

A Study on the Usability of Echo Planar Image T2 FLAIR Sequence in the MRI of Acute Ischemic Cerebral Infarction

Taegwan Roh, Yongkeun Jo*

Department of Radiology, Soonchunhyang University, Bucheon hospital

Received: December 07, 2020 Revised: December 30, 2020. Accepted: December 31, 2020

ABSTRACT

T2 FLAIR sequence of MRI in Acute Ischemic Stroke patients is meaningful to those who have the diagnosis of cerebral hemorrhage and neurological deficiency, including the detection of cerebral infarction around Cerebrospinal fluid. However, because of the long acquisition time and mutative motion artifacts caused by movement, It is difficult to take the MRI image acquisition for non-cooperative patients who need to apply a rapid image acquisition. In this study, we applied the EPI-FLAIR sequence, which is one of the fastest pulse sequences in use, which is a combination of EPI sequence and T2 FLAIR sequence, to patients with acute ischemic cerebral infarction. Based on the qualitative and quantitative evaluation results of the EPI-FLAIR and T2 FLAIR image, we will evaluate the diagnostic usefulness of the EPI-FLAIR sequence

Keyword: EPI-FLAIR, FLAIR, Acute Ischemic Stroke(AIS)

I. INTRODUCTION

뇌졸중이란 갑작스러운 뇌 증상을 발현하는 질환에 대한 총칭으로 출혈성과 허혈성 뇌졸중으로 나뉜다. 뇌졸중의 진단에 있어 출혈성의 경우 고혈압성 뇌출혈이나 뇌동맥류 파열에 의한 지주막하출혈이 주를 이루며 이 경우는 CT 검사가 MRI 검사 보다 진단적 중요성이 상대적으로 높으며, 허혈성 뇌졸중 즉, 뇌경색에서는 MRI 검사의 임상적 중요성이 강조되고 있다. 허혈성 뇌경색은 그 시기에 따라 초급성기, 급성기, 만성기로 구분할 수 있는데 경색의 감별 시기에 따라 치료 방법과 회복의 정도가 달라지기 때문에 조기 발견이 중요하다. 허혈성 뇌경색 환자의 MRI 검사는 기술의 발전으로 영상 획득 시간의 단축과 영상의 질이 향상되었고, CT 검사에서 발견하기 어려운 아주 작은 급성 뇌경색 및 초 급성기의 경색을 발견할 수 있어 뇌경색 진단에 보편적으로 사용되고 있다^[1].

허혈성 뇌경색 환자의 MRI 검사 기법 중 FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery) 기법은 고식적인 스핀에코 영상으로는 구별하기 힘들었던 뇌하수체(Cerebrospinal Fluid) 주변의 뇌경색 진단을 하는데 있어 경색 시기(Age)와 신경학적 결핍(Neurological Deficit) 발생 시기를 결정하는 데 도움이 된다. 하지만 비협조적인 환자에게서 발생하는 움직임에 의한 인공물(Motion Artifact)은 영상 획득에 있어 큰 문제점으로 지적된다^[2]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하고자 EPI(Echo Planner Imaging) 기법과 기존 FLAIR 기법을 혼합하여 적용하였다. EPI 기법은 각종 기능적 영상이 가능하며 DWI (Diffusion Weighted Imaging), DTI(Diffusion Tensor Imaging)등 임상 적용에 따른 뇌 미세구조의 변화를 측정하여 영상화할 수 있는 장점과 f-MRI(Functional MRI) 등 뇌신경 과학 분야에 광범위하게 사용되면서 큰 변화를 보여 왔다. 현존하는 기법 중 가장 빠른 영상 획득 시간과 Fast Gradient Switching으로 한 Cycle에 모든 Frequency와 Phase-Encoding

* Corresponding Author: young keun Jo E-mail: roka914@schmc.ac.kr Tel: +82-32-621-6559
Address: Soonchunhyang University Bucheon Hospital, 170, Jomaru-ro, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Step의 영상 획득이 가능하며, 이에 병렬 영상 획득 (Parallel Imaging Acquisitions, PI)기법을 추가하면, 검사시간의 감소와 기하학적 왜곡(Distortion)과 인공물(Artifact)을 줄이게 되어 병변의 진단에 유용하게 사용되고 있다^[3]. 따라서 급성 허혈성 뇌경색 환자의 T2 FLAIR 기법은 임상적으로 매우 유용한 기법으로 알려져 있으며, 본 연구는 EPI-FLAIR 기법과 T2 FLAIR 기법의 영상의 정성적, 정량적 평가 결과를 기반으로 비교하였으며 EPI-FLAIR 기법의 급성 허혈성 뇌경색 환자의 진단적 유용성에 대하여 평가하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 평가 대상의 선정

2020년 1월부터 2020년 2월까지 뇌 신경학적 증상을 주 호소로 본원 응급실을 내원하여 급성 허혈성 뇌경색이 의심되어 MRI 검사를 시행한 환자 14명(남 : 8 여성: 6)을 대상으로 하였다. 연령 범위는 50~90세(평균연령은 62.5± 15.81)이었다.

2. 장비 및 영상의 획득

영상 획득에 사용한 장비는 3.0 Tesla MR scanner (Magnetom skyra, Siemens Healthcare, Germany)와 HEAD/NECK 64 channel coil(Siemens AG, Wittelsbacherplatz2, DE-80333 Muenchen)을 사용하였다. 영상의 획득 방법은 허혈성 뇌경색 검사에 사용하는 확산 강조 영상(Diffusion Weighted imaging; DWI), 자화율 자기 강조 영상(Susceptibility-weighted imaging; SWI), T2 FLAIR(Fluid attenuated inversion recovery), EPI(Echo plannar images) T2 FLAIR 영상을 각각 획득하였다. 영상 획득에 사용된 매개변수는 Table 1과 같다.

3. 영상 분석

영상의 정량적 분석을 위해 병변 부위와 백질 부위, 배경 신호를 관심 영역(Region of Interest; ROI)은 Fig. 1과 같이 설정하였고, 각각 신호 강도(Signal Intensity; SI)를 측정하였다. 병변 부위의 신호 강도가 불균질한 경우 최대한 균질한 부위에서 측정하였으며, 배경 신호 강도의 표준 편차(Standard Deviation;

SD)를 영상의 잡음으로 채택하였다. 각각 측정된 신호 강도를 통해 Percentage of Contrast(%)와 Contrast to Noise Ratio를 계산하였고, 공식은 다음과 같다.

$$\text{Percentage of Contrast} = \frac{S_{\text{region}} - S_b}{S_b} * 100 (\%) \quad (1)$$

$$\text{Contrast to Noise Ratio} = \frac{S_{\text{region}} - S_b}{S_{Db}} \quad (2)$$

S region : Signal intensity of region
 Sb : Signal intensity of background
 SDb : Standard deviation of background

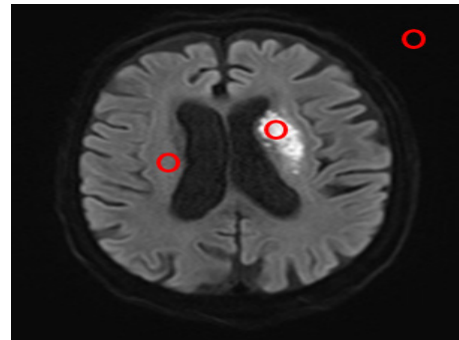


Fig. 1. Set-up of ROI for measuring Signal Intensity.

영상의 정량적 분석을 위해 EPI T2 FLAIR와 T2 FLAIR에서 통계적으로 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 Mann-Whitney U 검정을 이용하여 비모수 표준 검증을 시행하였고, 두 검사 방법의 신뢰도 비교를 위해 급내 상관관계수(Intraclass Correlation Coefficient : ICC)를 계산하여 비교하였다.

영상의 정성적 분석을 위해 영상 의학의 2명이 각각의 영상을 관찰하여 영상의 전체적인 질(Overall Image Quality), 영상 내 인공 음영(Artifacts by Partial Volumes), 병변의 묘사 정도(Descriptions of Region)의 3가지 항목을 선정하여 이를 4점 척도(0: 진단 불가-Non diagnostic, 1:부족함-Poor, 2: 충분함-Adequate, 3: 좋음-Good)으로 평가하였다. 평가 결과에 대한 두 관찰자 간의 일치도 검증을 위하여 Kappa-Value 검증을 통하여 통계적 유의성을 검증하였고, 모든 통계 분석은 Rex(R version 4.0.2)를 사용하였고, 유의수준 0.05 미만을 유의한 것으로 해석하였다.

III. RESULT

1. 정량적 분석

관찰자 간의 측정값의 일치도를 확인하기 위해 급내 상관계수(ICC: Intraclass Correlation Coefficient)를 측정해 본 결과 % of Contrast에서는 0.783, Contrast to Noise Ratio에서는 0.806으로 측정되었다.

EPI-FLAIR와 T2 FLAIR에서 Stroke Region과 뇌실 주위의 ROI 별 Percentage of Contrast (%) 값과 CNR 값은 Table 2와 같다. EPI T2 FLAIR와 T2 FLAIR의 통계적으로 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 Mann-Whitney U 검정을 이용하여 비 모수 표준 검증을 시행한 결과는 Table 3, Fig. 2와 같으며, % of Contrast와 Contrast of Noise 모두 유의한 차이 ($p < 0.05$)를 나타내는 것으로 나타났고, % of contrast

평균은 EPI T2 FLAIR가 Contrast of Noise는 T2 FLAIR가 더 높은 것으로 나타났다.

2. 정성적 분석

관찰자 1의 경우, EPI T2 FLAIR에서는 영상의 전체적인 질, 병변의 묘사 정도가 2.51 ± 0.5 , 2.33 ± 0.5 , 2.44 ± 0.5 으로 나타내었다. T2 FLAIR에서는 영상의 전체적인 질, 인공 음영, 병변의 묘사 정도가 2.77 ± 0.4 , 2.77 ± 0.5 , 2.77 ± 0.4 값을 나타내었다. 관찰자 2의 경우, EPI T2 FLAIR에서는 영상의 전체적인 질, 병변의 묘사 정도가 각각 2.55 ± 0.5 , 2.33 ± 0.5 , 2.44 ± 0.5 의 값을 나타내었다. Kappa-value 검증을 이용한 두 관찰자 간 평가 결과는 Table 4와 같고 일치도 검증에서는 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)를 나타내었다.

Table 1. Scan Parameter for image acquisition

Parameter	TR(ms)	TE(ms)	TI(ms)	FOV(mm)	Matrix Size	NEX	Slice thickness /gap(mm)	Scan time
Pulse sequence								
AXL DWI	4800	68	x	220	192*192	2	5.0/1.0	1분 50초
SWI	29	20	x	220	284*448	2	5.0/1.0	3분 07초
AXL TSE T2 FLAIR	9000	89	2500	220	320*192	2	5.0/1.0	3분 18초
AXL EPI T2 FLAIR	15000	65	2500	220	256*256	3	5.0/1.0	1분 47초

Table 2. Percentage of Contrast(%) and CNR value at each imaging method of EPI-FLAIR and T2 FLAIR

Imaging technique	Percentage of contrast(%)		CNR	
	EPI-FLAIR	T2 FLAIR	EPI-FLAIR	T2 FLAIR
No of patient				
1	18.61	27.27	2.6	5.72
2	20.07	24.24	6.67	8.31
3	14.4	16.17	1.56	3.36
4	14.84	17.63	3.6	4.48
5	10.39	19.53	2.64	4.8
6	18.4	26.26	4.21	5.22
7	19.3	31.38	1.05	3.82
8	15.31	22.61	2.56	5.68
9	18.24	26.78	7.36	9.18
10	20.45	26.18	2.65	4.01
11	15.19	28.89	3.12	4.91
12	13.2	20.74	3.68	5.3
13	18.52	28.38	4.12	5.68
14	19.77	28.57	1.74	3.57
M ± SD	16.90±3.01	24.61±4.60	3.39±1.79	5.28±1.67

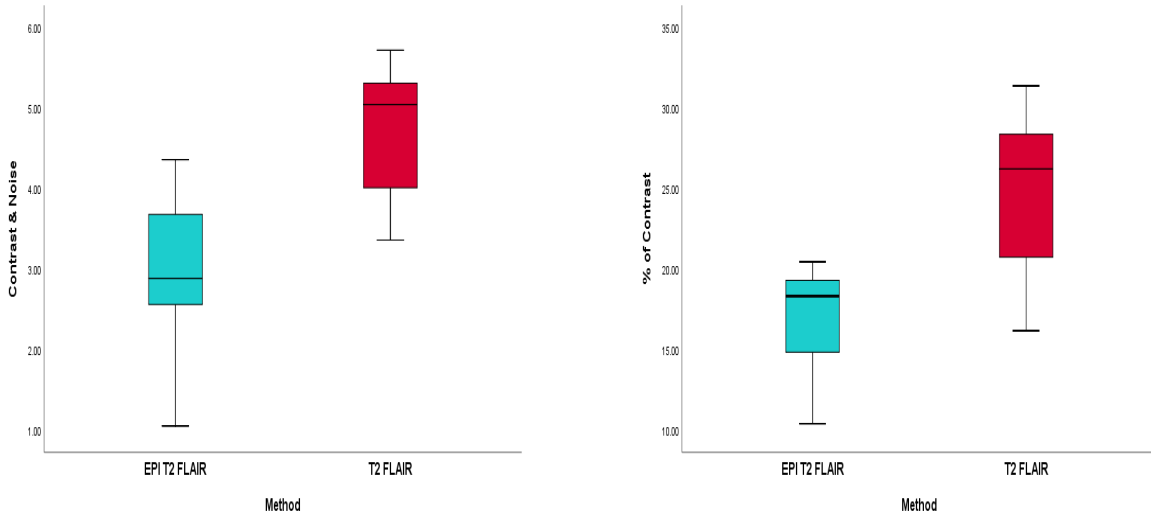


Fig. 2. Distribution of Percentage of Contrast & CNR.

Table 3. Statistical Significance Verification of Percentage of Contrast & CNR values using Mann-whitney u test

	Method	표본수	평균	표준편차	p
% of contrast	EPI T2 FLAIR	14	16.9	8.01	0.002
	T2 FLAIR		24.61	4.6	
contrast of noise	EPI T2 FLAIR	14	3.39	1.79	0.001
	T2 FLAIR		5.28	1.67	

Table 4. Test of statistical significance of EPI T2 FLAIR & T2 FLAIR, using kappa-value

Scan method	Evaluation item	Statistical significance (p<0.05)	Overall image of quality	Artifacts by partial volumes	Descriptions of lesions
EPI T2 FLAIR	Kappa Value		0.664	0.657	0.645
	p-value		0.02	0.03	0.03
T2 FLAIR	Kappa Value		0.764	0.767	0.754
	p-value		0.04	0.04	0.03

IV. DISCUSSION

한국에서 뇌졸중은 암, 심혈관 질환에 이어 3번째로 흔한 사망원인이다. 2018년 기준 뇌졸중 유병률은 19세 이상 성인에서 1.71%로 특히 77.8%가 60세 이상으로 고령일수록 유병률은 증가했고 국내 성인 60명 중 1명은 뇌졸중 환자로 나타났다^[4]. 뇌경색은 뇌혈관이 막혀 말초혈관에 혈액이 공급되지 않으므로 뇌실질 조직이 연화되고 붕괴, 연약해지므로 뇌

연화증이라 부르기도 하며, 허혈성 뇌경색(Acute Ischemic Stroke)이라고도 한다. 뇌경색 환자에게 CT 검사는 빠른 영상화로 가장 널리 사용되는 검사지만, 현재는 MRI 기술의 발전으로 짧은 시간에 영상을 획득하여 병변의 묘사를 정확하게 할 수 있는 장점이 있어 간소화된 MR Stroke Protocol을 선호한다. 본 연구는 EPI-FLAIR 기법을 뇌경색 환자에 적용함으로써 정성적, 정량적 평가 결과를 기반으로 뇌경색 환자의 검사시간을 효과적으로 줄이고 화질의 저하

없이 진단에 도움이 되고자 한다. MR Stroke Protocol 은 급성 허혈성 뇌졸중(Acute Ischemic Stroke), 뇌졸 중 유사증상(Stroke Mimics), 뇌출혈(Hemorrhage) 및 경색 시기(Age)를 감별에 사용된다.

확산 강조 영상(Diffusion-Weighted Imaging)은 뇌 경색 진단에 매우 예민도가 높은 영상 기법으로 일반적으로 뇌경색 초기에 고 신호 강도로 나타나기 때문에 뇌경색 조기진단에 유용하다.

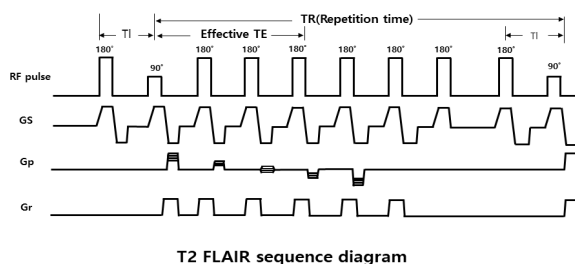
자기화율 강조 영상(Susceptibility-Weighted Imaging) 은 고해상도의 3D 유동 보상 경사 에코 연쇄를 이용하는 기법으로 공간 해상도가 높은 것이 장점이며, 다른 영상에 비해 백질과 회백질 간의 신호 강도 차이가 뚜렷하고, 뇌 손상(Traumatic Brain Injury), 미세석회화(Calcification), 이온 침전물, 특히 미세출혈을 관찰에 있어 민감도가 높다. 하지만 구조물 간의 이질성에 의한 영상의 뒤틀림과 왜곡이 심한데, 주로 공기, 뼈, 조직 등이 서로 접하는 지점에서 잘 나타난다^[5].

FLAIR(Fluid Attenuated Inversion Recovery)는 뇌졸 중 유사 증상(Stroke Mimics), 뇌출혈(Hemorrhage), 지주막하 출혈(Subarachnoid Hemorrhage) 감별하며, 고식적 T2 강조 영상에서 가장 높은 신호 강도를 보이는 뇌척수액의 신호를 억제(Suppression)하고, 병변과 정상 조직의 대조도가 크게 향상되어 병변의 발견율이 높아진다는 연구보고가 발표된 바 있다^[6].

특히 뇌척수액과 병변이 인접한 대뇌 반구의 변두리, 뇌조(Basal Cistern) 주위, 뇌간(Brain Stem), 뇌실 주위(Periventricular)의 경미한 병변을 명확하게 드러 내어 진단에 유용하며 뇌경색 발현 시기를 모르는 환자의 뇌 백질 과다증(White Matter Hyperintensities)의 확장 정도를 통하여 경색 시기 감별에 이점을 가지고 있다. 하지만 T2 FLAIR 기법은 긴 Echo Time과 뇌척수액의 신호 강도를 소멸시키기 위한 Inversion Time이 상당히 길고 스캔 시간 또한 길다는 단점과 비협조적이고 불안정한 환자에게는 화질의 저하로 인해 정확한 병변의 진단이 어렵게 되며, 이로 인해 뇌경색 환자의 신속한 치료 방향 결정에 제약이 생긴다.

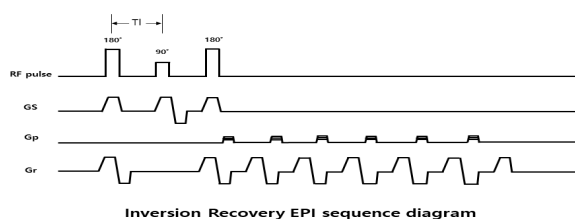
EPI(Echo Planar Image)는 현재 사용되고 있는 가

장 빠른 펄스 시퀀스 중 하나로 Fig. 3(b)과 같이 한 TR 동안 단면 영상에 필요한 phase encoding, 주파수 부호화 단계, K-space 데이터를 모두 획득하게 된다. 따라서 움직임에 민감하고 빠른 시간 분해능을 요구하는 관류 영상(Perfusion), 확산 영상(Diffusion), 기능적 자기공명 영상(Functional image) 등을 획득하는 데 주로 사용한다^[7]. 주된 이 점으로 Motion Artifact를 최소화하고, 검사시간이 빠르기 때문에 CT검사(CT Angiography, Perfusion)와 함께 뇌경색의 진단에 있어 유용하게 사용되고 있다^[8].



T2 FLAIR sequence diagram

(a) T2 FLAIR sequence diagram



Inversion Recovery EPI sequence diagram

(b) EPI sequence diagram

Fig. 3. FLAIR (a) and EPI (b) sequence diagram (simple pulse diagram)

이에 저자는 기존의 T2 FLAIR 기법에 EPI 기법이 적용된 EPI-FLAIR 기법과 T2 FLAIR 기법의 Percentage of Contrast(%), CNR 값을 비교하여 EPI-FLAIR 기법의 유용성을 알아보았다.

본 연구에서 첫 번째 180° RF pulse와 TI(Inversion Time)을 주어 물 신호를 억제(Water Signal Suppression)하는 Inversion Recovery Pulse Sequence와 Echo Planar Image 기법을 혼합하여 적용하였으며 기존 T2 FLAIR 기법에 비해 경사자계 에코에 의한 T2* 감쇄 효과가 현저하게 나타나게 되어 더 높은 자화율 효과를 보이게 되는데, 이는 각 구조물 간의 구별 정도나

병변의 명확도를 좋게 한다^[9].

결론적으로 MR Stroke Protocol에서 시간을 줄여야 하는 중요한 몇 가지 이유가 있다. 2분의 스캔 시간을 줄이면 이론적으로 4백만 개의 뉴런의 손실을 방지할 수 있으며, 비협조적인 환자들의 Motion Artifact를 줄일 수 있다.

EPI-FLAIR와 함께 GRE T2*-Weighted Images, Susceptibility-Weighted Images(SWI)기법을 동반하여 미세출혈과 신경학적 결핍, 경색 시기 등의 감별에 정확한 진단이 이루어질 수 있다. 하지만 EPI FLAIR 기법은 기존 T2 FLAIR와 비교하여 긴 intervals 그리고 긴 Echo Trains 으로 인한 측두골 인접 부위나 하부 전두엽 등에서 자기장의 불 균질성(Magnetic Field Inhomogeneity) 및 자화 감수성 인공물(Susceptibility Artifacts)이 발생하는 단점이 있지만, Parallel Imaging 기법을 적용하기 때문에 영상의 왜곡 및 자화 감수성을 최소화시킬 수 있으며, 영상의 획득 시간을 최소화하여 Fig. 4, 5와 같이 양질의 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다.

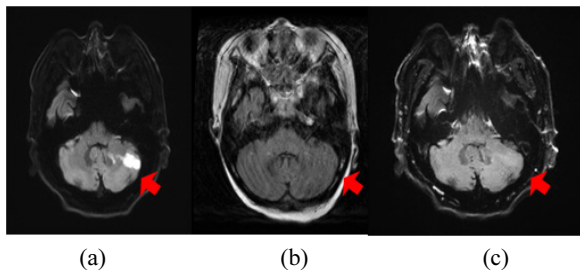


Fig. 4. Comparison of Motion Artifact for DWI (a), FLAIR(b), EPI FLAIR (c)

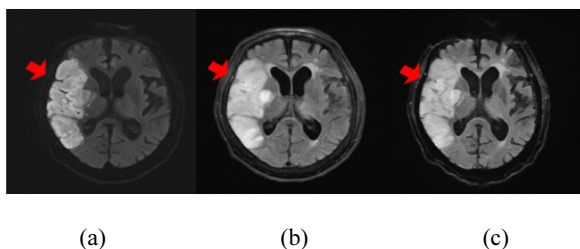


Fig. 5. Match between DWI(a) and T2 FLAIR(b) and EPI-FLAIR(c) for estimating the age of infarction

V. CONCLUSION

결론적으로 EPI-FLAIR는 영상 획득 시간을 줄일 수 있어 비협조적인 환자에게 발생하는 인공물을 최소화할 수 있고 기존 T2 FLAIR와 비교하여 급성 뇌경색 및 여러 가지 뇌 병변을 평가하는 검사로 충분한 가치가 있다고 생각된다.

Reference

- [1] A. Meshksar, J. P Villablanca, R Khan, R. Carmody, B. Coull, K. Nael, "Role of EPI-FLAIR in Patients with Acute Stroke: A Comparative analysis with FLAIR," American Journal of Neuroradiology, Vol. 35, No. 5, pp. 878-961, 2014. <http://dx.doi.org/10.3174/ajnr.A3786>
- [2] E. Lavdas, P. Mavroidis, S. Kostopoulos, D. Glotsos, V. Roka, T. Topalzikis, A. Bakas, G. Oikonomou, N. Papanikolaou, G. Batsikas, I. Kaffes, D. Kechagias, "Improvement of image quality using BLADE sequences in brain MR imaging," Magnetic Resonance Imaging, Vol. 31, No. 2, pp. 189-200, 2013. <http://doi.org/10.1016/j.mri.2012.08.001>
- [3] J. Benzakoun, B. Maïer, D. Calvet, M. Edjlali, G. Turc, S. Lion, L. Legrand, W. Ben Hassen, O. Naggara, J.F. Meder, J.L. Mas, C. Oppenheim, "Can a 15-sec FLAIR replace conventional FLAIR sequence in stroke MR protocols?," Journal of Neuroradiology, Vol. 44, No. 3, pp. 192-197, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurad.2016.11.001>
- [4] Stroke role report, Health and illness for th week, Vol. 12, No. 43, 2018.
- [5] S. Mittal, Z. Wu, J. Neelavalli and E.M. Haacke" Susceptibility - Weighted imaging : Technical Aspects and Clinical Applications, Part 2," American Journal of Neuroradiology, Vol. 30, No. 2, pp. 232-252, 2009. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1461>
- [6] B. De Coene, J. V. Hajnal, J. M. Pennock, G. M. Bydder, "MRI of the brain stem using fluid attenuated inversion recovery pulse sequences," Neuroradiology, Vol. 35, No. 5, pp. 327-331, 1993. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00588360>
- [7] Medical Imaging Research Society, Korean Society of

MR Technology, Magnetic resonance imaging, 2nd
Ed. Daihakseorim Publishing, Republic of Korea, pp.
123-124

- [8] R. Khan, K. Nael, William Erly, "Acute Stroke Imaging: What clinicians Need to Know", *The American Journal of Medicine* Vol. 126 No 5, pp. 379-386, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2012.11.014>
- [9] K. J. Kang, M.D., M.K. Lim, M.D., C.K. Ha, M.D., Y.K. Cho, M.D., C.K. Lee, M.D., H.J. Kim, M.D., C.H. Suh, M.D. "Comparison of Fast FLAIR and Echo-Planar FLAIR Imaging in Cerebral Lesion", *Korean Journal of Radiology* Vol. 41, No. 3, pp. 441-446, 1999.

급성 허혈성 뇌경색 환자의 자기공명영상 검사 시 Echo Planar Image T2 FLAIR 기법의 유용성에 관한 연구

노태관, 조용근*

순천향대학교 부천병원 영상의학팀 MRI part

요 약

본 연구는 현재 사용되고 있는 가장 빠른 Pulse Sequence 중 하나인 EPI기법과 T2 FLAIR 기법 두 가지를 함께 적용하여 사용하는 EPI-FLAIR기법을 급성 허혈성 뇌경색 환자에게 적용하여, EPI-FLAIR 기법의 진단적 유용성에 대하여 평가하였다. 연구 결과 정성적, 정량적 분석 결과 EPI-FLAIR 기법이 T2 FLAIR 기법과 비교 시 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알 수 있었으며, 결론적으로 EPI-FLAIR 기법은 화질의 저하 없이 영상획득시간을 줄일 수 있어 허혈성 급성 뇌경색 및 뇌출혈, 신경학적 결핍, 경색 시기 진단이 필요한 환자의 여러 가지 뇌 병변 평가와 함께 비협조적인 환자들에게 발생하는 Motion Artifact를 줄일 수 있는 장점 있어 T2 FLAIR와 비교하여 충분한 진단적 가치가 있다고 사료된다.

중심단어: 급성 허혈성 뇌경색, 자기공명영상

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	노태관	순천향대학교 부천병원	방사선사
(교신저자)	조용근	순천향대학교 부천병원	방사선사