

## 경동맥의 초고속 조영증강 자기공명혈관조영술: 경동맥과 경정맥의 식판별에 대한 시간 조정변수의 최적화<sup>1</sup>

권우철 · 정태섭 · 주진양<sup>2</sup> · Daisy Chien<sup>3</sup> · Gerhard Laub<sup>3</sup>

**목 적 :** 초고속 삼차원 조영증강 자기공명혈관조영술로 경동맥 질환을 선별검사 할 때 경동맥과 경정맥의 식판별을 높이는 최적의 시간 조정변수를 정하고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 경동맥 협착증 및 뇌혈관 질환이 의심되는 환자 233명을 대상으로 다음과 같은 프로토콜에 의하여 시행한 경동맥 조영증강 자기공명혈관조영영상을 분석하였다. 환자는 지연시간과 획득시간에 따라 우선 세 군으로 나누어 전주정맥을 통한 조영제 수동주입 방식으로 최적의 시간 조정변수를 정하였다. 이렇게 구한 최적의 지연시간과 획득시간을 이용하여 자동주입방식으로 자기공명혈관조영영상을 시행하여 서로 비교하였다. 영상의 질은 신호강도를 기준으로 4등급으로 분류하였고, 경동맥과 경정맥의 식판별은 정맥의 조영증강의 정도에 따라 3등급으로 분류하였다.

**결 과 :** 지연시간 8초와 획득시간 7초로 조영제 수동주입을 시행한 군에서의 경동맥 영상의 질은 4등급 중 탁월한 등급이 95.0%, 동맥과 정맥의 식판별은 3등급 중 명확한 등급이 75.0%인데 반하여 지연시간 5초, 획득시간 9초의 군은 각각 70.0%, 50.0%이고, 지연시간 5초, 획득시간 7초의 군은 각각 84.6%, 61.5%이었다. 지연시간 8초와 획득시간 7초를 이용한 조영제 자동주입 군은 각각 89.0%, 83.0%로 수동주입군과 유의한 차이를 보이지 않았다.

**결 론 :** 경동맥 질환의 선별검사를 초고속 삼차원 조영증강 자기공명혈관조영술은 지연시간을 8초, 영상획득시간을 7초로 할 때 가장 적절한 영상을 얻을 수 있었으며 조영제 수동주입군과 자동주입군 사이에 큰 차이가 없었다.

경동맥 질환의 발견에 있어서 자기공명혈관조영술(magnetic resonance angiography)은 크게 유체속도 강조기법(time-of-flight sequence: TOF)과 위상차 대조기법(phase contrast sequence)으로 대별된다. 그러나 이러한 기법들은 심한 경동맥 협착 정도 및 협착후부 혈류의 흐름에 대한 정확한 평가는 불가능하였다. 최근 빠른 주사시간(scan time)의 촬영법이 개발되면서 일시주사(bolus injection)한 조영제의 T1 이완시간 감소 효과를 이용한 초고속 조영증강 자기공명혈관조영술(ultrafast contrast-enhanced MR angiography)이 가능하게 되었다(1, 2). 가장 이상적인 경동맥의 초고속 조영증강 자기공명혈관조영영상은 경정맥의 조영증강이 없이 조영제의 농도가 동맥에서 최고도일 때 얻을 수 있다. 이러한 최적의 경동맥 영상을 얻기 위하여 경동맥의 적절한 조영제의 농도에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으며 그 중에서 Gd-DTPA의 일시주사 시 두 배 용량(체중 1 Kg 당 0.2mmol)을 사용하는 것이 적절

하다는 연구 결과가 보고된 바 있다(3). 그러나 아직까지 영상을 얻는 시간(지연시간 [delay time] 및 획득시간 [acquisition time])에 있어서 정형화된 프로토콜(protocol)이 없는 실정이다.

본 연구에서는 초고속 삼차원 조영증강 자기공명혈관조영술(ultrafast three-dimensional contrast-enhanced MR angiography)로 경동맥의 질환을 선별검사를 최적의 지연시간 및 획득시간을 정하고자 하였다. 아울러 상기의 방식으로 조영제 주입방법을 달리하여 수동식과 자동식 주입방식을 실제 임상에서 실시하여 어느 주입방식이 경동맥의 묘사에 우월한지를 비교 평가하고자 하였다.

### 대상 및 방법

1997년 6월부터 1998년 1월까지 본원에 내원하여 경동맥 협착 및 뇌혈관 질환이 의심되어 초고속 삼차원 조영증강 자기공명혈관조영술을 시행한 환자 233명을 대상으로 하였으며 남자가 134명, 여자가 99명이었고 나이는 19세에서 90세까지. 평균 55세였다.

<sup>1</sup>연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실 연세대학교 방사선의과학연구소

<sup>2</sup>연세대학교 의과대학 신경외과학교실

<sup>3</sup>Siemens AG, Germany

이 논문은 1998년 6월 10일 접수하여 1998년 8월 31일에 채택되었음.

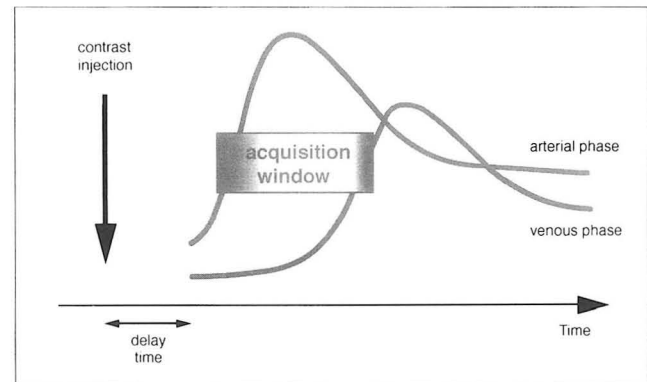
모든 환자에서 조영제 주입 시작 시점부터 정해진 지연시간이 경과한 후 동일한 영상 획득시간의 자기공명혈관조영술을 시간 간격이 없이 연속하여 네차례(4 phase) 반복 시행하였다. 이때 환자는 지연시간과 획득시간의 변화에 따라 4개의 군으로 나누었다. 환자의 배열은 순서대로 첫 환자 군을 검사한 후에 다음 군의 시간 변수에 따라 진행하였다. 먼저 처음 세 군은 조영제의 수동주입방식을 이용한 군이다. 첫번째 군은 지연시간 5초 후에 획득시간 9초를 사용한 60명을 대상으로 하였다. 조영증강 자기공명혈관조영술의 시간-신호강도 곡선을 고려하면, 조영증강 된 동맥만 선택적으로 얻기 위해서는 동맥기에서 조영제의 농도가 최대인 동시에 정맥기로 조영제가 유입, 혼합되기 전의 영상획득기간창(acquisition window) 내에 영상을 얻어야 한다(Fig. 1). 두번째 군은 보다 선택적인 동맥기를 얻기 위하여 영상획득기간창을 좁게하여 획득시간을 7초로 정하였으며 지연시간은 5초를 사용하여 13명을 대상으로 하였다. 그리고 지연시간 8초와 획득시간 7초의 세번째 군은 60명을 대상으로 하였다. 가장 좋은 일시조영효과를 얻기 위하여 첫번째와 세번째 군에서 케이공간 중심부의 자료획득이 조영제 주입시작부터 18.5초에 되도록 하였으며 따라서 이는 제2기(phase)의 영상획득에 해당한다. 네번째 군은 100명을 대상으로 하였으며 지연시간 8초와 획득시간 7초의 시간 조정변수로 조영제 자동주입기(Spectris MR Injector, model SBT 200; MedRad, Pittsburgh, USA)를 이용하였다.

모든 환자의 좌측 전주정맥(antecubital vein)으로 체중 1 Kg 당 0.2mmol의 조영제(Magnevist, Schering, Germany)를 18-Gauge 정맥 내 도관을 이용하여 주입하였다. 수동주입시는 5초 내에 20ml를 일시적 주사하였고, 자동주입시는 4 ml/sec의 속도로 주사하였다. 양자 모두 그 직후 20ml의 생리 식염수를 같은 도관을 통해 즉시 주사하여 조영제의 전량이 정맥 내로 주입되도록 하였다.

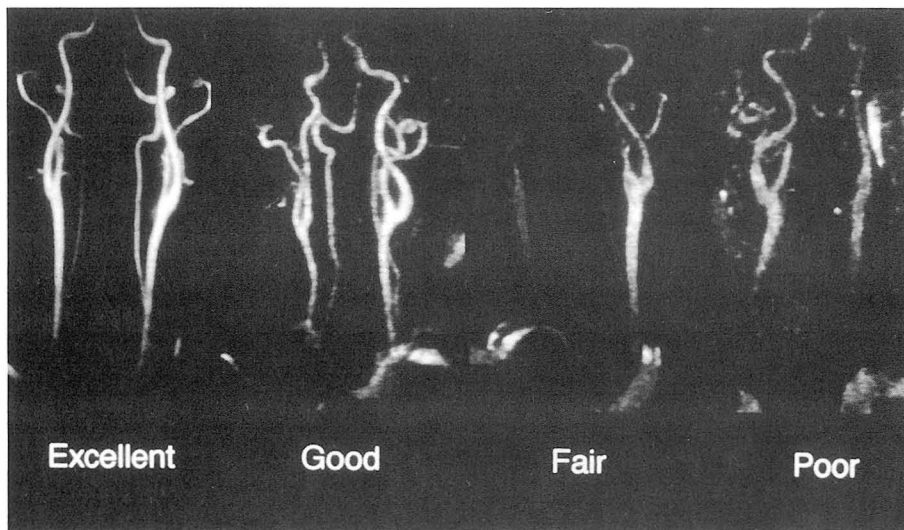
1.5T 초전도형 자기공명영상기기인 Magnetom Vision(Siemens AG, Erlangen, Germany)을 이용하였고 경동맥 영상을

주로 얻기 위하여 Neck CP array 코일을 사용하여 경동맥 분지부가 중심이 되도록 하여 촬영하였다. 초고속 조영증강 자기공명혈관조영 영상기법으로는 FISP 기법( $TR/TE/FA = 3.2/1.1/35^\circ$ )을 이용하였다. 획득시간 9초의 군은 행렬(matrix)  $96 \times 160$  화소, 관찰시야(field of view: FOV)  $175 \times 280$ , 판두께(slab thickness)는 80mm으로 촬영하였고, 획득시간 7초의 군은 각각  $87 \times 160$  화소,  $130 \times 260$ , 70mm이었다. 최대강도투사(maximum intensity projection: MIP)로 재구성한 관상면 영상은 두 명의 방사선과 의사에 의해 독립적으로 분석되었다. 환자의 임상적 정보없이 다음과 같은 기준에 의하여 분류하였다.

경동맥 영상의 질은 관찰자의 육안으로, 신호강도(signal intensity)의 균일성(homogeneity), 균등 분포(uniform distribution), 밝기(brightness)를 고려하여 'Excellent'(선명하게



**Fig. 1.** Timing of contrast injection and data acquisition of ultrafast 3D contrast-enhanced MR Angiography of the carotid artery. Imaging acquisition is delayed after beginning of contrast injection. To fill the central K space during the period of peak arterial enhancement, the midpoint of data acquisition is adjusted to coincide with the midpoint of peak arterial enhancement.



**Fig. 2.** Demonstration of the image quality of ultrafast 3D contrast-enhanced MR angiography of the carotid artery.

보인다), 'Good'(웬만큼 보인다), 'Fair'(희미하게 보인다), 'Poor'(보이지 않는다)로 구분하였다(Fig. 2). 경동맥과 경정맥의 식판별은 경동맥이 'Excellent' 또는 'Good' 등 최고의 조영증강을 나타내는 영상에서 경정맥의 조영증강이 전혀 없을 때 'Definite'으로 정하였고, 경정맥의 조영증강이 나타나면 'Subtle', 경정맥의 조영증강이 두드러져서 경동맥과의 식판별이 어려울 때를 'Mixed'로 정하였다(Fig. 3). 이러한 구분은 네 차례의 연속 영상 중 가장 좋은 영상으로 비교하였다. 그리고 최대의 식판별을 나타낸 상을 선택하여 조영제의 수동 및 자동 주입방식에 따른 일시조영효과를 비교하였다.

자료의 통계적인 분석으로 영상 질의 'Excellent' 등급과 식판별의 'Definite' 등급의 각 군간의 유의성에 대하여 Pearson's Chi-square test를 사용하였다. 조영제의 수동 및 자동 주입방식의 일시조영효과는 Continuity Adj. Chi-square test를 사용하였다. 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰구간에서 유의성을 검정하였다.

## 결 과

자기공명혈관조영영상에서 188예는 특별한 이상 소견을 발견하지 못하였고, 편측 경동맥 협착을 31예, 양측 경동맥 협착은 14예를 관찰하였다.

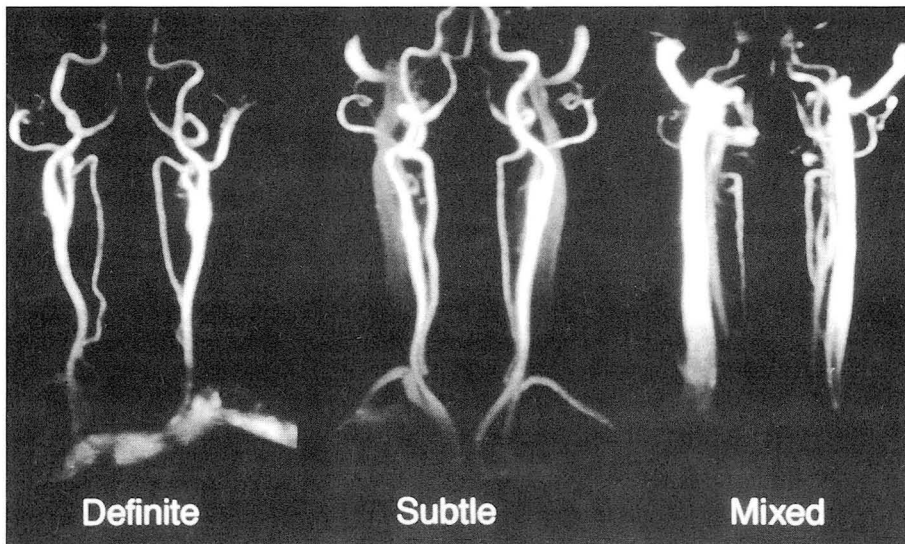
경동맥 영상의 질은 'Excellent' 등급이 지연시간 5초와 획득시간 9초로 자기공명혈관조영술을 시행한 첫번째 군에서 70.0%, 지연시간 5초와 획득시간 7초의 두번째 군은 84.6%, 지연시간 8초와 획득시간 7초의 세번째 군은 95.0%이었다( $p = 0.001$ ) (Table 1). 경동맥과 경정맥의 식판별 정도는 'Definite' 등급이 지연시간 5초와 획득시간 9초로 시행한 첫번째 군에서 50.0%, 지연시간 5초와 획득시간 7초의 두번째 군은 61.5%, 지연시간 8초와 획득시간 7초의 세번째 군은 75.0%를 나타내었다( $p = 0.002$ ) (Table 2). 따라서 지연시간 8초와 획득시간 7초의 시간 조정변수가 영상의 질과 식판별에 있어 가장 우수하였다.

자동주입방식과의 비교를 위하여 수동주입방식에서 결론을 내린 최적의 시간 조정변수를 이용하였다. 100명을 대상으로 실시한 결과, 'Excellent' 등급의 영상의 질은 89.0%, 경동맥과 경정맥의 식판별은 'Definite' 등급이 83.3%으로 나타났다. 이는 수동주입방식과 비교하여 볼 때 통계적 유의한 차이를 보이지 않았다( $p = 0.307$ ) (Table 1, 2).

모든 환자에서 연속적으로 얻어진 네 개의 혈관조영상에서 조영증강 및 경동맥과 경정맥의 식판별 정도가 가장 적절히 이루어진 시기를 분류하였다. 8초의 지연시간 후 7초의 획득시간을 이용한 조영제의 수동주입방식의 군에서 식판별이 가장 적절한 시기는 1기에서 13.3%, 2기는 48.3%, 3기는 36.7%, 그리

**Table 1.** Image Quality of Carotid Artery on Ultrafast Contrast-Enhanced MR Angiography

Delay time/Acquisition time	Excellent	Good	Fair	Poor
Manual Injection				
Group 1 5 sec / 9 sec	42 (70.0%)	9 (15.0%)	5 (8.3%)	4 (6.7%)
Group 2 5 sec / 7 sec	11 (84.6%)	2 (15.4%)		
Group 3 8 sec / 7 sec	57 (95.0%)	3 ( 5.0%)		
Mechanical Injection				
Group 4 8 sec / 7sec	89 (89.0%)	7 ( 7.0%)	3 (3.0%)	1 (1.0%)



**Fig. 3.** Demonstration of the discrimination of the arterial phase from the venous phase on ultrafast 3D contrast-enhanced MR angiography of the carotid artery.

**Table 2.** Discrimination of Arterial Phase from Venous Phase on Ultrafast Contrast-Enhanced MR Angiography of Carotid Artery

Delay time/Acquisition time	Definite	Subtle	Mixed
<b>Manual Injection</b>			
Group 1 5 sec / 9 sec	30 (50.0 %)	21 (35.0 %)	9 (15.0 %)
Group 2 5 sec / 7 sec	8 (61.5 %)	5 (38.5 %)	
Group 3 8 sec / 7 sec	45 (75.0 %)	15 (25.0 %)	
<b>Mechanical Injection</b>			
Group 4 8 sec / 7 sec	83 (83.0 %)	13 (13.0 %)	4 (4.0 %)

고 4기는 1.7%의 분포를 나타내었다. 이에 반하여 조영제의 자동주입방식의 군은 1기에서 0%, 2기에서 68.0%, 3기는 26.0%, 그리고 4기는 6%의 분포를 보였다. 따라서 조영제의 일시조영 효과는 자동주입기를 사용한 군(68.0%)이 같은 시간 조정변수의 수동주입방식의 결과(48.3%)보다 월등하였다( $p = 0.022$ ).

## 고 찰

자기공명혈관조영술은 비침습적인 검사방법이면서 조영제의 부작용이 극히 드물어 경동맥 내막절제술(carotid endarterectomy)전의 검사방법으로써 고식적인 경피혈관조영술을 대체하려는 과정 중에 있다(4, 5, 6). 최근 삼차원 유체속도강조 자기공명혈관조영술이 임상에서 가장 널리 이용되고 있으며 이는 이차원 유체속도 강조기법에서 흔히 발생하는 절편오동등록효과(slice misregistration artifact)를 제거할 수 있는 기법이다. 이러한 기존의 조영제를 사용하지 않는 자기공명혈관조영술에 비하여 초고속 조영증강 자기공명혈관조영술은 in-plane saturation을 제거하여 보다 정확한 협착부위를 관찰할 수 있으며 T1 이완시간을 짧게 하여 유동인공물(flow artifact)을 줄일 수 있는 새로운 기법이다(7). 또 slice interpolation 기법을 함께 사용함으로써 케이공간의 일부(60% 내외)에만 자료를 넣음으로써 촬영시간을 줄일 수도 있다. 따라서 평균 40%까지 촬영시간이 감소될 수 있으므로 절약된 시간을 기본 절편영상을 더 얇게 만들 수 있거나 해상도를 높이는 데 이용할 수 있다. 또한 촬영시간의 단축으로 환자의 호흡에 의한 운동인공물을 줄일 수 있으며 정맥기의 출현을 최대한 억제할 수 있고 조영제의 과다 사용을 자제할 수 있어 초고속 조영증강 자기공명혈관조영술은 점차 보편화되고 있다.

급속획득기법을 이용한 초고속 조영증강 자기공명혈관조영술은 자료획득(data acquisition)과 연관한 적절한 조영제 주입의 시기가 영상의 질을 좌우하는 관건이다(8). 이론적으로 동맥기에서의 최대 조영증강 시기는 케이공간의 중심부가 채워지는 자료획득의 시기와 일치하여야 하며 그렇지 않으면 영상이 흐려지거나 혈관의 조영증강이 균등하지 않다. 따라서 자료획득의 최적의 시간을 알아내기 위하여 여러 방법들을 이용하기도 한다. 약 1ml정도 적은 양의 조영제를 미리 주입하여 최고의 동맥 조영증강시간을 알아낸 후 검사를 시행하는 방법이 있다(9). 이 방법은 실제 검사시간 이외의 시간이 필요하다는 것

과 미리 주입된, 비록 적은 양이기는 하나, 조영제의 영향으로 배경조직의 조영증강효과가 나타나는 단점이 있으며 소량의 조영제 유입에 따른 혈류흐름과 대량의 유입에 따른 혈류흐름의 통과지연효과가 다를 수 있다. 최근 조영제의 감지 및 자료획득의 시작을 실시간 이차원 평면촬영하여 자동으로 해결하는 방법이 개발되는 추세이다(10, 11). 이 방법 또한 긴 검사시간이 필요하다는 것과 동맥기와 정맥기의 분별력이 떨어지는 단점이 있다. 또한 환자의 호흡이나 움직임에 의하여 제대로 유발(triggering)이 안되면 실패를 거두지 못하며 어느 정도 경험적 요소의 지연시간이 첨가된다.

이번 연구에서는 단지 선별검사가 목적인 경우도 많이 있었지만 심각한 증상이 있음에도 불구하고 침습적인 고식적 혈관조영술을 꺼려 하는 경우도 있었다. 따라서 검사방법이 간편하고 신속하면서도 한편으로는 뇌 및 경동맥 질환의 비중을 고려할 때 질병의 유무 및 정도를 평가할 수 있는 양질의 영상이 필요하였다. 따라서 불특정 다수의 환자에게 시도하더라도 어느 정도 이상의 영상을 얻을 수 있는 간편한 조영주입방법의 개선이 시급하였다. 이러한 모든 개인의 정확한 순환시간을 미리 알기에는 어느 정도 한계가 있음을 전제로 하고, 영상을 얻는 시간을 일률적으로 정하였다. 정맥을 통한 일시주사 후 첫 순환의 조영제의 농도는 전체 혈액과 희석된(즉 재순환된) 후보다 높다. 실제 첫 순환의 조영제의 농도는 환자의 혈액순환 속도, 심박출량, 심장박동률, 나이, 체격, 그리고 혈관 질환의 유무 및 정도에 따라 다르다. 일반적으로 한 고정된 시점에서 동맥기를 얻는다면 경우에 따라 적절한 영상을 얻지 못할 가능성이 있는 것이 사실이다. 따라서 저자들은 임의로 고정된 시점에서 한번의 동맥기를 얻는 대신 조영제 주입 후 빠른 영상획득시간으로 짧은 시간 내에 다수의 연속 영상을 얻어 어느 시점에서인가는 촬영될 수 있도록 하여 동맥기에 대한 개인적 편차범위를 극복하고자 하였다. 이번 연구의 결과로 이러한 동맥기의 개인적 편차범위는 짧은 영상 획득시간에 의해 극복되었음을 밝힐 수 있었다. 경동맥의 최적의 자료획득시간에 관하여 지금까지 발표된 결과(12, 13) 및 이번 연구 결과를 바탕으로, 크게 세 가지의 요소가 결정적인 역할을 하는 것으로 생각된다. 같은 케이공간의 중앙점임에도 불구하고 자료획득시간이 더 짧을 수록(즉 영상 획득시간 창을 더 좁힐수록) 영상의 질이 높아졌으며, 적절한 지연시간이 동맥과 정맥간의 식별을 높일 수 있는 요소가 되었다.



급속자료획득기법을 이용한 이번 연구에서는 조영제의 수동 주입으로도 경동맥 영상의 질 및 정맥과의 분별력을 높은 수준으로 유지할 수 있다. 조영제의 수동주입은 사용하기 쉽고 환자와의 직접적인 접촉을 통하여 안심을 시키며, 호흡정지(breath-hold)를 직접 지시할 수 있는 등의 장점이 있다. 이러한 요건들과 조영제 자동주입기가 보편화되지 않음을 고려할 때 아직까지 수동주입을 선호하는 실정이다. 이와 반대로 조영제 자동주입의 장점으로는 주입 속도가 엄격히 지켜지며 생리식염수 정주(saline flushing)에 따른 시간 오차를 줄일 수 있다. 즉 빠른 속도의 조영제 주입은 조영제가 폐순환계를 거치는 동안에 희석되어 필요이상의 조영증강 지연과 동시에 원치 않는 정맥 조영증강이 되는 것을 억제할 수 있는 장점이 있다. 그러나 지금까지 두 가지 조영제 주입방법에 대한 객관적인 비교 결과는 충분하지 않았다. 간 자기공명영상의 간동맥기의 최적화에 관하여 조영제의 자동주입 조영증강 자기공명영상(93%)이 수동주입영상(61%)보다 성공적이라는 연구가 보고된 바가 있으나(14), 저자들이 시행한 경동맥 자기공명혈관조영영상에서의 결과와는 차이가 있었다. 영상의 질 및 경동맥과 경정맥간의 식판별 정도는 두 가지 방식간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만 조영제의 일시조영효과에 있어서 자동주입방법이 수동주입방법에 비하여 우수한 결과를 나타내었다.

결론적으로 선별검사를 목적으로 시행한 경동맥의 초고속 삼차원 조영증강 자기공명혈관조영술은 지연시간이 8초, 영상획득시간이 7초일 때가 가장 적절한 영상을 얻을 수 있었다. 일시조영효과는 조영제 자동주입기를 사용할 때가 우수하였으나 수동주입만으로도 영상의 질 및 경동맥과 경정맥의 식판별에는 큰 차이가 없었다.

## 참 고 문 헌

- Bongartz GM, Boos M, Winter K, Ott HW, Scheffler K, Steinbrich W. Clinical utility of contrast-enhanced MR angiography. *Eur Radiol* 1997; 7(suppl. 5):S178-S186
- Leung DA, McKinnon GC, Davis CP, Pfammatter T, Krestin GP, Debatin JF. Breath-hold, contrast-enhanced, three-dimensional MR angiography. *Radiology* 1996; 200: 569-571
- Chung T-S, Lee DH, Hong KS, et al. What is optimal dose of Gd-DTPA in aortic blood during breath-hold 3D-TOF MRA? In Oudkerk M, Edelman RR *High-power gradient MR-imaging*. Berlin: Blackwell Science, 1997; 313-314
- Nicholas GG, Osborne MA, Jaffe JW, Reed III JF. Carotid artery stenosis: preoperative noninvasive evaluation in a community hospital. *J Vasc Surg* 1995; 22: 9-16
- Vanninen RL, Manninen HI, Partnen PK, Tulla H, Vanio PA. How should we estimate carotid stenosis using magnetic resonance angiography. *Neuroradiology* 1996; 38: 299-305
- Patel MR, Kuntz KM, Klufas RA, et al. Preoperative assessment of the carotid bifurcation. *Stroke* 1995; 26: 1753-1758
- Prince MR. Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994; 191: 155-164
- Mezrich R. A perspective on k space (tutorial). *Radiology* 1995; 195: 297-315
- Earls JP, Rofsky NM, DeCorato DR, Krinsky GA, Weinreb JC. Breath-hold single-dose Gadolinium-enhanced three-dimensional MR aortography: usefulness of a timing examination and MR power injection. *Radiology* 1996; 201: 705-710
- Foo TKF, Saranathan MS, Prince MR, Chenevert TL. Automated detection of bolus arrival and initiation of data acquisition in fast three-dimensional, gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology* 1997; 203: 275-280
- Prince MR, Chenevert TL, Foo TKF, Londy FJ, Ward JS, Maki JH. Contrast-enhanced abdominal MR angiography: optimization of imaging delay time by automating the detection of contrast material arrival in the aorta. *Radiology* 1997; 203: 109-114
- Boos M, Scheffler K, Seelig J, Bongartz G. First pass contrast-enhanced MR angiography, timing and contrast agent concentration in carotid imaging. In: Book of abstracts: International Society for Magnetic Resonance in Medicine 1997. Vancouver, Canada: International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 1997; 204
- Hany TF, McKinnon GC, Pfammatter T, Debatin JF. Optimization of contrast timing for breathhold 3D MR angiography. In: Book of abstracts: International Society for Magnetic Resonance in Medicine 1997. Vancouver, Canada: International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 1997; 786
- Earls JP, Rofsky NM, DeCorato DR, Krinsky GA, Weinreb JC. Hepatic arterial-phase dynamic gadolinium-enhanced MR imaging: Optimization with a test examination and a power injector. *Radiology* 1997; 202: 268-273

## Ultrafast Contrast-Enhanced MR Angiography of the Carotid Artery : Time Optimization for Discrimination of the Arterial from the Venous Phase<sup>1</sup>

Woo-Cheol Kwon, M.D., Tae-Sub Chung, M.D., Jin-Yang Joo, M.D.<sup>2</sup>,  
Daisy Chien, Ph.D.<sup>3</sup>, Gerhard Laub, Ph.D.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>*Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine  
Research Institute of Radiological Science, Yonsei University*

<sup>2</sup>*Department of Neurosurgery, Yonsei University College of Medicine*

<sup>3</sup>*Siemens AG, Germany*

**Purpose:** To investigate the optimal delay and acquisition time for discrimination of the arterial from the venous phase in ultrafast 3D contrast-enhanced MR angiography of the carotid artery.

**Materials and Methods:** We reviewed the MR angiographic findings of 233 patients in whom carotid stenosis and cerebrovascular disease were suspected. On the basis of delay and acquisition time they were divided into four groups. In the first three, contrast material was injected manually, and after the optimal time, mechanical injection was used for the last group. On the basis of signal intensity of the carotid artery, image quality was graded in four steps. Discrimination of the arterial from the venous phase was graded in three steps, based on the degree of venous enhancement.

**Results:** The best grade of image quality was 70% in the first group, 85% in the second, and 95% in the third. In discrimination of the arterial-venous phase, the most definite grade was 50% in the first group, 62% in the second, and 75% in the third. Between manual and mechanical injection groups, there was no significant difference in image quality and discrimination of the arterial-venous phase.

**Conclusion:** These results suggest that for ultrafast 3D contrast-enhanced MR angiography of the carotid artery, with manual injection of contrast material, 8-second delay time and 7-second acquisition time are optimal.

**Index words:** Carotid arteries, MR

Magnetic resonance (MR), contrast enhancement

Magnetic resonance (MR), vascular studies

Address reprint requests to: Tae-Sub Chung, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine, YongDong Severance Hospital, # 146-92, Dogok-Dong, Kangnam-Ku, Seoul, 135-270, Korea  
Tel. 82-2-3497-3514, Fax. 82-2-3462-5472