

흑혈류영상 획득 시 신호소실을 활용한 고속스핀에코기법의 유용성

최관우^{1,2}, 김윤신¹, 손순룡², 이희주², 민정환³, 이종석⁴, 유병규^{4*}

¹한양대학교 대학원 보건학과, ²서울아산병원 영상의학과, ³신구대학교 방사선과, ⁴원광보건대학교 방사선과

Effectiveness of a fast spin echo technique using the signal void in acquisition of black blood images

Kwan-Woo Choi^{1,2}, Yoon-Shin Kim¹, Soon-Yong Son², Hee-Ju Lee²,

Jung-Wan Min³, Jong-Seok Lee⁴ and Beong-Gyu Yoo^{4*}

¹Department of Health Science, Graduate School Hanyang University,

²Department of Radiology, Asan Medical Center,

³Department of Radiology, Shin-Gu University,

⁴Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

요 약 본 연구는 흑혈류영상 획득에서 고속스핀에코기법의 신호소실 현상을 이용하여 검사시간을 최소화시켜 환자의 불편을 줄이고 진단적 가치를 유지하고자 하였다. 연구방법은 흑혈류영상을 획득한 환자 32명을 대상으로, 기존의 이중역전회복기법과 새로운 기법인 고속스핀에코기법을 각각 적용한 후, 기법에 따른 혈류의 신호소거 차이를 알아보기 위해 T1, T2 강조영상에서 내경동맥 내강의 SNR과 CNR을 비교 평가하였다. 연구결과, SNR은 고속스핀에코기법이 이중역전회복기법 보다 T1, T2 강조영상에서 11.49%(4.73), 13.66%(6.03) 낮았으며, CNR은 고속스핀에코기법이 T1 강조영상에서 8.69%(15.04) 높았고, T2 강조영상에서 7.55% (13.17) 낮았으나, 통계적 수준에서 두 기법간의 SNR과 CNR의 차이는 유의하지 않았다. 그러므로 흑혈류영상 획득 시 고속스핀에코기법을 이용한다면 진단적 가치는 유지하면서 검사시간을 최소화하여 환자의 불편을 줄일 수 있다고 판단된다.

Abstract The purpose of our study is to shorten the scanning time and minimize the inconveniences of the patients in acquisition of the black blood images using the signal void effect in the fast spin echo technique while keeping the diagnostic value of the test. Thirty-two consecutive patients who underwent black blood MR imaging were examined with additional double inversion recovery (DIR) sequence and the conventional fast spin echo (FSE) sequence. Signal to Noise Ratio (SNR) and Contrast to Noise Ratio (CNR) of the internal carotid arteries' lumen were compared in T1 and T2 weighted images to determine whether there are differences between the two techniques for depiction of the signal void effect inside the vessel wall. The FSE images showed lower SNR values than the DIR images in both of the T1 and T2 weighted images (11.49% and 13.66% respectively). While the CNR values were higher in the FSE images than in the DIR images in both of the T1 and T2 weighted images (8.69% and 7.55% respectively). There was no significant difference between the two techniques for either of the SNR or CNR ($p>0.05$, $p>0.05$ respectively). The DIR and the FSE images demonstrated almost identical imaging patterns. Therefore, it is anticipated that the use of FSE technique in acquisition of the black blood imaging could reduce the inconveniences of the patients during the scanning and minimize exam time while keeping the diagnostic value of the test.

Key Words : Atherosclerosis, Black blood imaging, Double inversion recovery, Turbo spin echo, ICA, SNR, CNR

이 연구는 2013년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행됨

*Corresponding Author : Beong-Gyu Yoo(Wonkwang Health Science Univ.)

Tel: +82-10-6255-9783 email: bkyou@wu.ac.kr

Received June 24, 2013

Revised (1st July 30, 2013, 2nd August 2, 2013)

Accepted September 6, 2013

1. 서론

뇌동맥 죽상동맥경화증(atherosclerosis)은 혈관의 내막이 두꺼워지고 죽모양의 콜레스테롤 덩어리와 주위의 섬유화 덮개가 형성되어 혈관이 굳어지게 되는 질환이다. 주로 죽상종이 침식되거나 파열되어 혈관 내에 혈전이 형성되면서 혈관이 막히거나 혈류가 차단되어 갑작스런 임상증상이 발생되기 시작한다. 이는 혈관이 급격히 좁아지고 독특한 병태·생리학적 특성 때문에 혈관에 죽상경화가 많이 진행될 때까지는 아무런 증상을 느끼지 못하는 것이 특징이다[1]. 이로 인해 발병되는 허혈성 뇌혈관 질환은 국내 사망원인 2위로 전체 사망원인의 13.9%를 차지하며[2], 신경학적 장애나 합병증에 의한 사회적 혹은 경제적으로 큰 손실을 초래하는 질환이기에 조기 검진이 매우 중요하다[3].

뇌동맥의 죽상동맥경화증을 조기진단 하는 검사방법에는 디지털감산혈관조영술(digital subtraction angiography, 이하 DSA), 뇌동맥 초음파(ultrasound), 전산화단층촬영 혈관조영술(computed tomographic angiography, 이하 CTA), 자기공명혈관조영술(magnetic resonance angiography, 이하 MRA) 등이 있다. DSA와 CTA의 경우, 동맥내강의 묘사에는 뛰어나지만 질환이 있는 혈관 벽에 관한 정보 획득에는 매우 미흡하고, 뇌동맥 초음파는 협착의 정도와 혈전의 특성에 관한 정보의 획득은 용이하나 공간분해능이 낮으며, 검사자의 주관적 판단이 개입되는 한계점이 있다[4]. 이에 반해 MRA는 방사선 피폭이 없으며, 공간분해능과 대조도분해능이 높아 혈관의 좁아진 정도나 동맥류 내 혈전 감별에 매우 유용하다[5].

MRA를 이용하여 혈관의 좁아진 정도나 혈전을 묘사하는 방법으로는 혈관 내 혈액을 밝게 하는 방법과 어렵게 하는 방법이 있다. 혈액을 밝게 하는 방법에는 조영제를 사용하는 조영증강 영상과 조영제를 사용하지 않는 유체속도강조(time of flight)영상, 그리고 위상대조도(phase contrast)영상 있다. 위의 방법들은 신호대잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)가 높고 공간분해능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있으나, 죽상동맥경화증의 조기 진단검사 시 혈전과 혈종의 신호가 모두 밝게 나오므로 혈류와 구별이 어려워 병변감별에 문제가 된다. 혈액을 어렵게 하는 방법에는 이중역전회복기법(double inversion recovery technique)을 사용하여 혈류의 신호를 소거시켜 어렵게 하는 흑혈류영상(black blood imaging)이 있다. 흑혈류영상은 혈관 벽과 내강의 경계를 명확하게 하여 혈관 벽의 두께와 혈전의 형태를 분석 할 수 있고[6], 혈종과 혈전 감별에 탁월하며 공간분해능과 대조도분해능이 뛰어난 장점이 있다[7].

흑혈류영상 획득 시 영상의 질을 결정하는 요소로는 불충분한 혈류 신호의 소거와 환자의 움직임이다[4]. 이는 혈류의 신호소거가 강할수록 혈관 벽과 내강의 경계가 뚜렷하여 조기에 미세한 병변까지 진단할 수 있으며, 환자의 움직임이 덜 할수록 움직임에 의한 인공물(artifact)이 발생하지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 국내외 의료기관에서는 완벽한 혈류신호소거에만 관심이 있을 뿐, 이중역전회복기법의 반전시간(inversion time)으로 인한 검사시간의 증가는 고려하지 않고 있다. 또한 영상획득의 기법 변경이나 조영제의 개선을 통한 혈관 내 혈액을 밝게 하는 연구에만 집중되어 있을 뿐[8, 9], 혈관 벽의 두께와 혈전의 상태를 분석할 수 있는 흑혈류영상에 관한 연구는 흐르는 혈류의 신호를 소거시켜야 하는 어려움으로 인해 전무하다.

검사시간의 증가는 환자의 불편으로 이어져 움직임이 발생하게 되고, 그로 인해 인공물이 발생하게 되어 양질의 흑혈류영상을 획득할 수 없다. 그러나 위와 같은 문제점에도 마땅한 대안이 없어 죽상동맥경화증 검사 시 시간이 매우 오래 걸리는 이중역전회복기법을 사용한 흑혈류영상을 획득하고 있는 실정이다.

본 논문의 저자들은 다년간 임상에 임하면서 직경이 좁고 혈류속도가 빠른 혈관에서는 이중역전회복기법을 사용하지 않더라도 고속스핀에코기법(turbo spine echo technique) 적용 시 혈류의 신호소실(signal void) 현상으로 인해 혈액의 신호가 소거된다는 사실을 인지하게 되었다. 이에 착안하여 본 연구에서는 흑혈류영상 획득 시, 이중역전회복기법 대신 검사 시간이 짧은 고속스핀에코기법의 신호소실 현상을 이용하여 진단적 가치는 유지하면서 검사시간을 최소화하여 환자의 불편을 줄일 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구에서는 2013년 1월부터 동년 3월까지 죽상동맥경화증의 진단을 위해 MRA를 시행하여 흑혈류영상을 획득한 환자 32명을 연구대상으로 하였다[Table 1].

[Table 1] Departments subjects

Department	Frequency	Percentage(%)
Neurosurgery	17	53.1
Neurology	7	21.9
Health medicine	3	9.4
The others	5	15.6
Total	32	100

2.2 연구방법

연구방법은 직경이 좁고 혈류속도가 빠른 뇌혈관에서는 검사시간이 상대적으로 긴 이중역전회복기법을 사용하지 않더라도 고속스핀에코기법의 신호소실 현상을 이용하면 빠르게 흐르는 혈액은 신호가 소실되고, 혈관벽에 남아 있는 혈전은 신호를 발생한다는 원리에 기초하였다. 이에 근거하여 동일 환자를 대상으로 기존의 이중역전회복기법과 새로운 기법인 고속스핀에코기법을 각각 적용한 후, 기법에 따른 혈류의 신호소거 차이를 비교하여 신호소거의 차이가 없다면 검사시간이 짧은 고속스핀에코의 유용성을 입증할 수 있을 것으로 가정하였다. 이를 위해 각 기법이 적용된 T1, T2 강조영상을 획득한 후 내경동맥(internal carotid artery, 이하 ICA) 내강의 SNR과 대조도대잡음비(contrast to noise ratio, 이하 CNR)를 비교 및 평가하였다.

2.3 영상획득 및 기법

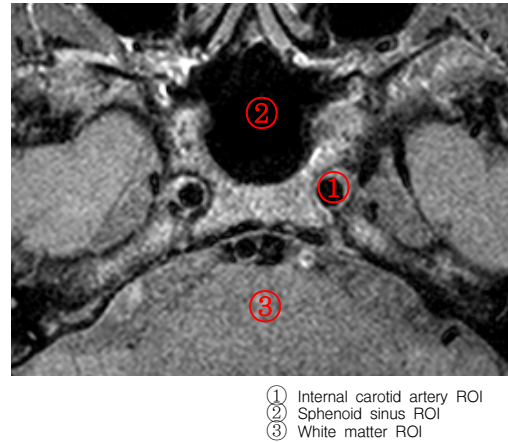
영상획득 장비로 3.0T 초전도 자기공명영상장치(Achieva, Philips medical system)와 8 channel SENSE Head coil을 사용하였다. 흑혈류영상은 심장의 수축과 이완에 의한 혈류의 인공물을 줄이기 위해 말초 동기화(peripheral gating)를 추가하였고, 획득기법으로는 이중역전회복기법과 고속스핀에코기법을 사용하였으며, 기법에 따른 혈류의 신호소거 차이를 보기위해 영상변수는 모두 동일하게 설정하였다.

사용된 영상변수로 T1은 반복시간(TR) 1,000 msec, 에코시간(TE) 8.4 msec, 숙임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 100 × 100 mm, 화소배열수(matrix) 200 × 200, 절편두께(slice thickness) 1 mm, 절편간격(slice gap) 0 mm, 절편수(slices) 10 slice, NEX(number of excitation) 2로 하였으며, T2는 반복시간(TR) 2,000 msec, 에코시간(TE) 80 msec, 숙임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 100 × 100 mm, 화소배열수(matrix) 200 × 200, 절편두께(slice thickness) 1 mm, 절편간격(slice gap) 0 mm, 절편수(slices) 10 slice, NEX(number of excitation) 2로 하였다. 총 검사시간(scan time)은 dual inversion pulse를 사용하는 이중역전회복기법의 T1이 9분 50초, T2가 9분 00초이었으며, 사용하지 않는 고속스핀에코기법의 T1이 1분 58초, T2가 1분 48초였다.

2.4 측정 및 분석방법

측정방법은 각각의 기법을 적용한 영상에서 죽상동맥 경화증의 호발부위인 ICA를 대상으로, ICA의 직경보다 작은 관심영역을 설정하여 신호강도를 측정한 후, SNR

과 CNR을 알아보기 위해 공기로 차있는 접형동(sphenoid sinus)과 뇌의 백질(white matter)을 측정하였다[Fig. 1].



① Internal carotid artery ROI
② Sphenoid sinus ROI
③ White matter ROI

[Fig. 1] Signal intensity of setting to ROI

SNR은 측정된 ICA의 신호강도를 접형동 신호강도의 표준편차로 나누어 계산하였고(식 1), CNR은 측정된 ICA와 백질의 신호강도 차를 구한 다음, 접형동 신호강도의 표준편차로 나누어 절대값으로 계산하였다(식 2).

$$SNR = \frac{ICA\ SI}{Sphenoid\ sinus\ noise\ SD} \times 100 \quad (1)$$

$$CNR = \frac{|ICA\ SI - White\ matter\ SI|}{Sphenoid\ sinus\ noise\ SD} \times 100 \quad (2)$$

평가의 정확성을 위하여 획득한 영상의 모든절편에서 신호강도를 측정한 후 평균하였으며, 접형동 신호강도의 표준편차는 신호가 발생하지 않는 공기 부분에 ROI를 설정하여 측정하였다. 통계적 분석방법은 대응표본 T검정(paired sample T-test, SPSS 버전 18)을 이용하여 기법에 따른 ICA 내강의 SNR과 CNR을 비교하였으며, p값이 .05보다 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

3. 연구결과

연구대상자의 인구사회학적 특성은 Table 2와 같이 남성이 10명, 여성이 22명이었고, 평균연령 및 표준편차는 55.88 ± 11.89 세(28세~83세)였다.

[Table 2] Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percentage(%)
Gender	Male	10	31.3
	Female	22	68.8
Age	30 under	1	3.1
	30~39	2	6.3
	40~49	6	18.8
	50~59	13	40.6
	60~69	5	15.6
	70~79	4	12.5
	80 up	1	3.1

기법에 따른 ICA 내강의 SNR은 T1 강조영상의 경우, 고속스핀에코기법이 36.42 ± 29.92 로 이중역전회복기법의 41.15 ± 34.11 보다 11.49% (4.73) 낮았으며, T2 강조영상은 고속스핀에코기법이 38.12 ± 29.45 로 이중역전회복기법의 44.15 ± 39.57 보다 13.66%(6.03) 낮았다.

ICA 내강의 CNR의 경우, T1 강조영상은 고속스핀에코기법이 188.21 ± 149.27 로 이중역전회복기법의 173.17 ± 148.48 보다 8.69%(15.04) 높았으며, T2 강조영상은 고속스핀에코기법이 161.16 ± 116.70 로 이중역전회복기법의 174.33 ± 153.63 보다 7.55% (13.17) 낮았다[Table 3].

[Table 3] SNR and CNR of ICA lumen according to method

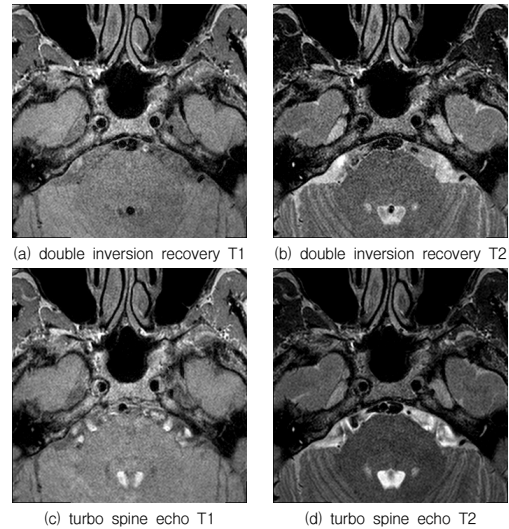
Category		Double inversion recovery technique	Fast spine echo technique
SNR	T1	41.15 ± 34.11	36.42 ± 29.92
	T2	44.15 ± 39.57	38.12 ± 29.45
CNR	T1	173.17 ± 148.48	188.21 ± 149.27
	T2	174.33 ± 153.63	161.16 ± 116.70

기법에 따른 대응표본 T검정 결과, SNR은 T1, T2 강조영상에서 각 대응치의 평균이 -4.73 ± 19.91 , -6.02 ± 17.49 로 나타났으나, T1, T2 강조영상 모두 통계적 수준에서 유의한 차이가 없어 기법에 따른 SNR의 차이가 있다고 할 수 없다($p > .05$). CNR의 경우에도 SNR과 마찬가지로 T1, T2 강조영상에서 각 대응치의 평균이 15.05 ± 70.16 , -13.17 ± 69.32 로 나타났으나, 통계적 수준에서 유의한 차이가 없어 기법에 따른 CNR의 차이가 있다고 할 수 없다($p > .05$)[Table 4].

[Table 4] Paired t-test results according to method

Category		Paired differences Mean±SD	t	Sig.
SNR	T1	-4.73 ± 19.91	-1.343	.189
	T2	-6.02 ± 17.49	-1.948	.061
CNR	T1	15.05 ± 70.16	1.213	.234
	T2	-13.17 ± 69.32	-1.075	.291

위의 결과 모두 신호소실 현상을 이용한 새로운 고속스핀에코기법에서 검사시간이 짧음에도 불구하고 혈류의 신호를 소거시켜 혈전을 이중역전회복기법과 동등하게 묘사할 수 있음을 의미한다. Fig. 2를 보더라도 이중역전회복기법과 고속스핀에코기법을 이용한 T1, T2 영상 모두 ICA 내강에 혈액의 신호가 잘 소거됨을 알 수 있으며, 육안적으로나 SNR, CNR에서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 따라서 4~5배의 검사시간이 더 소요되는 이중역전회복기법을 고속스핀에코기법이 대체할 수 있음을 의미하며, 더 나아가 혈류속도가 빠른 뇌혈관(50 cm/sec)에서는 이중역전회복기법을 적용할 필요가 없음을 의미한다.



[Fig. 2] T1, T2 weighted images in each sequence

4. 고찰 및 결론

뇌혈관 죽상동맥경화증 검사 시 흑혈류영상은 죽상경화증의 감별과 진단에 매우 유용한 정보를 제공한다. 그러나 임상적발현의 특이성이 없는 뇌혈관 죽상동맥경화증의 경우 조기 진단 시 매우 우수한 SNR과 CNR 영상이 요구되는데, 이를 해결하기 위해 많은 연구가 수행되었다.

Tobias 등[10]은 4-channel 표면 코일을 사용하여 검사 시간을 줄이고 영상의 질을 높이는 방법을 강구하였으나, 이는 부가적인 코일을 구입해야 한다는 경제적 부담이 뒤따른다. Sarah 등[11]은 심장검사 시 흑혈류영상이 심근과 주변조직 간의 대조도차를 크게 하여 공간해상도를

향상시킨다고 하였고, SessaSailaja 등[12]은 위상배열코일을 사용하여 혈관 벽 검사 시 높은 해상도의 영상을 만든다고 보고하였다. 그러나 두 연구 모두 영상획득 시 기존의 이중역전회복기법과 펄스대열에 따른 차이는 알 수 없는 한계점이 있다.

이에 반해 Lindsey 등[13]은 3D 고속스핀에코펄스대열(turbo spin echo sequence)을 사용하여 동맥의 두께와 컴플라이언스를 측정할 수 있다고 하였으나, 3D 영상은 T1, T2 영상변화를 보며 진단을 하는 2D 영상 보다 진단의 한계점이 존재한다. Stavros 등[7]은 뇌동맥류 검사 시 고속스핀에코를 사용하여 혈관종 감별에 유용하다는 것을 입증하였으나, 이중역전회복기법은 적용하지 않았고 SNR과 CNR을 측정하지 않았다는 점에서 본 연구 결과와 차이가 있다. 즉, 본 연구는 흑혈류영상 획득 시 혈류의 신호소실을 이용해 어두운 혈류영상을 만드는 고속스핀에코를 적용함으로써 검사 시간을 줄일 수 있었고, SNR과 CNR로 영상의 동등성을 입증하였기에 학문적 가치가 높다고 할 수 있다.

연구결과에서 보듯 흑혈류영상 획득 시 고속스핀에코기법이 이중역전회복기법 보다 T1 강조영상에선 11.49%(4.73), T2 강조영상에선 13.66%(6.03) 낮았으나 통계적 수준에서 유의한 차이가 없어 기법에 따른 SNR의 차이가 있다고 할 수 없다. 또한 CNR의 경우에도 SNR과 마찬가지로 고속스핀에코기법이 T1 강조영상에서 8.69% (15.04) 높았고, T2 강조영상에서 7.55%(13.17) 낮았으나, 이 또한 통계적 수준에서 유의한 차이가 없어 기법에 따른 CNR의 차이가 있다고 할 수 없다. 이는 혈류속도가 빠른 뇌혈관에서 두 기법간 차이가 존재하지 않는 것으로, 고속스핀에코보다 약 4~5배의 시간이 더 소요되는 이중역전회복기법을 적용할 필요가 없음을 의미하며, 이러한 실증적 자료는 뇌혈관 검사 시 정성적 평가가 주류를 이뤘던 국내외 선행 연구에서 찾아 볼 수 없는 최초의 도출 결과이므로 획기적인 연구라고 할 수 있겠다.

Benjamin 등[14]은 심장연구 시 에코사이 간격을 줄임으로써 균질성이 증가함과 동시에 신호감지에도 뛰어나다는 것을 영상의 균질성 측정으로 증명하였고, Meihan 등[15]은 심장혈관벽 검사 시 이중역전회복기법이 시간이 오래 걸리는 문제점을 인지하고 DANTE 펄스를 사용하면, SNR은 약간 낮아지나 CNR이 높은 영상을 얻을 수 있다고 하였다(DANTA 펄스 사용: SNR 14.9 ± 3.8, CNR 5.5 ± 3.1, 이중역전회복기법 사용: SNR 16.7 ± 3.7, CNR 5.1 ± 3.0). 하지만 이는 심장에만 국한된 연구라는 한계점이 있다.

본 연구는 뇌혈관의 죽상동맥경화증이 의심되는 조기

검진환자를 대상으로 하였다는 점과 뇌의 구성 혈관 중 일부만 측정하였다는 제한점이 있다. 그러나 흑혈류영상의 획득 시 기법에 따른 T1, T2 강조영상에서의 SNR과 CNR 비교에 대한 국내외적인 연구가 없고, 새로운 고속스핀에코기법이 기존의 이중역전회복기법과 차이가 없다는 것을 증명함으로써, 진단적 가치는 유지하면서 검사시간을 최소화하여 환자의 불편을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다는 점에서 의의를 둘 수 있다. 향후 죽상동맥경화증이 호발하는 다른 뇌혈관에도 유용성이 있는지 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] H. S. Seo, "Pathophysiology of Atherosclerosis", *Clinical Vascular Medicine*, pp. 14-25, 2009.
- [2] Seoul National University Hospital. Knowledge encyclopedia. NHN Corp., Available From: <http://terms.naver.com/entry.nhn?cid=865&docId=927338&mobile&categoryId=1747>, (accessed Jan., 23, 2013)
- [3] D. K. Lee, Y. J. Kwon, S. M. Lee, J. Y. Yang, C. S. Choi, M. B. Ju, "MR Angiographic Findings in Ischemic Stroke patients with Extracranial Carotid Artery Stenosis", *J Korean Neurosurg Soc.*, Vol. 33, pp. 353-357, 2003.
- [4] Jean M, Rikin A, Evis Sala, Martin J, Mathew G, Nicholas J, Justin C, William H, Richard A, Peter J, Nagui M, Jonathan H, "Evaluation of carotid stenosis with acial high resolution black-blood MR imaging", *Eur Radiol.*, Vol. 14, pp. 1154-1161, 2004.
- [5] Tobias S, Jose G, Clemens C, Katja B, Georgios M, Olaf D, Dirk A, Ute F, Chun Y, Thomas S, Abd W, Maximilian F, Konstantin N, "High resolution carotid black-blood 3T MR with parallel imaging and dedicated 4-channel surface coils", *J Cardiovasc Magn Reson.*, pp. 1-12, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1532-429X-11-41>
- [6] H. K. Song, Alexander C, Ronald L, Felix W, "Multislice Double Inversion Pulse Sequence for Efficient Black-Blood MRI", *Magn Reson Med.*, Vol. 47, pp. 616 - 620, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.10094>
- [7] Stavros M, Jonathan N, William A, Alan J, "Does black blood MRA have an rele in th assessment of intracerebral aneurysms?", *Eur Radiol*, Vol. 19, pp. 184-192, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-008-1127-2>

- [8] Mathias Goyen, Tomas C. Lauenstein, Christoph U. Herborn, Jorg F. Debatin, MBA, Silke Bosk, Stefan G. Ruehm, "0.5M Gd chelate(Magnevist) Versus 1.0M Gd Chelate(Gadovist): Dose-Independent Effect on Image Quality of Pelvic Three-Dimensional MR-Angiography", *J Magn Reson Imaging.*, Vol 14, pp. 602-607, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.1225>
- [9] S. Haneder, U. Attenberger¹, S. O. Schönberg, C. Loewe, J. Arnaiz Garcia, H. J. Michaely, Mannheim/DE, Vienna/AT, Santander/ES, "Intra-individual efficacy evaluation of Dotarem®-enhanced MRA compared to Gadovist®-enhanced MRA in the diagnosis of clinically significant abdominal or lower limb arterial diseases", *Eur Radiol.*, pp. C-1016, 2010.
- [10] Tobias S, Jose G, Clemens C, Katja B, Georgios M, Olaf D, Dirk A, Ute F, Chun Y, Thomas S, Abe W, Maximilian F, Konstantin N, "High resolution carotid black-blood 3T MR with parallel imaging and dedicated 4-channel surface coils", *J Cardiovasc Magn Reson.*, Vol. 11, pp. 1-12, 2009.
- [11] Sarah C, Khaled A, Daniel R, Messroghli, Timothy J, John P, Ridgway Mohan U, "The reproducibility of left ventricular volume and mass measurements: a comparison between dual-inversion-recovery black-blood sequence and SSSP", *Eur Radiol.*, Vol. 16, pp. 32 - 37, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-005-2853-3>
- [12] SessaSailaja A, H. K. Song, Alexander C, Felix W, "High-resolution black-blood MRI of the carotid vessel wall using phased-array coils at 1.5 and 3 Tesla", *Acad Radiol.*, Vol. 12, pp. 1521-1526, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2005.08.009>
- [13] Indesey C, Peter G, Clare C, David N, FIRMIN, "A Volume Selective 3D Turbo Spin Echo Sequence for Vessel Wall and Compliance Measurement", *J Magn Reson Imaging.*, Vol. 10, pp. 1, 2002.
- [14] Benjamin W, Lowie M, Han W. K, Lubna B, Christoph J, Elizabeth J, Wolfgang G, Deneen Spatzl, Y. Y. Kim, Michele P, Raymond J, "Assessment and improvement of image homogeneity in black-blood T2-weighted turbo spin-echo CMR", *J Cardiovasc Magn Reson.*, pp. 1-2, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1532-429X-14-S1-O113>
- [15] Meihan W, Christopher M, Craig H, "DANTE preparation for black-blood coronary wall imaging", *J Cardiovasc Magn Reson.*, pp. 237, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1532-429x-15-s1-p237>

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 : 한양대학교 보건학과 박사과정
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 의료영상공학

김 윤 신(Yoon-Shin Kim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 일본 동경대학교 보건학과 (보건학박사)
- 1985년 2월 : Univ.of Texas SPH at Houston (환경학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 보건학과 주임교수, 한양대학교 의과대학 작업환경과 교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 고령사회연구원장

<관심분야>

환경학(실내공기), 산업의학, 보건학, 저출산 고령사회

손 순 룡(Soon-Yong Son)

[정회원]



- 1999년 2월 : 단국대학교 보건행정학과졸업 (보건행정학석사)
- 2013년 8월 : 한양대학교 보건학과졸업 (보건학박사)
- 1990년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 보건행정학, 보건학

이 희 주(Hee-Ju Lee)

[정회원]



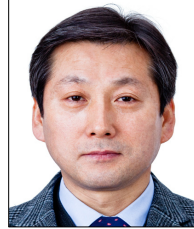
- 2012년 2월 : 건양대학교 방사선학과 졸업
- 2012년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 방사선영상학, 보건의학

유 병 규(Beong-Gyu Yoo)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 환경방사선학 졸업 (공학석사)
- 2001년 8월 : 동국대학교 생명과학 졸업 (이학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>

방사선영상정보학, 디지털영상학, 방사선생물학

민 정 환(Jung-Whan Min)

[정회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 의용과학대학원 (의공학석사)
- 2012년 2월 : 가톨릭대학교 의학물리공학졸업 (이학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신구대학교 방사선과 조교수

<관심분야>

디지털영상처리, 의학물리

이 종 석(Jong-Seok Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 원광대학교 전기공학과 석사졸업 (공학석사)
- 2002년 2월 : 원광대학교 전기공학과 박사졸업 (공학박사)
- 1984년 2월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>

영상정보공학, 전기전자공학, 방사선기기학