

표면위치표지자를 적용한 정위적 부분유방방사선치료의 유용성 평가

연세암병원 방사선종양학과

김종열 · 정동민 · 김세영 · 유현종 · 최정환 · 박효국 · 백종걸 · 이상규 · 조정희

목 적: 사이버나이프를 이용한 정위적 부분유방방사선치료(Stereotactic Partial Breast Irradiation) 시 기존의 침습적인 위치표지자(Fiducial Marker) 삽입 방식이 아닌 비침습방식에 대한 유용성을 평가 하고자 한다.

대상 및 방법: 본 연구를 위한 영상 중심(Imaging Center)의 일치도는 2D모의치료기와 사이버나이프의 양사 방향(Both oblique, 45°, 315°) 영상 획득 후 다이스 유사 계수를 통해 정량적으로 평가하였다. 표면위치표지자의 위치 재현성은 본원 프로토콜을 기반으로 ATOM Phantom 표면에 금 재질의 위치표지자 8개를 부착하고 2D모의치료와 치료계획, 사이버나이프 영상을 분석하여 평가 하였다.

결 과: 영상 중심의 일치도 평가결과는 양사방향(45°, 315°)에서 각각 0.87, 0.9 였다. 표면위치표지자의 재현성 평가 결과 좌측 유방은 수평수직방향 Superior/Inferior 0.3 mm, Left/Right -0.3 mm, Anterior/Posterior 0.4 mm, 회전 방향 Roll 0.3°, Pitch 0.2°, Yaw 0.4° 로 나타났다. 우측 유방은 수평수직방향 Superior/Inferior -0.1 mm, Left/Right -0.1 mm, Anterior/Posterior -0.1 mm 회전 방향 Roll 0.2°, Pitch 0.1°, Yaw 0.1° 로 나타났다.

결 론: 사이버나이프를 이용한 정위적 부분유방방사선치료 시 표면위치표지자의 비침습 트로토콜을 기반으로 통증 및 감염 등의 예방과 전처치 시간을 줄이고 환자의 경제적 부담을 경감 할 수 있었으며, 영상 중심의 높은 일치도 및 위치표지자의 재현성을 바탕으로 치료에 유용할 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 사이버나이프, 정위적 부분유방방사선치료, 표면위치표지자, 프로토콜

서 론

2017년 보건복지부의 국가 암 등록사업 보고에 따르면 유방암은 국내 여성 암 중 가장 흔한 암으로 전체 여성 암의 20.3% 를 차지하며 여성 암 발병률 1위를 기록했다.⁽¹⁾

유방암의 치료는 기존의 유방절제술과 유방보존술(Breast Conserving Treatment, BCT)을 비교 시 동일한 성적을 보이면서 유방보존술의 비중이 더 높아지고 있다.

유방보존술은 유방보존수술(Breast Conserving Surgery, BCS)과 전유방방사선치료(Whole Breast Radiotherapy, WBRT)로 이루어지는데 전유방방사선치료는 5 ~ 6주간의 치료기간이 소요되고 짧지 않은 기간이 환자에게 부담으로 작용한다. 이에 따라 치료기간을 줄이기 위해 유방보존술 후 부분유방방사선조사(Partial Breast Irradiation, PBI)를 시행하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어왔다.⁽²⁾

유방암 방사선치료는 초기 유방암에 대한 선호 되는 치료 방법으로써 여러기관에서 부분유방방사선조사를 시행하기 위해 고 선량 근접 치료(High Dose Rate Brachytherapy), 수술 중 방사선치료(IntraOperative Radiotherapy, IORT)를 비롯해 3차원 입체 조형 방사선치료

책임저자: 김종열, 연세암병원 방사선종양학과
서울특별시 서대문구 연세로 50-1
Tel: 02) 2228-4350
E-Mail: smartyeol@yuhs.ac

(Three Dimensional-Conformal Radiotherapy, 3D-CRT), 세기 조절 방사선 치료(Intensity Modulation Radiation, IMRT), 체적 조절 회전 방사선치료(Volumetric Intensity Modulated Arc Therapy, VMAT), 토모테라피(Tomotherapy)와(3-8) 정위적 부분유방방사선치료(Stereotactic Partial Breast Irradiation, S-PBI) 방법인 양성자 치료(Proton Beam Therapy, PBT)(9) 및 사이버 나이프(CyberKnife) 등으로 시행되어 왔다. 특히 CyberKnife를 이용한 정위적 부분유방방사선치료는 멀티 카테터(Multi-Catheter)나 풍선 카테터(Balloon Catheter)를 이용한 근접 치료(Brachytherapy)와 유사한 계획용 표적체적(Planning Target Volume, PTV)의 양상을 보이고, 피부 표면이나 불규칙한 모양에도 치료가 가능하며 독성(Toxicity) 반응과 미용적 결과(Cosmetic result)가 개선되었다고 보고된 바 있다.(10-12) 또한 NASBP B-39/RTOG0413 에 적용했을 때 CyberKnife가 타 치료방법 보다 비 타겟 유방 조직용적(Non-Target Breast Tissue Volume, NTBTV)을 더 효과적으로 보호 할 수 있다고 보고 되었다.(13, 14)

본원에서는 CyberKnife와 선형가속기(Linear Accelerator, LINAC)의 체적 조절 회전 방사선치료기법으로 치료계획(30 Gy / 5 Fraction)을 수립한 후 비교평가했고, 동측성 유방(Ipsilateral breast)의 V_{15Gy}가 각각 23.4 %, 30.9 % 로 나타났다(Table 1). 선량적으로 비교했을 때 처방선량의 50 %(Ipsilateral breast V_{15Gy})가 조사되는 비 타겟

유방을 CyberKnife가 효과적으로 절약할 수 있음을 확인했으며, 이를 바탕으로 2015년부터 현재까지 다엽콜리메이터(Multi-Leaf Collimator, MLC)가 장착된 CyberKnife M6(Accuray Incorporated, USA)로 ASTRO 가이드라인에 근거한 환자군을 선별한 뒤 정위적 부분유방방사선치료를 시행하고 있다.(15, 16)

CyberKnife로 부분유방방사선치료를 하는 방법은 금침(Gold seed)을 위치표지자(Fiducial Marker, FM)로 사용하여 타겟(Target) 근처에 삽입하고, 동조호흡추적(Synchrony Respiratory Tracking System)과 위치표지자 추적(Fiducial Marker Tracking)을 한다. 영상유도(Image Guide)는 양사방향(Both oblique, 45°, 315°)으로 서로 직교하는 방사선 발생장치에서 킬로볼트(KV) 영상을 획득해 최소 60초 ~ 150초 간격으로 실시간 영상(Real time image)을 획득하며 치료한다.(17, 18)

일반적으로 위치표지자는 영상유도하에 체부 내 병변 근처에 침습적으로 삽입되며 부작용으로 기흉, 출혈, 통증 등의 다양한 합병증을 동반하고 위치표지자의 이동(Migration)으로 인해 치료의 부정확성을 유발할 수 있다.(19, 20) Hemmatazad 등의 연구는 복장뼈전이(Sternal metastasis)를 동반한 두 명의 환자를 대상으로 환자의 피부에 금침을 부착하여 치료를 시도했고, 병변이 비교적 표면에 가까운 경우 비침습적인 표면위치표지자를 이용한 CyberKnife 치료가 선택사항이 될 수 있다고 보고했다.(20)

Table 1. Compared plan CyberKnife and VMAT dosimetric outcomes of S-PBI

Dosimetric parameters	CyberKnife Mean (Min-Max range)	VMAT Mean (Min-Max range)
PTV V _{95%}	98.8 % (97.9-99.6 %)	99.9 % (99.5-100.0 %)
PTV D _{max}	105.5 Gy (105.3-106.4 Gy)	103.4 Gy (103.1-104.3 Gy)
Ipsilateral breast † V _{15Gy}	23.4 % (16.8-28.2 %)	30.9 % (20.7-35 %)
Ipsilateral breast † V _{30Gy}	1.2 % (0.7-1.6 %)	0.4 % (0.0-0.8 %)
Contralateral breast D _{max}	0.6 Gy (0.2-1.0 Gy)	0.7 Gy (0.6-0.9 Gy)
Ipsilateral lung V _{9Gy}	4.6 % (0.5-7.7 %)	5.3 % (2.9-7.4 %)
Heart V _{1.5Gy}	20.6 % (4.0-31.0 %)	19.7 % (3.9-32.8 %)
Heart mean dose	1.1 Gy (0.5-1.7 Gy)	1.1 Gy (0.6-1.9 Gy)

Vx %, percentage of volume receiving X % of the prescribed dose

Vx Gy, percentage of volume receiving X Gy

Dmax, maximum point dose

† Non-Target Breast Tissue Volume (Ipsilateral breast volume - PTV volume)

이에 본 연구는 CyberKnife를 이용한 정위적 부분유방방사선치료에서 비침습적인 표면위치표지자(Surface Fiducial Marker) 방식으로 영상유도의 유용성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

1. 위치표지자(Fiducial Marker, FM)

위치표지자는 금침(Gold seed)을 적용하였으며, 직경 0.7 ~ 1.2 mm, 길이 3 ~ 6 mm, 위치표지자 사이의 최소 간격은 2 cm 이상, 후전사방향(RAO, LAO) 또는 전후사방향(RPO, LPO)의 영상에서 위치표지자가 겹치지 않도록 비선형적 이어야 하고, 병소부위와 최소 6 cm 이내에 위치 및 정확도를 위해 4 ~ 6개를 사용하는 것이 권장된다 (Fig. 1).⁽²¹⁾

1) 영상 중심(Imaging Center) 확인

2D모의치료기(2D-Simulator, Simulix Evolution, Nucletron)와 CyberKnife의 영상 중심을 일치시키기 위해 2D모의치료실에서 자체 제작한 나무 재질의 Phantom을 정렬하기 위한 기준선을 표시하고, 직경 0.8 mm, 길이 3 mm의 금침 4개를 부착하여(Fig. 2) 하나의 금침을 Laser를 이용해 중심점(Isocenter)으로 설정하고, 선원표면간거리(Source Surface Distance, SSD) 100 cm에서 양사방향(45°, 315°) 영상을 획득한다. 전산화단층모의치료기(CT-Simulator, Aquilion LB, TSX-201A, Toshiba, Japan)로 영상을 획득하고, MultiPlan(Ver 3.3.0, Accuray, USA)에서 임의의 위치표지자를 중심점으로 지정 후 CyberKnife에서 중심점이 설정된 위치표지자에 Laser를 위치 시키고 영상을 획득하였다(Fig. 3).⁽²²⁾ 2D모의치료기와 CyberKnife에서 획득한 두 양사방향(45°, 315°) 영상 간 위치 일치도를 정량적으로 평가하기 위해 MATLAB R2019a(The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)로 다이스 유사 계수(Dice similarity coefficient)를 적용하였다.⁽²³⁾

2) 표면위치표지자의 재현성 평가

실험의 대상이 되는 ATOM Phantom에 실제 유방암 환자의 치료와 유사하도록 하기 위해 양쪽 유방(Both breast)에 실리콘 패드를 부착했으며 본원의 표면위치표지자 프로

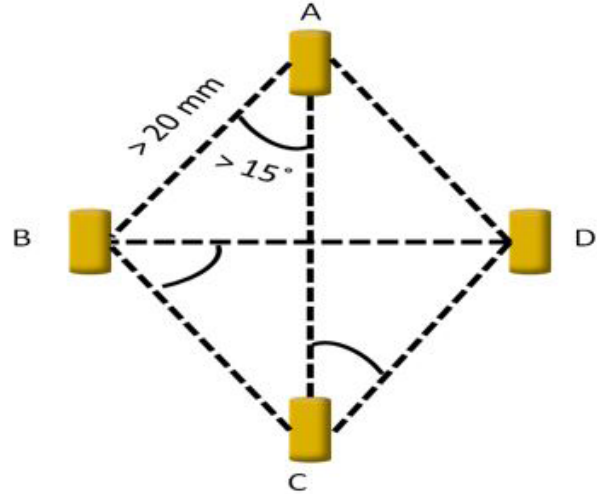


Fig. 1. Conditions of Fiducial Marker

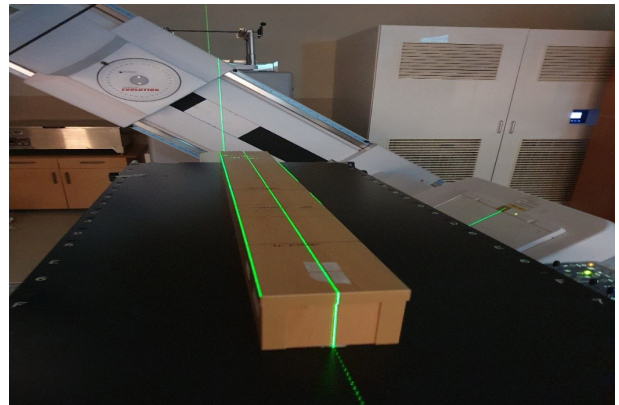


Fig. 2. Phantom made of woods in 2D Simulator

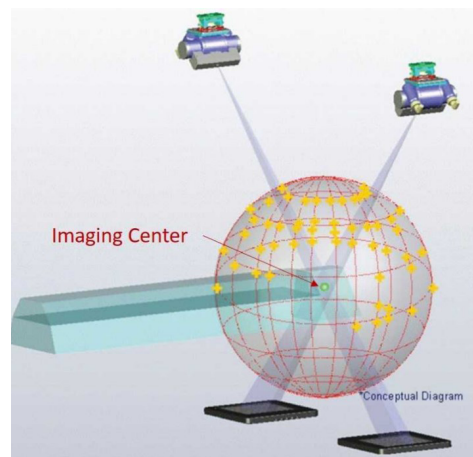


Fig. 3. Imaging Isocenter of CyberKnife

토콜(Protocol)을 기반으로 실험을 진행하였다(Fig. 4).

2D모의치료실에서 Phantom 체부에 몸의 정렬을 위한 기준선을 표시하고, 동일한 위치 표시를 하기 위해 각 4개의 모서리에 구멍을 뚫은 4 cm 간격의 정사각형 모양의 틀(Square frame)로 비선형적 위치를 위해 마름모꼴 형태로 양쪽 가슴에 금침 4개씩 총 8개를 틀의 모서리 위치에 부착한다(Fig. 5). 다음으로 양쪽 유방에서 임의의 금침 1개씩을 선택 후 중심점으로 하여 Laser를 위치시킨 후 선원

표면간거리 100 cm 에서 양사방향(45°, 315°)의 영상을 획득하였다(Fig. 6). 이 과정에서 금침이 척추뼈(Spine) 및 갈비뼈(Rib)에 겹치거나 선형적으로 겹치게 되면 다시 조정하여 영상을 획득한다.

대상 Phantom의 3차원적 영상을 획득하기 위해 전산화단층모의치료를 진행하였고, 검사 조건은 관전압 120 kVp, 관전류는 200 mA, Pitch는 0.5, 절편두께(Slice thickness)는 1 mm 로 한다. 치료계획에서 양쪽 가슴에

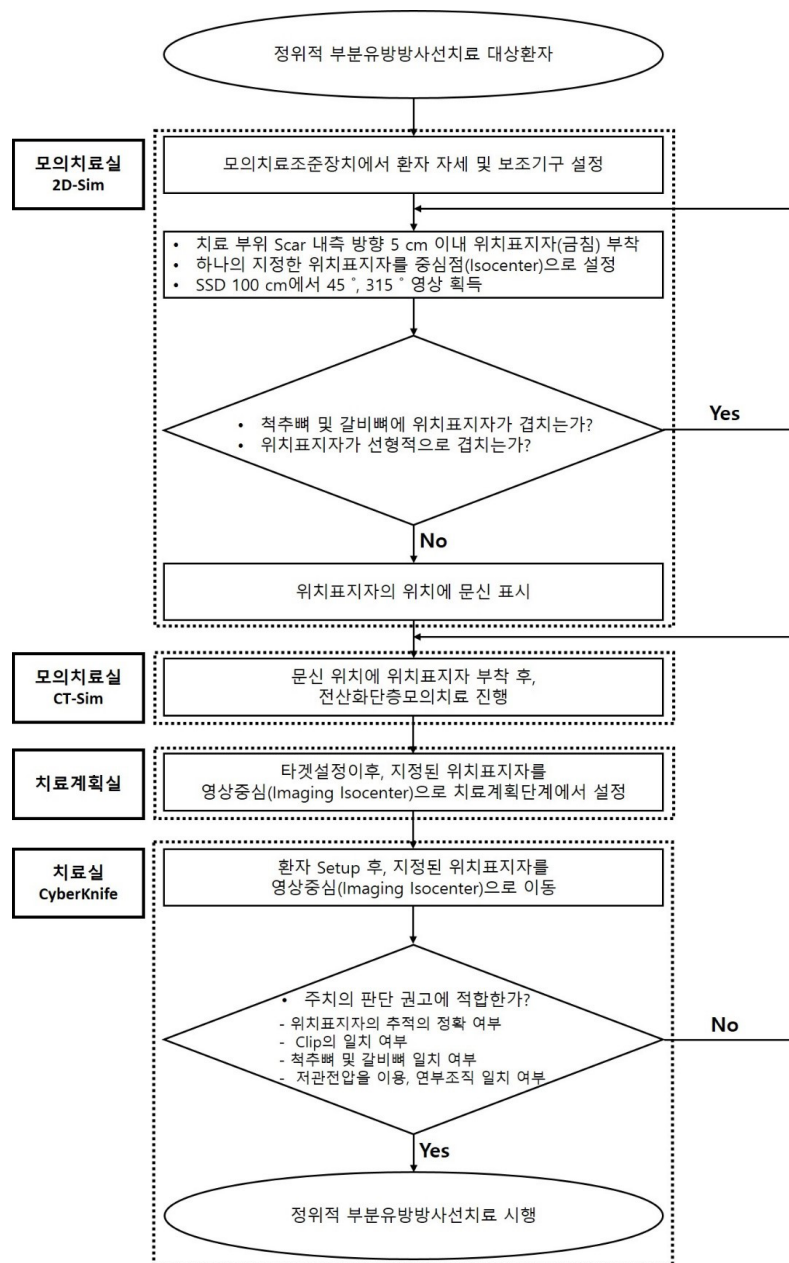


Fig. 4. Procedure of the Protocol in S-PBI Surface Fiducial Marker using CyberKnife

부착된 위치표지자 각 4개씩을 지정하고, 2D모의치료기에서 중심점으로 설정했던 하나의 위치표지자를 영상 중심의 기준점으로 선택하여 치료계획을 수립 한 후에 CyberKnife에서 전산화단층모의치료와 같은 자세를 구현하고 Laser를 선택된 위치표지자에 위치 시킨다. 영상의 비교는 디지털 재구성 영상(Digitally Reconstructed Radiographs, DRR)과 CyberKnife의 실시간 추적 영상을 통해 위치표지자를 추적하여 위치 재현성을 평가하였다.

결 과

1. 영상 중심(Imaging Center)

2D모의치료기와 CyberKnife에서 획득한 영상의 일치도(다이소 유사 계수)는 양사방향(45°, 315°)에서 각각 0.87, 0.9로 나타났다(Fig. 7).

2. 위치 재현성

위치표지자 추적 결과 오차 값은 좌측 유방(Lt breast)의 경우 수평수직방향(Translation)은 Superior/Inferior 0.3 mm, Left/Right -0.3 mm, Anterior/Posterior 0.4 mm 이었으며, 회전 방향(Rotation)은 Roll 0.3°, Pitch 0.2°, Yaw 0.4°였다. 우측 유방(Rt breast)의 경우 수평수직방향은 Superior/Inferior -0.1 mm, Left/Right -0.1 mm, Anterior/Posterior -0.1 mm 이었으며, 회전 방향은 Roll 0.2°, Pitch 0.1°, Yaw 0.1°로 나타났다(Fig. 8)[Table 2].

고찰 및 결론

본원에서는 유방보존수술 후 초음파 유도(Ultrasound-Guided)를 이용하여 침습적으로 금침을 삽입해 치료했으나 이후에 비침습적으로 상처가 아문 흉터(Scar) 부근에 4

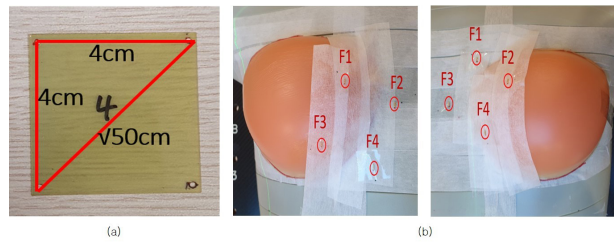


Fig. 5. (a) Diameter 4 cm Square frame, (b) ATOM Phantom of Rt Breast and Lt Breast attached with Surface Fiducial Marker

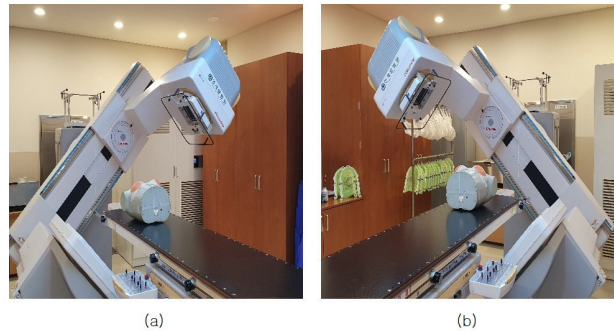


Fig. 6. Acquiring images from the angles at 45° and 315° in 2D Simulator

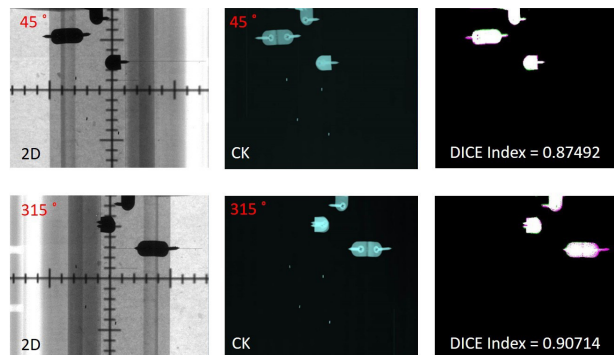


Fig. 7. DICE index value at 45°, 315° image obtained in CyberKnife and 2D simulator using Matlab

개의 금침을 부착하여 치료했다. 그러나 시간이 지나면서 상처(Wound)가 회복되어 금침의 위치를 표시해놓은 문신(Tattoo)의 위치가 이동되는 일이 잦았고, 치료 시 영상에

Table. 2. Phantom's Tolerance error result values

	SI (mm)	LR (mm)	AP (mm)	Roll (°)	Pitch (°)	Yaw (°)
Lt Breast	0.3	-0.3	0.4	0.3	0.2	0.4
Rt Breast	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.1	0.1

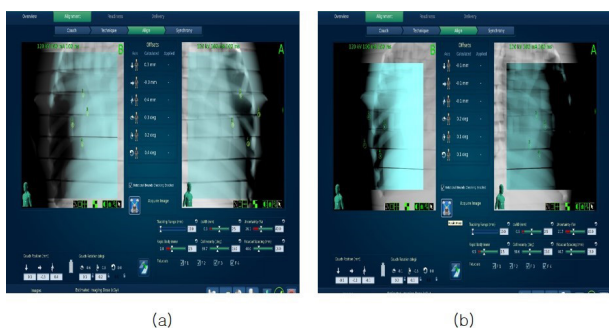


Fig. 8. Offsets error result of acquired images with (a) Lt breast, (b) Rt breast

서 갈비뼈와 척추뼈에 겹쳐 위치표지자 추적을 할 수 없는 경우가 발생했다. 따라서, 본원 프로토콜 적용 후 피부의 변화가 심하거나 뼈가 겹치는 부위를 피해 흉터에서 5 cm 이내 복장뼈 자루(Sternum body) 방향으로 평평한 위치에 금침을 부착하고, 2D모의치료를 이용해 45°, 315° 방향에서 뼈와 겹치지 않는 것을 확인하여 금침을 부착하고 문신으로 표시하는 방식을 사용하고 있다.

CyberKnife를 이용한 정위적 부분유방방사선치료의 침습적인 방식의 경우 본원에서뿐만 아니라 다른 기관에서도 유방의 크기와 상관없이 위팔뼈(Humerus) 또는 갈비뼈에 위치표지자가 겹쳐서 추적하기 어려웠던 적이 있었는데 이는 CyberKnife의 영상유도 특성상 고정된 영상방향(45°, 315°)으로 영상을 획득하기 때문에 위치표지자가 뼈와 겹치는 것을 치료 전에 파악하기는 어려웠다.⁽¹²⁾

이를 해결하기 위한 방법으로 치료 전 위치표지자의 위치 확인을 위해 영상 중심(Imaging Center)을 일치시키는 방법을 연구하였다. 2D모의치료기와 CyberKnife로 획득된 영상은 다이스 유사 계수를 이용하여 평가하였다. 다이스 유사 계수는 컴퓨터 비전에서 두 영상 간 공간중첩도를 정량적으로 평가하는데 널리 사용되는 계수로 0에서 1 사이의 값으로 표현되며 그 값이 1에 가까울수록 두 영상은 유사하다고 평가할 수 있다. 두 영상은 서로 다른 기하학적 환경으로 획득되었기 때문에 위치표지자 및 나무 Phantom의 픽셀(Pixel) 범위를 제외한 모든 픽셀을 억제하는 과정의 전처리를 수행했고, Otsu's method를 통해 원하는 관심 영역(Regions Of Interest, ROI)만을 추출할 수 있었다. 하지만 2D모의치료기로 획득된 영상의 경우 격자(Grid)가 위치표지자와 겹치는 현상이 발생 했는

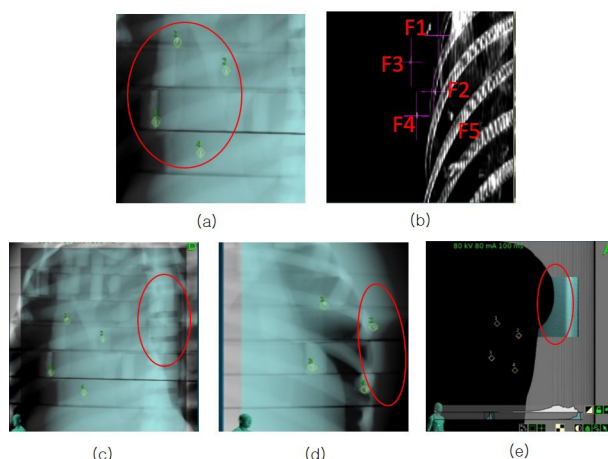


Fig. 9. Identifying possible risks by using Real Time Image (a) Surface Fiducial Marker Tracking, (b) Define the inserted surgical clip(F5) for Fiducial Marker in MultiPlan, (c) Align the Spine, (d) Align the Rib, (e) Check soft tissue using low kVp

데, 영상에서 위치표지자와 격자의 픽셀 강도가 유사하여 정확한 영상 분할을 수행할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 격자가 겹치지 않은 나무 Phantom의 구조물만으로 영상 중심의 일치 여부를 비교하였고, 다이스 유사 계수는 1에 근사치를 보였으므로 기하학적 위치 변이로 인한 문제가 없음을 확인할 수 있다. 다만, 다이스 유사 계수가 완벽한 일치도를 보이지 못한 이유는 두 영상의 ROI 및 배경 간 픽셀의 평균 차가 서로 상이하여 히스토그램 상 다봉분포(bimodality)의 불일치로 인한 Otsu's method의 한계로 해석된다. 이는 수치해석 기반 영상 분할의 수행으로 극복 가능하지만 본 연구에서는 위치 정확도 확인이 목적이었기에 Otsu's method만으로 진행했다.

이 근거를 바탕으로 ATOM Phantom을 이용한 실험을 진행했으며 결과값은 장비의 수직수평방향과 회전 방향의 허용 오차(Tolerance error)의 기준인 ± 10 mm, ± 1.5° (Roll, Pitch), ± 3° (Yaw)로 오차 범위 이내로 값이 충족되었다.⁽²⁴⁾

연구결과를 바탕으로 환자에 대해 척추뼈 및 갈비뼈와 겹치지 않고, 상처의 회복으로 문신의 이동을 방지하기 위해서 유방의 내측 방향(Medial direction)에 표면위치표지자를 부착 했을 때, CyberKnife의 동조호흡추적을 이용하여 어려움 없이 동일하게 추적되었다. 그러나 위치표지자가 실제 치료 병변이 아니기 때문에 위치표지자만을 추

적하여 치료하는 것은 부정확한 치료의 위험성이 있을 수 있다.

본원에서는 CyberKnife의 실시간 영상유도로 외과적 수술 후 삽입된 Clip의 위치를 치료계획에서 위치표지자로 지정하여 확인하거나 척추뼈와 갈비뼈, 위팔뼈를 정렬하고, 저관전압을 이용해 연부조직을 확인하는 등의 선택적인 방법을 통해 부정확한 위치 재현성을 줄일 수 있었으며(Fig. 10), 치료 진행 여부는 주치의 치료 시 확인 항목에 대한 평가에 따라 진행 하고 있다.

CyberKnife를 이용한 정위적 부분유방방사선치료 시 표면위치표지자를 적용한 본원의 치료 프로토콜은 Fig. 4와 같다.

정위적 부분유방방사선치료 시 주의사항으로는 첫째, 시행자들이 치료의 재현성을 높이기 위해서 금침의 어느 부분을 문신 위치에 올려놓을 것인지 미리 정의 해야 한다(Fig. 11). 둘째, 영상 중심에서 관측 시야(Field of View, FOV)는 16 cm x 22 cm 로 제한되어 있어, 어느 위치표지자를 영상 중심으로 설정하는지에 따라 영상유도에 참고를 위한 Clip, 유두(Nipple), 갈비뼈, 척추뼈 그리고 위팔뼈 등의 주변 해부학적구조물이 관측 시야의 범위 안에 포함 이 안 될 경우가 있다. 이런 경우 주변 해부학적 구조물을 관찰하기 용이한 위치표지자의 위치는 Fig. 5의 (b)에서 우측 유방의 F2, 좌측 유방의 F3이며, 본원에서는 이곳에 영상 중심을 지정하여 진행하고 있다.

본원의 프로토콜은 전산화단층모의치료기 단독으로는 시행할 수 없다는 한계점이 있다. 2D모의치료기를 이용하여 위치표지자의 위치가 고려되기 때문에 이 장비가 없는 기관에서는 시행하기가 어렵다. 본원에서는 다양한 치료 데이터를 통해 전산화단층모의치료기 단독 시행으로 정확

성이 높은 위치 추적이 가능하도록 추후 연구할 예정이다.

결론적으로 제시하는 본원의 CyberKnife를 이용한 정위적 부분유방방사선치료 시 표면위치표지자 프로토콜은 비침습적인 방법을 통해 환자의 통증 및 감염 등의 합병증을 예방할 뿐만 아니라 전치치료 인해 소요되는 시간을 줄이고 환자의 경제적 부담을 경감 할 수 있었으며, 2D모의치료기와 CyberKnife 영상 중심의 높은 일치도 및 위치표지자의 재현성을 바탕으로 치료에 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Hong S, Won YJ, Park YR, et al.: Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2017. *Cancer Res Treat* 2020;52:335-350
2. Kim KJ, Suh CO. Partial breast cancer (PBI). *J Korean Breast Cancer Soc* 2004;7:65-71
3. Strnad V, Ott OJ, Hildebrandt G, et al.: 5-year results of accelerated partial breast irradiation using sole interstitial multicatheter brachytherapy versus whole-breast irradiation with boost after breast-conserving surgery for low-risk invasive and in-situ carcinoma of the female breast: a randomised, phase 3, non-inferiority trial. *Lancet* 2016;387(10015):229-38
4. Herskind C, Wenz F.: Radiobiological comparison of hypofractionated accelerated partial-breast irradiation (APBI) and single-dose intraoperative radiotherapy (IORT) with 50-kV X-rays. *Strahlenther Onkol* 2010;186:444-451
5. Baglan KL, Sharpe MB, Jaffray D, et al.: Accelerated partial breast irradiation using 3D conformal radiation therapy (3D-CRT). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;55:02-311
6. Livi L, Meattini I, Marrazzo L, et al.: Accelerated partial breast irradiation using intensity-modulated

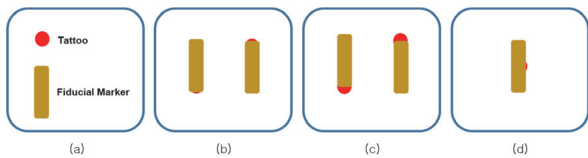


Fig. 10. (a) A Legend of tattoo and Fiducial Marker, (b) Tattoos covered on with upper or lower edge of the Fiducial Marker, (c) Half portion of tattoos covered on the upper or lower edge of the Fiducial Marker, (d) Tattoo placed on the center of Fiducial Marker

- radiotherapy versus whole breast irradiation: 5-year survival analysis of a phase 3 randomised controlled trial. *Eur J Cancer* 2015;51(4):451-63
7. La Rocca E, Lozza L, D'Ippolito E, et al.: VMAT partial-breast irradiation: acute toxicity of hypofractionated schedules of 30 Gy in five daily fractions. *Clinical and Translational Oncology* 2020;22,10:1802-1808
 8. Hui SK, Das RK, Kapatoes J, et al.: Helical tomotherapy as a means of delivering accelerated partial breast irradiation. *Technol Cancer Res Treat* 2004;3(6):639-46
 9. Chang JH, Lee NK, Kim JY, et al.: Phase II trial of proton beam accelerated partial breast irradiation in breast cancer. *Radiother Oncol* 2013;108:209-214
 10. Vermeulen SS, Haas JA.: CyberKnife stereotactic body radiotherapy and CyberKnife accelerated partial breast irradiation for the treatment of early breast cancer. *Translational Cancer Research* 2014;3(4):295-302
 11. Obayomi-Davies O, Kole TP, Oppong B, et al.: Stereotactic Accelerated Partial Breast Irradiation for Early-Stage Breast Cancer: Rationale, Feasibility, and Early Experience Using the CyberKnife Radio-surgery Delivery Platform. *Front Oncol* 2016;6:129
 12. Lozza L, Fariselli L, Sandri M, et al.: Partial breast irradiation with CyberKnife after breast conserving surgery: a pilot study in early breast cancer. *Radiat Oncol* 2018;13(1):49
 13. Rault E, Lacornerie T, Dang HP, et al.: Accelerated partial breast irradiation using robotic radiotherapy: a dosimetric comparison with tomotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy. *Radiat Oncol* 2016;11:29
 14. Lee CY, Kim WC, Kim HJ, et al.: Dosimetric Plan Comparison of Accelerated Partial Breast Irradiation (APBI) Using CyberKnife. *Prog Med Phys* 2018;29(2):73-80
 15. Lee WH, "Developing a Novel High-precision Radiotherapy for Low Risk Early-stage Breast Cancer in Korean Women - Stereotactic Partial Breast Irradiation with CyberKnife M6." Dissertation, Seoul The Graduate School Yonsei University, 2019.
 16. Correa C, Harris EE, Leonardi MC, et al.: Accelerated Partial Breast Irradiation: Update of an ASTRO Evidence-Based Consensus Statement Conflict of Interest Disclosure Statement. *Pract Radiat Oncol* 2017;1-26
 17. Rahimi A, Thomas K, Spangler A, et al.: Preliminary Results of a Phase 1 Dose-Escalation Trial for Early-Stage Breast Cancer Using 5-Fraction Stereotactic Body Radiation Therapy for Partial-Breast Irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2017;98(1):196-205
 18. Seiler S, Rahimi A, Choudhery S, et al.: Ultrasound-Guided Placement of Gold Fiducial Markers for Stereotactic Partial-Breast Irradiation. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207(3):685-8
 19. Kim JH, Hong SS, Kim JH, et al.: Safety and efficacy of ultrasound-guided Fiducial Marker implantation for CyberKnife radiation therapy. *Korean J Radiol* 2012;13(3):307-13
 20. Hemmatazad H, Schmidhalter D, Elicin O, et al.: Herrmann E. Skin surface markers for stereotactic body radiation therapy of sternal metastasis. *Rep Pract Oncol Radiother* 2019;24(4):322-4
 21. Accuray Inc. Treatment Delivery In, CyberKnife Treatment Delivery Manual, 2014;V10,x:5-21
 22. Dieterich S, Gibbs IC.: The CyberKnife in clinical use: current roles, future expectations. *Front Radiat Ther Oncol* 2011;43:181-94

23. Kelly HZ, Simon KW, Clare MCT, et al.: Statistical validation of image segmentation quality based on a spatial overlap index1: scientific reports. Academic radiology 2004;11,2:178-189

24. Accuray Inc. Treatment Delivery In. CyberKnife Treatment Delivery Manual, 2014;V10,x:7-58,59

Evaluation of usefulness for Stereotactic Partial Breast Irradiation(S-PBI) by using Surface Fiducial Marker

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center

**JongYeol Kim, DongMin Jung, SeYoung Kim, HyunJong Yoo, JungHoan Choi,
HyoKuk Park, JongGeol Baek, SangKyu Lee, JeongHee Cho**

Purpose: The goal of this study is to evaluate usefulness of noninvasive method instead of previous inserting Fiducial Marker Method when performing Stereotactic Partial Breast Irradiation in CyberKnife.

Material and methods: For consistency of Imaging Center, we evaluated both oblique images at angle 45 and 315 acquired from 2D Simulator and CyberKnife quantitatively through dice similarity coefficient. Also, location reproducibility of Surface Fiducial Marker was analyzed from 2D Simulator, treatment plans and CyberKnife images by using 8 Fiducial Markers made of gold attached to ATOM Phantom based on our institution's protocols.

Results: The results of the estimated consistency were 0.87 and 0.9 at the oblique angle 45 and 315, respectively. For location consistency of Surface Fiducial Markers, values of horizontal vertical direction of left breast were Superior/Inferior 0.3 mm, Left/Right -0.3 mm, Anterior/Posterior 0.4 mm, and the values of rotational direction were Roll 0.3 °, Pitch 0.2 °, Yaw 0.4 °. The values of horizontal vertical direction of right breast were Superior/Inferior -0.1 mm, Left/Right -0.1 mm, Anterior/Posterior -0.1 mm, and the values of rotational direction were Roll 0.2°, Pitch 0.1°, Yaw 0.1°.

Conclusions: We expect that the protocols used by Surface Fiducial Markers when performing Stereotactic Partial Breast Irradiation in CyberKnife will provide protection from pain and cut expenses for treatment and reduce treatment errors and make treatment more accurate by suggesting treatment protocols based on high consistency of Imaging Center and reproducibility of Fiducial Markers.

▶ **Key words:** Cyberknife, Stereotactic Partial Breast Irradiation, Surface Fiducial Marker, Protocol