대한방사선의학회지 1999;41:295-302

# 폐동맥 색전증의 고해상 CT에서의 저음영 소견 : 돼지에서의 실험적 연구[1]

성동욱 · 김정숙[2] · 오주형 · 윤 엽 · 유지홍[3] · 최영규[4]

**목적 :** 인위적으로 급성 폐동맥 색전증을 유발시켜 HRCT에서 저음영의 발생 빈도와 형태를 알아보고자 하였다.

**대상 및 방법 :** Yorkshire 돼지 10마리에 영구 색전 물질로 폐동맥 색전증을 유발시켰다. 색전 전후에 폐혈관조영술을 시행하였고 색전 직후, 1주, 3주, 6주에 HRCT를 시행하였다. HRCT에서 저음영이 발생한 분절의 발생 빈도와 형태를 관찰하였고 저음영의 형태는 비균질성, 소엽성, 분절성, 변연부 저음영으로 분류하였다. 실험 6주에 동물을 희생시켜 근접 촬영을 하였다.

**결과 :** HRCT에서 저음영은 10마리의 돼지 중 8마리에서 나타났다. 총 45 분절 중 34 분절(15 대분절 폐동맥, 19 소분절 폐동맥)에서 색전을 폐혈관조영술에서 관찰할 수 있었고, 11 분절은 색전은 확인하지 못했으나 HRCT 추적 검사 중 저음영이 발생하였다. 저음영의 발생은 색전 직후 25/35(71%), 1주 후 16/41(39%), 3주 후 17/45(38%), 6주 후 25/45(56%)이었다. 실험 6주 동안의 총괄적 저음영의 발생은 83/166(50%)이었고 비균질성 32/83, 소엽성 13/83, 분절성 13/83, 변연부 저음영이 25/83 분절에서 발생하였다. 색전을 확인한 혈관에서의 저음영 발생은 대분절 폐동맥 폐쇄의 경우 색전 직후에 11/11(100%), 1주 후 8/14(57%), 3주 후 9/15(60%), 6주 후 12/15(80%)이었고, 소분절 폐동맥 폐쇄의 경우 각각 8/17(47%), 4/16(25%), 2/19(11%), 4/19(21%)이었다. 총괄적 저음영의 발생은 대분절 폐동맥 폐쇄시 40/55(73%), 소분절 폐동맥 폐쇄시 18/71(25%)이었다.

**결론 :** HRCT에서 저음영은 폐동맥 색전증의 소견으로 추적 검사보다 색전 직후에 흔히 관찰되는 소견이며(71%), 대분절 폐동맥 폐쇄 시에 잘 나타나는 소견이다(73%). 이러한 폐실질내 저음영 소견은 폐동맥색전증의 유용한 소견으로 폐동맥색전증의 조기 진단에 도움이 될 것으로 생각한다.

급성 폐동맥색전증은 혈관계에서 형성된 혈전이 전신 정맥 혈관을 통해 이동하여 폐동맥에 침착된 것을 말하며, 정맥에 혈전색전성 질환을 일으키는 환자에서 이병률(morbidity)과 사망률(mortality)의 중요한 요인이다. 이 질환은 초기에 항응고 약제나 혈전 용해제로 치료하지 않으면 그 사망율이 30 % 까지 되고, 올바른 진단과 그에 따른 적절한 치료를 하면 8 % 이하로 사망율이 감소한다(1,2). 임상적, 방사선학적 소견은 대부분의 폐동맥색전증 환자에서 급성 발병 4-6 주 후에 소실되며, 1 % 이내에서만 만성 폐동맥색전증이나 폐성심(cor pulmonale)들의 합병증으로 이행되고 폐동맥색전증의 적절한 치료 후에도 2-50 %의 높은 재발율을 보인다(3,4). 같은 이유로 폐동맥색전증에 의한 이병률과 사망률을 줄이기 위해 빠르고 정확한 진단이 요구되고 있다.

폐동맥색전증의 임상 소견과 단순흉부촬영은 비특이적인 소견으로 급성 폐동맥색전증을 정확하게 진단하지 못하고, 폐혈관조영술은 침습적이고 사망 등 심각한 합병증이 우려된다. 흔히 사용되는 비침습적 방법인 동위원소 주사법은 진단의 감수성이 낮다.

최근에 폐동맥색전증를 진단하기 위해 비침습적 방법으로 전산화단층촬영술(computed tomography, 이하 CT)과 고해상 전산화단층촬영술(high-resolution computed tomography, 이하 HRCT)이 이용되고 있다. 특히, 혈관 자체의 변화나 혈관내 색전의 관찰 뿐아니라, 폐 실질내 병변을 관찰함으로써 폐동맥색전증을 진단하고자 하는 노력이 진행되었다. 폐실질의 병변으로 세분절 무기폐(segmental atelectasis), 폐경색, 폐실질내 저음영(low attenuation)들이 있으나 저음영의 발생은 혈관 폐쇄성 질환 뿐만 아니라, 침윤성 폐질환, 소기도 질환에서 모두

[1]경희대학교 의과대학 진단방사선과학교실
[2]중문의대 진단방사선과학교실
[3]경희대학교 의과대학 내과학교실
[4]경희대학교 의과대학 마취과학교실
이 논문은 1996년도 쉐링 방사선의학 연구기금의 지원을 받은 것임.
이 논문은 1998년 2월 10일 접수하여 1999년 5월 3일에 채택되었음.

관찰되어 저음영이 폐동맥색전증에 특이한 것은 아니다(5-7).

만성 폐동맥색전증에서 저음영의 발생은 잘 알려져 있으나 급성 폐동맥색전증에서의 저음영 발생은 잘 알려져 있지 않다. 또한 실험 동물을 통해 급성 폐동맥색전증의 CT 소견에 대한 보고는 있으나(8-10) 저음영의 발생에 관한 보고는 거의 없다(11). 저자들은 실험 동물에 인위적으로 폐동맥색전증을 유발시켜 추적 검사를 통해 저음영의 발생 빈도와 호발하는 시기를 관찰하고, 그 형태학적 특성을 분석하여 급성 폐동맥색전증의 조기 진단에 도움을 줄 수 있는 소견으로써의 저음영에 대해 실험적으로 정립하고자 본 연구를 계획하고 시행하였다.

## 대상 및 방법

### *대상*

색전 실험 동물은 Yolkshire 돼지로 암수 구별없이 생후 8-10 주된 10 마리와 대조군 2 마리를 대상으로 하였다. 돼지 폐의 이차 소엽(secondary lobule)은 생후 8주에 완숙되기 때문에(12), 실험은 생후 8 주 이상된 돼지를 사용하였고 돼지의 체중은 8.6-16.2 kg (평균 12.1 kg)이었다.

돼지의 폐는 우측에 상엽(upper), 중엽(middle), 부속엽(accessory), 하엽(lower)의 4개엽, 좌측에 상엽(upper), 하엽(lower)의 2개엽이 있고, 좌상엽은 우중엽 기관지 위치에서 분지하여 좌중엽이라고도 한다. 하엽은 배측(dorsal), 외측(lateral), 복측(ventral)과 내측(medial) 기관 분절 체계를 가지며 배측과 외측 기관지는 각각 5개의 대분절 기관지(large segmental bronchi)를 분지하고 복측과 내측 기관지는 잘 발달되지 않고, 7-8개의 소분절 기관지(small segmental bronchi)를 형성한다. 폐동맥도 동반한 기관지의 분포를 따라 분지한다(13,14)

### *방법*

1) Ketamine hydrochloride(Ketamin®, Yuhan Yang-hang, Seoul, Korea) 100-150mg와 xylazine hydrochloride (Rompun®, Bayer Korea, Seoul, Korea) 40-60mg을 혼합하여 돼지의 둔부에 근육 주사하여 차후의 정맥 마취 및 기도내 마취 삽관을 용이하게 하였으며 atropine 0.5mg을 근육 주사하여 마취중 분비물을 감소시켰다. 근육 마취후 pentothal sodium (Pentothal®, Choong Wae Pharmacy, Seoul, Korea) 1-2 cc를 정맥 주사하여 마취를 지속시키며, 기관 삽관을 시행하였다. 기관 삽관은 내경 5.0-5.5mm의 기관내 튜브를 사용하여 자가 호흡을 유지시켰다.

2) 색전 실험 돼지의 폐질환이 없음을 확인하기위해 색전 전 HRCT를 시행하였다. HRCT는 140kV, 170mA, 간격 10 mm, 절편두께 1.5mm, 주사시간 2 초, 행렬수 512×512, 영상범위 16-22cm, 골재구성연산(bone reconstruction algorithm)으로 하였다. 사용한 기기는 GE-9800 Quick(General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, U.S.A.)이었다. HRCT 시행 때는 suxamethonium chloride (Succinyl- choline®, Ilsung pharmacy, Seoul, Korea) 200-400mg을 정맥 주사하여 자가 호흡을 없애고 앰부백(ambu-bagging)으로, resting end-expiraton (functional residual capacity)하에서 영상을 얻었다.

3) 앙와위(supine position)로 사지를 고정시킨 후 우내경정맥(right internal jugular vein)을 노출시켜, 내경 6F end-hole 카테터를 상대정맥에 삽입, 먼저 색전 전 폐혈관조영술을 시행하였다.

4) 상대정맥에 위치한 카테터를 통해 2×4-6mm 크기의 색전 물질을 2-3개 삽입하여 폐동맥색전증을 유발시켰다. 색전 물질은 치과용 제제인 vinyl polysiloxane(Exaplex®, GC America Inc, Chicago, Il, U.S.A.)을 X선 투시나 CT에 잘 보이게 하기 위해 tungsten powder와 혼합하였다. 색전 시행 후 다시 폐혈관조영술을 시행하여 색전의 위치와 막힌 부위를 확인하였다.

5) 색전 후 폐혈관조영술 직후에 HRCT를 시행하였다. 이후 같은 촬영 방법으로 색전 후 1주, 3주, 6주에 HRCT를 시행하여 추적 검사를 하였다.

6) 색전 후 6 주 HRCT를 촬영하고 동물을 희생시켜 돼지의 폐를 적출한 후, polyethylene glycol 400, 95% ethyl alcohol, 40% formaline, normal saline을 10:5:2:3의 비율로 만든 고정액에 7 일간 고정시키고, 실온에서 7 일간 25 cm $H_2O$의 압력으로 실내 공기를 주입하면서 말렸다. 근접 촬영을 시행하여 확인이 가능한 색전의 위치를 혈관별로 분류하였다. 근접 촬영은 유방촬영기(Serographe 500T, CGR, France)로 22-26kVP, 12-16mAs 조건에서 Kodak mammography 필름을 사용하였다. X선 튜브와 검체와의 거리는 55cm이었다.

7) 색전을 시행하지 않은 대조군의 돼지 2마리도 따로 HRCT를 시행하고, 그 후 1주, 3주, 6주에 재차 시행하였다.

### *분석*

1) 폐혈관조영술과 근접 촬영에서 분절의 첫 번째 분지에 색전이 위치하는 경우를 대분절 폐동맥 폐쇄, 두 번째 분절 이하 부위의 분절에 색전이 위치하는 경우를 소분절 폐동맥 폐쇄로구분하였다.

2) HRCT에서 정상적인 주위의 폐실질 음영보다 감소된 부위를 저음영 발생 부위라 하였으며 각 시기별로 HRCT는 폐혈관조영술, 근접 촬영에서 색전을 확인한 폐분절 부위와, 색전은 보이지 않았으나 추적 검사 중에 HRCT에서 저음영이 발생한 폐분절을 분석하였다. 실험 시술상의 문제로 실험 동물 2 마리에서 색전 직후의 결과와 동물 1 마리에서 색전 1주 후의 결과를 얻지 못하여 이 경우 그 시기를 제외하고 결과가 있는 시기만을 분석하였다.

3) 저음영의 형태는 대엽성 혹은 분절성으로 저음영이 비균질하게 나타나는 경우 비균질성 저음영(mottled type), 이차소엽 크기인 경우 소엽성 저음영(lobular type), 대엽 혹은 분절성으로 균질한 저음영이 나타난 경우를 분절성 저음영(segmental type), 폐야의 변연부에만 저음영이 나타난 경우를 변연부 저음영(peripheral type)으로 나누었다(Fig. 1).

4) 폐혈관조영술과 근접 촬영에서 색전을 확인할 수 있었던 경우는 다시 대분절 폐동맥 폐쇄와 소분절 폐동맥 폐쇄로

나누었다.

5) 추적 검사 각 시기별로 저음영의 발생 빈도와 형태, 확인 가능한 색전 혈관의 위치를 대분절, 소분절 폐동맥으로 구분하였고 각각의 저음영 형태별로도 분류하였다.

6) 대조군의 추적 HRCT에서 폐실질내 저음영의 발생 유무를 관찰하였다.

## 결 과

실험 동물 10마리 중 8마리에서 실험 기간중 한번 혹은 그 이상의 시기에서 저음영이 발생하였다. 대조군으로 사용한 2마리는 추적 검사에서 모두 저음영의 발생이 없었다.

HRCT로 분석한 분절은 총 45분절로, 폐혈관조영술, 근접촬영에서 색전을 확인한 곳이 34분절로 이중 25 분절은 추적 검사 중 저음영이 발생하였으나 9분절은 색전 직후부터 6주까지 추적 검사에서 저음영의 발생이 없었다. 색전은 보이지 않았으나 추적 검사의 HRCT에서 저음영이 발생한 곳은 모두 11분절이었다.

색전을 확인한 34분절은 전례에서 분절 폐동맥에 위치하였고 대분절 폐동맥 폐쇄가 15분절, 소분절 폐동맥 폐쇄가 19분절이었다.

시간 경과에 따라 HRCT에서 관찰된 저음영은 폐혈관조영술이나 근접 촬영에서 색전을 확인하지 못한 부위에서도 발생하였고(Fig. 2), 또한 색전을 확인한 부위에서 저음영이 발생하지 않기도 하였다. 또한 다양한 형태의 저음영으로 변화하여 추적 검사에서 한가지 형태의 저음영이 관찰된 경우는 총 45분절 중 20분절이었으며(Fig. 3), 두가지 이상의 저음영 형태가 추적 검사에서 나타난 경우는 16분절이었다(Fig. 4). 저음영의 발생 시기, 형태, 변화 모양은 서로 유의한 관련이 없었다.

### *색전 직후의 HRCT 소견*

시술 상의 문제로 실험 동물 2 마리에서 색전 직후의 결과를 얻지 못해 35분절만을 분석하였다. 저음영은 색전을 확인한 28분절 중 19분절에서, 색전이 없는 7분절에서는 6분절에서 발생하여 총 35분절 중 25분절(71%)에서 저음영이 발생하였다. 비균질성 저음영 12분절(48%), 소엽성 저음영 6분절(24%), 분절성 저음영 3분절(12%), 변연부 저음영 4분절(16%)이었다(Table 1). 색전을 확인한 혈관별로 보면 대분절 폐동맥 폐쇄 11분절 모두(100%)에서 저음영이 발생되었고, 소분절 폐동맥 폐쇄 17분절 중 8분절(47%)에서 발생되었다(Table 2).

### *색전 1 주 후의 HRCT 소견*

시술 상의 문제로 실험 동물 1 마리에서 결과를 얻지 못하여 41분절을 분석하였다. 저음영은 색전을 확인한 30분절 중 12분절에서, 색전이 없는 11분절에서는 4분절에서 발생하여 총 41분절 중 16분절(39%)에서 저음영이 발생하였다. 비균질성 저음영 8분절(50%), 소엽성 저음영 3분절(19%), 분절성 저음영 3분절(19%), 변연부 저음영 2분절(13%)이었다(Table 1). 색전을 확인한 혈관별로 보면 대분절 폐동맥 폐쇄 14분절 중 8분절(57%)에서 저음영이 발생되었고, 소분절 폐동맥 폐쇄 16분절 중 4분절(25%)에서 저음영이 발생되었다(Table 2).

### *색전 3주 후의 HRCT 소견*

저음영은 색전을 확인한 34분절 중 11분절, 색전이 없는 11분절 중 6분절에서 발생하여 총 45분절 중 17분절(38%)에서 저음영이 보였다. 비균질성 저음영 6분절(35%), 분절성 저음영 5분절(29%), 변연부 저음영 6분절(35%)이었다(Table 1). 색전을 확인한 혈관별로 보면 대분절 폐동맥 폐쇄 15분절 중

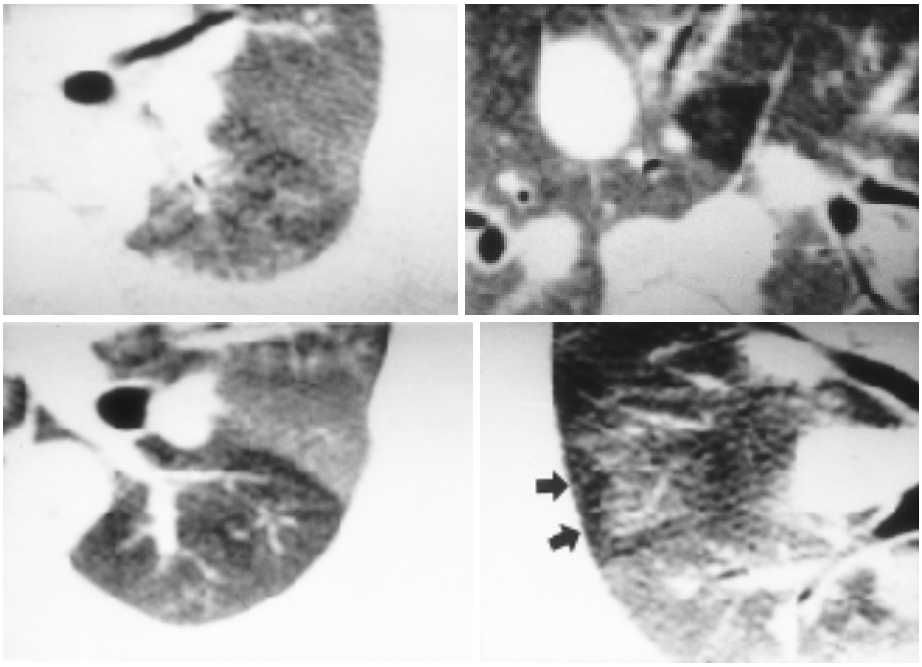


Fig. 1. Types of low attenuation.
Low attenuation is classified as follows; mottled type in case of inhomogeneous mottled lobar or segmental distribution (left top), lobular type in case of lobular distribution of low attenuation (right top), segmental type in case of homogeneous lobar or segmental distribution (left bottom), and peripheral type in case of crescent peripheral distribution of low attenuation (arrows, right bottom).

9분절(60%)에서 저음영이 발생하였고, 소분절 폐동맥 폐쇄 19분절 중 2분절(11%)에서 저음영이 발생하였다(Table 2).

### 색전 6 주 후의 HRCT 소견

저음영은 색전을 확인한 34분절 중 16분절, 색전이 없는 11분절 중 9분절에서 발생하여 총 45분절 중 25분절(56%)에서 저음영이 보였다. 비균질성 저음영 6분절(24%), 소엽성 저음영 4분절(16%), 분절성 저음영 2분절(8%), 변연부 저음영 13분절(52%)이었다(Table 1). 색전을 확인한 혈관별로 보면 대분절 폐동맥 폐쇄 15분절 중 12분절(80%)에서, 소분절 폐동맥 폐쇄 19분절 중 4분절(21%)에서 저음영이 관찰되었다(Table 2).

Table 1. Incidences and Types of Low Attenuation on HRCT in Time Interval

| Time interval<br>HRCT | Immediate<br>(n = 35) | 1week<br>(n = 41) | 3weeks<br>(n = 45) | 6weeks<br>(n = 45) | Overall<br>(n = 166) |
|---|---|---|---|---|---|
| Low attenuation | 25(71%) | 16(39%) | 17(38%) | 25(56%) | 83(50%) |
| mottled | 12 | 8 | 6 | 6 | 32 |
| lobular | 6 | 3 | 0 | 4 | 13 |
| segmental | 3 | 3 | 5 | 2 | 13 |
| peripheral | 4 | 2 | 6 | 13 | 25 |
| Normal | 10(29%) | 25(61%) | 28(62%) | 20(44%) | 83 (50%) |

n = number of segment

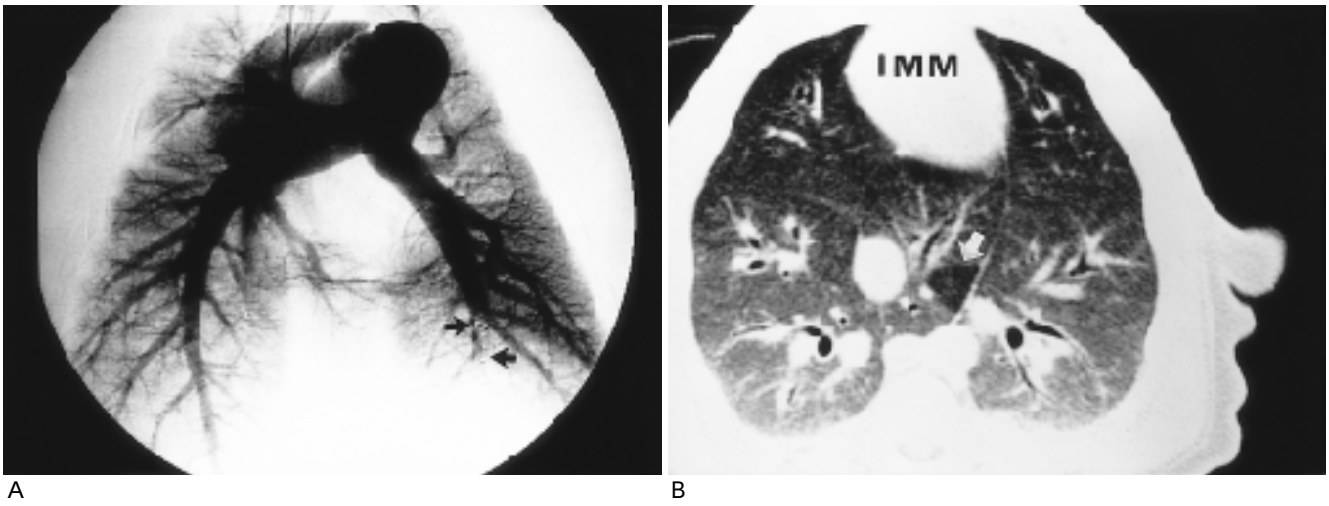
### 총괄

실험 6주 동안 저음영은 색전을 확인한 126분절 중 58분절, 색전이 없는 40분절 중 25분절에서 발생하여 총 166분절 중 83분절(50%)에서 관찰되었다. 비균질성 저음영 32분절(39%),

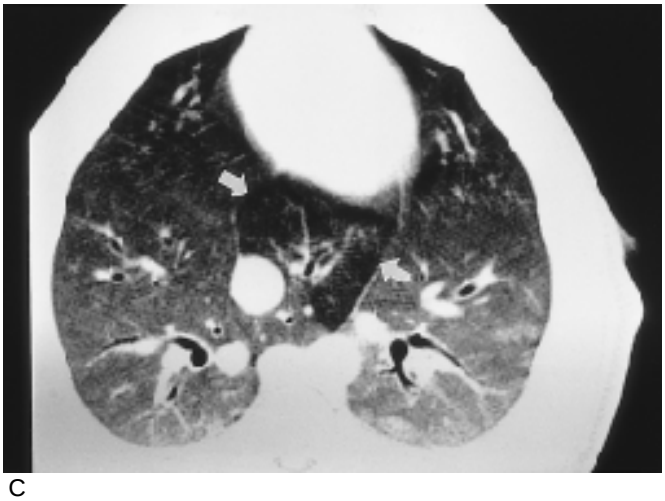
Table 2. Incidences of Low Attenuation on Follow up HRCT after Embolization

| HRCT | Identified occluded artery<br>Large segmental artery | <br>Small segmental artery | Non-identified* |
|---|---|---|---|
| Low attenuation | | | |
| immediate | 11/11(100%) | 8/17(47%) | 6/7(86%) |
| 1week | 8/14 (57%) | 4/16(25%) | 4/11(36%) |
| 3weeks | 9/15 (60%) | 2/19(11%) | 6/11(55%) |
| 6weeks | 12/15 (80%) | 4/19(21%) | 9/11(82%) |
| Overall | 40/55 (73%) | 18/71(25%) | |

*Non-identified embolic occlusion on angiography or contact radiography




A B



C

Fig. 2. Low attenuation developed in the area of non-identified emboli on angiography.
A. Post-embolic pulmonary angiography shows occlusion of a large segmental artery in the left lower lobe (arrows).
B. Immediate HRCT at the level of right accessory bronchus shows lobular type of low attenuation (arrow) in the right accessory lobe in which emboli were not identified on post-embolic angiography. (IMM = immediate)
C. HRCT at the same level of (b) after 3 weeks shows diffuse segmental type of low attenuation (arrows) on right accessory lobe. Right accessory bronchus is normal. HRCT in left lower lobe shows normal in spite of emboli on angiography.

소엽성 저음영 13분절(16%), 분절성 저음영 13분절(16%), 변연부 저음영 25분절(30%)이었다. 시간 경과별로 저음영은 색전 직후 71%, 1주 후 39%, 3주 후 38%, 6주 후 56%에서 발생하였다(Table 1). 색전을 확인한 혈관은 대분절 폐동맥 폐쇄의 경우 총 55분절중 40분절(73%)에서, 소분절 폐동맥 폐쇄의 경우 총 71분절중 18분절(25%)에서 저음영이 HRCT에서 관찰되었다(Table 2).

## 고 찰

폐동맥색전증은 이 질환으로 인한 사망자의 90%가 발생 1시간 이내에 이루어지는 급성 폐질환이며, 급성 시기에 그 진단은 매우 어렵다. 이는 임상 징후나 증상들이 없을 수 있으며, 다른 질환들의 증상이 폐동맥색전증과 비슷하기 때문이다. 특히 심폐질환의 임상 증세들과 매우 비슷하기 때문에 임상 소견만으로 폐동맥색전증을 정확하게 진단하기 어렵다(1-4).

과거 폐동맥색전증의 진단에 사용하였던 단순흉부촬영과 방사성동위원소 주사법은 감수성은 높으나 특이도가 낮은 단점이 있다. 실제 폐동맥색전증이 있는 환자에서 방사성동위원소 주사법으로 음성으로 판독될 확률이 높다. 다량의 폐동맥색전증이 있고 단순흉부촬영에서 정상일 때 방사성동위원소 주사법이 매우 유용한 검사이지만, 판독의 복잡성, 어려움들로 인해 애매한 진단을 초래할 수 있다(15). 폐혈관조영술은 폐동맥색전증의 진단에 가장 정확한 검사법이나 폐혈관조영술 후 심각한 합병증이 초래되어 사망할 수 있고 폐혈관조영술시 불충분한 조영제의 투영, 조영제의 혈관내 지연 충만 등으로 오진할 수 있다(16).

비침습적 검사 방법으로 CT는 폐동맥의 혈관 변화와 폐실질 변화를 관찰함으로 폐혈관조영술에 못지않는 진단율을 보이게 되었다. 혈관 변화의 소견으로 혈관내 색전에 의한 충만결손, 색전 이하 부위의 혈관의 수, 분포, 폐실질의 음영 감소들을 찾을 수 있고 폐실질 변화로 폐출혈, 폐경색, 세분절 무기폐 뿐만 아니라, 폐혈류 감소로 인한 저음영의 모자이크 양상을 관찰할 수 있다. 특히 모자이크 양상은 만성 폐동맥색전증 환자의 CT에서 중요한 소견으로 알려져 있다(6,17,18).

만성 폐동맥색전증에서 저음영은 국소 혈류의 감소 때문으로 이에 대한 보고는 많으나(18-20) 급성의 경우 CT 보고가 별로 없다. 저음영에 의한 모자이크 양상이 폐혈관 폐쇄성 질환 뿐만 아니라, 폐색성 세기관지염(bronchiolitis obliterans)같은 소기도 질환, 사르코이드증(sarcoidosis) 등의 침윤성 질환

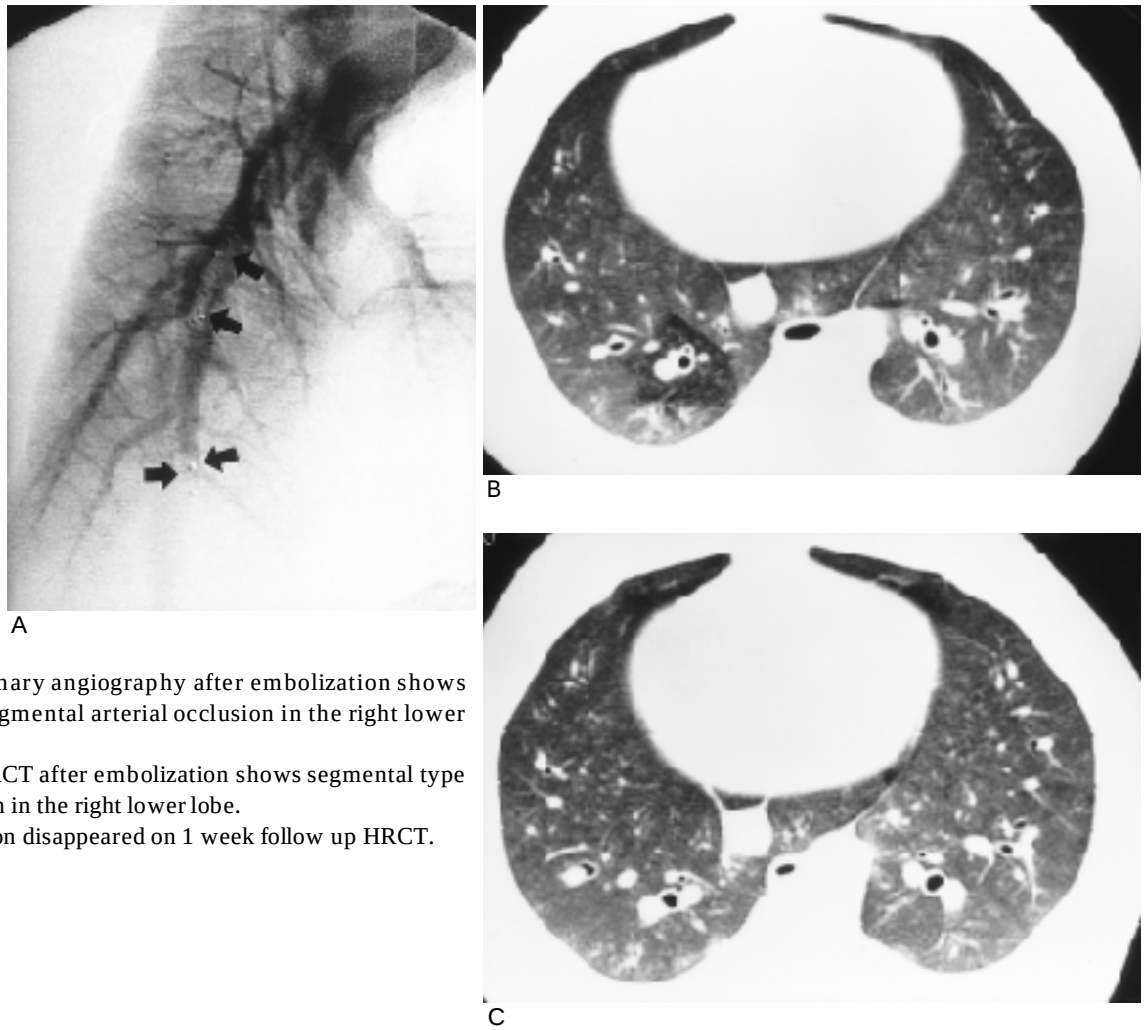
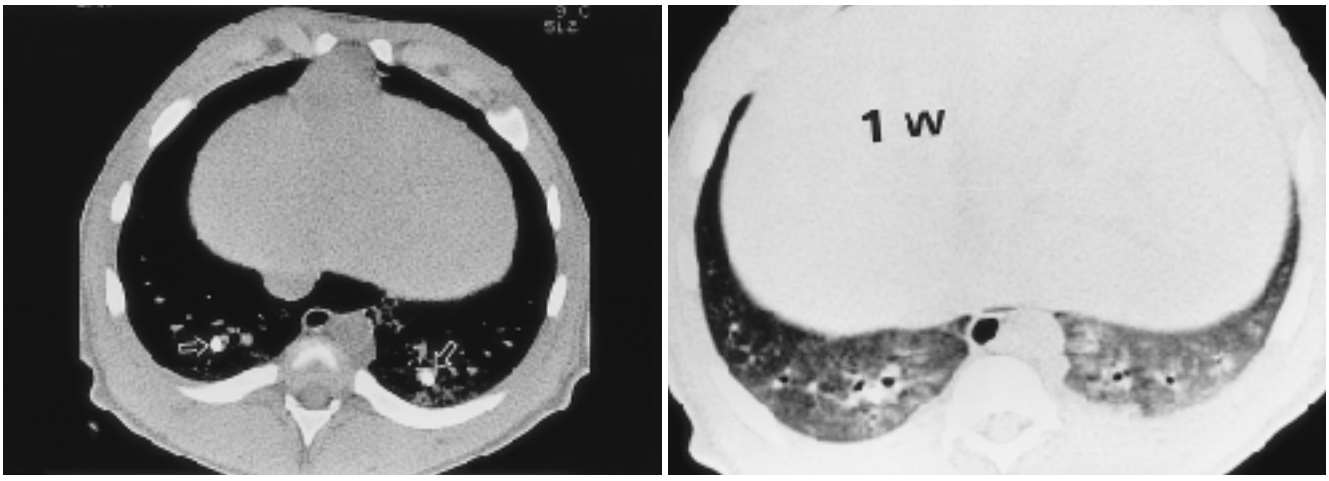
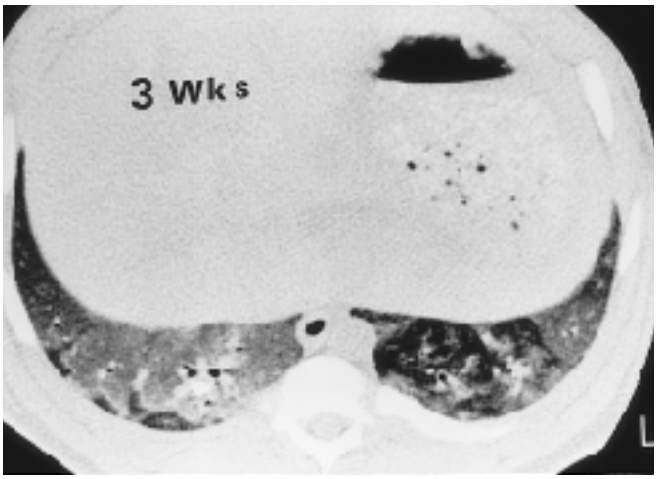


Fig. 3. A. Pulmonary angiography after embolization shows multiple large segmental arterial occlusion in the right lower lobe (arrows).
B. Immediate HRCT after embolization shows segmental type of low attenuation in the right lower lobe.
C. Low attenuation disappeared on 1 week follow up HRCT.




A B




C

Fig. 4. Delayed visualization of low attenuation on HRCT in experimentally induced pulmonary embolism.
A. Immediate HRCT after embolization shows dense nodular opacities of embolic materials in the large segmental arteries of both lower lobes (arrows).
B. HRCT after 1 week shows normal on both lower lobes. (1 W = 1 week)
C. HRCT at the same level of (b) after 3 weeks shows peripheral type low attenuation in the right lower lobe and segmental type low attenuation in the left lower lobe. Low attenuations in both lower lobes were persistent up to 6 weeks (not shown). (3 Wks = 3 weeks)

이나 폐부종에서도 관찰된다(5,7,21,22). 저자들의 경우 색전 후 6주까지 추적 검사에서 어느 한 시기에 발생한 저음영을 모두 포함하여 50%의 발생 빈도는 비록 그 수치는 높지 않으나, HRCT에서 저음영도 폐동맥색전증의 중요한 소견의 하나로 생각된다.

이러한 폐동맥색전증에서 저음영의 발생은 급성의 경우 언제 발생하는 지에 관한 보고는 없으나 저자들의 결과에서 비교적 색전 직후에 가장 흔하게(71%) 저음영이 관찰되었다. 저음영의 발생은 또한 색전의 위치가 폐혈관 어디에 있느냐에 따라 발생 빈도에 차이가 생길 수 있다(11,23).

폐동맥색전증과 작은 폐동맥의 혈관 수축(vasoconstriction)과는 밀접한 연관이 있어 작은 혈관이 폐혈류 순환의 혈관 긴장(vascular tonus)을 유지시키는데 중요한 역할을 한다. Matsubara 등(24)에 의하면, 흔한 폐동맥색전증의 위치로 혈관 긴장을 유지시키는 세동맥(arterioles), 근육형 동맥(muscular arteries), 탄력형 동맥(elastic artery)의 순으로 발생한다고 하였다. 저자들의 경우 저음영의 발생은 대분절 폐동맥 폐쇄시 73%, 소분절 폐동맥 폐쇄시 25%로 아주 작은 혈관의 폐쇄보다는 어느 정도 크기의 분절 폐동맥 폐쇄시 흔히 나타나는 소견이었다. 저자들은 대엽 폐동맥을 폐쇄시키는 실험을 하지 않아, 대엽과 분절 폐동맥 폐쇄시의 비교는 할 수 없으나 Matsubara 등(24)의 보고에 의하면 대엽 폐동맥은 폐혈관의 혈관 긴장을 유지시키고 혈관 수축이 일어나는 혈관이 아니기 때문에 분절 폐동맥 폐쇄에 비해 저음영의 발생이 적을 것으로 짐작된다.

저음영이 발생하는 기전으로 폐동맥 혈관의 감소가 주 원인이나 임 등은(23, 25) 그 외 동반된 기관지의 일시적 수축이나 만성적 기관지 변화로 인해 그 이하 부위에 공기 축적(air-trapping)이 생기는 것도 한 역할을 한다고 하였다. 이러한 소견은 만성 폐동맥색전증 환자에서 저음영이 있는 부위의 기관지의 변화로 기관지 확장증을 보고한 것과 일치되는 소견이며(26), 저자들의 경우 초기에 저음영의 발생과 추적 검사에서 저음영이 소실되거나, 저음영의 형태가 변화하는 것은 초기에 혈류의 감소와 일시적 기관지 수축으로 저음영이 발생되었다가 주위의 풍부한 측면 혈관 발달과 수축된 기관지의 모양이 변화함으로 저음영의 소실 또는 변화되었으리라 설명할 수 있다. 반면 처음에는 저음영이 생기지 않았다가 나중에 저음영이 생기는 경우도 점차 혈류의 감소 뿐 아니라, 기관지의 변화로 인한 공기 축적 영향이라 추측된다.

혈관조영술이나 근접 촬영에서 색전을 확인하지 못하였으

나 추적 HRCT에서 저음영이 발생한 경우가 11분절이었는데, 이 경우는 실제 색전을 유발시켰으나 색전 물질에 tungsten powder의 혼합이 불충분하여 X선 투시나 CT에서 관찰되지 않았을 것으로 생각된다.

추적 검사 중 저음영의 형태학적 변화도 다양하여, 한가지 형태의 저음영이 지속되거나 관찰된 경우가 45분절 중 20분절이며, 다양한 형태의 저음영이 관찰된 경우도 16분절로 저음영의 형태학적 차이와 폐동맥 색전증과의 연관성은 없으리라 생각된다.

결론적으로 HRCT에서 저음영은 실험 6주 까지의 폐동맥 색전증의 소견으로 추적 검사보다 색전 직후에 흔히 관찰되며(71%), 색전 직후부터 6주까지 시간적 경과에 따라 50%의 발생 빈도를 보였으나, 대분절 폐동맥 폐쇄 때는 73%까지 증가한다. 저음영은 다양한 형태로 나타났으며 이는 색전 부위의 폐혈류량의 감소와 세기관지의 협착에 따른 공기 축적에 의한 것이라 생각되며, 풍부한 기관지 동맥과 측부 순환 혈관의 발달이 저음영의 형성에 중요한 요인으로 작용하였으리라 생각된다. 이러한 폐실질내 저음영 소견은 폐동맥색전증의 조기 진단에 유용한 소견으로 폐동맥색전증의 진단에 도움이 될 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌


1. Dalen JE, Alpert JS. Natural history of pulmonary embolism. *Prog Cardiovasc Dis* 1975;17:259-270
2. Garson JL, Kelley MA, Duff A, et al. The clinical course of pulmonary embolism. *N Eng J Med* 1992;326:1240-1245
3. Benotti JR, Ockene IS, Alpert JS, Dalen JE. The clinical profile of unresolved pulmonary embolism. *Chest* 1983;84:669-678
4. Dalen JE, Banas Jr JS, Brooks HL, Evans GL, Paraskos JA, Dexter L. Resolution rate of acute pulmonary embolism in man. *New Eng J Med* 1969;280:1194-1199
5. Stern EJ, Swensen SJ, Hartman TE, Frank MS. CT mosaic pattern of lung attenuation : distinguishing different causes. *AJR* 1995;165: 813-816
6. Primark SL, Muller NL, Mayo JR, Remy-Jarden M, Remy J. Pulmonary parenchymal abnormalities of vascular origin : high-resolution CT findings. *RadioGraphics* 1994;14:739-746
7. Eber CD, Stark P, Bertozzi P. Bronchiolitis obliterans on high-resolution CT : a pattern of mosaic oligemia. *J Comput Assist Tomogr* 1993;17:853-856
8. Grossman ZD, Thomas FD, Gagne G, et al. Transmission computed tomographic diagnosis of experimentally produced acute pulmonary vascular occlusion in the dog. *Radiology* 1979;131:767-769
9. Lourie GL, Pizzo SV, Ravin C, Putnam C, Thompson WM. Experimental pulmonary infarction in dogs : a comparison of chest radiography and computed tomography. *Invest Radiol* 1982;17:224-232
10. Ovenfors CO, Godwin JD, Brito AC. Diagnosis of peripheral pulmonary emboli by computed tomography in the living dog. *Radiology* 1981;141:519-523
11. 성동욱, 이순진, 오주형, 등. 폐동맥색전증의방사선학적-조직병리학적소견에관한실험적연구 . *대한방사선의학회지* 1997;37:1043-1050
12. Rendas A, Branthwaite M, Reid L. Growth of pulmonary circulation in normal pig-structural analysis and cardiopulmonary function. *J Appl Physiol* 1978;45:806-817
13. Todo G, Herman PG. High-resolution computed tomography of the pig lung. *Invest Radiol* 1986;21:689-696
14. Nakakuki S. Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *J Vet Med Sci* 1994;56:685-689
15. Sostman HD, Rapoport S, Glickman MG, Gottschalk A. Problems in noninvasive imaging of pulmonary embolism. *Radiol Clin North Am* 1983;21:759-774
16. Stein PD, Athanasoulis C, Alavi A, et al. Complications and validity of pulmonary angiography in acute pulmonary embolism. *Circulation* 1992;85:462-468
17. Greaves SM, Hart EM, Brown K, Young DA, Batra P, Aberle DR. Pulmonary thromboembolism : spectrum of findings on CT. *AJR* 1995;165:1359-1363
18. Schwickert HC, Schweden F, Schild HH, et al. Pulmonary arteries and lung parenchyma in chronic pulmonary embolism : preoperative and postoperative CT findings. *Radiology* 1994;191:351-357
19. King MA, Bergin CJ, Yeoung DWC, et al. Chronic pulmonary thromboembolism : detection of regional hypoperfusion with CT. *Radiology* 1994;191:359-363
20. Frazer CK, Cameron DC. Computed tomography demonstration of mosaic oligaemia in pulmonary embolism. *Australas Radiol* 1995; 39:14-17
21. Martin KW, Sagel SS, Siegel BA. Mosaic oligemia simulating pulmonary infiltrates on CT. *AJR* 1986;147:670-673
22. Worthy SA, Muller NL, Hartman TE, Swensen SJ, Padley SPG, Hansell DM. Mosaic attenuation pattern on thin-section CT scans of the lung: differentiation among infiltrative lung, airway, and vascular diseases as a cause. *Radiology* 1997;205:465-470
23. Im JG, Choi YW, Kim HD, Jeong YK, Han MC. Thin-section CT findings of the lungs: experimentally induced bronchial and pulmonary artery obstruction in pigs. *AJR* 1996;167:631-636
24. Matsubara O, Sato T, Kitagawa M, Kasuga T. Pulmonary thromboembolism : frequency, site, and vascular change in 103 autopsy cases. *Am J Cardiovasc Pathol* 1989;2:321-328
25. Im JG, Kim SH, Chung MJ, Koo JM, Han MC. Lobular low attenuation of the lung parenchyma on CT: evaluation of forty-eight patients. *J Comput Assist Tomogr* 1996;20:756-762
26. Remy-Jardin M, Remy J, Louvegny S, Artaud D, Deschildre F, Duhamel A. Airway changes in chronic pulmonary embolism : CT findings in 33 pateints. *Radiology* 1997;203:355-360

J Korean Radiol Soc 1999;41:295-302

# Low Attenuation on High Resolution Computed Tomography in Pulmonary Embolism : An Experimental Study in Pigs[1]

Dong Wook Sung, M.D., Jeong Sook Kim, M.D.[2], Joo Hyung Oh, M.D., Yup Yoon, M.D., Jee Hong You, M.D.[3], Young Gyu Choi, M.D.[4]

[1]*Department of Diagnostic Radiology, School of Medicine, Kyung Hee University*
[2]*Department of Diagnostic Radiology, Pundang Cha Hospital, JungMun Medical College*
[3]*Department of Internal Medicine, School of Medicine, Kyung Hee University*
[4]*Department of Anesthesiology, School of Medicine, Kyung Hee University*

**Purpose :** To evaluate the incidence and type of low attenuation seen on high resolution computed tomography (HRCT) performed after artificially induced pulmonary embolism.

**Materials and Methods :** Using permanent embolic materials, pulmonary embolism was induced in ten Yorkshire pigs. Pre- and postembolic pulmonary angiography was performed, and HRCT was performed immediately and 1, 3, and 6 weeks after embolization. The incidence and type of low attenuation of all segments, as seen on HRCT, was evaluated. Low attenuation was classified as mottled, lobular, segmental, or peripheral. The pigs were sacrified after 6 weeks and contact radiographs were obtained.

**Results :** Low attenuation developed in eight of ten pigs. Pulmonary angiography revealed arterial occlusion in 15 large and 19 small segmental arteries (34 of 45 segments). In the remaining 11 segments, follow-up HRCT demonstrated areas of low attenuation. This was present in 25 of 35 segments (71 %) as seen on HRCT images obtained immediately; in 16 of 41 segments (39 %) on images obtained 1 week after embolization; in 17 of 41 segments (41 %) on those acquired at 3 weeks; and in 25 of 45 segments (56 %) on those acquired at 6 weeks. The overall incidence of low attenuation was 83/166 (50 %). The types of low attenuation were mottled in 32/83 cases, lobular in 13/83, segmental in 13/83, and peripheral in 25/83. In large segmental arterial occlusion, the incidence of low attenuation on HRCT was 100% immediately, 57 % at 1 week, 60 % at 3 weeks, and 80 % at 6 weeks. In small segmental arterial occlusion, the incidence was 47 %, 25 %, 11 %, and 21 % respectively. The overall incidence of low attenuation was 40/55 (73 %) in large segmental arterial occlusion and 18/71 (25 %) in small segmental arterial occlusion.

**Conclusion :** Low attenuation on HRCT is a finding of pulmonary embolism and is more common on HRCT performed immediately after embolization (71 %) and in large segmental arterial occlusion (73 %). Low attenuation on HRCT is an ancillary finding and may be useful in the diagnosis of pulmonary embolism.

**Index words :** Lung, CT
Embolism, pulmonary
Computed tomography (CT), high-resolution

Address reprint requests to : Dong Wook Sung, M.D., Diagnostic Radiology, Kyung Hee University Hospital, #1 Hoekidong, Dongdamun-ku, Seoul 130-702, Korea.
Tel. 82-2-958-8625, 8616 Fax. 82-2-968-0787