

## 혈류에 의한 조영제 peak time의 산출에 관한 연구

최관우<sup>1</sup>, 손순룡<sup>1\*</sup>, 이호범<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>서울아산병원 영상의학과

### A study of calculate a time to peak enhancement of contrast level by using blood flow

Kwan-Woo Choi<sup>1</sup>, Soon-Yong Son<sup>1\*</sup> and Ho-Beom Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Asan Medical Center

**요약** 본 연구는 혈류에 의한 조영제 peak time을 산출하는 새로운 방법을 개발하여 기존의 수식에 의한 부작용을 최소화 하고, 대체할 수 있는 새로운 검사법을 제시하고자 하였다. 시험적조영제주입법을 이용하여 CE MRA를 검사한 환자 127명을 대상으로, 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time이 조영제 주입 후 혈류에 의한 영상화 범위의 어느 뇌혈관 측정값과 일치하는지 각 뇌혈관의 조영제 inflow time과 peak time을 측정하였다. 연구결과, 유의수준 0.05에 대한 4개의 집단 간 차이가 존재하였으나 집단 1에서 수식에 의해 산출된 조영제 peak time과 S상 정맥동의 조영제 inflow time이 통계적으로 유의한 차이가 없어 일치하였으며, Bland Altman plot를 시행한 결과 일치도가 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구의 혈류에 의한 새로운 방법을 적용한다면, 부작용 가능성을 최소화 하고, 영상의 질은 유지하면서, 쉽고 빠르게 적용할 수 있어, 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time을 대체 할 수 있으리라 사료된다.

**Abstract** This study attempt to develop and suggest a new, minimize side effects process for calculate a time to peak enhancement of contrast level by using blood flow instead of current mathematical process. We conducted a studies 127 patients who performed the CE MRA by using test-contrast inject way. We used measurements of a contrast inflow time and time to peak enhancement of contrast level of each cerebrovascular branch for similarity of witch cerebrovascular branch calculate a time to peak enhancement of contrast level by using blood flow in image compared with calculation a time to peak enhancement of contrast level by using current mathematical process after contrast enhancement. In this study, confidence interval were used if the variable is continuous variable; there is differences between 4 groups exist but in group 1, there is no difference with time in peak enhancement of contrast level by using mathematical method to inflow time in sinus sigmoideus. it was significant statistically, in addition there was significant low heterogeneity in Bland Altman plot. Thus, apply a new calculate a time to peak enhancement of contrast level by using blood flow method will minimize damage caused by side effect, maintain quality of image, easy and fast access. It should provide a space for the exchange of current calculate a time to peak enhancement of contrast level by using mathematical process.

**Key Words** : Blood flow, CE MRA, Contrast medium peak time, NSF, Test bolus method

### 1. 서론

자기공명혈관조영술(magnetic resonance angiography, 이하 MRA)은 뇌혈관의 협착 및 폐색, 뇌동맥류를 비롯한 각종 뇌혈관질환의 조기진단 검사로 널리 이용되고

있다[1]. MRA는 전리방사선을 이용한 기존의 혈관조영술(digital subtraction angiography) 및 전산화단층촬영 혈관조영술(computed tomographic angiography)과 달리 인체에 무해한 자기장과 비전리 방사선인 라디오 고주파를 이용하여 검사하는 비침습적인 방법으로[2], 뇌혈관의 형

\*Corresponding Author : Soon-Yong Son(Asan Medical Center)

Tel: +82-10-3230-6281 email: son6392@hanmail.net

Received February 12, 2013

Revised April 1, 2013

Accepted May 9, 2013

태학적 정보와 혈액학적 정보를 제공하는 장점으로 인해 검사건수가 점차 증가하고 있는 실정이다[1,3].

뇌혈관을 검사하는 MRA 기법으로는 조영제를 사용하는 조영증강기법(contrast enhanced, 이하 CE MRA)과 조영제를 사용하지 않는 유체속도 강조기법(time of flight), 그리고 위상대조기법(phase contrast)기법이 있다 [3,4].

조영제를 사용하지 않는 기법은 조영제로 인한 부작용을 최소화 할 수 있으나[5], 영상획득 시간이 지연되어 환자의 움직임이나 호흡으로 인하여 양질의 영상을 얻기 힘들고[2], 영상화 범위가 윌리스 환(circle of willis)을 중심으로 근위부 혈관에 국한된다. 또한 혈관의 크기에 따른 혈류속도에 민감하여 신호감소가 항상 발생한다는 문제점을 안고 있다[3,6].

이에 반해 조영제를 사용하는 기법은 영상화 범위가 넓고, 혈류속도에 따른 신호감소가 없으며, 짧은 TR, TE를 이용하여 혈액 내 T1를 단축시켜 짧은 시간 내에 주변 조직의 포화정도에 비해 혈액의 포화를 적게 함으로써 우수한 혈관영상을 얻을 수 있다[1,7].

그러나 고화질의 뇌혈관영상을 얻기 위해서는 조영제 주입 후 영상획득을 시작하는 시기(timing)의 결정이 매우 중요하다[3]. 즉 정맥으로 주입된 조영제가 대순환 후 뇌혈관에 머물러 있는 짧은 시간동안 혈관영상을 획득해야 하는 문제점이 있다. 왜냐하면 조영제가 뇌혈관에 도달하지 않은 시점에 영상획득 시 혈관영상을 얻을 수 없고, 이미 조영제가 뇌혈관을 빠져나간 시점에서 영상획득 시 정맥과 동맥이 혼재하여 구분할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 임상에서는 CE MRA검사 시 실시간조영제추적법(real time bolus tracking)과 시험적조영제주입법(test bolus injection)을 사용하고 있다[8].

실시간조영제추적법은 조영제 주입 후 육안으로 뇌혈관과 조직의 대조도 차이가 최고치에 이르는 시점에서 조영증강 영상을 얻는 방법이다[9]. 검사방법이 비교적 간단하지만 정량적인 방법이 아닌 검사자의 주관적인 판단에 의존하여 진행하므로, 뇌혈관의 최대 조영증강시점이 검사자마다 달라 검사 실패율이 높다. 이로 인해 대부분의 병원에서는 시험적조영제주입법을 사용하여 검사를 시행한다[3].

시험적조영제주입법이란 MRA 영상을 얻기 전에 1-2 cc 가량의 소량의 조영제를 시험적으로 주입하여 시간의 변화에 따른 신호강도곡선(time intensity curve)을 획득한 다음, 조영제에 의한 신호강도가 정점에 이루는 시간(peak time, 이하 조영제 peak time)을 산정하여 실제 검사에 이용하는 방법이다[10].

이는 검사자의 편견 없이 정량적인 방법으로 개개인에

맞는 조영증강 영상을 구할 수 있다는 장점이 있으나 매우 복잡한 수식을 이용하여 조영제 peak time을 계산해야 하므로 검사시간이 증가하며, 계산의 착오로 인하여 조영제 peak time이 정확하지 않을 경우 양질의 혈관영상을 획득할 수 없어 재검사가 필요하다.

재검사는 조영제가 몸속에서 제거되는 일정시간(최소 12시간, 최대 24시간)이 필요하므로 진단과 치료가 늦어지고 비용이 증가한다. 또한 독성이 강한 가돌리늄 조영제의 추가 사용은 치명적인 신원성 전신섬유증(nephrogenic systemic fibrosis)의 발생을 증가시키는 요인이 될 수 있으며, 신장질환이 있는 환자의 경우 심각한 부작용을 초래한다[11].

이러한 문제점에도 불구하고 대부분의 의료기관에서는 마땅한 대안이 없어 복잡한 수식으로 조영제 peak time을 계산하여 검사를 시행하고 있는 실정이다.

저자들은 다년간 임상에 임하면서 조영제를 주입하였을 때 혈류에 의해 영상화 범위의 각 뇌혈관에 일정하게 도달한다는 사실을 인지하게 되었다.

이에 착안하여 본 연구에서는 혈류에 의한 조영제 peak time을 산출하는 새로운 방법을 개발하여 기존의 수식에 의한 부작용을 최소화 하고, 대체할 수 있는 새로운 검사법으로 제시하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

2012년 11월부터 2013년 2월까지 시험적조영제주입법을 이용하여 CE MRA를 검사한 환자 158명을 대상으로 하였다. 이중 측정의 정확도를 높이기 위해 심장질환이나 혈관질환자 31명을 제외한 조기 진단검사 환자 127명을 분석의 대상으로 하였다[Table 1].

[Table 1] Departments subjects

Department	Frequency	Percent(%)
Neurology	63	39.9
Health medicine	17	10.8
Liver transplantation surgery	13	8.2
Cardiology	12	7.6
Gastrointestinal medicine	11	7.0
Cardiovascular surgery	11	7.0
Vascular Surgery	8	5.1
Neurosurgery	6	3.8
The others	17	10.8
Total	127	100

## 2.2 연구방법

연구방법은 시험적조영제주입법을 이용하여 획득한 영상에서 경동맥(common carotid artery)에 10 mm<sup>2</sup>의 ROI(region of interest)를 설정하여 시간의 변화에 따른 신호강도곡선을 구한 다음, 식 1을 이용하여 기존의 조영제 peak time을 산출 하였다[3].

$$delay\ time = \left( \frac{time_1 + time_2}{2} \right) - time_3 \quad (1)$$

time<sub>1</sub> : transit time

time<sub>2</sub> : infusion time

time<sub>3</sub> : time to center of k-space

산출된 조영제 peak time이 조영제를 주입하였을 때 혈류에 의해 영상화 범위의 각 뇌혈관의 어느 부분과 일치하는지 알아보기 위해 뇌혈관 영상에서 보이는 각 뇌혈관{S상 정맥동(sigmoid sinus), 내경정맥(internal jugular vein)}에 10 mm<sup>2</sup> ROI를 설정하여 각 혈관의 조영제 inflow time 및 조영제 peak time을 측정하였다. 이를 토대로 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time이 어느 뇌혈관의 측정값과 일치하는지 비교 평가 하였다[Fig. 1].



① Common carotid artery ROI  
② Sigmoid sinus ROI  
③ Internal jugular vein ROI

[Fig. 1] Contrast media inflow time and measured peak time for ROI setting

시험적 조영제 주입은 혈관에 따른 편차를 줄이기 위해 오른손의 천정맥(superficial vein)을 이용하여, 임상에서 일반적으로 사용하는 검사방법(2 ml/sec의 속도로 1 ml의 조영제량)[3]으로 자동주입기(Spectris Solaris EP, medrad)를 이용하여 주입하였다.

## 2.3 영상획득 및 기법

영상획득 장비로 3.0T 초전도 자기공명영상장치(Achieva, Philips medical system)와 16 channel SENSE

NV 코일을 사용하였다. 영상기법은 FFE(fast field echo) 기법으로 SPIR(spectral presaturation with inversion recovery)영상을 얻었으며, 사용된 영상변수로는 반복시간(TR) 17 msec, 에코시간(TE) 2.1 msec, 속임각(flip angle) 30°, FOV(field of view) 320 mm×320 mm, 화소 배열수(matrix) 256×256, 절편두께(slice thickness) 80 mm, dynamic scan time 1 sec, dynamic scans 150, NEX(number of excitation) 1로 하였다[3].

영상의 포함범위는 경동맥(carotid artery) 분기점(bifurcation)을 중심으로 경동맥에 평행하게 대동맥궁(aortic arch)에서부터 전대뇌동맥(anterior cerebral artery)과 추골동맥(vertebral artery)을 모두 포함하였으며, 총 검사 시간은 2분 37초였다.

## 2.4 분석방법

분석방법은 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time이 혈류에 의한 영상화 범위의 어느 뇌혈관 측정값과 일치하는지 일원배치분산분석(SPSS 버전 18)을 이용하였으며, Duncan의 사후분석을 병행하였다. 결과를 바탕으로 일치하는 측정값의 신뢰도를 평가하기 위해 Bland Altman plot(MedCalc 버전 12)을 이용하여 측정치 간 오차를 분석하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 연구대상자의 인구사회학적 특성

연구대상자의 인구사회학적 특성은 Table 2와 같이 남성이 65명, 여성이 62명이었고, 평균연령은 56.92±12.36세(19세-84세)였다.

[Table 2] Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	65	51.20
	Female	62	48.80
Age	20 under	1	0.79
	20-29	3	2.36
	30-39	5	3.94
	40-49	21	16.54
	50-59	47	37.01
	60-69	30	23.62
	70-79	15	11.81
	80 up	5	3.94

### 3.2 연구대상자의 조영제 inflow time과 peak time의 측정 결과

기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time은 18.34±3.45 sec로 나타났으며, 혈류에 의한 조영제 inflow time과 peak time은 S상 정맥동이 19.00±3.38 sec와 23.88±3.51 sec, 내경정맥이 20.48±2.53 sec와 25.75±3.50 sec로 나타났다[Table 3].

[Table 3] Contrast media inflow time and measured peak time

Category	Measurement(sec)
Traditional measured peak time	18.34±3.45
Sigmoid sinus of inflow time	19.00±3.38
Sigmoid sinus of peak time	23.88±3.51
External jugular of inflow time	20.48±2.53
External jugular of peak time	25.75±3.50

### 3.3 수식에 의한 조영제 peak time과 뇌혈관 측정치의 연관성

기존의 수식에 의한 조영제 peak time과 혈류에 의한 뇌혈관 측정치의 일원배치분산분석 결과, 평균 제곱은 집단 간 557.94, 집단 내 11.238이었으며, F검정 통계량이 49.65(p<.05)나타나 각각의 뇌혈관 측정값 중 수식에 의해 산출된 peak time과 일치하지 않는 하나 이상의 유의한 측정값이 포함되어 있음을 알 수 있다[Table 4].

[Table 4] By the formula contrast media peak time and cerebral blood measured of ANOVA

Category	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2231.74	557.94	49.65	.000
Within Groups	4034.41	11.24		
Total	6266.15			

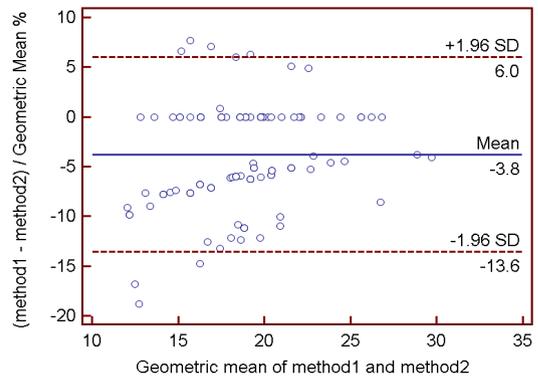
각 뇌혈관 측정값 중 기존방법과 일치하는 뇌혈관 측정치를 알아보기 위해 Duncan의 사후분석을 실시한 결과, 유의수준 0.05에 대한 부집단의 경우 4개의 집단 간 차이가 존재하였다. 그러나 1집단에서 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time과 S상 정맥동의 조영제 inflow time은 통계적으로 유의한 차이가 없어, S상 정맥동의 조영제 inflow time의 측정치와 산출된 조영제 peak time은 일치한다고 할 수 있다[Table 5].

[Table 5] By the formula contrast media peak time and cerebral blood measured of post analysis

Category	Subset for alpha = 0.05			
	1	2	3	4
Traditional measured peak time	18.34			
Sigmoid sinus of inflow time	19.00			
External jugular of inflow time		20.48		
Sigmoid sinus of peak time			23.88	
External jugular of peak time				25.75
Sig.	.315			

### 3.4 Bland Altman plot에 의한 신뢰도 분석

위 결과를 바탕으로 기존의 수식에 의한 조영제 peak time과 S상 정맥동의 조영제 inflow time이 일치하는지 Bland Altman plot를 시행한 결과 일치도가 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 관찰치의 차이와 평균 간에 어떤 관련성이 없고 무작위하게 분포하고 있어 두 방법 간의 불일치의 크기가 환자 수와 관련이 없음을 알 수 있었다[Fig. 2].



method1 : Traditional measured peak time  
method2 : Sigmoid sinus of inflow time

[Fig. 2] Coincidence result of Bland-Altman plot

## 4. 고찰

CE MRA는 정맥으로 주입된 조영제가 혈액의 T1 이

완시간을 단축시켜 혈관영상을 얻는 방법으로[12], 조영제가 관심혈관을 통과하는 도중 어떠한 시점에 케이 공간의 중심부를 채우느냐에 따라 영상의 질이 좌우된다[1,9].

현재 임상에서 가장 널리 쓰이고 있는 시험적조영제주입법은 MRA 영상을 얻기 전 소량의 조영제를 시험적으로 주입하여 시간의 변화에 따른 신호강도곡선(time intensity curve)을 구한 다음, 조영제에 의한 신호강도가 정점에 이루는 시간을 산출하여 수식으로 계산하는 정량적인 방법이다[11].

이는 현존하는 검사기법 중 공간분해능이 가장 우수하고, 검사자의 편견 없이 개개인에 맞는 조영증강 영상을 구할 수 있다는 장점이 있으나 매우 복잡한 수식 및 계산과정으로 인하여 검사시간의 증가에 따른 검사 실패율 증가와[13], 계산 착오에 의한 조영제 peak time은 정확한 혈관영상을 획득할 수 없어 재검사가 요구되곤 한다.

이를 해결하기 위하여 Willinek 등[14]은 시간분해능을 향상시킨 4D-TRAK(Time Resolved Angiography with Keyhole) 기법을 이용하였고, Bae 등[5]은 고정지연시간법을 이용한 TRICKS(Time Resolved Imaging of Contrast Kinetics) MRA로 해결할 수 있다고 보고하였다. 그러나 위 기법 모두 뇌혈관의 동맥기 부터 정맥기까지 시간대별로 관찰이 가능하여 조영제 peak time을 고려하지 않아도 되는 장점이 있으나 공간분해능이 저하되어 뇌혈관 질환에 민감도가 떨어진다는 한계점이 있다.

Kim 등[9]도 Keyhole 기법과 SENSE 기법을 병용하여 사용함으로써 해상도가 높은 영상을 얻을 수 있다고 하였지만, Willinek 등[14]과 Bae 등[5]의 연구에 대한 개선안일 뿐, 이 역시 공간분해능 저하라는 한계로 인하여 뇌혈관 질환의 조기진단 검사에는 부적합하다.

이에 반해 Lin 등[15]은 CENTRA 기법을 이용하면 더욱 더 빠른 영상획득이 가능하여 peak time의 오차를 개선시켜 실패율을 줄일 수 있다고 하였고, Lee 등[16]은 동맥기와 정맥기를 이용한 디지털 감산기법을 이용하면 명확한 시기를 얻을 수 있다고 하였으나, 이들 역시 수식 이용과 감산기법의 불일치로 인한 왜곡 발생이라는 한계점으로 근본적인 해결방법으로는 한계가 있다.

저자들의 연구는 시험적조영제주입법의 장점을 유지하되, 수식에 의해 단점을 개선하고자, 혈류에 의한 조영제 peak time을 산출하는 새로운 방법을 개발하여 누구나 손쉽게 적용하도록 하였다.

연구 결과, 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time(18.34±3.45 sec)과 뇌혈관 측정치 중 S상 정맥동의 조영제 inflow time(19.00±3.38 sec)이 통계적으로 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다. 이는 새로운 혈액학적 방법

인 S상 정맥동의 조영제 inflow time이 기존의 복잡한 수식에 의해 산출된 조영제 peak time을 대체 할 수 있음을 의미한다.

Lee 등[17]은 동맥기 부터 정맥기까지의 순환시간을 획득하여 계산한 새로운 공식으로 기존의 복잡한 수식을 대체 할 수 있다고 하였다. 그러나 충분한 정맥기까지의 영상을 획득하여야 하므로 장시간의 소요된다는 단점이 있다. 또한 기존의 방법과의 차이가 최소 -2.3 sec에서 최대 11.3 sec까지 큰 차이를 보여, 본 연구의 측정치 보다 편차가 상당히 크다는 단점이 있다. 또한 Lee 등[16]의 정성적인 평가보다 진실보한 방법으로 기존의 수식에 의해 산출된 조영제 peak time을 대체할 수 있는 획기적인 방법이라 할 수 있다.

본 연구는 뇌혈관 질환의 조기진단 검사의 특성상 연구 대상자가 특정 진료과에 편중되었다는 점과 뇌혈관 중 영상화부위의 혈관만 측정했다는 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 혈류에 의한 조영제 peak time을 산출하는 새로운 방법을 개발하여 검사에 적용함으로써, 기존의 수식에 의한 조영제 peak time의 부작용 가능성을 최소화하고, 쉽고 빠르게 적용할 수 있는 방법을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 있다.

## References

- [1] J. H. Choi, S. M. Lim, Y. Kim, "Comparison of 3D TOF MRA with Contrast Enhanced MRA in Intracranial Atherosclerotic Occlusive Disease", *J Korean Radiol Soc*, 64, pp.203-211, 2011.
- [2] Y. S. Ji, B. J. Lee, "Usefulness of 3-Dimensional Gadolinium-enhanced MR Angiography for the Evaluation of Pedal Artery: Comparison with digital subtraction angiography", *J Korean Radiol Soc*, 47, pp.21-26, 2002.
- [3] B. J. Park, M. G. Kim, S. I. Suh, S. J. Hong, K. R. Cho, B. K. Seo, K. Y. Lee, N. J. Lee, J. H. Kim, "The Usefulness of Test Bolus Examination in Three Dimensional Contrast Enhanced MR Angiography of the Carotid Artery", *J Korean Med*, 44, pp.317-323, 2001.
- [4] Y. Yi, J. H. Choi, S. S. Kim, S. T. Chung, "The 2D/3D Time-of-flight, Phase contrast and Contrast Enhanced Magnetic Resonance Angiograph" *Journal of Electronics Engineers of Korea.*, 40, 4, pp.67-74, 2003.
- [5] S. J. Bae, C. H. Lim, B. R. Park, W. J. Shin, J. S. Kim, "The Value of Comparison with Four Dimension Time Resolved Imaging of Contrast Kinetics(TRICKS) MRA

- by Time of Flight(TOF) MRA", *J Magn Korean contents*, 10, pp.215-221, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2010.10.3.215>
- [6] S. J. Bae, " evaluate the possibility of MT Pulse at 3T CE-TOF-MRA in patients with cerebral infarction", *Journal of radiological science and technology*, 30, 3, pp.265-270, 2007.
- [7] Yang JJ, Hill MD, Morrish WF, Hudon ME, Barber PA, Demchuk AM, Sevick RJ, Frayne R. "Comparison of pre and postcontrast 3d time-of-flight MR angiography for the evaluation of distal intracranial branch occlusions in acute ischemic stroke", *American journal of neuroradiology*, 23, 4, pp.557-567, 2002
- [8] Y. E. Chung, "Optimal delay time for the hepatic parenchymal enhancement at the multidetector CT examination", *The Graduate School Yonsei University Department of Medicine*, 1, pp.1-50, 2006.
- [9] S. Y. Kim, Y. K. Kim, S. M. Yoon, K. H. Yoo, J. S. Lim, "Using Keyhole and SENSE Technique 4D (time-resolved) MRA", *Korean Journal of Magn Reson technology*, 18, pp.244-252, 2005.
- [10] J. S. Yu, K. W. Kim, B. J. Jo, J. K. Kim, J. K. Hahm, "Test-bolus injection for optimization of arterial phase imaging during contrast-enhanced hepatic MR imaging", *Yonsei medical journal*, 41, 4, pp.459-467, 2000.
- [11] Prince. M.R, Narasimham. D. L, Stanley. J.C, "Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches", *Radiology*, 197, 3, 1995.
- [12] K. W. Chung, T. S. Chung, J. Y. Joo, "What is the Cause of Signal Inhomogeneity at the Carotid Bifurcation During Contrast Enhanced Carotid MRA?: In Vivo and in Vitro Studies", *J Korean Radiol Soc*, 30, pp.7-14, 1994.
- [13] Korean Society of Magnetic Resonance in Medicine, "magnetic resonance imaging", pp. 194-210, 316-326, Ilchokak, 2008.
- [14] Willinek. W. A, Hadizadeh, D. R, von Falkenhouse, "4D time-resolved MR angiography with keyhole (4D-TRAK): More than 60 times accelerated MRA using a combination of CENTRA, keyhole, and SENSE at 3.0T", *Journal of magnetic resonance imaging*, 27, 6, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.21354>
- [15] Y.C. Lin, "Contrast-Enhanced Carotid Magnetic Resonance Angiography: Comparison of Single- Dose and Double-Dose of Gadolinium Using the Randomly Segmented Central k-Space Ordering Technique", *Journal of magnetic resonance imaging*, 27, 6, pp.1461-1467, 2008.
- [16] H. J. Lee, J. H. Kwon, S. K. Lee, Y. M. Jang, Y. S. Kim, Y. J. Kim, D. S. Kang, "Usefulness of Digital Subtraction Technique in the Contrast-enhanced Multi-phasic Abdominal MR angiography", *Journal of the Korean radiological society*, 45, 2, pp.175-182, 2001.
- [17] J. J. Lee, Y. M. Chang, D. M, Kang, "The Optimization of Scan Timing for Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Angiography" *Korean Journal of Radiology*, 1, 3,, pp.142-151, 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2000.1.3.142>

**최 관 우(Kwan-Woo Choi)**

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과 (공학 석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 보건학과 박사과정
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산 병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 의료영상공학

**손 순 룡(Soon-Yong Son)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 단국대학교 보건행정학과졸업 (보건행정학석사)
- 2012년 9월 : 한양대학교 보건학과 박사과정 수료
- 1990년 6월 ~ 현재 : 서울아산 병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 보건행정학, 보건학

이 호 범(Ho-Beom Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 고려대학교 보건대학 방사선과 졸업
- 2009년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학