

# 구강암 환자의 종양 선량 측정을 위한 *In-vivo* Diode Dosimetry의 유용성 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

나경수, 이제희, 박흥득

**목적** : 3차원치료계획(3D plan)과 대항2문조사(POP plan)의 선량 계획시 치료표적(Planning Target Volume, PTV)와 정상조직(Organ at Risk, OAR)에 실제 흡수되는 선량을 반도체검출기를 이용하여 실시간선량측정(Real-time dosimetry)을 시행함으로써 치료계획의 타당성을 확인하고자 한다.

**대상 및 방법** : 실제 치료할 환자의 구강암을 채워줄 Aquaplaste를 Simulation과정에서 제작하여 측정하고자 하는 부위에 Aquaplaste를 성형하여 반도체 검출기가 자리할 공간을 확보한다. 치료시 반도체검출기를 측정부위에 위치시키고 치료가 진행중 각 Port에 해당하는 Electrometer의 지시치를 얻는다. 얻은 지시치에 선량변환계수(Diode Calibration Factor, DCF)를 이용하여 실제 선량으로 환원하여 Exp. Dose와 실제 Dose를 비교하여 오차를 구한다. 실험의 수를 증가시켜 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 Alderson Rando phantom (Huestis, USA)을 이용하여 같은 실험을 반복한다.

**결과** : 대항2문조사를 한 A환자의 경우 Exp.value와 측정선량의 비(exp.D/eff.D)가 197.5/199로 -1.2%, 3차원치료계획을 한 B환자는 exp.D/eff.D가 199.9/198.7로 +0.6%, C환자의 경우 exp.D/eff.D가 196/200으로 -1.5%가 차이 남을 알 수 있었다. 또 Target dose 외에 방어하고자 하는 부위의 측정도 병행한 C환자의 결과치는 96/200으로 47%의 선량이 측정되어 방어의 목적을 달성했음을 알 수 있었다. Phantom을 이용한 측정에서는 A환자와 같이 ㉠ point (target), ㉡ point (protect)로 나누어 측정하여 다음의 결과치를 얻었다. Phantom 1 ㉠: 190.6/198.4=-3.9%, ㉡: 119.6/124.2=-3.7%, Phantom 2 ㉠: 185.4/191.3=-3%, ㉡: 109.6/113.8=-3.7%의 결과치를 얻어 목적인 선량에 ±5% 이내로 만족함을 알 수 있었다.

**결론** : 반도체검출기를 이용한 치료전 선량 측정의 유용성을 알아본 이번 실험은 Target dose뿐만 아니라 방어하고자 하는 영역 또한 알아봄으로써 치료의 타당성을 확인하는 데 매우 유용했고 단순선량계산에 의한 확인되지 않는 Target dose를 확인하는 데에도 큰 이점이 있다고 생각된다. 치료 전 L-gram과 같이 이런 측정은 매우 효과적으로 치료방법의 타당성과 이후의 치료계획에도 많은 이득을 가져다 줄 것이라고 생각된다.

**적용** : Nasal cavity, Ear, Rectum, Axilla, Vagina, Oral

**핵심용어** : *in-vivo* diode dosimetry, diode

## I. 서론

이 논문은 2005년 5월 31일 접수하여 2005년 9월 6일 채택되었음.

책임저자 : 나경수, 서울대학교병원 방사선종양학과  
Tel: 02)2072-3374 Fax: 02)2072-2521  
E-mail: nks555@naver.com

방사선 치료에서 치료의 정확성을 확인하기 위해 시행되는 대표적인 방법으로 Film이나 EPID를 이용한 L-gram 등을 예시할 수 있다. L-gram의 시행목적은 치료계획에 의한 조사부위와 실제 치료 조사부위가

정확히 일치하고 있는지, 차폐하고자 하는 부위가 정확하게 차폐되고 있는가를 확인하는 데 있다. 하지만 L-gram은 단순히 치료 Set-up 및 육안으로 확인되는 조사야등만을 확인함으로써 그 효용성의 한계가 있으며 실제 그보다 더 중요 시 여겨야 할 종양부위(Target volume)나 정상조직(OAR)의 선량 평가는 잘 이루어지지 못하고 있다. 반면 정확한 치료를 위하여 진단에서는 CT, MRI, PET 등 첨단 장비와 방사선 치료에서는 삼차원입체조형치료(3D-conformal Radiation Therapy, 3D-CRT), 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 영상유도하방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT) 등 정밀 방사선치료기술이 발전, 보편화되어 가고 있다.

이렇게 치료기술이 정밀해짐으로써 환자의 자세 Set-up, 장비의 출력, 고려되지 않은 조직 내 불균질 물질등이 더욱더 치료의 정확성에 영향을 미치게 되고 이런 영향으로 발생하는 RTP상의 치료계획과 실제 환자의 종양부위에서의 선량의 오차를 확인 할수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다. 특히, 불 균질물질의 존재로 인한 오차가 예상되는 구강부(치아, 구강), 흉부(폐, 흉골), 결정 장기가 분포하는 직장(방광, 생식선)등의 선량평가는 비단 종양부위뿐만 아니라 주위 정상조직의 선량평가도 같이 이루어져야 한다<sup>2</sup>.

물론 종양부위의 방사선량을 측정하는 방법으로 일반적으로 입사선량, 출구선량, 종양선량을 열혈광선량계(TLD), 이온전리조(ion chamber), 필름선량계 등을 이용하여 측정하였지만 이런 방법 등은 결과를 얻는데 많은 시간을 요구하고, Set-up에 어려움이 따르며 여러 가지 환경에 의한 오차가 커 L-gram과 같이 간단하면서도 빠른 결과를 얻을 수 있어서 보편화 하기 쉬운 방법으로는 문제가 많다<sup>4</sup>.

따라서 본 논문은 3차원치료계획(3D-plan)과 대향 2문조사(POP-plan)의 선량 계획 시 PTV와 OAR에 실제 흡수되는 선량을 반도체검출기를 이용하여 실시간 체내선량측정을 시행함으로써 앞서 제시된 문제들을 극복하고 그 유용성과 치료계획의 타당성을 확인하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 장비 및 재료

- 4 MV 선형가속기(CLINAC 4/100, Varian, USA)
- CT (HI-speed, GE, USA)
- RTP system (XiO, CMS, USA)
- 반도체검출기(Victoreen, Canada)
- Digital Electrometer (Model 37-720, Victoreen, Canada)
- Alderson Rando Phantom (Huestis, USA)
- Film Scanner (VXR-16, Vidar, USA)

### 2. 실험대상 및 방법

#### 2.1. 대상

불균질 물질의 존재로 인하여 치료계획 선량과 실제 흡수선량의 오차를 야기할 수 있는 구강암(치아, 하악골, 구강)환자 3명과 적은 대상으로 인한 부정확한 결과를 방지하고 중복되는 실험으로 인한 경우의 수를 증가시켜 측정의 정확성을 높이기 위해 Alderson Rando Phantom



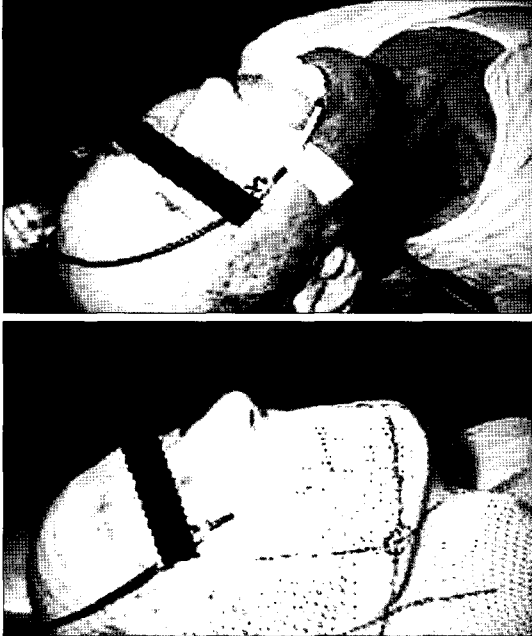
[Fig. 1] Alderson Rando Phantom (Huestis, USA)

(Huestis, USA)을 이용하였고, 다양한 치료계획의 선량 평가를 하기 위하여 대상을 단순선량계산(POP-plan) 환자, 3차원 치료계획(3D-plan)환자로 구분하였고, 측정 위치로는 치료부위내의 종양부위(PTV) 외에 정상조직

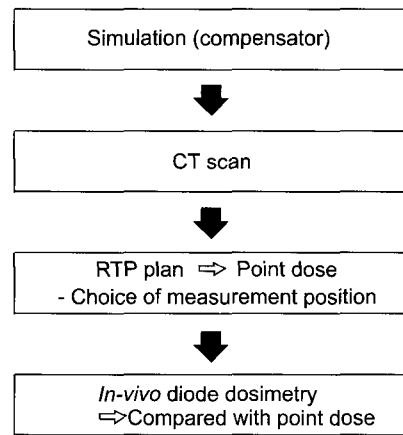
(OAR: Organ at Risk)을 비교 평가 하였다[Fig. 1, 2].

## 2.2. 방법

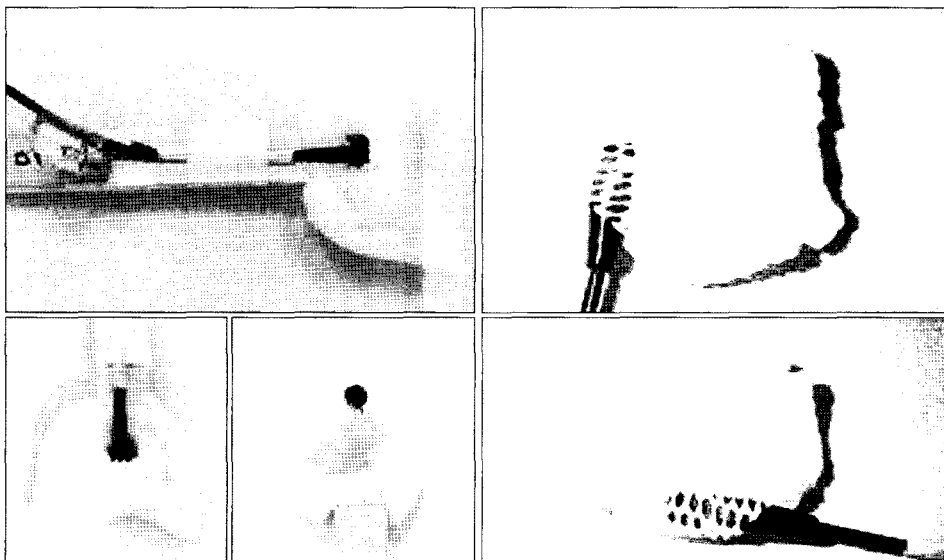
(1) Simulation과정에서 Compensator 제작 설압자와 Thermo-plastic을 이용하여 Compensator를 제작한다. 환자의 구강 내에 삽입할 Compensator를 제작하는 목적은 크게 두 가지로 설명 할수 있다. 첫 번째 목적은 구강내 Air cavity에 의한 불균질을 보정하고, 두 번째로는 측정 시 사용할 반도체검출기의



[Fig. 2] Diode positioning of the oral cancer patient



[Fig. 4] RTP/Measurement diagram



[Fig. 3] Image that insert diode inside compensator

위치를 확보하기 위해서이다 [Fig. 3].

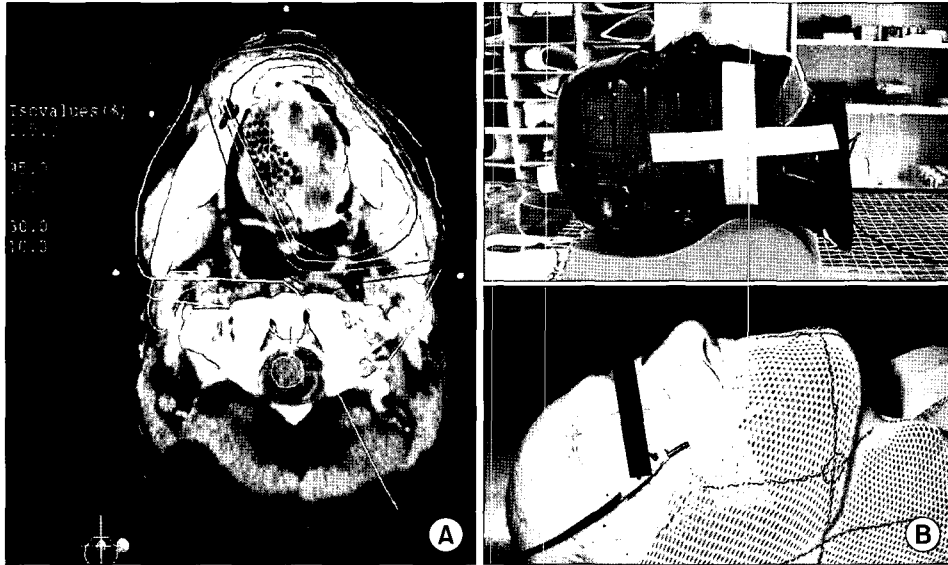
(2) RTP/Measurements

[Fig. 4]의 모식도의 순서대로 먼저 CT scan에 의해 대사의 영상을 획득한 후 RTP program을 이용하여 치료계획을 세우고 RTP상에서 측정하고자 하는 지점을 임의로 정한 다음 RTP program의 계산에 의한 점선량(Point dose)을 구하고 전 과정에서 미리 준비해

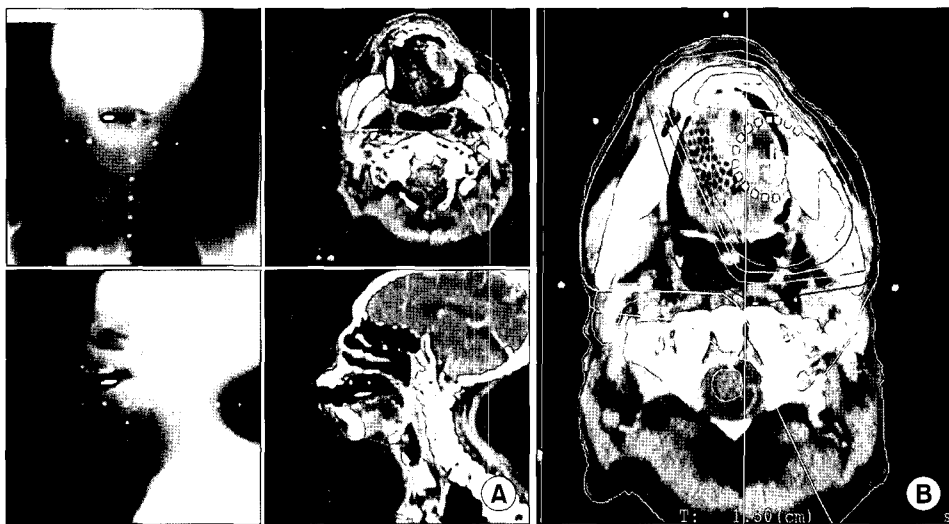
둔 Compensator를 이용하여 실제 치료 시 환자와 Phantom내에 치료계획상 정한 지점과 동일한 지점에 반도체검출기를 위치시키고 실제 측정을 시행한다. 이때 측정에 오차를 야기할 수 있는 Detector cable은 치료 조사야 밖으로 처리하도록 한다 [Fig. 4, 5].

(3) 반도체검출기의 위치(Diode location)

잘못된 Set-up이나 술자의 오류로 반도체검출기의



[Fig. 5] Image measuring after plan (RTP)



[Fig. 6] (A) Image that look for position of diode detector, (B) point dose measurement point

정확한 위치를 확신 할 수 없으므로 보다 정밀하게 측정 위치를 찾기 위해 치료 전과 후에 전, 측 방향으로 L-gram을 시행해 정확한 반도체검출기의 위치좌표를 찾고 치료계획상에서 앞서 설정한 임의의 측정지점을 실제 측정시 반도체검출기의 위치와 일치하게 수정하여 그 지점의 점선량을 재획득한다 [Fig. 6].

(4) 측정 위치

[Fig. 7]은 구강 안에서 반도체검출기의 위치를 정면에서 나타낸 모식도이다. 구강 내에서 ㉠ point (target volume)와 ㉡ point (OAR volume)로 나뉘어 측정하였고 ㉠ point는 tumor volume을 ㉡ point는 OAR volume을 대상으로 하였다 [Fig. 7].

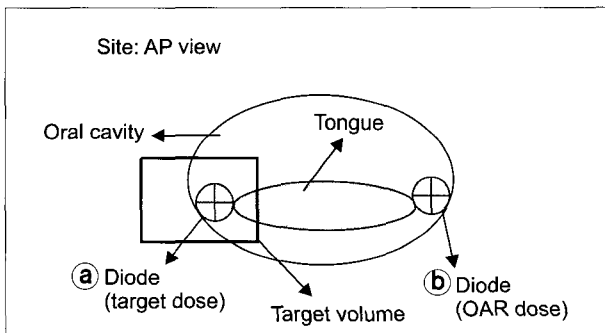
(5) 선량 교정계수(Diode Calibration Factor, DCF) 측정된 반도체검출기의 전기계 지시치를 치료계획

상의 점선량과 비교하기 위해서는 지시치를 선량으로 변환하는 계산식이 필요하다. 이에 Diode Calibration Factor (DCF)을 적용해 지시치를 선량으로 변환하였다. 선량교정계수를 측정하기 위한 조건은 [Fig. 8]에 서와 같이 Field size 10X10 cm, SSD 100 cm, MU 100으로 설정하였고 이때 얻은 실제측정값과 선량을 나누어 변환계수를 얻을 수 있다.

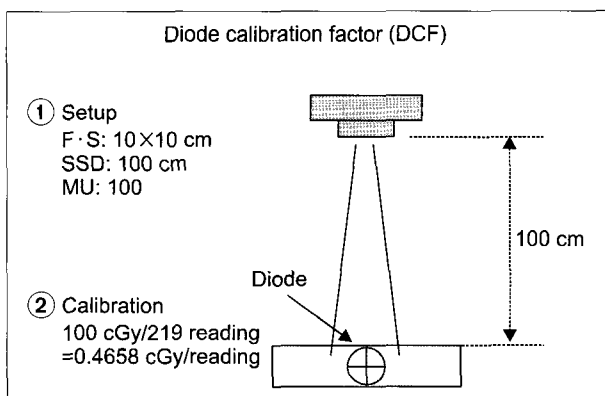
단, 선량교정계수는 측정일이 다를 경우 매번 다시 측정하여 대입하였다 [Fig. 8].

### III. 결 과

실험의 목적은 치료계획에 의한 계산된 선량이 실제 치료부위에 정확히 전달되는지를 확인해 그 치료 계획의 타당성을 확인하는데 있다. 이 같은 목적을 달성하기 위해서 다양한 치료계획의 경우 뿐만 아니라 측정부위 또한 종양부위에 국한하지 않고 정상부위 (OAR)에서도 실시해 상호 비교 평가하였다.



[Fig. 7] Position of diode detector



[Fig. 8] Method that get diode calibration factor (DCF)

[Table 1] Results of measurements of Alderson Rando Phantom 1

㉠ point (target volume)				
	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
ANT	88.8	193	89.9	190.6/198.4 =-3.9%
RPO	49.1	89	41.5	
LAO	60.5	127	59.2	
Total	198.4	409	190.6	
㉡ point (OAR volume)				
	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
ANT	5.9	8	3.7	119/124.2 =-3.7%
RPO	47.6	104	48.4	
LAO	70.7	145	67.5	
Total	124.2	257	119.6	

DCF: 102/reading=0.4658 cGy/reading

### 1. Phantom (1, 2): 3차원 치료계획(OAR 평가)

#### 1.1. Phantom 1

Alderson Rando Phantom (Huestis, USA)을 대상으로 한 실험 중 Phantom 1의 결과이다. 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해 ㉠ point (target volume)와 ㉡ point (OAR volume)로 나누어 각각 측정하였고 [Table 1]에서의 예상값(EXP. Value)는 치료계획에 의한 점선량이고, 선량(Dose)은 전기계의 지시치를 선량변환계수(DCF)를 적용하여 얻은 실제 측정선량이다. 예상 값(EXP. value)과 측정선량의 비로써 오차를 구하였다. Target volume을 측정한 ㉠ point의 경우 -3.9%, OAR volume을 측정한 ㉡ point의 경우 -3.7%의 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 이런 비교적 많은 차이의 결과치는 실험 전 이미 예상된 값으로 치료 계획시 불 균질 물질(뼈, cavity)을 고려하지 않아 예상 값(EXP. value)보다 실제 측정값이 낮게 나옴을 알 수 있었다[Table 1].

[Table 2] Results of measurements of Alderson Rando Phantom 2

#### ㉠ point (target volume)

	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
ANT	85.9	183	85.3	185.4/191.3 =-3%
RT	42.4	84	39.1	
LT	63	131	61	
Total	191.3	398	185.4	

#### ㉡ point (OAR volume)

	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
ANT	5.5	10	4.7	109.6/113.8 =-3.7%
RT	37.4	80	37.3	
LT	70.9	145	67.6	
Total	113.8	235	109.6	

DCF: 102/reading=0.4658 cGy/reading

#### 1.2 Phantom 2

Phantom 1과 같은 방식으로 측정하였고 결과는 ㉠ point (target volume), ㉡ point (OAR volume) 각각 -3%와 -3.7%의 결과 치를 얻어 Phantom 1 실험과 크게 다르지 않음을 알 수 있었다 [Table 2].

### 2. Patient A: 대향 2문 조사

단순 선량 계산에 의한 환자에 대한 실험으로 단순 계산으로 선량 계산시 발생할 수 있는 잘못된 처방선량을 확인하는데 큰 의미가 있다. 즉, 단순 계산시 RTP Program이 아닌 단순 Data로만 계산하고, 계산지의 수기 기록으로 발생할 수 있는 오차의 확률이 증가함에 따라 치료 전 일회성 측정으로도 충분히 오차에 대응 할 수 있다 [Table 3].

### 3. Patient B: 3차원 치료계획

환자에 대해 CT scan을 실시해 3차원 치료계획을

[Table 3] Patient A's results of measurements that do POP Plan (target with 2 field)

	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
LT	100	205	95.5	197.5/200 =-1.2%
RT	100	219	102	
Total	200	424	197.5	

DCF: 102/reading=0.4658cGy/reading

[Table 4] Patient B's results of measurements that do 3D plan (target with 3 field)

	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/ calculated.D)
ANT	73.9	161	75	199.9/198.7 =0.6%
RPO	63.4	141	65.7	
LAO	61.4	127	59.2	
Total	198.7	429	199.9	

DCF: 102/reading=0.4658cGy/reading

[Table 5] Patient C's results of measurements that do 3D plan (OAR comparative judgment)

Target with 3 field				
	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	% (measured.D/calculated.D)
LAO	20	49	23	196/199 =-1.5%
LT	88	181	84	
RAO	91	192	89	
Total	199	422	196	
Mucosal wall with 3 field				
	Exp. value	Reading	Dose (reading · DCF)	REMARKS
LAO	41	19	47% (95/205)	Purpose : Mucosal Wall's dose=Limitation by 60% low Total dose= 6,600 cGy 47%=3,100 cGy
LT	150	70		
RAO	14	6		
Total	205	95		

DCF: 102/reading=0.4658 cGy/reading

실시한 환자의 결과로 예상 값(Exp. value)이 198.7, 측정값(Measured. dose)이 199.9로 그 오차가 0.6%이다.

단순 선량 계산보다 비교적 정확한 결과 치를 얻었다[Table 4].

#### 4. Patient C: 3차원 치료계획(OAR 평가)

Patient C의 경우 반도체검출기를 이용한 In-vivo dosimetry의 다른 적용점을 보여주고 있다. Target volume의 경우 -1.5%의 오차를 나타냈고, OAR영역인 점막벽(Mucosal wall)의 측정은 지금까지의 측정과는 달리 치료계획의 한 방법으로 대입시킬 수 있다. [Table 5]와 같이 치료 반대편의 점막벽의 총 선량을 제한하여 치료의 유용성을 높이고자 할 때 치료계획상 선량과 실제 선량을 측정함으로써 보다 정확하게 치료의 타당성을 확인 할 수 있다[Table 5].

#### 5. 불확실도(Uncertainty)

위의 측정 결과를 보면 + 0.6~-3.9%까지 비교적 큰 오차를 가지고 있다. 하지만 불 균질 물질의 보정이 이루어지지 않은 Phantom의 결과 치를 제외하고 환자를 대상으로 한 결과 치를 비교한다면 그 값은 + 0.6~-1.5%로 오차 폭이 현저히 줄어들었다. 위 실험을 통해 부가적으로 얻은 결과는 구강암 환자에서 뼈와 Cavity를 가진 부위의 보정이 없다면 약 2% 정도 오차를 야기할 수 있음을 알 수 있었다. 반면 그 외의 측정의 허용오차는 ±5%로 설정하였다. 설정기준은 반도체 검출기의 방향의존성, 온도의존성, 환자의 Set-up 불량, 장치의 출력등을 고려하여 정하였고 그 결과치가 Accuracy ±5%에 만족함을 알 수 있었다<sup>5</sup>.

#### IV. 결론 및 고찰

최근 방사선 치료의 방법이 정밀해 짐에 따라 환자의 자세 Set-up, 치료기의 출력, 치료계획 시 불균질 물질의 고려 등이 치료의 정확성에 상당한 영향을 미치게 되었다. 이에 실제 치료 시 치료계획상의 처방선량이 목적인 부위(치료부위) 또는 보호되어야할 부위(정상조직, 결정장기)에 정확히 전달되는지에 대한 검증 방법이 모색되어야만 한다. 본 실험은 이와 같은 문제를 극복하고자 반도체검출기를 통한 In-vivo dosimetry를 시행함으로써 치료부위 뿐만 아니라 정상부위 또한 직접측정이 가능하여 상호 비교해 봄으로써 치료의 정확성을 확인하는데 유용했고, 무엇보다도 여타 다른 측정에 비해 쉽고 간단한 Set-up과 실시간 측정(Real-time Measurement)이 가능해 그 효용성을 검증하였다. 다만 반도체검출기는 그 자체가 치료 시 하나의 불 균질 물질이 될 수 있으므로 모든 치료 과정에 적용하기에는 적절하지 않다<sup>6</sup>. 하지만 치료 전 이나 치료 중 일회적으로 치료의 정확성을 검토하기에는 상당히 효율적인 방법이라 생각된다.

본 논문에서는 특히 구강암환자의 경우를 중점적으로 연구 하였지만 반도체검출기를 이용한 실시간 측정(Real-time dosimetry)은 구강부 이외에도 Nasal

Cavity, Ear, Rectum, Axilla, Vagina 등에도 충분히 적용 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. DeWerd, LA, Price JR, Goetsch SJ : Evaluation of a commercial diode monitor for mailed quality control of therapy unite, Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990 ; 1053-1059
2. Mijnheer BJ : In vivo desimetry during pelvis treatment, Radiother Oncol 1992 ; 25 : 111-120
3. Heukelom S, Lason J : Comparison of entrexit  
ance and dose measurements using ion chamber and silicon diodes, Phys Med Biol 1991 ; 47-59
4. 이제희, 최병돈, 최계숙, 박홍득 등 : 반도체검출기를 이용한 종양선량의 정도관리, 대한방사선치료기술학회지 1998 ; 6-10
5. Khan FM : The physics of radiation therapy, 3rd ed, Philadelphia, PA : Lippincott Co, 2003 ; 149-151
6. Knoll GF : Radiation Detection and Measurement, 3rd ed, Hoboken, PA : Jhon, 2000 ; 362-364

---

### Abstract

## Evaluation of Usefulness on *In-vivo* Diode Dosimetry for Measuring the Tumor Dose of Oral Cancer Patient

Kyung Su Na, Je Hee Lee, Heung Deuk Pack

Department of Radiation Oncology, Seoul University Hospital, Seoul, Korea

**Purpose** : This test is designed to identify the validity of treatment plan by implementing real-time dosimetry by means of dose that is absorbed into PTV and OAR when preparing doses of 3D and POP plans.

**Materials and Methods** : In treatment, error can be calculated by comparing Exp. Dose with the actual dose, which has been converted from 'the reading value obtained by placing diode detector on the area to be measured'. Same test can be repeated using Alderson-Rando phantom.

**Results** : Errors were found; A patient (POP plan):  $197.6/199 = -1.2\%$ , B patient (3D-plan):  $199.9/198.7 = +0.6\%$ , C patient:  $196/200 = -1.5\%$ . In addition, considering the resulted value of measuring OAR besides target-dose for C patient showed 96/200, representing dose of 47%, the purpose of protection was judged to be duly accomplished. Also it was acknowledged the resulted value of  $-3.7\%$  met the targeted dose within the range of  $\pm 5\%$ .

**Conclusion** : Aimed for identifying the usefulness of pre-treatment dose measurement using diode detector, this test was useful to evaluate the validity of curing because it resulted in the identification of category to be protected as well as t dose. Moreover, it is thought to have great advantage in ascertaining the dose of target, dose of which is not calculated yet. Similar to L-gram before treatment, this test is thought to be very effective so that it can bring great advantages in the aspects such as validity of curing method and post-treatment plan as well.

---

**Key words** : *in-vivo* diode dosimetry, diode