

A Study on the Quality Evaluation of the Turbo Factor of the SPACE(Sampling Perfection with Application optimized Contrast using different flip-angle Evolutions) 3D T2 Technique during Olfactory Bulb MRI Examination

Jun-Kyu Lee, Tae-Kwan Roh, Yong-Keun Jo*

Department of Radiology, Soonchunhyang University, Bucheon hospital

Received: March 13, 2022. Revised: April 15, 2022. Accepted: April 30, 2022.

ABSTRACT

This study aims to find out the change in diagnostic capability and image quality compared to 2D TSE T2 after examination the Turbo Factor value of the SPACE 3D T2 technique during Olfactory Bulb examination. As a result of the study, qualitative and quantitative analysis, it was found that there was a statistically significant difference in the SPACE 3D T2 technique compared to the 2D TSE T2 technique, and the conclusion

Keywords: 3D SPACE T2, Turbo Factor, Olfactory Bulb

I. INTRODUCTION

오늘날 뇌 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging)은 임상에서 여러 가지 뇌병변을 진단함에 있어서 없어서는 안 될 중요한 검사 중 하나이다. 뇌 MRI는 조직 대조도(Tissue contrast)가 뛰어나기 때문에 회질(Gray matter)과 백질(White matter)이 분명하게 구분되며 대뇌기저핵(Basal ganglia), 내,외포(Internal and external capsule), 시상(Thalamus)등이 잘 관찰되는 장점이 있다.

또한 횡단면(Axial : transverse), 관상면(Coronal), 시상면(Sagittal)등 원하는 어떤 단면의 영상도 얻을 수 있기 때문에 신경계 질환의 영상진단에서 CT보다 진단적 가치가 높아 질환 발병 시 우선하여 이용되는 검사로 정착되었다^[1]. 후각망울(Olfactory Bulb)은 양쪽 대뇌 반구 전두엽 아래에 있는 화학 수용 세포에서 신호를 받는 기다란 콩 모양으로 부풀어 있는 부분으로 후각 신경이 그 속으로 들어간다. Olfactory Bulb MRI는 임상적으로 후각장애뿐만 아니라 파킨슨 질환, 알츠하이머 질환 등의 진단에

도 매우 유용하다^[9]. 병리학적 연구에 따르면 초기 단계의 파킨슨 질환은 후각망울(Olfactory Bulb)에 영향을 미치고 그 뒤 흑질(Substance Nigra) 및 기타 뇌 영역이 침범하기 때문에 형태학적인 후각망울(Olfactory Bulb)의 관찰도 파킨슨 질환 진단에 도움을 준다고 알려져 있고 실제 임상에서도 적용 중이다^[6]. 파킨슨 질환에서 후각기능의 장애의 기전은 확실치 않으나 지금까지 알려진 가설로는 첫째 파킨슨 질환과 관련과 있으리라 생각되는 환경적인 물질(신경독소 등)이 후각신경수용 세포 자체 및 후각계를 통해 흑선조체계에 장애를 줄 수 있다는 설이다^[7]. 알츠하이머 질환도 후각망울(Olfactory Bulb)과 연관성이 있다. 알츠하이머 질환의 시작과 후각 소실 간 연관성은 내후각피질(Entorhinal Cortex)과 후각망울(Olfactory Bulb) 같은 기억과 후각과 연관된 뇌 영역들이 초기 단계부터 영향을 받기 때문이다^[2].

SPACE(Sampling Perfection with Application optimized Contrasts using different flip-angle Evolutions) 3D기법은 Single-slab 이미징이 가능하고 에코 간격을 크게 단축하며 무선 주파수 펄스를 재초점(Refocusing)하는 가변 Flip 각도를 사용하여 Blurring Artifact를 억

제할 수 있다. 또한 Multi-slab 3D 기법은 인접한 Slab 사이의 경계에 인공물(Artifact)이 생기는 현상이 있는데 Single-slab 3D 기법은 이러한 현상 없이 이미지를 획득할 수 있다^[3].

임상적으로 Conventional 2D 기법에서는 Axial, Coronal, Sagittal image를 각각 획득해야 하지만 SPACE 3D는 한번의 촬영으로 획득한 Raw Data를 이용하여 영상 후처리를 통한 재구성(Reconstruction)으로 원하는 여러 단면을 획득할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구는 2D TSE T2 기법과 Turbo Factor 계수를 변화시켜 COR 3D SPACE 기법을 비교 분석하여 영상의 왜곡 정도와 화질 평가에 대해 알아보고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 평가 대상의 선정

2020년 12월부터 2021년 1월까지 뇌혈관 질환을 주 호소로 본원을 내원한 환자 중 뇌 MRI 검사를 시행한 환자 15명(남:9, 여:6)을 대상으로 하였으며, 연령 범위는 60~88세(평균연령은 72.5±11.91)세 이었다.

2. 장비 및 영상의 획득

영상획득에 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. Turbo factor를 75, 105, 135 값으로 설정한 뒤 각각의 COR T2 SPACE 영상과 COR TSE T2(2D-TSE)영상을 획득하였다. 영상획득에 사용된 매개 변수는 Table 1과 같다.

3. 영상의 분석

영상의 왜곡 정도를 파악하기 위해서 Olfactory Bulb의 장축을 측정하여, TSE COR T2영상과 Turbo factor를 변화시킨 COR T2 SPACE 영상을 비교하였다. 또한 TSE COR T2영상과 COR T2 SPACE영상에서 Olfactory Bulb, Straight Gyrus에 관심영역(Region Of Interest: ROI)은 Fig. 1과 같이 설정하여 신호강도(Signal Intensity: SI)를 측정하여 신

호대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)와 대조도대 잡음비(Contrast to Noise Ratio: CNR)를 측정 비교 분석하였다.

$$\text{Signal to Noise Ratio} = \frac{SI(\text{region})}{SD(\text{noise})} \quad (1)$$

$$\text{Contrast to Noise Ratio} = \frac{A(SI) - B(SI)}{SD(\text{noise})} \quad (2)$$

SI = Signal intensity of region
SD = Standard deviation of noise

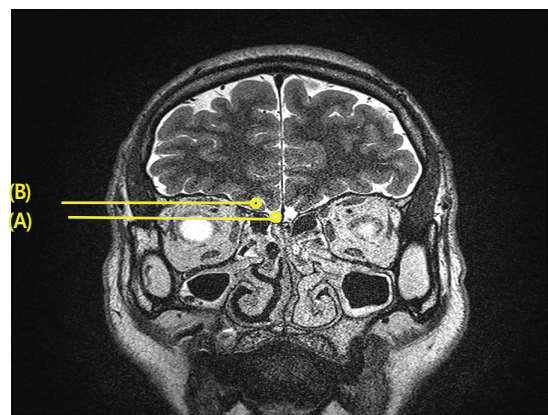


Fig. 1. 2D TSE T2.
(A) Olfactory bulb, (B) Straight gyrus.

영상의 정성적 분석을 위해 영상의학의 2명이 TSE COR T2영상과 Turbo Factor를 변화시킨 COR T2 SPACE 영상에서 해부학적 구조물의 묘사정도, 인공물의 발생 유무, 영상 왜곡의 정도를 4점 척도(1점 나쁨, 2점 적당함, 3번 좋음, 4번 매우 좋음)로 측정하고 두 관찰자 간의 일치도를 검증하였다.

4. 통계적 분석

모든 측정된 값은 평균과 표준편차를 측정하였으며 Olfactory Bulb의 장축의 길이, SNR과 CNR의 정성적 평가는 비모수적 통계 방법인 Mann Whitney T-test를 사용하였으며, 정량적 평가는 교차 분석을 이용하여 두 관찰자간의 일치도를 Cohen's Kappa계수로 비교 하였으며, 모든 통계분석 Rex(R version 4.0.2)를 사용하였고, 유의수준 0.05미만을 유의한 것으로 해석하였다.

III. RESULT

1. 정량적 분석

TSE COR T2에서 측정된 SNR 값의 평균과 표준 편차는 57.82 ± 2.4 , Turbo factor를 75로 설정한 COR T2 SPACE에서는 330.53 ± 1.48 , 105로 설정한 영상에서는 260.82 ± 4.32 , 135로 설정한 영상에서는 134.59 ± 3.93 으로 Fig. 3과 같다.

또한 CNR값을 측정하여 비교한 결과 TSE COR T2에서 34.09 ± 0.96 , SPACE 영상의 Turbo Factor 75,105,135에서의 값은 각각 Fig. 4와 같다.

TSE영상과 SPACE 영상의 Turbo Factor 변화에 따른 SNR과 CNR의 통계적 분석결과 Table 2과 같이 유의한 결과($p < 0.05$)를 보였다. Olfactory Bulb의 장축의 길이는 각각 Fig. 2와 같다.

2. 정성적 분석

관찰자 1과 2의 정성적 분석의 결과는 Table 3와

같다. TSE 영상에서 관찰자 1의 정량적 평가에서 해부학적 구조물의 묘사 정도는 3.33 ± 0.49 , Ghost artifact 유무는 2.25 ± 0.45 , Distortion 유무는 1.33 ± 0.49 였으며, Turbo Factor 75,105,135에서 해부학적 구조물의 묘사 정도는 각각 3.75 ± 0.45 , 3.77 ± 0.23 , 3.77 ± 0.23 , Ghost Artifact 유무는 3.16 ± 0.38 , 3.26 ± 0.14 , 3.57 ± 0.31 Distortion 유무는 3.66 ± 0.49 , 3.68 ± 0.51 , 3.57 ± 0.19 로 나타났으며, 관찰자 2의 경우 TSE 영상에서는 해부학적 구조물의 묘사 정도는 3.16 ± 0.38 , Ghost Artifact 유무는 2.41 ± 0.51 , Distortion 유무는 1.25 ± 0.45 , Turbo Factor 75,105,135 영상에서는 해부학적 구조물의 묘사 정도는 3.83 ± 0.38 , 3.85 ± 0.17 , 3.87 ± 0.15 Ghost Artifact 유무는 3.25 ± 0.45 , 3.27 ± 0.14 , 3.26 ± 0.85 Distortion 유무는 3.73 ± 0.45 , 3.75 ± 0.23 , 3.74 ± 0.41 로 두 관찰자 간의 정량적 분석 비교 결과 3D SPACE 영상에서 더 높은 결과를 보였고, 두 관찰자 간의 교차 분석을 통한 일치도 분석에서는 Kappa 값이 Table 3과 같이 모두 적당한 값을 보이고 있으며, 통계적으로 유의한 결과를 보였다.

Table 1. Scan Parameter for image acquisition

Parameter Pulse sequence	TR(ms)	TE(ms)	FOV(mm)	Matrix Size	NEX	Slice thickness /gap(mm)	Turbo Factor	Scan time
COR T2 SPACE 3D	1900	108	200	256*256	1	1.0 / no gap	75	5min 35sec
							105	4min 17sec
							135	3min 21sec
COR T2 TSE	3270	79	200	488*488	1	1.0 / no gap	15	4min 58sec

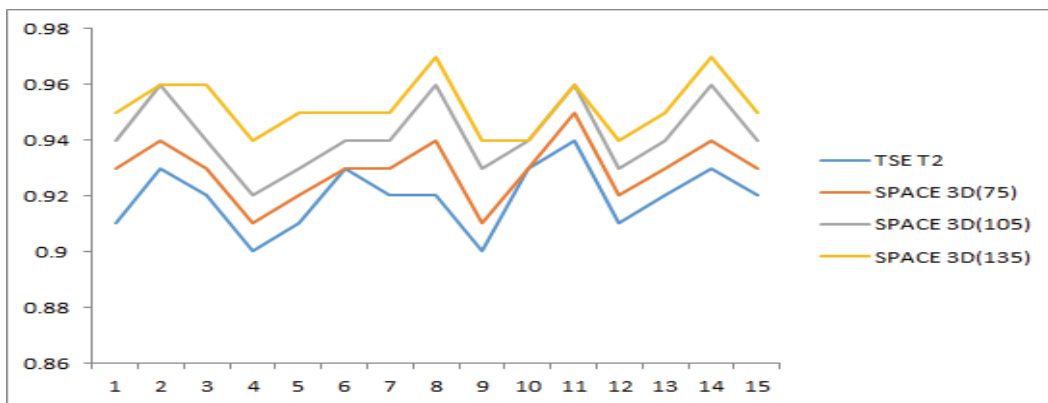


Fig. 2. Length of the long axis of the Olfactory bulb.

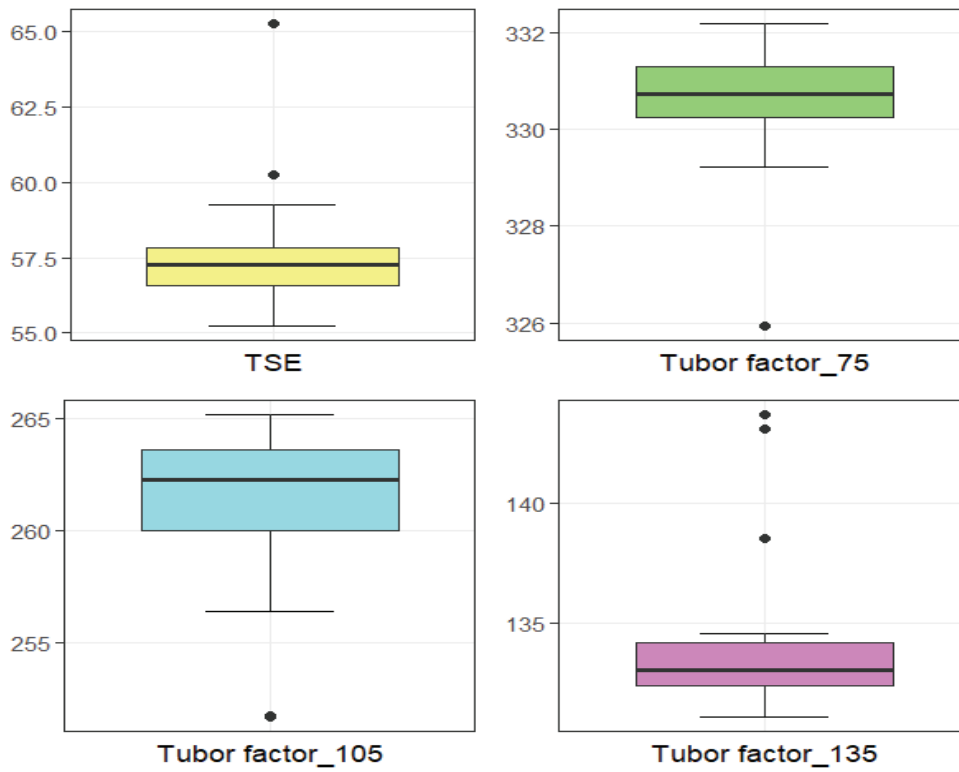


Fig. 3. Description of SNR value of ROI at each method.

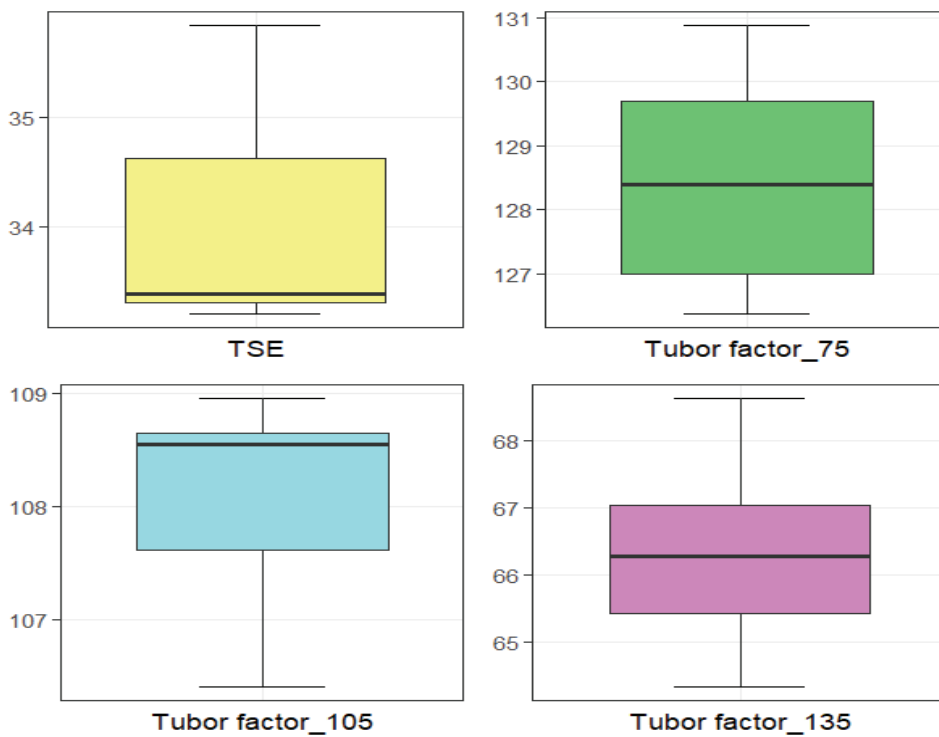


Fig. 4. Description of CNR value of ROI at each method.

Table 2. Statistical results of SNR and CNR value of ROI at method

	Turbor Factor	Sampling Number	Mean Value	Standard Deviation	p
SNR	75	15	330.53	1.48	0.001
	105		260.86	4.32	0.007
	135		134.59	3.93	0.001
CNR	75	15	128.41	1.45	0.001
	105		108.11	0.79	0.001
	135		66.29	1.16	0.001

Table 3. Evaluation of agreement between two observes using Chisquare test(kappa value>0.000: poor, kappa value>0.200: slight, kappa value>0.201~0.400: fair, kappa value> 0.401~0.600: moderate, kappa value>0.601~0.800: substantial, kappa value>0.801~1: Almost Perfect

Scan method	Evaluation item	Descriptions of lesions	Artifacts by partial volumes	Presence or absence of image distortion
2D TSE T2	Kappa Value	0.67	0.65	0.8
	p-value	0.01	0.01	0.005
Turbor Factor = 75	Kappa Value	0.75	0.7	0.8
	p-value	0.007	0.007	0.01
Turbor Factor = 105	Kappa Value	0.85	0.81	0.86
	p-value	0.001	0.001	0.005
Turbor Factor = 135	Kappa Value	0.85	0.79	0.81
	p-value	0.001	0.005	0.001

IV. DISCUSSION

MRI 영상에서 말하는 3D(3-Dimension Volume Image) 개념은 영상을 획득하는 방법을 말하는 것이 입체적으로 Display된 3차원 영상을 지칭하는 것은 아니다. 2D(2-Dimension)기법은 각각의 Slice를 선택하고 나서 선택된 Slice내에서 위상부호화(Phase encoding)와 주파수 부호화(Frequency encoding)을 인가하여 위치 정보를 파악하고 신호를 측정하지만 3D 기법은 영상화하려는 전체 Volume에 RF pulse를 인가하여 위치 정보를 파악하고 신호를 측정한다. 위치 정보를 파악 하기 위한 방법으로는 2D에서의 방법과 거의 동일 하나 여기에 Slice selection gradient 방향으로 Slice encoding gradient(Phase encoding과 유사)를 추가함으로써 가능하다. Slice encoding gradient도 Phase encoding처럼 매 TR마다

변화하는데 그 Step의 수가 단면(Partition)의 수를 의미한다. 그렇기 때문에 3D기법에서의 검사시간은 2D에서의 [TR x Phase encoding수 x NEX에 Slice수]를 곱한 [TR x Phase encoding수 x NEX x Slice수]가 된다. 이와 같이 3D 기법은 검사시간이 많이 소요되지만 간격(Gap) 없이 영상을 얻을 수 있고 단면 당 신호 측정 수가 많아져 좋은 신호 대 잡음비(SNR)의 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다^[1]. 그러나 3D 기법은 스핀 에코 (Spin Echo)에 기반을 둔 영상의 획득은 앞서 말한 것처럼 긴 검사 시간과 획득 방법의 세부 사항과 관련된 이미지 인공물로 인해 임상 MRI에서 제한점이 있었다. 하지만 최근에 장비의 발달로 최적화된 형태의 3D 터보 스핀 에코(Turbo Spin Echo) 기법을 사용 한다.

SPACE 기법은 3D TSE(Turbo Spin Echo) 기법의 변형된 기법으로 일정한 Flip Angle을 재 자화하는

기존의 TSE 기법과는 달리 SPACE 기법은 에코 열(Echo Train)을 따라 다양한 Flip Angle을 재 자화하는 RF Pulse로 구성되어 있으며, 이는 매우 높은 Turbo Factor (>100)와 높은 샘플링 효율을 허용한다. SPACE 기법은 여러 평면(Multiple plane)에서 재구성(Reconstruction)할 수 있는 고해상도 등방성 이미지를 생성하며, 자화 감수성 인공물(Magnetization Susceptibility Artifacts), 흐름 인공물(Flow Artifacts) 및 화학적 이동 인공물(Chemical Shift Artifacts)에 덜 민감하여 기존 TSE보다 우수하다는 장점을 가지고 있다^[4]. 또한, SPACE 기법은 2D T2 Weighted Image에 비해 Voxel Size가 작으므로 병변 식별 능력과 해부학적 구조물의 정확한 식별이 가능하며, T2 Weighted Image에 비해 SNR과 CNR이 우수하다^[9]. Turbo Factor는 가장 중요한 단일 매개 변수로 에코의 수를 나타낸다. Turbo Factor가 높을수록 스캔 시간은 감소하나 T2 붕괴에 의한 감소된 신호의 수신에 증가하게 된다. 이로 인해 K-공간 내에 신호 강도가 불균질해질 수 있고, 영상 흐려짐(이하 Blurring)이 발생할 수 있다^[5].

Fig. 5와 같이 각각의 Turbo Factor가 75, 105, 135로 증가함에 가지적으로는 영상의 질이 저하되거나 증가하는지 알 수 없지만 Turbo Factor값이 커질수록 SNR과 CNR값이 감소하지만 Scan Time은 단축되는 것을 알 수 있다. 과도한 Turbo Factor 설정은 SNR과 이미지 불균일성을 발생시키고 Blurring 효과가 눈에 띄게 증가하여, 진단적 영상을 얻기에는 어려운 단점을 갖지만^[5], 각각의 Turbo Factor가 75, 105, 135 영상들은 SNR, CNR 값이 모두 진단적으로 유용한 범위에 있기 때문에 임상적 가치가 있는 영상이다.

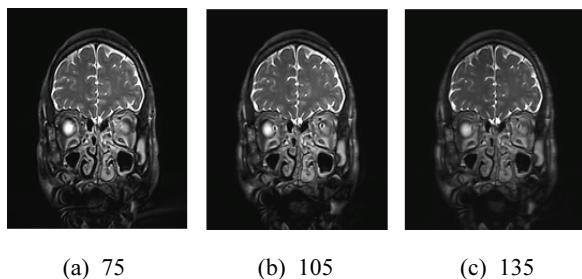


Fig. 5. Image comparison according to Turbo factor.

본 연구를 통해 각각의 3D SPACE 기법이 TSE T2에 비해서 SNR은 평균 약 4.2배 CNR은 약 2.9배 더 향상시켜 영상의 질은 확연히 증가 하였고 Scan time 역시 평균 4분 40초로 TSE T2 대비 18초 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 TSE T2 대비 6% 감소된 수치이다. 이번 연구의 제한점은 15명의 환자만을 대상으로 실시하여 Case가 충분하지 못했고 또한 파킨슨 환자만을 대상으로 실시한 것이 아니어서 임상적으로 파킨슨 진단에 얼마나 유용한지에 관한 데이터를 얻는데 한계가 있었다.

V. CONCLUSION

본 연구를 통하여 Olfactory Bulb 검사 시 3D SPACE T2기법이 2D TSE T2기법에 비해 SNR, CNR값이 높았고 검사시간은 Turbo Factor계수가 75로 설정 후 검사한 3D SPACE T2기법을 제외하고는 나머지 Turbo Factor계수가 105,135은 모두 짧았다. Turbo Factor계수가 다른 각각의 3D SPACE T2기법은 Turbo Factor계수가 적을수록 SNR, CNR값은 커졌고 모두 진단적으로 유용한 범위에 있었다. 그러나 Turbo Factor계수가 적을수록 검사시간은 길게 소요되었다. 또한 Olfactory Bulb의 장축의 길이는 각각의 3D SPACE T2기법에서 왜곡되지 않고 모두 비슷한 값을 나타냈다. 결론적으로 본 연구를 통하여 영상의 질과 검사시간을 고려하여 적절한 Turbo Factor값을 설정하여 검사한다면 임상에서 유용하게 사용될 수 있을 것이라 사료된다.

Reference

- [1] The Korean Society of MR Technology, *Magnetic Resonance Imaging*, DAEHAKSEORIM, pp. 121-122, 2019.
- [2] M. T. Shipley, "Transport of molecules from nose to brain: Transneuronal anterograde and retrograde labeling in the rat olfactory system by wheat germ agglutinin-horseradish peroxidase applied to the nasal epithelium", *Brain Research Bulletin*, Vol. 15, No. 2, pp. 129-142, 1985.
[http://dx.doi.org/10.1016/0361-9230\(85\)90129-7](http://dx.doi.org/10.1016/0361-9230(85)90129-7)
- [3] M. P. Lichy, B. M. Wietek, J. P. 3rd Mugler, W.

- Horger, M. I. Menzel, A. Anastasiadis, K. Siegmann, T. Niemeyer, A. Königsrainer, B. Kiefer, F. Schick, C. D. Claussen, H. P. Schlemmer, "Magnetic resonance imaging of the body trunk using a single-slab, 3-dimensional, T2-weighted turbo-spin-echo sequence with high sampling efficiency (SPACE) for high spatial resolution imaging: initial clinical experiences", *Investigative Radiology*, Vol. 40, No. 12, pp. 754-760, 2005. <https://doi.org/10.1097/01.rli.0000185880.92346.9e>
- [4] M. Notohamiprodjo, B. Kuschel, A. Horng, D. Paul, P. Baer, G. Li, J. M. R. G. d. Olmo, M. F. Reiser, C. Glaser, "3D-MRI of the ankle with optimized 3D-SPACE", *Investigative Radiology*, Vol. 47, No. 4, pp. 231-239, 2012. <http://dx.doi.org/10.1097/RLI.0b013e31823d7946>
- [5] Li T, Mirowitz S.A. "Fast T2-weighted MR imaging: impact of variation in pulse sequence parameters on image quality and artifacts", *Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 38, pp. 21-29, 2009.
- [6] E. Iannilli, L. Stephan, T. Hummel, H. Reichmann, A. Haehner, "Olfactory impairment in Parkinson's disease is a consequence of central nervous system decline", *Journal of Neurology*, Vol. 264, No. 6, pp. 1236-1246, 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s00415-017-8521-0>
- [7] C. D. Ward, W. A. Hess, D. B. Calne, "Olfactory impairment in Parkinson's disease", *Neurology*, Vol. 33, No. 7, pp. 943-946, 1983. <http://dx.doi.org/10.1212/WNL.33.7.943>
- [8] J. Hossein, F. Fariborz, R. Mehrnaz, Rafiei Babak, "Evaluation of diagnostic value and T2-weighted three-dimensional isotropic turbo spin-echo (3D-SPACE) image quality in comparison with T2-weighted two-dimensional turbo spin-echo (2D-TSE) sequences in lumbar spine MR imaging", *European Journal of Radiology Open*, Vol. 28, No. 6, pp. 36-41, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2018.12.003>
- [9] R. J. Zatorre, M. Jones-Gotman, A. C. Evans, E. Meyer, "Functional localization and lateralization of human olfactory cortex", *Nature*, Vol. 360, No. 6402, pp. 339-340, 1992. <http://dx.doi.org/10.1038/360339A0>

Olfactory bulb MRI 검사 시 SPACE 3D T2 기법의 Turbo factor 변화에 따른 화질 평가에 관한 연구

이준규, 노태관, 조용근*

순천향대학교부천병원 영상의학과

요 약

본 연구는 후각망울(Olfactory Bulb) 검사 시 SPACE 3D T2 기법의 Turbo Factor 값을 변화하여 검사 한 후 2D TSE T2와 비교하여 진단능과 화질의 변화를 알아보려고 한다. 연구 결과 정성적, 정량적 분석 결과 SPACE 3D T2 기법이 2D TSE T2 기법과 비교 시 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알 수 있었으며, 결론적으로 Turbo Factor 값을 적절하게 변화 시킨 SPACE 3D T2 기법은 검사시간을 단축시키면서 2D TSE T2 기법과 비교하여 화질이 증가 된 영상을 획득할 수 있으므로 임상적으로 충분한 진단적 가치가 있다고 사료된다.

중심단어: 3D SPACE T2, Turbo Factor, 후각망울(Olfactory Bulb)

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이준규	순천향대학교부천병원 영상의학과	방사선사
(공동저자)	노태관	순천향대학교부천병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	조용근	순천향대학교부천병원 영상의학과	방사선사