

3D 프린터를 이용하여 턱관절 MRI검사에 사용되는 TMJ device제작

Additive Manufacturing of TMJ Device used in Temporomandibular Joint MRI Scan
by using 3D Printer

장혜원
충북보건과학대학교 방사선과

Hye-Won Jang(cass21@chsu.ac.kr)

요약

턱관절 디스크 검사 시 MRI는 유용한 검사법으로 디스크의 정확한 위치변화를 관찰하고자 개구상태에서 오랜 시간 검사가 필요하다. 이에 3D프린팅 기술을 이용하여 개구상태를 유지시켜 줄 고정 장치(TMJ device)를 제작하고 이를 기존 고정 장치와 비교하여 유용성을 평가하고자 하였다. 기존 TMJ device를 사용한 영상에 비해 3D 프린터로 자체 제작한 TMJ device를 사용한 영상에서 SNR이 다소 낮은 결과를 보였지만 임상적으로 사용하는데 큰 결함이 없고 환자 개인별 특화된 맞춤형 제작이 가능하고 더불어 3D 프린팅 기술을 활용하여 유사도구 제작에 기여함으로써 비용대비 편익이 상승될 것이라 사료된다.

■ 중심어 : | 턱관절디스크 | 고정장치 | 3D 프린터 |

Abstract

In an examination of the temporomandibular joint disc, MRI(Magnetic Resonance Imaging) is a useful method, and it is necessary to conduct an examination with one's mouth open for a long time to observe the accurate position change of the disc. Thus, this study would produce a TMJ device, using the 3-D printing technology, which would maintain the state of opening the mouth and would evaluate its usefulness as compared to the existing fixed device. As compared to the image using the existing TMJ device, the image taken with the self-produced TMJ device with a 3-D printer showed a somewhat lower SNR, but there was no defect for a clinical use. It is judged that benefits to costs would increase, since it can be customized for the individual patient and can contribute to the production of similar tools by utilizing the 3-D printing technology.

■ keyword : | Temporomandibular(TM) Joint | 3D Printing | TMJ Device | MRI |

I. 서론

턱관절(TM joint)은 양쪽 손가락을 바깥귀길 앞쪽에 대고 입을 벌릴 때 움직이는 것을 알 수 있는 얼굴 부위

의 유일한 관절이다[1]. 관자뼈와 아래턱뼈가 만나서 이루어지는 관절이어서 '측두하악관절'이란 명칭으로 불리기도 하며 두 뼈 사이에는 섬유성조직인 관절원판(디스크, articular disc)이 있어 뼈가 직접 접촉하는 것을

접수일자 : 2018년 06월 22일
수정일자 : 2018년 07월 06일

심사완료일 : 2018년 07월 07일
교신저자 : 장혜원, e-mail : cass21@chsu.ac.kr

막아주는 완충 역할을 한다. 또한 관절을 감싸는 관절 주머니 내에는 윤활작용을 하는 활액이 있어 관절의 운동 시 마찰을 줄여 매끄러운 움직임이 되도록 한다. 특히 다른 관절과는 다르게 턱관절은 말을 하거나 음식을 씹는 등 아래턱이 움직일 때 양쪽 관절이 항상 함께 움직이는 특징이 있으며 좌우가 각각 독립되어 있지 않아서 한 쪽 턱관절의 이상은 다른 쪽 관절에 영향을 주며 아래, 위 치아의 교합(맞물림)과도 관련이 있다[1]. 이러한 턱관절은 관자뼈, 하악두, 관절원판, 인대와 이들과 연관된 혈관과 신경 그리고 주변의 씹기 근육(저작근)이 조화를 이루어 아래턱의 운동을 가능하게 하는 관절이다[1]. 하지만 어떤 이유로 턱관절이 제대로 기능을 하지 못하는 경우 이를 ‘턱관절장애(temporomandibular joint dysfunction, TMJ)’ 또는 ‘측두하악장애’ 라고 하며 저작근, 측두하악관절, 치아교합, 근·신경계로 구성되는 저작계에서 발생하는 많은 임상적 문제를 포함하는 개념으로 주된 증상은 악관절과 저작근의 동통, 턱관절 잡음, 하악 운동의 제한 등이 있고 두통을 동반하는 경우도 있다[1][2]. 다시 말해 ‘턱관절장애’는 턱관절의 염증이나 탈구로 인하여 통증과 잡음이 생기고 입을 벌리는 데 장애가 있는 질환을 말한다. 음식을 씹거나 말을 할 때 턱 주변에 발생하는 미세한 통증에서부터, 입을 크게 벌릴 때 ‘딱’하는 소리가 나거나 심한 통증으로 입을 크게 벌리지 못하는 증상과 관련이 있다[3]. 이러한 턱관절 장애의 가장 흔한 원인으로는 턱관절 기능에 중요한 역할을 하는 관자뼈와 아래턱뼈 사이에 위치하고 있는 관절원판 즉, 디스크의 불균형이라고 할 수 있다. 이러한 경우에는 턱관절 디스크가 앞쪽으로 전위되어 있는 경우가 많아 입을 최대한 벌림으로써 턱관절 디스크가 정상위치로 환원되는 것을 확인할 수 있다. 그렇기에 병원에 내원하여 턱관절 검사 시에는 디스크의 정확한 위치변화를 관찰하기 위하여 반드시 입을 닫은 경우(cloth mouth)와 벌린 경우(open mouth)를 비교 검사해야 한다[4].

턱관절을 진단하기 위하여 선택할 수 있는 촬영방법은 매우 다양하다. 그 중에서도 일반적인 방사선 촬영술이나 전산화단층촬영술(CT)은 촬영시간이 짧고 턱관절의 골절 평가에는 우수하지만 관절원판을 명확하

게 관찰할 수 없다는 단점이 있다. 반면 자기공명영상은(MRI) 높은 조직 대조도와 해상력을 가지고 측두하악관절 내 장애(internal derangement)을 보여주는 진단 방법으로 관절액의 평가가 가능하며 관절원판의 위치, 모양과 과두의 운동 범위를 관찰하는 데 매우 우수한 방법으로 평가되고 있다[5]. 하지만 MRI검사 시에는 비교적 오랜 검사시간이 소요되므로 입을 벌리고 있는 동안 개 구위(open mouth)를 장시간 동요 없이 유지할 수 있는 ‘개 구위 유지 장치(고정 장치)’가 별도로 필요하다[6]. 하지만 기존에 사용하고 있는 제품화된 고정 장치는 높은 고비용으로 인하여 일반적으로 임상에서는 잘 활용하지 않고 다른 방법(개 구위를 유지시켜 줄 수 있는 기타 물건)을 이용하여 검사하고 있다. 따라서 본 논문에서는 3D 프린팅 기술을 이용하여 저비용으로 턱관절 MRI 검사 시 사용할 수 있는 고정 장치(TMJ device)를 제작하고 직접 제작된 보조기구를 임상적용을 통하여 영상의 질을 평가함으로써 고정 장치의 그 유용성을 평가하고자 하였다.

II. 실험방법

1. MRI 호환성 검사

MRI 는 강한 자기장내에 인체를 위치시켜 고주파를 발생시킨 후 나오는 신호를 측정하여 영상을 얻는 검사 방법으로 만약 조직 중에 자기감수성(자화율, Magnetic susceptibility)이 다른 부분이 있으면 그 부위의 국소자장이 왜곡되어 신호가 저하되는 원인이 된다[7][14]. 따라서 본 연구에 사용한 필라멘트 PLA(Poly Lactic Acid)소재와 MRI 와의 호환성을 검사하기 위하여 자장에 대한 자기감수성 효과를 먼저 측정하였다.

직경 1.75mm PLA 를 70% 이상이 수분으로 되어 있는 고체 물질에 넣어 자장방향에 평행하게 배치한 후 TR = 78ms, TE = 5.2ms, NEX = 1 를 사용하여 Gradient Echo기법으로 검사 후 PLA에 의한 magnetic susceptibility effect를 측정하였다.

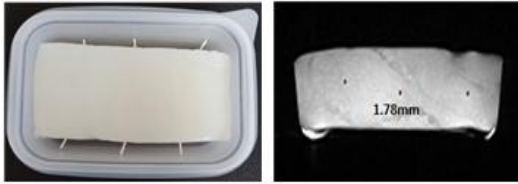


그림 1. PLA MRI phantom(left), PLA MRI(right)

Phantom 영상에서 profile을 그린 후 PLA 크기를 측정하였더니 실제 크기에 비해 1.78mm로 0.02mm의 오차로 나타났다. 이는 magnetic susceptibility에 의한 artifact의 발생여부가 낮다는 것을 보여주고 있다[그림 1].

2. 3D 모델링

TMJ device 의 3D 모델링을 위하여 턱관절 장애를 가지고 있는 환자 20명을 대상으로 입을 최대한 벌렸을 경우 평균 사이즈(5cm)를 측정하였다. 다양한 환자의 검사에 적용하기 위하여 평균사이즈에서 ± 2 cm 범위 내에 해당하는 3cm, 4cm, 5cm, 6cm, 7cm를 1cm 간격으로 TMJ device 3D 모델을 설계하였다.

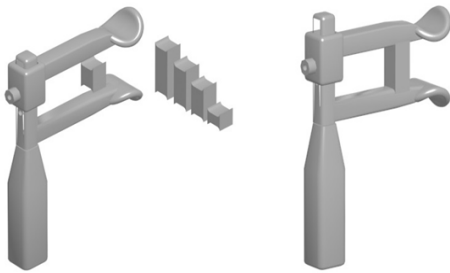


그림 2. 3D modeling of TMJ device

모델링은 손잡이 부분, 입으로 들어가 개 구위를 유지시켜주는 부분, 개구사이즈에 따른 지지대 세 부분으로 나누어 설계하였다. 모델링 프로그램으로는 3D MAX 프로그램을 사용하였다[그림 2].

3. 3D 프린팅

3D 모델링된 데이터를 표준 형식의 파일로 저장하는

데 제공되는 STL(Stereo Lithography Apparatus)파일로 변환하고[그림 3] 이 파일은 G-code 파일을 생성한 후 3D 프린터 장치에 적용하여 형상을 출력하였다[그림 4][8][13]. 이때 G-code파일을 생성하기 위한 슬라이싱 프로그램으로는 Ultimaker 사의 cura 를 사용하였고 3D 프린터는 FDM의 프린트 방식의 Moment 3D printer를 사용하였다. 원료로는 열을 가하면 용융이 일어나고 온도가 떨어지면 다시 굳는 열가소성 플라스틱 계열인 직경 1.75mm 인 분해성 플라스틱 (poly lactic acid, PLA)을 사용하였다[9].

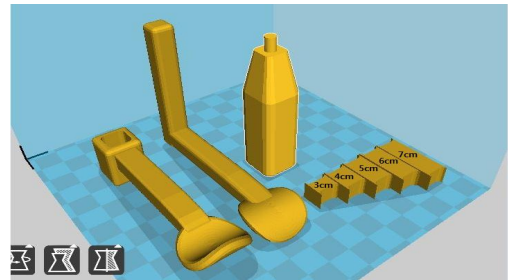


그림 3. STL file of TMJ device

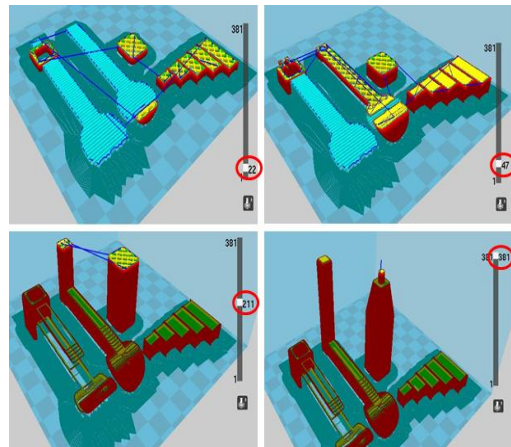


그림 4. conversion STL file to G-code, red circle is deposition height

프린터 노즐의 직경은 0.4mm, 적층두께는 0.2mm로 설정하였다. 기타 출력 값은 다음과 같다[그림 5].

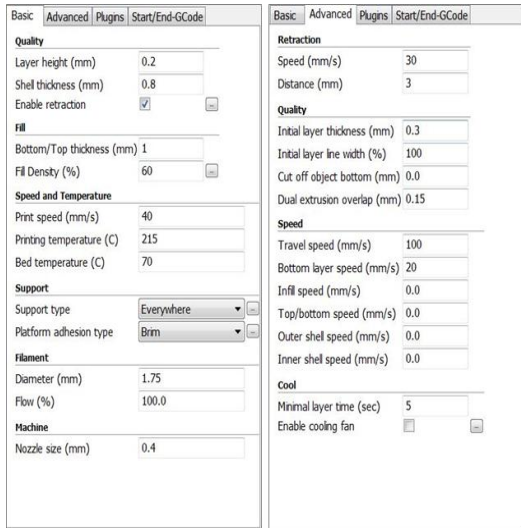


그림 5. Moment set point

턱관절 장애를 가지고 있는 환자의 개구 사이즈에 맞춰 총 5단계의 TMJ device를 3D 프린터를 이용하여 출력하였다. 출력물은 세로 12cm × 가로 8.5cm 크기로 출력시간은 약 3시간 정도가 소요되었다[그림 6].

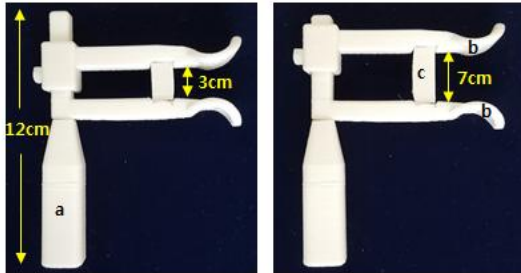


그림 6. TMJ device 3D printing
(a) Handle, (b) Bite with a mouth, (C) Support

4. 영상획득방법

출력물의 유용성을 평가하기 위하여 10회에 걸쳐 입을 벌린 상태에서 고정용구를 사용하지 않은 경우, 기존 TMJ device[그림 7]를 사용한 경우, 3D 프린터로 출력한 TMJ device를 사용한 경우에 대하여 각각의 MR 영상을 획득하고 이를 비교 평가하였다.



그림 7. 상용화 된 TMJ device

사용 장비로는 3.0T 자기공명영상장치(Magnetom Verio, Siemens)와 32채널 Head coil 코일을 사용하였다. Fast Spin Echo 기법을 사용하여 TR 500ms, TE 8.3ms, FOV 120mm, slice th. 3mm, slice gap 1mm, NEX 2, matrix 240 × 240, scan time 2분 30초였다. 디스크의 정확한 해부학적 위치를 관찰하기 위하여 T1강조영상을 획득하였다[표 1].

표 1. MRI parameter

TR	TE	FOV	Slice th.	Slice gap	NEX	matrix
500ms	8.3ms	120mm	3mm	1mm	2	240× 240

5. 영상평가방법

영상 평가는 정량적 평가와 정성적 평가를 수행하였다. 정성적 평가방법으로는 동일한 조건에서 획득된 MR 영상에서 motion artifact 정도, disc 관찰여부를 5점 척도(1=unacceptable, 2=poor, 3=fair, 4=good, 5=excellent)로 하여 10년 이상 근무한 MRI 방사선사 5명이 blind test로 평가하였다. 정량적 평가방법으로는 획득한 영상에서 ROI(region of interest)을 설정하고 SNR 식(1)에 대입하여 계산하였다[그림 8]. 통계적 분석은 SPSS for windows Ver.21(SPSS Inc. Chicago, and IL, USA)을 사용하였다.

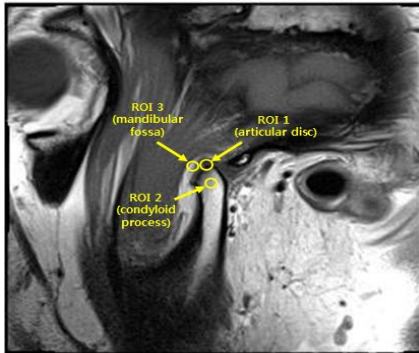


그림 8. ROI설정

$$SNR = \frac{Signal\ mean}{Background\ Noise\ SD} \quad (1)$$

III. 결 과

제작된 출력물의 크기와 길이가 정확히 출력되었는지 확인 한 후 턱관절 MRI 검사를 시행하고 각각의 영상을 비교 평가하였다[그림 9].

1. 정성적 평가

먼저 motion artifact의 발생정도에 대한 정성적인 평가 결과 TMJ device를 사용하지 않은 경우 4.75 ± 0.3 , 기존에 사용하는 TMJ device를 사용한 경우 1.30 ± 0.24 , 3D printing TMJ device를 사용한 경우 1.44 ± 0.25 로 나타났다. 관절원판(articular disc)에 대한 묘사 정도는 TMJ device를 사용하지 않은 경우 2.68 ± 0.34 , 기존에 사용하는 TMJ device를 사용한 경우 4.32 ± 0.21 , 3D printing TMJ device를 사용한 경우 4.22 ± 0.18 로 나타났다. 기존에 사용하는 TMJ device와 3D printing으로 출력한 TMJ device를 사용한 경우 모두 TMJ device를 사용하지 않았을 때 보다 motion artifact가 감소하였고 턱관절 검사 시 중요한 디스크의 관찰도 높게 평가되었다[표 2].

표 2. Qualitative assessment about TM joint MRI

	motion artifact 발생정도			disc관찰 여부		
	사용 안함	기존 TMJ device	3d printing TMJ device	사용안함	기존TMJ device	3d printing TMJ device
case1	5.0	1.2	1.6	2.2	4.4	4.2
case2	4.2	1.6	1.4	3.0	4.2	4.4
case3	5.0	1.4	1.4	2.6	4.6	4.4
case4	5.0	1.0	1.4	3.2	4.0	4.0
case5	4.5	1.4	1.6	2.4	4.0	4.2
case6	4.4	1.6	2.0	2.4	4.4	4.2
case7	5.0	1.4	1.2	2.6	4.4	4.4
case8	5.0	1.4	1.4	3.2	4.6	4.4
case9	4.8	1.0	1.2	2.6	4.2	4.0
case10	4.6	1.0	1.2	2.6	4.4	4.0
average	4.75	1.30	1.44	2.68	4.32	4.22
ST.Dev	0.3	0.24	0.25	0.34	0.21	0.18

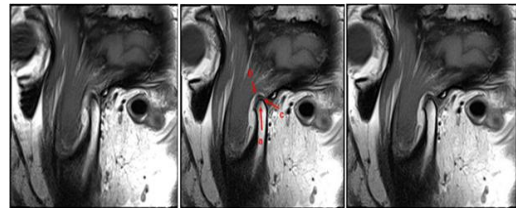


그림 9. without TMJ device(left), commercialized TMJ device (middle), 3D printing TMJ device(right)
 a : Condyloid process
 b : Mandibular fossa
 c : Articular disc

2. 정량적 평가

정량적 평가 결과 SNR 값은 TMJ device를 사용하지 않은 경우 articular disc 11.94, condyloid process 31.60, mandibular fossa 23.48 측정되었다. 기존에 사용하는 TMJ device를 사용한 경우 articular disc 24.49, condyloid process 37.69, mandibular fossa 42.18 측정되었다, 마지막으로 3D printing TMJ device를 사용한 경우 articular disc 23.01, condyloid process 37.54, mandibular fossa 39.30로 측정되었다[표 3]. 평균값을 토대로 3D printing으로 출력한 TMJ device유의성을

평가한 결과 TMJ device를 사용하지 않은 경우와 비교하였을 때 p-value 값이 $p=0.016$ 로($p<0.05$) 통계적 유의성이 있었다. 그러나 기존에 사용하는 TMJ device와 유의성을 비교한 결과 $p=0.14$ 로 유의미한 결과를 보이지 않았다.

표 3. Quantitative assessment about SNR of TM joint MRI

	without TMJ device	commercialized TMJ device	3d printing TMJ device
articular disc	11.94	24.49	23.01
condyloid process	31.60	37.69	37.54
mandibular fossa	23.48	42.18	39.30

IV. 고찰 및 결론

자기공명영상검사는 다른 검사에 비하여 긴 검사 시간이 요구되기 때문에 오랜 검사시간동안 환자의 정확한 자세유지는 진단적 가치가 높은 영상을 얻는데 매우 중요하다. 환자의 움직임을 최소화하는 것이 중요하다 [10]. 따라서 MRI 검사의 특성 상 검사부위에 따라 고정 장치가 필요하다. 이러한 고정 장치의 조건으로는 MRI 영상에 영향을 미치지 않는 물질이어야 하고 비자성체여야 한다. 또한 환자별 맞춤형 제작이 가능하여야 한다 [10]. 하지만 MRI 검사에 사용하는 고정 장치는 자기감수성으로 인하여 재질에 제약이 있고 또 비용이 비싸다는 단점이 있다. 또한 검사 시 고정 상태를 유지하기 위하여 환자가 지속적으로 받치고 있어야 하는 불편함도 가지고 있다. 반면 3D 프린팅 기술을 활용하여 고정 장치를 제작하는 경우에는 MRI 에 사용가능한 재질을 선택할 수 있고 기존 고정 장치에 비하여 저렴하게 제작할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 출력에 사용한 PLA 소재 필라멘트는 플라스틱 소재로서 비교적 내구성이나 내충격성, 내열성에 약하고 후가공이 어려우며 재질이 딱딱하다는 특징을 가지고 있다 [15]. 그러기에 PLA의 딱딱한 재질로 인하여 출력물을 입에 무는 동안 환자에게 불편함을 줄 수 있고 통증을 야기시킬 수 있

다는 단점이 있었다. 또한 PLA 소재 필라멘트의 특성 상 개 구위를 유지시켜주기 위하여 입을 벌려주는 부분 ([그림 6] b부분)이 약해 입으로 물고 오랜 시간을 유지하는 경우에는 파손될 우려가 있어 지지대를 삽입하기 위하여 여러 번의 출력과정을 거쳐 출력물을 완성해야 하는 어려움이 있었다. 일반적으로 임상에서는 턱관절 MRI 검사 시 step이 있는 고정 장치를 사용하여 환자의 개구사이에 맞추어 고정한 후 검사를 실시한다. 하지만 3D 프린팅 기술로 만든 고정 장치에서는 여러 단계의 step을 만들기 위하여 금속으로 된 재질을 이용하여 step을 조절하려고 하였으나 MRI 검사의 특성 상 금속재질을 사용할 수가 없었고 임상에서와 같이 스틱으로 되어 있어 누르는 방식 또한 PLA 만으로는 그 기능을 제작하기가 불가능해 개구사이를 다양하게 적용하지 못하고 일부 사이즈에 제한되어 출력하였다. 이는 향후 연구에서 보완 되어야 할 필요성이 있다고 생각한다.

3D프린팅 기술은 현재 의료·바이오산업과 연관됨에 따라 고부가가치 미래형 융·복합 산업으로 인지되어 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. CT/MRI 의료영상 기술을 기반으로 수술시물레이션, 수술 가이드 도구 제작 등의 3D프린팅 활용은 현 단계에서 실질적 임상활용 사례가 많이 보고되고 있다. 또한 체외에 적용하는 의족, 의수 등의 보조기구와 비교적 인체 위험성이 낮은 치과 보조물 등 역시 현재 상용단계에 가까운 상황이다 [11]. 현재 의료의 임상적용에 있어서 3D 프린터를 활용한 시물레이션을 통한 수술 가이드의 제시나 인체장치의 교체 내지 대체에 대한 수요는 필연적으로 높아지리라 생각되며 이 경우에 진단과 동시에 치료를 하는데 역할을 할 수 있는 의료용 3D 프로그램의 발전이 기대된다. 이와 같이 CT, MRI 와 같은 의료영상 이미지를 기반으로 인체조직 목표형상에 맞는 외형구조 제작 대응은 가능함과 동시에 그 수요는 많아지리라 본다 [12].

본 연구에서는 이러한 3D프린팅 기술을 이용하여 개구상태를 유지시켜줄 고정 장치(TMJ device)를 제작하고 이를 기존 고정 장치와 비교하여 유용성을 평가하고자 하였다. 기존 TMJ device를 사용한 영상에 비해 3D 프린터로 자체 제작한 TMJ device를 사용한 영상에서

SNR이 다소 낮은 결과를 보였지만 임상적으로 사용하는데 큰 결함이 없고 환자 개인별 특화된 맞춤형 제작이 가능하고 더불어 3D 프린팅 기술을 활용하여 유사 도구 제작에 기여함으로써 비용대비 편익이 상승될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=938777>
 [2] 최영운, *하악 비대칭과 자기공명영상에서의 측두하악관절 원관 변위와의 관계*연세대학교, 석사학위논문, pp.1-2, 2002.
 [3] <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2853423>
 [4] 나경수, “측두하악관절의 핵자기공명영상 촬영에 관한 연구,” *Imaging Science in Dentistry*, 제29권, 제2호, pp.407-410, 1999.
 [5] 박혁, 정아영, 정다운, 김성택, “측두하악관절의 영상진단,” *구강회복응용과학지*, 제28권, 제3호, pp.291-297, 2012.
 [6] 이성복, 최부병, “MRI에 의한 측두하악관절 장애의 영상진단,” *대한치과의사학회지*, 제323권, 제4호, pp.261-270, 1996.
 [7] 진료영상학회, 대한자기공명기술학회, *자기공명영상학* 대학서림, 2014.
 [8] 김형균, 최준구, 김가중, “방사선 DICOM 영상을 이용한 3차원 프린팅 출력물의 형상 비교에 관한 연구,” *한국콘텐츠학회논문지*, 제16권, 제2호, pp.558-565, 2016.
 [9] 성열훈, “전산화단층영상을 이용한 그물형 손목부목의 3D 프린팅,” *한국콘텐츠학회논문지*, 제15권, 제1호, pp.308-315, 2015.
 [10] 최우진, 예수영, 김동현, “3D 프린트를 활용한 자기공명영상검사 보조기구 제작,” *한국방사선학회 논문지*, 제10권, 제6호, pp.403-409, 2016.
 [11] 한선용, 신흠규, “의료분야 3D 프린팅 기술동향,” *전기전자재료*, 제28권, 제7호, pp.9-20, 2015.
 [12] 박석희, 박진호, 이혜진, 이낙규, “3D 프린팅 활

용 생체의료분야 기술동향,” *한국정밀가공학회지*, 제31권, 제12호, pp.1067-1076, 2014.

[13] <http://msnayana.blog.me/80195824394>, 2013.8.10.
 [14] K. H. Hermann, Clemens Gärtner, Daniel Güllmar, Martin Krämer, and Jürgen R. Reichenbach, “3D printing of MRI compatible components: Why every MRI research group should have a low-budget 3D printer,” *Medical Engineering & Physics*, Vol.36, pp.1373-1380, 2014.
 [15] <https://blog.naver.com/uonekim/220917032877>

저 자 소 개

장 혜 원 (Hye-Won Jang)

정회원



- 2004년 8월 : 고려대학교 의료정보기기학과(공학석사)
- 2016년 8월 : 충북대학교 의용생체공학과(박사수료)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 충북보건과학대학교 교수 재직

<관심분야> : 의용공학, 의료영상정보학