

Gafchromic EBT[®] 필름을 이용한 선량분포의 평가

— Evaluation of Dose Distribution Using Gafchromic EBT[®] Film —

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과 · 고신의료원 방사선종양학과¹⁾

강세식 · 고성진 · 장은성¹⁾

— 국문초록 —

Gafchromic EBT[®] 필름을 이용하여 정위방사선수술에서 작은 조사야에 대한 선량분포를 측정, 분석하는데 있어 그 유용성을 평가하였다.

조직 등가물질인 water 팬텀의 diode와 아크릴 팬텀내의 EBT[®] 필름을 비교하였으며, 또한 실제 뇌정위방사선수술의 평가를 위해 Gafchromic EBT[®] 필름을 이용하여 인체모형 두부 팬텀내 치료부위 위치를 확인하고 선량을 측정하여 계산값과 비교하였다.

diode와 EBT[®] 필름 모두 1.5 cm에서 6 MV 광자선에 대한 Dmax가 있었으며 팬텀내의 깊은 영역으로 빔이 진행하면 10~20 cm서 두 측정방법 모두 2~3% 정도의 오차로 중심에서 벗어나는 경향을 보여주고 있었다. Gafchromic EBT[®] 필름의 실제 조사된 선량분포를 치료계획에서 결정된 선량분포와 비교하면 90% 등선량곡선에서 5% 정도의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

뇌정위방사선수술에서 팬텀을 이용하여 측정된 주어진 목표점에서의 방사선 조사선량이 정확하게 측정된다는 사실을 확인하였으며 또한 정도관리의 한 방법으로도 그 유용성이 확인되었다.

중심 단어: 정위방사선수술, Gafchromic EBT[®] 필름, 물 팬텀, 아크릴 팬텀

I. 서 론

선형가속기를 이용한 뇌정위방사선수술은 뇌심부의 작은 종양에 다량의 방사선을 조사하여 양성 및 악성종양, 전이성 종양의 증식을 억제하거나 제거하며, artery vein malformation에서 이상 혈관을 폐쇄시키고 정상 혈류를 유도하는데 사용된다¹⁻⁵⁾.

뇌정위방사선수술은 1951년 Leksell⁶⁾에 의해 방사선수술의 개념이 처음으로 도입되었으며 정위수술방법을 이용

하여 두개강내 병소의 위치를 정확히 조준한 후 입체 집중조사를 실시함으로써 실제 수술로서 병소를 절제하는 것과 같은 효과를 얻는 치료방법이다. 뇌정위방사선수술에서 target volume은 삼차원적으로 정확하게 정의되어야 하고 선량분포가 표적용적과 허용오차 내에서 일치하여야 한다⁷⁾. 이러한 뇌정위방사선수술 계획시에는 방사선수술의 선량분포를 얻는데 사용되는 삼차원 수식의 정확도와 신뢰되는 실제 측정에 의한 확인의 과정이 반드시 필요하다.

Gafchromic EBT[®] 필름은 뇌정위방사선수술과 같은 작은 조사야에 대한 선량측정 방법으로서 적합하여 신뢰할 수 있음이 국내외적으로 보고된 바 있다. 이에 저자들은 선형가속기를 이용한 뇌정위방사선수술시 Gafchromic EBT[®] 필름을 이용하여 선량분포를 측정하여 선량계산의 정

* 이 논문은 2007년 4월 3일 접수되어 2007년 6월 5일 채택 됨.
책임저자 : 장은성, (602-702) 부산 사구 압남동 34
고신의료원 방사선종양학과
TEL : 051-990-6737
E-mail : linac135@hanmail.net

확성과 공간적 오차를 비교함으로써 선량분포를 확인하는 중요한 수단임을 입증하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. Gafchromic EBT[®] 필름

본 실험에 사용한 EBT[®] type의 필름은 1 MeV 이상의 고 에너지 광자선의 흡수선량을 측정하도록 고안되어 있으며 선량측정 범위는 0.01~8 Gy, 감광층은 양면구조로 되어 있으며 그 두께는 각각 17 mm이고, 두께 97 μm, 밀도 1.35 g/cm³의 투명한 폴리에스테르층이 감광층을 덮고 있으며(Fig. 1) 그 구성은 C(42.3%), H(39.7%), O(16.2%), N(1.1%) 등의 비율로 되어 있다.

Gafchromic EBT[®] 필름은 이차원적으로 높은 공간 분해능을 가지고 있으며, 상대적으로 가시광선에 덜 민감한 특징을 가지고 있고 원하는 형태의 크기를 자를 수 있어 취급하기가 쉽다. 또한 습식으로 현상할 필요가 없으며 에너지 의존성이 적은 것이 특징이다^{8,9)}.

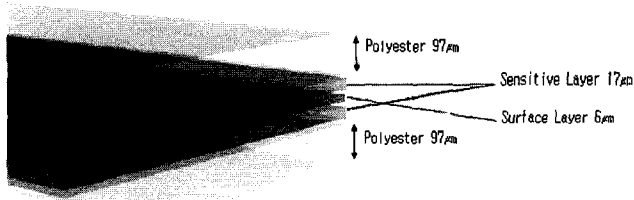


Fig. 1. Diagram of the Gafchromic EBT[®] film structure

2. 방법

1) Gafchromic EBT[®] 필름의 선형성 교정

Linac 6 MV 광자선을 30×30×30 cm³ 아크릴팬텀의 1.5 cm 깊이에 4×4 cm² 필름 12장을 각각 잘라 놓고 10×10 cm² 크기의 조사면으로 6 MV 광자선을 이용하여 각각 0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 MU를 조사하였다. 측정되어진 모든 필름은 24시간 후 필름을 스캔하여 optical density 값을 얻었다. 이후 횡축에 방사선량을, 종축에 광학 밀도를 기록하여 sensitometer curve를 얻어 실험에 사용된 필름의 선량-광학 농도의 linearity를 보정하였다.

2) Water 팬텀의 diode와 아크릴 팬텀의 EBT[®] 필름의 비교

측정 장치로는 목표점 설정을 위한 EBT[®] 필름과 전달 선량측정을 위해 다이오드를 사용하였으며 6 MV 광자선을 이용하여 water 팬텀은 깊이 1.5, 5, 10, 20 cm의 선량분포를 비교 검토하였으며 선원-표면거리 100 cm에서 기준조사야인 10×10 cm²에 대하여 이동하면서 조사하였다. 아크릴 팬텀은 30×30×30 cm³을 적층시켜 필름을 1.5, 5, 10, 20 cm 깊이에 삽입 밀착하여 기준조사야인 10×10 cm²에 6 MV 광자선을 이용하여 3 Gy를 조사하였다. 아크릴 팬텀을(30×30×30 cm³) 수직으로 세워 필름 양측에 15 cm 두께의 팬텀을 겹쳐 필름 끝을 팬텀 표면에 일치시킨 후 횡축면과 종축면에 6 MV 광자선을 이용하여 3 Gy를 수직으로 조사하여 심부선량백분율을 측정 비교하였다.

3) 정위방사선수술의 선량평가

① 원통형 팬텀 계산치와 필름의 실측치 비교

원통형 팬텀을 이용하여 뇌정위방사선수술 cone(1.25 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm)을 사용한 회전조사시(360°) 선량분포를 확인하여 필름에서의 실제 측정치와 비교하였다.

② 인체두부모형 팬텀에서 계산치와 필름의 실측치 비교

입체조사에 의한 선량분포를 확인하기 위하여 원통형 팬텀을 사용한 계산치와 실측치의 선량분포를 비교 확인하였고 다시 인체두부모형 팬텀을 이용한 계산치와 실측치를 비교하였다.

III. 결 과

1. 필름의 선형성과 교정

Gafchromic EBT[®] 필름의 신뢰성을 평가하기 위하여 실험한 결과 각각의 선량에 해당하는 필름의 흑화도를 표현한 선량과 농도에 대한 곡선은 Fig. 2에 나타내었다. 실선은 필름의 선형성 교정곡선을 보여주며, 점선은 이차함수로 근접시킨 곡선이다. Gafchromic EBT[®] 필름의 선량교정 곡선은 9 Gy까지 농도값은 0.992로 우수한 선형성을 보여주었다. 6 MV 광자선에 의한 Gafchromic EBT[®] 필름은 0~9 Gy 영역에서 우수한 선형성을 보이고 있어 상기 필름을 이용한 선량평가의 가능성이 확인되었다.

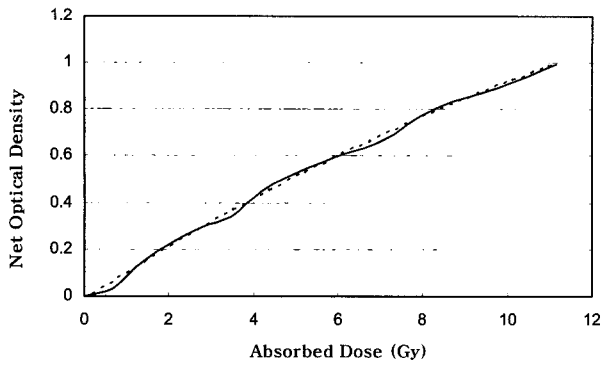


Fig. 2. Water 팬텀에서의 다이오드와 아크릴 팬텀에서의 EBT[®] 필름 선량 측정

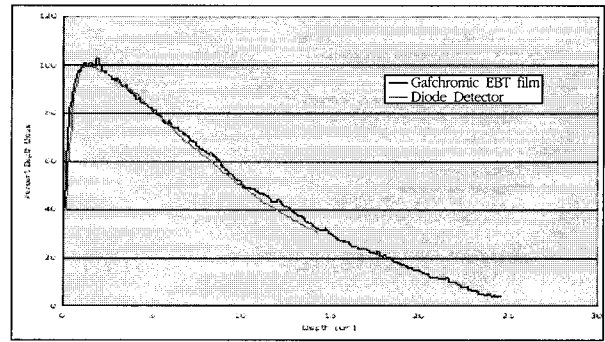


Fig. 3. PDD($10 \times 10 \text{ cm}^2$, 6 MV photon) of Gafchromic EBT[®] film and diode detector

대상 목표점과 흡수선량을 확인하기 위하여 깊이에 따른 변화를 측정하기 위하여 PDD, beam profile를 비교 분석한 결과, PDD는 두 경우 거의 비슷하게 나타나다가 깊이 15 cm 정도부터는 미미한 차이를 보이고 있었으며 다이오드와 EBT[®] 필름 모두 1.5 cm에서 6 MV 광자선에 대한 D_{max} 가 있음을 보여주고 있다(Fig. 3). beam profile을 보면 중심축 선상의 최대선량은 서로 일치하지만, 팬텀의 더 깊은 영역으로 빔이 진행하면 10 cm과 20 cm의 깊이 모두에서 2~3% 정도의 오차로 벗어나는 경향을 보여주고 있다(Fig. 4).

② 인체두부모형 팬텀에서 계산치와 필름의 실측치 비교
입체조사에 의한 선량분포를 확인하기 위하여 원통형 팬텀을 사용한 계산치와 실측치의 선량분포를 비교 확인 하였고 실제 적용을 위하여 인체두부모형 팬텀을 이용한 실험의 계산치와 실측치 비교에서는 Fig. 6~8과 같이 나타났으며 2 cm 콜리메이터를 사용한 방사선조사에 의해 목표점이 설정된 필름이며 이 필름에서 중심의 큰 흑점이 목표점이며 작은 흑점은 위치확인을 위해 설치한 편의 모양이다. 큰 흑점을 중심으로 이루어진 원형의 작은 흑점은 조사된 선량의 분포이다. Fig. 6는 2 cm 콜리메이터를

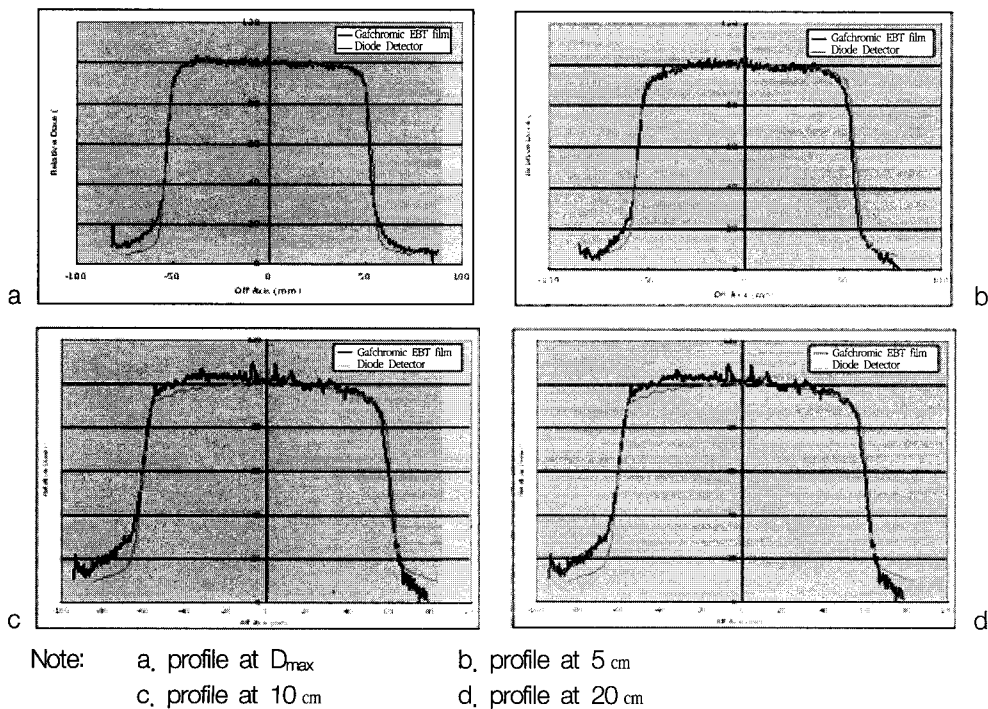


Fig. 4. Beam profile of X-axis on 6 MV Photon(diode와 Gafchromic EBT[®] film)

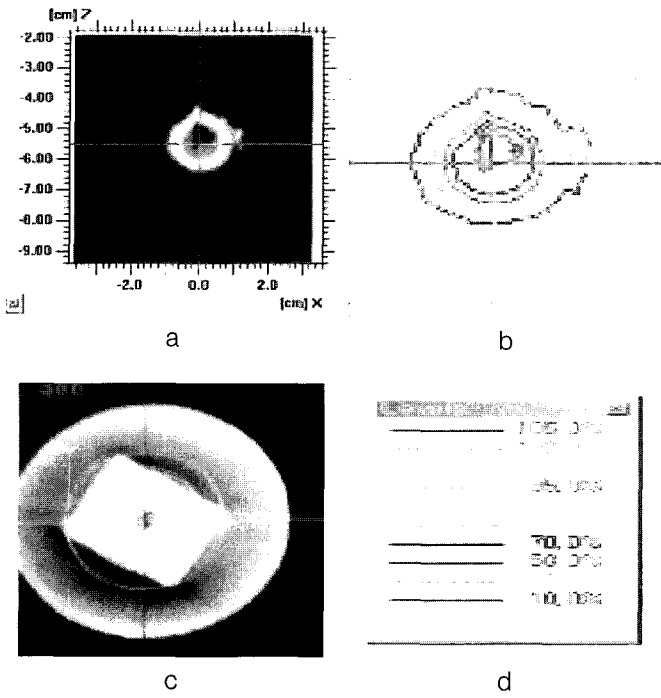


Fig. 5. Comparison of the Dose maps and Isodose lines for the measured and planned Dose distributions(a circular field of 1.25 cm, 6 MV Photon)

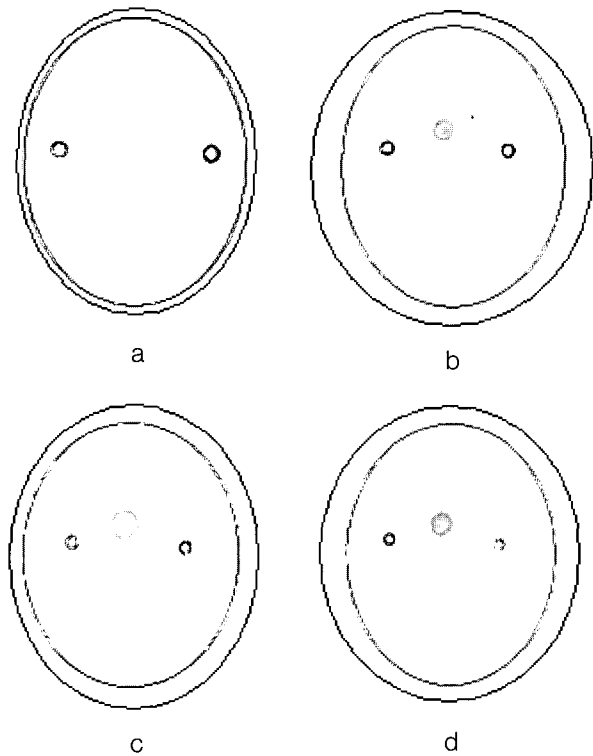


Fig. 6. Dose distribution of each slice from a to d (3Gy, 6 MV Photon arc beam)

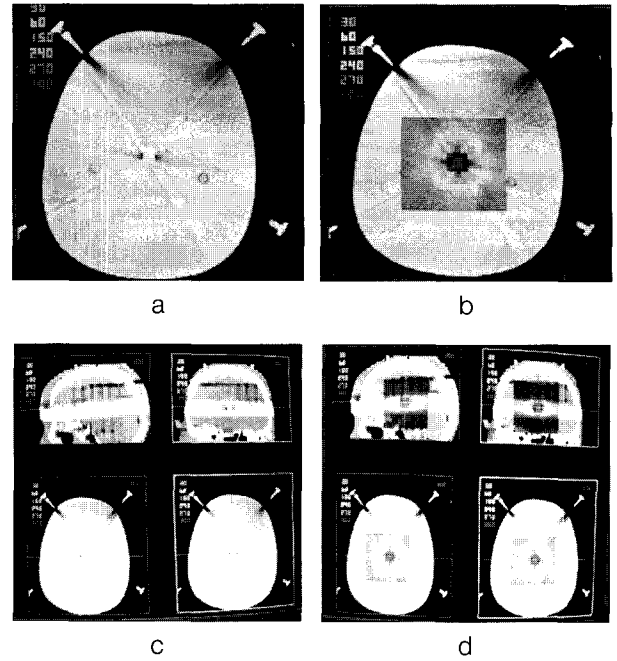
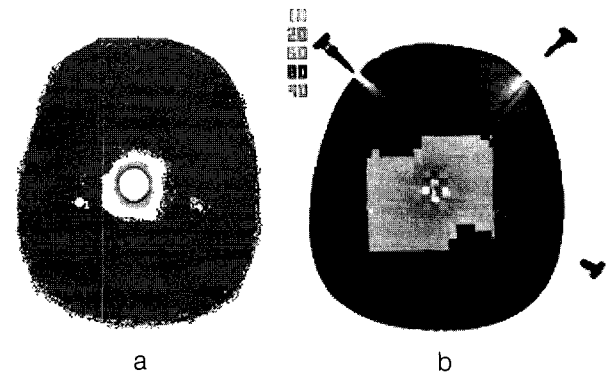


Fig. 7. Isodose for Radiosurgery Treatment Planning System



a: Gafchromic EBT[®] film
b: X-Knife 3.0 at the same slice with the film

Fig. 8. Comparison of Dose distribution

이용해서 6개의 arc로 방사선수술계획을 시행해서 얻은 치료계획장치의 선량분포이다. Fig. 7은 모든 단면에 걸쳐 Gafchromic EBT[®]를 이용한 두부 팬텀내 필름으로 측정된 선량과 치료계획장치로 계산된 선량분포와 비교하면 90% 등선량곡선에서 5% 이내의 차이가 있었다.

모든 단면에 걸쳐 Gafchromic EBT[®]를 이용한 두부 팬텀내 필름으로 측정된 선량과 치료계획장치로 계산된 선량분포와 비교하면 90% 등선량곡선에서 5% 이내의 차이가 있었다(Fig. 8).

IV. 고 찰

1951년 Leksell⁶⁾에 의해 방사선수술의 개념이 처음으로 도입되었으며 정위수술방법을 이용하여 두개강내 병소의 위치를 정확히 조준한 후 입체 집중조사를 실시함으로써 실제 수술로서 병소를 절제하는 것과 같은 효과를 얻는 치료방법이다. 이 수술방법의 가장 큰 장점은 주변 뇌 조직에 부여되는 방사선량을 극소화하고 병소에만 다량의 방사선을 조사하여 기존 방사선 치료에서 볼 수 있는 부작용을 극소화 시키며 하루만에 모든 치료를 끝낼 수 있다는 것이다¹⁰⁾. 그러나 기존의 Co-60을 이용한 감마나이프¹¹⁾나 1972년 Kjellberg에 의해 시작된 Bragg-Peak를 이용한 양성자선의 방사선수술은 엄청난 장비와 비용이 요구되어 널리 이용되지 못하였으나 최근 의료용 선형가속기의 개발로 이에 상응한 효과를 얻을 수 있다고 보고되고 있다. 최근 들어 고해상력의 뇌전산화 단층촬영 장치의 등장과 더불어 선형가속기를 이용한 방사선수술에서의 선량분포를 측정하여 분석한 결과들을 삼차원적 방사선수술 계획용 컴퓨터에 의해 얻어진 선량분포의 결과들과 비교 확인하기 위해 film dosimetry¹²⁻¹⁴⁾를 이용하였다. film dosimetry는 megavoltage X선의 계측에서 $\pm 3\%$ 의 오차를 가지고 있으나 전체적인 등선량분포를 용이하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 본 실험인 6 MV 광자선에 의한 Gafchromic EBT[®] 필름은 0~9 Gy 영역에서 우수한 선형성을 보여주었으며 이는 이론과 일치하고 있음을 보여주고 있다.

정위방사선수술시에 target volume은 삼차원적으로 정확하게 정의되어야 하고 실제 방사선 선량분포가 target volume과 가능한 일치해야 하며 방사선 선량이 target volume 밖에서는 급격하게 감소해야 한다. 실험에서 방사선의 선질을 나타내는 방법인 물 팬텀 깊이 D_{max} , 5 cm, 10 cm, 20 cm의 선량비가 선원-표면거리 100 cm에서 기준조사야인 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에 대하여 각각 2.28%, 2.64%, 2.59%, 2.88%로 나타났으며 아크릴 팬텀에서도 각각 2.44%, 2.84%, 3.12%, 3.36%로 나타났다. 이는 뇌정위방사선수술시에 target volume에 대한 선량분포 측정이 비교적 정확한 것으로 사료된다. 다이오드 측정결과와 EBT[®] 필름결과를 비교하면 다이오드와 EBT[®] 필름 모두 1.5 cm에서 6 MV 광자선에 대한 D_{max} 가 있음을 보여주었다. 또한 최대선량지점은 다이오드와 EBT[®] 필름을 비교하면 중심축 선상의 최대선량은 서로 일치하지만 중심축에서 떨어진 가장자리 부분(-5.5 cm 이하와 +5.5 cm 이상)에서는 약 2~3% 정도의 차이가 나타났다. 미국의 USNRC는 흡

수선량의 경우 $\pm 3\%$ 내의 값을 허용오차로 나타내고 있어 EBT[®] 필름을 사용한 방사선 등선량 분포의 측정은 고에너지에서 $\pm 3\%$ 의 오차를 보이므로 그 결과의 정확성은 높다고 사료된다. SSD 100 cm에서 각각의 1.25 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm의 콜리메이터를 부착하였을 때 SSD 100 cm에서 필름으로 측정된 소조사야의 크기는 모두 평균 0.5 cm 이내에서 잘 일치하였다. 콜리메이터의 내경이 4, 3, 2 cm 경우 보다 내경 1 cm인 경우의 오차가 크게 나타났다. 이는 1 cm인 경우는 선량분포가 상대적으로 좁기 때문에 중심점 오차에 더 민감했을 것으로 사료된다. 6 MV 광자선으로 SRS cone을 사용하였을 때 선량 분포 곡선의 모양은 원형 조사면에서는 모든 면에서 원형이었고, 선형가속기에 의한 정방형 조사면에서는 횡단면과 관상면에서 정방형에 가까운 모양을 보였다. 뇌정위방사선수술과 같은 작은 소조사야이며 원형 조사사인 경우에 Gafchromic EBT[®] 필름의 유용성이 설명된다고 사료된다. 치료계획에서 결정된 값에 대하여 Gafchromic EBT[®] 필름에 조사된 선량분포를 치료계획 시스템에서 결정된 선량분포도와 비교하면 90%, 50%, 30%의 선량분포곡선에 대해서 선량분포곡선의 직경의 차이가 90%에서는 0.7 mm, 50%에서는 1.6 mm, 30%에서는 2.8 mm의 차이가 나타나고 있는데 이는 필름을 스캔하는 과정에서 발생한 경우로 생각되며 또한 Gafchromic EBT[®] 필름을 이용한 측정 결과에 차이가 생기는 주요 원인은 보정계수로 사용하는 Gafchromic EBT[®] 필름의 흑화도가 Digitizer의 광원의 파장에 따라서 변하기 때문이다. 그러므로 Gafchromic EBT[®] 필름의 실제조사된 선량분포를 치료계획에서 결정된 선량분포와 비교하면 90%에 대하여 허용가능한 범위에 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

6 MV 광자선으로 Gafchromic EBT[®] 필름을 이용한 선량평가를 통하여 얻은 결론은 선량에 대한 광학농도의 선형성 실험에서 0~9 Gy 영역에서 우수한 선형성을 보여주었다. 즉 이는 Gafchromic EBT[®] 필름을 사용하여 선량분포의 평가가 가능하다는 것이다. 실제 방사선 선량분포가 팬텀내에서 target volume과 거의 일치하여 물 팬텀 깊이 D_{max} , 5 cm, 10 cm, 20 cm의 선량비가 선원-표면거리 100 cm에서 기준조사야인 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에 대하여 각각 2.28%, 2.64%, 2.59%, 2.88%로 나타났으며 아크릴 팬텀에서도 각각 2.44%, 2.84%, 3.12%, 3.36%로 나타났다. 이는 정

위방사선수술시에 target volume에 대한 선량분포가 정확하게 정의된다는 것이다. 최대선량의 측정에서는 다이오드와 EBT[®] 필름 모두 1.5 cm에서 6 MV 광자선에 대한 D_{max} 가 있음을 보여주었으며 중심축 선상의 최대선량은 서로 일치하지만 중심축에서 떨어진 가장자리 부분(-5.5 cm 이하와 +5.5 cm 이상)에서는 약 2~3% 정도의 차이가 나타났다.

6 MV 광자선으로 SRS cone을 사용하였을 때 선량 분포 곡선의 모양은 원형 조사면에서는 모든 면에서 원형이었고, 선형가속기에 의한 정방형 조사면에서는 횡단면과 관상면에서 정방형에 가까운 각이진 모양을 보였다. 이는 역시 뇌정위방사선수술과 같은 작은 소조사야이며 원형 조사사인 경우에 Gafchromic EBT[®] 필름의 유용성이 입증되었다.

Gafchromic EBT[®] 필름으로 절대선량과 상대선량분포를 측정하여 얻은 결과가 선량측정을 위해 사용하였던 다이오드와 비교하였을 때 오차범위가 허용범위($\pm 5\%$, 3 mm) 이내에서 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 Gafchromic EBT[®] 필름을 이용한 필름 선량측정이 정위 방사선수술에서 정도관리의 방법으로도 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- Podgorsak EB, et al. : Dynamic Stereotactic radiosurgery, Int J Rad Oncol Biol Phys, 14, 115-125, 1984
- Pozza F, Colombo F, Chierigo G, et al. : Low grade astrocytomas, Treatment With unconventionally fractionated external beam stereotactic radiation therapy, Radiology, 171, 565-569, 1989
- Colombo F, Benedetti A, Pozza F, et al. : External Stereotactic irradiation by linear accelerator, Neurosurgery, 16, 154-160, 1985
- Hartmann GH, Schlegel W, Sturm V, et al. : Cerebral radiation surgery using moving field irradiation at a linear accelerator facility, Int J Rad Oncol Biol Phys, 11, 1185-1192, 1985
- Sturm V, Kober B, Hover K, et al. : Stereotactic percutaneous single dose irradiation of brain metastases with a linear accelerator, Int J Rad Oncol Biol Phys, 13, 279-282, 1987
- Leksell L. : Stereotactic radiosurgery J Neurology, Neurology Psychiatry, 46, 797-803, 1983
- Lutz W, Winston KR, Maleki N. : A system for Stereotactic radiosurgery with a linear accelerator, Int J Rad Oncol Biol Phys, 14, 373-381, 1988
- Bjarngard BE, Tsai JS, Rice RK. : Doses on the central axes of narrow 6 MV x-ray beams, Med Phys, 17, 794-799, 1990
- McMaughlin WL, Soares CG, Sayeg JA, et al. : The use of Stereotactic Radiosurgery dose Characteristics, Med Phys, 21(3), 379-388, 1994
- Heifetz MD, Wexler M, Thompson R: Single-beam radiotherapy Knife, J Neurology, 60, 814-818, 1984
- Siddon RL, Barth NH: Stereotactic localization of intracranial targets, Int J rad Oncol Biol Phys, 13, 1241-1245, 1987
- Patten LV, Purdy JA, Oliver GD: Automated film dosimetry, Med Phys 1, 110, 1974
- Jacobson A: 4 MEV film dosimetry Radiology, 103, 703-704, 1972
- Willamson JF, Khan FM, Sharma S: Film dosimetry of megavoltage Photon beam: A Practical method of isodensity-to-isodose curve conversion, Med Phy, 8, 94-98, 1981

• Abstract

Evaluation of Dose Distribution Using Gafchromic EBT[®] Film

Se-Sik Kang · Seong-Jin Ko · ¹⁾Eun-Sung Jang

Dept. of Radiological Science College of Health Science, Catholic University of Pusan

¹⁾Dept. of Radiation Oncology, Goshin Medical Center

Dose evaluation for small field such as stereotactic radiosurgery was performed using Gafchromic[®] EBT film. Every film which irradiated 6 MV photon beam was scanned and obtained the optical density(OD) by flat bed scanner after 24 hours of irradiation. This study compared dose from diode in water and Gafchromic EBT[®] film in acrylic phantom to verify the reliability of the film, and to evaluate the SRS in clinical dose distributions from calculation and measurement in the region of virtual target in humanoid and cylindrical phantoms were compared.

The Gafchromic EBT[®] film was found to be linear up to 9 Gy. The D_{max} for 6 MV was measured at 1.5 cm from the surface by both of diode and the film. As the depth is deeper, the error was measured within 2~3% at 10~20 cm depth. Comparing between distribution from calculation and measurement, we found that there is 5% error at 90% isodose line.

We found that given dose could be measured accurately by using the phantoms. It was feasible to use the Gafchromic EBT[®] film in quality assurance of SRS.

Key Words : radiosurgery, Gafchromic EBT[®] film, phantoms, quality assurance