Journal of Radiation Industry 13(2) : 133~139(2019)

뇌심부자극술의 평가를 위한 CT 및 MR 영상의 융합

이 종 석[1] · 권 대 철[2,*]

[1]원광보건대학교 방사선과, [2]신한대학교 바이오생태보건대학 방사선학과

CT and MR Image Fusion for Assessing Deep Brain Stimulation

Jong Seok Lee[1] and Dae Cheol Kweon[2,*]

[1]*Department of Radiological Technology, Wonkwang Health University, Iksan 54538, Republic of Korea*

[2]*Department of Radiological Science, College of Bioecological Health, Shinhan University, Uijeongbu 11644, Republic of Korea*

Abstract - The purpose of this study was to evaluate the accuracy of the electrode images of the subthalamic nucleus by using preoperative MR imaging and postoperative CT imaging in patients with deep brain stimulation. After electrode implantation, CT images of the deep brain stimulation patients were analyzed and evaluated before surgery. Preoperative MR imaging of deep brain stimulation was performed on AC-PC (anterior commissure-posterior commissure) line as T2-weighted images. CT scans after deep brain stimulation was scanned on the AC-PC line. The images were fused by using image merge channels function of MR images and CT images using ImageJ (NIH, Bethesda, MD, USA), and the accuracy of the presence of electrodes in the hypothalamic nucleus was confirmed. Post-operative CT images of deep brain stimulation were acquired and the images were subjected to the color synthesis function of the ImageJ program. MR and CT images were inserted into various red, green, blue, and gray functions in order to confirm the precise location of the electrodes. In the program, both the electrodes and thalamus nucleus were revealed in the synthesis of red (CT image) and green (MR image). Fusion of MR and CT images is a safe and practical application and accuracy in identifying the location of electrodes in deep brain stimulation patients. Such as, CT and MRI fusion images can be applied in clinical practice.

Key words : CT, Deep brain stimulation, Fusion, MR imaging

서 론

뇌심부자극술(deep brain stimulation, DBS)은 본태성 진전(essential tremor) 또는 파킨슨병(Parkinson disease)과 관련된 진동을 극적으로 완화할 수 있는 외과적 수술로 다양한 신경 상태를 가진 사람들에게 이점을 제공하는 뇌심부자극술이 임상에서 적용되고 있다. 이러한 뇌심부자극술은 전극(electrode)이 시상밑핵(subthalamic nucleus)이나 담창구(globus pallidus)의 내부 분절을 자극하면 파킨슨병 환자의 느린 움직임, 근육의 떨림, 경직 및 보행 장애를 크게 줄일 수 있다. 뇌심부자극술의 전극의 정확한 위치 삽입에 대한 연구는 임상 치료법을 넘어서는 중요성을 가지고 있다(Cuny *et al*. 2002; Papavassilou *et al*. 2008). 뇌심부자극술의 행동 기제에 대한 조사는 뇌 회로의 기능적 해부학 및 그 회로와 행동의 활동 사이의 관계와 같은 근본적인 문제를 명확히 할 잠재력을 가지고 있다(Perlmutter *et al*. 2006).

* Corresponding author: Dae Cheol Kweon, Tel. +82-31-870-3411, Fax. +82-31-870-3419, E-mail. dckweon@shinhan.ac.kr

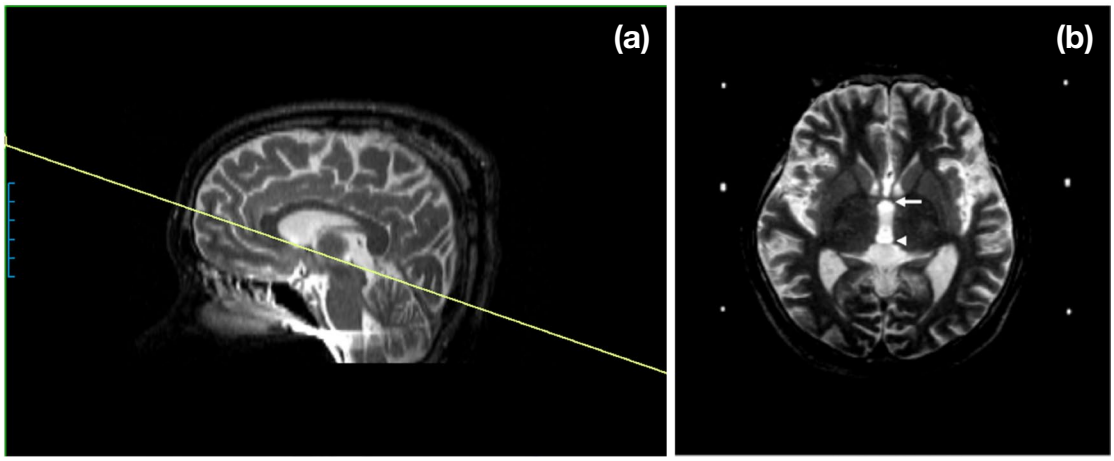

Fig. 1. MR pre-operative scout image of anterior commissure and posterior commissure line (a) and MR T2 axial image of anterior commissure (arrow) and posterior commissure (arrowhead) (b).

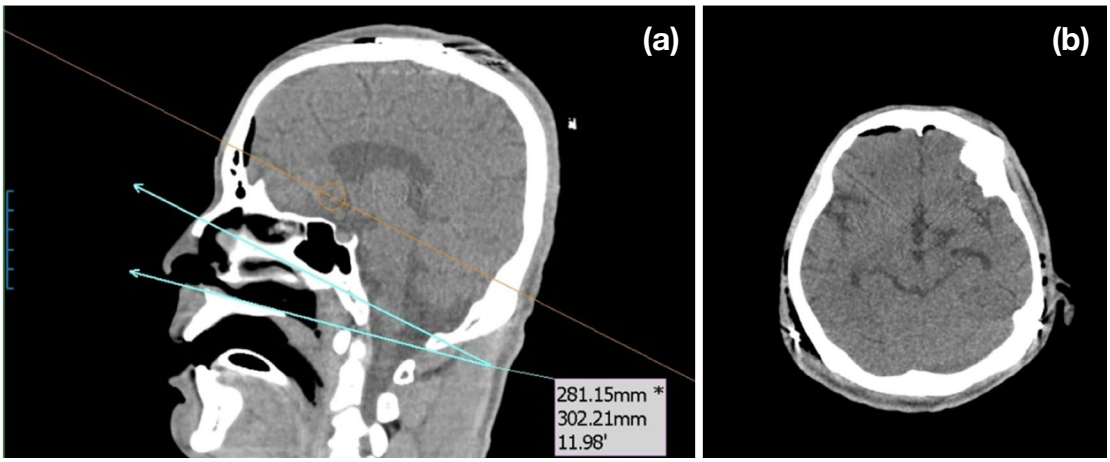

Fig. 2. Image acquisition for scanning of post-operative CT with anterior commissure and posterior commissure (a) and CT image (b).

뇌심부자극술은 작은 구조인 시상밑핵에 전극를 삽입하여 치료에 응용되기 때문에 정확한 위치에 전극을 안착하는 게 매우 중요하다(Hamid *et al*. 2005). 현재 임상에서는 뇌심부자극술의 전극을 삽입하기 위해 컴퓨터 프로그래밍 치료계획의 일환으로 미세전극 모니터링에 의한 전극 위치를 확인하고 전극 자극을 통한 환자의 증상 및 변화를 관찰하고 있다. 또한 뇌심부자극술에서 수술 전의 MR 영상(Cui *et al*. 2016; Salvin *et al*., 2016)과 수술 후의 CT (computed tomography) 영상은 합병증을 평가하고 정확한 전극 위치를 평가하는 데 중요한 요소이다(Saleh *et al*. 2016).

뇌심부자극술에서 CT 영상은 높은 기하학적 정확도와 안전문제를 제기하지 않고 쉽게 영상을 획득하는 장점을 가지고 있지만 뇌의 심부 구조를 식별하는 데 필요한 연부조직의 대조도가 부족하고 금속 전극의 인공물로 인한 영상의 식별이 어려운 점이 있다(Sumanaweera *et al*. 1994; Pinsker *et al*. 2008). 뇌심부자극술의 수술 전의 MRI와 수술 후의 CT 영상의 융합은 신경외과 의사가 사용하는 일반적인 방법이다(Shin *et al*. 2007; Lee *et al*. 2010). 이러한 뇌심부자극술 환자에게 다양한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 전극의 위치의 좌표를 확인하기 위해 수술 전의 MR 영상과 수술 후의 CT 영상을 합성하여 평가하였다(Engelhardt *et al*. 2018).

이 연구는 뇌심부자극술 환자를 대상으로 하여 수술 전 MR 영상과 수술 후 획득한 CT 영상을 프로그램을 이용해 합성하여 시상밑핵 전극 영상의 정확성을 평가하는 데 목적이 있다.

대상 및 방법

1. 영상 획득

연구는 뇌심부심자극 수술 전 환자에게 MR 스캔하여 영상을 획득하고, 수술 후에 CT를 스캔하여 영상을 DICOM

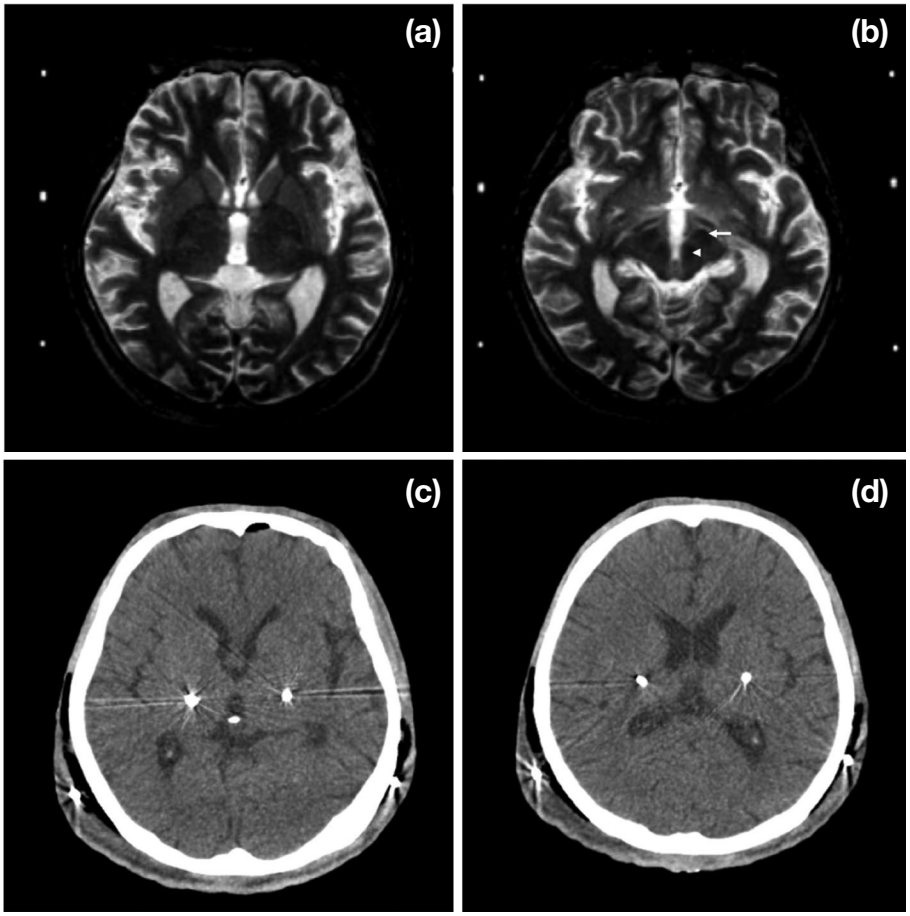

Fig. 3. Deep brain stimulation surgery of pre-operative of axial T2-weighted MR image (a) and axial T2-weighthed image of subthalamic nucleus (arrow) and red nucleus (arrowhead) and post-operative axial CT image with air bilateral subthalamic nucleus and deep brain stimulation (c, d).

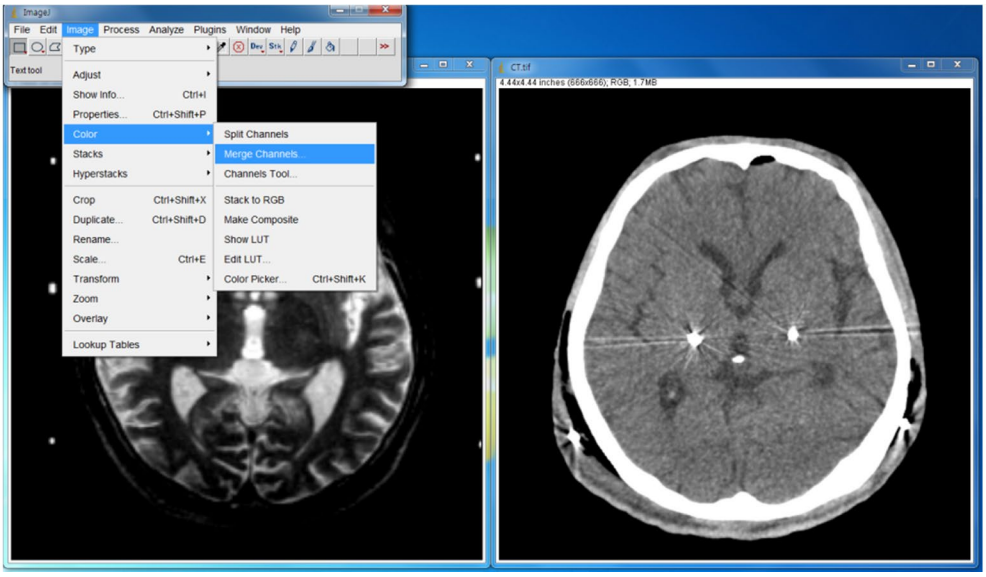

Fig. 4. Pre-operative MR and postoperative CT merge showing tips of ImageJ used of electrodes fused to bilateral trajectories of planned subthalamic nucleus and deep brain stimulation. ImageJ program used of color merge function display of CT and MR image.

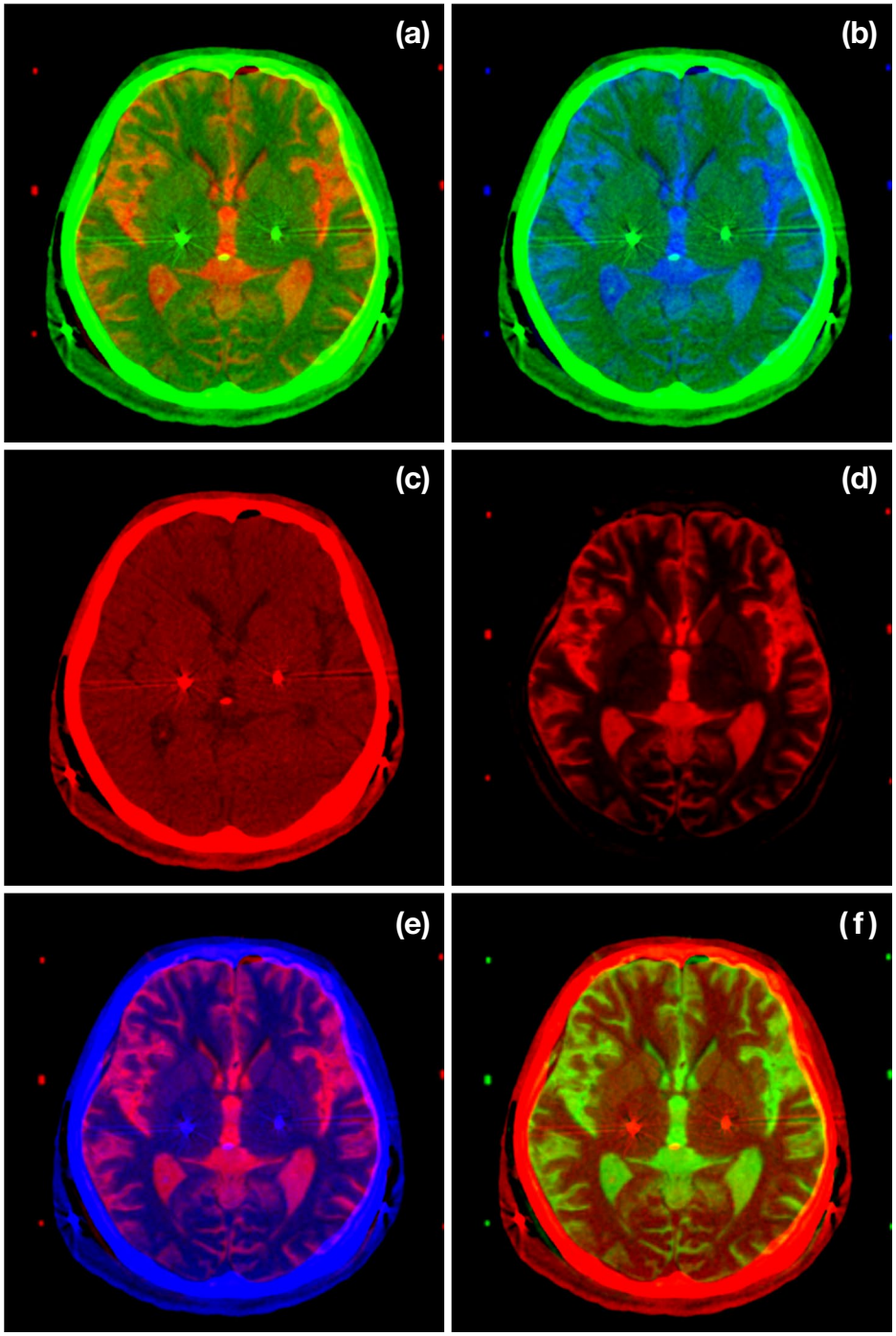

Fig. 5. CT and MR image fusion of red (MR) and green (CT) (a), green (CT) and blue (MR) (b), red (CT) and gray (MR) (c), red (MR) and gray (CT) (d), red (MR) and blue (CT) (e), and red (CT) and green (MR) (f).

(digital imaging and communications in medicine) 파일 및 raw 데이터로 획득한다. 뇌심부자극술 환자에게 전극을 주입한 수술 후 CT 영상과 수술 전의 MR 영상을 융합한 영상을 분석하고 평가하였다.

파킨슨병으로 진단하여 뇌심부자극술 환자를 대상으로 CT 및 MR을 스캔하기 위해 정보 제공 동의 및 연구윤리 지침에 따라 작성하였다. 뇌심부자극술 환자의 수술 전에 3 T MRI (Philips Intera, Eindhoven, the Netherlands)으로 스캔하였고, 수술 후에는 MDCT (Sensation 64, Siemens, Erlangen, Germany)을 이용하여 스캔하였다.

뇌심부자극술의 수술 전의 MR 영상의 스캔은 기준선인 AC-PC (anterior commissure-posterior commissure) line

Table 1. MR image and CT image merge of visual of subthalamic nucleus and DBS

MR	CT	Deep brain stimulation leads	Visual of subthalamic nucleus
Red	Green	Look good	Not visible at all
Blue	Green	Look good	Not visible at all
Gray	Red	Look good	Not visible at all
Red	Gray	Not at all	Not visible at all
Red	Blue	Look good	Not visible at all
Green	Red	Look good	Look good

을 기준으로 하여 T2-weighted images (TR 2800, TE 90, flip angle 90°, bandwidth 250 Hz, slice thickness 1.0 mm, slice gap 0 mm, matrix size: 384×384)로 스캔하였다(Fig. 1). 뇌심부자극술을 위한 전극삽입 수술 후의 CT 영상 획득은 경구개(hard palate)에서 12°에 위치하는 AC-PC line을 기준으로 하여(Kim *et al*. 2009) 촬영 조건은120 kV, dose modulation (100~250 mA), slice thickness differed between 0.6 and 1.25 mm로 스캔하였다(Fig. 2).

2. 영상 합성 및 분석

뇌심부자극술의 수술 전의 MR 영상과 수술 후의 CT 영상으로 전극의 위치 및 시상밑핵을 비교하기 위해 ImageJ (NIH, Bethesda, MD, USA) 프로그램을 이용하여 MR 영상과 CT 영상을 image color의 merge channels 기능을 이용하여 영상을 융합하여 영상에서 전극의 위치가 시상밑핵에 정확하게 존재하는지를 융합 영상으로 확인하였다.

결 과

연구결과는 뇌심부자극술 시술 환자에 대한 영상 정보를 제공하고 전극 삽입에 대한 정확한 정보를 제공하여 임상에서 치료에 적용할 수 있다. 이에 뇌심부자극술의 수술전의 MR 영상에서 시상밑핵과 적핵(red nucleus)을 확인하였다(Fig. 3). 뇌심부자극술의 수술 후의 CT 영상을 획득하여 영상을 ImageJ 프로그램에서 제공하는 color의 합성 기능을 이용하여 영상을 합성하였다(Fig. 3). CT 및 MRI 스캔의 융합 영상 평가는 뇌심부자극술의 전극의 위치를 안전하고 실제적으로 정확하게 제공하였다.

ImageJ 프로그램의 color의 merge channels 합성 기능을 이용하여 영상의 전극의 위치의 정확한 묘출을 확인하기 위해 다양한 red, green, blue, gray 기능에 뇌심부자극술의 수술 전 MR 영상과 수술 후의 CT 영상을 삽입하여 융합 영상을 묘출하였다(Fig. 4).

ImageJ 프로그램에서 묘출된 영상에서 red (MR 영상)와 green (CT 영상)의 합성은 Fig. 5a이고, green (CT 영상) 과 blue (MR 영상)은 Fig. 5b, red (CT 영상)와 gray (MR 영상)의 합성은 Fig. 5c, red (MR 영상)와 gray (CT 영상)의 합성은 Fig. 5d, red (MR영상)와 blue (CT 영상)의 합성은 Fig. 5e, red (CT 영상)와 green (MR 영상)의 합성에서는 Fig. 5f에서 전극과 함께 시상밑핵이 모두 묘출되었다.

고 찰

뇌심부자극술에서 전극의 위치를 시각화하여 정확한 목표를 확보할 수 있게 하여 수정할 필요성이 없어 임상에서는 정확한 정보의 제공이 필수적이다(Kremer *et al*. 2018). 이러한 전극의 정확한 정보의 제공은 향후 파킨슨병의 치료계획에 유용하게 적용할 수 있어 뇌심부자극술에서 전극의 시상밑핵에 위치하는 명확한 정보의 제공이 필수적이다.

뇌심부자극술의 전극의 위치를 확인할 수 있는 비침습적인 방법은 초음파(Walter *et al*. 2011), 수술 중 엑스선(Verhagen *et al*. 2012), 수술 중의 3D 엑스선(Weise *et al*. 2012), Medtronic O-arm (Caire *et al*. 2010; Smith *et al*. 2011), 수술 중의 MRI (Huston *et al*. 2011; Cui *et al*. 2016) 또는 CT (Fiegele *et al*. 2008; Shahlaie *et al*. 2011) 검사가 임상에서 현재의 유용한 정보를 제공할 수 있으며 정확한 전극의 식별을 가능하게 한다. 이러한 검사 방법 중에서 뇌심부자극술에서 현재 stereotactic frame을 삽입한 상태의 수술 후 CT가 frame이 없는 post-operative CT보다 우수하다는 증거는 없다고 보고하였다(Saleh *et al*. 2016). 이러한 뇌심부자극술 환자의 수술 후의 CT 영상은 전극의 위치를 확인하는 중요한 방법으로 임상에서 적용되고 있다. 또한 뇌심부자극술의 전극에 대한 발열현상에 대한 고주파 출력에 대한 제한기준의 보고가 있어 이러한 수술법은 치료계획에 주의가 요구된다(Yeon *et al*. 2017).

MR 및 CT 영상의 융합은 뇌심부자극술에 따른 전극의 위치를 정확하게 알 수 있고 수술 전 및 수술 후의 전극 위치를 직접적으로 비교할 수 있게 한다(Barnaure *et al*. 2015). CT와 MR 영상의 융합에서 CT는 안전성과 공간분해능을 제공하고 MR 영상은 조직의 우수한 대조도의 이점이 있으나, 이러한 CT 및 MR의 두 가지 영상의 융합은 오차의 요인을 수반하고 있다(Ferroli *et al*. 2004; Pinsker *et al*. 2008). 기존의 뇌심부자극술의 CT와 MR 영상의 융합 연구

는 위치의 정확성에 맞춘 연구를 집중적으로 연구하여 보고하였다(Ferroli *et al*. 2004; Thani *et al*. 2011). 이러한 뇌심부자극술의 전극의 정확성은 아티팩트와 여러 알고리즘에 관련된 요인에 따라 달라진다. 이번 연구에서는 뇌심부자극술의 CT와 MR 영상에서 시상밑핵과 전극의 묘출 여부를 확인하기 위해 ImageJ 프로그램으로 MR 영상과 CT 영상을 image color의 merge channels 기능을 이용하여 영상을 융합하여 영상에서 정확한 전극이 시상밑핵에 존재 여부의 결과는 red (CT 영상)와 green (MR 영상)의 합성에서 Fig. 5f 같이 전극과 시상밑핵이 정확한 위치의 정보가 모두 묘출되었다. 이러한 융합적인 영상은 전극의 궤적을 직접 비교할 수 있으므로 전극의 거리를 측정할 필요가 없는 장점이 있다. 또한, 수술 후 MRI와 관련된 위험을 피하는 것 외에도 MRI와 비교하여 CT를 빠른 시간에 스캔하여 영상을 획득하여 환자에게 편안함과 함께 잠재적인 움직임의 아티팩트를 줄이는 데 효과적으로 적용할 수 있다.

검사실 내에 설치된 워크스테이션 및 3D 영상 프로그램을 이용하는 방법을 임상에서 적용하여 응용하고 있지만 이러한 ImageJ의 영상 융합기능을 이용하여 뇌심부자극술에서의 전극의 위치를 식별하고 확인하는 데 본 연구의 결과를 응용할 수 있다. 이러한 영상의 융합에 대한 기존 연구에서는 CT와 MR 영상의 융합의 차이는 통계적으로 유의하지 않다고 보고하였다(Yoshida *et al*. 2008). 향후 수술 후의 전극의 위치에 대한 정보의 경과를 확인하는 데에도 적용할 수 있다(Lee *et al*. 2010).

연구결과의 활용은 뇌질환 환자에서 뇌심부자극술을 시행한 CT 영상과 MR 영상의 정보를 임상에서 적용할 수 있고 진단 및 치료에 응용할 수 있는 연구결과가 기대된다.

연구의 제한점은 첫째, 다양한 및 3D 영상 기법 및 MPR (multiplanar reformation)를 적용하여 정확한 전극의 위치를 확인하는 추가적인 연구가 필요하다. 둘째는 CT와 MR 영상에서 x축, y축, z축의 차이를 측정하여 통계적으로 유의성을 검정할 필요가 있다. 셋째 MR 영상의 획득을 다양한 펄스 시퀀스를 이용하여 영상을 획득하여 CT와 MR 영상의 융합 영상에 대한 정량화의 연구가 필요하고, 마지막으로 다양한 환자를 대상으로 임상에서 획득한 영상으로 추가적인 연구의 필요성이 있다.

결 론

프로그램을 이용한 MR 및 CT 영상의 융합은 뇌심부자극술 환자에서 전극의 위치를 확인하는 데 안전하고 실용적으로 응용할 수 있는 기술이며 정확도를 제공한다. 이러한 CT와 MR의 융합 정보의 영상을 임상에서 적용할 수 있다.

사 사

본 연구는 2019학년도 원광보건대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

Barnaure I, Pollak P, Momjian S, Horvath J, Lovblad KO, Boëx C, Remuinan J, Burkhard P and Vargas MI. 2015. Evaluation of electrode position in deep brain stimulation by image fusion (MRI and CT). *Neuroradiology* **57**(9):903-908.

Caire F, Gantois C, Torny F, Ranoux D. Maubon A and Moreau JJ. 2010. Intraoperative use of the Medtronic O-arm for deep brain stimulation procedures. *Stereotact. Funct. Neurosurg*. **88**(2):109-114.

Cui Z, Pan L, Song H, Xu X, Xu B, Yu X and Ling Z. 2016. Intraoperative MRI for optimizing electrode placement for deep brain stimulation of the subthalamic nucleus in Parkinson disease. *J. Neurosurg*. **124**:62-69.

Cuny E, Guehl D, Burbaud P, Gross C, Dousset V and Rougier A. 2002. Lack of agreement between direct magnetic resonance imaging and statistical determination of a subthalamic target: the role of electrophysiological guidance. *J. Neurosurg*. **97**(3):591-597.

Engelhardt J, Guehl D, Damon-Perrière N, Branchard O, Burbaud P and Cuny E. 2018. Localization of deep brain stimulation electrode by image registration is software dependent: a comparative study between four widely used software programs. *Stereotact. Funct. Neurosurg*. **96**(6):364-369.

Ferroli P, Franzini A, Marras C, Maccagnano E, D'Incerti L and Broggi G. 2004. A simple method to assess accuracy of deep brain stimulation electrode placement: pre-operative stereotactic CT+postoperative MR image fusion. *Stereotact. Funct. Neurosurg*. **82**(1):14-19.

Fiegele T, Feuchtner G, Sohm F, Bauer R, Anto JV, Gotwald T, Twerdy K and Einser W. 2008. Accuracy of stereotactic electrode placement in deep brain stimulation by intraoperative computed tomography. *Parkinsonism Relat. Disord*. **14**(8):595-599.

Hamid H, Mitchell R, Mocroft P, Milner J and Pall H. 2005. Targeting the subthalamic nucleus for deep brain stimulation: technical approach and fusion of pre- and postoperative MR images to define accuracy of lead placement. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **76**(3):409-414.

Huston OO, Watson RE, Bernstein MA, McGee KP, Stead SM, Gorman DA, Lee KH and Huston J. 2011. Intraoperative

magnetic resonance imaging findings during deep brain stimulation surgery. *J. Neurosurg.* **115**(4):852-857.

Kim YI, Ahn KJ, Chung YA and Kim BS. 2009. A new reference line for the brain CT: the tuberculum sellae-occipital protuberance line is parallel to the anterior/posterior commissure line. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* **30**(9):1704-1708.

Kremer NI, Oterdoom DLM, van Laar PJ, Piña-Fuentes D, van Laar T, Drost G, van Hulzen ALJ and van Dijk JM. 2019. Accuracy of intraoperative computed tomography in deep brain stimulation-a prospective noninferiority study. *Neuromodulation*. In press.

Lee JY, Jeon BS, Paek SH, Lim YH, Kim MR and Kim C. 2010. Reprogramming guided by the fused images of MRI and CT in subthalamic nucleus stimulation in Parkinson disease. *Clin. Neurol. Neurosurg.* **112**(1):47-53.

Papavassiliou E, Rau G, Heath S, Abosch A, Barbaro NM, Larson PS, Lamborn K and Starr PA. 2004. Thalamic deep brain stimulation for essential tremor: relation of lead location to outcome. *Neurosurgery* **54**(5):1120-1130.

Perlmutter JS and Mink JW. 2006. Deep brain stimulation. *Annu. Rev. Neurosci.* **29**:229-257.

Pinsker MO, Herzog J, Falk D, Volkmann J, Deuschl G and Mehdorn M. 2008. Accuracy and distortion of deep brain stimulation electrodes on postoperative MRI and CT. *Zentralbl. Neurochir.* **69**(3):144-147.

Saleh C, Dooms G, Berthold C and Hertel F. 2016. Post-operative imaging in deep brain stimulation: A controversial issue. *Neuroradiol. J.* **29**(4):244-249.

Shahlaie K, Larson PS and Starr PA. 2011. Intraoperative computed tomography for deep brain stimulation surgery: Technique and accuracy assessment. *Neurosurgery* **68**:S114-S124.

Shin M, Lefaucheur JP, Penholate MF, Brugires P, Gurruchaga JM and Nguyen JP. 2007. Subthalamic nucleus stimulation in Parkinson's disease: postoperative CT-MRI fusion images confirm accuracy of electrode placement using intraoperative multiunit recording. *Neurophysiol. Clin.* **37**(6):457-466.

Slavin KV, Thulborn KR, Wess C and Nersesyan H. 2006. Direct visualization of the human subthalamic nucleus with 3T MR imaging. *Am. J. Neuroradiol.* **27**:80-84.

Smith AP and Bakay RA. 2011. Frameless deep brain stimulation using intraoperative O-arm technology. Clinical article. *J. Neurosurg.* **115**(2):301-309.

Sumanaweera TS, Adler JR Jr, Napel S and Glover GH. 1994. Characterization of spatial distortion in magnetic resonance imaging and its implications for stereotactic surgery. *Neurosurgery* **35**(4):696-703.

Thani NB, Bala A, Swann GB and Lind CR. 2011. Accuracy of postoperative computed tomography and magnetic resonance image fusion for assessing deep brain stimulation electrodes. *Neurosurgery* **69**(1):207-214.

Verhagen Metman L, Pilitsis JG, Stebbins GT, Bot M and Bakay RA. 2012. Intraoperative x-ray to measure distance between DBS leads: a reliability study. *Mov. Disord.* **27**(8):1056-1059.

Walter U, Kirsch M, Wittstock M, Müller JU, Benecke R and Wolters A. 2011. Transcranial sonographic localization of deep brain stimulation electrodes is safe, reliable and predicts clinical outcome. *Ultrasound Med. Biol.* **37**(9):1382-1391.

Weise L, Eibach S, Seifert V and Setzer M. 2012. Intraoperative 3D fluoroscopy in stereotactic surgery. *Acta. Neurochi.* **154**(5):815-821.

Yeon KJ, Chang YA, Lee SK and Lee TS. 2017. Evaluation of clinical usefulness of radio-frequency power limitation in brain MRI of patients with deep brain stimulation. *J. Radiat. Indt.* **11**(3):139-144.

Yoshida F, Miyagi Y, Morioka T, Hashiguchi K, Murakami N, Matsumoto K, Nagata S and Sasaki T. 2008. Assessment of contact location in subthalamic stimulation for Parkinson's disease by coregistration of computed tomography images. *Stereotact. Funct. Neurosurg.* **86**(3):162-166.

Received: 24 May 2019
Revised: 12 June 2019
Revision accepted: 21 June 2019