

악성종양의 감별진단을 위한 근골격의 확산강조영상 검사 시 최적의 여기횟수

Diffusion Weighted Imaging in Musculoskeletal MRI: Analysis on Optimal Number of Excitations Providing better Differentiation of Malignant Tumor

최관우

서울아산병원 영상의학과

Kwan-Woo Choi(cns365@naver.com)

요약

본 연구에서는 근골격 확산강조영상 검사 시 검사시간이 긴 여기횟수의 문제점을 인지하고 이를 대체할 수 있는 최적의 여기횟수를 제시하여 이를 개선하고자 하였다. 연구방법은 무릎관절 MRI 검사를 받은 30명을 대상으로, 여기횟수를 1부터 5까지 사용하여 뼈와 근육의 확산강조영상을 획득한 다음 여기횟수의 변화에 따른 ADC value를 비교분석 하였다. 연구 결과 기존에 관행적으로 사용해왔던 여기횟수 5와 차이가 없는 최소 여기횟수는 뼈의 경우 4, 근육의 경우 2로 나타났다. 이는 기존 여기횟수의 검사시간에 비해 뼈는 21.2%, 근육은 59.6% 단축된 수치로, 위에 제시한 여기횟수를 적용하면 통계적으로 차이가 없어 검사시간을 단축시키면서 기존 여기횟수를 대체할 수 있음을 의미하는 것이다. 결론적으로 본 연구가 제시한 여기횟수를 근골격 확산강조영상 검사에 적용하면 검사시간의 증가로 인해 발생할 수 있는 문제점을 개선할 수 있다.

■ 중심어 : | ADC Value | 여기횟수 | 확산강조영상 | 검사시간 | 근골격 |

Abstract

The purpose of this study was to determine the optimal number of excitations(NEX) of diffusion weighted imaging(DWI) which is clinically useful in patients with musculoskeletal diseases while the scan time is relatively long. In this study, 30 patients underwent knee MRI using diffusion weighted image sequence using b values targeted on the bone and muscle. The NEX were varied from 1 to 5 and the ADC values were measured and analyzed. As a result of the study, 4 NEX and 2 NEX showed an statistically identical effect with the existing NEX on the bone and muscle diffusion weighted images, respectively. Also, it proved that the scan time could be significantly reduced by 21.2 % and 59.6 % compared to the established NEX which meant the optimal NEX could replace the existing NEX. In conclusion, applying the optimal NEX on the musculoskeletal bone and soft tissue DWI could improve the problems caused by the long scan time.

■ keyword : | ADC Value | Number of Excitations | Diffusion-Weighted Imaging | Scan Time | Musculoskeletal |

I. 서론

확산 강조 영상(diffusion weighted image, 이하 DWI)은 자기공명영상(magnetic resonance image, 이하 MRI) 기법 중 인체 내 물 분자의 미세한 확산운동을 영상화하여 세포의 배열 상태를 평가할 수 있는 기법이다[1]. 초기에는 주로 경색이나 혈전으로 인해 발생하는 허혈성 뇌졸중의 조기진단에 이용되었으나 최근 들어 다양한 부위의 질병의 진단 및 예후 평가에 이용되고 있다[2].

특히, DWI의 b-value 영상을 후처리하여 생성하는 ADC(apparent diffusion coefficient) 영상의 ADC value는 종양의 진단 및 예후평가에 매우 유용하게 이용된다[3]. 대표적으로 근골격에선 종양의 위치결정과 악성 종양의 감별진단에 매우 유용하게 사용되고 있으며, 복부에선 세포가 밀집되어 있는 질환의 발견 증가와 병변의 성질 평가에 유용하게 사용되고 있다[3][4].

그러나, 근골격이나 복부의 DWI는 뇌와 달리 여기횟수를 증가시켜 영상을 획득한다. 즉, 뇌에서는 여기횟수를 2 이하로 사용하지만 복부나 근골격에서는 여기횟수를 5 이상 사용하는 것이다[2].

여기횟수는 동일한 물체에 여기펄스를 가하여 생성되는 MRI 신호를 반복적으로 획득하는 것으로 주로 신호강도를 높이기 위한 목적으로 사용된다. 왜냐하면, 신호강도가 높을수록 병변의 경계를 분명하게 하여 병변의 정확한 위치 확인이 가능하기 때문이다[5]. 하지만 반복적으로 신호를 획득할 경우 그에 비례하여 영상 획득시간도 증가한다. 특히, 영상획득시간의 경우 루트(root)배로 증가하는 신호강도에 비해 정수배로 증가하기 때문에 여기횟수를 무분별하게 증가시킬 경우 검사시간이 기하급수적으로 증가한다[6].

검사시간의 증가는 오히려 환자에게 불편함과 움직임 가능성을 증가시켜 영상의 질을 저하시킬 수 있다. 또한 한정된 업무시간 내에서 검사시간의 증가로 인해 많은 환자를 볼 수 없기 때문에 병원의 수익에도 악영향을 미친다[7]. 그러나 임상에서는 위와 같은 문제점이 발생할 수 있음에도 불구하고 아직까지 복부나 근골격의 여기횟수에 관한 연구가 없어 대부분 이를 간과하고

검사를 시행하고 있는 실정이며, 그로 인해 발생할 수 있는 여러 문제의 심각성을 인식하지 못하고 있는게 현실이다.

이에 저자들은 여기횟수에 따른 신호강도가 루트배로 증가한다는 점에 착안하여 일정 횟수 이상의 여기횟수에서는 신호강도 증가의 기울기가 줄어들어 획득시간 대비 신호강도의 증가율이 낮아질 것이라 가정을 하였다. 따라서 실험을 통하여 지금까지 관행적으로 사용해왔던 여기횟수를 기준으로 여기횟수를 감소시켜가며 영상을 획득한 후 여기횟수의 변화에 따른 ADC value를 측정하여 통계적으로 기준 여기횟수와 차이가 없는 최소 여기횟수를 제시한다면, 여기횟수에 의한 검사시간의 증가로 인해 발생할 수 있는 문제점을 예방할 수 있으리라 생각하였다. 즉, 신호강도의 증가율은 여기횟수가 증가할수록 낮아지므로 통계적으로 기존의 여기횟수와 차이가 없는 최소의 여기횟수를 제시한다면 여기횟수 증가로 인한 심각성을 인식시키고 그에 따른 문제점을 감소시킬 수 있을것이라 생각한 것이다.

따라서 본 연구에서는 근골격 DWI 검사 시 여기횟수의 변화에 따른 ADC value를 비교분석하여, 관행적으로 사용하고 있는 검사시간이 긴 여기횟수를 대체할 수 있는 최적의 여기횟수를 제시하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

연구방법은 근골격 검사 중 무릎관절(knee)의 이상여부를 확인하기 위해 MRI 검사를 받은 30명을 대상으로, 여기횟수를 1부터 5까지 사용하여 영상획득시간 측정과 뼈와 근육의 DWI를 획득한 후 후처리하여 여기횟수의 변화에 따른 ADC value를 비교평가 하였다.

연구대상자의 실험 동의는 연구 시작 전 연구원이 목적과 내용 그리고 비밀보장과 목적 이외에 사용되지 않음을 설명한 후 동의서에 서명을 받고 검사를 진행하였으며, 결과는 숫자로 처리해 식별 불가능하도록 하였다.

영상획득은 3.0T 초전도 자기공명영상 장치(Ingenia CX, Philips medical system, Netherlands)와 dS T/R 16채널 knee 코일을 사용하여 single-shot EPI 기법을

기반으로 한 축상면(axial) DWI를 영상획득시간을 최소화하기 위해 각각 10 slice로 설정하여 부분 획득하였으며, 여기횟수 이외는 모든 변수를 통제하였다.

영상의 매개변수는 뼈와 근육 모두 [Table 1]과 같이 설정하였으며, DWI의 b-value는 뼈의 경우 0, 400, 1400, 근육의 경우 0, 400, 800의 영상의 획득한 후 각각의 ADC 영상을 생성 하였다[2-4].

Table 1. Image parameters

TR (ms)	TE (ms)	FA (°)	FOV (mm)	Thickness/gap (mm)	Matrix
2000	80	90	150×150	3/1	128×128

ADC value는 생성된 ADC 영상의 뼈와 근육에 관심 영역(region of interest, 이하 ROI)을 설정하여 측정하였으며[Fig. 1], 측정된 ADC value는 일원배치분산분석(SPSS ver. 22, SPSS Inc., Chicago IL, USA)과 Duncan의 사후분석을 이용하여 유의한 차이가 있는지 판단하였다.

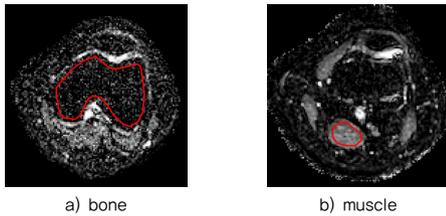


Fig. 1. ROIs located on the images

III. 연구결과

연구대상자의 인구사회학적 특성은 남성이 13명, 여성이 17명이었고 평균연령은 56.42±13.19세(38세-75세)였다[Table 2].

Table 2. Demographic characteristics of subjects

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	13	43.3
	Female	17	56.7
Age	40 under	4	13.3
	40-50	7	23.3
	50-60	13	43.3
	60 up	6	20.0

여기횟수의 변화에 따른 영상획득시간은 여기횟수가 1일 경우 22.2초, 2일 경우 38.9초, 3일 경우 59.3초, 4일 경우 76.0초, 5일 경우 96.4초로 여기횟수가 증가할수록 영상획득시간은 증가하였다[Table 3].

Table 3. Image acquisition time according to number of excitations

NEX	scan time
1	22.2sec
2	38.9sec
3	59.3sec
4	76.0sec
5	96.4sec

여기횟수 변화에 따른 ADC value는 뼈의 경우 여기횟수가 1일 때 0.212±0.020, 2일 때 0.151±0.015, 3일 때 0.125±0.017, 4일 때 0.110±0.010, 5일 때 0.102±0.014로 여기횟수가 증가할수록 ADC value가 감소하였고, 근육의 경우도 뼈와 마찬가지로 여기횟수가 1일 때 1.494±0.070, 2일 때 1.387±0.052, 3일 때 1.371±0.045, 4일 때 1.359±0.055, 5일 때 1.369±0.042로 여기횟수가 증가할수록 ADC value가 감소하였다[Table 4].

Table 4. ADC values according to number of excitations

NEX	bone	muscle
1	0,212±0.020	1,494±0.070
2	0,151±0.015	1,387±0.052
3	0,125±0.017	1,371±0.045
4	0,110±0.010	1,359±0.055
5	0,102±0.014	1,369±0.042

기준 여기횟수와 차이가 없는 최소 여기횟수를 제시하기 위해 일원배치분산분석을 시행한 결과 뼈의 경우 그룹 간 0.076, 그룹 내 0.011, F 77.347, 유의수준 0.000으로 나타나 기준 여기횟수와 적어도 다른 하나의 값이 존재함을 알 수 있으며, 근육의 경우도 뼈와 마찬가지로 그룹 간 0.123, 그룹 내 0.130, F 10.640, 유의수준 0.000으로 나타나 기준 여기횟수와 적어도 다른 하나의 값이 존재함을 알 수 있다[Table 5].

Table 5. Analysis of one-way ANOVA on ADC values according to number of excitations

		Sum of Squares	Mean Squares	F	Sig.
bone	Between Groups	0,076	0,019	77,347	,000
	Within Groups	0,011	0,000		
	Total	0,086			
muscle	Between Groups	0,123	0,031	10,640	,000
	Within Groups	0,130	0,003		
	Total	0,254			

기준 여기횟수와 차이가 없는 최소 여기횟수를 제시하기 위해 사후분석을 시행한 결과 뼈의 경우 집단 간 차이가 4개로 나타났으나 기준 여기횟수인 5와 4가 집단 1로 나타나, 여기횟수 4부터 통계적으로 기준 여기횟수와 ADC value가 차이가 없음(sig.=.263)을 알 수 있으며[Table 6],

Table 6. Post analysis of ADC value according to number of excitations – bone

bone	Subset for alpha = 0.05			
	1	2	3	4
5	,102			
4	,110			
3		,125		
2			,151	
1				,212
Sig.	,263	1,000	1,000	1,000

근육의 경우 집단 간 차이가 2개로 나타났으나 기준 여기횟수인 5와 4, 3, 2가 집단 1로 나타나, 여기횟수 2부터 통계적으로 기준 여기횟수와 ADC value가 차이가 없음(sig.=.285)을 알 수 있다[Table 7].

Table 7. Post analysis of ADC value according to number of excitations – muscle

muscle	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
4	1,359	
5	1,369	
3	1,371	
2	1,387	
1		1,494
Sig.	,285	1,000

위와 같은 결과는 영상을 통해서도 확인할 수 있는데 기준 여기횟수인 5와 비교하여 뼈의 경우 여기횟수 4부터 근육의 경우 여기횟수 2부터 차이가 없음을 육안으로도 확인할 수 있다[Fig. 2].

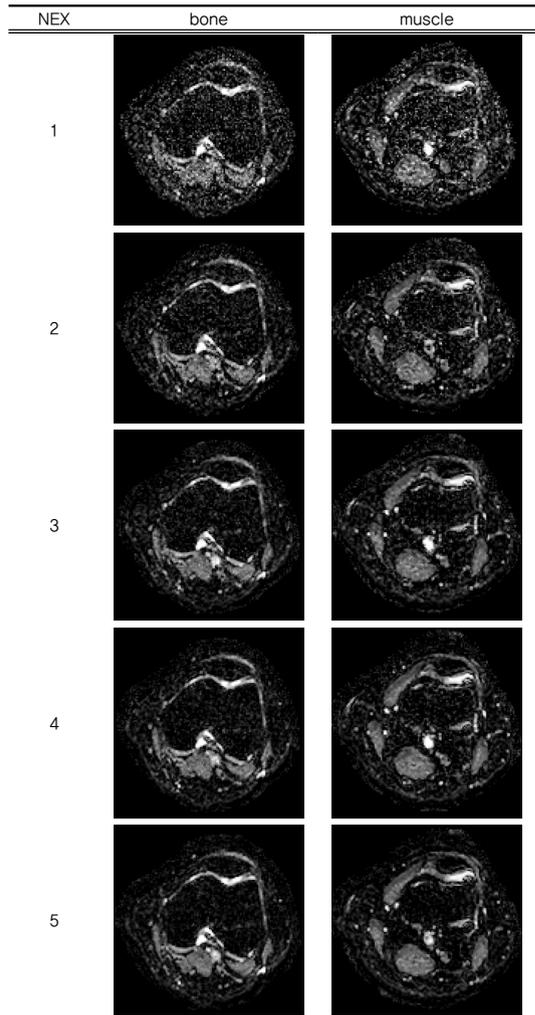


Fig. 2. Image quality changes according to the number of excitation

IV. 고찰

DWI의 ADC value는 서로 다른 b-value 영상을 획득한 다음 후처리를 통해 ADC 영상을 생성한 후 생성

된 ADC 영상에 ROI를 설정하여 측정한다[8]. 이때 ADC value는 값이 작을수록 확산이 제한되는 것을 의미하는데, 종양의 악성도가 높아 세포충실성이 높을수록 작은 값을 나타내어 종양의 위치 결정과 악성종양의 감별진단에 매우 유용하게 이용된다[3][4]. 위와 같은 특성으로 인해 최근 DWI는 뇌만 아니라 근골격 MRI 검사에도 유용하게 사용되고 있다. 그러나 악성종양의 감별진단에 쓰이는 근골격 DWI의 경우 급성 뇌경색 진단에 쓰이는 뇌 DWI에 비해 여기횟수를 증가시켜 영상을 획득하기 때문에 검사시간이 매우 길다. 여기횟수의 증가는 검사시간을 증가시키는 직접적인 인자이다. 검사 시간의 증가는 환자의 통증을 유발하거나 폐쇄공포증과 소음에 의한 움직임 증가시킨다. 따라서 이로 인한 검사의 실패 가능성이 높아질 수 있다[6][7].

검사시간에 관한 요인은 여기횟수의 증가로 인한 원인이 아니라 MRI가 타 영상의학검사에 비해 가지고 있는 고질적인 문제로 검사시간을 단축시키기 위한 다양한 연구가 진행되었으나 여러 가지 한계점이 공존하였다. Excobedo 등[9]은 펄스시퀀스를 turbo spin echo로 사용하였으나 인공물과 SAR가 증가하는 문제점이 있었고, Song 등[10]은 영상획득을 multislice로 변경하였으나 SNR이 저하되는 문제점이 있었으며, Goley 등[11]은 매개변수인 FOV를 줄였으나 인공물 증가와 SNR과 CNR이 저하되는 문제점이 있었다. 이에 반해, Bauer 등[12]은 fast imaging 기법인 GRAPPA를 Pruessmann 등[13]은 SENSE를 사용하였으나 시간단축을 위해 설정한 reduction factor가 증가할수록 SNR이 낮아지는 문제점이 있었고, Choi 등[6]과 Rahbar 등[14]은 dual RF source를 이용한 multitransmit 기법을 적용하였으나 이를 사용하기 위해서는 새로운 장비로 교체해야한다는 문제점이 있었다.

이에 저자들은 선행연구와 다르게 실험을 통하여 검사시간을 줄이면서 유의한 차이를 나타내지 않는 최적의 여기횟수를 제시하고자 하였으며 이를 근거로 검사시간의 증가로 인해 발생할 수 있는 문제점을 예방하고자 하였다. 연구 결과 기존에 관행적으로 사용해왔던 여기횟수 5와 차이가 없는 최소 여기횟수는 뼈의 경우 여기횟수 4, 근육의 경우 여기횟수 2로 나타났다. 이는

기존 여기횟수의 검사시간에 비해 뼈는 21.2%, 근육은 59.6% 단축된 수치로, 위에 제시한 여기횟수를 근골격 DWI 검사에 적용하면 통계적으로 차이가 없어 검사시간을 단축시키면서 기존 여기횟수를 대체할 수 있음을 의미하는 것이다.

이와 같은 결과는 관행적으로 사용하고 있는 여기횟수와 동일한 효과를 내면서 검사시간이 짧은 최적의 여기횟수를 제시한 것으로 검사시간의 단축에 관한 선행 연구들과 큰 차이를 나타내지 않는다. 즉, 본 연구의 평균 40.4% 검사시간 단축은 TSE를 이용하여 검사시간을 30% 단축시킨 Excobedo 등[9]과 FOV를 감소시켜 35%를 단축시킨 Goley 등[11] 보다 감소율이 오히려 높은 수치이며, GRAPPA를 사용해 44.2%를 단축(T1 강조영상: 44.2%, T2 강조영상: 44.1%)시킨 Bauer 등[12]과 multitransmit 기법을 적용해 46.3%를 단축(T1 강조영상: 42.8%, T2 강조영상: 49.7%)시킨 Choi 등[6]의 연구와도 유사한 감소율을 나타내 검사 시 손쉽게 적용할 수 있는 방법의 특성 상 연구의 유용성을 알 수 있다.

본 연구는 종양의 발생위치에 따라 사용되는 코일이 바뀌는 근골격 검사의 특성상[15] 다양한 코일을 사용해 실험하지 못했다는 제한점이 있다. 그러나 근골격 DWI 검사 시 여기횟수에 관한 연구가 없어 대부분 이를 간과하고 검사를 시행하고 있는 실정에서 여기횟수에 따라 검사시간이 증가하는 문제의 심각성을 인식시키고 관행적으로 사용하고 있는 검사시간이 긴 여기횟수를 대체할 수 있는 최적의 여기횟수를 제시하였다는 데 의의가 있다.

결론적으로 환자가 통증을 동반하거나 여러 원인에 의해 움직임 가능성이 증가할 경우 본 연구가 제시한 결과를 적절히 활용하여 검사를 시행한다면 유용하리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] N. Bharwani and D. M. Koh, "Diffusion-weighted imaging of the liver: an update,"

- Cancer imaging, Vol.13, No.2, p.171, 2013.
- [2] N. H. Koo, H. B. Lee, K. W. Choi, S. Y. Son, and B. G. Yoo, "The Study on Signal to Noise Ratio of Single-Shot Turbo Spin Echo to Reduce Image Distortion in Brain Stem Diffusion MRI," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol.10, No.4, pp.241-246, 2016.
- [3] J. H. Koo, Y. C. Yoon, and J. H. Kim, "Diffusion-weighted and Dynamic Contrast-enhanced MRI of Metastatic Bone Tumors: Correlation of the Apparent Diffusion Coefficient, Ktrans and ve values," *Journal of the Korean Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Vol.18, No.1, pp.25-33, 2014.
- [4] D. W. Park, "Advances in magnetic resonance technique for tumor imaging," *Journal of the Korean Medical Association*, Vol.58, No.6, pp.516-522, 2015.
- [5] T. W. Redpath, "Signal-to-noise ratio in MRI," *The British Journal of Radiology*, Vol.71, No.847, pp.704-707, 1998.
- [6] K. W. Choi and S. Y. Son, "An effectiveness of multitransmit parallel technique on scan time reduction in hip joint MRI," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.3, pp.103-108, 2016.
- [7] S. Y. Son, K. W. Choi, K. J. Park, J. S. Lee, and B. G. Yoo, "A effectiveness of multi-transmit parallel technique on magnetic resonance imaging of FOV less than 26 cm," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol.38, No.4, pp.429-435, 2015.
- [8] S. R. Na, K. W. Choi, N. H. Koo, B. G. Yoo, and S. Y. Son, "A Change of Apparent Diffusion Coefficient in Diffusion Weighted Imaging Applied with Rectangular FOV Technique," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol.10, No.7, pp.545-550, 2016.
- [9] E. M. Escobedo, J. C. Hunter, G. C. Zink-Brody, A. J. Wilson, S. D. Harrison, and D. J. Fisher, "Usefulness of turbo spin-echo MR imaging in the evaluation of meniscal tears: comparison with a conventional spin-echo sequence," *American journal of roentgenology*, Vol.167, No.5, pp.1223-1227, 1996.
- [10] H. K. Song, A. C. Wright, R. L. Wolf, and F. W. Wehrli, "Multislice double inversion pulse sequence for efficient black blood MRI," *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol.47, No.3, pp.616-620, 2002.
- [11] X. Golay, J. Gillen, P. C. Van Zijl, and P. B. Barker, "Scan time reduction in proton magnetic resonance spectroscopic imaging of the human brainm" *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol.47, No.2, pp.384-387, 2002.
- [12] J. S. Bauer, S. Banerjee, T. D. Henning, R. Krug, S. Majumdar, and T. M. Link, "Fast high-spatial-resolution MRI of the ankle with parallel imaging using GRAPPA at 3 T," *American Journal of Roentgenology*, Vol.189, No.1, pp.240-245, 2007.
- [13] K. P. Pruessmann, M. Weiger, M. B. Scheidegger, and P. Boesiger, "SENSE: sensitivity encoding for fast MRI," *Magnetic resonance in medicine*, Vol.42, No.5, pp.952-962, 1999.
- [14] H. Rahbar, S. C. Partridge, W. B. DeMartini, R. L. Gutierrez, S. Parsian, and C. D. Lehman, "Improved B1 homogeneity of 3 tesla breast MRI using dual source parallel radiofrequency excitation," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol.35, No.5, pp.1222-1226, 2012.
- [15] K. W. Choi, H. B. Lee, S. R. Na, B. G. Yoo, and S. Y. Son, "The Study on Reduction of Image Distortion by using Single-Shot Turbo Spin Echo in Brain Stem Diffusion MRI," *Journal of*

the Korean Society of Radiology, Vol.10,
pp.279-284, 2016.

저 자 소 개

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

정회원



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과(공학석사)
- 2015년 7월 : 한양대학교 보건학과(보건학박사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산

병원 영상의학과

<관심분야> : 자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학,
의료영상공학