

토모테라피를 이용한 폐종양 방사선수술 계획 시 선량 분석

전남대학교 의과대학 방사선종양학교실

송주영 · 정재욱 · 윤미선 · 안성자 · 정웅기 · 나병식 · 남택근

본 연구에서는 토모테라피를 이용한 폐종양의 방사선수술 치료계획을 수립한 후 기존의 선형가속기를 사용하였을 경우와 비교, 분석하여 선량분포 측면에서 유효성 및 타당성을 살펴보았다. 종양의 움직임이 5 mm 이하인 10명의 환자 CT 영상을 대상으로 기존의 선형가속기를 이용한 세기조절방사선수술에서와 동일한 처방선량과 동일한 조건의 중요장기 선량제한치로 토모테라피 치료계획을 수립한 후 선량분포를 비교하였다. 토모테라피를 이용한 결과에서도 기존의 선형가속기를 이용한 세기조절방사선수술과 동일하게 중요장기의 선량제한치를 충족시키면서 GTV에 처방선량을 부여할 수 있음을 확인하였다. 방사선조사로 인한 폐의 정상조직합병증확률과 종양 반대편 폐의 등가균일선량 측면에서는 토모테라피가 기존 선형가속기보다 상대적으로 더 우수한 결과를 보였으나, 종양 내 치료선량 분포의 균일도에서는 기존 선형가속기가 더 양호한 결과를 보였다. 치료 빔 전달 시간측면에서는 토모테라피가 기존 선형가속기 경우보다 2배 이상의 시간이 소요되었다. 이와 같은 본 연구의 결과 분석을 통해 폐종양 부위의 움직임이 적은 경우, 환자의 상태와 선량분포의 적합성 등을 고려한 최적의 치료계획을 세운다면 토모테라피를 사용하는 방사선 수술이 유효성 및 타당성이 있음을 확인할 수 있었다.

중심단어: 토모테라피, 방사선수술, 선량분포, 정상조직합병증확률, 등가균일선량

서 론

토모테라피 장비를 이용한 정위적 방사선수술에 대한 연구가 시행되어 실제 임상에도 적용되고 있다.¹⁻⁵⁾ 토모테라피 치료 시 MVCT (Mega-voltage CT)를 통한 환자 치료 위치 및 자세의 오차를 정확히 보정할 수 있어 기존의 선형가속기를 이용한 방사선수술과 대비하여 동일하거나 더 우수한 치료 선량의 정확도를 확보할 수 있고, 세기조절방사선치료의 역방향치료계획 개념을 적용하여 종양 주변 중요장기의 선량을 효과적으로 줄일 수 있어 토모테라피를 이용한 방사선수술이 타당성 및 유용성이 있다고 평가되고 있다. 하지만, 토모테라피는 치료 시 장기의 움직임 영향을 효과적으로 줄일 수 있는 방법이 아직 개발되어 있지 않아 호흡에 의한 장기의 움직임이 큰 폐와 복부부위에 1회 치료선량이 크고, 정확한 선량분포가 요구되는 방사선수술을

적용하기에는 어려움이 있어, 대부분 뇌와 두경부에 국한되어 연구가 진행되고, 임상에 적용되고 있다.⁶⁻⁸⁾

본 연구에서는 폐종양의 방사선수술에 토모테라피 장비를 적용하였을 경우, 선량분포의 타당성과 유효성을 분석하기 위한 기초 연구로서, 기존 선형가속기를 이용하여 폐방사선수술을 시행한 환자들의 치료계획 영상을 대상으로 토모테라피를 이용한 방사선 수술 계획을 수립하고, 계산된 선량분포를 비교, 분석하였다.

대상 및 방법

1. 토모테라피 적용 폐종양 방사선수술 환자 선정

토모테라피를 이용한 폐종양 방사선수술 치료계획 수립 및 선량 분석을 위해 기존의 선형가속기를 이용하여 방사선수술을 시행한 환자 중에서 종양이 폐 상단부에 존재하고 그 움직임이 상하 5 mm 이내인 환자 10명을 선정하였다. 종양의 움직임 영역은 호흡주기별로 획득한 4D-CT 영상을 기반으로 구성된 동영상으로 측정하였으며, 종양의 크기는 최대 직경 2 cm 이하의 경우만을 분석 대상으로 선정하였다. 4D-CT 영상을 획득하기 위한 시스템으로는 RPM (realtime position management) gating 장치(Varian, 미국)와

이 논문은 2011년 10월 20일 접수, 2011년 11월 29일 수정, 2011년 12월 5일 채택되었음.

책임저자 : 남택근, (501-757) 광주시 동구 학동 8번지
전남대학교 의과대학 방사선종양학교실
Tel: 061)379-7224, Fax: 061)379-7249
E-mail: tknam@jnu.ac.kr

BrightSpeed CT 스캐너(GE, 미국)를 사용하였다.

2. 토모테라피 용 방사선수술 치료계획 수립

기존 선형가속기를 이용한 방사선수술의 결과와 비교, 분석을 위해 기존과 동일한 계획용종양체적(PTV, planning target volume)설정과 동일한 선량조건을 기준으로 토모테라피 치료계획을 수립하였다. 기존 선형가속기를 이용한 방사선수술은 다엽콜리메터를 이용한 세기조절 방사선수술 방식으로 전산화치료계획시스템은 Eclipse (Varian, 미국)를 사용하여 선량을 계산하였으며, 120개의 leaf들로 구성된 다엽콜리메터가 장착된 선형가속기 Clinac iX (Varian, 미국)를 이용하여 방사선을 조사하였다. 치료 전 선형가속기에 장착된 OBI (on-board imager)를 사용하여 CBCT (cone-beam CT) 영상을 획득한 후 치료자세 및 위치 오차를 보정하여 정위적 방사선 수술의 정확도를 확보하였다. 토모테라피 용 방사선수술 치료계획에서도 기존 2.5 mm 슬라이스 두께로 획득한 치료계획용 CT 영상과 설정된 종양 및 중요장기와 각각의 선량 조건들을 동일하게 사용하였다.

육안적종양체적(GTV, gross tumor volume)에 선량 60 Gy를 장기의 움직임 및 환자 setup 오차를 고려하여 GTV 위, 아래 각각 5 mm 영역까지 설정한 PTV에는 54 Gy가 조사되도록 처방선량을 설정하였다. 중요장기의 선량은 흉벽 (<30 Gy), 척수(<10 Gy), 대동맥(<15 Gy), 기관지(<15 Gy)를 제한치로 설정하여 치료계획을 수립하였다.⁹⁾ 선형가속기를 이용한 방사선수술 시에는 7개의 필드를 사용하였고, 1회 선량 20 Gy로 총 3회 치료를 계획하였으며, 종양이 존재하지 않는 반대편 폐의 방사선 조사로 인한 위험도를 최소화하고자 각 조사 필드의 각도를 종양이 존재하지 않는 반대편 폐에 최대한 조사되지 않도록 환자마다 다르게 설정하였다. 토모테라피에서는 선형가속기와 달리 방사선 조사 각도를 설정할 수 없어 방향성 차폐(directional block) 기능을 사용하여 반대편 폐의 방사선 조사의 영향을 최소화하였다.

토모테라피 필드 폭은 10 mm와 25 mm 두 경우에 대해 별도로 치료계획을 세워 총 20개의 방사선수술 계획을 분석하였고, 선형가속기와 동일하게 1회 선량 20 Gy, 총 3회 치료로 계획하였으며, 최적화 과정에서의 pitch 값과 modulation factor 값은 갠트리 속도 제한치(1 rotation/min)를 벗어나지 않는 범위에서 각 치료계획별로 다르게 설정(pitch: 0.108~0.125, modulation factor: 1.500~1.750)하여 수행하였다.

3. 방사선수술 치료계획 비교, 분석

선형가속기를 이용한 방사선수술 치료계획과 토모테라피를 이용한 방사선수술 치료계획을 비교, 분석하기 위해 Matlab으로 작성된 프로그램을 사용하였다.¹⁰⁾ 선량체적히스토그램(DVH, dose volume histogram) 분석을 통해 중요장기의 선량제한치 만족 여부를 확인하였고, 특정 선량제한조건을 주지 않고 치료계획을 수립하였지만 중요장기로서 전체 폐의 방사선조사로 인한 위험도를 살펴보고자 정상조직합병증확률(NTCP, normal tissue complication probability)과 종양부위 반대편 폐의 등가균일선량(EUD, equivalent uniform dose)을 계산하여 비교, 분석하였다. EUD 계산을 위해 Niemierko가 제안한 generalized EUD에 관련된 식을 사용하였다.¹¹⁻¹³⁾

$$EUD = \left[\sum_{i=1}^n (\nu_i D_i^a) \right]^{1/a} \quad (1)$$

제시된 식은 암조직과 정상조직 모두에게 적용될 수 있으며, a 는 각각의 조직에 해당하는 모델인자이며 기본적으로는 1로 정의하였고, ν_i 와 D_i 는 각각의 체적과 선량을 의미한다. NTCP 계산을 위해 사용한 수식은 Lyman-Kutcher-Burman (LKB) 모델¹⁴⁻¹⁶⁾로 아래와 같다.

$$NTCP = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^u e^{-t^2/2} dt \quad (2)$$

$$u = (d_{ref} - TD_{50}(\nu_{eff})) / (m \cdot TD_{50}(\nu_{eff})) \quad (3)$$

d_{ref} 는 reference dose로 일반적으로 DVH에서 가장 큰 선량값으로 정의되며, ν_{eff} 는 partial effective volume의 합으로 LKB 모델에서 방사선 조사를 받은 체적 $\nu_j(j=1, \dots, k)$, 조사된 선량 d_j 와 d_{ref} 를 통해 계산되며 다음 식과 같다.

$$\nu_{eff} = \sum_{j=1}^k \nu_j \left(\frac{d_j}{d_{ref}} \right)^{1/n} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 m, n, TD_{50} 은 관련 문헌¹⁴⁻¹⁶⁾을 통해 해당하는 조직의 값을 사용하였다.

GTV의 선량균일도 분석을 위해 EUD와 GTV 내 선량 균일지수(HI, homogeneity index)를 아래 수식¹⁷⁾으로 계산하였고, 1회 20 Gy 치료 시 실제 범 조사 시간을 비교하여 치료 시간 측면에서의 효율성을 분석하였다.

$$HI = \frac{D_2 - D_{98}}{D_{prescription}} \times 100\% \quad (5)$$

D_2 는 DVH에서 GTV 부피의 2%에 해당하는 선량이고, D_{98} 은 DVH에서 GTV 부피의 98%에 해당하는 선량값이다.

결 과

선형가속기를 대상으로 한 결과와 토모테라피 결과를 비교하기 위해 작성하기 위해 선량체적히스토그램의 비교 그래프를 작성하였으며, Fig. 1은 한 예를 보여주고 있다. 총 10명의 환자를 대상으로 분석한 결과, 치료계획 시 중요장기에 주어진 선량제한치를 두 방법 모두에서 만족함을 확

인할 수 있었으며, 우측 폐 앞 부분에 종양이 위치하여 상대적으로 폐 방향으로의 선형가속기 필드 각도를 피할 수 있었던 환자 한 명을 제외하고는 토모테라피를 이용한 치료계획이 선형가속기를 이용한 것보다 폐에 적은 선량을 조사함을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 전체 폐의 방사선조사로 인한 NTCP 값들을 비교한 그래프이며, 선형가속기를 이용한 경우 평균 0.99%로 토모테라피를 이용한 경우의 필드 폭 10 mm에서 평균 0.27%, 필드 폭 25 mm에서 평균 0.31%보다 더 큰 값을 보였다. Fig. 3은 종양 반대편 폐의 EUD를 비교, 분석한 그래프로서 선형가속기를 이용한 경우 평균 1.26 cGy로 토모테라피를 이용한 경우의 필드 폭 10 mm에서 평균 0.40 cGy, 필

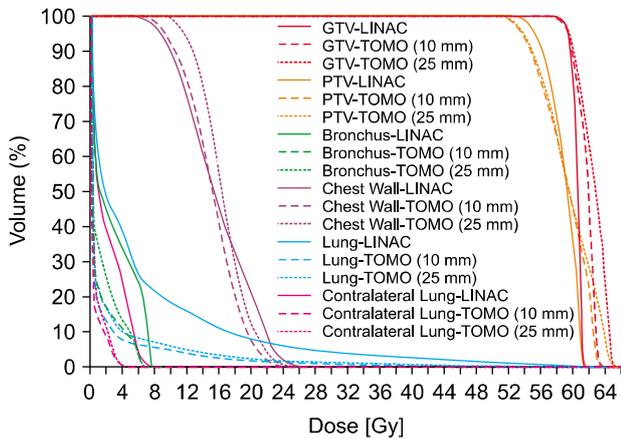


Fig. 1. Example of DVHs' comparison between lung radiation surgery using LINAC and TomoTherapy.

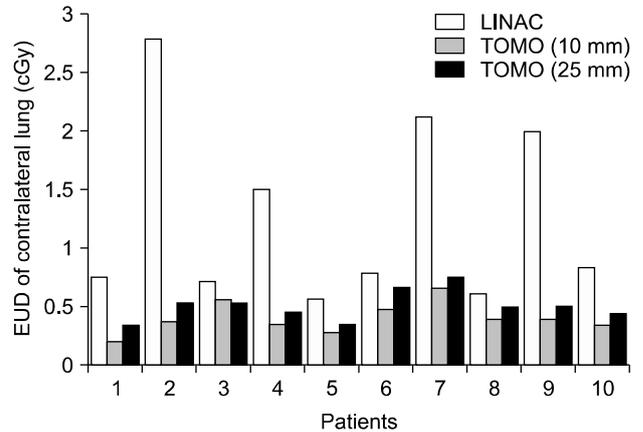


Fig. 3. Comparison of the calculated EUD of contralateral lung between lung radiation surgery using conventional LINAC and TomoTherapy.

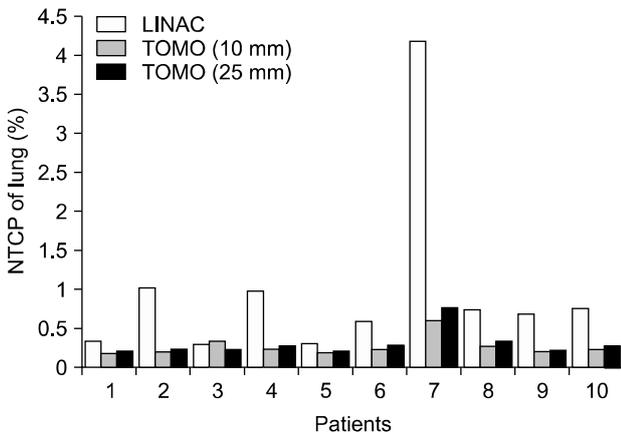


Fig. 2. Comparison of the calculated lung NTCP between lung radiation surgery using conventional LINAC and TomoTherapy.

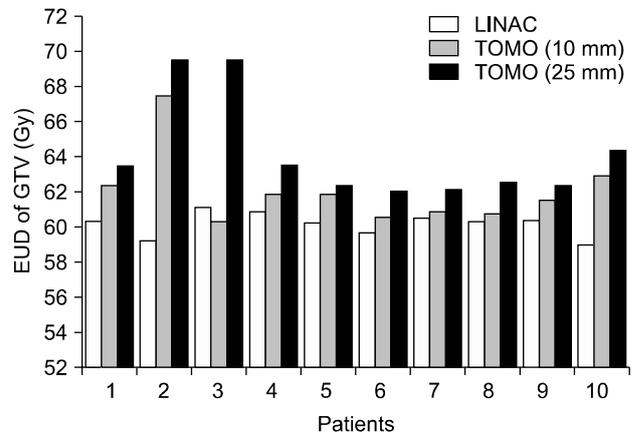


Fig. 4. Comparison of the calculated EUD of GTV between lung radiation surgery using conventional LINAC and TomoTherapy.

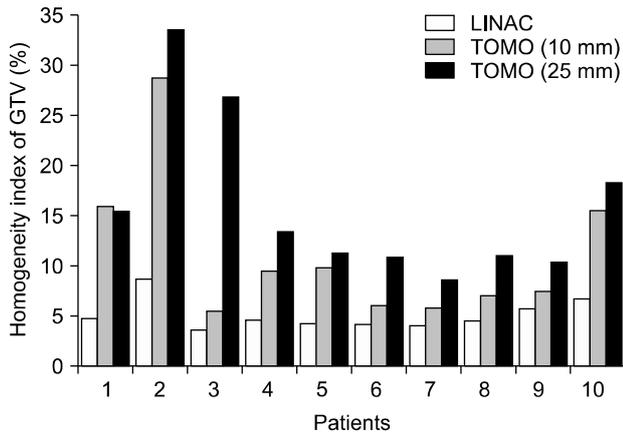


Fig. 5. Comparison of the calculated HI of GTV between lung radiation surgery using conventional LINAC and TomoTherapy.

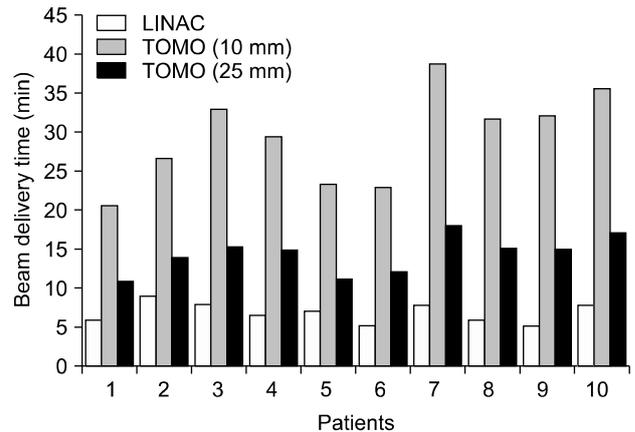


Fig. 6. Comparison of the beam delivery time between lung radiation surgery using conventional LINAC and TomoTherapy.

드 폭 25 mm에서 평균 0.51 cGy보다 더 큰 값을 보였다.

GTV내의 선량분포를 분석하고자 각 치료계획에서 EUD 값을 계산하였으며, Fig. 4는 그 결과를 보여주고 있다. 선형가속기를 이용한 경우 평균 60.15 cGy로 토모테라피를 이용한 경우의 필드 폭 10 mm에서 평균 62.04 cGy, 필드 폭 25 mm에서 평균 64.18 cGy보다 더 처방선량에 가까운 정확한 선량값을 보였다. GTV 내의 선량균일도를 분석하기 위해 계산한 HI의 결과는 Fig. 5와 같다. 선형가속기를 이용한 경우 평균 5.11%로 토모테라피를 이용한 경우의 필드 폭 10 mm에서 평균 11.12%, 필드 폭 25 mm에서 평균 15.99%보다 더 균일한 선량이 분포됨을 보였다.

실제 치료 빔 조사시간을 비교, 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 선형가속기를 이용한 경우 선량률 600 MU/min 기준으로 평균 6.76분이었으며, 토모테라피를 이용한 경우의 필드 폭 10 mm에서는 평균 29.32분, 필드 폭 25 mm에서는 평균 14.28분의 결과를 보였다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 토모테라피를 이용한 폐종양의 방사선수술 계획을 수립한 후, 기존의 선형가속기를 이용한 방사선수술 계획에서 계산된 선량분포와의 비교, 분석을 통해 실제 토모테라피를 이용한 폐종양의 방사선수술의 타당성 및 유효성을 검토해 보았다. 총 10명의 환자를 대상으로 수립한 토모테라피용 방사선수술 계획을 분석한 결과, 기존의 선형가속기를 이용한 세기조절방사선수술과 동일하게 중요장기의 선량제한치를 충족시키면서 GTV에 처방선량을

부여할 수 있음을 확인하였다. 중요장기로서 치료계획 시 선량제한치를 부여하지는 않았지만, 폐에 조사되는 방사선의 양과 그로 인한 부작용 확률을 계산하여 비교한 결과, 선형가속기 치료계획보다 토모테라피 치료계획에서 더 낮은 값을 보였다. 비록 선형가속기와 토모테라피 모두에서 전체 폐를 대상으로 하였을 경우, 1% 미만의 NTCP 값으로 큰 부작용을 유발할 수 있는 지표값으로는 판단되지는 않지만, 폐에 미치는 방사선의 영향을 상대적으로 줄일 수 있다는 측면에서 토모테라피를 이용한 방사선 수술의 장점이 평가할 수 있을 것으로 생각된다. 폐종양 반대측 폐의 EUD를 비교하였을 경우에서도 토모테라피의 경우에서 선형가속기보다 더 적은 값으로 도출되어 정상 폐의 보호 측면에서 상대적으로 우수함을 보였다. 토모테라피의 경우에서도 10 mm 필드 폭을 사용하였을 때, 25 mm 필드 폭을 사용하였을 때보다 폐에 조사되는 방사선의 양이 더 적어 낮은 NTCP 값을 보였다. 이는 방사선 수술 대상의 폐종양의 크기가 2.0 cm미만으로 필드 폭이 25 mm인 경우 중앙상, 하단부 근접 부위의 폐에 10 mm 필드 폭을 사용했을 경우 보다 더 많은 방사선이 조사됨으로 인해 발생된 결과로 분석된다.

GTV 내의 선량분포를 분석한 결과, 선형가속기를 사용하였을 경우에 토모테라피를 사용한 경우보다 처방선량 값에 더 가까운 EUD와 더 낮은 HI 값을 도출하여 GTV 내의 선량균일도 측면에서 더 우수함을 확인할 수 있었다. 토모테라피에서는 10 mm의 필드 폭을 사용하였을 경우, 25 mm의 필드 폭을 사용하였을 때 보다 상대적으로 더 균일한 선량이 분포함을 보였다. 본 연구에서는 토모테라피 치

료 계획 시 GTV 전체 부피의 처방선량 만족도를 최소한 선형가속기를 사용하였을 경우와 동일한 수준으로 맞추기 위해 GTV에 대한 처방선량 조사를 우선 충족 요건으로 최적화를 수행하였다. 이로 인해 토모테라피의 경우 GTV 내의 선량분포가 전반적으로 처방선량 값을 기준으로 최대 선량값까지의 범위가 상대적으로 넓은 경향을 보여 선량균일도 측면에서 선형가속기보다 열등한 결과를 보인 것으로 생각된다.

실제 치료시간에서 선형가속기의 cone-beam CT를 이용한 영상유도방사선치료 과정과 토모테라피의 MVCT를 이용한 영상유도방사선치료 과정에서의 시간이 포함되지만 동일하다고 가정하고, 순수한 치료 빔 조사 시간을 계산하여 비교한 결과에서는 선형가속기의 경우에서 토모테라피의 경우보다 2배 이상 빠른 것을 확인하였다. 선형가속기의 경우, 매 조사필드마다 갠트리 회전과 필드 점검시간이 추가가 되겠지만, 이로 인한 추가 시간은 3분 미만으로 치료시간 측면에서는 토모테라피의 경우보다 훨씬 단축되는 장점이 있음을 확인할 수 있었다. 토모테라피에서 10 mm의 필드 폭을 사용한 경우 평균 29.32분의 조사 시간으로 25 mm의 필드 폭을 사용하였을 때의 평균 14.28분보다 2배 이상의 조사 시간을 보여 치료의 효율적인 측면과 치료 환자의 불편함 및 치료 도중의 환자 움직임으로 인한 오류 측면을 고려하였을 때, 적지 않은 문제가 있을 것으로 생각된다. 이와 같이 토모테라피를 사용하여 폐종양의 방사선 수술을 시행할 경우, 비록 GTV 내의 선량분포 및 중요 장기와 폐의 방사선조사로 인한 부작용 확률 측면에서는 10 mm의 필드 폭이 더 우수하지만, 오랜 치료 시간이 소요된다는 단점이 있음을 고려하여, 25 mm 필드 폭의 치료 계획을 추가로 수립하여 환자의 상태와 계산된 선량분포의 특성을 서로 비교, 분석한 후, 적합한 필드 폭을 선정하여 치료에 적용해야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 도출된 토모테라피를 이용한 폐 방사선 수술의 선량분포 결과는 GTV 및 중요 장기의 중요도(importance) 및 가중치(penalty) 값들의 조정에 의해 변화가 있을 수 있지만, 토모테라피 장비의 갠트리 회전 속도 등의 기계적 제한치를 만족시키는 범위 안에서 최선의 선량분포가 계산되도록 주의를 기울였고, 총 10명의 환자를 대상으로 동일한 경향의 결과를 보인 것으로 선형가속기를 이용하였을 경우와의 비교, 분석 자료로는 통계적으로 의미가 있는 것으로 생각된다. 실제 폐의 낮은 NTCP 값을 기준으로 선형가속기 대비 토모테라피의 장점을 t 검정으로 분석한 결과 p -value가 0.0282로 통계적으로 의의가 있음을 확인할

수 있었다.

본 연구에서 호흡에 의한 움직임이 큰 종양 부위를 제외한 사례만을 분석한 이유는 현재 토모에서 호흡에 의한 종양의 움직임 영향을 효율적으로 보정할 수 있는 여러 방법이 연구되고 있지만,¹⁸⁻²⁰⁾ 실질적으로 임상에 적용되고 있지는 않기 때문이다. 즉, 종양 움직임 영역을 모두 포함한 확장된 PTV를 대상으로 하는 토모테라피와 호흡연동 방사선 치료 기법을 적용할 수 있어 상대적으로 축소된 PTV를 대상으로 하는 선형가속기와의 비교, 분석은 당연히 선형가속기 치료계획이 중요 장기 보호측면에서 더 양호한 선량분포를 도출하기 때문에 비교, 분석에 큰 의미가 없다고 판단되었기 때문이다. 이와 같은 몇 가지 제한된 사항에 대해 추후 더 상세한 연구를 시행할 측면이 있기는 하지만, 폐종양 부위의 움직임이 적어 그 영향을 무시할 수 있는 환자를 대상으로 환자 상태와 선량분포의 적합성 등을 고려한 최적의 치료계획을 세운다면 토모테라피를 사용하는 방사선 수술이 유효성 및 타당성이 있음을 본 연구결과를 통해 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Han C, Liu A, Schultheiss, et al: Dosimetric comparison of helical tomotherapy treatment plans and step-and-shoot intensity-modulated radiosurgery treatment plans in intracranial stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 65:608-616 (2006)
2. Sheehan JP, Shaffrey CI, Schlesinger D, et al: Radiosurgery in the treatment of spinal metastases: tumor control, survival, and quality of life after helical tomotherapy. *Neurosurgery* 65:1052-1061 (2009)
3. Vanderspek L, Bauman G, Wang JZ, et al: Dosimetric comparison of intensity-modulated radiosurgery and helical tomotherapy for the treatment of multiple intracranial metastases. *Technol Cancer Res Treat* 8:361-367 (2009)
4. Lee TF, Chao PJ, Wang CY, et al: Dosimetric comparison of helical tomotherapy and dynamic conformal arc therapy in stereotactic radiosurgery for vestibular schwannomas. *Med Dosim* 36:62-70 (2011)
5. Soisson ET, Hoban PW, Kammeyer T, et al: A technique for stereotactic radiosurgery treatment planning with helical tomotherapy. *Med Dosim* 36:46-56 (2011)
6. Soisson ET, Tome WA, Richards GM, et al: Comparison of linac based fractionated stereotactic radiotherapy and tomotherapy treatment plans for skull-base tumors. *Radiother Oncol* 78: 313-321 (2006)
7. Soisson ET, Mehta MP, Tome WA: A comparison of helical tomotherapy to circular collimator-based linear-accelerator radiosurgery for the treatment of brain metastasis. *Am J Clin Oncol*

- 34:388-394 (2011)
8. Kumar T, Rakowski J, Zhao B, et al: Helical TomoTherapy versus stereotactic Gamma Knife radiosurgery in the treatment of single and multiple brain tumors: a dosimetric comparison. *J Appl Clin Med Phys* 11:3245 (2010)
 9. Marks LB, Hanken RK, Martel MK: Quantitative analyses of normal tissue effects in the clinic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 76:S20-S107 (2010)
 10. 김진성, 윤명근, 박성용 등: 방사선치료 관련 연구를 위한 선량 체적 히스토그램 분석 프로그램 개발. *대한방사선종양학회지* 27:240-248 (2009)
 11. Jones LC, Hoban PW: Treatment plan comparison using equivalent uniform biologically effective dose (EUBED). *Phys Med Biol* 45:159-170 (2000)
 12. Niemierko A: Reporting and analyzing dose distributions: a concept of equivalent uniform dose. *Med Phys* 24:103-110 (1997)
 13. Luxton G, Keall PJ, King CR: A new formula for normal tissue complication probability (NTCP) as a function of equivalent uniform dose (EUD). *Phys Med Biol* 53:23-36 (2008)
 14. Kutcher GJ, Burman C, Brewster L, et al: Histogram reduction method for calculating complication probabilities for three-dimensional treatment planning evaluations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 21:137-146 (1991)
 15. Lyman JT: Normal tissue complication probabilities: variable dose per fraction. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 22:247-250 (1992)
 16. Semeneko VA, Li XA: Lyman-kutcher-Buman NTCP model parameters for radiation pneumonitis and xerostomia based on combined analysis of published clinical data. *Phys Med Biol* 53:737-755 (2008)
 17. Wu Q, Mohan R, Morris M, et al: Simultaneous integrated boost intensity modulated radiotherapy for locally advanced head-and neck squamous cell carcinomas. I: dosimetric results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56:573-585 (2003)
 18. Zhang T, Lu W, Olivera GH, et al: Breathing-synchronized delivery: a potential four-dimensional tomotherapy treatment technique. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 68:1572-1578 (2007)
 19. Lu W: Real-time motion-adaptive-delivery (MAD) using binary MLC: II. Rotational beam (tomotherapy) delivery. *Phys Med Biol* 53:6513-6531 (2008)
 20. Lu W, Chen M, Ruchala KJ, et al: Real-time motion-adaptive-optimization (MAO) in TomoTherapy. *Phys Med Biol* 54:4374-4398 (2009)

Analysis on the Calculated Dose in the Lung Radiation Surgery Planning Using TomoTherapy

Ju-Young Song, Jae-Uk Jung, Mee-Sun Yoon, Sung-Ja Ahn,
Woong-Ki Chung, Byung-Sik Nah, Taek-Keun Nam

Department of Radiation Oncology, Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

The applicability and feasibility of TomoTherapy in the lung radiation surgery was analyzed by comparison of the calculated dose distribution in TomoTherapy planning with the results of conventional IMRS (intensity modulated radiation surgery) using LINAC (linear accelerator). The acquired CT (computed tomograph) images of total 10 patients whose tumors' motion were less than 5 mm were used in the radiation surgery planning and the same prescribed dose and the same dose constraints were used between TomoTherapy and LINAC. The results of TomoTherapy planning fulfilled the dose requirement in GTV (gross tumor volume) and OAR (organ at risk) in the same with the conventional IMRS using LINAC. TomoTherapy was superior in the view point of low dose in the normal lung tissue and conventional LINAC was superior in the dose homogeneity in GTV. The calculated time for treatment beam delivery was long more than two times in TomoTherapy compared with the conventional LINAC. Based on the results in this study, TomoTherapy can be evaluated as an effective way of lung radiation surgery for the patients whose tumor motion is little when the optimal planning is produced considering patient's condition and suitability of dose distribution.

Key Words: TomoTherapy, Radiation surgery, Dose distribution, NTCP (normal tissue complication probability), EUD (equivalent uniform dose)