

선형가속기의 10년간 관리 자료를 바탕으로 한 통계분석

*성균관대학교 의과대학, 삼성서울병원 *방사선종양학과, †의공기술과

주상규* · 허승재* · 한영이* · 서정민* · 김원규[†] · 김태종[†] · 박영환*

방사선 치료의 핵심 장비인 선형가속기의 10년간 관리 기록을 분석하여 효율적인 관리 지표로 활용하고자한다. 장비의 장애 요인을 다각적으로 분석하기위해 고장 원인을 치료기 부위별로 세분했고 각각이 미치는 영향을 세 단계로 구분하여 조사했다. 또한 장비 사용량이 고장에 미치는 영향을 분석하기 위해 년도별 치료 환자수와 고장건수, 중요 부속의 평균 수명 등을 분석했다. 10년간 전체 고장건수는 587건 이였으며 이중 조사헤드부의 고장이 20%를 차지해 가장 높게 나타났으며 고장이 미치는 영향에 의한 분석에서는 일시적 장애해 당하는 중간 정도의 고장이 41%를 차지해 가장 높게 나타났다. 장애 영향이 가장 큰 조사 불가능 상태의 고장은 가속부에서 49%로 가장 높게 나타났으며 고장과 관련된 지표는 사용연수 및 치료건수와 밀접한 관계를 나타냈다. 중요 부속의 평균 수명은 클라이스트론과 싸이아 트론의 경우 치료건수가 증가함에 따라 교체 주기가 빨라져 각각 제조사 권고치의 42%, 83% 수준이었다. 안정적인 치료서비스 제공을 위해서는 사용 연수가 증가함에 따라 장비 관리의 필요성이 더욱 중요시 되어야하며 10년간 장비 관리기록을 통해 얻은 각종 지표가 향후 효율적 관리의 좋은 지침이 될 것으로 사료된다.

중심단어: 선형가속기 고장원인 분석, 장비 가동율

서 론

방사선 치료의 핵심 장비인 선형가속기는 국내에 처음 도입된 이후 단기간에 그 수가 급격히 증가하여 2001년도에는 52개 병원에 73대가 설치되었으며 최근 치료환자수의 증가와 더불어 새로운 장비 도입이 더욱 가속화되고 있다¹⁾. 초기 도입된 선형가속기가 단순한 방사선 조사 기능만을 수행했던 것에 비해 최근 보급되는 기종은 새로운 치료기술을 구현하기 위해 부가적인 장치들을 장착하게 되면서 점점 복잡화 및 고가화 되어 가고 있는 추세다. 따라서 안정적인 장비 관리를 위해서는 전문적인 지식과 체계적인 관리 시스템의 도입을 필요로 한다. 특히 선형가속기의 효율적인 관리는 치료성적 뿐만 아니라 의료서비스 만족도와 밀접한 관계를 가지고 있어 최근 이에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다²⁾. 선형가속기의 기능이 점점 복잡화 되면서 장비 관리가 단순히 경제적인 측면이나 방사선 조사의 가능 여부에 중점을 두던 과거의 관점을 벗어나 내장된 기능들이 정확히 수행되어 원하는 치료를 완벽히 구현할 수 있는가에 대한 질적인 관리에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 장비운용 상의 문제점을 정확히 이해하기 위해서는 문제점을 세분하여 다각적인 관점에서 객관적인 평가를 필요로 한다. 본 연구에서는 1994년 4월 설치하여 가동 중인 선형가속기의 10년간 수리 기록을 분석하여 관리 실태를 평가하고 효율적인 관리 지표로 삼고자한다.

재료 및 방법

1. 대상 장비

본 연구는 1994년 4월 설치하여 현재까지 사용 중인 Varian사의 고에너지 선형가속기 모델 CL2100C(6,10MV photon, 6,9,12,15,20MeV electron)를 대상으로 하였으며 대상 장비는 부가 기능으로는 EPID(Eletronic Portal Imaging Device)와 R&V(Record & verify) 시스템을 보유하고 있다. 고장 분석을 위해 10년간 기록한 장비수리일지(의공기술과 기록)와 장비관리일지(사용자기록)를 이용하였다. 장비 수리 및 관리일지는 자체 개발한 프로그램으로 관리 되어왔으며 1994년 이후 수차례에 걸쳐 사용자의 이용 편리를 위해 기능이 개선되거나 추가되어왔다.

2 고장분석

1)부위별 고장건수 분석:장비의 고장 부위를 구체적으로 분석하기위해 10년간 기록을 바탕으로 부위별 고장 발생건수 조사하였다. 각 부위는 다음과 같이 선형가속기의 기능에 따라 크게 9개 부분으로 나누고 각 부분의 고장 건수를 분리하여 기록하였으며 동시에 여러 가지원인이 복합적으로 작용한 경우에는 추정되는 주원인만 포함시켰다. (1)가속부(Acceleration section), (2)펄스부(pulse section), (3)조사 헤드부(radiation head section), (4)제어부(controller section), (5)냉각 시스템(cooling system), (6)지지 장치부(holding system), (7)환자 테이블(bed system), (8)치료기록 및 확인 장치(Record & Verify system), (9) 치료확인 촬영장치(electronic portal imaging device)

2)고장의 정도 분류:장비 고장이 실제 치료 업무에 미친 영향을 객관적으로 평가하기 위해 고장의 경중에 따라 조사가능, 조사능력저하, 조사 불가능 등의 3단계로 구분하여 분석하였다.

3)중요부품의 평균수명:장비 사용 시간에 따른 소모재료의 경제성을 분석하기 위해 선형가속기의 중요부속인 싸이르트론(thyratron)과 클라이스트론(klystron), RF 드라이브(RF driver)의 평균 수명과 교체 주기를 조사하여 제작사의 권고치와 비교 분석하였다. 평균 수명은 총사용 기간을 총 교체 횟수로 나누어 표현하였다.

4)치료건수와 장비고장건수 분석: 치료건수와 장비 고장건수를 조사하여 상관관계를 분석하였으며 년도별 수리비용과 총 수리 시간을 조사하여 평균 유지비용을 분석하였다.

5)계절 및 온도 변화에 따른 고장건수의 상관관계분석: 장비의 사용 환경 중 가장 밀접한 영향을 미치는 온도와 계절적 요인과의 상관관계를 분석하기위해 월별 고장건수와 각월의 평균 온도를 조사하였다. 온도는 장비가 설치된 서울의 10년간 평균 온도를 이용하였다.

결 과

10년간 수리기록을 바탕으로 조사한 전체 고장 건수는 587건 이었으며 선형가속기 부위별로 분석한 결과 조사헤드부분이 119건으로 전체의 20%를 차지해 가장 높게 나타났다. 다음으로 가속부가 19%, 조정부 14%, couch부 13% 순으로 높게 나타났다(Fig. 1). 고장이 미치는 영향에 따른 분류에서는 전체 고장의 41%가 일시적장애에 해당하는 “조사가능 저하”에 속하였고 치료업무에 장애를 주지 않는 “정상조사” 상태의 장애가 약38%로 나타났다. 장비 운영에 심각한 장애를 가져오는 “조사 불가능” 상태의 고장은 전체 고장의 약 21%를 차지해 빈도수가 가장 낮음을 알 수 있었다. 부위별 고장 중 장애 영향이 가장 큰 “조사불가능” 건수는 가속부에서 49%(61건)로 가장 높았으며 냉각시스템(15%), 펄스부(8.8%), 조사헤드부(8%) 순으로 나타났다(Table 1). 또한 장비 설치 후 연간 고장 건수는 사용년수 및 치료건수의 증가와 함께 증가하였다($p=0.001$)(Fig. 2). 주요 부품의 평균 수명은 크라이스트론의 경우 설치 후 10년 동안 교체없이 사용하고있어 제조사 권고치(18000시간)를 초과하여 사용하고 있다. 그러나 장비 사용량과 밀접한 관계를 갖는 싸이르트론의 경우 10년

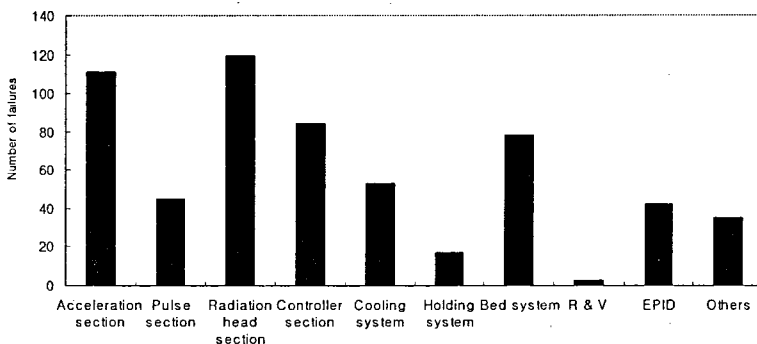


Fig 1. The number of failures of a system category.

동안 총6회 교체하여 평균 수명이 제조사 권고치의 42% 수준이었으며 RF 드라이버 역시 총3회 교체하여 제조사 권고치의 83% 수준이었다. 이러한 현상은 환자의 증가로 대상 장비 사용 율이 증가함에 따라 소모재료인 싸이르트론과 RF 드라이버의 교체 주기가 빨라진 것으로 추측할 수 있다. 장비 고장과 외부 조건과의 상관관계를 알아보기 위해 월별 고장횟수와 평균온도와의 관계를 분석한 결과 유의한 상관관계를 찾을 수 없었다($P>0.05$) (Fig. 4).

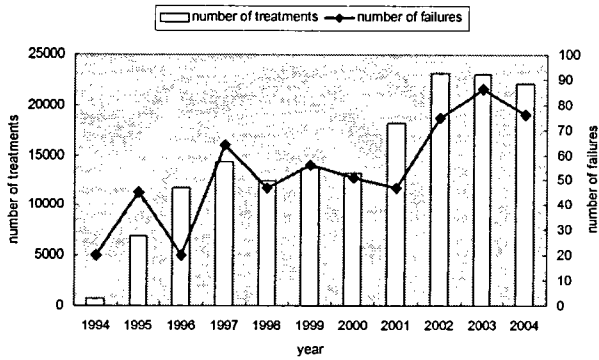


Fig. 2. The number of failures and treatments for every years

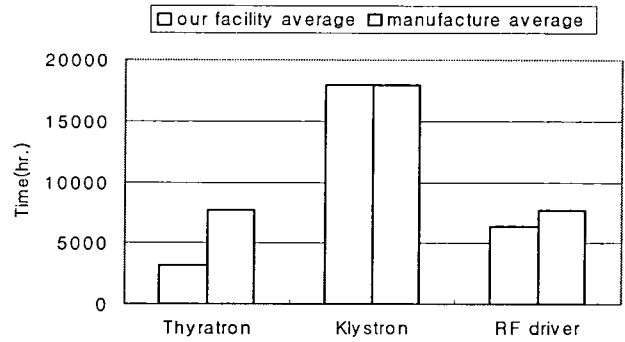


Fig. 3. The average life time of main parts.

Table 1. A configuration category of the details of failures.

A system category of Lineac	number of failures(%)		
	A	B	C
Acceleration section	5(0.9%)	45(7.7%)	61(10.4%)
Pulse section	16(2.7%)	18(3.1%)	11(1.9%)
Radiation head	52(8.9%)	57(9.7%)	10(1.7%)
Controller section	24(4.1%)	51(8.7%)	9(1.5%)
Cooling system	12(2.0%)	22(3.7%)	19(3.2%)
Holding system	5(0.9%)	9(1.5%)	3(0.5%)
Bed system	48(8.2%)	28(4.8%)	2(0.3%)
R & V	3(0.5%)	0(0.0%)	0(0.0%)
EPID	36(6.1%)	4(0.7%)	2(0.3%)
Others	22(3.7%)	6(1.0%)	7(1.2%)
Number of failures	223(38.0%)	240(40.9%)	124(21.1%)

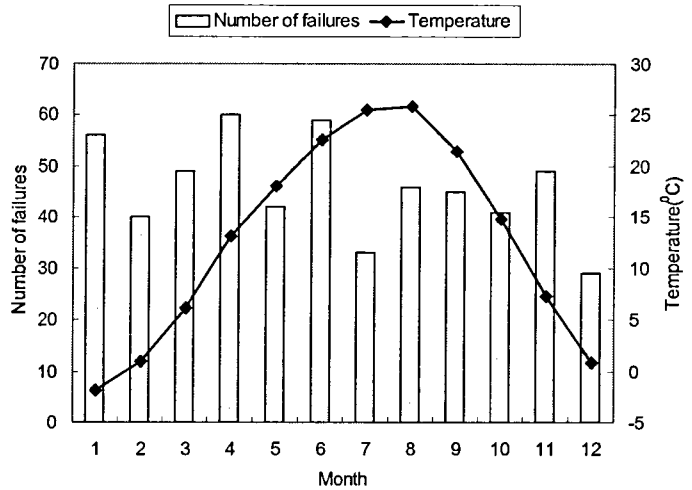


Fig. 4. The number of failures for every month with average temperature

결 론

본 연구의 목적은 선형가속기의 10년간 수리기록을 분석하여 효율적인 장비 관리의 지표로 삼고자하였다. 사용년수 및 사용량이 증가함에 따라 고장과 관련된 각종 지표들이 현저히 증가하였고 중요부속의 경우 사용량 증가와 함께 평균 수명이 현저히 짧아짐을 알 수 있었다. 따라서 안정적인 치료서비스 제공을 위해서는 사용년수가 증가함에 따라 장비 관리에 대한 관심이 더욱 필요한 것으로 생각되며 고장의 원인을 세분화하고 다각적인 분석을 통한 각종 지표들은 향후 관리 지침의 좋은 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. SeongYul Yoo, MiSook Kim, YoungHoon Ji, ChulKoo Cho, KwangMo Yang, HyungJun You:statistics for department of radiation oncology(1999~2001). J Korean Soc Therapeut Radiol Oncol 22:234-236(2004)
2. Hideki AOYAMA, Keiji INAMURA, Seiji TAHARA, et al.:The Statistical Analysis of failure of A MEVATRON77 DX67 linear accelerator over a ten year period. J Jpn Soc Ther Radiolo Oncolo 15:219-226(2003)

Statistical analysis of failures of a medical linear accelerator over ten years

Sang Gyu Ju*, Seung Jae Huh*, Young Yih Han*, Jeong Min Seo*, Won Kyou Kim[†]
Tae Jong Kim[†], Young Hwan Park*

*Department of *Radiation Oncology and [†]Biomedical Engineer, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea*

In order for better management of a medical linear accelerator, the records of the operational failures of Varian CL2100C over ten years were analyzed. The failures were classified according to the involved functional subunits and each class was rated into three levels depending on operational conditions. The relationship between the failure rate and working ratio was investigated.

Among the recorded failures (total 587 failures), the most frequent failure, which was 20% of the total, was observed in the parts related to the collimation system including monitor chamber. Regarding to the operational conditions, the 2nd level of failures, that temporally interrupted treatments, was the most frequent. The 3rd level of failures, that interrupted treatment for more than several hours, was mostly caused by the accelerating subunit.

The average life-time of a Klystron and Thyatron became shorter as the working ratio increased, which was 42 and 83% of the expected values, respectively.

Recording equipment problems and failures in detail over a long period of time can provide a good knowledge of equipment function as well as the capability to forecast future failure. More rigorous equipment maintenance is required for old medical linear accelerator to avoid the serious failure in advance, and improve the patient treatment quality.

Key Words: pattern of failure, the rate of operation for linearaccelerator