

# A Measurement Method for Cervical Neural Foraminal Stenosis Ratio using 3-dimensional CT

Yon-Min Kim

Department of Radiological Science, Wonkwang Health Science University

Received: December 04, 2020. Revised: December 30, 2020. Accepted: December 31, 2020

## ABSTRACT

Cervical neural foraminal stenosis is a very common spinal disease that affects a relatively large number of people of all ages. However, since imaging methods that quantitatively provide neural foraminal stenosis are lacking, this study attempts to present quantitative measurement results by reconstructing 3D computed tomography images. Using a 3D reconstruction software, the surrounding bones were removed, including the spinous process, transverse process, and lamina of the cervical spine so that the neural foramen were well observed. Using Image J, a region of interest including the neural foramen area of the 3D image was set, and the number of pixels of the neural foramen area was measured. The neural foramen area was calculated by multiplying the number of measured pixels by the pixel size. In order to measure the widest area of the neural foramen, it was measured between 40-50 degrees in the opposite direction and 15-20 degrees toward the head. The measured cervical neural foramen area showed consistent measurement values. The largest measured area of the right neural foramen C5-6 was 12.21 mm<sup>2</sup>, and after 2 years, the area was measured to be 9.95 mm<sup>2</sup>, indicating that 18% stenosis had progressed. Since 3D reconstruction using axial CT scan images, no additional radiation exposure is required, and the area of stenosis can be objectively presented. In addition, it is good to explain to patients with neural stenosis while viewing 3D images, and it is considered a good method to be used in the evaluation of the progression of stenosis and post-operative evaluation.

Keywords: 3D computed tomography, Cervical neural foraminal stenosis, cervical computed tomography, uncovertebral joint hypertrophy.

## I. INTRODUCTION

척추관 협착(spinal canal stenosis) 및 신경공 협착(neural foraminal stenosis)은 모든 연령대의 비교적 많은 수의 사람들에게 침범하는 매우 흔한 척추 질환이다. 이중에 신경공 협착은 척수공이 좁아져 척추를 빠져 나오는 척수 신경을 병적으로 압박하는 질환이다<sup>[1]</sup>.

경추 신경공 협착증은 퇴행성 경추질환의 하나로 대부분 나이가 들면서 관절이 퇴행성변화를 겪으며 두꺼워지고 불필요한 가시뼈들이 자라나면서, 신경공을 지나가는 신경을 누르며 발생하게 된다.

경추에만 존재하는 구상돌기(uncovertebral joint)는 가동 범위가 큰 경추 관절의 안정성에 중요한 역할을 한다. 경추 신경공 협착 환자에서 구상돌기가 비정상적으로 커지는 것이 주원인이라 알려져 있다<sup>[2]</sup>.

경추 신경근병증(cervical radiculopathy) 환자에서 골극(bony spur)에 의한 신경공 협착을 밝혀내는 것은 임상적으로 상당히 중요하다<sup>[3]</sup>. 경추 신경공 협착증은 수술 후 예후가 연성 추간판탈출에 의한 신경공 협착과는 달리 좋지 않은 경우가 있다<sup>[4]</sup>.

경추 신경공 협착의 영상검사 방법 중에서 경추의 사위 단순방사선촬영(cervical oblique)은 기본적인

\* Corresponding Author: Yon-Min Kim

E-mail: kimyonmin@wu.ac.kr

Tel: +82-63-840-1238

이며 필수적인 검사법으로 다른 검사법에 비하여 값싸고 쉽게 얻을 수 있다. 촬영법은 상체의 목 부분만 돌리는 것이 아니라, 몸 전체를 RPO나 LPO 45° 방향으로 돌리고, 엑스선 튜브를 머리쪽을 향해 15°, 중심선은 C4 높이로 하고, 100 cm 촬영거리에서 촬영하는 것이 일반적이다<sup>5-7)</sup>. 그러나 검사자의 촬영 각도에 따라서 차이를 보일 수 있으며, 판독소견을 정량화하기 어렵다<sup>8)</sup>.

사위 관상면 자기공명영상(Oblique coronal MRI)은 고식적 측상 및 시상면 MRI에 비해서 경추 신경공의 골성 협착 평가에서 좀 더 정확하게 평가할 수 있는 장점이 있다<sup>9)</sup>.

경추의 전산화단층촬영은 일반적으로 1.5~3 mm 간격으로 scan을 시행한다. 전산화단층촬영은 자기공명영상보다 검사비가 싸고, 후관절(facet joint)의 비대(hypertrophy) 등에 의한 신경공 협소(foraminal narrowing)와 갈고리돌기 비대(uncinate process hypertrophy), 후위골극(posterior spurring) 등의 골변화(bony change) 및 골절(fracture)에 의한 골조각(bone fragment)를 잘 볼 수 있다<sup>8)</sup>. 또한 2차원, 또는 3차원으로 영상을 재구성하여 여러 평면으로 경추 모양을 볼 수 있어, 단면 영상만을 이용한 신경관 협착 진단율보다 높은 판독 결과 일치율을 보이며 신경공 협착 진단에 도움을 주고 있다<sup>10)</sup>. 그러나, 현재에는 신경공 협착을 정량적으로 제공하는 방법은 전무한 상태이다. 따라서 본 연구는 경추 전산화단층촬영 영상을 3차원 재구성하여 신경공 면적을 정량적으로 측정하는 방법을 제공하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 연구 대상

전북지역 W 검진센터에서 본인의 진료 목적으로 검사한 경추 컴퓨터단층촬영(Cervical spine CT)영상을 받아서 후향적으로 분석하였다. 2018년 6월 21일과 2020년 11월 25일 총 두 번의 컴퓨터단층촬영 영상을 DICOM 영상으로 획득하여 비교하였다.

2018년 6월 사용기기는 Sensation 64(Siemens Health Care, Forchheim, Germany)를 사용하였고, Parameter는 120 kVp, 단편두께 1 mm, 화소크기 0.269 x 0.269 mm, 영상 폭과 높이는 138 mm, 비트수(Bits Stored)는 16으로 Table 1과 같다. 2020년 11월 사용기기는 Aquilion Prime SP(Cannon Medical System Corporation, TOSHIBA, JAPAN)를 사용하였고, Parameter는 120 kVp, 단편두께 1 mm, 화소크기 0.418 x 0.418 mm, 영상 폭과 높이는 204.8 mm, 비트수는 16으로 Table 1과 같다.

Table 1. The parameter of CT equipment

year	kVp	Slice Thickness	Pixel Spacing	Width:mm (512)
2018	120	1 mm	0.269	204.8
2020	120	1 mm	0.418	138.0

### 2. 연구 방법

- 1) 3차원 영상처리 프로그램을 이용하여 경추의 후극돌기(posterior spinous process)와 측돌기(transverse process), 층뼈(lamina)를 포함하여 신경공이 잘 관찰되도록 주변 뼈를 절제한 후, Fig. 1(a)와 같이 Image J를 이용하여 3차원 영상의 신경공 면적을 포함하는 관심영역을 설정한다.
- 2) 관심영역의 히스토그램 분석을 실시하여 화소값이 0 인 화소의 총 개수(1179)를 획득한다.
- 3) 화소의 총 개수에 한 개의 화소가 가지는 크기(면적)을 곱하여 신경공 면적을 산출한다. 예를 들어 3차원 영상에서 하나의 픽셀 길이가 0.148 mm 일때  $0.148 \times 0.148 \times 1179 = 25.8 \text{ mm}^2$  이다.
- 4) 가장 넓은 신경공 면적을 측정하기 위하여 측정 반대쪽 방향으로 40~50° 사이와, 머리쪽으로 15~20° 사이에서 측정하여 비교하였다. 가장 크게 측정된 면적을 연구 분석에 사용하였다.
- 5) 육안으로 보이는 구상돌기 비대와 정량적 측정에 의한 결과를 비교하였다.

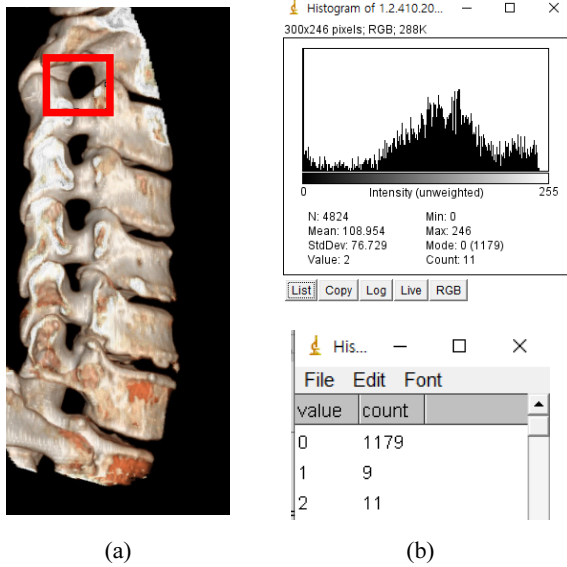


Fig. 1. Assessment of C-spine 2-3 neural foraminal stenosis. Representative 3D images are shown to illustrate measurement of (a) ROI position and (b) histogram count.

### III. RESULT

양측 신경공 면적을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 2018년 우측 C3-4 면적은 16.39 mm<sup>2</sup>으로 C2-3와 C4-5 면적보다 작게 나타났다. 좌측 C3-4 면적도 16.61 mm<sup>2</sup>으로 C2-3와 C4-5 면적보다 작게 나타났다. 이것은 2020년에도 동일한 결과를 보였다.

우측 신경공 C5-6 면적은 RAO 50°, 머리쪽 17°에서 가장 크게 측정 되었으며, 면적 12.21 mm<sup>2</sup>에서, 2년 후에 9.95 mm<sup>2</sup>으로 18% 협착이 진행한 것을 알 수 있다.

좌측 신경공 C5-6 면적은 LAO 40°, 머리쪽 14°에서 가장 크게 측정 되었으며, 좌측 신경공 C5-6 면적은 8.53 mm<sup>2</sup>에서, 2년 후에 7.57 mm<sup>2</sup>으로 12% 협착이 진행한 것을 알 수 있다.

우측 신경공 C6-7 면적은 9.17 mm<sup>2</sup>에서, 2년 후에 8.8 mm<sup>2</sup>으로 4.1% 협착이 진행한 것을 알 수 있다. 좌측 신경공 C6-7 면적은 7.22 mm<sup>2</sup>에서, 2년 후에 6.93 mm<sup>2</sup>으로 4.1% 협착이 진행한 것을 알 수 있다.

Fig. 2에서 보이는 것과 같이 우측 신경공 C5-6는

육안으로 관찰하기에 2년 전보다 구상돌기 비대가 더 진행되었음을 알 수 있다.

Table 2. Measurement result of the largest neural foraminal area. (unit : mm<sup>2</sup>)

year		C2-3	C3-4	C4-5	C5-6	C6-7
2018	Rt	26.49	16.39	23.6	12.10	9.17
	Lt	25.86	16.61	24.08	8.53	7.22
2020	Rt	26.09	16.17	22.02	9.95	8.80
	Lt	26.11	16.69	23.13	7.57	6.93

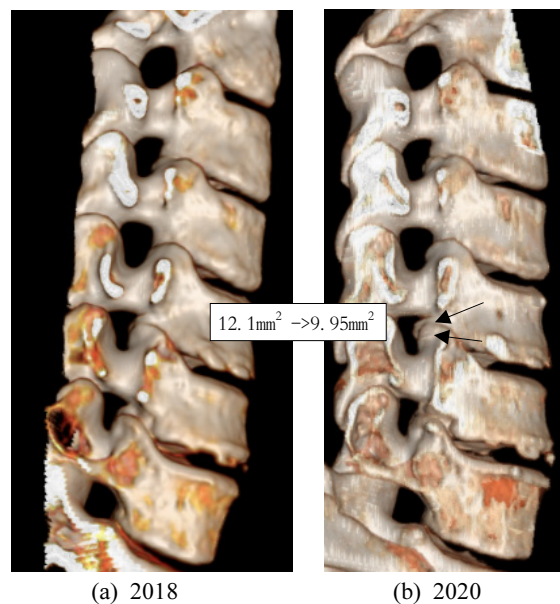


Fig. 2. Three-dimensional images showed a C5-6 uncoverterbral joint hypertrophy (arrows). Neural foraminal stenosis was evaluated quantitatively.

### IV. DISCUSSION

경추 신경공 협착증은 목신경이 지나는 척추관이 좁아져 척수의 신경뿌리를 눌러 목, 어깨, 팔, 손까지 저린 증상과 통증이 나타나는 질환이다. 이러한 증상을 목 디스크와 유사해 경추 신경공 협착증의 효과적인 치료를 위해서는 정확한 진단이 필요하다. 최근 구상돌기 비대가 주원인이라고 밝혀지면서 구상돌기 비대 측정에 대한 관심이 높다. 이 중에 경추 컴퓨터단층촬영은 진단의 정확성을 더 높이고 있다. 하지만 경추 신경공 협착률에 대한 정량적인 정보는 제공하지 못하고 있다.

현재 신경공 협착 판독은 문헌마다 다소 차이가

있다. 먼저 Wildermuth 등<sup>[11]</sup>에 의해 제안된 요추 신경공 협착에 대한 기존 등급 시스템을 수정하여, T2 MRI 가중 영상 결과에 따라 4가지 등급으로 분류하는 방법이 제시되고 있다. 0등급은 협착이 없음, 1등급은 형태학적으로 신경근을 둘러싼 지방소실(fat obliteration)이 신경뿌리둘레(nerve root circumference)의 50% 미만일 때, 2등급은 신경근을 둘러싼 지방소실이 신경뿌리둘레의 50% 이상일 때, 3등급은 형태학적 변화 또는 신경뿌리 붕괴(collapse)를 보이는 심한 신경공 협착으로 정의하고 높은 재현성이 있음을 보고하고 있다<sup>[12]</sup>. 또한, Kim 등<sup>[13]</sup>도 Axial T2 강조영상에서 신경공 원위부 뿌리(extraforaminal nerve root) 직경과 신경공 가장 좁은 폭(narrowest width)을 비교하여, 0등급은 협착이 없음, 1등급은 50% 미만일 때, 2등급은 50% 이상일 때로 제안하며, 경추 신경공 협착의 새로운 등급 평가 시스템이 관찰자간의 높은 일치도와 관찰자내의 높은 일치도를 보였다고 보고하고 있다. 그러나 MRI 검사에서 구상돌기 비대에 대한 정보를 얻기에는 어려움이 있으나, 전산화단층촬영은 좋은 검사 방법이다. 전산화단층촬영은 뼈에 대하여 2차원이나 3차원 영상으로 다양한 각도에서 관찰할 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 본 연구 결과처럼 연부조직과 주변의 뼈를 제거하고 다양한 각도에서 경추 신경공 면적을 계산할 수 있는 장점이 있다.

우측 신경공 C5-6 면적은 RAO 50°, 머리쪽 17°에서 가장 크게 측정 되었으며, 2년 동안 18% 협착이 진행한 것을 알 수 있다. 좌측 신경공 C5-6 면적은 LAO 40°, 머리쪽 14°에서 가장 크게 측정 되었으며, 2년 동안 12% 협착이 진행한 것을 알 수 있다. 좌,우측 회전 각도의 차이는 CT 검사 시 환자의 자세가 한쪽으로 약간 돌아가 있어서 발생하는 것으로 생각된다. 또한 환자가 협착증이 진행되고 있기 때문에, 경추 사위 단순방사선촬영법에서 제안하는 각도와 일치하지 않는 것으로 생각된다. 향후 정상 성인에서 신경공 면적의 평균과 표준편차를 구하는 빅데이터 연구를 진행할 예정이며, 정상 성인의 면적과 비교하여 협착증 환자의 면적을 협착률로 계산하는 소프트웨어를 특허 출원하였고 추가적인 연구를 진행하고 있다.

신경공 측정면적이 2년 전과 비교하여 일부 증가했던 결과는 몇 가지 원인을 생각해 볼 수 있다.

첫째, CT 검사 장치가 동일하지 않았고, 검사 조건과 픽셀크기가 같지 않았다. 뼈의 3차원 영상을 추출할 때 HU 역치(threshold) 값은 150이었다. 환자의 추적검사를 위해서는 동일한 CT 장치와 3차원 프로그램 사용이 필요하다.

둘째, 히스토그램 카운트에서 픽셀값 0만을 카운트 하였다. Fig. 1에서 보이는 것과 같이 픽셀값 1 혹은 2를 가지는 픽셀수는 각도에 따라 차이가 많았으나 카운트하지 않았다. 목 두께에 따른 부분체적효과를 고려하거나 표준화하기 어려웠다. 환자의 경추 신경공 협착률 추적 검사를 하기 위해서는 반드시 일치된 픽셀값 절단점(cut-off) 적용 방법이 사용되어야 한다.

마지막 문제점으로 3차원 영상의 픽셀크기가 프로그램에서 제공되지 않았다. 때문에 3차원영상 길이 눈금과 해당 픽셀수를 비교하여 픽셀 크기를 구하였기 때문에 측정상의 미세한 차이를 보일 수 있다.

## V. CONCLUSION

기존에 CT 검사 영상을 이용한 3차원 재구성 영상을 이용하므로 추가적인 방사선은 피폭을 받지 않으면서 신경공 면적을 객관적으로 제시할 수 있다. 까다로운 경추 신경공 협착증의 새로운 진단 기준을 마련한 것에 큰 의의가 있다. 또한 3차원 영상은 환자에게 보여주며 설명하기 좋은 구조이므로 신경공 협착의 진행도와 수술 후 평가에서도 사용하기 좋은 방법이라 사료된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2020년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행됨

## Reference

- [1] Y. K. Choi, "Lumbar foraminal neuropathy: an update on non-surgical management", *The Korean Journal of Pain*, Vol. 32, No. 3, pp. 147-159, 2019. <http://dx.doi.org/10.3344/kjp.2019.32.3.147>

- [2] J. U. Mun, H. R. Cho, S. H. Kim, J. I. Yoo, K. N. Kang, S. H. Yoon, et al., "Uncinate Process Area as a New Sensitive Morphological Parameter to Predict Cervical Neural Foraminal Stenosis," *Pain Physician*, Vol. 22, pp. 105-110, 2019.
- [3] Yousem D. M., Atlas S. W., Goldberg H. I., Grossman R. I., "Degenerative narrowing of the cervical spine neural foramina: evaluation with high-resolution 3DFT gradient-echo MR imaging", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 12, No. 2, pp. 229-236, 1991.
- [4] Braakman R., "Management of cervical spondylotic myelopathy and radiculopathy", *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, Vol. 57, No. 3, pp. 257-263, 1994. <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp.57.3.257>
- [5] S. Marcellis, F. C. Seragini, J. A. Taylor, G. S. Huang, Y. H. Park, D. Resnick, "Cervical spine: comparison of 45 degrees and 55 degrees anteroposterior oblique radiographic projections", *Radiology*, Vol. 188, No. 1, pp. 253-256, 1993. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.188.1.8511307>
- [6] Bumstead H. D., "Routine examination of the cervical spine", *Xray techn.*, Vol. 27, pp. 247, 1955.
- [7] B. J. Ahn, "The Study Intervertebral Foramen Image for the Cervical spine of Posterior Anterior Oblique for the Angle", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 4, pp. 197-203, 2015. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2015.9.4.197>
- [8] M. J. Shin, "Imaging of the Cervical Spine", *Journal of Korean Spine Surg.* Vol. 6, No. 2, pp. 181-184, 1999. <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-199812150-00009>
- [9] D. H. Han, Y. L. Seo, D. Y. Yoon, S. H. Bae, C. S. Choi, J. H. Moon, et al., "Oblique Coronal MRI in the Evaluation of Bony Stenosis of the Cervical Foramina: Objectiveness and Correlation with Radiograph", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 48, No. 1, pp. 77-83, 2003.
- [10] A. Schell, J. M. Rhee, J. Holbrook, E. Lenehan, K. Y. Park, "Assessing Foraminal Stenosis in the Cervical Spine: A Comparison of Three-Dimensional Computed Tomographic Surface Reconstruction to Two-Dimensional Modalities", *Global Spine Journal*, Vol. 7, No. 3, pp. 266-271, 2017. <http://dx.doi.org/10.1177/2192568217699190>
- [11] S. Wildermuth, M. Zanetti, S. Duewell, M. R. Schmid, B. Romanowski, A. Benini, T. Böni, J. Hodler, "Lumbar spine: quantitative and qualitative assessment of positional (upright flexion and extension) MR imaging and myelography", *Radiology*, Vol. 207, No. 2, pp. 391-398, 1998. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.207.2.9577486>
- [12] H. J. Park, S. S. Kim, S. Y. Lee, N. H. Park, E. C. Chung, M. H. Rho, et al., "A practical MRI grading system for cervical foraminal stenosis based on oblique sagittal images", *The British Journal of Radiology*, Vol. 86, No. 1025, pp. 1025, 2013. <http://dx.doi.org/10.1259/bjr.20120515>
- [13] S. J. Kim, J. W. Lee, J. W. Chai, H. J. Yoo, Y. Kang, J. W. Seo, et al., "A New MRI Grading System for Cervical Foraminal Stenosis Based on Axial T2-Weighted Images", *Korean Journal of Radiology*, Vol. 16, No. 6, pp. 1294-1302, 2015. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2015.16.6.1294>

## 3차원 컴퓨터단층촬영상을 이용한 신경공 협착률 측정방법

김연민

원광보건대학교 방사선과

### 요 약

경추 신경공 협착은 모든 연령대의 비교적 많은 수의 사람들에게 침범하는 매우 흔한 척추 질환이다. 그러나 신경공 협착을 정량적으로 제공하는 영상검사법이 부족하므로, 본 연구는 3차원 전산화단층촬영상을 재구성하여 정량적인 측정방법을 제시하고자 한다. 3차원 영상처리 프로그램을 이용하여 경추의 후극돌기와 측돌기, 증뼈를 포함하여 신경공이 잘 관찰되도록 주변 뼈를 제거하였다. Image J를 이용하여 3차원 영상의 신경공 면적을 포함하는 관심영역을 설정하고, 신경공 면적의 화소수를 측정하였다. 측정 화소수에 화소크기를 곱하여 신경공 면적을 산출하였다. 가장 넓은 신경공 면적을 측정하기 위하여 측정 반대쪽 방향으로 40~50도 사이와, 머리쪽으로 15~20도 사이에서 측정하였다. 측정한 경추 신경공의 면적은 일관된 측정값을 보였다. 가장 크게 측정한 우측 신경공 C5-6 면적은 12.21 mm<sup>2</sup>에서, 2년 후에 9.95 mm<sup>2</sup>으로 18% 협착이 진행된 것을 알 수 있었다. 기존에 CT 검사 영상을 이용하여 3차원 재구성하므로 추가적인 방사선 피폭을 받지 않으며 신경공 협착 면적을 객관적으로 제시할 수 있다. 또한 3차원 영상을 보면서 신경공 협착 환자에게 설명하기 좋으며, 협착의 진행도와 수술 후 평가에서도 사용하기 좋은 방법이라 사료된다.

중심단어: 3차원 컴퓨터단층촬영, 경추 신경공 협착, 경추 컴퓨터단층촬영, 구상돌기 비대.

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김연민	원광보건대학교 방사선과	교수