

Diagnostic Usefulness of Dual-Energy Computed Tomography in Evaluation of the Severity of Acute Pulmonary Thromboembolism¹

급성 폐혈전색전증의 중증도 평가에 있어 이중 에너지 전산화단층촬영의 진단적 유용성에 관한 연구¹

Sung Min Moon, MD¹, Hyun Ju Seon, MD^{2,3}, Jang Mi Baek, MD¹, Seung Jin Lee, MD⁴,
 Yeon Hong Yoon, MD¹, Yun-Hyeon Kim, MD^{1,3}

¹Department of Radiology, Chonnam National University Hospital, Gwangju, Korea

²Department of Radiology, Chonnam National University Hwasun Hospital, Hwasun, Korea

³Department of Radiology, Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

⁴Department of Radiology, Chonnam National University Bitgoeul Hospital, Gwangju, Korea

Purpose: To evaluate the usefulness of dual-energy computed tomography (DECT) in severity assessment of patients with acute pulmonary thromboembolism (APTE).

Materials and Methods: We evaluated 61 patients diagnosed as APTE from 2011 to 2012 in a retrospective analysis of the severity assessment indices according to Criteria by European Society of Cardiology as well as pulmonary CT angiographic obstruction score (OS) and lung perfusion index (pulmonary perfusion defect score; DS) by DECT. The correlation between OS, DS and the severity of pulmonary thromboembolism was evaluated using logit analysis.

Results: Patients with high OS also showed significantly higher DS values ($p < 0.001$). There was a significant correlation between both the OS and DS values and the severity of the pulmonary thromboembolism using simple sequence logit analysis ($p < 0.001$). However, only the DS value showed a very high correlation with the severity of pulmonary thromboembolism using multiple sequence logit analysis.

Conclusion: DECT provides a more useful marker for the diagnosis and severity assessment of pulmonary thromboembolism by checking the degree of lung perfusion as well as determining the existence of APTE in patients with suspected pulmonary thromboembolism.

Index terms

Acute Pulmonary Thromboembolism
 Dual-Energy Computed Tomography

Received October 27, 2014; Accepted October 29, 2014

Corresponding author: Yun-Hyeon Kim, MD

Department of Radiology, Chonnam National University Medical School, 42 Jebong-ro, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea.

Tel. 82-62-220-5746 Fax. 82-62-226-4380

E-mail: yhkim001@jnu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This study was supported by a grant (CRI 11010-1) Chonnam National University Hospital Biomedical Research Institute.

서론

폐혈전색전증은 상대적으로 흔한 심폐혈관계 질환으로 미국에서 연간 10만 명당 40~53명의 발병률을 보이며 경우에 따라 높은 사망률을 보이는 치명적인 질환이다(1, 2). 폐혈전색전증에 의해 폐혈관이 막히게 되면 혈액학적 불안정을 일으키고 치명적인 우심실부전을 초래할 수 있기 때문에 이를 조기에 진단하여 치료하는 것은 매우 중요하다. 폐혈전색전증은 진단 당시 환자의 혈액학적인 상태와 임상적인 중증도에 따라 치료 방법이 결정되며 이는 환자의 조기 사망률에 상당한 영향을 미친다. 그러므로 폐혈전색전증은 이와 관련된 환자의 혈액학적 징후,

임상양상을 반영할 수 있는 다양한 위험 요소들과 폐실질의 전반적인 관류 상태를 함께 고려하여 평가하여야 한다(1, 3).

현재까지 폐혈전색전증이 의심되는 환자에서 폐동맥 전산화 단층촬영 혈관 조영술(pulmonary CT angiography; 이하 PCTA)은 가장 좋은 영상학적 확진 방법으로 받아들여지고 있으며, 이를 바탕으로 폐동맥 내 색전의 분포와 양을 평가하여 대략적인 중증도를 평가하고 있다. 하지만 때때로 PCTA에서 보이는 폐혈전색전증의 정도와 폐의 관류 상태는 차이를 보일 수 있으며 이러한 불일치를 해결하기 위해 조영증강 CT와 조영증강 전 CT 영상을 통해 폐실질의 조영증강 정도를 평가하여 폐 관류 상태를 평가해 보기도 하였다(4-7). 기존의 CT로는

환자의 호흡 상태와 다양한 인공물(artifact)들로 인해 폐 감쇄도의 기준점에 차이가 발생할 수 있어 정확한 폐 관류 상태를 평가하기는 쉽지 않을 수 있다. 최근 각광을 받고 있는 영상진단 기법으로 이중 에너지(dual-energy computed tomography; 이하 DECT)는 서로 다른 에너지 준위의 두 X-선(80 kV와 140 kV, 혹은 100 kV와 140 kV)에서 특정 물질이 일으키는 감쇄 정도의 차이로 물질의 종류를 구분할 수 있다는 원리를 이용한 방법으로 조영증강 전 CT 영상과 비교하지 않고도 CT 영상 처리기법을 통해 요오드 조영증강 정도에 의한 폐 관류 상태를 반영할 수 있게 되었다(8-10). 폐혈전색전증이 의심되는 환자의 임상 양상과 진단적 검사 방법을 통해 폐혈전색전증의 치료 방법을 결정하고 예후를 예측한 연구 방법들은 다양하게 소개되어 왔다(7, 11, 12). 최근 몇몇 연구들에서 우심실부전에 의한 쇼크가 있는 경우 높은 사망률을 보고하였고(3, 9), 이에 근거하여 심장 표지자나 우심실/좌심실 직경비 등을 비교하여 우심실부전을 분석하고 폐혈전색전증의 중증도를 평가하려는 연구들이 계속되고 있으며 급성 폐혈전색전증 환자에서 우심실부전의 유무가 환자의 예후에 영향을 미친다는 사실을 제시하였다(6, 11, 12).

이에 본 연구는 DECT를 이용하여 폐혈전색전증의 분포 정도와 전반적인 폐실질의 관류 상태를 정량화하고 2008년 European Society of Cardiology (이하 ESC) 지침(1)에 의한 급성 폐혈전색전증의 중증도에 따라 환자를 계층화하여 이들을 통계학적으로 비교 분석함으로써 DECT가 급성 폐혈전색전증 환자의 진단 및 중증도 평가에 있어 윈스톱 진단 기법으로의 가능성이 있는지에 대하여 알아보고자 하였다.

대상과 방법

대상 환자

본 연구는 기관연구윤리심의위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받은 후 실시되었다.

2011년 6월부터 2012년 6월까지 갑작스런 흉통과 호흡곤란 등을 주소로 응급실에 내원한 환자들 중 폐혈전색전증이 의심되어 DECT를 시행한 이들을 후향적 방법으로 조사하였다. 이 중 84명이 DECT를 통해 급성 폐혈전색전증으로 진단되었고 이들 중 폐혈전색전증 중증도 평가에 필요한 혈청학적 검사나 심장초음파 등이 시행되지 않은 19명과 기저에 악성 폐종양이나 심각한 폐기종, 심근경색 등의 심각한 심폐질환이 있는 4명은 본 연구에서 제외하였다. 나머지 61명의 급성 폐혈전색전증 환자(남성 22명, 여성 39명, 평균 나이 66 ± 21 세)를 최종 대상으로 하였고 이들은 ESC 지침에 따라 중증도 평가 및 분류가 가능하였다.

ESC 지침에 따른 중증도 분류에서 평가 기준은 크게 세 가지이며 내용은 다음과 같다. 1) 임상적으로 쇼크나 저혈압을 보일 때, 2) 우심실부전을 보일 때(RV dilatation, hypokinesis or pressure overload on echocardiography, RV dilatation on spiral computed tomography, BNP or NT-proBNP elevation, elevated right heart pressure at RHC), 또는 3) 심근손상(cardiac troponin T or I positive)이 있을 때이며 본 연구에서는 우심실부전을 평가하기 위해 심장초음파 결과를 반영하였고 심근손상 평가를 위해 심장 표지자 수치를 체크하였다(1).

본 연구에서 폐혈전색전증의 중증도는 ESC 지침에 따라 세 그룹으로 분류하였다. 즉, 쇼크나 저혈압 등의 임상증상이 있으면 고위험군(조기사망률 > 15%)으로, 쇼크나 저혈압 등의 임상증상은 없지만 우심실부전이나 심근손상이 동반되었다면 중등도 위험군(조기사망률 3~15%)으로, 임상증상, 우심실부전 또는 심근손상 중 모두 음성인 경우를 저위험군(조기사망률 < 1%)으로 정의하였다.

이중 에너지 전산화단층촬영술(Dual-Energy CT)

모든 검사는 2세대 이중 선원 CT (dual source CT, SOMATOM Definition Flash; Siemens Medical Solution, Erlangen, Germany)를 이용하여 이중 에너지 모드로 시행하였다. 각각의 튜브 관전압은 140 kVp와 80 kVp로, 질지표 관전류(quality reference mAs)는 80 mAs와 189 mAs로 설정하였다. 또한 검출기 폭조절(collimation) 64×0.6 mm, matrix 512×512 , 회전 시간(rotation time) 0.28초를 사용하였다. 촬영은 CT 개괄촬영(토포그램)을 작성한 후 폐 첨부에서 횡격막 하부까지의 스캔 범위를 한 번의 호흡 정지 기간에 촬영하였다. 모든 환자에서 이오프로마이드 성분의 비이온성 조영제 120 mL (Ultravist 370; Bayer Schering Pharma, AG, Berlin, Germany)를 자동주입기(Stellant, Medrad, Whippany, NJ, USA)를 이용하여 3.3 mL/sec의 속도로 전주와 정맥으로 급속주입(bolus injection) 하였으며 곧이어 50 mL 식염수(5% D/W, JW Pharmaceutical)를 주입하였다. CT 영상은 조영제 주입 후 대략 20초에 획득하였고 조영증강 전의 사진은 촬영하지 않았다. 이중 에너지 CT 촬영은 조영제 투여 후 폐동맥의 감쇄계수가 100 HU 이상이 되면 폐 첨부에서부터 촬영을 시작할 수 있도록 설정되었다. 촬영된 영상은 3차원 영상 재구성 소프트웨어가 설치된 워크스테이션(Multi Modality Workplace, Siemens Healthcare, Whippany, NJ, USA)으로 전송하여 두 개의 튜브에서 얻어진 평균 영상(merged or mixed image, 140 kV:80 kV \approx 40%:60%)을 이용하여 흉부 CT 영상을 얻었다. 이후 폐 관류결손을 보기 위해 각각의 튜브에서 얻어진 영상을 가상 조영 전 도구(virtual non-

contrast tool)를 이용하여 가상 조영 전 영상과 요오드 맵으로 분리해 낸 후 두 영상을 일정한 비율로 겹쳐 최종적인 이중 에너지 관류 영상을 얻었다. 관류 영상은 물질 분해 이론에 근거하여 워크스테이션 소프트웨어(Syngo Dual Energy, Siemens, Berlin, Germany)에서 칼라영상으로 코딩하며 적색, 갈색, 혹은 검은 색 부위는 관류가 떨어진 부위로, 노랑색과 주황색 부위는 관류가 정상인 부위로 코딩하였다. 또한 CT의 축상 영상에서 폐동맥 내의 조영제 결손부위를 확인하고 이 부위에서의 관류 영상과 비교하였다.

영상 분석

폐 관류 결손 지수(DS)

DECT로 얻어진 폐 관류 영상들은 2명의 영상의학과 의사와 합의하여 분석하였고 영상의학과 의사들에게 환자에 대한 임상 정보 및 PCTA로 확인된 폐혈전색전증의 양이나 분포 등에 대한 정보는 주어지지 않았다.

양쪽 폐실질은 각각 10개씩 총 20개의 폐분절들(양측 상엽을 각각 3개, 우중엽과 설상부를 각각 2개, 양측 하엽을 각각 5개)로 나누었다. 각각의 폐분절에서 관류 결손은 아래와 같이 3단계로 나누었다: 0, 정상 관류; 1, 중등도 관류 결손; 2, 심각한 관류 결손 또는 관류없음.

색구분에 따른 관류 영상은 다음과 같다: 정상 관류(0점)는 노랑 또는 주황색; 중등도 관류 결손(1점)은 빨강 또는 밝은 갈색, 심각한 관류 결손 또는 관류없음(2점)은 어두운 갈색 또는 검정색.

이론상 관류 장애시 최대 얻을 수 있는 값은 40점으로 20개의 모든 분절들에서 각각 2점씩 얻어야 한다. 폐 관류 저하율은 각분절의 pulmonary perfusion defect score (이하 DS)를 구하여 합산하고 이를 DS의 최대값($20 \times 2 = 40$)으로 나눈 후 100을 곱하여 정량화하였다. 그러므로 DS는 $(\sum_{i=1}^n D_i / 40) \times 100$ 으로 표현할 수 있는데 i 는 연관된 폐분절이고 D_i 는 각 분절에서 얻어진 관류 결손 정도이다. 상대정맥과 주위의 높은 조영제 농도로 인해 나타나는 줄인공물(streak artifact) 등은 영상 분석시 가능한 배제하였다.

폐동맥 혈전색전 지수(OS)

환자에 대한 임상 정보 및 폐 관류 결손 정도에 대한 정보는 주어지지 않았으며, 기억편향(recall bias)을 배제하기 위해 폐 관류 영상을 분석한 후 2주 뒤에 2명의 영상의학과 의사가 합의하여 다시 영상을 분석하였다. 색전의 양은 Qanadli 등(13)이 제안하였던 pulmonary CT angiographic obstruction score (이

하 OS)를 이용하여 정량화하였다

양쪽 폐동맥은 각각 10개씩 총 20개의 분절 폐동맥들(양측 상엽에 각각 3개, 우중엽과 설상부에 각각 2개, 양측 하엽에 각각 5개)로 나누었다. 만약 주폐동맥에 색전이 있으면 이에서 분지하는 분절 폐동맥의 개수로 계산하였다. 폐동맥 색전 지수는 $(\sum_{i=1}^n E_i / 40) \times 100$ 으로 표현할 수 있는데 i 는 연관된 분절 폐동맥이고 E_i 는 각 분절 폐동맥에서 얻어진 색전의 양이다. 예를 들어 모든 분절의 폐동맥이 완전히 막힌 경우 최대 얻을 수 있는 색전값은 40이고 이것을 백분율로 환산하면 100%이다(7, 13).

통계적 분석

폐동맥 혈전색전증이 있는 환자에서 DECT를 통해 얻어진 영상들로 DS와 OS를 각각 구한 후 이 값들이 상승할수록 폐혈전색전증의 중증도가 심화될 것인지에 대한 상관성을 통계학적으로 증명하기 위해 회귀식을 설정하였고 이 분석을 위하여 DS와 OS를 각 독립변수로, 폐혈전색전증의 중증도에 따라 분류된 환자군들을 각각 종속변수로 설정하였다. 이 때 종속변수, 즉 폐혈전색전증의 중증도에 따라 분류된 환자군들은 저위험군을 A그룹, 중등도 위험군을 B그룹, 고위험군을 C그룹으로 처리하였고 회귀식의 추정치는 종속변수가 순서형 척도변수이기 때문에 서열 로짓 회귀분석(순서 로지스틱 회귀분석, ordered logistic regression)을 이용하였다.

변수들 간의 상관성을 살펴보기 위해 다음과 같은 4가지 가설을 확인하였다. 첫째로 단순 상관 분석(bivariate correlation analysis)을 통하여 DS와 OS의 상관관계를 살펴보았다. 둘째로 단순 서열 로짓 회귀분석을 통하여 DS와 OS가 각각 폐혈전색전증의 중증도에 유의한 영향을 미치는지에 대하여 살펴보았다. 마지막으로 다중 서열 로짓 회귀분석을 통하여 DS 및 OS가 폐혈전색전증의 중증도에 유의한 영향을 미칠 것인지에 대하여 살펴보았다. 통계학적 분석을 위해 statistical analysis system (이하 SAS, version 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하였다. 또한, G-power 3.1.4 Version (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany)을 이용하여 사후 검정력을 산출하였고 유의수준 0.05, 표본수 61명으로 할 경우 사후 검정력은 0.94로 계산되었다.

결과

ESC 지침에 따른 급성 폐색전증 환자의 중증도 분류

총 61명의 환자는 각각 고위험군 21명, 중등도 위험군 20명, 그리고 저위험군 20명으로 분류되었고 각각 환자군에서 DS와 OS의 최대값과 최소값, 그리고 평균값을 정리하였다(Table 1).

Table 1. The Value of Each Group [Mean (Maximum-Minimum)]

Risk Group	DS	OS	Patient Number
High	37.26 (5-75)	58.69 (0-100)	21
Intermediate	38.75 (0-70)	39.90 (5-80)	20
Low	17.38 (0-45)	25.63 (0-45)	20

Note. —DS = pulmonary perfusion defect score, OS = pulmonary CT angiographic obstruction score

Table 2. Univariate Analyses of Predictors for Pulmonary Thromboembolism Severity Score

Variables	Odds Ratio; Exp (b)	95% Wald Confidence Limits	p-Value
Pulmonary perfusion defect score (0-100)	1.049	1.025-1.073	< 0.001***
Pulmonary CTA obstruction score (0-100)	1.027	1.006-1.049	0.013*

Note. —* $p < 0.5$.

*** $p < 0.01$.

CTA = computed tomography angiography

Table 3. Multivariate Analysis of Predictors for Pulmonary Thromboembolism Severity Score

Variables	Odds Ratio; Exp (b)	95% Wald Confidence Limits	p-Value
Pulmonary perfusion defect score (0-100)	1.046	1.019-1.073	< 0.001***
Pulmonary CTA obstruction score (0-100)	1.005	0.981-1.030	0.662

Note. —*** $p < 0.01$.

CTA = computed tomography angiography

DS와 OS 간의 상관관계

DS와 OS 간의 상관계수(R)는 0.540이었고 유의확률(p) < 0.001로 서로 매우 유의한 연관성을 가지고 있었다. 즉 폐동맥 색전의 정도가 증가할수록 폐 관류 결손 정도도 높아지는 경향이 있음을 알 수 있다(Fig. 1).

DS와 폐혈전색전증의 중증도에 따른 환자군, OS와 폐혈전색전증의 중증도에 따른 환자군 간에 단순 서열 로짓 분석

폐혈전색전증의 중증도에 따라 환자군을 저위험군을 A그룹, 중등도 위험군을 B그룹, 고위험군을 C그룹으로 분류하고 DS와 중증도에 따른 환자군 간의 단순 서열 로짓 회귀분석을 시행하였을 때 DS의 오즈(odds)는 기준치의 1.049배였다. 즉, 폐혈전색전증 환자에서 DS가 높을수록 저위험군보다 고위험군에 속할 추정오즈비가 1.049배 높다는 의미이며(95% 신뢰구간: 1.025~1.073, 유의확률: < 0.001), 이에 DS와 폐혈전색전증의 중증도 간의 상관성이 매우 높음을 알 수 있다.

또한 OS와 폐혈전색전증의 중증도에 따른 환자군 간의 단순 서열 로짓 회귀분석을 시행하였을 때 OS의 오즈(odds)는 기준치의 1.027배였다. 즉, 폐혈전색전증 환자에서 OS가 높을수록 저위험군보다 고위험군에 속할 추정오즈비가 1.027배 높다는 의미이며(95% 신뢰구간: 1.006~1.049, 유의확률: 0.013), 이에 OS와 폐혈전색전증의 중증도 간에 상관성이 높음을 알 수

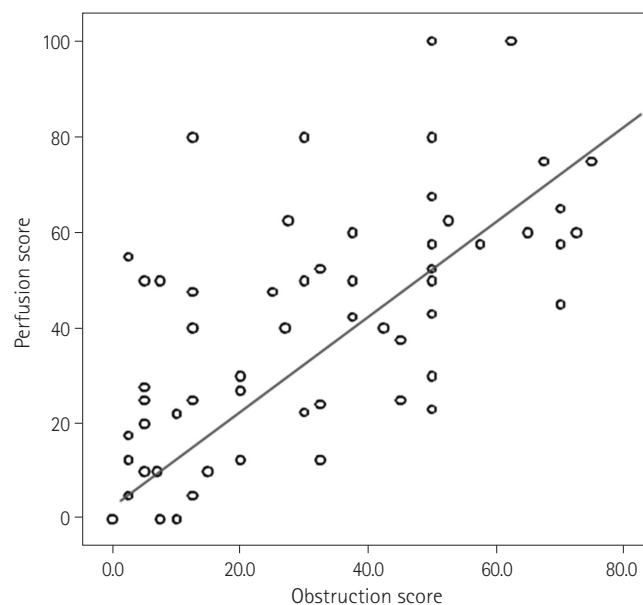


Fig. 1. Correlation between pulmonary perfusion defect score and pulmonary CT angiographic obstruction score in patient based analysis.

있다(Table 2).

DS 및 OS와 폐혈전색전증의 중증도에 따른 환자군 간 다중 서열 로짓 분석

다중 서열 로짓 회귀분석을 하였고 DS와 OS를 각각 독립변수로 설정하여 폐혈전색전증의 중증도에 미치는 영향을 종합적

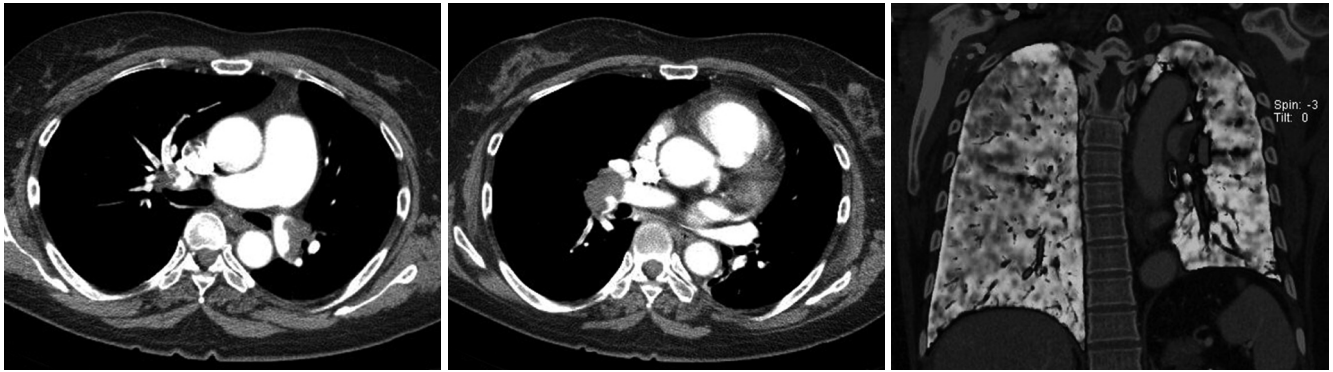


Fig. 2. 57-year-old woman with pulmonary thromboembolism, who had high obstruction score (75/100) and low perfusion defect score (42.5/100). Pulmonary CT angiography (**A**, **B**) shows extensive thromboembolic filling defect in both main, lobar, and segmental pulmonary arteries, but lung perfusion is relatively well preserved on pulmonary perfusion image (**C**).

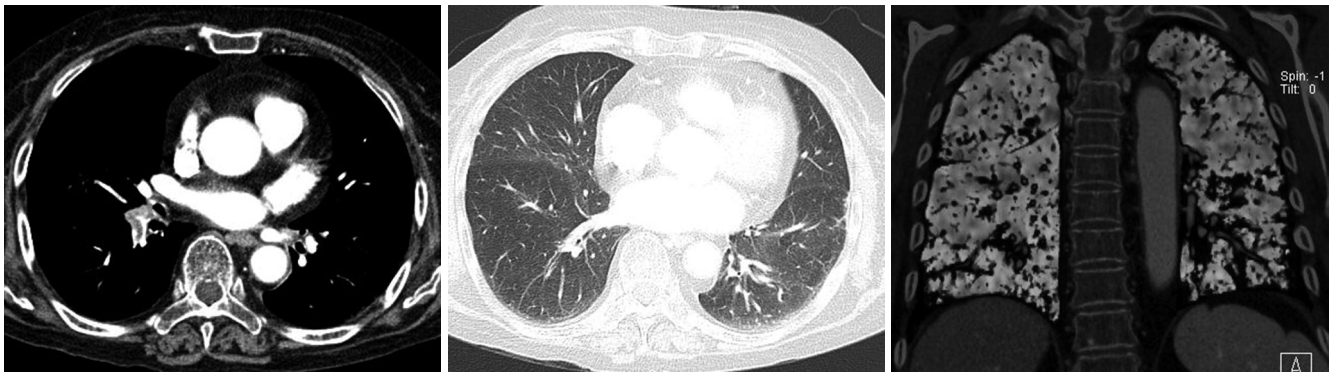


Fig. 3. 82-year-old woman with pulmonary thromboembolism, who had low obstruction score (12.5/100) but relatively high perfusion defect score (60/100). Pulmonary CT angiography (**A**) shows only focal thromboembolic filling defect in right lower lobar and segmental pulmonary arteries, but prominent low attenuation on lung window setting image (**B**) and perfusion defect areas on pulmonary perfusion image (**C**).

으로 평가하였을 때 DS에서만 유의확률이 0.001 이하로 통계학적인 의미가 있으며 종속변수인 폐혈전색전증의 중증도에 영향을 미침을 알 수 있다. 즉, 폐혈전색전증 환자에서 DS가 높을수록 저위험군보다 고위험군에 속할 추정오즈비가 1.046배 높다는 의미이며(95% 신뢰구간: 1.019~1.073, 유의확률: < 0.001), DS가 OS보다 폐혈전색전증의 중증도에 크게 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다(Table 3, Figs. 2, 3).

고찰

급성 폐혈전색전증은 폐혈관이 폐색에 의해 혈액학적 불안정을 일으키고 치명적인 우심실부전을 초래하여 높은 병원 내 사망률을 보이는 질환으로 조기에 진단하여 치료하는 것이 매우 중요하지만 호흡곤란, 빈호흡, 또는 흉통 등 비특이적인 증상으로 인하여 조기 진단이 쉽지 않다(1, 2). 폐혈전색전증이 발생하면 폐혈관의 저항과 폐정맥압이 증가하여 우심실의 후부하가

급격히 상승하게 되고 결국 우심실의 심박출량 감소와 함께 우심실에 울혈이 생기면서 우심실의 장애를 초래한다. 이는 좌심실의 전부하를 감소시키고 좌심실의 심박출량을 감소시키며 심근 허혈 및 순환장애를 일으켜 쇼크를 일으키게 되며, 나아가 불충분한 조직 관류에 의해 산소와 기질의 전달과 조직의 요구량 사이에 불균형이 생기고 세포의 기능장애를 일으켜 환자의 사망을 유발할 수도 있다.

급성 폐혈전색전증 환자에서 폐 관류를 진단하기 위해 핵의학 방법인 폐 관류-폐 환기 검사(RI perfusion/ventilation study)나 MRI가 사용되어 왔다(8). 하지만 핵의학 방법인 폐 스캔그라피는 급성 폐혈전색전증을 진단함에 있어서 민감도는 높지만 상대적으로 낮은 특이도를 보인다(10). 또한 폐 스캔그라피 검사의 경우 심장이나 폐의 기저질환을 알기 어려우며 폐경색 등의 진단에 제한점이 있다. 폐 관류-폐 환기 검사의 진단적 민감도와 특이도를 높이기 위해 SPECT 기법(2~3 mSv)이 사용되었고 이는 흉부 PCTA (2~6 mSv)와 비교하여 방사선 노출량은 좀 더

낮으나 폐혈전색전증에 의한 폐동맥의 폐색 정도를 평가하는데 있어서는 한계가 있다(14, 15). 또한 SPECT 기법은 검사 시간이 길어 급성기 환자의 경우 이용하기에 어려운 점이 있다.

MRI에 의한 관류 검사는 만성 폐혈전색전증에 의한 폐고혈압을 평가하는 데 있어 유용하였고(16-18), 폐동맥 MR 혈관 조영술(pulmonary MR angiography)과 폐 관류 MRI(perfusion MRI)를 함께 사용하여 급성 폐혈전색전증을 평가하였을 때 90% 이상의 민감도와 특이도를 보였다(19). 하지만 MRI 검사는 급성기 환자의 경우 이용하기 어려운 점이 있으며, 특히 여러 가지 모니터링 장비를 몸에 달고 있는 중환자의 경우 이용에 많은 제약점이 있다.

다중검출 CT 촬영기(multidetector CT)는 조영증강 영상에서 조영증강 전 영상을 감산하여 폐 관류를 평가하는 방법으로 급성 폐혈전색전증을 진단하며 폐쇄성 혈전의 발견, 혈전의 급·만성 구분, 폐혈관의 크기, 우심방의 형태 및 폐 실질의 변화 등을 잘 관찰할 수 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 상태가 위중한 환자의 경우 적절한 조영증강 시간을 찾지 못하거나 환자의 움직임 또는 불규칙한 호흡으로 인하여 폐동맥 내에 존재하는 혈전을 발견하기 어려운 경우가 있을 수 있다. 특히 작은 혈관 내에 존재하는 혈전의 경우 발견율이 현저히 낮아지는 단점이 있으며 두 번의 스캔으로 인해 방사선 조사량은 증가한다.

폐혈전색전증의 진단에 있어서 기존에 이용되어 왔던 흉부 MRI나 폐 신티그라피의 단점을 보완하고, 흉부 CT에서 얻을 수 있는 정보에 부가된 임상정보를 얻고자 하는 노력이 계속되고 있다(8). 여기에 새롭게 부각되고 있는 영상 기법이 DECT를 이용하는 것이다. DECT에 의하면 조영증강 후에 촬영한 한번의 검사만으로 조영증강 전 CT 영상을 촬영하지 않고서도 가상 조영 전 영상을 얻을 수 있어 방사선 피폭을 줄일 수 있으리라 기대되며, 단순 조영증강 CT에서 관찰하기 어려운 작은 혈관에서의 색전증과 미만성 색전에 의한 폐 관류 저하를 보여줄 수 있는 유용한 진단 기법으로 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서 DS와 OS를 비교해 보았을 때 둘은 높은 상관관계를 보이고 있었다(유의확률: < 0.001). 또한 DS, OS, 그리고 폐혈전색전증의 중증도 간에 상관관계를 각각 비교해 보았을 때 각각은 높은 상관관계를 보이고 있었다(유의확률: < 0.001 , 유의확률: 0.013). 하지만 DS와 OS가 폐혈전색전증의 중증도 간에 미치는 영향을 함께 비교해 보았을 때 OS보다는(유의확률: 0.662) DS가 폐혈전색전증의 중증도에 좀 더 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다(유의확률: < 0.001). 이러한 결과는 폐혈전색전증 환자에서 그 중증도는 폐혈전색전증의 양, 모양, 또는 분포보다는 진단 당시 환자의 폐혈전색전증과 관련된 혈

역학적 징후, 임상양상을 반영할 수 있는 다양한 위험요소와 폐 실질의 전반적인 관류 상태를 고려하여 평가되어야 한다는 최근 경향과 부합한다(1, 3). 이러한 결과를 바탕으로 DECT에 의한 기능성 폐 관류 영상이 보편화 될 경우, 응급실 등의 위급한 상황에서 심초음파와 혈청심장 표지자 등을 시행하기 전의 짧은 시간 내에 DECT를 통해 폐혈전색전증의 양과 해부학적인 분포와 아울러 폐 실질 관류의 동반 평가가 가능할 것으로 생각되며 DECT는 폐혈전색전증을 조기 진단하고 임상적 중증도를 제시하는 원스톱 진단 기법으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 이는 기존에 시행되어 왔던 고식적 방법인 핵의학 검사에 의한 폐 관류-폐 환기 검사(lung scintigraphy)의 번거로움을 대체할 수 있을 것으로 기대되며, 보다 빠른 시간 내에 적은 양의 방사선 피폭으로 폐혈전색전증을 진단할 수 있어 진료에 많은 발전을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에 포함된 61명의 환자 중 20명(33.3%)은 OS가 DS보다 상대적으로 더 높게 분석되었으며, 36명은 OS보다 폐 관류 결손지수가 상대적으로 더 높게 분석되었다(59.0%).

OS가 DS보다 높은 부분은 폐동맥의 부분폐색에 의해 원위부 폐 실질의 관류가 비교적 잘 유지되고 있는 것으로 생각해 볼 수 있다. 반면 DS가 OS보다 높은 부분은 작은 혈관 내의 미세 색전에 의한 순환장애로 설명할 수 있다. Chung 등(5)과 Chae 등(7)에 의하면 두 종류의 색전 물질을 돼지 6마리의 폐동맥에 주입하여 실험적으로 폐혈전색전증 모델을 만들고 이의 영상을 얻었을 때, 큰 크기의 색전 물질은 PCTA에서 폐 관류 영상보다 더 잘 진단해 낼 수 있었지만 작은 크기의 색전 물질은 폐 관류 영상에서 PCTA보다 좀 더 높은 민감도를 보였고 특히 횡단면(axial plane)의 주변부 폐동맥과 평행하였을 때 더 잘 관찰되었다. 이는 폐 관류 결손지수가 OS보다 높은 부분은 부분 용적 효과에 의해 미세 색전이 가려졌을 가능성이 있음을 제시한다. 반면에 작은 색전은 큰 관류결손을 유발할 수 있기 때문에 폐 관류 영상에서는 좀더 쉽게 작은 색전증도 찾아낼 수 있을 것으로 생각한다. 이와 같은 결과를 바탕으로 DECT를 통해 얻어진 폐 관류 영상과 PCTA 영상을 함께 분석한다면 작은 폐분절에서의 폐혈전색전증을 진단하는 데 있어 정확도가 좀더 향상될 것으로 생각한다.

하지만 본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째로 DS는 기존의 폐 신티그라피나 폐 관류 MRI같은 다른 관류 평가 방법을 통해 얻을 수 있는 결과와 비교하지 못하였으며 각 환자 폐혈전색전증의 경과 및 예후와 비교 평가하지 못하였다. 둘째로 상부정맥이나 심장 주위의 높은 조영제 농도로 인해 생길 수 있는 줄인공물 등으로 인해 관류 결손이 가려지거나 판단에 오류가 생겼을 수 있다. 또 다른 제한점으로 폐 관류 영상은 특

정 시간에 폐 실질이 요오드에 의해 조영증강되는 정도를 반영한다는 것이다. 이는 혈액의 양, 혈류 속도, 혈구 통과 속도 등 관류에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들에 의해 영향을 받을 수 있어 실제 폐 관류 정도가 정확히 반영되지 않았을 수 있다. 결국 폐 관류 영상은 요오드 조영제의 양과 스캔 시간에 의해 관류의 정도가 달라질 수 있는 근본적인 한계를 가지고 있다. 때문에 조영제의 적절한 투여방법 및 효과적인 촬영 방법은 아직도 많은 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 비록 두 명의 영상의가 합의를 통해 비교적 정확히 영상을 분석하기 위해 노력하였지만 영상을 분석하고 DS와 OS를 통해 색전과 관류 결손 정도를 정량화 하는 과정에서 각 점수들의 경계 부위에서 해석에 오류가 생겼을 가능성이 있다. 관찰자 간의 연구가 좀 더 진행되었다면 더욱 정확한 연구가 진행되었을 것으로 생각된다. 마지막으로 후향적 연구였기 때문에 대상 환자를 선택하는 데 있어 오류가 있었을 수 있다. 하지만 본 연구에서 폐혈전색전증 환자의 임상 발현이나 예후에 영향을 미칠 수 있는 기존의 심폐 질환을 가진 환자는 가능한 연구에서 제외하였다.

DECT를 통해 얻어진 DS와 OS는 각각 폐혈전색전증의 중증도와 높은 상관관계를 보이고 있었으며, 이들 중 DS가 폐혈전색전증의 중증도에 더욱 크게 영향을 미치고 있었다. 그러므로 DECT를 통해 얻은 PCTA를 통해 급성 폐혈전색전증의 양과 해부학적인 분포를 확인하고 동시에 폐의 기능적 영상을 통해 폐 실질의 관류 정도를 확인해 폐혈전색전증의 중증도를 함께 평가함으로써, 폐혈전색전증의 조기 진단을 위해서 뿐만 아니라 치료 계획을 세우는 데 있어 DECT를 원스톱 진단 기법으로 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Torbicki A, Perrier A, Konstantinides S, Agnelli G, Galiè N, Pruszczyk P, et al. Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: the Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2008;29:2276-2315
2. Anderson FA Jr, Wheeler HB, Goldberg RJ, Hosmer DW, Patwardhan NA, Jovanovic B, et al. A population-based perspective of the hospital incidence and case-fatality rates of deep vein thrombosis and pulmonary embolism. The Worcester DVT Study. *Arch Intern Med* 1991;151:933-938
3. Kasper W, Konstantinides S, Geibel A, Olschewski M, Heinrich F, Grosser KD, et al. Management strategies and determinants of outcome in acute major pulmonary embolism: results of a multicenter registry. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1165-1171
4. Wildberger JE, Schoepf UJ, Mahnken AH, Herzog P, Ditt H, Niethammer MU, et al. Approaches to CT perfusion imaging in pulmonary embolism. *Semin Roentgenol* 2005;40:64-73
5. Chung MJ, Goo JM, Im JG, Lee KS, Kim KG, Park JH. CT perfusion image of the lung: value in the detection of pulmonary embolism in a porcine model. *Invest Radiol* 2004;39:633-640
6. Hoey ET, Mirsadraee S, Pepke-Zaba J, Jenkins DP, Gopalan D, Screatton NJ. Dual-energy CT angiography for assessment of regional pulmonary perfusion in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: initial experience. *AJR Am J Roentgenol* 2011;196:524-532
7. Chae EJ, Seo JB, Jang YM, Krauss B, Lee CW, Lee HJ, et al. Dual-energy CT for assessment of the severity of acute pulmonary embolism: pulmonary perfusion defect score compared with CT angiographic obstruction score and right ventricular/left ventricular diameter ratio. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:604-610
8. Thieme SF, Johnson TR, Lee C, McWilliams J, Becker CR, Reiser MF, et al. Dual-energy CT for the assessment of contrast material distribution in the pulmonary parenchyma. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:144-149
9. Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, Petersilka M, Gruber K, Süß C, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol* 2006;16:256-268
10. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007;17:1510-1517
11. Dogan H, Kroft LJ, Huisman MV, van der Geest R, Li O Y, Lamb HJ, et al. Assessment of right ventricular function in acute pulmonary embolism using ECG-synchronized MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 2010;195:909-915
12. Seon HJ, Kim KH, Lee WS, Choi S, Yoon HJ, Ahn Y, et al. Usefulness of computed tomographic pulmonary angiography in the risk stratification of acute pulmonary thromboembolism. Comparison with cardiac biomarkers. *Circ J* 2011;75:428-436

13. Qanadli SD, El Hajjam M, Vieillard-Baron A, Joseph T, Mesurolle B, Oliva VL, et al. New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: comparison with angiographic index and echocardiography. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176:1415-1420
14. Petersson J, Sánchez-Crespo A, Larsson SA, Mure M. Physiological imaging of the lung: single-photon-emission computed tomography (SPECT). *J Appl Physiol* (1985) 2007;102:468-476
15. Ryan KL, Fedullo PF, Davis GB, Vasquez TE, Moser KM. Perfusion scan findings understate the severity of angiographic and hemodynamic compromise in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Chest* 1988;93:1180-1185
16. Kreitner KF, Kunz RP, Ley S, Oberholzer K, Neeb D, Gast KK, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension--assessment by magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2007;17:11-21
17. Ley S, Kreitner KF, Fink C, Heussel CP, Borst MM, Kauczor HU. Assessment of pulmonary hypertension by CT and MR imaging. *Eur Radiol* 2004;14:359-368
18. Nikolaou K, Schoenberg SO, Attenberger U, Scheidler J, Dietrich O, Kuehn B, et al. Pulmonary arterial hypertension: diagnosis with fast perfusion MR imaging and high-spatial-resolution MR angiography--preliminary experience. *Radiology* 2005;236:694-703
19. Fink C, Thieme S, Ley S, Clevert D, Reiser MF, Kauczor HU, et al. [MRI of pulmonary embolism]. *Radiologe* 2007;47:708-715

급성 폐혈전색전증의 중증도 평가에 있어 이중 에너지 전산화단층촬영의 진단적 유용성에 관한 연구¹

문성민¹ · 선현주^{2,3} · 백장미¹ · 이승진⁴ · 윤연홍¹ · 김윤현^{1,3}

목적: 급성 폐혈전색전증 환자의 중증도 평가에 있어 이중 에너지 전산화단층촬영(dual-energy computed tomography; 이하 DECT)의 유용성에 대해 알아보려고 했다.

대상과 방법: 2011년부터 2012년까지 급성 폐혈전색전증으로 진단된 61명의 환자를 대상으로 후향적 분석을 했다. 대상 환자의 중증도 평가와 함께 DECT를 이용해 폐동맥 혈전색전지수(pulmonary CT angiographic obstruction score; 이하 OS)와 폐 관류결손지수(pulmonary perfusion defect score; 이하 DS) 정도를 평가했고 서열 로짓 분석을 통해 OS, DS, 그리고 폐혈전색전증의 중증도 간의 상관 관계를 분석했다.

결과: 높은 OS를 가진 폐혈전색전증 환자는 DS도 높은 값을 보였다($p < 0.001$). 단순 서열 로짓 분석 때는 OS와 DS 모두 폐혈전색전증의 중증도와 높은 상관 관계($p < 0.001$)를 보였지만 다중 서열 로짓 분석 이후에는 DS만이 폐혈전색전증의 중증도와 매우 높은 상관 관계를 보였다.

결론: 폐혈전색전증이 의심되는 환자에서 DECT는 급성 폐혈전색전증 유무를 확인하는 동시에 폐 실질의 관류 정도를 확인하여 폐혈전색전증의 진단뿐 아니라 중증도 평가에 더 유용한 지표를 제공하는 것으로 사료된다.

¹전남대학교병원 영상의학과, ²화순전남대학교병원 영상의학과, ³전남대학교 의과대학 영상의학교실,

⁴빛고을전남대학교병원 영상의학과