

고관절 자기공명영상 검사 시 multitransmit 기법의 적용에 따른 검사시간 단축의 유용성

최관우¹, 손순룡^{2*}

¹서울아산병원 영상의학과, ²원광보건대학교 방사선과

An effectiveness of multitransmit parallel technique on scan time reduction in hip joint MRI

Kwan-Woo Choi¹, Soon-Yong Son^{2*}

¹Department of Radiology, Asan Medical Center,

²Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

요약 본 연구의 목적은 MRI 검사 시 multitransmit 기법의 적용으로 인한 검사시간 단축의 유용성을 알아보고자 하였다. 연구방법은 2015년 7월부터 동년 9월까지 고관절 MRI 검사를 시행한 환자를 대상으로 multitransmit 기법 적용 전-후 고관절의 T1, T2 강조영상을 획득하여 대퇴골두와 장요근의 SNR과 CNR, 그에 따른 검사시간을 비교 평가하였다. 연구결과, multitransmit 기법 적용 전-후 T1, T2 강조영상 모두 SNR과 CNR은 유의한 차이가 없었으며, 검사시간은 적용 전에 비해 T1 강조영상은 42.8%, T2 강조영상은 49.7%로 감소하였다. 결론적으로 MRI 검사 시 본 연구와 같이 multitransmit 기법을 적용하면, 기존의 검사시간 단축관련 연구들에서 문제가 되었던 영상의 질 저하 없이 검사시간을 획기적으로 줄일 수 있으며, 향후 다양한 검사에 multitransmit 기법을 적용한다면 MRI 검사의 고질적 문제인 검사시간을 단축할 수 있어 매우 유용하리라 사료된다.

Abstract This study examined the effectiveness of the multitransmit parallel technique on the MRI scan time reduction by removing the dielectric effect. The T1 and T2 weighted images of the patients' hip joint were acquired with and without a multitransmit technique. The ROIs were located in the head of femur and iliopsoas muscle. The SNR, CNR and scan time were measured and compared. There was no difference in the images with and without multitransmit. In contrast, the acquisition time was decreased by 42.8% in T1WI and 49.7% in T2WI. In conclusion, this study demonstrated that significant scan time reductions can be accomplished without any differences in the image quality in hip joint MRI by applying the multitransmit parallel technique. Furthermore, the multitransmit technique is useful in other body parts to resolve the long scan time of an MRI examination.

Keywords : multitransmit technique, dual RF source, acquisition time reduction

1. 서론

Multitransmit 기법(multitransmit parallel RF transmission technology)은 RF pulse 인가 시 파장(3.0 T에서 약 26 cm)이 인체 지름보다 짧아서 발생하는 dielectric effect

의 문제점을 해결하기 위한 방법이다[1-3]. 이는 90° 간격으로 두 개의 RF coil을 위치시켜 자동적으로 검사부 위마다 RF pulse의 위상이나 크기, 파형을 최적화하여 다르게 적용하는 특성이 있다[3].

Dielectric effect가 발생하면 전도성 증가로 인해 조

*Corresponding Author : Soon-Yong Son (Wonkwang Health Science University)

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

Received October 16, 2015

Revised (1st November 16, 2015, 2nd February 29, 2016)

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

직에 누설전류가 부분적으로 흐르게 되어 standing wave가 형성되고, 형성된 standing wave는 RF pulse의 반응을 증대시켜 영상의 균일도를 저하시킨다[1, 3]. 이러한 dielectric effect를 줄이기 위한 목적으로 개발된 방법이 multitransmit 기법이며[5, 6], multitransmit 기법을 사용하면 대조도와 균일도가 일정한 양질의 영상을 얻을 수 있다.

진료영역에서 최첨단 검사기법이라고 할 수 있는 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI)이 궁극적으로 해결해야 할 고질적 문제는 상대적으로 긴 검사시간이다. 이를 해결하기 위해 다양한 방법들이 시도되고 있으나, 여전히 만족스런 효과를 거두지 못하고 있으며, 오히려 시간단축에 의한 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)와 대조도 대 잡음비(contrast to noise ratio, 이하 CNR)의 저하 등 복잡한 문제들이 발생하고 있다. 물론, 주 자기장(Static magnetic strength field)을 증가시키는 방법이 가장 효과적이지만 주 자기장의 증가는 인체에 대한 안전성이 담보되어야 하기 때문에 무한정 증가시킬 수는 없다(임상용으로 승인된 주 자기장의 가장 높은 세기는 3.0 T임)[7].

Multitransmit 기법을 적용하면 dual RF source를 사용하기 때문에 영상의 매개변수가 동일한 조건일 경우 single RF source에 비해 영상획득시간이 짧아 전체적인 검사시간이 단축되며[8], 반복시간(repetition time, 이하 TR)이 낮아져 인체에 미치는 비흡수율(specific absorption rate, 이하 SAR)을 낮출 수 있는 장점이 있다[2].

그러나 대부분의 multitransmit 기법과 관련된 연구는 인가되는 RF pulse의 파장보다 두꺼운 부위인 복부나 척추 영상의 대조도와 균일도 향상에 초점이 맞춰져 있다. 이는 개발의 주 목적이 26 cm 이상의 두꺼운 부위에 대한 영상대조도 및 균일도 향상에 두었기 때문이며, 26 cm 이하의 부위는 두께가 얇아 균일도 저하의 가능성이 낮다는 판단으로 적용하지 않았기 때문이다.

저자들은 multitransmit 기법에 적용되는 dual RF source가 이론적으로 single RF source에 비해 TR이 절반으로 줄어든다는 점에 주목하였다. 이 기법을 26 cm 이하의 얇은 부위에 적용할 경우, 영상의 대조도와 균일도 향상에 영향을 미칠지 장담할 수는 없지만, 영상획득 시간을 감소시켜 전체적인 검사시간을 단축시킬 수 있으리라는 판단 하에, 본 연구를 진행하였다.

이를 위해 임상에서 빈번히 시행되고 있는 고관절(hip

joint)의 MRI 검사를 대상으로 26cm 이하의 영상영역을 설정하여 적용 전-후의 SNR과 CNR을 비교하고, 영상 획득 시간을 비교하여 multitransmit 기법의 적용으로 인한 영상대조도와 균일도의 변화 및 검사시간의 단축을 통한 적용의 유용성을 증명하고자 하였다.

2. 연구방법

연구대상은 2015년 7월부터 동년 9월까지 고관절 MRI 검사를 시행한 환자를 대상으로 하였다. 연구에 대한 심의는 2015년 3월에 의뢰하여 6월에 최종 승인 되었으며, 검사를 위해 병원에 내원 시 동의여부를 문의하여 동의한 환자를 대상으로 동의서 수령 후 연구를 진행 하였다.

연구방법은 26 cm 이하의 영상영역을 설정하여 multitransmit 기법 적용 전-후 고관절 영상을 획득하였으며, 대퇴골두(head of femur)와 인접 조직인 장요근(Iliopsoas muscle)의 SNR과 CNR, 그리고 검사시간을 각각 측정하였다.

영상획득 장비 및 방법은 3.0 T MR system(Achieva, Philips, Netherland)과 8 channel SENSE cardiac coil을 이용하여, T1, T2 강조영상의 매개변수에 기법 적용에 따른 차이를 알아보기 위해 TR을 최소한도(minimum)로 설정하여 획득하였다.

영상의 매개변수는 T1 강조영상의 경우 TR minimum, TE 20 ms, FA 90°, FOV 200×200 mm, slice thickness 3 mm, slice gap 1 mm, matrix 300×300, NEX 1, T2 강조영상의 경우 TR minimum, TE 80 ms, FA 90°, slice thickness 3 mm, gap 1 mm, FOV 200×200 mm, matrix 300×300, NEX 1을 사용하였으며, 영상획득은 고관절에 수평으로 관골구(acetabulum)를 포함하여 관상면(axial plan)으로 20장 획득하였다.

영상의 측정방법은 영상 평가프로그램(Image J, Ver. 1.47n, NIH, USA)을 이용하여 10 mm²의 ROI(region of interest)를 설정한 후, 대퇴골두와 장요근의 신호강도를 측정하였다(Fig. 1).

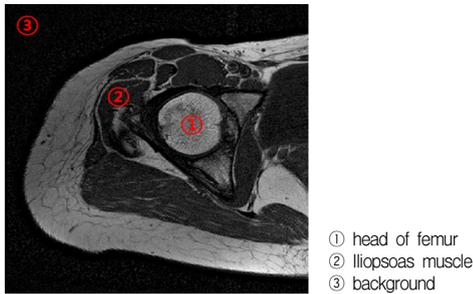


Fig. 1. The SNR and CNR of setting to ROI

SNR은 각각의 측정된 신호강도를 백그라운드 신호 강도의 표준편차로 나누어 계산하였고(식 1), CNR은 대퇴골두와 장요근의 신호강도 차를 구한 다음, 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 절대값으로 계산하였다(식 2).

$$SNR = \frac{resion\ SI}{background\ noise\ SD} \times 100 \quad (1)$$

$$CNR = \left| \frac{lesions\ SI - surrounding\ tissues\ SI}{background\ noise\ SD} \right| \times 100 \quad (2)$$

영상의 정성적 평가는 영상의학과 전문의 3명이 해부학적 구조물의 명확도와 연부조직의 대조도, 전반적인 영상의 질 등 세가지 항목으로 구분하여 multitransmit 기법 적용 전-후 매우 우수(1), 우수(2), 보통(3), 나쁨(4)의 4점 척도로 평가하였다.

통계적 분석방법은 대응표본 T검정(paired t-test, SPSS Ver. 18) 이용하여 multitransmit 기법 적용 전-후 검사시간 단축에 따른 유의한 차이를 평가하였다.

3. 연구결과

연구대상자의 인구사회학적 특성으로 남성이 14명, 여성이 18명이었고, 평균연령은 53.43±12.24세(28세-72세)였다(Table 1).

Table 1. Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	14	43.8
	Female	18	56.3
Age	30 under	5	15.6
	40-49	10	31.3
	50-59	14	43.8
	60 up	3	9.4

Multitransmit 기법 적용 전-후의 SNR은 대퇴골두의 경우, 적용 전 대비 적용 후에 T1 강조영상은 1.3%, T2 강조영상은 1.8%로 낮았으며, 장요근의 경우도 T1 강조영상은 3.0%, T2 강조영상은 2.5%로 각각 낮게 나타났다. 대응표본 T검정 결과, 대퇴골두의 SNR은 적용 전에 비해 T1 강조영상은 0.059, T2 강조영상은 0.062의 차이로 낮았으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>.05). 장요근도 T1 강조영상은 0.070, T2 강조영상은 0.034의 차이를 보였으나, 통계적 유의성은 없었다(p>.05), (Table 2).

Table 2. Quantitative SNR results of hip joint image in two groups

Category	Before	After	Sig.	
T1	Head of femur	4.61±0.93	4.55±0.88	.143
	Iliopsoas muscle	2.33±0.23	2.26±0.19	.159
T2	Head of femur	3.87±0.80	3.80±0.79	.325
	Iliopsoas muscle	1.57±0.11	1.53±0.12	.357

대퇴골두와 장요근의 CNR은 SNR과 비슷한 유형이었으며, T1과 T2 강조영상 모두 적용 전에 비해 2.2%와 3.0%로 낮게 나타났다. 대응표본 T검정 결과, 대퇴골두와 장요근의 CNR은 SNR과 마찬가지로 적용 전에 비해 T1 강조영상은 0.053, T2 강조영상은 0.066의 차이를 보였으나, 통계적 유의성이 없어 multitransmit 기법 적용에 따른 차이는 없다고 볼 수 있다(p>.05), (Table 3).

Table 3. Quantitative CNR results of hip joint image in two groups

Category	Before	After	Sig.
T1	2.28±0.72	2.23±0.81	.352
T2	2.30±0.82	2.23±0.79	.157

해부학적 구조물의 명확도, 연부조직의 대조도, 전반적인 영상의 질 등의 세가지 항목에 대한 정성적 평가 결과, T1과 T2 강조영상 모두 통계적 유의성이 없어 multitransmit 기법 적용에 따른 차이는 없다고 볼 수 있다(p>.05), (Table 4).

Table 4. Qualitative results of hip joint image in two groups

Category	Before	After	Sig.	
T1	Clarity of anatomy	1.66 ± 0.57	1.33 ± 0.57	.423
	Contrast of soft tissue	2.33 ± 0.00	2.33 ± 0.00	1.000
	Overall image quality	2.00 ± 0.00	1.66 ± 0.57	.423
T2	Clarity of anatomy	1.33 ± 0.57	1.66 ± 0.57	.423
	Contrast of soft tissue	2.00 ± 0.61	1.66 ± 0.57	.423
	Overall image quality	1.33 ± 0.57	1.66 ± 0.57	.423

검사시간은 multitransmit 기법 적용 전에 비해 T1, T2 강조영상 모두 감소하였다. T1 강조영상은 42.8%(1분 11초) 감소하였으며, T2 강조영상도 49.7%(1분 26초)로 감소한 것으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Scan time according to multitransmit apply

Category	Before	After	Difference
T1	166sec	95sec	71sec(42.8%)
T2	176sec	87sec	86sec(49.7%)

4. 고찰 및 결론

RF pulse를 인가하여 수소원자를 공명시킨 후, 그 신호를 영상화하는 MRI는 조직간 대조도가 뛰어나 병소의 진단 및 예후평가에 매우 유용하다. 그러나 진단적 가치가 있는 영상을 얻기 위해서는 matrix를 증가시켜야 하고 matrix의 증가는 TR 횟수를 증가시켜 전체적인 검사시간이 길어지는 구조적인 문제점이 있다. 이러한 검사시간을 단축시키고자 그간 많은 연구들이 시행되어 왔다.

Pruessmann 등[9]과 Bauer 등[10]은 SENSE(Sensitivity encoding) 기법과 GRAPPA 기법을 사용하여 검사시간을 단축시키려고 하였고, Excobedo 등[11]은 TSE(turbo spin echo) 기법을 사용하여 검사시간을 줄이고자 하였다. 그러나 검사시간을 줄이기 위해 SENSE 기법과 GRAPPA 기법은 reduction factor를 증가시켜 SNR이 낮아지는 단점이 있었고, TSE 기법은 turbo factor 증가 시킴에 따라 흔들림(blurring) 인공물과 SAR가 높아지

는 문제점이 있었다[12]. 이에 반해, Golay 등[13]은 FOV를 줄임으로써 검사시간을 줄이고자 하였고, Song 등[14]은 영상획득 시 multislice를 이용하여 검사시간을 단축시키려고 하였다. 그러나 두 기법 모두 단순히 영상의 매개변수를 변경한 연구로서 근본적인 해결책이 되지 못하였고, 오히려 SNR이 낮아지는 문제점을 도출시켰다. 이 외에도 검사시간을 줄이기 위해 다양한 기법들이 보고되어 있으나, 검사시간 단축에 따른 인공물이나 SNR과 CNR의 저하 등 여러 가지 문제점을 수반하고 있다.

Kukuk 등[8]과 Nelles 등[15], Rahbar 등[16]은 이러한 문제점의 해결방안으로 dual RF source를 이용하면 single RF source에 비해 TR을 획기적으로 줄일 수 있다는 multitransmit 기법을 적용하여 그 유용성을 보고하였다. 그러나 이 연구들은 RF pulse의 파장보다 두꺼운 부위의 영상대조도 및 균일도 향상에 한정된 반면, 본 연구는 적용한 사례가 없는 26 cm 이하의 얇은 부위에 multitransmit 기법을 적용하여 그 효과를 계량적으로 입증하였다는 데에 차별성이 있다.

연구결과에서 알 수 있듯이, multitransmit 기법 적용 전-후 T1, T2 강조영상 모두 SNR과 CNR, 정성적 평가에서 유의한 차이가 없었고, 검사시간은 T1 강조영상은 42.8%, T2 강조영상 49.7%로 감소하였다. 이는 영상의 질 저하 없이 검사시간을 획기적으로 단축시킬 수 있음을 의미한다.

검사시간의 단축 측면에 한정시켜 선행연구들과 비교해 보더라도 결코 뒤처지지 않음을 알 수 있다. TSE 기법을 이용하면 검사시간을 30% 줄일 수 있다는 Excobedo 등[11]과 FOV를 줄이면 약 35%를 줄일 수 있다는 Golay 등[13]의 연구보다 감소율이 오히려 높았으며, GRAPPA 기법을 사용하면 44.2%(T1 영상)와 44.1%(T2 영상) 줄일 수 있다는 Bauer 등[10]과 multislice를 이용하면 약 50% 줄일 수 있다는 Song 등[14]의 연구와 유사한 감소율을 보여 본 연구의 우수성을 알 수 있다. 여기에 SNR과 CNR의 변화가 없었다는 점에서 상기 선행연구들에 비해 진일보한 연구라 할 수 있다.

또한, 상기에서 언급한 multitransmit 기법을 이용한 많은 연구[8, 15-19]가 영상의 균일도 향상에 국한한 반면, dual RF source로 인한 검사시간 단축을 입증한 최초의 연구라는 점에 학술적 의미를 부여할 수 있다.

본 연구는 multitransmit 기법의 장점 중 하나인 SAR의 감소를 측정하지 않았다는 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 multitransmit 기법을 26 cm 이하의 인체 부위에 처음 적용하였다는 점과, 영상의 질 저하 없이 MRI 검사의 고질적 문제인 검사시간을 획기적으로 줄일 수 있었다는 데에 커다란 의의를 두고 싶다.

References

- [1] Jerrolds, J. Keene. S. "MRI Safety at 3T versus 1.5 T", *Internet Journal of Radiology*, vol.11, no.1, 2010.
- [2] Rasper M, Gramer BM, Settles M, Laugwitz KL, Ibrahim T, Rummeny EJ, Huber A, "Dual-source RF transmission in cardiac SSFP imaging at 3T: systematic spatial evaluation of image quality improvement compared to conventional RF transmission." *Clin Imaging*, vol.39, no.2, pp.231-236, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinimag.2014.11.007>
- [3] Obara M, "Next RF transmission technology "MultiTransmit": theory and clinical application" *Nihon Hoshasen Gijyutsu Gakkai Zasshi*, vol.69, no.3, pp.296-302, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6009/jjrt.2013 JSRT 69.3.296>
- [4] Willinek WA, Gieseke J, Kukuk GM, Nelles M, König R, Morakkabati-Spitz N, Träber F, Thomas D, Kuhl CK, Schild HH. "Dual-Source Parallel Radiofrequency Excitation Body MR Imaging Compared with Standard MR Imaging at 3.0T", *Radiology*. vol.256, no.3, pp.966-975. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10092127>
- [5] Graesslin II, Homann H, Biederer S, Börner P, Nehrke K, Vernickel P, Mens G, Harvey P, Katscher U. "A specific absorption rate prediction concept for parallel transmission MR", *Magn Reson Med*, v.68, no.5, pp.1664-1674. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.24138>
- [6] Van den Bergen B, Stolk CC, Berg JB, Lagendijk JJ, Van den Berg CA. "Ultra fast electromagnetic field computations for RF multitransmit techniques in high field MRI", *Phys Med Biol*, vol.54, no.5, pp.1253-1264, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/54/5/010>
- [7] Son CH, "3.0 Tesla MR Clinical Application: Advanced Neuroimaging", *Medical Postgraduates*, vol.33, no.2, pp.94-100, 2005.
- [8] G. M. Kukuk, J. Gieseke, M. Nelles, R. König, M. Andersson, E. Muschler, P. Mürtz, J. Stout, M. Nijenhuis, F. Träber, N. Morakkabati-Spitz, D. Thomas, C. K. Kuhl, H. H. Schild, "Clinical liver MRI at 3.0 Tesla using parallel RF transmission with patient-adaptive B1 shimming", *Intl. Soc. Mag. Reson. Med.*, 2009.
- [9] Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P, "SENSE: sensitivity encoding for fast MRI", *Magn Reson Med.*, vol.42, no.5, pp.952-962, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2594\(199911\)42:5%3C952::AID-MRM16%3E3.0.CO;2-S](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1522-2594(199911)42:5%3C952::AID-MRM16%3E3.0.CO;2-S)
- [10] Bauer JS, Banerjee S, Henning TD, Krug R, Majumdar S, Link TM, "Fast high-spatial-resolution MRI of the ankle with parallel imaging using GRAPPA at 3 T", *AJR Am J Roentgenol.*, vol.189, no.1, pp.240-245, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.07.2066>
- [11] Escobedo EM, Hunter JC, Zink-Brody GC, Wilson AJ, Harrison SD, Fisher DJ. "Usefulness of turbo spin-echo MR imaging in the evaluation of meniscal tears: comparison with a conventional spin-echo sequence", *AJR Am J Roentgenol.*, vol.167, no.5, pp.1223-1227, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.167.5.8911185>
- [12] D. W. McRobbie, E. A. Moore, M. J. Graves, M. R. Prince. "MRI From Picture to Proton", 2003.
- [13] Golay X, Gillen J, van Zijl PC, Barker PB, "Scan time reduction in proton magnetic resonance spectroscopic imaging of the human brain", *Magn Reson Med.*, vol.47, no.2, pp.384-387, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.10038>
- [14] Song HK, Wright AC, Wolf RL, Wehrli FW, "Multislice Double Inversion Pulse Sequence for Efficient Black-Blood MRI", *Magn Reson Med.*, vol.47, no.3, pp.616-620, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.10094>
- [15] Nelles M, König RS, Gieseke J, Guerand-van Battum MM, Kukuk GM, Schild HH, Willinek WA, "Dual-Source Parallel RF Transmission for Clinical MR Imaging of the Spine at 3.0T: Intraindividual Comparison with Conventional Single-Source Transmission" *Radiology*, vol.257, no.3, pp.743-753, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10092146>
- [16] Rahbar H, Partridge SC, Demartini WB, Gutierrez RL, Parsian S, Lehman CD. "Improved B1 homogeneity of 3Tesla breast MRI using dual-source parallel radiofrequency excitation", *J Magn Reson Imaging*, vol.35, no.5, pp.1222-1226, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.23571>
- [17] Berger A, Schnackenburg B, Schneeweis C, Kelle S, Klein C, Kouwenhoven M, Fleck E, Gebker R, "High-dose dobutamine stress steady-state free precession (SSFP) cine MRI at 3T with patient adaptive local radiofrequency (RF) shimming using dual-source RF transmission" *J Magn Reson Imaging*, vol.42, no.3, pp.746-753. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.24867>
- [18] Chafi H, Elias SN, Nguyen HT, Friel HT, Knopp MV, Guo B, Heymsfield SB, Jia G, "Effect of parallel radiofrequency transmission on arterial input function selection in dynamic contrast-enhanced 3 Tesla pelvic MRI" *J Magn Reson Imaging*, 2015.
- [19] Schär M, Ding H, Herzka DA. "Improvement in B1+ Homogeneity and Average Flip Angle Using Dual-Source Parallel RF Excitation for Cardiac MRI in Swine Hearts" *PLoS One*, vol.10, no.10, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0139859>

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의료영상 공학과 졸업 (공학석사)
- 2015년 8월 : 한양대학교 보건학과 졸업 (보건학박사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 의료영상공학

손 순 룡(Soon-Yong Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 한양대학교 보건학과 졸업 (보건학박사)
- 1990년 6월 ~ 2016년 2월 : 서울아산병원 영상의학과
- 2016년 3월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 보건학, 연구조사방법론