

&lt;원저&gt;

## 3차원 컴퓨터단층촬영상을 이용한 정상 성인의 경추 신경공 면적 비교

김연민

원광보건대학교 방사선과

## A Comparison for Cervical Neural Foraminal Area by 3-dimensional CT in Normal Adults

Yon-Min Kim

Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

**Abstract** Cervical foraminal stenosis is a disease in which the nerves that pass from the spinal canal to the limbs are narrowed and the nerves are compressed or damaged. Due to the lack of an imaging method that provides quantitatively stenosis, this study attempted to evaluate the area of the cervical vertebrae by reconstructing a three-dimensional computed tomography image, and to determine the area of the neural foramen in normal adults to calculate the stenosis rate. Using a three-dimensional image processing program, the surrounding bones including the posterior spinous process, lateral process, and lamellar bones of the cervical vertebra were removed so that the neural foramen could be observed well. A region of interest including the neural foraminal area of the three-dimensional image was set using ImageJ, and the number of pixels in the neural foraminal area was measured. The neural foraminal area was calculated by multiplying the number of measured pixels by the pixel size. To measure the largest neural foraminal area, it was measured between 40~50 degrees in the opposite direction and 15~20 degrees toward the head. The average area of the right C2-3 foramen was 44.32 mm<sup>2</sup>, C3-4 area was 34.69 mm<sup>2</sup>, C4-5 area was 36.41 mm<sup>2</sup>, C5-6 area was 35.22 mm<sup>2</sup>, C6-7 area was 36.03 mm<sup>2</sup>. The average area of the left C2-3 foramen was 42.71 mm<sup>2</sup>, C3-4 area was 32.23 mm<sup>2</sup>, C5-6 area was 34.56 mm<sup>2</sup>, and C6-7 area was 31.89 mm<sup>2</sup>. By creating a reference table based on the neural foramen area of normal adults, the stenosis rate of patients with neural foraminal stenosis could be quantitatively calculated. It is expected that this method can be used as basic data for the diagnosis of cervical vertebral foraminal stenosis.

**Key Words:** Cervical spine, Cervical computed tomography, Cervical neural foraminal stenosis, 3-dimensional computed tomography, Uncovertebral joint hypertrophy

**중심 단어:** 경추, 경추 컴퓨터단층촬영, 경추 신경공 협착, 3차원 컴퓨터단층촬영, 구상돌기 비대

## I. 서론

신경공 협착(neural foraminal stenosis)은 척추관 협착(spinal canal stenosis)과 더불어 나이가 들어가면서 발생하는 대표적인 퇴행성 척추질환이다. 척추관 협착증은 척수 신경이 지나가는 척추관이 좁아져 발생하고, 신경공 협착증

은 척추관에서 팔다리로 가는 신경이 지나가는 신경공이 좁아져 신경이 압박되거나 손상되는 질환이다[1]. 경추 신경근 병증(cervical radiculopathy)은 팔과 손의 통증을 유발하며, 이차적으로 경추 신경근(cervical nerve roots)을 압박하거나 자극하게 된다[2]. 가장 흔한 검사 소견은 움직임 때 목의 통증과 근육 경련이다[3]. 신경공 협착의 원인은 퇴행성 골증식증(degenerative osteophytes), 후관절면 비대

This paper was supported by Wonkwang Health Science University in 2021

Corresponding author: Yon-Min Kim, Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University, 514, Iksan Daero, Iksan-si, Jeonrabok-do, 54538, Korea / Tel: +82-63-840-1238 / E-mail: kimyonmin@wu.ac.kr

Received 8 December 2021; Revised 12 December 2021; Accepted 20 December 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

(facet hypertrophy), 측면 디스크 탈출(herniated discs) 등으로 알려져 있다[4,5]. 경추에 존재하는 구상돌기 관절(uncovertebral joint)은 퇴행성변화로 불필요한 가시뼈들이 자라나면서 신경공 협착을 유발하게 되며, 신경공 협착의 가장 큰 원인이라고 알려져 있다[6].

신경공 협착으로 인한 경추 신경근병증(cervical radiculopathy)은 임상적으로 중요하다. 경추 신경공 협착증의 정확한 진단은 말초 신경병증(peripheral neuropathy)의 가능성을 배제하고 예후를 예측하여 적절한 치료방법을 결정할 수 있다[7]. 경추 신경은 골극(bony spur)에 충돌하면서 염증을 동반한 신경근병증(radiculopathy)을 유발하므로 신경공 협착을 영상화하는 것은 상당히 중요하다[6]. 경추 사위 단순 방사선검사(cervical oblique plain radiography)는 기본적인 검사법으로 다른 검사법에 비교하여 쉽게 얻을 수 있다. 촬영법은 몸 전체를 우측 후사위(right posterior oblique; RPO)나 좌측 후사위(left posterior oblique; LPO) 45° 방향으로 돌리고, X선관을 머리 쪽을 향해 15°, 중심선은 C4 높이로, 100 cm 거리에서 촬영한다[8,9]. 그러나 검사자의 능력에 따라서 차이를 보일 수 있으며, 판독 결과를 객관적으로 제시하기 어렵다[10].

경추의 전산화단층촬영(computed tomography; CT)은 2차원 혹은 3차원 영상 재구성을 통해서 후위골극(posterior spurring) 등의 골변화(bony change), 후관절 비대 등에 의한 신경공 좁아짐(foraminal narrowing), 갈고리돌기 비대(uncinate process hypertrophy) 및 골절(fracture)에 의한 골 조각(bone fragment)을 잘 볼 수 있어서, 단면 영상만을 보고 판독할 때보다 신경공 협착 진단에 도움을 주고 있다[11]. 또한, CT 검사 영상을 이용한 3차원 재구성 영상으로 환자의 상태를 영상으로 직접 보여주면서 신경공 협착 정도를 설명하기 쉬우며, 신경공의 면적을 측정하여 신경공 협착 진단에 편리성을 주고 있다[12]. 그러나 경추 신경공의 협착 정도를 평가하기 위하여 정량적인 면적은 제공할 수 있으나, 정상인일 때의 면적을 알 수 없어서 협착률을 계산할 수 없는 단점이 있다.

본 연구는 정상 성인의 신경공 면적의 평균을 제공하여, 신경공 협착 환자의 협착률 계산에 활용하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

진료 목적으로 검사한 경부 컴퓨터단층촬영(Neck CT) 영

상을 받아서 후향적으로 분석하였다. 2021년 5월부터 11월까지 경부 조영증강 CT를 받은 대상자 중에서 경추에 질환이 없는 19명을 대상으로 분석하였다. 남자가 6명(31.5%), 여자가 13명(68.5%) 이었다. 나이는 20~42세이었고 평균 나이는 32.0±6.59세이었다. CT 영상을 익명화로 전환한 후에 디지털 영상 및 통신표준(Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM) 영상으로 획득하였다.

사용기기는 SOMATOM Definition Flash (Siemens Health Care, Forchheim, Germany) software versions syngo CT VA48A를 사용하였다. 검사조건은 100 kVp, Auto exposure control(AEC) mode를 사용하였으며 단편 두께 1 mm, convolution kernel은 B40s, 열과 행은 512 × 512, 비트 수(Bits Stored)는 12이었다(Table 1).

3차원 영상처리에 사용한 소프트웨어는 Xelis (INFINITT, Korea) software versions Xelis 1.0.6.3를 사용하였다.

**Table 1.** The parameter of computed tomography equipment

| kVp | mAs*    | Slice Thickness | convolution kernel | bits stored |
|-----|---------|-----------------|--------------------|-------------|
| 100 | 125~352 | 1 mm            | B40s               | 12          |

\* Auto exposure control

### 2. 연구방법

1) Xelis 3차원 영상처리 프로그램을 이용하여 경추의 측돌기(transverse process)와 후극돌기(posterior spinous process), 층뼈(lamina)를 제거하고 신경공이 잘 관찰되도록 주변 뼈를 절제하였다. Fig. 1의 a와 같이 Image J를 이용하여 3차원 영상의 신경공 면적을 포함하는 관심 영역을 설정하였다.

2) 관심 영역을 원으로 설정하고 히스토그램 분석을 시행하여 Fig. 1의 b와 같이 화소 값이 0(zero)인 화소의 총 개수(1,224)를 얻었다. 경추 신경공의 위치를 C2-3, C3-4, C4-5, C5-6, C6-7, 5곳으로 나누어 각각 측정하였다.

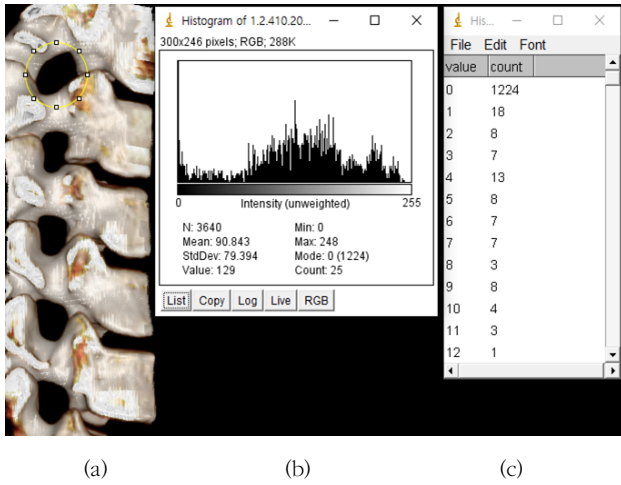
3) 획득한 화소 개수에 한 개의 화소가 가지는 크기 (pixels size)를 2번 곱하여 신경공 면적을 계산하였다.

4) 가장 넓은 신경공 면적을 측정하기 위하여 측정 반대 쪽으로 40 ~ 50° 사이와, 머리 쪽으로 10 ~ 20° 사이에서 영상을 저장하고, 가장 크게 측정된 면적을 연구분석에 사용하였다.

5) 경추 위치 C4-5, C5-6, C6-7에 주로 신경공 협착이 발생하므로[13], 정상인의 C2-3 기준으로 하여 측정된 평균 면적을 이용하여 참조표(Look up tables; LUT)를 작성

하고, 신경공 협착 환자의 면적에 ULT를 반영한 후에 신경공 협착의 %를 구하였다.

사용한 통계학적 방법은 SPSS software(Version 12.0 ; Inc., Chicago, IL)의 *t*-test를 시행하여 *p* 값이 0.05 미만 일 때 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판정하였다.



**Fig. 1.** Assessment of the largest neural foraminal area in normal adult. Representative 3D images are shown to illustrate measurement of (a) Region of interest position and (b) histogram, (c) pixel count.

### III. 결과

#### 1. 양측 신경공 면적 측정

양측 신경공 면적을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 우측 신경공 C2-3 평균 면적은 44.32 mm<sup>2</sup>, 좌측 신경공 C2-3 평균 면적은 42.71 mm<sup>2</sup>으로 우측 신경공이 약간 컸으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이하 C3-4, C4-5, C5-6 신경공 면적도 좌측과 우측의 평균에 유의한 차이는 없었다. C6-7 신경공 면적은 우측이 36.03 mm<sup>2</sup>, 좌측이 31.89 mm<sup>2</sup>으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

#### 2. 일반적 특성에 따른 신경공 면적 측정

20대와 30대 이상으로 분류하여 신경공 면적을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 우측 신경공 C2-3 평균 면적을 비교한 결과, 20대 8명은 평균 44.13 mm<sup>2</sup>, 30대 이상 11명의 평균은 45.89 mm<sup>2</sup>으로 유의한 차이가 없었다. 이하 C3-4, C4-5, C5-6, C6-7 신경공 면적도 좌측과 우측의 평균에 유의한 차이는 없었다.

남자와 여자의 신경공 면적을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 우측 신경공 C2-3 평균 면적을 비교한 결과, 남자 평균 50.93 mm<sup>2</sup>, 여자 42.48 mm<sup>2</sup>으로 남자가 다소 크게 나타났지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이하 C3-4, C4-5, C5-6, C6-7 신경공 면적도 좌측과 우측의 평균에 유의한 차이는

**Table 2.** Measurement result of the C-spine neural foraminal area (unit : mm<sup>2</sup>)

| C-spine level | Rt. Average±SD | Lt. Average±SD | <i>p</i> value |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| C 2-3         | 44.32±9.15     | 42.71±9.31     | .130           |
| C 3-4         | 34.69±9.99     | 32.23±7.46     | .255           |
| C 4-5         | 36.41±8.61     | 35.64±8.21     | .726           |
| C 5-6         | 35.22±7.79     | 34.56±7.62     | .945           |
| C 6-7         | 35.65±7.86     | 32.21±6.34     | .030           |

SD: standard deviation

**Table 3.** Measurement result of the C-spine neural foraminal area according to age and gender (unit: mm<sup>2</sup>)

| Variable | C2-3      | C3-4  | C4-5  | C5-6  | C6-7  |       |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Age(y)   | Rt. 20~29 | 44.13 | 33.59 | 34.02 | 33.63 | 34.38 |
|          | Rt. 30<   | 45.89 | 35.36 | 37.81 | 35.93 | 36.57 |
|          | Lt. 20~29 | 43.06 | 34.98 | 36.97 | 36.92 | 33.73 |
|          | Lt. 30<   | 42.66 | 30.53 | 34.53 | 33.32 | 31.10 |
| Sex      | Rt. M     | 50.93 | 33.82 | 37.02 | 36.00 | 37.30 |
|          | Rt. F     | 42.48 | 34.98 | 35.84 | 34.48 | 34.88 |
|          | Lt. M     | 48.23 | 36.77 | 39.91 | 37.22 | 34.60 |
|          | Lt. F     | 40.33 | 30.39 | 33.55 | 33.73 | 31.10 |

없었다.

좌측과 우측을 포함하는 정상인의 C2-3 평균 면적 43.51 mm<sup>2</sup>을 기준으로 하여 Fig 2와 같이 LUT를 작성하였다. 환자 측의 신경공 C2-3 측정 면적 34.25 mm<sup>2</sup>을 1.00으로 했을 때 C5-6의 면적은 27.22 mm<sup>2</sup>가 정상 신경공 면적이라고 할 수 있다. C5-6 측정 면적이 16.02 mm<sup>2</sup>으로 나타나 41%의 신경공 협착률을 계산할 수 있다.

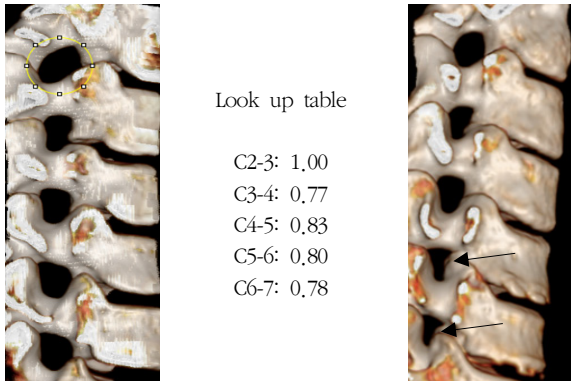


Fig. 2. Three-dimensional images showed a C5-6, C6-7 uncovertebral joint hypertrophy(arrow), Neural foraminal stenosis was evaluated quantitatively.

#### IV. 고찰

경추 신경공 협착은 목으로부터 나오는 신경이 관통하는 척추관이 좁아져 척수의 신경을 눌러 목, 어깨, 팔, 손까지 저린 증상과 통증이 나타나는 질환이다. 증상이 목디스크와 유사해 경추 신경공 협착증의 효과적인 치료를 위해서는 정확한 진단이 필요하다. 최근에 구상돌기 비대가 가장 큰 원인이라고 밝혀지면서 구상돌기 비대 측정에 관한 관심이 높아졌다. 영상검사법으로 단순방사선 검사는 필수적인 검사법으로 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있으나 촬영 각도에 따라 판독이 어려울 수 있고, 신경공의 협착을 정량적으로 평가할 수 없다. 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging: MRI) 검사는 경추 신경근병증의 원인을 정확하게 진단하는 것에 유용하며, 특히 디스크 탈출증 및 경추 신경공 협착의 진단에 있어 경사 시상면(angled sagittal) MRI가 더 정확한 검사임을 보고하고 있다[13]. 그리고 신경근 원위부(extraforaminal nerve root) 지름을 측정하고 신경공이 가장 좁은 곳에서 폭을 측정하여 신경공 협착률 등급을 제안하고 있다. 0등급은 협착이 없음, 1등급은 50% 미만일 때, 2등급은 50% 이상일 때로 제안하며, 경추 신경공 협착의 새로운 등급 평가 시스템이 관찰자 간의 높은 일치도와

관찰자 내의 높은 일치도를 보였다고 보고하고 있다[14]. 또한, T2 MRI 가중 영상 결과에 따라 4가지 등급으로 분류하는 방법이 제시되고 있다. 0등급은 협착 없음, 1등급은 형태학적으로 신경근을 둘러싼 지방소실(fat obliteration)이 신경근 둘레(nerve root circumference)의 50% 미만일 때, 2등급은 신경근을 둘러싼 지방소실이 신경근 둘레의 50% 이상일 때, 3등급은 형태학적 변화 또는 신경근 붕괴(collapse)를 보이는 심한 신경공 협착으로 정의하고 높은 재현성이 있음을 보고하고 있다[15]. 그러나 MRI 검사는 구상돌기 등 뼈에 대한 정보를 영상화하기 어려운 단점이 있다. 이에 반하여 CT는 갈고리돌기 비대(uncinate process hypertrophy) 및 구상돌기를 검사하는 데에는 유용하다. 문[5] 등은 C5-6 수준에서 갈고리돌기 면적을 이용하여 경추 신경공 협착을 예측하는 연구를 보고하였다. 실험결과에 의하면 정상인의 갈고리돌기 면적은 15.52 mm<sup>2</sup>, 경추 신경공 협착 환자에서는 29.97 mm<sup>2</sup>으로 나타나 형태학적 파라미터로 갈고리돌기 면적을 사용하여 경추 신경공 협착을 예측하였고, 갈고리돌기 면적 21.12 mm<sup>2</sup>를 절단점으로 하였을 때 민감도 91.8%, 특이도 93.4%로 매우 높게 나타났다.

이번 연구에서 분석 대상이 경부 CT 검사를 받았으며 100 kVp를 사용하였다. CT 검사에서 뼈의 부피는 KeV의 증가에 따라서 감소하게 되어있다[16,17]. 임상 적용을 위해서는 일관된 C-spine CT 프로토콜 적용하여야 한다.

연구의 제한점으로 객관적인 연구자료의 신뢰성을 확보하기에는 정상인 표본의 수가 부족하였다. 향후 기계적 학습을 통해서 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

#### V. 결론

연구에서 C6-7 신경공 면적은 우측이 36.03 mm<sup>2</sup>, 좌측이 31.89 mm<sup>2</sup>으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 원인으로 생각되는 것은

첫째, 뼈의 3차원 영상을 추출할 때 HU 역치(threshold) 값 때문으로 생각된다. 분석 대상이 경부 CT 검사를 받았으며 100 kVp를 사용하였다.

둘째, AEC mode를 사용하였는데 어깨가 포함되는 부분에서 mAs는 최대 2.6배 이상 차이가 발생하는 점이다.

셋째, 영상을 분석하면서 관찰자내(intra-observer) 불일치 때문으로 생각된다. 히스토그램 카운트에서 픽셀값 0만을 카운트 하였다. Fig. 1에서 보면 픽셀값 1이나 2를 가지는 픽셀 수도 많았으나 카운트하지 않았다.

경추 질환이 없는 성인의 CT 영상을 3차원으로 재구성하여

영상을 분석하므로 추가의 방사선 피폭 없이 신경공 면적을 획득하였다. 정상인에 비교하여 신경공 협착의 정도를 정량적으로 계산할 수 있다. 이 자료는 경추 신경공 협착증의 진단에 기초 자료로 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

## REFERENCES

- [1] Choi YK. Lumbar foraminal neuropathy: An update on non-surgical management. *The Korean Journal of Pain*. 2019;32(3):147-59.
- [2] Marc AC, Blair AB. Nonoperative Management of Cervical Radiculopathy. *American Family Physician*. 2016;93(9):746-54.
- [3] Kim MS, Lee DG, Chang MC. Outcome of transforaminal epidural steroid injection according to severity of cervical foraminal stenosis. *World Neurosurgery*. 2018;110:398-403.
- [4] Wainner RS, Gill H. Diagnosis and nonoperative management of cervical radiculopathy. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2000;30:28-44.
- [5] Abbed KM, Coumans JV. Cervical radiculopathy: Pathophysiology, presentation, and clinical evaluation. *Neurosurgery*. 2007;60(Suppl-1):S28-S34.
- [6] Mun JU, Cho HR, Kim SH, Yoo JI, Kang KN, Yoon SH, et al. Uncinate Process Area as a New Sensitive Morphological Parameter to Predict Cervical Neural Foraminal Stenosis. *Pain Physician*. 2019;22:105-10.
- [7] Yousem DM, Atlas SW, Goldberg HI, Grossman RI. Degenerative narrowing of the cervical spine neural foramina: Evaluation with high-resolution 3DFT gradient-echo MR imaging. *American Journal of Neuroradiology*. 1991;12(2):229-36.
- [8] Marcelis S, Seragini FC, Taylor JA, Huang GS, Park YH, Resnick D. Cervical spine: Comparison of 45 degrees and 55 degrees anteroposterior oblique radiographic projections. *Radiology*. 1993;188(1):253-6.
- [9] Ahn BJ. The Study Intervertebral Foramen Image for the Cervical spine of Posterior Anterior Oblique for the Angle. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2015;9(4):197-203.
- [10] Shin MJ. Imaging of the Cervical Spine. *Journal of Korean Society of Spine Surgery*. 1999;6(2):81-4.
- [11] Schell A, Rhee JM, Holbrook J, Lenehan E, Park KY. Assessing Foraminal Stenosis in the Cervical Spine: A Comparison of Three-Dimensional Computed Tomographic Surface Reconstruction to Two-Dimensional Modalities. *Global Spine Journal*. 2017;7(3):266-71.
- [12] Kim YM. A Measurement Method for Cervical Neural Foraminal Stenosis Ratio using 3-dimensional CT. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2020;14(7):975-80.
- [13] Shim JH, Park CK, Lee JH, Choi JW, Lee DC, Kim DH, et al. A comparison of angled sagittal MRI and conventional MRI in the diagnosis of herniated disc and stenosis in the cervical foramen. *European Spine Journal*. 2009;18(8):1109-16.
- [14] Kim SJ, Lee JW, Chai JW, Yoo HJ, Kang Y, Seo JW, et al. A New MRI Grading System for Cervical Foraminal Stenosis Based on Axial T2-Weighted Images. *Korean Journal of Radiology*. 2015;16(6):1294-302.
- [15] Park HJ, Kim SS, Lee SY, Park NH, Chung EC, Rho MH, et al. A practical MRI grading system for cervical foraminal stenosis based on oblique sagittal images. *The British Journal of Radiology*. 2013;86:1025.
- [16] Kim YK, Park SH, Kim YM. Comparison of Bone Volume Measurements Using Conventional Single and Dual Energy Computed Tomography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(2):253-9.
- [17] Seoung YH. Comparison of Hounsfield Units by Changing in Size of Physical Area and Setting Size of Region of Interest by Using the CT Phantom Made with a 3D Printer. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2015;38(4):421-7.

| 구분 | 성명  | 소속      | 직위  |
|----|-----|---------|-----|
| 단독 | 김연민 | 원광보건대학교 | 조교수 |