

Head Mount Display (HMD)를 이용한 안구의 고정 및 감시장치의 임상사용 가능성 확인

*울산대학교 의과대학 울산대학교병원 방사선종양학과, †서울아산병원 방사선종양학과,

‡Department of Radiation Oncology, University of Maryland School of Medicine,

§고신대학교복음병원 방사선종양학과

고영은* · 박성호† · 이병용‡ · 안승도† · 임상욱§
이상욱† · 신성수† · 김종훈† · 최은경† · 노영주*

CCD 카메라가 부착된 head mounted display (HMD)를 이용하여 포도막 흑색종(uveal melanoma)을 치료하기 위해 외부 침투적 고정장치 없이 안구의 움직임을 감시할 수 있는 안구의 고정 및 감시장치를 제작하여 임상 사용 가능성을 확인하고자 하였다. 안구 고정 및 감시장치 시스템은 환자의 안구를 고정시키기 위해 환자의 초점을 일정하게 해 줄 수 있는 스크린이 달린 head mount display (HMD) 장치와 고정된 안구를 감시할 수 있게 HMD에 부착시킨 CCD 카메라, 그리고 환자의 머리를 고정시키는 마스크로 구성되어 있다. CCD 카메라가 부착되어 있는 HMD를 마스크 위에 부착하여, HMD의 스크린에서 보여주는 기준점을 환자가 주시하도록 하여 환자의 안구를 고정시킬 수 있었다. 본 연구는 4명의 지원자와 정위적 방사선수술을 시행하는 한 명의 포도막 흑색종 환자를 대상으로 하였다. 4명의 지원자에게서는 셋업에 따른 오차와 안구의 움직임을 분석하는 자료를 얻었고, 한명의 환자에게서는 임상 사용의 가능성을 확인하였다. 환자는 HMD를 착용한 후 스크린에서 보여지는 기준점에 안구를 고정시킨 후, CT 촬영을 하였다. 방사선 수술기간 동안에도 치료 전에 치료계획을 위한 CT 촬영 시와 동일한 조건에서 매일 CT 촬영을 시행하였고, 이것을 치료계획을 위해 촬영한 CT 영상과 비교하여, 방사선 치료를 받는 기간 동안 수정체의 움직임을 비교하였다. 4명의 지원자의 자료에서 얻은 셋업에 따른 오차는 1 mm 이내였으며, 안구의 움직임도 2 mm 이내의 오차범위 내에 고정할 수 있었다. 본 연구에서 제작한 안구의 고정 및 감시장치는 외부 침투적 고정장치 없이 환자의 안구를 성공적으로 고정시켜 포도막 흑색종의 정위적 방사선수술을 시행할 수 있게 하였다. 이로써 자체 제작한 안구의 고정 및 감시장치의 임상 사용의 가능성을 확인하였다.

중심단어: 포도막 흑색종, 정위적 방사선치료, 안구고정장치

서 론

성인에 있어서 흑색종(melanoma)은 안구에서 흔히 발생할 수 있는 종양으로 맥락막(choroids), 섬모체(ciliary body), 홍채(iris)로 이루어진 포도막(uvea)에서 발생한다. 포도막 흑색종(uvea melanoma)은 전통적으로 안구적출술로 치료되어 왔으나,¹⁾ 안구적출술로 종양을 완전히 제거하는 것이 전이 확산이나 생존적인 측면에서 안구보존치료와 비교할 때 이점이 없기 때문에 안구를 보존하는 종양 제어가 포도

막 흑색종 치료의 가장 중요한 목표로 인식되었다.^{1,2)} 포도막 흑색종의 다른 치료방법으로는 방사선치료나 transpupillar thermotherapy를 병행한 방사선 치료를 시행하고 있다. 흑색종은 일반적으로 방사선치료에 영향을 많이 받지 않는다고 믿어왔음에도 불구하고 눈과 시각을 보존하고자 하는 경우에 가장 흔한 치료 방식이 되어 왔다.¹⁻³⁾

지난 몇 년간, 정위적 방사선 조사(stereotactic external beam irradiation)는 작고, 구형의 형태로 잘 분리된 종양체적에 고선량의 방사선조사를 한번 혹은 분할하여 수행할 경우에 효율적인 치료방법으로 인정을 받아오고 있다. 정위적 방사선 수술(SRS, stereotactic radiosurgery)은 단일 조사 치료 방법을 말하는 것이고, 분할 방사선 치료(fractionated stereotactic radiotherapy)는 방사선량을 여러 번에 나눠서 조사하는 것을 말한다. 감마나이프를 사용하여 치료하는 포도막 흑색종에 대한 정위적 방사선 조사기술은 연구가 계속되어

이 논문은 2006년 12월 13일 접수하여 2007년 3월 19일 채택되었음.

책임저자 : 노영주 (682-714) 울산시 동구 진하동 290-3

울산대학교병원 방사선종양학과

Tel: 052)250-8719, Fax: 052)201-8799

E-mail: radonc@hanmail.net

왔으며 82~98% 정도의 종양 제어가 보고되고 있다. 일반적인 정위적 방사선수술 장치인 감마나이프를 기본으로 하는 수술 기법의 단점은 skull fixed head-frame을 이용한 침습적 고정(invasive immobilization)을 해야 한다는 것으로 이는 환자의 두개골에 직접 고정장치를 부착시켜야 하므로 여러 번 분할치료를 할 수 없어 분할 방사선 치료(fractionated radiotherapy)의 방사선생물학적인(radiobiological) 이점을 살릴 수 없다.^{4,5)} 이에 선형가속기를 이용한 분할 방사선치료가 10년 넘게 두개부(cranial) 치료에 유용하게 사용됨으로써 감마나이프를 이용한 방사선수술의 대안이 될 수 있음을 보여줘 왔다. 분할 방사선치료에서 사용되는 다양한 비침습적 고정장치(non-invasive fixation)는 분할 치료를 요하는 정위적 방사선치료에서 환자를 고정하는데 매우 유용하다. 분할 정위적 방사선치료의 전제 조건은 전 치료 과정 동안에 환자가 안전하게 고정되어야 하며, 이는 매번 치료 시 처음과 같이 재현 가능하고, 또한 신뢰성이 있어야 한다는 것이다. 포도막 흑색종 환자의 경우 이러한 분할 정위적 방사선 치료의 조건을 만족시켜주는 두개부 고정장치가 있어야 하고, 치료부위가 안구 주위이므로 눈의 움직임으로 인해 발생할 수 있는 추가적인 자유도로 인해 치료가 더욱 복잡해진다.^{1,5)}

따라서 본 연구는 포도막 흑색종을 치료하기 위해 외부 침습적 고정 장치 없이 CCD 카메라가 부착된 HMD를 이용하여 안구의 움직임을 확인하고, 고정시킬 수 있는 안구 고정 및 감시장치를 제작하였고, 이를 분할 정위적 방사선 수술에 적용시켜 이 감시장치의 임상 사용 가능성을 확인하고자 한다.

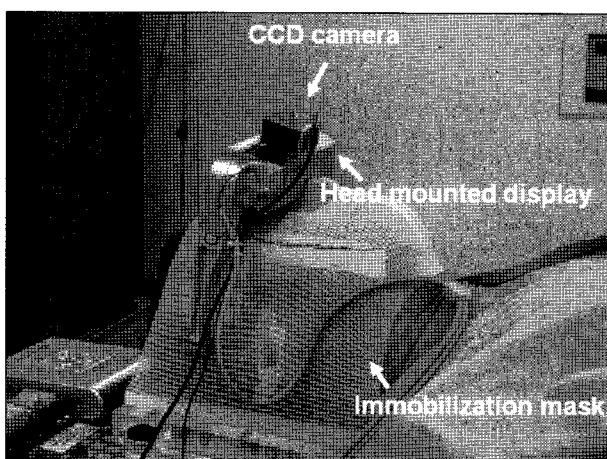


Fig. 1. Patient setup wearing a head mount display (HMD) with a CCD camera in a treatment position.

대상 및 방법

1. 안구 고정 및 감시장치 시스템 구성

자체 제작한 안구 고정 및 감시장치 시스템은 환자의 머리를 고정시키는 마스크와 환자의 안구 고정용 스크린이 달린 Head Mount Display (HMD), 고정된 안구를 감시할 수 있게 HMD에 부착시킨 CCD 카메라, 그리고 CCD 카메라에서 얻어진 영상을 저장하고 이를 분석할 수 있는 데이터 분석용 컴퓨터로 구성되었다(Fig. 1).

HMD는 고글 형태의 개인용 스크린으로 이 스크린 통해 초점을 고정시킬 수 있는 화면을 보여줌으로써 환자가 무의식 중에 움직일 수 있는 안구의 움직임을 안정화하였다. 또한 스크린을 보면서 초점을 기준점(reference point, 본 연구에서는 원모양을 기준점으로 하였음, Fig. 2)에 고정시키고 있는 환자가 실제로 안구를 움직이지 않는지 감시할 수 있게 HMD에 CCD 카메라를 부착하였다. CCD 카메라에서 얻어진 동영상은 컴퓨터에 저장하고, 이를 분석할 수 있게 하였다(Fig. 3).

2. 연구 방법

본 연구는 4명의 지원자와 분할 정위적 방사선수술을 시행하는 한 명의 포도막 흑색종 환자를 대상으로 하였다. 4명의 지원자들에서는 HMD를 사용했을 때의 셋업에 따른 오차와 HMD 착용 시 안구의 움직임을 확인하였고, 포도막 흑색종 환자의 경우 지원자들에게서 얻은 데이터를 토대로 HMD를 사용하여 분할 정위적 방사선수술 시 그 유용성을 확인하고자 하였다.

먼저 지원자의 얼굴에 머리 고정용 마스크를 씌우고, 눈

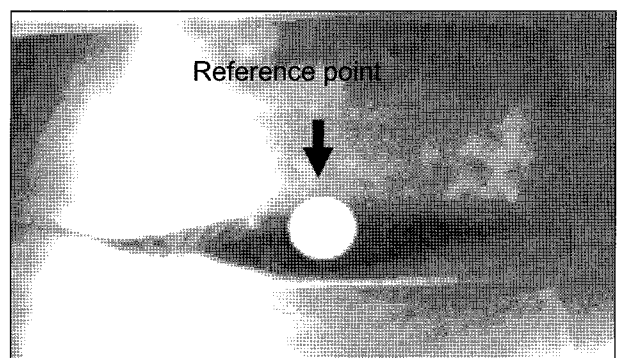


Fig. 2. Patient's eye through the CCD camera and the given reference point.

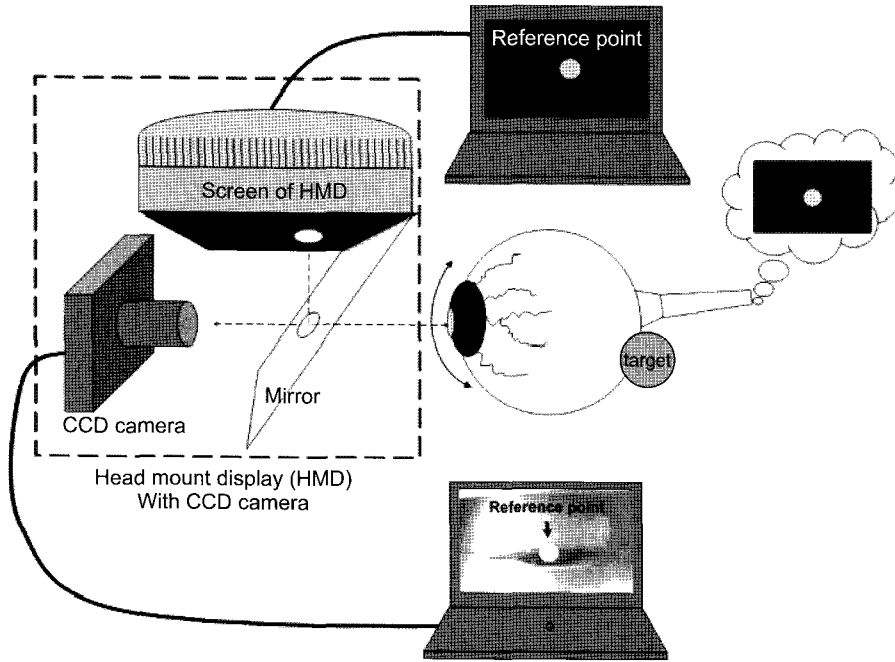


Fig. 3. Scheme for the system to fix and monitor eye by a head mount display (HMD) with a CCD camera: using translucent mirror, patient can see the given reference point on the screen of HMD and, at the same time, the motion of eye can be monitored through the CCD camera attached to HMD.

주위의 마스크를 올려낸다. 마스크 위에 HMD를 착용시킨 후 스크린에서 보여지는 기준점에 지원자의 초점을 고정시키도록 하였다. 초점이 고정된 상태에서 CCD 카메라로 눈동자의 위치와 안구의 움직임을 30~60초 동안 동영상으로 저장하고, 안구 움직임의 변화를 확인하였다. 또한 마스크를 쓰는 과정에서부터 동영상 촬영까지 3번 반복하였으며, 새로 재현하기 전 10분에서 20분 휴식을 취함으로써 셋업의 재현성을 관찰하였다. 이 과정을 4명의 지원자들에게 동일하게 적용하였다. 지원자들에게서 얻어진 영상에서 마스크와 HMD 탈부착의 반복 시 발생할 수 있는 셋업 오차를 측정하였으며, 안구 움직임의 변화 자료를 얻었다.

포도막 흑색종 환자의 경우, HMD를 부착시키는 과정과 HMD에서 보여지는 스크린에 환자의 초점을 기준점에 고정시키는 과정은 지원자와 동일하게 적용되었다. 환자는 HMD를 착용한 후 스크린에서 보여지는 기준점에 안구를 고정시키고, 치료계획을 세우기 위한 CT촬영을 하였다. CT 영상은 겹 없이 3 mm 간격으로 얻었다. 분할 정위적 방사선수술은 총 4회로 시행하며, 치료하는 동안 치료계획을 위한 CT 영상과 동일한 조건에서 매일 CT 촬영을 시행하였고, 이것을 치료계획을 위해 촬영한 CT 영상과 비교하여, 치료 동안의 수정체의 움직임을 비교하였다.

3. 데이터 분석

CCD 카메라에서 얻은 동영상을 1초당 30프레임의 JPEG

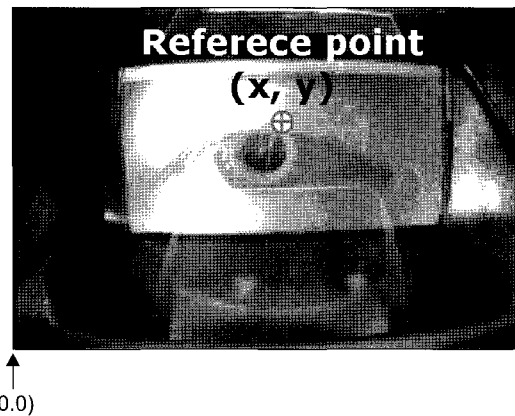


Fig. 4. Image coordinator system: reference point coordinator (cm).

영상으로 변환하였다. 변환된 영상(픽셀 단위)을 밀리미터 단위로 변환하여 Fig. 4와 같이 좌측 아래를 (0,0)의 좌표로 하는 직각 좌표계를 설정하였다. 셋업오차를 확인하기 위해 각 프레임에서 보여지는 기준점의 중심을 마우스로 찍어서 좌표값을 알 수 있게 프로그래밍하였으며, 셋업을 반복할 때마다 기준점의 위치 좌표를 확인하여 비교하였다. 안구의 움직임도 동영상 촬영시간 동안 마찬가지로 각 프레임당 동공 좌표값의 변화를 확인하였다.

한 명의 환자는 치료계획을 위해 촬영한 CT 영상에서 수정체의 위치를 표시하고, 매 회 치료 전 같은 조건에서

CT 촬영 시행 후 수정체의 위치를 표시하여 치료계획을 위한 CT 영상과 비교하는 방법을 취하였다.

결 과

4명의 지원자들의 CCD 카메라 영상 자료를 바탕으로 HMD의 착용 시 셋업 오차와 안구 움직임의 변화를 알 수 있었다. 반복되는 셋업 시 발생할 수 있는 셋업 오차는 영상에서 보여지는 기준점의 좌표값 변화로 비교하였으며,

Table 1. Setup reproducibility for four volunteers: verification of reference point coordinator (cm).

	1 st setup		2 nd setup		3 rd setup	
	x	y	x	y	x	y
Volunteer 1	3.97	3.23	3.97	3.24	3.97	3.24
Volunteer 2	3.81	3.02	3.79	3.01	3.79	3.02
Volunteer 3	3.97	3.15	3.97	3.15	3.97	3.14
Volunteer 4	3.97	3.54	3.96	3.56	3.96	3.56

그 변화가 1 mm 이내였다(Table 1). 안구의 움직임도 동영상 촬영 시간인 30~60초 동안 동공의 중심 좌표값의 변화를 비교하였다. 이때 안구의 움직임은 2 mm 이내(Table 2)의 오차범위에서 고정할 수 있었다(Fig. 5).

분할 정위적 방사선치료시 4회 치료 동안 4번의 CT를 찍

Table 2. Analysis of eyeball movement (mm).

		Eyeball movement (average)	Standard deviation
Volunteer 1	x	0.1	0.1
	y	0.1	0.2
	Distance	0.2	0.2
Volunteer 2	x	0.1	0.1
	y	0.1	0.1
	Distance	0.1	0.1
Volunteer 3	x	0.1	0.2
	y	0.2	0.1
	Distance	0.2	0.3
Volunteer 4	x	0.2	0.3
	y	0.2	0.4
	Distance	0.4	0.5

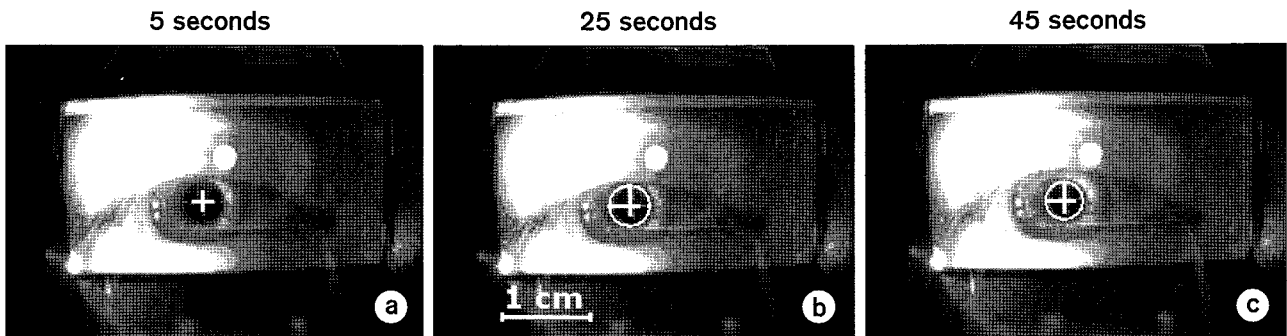


Fig. 5. Analysis of eyeball movement.

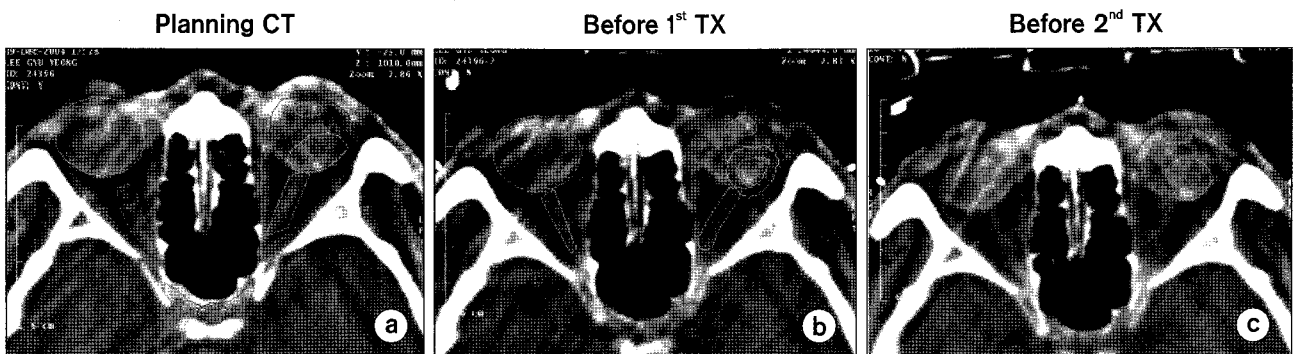


Fig. 6. Motion of patient lens.

어서 치료계획을 위해 촬영한 CT 영상과 비교하여, 수정체의 변화를 확인하였다. 이것은 치료계획을 위한 CT 영상에서 해부학적인 fiducial marker를 결정하고, 치료 전 찍은 CT 영상과 fiducial marker가 일치하는 영상에서 수정체의 변화를 살펴보았다. 포도막 흑색종 환자의 정위적 방사선 수술 시 수정체 움직임은 3 mm 이내였다(Fig. 6). 이로써 본 연구에서 제작한 안구고정 및 감시장치의 임상 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 외부 침습적 고정장치 없이 안구의 움직임 고정하고, 이를 감시할 수 있는 장치를 개발하였다. 이 장치는 무의식 중에서도 움직일 수 있는 안구를 환자에게 일정한 화면을 제시해 줌으로써 안구의 움직임을 최소화 할 수 있었다. 따라서 정확성이 필요한 안구 부분의 분할 정위적 방사선 수술을 시행하는데 있어서 도움이 될 것이라 생각되어, 먼저 4명의 지원자를 통해서 이 장치가 실제로 안구를 고정해 줄 수 있는지 가능성을 확인하였다. 지원자들을 통한 연구에서 셋업시 발생할 수 있는 오차와 안구의 움직임을 제어할 수 있는 것을 확인하였다(Table 1, 2). 또한 본 연구에서 시행하였던, 포도막 흑색종의 정위적 방사선수술을 시술하는데 있어서도 성공적으로 안구를 고정시킬 수 있었다. 이로써 자체 제작한 안구의 고정 및 감시장치의 임상 사용의 가능성을 확인하였다.

그러나 자체 제작한 안구 고정 및 감시 장치는 HMD에 CCD 카메라를 직접 부착시킨 것이므로 CT 영상 촬영 시 HMD와 카메라의 부품들로 인해 이미지 왜곡이 나타남을 볼 수 있었다(Fig. 6). 이런 영상의 왜곡은 중앙과 중요장기들의 정확한 형태를 그리는데 방해요소가 될 수 있어 정확

한 치료에 영향을 줄 수 있고, HMD의 스크린 부위와 CCD 카메라가 있는 부분을 빼고 빔방향을 설정했어야 하므로 치료계획을 세울 때에도 제약이 따랐다. 따라서 안구고정 및 감시 장치는 CT 영상이 왜곡되는 부분에 대한 연구가 더 필요하고, CT 영상뿐만 아니라 MRI 영상을 촬영할 때를 대비하여 보완 연구가 필요하다고 생각된다.

더불어 안구 감시 장치의 응용적인 활용으로는 이 장치를 안구를 고정시키는 장치로 뿐만 아니라, 호흡연동 방사선치료 등의 치료 시 환자가 본인의 호흡상태를 직접 눈으로 보면서 호흡을 할 수 있는 보조장치 역할을 한다면 더욱 치료효과를 높일 수 있을 것이라고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Muller K, Nowak P, Luyten GPM, et al: A modified re-locatable stereotactic frame for irradiation of uveal melanoma: Design and evaluation of treatment accuracy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 58:284-291 (2004)
2. Bogner J, Petersch B, Georg D, et al: A non-invasive eye fixation and computer aided eye monitoring system for LINAC based stereotactic radiotherapy of uveal melanoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56:1128-1136 (2003)
3. Zehetmayer M, Kitz K, Menapace R, et al: Local tumor control and morbidity after one to three fractions of stereotactic external beam irradiation for uveal melanoma. *Radiother Oncol* 55:135-144 (2000)
4. Petersch B, Bogner J, Dieckmann K, Potter R, George D: Automatic real-time surveillance of eye position and gating for stereotactic radiotherapy of uveal melanoma. *Med Phys* 31:3521-3527 (2004)
5. Dieckmann K, Bogner J, Georg D, Zehetmayer M, Kren G, Potter R: A linac-based stereotactic irradiation technique of uveal melanoma. *Radiother Oncol* 68:49-56 (2001)

Clinical Implementation of an Eye Fixing and Monitoring System with Head Mount Display

Young Eun Ko*, Seoung Ho Park[†], Byong Yong Yi[†], Seung Do Ahn[†], Sangwook Lim[§], Sang-wook Lee[†], Seong Soo Shin[†], Jong Hoon Kim[†], Eun Kyung Choi[†], Young Ju Noh*

*Department of Radiation Oncology, Ulsan University Hospital, College of Medicine University of Ulsan, Ulsan, [†]Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, College of Medicine University of Ulsan, Seoul, [‡]Department of Radiation Oncology, University of Maryland School of Medicine, Maryland, USA, [§]Department of Radiation Oncology, Kosin Univeristy Gospel Hospital, Busan, Korea

A system to non-invasively fix and monitor eye by a head mounted display (HMD) with a CCD camera for stereotactic radiotherapy (SRS) of uveal melanoma has been developed and implemented clinically. The eye fixing and monitoring system consists of a HMD showing patient a screen for fixing eyeball, a CCD camera monitoring patient's eyeball, and an immobilization mask. At first, patient's head was immobilized with a mask. Then, patient was instructed to wear HMD, to which CCD camera was attached, on the mask and see the given reference point on its screen. While patient stared at the given point in order to fix eyeball, the camera monitored its motion. Four volunteers and one patient of uveal melanoma for SRS came into this study. For the volunteers, setup errors and the motion of eyeball were analyzed. For the patient, CT scans were performed, with patient's wearing HMD and fixing the eye to the given point. To treat patient under the same condition, daily CT scans were also performed before every treatment and the motion of lens was compared to the planning CT. Setup errors for four volunteers were within 1 mm and the motion of eyeball was fixed within the clinically acceptable ranges. For the patient with uveal melanoma, the motion of lens was fixed within 2 mm from daily CT scans. An eye fixing and monitoring system allowed immobilizing patient as well as monitoring eyeball and was successfully implemented in the treatment of uveal melanoma for SRS.

Key Words: Uveal melanoma, Stereotactic radiotherapy, Eye fixing and monitoring system