

FFF빔을 사용한 불균질부 방사선치료 시 선량계산 알고리즘(AAA)의 정확성 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

김인우 · 채승훈 · 김민정 · 김보겸 · 김찬용 · 박소연 · 유숙현

목 적 : FFF(Flattening Filter Free)빔을 이용한 방사선치료계획 시 불균질 부위에서 TPS상의 선량분포와 실제측정 선량분포를 비교하여 TPS의 선량계산 알고리즘 AAA(Analytic anisotropic algorithm)의 불균질부 교정의 정확성을 검증하려한다.

대상 및 방법 : Solid water팬텀과 Cork, 파라핀으로 자체 제작한 흉부중앙팬텀을 이용하여 종양의 위치별(반도형태/섬형태), 크기별 (2cmX2cmX2cm/4cmX4cmX4cm)로 각각 치료계획용 CT영상을 획득한 후, 본원의 흉부 SABR 치료계획시스템인 Ecilpse의 AAA(Analytic anisotropic algorithm)을 이용하여 6MV 광자선 치료계획을 수립하였다. 본원의 TrueBeam STx(Varian medical system, Palo Alto, CA)를 이용하여 완성된 치료계획에 따라 EBT2 필름을 삽입한 자체제작 흉부중앙팬텀에 방사선을 조사하였고, 중앙내부 및 경계부에서의 치료계획 선량값과 실제팬텀측정 선량값을 비교 평가 해보았다.

결 과 : 타겟내 중심축에서는 TPS상의 선량값과 측정값의 차이가 1.28~2.7%로 나타났으며, 불균질부를 포함한 타겟의 경계부들에서는 Ant측면에서 2.02%~7.40%, Post측면 4.46%~14.84%, Rt측면 0.98%~7.12%, Lt측면 1.36%~4.08%, Sup측면 2.38%~4.98%, Inf측면 0.94%~3.54%로 차이가 났다.

결 론 : 본 연구를 통하여 불균질부 SABR치료 시 FFF빔의 특성과 불균질부의 영향으로 인한 선량계산의 오차가 생길 가능성이 있음을 알게 되었다. 최신의 방사선 치료방법 중 가장 각광받고 있는 SABR치료는 환자에게 적은 횡수로 고선량의 방사선을 조사하기 때문에 고도의 정확성이 요구되는 만큼 불균질부와 같은 장기특성과 FFF빔의 선량분포의 특성을 더욱 연구하여 치료계획 알고리즘에 적용해야 치료계획 시 발생하는 오류를 최소화 하여 최적의 치료를 시행할 수 있을 것이다.

핵심용어 : SABR, FFF, VMAT Analytic Anisotropic Algorithm, Inhomogeneity

서 론

방사선 치료기술의 눈부신 발전과 다양화로 병기와 암종에 따라 선택적으로 치료기술을 결정할 수 있으며 그 중 체부정위방사선치료(SBRT: Stereotactic Body Radiotherapy)는 고선량, 저분할로 높은 생물학적유효선량(BED)을 효과적으로 환자에게 적용할 수 있어 특정 임상적 케이스에 효과적으로 적용되고 있다. 특히 폐암의 경우 고령환자들은 수술적치료가 어렵고 동반질환이 많아 기존의 방사선치료를 받은 환자들의 생존율이 매우 낮은 상황에서,^{1),2),3)} 로컬 컨트롤률(Local control rate)을 약 90%로 올려냈다는 점,^{4),5)} 치료 후 고령의 환자들에게도 부작용이 적다는 점⁶⁾, 수술에 상응하는 효과를 내면서 비침습적이라는 장점들을 통해 폐

암치료방법의 적용비율에서 방사선치료를 받는 환자에 대한 비율을 18% 증가시키며 체부정위방사선치료는 효과적인 방사선치료법으로 각광받고 있는 추세이다.⁷⁾ 현재 본원에서는 TrueBeam STx(Varian medical system, Palo Alto, CA) 기종의 FFF VMAT(flattening filter-free Volume Matrix Arc Therapy) Technique으로 폐를 포함한 다양한 부위에 체부 정위적 방사선 치료(SBRT: Stereotactic Body Radio Therapy)를 수행하고 있다.

하지만 이런 최신의 치료기술 또한 효과적인 방사선치료를 위해서는 정확한 QA와 치료simulation, 높은 재현성의 환자 set-up등이 만족되어야하고, 이와 마찬가지로 치료부위에 대한 전산화치료계획상의 정확한 선량계산능력은 치료 전 만족되어야하는 필수 조건이다. 전산화치료계획에 사용되는 선량계산 알고리즘은 치료방법의 개발과 함께 지속적으로 발전되어 왔지만 폐와 같은 불균질한 조직으로 이루어져 있는 부분의 계산에서는 그 한계를 보였고, 이를 보완하기 위한 연구가 현재 계속 진행되어 오고 있다.^{8),9)} 이에

본 논문은 2014년 11월 14일 접수하여 2014년 12월 2일 채택되었음.
책임저자 : 김인우, 서울대학교병원 방사선종양학과
서울시 중로구 대학로 101 서울대학교병원(연건동 28) 110-744
Tel : 02-2072-4941 HP : 010-7670-3454
E-mail : inwoo@snuh.org

본 연구에서는 흉부를 재현한 자체제작팬텀을 사용해 FFF빔을 이용한 VMAT technique 치료계획에 따른 실제 선량을 측정하여 Eclipse시스템의 AAA(Anisotropic Analytic algorithm)의 불균질부 보정 계산능력을 검증해보고자 한다.

대상 및 방법

1. 장비 및 재료

CT simulator(Brilliant Big Bore CT Philips, Netherlands)를 이용해 자체제작팬텀의 영상을 획득한 후 Eclipse의 treatment planning system(Version 10.0, varianTM, USA)의 AAA(Analytic anisotropic algorithm)를 통하여 선량분포를 획득하였다.(Fig. 1.1) 측정용 필름(Gafchromic EBT2 film, International Specialty Products, US)을 자체제작 팬텀 안에 위치시킨 후 본원의 TrueBeam STx(Varian medical system, Palo Alto, CA) 선형가속기를 통해 조사하여 얻어진 선량분포를 TPS(Treatment planning system)상의 선량분포와 비교 분석하였다.

2. 자체제작팬텀의 구성

대표적인 불균질부인 폐와 그 주변부를 구현하기 위해 인체조직부를 나타내는 Solid Water phantom(Gammex, USA), 폐 조직을 나타내는 Cork(density:0.23g/cm²) 그리고

폐 조직 내의 중앙부위를 나타내는 paraffin 블럭(density: 0.89g/cm²)을 조합하여 팬텀을 자체제작 하였다. 외측부에는 3cm두께의 상부와 하부에 5cm두께의 solid water phantom을 위치하고 이 사이에 cork plate를 위치시켜 폐 조직을 형성하였다. 중앙부위를 나타내는 paraffin블럭은 2cmX2cmX2cm/4cmX4cmX4cm로 나누어 제작하였고 cork plate의 중간 높이에 놓여 조직외측경계면에 근접하여 있는 반도형태(location A), 폐 중심부에 위치해있는 섬 형태(location B)를 가정하여 각각 위치시켰다.(Fig. 1.2)(Fig. 1.3)

3. 실험방법

1) 타겟의 위치와 크기에 따른 선량계산의 정확성을 알아보기 위하여 타겟의 크기(2cmX2cmX2cm/4cmX4cmX4cm)를 각각의 위치별(location A/location B)로 조합하여 2cmX2cmX2cm타겟의 location A인 경우를 Case1, 4cmX4cmX4cm타겟의 location A인 경우를 Case2, 2cmX2cmX2cm타겟의 location B인 경우를 Case3, 4cmX4cmX4cm타겟의 location B인 경우를 Case4로 설정하였다. 타겟의 크기는 폐암 체부정위적방사선치료 시 Local control의 영향인자기준이 되는 tumor사이즈인 2.5cm를 기준으로 각각 2cm과 4cm로 설정했다.¹⁰⁾ 각각의 Case별로 CT 스캔하여 4개의 치료계획용 영상을 획득하였고 이를 AAA을 사용하는 Eclipse TPS로 전송한 후 치료계획을 수립하였다. 치료계획은 본원의 폐암 체부정위적방사

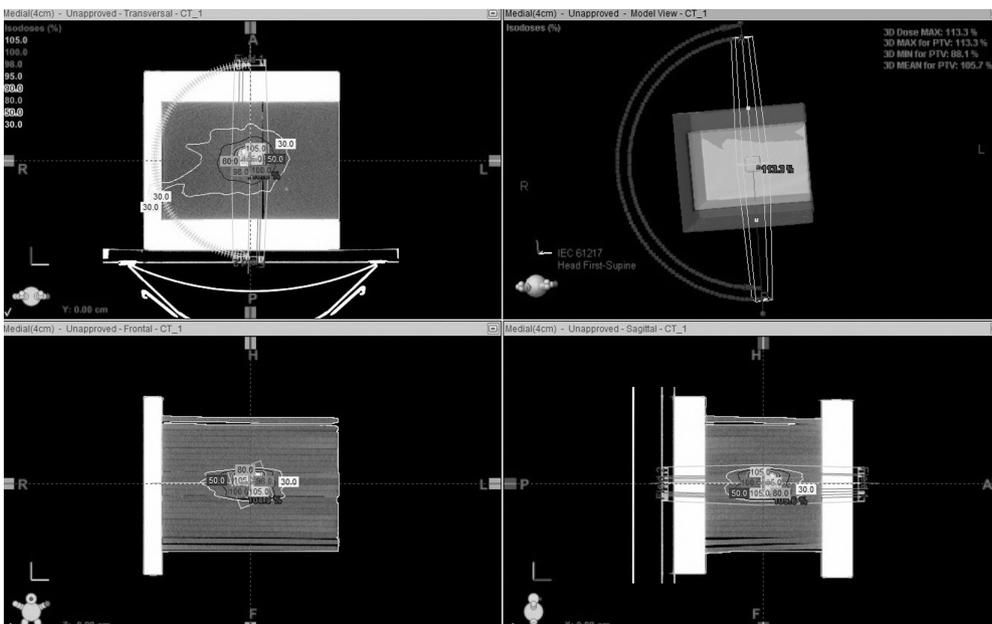


Fig 1.1
6MV FFF Treatment
Planning for
inhomogeneous phantom

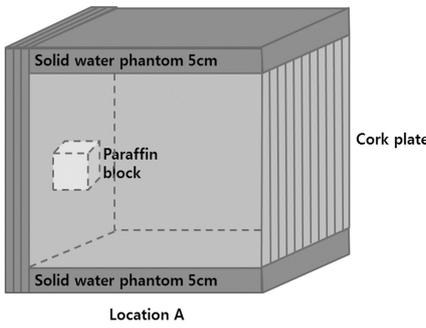


Fig 1.2 Inhomogeneous phantom with paraffin block target in location A

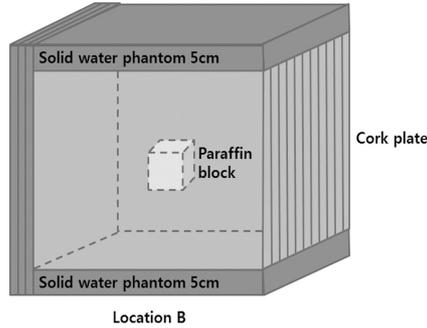


Fig 1.3 Inhomogeneous phantom with paraffin block target in location B

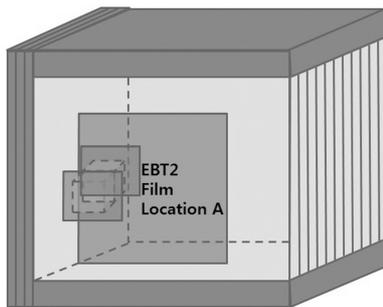


Fig 1.5 Placement of EBT2 film for location A

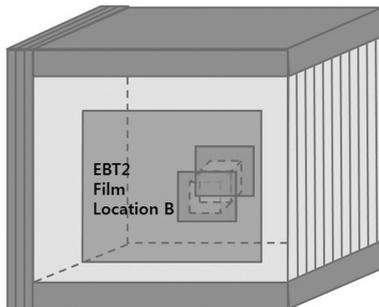


Fig 1.6 Placement of EBT2 film for location B

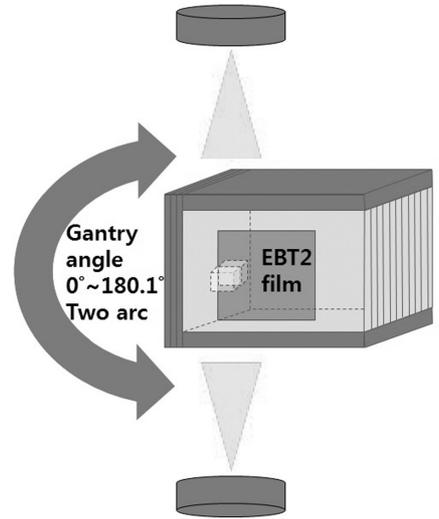


Fig 1.4 Two arc technique for SABR in inhomogeneous phantom and placement of the EBT2 film

선치료와 동일하게 적용하기 위해 FFF 모드 6MV 에너지를 사용하였고, 1회 치료선량 1500cGy, 처방선량의 95%선량 곡선이 target volume margin의 99%를 포함하도록 계획하였으며, 불균질부팬텀이 우측폐야를 가상하여 제작되었기 때문에 타겟중심을 gantry angle $0^{\circ} \sim 180.1^{\circ}$, $180.1^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 로 지나는 2개의 arc로 치료계획을 수립하였다. (Fig.1.4)

2) 파라핀 타겟의 중심단면에서 경계부단면을 포함하도록 필름을 횡단면으로 삽입하고, 타겟의 상/하 경계부에 필름을 위치시켜 방사선을 조사하여 측정하였다.(Fig.1.5)(Fig.1.6) 필름을 Flat-bed scanner(Expression 10000XL, Epson)로 스캔하였고, 획득한 선량분포를 선량분석프로그램 Varisoft™ (Version 3.1, PTW-FREIBURG, Germany)를 통하여 Eclipse에서 얻어진 치료계획상의 선량분포와 비교분석하였다.

결 과

Varisoft™의 선량분석프로그램으로 검증한 결과 타겟기

준으로 실험을 위해 6MV FFF빔으로 설계된 TPS상의 선량 분포와 EBT2필름 측정치의 Gamma index passing rate는 평가기준 3mm, 3%에서 Case1은 93.22%, Case2는 90.15%, Case3은 91.79%, Case4는 94.48%로 모두 유효한 값으로 나타났다.

임상적으로 설계되어진 6MV FFF VMAT치료의 TPS상의 선량분포와 실제 측정된 선량분포를 비교해본 결과, 타겟이 동일하게 반도위치(location A)에 존재하는 Case1과 Case2의 경우 타겟 내측부에서 치료중심점을 포함한 지점과 상하 좌우 일정간격(2cmX2cmX2cm블럭:5mm/4cmX4cmX4cm 블럭:1cm)으로 떨어진 다섯 포인트를 측정하여 얻어진 평균측정값은 2.04%와 2.70%의 차이를 나타냈다. 불균질의 측정은 각 경계부 선상의 중심점과 중심점에서의 일정간격(2cmX2cmX2cm블럭:2mm,4mm/4cmX4cmX4cm 블럭:3mm,7mm)으로 떨어져있는 임의지점에서 측정하였으며, Solid water팬텀 측에 붙어있는 반도형의 타겟의 Rt측면의 불균질부의 계산은 2.50%와 2.32%로 나타났다. 그 외 타겟의 나머지 불균질부의 계산은 Ant측면은 2.02%, 7.40%로 나타났으며, Post측면 14.84%, 4.46%, Lt측면 4.08%,

Table 1. Dose difference of calculated dose and measured dose(Case1, 2cm, location A)

Dose point	Center	Ant	Post	Rt	Lt	Sup	Inf
Difference Ratio(%)	2.04	2.02	14.84	2.50	4.08	2.38	3.54

Table 2. Dose difference of calculated dose and measured dose(Case2, 4 cm, location A)

Dose point	Center	Ant	Post	Rt	Lt	Sup	Inf
Difference Ratio(%)	2.70	7.40	4.46	2.32	2.50	3.52	2.50

Table 3. Dose difference of calculated dose and measured dose(Case3, 2 cm, location B)

Dose point	Center	Ant	Post	Rt	Lt	Sup	Inf
Difference Ratio(%)	1.28	2.25	9.93	0.98	3.75	4.98	1.53

Table 4. Dose difference of calculated dose and measured dose(Case1, 4 cm, location B)

Dose point	Center	Ant	Post	Rt	Lt	Sup	Inf
Difference Ratio(%)	1.58	3.36	5.28	7.12	1.36	2.38	0.94

2.50%, Sup 2.38%, 3.52%, Inf 3.54%, 2.50%로 차이가 났다.(Table 1)(Table 2) 15Gy으로 평균화한 그래프 상에서도 타겟의 경계부를 지남에 따라 선량계산치와 필름측정치의 차이 값은 증가하였다.(Fig. 2.1)(Fig. 2.2)(Fig. 2.3)(Fig. 2.4)

Paraffin블럭의 위치가 섬 모양(location B)으로 폐 조직 내에 존재하는 것을 가정한 Case 3과 Case 4의 경우에는 측정된 선량과 계획된 선량의 차이가 타겟 내부에서는 1.28%, 1.58%로 나타났으며, 그 외 불균질부로 설정된 각 타겟 경계부분에서는 Ant측면 2.25%, 3.36%, Post측면 9.93%, 5.28%, Rt측면 0.98%, 7.12%, Lt측면 3.75%, 1.36%, Sup측면 4.98%, 2.38%, Inf측면 1.53%, 0.94%로 그 차이가 나타났다.(Table 3)(Table 4) Location B의 경우에서도 역시 타겟의 모든 경계부분이 불균질부로 계산됨에 따라 계산값과 측정값의 Normalization Value의 차이가 타겟의 경계부위에서 벌어짐을 볼 수 있었다.(Fig. 3.1)(Fig. 3.2)(Fig. 3.3)(Fig. 3.4)

결론 및 고찰

Case1~Case4까지의 모든 경우에서 균질물질로 가정된 타겟 내부의 TPS 선량분포와 측정된 선량의 차이는 1~2%

대로 나타났다. 이는 AAPM-65 보고서에 의한 방사선치료의 총 불확도 5% 인 경우를 고려할 때 선량계산 불확도가 3%이내이므로 이를 만족하고 있다.¹¹⁾ 그러나 그 외 불균질부로 가정한 타겟의 경계부분에서는 TPS상 구현되는 선량분포와 실제선량의 차이가 나타날 수 있음을 확인하였다.

타겟 내부 선량의 경우 타겟의 위치 및 크기의 기준을 변경하여 얻은 Case1~4의 결과값을 분석한 결과 location A의 경우 location B보다 오차가 크게 나타났으며 크기에 대한 비교에서는 보다 큰 타겟에서 더 높은 선량차이가 나타났지만 모든 타겟 내부선량차이는 모두 허용치 3%이내의 값을 만족하였다.

불균질경계부에서 선량값을 분석한 결과 타겟의 위치인자(location A/location B), 크기인자, 경계면위치인자에 대한 영향 없이 오차율이 나타났다.

방사선치료의 발전과 함께 그 정확성을 향상시켜온 선량계산 알고리즘의 발전은 최근 불균질부의 계산까지 정확하게 달성하는 지점으로 도달하고 있다. 본 실험을 통해 Eclipse의 AAA에서 계산되어진 불균질부에서는 선량계산의 차이가 생길 수 있으며, 일일 고선량을 사용하여 작은 치료 범위를 통해 환자에게 적용되는 체부정위적방사선 치료에서는 그 오차가 더 커질 가능성이 존재한다. 이러한 가능성을 인지하여 환자의 set-up과 치료용적결정에 충분히 고

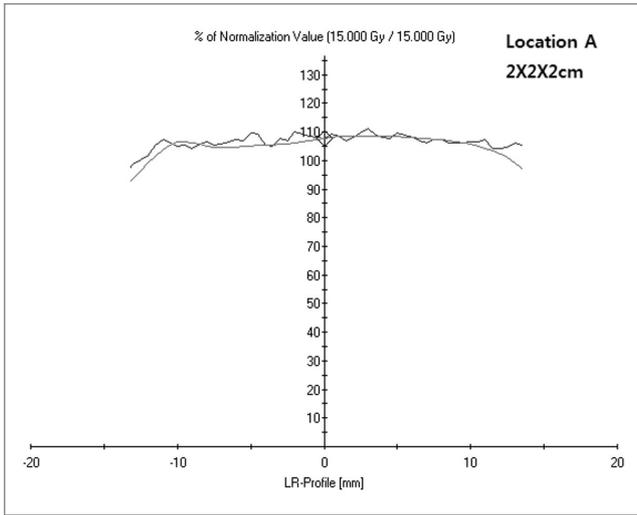


Fig 2.1 Normalization Value difference in Case1 LR-profile

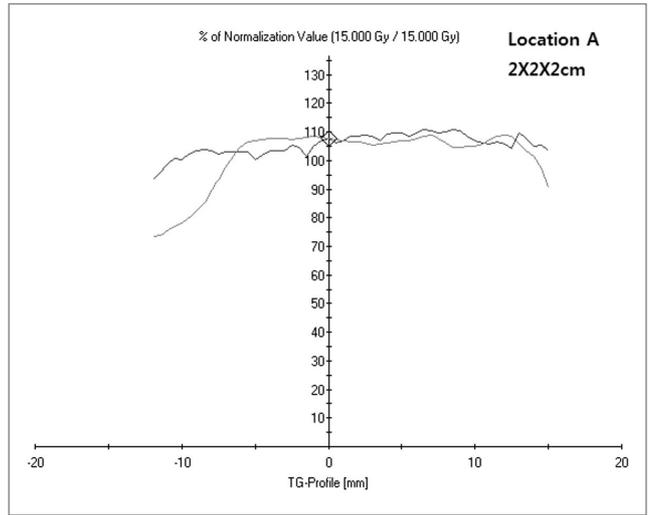


Fig 2.2 Normalization Value difference in Case1 TG-profile

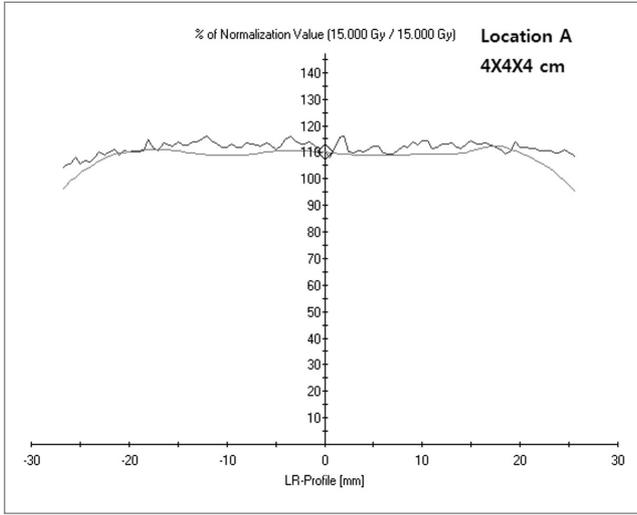


Fig 2.3 Normalization Value difference in Case2 LR-profile

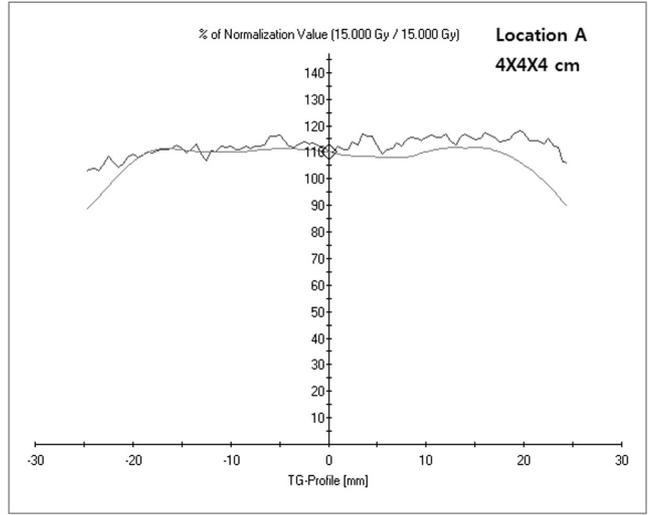


Fig 2.4 Normalization Value difference in Case2 TG-profile

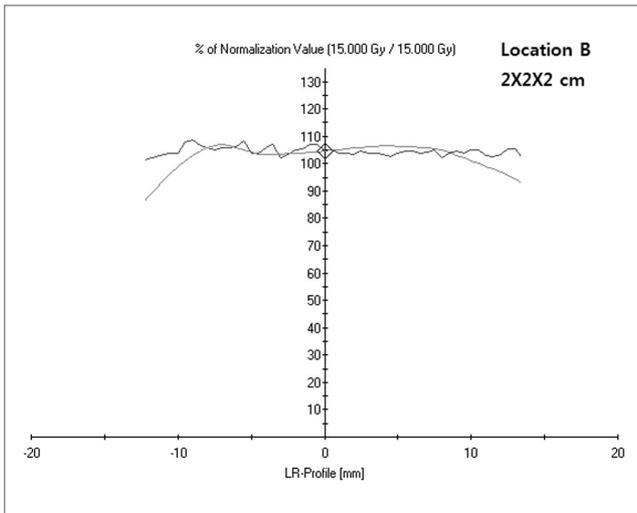


Fig 3.1 Normalization Value difference in Case3 LR-profile

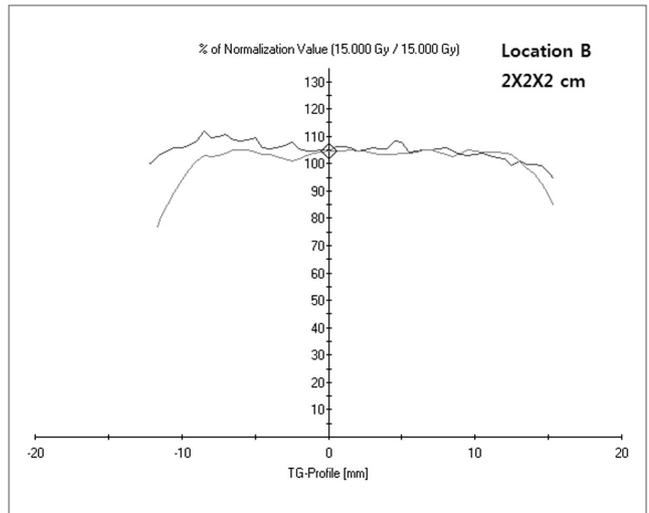


Fig 3.2 Normalization Value difference in Case3 TG-profile

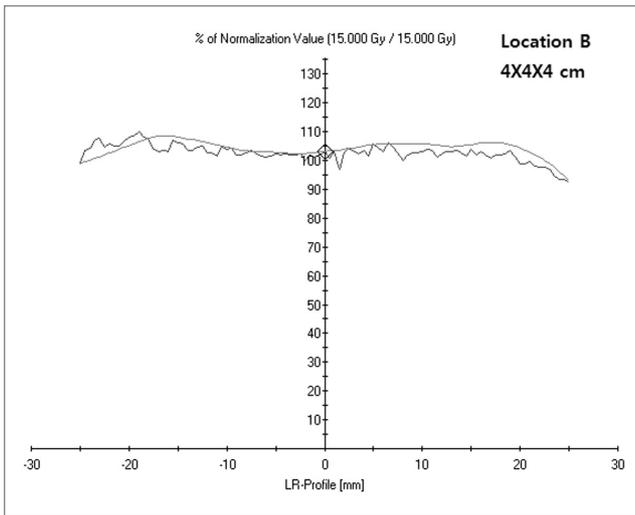


Fig 3.3 Normalization Value difference in Case4 LR-profile

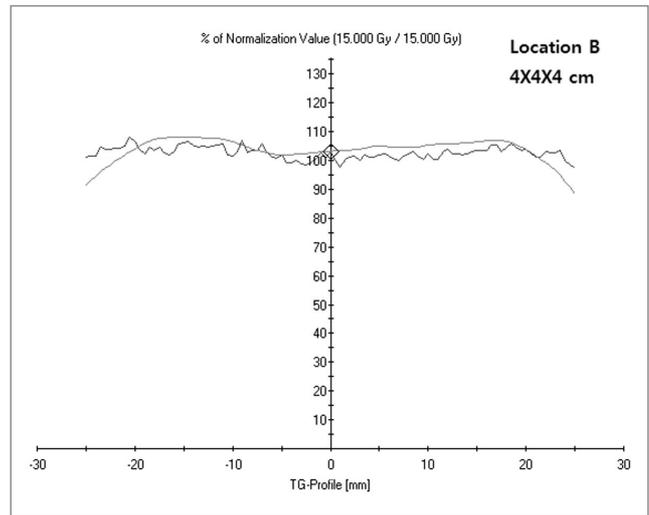


Fig 3.4 Normalization Value difference in Case4 TG-profile

려되어야하고, 치료계획과정과 선량계산검증시스템 대하여 더욱 연구하여 보완한다면 치료계획 시에 생길 수 있는 여러 가지 변수들에 대해 더욱 능동적으로 대처할 수 있으므로 생각되어진다.

참고문헌

1. Palma D, Tyldesley S, Sheehan F, et al: Stage I non-small cell lung cancer (NSCLC) in patients aged 75 years and above: Does age determine survival after radical treatment J Thorac Oncol 2010;5:818-824
2. Grutters JPC, Kessels AGH, Pijls-Johannesma M, et al: Comparison of the effectiveness of radiotherapy with photons, protons and carbon-ions for non-small cell lung cancer: A meta-analysis. Radiother Oncol 2010;95:32-40
3. Rowell NP, Williams CJ: Radical radiotherapy for stage I/II non-small cell lung cancer in patients not sufficiently fit for or declining surgery (medically inoperable): A systematic review. Thorax 2001;56:628-638
4. Timmerman R, Paulus R, Galvin J, et al: Stereotactic body radiation therapy for inoperable early stage lung cancer. JAMA 2010;303:1070-1076
5. Nguyen NP, Garland L, Welsh J, et al: Can stereotactic fractionated radiation therapy become the standard of

- care for early stage non-small cell lung carcinoma. Cancer Treat Rev 2008;34:719-727
6. Haasbeek CJ, Lagerwaard FJ, Antonisse ME, et al: Stage I nonsmall cell lung cancer in patients aged /75 years: Outcomes after stereotactic radiotherapy. Cancer 2010;116:406-414
7. David Palma, Otto Visser, Frank J. Lagerwaard, Jose Belderbos, et al: Impact of Introducing Stereotactic Lung Radiotherapy for Elderly Patients With Stage 1 Non-small-cell Lung Cancer: A Population-Based Time-trend Analysis. J Clin Oncol 28:5153-5159
8. Chan Yong Kim, Jae Hee Lee, Yong Kook Kwak, Min Yong Ha : Evalauation of Planning Dose Accuaracy in Case of Radiation Treatment on Inhomogeneous Organ Structure, 대한방사선치료학회지 제 25권 제2호, 2013
9. HEIDI S. RONDE1,2 & LONE HOFFMANN1 : Validation of Varian's AAA Algorithm with focus on lung treatment, Acta Oncologica, 2009, 28:209-215
10. Haeyoung Kim, MD : Results and prognostic factors of hypofractionated streotactic radiation therapy for primary or metastatic lung cancer, Journal of thoractic oncology, volume 5, Number 4, April 2010
11. AAPM TG-65: Tissue Inhomogeneity Corrections for Mega-voltage Photon Beams. American association of Physicists in medicine (2004)

Abstract

The Evaluation of the dose calculation algorithm(AAA)'s Accuracy in Case of a Radiation Therapy on Inhomogeneous tissues using FFF beam

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

In Woo Kim · Seung Hoon Chae · Min Jung Kim · Bo GyoumKim · Chan Yong Kim · So Yeon Park · Suk Hyun Yoo

Purpose : To verify the accuracy of the Ecilpse' s dose calculation algorithm(AAA:Analytic anisotropic algorithm) in case of a radiation treatment on Inhomogeneous tissues using FFF beam comparing dose distribution at TPS with actual distribution.

Materials and Methods : After acquiring CT images for radiation treatment by the location of tumors and sizes using the solid water phantoms, cork and chest tumor phantom made of paraffin, we established the treatment plan for 6MV photon therapy using our radiation treatment planning system for chest SABR, Ecilpse' s AAA(Analytic anisotropic algorithm).

According to the completed plan, using our TrueBeam STx(Varian medical system, Palo Alto, CA), we irradiated radiation on the chest tumor phantom on which EBT2 films are inserted and evaluated the dose value of the treatment plan and that of the actual phantom on Inhomogeneous tissue.

Results : The difference of the dose value between TPS and measurement at the medial target is 1.28~2.7%, and, at the side of target including inhomogeneous tissues, the difference is 2.02%~7.40% at Ant, 4.46%~14.84% at Post, 0.98%~7.12% at Rt, 1.36%~4.08% at Lt, 2.38%~4.98% at Sup, and 0.94%~3.54% at Inf.

Conclusion : In this study, we discovered the possibility of dose calculation' s errors caused by FFF beam' s characteristics and the inhomogeneous tissues when we do SBRT for inhomogeneous tissues. SBRT which is most popular therapy method needs high accuracy because it irradiates high dose radiation in small fraction. So, it is supposed that ideal treatment is possible if we minimize the errors when planning for treatment through more study about organ' s characteristics like Inhomogeneous tissues and FFF beam' s characteristics.

Keyword : SABR, FFF, VMAT Analytic Anisotropic Algorithm, Inhomogeneity