



A Study of Skull Base According to Gera Classification in a Korean Population

Sang-Jun Son^{id}, Hyung-Bon Koo, and Jae-Hoon Lee^{id}

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Wonkwang University School of Medicine, Iksan, Korea

한국인에서 Gera 분류에 따른 뇌 기저부에 관한 연구

손상준 · 구형본 · 이재훈

원광대학교 의과대학 이비인후과학교실

Received March 9, 2023

Revised April 16, 2023

Accepted May 10, 2023

Address for correspondence

Jae-Hoon Lee, MD
Department of Otolaryngology-
Head and Neck Surgery,
Wonkwang University
School of Medicine,
895 Muwang-ro, Iksan 54538, Korea
Tel +82-63-859-1441
Fax +82-63-841-6556
E-mail Leejaehoon64@gmail.com

Background and Objectives The leakage of cerebrospinal fluid due to damage to the ethmoid roof and cribriform plate (CP) is one of the most serious complications of endoscopic sinus surgery (ESS). For the risk of skull base injury during ESS, the Keros classification has been widely used, but recently the Gera classification has been introduced as a tool for risk assessment. This study evaluated the risk of skull base damage using the Gera classification in Koreans.

Subjects and Method We analyzed 592 left and right sides of 296 paranasal sinus CTs, and measure the angle between the lateral lamella of CP and the lateral extension of the horizontal plane passing through CP, namely the Gera angle. The angles were classified into three categories: the type I ($>80^\circ$, low risk), type II (45° to 80° , medium risk), and type III ($<45^\circ$, high risk).

Results The type III, which is vulnerable to skull base damage, accounted for 11.7% of the study subjects. The Gera angle in females ($64.0^\circ \pm 12.3^\circ$) was greater than that in males ($61.3^\circ \pm 14.0^\circ$), showing a significant gender difference ($p=0.015$). Although there was no difference between the left and the right side of the Gera angle ($p=0.155$), there was a significant difference between the left and the right side in the Gera classification ($p<0.001$). Age and the Gera angle showed a negative correlation ($r=-0.116$, $p=0.005$).

Conclusion The type III of the Gera classification was observed in 11.7% of the total study group. For the type III, extra care is required during ESS.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2024;67(2):87-91

Keywords Cerebrospinal fluid leakage; Gera angle; Gera classification; Sinus surgery; Skull base.

서 론

해부학적 지식뿐만 아니라 수술 기구에 대한 기술적 발전으로 내시경 부비동 수술(endoscopic sinus surgery)의 합병증 발생률이 크게 감소되었다. 사골 지붕(ethmoid roof) 및 사상판(cribriform plate)의 손상에 따른 뇌척수액 유출은 내

시경 부비동 수술의 가장 심각한 합병증 중 하나이다.¹⁾ 수술 중 의인성 뇌척수액 유출은 많은 수술경험을 가진 의사에서도 피할 수 없는 합병증이 될 수 있다. 사상판 측벽(lateral lamella of cribriform plate, LLCP)은 수술 과정에서 중비갑개에 대해 무리한 조작 혹은 골절로 인해 뇌기저부 손상의 가장 빈번한 부위이다.²⁾ 따라서 이 부위의 손상을 간과하고 치료하지 않으면 심각한 신경학적 합병증으로 이어질 수 있다.³⁾

뇌 기저부 손상 가능성에 대해 1962년 Keros⁴⁾는 후각와 (olfactory fossa)의 깊이에 기초하여 분류하였다. 이 분류는

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

CT에서 측정된 후각와의 깊이에 따라 3가지 유형으로 구분하는데 유형 1은 1-3 mm, 유형 2는 4-7 mm, 유형 3은 7 mm 이상이다. Keros 유형 3의 경우 후각와 깊이가 유형 1 혹은 2보다 길어져 LLCP를 구성하는 매우 얇은 뼈가 더 많이 노출되기 때문에 뇌기저부 손상에 보다 더 취약하게 된다. Keros가 제안한 분류는 오늘날에도 내시경 부비동 수술 과정에서 가장 일반적인 뇌기저부 손상의 위험을 추정하는데 사용되고 있다. 그러나 널리 사용되고 있음에도 불구하고, 뇌기저부에 대한 위험을 예측하는 데 이 분류에 대한 한계가 지적되어 왔다.⁵⁻⁷⁾

Gera 등⁸⁾은 LLCP와 사상판을 통과하는 수평면의 측면 연장 사이의 각도(Gera 각도)에 기초한 새로운 분류를 제안하였다. 사골 지붕은 일반적으로 내측에서 외측으로 갈매기 날개가 올라가는 형태이고 내측이 외측에 비해 높이가 낮으며 사골판과 결합한다.⁷⁾ 사골 지붕의 높이는 사상판에 의해 상대적으로 결정되며, 사상판의 수직 길이와 사상판과의 연결되는 각도에 의해 좌우된다. 따라서 뇌기저부의 손상을 예방하기 위해 내시경 부비동 수술 시행 전 부비동 CT에서 뇌기저부의 평가는 매우 중요하다.

현재까지 한국인을 대상으로 Gera 분류에 의한 뇌기저부 평가는 없었다. 따라서 저자들은 최근에 제시된 뇌기저부 평가 분류(Gera 분류) 방법을 통해 한국인을 대상으로 처음 조사 및 평가하였다.

대상 및 방법

연구 대상

2017년 7월부터 2018년 12월까지 본 병원에 비부비동염 증상으로 내원하여 부비동 CT을 했던 18세에서 70세까지 총 296명을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구대상군의 선정에서 부비동 단층촬영을 통한 방사선 계측에 혼돈을 줄 수 있는 심한 다발성 코폴립, 코 수술 기왕력, 과거 안면 골절, 종양성 병변과 낭종성 병변이 있는 경우는 제외하였다. 본 연구는 원광대학교병원 기관심의위원회의 승인(2021-09-007)을 받고 수행되었다.

고해상력 부비동 단층촬영을 통한 분석

296명의 연구 대상군에서 축상면 부비동 단층촬영을 시행하였다. 단층촬영은 Somatom Definition Flash 256-slice CT scanners (Siemens Healthineers, Forchheim, Germany)를 이용하여 1 mm 두께로 축상면을 측정하였으며, 관상면과 시상면은 Wizard Workstation (Siemens Healthineers)을 통해 2 mm 두께로 재구성되었다. 좌, 우측을 포함한 총 592측

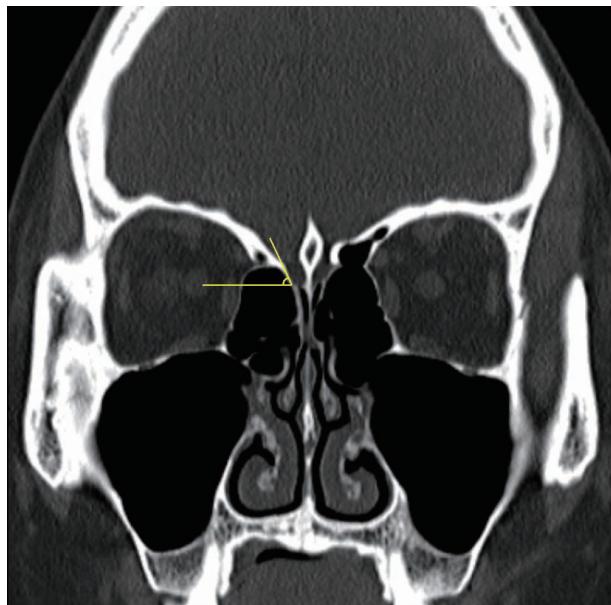


Fig. 1. An angle between lateral lamella of cribriform plate and lateral extension of horizontal plane passing through cribriform plate.

을 분석하였다.

Gera의 측정방법을 참고하여 벗돌기(crista galli)가 가장 잘 관찰되는 관상면에서 LLCP와 사상판을 통과하는 수평면의 측면 연장선 사이의 각도를 측정하였다(Fig. 1).⁸⁾ 측정된 각도는 손상 위험도에 따라 타입 I ($>80^\circ$, 저위험도), 타입 II ($45^\circ\text{--}80^\circ$, 중간 위험도) 그리고 타입 III ($<45^\circ$, 고위험도)의 3가지로 분류되었다. 측정된 결과를 통해 좌, 우측(편측)간, 남녀 간 Gera 각도를 비교하였으며, 연령과 Gera 각도와의 상관성을 평가하였다. 성별, 연령, 좌, 우측(편측)이 Gera 각도에 미치는 영향을 분석하였다.

통계 분석

통계학적 분석은 SPSS version 24.0 program (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 좌, 우측과 성별에 따른 Gera 각도는 평균±표준편차로 나타내고, 평균비교는 student's t검정을 사용하였다. 좌, 우측의 Gera 분류에 따른 빈도 비교는 카이 제곱 검정을 사용하였고, 연령과 Gera 각도와의 상관성을 Pearson 상관계수로 평가하였다. 독립변수인 성별, 연령, 좌, 우측 중 어느 편측(laterality)이 종속변수인 Gera 각도에 미치는 영향을 분석하기 위해 다중선행회귀분석을 사용하였다. 독립변수의 투입방식은 동시 입력법(enter method)을 사용하였다. 통계학적 유의성은 p 값이 0.05 미만인 경우에 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

결 과

연구 대상군 특성

총 296명중 남자는 160명, 여자는 136명으로, 남자는 45.6 ± 15.6 세, 여자는 47.2 ± 16.8 세로 성별 간의 유의한 차이는 없었다($p=0.521$). 남자에서 평균 Gera 각도는 61.3 ± 14.0 °, 여자에서는 64.0 ± 12.3 °로 여자에서 보다 더 컸으며 성별 간의 유의한 차이를 보였다($p=0.015$). 우측의 평균 Gera 각도는 61.8 ± 13.4 °, 좌측은 63.3 ± 13.1 °로 양측간의 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.155$) (Table 1).

Table 1. Demographics of the study group

Characteristic	Value
Sex	
Male	160 (54.1)
Female	136 (45.9)
Age, years	
Male	45.6 ± 15.6
Female	47.2 ± 16.8
Gera angle (°)	
Male	61.3 ± 14.0
Female	64.0 ± 12.3
Gera angle (°)	
Right	61.8 ± 13.4
Left	63.3 ± 13.1

Data are presented as n (%) or mean \pm standard deviation

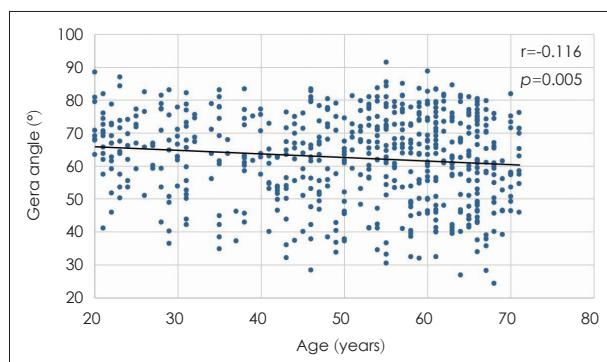


Fig. 2. Correlation between the Gera angle and age.

Gera 분류

우측에서 type I은 26측(8.8%), II는 233측(78.7%), 그리고 III는 37측(12.5%), 좌측에서 type I은 16측(5.4%), II는 248측(83.8%), 그리고 III는 32측(10.8%)으로 좌우 간에 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 양측을 합한 빈도는 type I이 42측(7.0%), II는 481측(81.3%), 그리고 III는 69측(11.7%)이었다.

연령과 Gera 각도와의 상관성

연령과 Gera 각도는 음적인 상관관계를 보였다($r=-0.116$, $p=0.005$) (Fig. 2).

Gera 각도에 대한 다중선행회귀분석

분석 결과, 성별과 연령이 Gera 각도에 독립적으로 유의한 영향이 있었으며($p=0.012$, $p=0.004$), 좌, 우측 중 어느 편측이 Gera 각도에 유의한 영향은 없었다($p=0.150$) (Table 2). 여성과 나이가 적을수록 독립적으로 Gera 각도가 증가하였다. 그러나 Gera 각도는 성별과 연령의 변동에 의해 2.2% 정도의 설명력으로 미미하였다.

고 칠

사상판은 중앙에 수직 돌출부인 벗돌기와 측면 가장자리에는 두 개의 작은 수직 돌출부인 LLCP로 구성된다.⁷⁾ 사골지붕은 전두골의 안와판의 연장선인 사골와(fovea ethmoidalis)에 의해 형성된다. 사골지붕은 LLCP의 얇은 뼈와 내측으로 연결되어 있으며, 그 위로 둠처럼 솟아 있다. 내시경부비동 수술 중 사골지붕의 해부학적 관계와 그에 따른 변이를 이해하는 것은 내시경 부비동 수술로 인한 두개 내 합병증을 피하는 데 중요하다.

내시경 부비동 수술 후 의인성 뇌척수액 유출과 대조군 사이의 Keros 분류는 유의한 차이가 없는 반면, Gera 분류의 차이는 있었다.⁹⁾ 뇌척수액 유출군에서의 유출된 측은 Gera 각도가 평균 41.2° , 반대측은 50.1° 인 반면, 대조군에서는 우측은 71.7° 과 좌측은 71.1° 였다. 뇌척수액 유출군인 24명의 환자에서 19명이 Gera 분류에서 고위험군인 타입 III에

Table 2. Results of multiple linear regression analysis of factors affecting Gera angle

Variables	β	SE	Beta	t	p-value	95% CI	Collinearity statistics	
							Tolerance	VIF
Sex (female)	2.728	1.088	0.102	2.508	0.012	0.592–4.864	0.999	1.001
Age	-0.109	0.037	-0.119	-2.928	0.004	-0.182–0.036	0.999	1.001
Laterality (left)	1.560	1.083	0.059	1.440	0.150	-0.568–3.687	1.000	1.000

$R^2=0.027$, adjusted $R^2=0.022$, $F=5.513$. β , unstandardized coefficients; SE, standard error; Beta, standardized coefficients; CI, confidence interval; VIF, variance inflation factor

Table 3. Gera classification in published studies and our study

	Gera, et al. ⁸⁾	Preti, et al. ⁹⁾	Fladda, et al. ¹⁰⁾	Our study
Type I	32.6	31.5	17.7	7.0
Type II	62.7	64.5	77.5	81.3
Type III	4.7	4.0	4.8	11.7

Data are presented as percent

해당되었다. Keros 분류보다는 LLCP와 사상판을 통과하는 수평면의 측면 연장 사이의 각도에 기초한 Gera 분류 시스템에서 각도가 적을수록 의인성 뇌척수액 유출 발생과 관련하여 더 민감하게 작용될 수 있다. 특히 전두동에 접근하는 과정에서 뇌 기저부 손상 가능성이 높아진다. 수술 전 CT에서 Gera 분류는 위험성 평가에 대한 도구로서 매우 유용하게 사용될 수 있다.

최근까지 보고된 연구들에서의 Gera 분류의 빈도는 Table 3과 같다. 2018년에 Gera 등⁸⁾은 type I은 32.6%, II은 62.7%, 그리고 III은 4.7%였다. Gera 등이 포함된 동일 그룹에서 보고한 또 다른 연구에서 type I은 31.5%, II은 64.5%, 그리고 III은 4.0%였다.⁹⁾ 2021년 Fadda 등¹⁰⁾의 연구에서는 type I은 17.7%, II은 77.5%, 그리고 III은 4.8%였다. 본 연구와 Gera 등의 2편의 연구^{8,9)}와 Fadda 등¹⁰⁾의 연구의 비교에서 type III의 빈도는 유사하였으나 type I은 차이가 있었다. 본 연구에서는 type II, III, 그리고 I순으로 빈도가 높았으며, 서양인을 대상으로 한 연구들과 차이를 보였다. 이러한 차이는 인종 간에 차이일 수 있고¹¹⁾ 측정방법의 차이에서 발생될 수 있다. 본 연구에서 사상판은 중앙에 수직 돌출부인 벗돌기가 있으므로 관상면에서 벗돌기가 가장 잘 관찰되는 영상을 선택하여 Gera 각도를 측정하였다. 인종간의 차이를 고려할 때 서양인의 경우 type III가 4.0%~7.0%인 반면, 본 연구에서 11.7%로 한국인에서 내시경 부비동 수술 동안 뇌기저부 손상에 더 취약할 수 있음을 시사한다.

본 연구의 남녀의 비교에서 여성의 남성에 비해 Gera 각도가 컸는데, Gera 등⁸⁾에서는 남성의 평균 Gera 각도는 71.5°, 여성에서는 72.1°로 두 연구 모두에서 일치되었다.

본 연구에서 Gera 각도를 측정한 결과, 좌측이 우측에 비해 컸으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 타입의 비교에서 좌우 간에 유의한 차이가 있었다. 이러한 결과는 사골 지붕의 비대칭을 시사하며 사골와의 높이와 윤곽 차이의 결과로 발생할 수 있는 해부학적 변형이다.⁷⁾ 내시경 부비동 수술 시행 과정에서 어느 한 측의 해부학적 구조가 반대측과 일치하지 않을 수 있다는 점을 시사한다. 이런 비대칭적 변이는 내시경 부비동 수술 동안 어느 한 측이 보다 더 뇌기저부 손상에 취약할 수 있다.

본 연구 결과, 연령과 Gera 각도와의 상관 관계가 높지는 않았으나 음적인 상관성의 의미로는 노인에게서 내시경 부비동 수술 시 젊은 사람들보다 뇌기저부에서의 뇌척수액 유출의 위험성이 높기 때문에 주의를 요한다. Koo 등¹²⁾의 연구에 의하면 연령이 적을수록 LLCP가 증가한다고 하였는데 노인에 비해 젊은 사람에서 신장의 증가에 따른 LLCP의 증가로 추정하였다. 이런 내용에 근거하여 본 연구의 저자들은 LLCP가 증가될수록 LLCP가 수직에 가깝게 위치되어 LLCP와 사상판을 통과하는 수평면의 측면 연장선 사이의 Gera 각도가 커질 수 있다고 추측하였다.

본 연구의 강점은 첫째, 한국인을 대상으로 한 처음 연구이다. 둘째, 296명, 총 592측에 대한 비교적 대규모 연구이다. 그러나 본 연구의 제한점으로 첫째, 뇌 기저부에 대한 위험을 예측하는 데 현재에도 Keros 분류도 널리 사용되기 때문에 같은 연구군을 대상으로 Gera 분류와 Keros 분류와의 상관 관계에 대한 추가 분석이 차후 필요할 수 있다. 둘째, 연구 대상군의 선정기준에 대한 제한점이다. 본 연구에서는 부비동 단층촬영을 통한 방사선 계측에 혼돈을 줄 수 있어서 뇌기저부까지의 심한 병변을 가진 환자들을 제외하였다. 그러나 부비동 질환이 심해질수록 뇌기저부까지 병변이 진행하게 되어 내시경 부비동 수술시에 실제로 뇌기저부의 접근이 필요하다.

결론적으로, 한국인에서 Gera 분류 중 뇌기저부 손상에 취약한 타입 III가 연구 대상군의 11.7%였다. 본 연구자료가 내시경 부비동 수술 수술을 위한 한국인의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

Acknowledgments

This paper was supported by Wonkwang University in 2023.

Author Contribution

Conceptualization: Sang-Jun Son, Jae-Hoon Lee. Data curation: Sang-Jun Son, Hyung-Bon Koo. Formal analysis: Sang-Jun Son, Hyung-Bon Koo. Methodology: Sang-Jun Son, Jae-Hoon Lee. Supervision: Jae-Hoon Lee. Writing—original draft: Sang-Jun Son, Jae-Hoon Lee. Writing—review & editing: Jae-Hoon Lee.

ORCIDs

Sang-Jun Son <https://orcid.org/0000-0001-6403-5278>
Jae-Hoon Lee <https://orcid.org/0000-0002-0856-8173>

REFERENCES

- Ulualp SO. Complications of endoscopic sinus surgery: Appropriate management of complications. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2008;16(3):252-9.
- Ohnishi T, Yanagisawa E. Lateral lamella of the cribriform plate--an important high-risk area in endoscopic sinus surgery. *Ear Nose Throat J* 1995;74(10):688-90.
- Kubik M, Lee S, Snyderman C, Wang E. Neurologic sequelae associated with delayed identification of iatrogenic skull base injury

- during endoscopic sinus surgery (ESS). *Rhinology* 2017;55(1):53-8.
- 4) Keros P. [On the practical value of differences in the level of the lamina cribrosa of the ethmoid]. *Z Laryngol Rhinol Otol* 1962;41: 809-13. German
 - 5) Skorek A, Tretiakow D, Szmuda T, Przewozny T. Is the Keros classification alone enough to identify patients with the 'dangerous ethmoid'? An anatomical study. *Acta Otolaryngol* 2017;137(2):196-201.
 - 6) Kainz J, Stammerger H. [The roof of the anterior ethmoid: A locus minoris resistentiae in the skull base]. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 1988;67(4):142-9.
 - 7) Lebowitz RA, Terk A, Jacobs JB, Holliday RA. Asymmetry of the ethmoid roof: Analysis using coronal computed tomography. *Laryngoscope* 2001;111(12):2122-4.
 - 8) Gera R, Mozzanica F, Karligkotis A, Preti A, Bandi F, Gallo S, et al. Lateral lamella of the cribriform plate, a keystone landmark: Proposal for a novel classification system. *Rhinology* 2018;56(1): 65-72.
 - 9) Preti A, Mozzanica F, Gera R, Gallo S, Zocchi J, Bandi F, et al. Horizontal lateral lamella as a risk factor for iatrogenic cerebrospinal fluid leak. Clinical retrospective evaluation of 24 cases. *Rhinology* 2018;56(4):358-63.
 - 10) Fadda GL, Petrelli A, Martino F, Succo G, Castelnuovo P, Bignami M, et al. Anatomic variations of ethmoid roof and risk of skull base injury in endoscopic sinus surgery: Statistical correlations. *Am J Rhinol Allergy* 2021;35(6):871-8.
 - 11) Wen YF, Wong HM, Lin R, Yin G, McGrath C. Inter-ethnic/racial facial variations: A systematic review and Bayesian meta-analysis of photogrammetric studies. *PLoS One* 2015;10(8):e0134525.
 - 12) Koo HB, Kwon J, Lee JH. Laterality of ethmoid roof in a Korean population. *J Rhinol* 2021;28(2):102-5.