

방사선치료 과정의 오차발생에 관한 분석

서울대학병원 치료방사선과

박진홍 · 최계숙 · 박흥득

I. 서 론

방사선치료 과정에서 인위적(human errors) 또는 치료장비의 오작동(machine malfunction)으로 인한 오차발생으로 조사야가 벗어나거나 계획된 조사선량에 오차가 발생하는 것을 자주 관찰하게 된다.

예를 들면 선량계산시 부적절한 보상계수 적용이나, 검교정이 되어있지 않은 치료장비의 사용, 환자위치잡이(patient positioning) 문제점 등 치료계획에 의한 치료시행 과정에서는 많은 오차가 발생하게 된다.

이러한 오차발생은 원인 분석에 의한 신속한 교정이 요구되며 또한 치료의 성패를 좌우하는 중요한 인자가 될 수 있다.

본 보고서는 방사선치료 과정에서 발생하는 오차발생빈도에 대한 분류 및 오차발생시 신속한 교정, 오차재발 방지를 위한 지침을 제시하고자한다.

II. 오차발생의 원인(source of errors)

방사선치료 과정에서 발생할 수 있는 오차발생의 주된 원인은 치료를 시행하는 인적 구성원(의사, 물리치료사, 방사선사, 간호사)에 의한 인적오차(human errors)와 치료장치의 오작동(machine malfunction)으로 인한 기기적오차 등으로 분류할 수 있다.

1. 인적오차(human errors)

1) 의사에 의해 발생할 수 있는 오차

- 환자의 차트에 정확한 방사선치료를 위한 지시(order)의 생략
: 차폐도표(shielding diagram), bolus 사용 여부, 치료계획선량 변경, 정확한 치료자세(patient positioning) 등.
- 알아보기 어려운 글씨에 의한 지시(order).
- 치료계획시 잘못된 치료부위(target volume)의 설정.

2) 물리사, 치료방사선사에 의해 발생할 수 있는 오차

- 조사시간, MU계산오차.
- Beam 데이터(PDD, TMR, OUTPUT), 교정계수(tray, wedge factors) 측정오차
- 종양선량(tumor dose), 일일치료선량(daily dose) 누계오차.
- 치료깊이(patient thickness) 계측오차.
- 전산화 치료계획(computer planning)오차.
- 치료계획의 변경(조사야, wedge insert, block 추가)이나 출력(output)의 변화에 따른 선량계산 교정을 하지 않은 경우.

3) 치료방사선사에 의해 발생할 수 있는 오차

- 조사시간이나 MU setting 오차.
- 잘못된 환자의 위치잡이(patient positioning).
- 치료계획에 변화(조사야, 차폐위치변화, 에너지, 치료계획선량)가 있음에도 이를 인지하지 못하고 치료를 시행하는 경우.

- 차폐물 제작(block fabrication)오차 및 환자 치료시 잘못된 차폐.
- 치료보조기구 사용에 있어서의 오차(베개, 고정용기구, mouth piece 등)

2. 치료장치의 오차 및 오작동(machine malfunction)

치료장치에서 발생할 수 있는 오차를 크게 두 가지로 분류해보면 기계적(mechanical accuracy)오차와 방사선량, 선질, 분포(radiation accuracy) 상에 있어서의 오차를 들 수 있다.

1) 기계적오차(mechanical accuracy)

- 중심축(isocenter)의 일치도 : Gantry, collimator.
- 선원 표면간거리 지시기(SSD indicator).
- 조사야, 레이저(side, sagittal, vertical laser).
- Couch 위치 및 중심축.
- 중심축 지시기(cross hair intersection).
- Gantry, collimator 각도.
- 조명면과 방사선 조사면의 일치도.

2) 방사선량, 선질, 분포상의 오차(radiation accuracy)

- 방사선출력(output)
- 대칭도 및 평탄도(flatness and symmetry).
- 방사선 에너지.
- 방사선량 교정계수(wedge, tray factor).

3) 오차 방지를 위한 Quality Assurance Program

치료부위(target volume)에 정확한 치료계획 선량을 조사시키기 위해서는 질높은 인적구성원의 서비스도 중요하겠지만 의도한대로 정확히 작동되는 치료장치의 정확성도 큰 비중을 차지한다.

아무리 최첨단 치료장치라 할지라도 주기적 점검 및 교정이 되어있지 않으면 그로인해 치료효율의 저하를 가져오게 된다.

그러므로 치료장치의 오차 및 오작동을 최소화

화하기 위해서는 각 병원 실정에 알맞는 quality assurance program을 개발하여 이를 주기적으로 시행하는 것이 절실히 요구된다(표 1).

III. 발생빈도가 높은 인적오차 (human errors)

방사선치료를 시행함에 있어서 가장 발생빈도가 높은 인적오차는 선량계산, 환자치료(치료실, 모의치료촬영실), 차폐물제작(block fabrication) 오차 등을 들 수 있다.

1. 선량계산 오차(errors)

1) 조사시간, MU 계산

- 오차가 있는 데이터(PDD, TMR, Scp) 및 교정계수의 적용(wedge factor, tray factor).
- 유효조사야 계산오차(effective field size).
- 일일조사선량 계산오차
- 일일조사선량 누계 및 총치료계획선량 오차.
- 치료깊이(patient thickness) 계측오차.
- 방사선출력 변화에 따른 출력 교정이 되어 있지 않은 경우.
- 다른 에너지 데이터에 의한 선량계산.

2) 전산화 치료계획(computer planning)

- 입력된 데이터(등선량곡선, 방사선출력계수, PDD, TMR)의 오차.
- 부적절한 치료계획 : 에너지선택, 조사문수, wedge 사용여부, 조사각도, 불균질물질 보정(inhomogeneity correction) 등.
- 입력시 외형(contour)과 출력시 외형의 오차 : 외형, 내부구조, 치료부위
- 치료계획시 software와 hardware상의 오차(errors).

전산화 치료계획시 발생하는 오차를 최소화하기 위해서는 각 시스템에 알맞는 quality assurance program을 개발하여 이를 주기적으로 시행하는 것이 바람직하다(표 2).

Table 1. Daily, weekly, month and annual QA checks

Daily Checks

- Computer control system self –diagnostic tests
- Machine operating parameters
- Interlock lamp test
- Laser –localization lights
- Optical distance indicator (ODI)
- Patient audio –visual communication
- Radiation warning lights
- Photon beam output constancy

Weekly Checks :

- Light –radiation field congruence
- Radiation beam symmetry
- Electron beam radiation output constancy

Monthly Checks :

- Emergency off switches and interlocks
- Mechanical and digital indicators(gantry, collimator, field size)
- Inspection of the mechanical parts of the accelerator including blocking tray and treatment aids
- Constancy check of daily dosimetry system
- Photon beam energy(off –axis ratio)
- Electron beam energy(ionization depth ratio)

Annual Checks :

- Emergency off switches and interlocks
 - Mechanical and digital indicators(gantry, collimator, field size)
 - Inspection of the mechanical parts of the accelerator including blocking tray and treatment aids
 - Machine alignment(isocenter check)
 - Light –radiation field congruence
 - Radiation beam symmetry
 - Monitor chamber linearity and end effect
 - Photon dose calibration(cGy/monitor unit)
 - Electron dose calibration(cGy/monitor unit)
 - Output field size dependence
 - Percent depth doses for several field sizes
 - Wedge factors
 - Tray factors
 - Off –axis factors
 - Arc therapy
-

Table 2. Monthly QA procedures

QA Test	Device Tested	Tolerance
Plotter(simple)	Digital plotter	Accuracy<1.0mm
Recorder(simple)	Screen recorder	Accuracy<1.0mm
Printer(simple)	Printer	Legibility Character set correct
Digitizer(simple)	Digitizer	Accuracy<1.0mm
Display test grid	Graphics screen	Accuracy<1.0mm
Standard plan	External beam program Irregular beam program Rotational Beam Program Linear source program Seed program	Accuracy<1.0mm
Dataset checksum	Data files	Checksum verification

3) 선량계산 오차(errors)의 교정

선량계산 오차 발생시 이를 신속, 정확하게 교정 하는것은 치료의 성패를 좌우하는 중요한 인자이다. 그러므로 다음과같은 교정순서를 정하여 교정하는 것이 바람직하다.

- ㄱ) 환자 차트 점검시 오차발견 : 의사, 물리사, 치료방사선사.
- ㄴ) 신속한 보고 : 담당의사, 물리사.
- ㄷ) 문서화 : 환자의 차트, 선량계산 오차기록장부(그림 1, 2).

- ㄹ) 조사된 선량의 오차계산 : 물리사, 치료방사선사.
- ㅁ) 담당의사에 의한 치료방향 결정.
- ㅂ) 선량계산 교정 : MU, Time.
- ㅅ) 다음 치료에 반영.

4) 문서화의 필요성

오차 발생시 숨기려 하지말고 발생일시, 원인, 구체적 사항등을 문서화하고 이를 computer에 입력, 관리한다면 다음과 같은 이점이 있다.

- 오차 발생빈도의 분석평가.
- 오차발생 방지를 위한 지침 및 Q. A 절차에 활용.
- 인적구성원의 교육, 훈련에 이용.
- 오차발생의 최소화.

5) 선량계산오차 방지를 위한 지침

문서화된 자료를 분석, 평가하여 다음과 같은 지침에 의해 환자의 차트를 점검한다면 오차발생 빈도를 최소화할 수 있을 것으로 생각된다.

- 치료시작전 담당의사, 물리사에 의한 점검.
- 환환자에 대한 선량계산을 복수로(2인 이상) 점검.
- 최소한 일주일에 한번 복수로 재점검

Date : DR. 1st Notification : Time
SIG.

Patient :

Machine :

Doctor :

Time :

Census on machine : /Total machines operating

Persons involved :

Description of misadministration :

Treatment scheme altered? Yes No

Dosimetry corrected By :

DR S. Final review :

Fig 1. Radiation treatment misadministration form

NAME 홍길동

TREATMENT SITE : Lung

DATE	NO TX	RX DAY	SSD	INST	FIELD	RIELD SIZE	TIME SIZE	SIG	TECH COMMENTS	DAILY DOSE RADS					TOTAL	
6/1	1	1	91	6X	Ant	16x19	113	2√/리								
					Post	16x19	113	4√/리		780						
6/2	2	2	91	6X	Ant	16x19	113	4√/리		175						
					Post	16x19	113	4√/리		780		6월 3일				
6/3	3	3	91	6X	Ant	16x19	116	4√/리		175						
					Post	16x19	116	4√/리		780						
6/4	4	4	91	6X	Ant	16x19	116			175						
					Post	16x19	116			180						

Fig 2. Daily treatment record

- : 선량계산, 일일조사선량, 조사선량누계, 총 치료계획선량 등.
- 전산화 치료계획에 의한 선량계산은 실측 데이터 적용에 의해 재점검.

40건 발생으로 거의 대부분을 차지하고 있다. 환자치료시 발생하는 오차는 거의 치료방사선사에 의해 발생하므로 다음과 같은 발생빈도가 높은 오차의 예를 충분히 인지한후 치료에 임하는 것이 바람직하다.

2. 환자치료시 발생할 수 있는 오차 (treatment delivery errors)

치료과정에서 발생할 수 있는 오차(errors) 중 환자치료시 발생하는 오차를 그림 3의 통계자료에서 찾아보면 1년간 총 54건의 오차 중

CATEGORIES OF MISADMINISTRATION(1988)

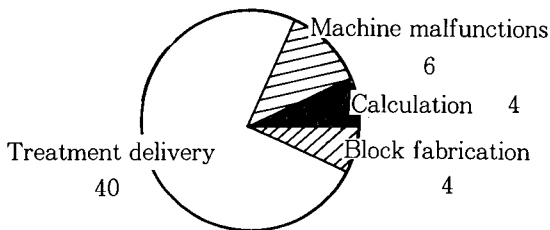


Fig 3. The 54 misadministrations are separated by category.(The Fox Chase Cancer Center, Philadelphia, USA)

1) 환자 치료시 발생빈도가 높은 오차

- Setup 오차 : MU, 조사시간, 에너지, 조사야, SSD, 조사각조동.
- 정상조직 차폐(shielding) : 차폐물(block) 및 방향의 뒤바뀜. 차폐생략, 부정확한차폐.
- Wedge생략, 방향의 뒤바뀜, 다른 각도 Wedge에 의한 치료.
- 부정확한 Tattoo(혹은 Ink에 의한 표시).
- 부적합한 환자 고정용기구의 사용 및 생략.
- 부적합한 환자의 위치잡이(patient positioning).
- 환자 차트에 당일 치료기록 생략.
- 2분 조사일경우 한번 치료한 방향에서 다시 치료하는 경우.

위에서 열거한 오차의 예중 가장 발생빈도가 높은것을 도표 3의 통계자료에서 찾아보면 부

- ㄹ) 오차로 인한 결과검토
 - 의사: 정상조직, 주요장기, 치료부위(target volume)가 받는 생물학적효과
 - 물리사: 치료부위 및 주변의 선량분포, 선량계산.
- ㅁ) 담당의사에 의한 치료방향 결정.
- ㅂ) 오차(errors)교정후 치료.

<치료후>

- ㄱ) 담당의사에게 신속한 보고.
- ㄴ) 문서화.
- ㄷ) 오차(errors)로 인한 결과 검토.
- ㄹ) 담당의사에 의한 치료방향 결정.
- ㅁ) 오차(errors)교정후 다음 치료에 반영.

3) 오차(errors) 방지를 위한 지침

- 치료실 방사선사는 위치잡이가 어려운 환자의 경우 담당의사와 모의 치료촬영 방사선사의 출석을 요구하여 함께 환자의 치료 자세를 setup한다.
- 환자의 위치잡이(patient positioning)는 항상 2인이 상호 보완하여 시행한다.
- 담당의사는 환자의 차트에 정확한 방사선 조사를 위한 지시사항을 명확히 기록한다 : 조사야, 조사방향, 조사각도, 환자의 자세(position)등
- 치료기간중 조사야 확인촬영(Linac-gram, gamma-gram)횟수를 늘린다.
- 환자의 위치잡이는 피부표면표시(skin marking)를 지양하고 해부학적 지표(bony landmarking)에 의해 시행한다.
- 적절한 환자 고정용기구를 이용한다.
- 정확한 환자의 위치잡이를 위해 의사와 치료방사선사간에 많은 대화를 가진다.
- 최신 방사선치료 동향에 대한 인적구성원의 교육, 훈련을 증가시킨다.
- 정확한 환자치료를 위해 일일치료 환자수를 조절한다.

3. 차폐물 제작오차(block fabrication errors)

차폐물 제작에는 높은 숙련도가 요구되므로

오차 발생율을 최소화하려면 차폐물과 공작물 제작 전문요원을 확보하는 것이 바람직하다.

1) 발생빈도가 높은 오차(errors)

- 각 치료기기와 동일하지 않은 S. T. D(source tray distance), S. F. D(source film distance)의 setup.
- 필름중심과 차폐물제작기(styformer cutter) 조명면(view box)의 불일치, 필름 조사방향의 뒤바뀜.
- 니크롬선(cutting wire)의 적정온도 및 절단속도 유지실패.
- 니크롬선 열에 의한 styrofoam 용해를 고려하지 않은 절단.
- 합금납의 적정온도유지와 styrofoam에 붓는 속도조절 실패로 인한 기포발생.
- 각 에너지에 따른 차폐물 두께조절 실패.
- 완성된 차폐물에 다른 이름표부착 및 약속된 위치가 아닌곳에 부착

2) 오차(errors)의 교정

완성된 차폐물은 복수에 의해(공작실, 치료실 방사선사) 정확도를 점검해야하며 제작오차 발견시 이를 문서화하고 즉시 교정한다.

3) 오차(errors) 방지를 위한 지침

- 차폐물 제작전 치료기기와 동일한 STD, SFD setup 확인.
- 필름중심과 조명면(view box) 중심의 일치도 및 필름방향 확인.
- 니크롬선의 열에 의한 styrofoam 용해를 감안한 절단선 설정 : 차폐선(shielding line) 안쪽으로 약 2-3mm.
- 니크롬선의 적정온도 조절(약 60°C) 및 절단속도 유지.
- 기포발생 방지를 위한 합금납(cerrobend)의 적정온도 유지 및 붓는속도 조절 : 합금납의 적정온도(70-75°C), 붓는속도(서서히).
- 각 에너지에 따른 차폐물 두께 확인 : 조사선량의 95% 이상이 차폐될 수 있는 두께로서 두께기준을 문헌에 의하지 말고 실측

에 의하는 것이 바람직하다.

- 제작된 차폐물의 이름표 및 약속된 위치에 부착확인.
- 복수에 의한 차폐물의 정확도 확인.

IV. 결 론

방사선 치료과정에서 발생할 수 있는 오차(errors)를 최소화하기 위해서는 치료를 시행하는 인적 구성원간에 많은 대화와 협조가 이루어져야 겠으며 오차발생시 이를 숨기려 하지 말고 문서화해서 나중에 이를 분석, 평가하여 오차 방지를 위한 지침을 만들고, 교육훈련에 활용하도록 하는 것이 바람직하다. 그리고 오차방지 및 효율적 치료를 위해 각병원 실정에 알맞는 quality assurance program을 개발하여 이를 주기적으로 시행하는 것이 절실히 요구된다.

끝으로 아무리 숙련된 치료방사선사라 할지라도 치료과정에서 자주 오차(errors)를 범하게 된다. 그러므로 오차방지를 위한 끊임없는 자기개발과 교육, 훈련으로 치료방사선사의 자

질을 향상 시켜야 하겠다.

참 고 문 헌

1. Wheeler. Paul S. Error management and quality assurance. Applied Radiology 15(1) : 41-42, 44-45 : 1986.
2. Hanks. Gerald E. Quality assurance in the EORTC and implications for cooperative studies with the RTOG. Radiotherapy and Oncology 10 : 77-79 : 1987.
3. Blanco. S. : Lopez-Bote. M. A. : Desco. M. Quality assurance in radiation therapy : Systemic evaluation of errors during the treatment execution. Radiotherapy and Oncology 8 : 256-261 : 1987.
4. Chu. J. C. H. : Richter. M. P. : Sontag. M. R. : Larsen. R. D. : Fong. K. : Bloch. P. Practice of three-dimensional treatment planning at the Fox Chase Cencer Center. University of Pennsylvania. Radiotherapy and Oncology 8 : 137-143 : 1987.