

# A Change of Apparent Diffusion Coefficient in Diffusion Weighted Imaging Applied with Rectangular FOV Technique

Sa-Ra Na<sup>1</sup>, Kwan-Woo Choi<sup>1</sup>, No-Hyun Koo<sup>1</sup>, Beong-Gyu Yoo<sup>2</sup>, Soon-Yong Son<sup>2,\*</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

Received: October 19, 2016. Revised: November 13, 2016. Accepted: November 30, 2016

## ABSTRACT

The purpose of this study is to improve the mapping between functional image and conventional image by using rectangular FOV technique. Diffusion weighted imaging which is widely used for stroke was acquired by reducing the FOV and compared each Apparent Diffusion Coefficient(ADC). As a result, there is no significant difference of each ADC value in one-way-anova analysis and post-hoc analysis. Thus, Mismatching problem may be improved by matching the FOV with rectangular FOV technique because there is no difference in ADC values.

Keyword: Diffusion weighted imaging(DWI), rectangular FOV, Apprent diffusion coefficient(ADC)

## I. INTRODUCTION

자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 검사는 인체 내 수소 정보를 영상화 하는 검사로 연부조직의 대조도가 매우 우수하나 영상획득시간이 길다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주자장 세기의 증가, 새로운 펄스시퀀스 디자인, EPI, multichannel coil, SSFP(Steady State Free precession), SENSE, blipped-controlled multislice 등 다양한 방법들이 개발되었다.<sup>[1-3]</sup>

이 중 rectangular 영상영역(field of view, FOV) 기법은 공간해상도와 신호대잡음비를 유지한 채 검사부위 중 길이가 짧은 쪽의 위상부호화(phase encoding) 수를 줄여 검사시간을 짧게 하는 기법으로, 현재 대부분의 검사에서 이용되고 있다.<sup>[4]</sup> 특히 두경부 검사의 경우 머리의 좌우(right to left)가 앞뒤(anterior to posterior)보다 짧기 때문에 좌우의 위상부호화 수를 줄인 rectangular FOV 기법이 많이 사용된다.

그러나 확산강조영상(diffusion weighted imaging, 이

하 DWI)이나 관류강조영상처럼 MRI를 이용해 기능(function)을 보는 검사의 경우, 검사시간을 줄이기 위한 rectangular FOV 기법을 사용하지 않는다. 왜냐하면, 기능을 보는 검사의 경우 매우 짧은 시간에 이루어지는 미시적인 움직임은 보고자 k-space를 한 번에 채우는 EPI(echo planar imaging)기법을 사용하기 때문에,<sup>[5]</sup> 본질적으로 다른 검사들보다 영상획득시간이 매우 짧아 rectangular FOV 기법을 고려할 필요가 없기 때문이다.

EPI 기법을 사용하여 시간해상도를 높인 기능 영상은 공간해상도가 매우 낮아 해부학적 구조물을 명확히 볼 수 없다. 이러한 문제점으로 인해 기능 영상의 경우 기능을 정량화한 대표 값을 산출하거나, 해부, 병리학적인 구조물이 잘 보이는 고식적인 T1, T2 영상에 mapping 하여 영상을 확인한다.

그러나 위와 같은 과정에서 고식적 영상은 시간을 줄이기 위해 rectangular FOV를 사용하고, 기능 영상은 rectangular FOV를 사용하지 않기 때문에 FOV의 불일치로 인한 공간왜곡(spatial distortion)의 차이가 발생하여 진단의 정확성을 떨어뜨리는 결과로 이어질 수 있

다. 또한, 고식적 영상과 localization mapping을 하는 과정에서 FOV가 달라 mismatching을 발생시킬 확률도 높아진다.<sup>[6]</sup> 물론 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 가장 좋은 방법은 FOV를 동일하게 하면 된다. 하지만 하나의 기능 영상을 위해 여러 개로 구성된 고식적 영상의 FOV를 동일하게 할 경우 검사시간은 기하급수적으로 늘어나게 되어, 위 방법은 현실성이 없다.

저자들은 발상을 전환하여 일반적으로 생각하는 기능영상의 정사각형 FOV에 고식적 영상의 FOV를 맞추는 것이 아닌, 고식적 영상의 rectangular FOV에 기능영상의 FOV를 맞출 수 있다면 위와 같이 FOV가 동일하지 않아 발생하는 문제점을 해결할 수 있을 것이라는 확신에서 착안하였다.

이에 본 연구에서는 대표적인 기능 검사로 뇌졸중의 진단에 널리 사용되고 있는 DWI를 이용하여,<sup>[7]</sup> rectangular FOV를 적용하더라도 세포내 물분자의 확산 운동을 정량화 한<sup>[8]</sup> ADC(apparent diffusion coefficient) 값이 차이가 없다는 것을 증명함으로써, FOV의 불일치로 인한 공간왜곡이나 mismatching이 발생하는 문제점을 해결하고자 하였다.

## II. MATERIALS AND METHODS

### 1. 연구대상 및 방법

연구대상은 2016년 5월부터 8월까지 뇌의 DWI 검사를 시행한 60명을 대상으로 하였으며, 각 11회씩 측정하였다.

연구방법은 MRI를 이용한 기능 검사에 rectangular FOV를 적용하여도 적용하지 않았을 경우와 차이가 없다는 것을 증명하기 위해, DWI 검사 시 주파수부호화 방향의 FOV 변화에 따른 ADC값의 변화 여부를 비교 평가 하였다. FOV의 변화는 MRI를 이용한 기능 검사 시 주로 쓰이는 정사각형의 FOV(250×250 mm<sup>2</sup>)를 기준으로, 위상부호화 방향은 250 mm으로 고정하고 주파수 방향을 200 mm에서 300 mm까지 각각 10 mm씩 변화를 주어 영상을 획득하였으며,[Fig. 1] FOV 변화에 따른 화적소(voxel)의 크기변화를 방지하기위해 모든 영상의 화적소 크기를 2 mm로 동일하게 유지하였다.

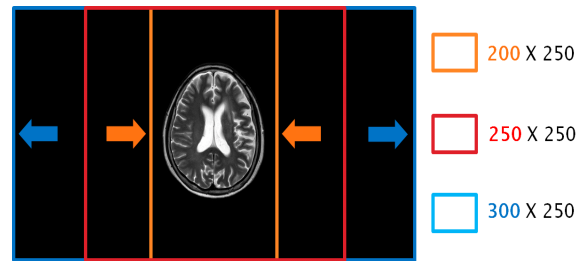


Fig. 1. A changes of Field of view

### 2. 영상획득 및 분석

영상획득 장비로는 초전도 자기공명영상장치(Ingenia CX 3.0T, Philips, Nederland)와 32 channel head coil을 사용하였다. DWI는 single shot SE-EPI(spin echo echo planar imaging)기법을 이용하여 획득하였으며, 사용된 영상변수는 TR(반복시간) 4000msec, TE(에코시간) 61.7 msec, matrix(화소배열수) 256×256, NEX(여기횟수) 2, SENSE(병렬영상기법) factor 2.5로 하였다. 영상은 절편두께 5 mm, 절편간격 2 mm로 20절편의 단면영상을 획득 하였으며, 확산경사자장이 인가되지 않는 b-value 0(이하 b<sub>0</sub>) 영상과, 확산경사자장이 인가된 b-value 1000(이하 b<sub>1000</sub>) 영상을 획득하였다. 획득한 b<sub>0</sub>와 b<sub>1000</sub> 영상은 식 1을 이용하여 후처리 한 후 ADC map을 산출하였다.

$$ADC = \frac{\ln\left(\frac{S_1}{S_2}\right)}{b_2 - b_1} \quad (1)$$

b<sub>1</sub>: b-value 0

b<sub>2</sub>: b-value 1000

S<sub>1</sub>: b-value 0의 signal intensity

S<sub>2</sub>: b-value 1000의 signal intensity

영상측정 프로그램(Image J, Ver. 1.47n, NIH, USA)을 이용하여, ADC map의 뇌척수액(cerebrospinal fluid, 이하 CSF), 백질(white matter, 이하 WM), 회백질(gray matter, 이하 GM)에 관심영역(ROI)을 설정한 후 ADC 값을 측정하였다.[Fig. 2]

측정된 ADC 값은 일원배치분산분석(SPSS Ver. 22)을 이용하여 비교평가 하였으며, 사후분석(Duncan)을 병행하여 판단하였다.

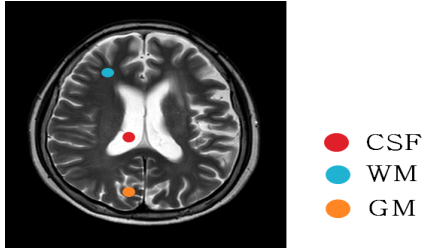


Fig. 2. Region of interest locations

### III. RESULT

연구대상자의 인구사회학적 특성은 남성이 32명, 여성이 28명이었고, 평균연령은  $65.32 \pm 10.18$ 세(35세-81세)였다.[Table 1]

Table 1. Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	32	53.3
	Female	28	46.7
Age	50 under	5	8.3
	50-59	15	25.0
	60-69	33	55.0
	70 up	7	11.7

주파수부호화 방향의 FOV 변화에 따른 ADC값은 200 mm에서부터 300 mm으로 FOV가 변화함에 따라 뇌척수액은  $\pm 121.92 \text{ mm}^2/\text{s}$ 의 편차(mean: 1662.80 min: 1643.07, max: 1700.54)를 보였고, 백질은  $\pm 39.19 \text{ mm}^2/\text{s}$  (mean: 405.88, min: 399.58, max: 480.23) 보였으며, 회백질은  $\pm 22.91 \text{ mm}^2/\text{s}$  (mean: 413.18, min: 409.61, max: 419.27)의 편차를 보였다.[Table 2]

Table 2. ADC value in changes of FOV

FOV	CSF	WM	GM
200×250	1663.8±114.6	410.9±42.2	415.1±21.6
210×250	1646.7±153.1	408.2±40.3	412.7±26.0
220×250	1643.1±110.5	402.9±39.2	409.8±19.7
230×250	1661.8±154.5	405.5±38.5	414.4±26.6
240×250	1660.1±149.5	406.0±43.8	411.9±28.6
250×250	1635.6±126.9	410.3±42.5	409.6±27.3
260×250	1682.3±82.7	399.6±41.8	414.5±25.7
270×250	1659.0±98.3	405.8±43.2	412.8±23.6
280×250	1700.6±135.4	407.1±44.2	419.3±25.6
290×250	1688.1±149.8	403.6±49.6	413.5±27.1
300×250	1649.0±141.6	405.0±41.1	411.3±18.1
mean	1662.8±121.9	405.9±39.2	413.2±22.9

주파수부호화 방향의 FOV 변화에 따른 ADC값의 일원배치분산분석의 결과, 뇌척수액, 백질, 회백질의 ADC 값 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며,  $[p > 0.05]$  [Table 3]

Table 3. One way Anova analysis of changes in ADC value

Location	Category	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
CSF	Between Groups	24227.7	2422.8	.141	.999
	Within Groups	942059.4	17128.4		
	Total	966287.1			
WM	Between Groups	635.8	63.6	.035	1.000
	Within Groups	99215.1	1803.9		
	Total	99850.9			
GM	Between Groups	440.5	44.1	.072	1.000
	Within Groups	33691.9	612.6		
	Total	34132.4			

Duncan의 사후분석결과 유의수준 0.05에 대한 부집단이 모두 1개 밖에 존재하지 않아 FOV 변화에 따른 ADC 값의 차이가 없음을 알 수 있다.[Table 4]

Table 4. Post hoc analysis of changes in ADC value

FOV	Subset for alpha = 0.05		
	CSF	WM	GM
	1	1	1
200×250	1635.64	399.59	409.61
210×250	1643.07	402.91	409.84
220×250	1646.74	403.61	411.33
230×250	1649.04	404.99	411.92
240×250	1658.96	405.50	412.71
250×250	1660.91	405.75	412.81
260×250	1661.78	405.98	413.54
270×250	1663.83	407.03	414.40
280×250	1682.29	408.23	414.53
290×250	1688.08	410.30	415.08
300×250	1700.55	410.89	419.28
Sig.	.479	.704	.577

### IV. DISCUSSION

MRI를 이용한 기능검사는 질병을 진단하는데 있어

기존의 해부, 병리학적 검사만큼 중요성이 증가하고 있다. 그러나 기능 검사는 매우 짧은 시간에 이뤄지는 미시적인 움직임을 영상화하기 때문에 병변의 기하학적 정확도가 떨어지는 문제점이 발생한다. 특히 DWI의 경우는 뇌경색, 다발성 경화증, 전립선암, 림프종 등 다양한 병변에 있어 매우 유용하지만, 시간해상도를 높은 EPI 기법으로 인해 공간해상도가 낮아진다.

이를 해결하기 위해 B1 field를 균등하게 하기 위한 calibration을 시행하거나, propeller EPI<sup>[9]</sup>, multi-shot resolve DWI<sup>[10]</sup> 등 k-space 나열방식을 변화시키는 여러 가지 방법을 도입하고 있다. 그러나 위 방법들은 약간의 왜곡(distortion)만 보정할 뿐 공간해상도가 낮아지는 문제를 근본적으로 해결 할 수 없다.

이러한 근본적인 한계로 인해 MRI를 이용한 기능 영상은 기능을 정량화한 대표 값을 산출하거나, 해부·병리학적 구조물이 잘 보이는 고식적인 영상에 mapping을 하여 영상을 확인한다. 그러나 하나의 기능 영상을 위해 여러 개로 구성된 고식적 영상의 FOV를 동일하게 할 경우 검사시간이 기하급수적으로 증가하는 문제점이 발생한다.

이에 저자들은 기능 영상의 FOV를 고식적인 영상처럼 rectangular FOV를 사용함으로써 검사시간이 늘어나는 것을 방지하고, mapping 시 localization 과정을 거칠 때 다른 FOV로 인해 정확도가 떨어지는 문제점을 개선하고자 하였다. 즉 기능 영상에서 사용하는 정사각형의 FOV에 주파수부호화 방향의 FOV를 줄이거나 늘리는 rectangular FOV를 사용함으로써, 기능을 정량화한 대표 값을 통해 차이가 없다는 것을 증명하고자 하였다.

연구 결과, 주파수부호화 방향의 FOV 변화에 따른 ADC 값은 200 mm에서 300 mm로 FOV가 변화함에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 사후 분석 결과도 유의수준 0.05에 대한 부집단이 모두 1개 밖에 존재하지 않아 FOV 변화에 따른 ADC 값의 차이가 없음을 알 수 있었다. 이는 MRI를 이용한 기능 검사에 고식적 영상검사에서 사용하는 rectangular FOV를 적용하여도 기능을 정량화한 대표 값은 차이가 없다는 것을 의미한다.

Donato F 등<sup>[11]</sup>은 DWI와 T2 영상을 동일한 FOV로 획득하였을 때 기하학적 정확도가 높다고 하였고, Haid

er MA 등<sup>[6]</sup>은 병변 진단의 민감도(Sensitivity)가 증가한다고 하였다. 본 연구는 위 연구들과 증명 방법과 검사 부위에 차이는 있지만, 유사한 결과를 보임으로써 본 연구의 적용성을 우회적으로 입증하고 있음을 알 수 있다. 특히 위 연구들이 정성적으로 증명한 반면, 본 연구는 정량적인 수치로 증명하였다는 점에서 진일보한 연구로서 학술적 가치가 높다고 판단된다. 또한 Saritas EU 등<sup>[12]</sup>은 EPI 기법은 위상부호화 수가 많아질수록 K공간의 T2 붕괴가 많아져 영상의 흐림과 위상 오류가 발생하고, 지방과 물의 화학적 이동이 크게 발생하므로 위상부호화 수를 줄일 수 있는 reduced FOV 기법을 사용하여 개선할 수 있다고 하였다. 본 연구와 달리 위상부호화 방향의 FOV를 줄인 연구이지만, rectangular FOV 유용성을 증명한 점에서는 차이가 없다. 즉, 앞뒤가 길고 좌우가 짧은 구조물의 영상화 시 왜곡을 방지하려고 위상부호화 방향을 앞뒤로 하였지만, 본 연구에서 증명한 바와 같이 기능을 정량화한 대표 값은 차이가 없으므로 앞뒤와 좌우가 같거나 짧은 구조물에서는 위상부호화 방향의 FOV를 줄여 rectangular FOV 적용하면 용이하다.

본 연구는 MRI를 이용한 기능영상 중 조영제 사용이나 긴 검사시간 등 현실적인 어려움으로 인해 DWI만을 대상으로 하였다는 점과, 실제 고식적 영상과의 mapping을 통해 정성적인 평가를 하지 못하였다는 제한점이 있다.

그러나 MRI를 이용한 기능영상에서 rectangular FOV를 적용하여도 기능을 정량화한 대표 값에는 차이가 없다는 것을 증명함으로써, 기존의 검사시간은 유지하면서 FOV의 불일치로 인한 공간왜곡이나 mismatching이 발생하는 문제점을 해결하는 방안을 제시하였는데 학술적 의의가 크다고 할 수 있다.

## V. CONCLUSION

본 연구는 대표적인 기능검사로 뇌졸중의 진단에 널리 사용되고 있는 DWI를 이용하여 rectangular FOV를 적용하더라도 세포내 물분자의 확산 운동을 정량화한 ADC 값에 차이가 없다는 것을 증명하고자 하였다. 실험을 통하여 FOV의 불일치로 인한 공간왜곡이나 mismatching이 발생하는 문제점을 해결할 수 있어서 임상 적용 시 유용성이 클 것으로 판단된다. 또한 진단 분야

뿐만 아니라, 연구 분야에 영상획득시간을 줄이기 위해 상이한 FOV를 사용하고 있는 상황에서 rectangular FOV를 적용해도 무방하므로 FOV가 통일된 데이터의 영상분석 시 연구적 활용도와 유용성이 높을 것으로 사료된다.

### Acknowledgement

이 연구는 2016년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해 수행됨

### Reference

- [1] H. Y. Carr, "Steady-state free precession in nuclear magnetic resonance. Physical Review", Vol. 112, No. 5, 1693.
- [2] K. P. Pruessmann, M. Weiger, M. B. Scheidegger, P. Boesiger, "SENSE: sensitivity encoding for fast MRI", *Magnetic resonance in medicine*, Vol. 42, No. 5, pp. 952-962, 1999.
- [3] K. Setsompop, B. A. Gagoski, J. R. Polimeni, T. Witzel, V. J. Wedeen, L. L. Wald, "Blipped-controlled aliasing in parallel imaging for simultaneous multislice echo planar imaging with reduced g-factor penalty", *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 67, No. 5, pp. 1210-1224, 2012.
- [4] C. Westbrook, C. K. Roth, "MRI in Practice", John Wiley & Sons, 2011.
- [5] R. Turner, D. L. Bihan, "Single-shot diffusion imaging at 2.0 Tesla", *Journal of Magnetic Resonance*, Vol. 86, No. 3, pp. 445-452, 1990.
- [6] M. A. Haider, T. H. Kwast, J. Tanguay, A. J. Evans, A. T. Hashmi, G. Lockwood, J. Trachtenberg, "Combined T2-weighted and diffusion weighted MRI for localization of prostate cancer", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 189, No. 2, pp. 323-328, 2007.
- [7] M. E. Moseley, J. Kucharczyk, J. Mintorovitch, Y. Cohen, J. Kurhanewicz, N. Derugin, D. Norman, "Diffusion-weighted MR imaging of acute stroke: correlation with T2-weighted and magnetic susceptibility enhanced MR imaging in cats", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 11, No. 3, pp. 423-429, 1990.
- [8] E. O. Stejskal, J. E. Tanner, "Spin diffusion measurements: spin echoes in the presence of a time-dependent field gradient", *The journal of chemical physics*, Vol. 42, No. 13, pp. 288-292, 1995.
- [9] F. N. Wang, T. Y. Huang, F. H. Lin, T. C. Chuang, N. K. Chen, H. W. Chung, K. K. Kwong, "PROPELLER EPI: an MRI technique suitable for diffusion tensor imaging at high field strength with reduced geometric distortions", *Magnetic resonance in medicine*, Vol. 54, No. 5, pp. 1232-1240, 2005.
- [10] H. Tullós, B. Dale, G. Bidwell, E. Perkins, D. Raucher, M. Khan, J. James, "SU-E-I-67: Multi-Shot RESOLVE Compared to Single-Shot EPI Diffusion-Weighted MR Imaging Acquisition Scheme", *Medical Physics*, Vol. 39, No. 6, pp. 3640-3640, 2012.
- [11] F. Donato, D. N. Costa, Q. Yuan, N. M. Rofsky, R. E. Lenkinski, I. Pedrosa, "Geometric Distortion in Diffusion-weighted MR Imaging of the Prostate—Contributing Factors and Strategies for Improvement", *Academic radiology*, Vol. 21, No. 6, pp. 817-823, 2014.
- [12] E. U. Saritas, C. H. Cunningham, J. H. Lee, E. T. Han, D. G. Nishimura, "DWI of the spinal cord with reduced FOV single-shot EPI", *Magnetic resonance in medicine*, Vol. 60, No. 23, pp. 468-473, 2008.

## 확산강조영상 검사 시 rectangular FOV 적용에 따른 ADC 값의 변화

나사라<sup>1</sup>, 최관우<sup>1</sup>, 구노현<sup>1</sup>, 유병규<sup>2</sup>, 손순룡<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울아산병원 영상의학과

<sup>2</sup>원광보건대학교 방사선과

### 요 약

본 연구는 MRI를 이용한 기능검사 시 rectangular FOV를 적용하더라도 기능을 정량화한 대표 값은 차이가 없다는 것을 증명함으로써, FOV 불일치로 인해 발생하는 문제점을 개선하고자 하였다. 연구방법은 대표적인 기능 검사로 뇌졸중의 진단에 널리 사용되고 있는 확산강조영상 검사를 이용하여, 주파수부호화 방향의 FOV 변화에 따른 ADC 값의 변화 여부를 비교평가 하였다. 연구결과, 주파수부호화 방향의 FOV가 변화함에 따라 ADC값은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 사후분석 결과도 유의수준 0.05에 대한 부집단이 모두 1개 밖에 존재하지 않아 FOV 변화에 따른 ADC 값의 차이가 없음을 알 수 있었다. 결론적으로 MRI를 이용한 기능 영상에서 rectangular FOV를 적용하더라도 기능을 정량화한 대표 값에는 차이가 없으므로, FOV 불일치로 인해 수반되는 공간왜곡이나 mismatching의 문제점을 개선할 수 있다.

중심단어 : 확산강조영상, rectangular 영상영역, 현성확산계수