

## 의료용 선형가속기의 기계적 점검을 위한 새로운 정도관리 프로토콜의 개발

단국대학교병원 치료방사선과\*, 충남대학교병원 치료방사선과†  
경북대학교병원 치료방사선과‡, 전북대학교병원 치료방사선과§  
원광대학교병원 치료방사선과||, 동아대학교병원 치료방사선과¶

윤형근\* · 신교철\* · 김기환† · 오영기‡ · 김진기§ · 정동혁||  
김정기|| · 조문준† · 박인규‡ · 권형철§ · 문성록|| · 허원주¶

본 연구에서는 의료용선형가속기의 기기점검을 위한 일목요연하고 장기간의 통계처리가 가능한 새로운 정도관리 양식을 개발하였다. 개발된 양식을 2001년 8월부터 12월까지 국내의 6개의 기관에 적용하여 그 양식의 효율성을 평가하였다. 기존의 점검 양식은 단순히 선형가속기에 숫자로 표시되는 값들(digital data)과 측정장치를 이용하여 관찰된 값들(mechanical data)의 비교에 목적을 두고 있고, 각 항목들이 서술적으로 나열되어 있어 공간적으로 문제점을 파악하기 어렵다. 더욱이 기기의 장기간에 걸친 오차의 변화를 일목요연하게 알 수가 없다. 그러나 새로 개발된 점검 양식을 사용한다면, 디지털 데이터와 기계적 데이터의 비교는 물론 기기의 오차를 공간적으로 파악할 수 있게 될 것이다. 또한 기기의 장기간에 걸친 오차의 범위를 확인하게 되어 기기의 장기적 안정성을 알 수 있게 될 것이다. 뿐만 아니라 현실에 맞는 항목을 선택함으로써 기계적 정도관리(mechanical QA)를 수행하는 시간을 단축함과 동시에, 각 기관이 보유하고 있는 선형가속기의 장기간에 걸친 정도관리를 통해 얻은 데이터를 이용하여 치료장비의 오차에 대한 통계적, 물리적 데이터를 정도관리 직후 분석할 수 있게 되어 방사선 치료에 있어서 매우 중요한 요소인 방사선 치료장비의 기계적 정확성을 높일 수 있게 될 것이다.

**중심단어** : 기계적 정도관리, 장기적 안정성

### 서 론

방사선치료는 암의 주요한 치료법 중의 하나이며 그 역할이 점차 확대되고 있다. 방사선 치료에 있어서 방사선이 종양부위에 정확히 조사되어야함은 물론 종양에 도달하는 방사선의 양이 정확하여야 한다. 실제로 유럽 각국에서의 조사결과에 의하면 여러 기관에서 기계적 오차(mechanical error)가 발견되었다.<sup>1)</sup> 이러한 오차는 암치료의 성공여부를 크게 좌우하며 치료에 따르는 부작용에 미치는 영향이 커서 양질의 치료를 위하여서는 오차의 범위를 최소화할 필요가 있다.

오차를 최소화하기 위해서는 방사선치료의 적절한 정도관리(QA; quality assurance)<sup>2)</sup>가 필수적이며 이를 위해

서 필요한 방사선치료 기기 정도관리 기술 등이 필요하다. 현재까지 많은 연구가 진행되어 방사선치료장비의 기계적 정도관리를 위한 내용들이 있으나 이들 대부분은 일시적인 점검을 위주로 하고 있으며 내용 또한 복잡해서 방사선치료장비의 점검의 본래 목적을 달성하기는 부족한 면이 있다.<sup>3-6)</sup> 따라서 기계적 정도관리의 절차가 간단하면서도 장기간에 걸친 오차의 변화도 파악할 수 있는 적절한 protocol들과 그에 필요한 기기 들의 개발이 필수적이다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 의료용 선형가속기의 기계적 정도관리의 목적에 적합한 일목요연하고 장기적 안정성 확인이 가능한 양식을 연구하였다.

### 재료 및 방법

국내의 여러 기관에서 사용되고 있는 의료용 선형가속기에 대하여 기존에 사용되고 있는 양식에 따라 기계적 점검을 실시하고 문제점을 고려하여 새로운 양식을 개발하였다. 조사 대상의 의료용선형가속기는 국내의 6개 기관의 선형가속기 중 6대(Varian 사 2대, SIEMENS 사 3

이 논문은 2002년 5월 17일 접수하여 2002년 7월 22일 채택됨.  
이 연구는 2001학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음  
책임 저자: 윤형근, 충남 천안시 안서동 16-5  
단국대학교병원 치료방사선과  
Tel : 041)550-6930, Fax : 041)556-0524

대, Mitsubishi 사 1대)이었다. 기계적 점검을 위한 항목은 일반적으로 주간점검의 항목인 겐트리 회전(gantry rotation), 콜리메이터 회전(collimator rotation), 테이블 회전(couch rotation), optical distance indicator (ODI), 조사면크기(field size), laser alignment의 정확성 등이다.

겐트리의 회전점검은 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°에 대하여 시행하였으며 특히, 180°부분의 점검에 있어서는 시계방향(CW; clock wise)과 반시계방향(CCW; counter clock wise)에 대하여 시행하였다. 방법은 수준계를 이용하여 겐트리를 회전시킨 다음 디지털로 표시되는 값과의 차이를 읽었다. 콜리메이터의 점검은 테이블에서 겐트리 방향으로 볼 때 90°, 45°, 0°, 315°, 270°에 대하여 시행하였다. 콜리메이터 회전에 대한 점검방법은 360°가 표시되는 분도계를 사용하였다. 테이블 위에 분도계를 놓고 광학적 조사면의 중심을 분도계와 일치시킨 후 콜리메이터를 점검하려는 각으로 회전시켰을 때 디지털 표시 값을 읽었다. 테이블의 회전 점검에서는 0°, 45°, 90°, 315°, 270°에 대하여 시행하였다. 테이블의 회전은 기기에 따라 디지털 표시가 되지 않는 경우가 있어서 콜리메이터와 마찬가지로 360°표시가 가능한 분도계를 이용하였다. 방법은 테이블 위에 분도계를 놓고 광학적 조사면의 중심을 일치시킨 후 테이블을 점검하고자 하는 위치까지 회전시켜 테이블 아래의 기계적 스케일과의 일치성을 확인하였다. 광학적 거리표시계(ODI; optical distance indicator)의 경우는 SSD 80 cm, 90 cm, 100 cm, 110 cm, 120 cm에 대하여 점검했다. 방법은 거리표준자(mechanical ruler)를 이용하여 광학적 표시계의 값과의 차이를 점검하였다. 조사면의 크기에 대하여서는 대칭조

사면과 비대칭조사면에 대하여 점검하였는데 대칭조사면의 경우는 10×10 cm<sup>2</sup>, 20×20 cm<sup>2</sup>, 30×30 cm<sup>2</sup> 각각의 경우에 대하여 네 면을 점검하였다. 비대칭인 경우(X1 jaw와 X2 jaw 혹은 Y1 jaw와 Y2 jaw가 대칭으로 열리지 않는 경우는 기기 종류에 따라 달라질 수 있는데 10×0×20 (X1×X2×Y) cm<sup>2</sup>와 20×0×10 (X×Y1×Y2) cm<sup>2</sup> 중 가능한 것에 대하여 시행하였다. 방법은 모눈종이를 이용하였다. 테이블 위에 모눈종이를 놓은 다음 광학적 조사면의 중심과 일치시킨 후 점검하고자 하는 조사면의 크기를 확인하였다. 레이저의 일치성 점검에서는 회전 중심축에서의 일치성 확인은 물론 환자 치료시 환자의 피부에 닿게 되는 부분에서 레이저의 일치성을 확인하기 위해서 회전중심점에서 레이저가 입사되는 방향으로 15 cm 거리에서 레이저의 입사점을 확인하였다. 레이저의 일치성 확인은 옆면(right, left)과 천장의 레이저에 대하여 시행하였다.

기존의 양식의 문제점을 분석하고 보완하여 새로운 기계적 점검 양식을 개발하였다. 측정된 데이터를 이용하여 새롭게 보완 개발된 양식의 유용성을 확인하였다.

## 결 과

점검결과 각 항목에 대하여 기관별로 최대 오차 값은 Table 1과 같이 확인되었다. 점검한 의료용 선형가속기의 경우에 기준값 이상의 오차는 발견되지 않았다.

그러나 기존의 점검 양식(Fig. 1)은 단순히 디지털 데이터(선형가속기에 숫자로 표시되는 값들)와 기계적 데이터(측정장치를 이용하여 관찰된 값들)의 비교에 목적을

Table 1. Maximum error values for check lists

Lists (c7riterion)	Institute					
	A	B	C	D	E	F
Gantry Rotation (1°)	1.0°	0.5°	0.5°	1.0°	1.0°	0.5°
Collimator Rotation (1°)	0.5°	0.5°	1.2°	0.5°	0.5°	0.5°
Couch Rotation (1°)	1.0°	1.0°	0.5°	1.0°	1.0°	0.5°
Optical Distance (2 mm)	0.5 mm	1.0 mm	1.5 mm	0.8 mm	1.0 mm	0.5 mm
Indicator (ODI)	0.8 mm	0.5 mm	1.5 mm	0.7 mm	0.5 mm	0.5 mm
Field Size (2 mm)						
Laser (2 mm)	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	1.0 mm	1.0 mm
Alignment (ISO)						
Incidence Point	1.0 mm	2.0 mm	1.0 mm	1.5 mm	2.0 mm	3.5 mm

### Mechanical Accuracy

form Linear Accelerator

Criteria

1 Gantry Angle Indicator (at 0°, 90°, 180°, 270° and 360°)

a. Mechanical (1°) [ 0° | 90° | 180° | 270° | 360° ]

b. Digital (1°) [ 0° | 92° | 181° | 269° | 360° ]

2 Collimator Angle Indicator (at 90°, 180° and 270° or 0°, 90° and -90°)

a. Mechanical (1°) [ 90° | 181° | 270° ]

b. Digital (1°) [ 91° | 180° | 271° ]

3 Couch Angle Indicator (at 90°, 180° and 270° or 0°, 90° and -90°)

a. Mechanical (1°) [ 92° | 181° | 270° ]

b. Digital (1°) [ 90° | 181° | 271° ]

3 Optical Distance Indicator (2 mm) [ 90 | 100 | 110 | 120 ]

4 Field Size Indicator

a. 10x10 cm<sup>2</sup> (2 mm) [ 1 | 2 | 1 | 1 ]

b. 20x20 cm<sup>2</sup> (2 mm) [ 2 | 1 | 1 | 0 ]

c. 30x0x15 cm<sup>2</sup> (2 mm) [ 0 | 1 | 0 | 0 ]

d. 30x15x0 cm<sup>2</sup> (2 mm) [ 1 | 0 | 1 | 1 ]

5 Laser Alignment with Isocenter

a. Sagittal (2 mm) [ 0.5 | 1 ]

b. Right Wall (2 mm) [ 0 | 1 ]

c. Left Wall (2 mm) [ 0.5 | 0.5 ]

d. Ceiling (2 mm) [ 1 | 1 ]

e. Back Pointer (2 mm) [ 1 | 1 ]

Fig. 1. The existing mechanical QA sheet.

두고 있고,<sup>8-10)</sup> 각 항목들이 서술적으로 나열되어 있어 공간적으로 문제점을 파악하기 어렵다. 더욱이 오차의 정도가 측정할 때마다 다르므로 사용하는 기기의 장기간에 걸친 오차의 경향을 알 수가 없다.

본 연구에서 새로 개발된 점검 양식(Fig. 2)은 대부분의 경우에 있어 기존의 점검을 수행하면서 각각의 점검 항목과 그에 따른 세부 항목에 대하여 누적 통계처리가 가능하도록 되어 있다. 그리고 서술적이고 나열형이었던 기존의 양식과는 달리 새로운 점검양식은 공간적으로 문제점을 파악할 수 있도록 모든 점검 항목이 도식화되어 있다. 더욱이 엑셀 프로그램을 이용하여 측정 때마다 점검내용이 축적되고 통계처리가 가능하도록 되어 있다. 따라서 새로운 기기 점검 양식은 장기간에 따른 기계적인 변화를 확인할 수 있고 기기의 어느 특정부분의 문제점을 파악할 수 있다.

### Mechanical Quality Assurance

Longterm Stability

From 2001/11/1      Model: CL1800 V.arian  
Date 2002/7/16      Checked by Kyo Chul Shin Ph.D  
Week 81

Gantry Rotation

Standard Deviation of Gantry Rotation: 0.18°

Collimator Rotation

Standard Deviation of Collimator Rotation: 0.00°

Couch Rotation

Standard Deviation of Couch Rotation: 0.00°

Optical Distance Indicator(ODI)

Standard Deviation of ODI: 0.0 mm

Field Size

Symmetric Field ( 10x10, 20x20, 30x30 )

Standard Deviation of Symmetric Field: 0.1 mm

Asymmetric Field ( 10x0x20, 20x0x10 )

Standard Deviation of Asymmetric Field: 0.0 mm

Laser Alignment

Standard Deviation of Laser Alignment: 0.1 mm

Fig. 2. The developed new mechanical QA sheet.

### 고안 및 결론

본 연구과제의 완성으로 의료용선형가속기의 기계적 정도관리를 수행하는 시간을 단축함과 동시에, 각 기관이 보유하고 있는 선형가속기의 장기간에 걸친 기계적 정도관리를 통해 얻은 데이터를 이용하여 치료장비의 오차에 대한 통계적, 물리적 데이터를 정도관리 직후 분석할 수 있게 되어 방사선 치료에 있어서 매우 중요한 요소인 방사선 치료장비의 기계적 정확성<sup>11)</sup> 높일 수 있게 될 것으로 사료된다.

한편, 현재는 측정기의 제한으로 선형가속기 겐트리의 회전에 대한 정확도를 특정 각(0°, 45°, 90° 등)에서만 측정가능 하여서 이는 임의의 각도에서 발생된 겐트리 회전 의 오차를 찾아내지 못하고 있다. 이러한 점에 착안하여 저자들은 선형가속기 겐트리의 모든 각도에서 치료장비의 기계적 정확도를 점검할 수 있는 장비와 방사선조사면크기와 레이저 점검을 위한 하드웨어의 연구에 착수할 예정

이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 국내의 다수 치료방사선과에서 새로 개발된 prototype 소프트웨어를 이용하여 기계적 정도관리를 시행하도록 하여 수행과정 중 사용자가 제기하는 문제점을 연구 분석할 예정이다. 다음 단계에서는 발견된 문제점을 보완하여 개발된 소프트웨어를<sup>12)</sup> 개선할 예정이다.

QA의 효율성을 높이기 위하여 향후 개선된 소프트웨어를 이용하여 국내의 다수 치료방사선과에서 임상에 적용함으로써 장기간에 걸친 기계적 정도관리의 통계자료를 구축할 수 있게될 것으로 사료된다. 또한 새로운 프로그램에 누적된 데이터들의 분석과정을 통하여 의료용 선형가속기들간의 기계의 특성에 의한 오차유발 원인을 예측, 추적할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. Karzmark CJ: Procedural and Operator Error Aspects of Radiation Accidents in Radiotherapy, Int. J. Rad. Onc. Biol. Phys. 13:1599-1602 (1987)
2. AAPM Report 13: Physical Aspects of Quality Assurance in *Radiation Therapy*, American Association of Physicists in Medicine (1984)
3. Karzmark CJ: Advances in Linear Accelerator Design for Radiotherapy, Med. Phys. 11:105-128 (1984)
4. Horton JL: *Handbook of Radiation Therapy Physics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey pp. 95-111 (1987)
5. Starkschall G, ed.: *Proceedings of a Symposium on Quality Assurance of Radiotherapy Equipment*, 1983, American Association of Physicists in Medicine
6. ACMP Report 2: *Radiation Control and Quality Assurance in Radiation Oncology a Suggested Protocol*, American College of Medical Physics (1986)
7. Purdy JA, Harms WB and Gerber RL: Report on a *Long-Term Quality Assurance Program*, American Association of Physicists in Medicine Monograph No. 15:91-109 (1987)
8. AAPM, Code of Practice for X-Ray Therapy Medical Accelerators, Med. Phys. 2:105-110 (1975)
9. Holmes TW and McCullough EC: Acceptance Testing and Quality Assurance of Automated Scanning Film Densitometers Used in the Dosimetry of Electron and Photon Therapy Beams, Med. Phys. 10: 698-700 (1983)
10. Mellenberg DE, Dahl RA and Blackwell CR: Acceptance Testing of an Automated Scanning Water Phantom, Med. Phys. 17:311-314 (1990)
11. Starkschall G, Horton JL: *Quality Assurance in Radiotherapy Physics*, American College of Medical Physics, pp. 5-33 (1991)
12. 신교철, 김기환, 김진기, 오영기, 윤형근: 의료용 선형가속기의 정도관리를 확인하기 위한 새로운 양식, 22회 춘계의학물리학회 초록집, 2001, 제주, pp. 51

## Development of New Prototype of Mechanical Quality Assurance for Clinical Linear Accelerator

Hyong Geun Yun<sup>§</sup>, Kyo Chul Shin<sup>§</sup>, Ki Hwan Kim<sup>||</sup>, Dong Hyeok Jeong\*,  
Jin Ki Kim<sup>†</sup>, Young Kee Oh<sup>†</sup>, Jeung Kee Kim<sup>||</sup>, Moon June Cho<sup>||</sup>,  
Sun Rock Moon\*, Hyoung Chul Kwon<sup>†</sup>, In Kyu Park<sup>†</sup>, Won Joo Hur<sup>||</sup>

<sup>§</sup>*Department of Therapeutic Radiology, Dankook University, College of Medicine*

<sup>||</sup>*Department of Therapeutic Radiology, Chungnam National University, College of Medicine*

\**Department of Radiation oncology, Wonkwang University, School of Medicine*

<sup>†</sup>*Department of Therapeutic Radiology and Oncology, Chonbuk National University, College of Medicine*

<sup>†</sup>*Department of Radiation Oncology, Kyungpook National University, School of Medicine*

<sup>†</sup>*Department of Radiation Oncology, Dong-A University, College of Medicine*

In recent years, the radiotherapy equipment has become much more sophisticated, and with the complication comes an increased set of quality assurance (QA) responsibilities. Today's computer controlled linear accelerator requiring QA of not only the radiation integrity, but also the mechanical accuracy of the linear accelerator. The existing QA sheets are adequate for acceptance testing and commissioning but those sheets are somewhat descriptive form for routine QA. establishing the QA sheets for a facility are more efficient if the sheets could estimate the long-term stability for the result of QA. We are going to develop new prototype of mechanical QA sheet to visualize and to verify long-term stability of mechanical QA for clinical linear accelerator. The items included in mechanical QA sheet were 1) gantry rotation, 2) collimator rotation, 3) couch rotation, 4) optical distance indicator (ODI), and 5) laser alignment. We compared new prototype sheet with conventional sheet for several hospitals in Korea for those items. The QA acceptance criteria in this study mainly followed published recommendations. The contents of test for mechanical QA are the following. Confirm that the digital and/or mechanical gantry angle readouts are correct. Verify that digital and/or mechanical readouts of collimator angle agree with the true angle, as determined with the protractor. Measure the light field using a graph paper and compare with the digital readouts. Confirm digital readout accuracy. Verify that the sagittal laser, the left and right lasers, and the ceiling laser intersect at the isocenter. In the design of new QA sheet, we emphasized the representation of the long-term stability of mechanical QA by using Excel program. By using the new prototype QA sheet, we simplified and visualized the mechanical QA process, and could estimate the long-term stability of mechanical error of linear accelerator.

**Keywords** : Mechanical QA, Long-term stability