

투과선량시스템의 임상적용

서울대학교병원 치료방사선과
유숙현 이양훈 이제희 박흥득

1. 서론

악성종양의 방사선치료과정에서 암 조직에 대한 정확한 방사선 조사와 주위의 정상조직에 대한 흡수선량 및 조사범위의 최소화는 결과적으로 장기생존을 향상 및 방사선에 의한 급 만성 합병증 발병의 최소화와 직결되는 것으로 평가된다. 그러나 각종 기기적 오차 또는 인적 오류 등을 원인으로 방사선치료 계획시 처방된 종양선량과 치료시 종양부위에 입사되는 방사선 조사선량간에 차이가 생길 수 있으며 과거에는 이러한 원인으로 발생된 오류를 묵과하거나 치료범위를 종양부위보다 여유 있게 산정 하는 방법으로 방사선치료가 시행되었다. 하지만 최근 국내 여러 병원에서도 시행되어지고 있는 3차원적인 새로운 치료기법들은 조사범위의 최소화 및 최적화를 목표로 하며 이의 시행에 앞서 방사선량의 적절한 정도 유지를 위한 투과방사선 양의 측정 및 치료의 정확성에 대한 평가는 필수적이라 할 수 있다. 따라서 in vivo 투과선량측정시스템의 임상적용이 시급한 실정이나 이들 장비의 국내개발은 미흡한편이며 고가의 외국산 장비를 도입하여 사용하기에는 경제적으로 부담이 되고 국내병원에서의 임상적용시 성공 여부도 불투명한 실정이다. 본원에서는 환자를 투과한 방사선량을 환자 후면에서 측정하여 이로부터 종양에 조사된 방사선량을 계산 할 수 있는 체외선량 측정 시스템(그림1 참조)을 자체 개발하였으며 이 시스템의 재현성과 안전성을 확인하기 위하여 두경부 및 골반부위

의 방사선치료 환자에 적용하였다. 이에 본원에서 개발한 in vivo선량측정 시스템의 사용결과에 대하여 보고하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

a. 연구대상

본 실험은 2000년7월25일부터 2001년9월18일 까지 총 2회에 걸쳐 시행하였으며 1차 임상적용 대상은 2000년 7월 25일부터 8월14일까지 서울대학병원 치료방사선과에서 골반부위의 방사선 치료를 시행한 환자중 3회 이상 방사선치료를 시행한 11명의 환자이며, 2차 임상적용 대상은 2001년 9월5일부터 9월18일까지 두경부에 방사선 치료를 받은 환자 중 3회 이상의 측정을 시행하고 조사야의 중심이 차폐되지 않은 15명의 환자를 대상으로 분석을 시행하였다.

b. 연구방법

1차 실험은 서울대학병원에 설치된 Varian사의 Clinac 2100C 선형가속기에서 발생하는 6MV 및 10MV의 X선을 사용하여 선량의 재현성을 확인하는 일치성 검사(consistency check test)를 시행한 후 실험을 하였으며 2차 실험은 Varian사의 Clinac 4/100선형가속기의 4MV의 X선을 사용하여 1차와 같은 방법으로 일치성 검사 점검후 시행 하였다. 본 실험에 사용된 9채널 이온함(Fig2 참조) 및 디지털 9채널 측정기는 본원에서 제작하

본 논문은 2002년도 대한방사선치료기술학회에서 우수논문상을 수상한 논문임

여 사용하였고 선원-측정기간거리(source-chamber distance, SCD)는 1, 2차 공히 150cm로 하였다. 제작된 이온함은 평행 평판형 이온함으로 재현성을 높이기 위하여 매질 내에 9개의 연결전선을 삽입하였고 각 전선간의 간섭을 최소화하기 위해 전선간의 간격을 1cm로 하였으며, 외부의 잡음의 영향을 최소화 하기 위해 0.01mm두께의 구리 호일로 차폐를 시행하고 고전압의 접지를 별도로 구성하였다.

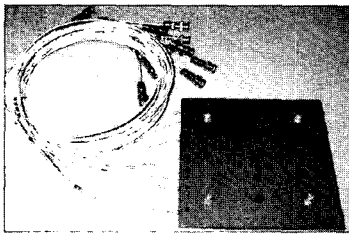


그림 1. 9채널 이온함

측정기와 환자, 방사선원의 공간적인 위치는 그림2와 같고 실제 환자치료에서의 이용은 그림3과 같다. 디지

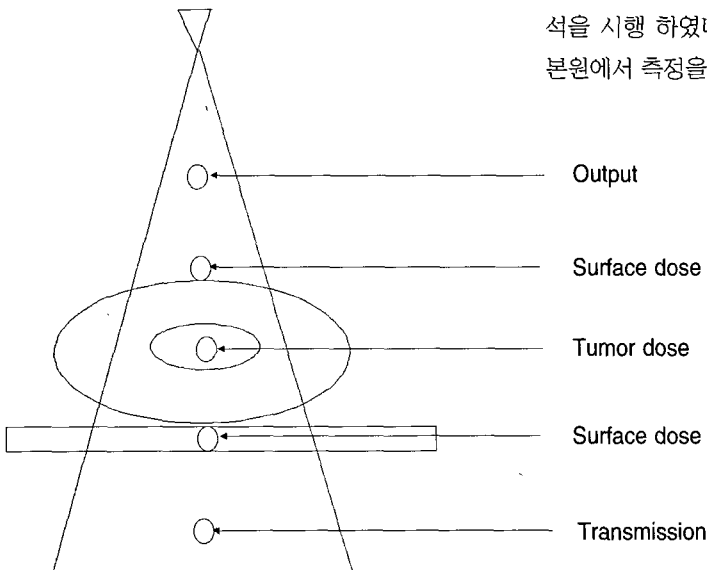


그림2 The basic concept of in vivo dosimetry system

털9채널 측정기는 9채널 전리함의 9개의 회로의 신호를 1개로 변환하는 멀티플렉서의 회로 및 인터페이스로 구성되었고 전리함과 전위계의 연결을 위하여 gantry 표

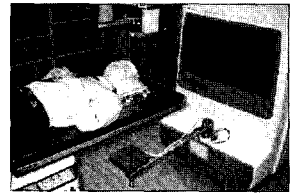


그림3. 투과선량측정기를 치료기에 장착한 모습

면에 connection inter-face를 제작하여 부착하였다. 시스템의 재현성 확인을 위해 매일 환자의 치료 시작 전 10x10cm의 개방 조사야로 4MV X선으로 100MU을 조사하여 측정치를 비교하였으며 온도와 기압의 측정을 시행하였고 환자의 치료 중 시스템의 안정성 및 재현성의 그림 투과선량측정기를 치료기에 장착한 모습 확인을 위해 한 시간 간격으로 재 측정을 시행 하였다. 모든 환자에 적용 시 set-up상의 문제점 및 투과선량 측정의 문제점 유무를 확인하였고 환자 치료 시 선원과 전리함 사이에 환자의 신체 외에 측정에 영향을 줄 수 있는 요인의 존재여부를 확인하였다. 각각의 환자에 대하여 투과선량 예상치의 계산을 위하여 자료를 수집하였으며 치료기 측정치를 알고리즘에 의한 예상 0치와 비교 분석을 시행 하였다. 투과선량의 예상치 계산을 위하여 본원에서 측정을 통해 얻은 알고리즘을 이용하였다.

3. 연구결과

1. 골반부 종양선량의 예측치 및 측정치 비교

본 투과선량 시스템을 이용하여 골반부 전후방조사를 시행한 9명의 종양선량의 예측치 및 측정치의 평균오차 및 표준편차를 표1에 나타내었다.

표 1. 골반부 전후방조사 예측치/측정치

	Difference, mean \pm SD(%)	
	No correction	Bone correction
Pt 1	+2.20 \pm 1.19	+3.32 \pm 1.19
Pt 2	-0.68 \pm 2.00	+0.45 \pm 2.00
Pt 3	+0.95 \pm 1.62	+1.59 \pm 1.62
Pt 4	+0.22 \pm 1.84	+2.49 \pm 1.84
Pt 5	-3.19 \pm 1.36	+0.13 \pm 1.36
Pt 6	+1.02 \pm 1.62	+2.15 \pm 1.62
Pt 7	-5.11 \pm 2.46	-0.62 \pm 2.46
Pt 8	-5.15 \pm 2.29	+0.90 \pm 2.29
Pt 9	-5.20 \pm 1.51	+0.52 \pm 1.51

골반부위 환자의 경우 치료 범위 내에 불균질 조직으로 골조직이 포함되어 있어 CT 및 Sim film을 이용하여 골 조직의 두께를 확인한 후 보정을 실시하여 비교 분석 하였다. 골 조직 보정을 하지 않은 경우 2.20 ~ -5.20의 범위오차를 보였으며 보정한 경우 -0.62 ~ +3.32의 범위 오차를 나타내고 있으며 표준편차는 \pm 3% 이내로 나타나고 있다. 골반부 좌,우 측방조사를 시행한 11명의 종양 선량의 예측치 및 측정치의 평균오차 및 표준편차를 표2로 나타내었다. 불 균질 조직의 비보정시 -10.80 ~ +3.46의 오차범위를 나타내고 있으며 보정시 -0.07 ~ +3.50의 오차범위를 나타내고 표준편차는 2명을 제외하고 \pm 3% 이내로 측정되었다. 그리고 좌우 측방 조사시보다 전후방 조사에서 표준편차가 작게 나타났으며 3%이상의 오차를 보인 2명의 환자는 복 외위로 후방 1문, 좌우 측방 2문 조사를 받은 환자로서 실측치와 예측치의 표준편차가 현저히 큼을 알 수 있다.

2. 두경부

경부종양환자 6명을 대상으로 측정된 종양선량의 측정치와 예측치의 평균 오차 및 표준편차를 표3에 나타내었다.

표 2. 골반부 좌우 측방조사 종양선량의 측정치/예측치

	Difference, mean \pm SD(%)	
	No correction	Bone correction
Pt1	-3.79 \pm 1.30	+1.98 \pm 1.30
Pt2	-3.50 \pm 2.57	+0.87 \pm 2.57
Pt3	+9.27 \pm 2.02	+3.50 \pm 2.02
Pt4	+4.01 \pm 2.32	+2.50 \pm 2.32
Pt5	-2.88 \pm 1.16	+1.50 \pm 1.16
Pt6	+6.95 \pm 2.33	+0.55 \pm 2.33
Pt7	-10.80 \pm 3.12	-0.70 \pm 3.12
Pt8	-7.90 \pm 6.98	+0.07 \pm 6.98
Pt9	-1.65 \pm 4.23	+1.43 \pm 4.23
Pt10	-2.13 \pm 1.09	+0.12 \pm 1.09
Pt11	+3.46 \pm 2.26	

불균질 조직의 비 보정시 -15.68 ~ 12.36의 오차범위가 나타나고 골 조직 보정시 -4.51 ~ 12.36, 골 조직과 공기 조직 보정시 -4.51 ~ 7.98, 골조직, 공기, 지방조직 보정시 -4.51 ~ 5.25의 오차범위를 나타내어 타 부위와 마찬가지로 불균질 조직의 보정이 진행 될 수록 오차의 범위가 작아진다는 것을 알 수 있다. 두부 종양환자 9명을 대상으로 종양선량의 예측치와 측정치의 평균오차 및 표준편차를 표4에 나타내고 경부와 같은 방법으로 분석 하였다. 두부에도 여러 종류의 불 균질 조직이 포함되어 있어 CT, MRI, Sim film등을 이용하여 bone, air, fat등의 각 조직별로 보정을 실시하였다. 불 균질 조직의 비 보정시 -20.63 ~ 20.05의 오차범위가 나타나고 골 조직 보정시 -1.52 ~ 15.64, 골 조직과 공기조직 보정시 -2.38 ~ 2.95, 골조직, 공기, 지방조직 보정시 -2.38 ~ 2.43의 오차범위를 나타내어 타 부위와 마찬가지로 불 균질 조직의 보정이 진행 될 수록 오차범위가 작아진다는 것을 알 수 있다. 이상의 부위별 측정결과를 간단히 정리해 보면 투과선량의 측정치 및 예상치의 오차범위는 골반부 \pm 3.0%, 두부 \pm 2.5%, 경부 \pm 5.0%로 나타낼 수 있다.

표3 경부 종양선량의 측정치/예측치

Beam direction	Difference, mean ±SD(%)			
	No correction	Bone correction	Bone, Air correction	Bone, Air, Fat correction
Pt1 Lt	9.55±1.94	9.55±1.94	1.82±1.80	1.82±1.80
Rt	8.01±2.07	8.01±0.65	0.42±2.02	0.42±2.02
Pt2 Lt	-0.78±2.18	-0.78±1.56	-0.78±2.18	-0.78±2.18
Rt	0.20±2.70	0.20±1.56	0.20±2.70	0.20±2.70
Pt3 Lt	6.02±1.94	6.02±1.56	6.02±1.94	3.35±1.89
Rt	6.17±1.81	6.17±0.65	6.17±1.81	3.49±1.76
Pt4 Lt	-3.63±2.02	-3.63±1.56	-3.63±2.02	-3.63±2.02
Rt	-4.51±1.88	-4.51±0.65	-4.51±1.88	-4.51±1.88
Pt5 Ant	-14.84±1.91	-0.17±1.56	-0.17±2.24	-0.17±2.42
Post	-15.68±2.22	-1.16±0.65	-1.16±2.60	-1.16±2.60
Pt6 Lt-1	10.07±2.29	10.07±2.29	3.75±2.16	3.75±2.16
Rt-1	8.65±2.21	8.65±2.21	2.41±2.08	2.41±2.08
Lt-2	5.38±0.74	5.38±0.74	-0.67±0.69	-0.67±0.69
Rt-2	5.02±1.82	5.02±1.82	-1.02±1.71	-1.02±1.71

표 4 두부 종양선량의 측정치/예측치

Beam direction	Difference, mean ±SD(%)			
	No correction	Bone correction	Bone, Air correction	Bone, Air, Fat correction
Pt1 LPO	-6.15 ±0.62	-1.52 ±0.65	-1.52 ±0.65	-2.00 ±0.64
Pt2 Lt	14.86 ±1.50	19.11 ±1.56	1.93 ±1.33	0.88 ±1.32
Rt	13.69 ±1.55	17.90 ±1.56	0.90 ±1.37	-0.14 ±1.36
Pt3 LPO	20.05 ±1.72	1.76 ±1.56	-0.84 ±1.42	0.19 ±1.44
Pt4 RPO	-3.70 ±0.83	2.95 ±1.56	2.95 ±1.33	2.43 ±0.88
Pt5 LPO	11.97 ±3.22	15.64 ±1.56	-0.88 ±2.85	-1.90 ±2.82
Pt6 Lt	2.15 ±1.05	2.15 ±1.56	-2.38 ±1.00	-2.38 ±1.00
Pt7 Lt-1	3.13 ±2.49	6.87 ±1.56	-0.98 ±1.33	-0.98 ±2.39
Rt-1	3.78 ±2.44	8.42 ±1.56	-0.36 ±2.35	-0.36 ±2.35
Lt-2	3.12 ±2.28	6.80 ±2.97	-1.01 ±2.75	-1.01 ±2.75
Rt-2	4.05 ±1.74	8.26 ±1.42	0.34 ±1.32	0.34 ±1.32
Pt8 RPO	-20.63 ±1.50	1.55 ±1.56	1.55 ±1.92	1.06 ±1.91
Pt9 LAO	-3.75 ±1.02	5.10 ±1.11	-0.20 ±1.06	-0.20 ±1.06
RPO	-4.10 ±0.31	4.76 ±0.34	-0.55 ±0.32	-0.55 ±0.32

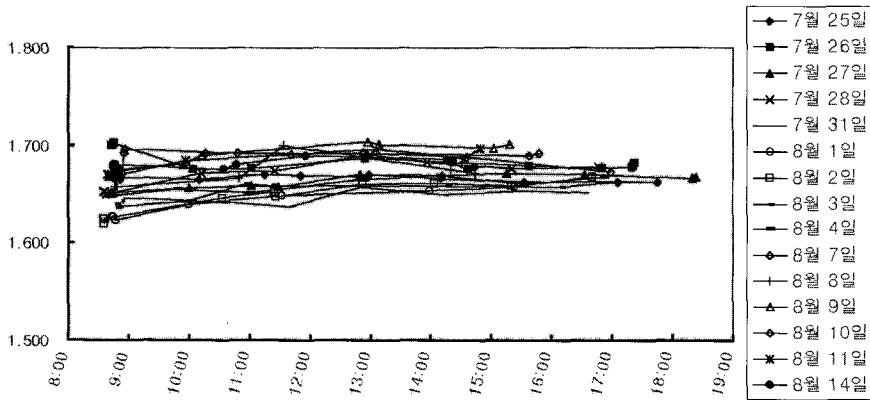
결론

1. 측정시스템의 재현성 및 안정성 평가

측정시스템의 재현성과 안정성을 확인하기 위하여 1차 측정기간 (2000년7월25일-8월14일) 및 2차 측정기간 (2001년9월5일-9월18일)중 매일 환자의 치료 전 온도와 기압을 측정 하였고 4MV, 6MV, 10MV X선 각각에 대하여 기준 조사 조건, 즉 10cmx10cm의 개방 조사야로 100MU를 조사 후 측정을 시행 하였으며, 환자의 치

료중 1시간 간격으로 반복 측정을 시행하였다(표5참조). 1,2차 전체 측정치의 일일 오차의 표준편차는 $\pm 0.5 - \pm 1.1\%$ 에 분포하였고 전 측정 기간오차의 표준편차는 4MV X선에서 ± 0.5 , 6MV X선에서 $\pm 1.1\%$, 10MV X선에서 $\pm 1.0\%$ 로 나타났다. 이상에서 기술한 바와 같이 1,2차 측정 기간동안의 안전성의 표준편차는 $\pm 2\%$ 이내에 있어 변화의 폭이 크지 않음을 알 수 있었고 측정시스템의 재현성과 안정성이 매우 우수한 것으로 평가되었다.

2. 환자치료시의 문제점 및 set-up에의 장애



투과선량 측정시스템의 장착 시 이로 인해 방사선치료에 장애가 되는 환자의 경우는 없었다. 본원의 Clinac 4/100선형가속기의 4MV의 X선 발생장비는 beam stopper가 장착되어 있어 투과선량 측정시스템을 장착한 상태에서의 환자치료가 용이 했으나 Clinac 2100C 선형가속기에는 갠트리 하단부에 측정시스템을 장착하여 이용하여breast board의 elevation정도가 큰 경우 환자의 set up시 couch의 높이가 낮아져 투과선량 시스템과 접촉하는 경우가 발생하였다. 본 선량측정시스템을 이용하여 측정을 시행한 경우 치료시간이 약 1.5-2시간 정도 연장되어 1인당 약 3분 정도 치료소요 시간이 연장됨을 알 수 있었다.

3. 환자set-up에 따른 투과선량 측정의 제한

환자를 투과한 방사선이 측정시스템에 도달하기 전 치료용 couch의 금속부분을 관통하게되는 경우가 2명의 환자에서 발생 하였고 측정치는 30%-50%정도의 차이를 보였다. 또한 두경부 종양의 전후방조사로 방사선 치료를 받는 환자의 경우 아크릴판으로 제작한 환자 고정장치 및 pillow를 통과한 방사선의 일부가 고정장치에 흡수되어 실제 측정치가 예상치와 크게 차이가 남을 알 수 있었다.

고찰

방사선 요법에 의한 악성종양의 치료 시 과거에는 고식적 목적에 의한 치료의 비중이 주를 이루었으며 치료 후 발생하는 합병증의 최소화를 위한 노력에 앞서 암세포의 재발 및 확산 전이를 방지하기 위해 조사야를 가능한 최대로 하여 치료를 시행하였다. 그러나 각종 치료기술의 개발로 근치목적의 치료의 비중이 현저히 증가되고 있으며 이를 위해서는 정확한부위에 방사선이 조사되어야 할 뿐만 아니라 정확한 방사선량이 치료하고자 하는 부위에 도달 하여야 한다. 그러나 실제 치료 시에는 환자에 조사된 방사선량이 약 15%까지 오차를 나타내는 경우도 있는 것으로 보고 되고 있으며 이러한 오차들을 피하고 방사선량이 적절한 정도유지를 위해서는 환자에 실제로 도달하는 방사선량을 매 치료시마다 확인할 필요가 있다. 따라서 본원에서 개발한 투과선량 측정시스템을 골반부, 두경부종양 환자를 대상으로 적용한 결과 투과선량시스템의 재현성, 안정성이 우수하여 임상적용 측정을 가능케 했으며 치료시 종양투여 선량의 실시간 평가를 가능케 하여 고가의 선량 측정 시스템의 대체를 할 수 있는 것으로 평가되었다.

참고문헌

- 김보경. 골반부 방사선 치료 환자에서 투과선량측정 시스템의 임상적용. 서울대학교 대학원 의학석사학위논문. 2001.
- 우홍균, 하성환. 고에너지 방사선치료용 on-line 선량측정시스템을 위한 알고리즘의 개발. 대한방사선방어학회지. 1997; 22; 207-218.
- 우홍균, 허순녕, 이형구 등. 투과선량을 이용한 on-line 선량측정에서 불균질조직에 대한 선량 보정. 대한방사선방어학회지. 1998; 23; 139-147.
- 윤형근. 고에너지 방사선치료용 in vivo 선량측정시스템을 위한 투과선량계산 알고리즘연구. 서울대학교 대학원 의학박사학위논문. 2000.