대한방사선의학회지 1999;41:73-78

시험주입을 이용한 조영증강 3차원 초고속 폐 자기공명혈관 조영술의 평가 : 단일용량 및 이중용량의 비교[1]

김명규 · 오유환 · 신규희 · 정규병 · 서원혁

목적 : 조영증강 3차원 초고속 자기공명혈관조영술은 최근 경동맥, 대동맥, 신동맥, 장간동맥 및 문정맥등을 포함하는 혈관들의 검사로 널리 이용되고 있다. 시간결정검사를 이용하여 영상획득시간을 결정한 후 조영증강 3차원 초고속 폐 자기공명혈관조영술을 조영제양을 단일용량 및 이중용량으로 변화시켜 얻은 후 이 영상을 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 가돌리늄조영증강 초고속 폐 자기공명혈관조영술(3D FISP, TR[msec]/TE[msec]=5.0/2.0, 25。숙임각)을 20명의 정상 성인 자원자에서 시행하였다. 임의로 2 군으로 나눈 후 한 군은 0.1mmol/kg(단일용량주입군), 다른 군은 0.2mmol/kg(이중용량주입군)의 조영제를 주입한 후 폐 자기공명혈관조영술을 시행하였다. 전 예에서 시간결정검사를 1 내지 2ml의 조영제를 이용하여 주입한 후 횡단면 turbo-FLASH(TR/TE/TI=8.5/ 4.0/100, 10。숙임각)를 이용하여 시행하였다. 두 군에서 얻은 영상들을 전체 영상화질과 폐동맥시각화를 평가하는 정성적 분석방법과 혈관의 대조도대잡음비를 측정한 정량적 분석방법을 이용하여 분석하였다.

결과 : 조영제 양을 달리한 두 군의 전체 영상화질의 차이에서는 통계적 의미가 없었다(P>0.05). 폐동맥시각화를 평가한 결과는 두 군에서 중심동맥과 대엽동맥은 모두 우수하게 잘 보였다. 분절동맥의 시각성 점수는 단일용량을 사용한 경우 2.83±0.32, 이중용량을 사용한 경우 2.85±0.3으로 두 군간의 통계적 의미는 없었다(P>0.05). 각 중심동맥, 대엽동맥, 분절동맥의 대조도대잡음비의 차이는 통계적으로 의미있게 이중용량을 사용한 군에서 높았다(P<0.05).

결론 : 폐동맥의 대조도대잡음비의 차이는 통계적으로 의미있게 이중용량를 사용한 군에서 높았으나 전체영상화질 및 폐동맥시각화의 차이는 의미가 없어 조영제 양을 단일용량으로 낮출 수 있는 가능성을 제시하였다.

폐동맥을 평가하기 위해 초기에는 스핀에코영상, 2차원 및 3차원 유체속도강조(time-of-flight) 자기공명혈관조영술(magnetic resonance angiography, 이하 MRA로 약함), 그리고 3차원 영화표현(cine-display)의 자기공명영상기법을 폐동맥에 적용하였다(1-4). 결과는 호흡 및 심박동에 의한 인공물, 공기-조직간 감수성변이(susceptibility variation), 정맥의 겹침, 분절 및 아분절 폐동맥의 작은 직경때문에 만족할만한 수준의 영상을 얻지못했다. 조영증강 MRA는 Prince 등에의해 도입되어 흉부 대동맥, 복부 대동맥 및 그 주요분지들의 질환에 대해 높은 정확도를 가진 영상진단수단으로 이용되고 있다(5,6). 이 기법은 상자성(paramagnetic) 조영제를 정맥을 통해 주입하고 영상획득을 하는 방법으로 혈관내 조영제에 의한 T1 단축효과를 이용한다. 대부분의 조영증강 MRA는 3-5분정도의 긴 획득시간때문에 많은 양의 조영제를 이용하여왔다. 최근에는 향상된 gradient performance를 갖춘 자기공명영상기기를 사용하게되며 획득시간을 3-5분에서 30초이내로 단축시킬수있어 호흡정지동안 자료를 얻는 호흡정지 MRA가 가능해졌다(7-10). 그러나 이 짧은 시간에 영상획득이 가능해져도 적절한 동맥 조영을 얻기위해 60mL까지 많은 양의 조영제를 사용하고 있다. 호흡정지 MRA시행시 임상적으로 적정한 조영제양은 아직 결정되어있지않고, Earls 등은 시간결정검사와 자동주입기를 이용하면 시간결정검사를 하지않은 검사와 비교하여 단일 용량의 호흡정지 대동맥 MRA의 신호대잡음비와 대조도대잡음비를 높일 수 있다고 보고하고 있다(11). 이에 저자들은 정상자원자에서 조영제 양을 단일용량 및 이중용량으로 변화시키고, 시간결정검사를 도입하여 호흡정지 폐 MRA를 시행하고 그 영상을 분석하여 폐 MRA시행시 조영제 양을 줄일 수 있는지 알아보고자 하였다.

[1]고려대학교 의과대학 진단방사선과학교실
이 논문은 1998년 11월 27일 접수하여 1999년 5월 7일에 채택되었음.

대상 및 방법

20회의 가돌리늄-조영증강 폐 MRA를 20명의 정상 성인 자원자에서 시행하였다. 21세에서 32세에 이르는 젊은 남자 19명, 여자 1명, 총 20명(평균연령 25.4세)의 정상 성인 자원자를 대상으로 하였다. 임의로 2 군으로 분류한 뒤, 한 군(단일용량 주입군)은 0.1 mmol/kg의 조영제를 2 ml/sec의 속도로 손으로 주입하였고, 다른 군(이중용량 주입군)은 0.2 mmol/kg의 조영제를 같은 속도로 손으로 주입하였다. 전 예에서 조영제주입 후 20 ml의 생리식염수를 주입하였다. 모든 영상획득은 600 μsec의 상승시간과 25 mT/m의 최대경사세기를 갖춘 1.5T 초전도 자기공명영상촬영기(Magnetom Vision, Siemens AG, Erlangen, Germany)를 이용하였다. 전 예에서 상박부에 20 게이지의 정맥관을 확보한 후, 바로누운 자세에서 위상배열코일(phased body array coil)을 사용하였고, 에일리어싱인공물(aliasing aritifact)를 방지하기위해 양 팔은 머리위에 올리고 검사하였다.

시간결정검사

횡단면 2차원 경사에코영상을 얻은 후 이 영상들에서 주폐동맥이 가장 잘 보이는 위치에서 시험주입한후 호흡정지상태로 한 위치에서 turbo-FLASH sequence(TR/TE/TI = 8.5/4.0/100, 10。숙임각, 8mm 절편두께)를 이용하여 1초 간격으로 30초동안 역동적 연속영상을 얻었다(Fig. 1). 각 군의 시험주입 양은 생리식염수 적당량에 조영제 1-2ml를 섞어 가돌리늄-조영증강 폐 MRA시행시 주입할 양과 동일한 양으로 만들었다. 30 개의 영상에서 기계제조회사에서 제공한 소프트웨어를 이용하여 주폐동맥의 시간-신호강도 곡선을 얻었다(Fig. 2). 이 곡선에서 신호강도가 정점에 이루는 시간을 가돌리늄-조영증강 폐 MRA의 영상획득시간의 중간에 일치하도록 조영제 주입후 지연시간을 결정하였다. 이 시간을 결정하기위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

Ts = Tp - Tg/2
Ts = 조영제 주입시작부터 영상획득시작까지 지연시간
Tp = 시험주입에서 신호강도가 정점에 이루는 시간
Tg = 가돌리늄-조영증강 폐 MRA의 영상획득시간

영상획득

횡단면 2차원 경사에코영상에서 초고속 3차원 FISP 영상(5.0/2.0, 25。숙임각, 164×256 격자, 320-350mm 영상범위, 84mm 판두께, 3mm 절편두께, 23 초의 호흡정지기간)을 관상면으로 얻었다. 모든 조영제주입은 1 명의 방사선과의사에 의해 시행되었고 손으로 약 2ml/sec의 속도로 주입하였다. 시간결정검사에서 계산된 지연시간을 적용하였다. 조영제 주입과 관련된 부작용은 없었다.

영상분석

전체 영상화질과 폐동맥시각화를 평가하는 정성적 분석방법을 사용하였다. 모두 20 예의 폐 MRA을 우전사위(right anterior oblique) 60 와 좌전사위(left anterior oblique) 60 사이의 12 개의 최대강도투사(maximal intensity projection, 이하 MIP로 약함) 영상과 3mm 두께의 횡단면, 관상면의 다면재구성(multiplanar reconstruction, 이하 MPR로 약함) 영상을 얻은 후 두 명의 방사선과 의사가 분석하였다. 먼저 각각의 폐 MRA를 3 등급(1 = 나쁨, 2 = 중간, 3 = 좋음)으로 분류한 후 전체 영상화질을 평가하였다. 폐동맥시각화는 중심동맥, 대엽동맥, 그리고 19 개의 분절

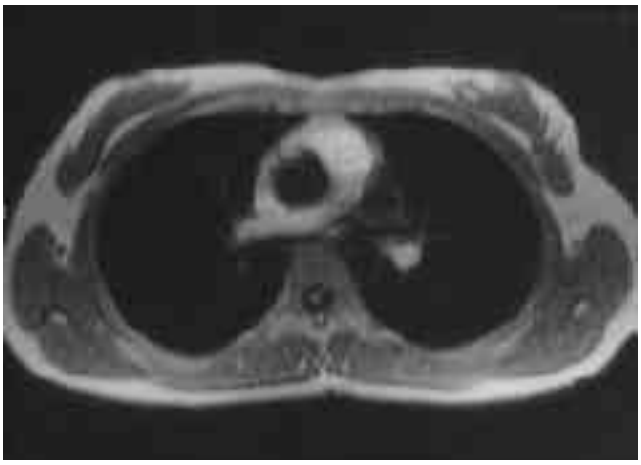


Fig. 1. A typical timing image(8.5/4.0/100, 10。flip angle) obtained to calculate the appropriate delay between the start of contrast agent injection and the start of MR angiographic imaging. The cursor of ROI is located in the pulmonary trunk for plotting of change of the signal intensity to the time.

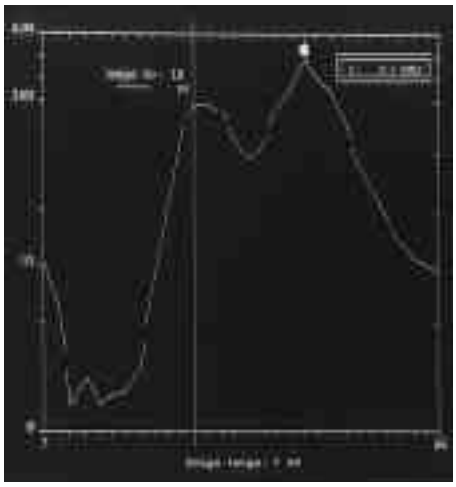


Fig. 2. Graph shows signal intensity in the pulmonary trunk on the basis of the data from the images of timing examination. X axis denotes the image number of timing examination, and Y axis denotes the signal intesity in arbitrary units. In this case, the peak contrast enhancement of test injection is occurred at 20 sec(asterisk).

동맥의 시각화를 3 등급(1=않보임, 2=보임, 3=잘보임)으로 분류한 후 평가하였다. 두 군의 차이는 Wilcoxon rank sum test를 이용하여 통계처리하였다.

다른 분석방법으로 각각의 혈관에 대해 대조도대잡음비를 측정하는 정량적 분석방법을 이용하였다. 중심, 대엽, 그리고 분절동맥에 대해 신호강도를 측정하고, 잡음은 흉부바깥배경에서 측정한 값의 표준편차로 하여 다음과같은 식을 이용하였다.

대조도 대 잡음비=(폐혈관의 신호강도-폐실질의 신호강도)/잡음

결 과

모든 검사는 조영제에 의한 부작용없이 잘 시행되었다. 모든 검사대상자는 호흡정지기간동안 숨을 잘 참을 수 있었다. 한 검사대상자당 소요시간은 약 15분에서 20분이였다.

시간결정검사

시간결정검사는 전 예에서 성공적으로 시행하였다. 생리식염수와 혼합된 조영제를 주입한 후 얻은 시간-신호강도 곡선에서 쉽게 최고신호강도를 나타내는 시간을 결정할 수 있었다. 단일용량을 사용한 경우 Tp는 11초에서 22초(평균, 18.1초±3.2)까지 변화하였고, 이중용량을 사용한 경우 Tp는 14초에서 22초(평균, 17.4초±2.9)까지였다. 시험용량을 주고난 후 결과를 곡선으로 평가하는데는 약 5-7분의 시간이 소요되었다.

Table 1. CNR of Central, Lobar and Segmental Pulmonary Arterties

	Single Dose(average±S.D.)	Double Dose(average±S.D.)
Central	61±12	82±10*
Lobar	54±13	70±13*
Segmental	45±9	53±16*

CNR : Contrast-to-noise ratio
S.D. : standard deviation
*The group of double dose rendered significantly higher CNRs in central, lobar, and segmental arteries than the group of single dose ($P < 0.05$).

전체 영상화질

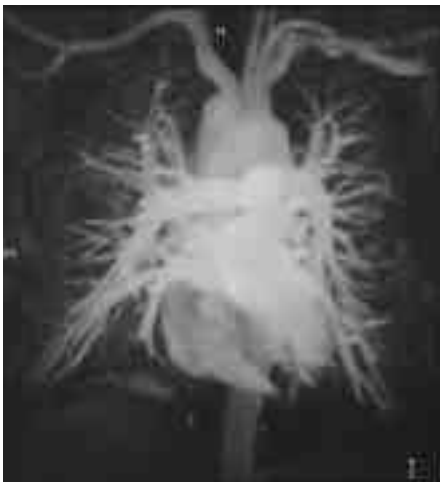
단일용량을 사용한 10예의 폐 MRA는 1예만 중간으로 판정하고 나머지 9예는 좋음으로 판정하였다(Fig. 3). 이중용량을 사용한 10예의 폐 MRA는 모두 좋음으로 평가되었다(Fig. 4). 조영제양에 따른 두 군의 영상화질의 차이는 통계적 의미는 없었다($P>0.05$). MIP영상에서 유령인공물은 일어나지 않았으나 횡단면, 관상면의 MPR영상에서는 위상부호화방향으로 유령인공물이 관찰되었다. 그러나 이 유령인공물들이 영상판독에 지장을 줄 정도는 아니었다.

폐동맥시각화

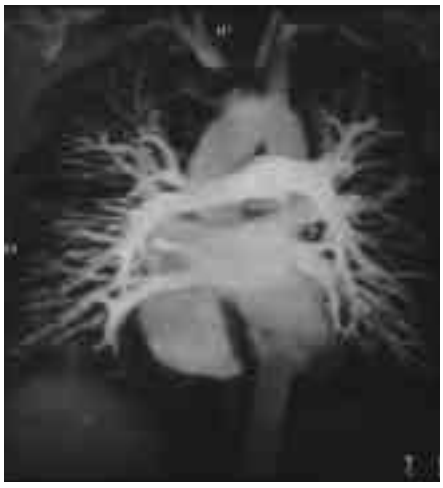
조영제 양을 달리한 두 군에서 중심동맥과 대엽동맥은 모두 3등급으로 잘 보였다. 분절동맥의 시각성 점수는 단일용량을 사용한 경우 2.83±0.32, 이중용량을 사용한 경우 2.85±0.3으로 두 군간의 통계적 의미는 없었다($P>0.05$). 모든 분절동맥의 추적이 MPR 영상에서 추적이 가능하였는데 단일용량을 사용한 경우 10예중 2예가 좌측내기저분절동맥(left medial basal segmental artery)가 보이지 않았고 2예에서는 불균질한 조영증강을 보였다. 다른 2예에서는 각각 우측외기저분절동맥, 우측내기저분절동맥에서 불균질한 조영증강을 나타냈다. 이중용량을 사용한 예에서는 10예중 1예가 좌측내기저분절동맥이 보이지 않았고 2예에서는 불균질한 조영증강을 보였다. 다른 1예에서 우측외기저분절동맥에서 불균질한 조영증강을 나타냈다. 두 군 모두에서 MIP 영상에서 정맥겹침이 관찰되어 동맥만을 평가하고자하는 영상에서 혼동을 주었다.

대조도대잡음비

두 군의 폐 MRA의 중심동맥, 대엽동맥, 분절동맥의 대조도대잡음비는 Table 1에 정리하였다. 각 중심동맥, 대엽동맥, 분절동맥의 대조도대잡음비의 차이는 통계적으로 의미있게 이중용량를 사용한 예에서 높았다($P<0.05$).



3



4

Fig. 3. MIP of a contrast-enhanced 3D pulmonary MRA with a single dose(23-second scan, breath-hold). In this anterior-posterior projection, central, lobar, segmental and even subsegmental arteries are visualized.

Fig. 4. MIP of a contrast-enhanced 3D pulmonary MRA with a double dose. More clear depiction of the pulmonary arteries is shown. Even with optimal bolus timing, some pulmonary venous opacification is unavoidable as this case does.

고 찰

저자들은 시간결정검사와 함께 조영증강 3차원 초고속 폐 MRA을 정상 자원자에서 시행하여 몇 예의 기저분절동맥을 제외하고 거의 모든 중심, 대엽, 및 분절동맥를 보고 평가할 수 있는 조영증강 폐 MRA를 얻을 수 있었다. 이중용량과 단일용량를 정맥주입후 폐 MRA를 얻어 정성적 및 정량적 분석을 하여 대조도대잡음비는 이중용량에서 의미있게 높았으나 전체 영상화질과 폐혈관시각화는 두 군에서 통계적으로 의미있는 차이는 없어 단일용량을 이용한 조영증강 폐 MRA도 임상적으로 사용할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 조영증강 3차원 초고속 MRA는 폐혈관뿐만 아니라 경동맥, 흉부 및 복부대동맥, 신동맥, 장간동맥, 말초동맥등의 혈관질환을 평가하는데 선별검사로 현재 널리 이용되고 있다(7, 8, 14, 15). 짧은 시간동안에 좋은 화질의 MRA의 영상화를 가능하게해준 주요요인으로는 3차원 체적영상획득, 호흡정지시 영상획득, 조영증강에 의한 혈관의 시각화, 시간결정검사등을 들 수 있다. 3차원 체적영상의 장점에 대해 Wielopolski 등이 정상자원자와 환자를 대상으로 3차원 폐 MRA를 시행하여 증명하였다(12). 3차원 케이공간채움(k-space filling)이 제공하는 평균화로인해 보다 높은 신호대잡음비를 제공하고, 또한 분절 또는 아분절동맥과 같은 작은 구조물을 잘 보여준다고 하였다. 3차원 체적영상의 장점은 Rubin 등에 의해서도 확인되었는데, 그들은 조영제를 이용한 2차원 및 3차원 폐 MRA를 비교하여 3차원 체적영상에서 교차대화(cross-talk)가 발생하지 않는 점을 지적하였다(4). Wielopolski 등은 보다높은 경사세기, 감소된 개폐시간(reduced switching time)과 같은 하드웨어의 지속적인 발전으로 3차원 자료를 적절한 시간에 얻을 수 있으리라고 지적하였는데(12), 향상된 gradient performance를 수행할 수 있는 초고속 경사를 이용하게 되어 보다짧은 최소 TR과 TE를 이용하여 자료처리가 가능해졌다. 과거 10-13분정도 소요되는 3차원 영상이 현재는 25 초동안 숨을 참는 상태에서 44개의 연속절편으로 전체 폐혈관을 포함하는 3차원 폐 MRA가 이용되고있다(10).

Foo 등은 초고속 경사에코 펄스 연쇄(ultrafast gradient-echo pulse sequence)를 이용한 다중 2차원 경사에코연쇄를 사용하여 호흡정지 동안에 폐 MRA를 얻어 호흡운동에 의한 인공물을 줄일 수 있었다(13). 그는 단일호흡정지를 이용하여 기존의 다중호흡정지의 검사에서 볼 수 있었던 오기(misregistration)과 흐려짐(blurring)을 없앨수 있었다. 조영제를 사용한 초고속 3차원 폐 MRA에서 호흡정지의 중요성은 Steiner등에 의해 입증되었다(14). 그들은 5명의 자원자에서 각각 호흡정지 및 얕은 호흡상태애서 조영제를 정맥주입하고 초고속 3차원 폐 MRA를 시행하여 얻은 각 영상을 비교하여 호흡운동이 영상화질과 혈관의 시각화를 심각하게 저하시키는 것을 보여주었다. 저자들이 시행한 20예의 폐 MRA는 23초의 호흡정지상태에서 모두 성공적으로 시행되었으나 과연 폐질환을 갖고 있는 환자가 23초의 호흡정지상태를 유지할 지는 의문이다.

조영증강 3차원 초고속 MRA의 조영증강 기전은 정맥을 통해 상자성 조영제를 주입하여 혈관내 조영제에 의해 혈액의 T1 이완시간을 짧게하는데 기초를 두고있다(5). 결과적으로 혈관조영은 더 이상 흐름에 의존하지 않고 오직 T1 단축에 관여한다. 조영제 주입의 장점은 T1 단축에의한 혈관의 신호강도증가외에도 적절한 혈관의 신호대잡음비를 유지하면서 더 높은 수신기대폭(receiver bandwidth)에서 표본추출(sampling)을 할 수있게되어 더 얇은 절편을 얻을 수 있고 주사시간(scan time)을 감소시킬 수 있다(4). 이 전의 연구들을 보면, 조영제 양을 40ml, 더 많이는 50-60mL까지 사용하고 있다(5-10). 물론 영상화질은 더 많은 양을 사용할수록 좋아질지도 모르지만, 조영제 양은 안전성과 비용등을 함께 고려하여 결정하여야할 것으로 생각한다. 더 적은 양으로 만족할만한 영상화질을 얻을 수 있다면 양을 줄일 수 있을 것으로 생각되어, 저자들의 이중용량와 단일용량의 조영증강 폐 MRA를 분석한 결과를 보면 대조도대잡음비는 이중용량에서 의미있게 높았으나 전체적인 영상화질과 폐혈관시각화에서는 두 군에서 통계적으로 의미있는 차이는 없어 단일용량의 조영증강 폐 MRA도 임상적으로 사용할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 12 명의 자원자를 대상으로 가돌리늄의 용량을 각각 0.05. 0.1, 0.2, 0.3mmol/kg로 바꾸어가며 시행한 조영증강 폐 MRA를 Schmidt 등이 정량적 및 정성적 분석을 하였다(16). 그들의 결과를 보면 0.05 mmol/kg의 용량은 폐혈관영상에 부적절하였으나 0.1 mmol/kg의 용량을 사용한 폐혈관영상은 분절동맥를 평가할 수 있는 좋은 영상이었다고 하여 저자와 같은 결론을 내리고 있다.

3차원 조영증강 MRA의 적절한 영상화질의 결정에 또한 조영제 덩어리(contrast bolus)의 정확한 시간조절이 요구된다. 이론적으로 혈관조영은 혈관내 조영제농도가 가장 높은 시기에 자료획득의 중간지점, 즉 케이공간의 가운데 부분이 채워질 때 가장 최대에 도달한다. 그 부분의 자료획득이 영상의 대조도를 결정하는 주요요인이기 때문이다(17). 60초이상 지속되는 속도가 늦은 영상획득 방법에서는, 10 내지 15 초의 오류가 생겨도 영상의 화질에 커다란 영향을 미치지 않는다. 그러나 불과 20초 전후에 이루어지는 초고속 MRA의 경우는 그렇지 않다. 10 내지 15초 정도의 오류가 영상의 화질을 심각하게 떨어뜨릴 수 있고 또한 조영제 양을 단일용량정도로 줄여 검사할 때는 더욱더 정확한 영상획득시간의 조절이 필요하다. 따라서 저자들은 Earls 등이 사용한 시간결정검사의 개념을 이용하였다(11). 그들은 1mL의 시험용량를 주고난 후 원위부 하행 흉부 대동맥(distal descending thoracic aorta)에서 횡단면 turbo-FLASH sequence를 이용하여 조영제 주입시작부터 최고동맥조영증강까지의 시간을 측정하고 영상획득의 지연시간을 다음과 같은 식으로 계산하였다. Ts = Td + Tg/2 - Ta/2, Ts = 조영제 주입시작부터 영상획득시작까지의 시간, Td = 조영제 주입시작부터 최고동맥조영증강까지의 시간, Tg = 조영제 주입기간, Ta = 영상획득시간. 그러나 저자들은 정맥으로 주사한 조영제는 정맥혈과 섞이므로 조영제주입기간과 실제 동맥조영기간과는 일치하지는 않는다고 생각하고 따라서 케이공간의 가운데 부분을 채우는 시기와 동맥조영기간의 중간시기가 적절히 맞지 않을 수도 있다고 생각하여 변형하여 시간결정

검사를 시행하였다. 시험주입의 양을 조영증강 폐 MRA의 영상획득시 사용하는 양과 동일하게 사용하여 시험주입으로 영상획득시 조영제주입 시작부터 최고조영증강시간을 직접 알 수 있으므로 보다 나은 영상화질을 얻을 수 있을 것으로 생각한다. 이 두 방법을 직접 비교하지는 않았으나 이론적으로는 저자들의 방법이 더 낫다고 생각한다.

이 연구의 단점으로는 첫째, 어쩔 수 없는 정맥의 겹침을 들 수있다. 상자성 조영제가 들어있는 혈관들은 모두 밝게 보이므로 후처리(postprocessing)로 해결하는 데는 한계가 있었다. 특히 MIP 영상에서 두드러져보여 동맥을 평가하는데 방해가 되는 구조물로 보였는데 MPR 영상에서는 동맥과는 다른 주행방향을 보여 쉽게 감별이 되었다. 폐 MRA를 평가하는데는 MIP 영상외에도 MPR 영상이 꼭 필요한 영상이라고 생각한다. 둘째, 앞에서도 지적한 바와 같이 저자들이 시행한 20예의 폐 MRA는 23초동안의 호흡정지상태에서 모두 성공적으로 시행되었으나 과연 폐질환을 갖고있는 환자가 23초동안의 호흡정지상태를 유지할 지는 의문이다. 폐질환을 갖고있는 환자에서는 공간분해능를 희생하더라도 영상행렬를 줄여 약 16 초 내지 18초정도의 무호흡상태를 유지하는 것이 더 좋은 영상화질을 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

결론적으로, 시간결정검사를 이용한 단일용량 및 이중용량를 이용한 폐 MRA는 건강한 대상자에서 중심 및 말초 혈관의 좋은 영상을 제공하여 조영제 양을 단일용량으로 낮출 수 있는 가능성을 보여주었다. 이 자기공명영상기법의 효용성을 입증하기 위해서는 환자를 대상으로한 전향적인 임상연구결과가 뒤따라야한다고 본다.

참 고 문 헌

1. White RD, Winkler ML, Higgins CB. MR imaging of pulmonary arterial hypertension and pulmonary emboli. *AJR* 1987 ; 149 : 15-21
2. Posteraro RH, Sostman HD, Spritzer CE, et al. Cine gradient-refocused imaging of central pulmonary emboli. *AJR* 1989 ; 151 ; 465-468
3. Macfall JR, Wu JJ, Sostman HD, et al. MR imaging of pulmonary emboli in a dog with 3D white blood fast gradient-echo sequences. *Radiology* 1992 ; 185(p) : 217
4. Rubin GD, Herfkens RJ, Pelc NJ, et al. Single breath-hold pulmonary magnetic resonance angiography. *Invest Radiol* 1994 ; 29 : 766-772
5. Prince MR, Yucel EK, Kaufmann JA, et al. Dynamic gadolinium-enhanced three-dimensional abdominal MR arteriography. *J Magn Reson Imaging* 1993 ; 3 : 877-881
6. Prince MR. Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994 ; 191 : 155-164
7. Prince MR, Narasinham DL, Stanley JC, et al. Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches. *Radiology* 1995 ; 197 : 785-792
8. Holland GA, Dougherty L, Carpenter JP, et al. Breath-hold ultrafast three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the aorta and the renal and other visceral abdomial arteries. *AJR* 1996 ; 166 : 971-981
9. Shetty AN, Shirkoda A, Bis KB, et al. Contrast-enhanced three-dimensional MR angiography in a single breath hold: a novel techique. *AJR* 1995 ; 65 : 1290-1292
10. Hatabu H, Gaa J, Kim DK, et al. Pulmonary perfusion and angiography: evaluation with breath-hold enhanced three-dimensional fast imaging steady-state precession MR imaging with short TR and TE. *AJR* 1996 ; 167 : 653-655
11. Earls JP, Rofsky NM, DeCorato DG, et al. Breath-hold single-dose gadolinium -enhanced three-dimensional MR aortography: usefulness of a timing examination and MR power injector. *Radiology* 1996 ; 201 : 705-710
12. Wielopolski PA, Haacke EM, Adler LP. Three dimensional MR pulmonary vascular imaging: prelimiary experience. *Radiology* 1992 ; 183 : 465-472
13. Foo TKF, Macfall JR, Hayes CE, et al. Pulmonary vasculature: Single breath-hold MR imaging with phased-array coils. *Radiology* 1992 ; 183 : 473-477
14. Steiner P, McKinnon GC, Ramanowski B, et al. Contrast-enhanced, ultrafast 3D pulmonary MR angiography in a single breath-hold: initial assessement of imaging performance. *J Magn Reson Imaging* 1997 ; 7 : 177-182
15. Leung DA, McKinnon GC, Davis CP et al. Breath-hold, contrast-enhanced three-dimensional MR angiography. *Radiology* 1996 ; 201 : 569-571
16. Schmidt M, Hany TF, Steiner P, et al. *Dose optimization of contrast-enhanced 3D MR angiography of the pulmonary and renal arteries* (*abstract*). In: Book of abstracts: Society of Magnetic Resonance in Medicine. Vancouver: Society of Magnetic Resonance in Medicine, 1997 ; 820
17. Mezrich R. Perspective on k space(tutorial). *Radiology* 1995 ; 195 : 297-315

J Korean Radiol Soc 1999;41:73-78

Assessment of Contrast-enhanced 3D Ultrafast Pulmonary MR Angiography Using Test Injection : Comparison between Single Dose and Double Dose[1]

Myung Gyu Kim, M.D., Yu Whan Oh, M.D., Kue Hee Shin, M.D.,
Kyoo Byung Chung, M.D., Won Hyuck Suh, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, Korea University Hospital*

Purpose : Contrast-enhanced 3-D ultrafast MR angiography is a widely accepted MR imaging technique for the evaluation of the carotid artery, aorta, renal artery, mesenteric artery and portal venous system. To estimate its clinical usefulness, single -and double- dose contrast-enhanced 3-D ultrafast pulmonary MR angiography was assessed after a timing examination was performed.

Materials and Methods : Twenty volunteers underwent gadolinium-enhanced ultrafast pulmonary MR angiography(3-D FISP, TR[msec]/TE[msec] = 5.0/2.0, with 25。 flip angle). In ten volunteers(single-dose injection group) pulmonary MR angiography was performed after the adminstration of 0.1 mmol/kg(single dose injection group), while the other ten(double-dose injection group) each received, prior to angiography, 0.2 mmol/kg. In all cases, a timing examination was performed during axial turbo-FLASH imaging(TR/TE/TI = 8.5/4.0/100, 10。 flip angle) after injection of the same dose as that used for subsequent contrast-enhanced pulmonary MR angiography. In both groups, overall image quality, pulmonary artery visibility and contrast-to-noise ratio of the pulmonary artery were assessed on the basis of images obtained.

Results : With regard to overall image quality, there was no significant statistical difference between the two groups ($P > 0.05$), and in both, depiction of the central and lobar pulmonary artery was excellent. As regards depiction of the segmental artery, the average grading of the single dose injection group was 2.83 ± 0.32, that of the double dose injection group was 2.85 ± 0.3, with no statistical significance($P > 0.05$). With respect to contrast-to-noise ratio of the central, lobar, and segmental arteries, the best results were obtained by the double dose injection group($P < 0.05$).

Conclusion: Although the contrast-to-noise ratio in the double-dose injection group was better than that in the single-dose group, differences in overall image quality and pulmoanry artery depiction were not statistically significant. Thus, single-dose, contrast-enhanced 3-D ultrafast pulmonary MR angiography can provide useful images in clinical trials.

Index words : Magnetic resonance imaging (MRI), three-dimensional
Pulmonary arteries, MR
Magnetic resonance imaging (MRI), vascular studies

Address reprint requests to : Yu Hwan Oh, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Korea University Hospital,
#126-1 Ka, Anam-Dong, Sungbuk-Ku, Seoul 136-071, Korea.
Tel. 82-2-920-5657 Fax. 82-2-929-3796