

<원저>

Law법 수직입사를 위한 보조기구의 3D 프린터 제작 연구

김상현

신한대학교 방사선학과

Study on 3D Printer Producing of Assistive Devices for Vertical Incidence of Law Method

Sang-Hyun Kim

Department of Radiological Science, Shinhan University

Abstract The Law method is observing the temporal bone. There are two types of methods: the double angle method, which manipulates the center ray angle of the tube twice, and the single angle method, which manipulates once. The purpose is to increase the reproducibility of the image by making vertical incidence by making an assistive device using a 3D printer. Two assistive devices with a wedge-shaped $8.5 \times 10 \times 2.3$ cm, an inclined surface of 7.5 cm, and an inclination angle of 15° were fabricated. Assistive devices can be combined with each other in the form of grooves, and PLA (Poly Lactic Acid) is used as a material. In the first experiment, 10 examiners operated the tube 15° in the caudad direction and 15° in the anterior direction, and measured it with a protractor to conduct a reproducibility experiment. Second, two examiners acquired vertically incidence images using the existing law method and assistive devices, and measured the distance between each measurement point to evaluate the reproducibility. The tube center ray angle reproducibility experiment was not statistically significant, but the angle difference was up to 9° between examiners. The reproducibility experiment of radiographic images was not statistically significant with the conventional method, and the method using an assistive device was statistically significant. Therefore, regardless of skill level, an image capable of securing reproducibility, which is the advantage of vertical incidence, could be obtained.

Key Words: Law, Double angle, Assistive device, 3D printer, Reproducibility

중심 단어: Law, 이중각도, 보조기구, 3D 프린터, 재현성

I. 서 론

측두골은 두개골의 양측에 청각 기계, 외이, 중이, 내이 그리고 청신경을 포함하고 있으며, 뼈미로와 막미로, 추체부, 고실부 및 유돌부로 구성되어 있다. 귀 뒤쪽에 두드러져 나온 부분이 유돌부이며, 그 내부에 유양동(Mastoid Antrum)과 주변에 많은 유양봉소(Mastoid cell)가 있으며 전상방으로 고실(Tympanic cavity)과 교통하는 통로가 있다[1]. 측두골내의 공기는 중이강 내에 공기 저장소의 역할을 가지고

있으며 측두골내의 공기들이 중이 점막의 공기 흡수로 인해 음압을 방지하여 고막과 중이 점막의 변화나 중이염의 진행을 막을 수 있다[2]. 단순 유양동 방사선 촬영상 환측의 유돌봉소의 혼탁을 보이며 치료를 하지 않을 경우 농양, 뇌막염, S상 정맥동혈전 등을 유발할 수 있다[3,4].

측두골 단순촬영법의 종류로서는 Law, Towne, Stenvers, Mayer 등이 있으며 이중 Law법은 선행연구에서도 보면 중요한 촬영법으로 고실, 유양동 및 유양돌기에 동시에 병변이 침범한 경우에 가장 발견율이 높은 촬영법이다[5,6]. 현

This work was supported by the Shinhan University Research Fund, 2020

Corresponding author: Sang-Hyun Kim, Department of Radiological Science, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu, Gyeonggi, 11644 Republic of Korea / Tel: +82-31-870-3413 / E-mail: snuhkim1@naver.com

Received 7 December 2020; Revised 11 December 2020; Accepted 24 December 2020

Copyright ©2020 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

재 고해상도 측두골 전산화단층촬영(Computed Tomography; CT)은 중이, 내이, 외이에 관련된 혈관, 신경, 근육조직 및 측두골에 정확한 관찰이 가능한 주된 검사법으로 적용되고 있다[7,8]. 그러나 단순 유양동 방사선 검사는 급성 유양돌기염의 징후나 유양동의 함기화 그리고 혼탁을 잘 관찰할 수 있으며 CT에 비해 환자에게 적은 선량으로 검사할 수 있는 유용한 방법이다. Law의 촬영방법은 두 가지로 이중각도, 단일각도 법이 있다. 이중각도법은 환자의 머리가 측면 자세를 향하고 X선 관(Tube)을 두 번 조작하여 중심선을 다리 방향으로 15°, 앞쪽으로 15° 도를 입사하는 방법이다. 단일각도법은 환자의 머리가 측면자세에서 촬영 측으로 정중 시상면(Mid-Sagittal Plane; MSP)을 15° 회전한 자세에서 중심선을 다리방향으로 15° 입사하는 방법이다. 촬영목적에 따라 촬영 각도를 조절하여 검사하는 것이 일반적이지만 촬영자에 따라 아날로그 눈금을 이용한 중심각도는 주관적으로 조정될 수 있어 검사 영상의 재현성을 저하시킬 수 있다. 이에 현재 많이 활용되고 있는 3D 프린터를 이용하여 보조기구를 제작하여 유용성 검증을 통하여 더 정확하고 재현성 높은 영상을 구현하는 것이 목적이다.

II. 대상 및 방법

1. 실험기기 및 팬텀

1) 3D 프린터

본 연구에서는 보급형FFF(Fused Filament Fabrication) 방식의 Ultimaker S3(Ultimaker, Netherlands)를 사용하였다(Table 1).

Table 1. Setting value of 3D printer.

Items	Value
Layer Height	0.2 mm
Nozzle Size	0.8 mm(AA 0.8 core)
Infill density	15%
Infill pattern	Triangles

재료로 폴리락티산(Poly Lactic Acid; PLA)소재를 사용하였으며 TPU 95A 필라멘트(Ultimaker, Netherlands)를 사용하였으며 재료의 밀도는 1.24 g/cm³이었다.

2) 보조기구 제작

Solidworks(Premium2017, Solidworks, USA)캐드프로

그램을 사용하여 설계하였으며, 슬라이서 프로그램인 CURA (4.7, Ultimker, Netherlands)로 가로 8.5 cm, 세로 10 cm, 높이 2.3 cm, 빗면 7.5 cm, 경사도 15°의 썩기 모양을 생성한 후 G-code로 변경하고 전송하여 출력하였다[Fig. 1]. 두 개의 보조기구를 출력하여 서로 결합이 가능하도록 한쪽에는 돌기가 있으며 다른 한쪽에는 홈모양으로 하였다[Fig. 2].

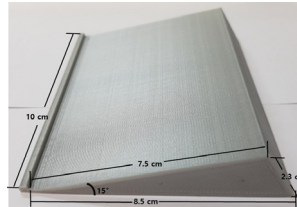


Fig. 1. Specification of assistive device

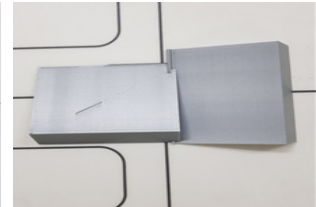


Fig. 2. Combination between assistive devices

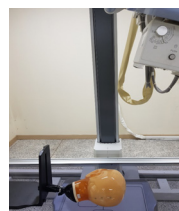
3) 실험장비와 팬텀

단순 방사선 촬영 장비로는 DK medical system(Innovision, Korea)을 사용하였으며 촬영 조건은 75 kV, 20 mAs, 초점-필름간의 거리(Focus Film Distance; FFD) : 100 cm, 조사야(Field of View; FOV) : 25 cm × 25 cm 로 설정하였다. 팬텀은 PBU-60(Kyotokagaku, Japan)의 두부(Serial No, 19H-06)부분을 사용하였다.

2. 실험방법

1) X선 관(Tube) 회전각도 재현성 실험

Law 법이 이중각도법에서 다리 방향과 앞쪽으로 각각 15°의 재현성을 실험을 위해 다리, 앞쪽으로 tube를 각각 3회씩 조작하여 그 각도를 측정한다. 총 10명의 검사자가 X선 관 회전각도 조작에 익숙함을 없애기 위해 순서대로 1번씩 시행한 후 이를 3번 반복 실험하였다. 각도를 조작 후 다리 방향, 앞쪽의 조작횟수가 각각 총 30회가 된다. 회전 각도는 각도기 : Smart Protractor 1.5.4(Smart Tools co, Korea)를 이용하여 측정하였다[Fig. 3].



(a)



(b)

Fig. 3. Measurement of tube rotation angle

(a) Center ray 15° towards caudad

(b) Center ray 15° towards anterior

2) 방사선영상에서의 재현성 실험

팬텀에 유돌봉소의 관찰 위치가 외이도(External Auditory Meatus; EAM) 뒤에서 뒤통수뼈까지 넓게 관찰되므로 양쪽 EAM과 뒤통수 중앙부위와 위, 아래에 금속물질을 부착한다. 재현성을 알아보기 위해 거리를 측정한다. A와 B, A와 a, A와 b, A와 c의 거리를 측정하였다[Fig. 4]. 두 명의 검사자가 두 번의 각각의 실험에서 10번의 자세잡이를 하고 촬영화면에서 각각의 거리를 3회씩 측정하였다. 촬영에 익숙함을 통제하기 위해 1번씩 번갈아가며 촬영하였다. 첫 번째 실험은 임상에서 많이 사용하는 Law 법의 형태로 머리를 측면상태에서 MSP가 촬영 축으로 15° 회전한 뒤 중심선의 각도를 다리 방향으로 15° 입사하여 두 검사자 간의 차이를 측정하였다. 두 번째 실험은 제작한 보조기구를 사용하여 두부 팬텀에 장착한 후 중심선의 각도를 수직 입사하여 두 검사자 간의 차이를 측정하였다[Fig. 5].

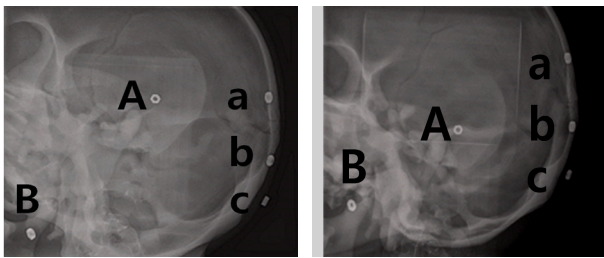


Fig. 4. Image with metal material attached

(a) Image of conventional method (b) image using assistive devices

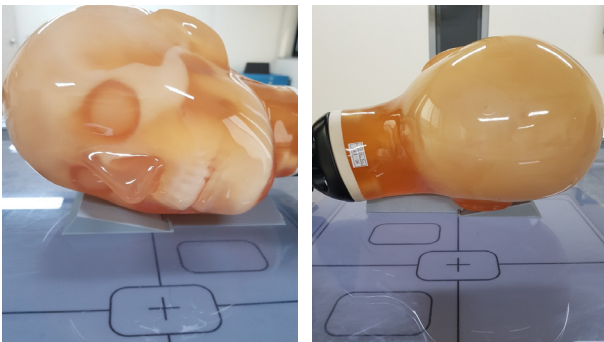


Fig. 5. Phantom with assistive devices

(a) Front image (b) Back image

3. 통계방법

분석프로그램은 SPSS(V. 22, Chicago, IL, USA)를 이용하여 모든 실험방법의 정규성 검정을 통해 유의확률값을

구하여 모수, 비모수를 방법을 구분하였다. 첫 번째 실험인 X선 관 회전각도 재현성 실험은 모수적 방법으로 일표본 T-test를 실시하였으며 두 번째 실험인 방사선영상에서의 재현성 실험은 모두 비모수방법인 Mann-Whitney U test를 이용하여 분석하였으며 *p* 값은 0.05 미만일 경우 유의성이 있는 것으로 판단하였다($p < 0.05$).

III. 결 과

1. X선 관 회전각도 재현성 실험

1) 정규성 검정

X선 관 회전각도가 다리 방향으로 15°와 앞쪽 15°에서의 유의확률값이 각각 0.20, 0.14로 0.05보다 크므로 정규분포를 따르므로 모수적방법인 일표본 T-test를 채택하였고 검정력값은 15로 하였다.

2) 중심선 조작 재현성 실험

두 실험 모두 유의확률이 0.05보다 크므로 통계적으로 유의하지는 않았으나 다리 방향으로 중심선을 조작한 평균 각도는 15.03 ± 2.37 이며 가장 큰 오차는 -3°에서 +5°이었으며 앞쪽으로 중심선을 조작한 평균 각도는 14.88 ± 2.00 이며 가장 큰 오차는 -4°에서 +4°이었다(Table 2).

2. 방사선영상 재현성 실험

1) 정규성 검정

다리 방향으로 향한 방사선영상 재현성 평가의 첫 번째 실험자의 측정점 A-a와 두 번째 실험자의 A-B, A-c를 제외하고 모두 유의확률이 0.05 미만이므로 비모수적 통계 방법인 Mann-Whitney U test를 사용하였다(Table 3).

수직 입사한 방사선영상 재현성 평가의 첫 번째 실험자의 측정점 A-c를 제외하고 모두 유의확률이 0.05 미만이므로 Mann-Whitney U test를 사용하였다(Table 4).

2) 방사선영상 재현성 측정

다리 방향으로 중심선을 입사한 기존의 방사선영상 재현성 평가에서 유의확률이 모두 0.05 미만이므로 통계적으로 유의하여 촬영자 간의 촬영 재현성이 떨어졌다.

제작한 보조기구를 사용하여 수직 입사한 방사선영상의 재현성 평가에서 유의확률이 모두 0.05 이상이므로 통계적으로 유의하지 않아 촬영자 간의 재현성 높았다.

Table 2. Result of tube angle operation reproducibility test

(n=30)

Center ray direction	Mean±SD	Min	Max	t	p
Caudal 15°	15,03°±2,37	12°	20°	0,062	0,951
Anterior 15°	14,88°±2,00	11°	19°	-0,309	0,760

Table 3. Normality test of conventional method

Experimenter	Measuring point	p-value
1	A - B	0,045
	A - a	0,200
	A - b	0,000
	A - c	0,012
2	A - B	0,134
	A - a	0,017
	A - b	0,020
	A - c	0,169

Table 4. Normality test of method using assistive devices

Experimenter	Measuring point	p-value
1	A - B	0,007
	A - a	0,033
	A - b	0,013
	A - c	0,066
2	A - B	0,001
	A - a	0,004
	A - b	0,002
	A - c	0,030

Table 5. Statistical value of image reproducibility measurement

Method	Measuring point	Mean±SD(cm)	Z	p-value
Conventional	A - B	12,18±0,77	-2,603	0,009
	A - a	6,97±0,27	3,993	0,000
	A - b	7,31±0,21	3,726	0,000
	A - c	8,24±0,28	-6,506	0,000
Assistive devices	A - B	9,04±0,13	-0,751	0,452
	A - a	8,01±0,12	-0,319	0,750
	A - b	6,97±0,13	0,597	0,551
	A - c	7,47±0,12	0,137	0,861

IV. 고 찰

4차 산업혁명의 대표적 기술인 3D 프린터는 침사 가공하여 적층하는 방식으로 저렴한 비용으로 보조기구의 제작이 가능하다[9]. 특히 사용재료인 PLA는 아크릴과 밀도가 유사하여

인체조직 등과 물질로 영상에 영향을 최소화할 수 있다[10]. 3D 프린터로 자체 제작한 CT 영상 품질측정 팬텀과 표준 팬텀인 AAPM(American Association of Physicists in Medicine) CT 팬텀을 CT 장비를 이용하여 영상품질측정을 하고 비교 분석한 결과 모든 측정 부위에서 통계적으로 유의한

차이가 없다고 검증된 선행연구가 있을 만큼 3D 프린터를 이용한 연구는 보조기구를 넘어 정도관리의 영역까지 점차 확대되고 있다[11]. 또한, CT 데이터와 3D 프린터를 활용하여 X선 실습용 팬텀의 제작 결과 기존 팬텀과의 성능과 유사한 결과가 나타난 선행연구도 있다[12]. 보조기구의 사용은 화질의 변화가 없어야 하는 전제조건을 바탕으로 환자의 움직임 줄여주고 재현성이 높은 영상을 제공할 수 있으며 3D 프린터를 이용하면 체형별로 크기의 다양화도 가능하다[13]. 이런 연구 배경을 통해 이중각도법인 Law 법의 보조기구 제작이 가능하였으며 연구 결과를 살펴보면 현재는 많은 방사선촬영장비들이 디지털화되어 숫자로 X선 관 다리방향의 회전 각도는 표현이 되고 있으나 이중각도에서 앞쪽으로 향하는 중심선의 회전 각도는 표시는 되지 않고 있다. 촬영목적에 따라 X선 관을 이용하여 각도를 입사할 수 있으나 각도가 들어가는 촬영은 왜곡과 재현성의 확보되지 못하는 단점을 지니고 있어 검사자의 숙련도에 따라 화질의 많은 차이가 있을 수 있다[14]. 10명의 검사자의 X선 관 회전각도 조작실험을 살펴보면 본인들이 생각하는 입사각도의 평균이 15°에 가깝기는 했지만, 최대차이는 9°까지 나므로 이는 영상에 재현성 확보에 어려움이 있어 진단결과에도 영향을 미치게 된다. 현재 Law법은 이중각도보다 촬영측으로 MSP를 회전하고 다리방향으로 중심선 각도를 입사하는 단일각도법이 많이 사용되고 있다. 그 이유는 이중각도 촬영법이 격자(Grid)에 의한 Cut-off 현상이 발생하여 화질에 영향을 미치기 때문이다. 또한, 촬영된 방사선영상평가에서 살펴보면 보조기구를 사용하여 이중각도를 만들고 수직입사한 경우가 통계적으로 유의하지 않은 결과를 이루어 볼 때 숙련도가 떨어지는 검사자도 재현성을 확보할 수 있다는 결과가 도출되었다. 실험에서 사람을 대상으로 하지 않은 점과 팬텀에 유양봉소의 공기가 함유되어 있지 않아서 화질평가를 할 수 없었다는 단점이 있다. 향후 다양한 임상적용 연구로 보조기구의 성능개선과 사례를 계속해서 진행할 예정이다[15]. 보조기구를 이용하여 촬영된 영상에 인공물(Artifact) 음영이 관찰되었다. 이는 재료인 PLA가 아크릴과 같은 밀도여서 사용되었으나 개선사항이며 개선방법으로는 3D 프린터의 다른 재료 물질 활용, 보조기구의 소형화, 그리고 보조기구의 내부에 재료를 채우는 밀도 조절하는 것이다. 추후에 검토된 개선방법을 적용하여 추가연구가 필요하다고 생각한다. 추가적인 연구 및 활용방안으로는 방사선학과 재학생들의 촬영학 실습은 주로 팬텀을 통해 이루어지고 있기에 보조기구를 활용하여 촬영법의 이해를 높이고 중심선 또는 환자자세의 각도의 달라짐에 따른 영상의 해부학적 변화를 이해하는데 크게 활용될 수 있다고 생각한다.

V. 결 론

측두골의 구조물인 유양봉소 등의 방사선학적 진단을 하는 Law 법을 이중각도에 대한 보상이 가능하여 수직입사가 가능한 보조기구를 3D 프린터로 제작하고 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째 X선 관 회전실험은 통계적으로 유의하지 않았으나 각도 차이가 검사자 간 최대 9°까지 나타났다. 둘째 방사선영상의 재현성 실험은 기존의 방법은 통계적으로 유의하지 않았으며 보조기구를 사용한 방법은 통계적으로 유의하였다. 이에 검사자의 숙련도와 관계없이 수직입사의 장점인 재현성 확보가 가능한 영상을 획득할 수 있었으며 3D 프린터를 이용하여 언제든지 수정과 재생산이 가능하도록 하였다. 또한, 다른 부위에 적용하여 화질의 손상 없이 재현성 높은 영상의 연구가 가능하며 보조기구 개발 연구에 자료로 활용할 수 있다고 생각한다.

REFERENCES

- [1] Shin JA, Cho YB, Ahn OS. A study on the position of the masoid antrum of Korean people. *Korean Journal of Otorhinolaryngology*. 1999;42:184-7.
- [2] Sade J, Luntz M. Middle ear gases. *Acta Oto Rhino Laryngologica Belgica*. 1992;46(4):355-415.
- [3] Suh HK, Yoo KM, Hwang KS, Yoo DH, Lim HH, Hwang SJ. Clinical experience of acute mastoiditis in recent 10 years. *Korean Journal of Otorhinolaryngology*. 1998;41(4):461-6.
- [4] Zoller H. Acute mastoiditis and its complication: A changing trend. *Southern Medical Journal*. 1972; 65(4):477-80.
- [5] Cha HE, Kim YM, Lee KS, Hwang SJ, Oh YW, Kim JH. Diagnostic accuracy of simple mastoid X-ray views in cholesteatoma. *Korean Journal of Otorhinolaryngology*. 1990;33(5):848-52.
- [6] Kang HS, Jang KH, Park JH. On diagnostic accuracy of simple mastoid views in cholesteatoma. *Korean Journal of Radiology*. 1980;16(2):672-7.
- [7] Lee CM, Lee KY, Sohn JH, Choi YJ, Jang HU, Kim JH, et al. Clinical review of chronic otitis media in patients with contracted mastoid. *Korean Journal of Otorhinolaryngology*. 2005;48(9):1095-101.
- [8] Swartz JD. High-resolution computed tomography

- of middle ear and mastoid. Part I: normal radio-anatomy including normal variations. Radiology. 1983;148(2):449-503.
- [9] Oh WG. Development of 3D printer system for making customized bone models of orthopedic surgery patient [dissertation]. Cheongjoo: University of Choong Book; 2014.
- [10] Todd L, Megan W. Material property testing of 3D-printed specimen in PLA on an entry-level 3D printer. J ASME. 2014;14(20):3-8.
- [11] Yoon MS, Hong SM, Heo YC, Han DK. A study on the fabrication and comparison of the phantom for computed tomography image quality measurements using three-dimensions printing technology. Journal of Radiological Science and Technology. 2018; 41(6):595-602.
- [12] Choi WJ, Kim DH. Making human phantom for X-ray practice with 3D printing. Journal of the Korean Society of Radiology. 2017;11(5):371-7.
- [13] Choi WJ, Ye SY, Kim DH. Making aids of magnetic resonance image using 3D printing technology. Journal of the Korean Society of Radiology. 2016;10(6):403-9.
- [14] Park DH, Kim JH, Nair SG, Won YY. Optimal pelvic inlet and outlet radiograph angles in Korean patients. Journal of Musculoskeletal Surgery. 2012;47(1):9-14.
- [15] Kim HK, Yoon JH, Choi SD. Study on 3D printer production of auxiliary device for upper limb for medical imaging test. Journal of Radiological Science and Technology. 2015;38(4):389-94.

구분	성명	소속	직위
단독	김상현	신한대학교 방사선학과	조교수