

Lnug Volume을 모델로 한 방사선치료계획 시 불균질 조직 보정에 따른 효과

고려대학교의료원 안암병원 방사선종양학과

정세영, 이상록, 김영범, 권영호

- Abstact -

Effect of Inhomogeneity correction for lung volume model in TPS

Department of Radiation Oncology, Anam Hospital, Korea Univ. Medical Center

SeYoung Chung, SangRok Lee, YoungBum Kim, YoungHo Kwon

Introduction : The phantom that includes high density materials such as steel was custom-made to fix lung and bone in order to evaluation inhomogeneity correction at the time of conducting radiation therapy to treat lung cancer. Using this, values resulting from the inhomogeneous correction algorithm are compared on the 2 and 3 dimensional radiation therapy planning systems. Moreover, change in dose calculation was evaluated according to inhomogeneous by comparing with the actual measurement.

Materials and Methods : As for the image acquisition, inhomogeneous correction phantom(Pig's vertebra, steel(8.21g/cm³), cork(0.23 g/cm³)) that was custom-made and the CT(Volume zoom, Siemens, Germany) were used. As for the radiation therapy planning system, Marks Plan(2D) and XiO(CMS, USA, 3D) were used. To compare with the measurement value, linear accelerator(CL/1800, Varian, USA) and ion chamber were used. Image, obtained from the CT was used to obtain point dose and dose distribution from the region of interest (ROI) while on the radiation therapy planning device. After measurement was conducted under the same conditions, value on the treatment planning device and measured value were subjected to comparison and analysis. And difference between the resulting for the evaluation on the use (or non-use) of inhomogeneity correction algorithm, and diverse inhomogeneity correction algorithm that is included in the radiation therapy planning device was compared as well.

Results : As result of comparing the results of measurement value on the region of interest within the inhomogeneity correction phantom and the value that resulted from the homogeneous and inhomogeneous correction, gained from the therapy planning device, margin of error of the measurement value and inhomogeneous correction value at the location 1 of the lung showed 0.8%

on 2D and 0.5% on 3D. Margin of error of the measurement value and inhomogeneous correction value at the location 1 of the steel showed 12% on 2D and 5% on 3D, however, it is possible to see that the value that is not correction and the margin of error of the measurement value stand at 16% and 14%, respectively. Moreover, values of the 3D showed lower margin of error compared to 2D.

Conclusion : Revision according to the density of tissue must be executed during radiation therapy planning. To ensure a more accurate planning, use of 3D planning system is recommended more so than the 2D Planning system to ensure a more accurate revision on the therapy plan. Moreover, 3D Planning system needs to select and use the most accurate and appropriate inhomogeneous correction algorithm through actual measurement. In addition, comparison and analysis through TLD or film dosimetry are needed.

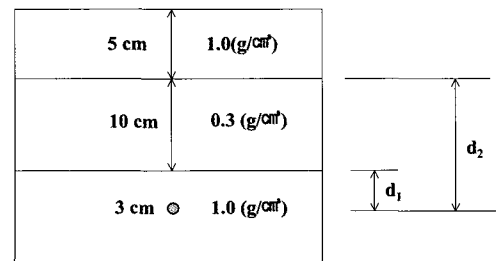
I. 서 론

방사선 독성의 증가 없이 종양부위에만 많은 선량을 조사하여 국소 조절 효과를 향상시키는 것이 방사선 치료의 목적이다. 이를 위해 여러 연구가 진행되고 있는데 최근에는 불균질 조직 보정 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 폐암에 대한 방사선 치료시 정상폐조직에 방사선이 조사됨으로서 방사선폐렴(Radiation Pneumonitis)이 발생할 수 있다. 이는 방사선 치료의 범위 및 조사량을 제한하는 중요한 요소이다.

종양환자에게 정확한 선량을 조사하기 위해서는 방사선치료계획 시 조직밀도에 따른 보정이 이루어져야 한다. 특히, 체내에 steel과 같은 고밀도 물질을 삽입했을 경우 이에 따른 보정의 유무는 주변부 선량이나 방사선 민감조직에 조사되는 선량에 매우 큰 영향을 줌³⁾으로 치료계획을 평가하는데 중요한 인자라 할 수 있다. 앞선 연구논문에서는 주로 임플란트를 시행한 두경부암 환자의 경우, 삽입된 티타늄에 따른 체내 선량비교^{1),2)}에 관하여 다루었으나 본 실험에서는 척추를 steel로 고정한 폐암환자의 경우를 모델로 하였다.

폐암환자의 치료계획 시에는 조직 밀도에 따른 보정이 이루어지며 이는 정확한 치료계획에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있다.^{4),5)} 조직 밀도에 대한 불균질 조직 보정 알고리즘의 종류로는 Effective

Attenuation Coefficient, Effective SSD, Isodose Shift, Convolution/Superposition 알고리즘 등이 있으며 유효측정깊이(effective depth)를 구하기 위한 계산으로는 실제 깊이에 매질의 밀도를 곱하여 산출하는 식이 사용된다. (Fig. 1)



$$d_{\text{eff}} = (5 \times 1) + (10 \times 0.3) + (3 \times 1)$$

Fig 1. Inhomogeneous correction algorithm (effective depth)

본 연구에서는 불균질 조직 보정(inhomogeneity correction)을 평가하기 위해 폐(lung), 뼈(bone) 그리고 뼈를 고정시키기 위해 사용하는 고밀도 물질인 steel 등을 포함한 불균질 조직 보정 팬텀(inhomogeneity correction phantom, ICP)을 자체 제작하였다. 이를 이용하여 방사선치료계획시스템에서 불균질조직 보정 알고리즘에 따른 값들을 비교하고, 또한 실제 측정된

값과 비교, 분석하여 불균질 조직에 따른 선량계산 변화를 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 불균질 조직 보정 팬텀 제작과

측정 셋업

불균질 조직 보정 알고리즘을 평가하기 위해 폐(lung), 뼈(bone) 그리고 뼈를 고정시키기 위해 사용하는 고밀도 물질인 steel 등을 포함한 불균질 조직 보정 팬텀(inhomogeneity correction phantom, ICP)을 자체 제작하였다. 폐암 치료를 모델로 하여 폐를 재현

하기 위해 폐 조직과 유사한 cork(density : 0.23g/cm^2)와 실제 뼈를 재현하기 위한 인체의 뼈 밀도와 유사한 돼지의 척추 뼈, 그리고 뼈를 고정시키기 위해 사용하는 고밀도 물질로는 stainless steel (density : 8.21g/cm^2)을 이용하였다. 그리고 측정을 위해 불균질 조직 보정 팬텀을 위치시킬 수 있는 물 팬텀($37\times 28\times 32\text{cm}^3$)을 제작하였다.(Fig. 2.) 그리고 측정을 위해 선형가속기(Clinac 1800, Varian, USA)와 이온전리함(Ionization Chamber, PTW, 0.6cc cylindrical type)를 이용하였다. Fig.2에서 우측 그림은 실제 측정 시 setup을 나타내며 선원에서 팬텀 표면까지의 거리는 100cm 으로 하였고 조사면의 크기는 $20\times 20\text{cm}^2$ 으로 하였다.

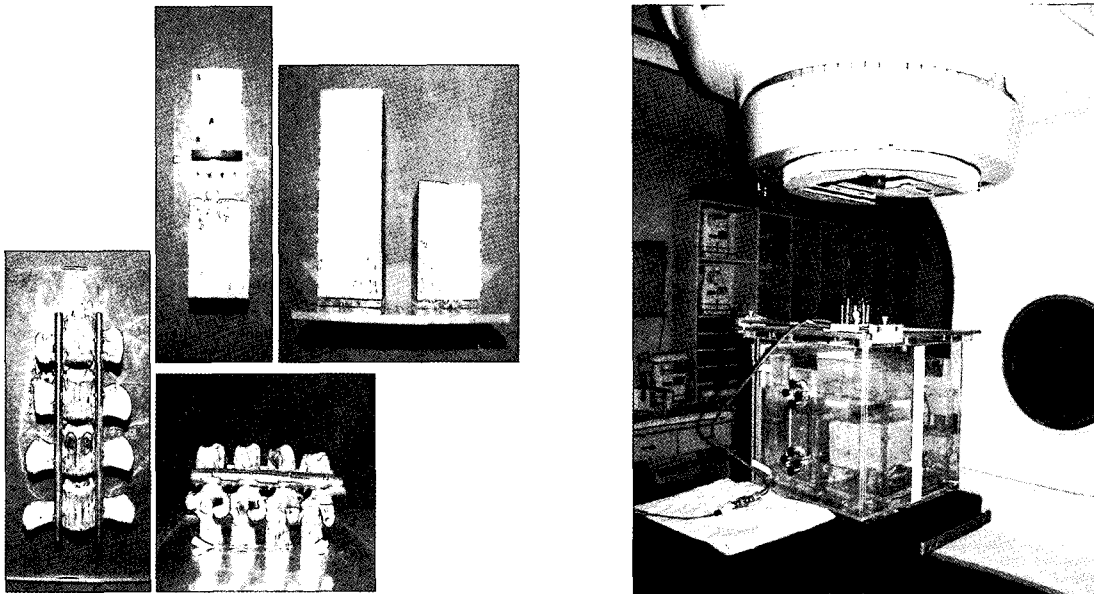


Fig 2. Inhomogeneity correction phantom(ICP) & Measurement setup
(Materials Density : Steel(8.21 g/cm^2), Cork(0.23 g/cm^2))

2. 영상획득과 방사선치료계획

인체 해부학적 정보와 방사선치료계획을 위해 전산화단층촬영영상장치(CT, Volume Zoom, Siemens, Germany)로부터 영상을 획득하였다. 전산화단층촬영 영상은 10 mm 간격의 두께로 16장을 얻었고, 이때 관심영역은 27.5 cm, 화소크기는 0.43 mm이었다. 획득한 영상을 3차원치료계획용시스템(XiO, CMS, USA)에 입

력하여 불균질 조직 보정 알고리즘 유무에 따른 치료 계획을 수립하였고, 2차원치료계획(Marks Plan)을 위해서는 팬텀의 2차원적 영상을 디지털라이저로 입력하여 시행하였다. 치료계획은 기준조건으로 조사면 20x20 cm² 선원-팬텀표면 간 거리 100 cm 으로 하였고, 분석을 위해 12개의 측정점을 결정하였다.(Fig. 3.)



Fig 3. Image acquisition & 2D, 3D Treatment planning system(TPS)

3. 방사선치료계획과 측정값의 비교

불균질 조직 보정 팬텀의 전산화단층촬영영상을 이용하여 2D, 3D 치료계획시스템에서 얻은 점선량과 선량분포를 실제 측정을 통해 얻은 측정값과 비교하고, 불균질 조직 보정 알고리즘 사용 유무에 따른 값을 비교하였으며 또한 각 불균질 보정방법에 따른 값들을 비교하였다. 불균질 조직 보정 팬텀 내에서의 측정하고자 하는 관심측정점은 중심축선상에 6개 지점(팬텀 표면에서 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 19 cm), 폐 조직 내 2개 지점, Steel 아래 부분의 2개 지점 그리고 척수와 척수 뒤 2 cm 되는 두 지점 포함한 모두 12개 관심 지점을 측정하였다.(Fig. 4.)

4. 3차원방사선치료계획장치에서 불균질 조직 보정 알고리즘 간의 비교

3차원방사선치료계획장치가 가지고 있는 불균질 조직 보정 알고리즘에는 물리적 기반의 superposition, FFT convolution과 측정 기반의 Clarkson 방법 등이 있다. 불균질 조직 보정 알고리즘 사용 유무와 각 불균질 조직 보정 알고리즘간의 점선량 비교를 수행하였다.(Fig. 4.)

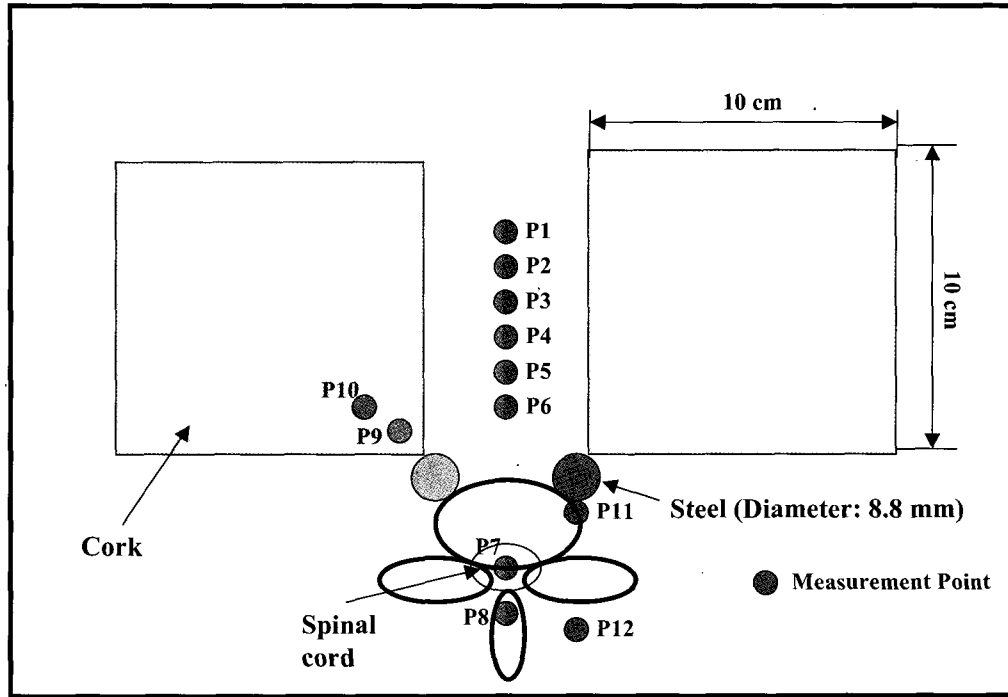
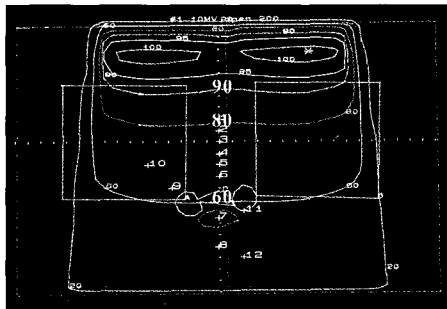


Fig 4. Diagram of measurement point setup in ICP

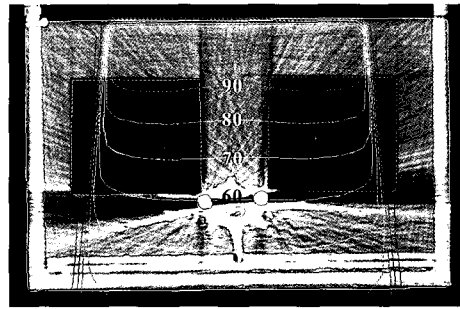
III. 결과

Fig. 5는 불균질 조직 보정을 시행하지 않고 얻은 2D, 3D 치료계획시스템에서의 등선량 분포를 비교하기 위해 나타낸 것으로 좌측의 그림은 2D 치료계획

에서의 등선량 분포를 우측의 그림은 3D 치료계획에서의 등선량 분포를 보여주고 있으며 두 치료계획상에서의 각 등선량 분포의 오차가 없는 것을 알 수 있었다.



Marks-Plan (2D TPS)

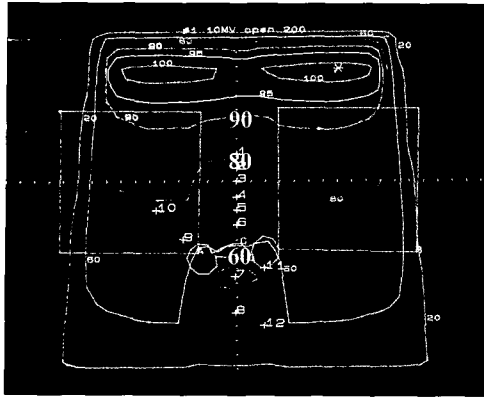


XiO (3D)

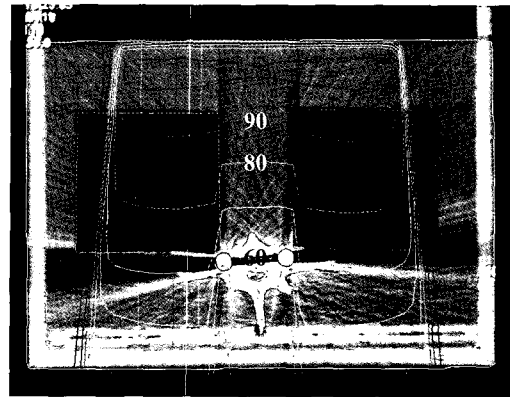
Fig 5. Comparison of Isodose distribution (Homogeneous algorithm)

Fig. 6은 불균질 보정을 시행한 2D, 3D 치료계획시스템에서의 등선량 분포를 비교하여 나타낸 그림으로

두 치료계획상에서의 각 등선량 분포는 불균질 조직 보정 알고리즘에 따른 오차가 있는 것을 알 수 있었다.



Marks-Plan (2D TPS)



XiO (3D)

Fig 6. Comparison of Isodose distribution (Inhomogeneity correction algorithm)

Table. 1은 10 MV 광자선을 이용하여 조사면 20×20 cm² SSD 100 cm에서 100 MU를 조사했을 때의 선량값으로 불균질 조직 보정 팬텀 내 관심지점에 대한 실제 측정치와 2D, 3D 치료계획시스템에서 얻은 균질과 불균질 보정된 값을 나타낸 것으로 중심축선상의 각 지점에서의 측정치와 2D, 3D 치료계획에서의 값들은 허용 범위안의 근소한 오차를 보이며 폐 지점에서 측정치와 불균질

조직 보정이 되지 않은 값들의 오차는 큰 차이를 보이거나 불균질 보정된 값들의 오차는 거의 없는 것을 알 수 있었으며 또한 Steel 지점에서도 약간의 오차는 있으나 다른 두 관심 지점과 같은 경향을 보여주는 것을 알 수 있었다. 그리고 2D 치료계획에서의 불균질 보정된 값보다는 3D 치료계획에서의 값들이 실제 측정치에 가까운 것을 알 수 있었다.

Table 1. Comparison of Interest point dose between TPS and measurement

| Interest Point Dose (ICP Test) [cGy] | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-----------------|--------|----------|----------|-------------|---------------|
| Interest Point | Measurement | TPS | | | | | |
| | | 2D (Marks-Plan) | | 3D (XiO) | | | |
| | | Homo | Inhomo | Homo | Inhomo | | |
| | | | | | Clarkson | Convolution | Superposition |
| mid 1 (8cm) | 81.3 | 81.3 | 81.4 | 81.8 | 80.1 | 76.1 | 74.4 |
| mid 2 (9cm) | 79.3 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 76.7 | 72.6 | 70.7 |
| mid 3 (10cm) | 77.8 | 74.9 | 74.9 | 75.1 | 73.7 | 69.2 | 67.2 |
| mid 4 (11cm) | 74.5 | 71.8 | 71.9 | 72.1 | 70.5 | 65.9 | 63.8 |
| mid 5 (12cm) | 71.7 | 68.9 | 66.9 | 68.9 | 67.8 | 62.8 | 60.7 |
| mid 6 (13cm) | 68.2 | 66.1 | 66.1 | 66.6 | 64.8 | 59.2 | 57.8 |
| mid 7 (17cm, cord) | 59.3 | 55.4 | 45.7 | 57.1 | 54.5 | 47.7 | 47.5 |
| mid 8 (19cm) | 56.6 | 50.9 | 41.7 | 51.1 | 50.2 | 43.3 | 43 |
| lung (1,1) | 75.8 | 63.4 | 75.2 | 64.6 | 76.2 | 72.5 | 73.1 |
| lung (3,3) | 80 | 68.7 | 78.8 | 70.1 | 80.4 | 78.3 | 78.6 |
| steel (post) | 50.6 | 58.9 | 44 | 59.5 | 48.1 | 46.7 | 46.5 |
| steel (bottom) | 46.1 | 48.6 | 33.8 | 49.6 | 38.6 | 35.4 | 36.1 |

Fig. 7은 Table. 1에서와 같이 불균질 보정 팬텀 내 관심지점에 대한 실제 측정치와 2D, 3D 치료계획시스템에서 얻은 균질과 불균질 보정된 값을 나타낸 그

래프로서 y축은 상대 선량을 x축은 각 관심 지점을 표시하며 위의 표에서와 같은 경향을 보여 주고 있다.

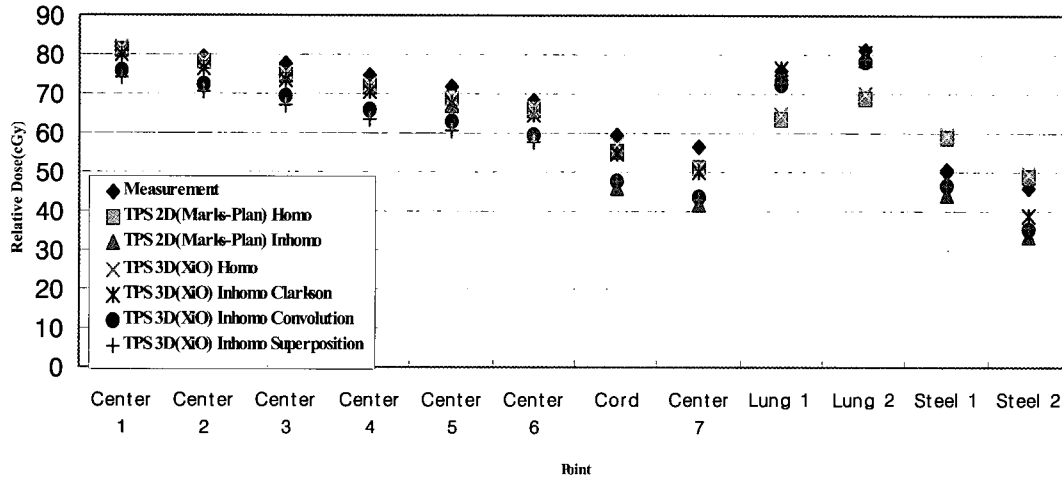


Fig 7. Interest point dose in ICP

Fig. 8은 실제 측정치와 2D, 3D (Clarkson method algorithm) 치료계획시스템에서 얻은 균질과 불균질 보정된 값을 나타낸 그래프로서 폐 제1지점에서의 측정치와 불균질 보정된 값의 오차는 2D 치료계획에서 0.8%, 3D 치료계획에서 0.5%로 나타났으며 steel 제1

지점에서의 오차는 2D에서 12%, 3D에서 5%의 오차를 보이거나 보정을 하지 않은 값과 측정치의 오차는 각각 16%, 14%로 나타났다. 역시 마찬가지로 2D에서보다는 3D 치료계획에서의 값들의 오차가 작은 것으로 나타났다.

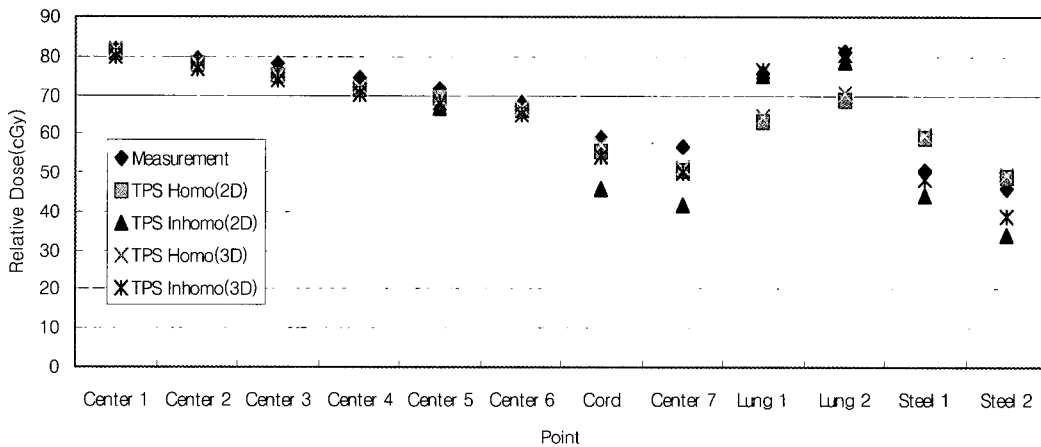


Fig 8. Comparison of homogeneity and inhomogeneity correction algorithm

Fig. 9는 3차원 방사선치료계획시스템의 세 가지 불균질 조직 보정 알고리즘에 대한 관심지점에서의 보정된 값들의 비교 그래프로써 폐 제1지점에서의 FFT convolution, superposition, clarkson method 등

의 세 가지 알고리즘에서 보정된 값들의 오차는 5%로 나타났으며 steel 제1지점에서는 3%로 나타났다. 위의 결과에서처럼 알고리즘 간에 계산 오차는 크지 않음을 알 수 있었다.

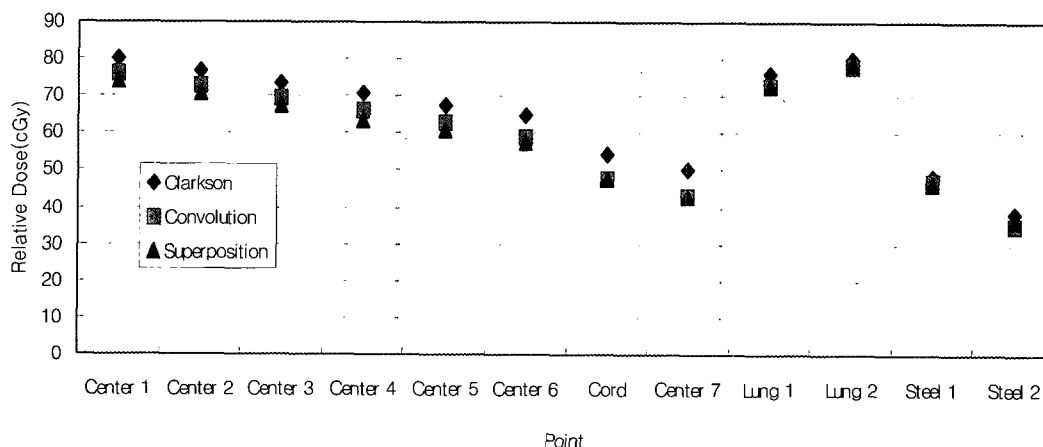


Fig 9. Comparison of 3D inhomogeneity correction algorithm

IV. 결 론

위 실험에서와 같이 환자 치료 계획 시 조직 내 밀도에 따른 보정은 반드시 필요하며 이를 적용하지 않았을 경우 실제 환자에서와 치료계획상에서의 선량분포의 오차가 크게 되므로 반드시 불균질 보정이 이루어져야 한다. 또한 3D 치료계획시스템이 2D 치료계획시스템에 비해 불균질 조직밀도에 대해 좀 더 정확한 보정이 이루어지므로 그 오차가 적게 나타났다. 3D 치료계획시스템에서도 실제 측정값과 각 알고리즘 간 측정치를 비교, 분석하여 가장 적합하고 정확한 불균질 조직 보정 알고리즘을 선택하여 사용하여야 하며 아울러 TLD나 Film Dosimetry를 통한 측정도 본 실험에 있어서 또한 의의가 있다고 사료된다.

참고문헌

1. T.A. Mian, M.C. Van Putten Jr., D.C. Kramer, etc. : Backscatter radiation at bone-titanium

interface from High-energy X and gamma ray, *Int. J. Radiation Onc. Biol. Phys.*, Vol. 13, pp. 1943-1947, 1987

2. A.N. Rad, R. Razavi, S. Thobejane, K. Willam Harte r : Radiation dose perturbation at tissue-titanium dental interface in head & neck ca. patients, *Int. J. Radiation Onc. Biol. Phys.*, Vol. 34, NO. 2 pp. 475-480, 1996
3. J.W. Scrimger : Backscatter from high atomic number materials in high energy photon beams, *Radiology*, 124, 815-817, 1977
4. T.R. Mackie, E. El-Khatib, J. Batista, etc. : Lung correction for 6 and 15MV x-rays, *Med. Phy*, 12, 327-332, 1985
5. M.E. Young, R.O. Kornelson : Dose for correction low density tissue inhomogeneities and air channels for 10 MV X-rays, *Med.Phys*, 10, 450-455, 1983

Lnug Volume을 모델로 한 방사선치료계획 시 불균질 조직 보정에 따른 효과

고려대학교의료원 안암병원 방사선종양학과

정세영, 이상록, 김영범, 권영호

서 론 : 폐암환자의 방사선치료계획 시 불균질 조직 보정(inhomogeneity correction)을 평가하기 위해 폐(lung), 뼈(bone) 그리고 뼈를 고정시키기 위해 사용하는 고밀도 물질인 steel 등을 포함한 불균질 조직 보정 팬텀(inhomogeneity correction phantom, ICP)을 자체 제작하였다. 이를 이용하여 방사선치료계획시스템에서 불균질조직 보정 알고리즘에 따른 값들을 비교하고, 또한 실제 측정된 값과 비교, 분석하여 불균질 조직에 따른 선량계산 변화를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법 : 영상획득은 전산화단층촬영영상장치(CT, Volume zoom, Germany)와 자체 제작한 불균질 조직 보정 팬텀(ICP, pig's vertebra, steel(8.21 g/cm³), cork(0.23 g/cm³))을 사용하였다. 방사선치료계획시스템으로는 Marks Plan(2D)과 XiO(CMS, USA, 3D)를 사용하였고, 측정값과의 비교를 위해서는 선형가속기(CL/1800, Varian, USA)와 이온전리함을 사용하였다. 전산화단층촬영영상장치로부터 획득한 영상을 이용하여 방사선치료계획장치에서 관심점(interest point, IP)에서의 점선량(point dose)과 선량분포를 얻고, 이와 동일한 조건에서 측정을 수행한 후 비교, 분석하였다. 그리고 불균질 조직 보정 알고리즘 사용 유무에 따른 차이와 방사선치료계획장치가 가지고 있는 다양한 불균질 조직 보정 알고리즘 간의 차이도 비교하였다.

결 과 : 불균질 조직 보정 팬텀 내 관심지점에 대한 측정치와 방사선치료계획장치에서 얻은 균질과 불균질 보정된 값을 비교한 결과 폐 제1지점에서의 측정치와 불균질 보정값의 오차는 2D에서 0.8%, 3D에서 0.5%, 스틸 제1지점에서의 측정치와 불균질 보정값의 오차는 2D에서 12%, 3D에서 5%의 오차를 보이나 보정을 하지 않은 값과 측정치의 오차는 각각 16%, 14%의 오차가 나는 것을 알 수 있었다. 또한 2D에서 보다는 3D에서의 값들이 오차가 적은 것으로 나타났다.

결 론 : 방사선치료계획 시 조직 내 밀도에 따른 보정이 반드시 이루어져야 하며 보다 정확한 치료계획을 위해서는 2차원 방사선치료계획용 시스템보다는 3차원 방사선치료계획용 시스템을 사용하는 것이 정확한 보정이 가능한 것을 알 수 있었다. 그리고 불균질 조직 보정 알고리즘 간에도 차이가 있어 실제 측정을 통해 가장 적합한 불균질 조직 보정 알고리즘을 선택하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 향후 열형광선량계와 필름 선량계를 통한 비교, 분석이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.