 하였을 때 (Mean+SD (perfusion & mean D1)), 관류량과 D1%를 조합한 값을 기준으로 하였을 때 종괴의 악성 진단에 대한 감수성, 특이성, 양성 예측도, 음성 예측도 및 정확도는 Table 3과 같다. 관류량만을 기준으로 하였을 때가 mean D1만을 기준으로 하였을 때 보다 감수성, 특이도, 양성 예측도, 음성 예측도 및 정확도가 더 높았고, 평균 관류량+2 표준편차를 기준으로 하였을 때, 100%의 특이도 및 양성 예측도로 양성 종괴의 진단에 도움을 준다. D1%만을 기준으로 하였을 때는 100%의 특이도와 양성 예측도를 보였으나 상대적으로 낮은 감수성, 음성 예측도및 정확도를 보였다.

고 찰

종양의 혈관성은 종양 혈관 생성과 종양내의 혈류, 모세혈관의 투과성 및 간질 조직의 크기 등에 의해 결정된다. 종양 혈관 생성은 혈관 생성 인자의 자극으로 새로운 혈관이 생성되는 현상(neovascularization)이며 이렇게 형성된 신생 혈관은 혈관벽이 불완전하여 혈관의 투과성이 증가되고 림프관 배액이 감소하여 종양내에 간질 조직의 부피가 증가하게 된다 (1 - 8). 영상 검사를 통하여 이러한 종양의 혈관성을 측정하고자 도플러 초음파, 컴퓨터 단층 촬영, 자기공명영상 및 EBT를 이용하여 조영제를 주사한 후 종양의 조영 증강 형태를 측정하고 분석하여 왔으며 종양의 조영 증강 정도를 결정하는 가장 중요한 인자는 종양에 대한 혈류 공급과 혈관외액의 부피라고 보고하였다 (1 - 9). 영상 검사를 통하여 종괴의 조영 증강 형태를 분석하고 TDC의 조기 조영 증강의 변화는 혈관을 통한 혈류 공급과 연관되며 후기 변화는 간질 조직의 혈관외 공간과 연관된다고 하였다 (10). 악성 종괴의 혈류 공급 및 약동학적 대사는 양성 종괴와 다르며 이를 이용하여 컴퓨터 단층 촬영 및 자기공명영상을 통하여 악성과 양성 종괴를 감별할 수 있다는 보고가 있었다 (11 - 14). EBT는 영상획득 시간이 최소 0.05초로 기존의 나선식 CT의 1초보다 월등히 짧아서 환자의 호흡 운동에 따른 인공산물이 현저히 적고 조영제의 통과동안 TDC를 얻을 수 있으며 적은 양의 방사선 조사량과 조영제로 관류 측정을 할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구는 이러한 EBT의 장점을 이용하여 폐종괴의 관류 측정과 관류 형태를 분석하여 양성 및 악성 종괴를 감별하는 데 있어서의 유용성을 알아보고자 하는 것이다.

악성 종괴와 양성 종괴의 비교에서 악성 종괴가 유의하게 높은 관류량을 보였으며 이것은 악성 종양에서 신생 혈관이 생성됨에 따른 증가된 혈류 공급을 반영하는 소견으로 해석된다. 악성 종괴에서 TTP가 짧은 경향을 보이는 것은 신생 혈관의 증가된 혈류 속도를 반영하는 것으로 해석된다. 제1기 지연 영상에서 측정한 평균HU도 악성 종양이 양성에 비해 유의하게 높았으며 이는 악성 종양의 조영 증강이 제1기 영상에서 양성

보다 높고 1기 지연 영상에서의 조영제의 세출이 양성보다 적은 경향을 반영한다. 악성 종괴의 TDC의 유형 중 4개의 종괴는 지연 영상에서 조영 증강되는 양상을 보였으며 2개에서는 지연 영상에서 평형을 이루었다. 악성 종괴의 조영 증가 양상이 최대 조영 증가 후 평형을 이루거나 천천히 조영 증가되는 양상을 보이는 이유로 악성 종양에서 림프 배액의 장애가 일어나며 간질 조직의 부피가 증가하고, 모세혈관의 투과성 증가에 의해 간질 조직의 혈관외 공간으로 조영제가 유출되는 것을 들 수 있다. 이러한 양상은 악성 종괴에서만 관찰되었으며 양성 종괴에서는 보이지 않아서 양성 종괴와의 감별에 도움을 줄 수 있는 유용한 소견이다. 양성 종양의 TDC의 유형은 제1기에서 현저히 낮은 관류를 보이거나 최대 조영 증가 후 D1에서 악성 종괴에 비해 빠른 세출을 보이는 경우였다. Swensen 등은 (11 - 12) 활동성 육아종(active granuloma)이 안정성 염증종(stable granuloma)보다 혈관성이 높다고 하였으며 본 연구에서 현저히 낮은 관류량을 보였던 5개의 양성 종괴는 모두 조직학적으로 비활동성인 염증성 종괴 또는 섬유화로 확인되었고 높은 관류량을 보였던 결핵종 및 유육종증은 활동성 염증성 병변이 동반되었을 것으로 추측된다.

원발성 폐암과 양성 종괴의 관류량 및 관류 형태의 비교에서 원발성 폐암이 양성 종양에 비해 유의하게 높은 관류량 및 mean D1을 보였다. 또한 원발성 폐암에서 유의하게 TTP가 짧아 원발성 폐암이 양성 종양에 비해 최대 조영 증강에 이르는 속도, 즉 종양에 대한 혈류 공급의 속도가 빠름을 간접적으로 시사하였다. 따라서 관류량과 mean D1및 TTP 는 원발성 폐암과 양성 종괴의 감별에 도움을 주는 유용한 지표이다.

원발성 폐암 (n=14)과 폐전이 (n=5)의 비교에서는 유의한 관류량 및 mean D1 HU, mean D2 HU, D1%의 차이를 보이지 않았다. TTP가 폐전이에서 원발성 폐암보다 짧은 경향을 보였으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 본 연구에서 5개 중 2개의 폐전이의 TTP가 대동맥의 TTP보다 짧았으며 이러한 소견은 원발성 폐암에서는 관찰되지 않았다. Eric등이 (15) 사후 미세 혈관 촬영 연구에서 밝힌 바와 같이 폐전이의 주된 공급 혈관은 폐동맥이며 원발성 폐암의 주된 공급 혈관은 기관지동맥으로, 폐동맥의 최대 조영 증가가 대동맥의 그것보다 빨리 도달함을 보면 폐동맥에 의해 공급되는 폐전이가 대동맥을 거쳐 분지하는 기관지동맥에 의해 공급되는 원발성 폐암보다 짧은 TTP를 보이는 것을 설명할 수 있겠다.

폐전이와 양성 종괴의 비교에서 폐전이가 양성 종괴에 비해 유의하게 높은 관류량 및 mean D1 HU을 보여 주어 양성 종양과의 감별에 도움을 줄 수 있으며 다른 원발 병소가 있거나 영상 소견에서 다발성 폐종괴를 보일 경우 임상적으로 폐전이의 가능성을 시사하는 소견이 된다.

Miles등은 (16) 림프암에서 모세혈관의 투과성을 측정하는 것이 종양의 혈관 생성에 의한 활동성을 측정할 수 있는 지표가 될 가능성을 제시하였고, 같은 환자에서 림프절의 모세혈관 투과성을 추적하여 측정하면 림프절의 최대 투과성(peak permeability)이 항암 치료 이후 감소하는 경향을 보여 최대 투과성이 종양의 활동성을 반영하는 지표가 된다고 하였다. 추적 검사에서 투과성의 증가가 관찰되면 종양의 재발을 조기에 진단할 수 있고 치료에 대한 반응을 측정하는 신뢰성 있는 지표가 될 수 있다고 하였다. 종양의 관류는 조직의 산소화와 연관된다고 알려져 있고 (17), 일부 종양은 종양내에 저산소증이 존재하면 항암 치료가 실패한다고 보고되어 (18), 종양의 관류는 항암 치료에 대한 종양의 반응을 예측할 수 있는 예후 인자가 될 수 있다고 보고되었다 (19). Hermans등은 (19) 두경부 종양의 관류를 측정하여 80 ml/min/100 g 이상의 관류를 보이는 종양은 치료에 대한 조기 반응이 좋았으며, 낮은 관류량은 종양 조직내 저산소증을 예측하여 관류량이 예후 인자로 간주될 수 있다고 하였다. 즉, 종양의 관류량을 측정하는 것은 종양의 혈관성에 대한 양적 정보를 줄 뿐 아니라 치료에 대한 반응을 예측할 수 있고, 따라서 예후를 알 수 있게 한다.

요약하면 악성 폐종괴는 관류기 영상에서 양성 폐종괴에 비해 유의하게 높은 관류량과 짧은 TTP를 보였으며 지연 영상에서 유의하게 높은 D1을 보였고, 지연 조영 증강 및 평형을 이루는 양상은 악성 종양에서만 관찰되었다. 원발성 폐암과 폐전이의 비교에서 유의한 관류량 및 관류 유형의 차이는 보이지 않았으나 폐전이의 TTP가 대동맥보다 빨리 최대 조영 증강에 이르는 경우는 원발성 폐암과의 감별에 도움을 줄 수 있다.

결론적으로 EBT를 이용한 폐종괴의 관류 측정 및 관류 유형의 분석은 악성 및 양성 종양의 감별 진단에 도움을 준다.

참 고 문 헌

1. Delorme S, Knopp MV. Non-invasive vascular imaging: Assessing tumor vascularity. *Eur Radiol* 1998;8:517-527
2. Madjar H, Prompeler H, Sauerbrei W, Wolfarth R, Pfleiderer A. Color doppler flow criteria of breast lesions. *Ultrasound Med Biol* 1994;20:849-858
3. Blomley MJK, Kormano M, Coulden R, Dunham JL, Dawson P, Lipton MJ. Splenic blood flow: Evaluation with computed tomography. *Acad Radiol* 1997;4:13-20
4. Miles KA. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography. *Br J Radiol* 1991;64:409-412
5. Peters AM, Gunasekera RD, Henderson BL, et al. Non-invasive measurements of blood flow and extraction fraction. *Nucl Med Commun* 1987;8:823-837
6. Rempp KA, Brix G, Wenz F, Becker CR, Guckel F, Lorenz WJ. Quantification of regional cerebral blood flow and volume with dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 1994;193:637-641
7. Peterson HI. *Vascular and extravascular spaces in tumor: Tumor vascular permeability.* In Peterson HI, *Tumor blood circulation: angiogenesis, vascular permeability and blood flow of experimental and human tumors.* Fla: Boca Raton; 1979;77-86
8. Young SW, Turner RJ, Castellino RA. A strategy for the contrast enhancement of malignant tumors using dynamic computed tomography and intravascular pharmacokinetics. *Radiology* 1980;137: 137-147
9. Newhouse JH, Murphy RX Jr. Tissue distribution of soluble contrast: Effect of dose variation and changes with time. *AJR Am J Roentgenol* 1981;136:463-467
10. Naidich DP, ZerhouniEA, Siegelman SS. *Principles and techniques of chest computed tomography.* In Naidich DP, ZerhouniEA, Sie-gelman SS. *Computed tomography of the thorax.* 1st ed. New York, NY:

Raven 1984;9-12
11. Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, Weaver AL, Midthun DE. Lung nodule enhancement at CT: Prospective findings. *Radiology* 1996; 201:447-455
12. Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, Weaver AL. Pulmonary nodules: CT evaluation of enhancement with iodinated contrast material. *Radiology* 1995;194:393-398
13. Guckel C, Schnabel K, Deimling M, Steinbrich W. Solitary pulmonary nodules: MR evaluation of enhancement patterns with contrast-enhanced dynamic snapshot gradient-echo imaging. *Radiology* 1996;200:681-686
14. Kusumoto M, Kono M, Adachi S. Gadopentetate dimeglumine-enhanced magnetic resonance imaging for lung nodules: differentiation of lung cancer and tuberculoma. *Invest Radiol* 1994;29:S255-256
15. Eric NC, Milen MB. Circulation of primary and metastatic pulmonary neoplasms: A postmortem microarteriographic study. *AJR Am J Roentgenol* 1967;100:603-619
16. Miles KA, Kelley BB. CT measurements of capillary permeability within nodal masses: A potential technique for assessing the activity of lymphoma. *Br J Radiol* 1997;70:74-79
17. Vaupel P, Kallinowski F, Okunieff P. Blood flow, oxygen and nutrient supply and metabolic microenvironment of human tumors: A review. *Cancer Res* 1989;49:6449-6465
18. Overgaard J. Importance of tumor hypoxia in radiotherapy. A metaanalysis of controlled clinical trials. *Radiother Oncol* 1992;24: S64
19. Hermeans R, Lambin P, Bogaert W, Haustermans K, Goten A, Baert AL. Non-invasive tumor perfusion measurement by dynamic CT: Preliminary results. *Radiother Oncol* 1997;44:159-162

J Korean Radiol Soc 2002;46:119 - 125

Measurement of Perfusion of Pulmonary Nodules by Electron Beam Tomography[1]

Jeong-Ah Kim, M.D.[2], Kyu Ok Choe, M.D., Byung Wook Choi, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Yonsei University, Research Institute of Radiological Science, Seoul Korea*
[2]*Department of Diagnostic Radiology, Samsung Cheil Hospital, Medical School, Sungkyunkwan University, Seoul Korea*

Purpose: To investigate the perfusion of pulmonary nodules and the flow pattern revealed by electron beam tomography (EBT), and to evaluate their usefulness in the differential diagnosis of pulmonary nodules.

Materials and Methods: A prospective perfusion study involving 28 nodules in 23 men and five women (mean age, 57 years) was performed using EBT with the multislice flow mode. There were four phases. Precontrast density (Hounsfield units, HU) in phase 0; perfusion, peak HU and time to peak in phase 1; and mean HU and percentage decrease of HU to peak HU of phase 1 in phases 2 and 3 were measured and compared according to the diagnosis.

Results: Malignancy was diagnased in 19 cases [primary lung cancer (n = 14); metastatic nodules (n = 5)], while nine nodules were benign. Perfusion was significantly higher in malignant nodules than in benign ($p < 0.001$) and a higher mean delay 1 HU ($p < 0.05$) and a significantly short time to peak ($p < 0.05$) were recorded in malignant nodules. In primary lung cancer cases, perfusion was significantly high compared with benign nodules ($p < 0.001$), and a mean delay 1 HU was observed ($p < 0.05$). There was no significant difference in perfusion between primary lung cancer and metastasis.

Conclusion: Perfusion and flow pattern data measured by EBT can provide the useful information for differentiation between malignant and benign pulmonary nodules.

Index words : Lung neoplasms, CT
Computed tomography (CT), electron beam

Address reprint requests to : Kyu Ok Choe, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Research Institute of Radiological Science, Yonsei University College of Medicine
134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.
Tel. 82-2-361-5837 Fax. 82-2-393-3035 E-mail: kochoe@yumc.yonsei.ac.kr