

불균질부 방사선치료 시 계획 선량의 정확성 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

김찬용 · 이제희 · 곽용국 · 하민용

목적: 불균질부를 포함하고 있는 치료부위의 치료계획 시 불균질 경계면에서의 TPS상 선량분포와 phantom을 이용하여 측정된 실제 선량분포를 비교하여 그 차이를 알아보고자 한다.

대상 및 방법: 4 cm 두께의 solid water phantom 사이에 폐와 유사한 밀도를 가진 8 cm 두께의 cork (density: 0.23 g/cm³)를 위치시켜 phantom을 제작하여 CT 영상을 획득하였으며, 본원에서 사용하고 있는 Pinnacle 치료계획 시스템의 Collapsed-cone (CC) convolution 선량계산 알고리즘을 이용하여 6/15 MV 광자선으로 치료 계획된 선량분포와 실제 phantom에 EBT2 필름을 삽입해 측정된 선량을 비교 평가하였다. 또한 실제 폐암 환자와 유사한 치료계획을 비교하기 위해 Phantom 내부에 치료하고자 하는 종양부위(target volume)로 가정한 파라핀(3×3×3 cm)을 Location "A" (일반조직과 떨어져있는 가상의 종양: 섬모델)와 Location "B" (일반조직과 붙어있는 가상의 종양: 반도모델)에 삽입하여 CT scan 후 치료계획을 시행하였다. 선량계획과 동일한 조건으로 Phantom을 set-up 후 Phantom의 paraffin target volume 경계면 A (Ant방향), B (Rt방향), C (Post 방향) point에 필름을 삽입하고 방사선을 조사하여 측정된 선량을 TPS선량과 비교평가 하였다.

결과: 불균질 phantom을 이용한 계획선량과 측정선량과의 차이는 solid water와 cork 경계면을 제외한 부분에서 선량차이가 크지 않았지만 밀도가 급격히 변화하는 첫 번째 구간과 두 번째 구간에서 -5.4%~-12.6%의 선량감소를 보였다. 또한 paraffin target을 삽입한 실험에서는 Location "A"의 경우 실제 측정선량이 A, B, C point에서 각각 -2.5~-4.7%, -2.3~-2.8%, -4.5~-8.8%의 낮은 선량을 나타냈으며, Location "B"의 경우에도 A, B, C point에서 각각 0.08~5.27%, -3.17~-4.74%, -7.86~-11.56%의 선량 차이를 나타내었다.

결론: 이번 연구의 결과 불균질부 내에서의 치료계획 시스템의 계획된 선량과 실제 측정된 선량에 오차의 가능성이 확인되었다. 급속도로 발전하고 있는 방사선 치료기술과 그만큼 정밀함을 요하는 치료계획 시 이러한 가능성에 대해 인지하고 선량 검증에 대한 여러 방법들을 연구하고 개발하는 것이 치료의 발전과 필수적으로 동반되어야 할 것이며 본원에서도 이번 연구를 통해 치료계획 시 발생할 수 있는 변수에 대해서 더 주의 깊게 판단하고 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어: 선량계산 알고리즘, collapsed-cone (CC) convolution, 불균질부 방사선치료

서 론

방사선 치료의 근본적인 목표이자 과정은 종양조직에는 최대한의 선량을 주고 정상조직은 최대한 보호하여 그에 대한 합병증을 최소화하는데 있다. 이런 목적을 구현하고 치료의 효과를 극대화하기 위하여 첨단 방사선 치료기들이 개발되어 도입되고 있으며 좀 더 효과적이며 정밀한 치료를 위한 새로운 치료기법들이 임상에서 이루어지고 있는 상황이다. 특히 Image guiding 통해 환자의 set-up이 정확해지고 Respiratory Gating Radiation Therapy (RGRT)를 시행함으로써 호흡으로 인한 움직임과 연동된 치료를 시행하게 되었다.

이러한 치료기술의 발전은 병소부위의 정확한 위치와 움직임 파악하여 정위적 체부 방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)를 가능하게 하였고 현재는 여러 병원에서 임상 적용하고 있는 추세이다. 이러한 발전과 더불어 인체내에서 정확한 선량분포를 구현할 수 있는 치료계획 시스템(Treatment planning system, TPS)의 선량계산 알고리즘(dose calculation algorithm)에 대한 연구와 개발도 계속되어 왔다.¹⁾ 일반적으로 선량계산 알고리즘의 정확도에 대한 검증은 TPS내에서 계산된 선량분포와 실제 측정된 방사선량을 여러 조건으로 비교하면서 이루어진다.²⁾ 치료기법이 발전하고 더욱 정확한 치료가 요구되면서 선량계산의 정확도에 대한 평가와 검증도 중요시되고 있다.³⁾ AAPM TG-65 보고서에 의하면 방사선 치료 전 과정의 총 불확도를 5% 이내로 정하는 경우 절대선량 교정, 환자 set-up error, 출력변화 등

이 논문은 2013년 5월 30일 접수하여 2013년 9월 1일 채택되었음.
책임저자 : 김찬용, 서울대학교병원 방사선종양학과
Tel: 02)2072-4955, Fax: 02)2072-4782
E-mail: kcykda@daum.net

에 의한 불확정성을 고려할 때 선량계산 불확도는 측정값 대비 3% 이내를 권고하고 있다.⁴⁾ 선량계산 알고리즘이 인체 내에서 정확한 선량구현이 전제되지 않는다면 정밀한 치료계획에 오차가 발생 할 수밖에 없다. 특히 폐, 기관지 같은 치료부위에서는 불균질한 조직이 함께 포함되어있어 불균질 경계면의 영향으로 인한 선량구현의 변화를 고려해야 한다.⁵⁾

이번 연구에서는 본원의 Pinnacle 치료계획 시스템과 자체 제작한 phantom을 사용하여 불균질부를 포함하고 있는 부위의 치료계획 시 그 경계면에서의 TPS상 구현된 선량분포와 팬텀을 이용한 실제 측정된 선량을 비교하여 그 차이를 알아보고자 한다.

대상 및 방법

1. 장비 및 재료

본원에서 보유하고 있는 Pinnacle treatment planning system (Version 9.2, Philips, Netherlands)을 사용하여 불균질부를 포함한 영역에서의 선량분포를 획득하였다. 불균질조직을 재현할 수 있는 Phantom을 제작하였고 CT simulator (Soma-

tom definition AS, Siemens, Germany)로 영상을 획득하였다. 본원에 설치된 선형가속기(Artiste, Siemens, Germany)를 사용하여 제작된 Phantom에 측정용 필름(Gafchromic EBT2 film, International Specialty Products, US)을 삽입하여 방사선을 조사하는 방법으로 TPS와의 선량분포를 비교하였다.

2. Phantom 구성

불균질부를 포함한 조직을 구현하기 위해 Solid water phantom (Gammex, USA), 폐 조직과 유사한 cork (density: 0.23 g/cm²) 그리고 paraffin (density: 0.89 g/cm²)을 사용하여 제작하였다. 우선 하나의 선속에 의한 깊이로 따른 흡수 선량의 차이를 비교하기 위해 solid water phantom (thickness: 4 cm)을 아래에 놓고 중간에 cork (thickness: 8 cm)를 놓고 다시 윗면에 solid water phantom (thickness: 4 cm)을

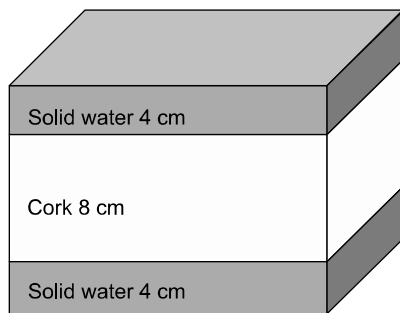


Fig. 1.1. Inhomogeneous phantom with solid water phantom and cork.

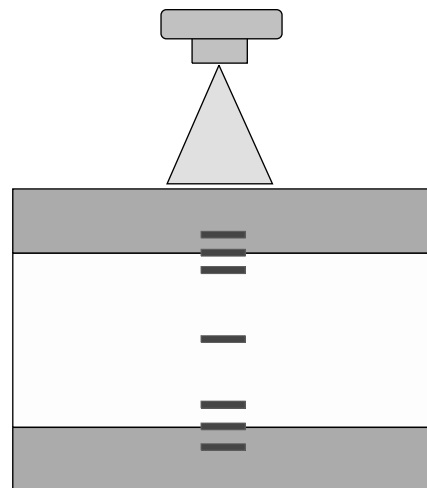


Fig. 1.3. Inserting EBT2 film in each point of interest (depth 3 cm, 4 cm, 4.8 cm, 8 cm, 11.2 cm, 12 cm, 13 cm).

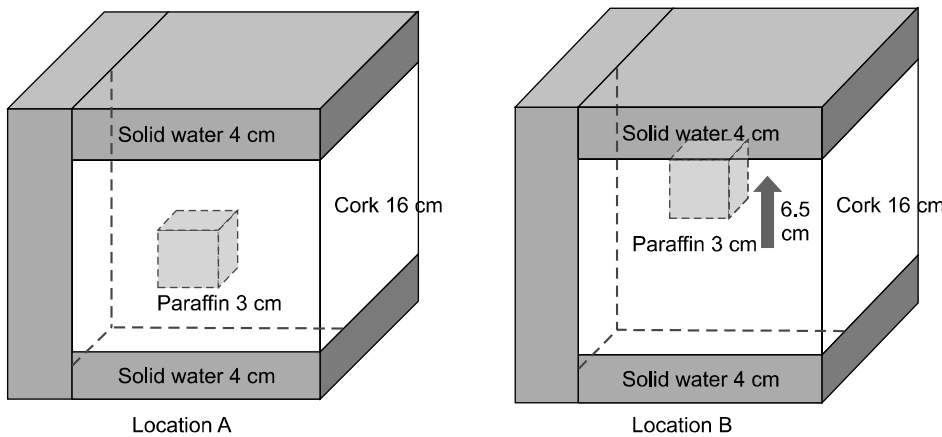


Fig. 1.2. Artificial paraffin tumor target inserted in the phantom (location A & B).

위치시킨 형태로 구성하였다(Fig. 1.1).

또한 불균질부를 포함한 치료부위에 여러 방향에서 방사선이 조사될 경우 중앙에 위치한 target의 선량분포를 비교하기 위한 Phantom을 제작하였다. 불균질부를 포함한 형태가 lung cancer 경우와 비슷할 수 있도록 16 cm 두께의 cork층을 4 cm 두께의 solid water phantom으로 둘러싸는 형태로 제작하고 target의 재질로는 paraffin을 이용하여 cork층의 중앙(location A)과 상부경계면(location B)에 위치 할 수 있도록 하였다(Fig. 1.2).

3. 실험방법

한 개의 선속에 의한 깊이에 따른 불균질조직 흡수선량의 차이를 알아보기 위해 Fig. 1.1의 형태로 구성된 phantom을 CT scan 하여 영상을 TPS로 전송 후 6 MV, 15 MV 에너지별 각각 2가지의 field size (3*3, 10*10)로 방사선을 조사한 선량분포를 얻었다. 아래의 모식도(Fig. 1.3)에서와 같이 불균질 경계면 위, 중앙, 아래, 그리고 중심깊이 등 phantom 중

심층상 총 7개 지점(depth 3 cm, 4 cm, 4.8 cm, 8 cm, 11.2 cm, 12 cm, 13 cm)에 측정용 필름을 삽입하여 선량계산시와 동일한 MU를 조사하고 필름을 스캔하여 측정된 선량을 RTP상의 선량분포와 비교하였다.

두 번째, 폐암의 경우와 유사한 구성을 가진 phantom을 이용한 선량분포 비교 실험을 시행하였다. Solid water와 cork로 둘러싸인 가상의 paraffin target을 phantom 중심에 위치시킨 Location "A" (일반조직과 떨어져있는 가상의 종양: 섬모델) phantom과 paraffin target 위치를 이동시켜 위 경계면 Solid water와 밀착시킨 Location "B" (일반조직과 붙어있는 가상의 종양: 반도모델) phantom을 CT scan 하였다. 촬영된 CT image를 TPS로 전송하고 Target volume의 2가지 위치에서 각각 6 MV, 15 MV로 target volume margin을 90% 선량곡선이 포함하도록 선량계획을 수립하였다. 가상 Target인 paraffin의 A (Ant 방향), B (Rt 방향), C (Post 방향) 경계면에 필름을 삽입하여 선량계획과 동일한 조건으로 팬텀을 set-up하고 동일 치료계획조건으로 방사선을 조사하여 선량

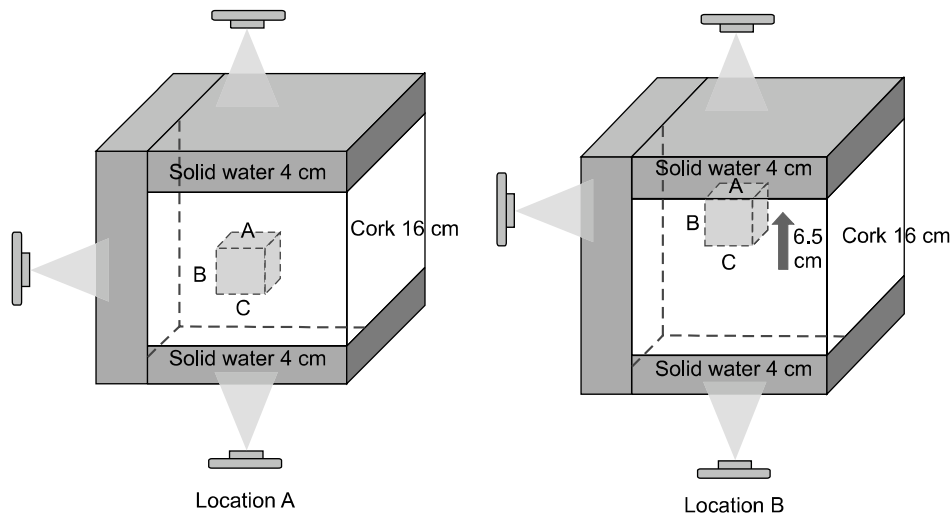


Fig. 1.4. Delivered plan beams in the inhomogeneous phantom and measured dose of A, B, C point by inserting EBT2 film (location A & B).

Table 1. Dose difference of calculated dose and measured dose (6 MV, 3×3 & 10×10)

Depth (cm)	6 MV, 3×3			6 MV, 10×10		
	Measure (cGy)	TPS (cGy)	Diff. (%)	Measure (cGy)	TPS (cGy)	Diff. (%)
3	609.4	591.7	3.0%	642.4	654.8	-1.9%
4	508.8	558.1	-8.8%	590.2	623.6	-5.4%
4.8	496.8	522.7	-5.0%	588.8	602.8	-2.3%
8	395.3	402.4	-1.8%	538.5	538.2	0.1%
11.2	351.2	364.1	-3.5%	500.4	490.9	1.9%
12	344.5	373.4	-7.7%	457.3	484.3	-5.6%
13	394.2	402.3	-2.0%	476.9	466.3	2.3%

Table 2. Dose difference of calculated dose and measured dose (15 MV, 3×3 & 10×10)

Depth (cm)	15 MV, 3×3			15 MV, 10×10		
	Measure (cGy)	TPS (cGy)	Diff. (%)	Measure (cGy)	TPS (cGy)	Diff. (%)
3	651.9	624.7	4.4%	698.2	694.8	0.5%
4	530.4	607.1	-12.6%	631.2	679	-7.0%
4.8	515.7	563.1	-8.4%	593.9	660.2	-10.0%
8	359	391.8	-8.4%	581.4	595.3	-2.3%
11.2	327.6	331.7	-1.2%	494.7	537.7	-8.0%
12	316.9	341.4	-7.2%	491.4	530.1	-7.3%
13	399.8	414.4	-3.5%	537.6	525.5	2.3%

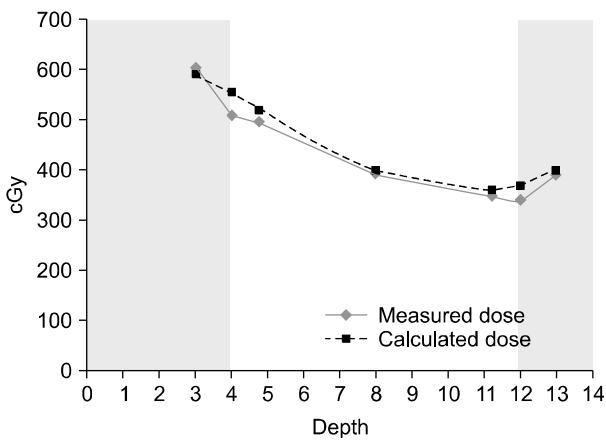


Fig. 2.1. Measured dose & TPS (6 MV, 3×3).

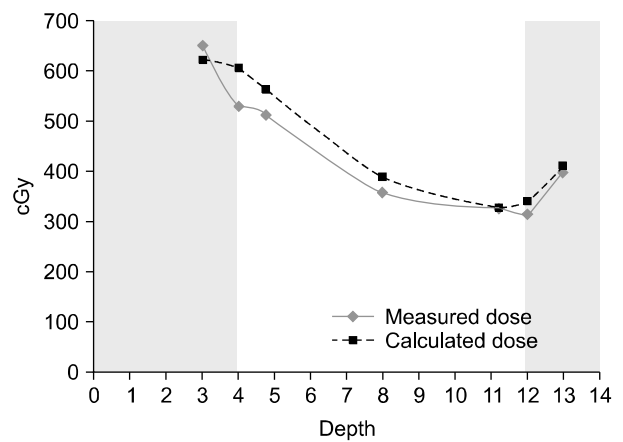


Fig. 2.3. Measured dose & TPS (15 MV, 3×3).

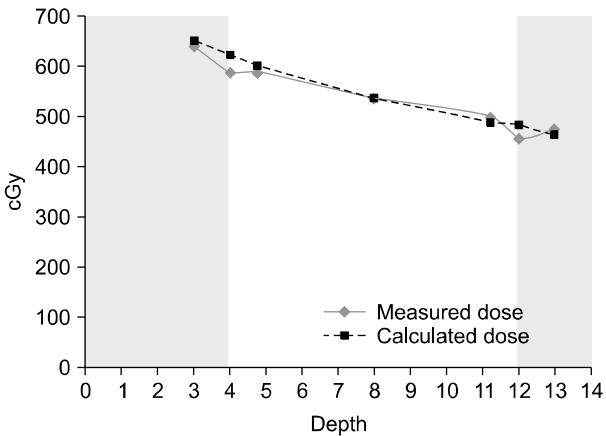


Fig. 2.2. Measured dose & TPS (6 MV, 10×10).

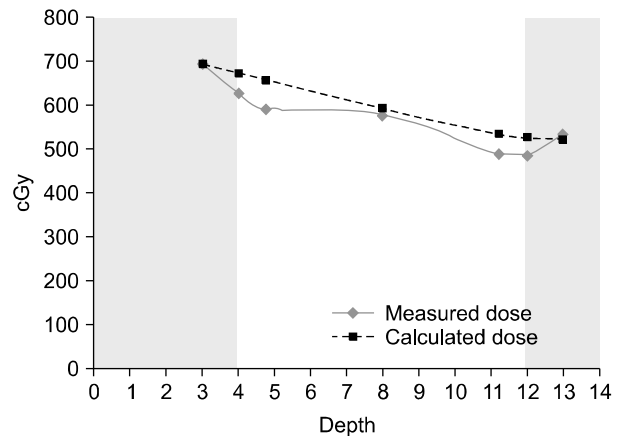


Fig. 2.4. Measured dose & TPS (15 MV, 10×10).

분포를 측정하여 분석하였다(Fig. 1.4).

결 과

하나의 선속이 불균질조직을 통과할 때 TPS상에 보여지는

선량과 실제 측정된 흡수선량의 차이를 비교 평가해 본 결과 TPS선량계산값 보다 필름으로 측정된 선량이 6 MV의 경우 첫 번째 경계면 3×3, 10×10 조사야에서 각각 -8.8%, -5.4%로 나타났고 두 번째 경계면에서도 -7.7%, -5.6%로 낮게 평가되었다(Table 1). 15 MV의 경우에는 첫 번째 경계면

에서 -12.6%, -7.0%, 두 번째 경계면에서 -7.2%, -7.3%로 모두 저선량을 나타내었다(Table 2). 6 MV, 15 MV 조사야 별로 7개 point에서 흡수선량을 측정 한 선량분포 곡선을 비교해보면 cork가 포함된 경계면부근에서 선량감소를 확인할 수 있었다(Fig. 2.1~Fig. 2.4).

Lung cancer 경우와 유사한 구성을 가진 phantom을 이용한 선량분포 비교 실험에서는 위 실험의 결과와 유사하게 모든 경계면에서 낮은 선량분포를 나타내었다. Paraffin target 을 phantom 중심에 위치시킨 경우(Location "A") 6 MV 선량 계획에서 TPS상 선량분포보다 필름측정선량이 A, B, C지점에서 각각 -2.57%, -2.30%, -4.50%로 나타났으며, 15 MV에서는 각각 -4.73%, -2.81%, -8.80%의 선량분포 차이를 나타내었다(Table 3).

또한 Target의 위치가 상부경계면에 붙어있는 경우(Location "B")에는 6 MV에서 TPS상 선량분포보다 측정선량이 A,

B, C 지점에서 5.27%, -4.74%, -7.86% 낮게 나타났고, 15 MV에서는 0.08%, -3.17%, -11.56%로 계획된 선량보다 실제로 낮은 선량이 분포되는 것으로 분석되었다(Table 4).

RTP상에서 6 MV와 15 MV 이용한 두 가지(Location "A"/"B") 선량계획시 target volume을 90% 등선량곡선에 포함 하도록 계획하였지만(Fig. 2.5), paraffin (target volume) 경계면의 측정선량이 계획된 선량을 충족시켜주지 못하였고, C지점에서는 평균적인 선량감소 현상보다 3~7% 이상 추가 감소를 보여주었다.

고안 및 결론

본 실험과 평가를 통해서 인체 내 불균질 조직 내에서의 TPS상 보여지는 선량구현이 실제와 차이를 나타낼 수 있다는 가능성을 확인하였다. 과거부터 현재까지 선량계산 알고

Table 3. Difference of calculated and measured dose at A, B, C point in location "A"

Interest point	6 MV			15 MV		
	TPS (cGy)	Measure (cGy)	Diff. (%)	TPS (cGy)	Measure (cGy)	Diff. (%)
A-point	443.8	432.4	-2.57%	452.7	391.6	-4.73%
B-point	431.3	421.4	-2.30%	422.8	410.9	-2.81%
C-point	448.9	428.7	-4.50%	452.3	412.5	-8.80%

Table 4. Difference of calculated and measured dose at A, B, C point in location "B"

Interest point	6 MV			15 MV		
	TPS (cGy)	Measure (cGy)	Diff. (%)	TPS (cGy)	Measure (cGy)	Diff. (%)
A-point	472.9	497.8	5.27%	495.3	495.7	0.08%
B-point	434.5	413.9	-4.74%	431.6	417.9	-3.17%
C-point	455.2	419.4	-7.86%	442.2	391.1	-11.56%

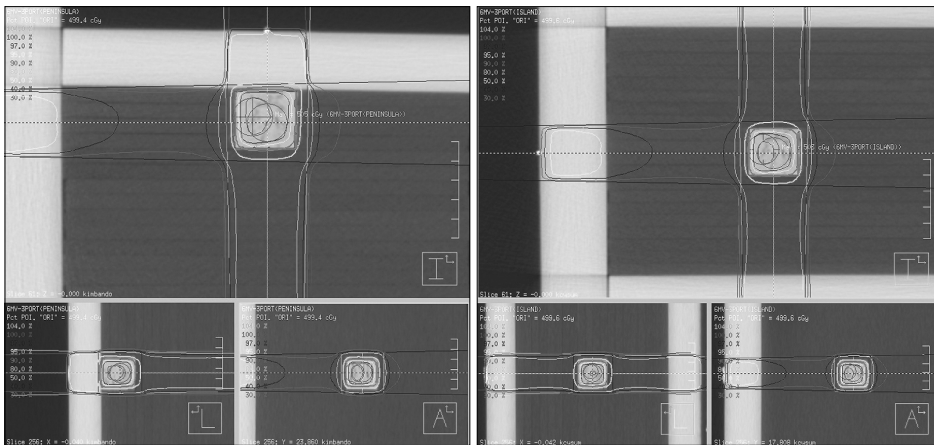


Fig. 2.5. Treatment plan (6 MV) in the inhomogeneous phantom.

리즘은 계속해서 발전하고 있으며 또한 요즘 임상에서는 불균질 조직에서의 선량전달이 정확하게 계산되고 있는 알고리즘이 널리 보편화 되고 있다. 하지만 이번 연구에서 알고자 하였던 '계획선량'과 '측정선량'의 차이는 그 가능성이 충분히 존재하며, 본원에서 사용 중인 Pinnacle 치료계획 시스템의 Collapsed-cone (CC) convolution 선량계산 알고리즘을 통해서도 불균질조직 내에서의 선량오차는 확인되었다. 특히 최근 SBRT 등과 같이 일일 고선량과 적은치료용적을 가지고 정교한 target volume margin을 지향하는 정밀한 방사선 치료기술 앞에서 불균질 조직내 그 선량의 '차이'는 더욱 더 큰 문제의 소지가 될 가능성이 크다. 급속도로 발전하고 있는 방사선 치료기술과 그만큼 정밀함을 요하는 치료계획 시 이러한 가능성에 대해 인지하고 선량검증에 대한 여러 방법들을 연구하고 개발 하는 것이 치료의 발전과 필수적으로 동반되어야 할 것이며 본원에서도 이번 연구를 통해 치료계획 시 발생할 수 있는 변수에 대해서 더 주의 깊게 판단하고 적용

할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Fogliata A, Vanetti E, Albers D, et al.: On the dosimetric behaviour of photon dose calculation algorithms in the presence of simple geometric heterogeneities: comparison with Monte Carlo calculations. *Phys Med Biol* 2007;52:1363-1385
2. IAEA TECDOC 1540: Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems. IAEA, Vienna (2007)
3. Ahnesjo A, Weber L, Murman A, Saxner M, Thorslund I, Traneus E: Beam modeling and verification of a photon beam multisource model. *Med Phys* 2005;32:1722-1737
4. AAPM TG-65: Tissue Inhomogeneity Corrections for Megavoltage Photon Beams. American association of physicists in medicine (2004)
5. Robinson D: Inhomogeneity correction and the analytic anisotropic algorithm. *J Appl Clin Med Phys* 2008;9:112-122

Abstract

Evaluation of Planning Dose Accuracy in Case of Radiation Treatment on Inhomogeneous Organ Structure

Chan Yong Kim, Jae Hee Lee, Yong Kook Kwak, Min Yong Ha

Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: We are to find out the difference of calculated dose of treatment planning system (TPS) and measured dose in case of inhomogeneous organ structure.

Materials and Methods: Inhomogeneous phantom is made with solid water phantom and cork plate. CT image of inhomogeneous phantom is acquired. Treatment plan is made with TPS (Pinnacle3 9.2. Royal Philips Electronics, Netherlands) and calculated dose of point of interest is acquired. Treatment plan was delivered in the inhomogeneous phantom by ARTISTE (Siemens AG, Germany) measured dose of each point of interest is obtained with Gafchromic EBT2 film (International Specialty Products, US) in the gap between solid water phantom or cork plate. To simulate lung cancer radiation treatment, artificial tumor target of paraffin is inserted in the cork volume of inhomogeneous phantom. Calculated dose and measured dose are acquired as above.

Results: In case of inhomogeneous phantom experiment, dose difference of calculated dose and measured dose is about -8.5% at solid water phantom-cork gap and about -7% lower in measured dose at cork-solid water phantom gap. In case of inhomogeneous phantom inserted paraffin target experiment, dose difference is about 5% lower in measured dose at cork-paraffin gap. There is no significant difference at same material gap in both experiments.

Conclusion: Radiation dose at the gap between two organs with different electron density is significantly lower than calculated dose with TPS. Therefore, we must be aware of dose calculation error in TPS and great care is suggested in case of radiation treatment planning on inhomogeneous organ structure.

Key words: treatment planning system (TPS), inhomogeneous organ