

Investigation of Leksell GammaPlan's ability for target localizations in Gamma Knife Subthalamotomy

Beong Ik Hur

Department of Neurosurgery, Pusan National University Hospital

Received: October 22, 2019. Revised: December 15, 2019. Accepted: December 31, 2019

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the ability of target localizations of Leksell GammaPlan(LGP) in Gamma Knife Subthalamotomy(or Pallidotomy, Thalamotomy) of functional diseases. To evaluate the accuracy of LGP's location settings, the difference Δr of the target coordinates calculated by LGP (or LSP) and author's algorithm was reviewed for 10 patients who underwent Deep Brain Stimulation(DBS) surgery. Δr ranged from 0.0244663 mm to 0.107961 mm. The average of Δr was 0.054398 mm. Transformation matrix between stereotactic space and brain atlas space was calculated using PseudoInverse or Singular Value Decomposition of Mathematica to determine the positional relationship between two coordinate systems. Despite the precise frame positioning, the misalignment of yaw from -3.44739 degree to 1.82243 degree, pitch from -4.57212 degree to 0.692063 degree, and rolls from -6.38239 degree to 7.21426 degree appeared. In conclusion, a simple in-house algorithm was used to test the accuracy for location settings of LGP(or LSP) in Gamma Knife platform and the possibility for Gamma Knife Subthalamotomy. The functional diseases can be treated with Gamma Knife Radiosurgery with safety and efficacy. In the future, the proposed algorithm for target localizations' QA will be a great contributor to movement disorders' treatment of several Gamma Knife Centers.

Keyword : Gamma Knife Subthalamotomy, Leksell GammaPlan(LGP), Leksell SurgiPlan(LSP), PseudoInverse.

I. INTRODUCTION

기능적 정위수술(functional stereotactic surgery)은 뇌의 특정 부위를 고주파를 이용한 열 또는 고선량의 방사선을 조사하여 파괴하거나 뇌심부에 전극을 삽입하여 일정 이상의 고주파로 자극함으로써 손상된 신체 기능의 회복을 기대할 수 있는 기능적 수술과 정위기구를 사용하여 뇌 병변에 안전하고 정밀하게 쉽게 접근하는 정위수술이 결합된 수술이다. 운동이상 질환의 치료에 기능적 정위수술이 적용되고 있는데, 운동이상 질환 기능적 신경외과 분야는 의학적으로 난치성 운동이상의 치료에 뇌심부 자극술(Deep Brain Stimulation: DBS)의 발흥으로 지난 수년간 르네상스를 경험하고 있다. 베나비

드(Benabid)가 1987년에 DBS를 소개하기 이전에는 만성적 떨림이 두드러진 파킨슨병(Parkinson's Disease: PD), 진전(Essential Tremor: ET)의 주 치료 방법은 시상부(thalamus)의 복상중합핵(ventral intermediate(VIM) nucleus)의 고주파 파괴술(radiofrequency(RF) lesioning)이었다.^[1] 현재 운동이상 질환에 대한 기능적 정위수술로 대표되는 뇌심부 자극술은 주로 파킨슨병, 진전, 근육긴장이상(dystonia) 질환에 집중하고 있다. 대표적인 기능적 수술의 표적은 파킨슨병에 대해서는 시상하핵(subthalamic nucleus: STN) 또는 담창구(globus pallidus internus: GPi), 근육긴장이상에 대해서는 담창구, 진전에 대해서는 시상부의 복상중합핵이다. 기능적 정위수술의 표적들은 육안으로 확인이 쉽지 않아 알려진 해부학적 뇌 지도를 활용하고 있다. 1959년 Schaltenbrand와 Bail

ey가 전교련(anterior commissure: AC)과 후교련(posterior commissure: PC)을 기준으로 제작한 뇌지도가 가장 널리 이용되고 있다. Schaltenbrand와 Bailey의 뇌지도는 시상면에서 전교련과 후교련을 연결한 선과 이 선의 중앙점의 연장선을 기준으로 한 뇌지도로서 파킨슨병과 진전 등의 운동이상 환자에서 활용되는 시상부, 시상하핵 또는 담창구의 위치 좌표는 오랜 연구를 통해 확인되었으며, 기준점으로 전교련, 후교련, 정중선 기준점(midline reference: MR), 몬로공(foramen of Monro) 등을 이용하여 정확하게 된다.^[2] 감마나이프 방사선수술의 대부분은 비기능적 수술이지만 제한적으로 기능성 질환에 대하여 감마나이프를 활용한 운동이상 질환 치료가 이루어지고 있다. 이를 감마나이프 시상파괴술(thalamotomy), 시상하핵파괴술(subthalamotomy), 담창구 파괴술(pallidotomy)이라 부른다. 그동안의 감마나이프 파괴술은 표적을 시상부의 복상중합핵으로 하는 시상파괴술에 집중되어왔다.^[3-5] 감마나이프 파괴술의 표적은 뇌심부 자극술과 동일하며 적절한 최대 처방선량(maximal prescription dose)은 120~160 Gy 범위에서 추천된다. 수술 영상 정보에만 의존하여야 함으로 표적의 명확한 확인이 불가능하고, 표적의 위치를 정확히 결정하는 점이 큰 숙제가 아닐 수 없다. 그래서 뇌심부 자극술 및 감마나이프 파괴술을 시행 시 귀 플리그를 갖춘 렉셀 G 정위틀을 좌우대칭, 전후교련선(AC-PC line)에 맞추어 두개골에 정확히 장착하는게 매우 중요하다. 정위틀에 기반한 영상에서 육안 구분이 힘든 표적 위치의 결정은 정밀한 기능적 정위수술의 성공여부가 달려있다. 정확한 정위틀의 장착이 현실적으로 힘들고 영상으로부터 직접적인 위치측정의 부정확성이 존재해서 통상 오랜 연구 기반 하의 Schaltenbrand와 Bailey 뇌지도의 전교련, 후교련, 정중선 기준점을 바탕으로 하는 기준 좌표계에 기반하여 간접적으로 표적의 위치 좌표를 설정한다. 본 연구는 Table 1에 보인 바와 같이 전체 감마나이프 방사선수술의 5%에 불과한 기능성 질환 감마나이프 파괴술의 정밀도에 대한 정도 관리(Quality Assurance: QA) 차원에서 본원에서 2010년부터 2019년 까지 뇌심부 자극술로 시상하핵, 담창구와 시상부에 표적 설정하여 치료받은 10명의 환자를 대상으로 치료계획시

스템 렉셀 감마플랜(Leksell GammaPlan: LGP)의 표적 위치측정 기능 정확성을 확인하기 위하여 저자의 알고리즘으로 계산한 표적 좌표와 렉셀 감마플랜(또는 렉셀 써지플랜)이 제시한 표적 좌표를 비교 분석하였다.

Table 1. Summary of DBS in PNUH

Patient	Disease	Target	Unilateral or Bilateral treatment
1	PD	STN	Bilateral
2	PD	STN	Bilateral
3	PD	STN	Bilateral
4	PD	STN	Bilateral
5	PD	STN	Bilateral
6	PD	STN	Bilateral
7	PD	STN	Bilateral
8	Dystonia	GPi	Bilateral
9	Neuroacanthocytosis	GPi	Bilateral
10	ET	VIM	Unilateral

II. MATERIAL AND METHOD

운동이상 질환에 대한 뇌심부 자극술 및 감마나이프 파괴술의 정밀한 표적 위치 결정은 치료계획 시스템 렉셀 써지플랜(Leksell SurgiPlan: LSP)과 렉셀 감마플랜의 기본적인 치료계획용 도구들 즉 전후교련선의 정의 Fig. 1과 기능적 표적 공식(Functional Target Formulas) Fig. 2, Fig. 3과 같은 기능을 이용하여 오랜 연구를 통해 알려진 운동이상 질환에 대한 표적 위치를 해부학적 기준점들 전교련, 후교련, 정중선 기준점(MR)에 기초한 좌표계를 이용해서 구한다.

1. 렉셀 감마플랜(또는 렉셀 써지플랜)의 표적 좌표의 결정

Fig. 1과 같이 전후교련선을 설정하기 위해서 전교련점 AC와 후교련점 PC를 축상영상(MRI axial image)에서 지정하고, 정중선 기준점 MR을 관상영상과 축상영상에서 지정한다.

전후교련선의 정의를 바탕으로 기능적 질환의 표적 위치를 Fig. 2와 기능적 표적 공식 Fig. 3의 도

구를 이용하여 해당 기능성 질환을 야기하는 위치를 설정하여 구한다. 진전의 경우 예를 들면 통상 표적 위치는 후교련점에서 앞으로 6~8 mm 또는 후교련에서 전후교련선의 25 %, 측면으로 11~13 mm, 전후교련선 위로 2~4 mm 이다. 고려중인 모든 좌표들은 정위틀 기준계에서의 위치들 $X_S=(x',y',z')$ 이다.

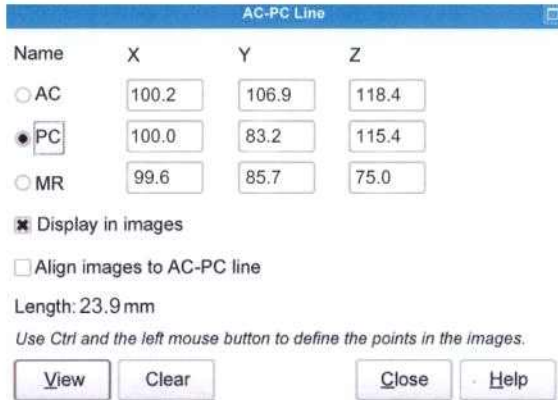


Fig. 1. AC-PC Line.

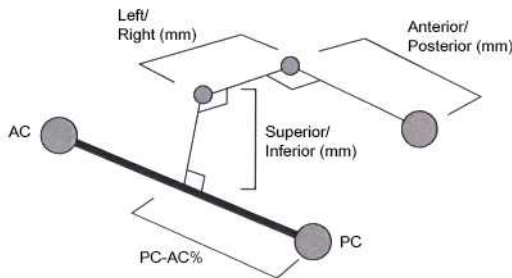


Fig. 2. Functional target localization.

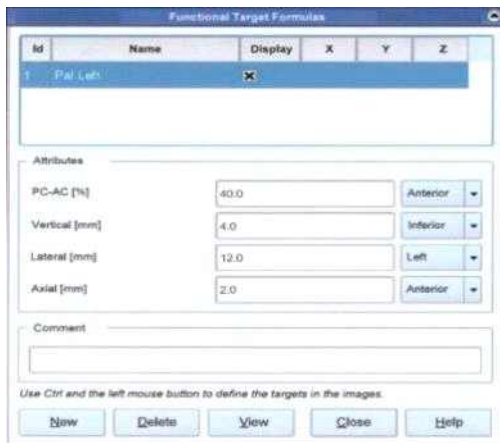


Fig. 3. Functional Target Formulas.

2. 표적 결정을 위한 저자의 알고리즘.

뇌지도 좌표계의 설정을 위해서 정위틀 좌표계에 대한 전교련점, 후교련점 및 정중선 기준점 벡터를 \overrightarrow{AC} , \overrightarrow{PC} , \overrightarrow{MR} 이라 두면 후교련점에 대한 전교련점과 정중선 기준점의 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{PA} &= \overrightarrow{AC} - \overrightarrow{PC}, \\ \overrightarrow{PM} &= \overrightarrow{MR} - \overrightarrow{PC} \end{aligned} \quad (1)$$

전후교련선의 중점을 뇌지도 좌표계의 원점으로 잡고, 후교련점에서 전교련점 방향의 단위벡터 \vec{v} 는 아래 식과 같이 정하고, 세 기준점들 전교련점, 후교련점 및 정중선 기준점들로 이루어진 면에 수직인 방향의 단위벡터 \vec{u} 는 \overrightarrow{PM} 과 \vec{v} 로부터 정의한다. 그리고 제 3의 단위벡터 \vec{w} 는 \vec{u} , \vec{v} 벡터곱으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \frac{\overrightarrow{PA}}{\text{Norm}[\overrightarrow{PA}]}, \\ \vec{u} &= \frac{\overrightarrow{PM} \times \vec{v}}{\text{Norm}[\overrightarrow{PM} \times \vec{v}]}, \\ \vec{w} &= \vec{u} \times \vec{v} \end{aligned} \quad (2)$$

새로이 설정된 뇌지도 좌표계($\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$)에 대한 표적 위치좌표를 설정하면 정위틀에서의 표적 좌표 \overrightarrow{TA} 는 다음식과 같이 주어진다.

$$\overrightarrow{TA} = \overrightarrow{PC} + s \cdot \overrightarrow{PA} + p \cdot \vec{u} + q \cdot \vec{v} + r \cdot \vec{w} \quad (3)$$

위 (3)식에서 s 는 기능적 표적 공식에서 PC-AC[%] 값에 1/100을 곱한 값이고, p , q , r 은 Lateral[mm], Axial[mm], Vertical[mm]에 지정한 값이다. 뇌심부 자극술과 감마나이프 파괴술의 첫 단계인 정위틀 장착의 정렬(alignment)의 정도는 정위틀에 기반한 좌표계 $X_S=(x',y',z')$ 와 해부학적 뇌

지도에 전후교련선, 정중선 기준점들에 기초한 좌표계 즉 뇌지도 좌표계 $X_A = (x, y, z)$ 의 위치 관계 $X_S = R \cdot X_A + T$ 를 통해 확인 가능하고, 다음과 같이 위치 관계가 주어진다.

$$X_S = R(\alpha, \beta, \gamma) \cdot X_A + T$$

$$= R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) \cdot X_A + T$$

$$R_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$R_x(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}$$

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\alpha \cdot \cos\beta \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma - \sin\alpha \cdot \cos\gamma \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\gamma \\ \sin\alpha \cdot \cos\beta \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma + \cos\alpha \cdot \cos\gamma \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma - \cos\alpha \cdot \sin\gamma \\ -\sin\beta & \cos\beta \cdot \sin\gamma & \cos\beta \cdot \cos\gamma \end{pmatrix} \quad (5)$$

두 좌표계의 좌표변환 행렬 R, T 를 구하기 위해서 두 좌표계에서의 네 해부학적 랜드마크들 전후교련점과 표적 좌표들 X_S, X_A 를 이용하였고, 두 좌표계에서의 임의의 점은 구한 R, T 를 통합한 동차좌표(homogeneous coordinate)로 표현된 4x4 행렬 관계로 부터 아래와 같이 구할 수 있다. 본원에서 DBS로 치료한 환자 1에 대한 정위를 좌표계와 뇌지도 좌표계의 위치 관계를 예를 들면 아래 (6)식과 같이 구해진다. Fig. 4에 보인 바와 같이 각축에 대한 회전은 (7)식을 이용해서 구하면 $\alpha = -0.23873, \beta = 0.47967, \gamma = 7.21426$ 이고 병진은 $t_1 = 100.1, t_2 = 95.05, t_3 = 116.9$ 로 주어진다.

α, β, γ 는 요(yaw), 피치(pitch), 롤(roll)에 해당하는 각이며 아래 (7)식과 같이 주어진다.

동일한 방법으로 나머지 환자들에 대한 위치 관계의 회전 부분 α, β, γ 를 구하면 Table 2와 같이 주어지고, 병진 부분 $T = (t_1, t_2, t_3)$ 는 계산 결과 전후교련선의 중점 좌표로 주어짐을 알 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c & t_1 \\ d & e & f & t_2 \\ g & h & i & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & z_3 & 0 & 0 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & z_2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & z_3 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & z_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & z_4 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \\ i \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1' \\ y_1' \\ x_2' \\ x_2' \\ y_2' \\ z_2' \\ x_3' \\ x_3' \\ y_3' \\ z_3' \\ x_4' \\ y_4' \\ z_4' \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$a = 1, b = 0.00833333, c = 0.00416667, t_1 = 100.1,$$

$$d = -0.00416667, e = 0.9875, f = -0.13125, t_2 = 95.05,$$

$$g = -0.00833333, h = 0.125, i = 0.9875, t_3 = 116.9,$$

$$T_H^H = \begin{pmatrix} 1 & 0.00833333 & 0.00416667 & 100.1 \\ -0.00416667 & 0.9875 & -0.13125 & 95.05 \\ -0.00833333 & 0.125 & 0.9875 & 116.9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(d/a),$$

$$\beta = \tan^{-1}(-g/\sqrt{h^2 + i^2}),$$

$$\gamma = \tan^{-1}(h/i) \quad (7)$$

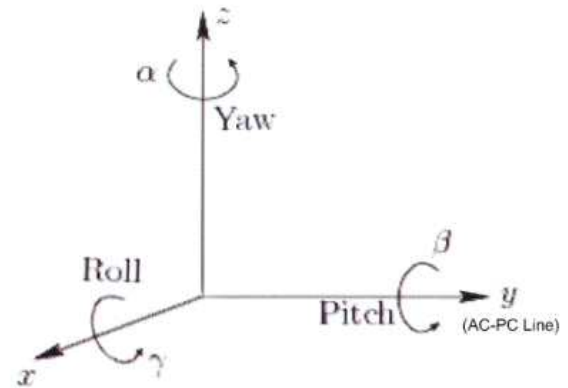


Fig. 4. Any 3-D rotation expressed as a sequence of yaw, pitch, and roll rotations.

III. RESULTS

Table 2. Summary for the rotational misalignments between two coordinate systems in DBS patients

Patient	yaw(α)	pitch(β)	roll(γ)
1	-0.23873	0.47967	7.21426
2	-0.71616	-1.92637	-6.38239
3	1.43809	-0.72236	-0.66685
4	0.71616	-0.71899	-11.4287
5	0	-0.99476	-4.45894
6	1.82243	0.520856	0
7	-3.44739	-4.57212	-2.28139
8	-2.10037	0.692063	3.36858
9	-2.72631	-0.13686	0.769886
10	0.957394	-3.22528	-6.04692

본원에서 2010년부터 2019년 까지 뇌심부 자극술 치료를 받은 10명의 환자에 대하여 감마나이프 파괴술의 수술적 접근 가능성을 보기 위해 렉셀 감마플랜에 내재된 기능성 질환의 표적 위치측정 기능의 정확성을 저자의 알고리즘과 비교 분석하였다. Table 3에 나타낸 결과와 같이 렉셀 감마플랜 (또는 렉셀 씨지플랜)과 저자의 알고리즘으로 계산한 표적 좌표들의 차이 Δr 는 0.0244663 mm에서 0.107961 mm까지 범위의 값을 가졌다. Δr 의 평균 값은 0.054398 mm이었다. 정교한 정위를 장착에도 불구하고 요(yaw)는 -3.44739 도에서 1.82243 도, 피치(pitch)는 -4.57212 도에서 0.692063 도, 롤(roll)은 -6.38239 도에서 7.21426 도 까지의 정렬 불량 (misalignment)이 나타났다.

Table 3. Comparison of target localizations using author's algorithm and LGP(or LSP)

Patient	Target coordinates calculated from author's algorithm	Target coordinates calculated from LGP(or LSP)	Difference(mm): $\Delta r = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2 + (z_i - z'_i)^2}$
1	Rt: (88.1217,92.6488,120.741)	Rt: (88.1,92.6,120.7)	0.06733
	Lt: (112.12,92.4777,120.493)	Lt: (112.1,92.5,120.5)	0.0307618
2	Rt: (89.1114,92.632,110.454)	Rt: (89.1,92.6,110.4)	0.0637962
	Lt: (113.097,92.3083,111.232)	Lt: (113.1,92.3,111.2)	0.0331947
3	Rt: (87.3892,90.9217,95.4477)	Rt: (87.4,90.9,95.4)	0.0535053
	Lt: (111.379,91.5707,95.7204)	Lt: (111.3,91.5,95.7)	0.107961
4	Rt: (88.5681,93.6467,102.037)	Rt: (88.6,93.6,102.0)	0.0675833
	Lt: (112.565,93.914,102.295)	Lt: (112.6,93.9,102.3)	0.0380263
5	Rt: (91.3646,91.7488,107.262)	Rt: (91.4,91.7,107.3)	0.0712643
	Lt: (114.36,91.6902,107.725)	Lt: (114.4,91.7,107.7)	0.0481772
6	Rt: (89.9042,97.4747,101.579)	Rt: (89.9,97.5,101.6)	0.0331471
	Lt: (111.891,98.2296,101.421)	Lt: (111.9,98.2,101.4)	0.037392
7	Rt: (86.6191,104.342,104.005)	Rt: (86.6,104.4,104.0)	0.0612683
	Lt: (111.499,102.873,105.966)	Lt: (111.5,102.9,106.0)	0.0434281
8	Rt: (79.1886,96.7208,106.894)	Rt: (79.2,96.7,106.9)	0.0244663
	Lt: (120.156,95.1921,106.328)	Lt: (120.1,95.2,106.4)	0.0915555
9	Rt: (76.3114,95.5765,105.708)	Rt: (76.3,95.6,105.7)	0.0273168
	Lt: (118.261,93.515,105.818)	Lt: (118.3,93.6,105.8)	0.0952365
10	Lt: (117.615,94.0667,104.789)	Lt: (117.6,94.1,104.8)	0.038143

IV. DISCUSSION

지금까지 제한된 환자에 대한 종래의 뇌심부 자극술의 대체 수술로써의 감마나이프 파괴술은 4 mm 시준기(collimator)를 이용하여 시상부의 복상중합핵에 표적 위치로 하여 최대 처방선량 130~140 Gy를 조사하는 시상파괴술에 집중되어 왔다. 기능성 질환 파킨슨병에 대한 오랜 연구와 의료 장비와 영상 시스템 MRI의 기술 향상으로 좀 더 정교한 표적 위치측정이 가능해졌으나 한정된 극소수의 임상 경험이 뇌심부 자극술의 대체 치료로서의 감마나이프 시상하핵파괴술의 잠재성을 아직 분명하게 하지 못하고 있다. 감마나이프 시상파괴술이 항응고요법을 받거나 전신 합병증을 가진 환자 및 고령의 환자와 같이 종래의 수술들 즉 고주파 파괴술과 뇌심부 자극술에 대해 고위험을 지닌 환자에 대해 안전하고 효과적인 대안 치료법인 거와 마찬가지로 임상 경험 결과들이 거의 없는 감마나이프 시상하핵파괴술도 신경과 전문의와 운동이상 질환 팀과의 협력 하에 충분한 임상 경험이 확대되기를 기대한다.

V. CONCLUSION

Table 2에 보인 바와 같이 정위틀 좌표계와 뇌지도 좌표계 사이의 정렬 불량에도 불구하고 저자가 제안한 알고리즘을 사용해서 감마나이프 플랫폼에서 렉셀 감마플랜(또는 렉셀 써지플랜)의 위치 설정에 대한 정확도를 직접 확인하여 치료계획 시스템에 대한 신뢰성을 확보하였다. 그래서 향후 기능성 질환의 표적 위치측정을 위한 저자의 알고리즘은 여러 감마나이프 센터의 운동이상 질환 치료에 기여할 것이라 사료된다.

Reference

[1] A. L. Benabid, J. P. Chirossel, C. Mercier, A. Louveau, J. G. Passagia, S. Henry, J. de Rougemont, C. Vrousos, "Removable, adjustable and reusable implants for stereotactic interstitial radiosurgery of brain tumors," *Applied neurophysiology*, Vol. 50, pp. 278-280, 1987.

[2] G. Schaltenbrand, P. Bailey, "Introduction to Stereotaxis with an atlas of the human brain, Thieme, Stuttgart," 1959.

[3] C. Ohye, T. Shibasaki, S. Sato, "Gamma Knife thalamotomy for movement disorders: evaluation of the thalamic lesion and clinical results," *Journal of Neurosurgery*, Vol. 102, pp. 234-240, 2005.

[4] L. V. Laitinen, A. T. Bergenheim, M. I. Hariz, "Leksell's posteroventral pallidotomy in the treatment of Parkinson's disease," *Journal of Neurosurgery*, Vol. 76, pp. 53-61, 1992.

[5] M. F. Keep, L. Mastrofrancesco, D. Erdman, B. Murphy, L. S. Ashby, "Gamma Knife subthalamotomy for Parkinson disease: the subthalamic nucleus as a new radiosurgical target. Case report," *Journal of Neurosurgery*, Vol. 97, No. 5, pp. 592-599, 2002.

감마나이프 시상하핵파괴술에서 목표물 위치측정을 위한 렉셀 감마플랜 능력의 조사

허병익

부산대학교병원 신경외과

요 약

이 연구의 목적은 기능성 질환의 감마나이프 시상하핵파괴술(또는 담창구파괴술, 시상파괴술)에서 렉셀 감마플랜의 표적 위치측정의 능력을 평가하는 것이다. 렉셀 감마플랜의 위치 설정의 정확성을 평가하기 위해 본원에서 뇌심부 자극술 수술을 받은 10명의 환자에 대해 렉셀 감마플랜(또는 렉셀 씨지플랜)과 저자의 알고리즘에 의해 계산된 표적 좌표들의 차이 Δr 가 평가 되었다. Δr 는 0.0244663 mm에서 0.107961 mm까지 범위의 값을 가졌다. Δr 의 평균은 0.054398 mm이었다. 또한 정위 공간과 뇌지도 공간 두 좌표계 사이의 위치 관계를 결정하기 위하여 좌표변환 행렬을 매스매티카(Mathematica)의 의사역행렬 또는 특이값 분해를 사용하여 계산하였다. 정교한 정위틀 장착에도 불구하고 요(yaw)는 -3.44739 도에서 1.82243 도, 피치(pitch)는 -4.57212 도에서 0.692063 도, 롤(roll)은 -6.38239 도에서 7.21426 도까지의 정렬 불량(misalignment)이 나타났다. 결론적으로, 사내 알고리즘을 사용하여 감마나이프 플랫폼에서 렉셀 감마플랜(또는 렉셀 씨지플랜)의 위치 설정에 대한 정확도를 확인함으로써 뇌심부 자극술에 금기 사항이 있는 개인이나 노인과 같이 종래 수술에 고위험으로 간주되는 환자에 대한 난치성 운동이상 질환의 대체 치료법으로 안전과 효능을 가진 감마나이프 시상하핵파괴술(또는 담창구파괴술, 시상파괴술)이 추천된다. 향후 기능성 질환의 표적 위치측정을 위해 제안된 알고리즘은 여러 감마나이프 센터의 운동이상 질환 치료에 기여할 것이라 사료된다.

중심단어: 감마나이프 시상하핵파괴술, 렉셀 감마플랜, 렉셀 씨지플랜, 의사역행렬

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	허병익	부산대학교병원 신경외과	교수