

# 세기변조방사선치료의 품질관리를 위한 이온전리함 매트릭스의 유용성 고찰

건국대학교병원 방사선종양학과

강민영 · 김연래 · 박병문 · 배용기 · 방동완

**목 적:** 세기변조방사선치료 시 선행되는 품질관리에서 선량분포와 절대선량 값을 비교하여 2차원 이온전리함의 유용성을 알아보고자 한다.

**대상 및 방법:** 본 실험은 선형가속기(CL 21EX, Varian, Palo Alto, USA)의 6 MV 광자선을 이용하여 비인두암 환자를 대상으로 하였다. 세기변조방사선치료를 위한 품질관리에는 2차원 이온전리함 배열(MatriXX, Wellhofer Dosimetrie, Germany)을 사용하였다. 비인두암 환자의 치료를 위해 역방향치료계획을 시행하였다. 고체팬텀에 삽입된 MatriXX를 전산화단층 촬영하여 환자 치료계획과 동일한 플루언스로 하이브리드(갠트리 각도 0°) 치료계획을 실시하였다. 실험적 선량분포의 측정은 하이브리드 치료계획과 동일한 기하학적 조건으로 MatriXX와 고체팬텀을 이용하여 측정하였다. 선량분포에서 고선량 저변위(High Dose Low Gradient: HDLG) 점을 선정하여 절대선량을 비교하였으며, 선량분포 일치성분석을 위해 감마 인덱스 히스토그램( $\gamma$ -index, Dose difference: 3%, Distance to agreement: 3 mm)을 이용하여 정량화하였다.

**결 과:** 감마 인덱스 히스토그램 분석결과 인정허용범위( $\gamma \leq 1$ ) 비율을 모든 조사면에서 각각 확인하였다. 갠트리 각도 0°에서 95.08%, 55°에서 97.52%, 110°에서 96.28%, 140°에서 98.2%, 220°에서 97.78%, 250°에서 96.64%, 305°에서 92.7%로 나타났다. HDLG에서 절대선량은  $\pm 3\%$  이내의 일치도를 보였다.

**결 론:** MatriXX를 이용한 세기변조방사선치료의 품질관리는 필름이나 단일 이온전리함을 이용한 일반적인 세기변조방사선치료 품질관리에 비해 시간, 인력을 최소화하면서 보다 효율적인 접근이 가능하였으며, 선량분포일치성 분석 및 절대선량확인에 매우 유용한 장치임을 알 수 있었다.

**핵심용어:** 세기변조방사선치료, 2차원 이온전리함 배열, 감마 인덱스 히스토그램

## 서 론

방사선치료의 목표인 종양조직에 최대선량을 조사하고 인접한 정상조직에는 최소한의 선량을 조사하기 위해서 최근 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy: IMRT)가 많이 사용되고 있다.<sup>1-3)</sup>

세기변조방사선치료는 기존 3차원 입체조형 방사선치료(3 dimensional conformal radiation therapy: 3D CRT)에 비해 조사면의 선량분포를 최적화하여 종양 제어율을 향상시키고, 정상조직에 발생할 수 있는 부작용을 최소화하기 위해 최근 선량 허용범위 내에서 최소한으로 선량이 조사되도록 한다.<sup>4)</sup> 방사선치료에서 세기조절이 가능하게 된 것은 역방향치료계획(inverse planning)과 다엽콜리메이터(multileaf collimator: MLC), 네트워크 기술의 발전에 기인한다.

역방향치료계획은 치료표적이나 결정장기의 용적, 제한선량 설정, 우선정도 등을 고려하여 치료계획자가 요구하는 선량분포를 설정하고, 최적화된 비균일 플루언스를 만들어 내어 전산화 동적 다엽콜리메이터(Computed dose dynamic MLC)의 정확한 움직임으로 선량분포를 형성하게 된다.<sup>5,6)</sup> 또한 단일 조사면에서 일정한 세기의 선량으로 치료를 하는 3D CRT에 비해 정밀하고 복잡하여, 치료장치의 정기적인 품질관리 뿐 아니라 각 치료계획에 따른 선량분포 확인과 절대선량의 측정이 필요하다.<sup>7)</sup>

IMRT QA는 치료장치의 QA와 환자별 IMRT QA (patient-specific IMRT QA)로 구성된다. 특히 환자별 IMRT QA는 이온전리함 절대선량계와 필름과 같은 상대선량계를 이용하여 시행한다.<sup>8)</sup> 이온전리함 절대선량계는 특정지점의 점 선량 측정으로 치료계획과 측정값 간의 절대적인 일치도 정보를 제공한다. 필름을 이용한 상대선량계는 치료계획의 선량분포와 측정 선량분포 간의 상대적인 선량 일치도를 확인한다. 기존 QA 장치를 이용한 IMRT QA는 기존 기압의 보정, 현상처리, 및 열처리 등의 측정을 위한 전후 처리가 필요하여 경제성이

이 논문은 2007년 5월 4일 접수하여 2007년 7월 25일 채택되었음.  
책임저자 : 강민영, 건국대학교병원 방사선종양학과  
Tel: 02)2030-5394, Fax: 02)2030-5383  
E-mail: bikini80@kuh.ac.kr

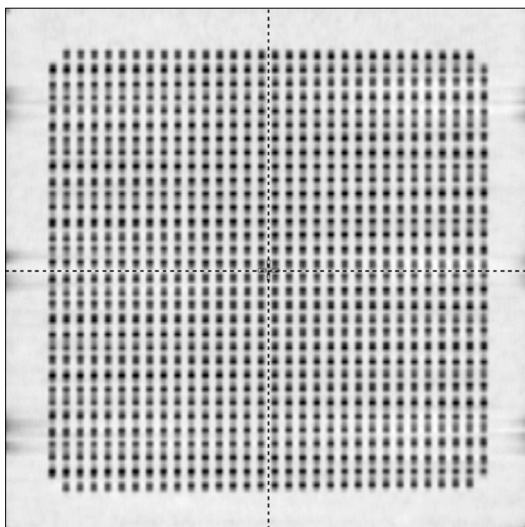
떨어진다. 치료환자의 흡산된 조사면을 평가하여 종합적인 선량 비교 및 분석은 가능하다, 발생된 오차의 방향성과 원인을 규명하기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 Poppe 등<sup>9)</sup>은 729개 이온 전리함 배열 측정기를 이용하여 세기변조방사선치료 선량분포를 분석하였고, 이정우 등<sup>10)</sup>은 1,020개 이온 전리함 배열 측정기를 이용하여 기본적인 선량계의 특성분석과 세기변조 방사선치료에서 사용하는 비균일 플루언스 조사면을 분석하여 선량품질관리 측정기로서의 유용성을 입증한 바 있다.

본 연구는 세기변조방사선치료 환자의 각각의 조사면에 대한 환자 맞춤 품질관리 시 2차원적 1,020개의 이온전리함 배열(MatriXX, Wellhofer Dosimetrie, Germany)을 이용하는 것이 세기변조방사선치료의 품질관리에 얼마나 유용한지 평가하고자 한다.

### 대상 및 방법

본 실험에서 사용된 장치로는 선형가속기(CL 21EX, Varian, Palo Alto, USA)의 광자선 6 MV를 이용하였으며, 비인두암 환자의 역방향치료계획을 위해서 치료계획장치(ECLIPSE, ver.: 6.5, Varian, Palo Alto, USA)를 이용하였고, 폴리스틸렌 팬텀(PMMA, SP33, Wellhofer Dosimetrie, Germany)을 사용하였다. 또한 측정을 위해 사용된 2차원적 이온전리함 배열은 24×24 cm<sup>2</sup> 범위에 1,020개의 평판형 전리함(용적: 0.08



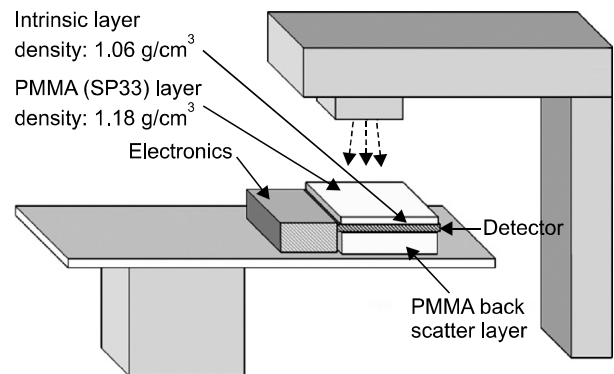
**Fig. 1.** The CT reconstruction image of 2D array ion chamber. The MatriXX device consists of a 1,020 vented ion chamber array, arranged in a 24×24 cm<sup>2</sup> matrix. Each ion chamber has a volume of 0.08 cm<sup>3</sup>, spacing of 0.762 cm.

cm<sup>3</sup>, 직경: 4.5 mm, 높이: 5 mm, 배열간격: 7.62 mm)이 일정한 간격으로 가로, 세로 32개씩 배열되어 있다(Fig. 1).

비인두암 환자의 치료를 위해 역방향치료계획(갠트리 각도 0°, 55°, 110°, 140°, 220°, 250°, 305°인 조사면)을 시행하고, 각 빔의 플루언스에 대해 하이브리드(갠트리 각도 0°) 선량분포를 얻었다. 폴리스틸렌 팬텀에 삽입된 MatriXX를 CT 촬영하여 치료계획 장치에 적용하였다. 환자 치료계획의 하이브리드 선량분포를 팬텀과 MatriXX CT 자료에 적용하여 실제 측정에 이용하였다.

IMRT 환자의 선량분포와 절대선량 확인을 위해 기준점(X: -0.8 cm, Y: 1.0 cm)을 정한 후 하이브리드 치료계획과 동일한 기하학적 조건으로 MatriXX를 이용하여 측정하였다(Fig. 2). 후방산란층을 위해 5 cm 팬텀을 MatriXX 하단에 위치시켰고, 팬텀과 MatriXX 내부층 밀도차이를 고려하여 최대 선량점에서 측정하였다. 모든 조사면의 플루언스를 갠트리 0°에서 조사하여 측정자료를 획득했다. 측정자료와 하이브리드 치료계획 자료를 세기변조방사선치료 분석 프로그램(OP-IMRT, ver. 1.4.3.3, Wellhofer Dosimetrie, Germany)으로 분석하였다. 선량분포 일치성 분석방법으로는 정성적, 정량적 방법으로 시행하였다. 정량적 분석방법은 Low 등<sup>11)</sup>이 제안하고 일반적으로 선량분포 비교에 많이 사용되는 감마인덱스 히스토그램( $\gamma$ -index histogram)을 이용하여 평가하였다.<sup>12-14)</sup> 선량분포 일치성 분석방법에서  $\gamma$  값이 1 이하일 때 두 조사면의 선량이 일치함을 나타내고, 1보다 크면 일치도가 낮음을 의미한다.  $\gamma$  값이 1이하인 영역의 분포를 퍼센트(%)로 나타내어 선량분포의 일치성을 수치로 분석하였다.

본 실험에서는 세기변조방사선치료의 선량분포를 분석하기 위한 일반적 판단기준으로 이용되는 조건으로 Dose difference는 3%, distant-to-agreement (DTA)는 3 mm로 적용하



**Fig. 2.** Schematic representation of the measurement condition. MatriXX consist of electronics and detector. And intrinsic layer density of MatriXX is lower than PMMA's.

여 분석하였다.

### 결 과

팬텀 치료계획의 선량분포와 동일한 조건에서 2차원 이온 전리함 배열을 이용하여 측정된 선량분포를 표준점에서 비교하였다. Fig. 3은 치료계획으로부터 얻은 자료와 측정을 통해 얻은 자료를 OP-IMRT 프로그램으로 분석한 것으로 정성적 방법으로 볼 때 선량분포의 양상이 유사한 추세를 나타내고 있었고, 단면의 선량 또한 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. Fig. 4는 선량분포 일치성 분석을 위해 감마 인덱스 히스토그램(Dose difference: 3%, DTA: 3 mm)을 이용하여 정량화한 것이다. 이때 용인할 수 있는 범위는 감마 인덱스가 1 이하인 경우로 Fig. 4A에서 푸른색으로 나타나 있는 부분으로 대부분이 이에 해당한다. 조사면의 경계 부분에서는 불일치성이 높게 나타났다. 저선량 고변위(Low Dose High Gradi-

ent: LDHG) 점의 경우 감마 인덱스의 특성상 선량분포 차이가 발생하는 것으로 분석되지만, 치료의 관심영역인 HDLG 점에서는 거의 일치함을 볼 수 있었다. 분석결과 조사면 중 용인할 수 있는 범위에 해당하는 영역을 막대그래프로 나타내어 보면 대부분의 영역이 인정 허용범위에 속하는 것을 알 수 있다(Fig. 4B).

갠트리 각도 0°인 조사면에서 치료계획 선량분포와 측정 선량분포 일치도는 인정허용범위( $\gamma \leq 1$ ) 비율로 표현하여 95.08%였다. 4.92%의 오차는 주로 조사면의 경계부분에서 발생하였다. 갠트리 각도 55°인 조사면은 두 선량분포의 일치도가 97.52%로 분석되었다. 치료계획에서 얻은 플루언스와 실측정에서 얻은 자료의 차이가 2.48%로 조사면의 경계 부분과 특정 부분(X: -1.3, Y: 3.0)에서 불일치를 보였다. 갠트리 각도 110°인 조사면은 선량분포가 일치하는 영역( $\gamma \leq 1$ )이 96.28%였다. 갠트리 각도 140°인 조사면은 가장 높은 일치도를 보였는데, 일치하는 부분이 98.2%로 일부 조사면의

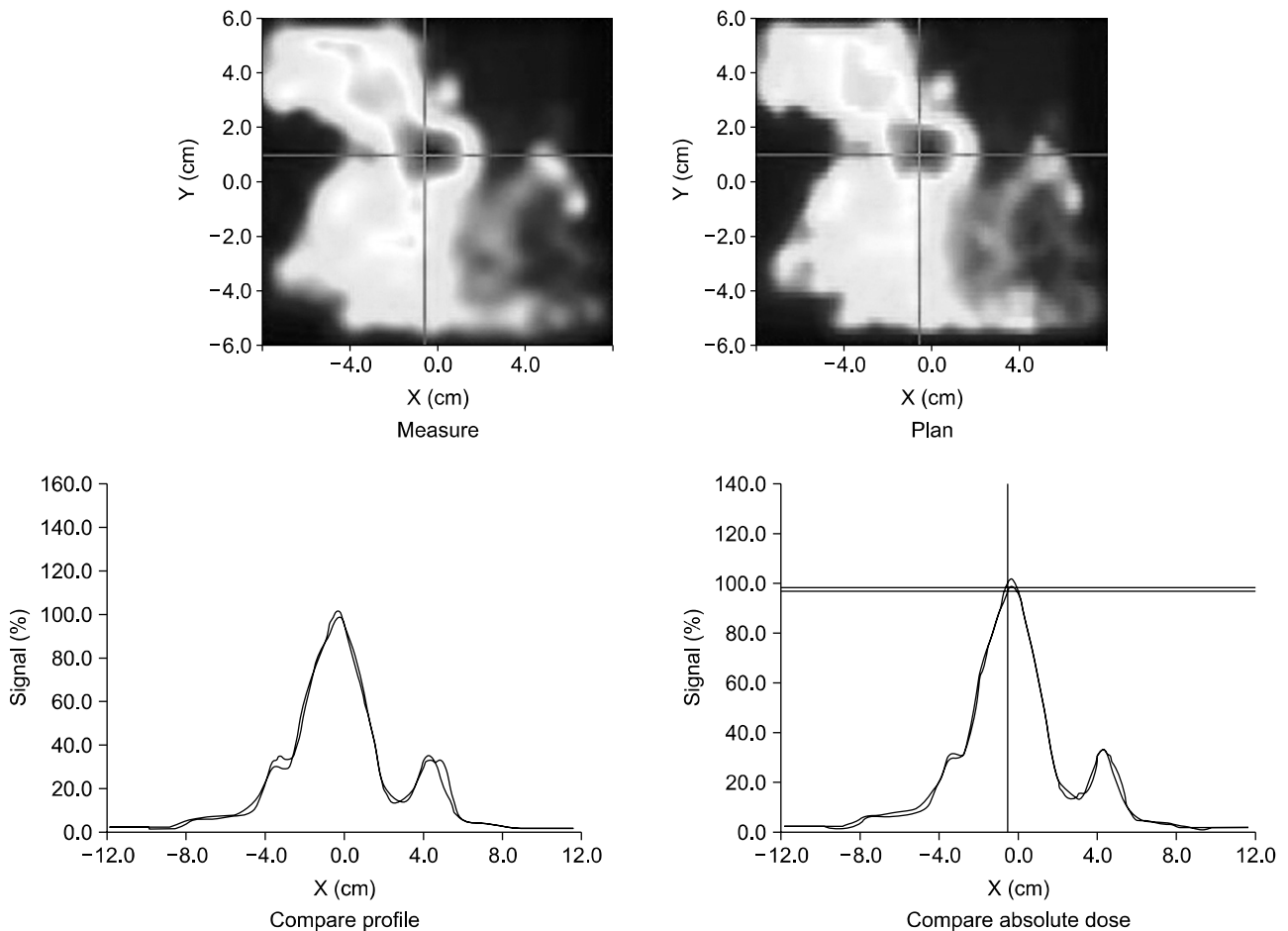
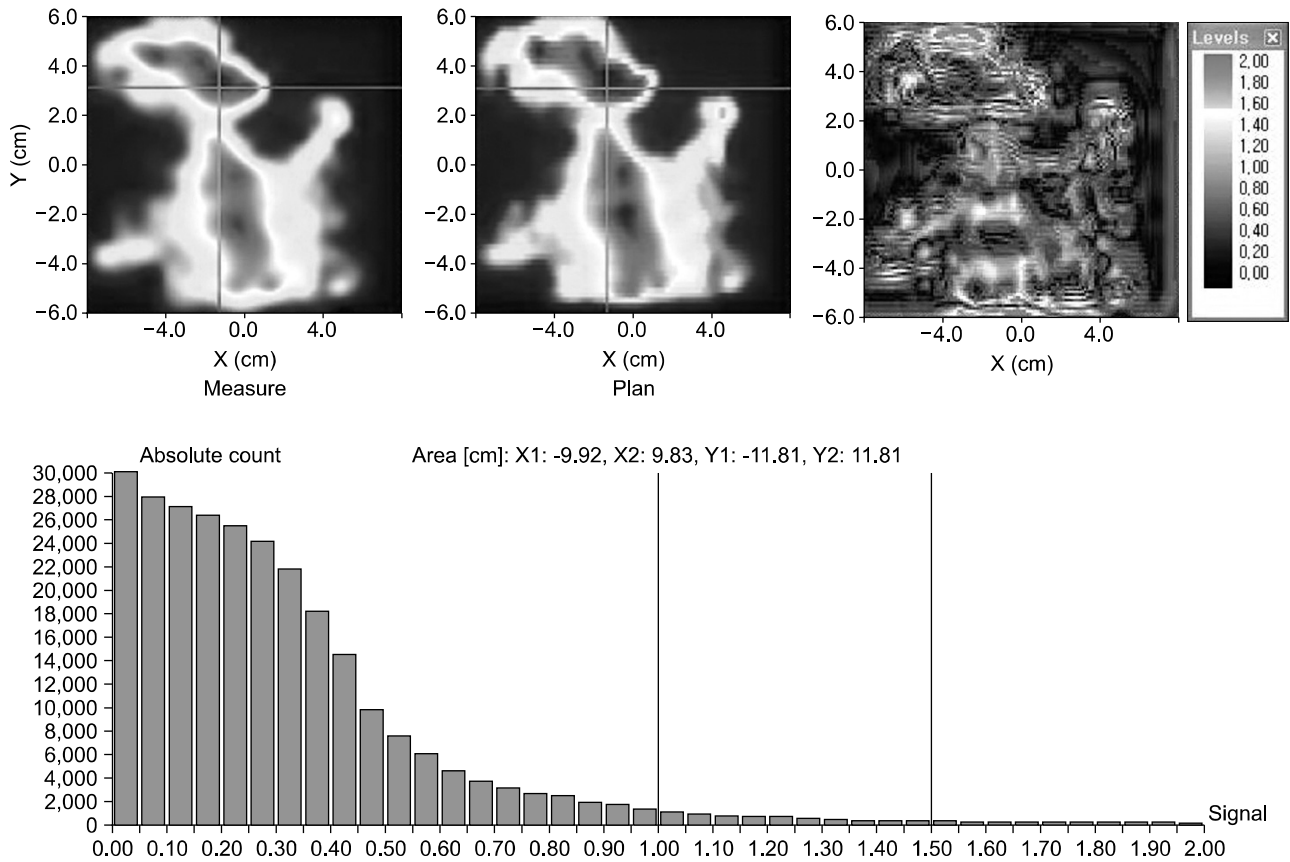


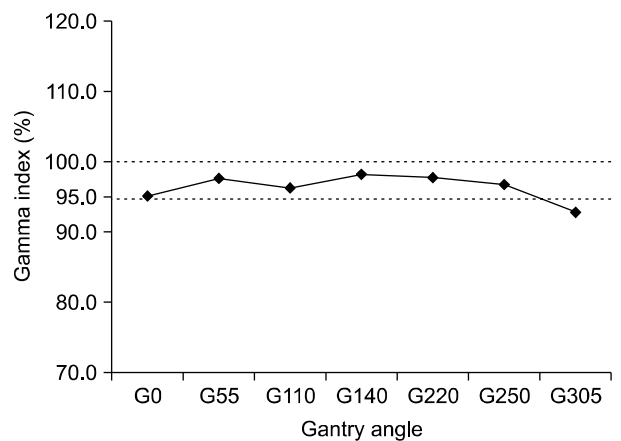
Fig. 3. The qualitative evaluation of dose distributions by Omni-pro IMRT program. One line of graph are similar to another when compared profiles.



**Fig. 4.** The quantitative evaluation of dose distributions by gamma index. The histogram is shown that most portion of irradiation region is included in an acceptable ranges ( $\gamma \leq 1$ ).

경계부분을 제외하고 모두 일치함을 알 수 있었다. 그 밖의 갱트리 각도 220°, 250°인 조사면은 각각 97.78%, 96.64%의 일치도를 보였다. 반면 갱트리 각도 305°인 조사면은 선량분포의 비교 결과 조사면의 경계부분 외에도 고변위점(X: 2.67, Y: -1.92)에서 차이를 보였다. 갱트리 각도 305°인 조사면을 제외한 모든 조사면에서 선량분포가 일치하는 영역이 95% 이상임을 알 수 있었다(Fig. 5). 오차가 발생하는 경우 특정 조사면과 조사면 내 기하학적 위치를 파악할 수 있었다.

OP-IMRT 프로그램을 이용한 선량분포 분석을 하면서 동일자료를 이용하여 HDLG점에서의 절대선량은 동시에 파악할 수 있었다. 갱트리 각도 0°인 조사면은 측정값 15.4 cGy, 치료계획값 15.9 cGy로 3.2% 측정값이 적게 분석되었다. 갱트리 각도 55°인 조사면은 측정값 12.3 cGy, 치료계획값 12.4 cGy로 0.8% 측정값이 적게 나타났다. 갱트리 각도 110°인 조사면은 9.7 cGy로 측정값과 치료계획값이 동일하게 분석되었다. 갱트리 각도 140°인 조사면은 측정값 12.3 cGy, 치료계획값 13 cGy로 측정값이 5.4% 적게 나타났다. 갱트리 각도 220°인 조사면은 측정값 51.4 cGy, 치료계획값 51.9 cGy로



**Fig. 5.** An acceptable proportional ranges below 1 of the  $\gamma$ -index was indicated reliable agreement within 5%. But one field (G 305°) is shown some discrepancy.

0.9% 측정값이 적었다. 갱트리 각도 250°인 조사면은 측정값 9.3 cGy, 치료계획값 9.4 cGy로 측정값이 0.1% 적게 측정되었다. 마지막 조사면인 갱트리 각도 305°에서는 측정값 8.9

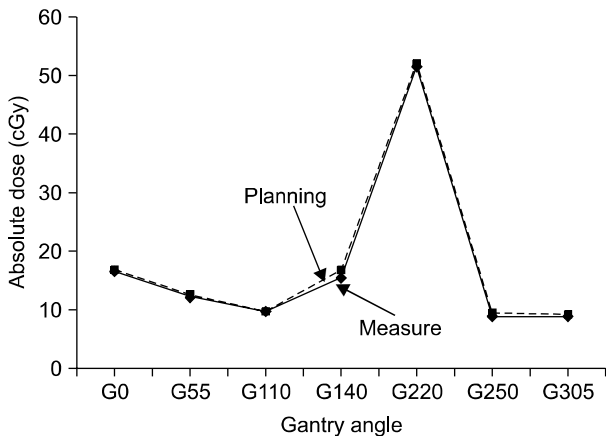


Fig. 6. Comparison of absolute dose difference from planning and measurement data. Most of field is shown a good agreement.

cGy, 치료계획값 9.2 cGy로 측정값이 3.3% 적게 분석되었다. 각 조사면에서 측정값과 치료계획 상의 절대선량은 평균적으로  $\pm 3\%$  이내로 평가되었으나(Fig. 6), 갠트리 각도 140° 조사면에서 절대선량 차이가 5% 넘게 나타났다. 각 조사면 측정값이 치료계획값에 비해 평균 1.96% 적게 평가되었다.

### 고안 및 결론

본 연구를 통해 MatriXX를 이용한 세기변조방사선치료 품질관리를 시행하고 분석한 결과 치료계획장치의 계산값과 측정값이 용인할 수 있는 범위에서 잘 일치하였다. 세기변조 방사선치료의 경우 치료 장치의 품질관리와 더불어 환자마다 치료선량분포와 절대선량을 측정하는 품질관리가 필수적이다.

환자별 맞춤 품질관리에서 필름을 이용한 선량측정 방법은 전체적인 선량분포를 측정하기 위해서 적합한 방법일 수 있지만, 필름을 도포하고 처리하는 과정에서 발생하는 변수들 때문에 절대선량의 측정에는 믿을 만한 방법이 되지 못했다. 일반적인 방사선 측정용 저감도필름(Radiography film)은 에너지 흡수와 전달이 생물학적 조직과 일치하지 않고, 실내 빛에 민감하고, 화학적인 처리를 요구하는 단점이 있다. 필름의 에너지 의존성과 반응영역에서는 과반응의 발생은 정확한 측정에 문제점을 야기 시킨다. 이온 전리함을 이용한 측정은 절대선량의 점선량 측정에 용이하나, 2차원적인 선량 분포 평가에는 부적합하다. 절대선량과 상대선량의 측정을 모두 시행하기 위해서는 표준 이온전리함과 필름을 모두 이용하여 중복적으로 측정을 해야 하는 번거로움이 있고, 측정을 반복해야 하는 과정에서 셋업 오차가 발생할 수 있다.

하지만 MatriXX를 사용함으로써 한 번의 측정으로 선량분포와 절대선량을 동시에 얻을 수 있게 되어, 측정 시간 및 인력 소모를 감소시키고 셋업 오차를 최소화할 수 있게 되었다. 또한 정성적 평가를 주로 실시하는 기존 품질관리 방법과 달리 본 실험에서 MatriXX를 이용한 세기변조방사선 치료 품질관리의 경우 감마 인덱스를 적용하여 선량분포 차이를 정량적으로 평가하고, 정성적인 평가 또한 가능하여 정확한 자료의 분석을 할 수 있었다.

따라서 MatriXX를 이용한 품질관리 방법은 기존 품질관리 방법에 비해 보다 경제적이고 효율적으로 접근이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Purdy J: Intensity-modulated radiation therapy: current status and issues of interest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 51:880-914
2. Bortfeld T, Boyer AL, Schlegel W, Kahler DL, Walden TJ: Realization and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;30:899-908
3. Mohan R, Wang X, Jackson A, et al.: The potential and limitations of the inverse radiotherapy technique. *Radiother Oncol* 1994;32:232-248
4. Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity modulated radiotherapy: current status and issues of interest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51: 880-914
5. Bortfeld T, Burkelbach J, Boesecke R, Schlegel W: Methods of image reconstruction from projections applied to conformal radiotherapy. *Phys Med Biol* 1990;35:1423-1434
6. Ezzell G: Clinical implementation of imrt treatment planning. intensity-modulated radiation therapy: the state of the art. colorado: AAPM 2003 Summer School, 2003;475-493
7. Losasso T, Chui C, Ling C: Comprehensive quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy with a multileaf collimator used in ghe dynamic mode. *Med Phys* 2001;28:2209-2219
8. Agazaryan N, Solberg T, Demarco J: Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 2003;4:40-49
9. Poppe B, Blechschmidt A, Djouguela A, et al.: Two dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification. *Med Phys* 2006;33:1005-1015
10. 이정우, 홍세미, 김연래 등: 세기변조방사선치료 선량분포 확인을 위한 2차원적 이온전리 함 배열의 특성분석. *의학물리* 2006;17:3
11. Low D, Harms W, Sasa M, Purdy J: A technique for the

- quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys* 1998;25:656-661
12. Ma L, Phaisangittisakul N, Yu C, Safaraz M: A quality assurance method for analyzing and verifying intensity modulated fields. *Med Phys* 2003;30:2082-2088
13. Depuydt T, Ann V, Dominique P: A quantitative evaluation of IMRT dose distributions: refinement and clinical assessment of the gamma evaluation. *Radiother Oncol* 2001;62:309-319
14. Harms W, Low D, Purdy J, Wong J: A software tool to quantitatively evaluation 3D dose calculation algorithms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;30:187

Abstract

## Feasibility of MatriXX for Intensity Modulated Radiation Therapy Quality Assurance

Min Young Kang, Yoen Lae Kim, Byung Moon Park, Yong Ki Bae, Dong Wan Bang

Department of Radiation Oncology, Konkuk University Medical Center, Seoul, Korea

**Purpose:** To evaluate the feasibility of a commercial ion chamber array for intensity modulated radiation therapy (IMRT) quality assurance (QA) was performed IMRT patient-specific QA.

**Materials and Methods:** A use of IMRT patient-specific QA was examined for nasopharyngeal patient by using 6 MV photon beams. The MatriXX (Wellhofer Dosimetrie, Germany) was used for IMRT QA. The case of nasopharyngeal cancer was performed inverse treatment planning. A hybrid dose distribution made on the CT data of MatriXX and solid phantom all of the same gantry angle ( $0^\circ$ ). The measurement was acquired with geometrical condition that equal to hybrid treatment planning. The  $\gamma$ -index (dose difference 3%, DTA 3 mm) histogram was used for quantitative analysis of dose discrepancies. An absolute dose was compared at the high dose low gradient region.

**Results:** The dose distribution was shown a good agreement by gamma evaluation. A proportion of acceptance criteria was 95.8%, 97.52%, 96.28%, 98.20%, 97.78%, 96.64% and 92.70% for gantry angles were  $0^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $110^\circ$ ,  $140^\circ$ ,  $220^\circ$ ,  $250^\circ$  and  $305^\circ$ , respectively. The absolute dose in high dose low gradient region was shown reasonable agreement with the RTP calculation within  $\pm 3\%$ .

**Conclusion:** The MatriXX offers the dosimetric characteristics required for performing both relative and absolute measurements. If MatriXX use in the clinic, it could be simplified and reduced the IMRT patient-specific QA workload. Therefore, the MatriXX is evaluated as a reliable and convenient dosimeter for IMRT patient-specific QA.

---

**Key words:** IMRT, MatriXX, gamma-index histogram