

전립선암 방사선치료 시 광자극발광선량계를 이용한 광중성자선량 평가 - Evaluation of Photoneutron Dose for Prostate Cancer Radiation Therapy by Using Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (OSLD) -

가톨릭대학교 인천성모병원 방사선종양학과 · 서울아산병원 방사선종양학과¹⁾ · 서울아산병원 영상의학과²⁾ ·
원광보건대학교 방사선과³⁾ · 백석문화대학교 방사선과⁴⁾ · 부천순천향대학교병원 방사선종양학과⁵⁾ ·
삼성서울병원 영상의학과⁶⁾ · 신구대학교 방사선과⁷⁾

이주아 · 백금문¹⁾ · 김연수¹⁾ · 손순룡²⁾ · 최관우²⁾ · 유병규³⁾ · 정회원⁴⁾ · 정재홍⁵⁾ · 김기원⁶⁾ · 민정환⁷⁾

— 국문초록 —

본 연구는 전립선암의 방사선치료에 적용되는 치료기법별 세기조절방사선치료의 적절한 조사문수의 선택 및 광중성자 피폭을 고려한 방사선 치료계획 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 연구대상은 2013년 9월부터 2014년 1월까지 5개월 동안 전립선암으로 방사선치료를 받은 환자 10명을 대상으로 하였다. 그리고 3-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT), volumetric-modulated arc radiotherapy (VMAT), intensity modulated radiation therapy (IMRT) 5, 7, 9 조사문수로 각각 치료계획을 수립하였다. 기술통계와 분산분석으로 광중성자선량의 평균적 차이를 비교하였으며, 상관관계분석과 회귀분석으로 상관성 및 영향을 분석하였다. 연구 결과, 치료기법별로는 3D-CRT가 가장 낮았다. 또한 IMRT가 가장 높게 측정되었으며, 통계적으로 매우 유의하였다 ($p < .01$). 세기조절방사선치료 조사문수별 광중성자선량은 평균 4.37 ± 1.08 mSv였으며, 조사문수 간에 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다 ($p < .01$). 그리고 조사문수와 광중성자선량은 상관계수가 0.570으로 나타나 통계적으로 매우 유의한 양의 상관관계를 보였다 ($p < .01$). 조사문수와 광중성자선량의 선형회귀분석 결과, 조사문수가 1단계 증가할 때마다 평균적으로 광중성자선량이 0.373배로 유의하게 증가하였다. 결론적으로 전립선암의 방사선치료에 빈번히 사용하고 있는 IMRT의 조사문수의 선택 및 광중성자 피폭선량 및 방사선 치료계획의 질적 수준 평가를 고려한 적절한 치료계획 선택에 있어 기초자료로 활용될 수 있으리라 기대된다.

중심 단어: 광자극발광선량계, 조사문수, 광핵반응, 방사선치료기법

I. 서 론

2013년 보건복지부 암 등록 자료에 의하면¹⁾, 2011년

암 발생률은 218,017건이었으며, 그 중 전립선암은 8,952건으로 남성 암 중에서 5위를 차지하고 있다. 연령별특성은 60대 이상에서 89.2%를 차지할 정도로 고 연령층에서 빈발하는 특징이 있으며, 전립선특이항원 (prostate specific antigen: 이하, PSA) 선별검사의 증가와 진단검사법의 발달, 서구화된 식생활의 전환에 따라 급격하게 증가하고 있는 추세이다²⁾.

전립선암의 진단법으로는 혈청전립선 특이항원검사, 전립선 조직검사, 그리고 예방적 차원의방사선 영상진단법 (경직장 초음파검사, 전산화단층촬영, 자기공명영상검사)

* 접수일(2014년 4월 30일), 1차 심사일(2014년 5월 12일), 2차 심사일(2014년 6월 2일), 확정일(2014년 6월 17일)

교신저자: 민정환, (462-743) 경기도 성남시 중원구 광명로 377
신구대학교 방사선과
Tel : 031-740-1361
E-mail : pmpmpm@daum.net

등이 있으나³⁾, 궁극적으로 중요한 것은 진단된 전립선암의 효과적인 치료라고 할 수 있다. 전립선암의 치료는 외과적 수술법과 방사선 치료법이 있으며, 외과적 수술법은 종양의 원천적 제거를 통한 적극적인 치료방법이라는 장점은 있지만, 수술에 대한 부담과 수술 후 장애 등이 문제점으로 지적되어 왔다. 이에 반해, 방사선치료는 입원이나 마취의 위험성이 없고 치료 기간 중에도 일상생활을 유지할 수 있으며, 정상조직과 장기 손실이 없이도 높은 종양억제 효과를 얻을 수 있어 대체 및 보완적 치료법으로 활용되고 있다^{4,5)}.

전립선암의 방사선치료는 1911년 라듐을 이용한 Pasteur⁶⁾를 시작으로 방사성 동위원소를 이용한 치료법이 개발되어 적용되어 왔으나^{7,8)}, 최근에는 치료장비 및 기법의 개발로 역할과 영역이 넓혀지고 있는 실정이다.

방사선치료법으로는 입체조형방사선치료 (3-dimensional conformal radiotherapy: 이하, 3D-CRT)와 세기조절방사선치료 (intensity modulated radiation therapy: 이하, IMRT), 입체적세기조절회전방사선치료 (volumetric modulated arc radiotherapy: 이하, VMAT) 등이 있으며, 비수술적 치료의 근원적 한계를 최대한 극복한 사례로 알려져 있다^{9,10)}. 3D-CRT는 사문대향조사법 (4 field box technique)이 주로 사용되어 전립선 주위조직에 대한 한계선량 권고에 의하여 종양조직에 대한 충분한 선량을 조사할 수 없는 단점이 있어 종양조직의 선량을 80 Gy까지 높여 암의 국소 재발을 감소와 환자 생존율 향상, 그리고 정상 조직의 손상을 최소화할 수 있는 IMRT와 VMAT로 대체되고 있다^{11,12)}.

특히 2011년 7월 IMRT가 전립선암, 뇌종양, 두경부암, 척추암, 재발암에 국민건강보험 급여 대상에 포함되면서 다른 기법에 비해 상대적으로 급증하고 있는 실정이다¹³⁾. 그러나 IMRT는 방사선이 조사되는 시간 동안 다엽콜리메이터 (multi-leaf collimator: 이하, MLC)가 역동적으로 작동하는 특징으로 치료효과를 배가시키는 장점이 있지만, 광중성자 발생을 증가시키는 요인으로 작용하고 있으며, 상대적으로 많은 모니터 단위 (monitor unit: 이하, MU)가 요구되므로 광중성자의 발생량도 그에 비례하여 증가하고 있는 것으로 알려져 있다^{14,15)}. IMRT는 3D-CRT보다 조사문수를 다양하게 늘려 치료에 임하고 있다. 조사문수를 늘리면 목적으로 하는 종양조직에 입체조형 효과에는 긍정적이지만, MU가 증가함에 따라 치료시간이 지연되고, 환자 움직임에 의한 치료효과가 저하될 우려가 높다. 특히 광중성자 발생이 비례적으로 증가되어 인접한 정상조직의 손상이 우려 된다¹⁶⁾.

중성자의 인체 노출에 의한 생물학적 효과는 중성자 에너지에 의존성이 높은 것으로 알려져 있으며¹⁷⁾, 소아의 경우 성장과 발달에 악영향을 미칠 수도 있다. 특히 10 MV 이상의 고에너지를 이용한 방사선치료 시 중성자에 의한 선량이 증가되고 생물학적 효과가 X-선에 비하여 크기 때문에 2차적인 암을 유발할 위험이 있다고 경고하였다¹⁸⁾.

American association of physicist in medicine (AAPM)에서는 고에너지 주변의 광중성자 측정에 대한 표준안을 제시하여 권고하고 있으나, 임상에서는 가장 빈번하게 적용하고 있는 IMRT에서 조사문수 증가에 따른 MU 및 광중성자선량을 간과하고 있으며, 이와 관련된 연구 또한 전무하다. 특히 광중성자 측정에 있어 유효성이 입증된 광자극발광선량계 (optically stimulated luminescence dosimeters: 이하, OSLD)를 적용한 논문은 희박한 실정이다¹⁹⁾.

OSLD는 방사선이 조사되면 소자에 방사선량이 축적되고, 판독기에서 자극광원이 조사되어 획득된 광신호를 분석하며, 측정 가능한 에너지 범위는 5 KeV에서 20 MeV까지로 넓은 활용성을 지니고 있다²⁰⁾. OSLD는 optical simulated luminescence와 OSL albedo neutron dosimeter로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 중성자선량을 측정할 수 있는 OSL albedo neutron dosimeter를 사용하였다. 이는 4개의 소자 중 2번째 소자에 ${}^6\text{LiCO}_3$ 를 코팅하여 X, γ 및 β 선뿐만 아니라, 중성자까지도 측정할 수 있는 특징이 있다. 그리고 OSLN의 중성자 측정에 있어서 ${}^6\text{Li}$ 이 중성자를 흡수하여 삼중수소(${}^3\text{H}$)와 알파(${}^4\text{He}$) 입자를 생성되는데 이 입자들이 쿨롱작용을 거쳐 흡수체인 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ 에 넘겨주는 작용을 한다. 또한 검출 가능한 방법중에는 environment type, nano dot type, albedo neutron type중, 중성자 검출이 가능한 albedo neutron type을 사용하였습니다. 본 실험에 사용된 OSLN albedo neutron dosimeter는 알루미늄산화물이 함유된 소자 4개가 장착되어 있는데, 이중 2번째 소자에 ${}^6\text{LiCO}_3$ 를 코팅하여 중성자를 측정할 수 있도록 하는 것이다.

방사선치료는 종양조직에는 최대한의 처방선량을 조사하고, 주변의 정상 장기에는 최소 선량이 가해지는 치료 극대화를 이루어야 하는 데, 전립선암 환자의 방사선치료는 통상 25~35회 가량을 반복적으로 치료하고 있는 특징이 있다. 그러므로 치료계획수립은 그 무엇보다 중요하리라 판단된다. 이에 본 연구는 전립선암으로 실제 치료한 환자를 대상으로 치료계획을 재수립한 후, OSLD를 이용하여 광중성자선량을 측정하였다. 이를 토대로 전립선

암 방사선치료에 이용되는 기법별 광중성자선량을 비교하고, 최근 빈번히 사용하고 있는 IMRT의 조사문수별 광중성자선량을 평가하여 조사문수의 선택과 방사선 치료계획의 체계화를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

2013년 9월부터 2014년 1월까지 5개월간 서울 소재 S 병원 방사선종양학과에 전립선암으로 내원하여 방사선치료를 받은 환자 10명을 대상으로 하였다. 대상자의 일일 처방선량은 평균 220 cGy이었고, 치료 횟수는 평균 30회였다.

2. 치료계획 수립

대상자 10명에 대한 광중성자의 선량분포를 측정하기 위하여 각 연구대상자별 치료계획을 새롭게 수립하였다. 계획용 표적체적 (planning target volume: 이하, PTV)에 220 cGy의 치료선량을 33회씩 조사하는 것으로 설정하였다. 조사각도로 3D-CRT는 5문조사 (0, 70, 140, 220, 290°), VMAT는 2 Arcs로 계획하였다. IMRT는 5문 (0, 70, 140, 220, 290°), 7문 (0, 50, 100, 150, 210, 260, 310°), 9문 (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 320°)으로 정하여 치료계획을 재수립하였다. IMRT의 조사문수 중별은 5문에서 13문까지 활용할 수 있으나, 대다수의 임상 현장에서 11문과 13문은 사용하지 않으므로 본 연구에서 제외하였으며, 빈번히 사용하는 5, 7, 9문을 주요 변수로 설정하였다 (Figure 1).

3. 실험장비 및 방법

실험에 사용한 선형가속기는 TrueBeam STx (Varian Medical systems, Palo Alto, CA, USA)이었다. 이 장비는 선속여과판 (flattening filter)이 없어 최대 2400 선량률로 빔을 조사할 수 있고, 또한 가장 안쪽 32쌍 2.5 mm의 폭, 28쌍의 5 mm의 고정밀다엽콜리메이터 (high definition multi-leaf collimator, HD-MLC)가 장착되어 높은 정확도를 가진 장점이 있다. 치료계획을 바탕으로 Figure 2와 같이 의료용 선형가속기의 치료대 (couch)에 rando phantom을 위치시켰으며, 조사야 중심으로부터 20 cm (복부 중심부위)에 OSLD를 설치하였다. 이는 예비실험으로 OSLD를 조사야 가장자리부터 5 cm,

15 cm, 25 cm에 위치시켜 실험을 하였으나, 거리별 평균 선량의 차이에 유의성이 없었기에 복부의 중간적 위치인 조사야 중심에서 20 cm 부위를 최종 선량측정 부위로 설정하였다. 이후 치료계획에 의거 15 MV 에너지로 220 cGy의 처방선량을 조사하였으며, 획득한 선량의 평균적 차이를 분석하였다.

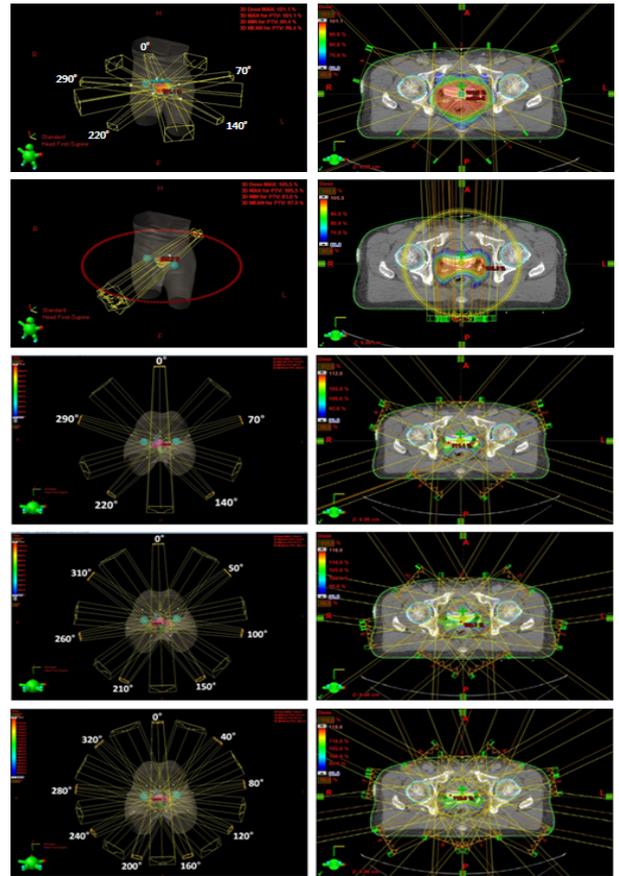


Figure 1. 3D CRT, Arc, and Portal to the 5, 7, and 9portal for IMRT variables in the direction of the beam angle



Figure 2. Set-up of Rando phantom to measure photoneutron dose on TrueBeam Stx

4. 광중성자선량 획득방법

OSLD는 Al₂O₃:C가 내장된 규격의 소자 (Landauer Inc, USA)를 사용하였다. 이는 유효 원자번호가 10.2로 조직의 유효 원자번호 7.2와 큰 차이가 없어 조직 내 방사선량 측정에 유용하며²¹⁾, 소자의 크기가 9 × 9 × 1.5 mm³ 조직규격의 플라스틱 패킷으로 구성되어 있어 비교적 점선량 측정이 가능하기 때문이다 (Figure 3). OSLD는 예열기 (OSL ANNEALER SYSTEM, USA)를 사용하여 3시간 동안의 예열 (annealing) 작업을 거쳐 방사선을 조사한 다음, 전용판독기 [microStar (Landauer Inc., Glenwood, IL, USA)]를 이용하여 선량을 판독하였다.

5. 분석방법

측정된 자료는 부호화 과정과 오류 검토를 거쳐 SPSS version 18.0(SPSS Inc, Chicago, IL)을 이용하여 통계 분석하였다. 방사선치료기법별 및 IMRT의 조사문수별 선량은 평균과 표준편차를 이용한 기술통계로 비교하였다. 치료계획에 의한 자료의 특성상 편차가 적고, 대상자수가 중요한 변수가 아니므로 검정력을 높이기 위하여 모수검정 (parametric test)을 시행하였다. 이를 위해 정규성 검정 (kolmogorov-smirnov 검정)을 시행하였으며, 그

결과 모든 자료가 정규분포성향을 이루었다 (5문: Z 0.593, Sig. 0.874, 7문: Z 0.755, Sig. 0.619, 9문: Z 0.684, Sig. 0.738, 3D-CRT: Z 0.661, Sig. 0.775, 9문: Z 0.554, Sig. 0.919). IMRT에서 조사문수별 광중성자선량의 평균적 차이는 일원배치 분산분석 (one way ANOVA)으로 유의성을 검증하였다. 또한 조사문수와 광중성자선량의 상관관계를 알아보고, 연관성 있는 인자를 대상으로 영향 정도를 알아보기 위하여 단순선형회귀분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 회귀식을 작성하여 조사문수가 증가할 때마다 광중성자선량의 변화량을 분석하였다.

III. 결 과

1. 방사선치료기법별 평균선량

방사선치료기법별 광중성자선량의 평균을 비교하기 위하여 대표적인 치료기법인 3D-CRT, VMAT, 그리고 IMRT로 구분하였으며, IMRT는 임상에서 대표적으로 많이 사용하고 있는 7문조사를 설정하였다. 치료기법별 평균선량은 3D-CRT가 가장 낮게 측정되었고, IMRT 7문조사가 가장 높게 측정되었으며, 치료기법별 평균선량의 차이는 통계적으로 매우 유의하였다 (p<.01) (Table 1).



Figure 3. OSLD & Microstar dosimetry reader

Table 1. Comparison of measured average photoneutron doses in terms of radiation treatment techniques including 3D-CRT, VMAT, and IMRT with 7 portals / fields and statistical significance test

Unit: mSv

Classification	Measurement (mean±St.D)	Min.	Max.	95% confidence Interval for the mean		P-value	
				Lower limit	Upper limit		
Abdomen	3D-CRT	0.68±0.15	0.48	1.00	0.5704	0.7816	.000**
	VMAT	1.60±0.38	1.17	2.55	1.3316	1.8704	
	IMRT(7P)	4.65±0.78	3.67	5.74	4.0906	5.2114	
	Mean	2.31±1.80	0.48	5.74	1.6388	2.9799	

** p<.01

2. 방사선치료기법별 사후분석

각 방사선치료기법별 광중성자선량의 사후분석 (Post-Hoc analysis)으로 Duncan test를 시행한 결과, 평균선량이 모두 유의수준 0.05에 대한 부집단의 경우 3개의 집단 간 차이가 존재하였다. 그러므로 3개의 방사선치료 기법 간에 평균 선량의 차이가 있음을 알 수 있었다 (Table 2).

Table 2. Post-Hoc analysis using Duncan test for average photoneutron doses according to the radiation treatment techniques

Classification	Significance level = .05 for the sub groups		
	1	2	3
	3D-CRT	0,6760	
VMAT		1,6010	
IMRT			4,6510
Sig.	1,000	1,000	1,000

3. IMRT의 조사문수별 광중성자선량

조사문수별 광중성자선량의 평가를 위하여 최근에 가장 빈번히 사용하고 있는 IMRT를 적용하여 광중성자선량을 측정된 결과, 평균 4.37 ± 1.08 mSv로 나타났고, 5문조사에서 9문조사로 조사문수가 증가할수록 선량이 증가하는 경향을 보였으며, 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다 (p<.01) (Table 3).

Table 3. Comparison of measured average photoneutron doses (mSv) in terms of number of portals / fields in IMRT and statistical significance test

Classification	Measurement (mean±St.D)	Min.	Max.	95% Confidence interval for the mean		P-value
				Lower limit	Upper limit	
				5P	3.49±0.99	
7P	4.65±0.78	3.67	5.74	4.0906	5.2114	.003**
9P	4.98±0.92	3.89	7.17	4.3215	5.6385	
Mean	4.37±1.08	2.41	7.17	3.9675	4.7792	

** p<.01

4. 조사문수별 광중성자선량 사후분석

조사문수별 평균 광중성자선량의 사후분석 (duncan)을 실시한 결과, 유의수준 .05에 대한 부집단의 경우 2개의 집단간 차이가 존재하였다. 이는 일원배치 분산분석에서 3개의 집단간 차이가 있는 것처럼 분석되었으나, 실제로는 두 개의 집단 간에만 차이가 없음을 의미한다. 즉, 7문조사와 9문조사의 평균 광중성자 선량은 통계적으로 유의한 차이가 없어 동일한 그룹으로 볼 수 있다 (Table 4).

Table 4. Post-Hoc analysis using Duncan test for average photoneutron doses according to the number of portals / fields in IMRT

Classification	Significance level = .05 for the sub groups		
	1	2	3
	5P	3,489	
7P		4,651	
9P		4,980	
Sig.	1	0,422	

5. 조사문수와 부위별 선량의 연관성 및 영향 분석

조사문수와 광중성자선량 발생의 상관분석 결과, 상관 계수가 0.570 (Sig.=0.001)으로 나타나 통계적으로 매우 유의한 양의 상관관계를 보였다 (p<.01) (Table 5). 영향 인자인 조사문수와 광중성자선량의 선형회귀분석 결과, Table 6과 같이 수정된 R제곱 통계량이 0.570으로 회귀 모형이 57%의 설명력을 가지고 있었으며, 분산분석 결과 F검정 통계량이 36.653 (Sig.=0.000)으로 통계적으로 매

우 유의하므로 ($p < .01$) 종속변수에 영향을 주는 하나 이상의 유의한 조사문수가 포함되어 있음을 알 수 있었다. 또한 회귀모형의 잔차분석 결과, Durbin-Watson이 비교적 2에 가까운 1.670로 나타나 오차의 독립성이 만족되었으며, 정규성이 성립되어 회귀모형의 기본가정에 만족하였다 (Figure 4).

Table 5. Correlation analysis of number of portals and photoneutron dose by abdomen

Classification	No. of portal	Neutron dose
No. of portal	1	
Neutron dose	.570**	1

** $p < .01$

Table 6. Model summary and significance test in ANOVA

Adjusted R square	F	Sig.	Durbin-Watson
.570	36.653	.000	1.670

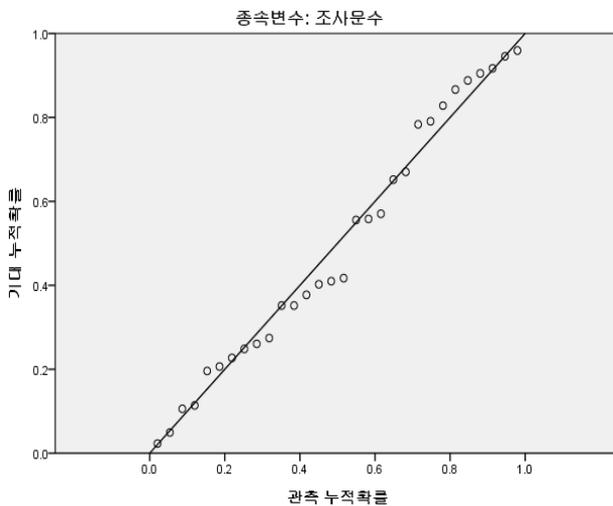


Figure 4. Basic assumption test in regression analysis (P-P chart)

6. 조사문수와 광중성자선량의 정량적 분석

독립변수인 조사문수와 종속변수인 광중성자선량의 선

형회귀분석 결과, Table 7과 같이 회귀 절편이 1,764이고 기울기가 0.373임을 알 수 있었다. 이를 이용하여 식(1)과 같이 회귀식을 작성하였으며, 이는 조사문수가 1단계 증가할 때마다 평균적으로 광중성자선량이 0.373배로 증가함을 의미하며, 통계적으로 매우 유의함을 알 수 있었다 ($p < .01$).

$$y = 1,764 + .373x + \varepsilon \tag{1}$$

y: neutron dose

x : number of portal

ε : error

Table 7. Coefficients of factors affecting photoneutron dose

	Unstandardized coefficients		t	P-value
	B	Std. error		
Constant	1,764	0.731	2,415	0,023
The number of portals / fields	0.373	0.102	3,667	0,001

IV. 고찰 및 결론

종양조직의 방사선치료는 주기적인 반복치료라는 특징이 있다. 전립선암의 방사선치료도 다소의 차이는 있지만, 동일한 환자를 대상으로 동일한 부위에 수 십회 이상 치료하므로 장해의 위험성이 높다고 할 수 있다²²⁾. 방사선 장해에 관해서는 대부분 주변의 정상조직에 대한 방사선 피폭을 떠올리지만, 고 에너지를 발생시키는 의료용 선형가속기를 이용한 방사선치료에서는 광중성자 발생으로 인한 주변 조직의 위험을 간과해서는 안된다²²⁾.

Levinger 등²³⁾과 Hall 등²⁴⁾은 10 MV 이상의 고 에너지 X-선은 의료용 선형가속기에서 발생하는 광핵반응에 의해 광중성자를 방출하는 문제점이 있다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 전통적인 치료기법인 3D-CRT와 VMAT, 최근에 빈번히 사용하는 IMRT의 3개 치료기법에서 광중성자선량이 발생하여 이들의 연구를 증명할 수 있었다. Rebecca 등¹⁴⁾은 치료계획의 알고리즘에 따른 MU 증가와 더불어 동적 콜리메터의 영향으로 광중성자가 발

생된다고 하였다. 이는 동적 콜리메터의 영향이 큰 IMRT에서 광중성자선량이 상대적으로 가장 높게 나타난 본 연구 결과와 일치함을 알 수 있다. 또한 3개의 치료기법별로 약 2.5배의 선량 증가가 있었는데 이는 비례계수기를 이용하여 방사선 치료기법별 광중성자선량을 측정된 박 등²⁵⁾의 연구와 유사한 결과를 보였으나, 비율적으로 상이하였다. 이는 측정기가 다르고, 치료계획 및 위치설정의 차이에서 기인된 것으로 판단된다.

그 외에 광중성자선량의 측정에 관한 다양한 연구들이 이루어져 왔으나²⁶⁻²⁸⁾ 대다수의 연구들이 광중성자 에너지 분포와 물 흡수선량, 광중성자의 깊이 선량률 계산, 기하학적 조건 등에 관한 MCNPX code로 계산을 통한 간접적인 방법에 국한된 특징이 있다. 반면, 본 연구는 최신의 동일한 장비를 기본으로 하여 조사문수의 변화에 따른 광중성자선량의 평가라는 깊이 있고, 획기적 연구라는 측면에서 가치가 높다고 하겠다. 뿐만 아니라, 광중성자선량을 직접 계량적으로 측정할 수 있는 OSLD를 이용하였다는 점에서 진일보한 연구라고 할 수 있다. 물론, OSLD의 특성상 40 KeV ~ 5 MeV의 광중성자선량만을 측정한다는 제한점이 있으나, 방사선치료에서 발생하는 광중성자중 환자에게 주로 영향을 미치는 에너지 범위는 fast neutron이 아닌 5 MeV 이하이기 때문에 측정에 무리가 없다고 볼 수 있다. OSLD의 광중성자 측정은 6Li가 광중성자 (n)를 흡수하여 삼중수소 (3H)와 알파(4He) 입자를 생성하며, 쿨롱 작용을 거쳐 Al₂O₃:C에 영향을 주어 이루어지는 것으로 알려져 있다²⁹⁾. 그러므로 광중성자 측정에 있어 다른 소자에 비해 화학적, 기계적으로 안정적인 특성이 있기에 본 연구에서 활용하게 되었다.

전립선암의 치료기법 중 IMRT가 광중성자선량을 가장 많이 발생시킴에도 불구하고, 본 연구의 주요 변수로 설정한 이유는 조사야 내에서 여러 개의 작은 빔 조각들로 나뉘어 그 세기를 결정하고 이를 조합하여 빔 플루언스를 형성함으로써 목적 종양을 정확하고 정밀하게 치료할 수 있기 때문이다. 더욱이 2011년 7월부터 전립선암 치료에 IMRT가 국민건강보험 급여로 적용되면서 대다수의 의료기관에서 적극 사용하고 있기 때문이다.

핵심 변수인 IMRT의 조사문수별 광중성자선량은 평균 4.37 ± 1.08 mSv로 나타났다. 이는 Yang 등¹⁵⁾의 결과 (4.85 mSv)보다 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 본 연구와 달리 IMRT 7문조사로 고정하여 진행하였고, OSLD 위치 선정과 치료계획도 상이하므로 단순 비교하기에는 무리가 있다고 사료된다. 평균 선량이 4.37 ± 1.08 mSv로 인체에 대한 위해가 미약하다고 할 수 있겠

으나, 광중성자선은 X-선에 비해 방사선하중계수가 커서 적은 선량에도 주변 조직에 미치는 영향이 크므로 각별한 주의가 요구된다고 하겠다. 실제로 ICRP 103의 권고에서도 조직이나 장기의 평균 흡수선량에 방사선가중치 (W_R) 적용을 명시하여 조직과 장기 선량에 영향이 미치는 저에너지 중성자 방사선의 피폭에 문제를 제기하고 있는 실정이다³⁰⁾.

조사문수별 광중성자선량의 증가 유무 결과, 5문에서 9문으로 증가할수록 높게 나타났다. IMRT의 장점이 조사문수를 증가시키면 주변 정상조직에는 위해를 줄이면서 종양에는 집중적으로 치료를 가할 수 있다고 하지만, 광중성자 선량의 정량적 실측 자료가 없어서 단언하기에는 한계가 있어 보인다. 오히려 본 연구 결과, 조사문수를 늘리면 주변 조직에 광중성자선량이 증가하는 것으로 나타나 조사문수만을 늘리는 것이 치료효과에 긍정적이라고 주장하기에는 무리가 따른다. 물론, 사후분석에서 7문과 9문조사의 광중성자선량의 차이가 통계적 유의성은 없었지만, 기술통계상으로는 7문조사 대비 9문조사에서 높게 나타나 전혀 무시할 수만은 없다고 하겠다. 그 외에도 MU의 증가에 따른 장비 가동시간의 증가와 장시간 동일한 고정자세 유지에 따른 환자의 불편함 가중 등 어려움이 있으므로 조사문수의 선정은 신중해야 하며, 치료계획 수립에서부터 매우 중요하게 다루어야 하겠다. 즉, 연구 결과의 통계적 유의성만 고려한다면, 7문과 9문조사 간의 광중성자선량에 유의한 차이가 없기 때문에 보다 정확하고 정밀하게 치료할 수 있는 9문조사를 선택함이 효과적이겠지만, 상기의 요인들과 ALARA 원칙 및 치료 quality를 고려한 추가적인 연구가 필요하리라 본다. 특히, 상관관계분석과 복부 위치에서 조사문수의 증가에 따른 광중성자선량의 증가가 유의한 양의 상관관계를 보였고, 회귀분석에서 조사문수가 한 단계 증가할수록 광중성자선량이 평균 0.373배로 증가한 점을 감안하여 높은 조사문수의 선택은 신중을 기해야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 광중성자 측정용 OSLD 확보와 판독의 어려움으로 더 많은 환자를 대상으로 하지 못했다는 점이 있지만, 조사문수에 따른 광중성자선량의 평가이고, 정량적 측정이라는 새로운 시도였다는 데에 학술적 가치를 부여할 수 있다. 결론적으로 전립선암 환자의 방사선 치료에 있어 적절한 조사문수의 선택과 조사문수별 광중성자선량의 가이드라인이 마련되어 치료계획에 반영될 수 있기를 기대하며, 본 연구가 초석이 되리라 사료된다.

참고문헌

1. <http://www.cancer.go.kr/mbs/cancer>
- 2) Sae-Chul Kim: A continuous increase in prevalence of prostate cancer in Korea and its Causes. Journal of the Korean Medical Association, 47(5), 394-402, 2004
3. Auvinen A, de Koning HJ, Coebergh JW, et al : Meeting the challenge of prostate cancer. European Journal of Cancer, 46(17), 3037-39, 2010
4. Pollack A, Zagars GK, Starkschall G, et al : Prostate cancer radiation dose response: results of the M. D. Anderson phase III randomized trial. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 53(5), 1097-1105, 2002
5. Bo-Kyoung Kim, Suk Won Park, Sung Whan Ha, et al : Pattern of decrease of prostate specific antigen after radical radiotherapy for the prostate cancer. The Journal of the Korean Society for therapeutic radiology and oncology, 17(2), 136-40, 1999
6. Pasteau, Octave : Traitement du cancer de la prostate par le radium. Rev de Mal de la Nutriion, 363, 1911
7. John R, Caulk : Carcinoma of the prostate. The American Journal of Cancer, 16, 1024-52, 1932
8. Flocks RH : Interstitial irradiation therapy with a solution of Au-198 as part of combination therapy for prostatic carcinoma. J Nucl Med, 5, 691-705, 1964
9. Chul-Whan Hwang : The dosimetric influence of rotational errors during radiation therapy for prostate cancer. Catholic University of Pusan, 2014
10. Michael J, Zelefsky, Zvi Fuks, et al : High-dose intensity modulated radiation therapy for prostate cancer : early toxicity and biochemical outcome in 772 patients. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 53, 1111-6, 2002
11. Sung-Kyu Kim, Myung-Se Kim, Sang-Mo Yun, et al : Dose distribution of intensity modulated radiation therapy and 3 dimensional conformal radiation therapy in prostate cancer. Yeungnam University J of Med, 24(2), 538-43, 2007
12. Erjona B, Ervis T, Elvira K : Comparison of 3D CRT and IMRT treatment plans. Acta Inform Med, 21(3), 211-2, 2013
13. Hae-Sook Kim, Jin-Kyung Jang, Hyun-soon Sohn, et al : Anticancer drug use and out-of-pocket money burden in Korean cancer patients. Korean journal of clinical pharmacy, 22(3), 239-50, 2012
14. Rebecca MH, Michele SF, Nolan EI, et al : Investigation of secondary neutron dose for 18 MV dynamic MLC IMRT delivery. Medical Physics, 32(3), 786, 2005
15. Oh-Nam Yang, Cheong-Whan Lim : Study on the photoneutrons produced in 15 MV medical linear accelerators. Korean society of radiological science, 35(4), 335-43, 2012
16. I Gudowska, A Brahme, P Andreo, et al : Calculation of absorbed dose and biological effectiveness from photonuclear reactions in a bremsstrahlung beam of end point 50 MeV. Phys Med Biol, 44(9), 2099-125, 1999
17. Dietze G, Siebert BR : Photon and neutron dose contributions and mean quality factors phantoms of different size irradiated by monoenergetic neutrons. Radiat Res, 140(1), 130-3, 1994
18. Jung-Suk Shin, Young-Yih Han, Sang-Gyu Ju, et al : Analysis of the imaging dose for IGRT gated treatments. The Korean Society for Radiation Oncology, 27(1), 42-48, 2009
19. Jursinic PA : Changes in optically stimulated luminescent dosimeter (OSLD) dosimetric characteristics with accumulated dose. Med Phys, 37(1), 132-40, 2010
20. Jeong-Ho Kim : Selection of reduction techniques of artifact at radiation treatment. Chonbuk National University, 2013
21. Jursinic PA : Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. Med Phys, 34(12), 4594-604, 2007
22. Hye-li Park, Sei-Kyung Chang, Ja-young Kim, et al : Permanent brachytherapy of localized prostate cancer preliminary results. The Korean Society for Radiation Oncology, 29(2), 71-82, 2011

23. Levinger JS, Bethe HA : Neutron yield from the nuclear photo effect. Phys Rev, 5, 221-2, 1952
24. Hall EJ, Wu CS : Radiation-induced second cancers : the impact of 3D-CRT and IMRT. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 56, 83-88, 2003
25. Cheol-Soo Park : A study on the neutron dose distribution in case of 10 MV X-rays radiotherapy. Korean society of radiological science, 31(4), 415-27, 2008
26. A Zanini, C Durisi, F Fasolo, et al : Monte carlo simulation of the photoneutron field in linac radiotherapy treatments with different collimator systems. Phys. Med. Biol, 49, 571-82, 2004
27. Passmore C, Kirr M : Neutron response characterisation of an OSL neutron dosimeter. Radiat Prot Dosimetry, 144(1-4), 155-60, 2011
28. D'Errico F, Nath R, Silvano Gr, et al : In vivo neutron dosimetry during high-energy bremsstrahlung radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 41(5), 1185-92, 1998
29. Rivera JC, Falcao RC, deAlmeida CE : The measurement of photoneutron dose in the vicinity of clinical linear accelerators. Radiat Prot Dosimetry, 130, 403-9, 2008
30. ICRP Publication 103 : The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

• Abstract

Evaluation of Photoneutron Dose for Prostate Cancer Radiation Therapy by Using Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (OSLD)

Joo-Ah Lee · Geum-Mun Back¹⁾ · Yeon-Soo Kim¹⁾ · Soon-Yong Son²⁾ · Kwan-Woo Choi²⁾ · Beong-Gyu Yoo³⁾ · Hoi-Woun Jeong⁴⁾ · Jae-Hong Jung⁵⁾ · Ki-Won Kim⁶⁾ · Jung-Whan Min⁷⁾

Department of Oncology, Catholic University of Korea Incheon St.Mary,s Hospital

¹⁾*Department of Oncology, Asan Medical Center*

²⁾*Department of Radiology, Asan Medical Center*

³⁾*Department of Radiological Science, Wonkwang Health Science University*

⁴⁾*Department of Radiological Science, Beakseok Culture University*

⁵⁾*Department of Oncology, Soonchunhyang University Bucheon Hospital*

⁶⁾*Department of Radiology, Samsung Medical Center*

⁷⁾*Department of Radiological Science, Shin-Gu University*

This study is to provide basic information regarding photoneutron doses in terms of radiation treatment techniques and the number of portals in intensity-modulated radiation therapy (IMRT) by measuring the photoneutron doses. Subjects of experiment were 10 patients who were diagnosed with prostate cancer and have received radiation treatment for 5 months from September 2013 to January 2014 in the department of radiation oncology in S hospital located in Seoul. Thus, radiation treatment plans were created for 3-Dimensional Conformal Radiotherapy (3D-CRT), Volumetric-Modulated Arc Radiotherapy (VMAT), IMRT 5, 7, and 9 portals. The average difference of photoneutron dose was compared through descriptive statistics and variance analysis, and analyzed influence factors through correlation analysis and regression analysis. In summarized results, 3D-CRT showed the lowest average photoneutron dose, while IMRT caused the highest dose with statistically significance ($p < .01$). The photoneutron dose by number of portals of IMRT was 4.37 ± 1.08 mSv in average and statistically showed very significant difference among the number of portals ($p < .01$). Number of portals and photoneutron dose are shown that the correlation coefficient is 0.570, highly statistically significant positive correlation ($p < .01$). As a result of the linear regression analysis of number of portals and photoneutron dose, it showed that photoneutron dose significantly increased by 0.373 times in average as the number of portals increased by 1 stage. In conclusion, this study can be expected to be used as a quantitative basic data to select an appropriate IMRT plans regarding photoneutron dose in radiation treatment for prostate cancer.

Key Words: Optically Stimulated Luminescence Dosimeters (OSLD), Number of portal, photo nuclear reaction, Radiation treatment techniques