

Evaluation of MR Safety of Breast Expander on 1.5T and 3.0T MRI

Dong- Il Jung, Jae-Seok Kim*

Department of Radiology, Ajou University Hospital

Received: August 17, 2020. Revised: August 27, 2020. Accepted: August 31, 2020.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the safety of the breast tissue expander implanted patients who require MRI examination. Torques were 0ml, 150 ml, 300 ml, 450 ml at 1.5 Tesla forward direction, 4, 3, 3, and 2 respectively, and 1.5 Tesla reverse direction at 4, 4, 4, 3 respectively. In the 3.0 T environment, 4 was shown in all conditions. In the overturning experiment, no overturning occurred in more than 300 ml in the 1.5Tesla environment, and most of the overturning occurred in the 3.0 Tesla environment. In terms of safety, MRI scans of patients with breast tissue expanders should be avoided at 3.0 Tesla and conditionally at 1.5 Tesla.

Keywords: Tissue expander, Breast MRI safety, Breast reconstruction

I . INTRODUCTION

유방암 환자가 증가함에 따라 유방 절제 후 유방 재건술도 증가하고 있다. 유방 재건술은 유방 절제술을 받은 환자에게 원래의 유방의 형태를 복원해 주기 위한 수술이다. 유방암의 조기 발견이 늘어나고, 피부 보존 유방 절제와 유두 보존 절제가 점차 보편화되면서 유방 재건술에 대한 관심과 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 유방조직확장기를 이용한 유방 재건술은 수술 방법이 간단하고, 자가 조직의 채취가 필요 없고, 동일한 색과 질감, 감각을 갖는 조직으로 재건이 가능하고, 수술 시간이 짧으며, 회복이 빠르다는 장점이 있는 반면에 보형물로 인한 합병증, 나이에 따른 조직변화에 적응하지 못하는 점 등의 단점들이 있다.^[1,2]

유방조직확장기는 강자성체로 이루어진 생리식염수 주입부 (Magnetic Valve)를 가지고 있다. 이곳을 통해 6-18개월 동안 생리식염수를 서서히 주입하며 유방조직을 확장시켜 보형물을 삽입할 공간을 확보한다.^[3]

MRI 검사는 민감도와 영상 대조도가 뛰어나며

해부학적 평가가 용이하고 방사선 노출의 위험이 없으며 국소 부위에 대해 진단 능력이 뛰어나 유방 뿐만 아니라 전신의 각 부위 검사에 유용하게 쓰이고 있다.

MRI는 환자를 강한 자기장 내 위치시키고 RF 주파수를 이용하여 신호를 생성함으로써 영상을 만들어 낸다. 이때 유방조직확장기가 가진 Magnetic Valve는 강자성체로 되어 있기 때문에 자기공명 환경에서 자기장의 영향으로 검사하는 동안 이탈 혹은 이동될 수 있고, RF 주파수로 인해 식염수 용액 혹은 주변부의 온도를 증가시킬 수 있다. 이는 인체 내 위험을 초래할 수 있다.^[4]

이러한 이유로 MRI 검사 시 의료용 이식 장치의 안전성은 유방조직확장기를 가진 환자뿐만 아니라 환자를 검사하는 방사선사와 의사에게도 매우 중요하다.

본 논문에서는 유방조직확장기를 가진 환자가 MRI 검사가 필요할 때 1.5 Tesla (T)와 3.0T 자기공명 환경에서 유방조직확장기의 인체 내 안전성을 확인하고 환자, 방사선사 그리고 의사에게 조건부 검사 가능한 안전성 측면의 근거 대한 정보를 제시

* Corresponding Author: Jae-Seok Kim

E-mail: m4f5r@naver.com

Tel: +82-10-2222-3818

하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구재료

3.0T MRI system (Discovery 750 W, GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA)과 1.5T MRI system(Signa HDxt, GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, USA)을 사용하였으며, 각 실험조건에 따라 3.0T, 1.5T 각각 송수신 전신 코일(Transmit/receive body coil, GE Healthcare, USA)을 사용하였다. 실험대상은 일반적으로 많이 사용되는 강자성체의 Magnetic Valve를 가진 유방조직확장(CPXTM4, MENTOR, 450ml, USA)를 사용하였다.

Fig. 1과 같이 자기 유도 하 뒤집힘 측정 장치는 우리나라 여성의 평균 가슴 두께 104.5mm인 아크릴 상자를 만들고 그 위에 유방조직확장기를 위치시켜 제작하였다.

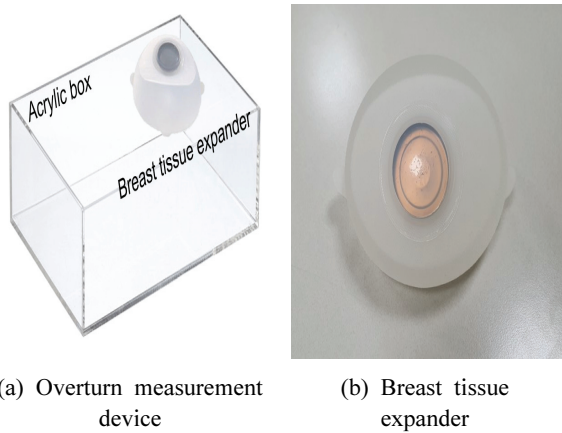


Fig. 1. Back force measuring device and breast tissue expander.

MRI 장치의 RF 주파수로 인해 발생하는 온도 변화를 측정하기 위하여 MRI 장치에 의한 자기장과 주파수에 영향을 받지 않는 광섬유 온도계 (FTX-301-PW 1 Channel Temperature Transmitter, OSENSA, Canada)와 온도 센서(PRБ-GB2-ST-L, Temperature Sensor, OSENSA, Canada)를 Fig. 2와 같이 사용하였다. 이 온도계는 0.1°C의 분해능과 ± 0.1°C의 정확도를 가지고 있으며, 0.1sec 마다 빠르게 온도변화를 감지할 수 있다.

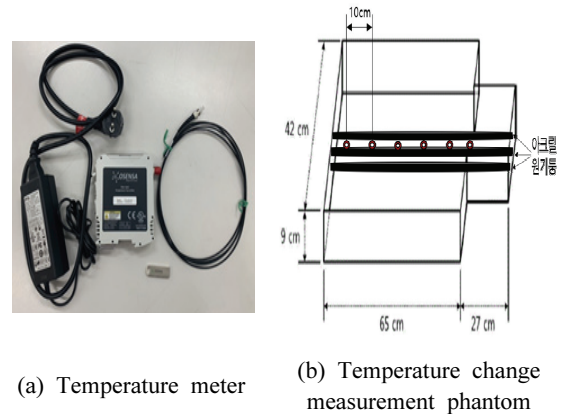


Fig. 2. Temperature meter & Temperature change measurement phantom.

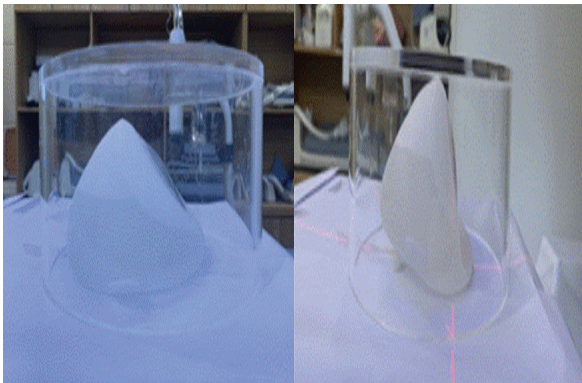
온도 변화 측정을 위하여 ASTM F2182-02 규격에 맞는 팬텀을 아크릴 재질로 제작하였고, 온도 변화 측정을 위하여 멸균 증류수 25리터(L)와 하이드록시에틸 셀룰로오스 (Hydroxyethyl Cellulose) 31g/L, 염화나트륨 1.55g/L 혼합하여 만든 젤화 식염수를 채워 넣었다. 온도의 평형을 위해 MRI 장치가 있는 검사실 내부에 24시간 동안 보관하였다. 이 용액은 인체와 유사한 열 전도성을 가지며, 주변으로의 열 손실을 최소화하여, 온도 변화 측정에 적합하도록 제조하였다.

2. 측정 방법

자기 유도 하 회전력 측정은 자기 공명 장치 보어 내 주자장이 가장 큰 지점에 위치시키고 유방조직확장기의 Magnetic Valve의 뒤틀림이나 인력, 회전 등을 5단계 : 0 = no torque; +1 = mild torque, the test object slightly changed orientation but did not align to the magnetic field; +2 = moderate torque, the test object aligned gradually to the magnetic field; +3 = strong torque, the test object showed rapid and forceful alignment to the magnetic field; +4 = very strong torque로 나뉘어 정성 평가하였다.

Magnetic Valve가 자장에 의해 당겨지는 힘을 간접적으로 나타내기 위하여 생리식염수 0ml, 150ml, 300ml, 450ml를 채워가며 자장이 미치지 않는 곳과 자장의 영향이 가장 큰 지점인 Isocenter에서 94cm 지점에서 Magnetic Valve의 기울기 차이를 Fig. 3과

같이 측정하였다.



(a) Area not covered by magnetic field (b) Area with the strongest magnetic field

Fig. 3. Tilt difference actual measurement picture.

자기 유도 하 뒤집힘 측정은 우리나라 여성의 평균 가슴 두께 104.5mm 위에 유방조직확장기를 정방향과 역방향으로 위치시키고 MRI 장치 테이블을 보어 밖에서 Isocenter로 그리고 Isocenter에서 보어 밖으로 각각 이동시키며 유방조직확장기의 뒤집힘 여부를 측정하였다. 각 1.5T와 3.0T 자기 공명 환경에서 유방조직확장기에 생리식염수를 150ml씩 주입하며 0ml, 150ml, 300ml, 450ml에서 정방향과 역방향으로 그리고 진입 방향을 각각 달리하며 30회 반복 측정하였다.

유방조직확장기를 온도 변화 측정을 위하여 ASTM F2182-02 규격의 MRI 조건을 이용하여 온도 변화 측정 팬텀에 젤라틴 식염수를 채우고 온도 변화를 측정하였다. 유방조직확장기가 있는 경우 Magnetic Valve 중앙에 온도 센서를 고정시켜 기준점에 위치시켰고 유방조직확장기가 없는 경우 온도 센서만 기준점에 위치시켰다. 그리고 각각 좌우 같은 방법으로 측정하였다.

온도 변화 측정에 사용된 1.5T MRI의 ASTM F2182-02 시퀀스 조건은 Fast Spin Echo ,TR은 420ms, TE는 14ms, ETL (Echo Train Length)은 4 , Flip Angle은 90도, Bandwidth는 16kHz, FOV(Field of View)는 40cm, Matrix는 256 x 256, Slice Thickness는 10mm, Total Slice는 40, Scan Time은 19분 16초이다.

온도 변화 측정에 사용된 3.0T MRI의 ASTM

F2182-02 시퀀스 조건은 Fast Spin Echo ,TR은 425ms, TE는 14ms, ETL (Echo Train Length)은 4 , Flip Angle은 90도, Bandwidth는 16kHz, FOV(Field of View)는 40cm, Matrix는 256 x 256, Slice Thickness는 10mm, Total Slice는 40, Scan Time은 15분이다.

III. RESULTS

1. 자기 유도 하 토크 및 뒤집힘 측정 결과

유방조직확장기의 자기유도 하 토크 측정 결과, 토크는 1.5T 정방향 진입 시 0ml에서 4, 150ml에서 3, 300ml에서 3, 450ml에서 2로 측정되었고, 1.5T 역방향 진입 시 0ml에서 4, 150ml에서 4, 300ml에서 4, 450ml에서 3으로 측정되었다.

3.0 T 환경에서는 정방향 진입 시와 역방향 진입 시 0 ml, 150 ml, 300 ml, 450 ml에서 모두 토크가 4로 측정되었다.

Magnetic Valve의 생리식염수 용량별 기울기 변화 측정은 1.5T 0 ml에서 10도 → 95도, 150ml에서 13도 → 93도, 300ml에서 28도 → 81도, 450ml에서 42도 → 80도, 3.0T 0 ml에서 10도 → 110도, 150ml에서 13도 → 107도, 300ml에서 28도 → 95도, 450ml에서 42도 → 86도로 각각 100도, 94도, 53도, 38도로 1.5T , 3.0T에서 각각 85도·80도·53도·38도, 100도·94도·67도·44도의 변화를 나타냈다.

유방조직확장기를 보어 밖에서 보어의 Isocenter로, Isocenter에서 보어 방향으로 테이블을 이동시키며 뒤집어지는 것을 관찰한 실험에서는 Table 1과 같이 1.5T 환경에서 정방향 진입 시 30번 반복 시험 중 보어 밖에서 Isocenter 방향은 0ml에서 30번, 150ml에서 4번 뒤집혔고 300ml, 450ml에서는 뒤집힌 적이 없었다. Isocenter에서 보어 밖으로 방향은 0ml에서 30번, 150ml에서 7번, 300ml에서 2번, 450ml에서는 뒤집히지 않았다. 1.5T 환경에서 역방향 진입 시에는 30번 반복 시험 중 보어 밖에서 Isocenter 방향은 0ml, 150ml, 300ml, 450ml에서 30번 모두 뒤집혔고, Isocenter에서 보어 밖으로 방향은 0ml에서 30번, 150ml에서 2번 뒤집혔고 300ml, 450ml에서는 뒤집히지 않았다.

Table 1. 1.5 Tesla reverse Overturn

Saline solution volume (ml)	Out → Isocenter direction	Isocenter → Outward direction
	(Number of times not Overturn / Turn over)	
0mL	0 / 30	0 / 30
150mL	0 / 30	28 / 2
300mL	0 / 30	30 / 0
450mL	0 / 30	30 / 0

3.0T 환경에서 정방향 진입 시 30번 반복 시험 중 보어 밖에서 Isocenter 방향은 0ml, 150ml, 300ml 에서 30번 모두 뒤집혀 버렸고, 450ml에서는 30번 모두 뒤집힌 적이 없었다. Isocenter에서 보어 밖으로 방향은 0ml, 150ml, 300ml, 450ml 30번 모두 뒤집혔다. 3.0T 환경에서 역방향 진입 시 30번 반복 시험 중 보어 밖에서 Isocenter 방향과 Isocenter에서 보어 밖으로 방향 둘 다 0ml, 150ml, 300ml, 450ml 에서 30번 모두 Table 2와 같이 뒤집혔다.

Table 2. 3.0 Tesla reverse Overturn

Saline solution volume (ml)	Out → Isocenter direction	Isocenter → outward direction
	(Number of times not Overturn / Turn over)	
0mL	0 / 30	30 / 0
150mL	0 / 30	30 / 0
300mL	0 / 30	30 / 0
450mL	0 / 30	30 / 0

2. 유방조직확장기의 온도 변화 측정

ASTM F2182-02 규격의 MRI 조건을 이용한 온도 변화 측정은 Table. 3에서 보듯이 1.5T 환경에서 ASTM F2182-02 규격의 MRI 조건을 이용한 온도 변화 측정한 결과, 삽입 전에는 15.58°C에서 15.82°C로 0.24°C, 오른쪽 삽입 시 15.52°C에서 15.89°C로 0.37°C, 왼쪽 삽입 시 15.60°C에서 15.94°C로 0.34°C 상승하였다.

Table 3. ASTM standard temperature change measurement in 1.5T environment

	Base	Max	ΔT
Before insertion of breast tissue expander	15.58°C	15.82°C	0.24°C
Right side of the breast tissue expander	15.52°C	15.89°C	0.37°C
Left breast tissue expander inserted	15.60°C	15.94°C	0.34°C

3.0T 환경에서 ASTM F2182-02 규격의 MRI 조건을 이용한 온도 변화 측정한 결과는 Table 4에서 보듯이 삽입 전에는 15.69°C에서 15.95°C로 0.26°C, 오른쪽 삽입 시 15.73°C에서 16.06°C로 0.33°C, 왼쪽 삽입 시 15.75°C에서 16.06°C로 0.31°C 상승하였다.

Table 4. ASTM standard temperature change measurement in 3.0T environment

	Base	Max	ΔT
Before insertion of breast tissue expander	15.69°C	15.95°C	0.26°C
Right side of the breast tissue expander	15.73°C	16.06°C	0.33°C
Left breast tissue expander inserted	15.75°C	16.06°C	0.31°C

IV. DISCUSSION

최근 유방 재건술에 많이 사용되는 유방조직확장기에 대하여 MRI 환경 내 안전성에 대하여 평가하였다. 뒤집힘의 종합적 평가에서는 1.5T와 3.0T 환경에서 모두 자기장에 의한 Torque가 강하였지만 3.0T보다는 1.5T에서 생리식염수가 증가할수록 Torque가 덜한 것으로 나타났다. 유방조직확장기가 보어를 향하여 역방향으로 진입 시 생리식염수 주입 용량과 관계없이 모두 뒤집혔고, 정방향, 보어 밖에서 Isocenter 진입 시 생리식염수 300ml 이상 주입하였을 때 뒤집히지 않고 안정적으로 제 위치에 있었다. 하지만 Isocenter에서 보어 밖 방향으로 바뀌게 되면 역방향의 위치가 되어 자기장의 영향으로 인하여 뒤집힘이 발생하였다. 한 연구에서 유방조직 확장기의 Magnetic Valve 부분이 떨어져 나가도 생리식염수의 손실은 조금 발생하지만 유방조직확장기의 제거와 같은 외과적 수술 없이 유방 재건을 계속할 수 있다고 하였다.^[5] 그러므로 가능하다면 3.0T 환경과 역방향으로의 진입은 가급적 삼가고 유방재건술 중반 이후 1.5T MRI 장비에서 정방향으로 진입한다면 Magnetic Valve 탈락과 같은 위험을 줄일 수 있을 것이다. 또한 최근 논문에서 240mL 이상의 생리식염수가 채워진 유방조직확장기와 공기로 채워진 360mL의 부피의 유방 조직확장기에서 토크의 영향이 덜했고 생리식염수가 채워진 유방조직확장기의 변위를 방지하기 위해 120g의 무게가 필요하다고 하였다.^[6] 이와 상응하

는 부피 또는 무게로 봉대 같은 것을 사용하여 압박을 가하고 검사를 진행한다면 유방조직확장기의 인체 내 변위를 예방하는데 도움이 될 것이다.

온도 변화 측정에서는 모든 조건에서 눈에 띄는 온도 상승은 없었다. 검사 중 유도된 전류는 온도 변화를 가져올 수 있으나 유방조직확장기의 금속 성분인 **Magnetic Valve**는 비금속, 비전도성 물질 층에 의해 환자에게 직접 접촉하지 않고 절연된다. 또한 금속 성분이 작고 환자의 조직과 직접 접촉하지 않기 때문에, 온도 상승은 현실적으로 안정성 측면에서 고려해야 할 사항이 아니다.

실제로 본 논문에서 온도 변화를 측정한 결과 유방조직확장기의 MRI 검사 중 온도 변화는 실험 중 어떤 조건에서도 0.4°C 이상 상승하지 않았고 온도 조건만으로 본다면 안전하다고 볼 수 있다.

V. CONCLUSION

유방조직확장기 삽입 환자의 MRI 검사는 안전성 측면에서는 3.0T는 피하고 1.5T에서 조건부로 가능하다. MRI 검사가 꼭 필요한 경우 주로 1.5T 환경에서 검사가 진행해야 할 것으로 사료된다.

Reference

- [1] John-Paul Regan, Adam D. Schaffner, "Breast Reconstruction Expander Implant", National Center for Biotechnology Information, MD. dissertation, U.S. National Library of Medicine, Rockville Pike, Bethesda, USA, March, 2020.
- [2] Sadok N, Krabbe-Timmerman IS, de Bock GH, Werker PMN, Jansen L. "The Effect of Smoking and Body Mass Index on The Complication Rate of Alloplastic Breast Reconstruction", *Scandinavian Journal of Surgery*. Vol, 109, No. 2, pp. 143-150. 2020.
- [3] Maurizio B. Nava, Serena Bertoldi, Manuela Forti, Giuseppe Catanuto, Daniele Vergnaghi, Lina Altomare, Maria Cristina Tanzi, Silvia Farè, "Effects of the Magnetic Resonance Field on Breast Tissue Expanders", *Aesthetic Plastic Surgery*, Vol. 36, No. 4, pp. 901-907, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00266-012-9908-z>
- [4] Frederick J. Duffy, James W. May, "Tissue

Expanders and Magnetic Resonance Imaging", *Annals of Plastic Surgery*, Vol. 35, No. 6, pp. 647-649, 1995.

<http://dx.doi.org/10.1097/0000637-199512000-00015>

- [5] Peter W. Henderson, Jasmine Dosanjh, Christine H. Rohde, "Successful Breast Reconstruction Despite Dislodgement of Tissue Expander Magnetic Ports", *Aesthetic Surgery Journal*, Vol. 36, No. 10, pp. 307-309, 2016. <http://dx.doi.org/10.1093/asj/sjw148>
- [6] Marano Andrew A., Henderson Peter W., Prince Martin R., Dashnaw Stephen M., Rohde Christine H., "Effect of MRI on breast tissue expanders and recommendations for safe use. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*", *Journal Of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*, Vol. 70, No. 12, pp. 1702-1707, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bjps.2017.07.012>

유방 조직 확장기의 1.5T와 3.0T MRI 환경 내 안정성 평가

정동일, 김재석*

아주대학교병원 영상의학과

요 약

MRI 검사가 필요한 유방조직확장기 삽입 환자에 대해 체내 안전성을 평가하고자한다. 토크는 1.5 T 정방향 진입 시 0 ml, 150 ml, 300 ml, 450 ml 각각 4, 3, 3, 2이었고, 1.5 T 역방향 진입 시 각각 4, 4, 4, 3이었다. 3.0 T 환경에서는 모든 조건에서 4를 나타냈다. 뒤집힘 실험은 1.5 T 환경에서 300 ml 이상에서 뒤집힘이 발생하지 않았고, 3.0 T 환경에서는 대부분 뒤집힘이 발생하였다. 유방조직확장기 삽입 환자의 MRI 검사는 안전성 측면에서는 3.0 T는 피하고 1.5 T에서 조건부로 가능하다.

중심단어: 유방조직 확장기, 유방 MRI 안전성, 유방 재건술

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	정동일	아주대학교병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김재석	아주대학교병원 영상의학과	주임방사선사