

# 표면유도환자셋업(Surface-Guided Patient Setup, SGPS)을 활용한 Markerless환자의 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)시 유용성 평가

이대서울병원 방사선종양학과

이경재 · 이응만 · 이정수 · 김다연 · 고현준 · 최신철

**목 적:** 본 연구는 표면유도환자셋업(Surface-Guided Patient Setup, SGPS)을 활용한 Markerless환자(피부에 표시를 시행하지 않은 환자)와 레이저기반환자셋업(Laser-Based Patient Setup, LBPS)을 활용한 Marker환자(피부에 표시를 시행한 환자)를 영상유도방사선치료(Image Guided Radiotherapy, IGRT)로 시행했을 때 환자 위치 정확도를 비교하여 SGPS의 유용성을 평가하는데 목적이 있다.

**대상 및 방법:** 3개의 카메라를 이용한 광학 표면 스캐닝시스템을 사용하여 SGPS로 초기 셋업한 Markerless 환자와 환자 피부에 그려진 Marker와 레이저를 정렬하는 LBPS로 초기 셋업한 Marker환자의 IGRT시 위치 오차를 비교하였다. SGPS, LBPS 모두 각각 전립선암 환자 20명, 뇌정위적방사선수술(Stereotactic Radiation Surgery, SRS) 환자 10명을 대상으로 시행하였고 SGPS의 경우는 추가로 유방암 환자 60명을 대상으로 시행하였다. 모두 CBCT 또는 OBI를 사용하여 IGRT를 시행하였다. 자동위치교정시스템(Auto-Matching System)을 이용하여 6방향(6 Degree Of Freedom, 6 DoF)의 위치 오차를 획득하였고 치료계획시스템에서 Offline-Review를 이용하여 비교, 분석하였다.

**결 과 :** 전립선암환자의 SGPS와 LBPS의 RMS(Root Mean Square) 차이는 Vrt -0.02cm, Log -0.02cm, Lat -0.01cm, Pit -0.01°, Rol -0.01°, Rtn -0.01°이었고 SRS 환자는 Vrt 0.02cm, Log -0.05cm, Lat 0.00cm, Pit -0.30°, Rol -0.15°, Rtn -0.33°으로 두 부위 모두 큰 차이가 없었다. 유방암환자의 IGRT기준 RMS는 Vrt 0.26, Log 0.21, Lat 0.15, Pit 0.81, Rol 0.49, Rtn 0.59으로 나타났다.

**결 론 :** 본 연구의 결과 LBPS 대비 SGPS의 위치 오차 값은 전립선암 환자와 SRS 환자의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 추가로 실시한 SGPS의 유방암 환자의 경우에도 IGRT기준으로 위치 오차 값이 크지 않았다. 따라서 환자 피부 표시를 필요로 하지 않는 큰 장점을 가진 SGPS로 LBPS를 대체하기에 유용할 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 표면유도 환자셋업, Markerless, 레이저기반 환자셋업, IGRT

## 서 론

영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)의 개발을 포함하여 최근 몇 년 동안 방사선 치

료에서 주요 기술 발전이 이루어져 왔다. 현재로서는 IGRT 없이 방사선 치료를 생각할 수 없다. IGRT는 영상을 사용하여 치료 직전, 치료 중, 치료 후 신체 내부 구조의 위치를 확인하는 기술이다.<sup>(1)</sup> 현재 모든 방사선 치료 장치에는 환자위치오차에 대해 작은 변화라도 감지하고 수정할 수 있는 고품질 영상획득시스템이 있다.<sup>(2)</sup> 이러한 정교한 고품질영상획득시스템은 표적 및 위험 장기(Organ At Risk, OAR)의 정확한 위치를 확인하여 치료 정확도를 향상시

책임저자: 최신철, 이대서울병원 방사선종양학과  
서울특별시 강서구 공항대로 260  
Tel: 02) 6986-3474  
E-Mail: 70297s@eumc.ac.kr

키고 획득한 위치 오차는 치료테이블로 보정된다.<sup>(3-4)</sup> 하지만 영상화로 인한 방사선량 증가, ALARA(as low as reasonably achievable) 원칙 등을 감안할 때 정확한 비선량적인 셋업시스템이 필요하게 되었다. 그래서 최근 몇 년 동안 환자의 위치를 파악하기 위해 광학 표면 스캐닝을 사용하는 표면유도방사선치료(Surface-Guided Radiation Therapy, SGRT)의 임상 사용이 증가했다. 일반적으로 SGRT 시스템은 프로젝터와 하나 또는 여러 카메라 장치의 조합을 사용하여 실시간 환자의 3D 표면, 치료 중심 위치에 대한 수직 및 회전 방향에서 환자의 위치 오차를 계산하는 데 사용된다.<sup>(5)</sup> SGRT는 환자 위치를 지속적으로 모니터링하여 환자 안전<sup>(6-7)</sup>과 편안함<sup>(8-9)</sup>을 개선하고 동시에 더 높은 정밀도 및 재현성<sup>(10)</sup> 또한 정확한 표적 조사<sup>(11)</sup>를 통해 결과를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 표면유도환자셋업(Surface-Guided Patient Setup, SGPS)을 활용한 실제 Makerless환자(피부 표시를 시행하지 않은 환자)와 레이저기반환자셋업(Laser-Based Patient Setup, LBPS)을 활용한 Marker환자(피부 표시를 시행한 환자)를 영상유도방사선치료(Image Guided Radiotherapy, IGRT)로 시행했을 때, 환자 위치 오차 값을 비교하여 SGPS의 유용성을 평가하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 환자 선택

본원의 2020년 8월부터 2021년 8월까지 치료 받았던 환자를 대상으로 하였다. 초기 셋업 방법 별로 각각 전립선암 환자 20명, 뇌정위적방사선수술(Stereotactic Radiation Surgery, SRS) 환자 10명을 대상으로 시행하였고 SGPS 초기 셋업의 경우는 추가로 유방암 환자 60명을 대상으로 시행하였다. 각 부위의 총 치료 횟수는 전립선암 환자 1100회, SRS 환자 56회, 유방암 환자 865회를 시행하였고 각 데이터는 Table 1에 표시하였다.

### 2. 실험 재료

SGPS는 3개의 영상 획득용 카메라를 이용한 Vision RT(ver6.2, Align RT, England)를 사용하여 초기 셋업하였

고 LBPS는 환자 피부에 표시된 Marker와 치료실 내부 레이저를 정렬하여 초기 셋업하였다. 두가지 초기 셋업 방법 모두 Truebeam STx(Varian Medical System, USA)의 CBCT(Cone Beam Computed Tomography) 또는 OBI(On-Board Imager)를 사용하여 이미지를 획득하였고 자동위치교정(Auto-Matching)을 통해 6방향(6 Degree Of Freedom, 6 DOF)의 위치 오차 값을 획득하였다. 치료계획 시스템(Eclipse Treatment Planning System, Ver15.6, Varian)의 Offline-Review를 통해 위치 오차 값을 분석하였다.

각 부위에 맞게 고정기구(Immobilization Device)를 이용하였다.(Fig. 1)

### 3. 초기 셋업 방법

LBPS는 환자 피부에 표시된 Marker와 치료실 내부 레이저를 최대한 정렬하여 초기 셋업하였고, SGPS는 각 환자 별 치료중심(Iso-center)에 맞게 ROI(Region Of Interests)를 그린 후 방향 별 위치 오차 값이 최대한 0(zero)에 가깝게 셋업하였다.(Fig. 2)

### 4. 위치 오차 값 획득

SGPS와 LBPS의 방법으로 초기 셋업 후, 자동위치교정(Auto-Matching)을 이용하여 위치 오차 값을 획득하였고 치료계획시스템의 Offline-Review를 통해 위치오차 값을 분석하였다.(Fig. 3)

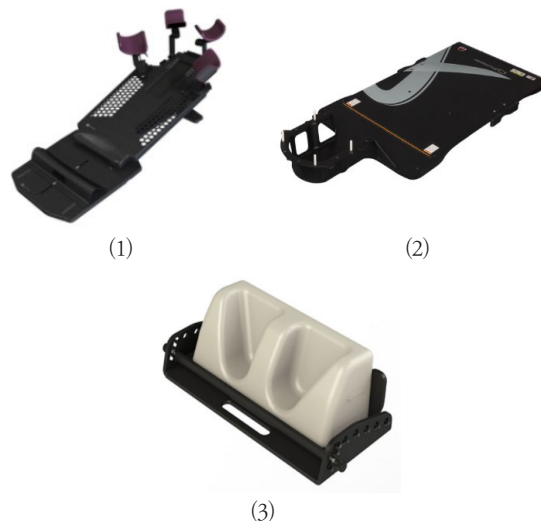


Fig. 1. Each part for immobilization device (1) Breast Board (2) Hyperarc board (3) feet fix

### 5. 분석 방법

전립선암 환자와 SRS 환자는 각각 SGPS와 LBPS의 위치 오차 값을 비교하였고 유방암환자는 SGPS의 위치 오차 값을 IGRT 기준으로 분석하였다. 위치 오차 값의 분석은 RMS(Root Mean Square)와 SD(Standard Deviation)를 이용하였다.

RMS(Root Mean Square)의 식은 아래와 같다.[Eq. 1]

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} \text{ ----- [Eq. 1]}$$

$x$  : 위치오차값

$N$  : 총횟수

SD(Standard Deviation)의 식은 아래와 같다.[Eq. 2]

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - m)^2 + (x_2 - m)^2 + \dots + (x_N - m)^2}{N}} \text{ [Eq. 2]}$$

$m$  : 평균

$x$  : 위치오차값

$N$  : 총횟수



Fig. 2. Align RT Treatment Image (1) Breast (2) Prostate (3) BrainSRS

**Table 1.** Patient position error Maximum, Minimum and Number of fractions

	Vertical [cm]	Longitudinal [cm]	Lateral [cm]	Pitch [°]	Roll [°]	Rotation [°]
	Min ~ Max					
Breast(fx 487)	-0.55~1.18	-0.97~0.84	-0.76~0.74	-2.00~2.60	-1.80~1.80	-1.60~2.50
SGPS Prostate(fx 489)	-0.61~0.64	-0.65~0.37	-1.11~0.53	-1.90~3.00	-2.00~1.50	-1.60~1.00
LBPS Prostate(fx 655)	-0.61~1.03	-0.71~0.04	-1.35~0.53	-1.90~3.00	-2.00~1.50	-1.60~1.00
SGPS BrainSRS(fx 27)	-0.01~0.19	-0.26~0.02	-0.18~0.28	-0.40~1.00	-0.80~0.70	-0.50~0.40
LPBP BrainSRS(fx 39)	-0.23~0.14	-0.26~0.50	-0.09~0.32	-2.30~1.20	-1.10~1.10	-1.40~1.20

**Table 2.** Comparison of standard deviation and RMS of Surface-Guided Patient Setup and Laser-Based Patient Setup for prostate cancer, stereotactic brain radiotherapy, and breast cancer

		Vrt	Lng	Lat	Pitch	Roll	Rtn
		[cm]	[cm]	[cm]	[°]	[°]	[°]
SGPS Prostate	SD	0.22	0.17	0.21	0.77	0.40	0.40
	RMS	0.22	0.18	0.24	0.95	0.41	0.46
LBPS prostate	SD	0.24	0.19	0.21	0.76	0.41	0.41
	RMS	0.24	0.20	0.23	0.96	0.42	0.47
RMS 차이		-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
SGPS BrainSRS	SD	0.10	0.06	0.10	0.37	0.38	0.26
	RMS	0.11	0.09	0.13	0.41	0.38	0.29
LBPS BrainSRS	SD	0.09	0.27	0.10	0.72	0.54	0.62
	RMS	0.09	0.14	0.13	0.71	0.53	0.62
RMS 차이		0.02	-0.05	0.00	-0.30	-0.15	-0.33
Breast	SD	0.21	0.20	0.15	0.68	0.49	0.58
	RMS	0.26	0.21	0.15	0.81	0.49	0.59

## 결 과

### 1. 전립선암 환자의 경우 SGPS와 LBPS의 위치 오차

#### 값 분석- RMS, SD, RMS 차이

전립선암 환자의 경우 SGPS의 위치 오차 값 RMS는 Vrt 0.22cm, Lng 0.18cm, Lat 0.24cm, Pit 0.95°, Rol 0.41°, Rtn 0.46° 로 나타났으며 위치 오차 값 SD는 Vrt 0.22cm, Lng 0.17cm, Lat 0.21cm, Pit 0.77°, Rol 0.40°, Rtn 0.40° 로 나타났다. LBPS의 위치 오차 값 RMS는 Vrt 0.24cm, Lng 0.20cm, Lat 0.23cm, Pit 0.96°, Rol 0.42°, Rtn 0.47° 로 나타났으며 위치 오차 값 SD는 Vrt 0.24cm, Lng 0.19cm, Lat 0.21cm, Pit 0.76°, Rol 0.41°, Rtn 0.41° 로 나타났다. SGPS와 LBPS의 위치 오차 값 RMS 차이는 Vrt

-0.02cm, Lng -0.02cm, Lat -0.01cm, Pit -0.01°, Rol -0.01°, Rtn -0.01° 로 나타났다.(Table 2)

### 2. SRS 환자의 경우 SGPS와 LBPS의 위치 오차 값

#### 분석- RMS, SD, RMS 차이

SRS 환자의 경우 SGPS의 위치 오차 값 RMS는 Vrt 0.11cm, Lng 0.09cm, Lat 0.13cm, Pit 0.41°, Rol 0.38°, Rtn 0.29° 로 나타났으며 위치 오차 값 SD는 Vrt 0.10cm, Lng 0.06cm, Lat 0.10cm, Pit 0.37°, Rol 0.38°, Rtn 0.26° 로 나타났다. LBPS의 위치 오차 값 RMS는 Vrt 0.09cm, Lng 0.14cm, Lat 0.13cm, Pit 0.71°, Rol 0.53°, Rtn 0.62° 로 나타났으며 위치 오차 값 SD는 Vrt 0.09cm, Lng 0.27cm, Lat 0.10cm, Pit 0.72°, Rol 0.54°, Rtn 0.62° 로

나타났다. SGPS와 LBPS의 위치 오차 값 RMS 차이는 Vrt 0,02cm, Lng -0,05cm, Lat 0cm, Pit -0,30°, Rol -0,15° Rtn -0,33° 로 나타났다.(Table 2)

### 3. 유방암 환자의 경우 SGPS의 위치 오차 값 분석-RMS, SD

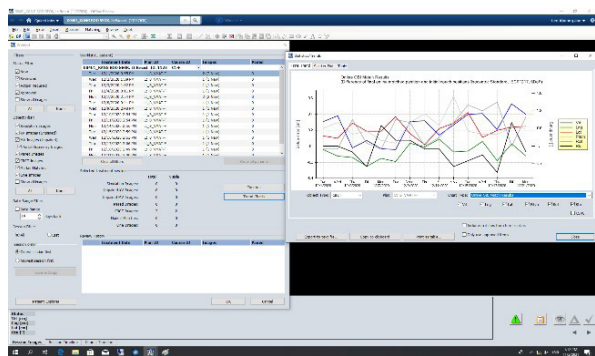
유방암 환자의 경우 SGPS의 위치 오차 값 RMS는 Vrt 0,26cm, Lng 0,21cm, Lat 0,15cm, Pit 0,81°, Rol 0,49°, Rtn 0,59° 로 나타났으며 위치 오차 값 SD는 Vrt 0,21cm, Lng 0,20cm, Lat 0,15cm, Pit 0,68°, Rol 0,49°, Rtn 0,58° 로 나타났다. 위치 오차 값 RMS, SD 모두 0,3cm, 1° 이내로 분석되었다.(Table 2)

### 4. 전립선암 환자와 SRS 환자의 경우 SGPS와 LBPS의 위치 오차 값 분석- SD

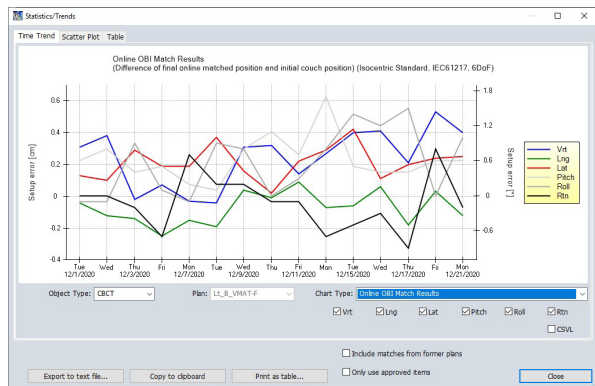
전립선암환자와 SRS 환자의 경우 SGPS와 LBPS의 위치 오차 값 SD를 각각 그래프로 나타내었다.(Fig. 4)

## 고찰 및 결론

본 연구의 분석 결과 SGPS와 LBPS의 환자 셋업 위치 오차 값은 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 오히려 SRS 환자의 경우에는 SGPS가 Pitch, Roll, Rotation 방향에서 위치 오차 값이 LBPS보다 더 작았다. 유방암 환자의 경우에는 본원의 SGRT 개시 이전 환자들의 방사선치료계획(3D conformal Plan)과 SGRT 개시 이후 방사선치료계획



(1)



(2)

Fig. 3. (1) Offline Review Image

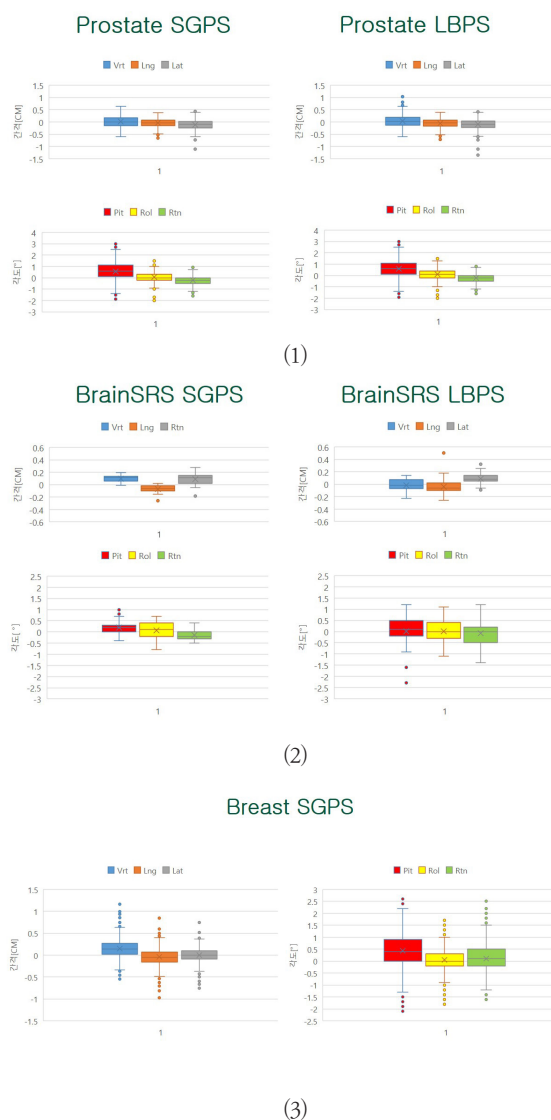


Fig. 4. (1) Comparison of standard deviation surface-guided patient setup and laser-based patient setup for prostate (2) Comparison of standard deviation surface-guided patient setup and laser-based patient setup for stereotactic brain radiotherapy (3) Standard deviation of surface-guided patient setup for Breast

획(IMRT Plan) 방식이 달라 SGPS와 LBPS의 환자 셋업 위치 오차 값을 비교할 수 없었다. 하지만 IGRT기준으로 위치 오차 값의 RMS와 SD를 분석하였을 때 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

SGRT의 역할은 환자의 위치 및 모니터링의 정확성<sup>(12-13)</sup>과 효율성이 향상<sup>(14)</sup>이 된다고 잘 알려져 있다. 여러 연구에서도 LBPS를 활용한 방사선치료와 비교하여 위치 오차 값이 유사하거나 향상된 정확도를 나타내고 있다.<sup>(16-18)</sup> 따라서 SGPS가 LBPS를 대체하기에 무리가 없을 것으로 생각되며 SGPS를 적극 활용하여 Markerless환자를 치료한다면 피부 표시 등 불필요한 요소를 제거할 수 있고 환자의 피폭선량 감소에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Sun B, Chang J, Rong Y.: The more IGRT systems, the merrier?. *J Appl Clin Med Phys*. 2017;18(4):7-11
2. Delombaerde L, Petillion S, Michiels S, Weltens C, Depuydt T.: Development and accuracy evaluation of a single-camera intrabore surface scanning system for radiotherapy in an O-ring linac. *Phys Imaging Radiat Oncol*. 2019;1(11):21-6.
3. Rossi M. IGRT from 2D to 4D, changing the verification paradigm. Netherlands Cancer Institute, Amsterdam. *Radiother Oncol*. 2018;127:S125-126.
4. Dawson LA, Sharpe MB.: Image guided radiotherapy: rationale, benefits, and limitations. *Lancet Oncol*. 2006;7:848-85
5. P. Freislederer, M. Kügele, M. Öllers, et al.: Recent advanced in Surface Guided Radiation Therapy. *Radiation Oncology (2020)* 15:187
6. Manger RP, Paxton AB, Pawlicki T, Kim GY.: Failure mode and effects analysis and fault tree analysis of surface image guided cranial radiosurgery. *Med Phys*. 2015 May 1;42(5):2449-61.
7. Rusu I, Thomas TO, Roeske JC, Mescioglou I, Melian E, Surucu M.: Failure mode and effects analysis of linac-based liver stereotactic body radiotherapy. *Med Phys*. 2020:mp.13965.
8. Lau SKM, Patel K, Kim T, Knipprath E, Kim GY, Cerviño LI, et al.: Clinical efficacy and safety of surface imaging guided radiosurgery (SIG-RS) in the treatment of benign skull base tumors. *J Neuro-Oncol*. 2017 Apr 1;132(2): 307-12.
9. Zhao B, Maquilan G, Jiang S, Schwartz DL.: Minimal mask immobilization with optical surface guidance for head and neck radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys*. 2018;19(1):17-24
10. Stanley DN, Mcconnell KA, Kirby N, Gutiérrez AN, Papanikolaou N, Rasmussen K.: Comparison of initial patient setup accuracy between surface imaging and three point localization: a retrospective analysis. *J Appl Clin Med Phys*. 2017 Nov 1;18(6):58-61.
11. Batin E, Depauw N, MacDonald S, Lu H-MM.: Can surface imaging improve the patient setup for proton postmastectomy chest wall irradiation? *Pract Radiat Oncol*. 2016 Nov 1;6(6):e235-41.
12. Al-Hallaq H, Salter BJ.: Safety and quality improvements with SGRT. In: Hoisak JDP, Paxton AB, Waghorn B, Pawlicki TA.: *Surface guided radiation therapy*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis; 2020. p. 25-50.
13. Al-Hallaq HA, Gutierrez AN, Cerviño LI.: Surface guidance in radiation therapy, in *The modern technology of radiation therapy*, vol. 4, J. Van Dyk, Ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing.
14. Haraldsson A, Ceberg S, Ceberg C, Bäck S, Engelholm S, Engström PE.: Surface-guided tomotherapy improves positioning and reduces treatment time: retrospective analysis of 16 835 treatment fractions. *J*

- Appl Clin Med Phys 2020;21:139-48.
15. F. Walter, P. Freislederer, C. Belka, C. Heinz, M. Söhn, and F. Roeder,: Evaluation of daily patient positioning for radiotherapy with a commercial 3D surface-imaging system (Catalyst™), Radiat Oncol, vol. 11, Nov. 2016, doi: 10.1186/s13014-016-0728-1.
16. D. N. Stanley, K. A. McConnell, N. Kirby, A. N. Gutiérrez, N. Papanikolaou, and K. Rasmussen,: Comparison of initial patient setup accuracy between surface imaging and three point localization: A retrospective analysis, J Appl Clin Med Phys, vol. 18, no. 6, pp. 58-61, Nov. 2017, doi: 10.1002/acm2.12183.
17. A. Haraldsson, S. Ceberg, C. Ceberg, S. Bäck, S. Engelholm, and P. E. Engström,: Surface-guided tomotherapy improves positioning and reduces treatment time: A retrospective analysis of 16 835 treatment fractions, Journal of Applied Clinical Medical Physics, Jun. 2020, doi: 10.1002/acm2.12936

# Evaluation of the usefulness of IGRT(Image Guided Radiation Therapy) for markerless patients using SGPS(Surface-Guided Patient Setup)

Ewha Womans University Seoul Hospital

Lee Kyeong-jae, Lee Eung-man, Lee Jeong-su, Kim Da-yeon, Ko Hyeon-jun, Choi Shin-cheol

**Purpose:** The purpose of this study is to evaluate the usefulness of Surface-Guided Patient Setup by comparing the patient positioning accuracy when image-guided radiation therapy was used for Markerless patients(unmarked on the skin) using Surface-Guided Patient Setup and Marker patients(marked on the skin) using Laser-Based Patient Setup.

**Materials And Methods:** The position error during IGRT was compared between a Markerless patient initially set up with SGPS using an optical surface scanning system using three cameras and a Marker patient initially set up with LBPS that aligns the laser with the marker drawn on the patient's skin. Both SGPS and LBPS were performed on 20 prostate cancer patients and 10 Stereotactic Radiation Surgery patients, respectively, and SGPS was performed on an additional 60 breast cancer patients. All were performed IGRT using CBCT or OBI. Position error of 6 degrees of freedom was obtained using Auto-Matching System, and comparison and analysis were performed using Offline-Review in the treatment planning system.

**Result:** The difference between the root mean square (RMS) of SGPS and LBPS in prostate cancer patients was Vrt -0.02cm, Log -0.02cm, Lat 0.01cm, Pit -0.01°, Rol -0.01°, Rtn -0.01°, SRS patients was Vrt 0.02cm, Log -0.05cm, Lat 0.00cm, Pit -0.30°, Rol -0.15°, Rtn -0.33°. there was no significant difference between the two regions. According to the IGRT standard of breast cancer patients, RMS was Vrt 0.26, Log 0.21, Lat 0.15, Pit 0.81, Rol 0.49, Rtn 0.59.

**Conclusion:** As a result of this study, the position error value of SGPS compared to LBPS did not show a significant difference between prostate cancer patients and SRS patients. In the case of additionally performed SGPS breast cancer patients, the position error value was not large based on IGRT. Therefore, it is considered that it will be useful to replace LBPS with SGPS, which has the great advantage of not requiring patient skin marking..

► **Key words:** Surface-Guided Patient Setup, Markerless, Laser-Based Patient Setup, IGRT