



전신 자기공명영상의 임상적 유용성

Clinical Application of Whole-body MRI

이 진 아 · 이 경 수 · 김 지 혜* | 성균관대의 영상의학과 | Chin A Yi, MD · Kyung Soo Lee, MD · Ji Hye Kim, MD

Department of Radiology, Sungkyunkwan University School of Medicine

E-mail : jhkate@skku.edu

*Corresponding Author : Ji Hye Kim, MD

J Korean Med Assoc 2008; 51(11): 1034 - 1039

Abstract

Whole body magnetic resonance imaging (WB MRI) has become feasible and enables fast scan throughout the body. This technique is based on a real-time gradient-echo imaging and sliding table platform (rolling table concept, which eliminates time-consuming repositioning of patients and surface coils). MRI scanners of the latest generation use high field MRI units of >1.5 Tesla (T), and are reported to have upgraded capabilities in terms of temporal and spatial resolution due to improved signal-to-noise ratios (SNRs) under high magnetic-field strength conditions. The diagnostic accuracy of the whole-body staging strategies of PET/CT and MRI are established. As a start of tumor staging through whole body imaging, PET/CT showed superior performances in T and N staging than WB MRI using 1.5T MR system. But, both imaging procedures showed a similar performance in detecting distant metastases. In a recent report on staging of non-small cell lung cancer (NSCLC), whole body MR imaging proved to be effective as much as PET/CT in T, N, and M staging. In addition, there were organs of strength for each modality in the detection of metastasis. Therefore, whole-body MRI/ PET would be suggested as a future diagnostic procedure of choice for the whole-body imaging with synergistic effects and reduced radiation exposure.

Keywords: MRI; Whole - body MRI; Application

핵심용어: 자기공명영상; 전신 자기공명영상; 적응증

서론

전신 자기공명영상은 최신의 MRI (magnetic resonance imaging) 기술을 이용하여 전신의 자기공명영상을 한 번에 얻는 새로운 영상의학 검사이다. 이러한 영상 기법은 기존의 MRI와 달리, 실시간 영상화를 가능하게 한 매우 빠른 경사예코영상(real-time gradient-echo imaging)을 적용하면서, MR 기계 안을 이동하는 침대 판 기술(rolling-table concept)을 이용함으로써 가능하게 되었다. 뇌,

경부, 흉부, 복부 그리고 하지 등 부위별 자기공명영상화에 있어서의 검사 소요시간이 각각 약 30~60분 가량을 감안할 때, 전신의 자기공명영상을 30~40분에 얻는 방법은 매우 새롭으며 이러한 영상기법이 가지는 장단점과 그 임상적 응용도 새롭게 고려되어야 한다.

전신 자기공명영상의 획득 방법

전신 자기공명영상 기법은 2000년을 전후하여 몇몇 논문

Table 1. Summary of image acquisition protocols for the whole-body MRI

Study	Year	Number of patients	Underlying	MR disease	Sequences	Details system	Acquisition time
Horvath, et al.(1)	1999	19	Breast cancer	1.5T	T2-weighted spin-echo EPI	2,000/60 (repetition time/echo time, msec), 10-mm-thick axial images, FOV 40 x 20 cm, matrix 128 x 128 voxels	6 minutes
					Inversion-recovery EPI	2,000/60/140 (repetition time/echo time/inversion time, msec), 10-mm-thick axial images, FOV 40 x 20 cm, matrix 128 x 128 voxels	6 minutes
Walker, et al.(2)	2000	17	Breast cancer	1.5T	T2-weighted turbo STIR	4,000/40/160 (repetition time/echo time/inversion time, msec), echo train length (ETL) 6, echospacing 12 msec, 8-mm-thick coronal images, FOV 45~50 cm	40 minutes with respiratory gating
Barkhausen, et al.(5)	2001	8	3 healthy volunteers and 5 malignant tumors	1.5T	Real-time true FISP	2.2/1.1 (repetition/echo time, msec), 60° flip angle, matrix 63 x 128 voxels, 8-mm-thick axial images	8 minutes
Lauenstein, et al.(3)	2004	51	Malignant tumors	1.5T	T2-weighted half-Fourier RARE with fat suppression	1,200/60 (repetition time/echo time, msec), 150° flip angle, matrix 144 x 256 voxels, 7-mm-thick axial images	14.5 minutes
					Contrast-enhanced 3D gradient echo	3.1/1.17 (repetition time/echo time, msec), 12° flip angle, matrix 264 x 512 voxels, 3-mm-thick axial images	
Yi, et al.(4)	2008	174	NSCLC	3T	TIBB T2-weighted TSE	3,600/80 (repetition time/echo time, msec), echo train length 22, matrix 256 x 256 voxels, 8-mm-thick axial images	40 minutes
					3D gradient echo	3.0/1.44 (repetition time/echo time, msec), 10° flip angle, matrix 224 x 224 voxels, 5-mm-thick axial images	

EPI: echo-planar MR images, FOV: field-of-view, STIR: short-tau inversion recovery, FISP: fast imaging with steady-state precession, RARE: rapid acquisition with relaxation enhancement, NSCLC: non-small cell lung cancer, TIBB: triple-inversion black blood, TSE: turbo-spin echo

에서 소수의 환자 혹은 건강한 지원자들을 대상으로 보고되기 시작하였으며, 이들 보고들에서 나타난 전신 자기공명영상의 획득 방법을 Table 1에 정리하였다. 전신 자기공명영상의 획득 방법은 초기에 T2 강조영상을 통해 비정상적으로 증가된 신호강도를 찾아 병변을 알아내는 프로토콜들을 이용하였으나(1, 2) 이후에 3D volume 기법을 이용한 매우 빠른 경사예코영상이 도입되면서 조영 전후의 T1강조영상을 비교하여 비정상적으로 조영증강 되는 병변을 찾아내

는 방법으로 발전하였다(3, 4). 초창기 전신 자기공명영상들은 빨라진 자기공명영상 기술의 효과를 극대화 할 수 있도록 조영 증강하지 않은 단일 프로토콜의 영상을 이용한 소규모 결과들을 내놓았으며(1, 2, 5) 이후 보고에서는 다중 조영증강 영상을 포함하는 전신 자기공명영상을 구현하여 조영증강되는 국소병변을 찾아 전이 병변을 검색하는 프로토콜로 발전하였다(3, 4, 6). Lauenstein 등은 다양한 종류의 암 환자를 대상으로 전신 자기공명영상의 유용성을 검증

하였고(3), 보다 최근 Yi 등에 의한 보고에서는 폐암 환자만을 대상으로 하였으며 3T MR system을 이용하여 향상된 T2 강조영상과 조영증강 3D 경사코어 영상을 통하여 PET/CT와 비견할 만한 진단적 유용성을 보고하였다(4).

전신 자기공명영상의 획득 방법은 기본적으로 각 부위별 자기공명영상과 비교할 때 크게 두 가지 차이점을 가진다. 첫째는 영상 획득에 이용되는 코일의 차이로서 각 부위별 자기공명영상에서는 영상을 얻고자 하는 부위에 최대한 밀착될 수 있는 코일(surface coil)을 쓰는 반면, 전신 자기공명영상에서는 인체로부터 어느 정도 떨어져 있는 코일(body coil)을 사용함으로써 움직이는 테이블로부터 얻어지는 각 신체 부위의 신호강도를 매번 부위별로 코일을 탈부착하지 않고 연결하여 받아 전신의 영상을 만들게 된다. 이와 같이 body coil을 통하여 신체에서 발생하는 신호강도로부터 받아들이는 경우, surface coil에 비하여 신호강도(signal-to-noise ratio, SNR)가 낮아 지는 단점이 있으므로, 전신 자기공명영상의 경우 강한 SNR을 만들어 낼 수 있는 1.5 Tesla 이상의 고자장 MR system을 이용할 경우 진단적으로 유용한 영상 두께와 영상의 질을 유지하는 것이 용이하다. 두 번째 차이는 환자의 한 부위만을 촬영하는 것이 아니므로 환자를 고정시키지 않고 MR 기계 안을 이동하는 침대 판 기술(rolling-table concept)을 이용하여야 한다는 점이다. 이러한 기술을 통하여 신체 각 부위의 영상을 끊김 없이 연결하여 얻음으로써 보다 빨리, 간단히 그리고 방사선 조사의 위험없는 비침습적 방법으로 전신 영상을 얻을 수 있게 되었다.

전신 자기공명영상의 임상적 적응증

1. 소아 환자에 있어서 전신 자기공명영상의 유용성

소아 환자에 있어서 전신 자기공명영상은 전신적인 골스캔(bone scintigraphy) 및 PET/CT 검사를 대신할 수 있는 검사 방법으로 시도되고 있다. 골스캔 및 PET/CT는 모두 상당량의 방사선 조사를 피할 수 없는 검사인 반면, 전신 자기공명영상은 전혀 방사선 조사가 없다는 장점이 있으므로 특히 방사선 조사에 민감한 소아 환자들에서의 유용성

이 크다고 할 수 있다(7). 소아 환자의 전신 자기공명영상은 주로 골수의 병변 여부를 평가하는 용도로 주로 사용되므로, 조영증강을 이용하는 T1 강조영상보다는 지방의 신호강도를 억제한 STIR (short-tau inversion recovery) 영상의 중요성이 강조되고 있다(8, 9). STIR는 지방의 신호강도를 억제하는 특성이 있으며 proton, T1, T2 대조도의 특성을 고루 나타내는 영상으로서 종양세포들에 많이 분포하게 되는 proton 성분이 지방이 억제되어 나타나는 검은 바탕의 골수 조직 상에서 고신호 강도를 보여 전이성 골수 병변에 대한 우수한 대조도의 영상을 만들게 된다. 하지만 이러한 영상의 해석에 있어서는 환자의 나이에 따른 생리적인 골수의 변화와 이에 따른 영상 소견에 대한 이해가 필요하다.

소아 환자에 있어서도 전신 자기공명영상은 종양의 파급 정도를 전신적으로 평가하는 데 있어서 유용성이 높은 평가를 받고 있다(8~11). Goo(11) 등이 36명의 소아 암 환자들을 대상으로 종양의 골 전이 여부를 평가하는 데 있어서 전신 자기공명영상의 유용성을 bone scintigraphy와 비교하여 비슷한 정도의 양성 예측도와 감수성을 보고하였다. 이로써 필자들은 전신 자기공명영상이 bone scintigraphy를 대체할 수 있는 검사로 결론지었으며 전신 자기공명영상에서는 골 전이 소견 외에도 기타 장기로의 전이도 추가로 발견할 수 있고, 병변의 추적 검사를 통하여 치료에 대한 반응 여부를 평가할 수 있는 장점이 있다고 보고하였다(11).

2. 암 환자에 있어서 전신 자기공명영상의 유용성

전신 자기공명영상을 이용한 초기의 연구들에서는 소규모 환자를 대상으로 하여 병변의 크기에 따라 전신 자기공명영상에서의 발견율 등을 보고하였는데, steady-state precession gradient-echo sequence를 이용한 전신 자기공명영상의 경우 폐와 간에 생긴 전이 중 장경 8mm 이상의 병변들은 모두 발견할 수 있었다고 보고하였다(5). 암 환자의 병기결정에 있어서의 전신 자기공명영상의 유용성에 대한 보고는 먼저 유방암 환자들을 대상으로 이루어졌는데, 95%의 환자들을 전신 자기공명영상을 이용하여 빠르게 병기결정 할 수 있다고 하면서 이러한 성적은 단순촬영, 골스

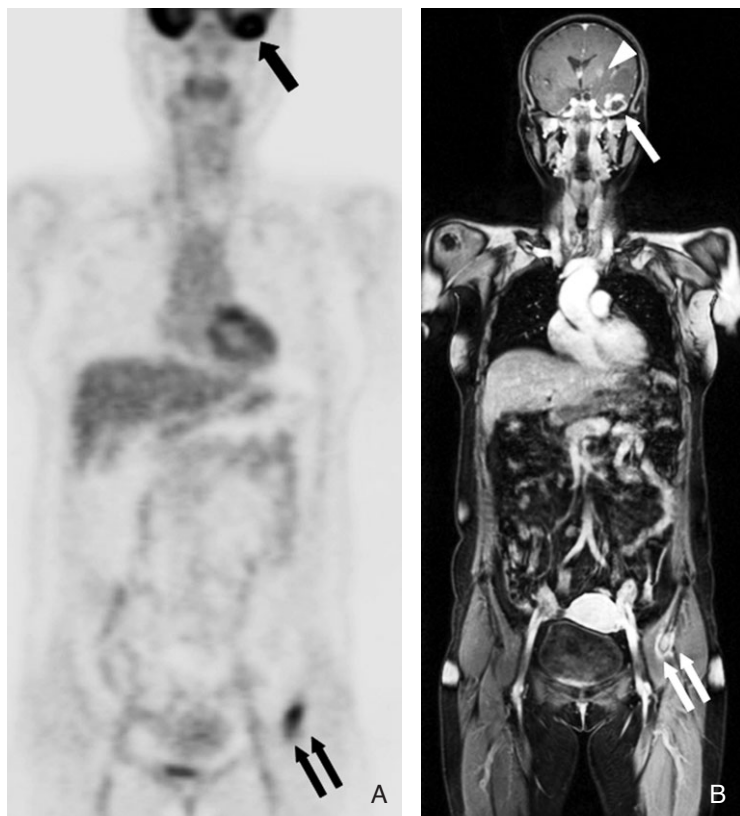


Figure 1. Concordant detection of metastasis in a 48-year-old woman with adenocarcinoma in the right lung. (A) Max-imum intensity projection PET image shows a hyper-metabolic mass (arrow) in the left temporal lobe of the brain and a focal hot-uptake lesion (double-arrow) in the left iliac bone, representing brain and bone metastases. (B) Enhanced T1-weighted turbo field-echo whole-body MR image shows a rim-enhancing mass (arrow) in the left temporal lobe of the brain and a focal enhancing lesion (double-arrow) in the left iliac bone, representing brain and bone metastases. Note another smaller metastatic nodule (arrowhead) in the left thalamus of the brain, which was not covered in the field-of-view of the PET/CT.

캔, CT 검사를 이용한 고식적 방법의 병기결정 방법과 비교할 때 적어도 동등한 정도의 정확도임을 보고하였다(1). 이후 암 환자의 병기결정에 있어 고식적 방법에 비하여 보다 유용한 것으로 알려진 전신 영상기법인 PET/CT와 비교한 연구는 Lauenstein 등에 의해 다양한 종류를 암 환자들을 대상으로 하여 처음 보고되었다. 이 연구에서는 1.5T MR을 이용하여 전신 자기공명영상을 촬영하였고 T와 N의 병기결정에 있어서는 PET/CT가 우세하나, 전이 병기의 결정에 있어서는 전신 자기공명영상과 PET/CT가 동등한 정도의 유

용성을 보였다(3). Yi 등은 3T MR을 이용한 최근의 연구에서 174명의 비소세포성 폐암 환자를 대상으로 하여 병기 결정을 하였을 때 폐암의 원발성 병소와 림프절 전이 그리고 전신적 전이의 평가에 있어서 모두 전신자기공명영상이 기존의 유일한 전신 영상 기법이던 PET/CT와 비교하여 동등한 정도의 진단적 효용성을 보였으며, PET/CT 검사시 부득이한 환자의 내부적 외부적 방사선 피폭의 위험을 피할 수 있다는 점에 있어서 큰 장점이 있다고 보고하였다(Figure 1)(4). 또한 각각의 검사에서만 발견되는 전이성 병변의 특징을 비교하였는데, 전신 자기공명영상은 생리적으로 FDG 섭취가 강하게 나타나 PET/CT를 이용한 병변의 발견이 어려운 뇌와 간의 경우 장점을 보였으며(Figure 2), 반면 작은 림프절 전이나 신체 표면에 위치한 전이의 경우에는 PET/CT에 비하여 발견율이 낮았다.

3. 암 선별 검사로서의 전신 자기공명영상

이제까지 암 환자들을 대상으로 하는 전이성 병변의 선별검사로서의 전신 자기공명영상의 유용성에 대한 연구는 다수 발표되고 있지만, 아직 건강한 사람들을 대상으로 전신 자기공명영상을 이용한 집단 검진

의 유용성이나 이의 비용-효과 면에 관한 연구는 보고된 바 없다. 단지 사회 전반적으로 암 검진에 대한 필요성과 방사선 조사의 위험성에 대한 인식이 증가되면서 전신 자기공명영상을 검진에 이용해 보고자 하는 개별적인 시도가 이루어지고 있다. 하지만, 암 환자를 대상으로 전신 자기공명영상을 시행하였던 연구자들은 조심스럽게 임상적으로 발현되지 않은 조기 암 진단을 위한 전신 자기공명영상의 잠재적 역할과 프로토콜에 관한 긍정적인 의견을 개진하고 있으며(12), 암 뿐만 아니라 전신적인 혈관질환의 선별검사나 척추관절

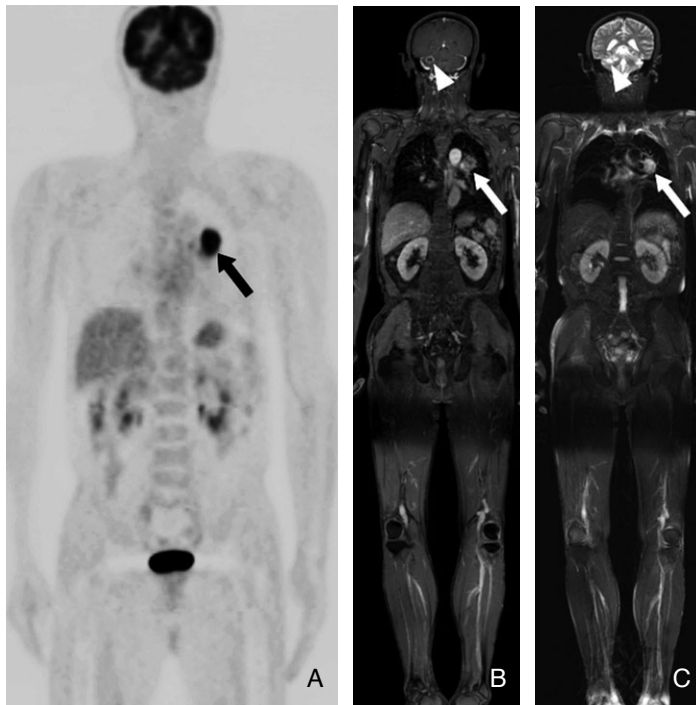


Figure 2. Images of brain metastasis in a 62-year-old man with NSCLC of the lung detected at whole-body MR imaging, but not at PET/CT. (A) Maximum intensity projection PET image shows a primary lung cancer (arrow) in the left upper lobe, but not metastatic nodule in the brain. (B) Enhanced T1-weighted turbo field-echo whole-body MR image shows a spiculated enhancing primary lung cancer in the left upper lobe (arrow) and a rim-enhancing metastatic nodule (arrowhead) in right cerebella hemisphere in the brain. (C) T2-weighted turbo spin-echo whole-body MR image shows a focal high signal intensity lesion (arrowhead) in the corresponding area of the right cerebella hemisphere. Note primary mass in left upper lobe (arrow). Increase in size on follow-up MR images confirms a brain metastasis.

염(spondyloarthritis) 에서의 전신 자기공명영상의 유용성에 대한 연구들도 보고되고 있다(13, 14).

전신 자기공명영상의 발전 방향

기술적인 면에 있어서 전신 자기공명영상은 기존의 T2 강조영상 만을 이용한 진단에 더하여 조영증강 영상을 추가한 프로토콜을 시행함으로써 진단적인 면에서 병변의 발견율을 크게 높일 수 있다. 물론 추가적인 검사 시간의 증가를 피할 수 없지만 조영증강 영상을 추가한 경우에도 40분 가량의 검사시간 내에 검사가 진행될 수 있도록 조절할 수 있

다. 이를 가능하게 하기 위해서는 조영증강 영상을 isovo-xel의 3D volume 영상 기법을 이용하여 얻음으로써 축성 영상을 획득한 검사 종료 후에 관상면과 시상면으로 영상을 재구성함으로써 여러 방향의 영상 획득을 위한 시간을 단축시킬 수 있다.

자기공명영상은 조직의 대조도가 높은 영상으로서 그 어떤 영상의학적 방법보다 해부학적 변화를 초래하는 작은 병변의 발견에 장점이 있다. PET/CT의 경우 알려진 공간해상도는 대략 8mm 가량으로 영상 자체의 해상도는 좋지 않지만, 신체 내의 포도당 대사를 반영한다는 점에 있어서 기능적인 영상으로서의 의미가 크다. 하지만 PET/CT는 방사선 동위 원소를 체내에 주입해야 하는 내부적 방사선 조사 외에도 전신적으로 CT를 시행한다는 외부 방사선 조사에 대한 부담이 크고, 뇌나 간 등 특정 기관의 병변 발견에 있어 MRI 비해 제한점을 보인다. 그러므로 기술적인 면에서 어려움이 많지만 자기공명영상의 장점과 PET의 기능적 영상의 장점을 살린 MRI/PET를 실용화 할 수 있다면 전신적인 영상정보를 필요로 하는 많은 환자들에게 보다 유용한 검사방법이 될 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Horvath LJ, Burtneess BA, McCarthy S, Johnson KM. Total-body echo-planar MR imaging in the staging of breast cancer: comparison with conventional methods-early experience. *Radiology* 1999; 211: 119-128.
2. Walker R, Kessar P, Blanchard R, Dimasi M, Harper K, DeCarvalho V, Yucel EK, Patriquin L, Eustace S. Turbo STIR magnetic resonance imaging as a whole-body sc-reening tool for metastases in patients with breast carcinoma: preliminary clinical experience. *J Magn Re-son Imaging* 2000; 11: 343-350.
3. Lauenstein TC, Goehde SC, Herborn CU, Goyen M, Oberhoff C, Debatin JF, Ruehm SG, Barkhausen J. Whole-body MR imaging: evaluation of patients for metastases. *Radiology* 2004; 233: 139-148.

4. Yi CA, Shin KM, Lee KS, Kim BT, Kim H, Kwon OJ, Choi JY, Chung MJ. Non-small cell lung cancer staging: efficacy comparison of integrated PET/CT versus 3.0-T whole-body MR imaging. *Radiology* 2008; 248: 632-642.
5. Barkhausen J, Quick HH, Lauenstein T, Goyen M, Ruehm SG, Laub G, Debatin JF, Ladd ME. Whole-body MR imaging in 30 seconds with real-time true FISP and a continuously rolling table platform: feasibility study. *Radiology* 2001; 220: 252-256.
6. Thomson V, Pialat JB, Gay F, Coulon A, Voloch A, Granier A, Guerin JC, Viallon M, Berthezene Y. Whole-body MRI for metastases screening: a preliminary study using 3D VIBE sequences with automatic subtraction between noncontrast and contrast enhanced images. *American journal of clinical oncology* 2008; 31: 285-292.
7. Darge K, Jaramillo D, Siegel MJ. Whole-body MRI in children: Current status and future applications. *European journal of radiology* 2008.
8. Daldrup-Link HE, Franzius C, Link TM, Laukamp D, Sciuk J, Jurgens H, Schober O, Rummeny EJ. Whole-body MR imaging for detection of bone metastases in children and young adults: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET. *Ajr* 2001; 177: 229-236.
9. Mazumdar A, Siegel MJ, Narra V, Luchtman-Jones L. Whole-body fast inversion recovery MR imaging of small cell neoplasms in pediatric patients: a pilot study. *Ajr* 2002; 179: 1261-1266.
10. Laffan EE, O'Connor R, Ryan SP, Donoghue VB. Whole-body magnetic resonance imaging: a useful additional sequence in paediatric imaging. *Pediatric radiology* 2004; 34: 472-480.
11. Goo HW, Choi SH, Ghim T, Moon HN, Seo JJ. Whole-body MRI of paediatric malignant tumours: comparison with conventional oncological imaging methods. *Pediatric radiology* 2005; 35: 766-773.
12. Lauenstein TC, Semelka RC. Emerging techniques: whole-body screening and staging with MRI. *J Magn Reson Imaging* 2006; 24: 489-498.
13. Althoff CE, Appel H, Rudwaleit M, Sieper J, Eshed I, Hamm B, Hermann KG. Whole-body MRI as a new screening tool for detecting axial and peripheral manifestations of spondyloarthritis. *Annals of the rheumatic diseases* 2007; 66: 983-985.
14. Ladd SC, Debatin JF, Stang A, Bromen K, Moebus S, Nuefer M, Gizewski E, Wanke I, Doerfler A, Ladd ME, Benemann J, Erbel R, Forsting M, Schmermund A, Jockel KH. Whole-body MR vascular screening detects unsuspected concomitant vascular disease in coronary heart disease patients. *European radiology* 2007; 17: 1035-1045.



Peer Reviewers Commentary

본 논문은 최근 자기공명영상기법의 발전으로 인하여 짧은 시간 내에 촬영이 가능해진 전신자기공명영상의 서론적 소개와 그 임상적 응용에 관하여 기술하고 있다. 이 검사는 암 환자에 있어 병기결정과 추적검사 및 재발 유무를 확인하기 위한 전신영상검사로 PET/CT와 더불어 중요한 검사방법이다. 더욱이 전신자기공명영상은 소아 환자나 암 선별 검사에 있어서 방사선 피폭량이 거의 없다는 장점과 상대적으로 부작용이 적은 조영증강제를 사용한다는 장점을 가지고 있다. 또한 PET/CT에 비해 해상도가 높고 뇌, 간 등의 기존 포도당 대사가 높은 부위에 있어서는 PET/CT보다 나은 영상대조도를 제공해 준다. 아울러 전신자기공명확산영상은 민감도가 매우 높아 암의 전이나 검출에 있어서도 활용이 가능하다. 고해상도의 해부학적 영상을 제공하는 자기공명영상과 기능적 영상을 제공하는 PET과의 융합 영상은 전신영상기법에 있어서 앞으로 새로운 전기를 마련해 줄 것으로 기대된다.

[정리: 편집위원회]