

토모테라피와 선형가속기를 이용한 동일 부위의 치료 시 종양 및 정상조직의 흡수선량 평가

가톨릭대학교 서울성모병원 방사선종양학과, ¹상계백병원 방사선종양학과

천금성 · 김창욱 · 김희남 · 허경훈 · 송진호 · 홍주영 · 정재용¹

목 적: 상이한 치료장비를 이용하여 동일 부위에 중복하여 방사선치료 시 전산화치료계획장치간에 호환이 되지 않아 정상조직(Normal Tissue)의 총 흡수선량에 대한 평가의 한계점이 있다. 본 연구에서는 토모테라피(Tomotherapy)와 선형가속기(Linear accelerator)를 이용하여 동일 부위를 중복 치료할 때 환자가 받는 선량을 평가하고자 한다.

대상 및 방법: 인체모형팬텀(Anthropomorphic Phantom)을 대상으로 종양 및 정상조직을 묘사하여 선형가속기 치료계획장치(Pinnacle 8.0: RTP)로 종양에 45 Gy 선량을 처방하고, 토모테라피 치료계획장치에서 종양에 15 Gy 선량을 처방하여 치료계획을 수립하였다. 토모테라피에서 수립된 치료계획을 통합가능 치료계획장치(Oncontra: RTP)에 전송한 후 동일한 조건으로 토모테라피 치료계획을 재현한 후 선형가속기에서 치료한 45 Gy를 합하여 총 선량 60 Gy의 치료계획을 구현하였다. 흡수선량 평가를 위해 두 개의 방사선 치료계획장치에서 얻어진 흡수선량(최소, 최대, 평균 선량) 및 관심 선량체적에 대해 서로 합(Total)한 값과 하나로 통합(Integration)하여 얻어진 값을 비교 분석하였다. 이를 바탕으로 본원에서 치료받은 환자 중 선형가속기와 토모테라피로 동일 부위에 치료 받은 5명(두경부 2명, 복부 1명, 골반부 2명)에 대하여 동일한 방법으로 종양 및 정상조직의 흡수선량을 비교 분석하였다.

결 과: 인체모형팬텀에서 하나로 통합하여 얻어진 값과 서로 합한 값의 비교에서 최소선량은 비장(Spleen, 12.4%), 최대선량은 소장(Small bowel, 10.2%)과 척수(Spinal cord, 5.8%)에서 큰 차이를 나타냈다. 두경부 환자의 경우 최소선량은 구강(Oral cavity, 20.3%), 오른쪽 수정체(Rt lens, 7.7%)에서 큰 차이를 나타냈으며, 최대선량은 척수(22.5%), 뇌간(Brain stem; 12.0%), 시신경교차(Optic chiasm; 8.9%), 오른쪽 수정체(11.5%), 하악골(Mandible bone, 8.1%), 뇌하수체(Pituitary gland, 6.2%)에서 뚜렷한 차이가 나타났다. 복부 환자의 경우 최대선량은 왼쪽 신장(Lt kidney, 20.3%), 위(Stomach, 8.1%)에서 큰 차이가 나타났고, 골반부위 환자의 경우 최소 선량은 방광(Bladder, 15.2%), 최대선량은 소장(5.6%), 방광(5.5%)에서 큰 차이를 나타냈다. 또한 동일 부위 방사선치료계획 시 정량화되지 못했던 신장의 20 Gy를 받은 체적(V_{20})에서 37%, 간(Liver)의 25 Gy를 받은 체적(V_{25})에서 23%가 선량체적히스토그램(DVH)에서 나타났다.

결 론: 하나로 통합하여 얻어진 값과 서로 합한 값의 비교에서 최소선량은 높게, 최대선량은 낮게, 평균선량은 동일한 값으로 나타났다. 또한 관심장기의 선량 체적(V_{20})보다 낮은 선량을 처방했을 때 구현하지 못했던 종양 및 정상조직의 흡수선량에 대하여 평가를 할 수 있었다. 향후 상이한 치료 장치들을 이용한 동일 부위 치료 시 흡수선량의 통합 평가뿐만 아닌 정확한 선량분포를 구현할 수 있는 치료계획장치의 개발이 요구되어지며, 이에 관련된 연구가 진행되어야 한다.

핵심용어: 방사선치료계획장치, 동일 부위, 토모테라피, 선형가속기, 선량체적히스토그램

서 론

방사선치료는 종양의 위치나 형태에 따라 방사선 강도를 조절하는 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 여러 방향에서 입체적으로 조사하여 단 시일 내에 종양을 제거하는 사이버나이프(Cyber-Knife) 및 감

마나이프(γ -Knife), 종양의 위치 변화에 따라 방사선을 조사할 수 있는 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)¹⁾ 그리고 특정 부위에만 집중하여 방사선을 조사할 수 있는 양성자치료(Proton Beam Radiation Therapy, PBRT) 등 정밀하고 복잡한 치료로 발전되고 있다.²⁾

이러한 치료방법들은 각 치료 양식별 방사선 치료계획 시스템(Radiation Therapy Planning System, RTPS)을 구축해 전산화치료계획(Computer Planning)을 시행하고, 그에 따른 정상조직이 받는 선량 체적을 통해 흡수선량(최소, 최대, 평균 선량) 및 관심 선량체적을 평가한 후 방사선치료를 시행하고

이 논문은 2010년 5월 23일 접수하여 2010년 8월 4일 채택되었음.
책임저자 : 천금성, 서울성모병원 방사선종양학과
Tel: 02)2258-1516, Fax: 02)2258-1532
E-mail: rmatjd1000@naver.com

있다.

예를 들어 선형가속기(Linear Accelerator, LINAC)를 이용하여 방사선치료를 한 후 동일 부위 및 인접한 부위에 토모테라피(Tomotherapy)나 근접치료(Intra-cavity Radiotherapy, ICR) 등을 이용해 추가 선량을 부가하는 경우가 있다. 이에 따른 각 치료 양식별 방사선 치료계획 시스템간 호환성의 문제가 발생 할 경우 각 방사선치료계획에서 정상조직이 받는 선량 체적을 서로 합산하여 평가하기 때문에 정확하게 분석하기 어려운 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 선형가속기와 토모테라피를 이용하여 동일 부위에 대해 치료하고자 할 때 각 치료 양식별 방사선치료계획장치로 계산된 흡수선량을 각 치료 양식별 방사선치료계획이 통합 가능한, 하나의 치료계획장치(이하 통합 가능 치료계획장치)에 구현하여 종양 및 정상장기 체적의 흡수선량을 서로 합(Total)한 경우와 통합(Integration)한 경우를 구현하여 정확한 흡수선량(최소, 최대, 평균선량) 및 관심선량체적의 동일 부위 및 인접부위에 대한 환자가 받는 선량을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

각 치료 양식별 방사선치료계획장치를 사용하여 구현된 정상조직선량 체적의 흡수선량을 서로 합한 경우와 통합 가능 치료계획장치에³⁾ 일반 방사선치료 계획과 추가 단층치료계획을 동일하게 구현하여 합산한 경우를 비교, 평가하기 위해 인체모형팬텀(Anthropomorphic Phantom, Alderson Re-



Fig. 1. Acquire 3 mm thickness scan images by using CT as a SOMATOM (sensation open, Siemens Medical System, Germany) with an anthropomorphic phantom.

search Laboratories Inc., USA)을 전산화단층촬영모의치료기인 SOMATOM (sensation open, Siemens Medical System, Germany)을 이용해 두께(slice thickness) 3 mm로 스캔(scan)하여 전산화 단층영상을 얻었다(Fig. 1).

각각의 방사선 치료계획 시스템을 이용하여 복부 부위에 가상의 육안적 종양체적(Gross Target Volume, GTV)은 주변 정상장기와 겹치지 않는 범위로 결정하였으며, 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV) 및 계획용 표적체적(Planning Target Volume, PTV)을 각각 5 mm씩 전, 후, 좌, 우, 상, 하 방향으로 확장시켜 설정하였다(Fig. 2).

설정된 계획용 표적체적에 선형가속기 치료계획장치(Pinnacle 8.0, Philips Medical systems V 8.0 software)로 종양에 45 Gy 선량을 처방하고, 토모테라피 치료계획장치(Tomotherapy, Incorporated, Madison, WI, USA)에서 종양에 15 Gy 선량을 처방하여 치료계획을 수립하였다. 통합 선량을 구하기 위해 선형가속기 치료계획장치와 토모테라피 치료계획장치에서 수립한 치료계획들을 통합 가능 치료계획장치에 전송한 후 동일한 조건으로 총 선량 60 Gy의 치료계획을 구현하였다.

각 치료 양식별 방사선치료계획장치에서 체적 대비 장기의 흡수선량을 단순 합하여 값을 얻었고(A), 체적 대비 장기의 흡수선량을 통합 가능 치료계획장치에서 구현, 합산하여 값을 얻었다(B). 그 값으로 A와 B가 얻어진 흡수선량의 차이를 비교 분석하였다.

위와 동일한 조건을 바탕으로 본원에 내원한 환자 중 일반 방사선치료 후 단층치료를 이용해 추가 방사선치료를 시행한 5명의 환자를 대상으로 각 부위별 흡수선량 및 관심선량 체적을 비교 대상으로 하였다(Table 1).^{4,6)}



Fig. 2. Set up potential both CTV and PTV on abdomen that are extended 5 mm on all sides.

일반방사선치료로 표현된 선량체적히스토그램과 토모치료 계획에서 표현된 선량체적히스토그램을 이용하여 체적대비

장기 흡수선량 각각의 합을 구하였다(C). 이와 비교하기 위하여 통합가능 치료계획 시스템에서 각각의 선량체적히스토그램을 구현, 합산하여 분석하였다(D).

Table 1. The parts of five people who has an additional radiation therapy using tomotherapy after a general radiation therapy (Unit in Gy)

| Site | Linac plan | Tomo plan | Integration plan |
|-------------------------|------------|-----------|------------------|
| Brain meta. | 30 | 15 | 45 |
| Nasopharyngeal cancer | 46 | 24 | 70 |
| Hepatic cellular cancer | 40 | 15 | 55 |
| Endometrial cancer | 63 | 20.7 | 83.7 |
| Sacral bone meta | 39 | 20 | 59 |

이때, 인체모형팬텀과 내원 환자 모두 동일 이미지 셋을 이용, Dicom RT를 통해 윤곽(Contour)과 진산화 단층영상을 모두 동일하게 유지 하여 선량의 객관적인 평가를 위해 다른 변수로 작용할 수 있는 요인(Factor)들을 제거하였다.

결 과

각 치료 양식별 방사선 치료 계획 장치를 방사선 치료계획 시스템을 사용한 경우 체적 대비 장기(organ)의 흡수선량을

Table 2. The contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs which are acquired by both a RTP system of the tomotherapy and a general radiation therapy with an anthropomorphic phantom (Unit in cGy)

| | Min dose | | | Max dose | | | Mean dose | | |
|-------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Linac | Tomo | Total | Linac | Tomo | Total | Linac | Tomo | Total |
| Rt kindey | 32 | 14 | 46 | 4,436 | 1,613 | 6,049 | 959 | 275 | 1,234 |
| Lt kindey | 38 | 17 | 55 | 2,534 | 673 | 3,207 | 947 | 237 | 1,184 |
| Liver | 116 | 41 | 157 | 4,665 | 1,614 | 6,279 | 3,217 | 904 | 4,121 |
| Cord | 9 | 2 | 11 | 1,952 | 675 | 2,627 | 242 | 131 | 373 |
| Spleen | 187 | 210 | 397 | 2,577 | 416 | 2,993 | 2,291 | 318 | 2,609 |
| Pancreas | 196 | 64 | 260 | 4,472 | 1,603 | 6,075 | 1,964 | 480 | 2,444 |
| Small bowel | 9 | 3 | 12 | 623 | 196 | 819 | 34 | 15 | 49 |
| Stomach | 90 | 34 | 124 | 3,721 | 637 | 4,358 | 1,789 | 299 | 2,088 |
| GTV | 4,447 | 1,539 | 5,986 | 4,579 | 1,605 | 6,184 | 4,504 | 1,575 | 6,079 |
| CTV | 4,436 | 1,534 | 5,970 | 4,597 | 1,607 | 6,204 | 4,513 | 1,573 | 6,086 |
| PTV | 4,373 | 1,436 | 5,909 | 4,665 | 1,614 | 6,279 | 4,513 | 1,574 | 6,087 |

Table 3. The sum total maximum abosorbed dose and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs which are acquired by a general RTP system (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|-------------|----------|-------|----------------|------|----------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% |
| Rt Kindey | 46 | 48 | 2 | 4.34 | 6,049 | 6,027 | -22 | -0.36 | 1,234 | 1,231 | -3 | -0.24 |
| Lt Kindey | 55 | 56 | 1 | 1.81 | 3,207 | 3,083 | -124 | -3.86 | 1,184 | 1,187 | 3 | 0.25 |
| Liver | 157 | 161 | 4 | 2.54 | 6,279 | 6,261 | -18 | -0.28 | 4,121 | 4,133 | 12 | 0.29 |
| Cord | 11 | 12 | 1 | 9.09 | 2,627 | 2,482 | -145 | -5.51 | 373 | 375 | 2 | 0.53 |
| Spleen | 397 | 453 | 56 | 14.1 | 2,993 | 2,900 | -93 | -3.1 | 2,609 | 2,610 | 1 | 0.03 |
| Pancreas | 260 | 265 | 5 | 1.92 | 6,075 | 6,050 | -25 | -0.41 | 2,444 | 2,437 | -7 | -0.28 |
| Small Bowel | 12 | 12 | 0 | 0 | 819 | 743 | -76 | -9.27 | 49 | 49 | 0 | 0 |
| Stomach | 124 | 126 | 2 | 1.61 | 4,358 | 4,235 | -123 | -2.82 | 2,088 | 2,088 | 0 | 0 |
| GTV | 5,986 | 6,019 | 33 | 0.55 | 6,184 | 6,168 | -16 | -0.25 | 6,079 | 6,079 | 0 | 0 |
| CTV | 5,970 | 5,988 | 18 | 0.3 | 6,204 | 6,168 | -36 | -0.58 | 6,086 | 6,084 | -2 | -0.03 |
| PTV | 5,909 | 5,914 | 5 | 0.08 | 6,279 | 6,261 | -18 | -0.28 | 6,087 | 6,086 | -1 | -0.01 |

T': total, I'': integration, D⁺: difference, V*: variation (difference/total*100%).

서로 합한 경우와 단일 방사선 치료계획 시스템에 구현하여 통합한 경우는 다음과 같다.

1. 인체모형팬텀의 경우

선형가속기를 이용한 방사선 치료계획 시스템을 통해 얻어진 체적 대비 장기의 최대흡수선량에서 육안적 종양체적 4,579 cGy, 임상 표적체적 4,597 cGy, 계획용 표적체적 4,665 cGy로 나타났으며, 토모치료기를 이용한 방사선 치료계획 시스템을 통해 얻어진 체적 대비 장기의 최대흡수선량에서 육안적 종양체적 1,605 cGy로, 임상 표적체적 1,607 cGy, 계획용 표적체적 1,614 cGy로 나타났다. 두 경우에서의 정상

장기에 대한 흡수선량(최소, 최대, 평균)은 Table 2에서 표현하였다.

이 값들을 서로 합한 최대 흡수선량에서 육안적 종양체적은 6,184 cGy, 임상 표적체적은 6,204 cGy, 계획용 표적체적은 6,279 cGy로 계산되었으며, 이를 통합가능 치료계획장치에 구현하여 합한 경우 체적 대비 장기의 최대흡수선량에서 육안적 종양체적은 6,168 cGy, 임상 표적체적은 6,168 cGy, 계획용 표적체적은 6,261 cGy로 구해졌다(Table 3).

Table 4. A general radiation therapy of a brain tumor patient and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs by TOMO RTP system (Brain) (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|--------------|----------|-------|----------------|------|----------|-------|----------------|--------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% |
| GTR MR | 4,609 | 4,609 | 0 | 0 | 4,809 | 4,774 | -35 | -0.73 | 4,700 | 4,700 | 0 | 0 |
| GTV CT | 4,609 | 4,609 | 0 | 0 | 4,796 | 4,774 | -22 | -0.46 | 4,688 | 4,686 | -2 | -0.06 |
| GTV-cbll L | 4,609 | 4,609 | 0 | 0 | 4,826 | 4,774 | -52 | -1.08 | 4,698 | 4,697 | -1 | -0.38 |
| PTV-cball L | 4,556 | 4,609 | 53 | 1.16 | 4,864 | 4,804 | -60 | -1.23 | 4,707 | 4,705 | -2 | -0.04 |
| PTV-cball S | 4,489 | 4,561 | 72 | 1.60 | 4,766 | 4,717 | -49 | -1.03 | 4,626 | 4,624 | -2 | -0.04 |
| PTV-parietal | 4,666 | 4,677 | 11 | 0.24 | 4,773 | 4,753 | -20 | -0.42 | 4,712 | 4,714 | 2 | 0.04 |
| Brain stem | 2,965 | 3,062 | 97 | 3.27 | 4,780 | 4,267 | -513 | -10.73 | 3,270 | 3,260 | -10 | -1.85 |
| Rt lens | 240 | 260 | 20 | 8.33 | 290 | 260 | -30 | -10.34 | 259 | 260 | 1 | 0.03 |
| Optic chiasm | 3,051 | 3,071 | 20 | 0.66 | 3,190 | 3,125 | -65 | -2.04 | 3,103 | 3,100 | -3 | -0.1 |
| Cord | 599 | 600 | 1 | 0.17 | 3,850 | 3,551 | -299 | -7.77 | 2,881 | 2,860 | -21 | -0.61 |
| Brain1 | 1,237 | 1,243 | 6 | 0.49 | 5,034 | 4,817 | -217 | -4.31 | 3,410 | 3,411 | 1 | 0.02 |

T': total, I'': integration, D⁺: difference, V*: variation (difference/total*100%).

Table 5. A general radiation therapy of a H&N tumor patient and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs by TOMO RTP system (Neck) (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|------------------|----------|-------|----------------|-------|----------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% | T' | I'' | D ⁺ | V*% |
| GTV | 6,894 | 7,047 | 153 | 2.22 | 7,684 | 7,587 | -97 | -1.26 | 7,337 | 7,339 | 2 | 0.03 |
| PTV | 5,720 | 5,960 | 240 | 4.20 | 7,696 | 7,587 | -109 | -1.42 | 7,194 | 7,194 | 0 | 0.00 |
| Brain stem | 308 | 308 | 0 | 0.00 | 5,092 | 5,029 | -63 | -1.24 | 2,167 | 2,164 | -3 | -0.14 |
| Cord | 290 | 298 | 8 | 2.76 | 4,770 | 4,550 | -220 | -4.61 | 2,718 | 2,719 | 1 | 0.04 |
| Lt parotid gland | 3,735 | 3,782 | 47 | 1.26 | 5,385 | 5,262 | -123 | -2.28 | 4,585 | 4,585 | 0 | 0.00 |
| Rt parotid gland | 4,080 | 4,086 | 6 | 0.15 | 5,439 | 5,243 | -196 | -3.60 | 4,703 | 4,706 | 3 | 0.06 |
| Oral cavity | 1,792 | 2,249 | 457 | 25.50 | 5,554 | 5,397 | -157 | -2.83 | 4,228 | 4,227 | -1 | -0.02 |
| Eye | 167 | 168 | 1 | 0.60 | 1,269 | 1,182 | -87 | -6.86 | 420 | 418 | -2 | -0.48 |
| Mandible | 360 | 363 | 3 | 0.83 | 5,632 | 5,212 | -420 | -7.46 | 3,514 | 3,513 | -1 | -0.03 |
| Optic chiasm | 513 | 548 | 35 | 6.82 | 670 | 615 | -55 | -8.21 | 576 | 575 | -1 | -0.17 |
| Carotid space | 4,392 | 4,470 | 78 | 1.78 | 7,406 | 7,293 | -113 | -1.53 | 5,716 | 5,732 | 16 | 0.28 |
| Pituitary gland | 1,186 | 1,260 | 74 | 6.24 | 3,487 | 3,283 | -204 | -5.85 | 1,931 | 1,892 | -39 | -2.02 |

T': total, I'': integration, D⁺: difference, V*: variation (difference/total*100%).

2. 실제 임상 환자 5명 대상의 경우

각 치료 양식별 방사선 치료계획 장치를 통해 얻어진 체적 대비 장기의 흡수선량에서 두부(Brain, lung cancer brain

meta) 환자의 경우 육안적 종양체적, 임상표적체적, 계획용 표적체적과 정상 장기의 계산된 값과 통합가능 치료계획장치에 구현 후 합산하여 구해진 값을 Table 4에서 나타내었다. 이와 마찬가지로 경부(Neck, Nasopharyngeal cancer), 복부

Table 6. A general radiation therapy of an abdominal tumor patient and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs by TOMO RTP system (Abdomen) (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|---------------|----------|-------|----------------|------|----------|-------|----------------|--------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% |
| GTV | 5,497 | 5,550 | 53 | 0.96 | 5,753 | 5,715 | -38 | -0.66 | 5,635 | 5,635 | 0 | 0.00 |
| PTV | 5,061 | 5,167 | 106 | 2.09 | 5,828 | 5,775 | -53 | -0.91 | 5,612 | 5,612 | 0 | 0.00 |
| Rt kidney | 36 | 37 | 1 | 2.78 | 1,863 | 1,842 | -21 | -1.13 | 211 | 211 | 0 | 0.00 |
| Lt kidney | 28 | 28 | 0 | 0.00 | 840 | 698 | -142 | -16.90 | 78 | 78 | 0 | 0.00 |
| Liver | 53 | 54 | 1 | 1.89 | 5,830 | 5,775 | -55 | -0.94 | 2,008 | 2,009 | 1 | 0.05 |
| Cord | 35 | 35 | 0 | 0.00 | 1,922 | 1,889 | -33 | -1.72 | 546 | 547 | 1 | 0.18 |
| Stomach | 50 | 51 | 1 | 2.00 | 3,324 | 3,075 | -249 | -7.49 | 1,057 | 1,058 | 1 | 0.09 |
| Duodenum | 54 | 55 | 1 | 1.85 | 5,092 | 5,032 | -60 | -1.18 | 629 | 628 | -1 | -0.16 |
| Small bowel | 35 | 37 | 2 | 5.71 | 4,028 | 4,010 | -18 | -0.45 | 175 | 175 | 0 | 0.00 |
| Esophagus | 52 | 54 | 2 | 3.85 | 3,634 | 3,492 | -142 | -3.91 | 1,028 | 1,027 | -1 | -0.10 |
| Cord for plan | 33 | 33 | 0 | 0.00 | 2,019 | 1,928 | -91 | -4.51 | 537 | 535 | -2 | -0.37 |
| Normal liver | 53 | 54 | 1 | 1.89 | 5,811 | 5,775 | -36 | -0.62 | 1,991 | 1,992 | 1 | 0.05 |

Table 7. A general radiation therapy of an endometrial tumor patient and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs by TOMO RTP system (Endometrial) (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|-----------------|----------|-------|----------------|-------|----------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% |
| GTV | 6,557 | 6,827 | 270 | 4.12 | 7,825 | 7,794 | -31 | -0.40 | 7,615 | 7,615 | 0 | 0 |
| PTV | 6,681 | 6,859 | 178 | 2.66 | 7,867 | 7,808 | -59 | -0.75 | 7,621 | 7,620 | -1 | -0.01 |
| Uterus-vagina | 4,829 | 4,836 | 7 | 0.14 | 7,854 | 7,803 | -51 | -0.65 | 7,360 | 7,362 | 2 | 0.02 |
| Intestine | 144 | 146 | 2 | 1.39 | 7,552 | 7,418 | -134 | -1.77 | 2,002 | 2,002 | 0 | 0 |
| Rectum | 1,350 | 1,354 | 4 | 0.30 | 7,146 | 7,040 | -106 | -1.48 | 5,455 | 5,456 | 1 | 0.01 |
| Bladder | 3,027 | 3,568 | 541 | 17.87 | 7,884 | 7,746 | -138 | -1.75 | 6,000 | 5,999 | -1 | -0.01 |
| Rt femoral head | 2,980 | 2,999 | 19 | 0.64 | 6,168 | 6,148 | -20 | -0.32 | 3,623 | 3,622 | -1 | -0.02 |
| Lt femoral head | 2,886 | 2,894 | 8 | 0.28 | 5,291 | 5,261 | -30 | -0.57 | 3,411 | 3,411 | 0 | 0 |

Table 8. A general radiation therapy of a sacrum bone meta patient and the contrast of between the maximum absorbed dose and volume of organs by TOMO RTP system (Sacrum) (Unit in cGy)

| | Min dose | | | | Max dose | | | | Mean dose | | | |
|-----------------|----------|-------|----------------|-------|----------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% | T' | I'' | D ⁺ | V*0% |
| GTV | 4,871 | 5,196 | 325 | 6.67 | 6,347 | 6,283 | -64 | -1.01 | 6,035 | 6,035 | 0 | 0 |
| PTV | 4,344 | 4,803 | 459 | 10.57 | 6,371 | 6,308 | -63 | -0.99 | 6,014 | 6,014 | 0 | 0 |
| Bladder | 84 | 86 | 2 | 2.38 | 4,397 | 4,168 | -229 | -5.21 | 364 | 363 | -1 | -0.27 |
| Bowel | 69 | 73 | 4 | 5.80 | 5,313 | 5,032 | -281 | -5.29 | 784 | 784 | 0 | 0 |
| Rt femoral head | 77 | 78 | 1 | 1.30 | 243 | 242 | -1 | -0.41 | 129 | 130 | 1 | 0.76 |

(Abdomen, Hepatic cellular carcinoma), 골반부(Pelvis, Endometrial cancer, 천추부(Sacrum, Sacral bone meta) 환자의 경우도 Table 5~8에서 표현하였다.

고안 및 결론

각 치료 양식별 방사선치료계획장치를 사용하여 체적 대비 장기의 흡수선량을 서로 합한 경우와 통합가능 치료계획 장치에 구현, 합산하여 비교한 결과를 바탕으로 일반 방사선 치료 후 단층치료를 이용해 추가 방사선치료를 시행한 경우 종양 선량체적은 크게 변화되지 않지만 정상조직 선량체적이 차이를 나타내는 것으로 평가되었다. 특히 두부 환자의 경우,⁷⁾ 척수의 최대선량에 대한 단순 합과 합산의 차이가 220 cGy 감소됨을 알 수 있었고, 간 환자 장기의 경우 통합가능 치료계획시스템에 구현하여 합산한 흡수선량이 정상조직 선량체적의 정상장기 부작용 발병확률(Normal Tissue Complication Probability, NTCP)⁸⁻¹⁰⁾ 한계치에 가깝게 나타나는 결과는 단순 비교로 계산할 경우의 위험성을 잘 표현하고 있다.

방사선치료가 보다 정밀하고 복잡한 치료로 발전되어 갈수록 종양 선량체적은 높게 지켜가면서 정상조직 선량체적을 떨어뜨리는 것이 치료의 주요 성과로 주목되어지고 있다. 이를 위해 여러 정교한 치료방법들이 개발되어 사용되고 있으며, 필요에 따라 각 치료 방법들이 독립적으로 시행되거나 병행되어지고 있다. 따라서 이에 따른 방사선 치료계획 시스템 간의 호환성이 문제인 경우 각 치료 양식별 전산화치료계획장치에서 구현된 체적 대비 장기의 흡수선량을 서로 단순 합산하여 종양 선량체적과 정상 조직 선량체적을 평가하는 경우가 흔히 이용된다.

그러나 본 연구 결과를 통해 각 치료양식별 방사선 치료계획장치에서 구현된 체적 대비 장기의 흡수선량을 서로 합하여 종양 선량체적과 정상 조직 선량체적을 평가하는 방법은 단일 방사선 치료계획 시스템에 구현하여 합산한 경우와 비교시 차이를 나타내고 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 척수, 신장과 같은 장기의 내용선량(Tolerance dose)이 주요한 평가가 되는 경우 정상 조직선량체적의 오류를 발생시킬 위험성이 있으므로 단일 치료 계획에서 구현된 값을 얻어 정상 조직선량체적을 평가함이 중요하며, 만일 여건이 허락되지

않는 상황이라면 이 차이를 감안하여 정상조직선량체적을 계산하는 것이 더 유용하고 정확한 방법으로 사료된다.

참고문헌

1. Piermattei A, Fidanzio A, Cilla S, et al.: Dose-guided radiotherapy for lung tumors. *Med Biol Eng Comput* 2010; 48:79-86, Epub 2009 Dec 10.
2. Murthy V, Master Z, Gupta T, et al.: Helical tomotherapy for head and neck squamous cell carcinoma: dosimetric comparison with linear accelerator-based step-and-shoot IMRT. *J Cancer Res Ther* 2010;6(2):194-198
3. Carla Alves de Oliveira, Maria do Carmo Lopes, Armanda Matos: Commissioning of brachytherapy module of Oncentra MasterPlan treatment planning system. *J Contemp Brachyther* 2009;1:224-230
4. Chang-Claude J, Ambrosone CB, Lilla C, et al.: Genetic polymorphisms in DNA repair and damage response genes and late normal tissue complications of radiotherapy for breast cancer. *Br J Cancer* 2009;100:1680-1686. Epub 2009 Apr 14.
5. Berry T, Brooks S, Sydow N, et al.: Complication rates of radiation on tissue expander and autologous tissue breast reconstruction. *Ann Surg Oncol* 2010;17(Suppl 3):202-210, Epub 2010 Sep 19.
6. Marks LB, Yorke ED, Jackson A, et al.: Use of normal tissue complication probability models in the clinic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010;76(Supple 1):S10-S19
7. Werbrouck J, De Ruyck K, Duprez F, et al.: Acute normal tissue reactions in head-and-neck cancer patients treated with IMRT: influence of dose and association with genetic polymorphisms in DNA DSB repair genes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009;73:1187-1195
8. Landry JC, Yang GY, Ting JY, et al.: Treatment of pancreatic cancer tumors with intensity-modulated radiation therapy (IMRT) using the volume at risk approach (VARA): employing dose-volume histogram (DVH) and normal tissue complication probability (NTCP) to evaluate small bowel toxicity. *Med Dosim* 2002;27(2):121-129
9. Emami B, Lyman J, Brown A, et al.: Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1991;21:109-122
10. Langer M, Morrill SS, Lane R: A test of the claim that plan rankings are determined by relative complication and tumor-control probabilities. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;41: 451-457

Abstract

Incase of Same Region Treatment by using a Tomotherapy and a Linear Accelerator Absorbed Dose Evaluation of Normal Tissues and a Tumor

Geum Seong Cheon, Chang Uk Kim, Hoi Nam Kim, Gyeong Hun Heo, Jin Ho Song,
Joo Yeong Hong, Jae Yong Jeong¹

Department of Radiation Oncology, Catholic University Seoul St. Mary's Hospital,
¹Inje University Sanggye Paik Hospital, Seoul, Korea

Purpose: Treating same region with different modalities there is a limit to evaluate the total absorbed dose of normal tissues. The reason is that it does not support to communication each modalities yet. In this article, it evaluates absorbed dose of the patients who had been treated same region by a tomotherapy and a linear accelerator.

Materials and Methods: After reconstructing anatomic structure with a anthropomorphic phantom, administrate 45 Gy to a tumor in linac plan system as well as prescribe 15 Gy in tomotherapy plan system for make an ideal treatment plan. After the plan which made by tomoplan system transfers to the oncentra plan system for reproduce plan under the same condition and realize total treatment plan with summation 45 Gy linac treatment plan. To evaluate the absorbed dose of two different modalities, do a comparative study both a simple summation dose values and integration dose values. Then compare and analyze absorbed dose of normal tissues and a tumor with the patients who had been exposed radiation by above two differents modalities.

Results: The result of compared data, in case of minimum dose, there are big different dose values in spleen (12.4%). On the other hand, in case of the maximum dose, it reports big different in a small bowel (10.2%) and a cord (5.8%) in head & neck cancer patients, there presents that oral (20.3%), right lens (7.7%) in minimum dose value. About maximum dose, it represents that spinal (22.5), brain stem (12%), optic chiasm (8.9%), Rt lens (11.5%), mandible (8.1%), pituitary gland (6.2%). In case of Rt abdominal cancer patients, there represents big different minimum dose as Lt kidney (20.3%), stomach (8.1%) about pelvic cancer patients, it reports there are big different in minimum dose as a bladder (15.2%) as well as big different value in maximum dose as a small bowel (5.6%), a bladder (5.5%) in addition, making treatment plan it is able us to get.

Conclusion: In case of comparing both simple summation absorbed dose and integration absorbed dose, the minimum dose are represented higher as well as the maximum dose come out lower and the average dose are revealed similar with our expected values data. It is able to evaluate tumor & normal tissue absorbed dose which could had been not realized by treatment plan system. The DVH of interesting region are prescribed lower dose than expected. From now on, it needs to develop the new modality which are able to realize exact dose distribution as well as integration absorbed dose evaluation in same treatment region with different modalities.

Key words: radiation therapy planning system, identical treatment region, tomotherapy, linear accelerator, DVH (dose-volume-histogram)