

Tomotherapy: 치료 소요시간 및 영향 요인 분석

부산대학교병원 방사선종양학과
손증기, 강현성, 황철환, 서세정, 최민호

목적: 본 연구의 목적은 Tomotherapy 치료시에 평균 실제 치료시간을 측정하고, 치료과정에서 실제 치료 시간에 영향을 미치는 절차들의 소요시간을 조사하고자 한다.

환자 및 방법: Tomotherapy 치료를 받은 31명의 환자를 대상으로 치료과정에서 절차에 의한 소요시간을 측정하였다. Beam-on time, Image registration time, 그리고 Set-up with scan time, Actual treatment time을 측정하고 단계적 선형 회귀분석을 수행하였다.

결과: 치료부위 당 평균 실제 치료시간은 21.44 - 23.92분 이었다. Beam-on time, Image registration time, 그리고 Set-up with Scan time들이 실제치료 시간에 영향을 미치는 중요한 요인이었으며, 가장 큰 영향요인은 Beam-on time이었고, 그 다음으로 Set-up with Scan time이었다. 그리고 Image registration time은 영향이 적은 것으로 분석되었다.

결론: Tomotherapy 치료환자 1명당 실제 치료시간은 평균 22.68±3.37분이었다. 정규시간 8시간 이내에 약 21명의 환자가 치료받을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 치료가 중단되거나 치료과정에서 절차의 진행시간이 달라지면, 일일 치료환자들의 스케줄에 영향을 미치며, 업무 부하량이 늘어날 것으로 생각된다.

▶ **핵심용어:** 토모테라피 실제 치료시간, 빔-온시간, 셋-업 및 스캔시간, 등록시간

서론

방사선을 이용한 종양치료에서 주된 목표는 주변의 건강한 조직에 제한된 선량을 유지하면서 종양체적에 규정된 선량을 전달하는 것이다. 정확한 선량전달을 위한 Kilo-voltage Cone beam CT(KVCT) 또는 Mega-voltage Fan beam CT(MVCT)와 같은 3차원 체적 영상은 전자포털영상(Electron Portal Image Device, EPID) 보다 높은 해부학적 정보를 제공하기 때문에 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)의 솔루션이 되었다.⁽¹⁾ Tomotherapy Hi-Art(Accuray Inc, USA)은 강도변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy,

IMRT) 및 MVCT 영상을 제공하는 통합 시스템으로 머리 와 목(head & neck) 같은 Site와 골반(pelvis) Site에 고선량 치료의 이점이 보고되고 있다.^(2,3,4) Tomotherapy Hi-Art(H,T) 시스템은 가파른 선량 기울기와 IMRT와 MVCT 통합시스템으로 환자의 Set-up의 기하학적(체계적, 무작위 오류) 불확실성을 최소화(minimization) 시키는 3차원 치료계획으로 치료마진(treatment margin)의 감소를 고려할 수 있게 되었다. Set-up Margin의 오류의 최소화를 위해서는 영상유도의 사용빈도와 관계가 있기 때문에 온라인 영상 안내기술(MVCT)로 Set-up에 의한 오류와 기하학적 오류(종양체적, 등록, 종양변화 등)를 수정(modified) 및 최소화시킬 수 있고, 치료과정의 정확한 환자위치 결정과, 치료체적의 측정이 가능하므로 영상 가이드와 함께 우수한 선량분포를 제공하고 있다.^(5,6) 또한 매일 영상획득을 통한 환자상태의 변화에 대한 정보를 얻을 수 있어 보정치료가 가능해진다. 그러므로 치료에 대한 불확실성은 치료

책임저자: 손증기, 부산대학교병원 방사선종양학과
부산광역시 서구 구덕로 179(아미동 1가 10번지)
Tel: 051)240-7897, FAX: 051)240-6870
E-mail: jgson516@naver.com

전에 MVCT등의 영상획득 도구를 통하여 제어되어야 하지만, 추가적인 환자의 흡수선량이 높아질 수 있으며, 영상의 획득 시간과 총 치료시간이 늘어나게 되고 업무부하량이 증가하게 될 수 있다. 치료에 소요되는 시간과 작업부하량의 평가를 위한 모델들이 개발되어 있지만, 이 모델들은 일반선형가속기(Conventional Linear Accelerator, CLA) 모델이 대부분이다.^(7,8) 그리고 CLA에서 사용되는 체적의 측정과 H.T 시스템에서 사용되는 체적의 측정법은 크게 다르기 때문에, H.T 시스템의 치료기술에 따른 치료소요시간을 평가하기 위한 새로운 연구가 필요하다.⁽⁹⁻¹¹⁾ H.T 시스템의 치료시간에 대한 선행연구는 있으나 작업부하시간과 환자관리를 위한 연구로 TomoTherapy 실행에 필요한 시간 측면에서 치료 소요시간의 분석과 그 영향 요인에 대한 설명은 불충분하였고 또 일상 업무량을 설명하는 자료는 거의 없는 실정이다.⁽¹²⁻¹⁴⁾ 따라서 이 연구는 H.T 시스템으로 치료되는 환자들의 치료과정에서 각 절차에 따른 시간을 분석하고 이 절차 요인들이 실제 치료시간에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

환자 및 방법

2017년 5월과 6월 사이에 부산대학교병원 TomoTherapy Center에서 HT로 치료받은 31명의 환자를 대상으로 후향적 연구로 분석을 하였다. 이 그룹에는 두경부 Site(whole brain, neck) 환자 22명, 골반부 Site(prostate, rectum) 환자 9명에 대해 분석하였다. 또한 치료절차에 따른 지속 시간은 환자 당 5회(1주)에 걸쳐 스톱위치로 치료절차에 소요시간을 측정하였으며, 치료시간에 미치는 요인 분석을 위해서 단계적 선형 회귀분석법을 이용하였고 기계의 유지 보수에 필요한 시간과 품질 보증 절차의 시간이 포함되지 않았다.

1. 절차 Procedures

치료 절차는 4가지 준비 과정(a-d) 및 전체 치료과정으로 구성되며 치료절차는 2명의 방사선치료사에 의해 수행되고 제어되며, 방사선 치료계획을 로드하고 셋업, 스캔 및 치료를 시작하게 된다.

- (a) Set-up with Scan time은 레이저가 외부 마크와 정렬됨에 따라 환자가 셋업에 필요한 시간이며 환자가 스캔을 시작할 때 갠트리에 들어간 순간부터 시작되어 스캔이 종료 될 때까지 시간.
- (b) Image Registration time은 KVCT 이미지(진단 C-T Scan에서 생성)로 MVCT 영상(H.T시스템에서 생성된 영상)과 일치시키기 위해 컴퓨터 프로그램의 활성화로부터 등록 및 데이터 처리에 소요되는 시간.
- (c) Beam-on time은 환자를 치료하기 위해 키를 전환(Beam-on) 한 후 시작되고 Beam-off 될 때까지 시간. Beam-on 시간은 의학적 결정 (예: 표적 체적의 축소)으로 인해 계획 파라미터가 변경되지 않는 한 모든 치료 세션 동안 동일하게 유지된다.
- (d) 실제 치료 시간(Actual treatment time)은 Set-up with Scan, 등록 및 데이터 처리시간, 빔 조사 시간(Beam-on time)을 포함한 시간.

2. 전체 치료 시간 Overall Treatment Time(OTT)

전체적인 치료시간(OTT)은 환자가 치료실에 입실을 시작하여 환자가 치료실을 떠날 때까지 전체 치료를 나타낸다.(입실 1.3분, 퇴실 2.7분의 평균 소요시간 총 4.0분)

3. Patient set-up & Scanning

두경부 환자는 열가소성 기반 고정화 마스크(Thermal Mask, CIVCO Medical solution system, USA)와 지지대로 치료 받았고 헤드 지지대는 모양과 빌드 업 재질이 다르며 특히 머리와 목의 개별적이고 최적의 지지를 위해 선택되었다. Whole Brain 환자의 경우 TM, Head & Neck 환자의 경우 TM with Shoulder Re-tractor or TM with α -cradle이 사용되었다. Head & Neck 환자의 치료부위 지지대는 AIO-Solution TM (CIVCO: base plate USA)을 사용하였다. 한편 Pelvis(prostate, rectum) 부위의 환자들은 Vac-Lok Cushion(CIVCO, standard perforated solution, USA) 지지대를 사용하고 환자는 양와위 자세(supine position) 와 무릎 쿠션으로 배치되어 부드러운 저밀도 매트 위에 누워졌다. 모든 환자에게 CT 검사를 받기 전에 방광을 비움과 동시에 500ml의 물을 마시고, 직장을 비우도록 요청했다. TomoTherapy 치료 환자를 위한

가장 편안한 자세에 대해 특별한 주의가 기울여졌다.

4. 스캔 파라미터(Scan Parameters)

두개골-꼬리뼈 방향으로 스캔할 부위의 길이는 PTV(Planning Target Volume)의 크기에 따라 환자마다 다르며 PTV가 작은 경우에도 Whole Brain 환자의 경우 두개골 전부와 C1- Spine이 포함되었으며 Head & Neck 환자의 경우 C1-Spine에서 T3-Spine까지 포함되도록 스캔하였고, Pelvis(prostate, rectum)의 경우 L3-Spine에서 Coccyx Bone까지 PTV를 포함한 스캔 범위였다. 현재 슬라이스 너비는 0.25 cm로 표준으로 사용되고 있다.

5. 이미지 등록(Image Registration)

“Bone and Tissue” 기술, “Fine Resolution” 기술을 사용하여 MVCT 스캔과 계획된 KVCT 스캔을 데이터에 맞는 소프트웨어로 자동으로 등록된다. 이동 옵션은 자동 시프트 값을 산출했으며 그 다음에 방사선 치료방사선사가 수동으로 위치를 수정하여 정합을 검사했다. 자동 및 수동 변화의 합계는 임상적으로 적용된 위치 변화의 보정하는 총 이동합계이다. 전립선의 경우 방광 및 직장의 볼륨을 측정하고 확인하며, 랜드 마크(land mark)의 정렬이 가능하지 않는 경우 종양볼륨에 가장 가까운 랜드 마크를 우선하여 대상의 범위와 중요구조물(OAR)의 선량분포를 확인하였다. 등록 후, 치료계획 조건에 의해 정의된 시간 동안 치료선량이 환자에게 전달되었다.

6. 치료 파라미터(Treatment Parameters)

환자 당 평균 계획 수는 2개(1~4개)였고 환자 당 평균 분획 수는 30개(3~39개)였다. Head & Neck(Whole brain, Neck) 및 Pelvis(Prostate, Rectum) 환자들의 일반적인 계획 파라미터는 슬라이스 너비 2.5 cm로 치료 받았고, 평균 0.28의 피치로 이동하였다.

7. 스케줄링 시스템(Scheduling System)

우리 부서에서는 환자의 모든 약속은 Mosaiq시스템을 통해 스케줄이 조정된다. 이 시스템에는 환자 치료가 필요한 시간 할당(25분)이 포함되며 최소한 5분의 여유시간이 제공되고 치료부위에 따라 조정될 수 있다. TomoTherapy에서 환자 치료 시작 시 모든 환자에게 30분의 시간대로 예약되었다.

8. Tomotherapy Treatment Experience

Tomotherapy Experience에 의해 치료 셋업 및 이미지 정합(maching)에 필요한 시간이 단축될 수 있기 때문에 2년 이상의 경험이 있는 치료방사선사가 치료에 참여하였다.

9. 통계 분석(Statistical Analyses)

실제 치료시간에 영향을 줄 수 있는 요인을 분석하기 위해, 단계적 선형 회귀 분석을 사용하였으며 고려한 요인은 위치 설정과 스캔 시간(위치 변경시간), 등록 시간 및 빔온 시간 그리고 실제 치료시간을 포함하였다. 그리고 상한 사분위수를 초과하는 실제 치료시간과 시간 측정치의 관측된 분포의 사분위수 범위의 1.5배를 곱한 값을 초과하는

Table 1. Number of patients classified to treatment site in percentage(%) and Cumulative Percentage(%)

| Procedures / Sites | | Number | Mean | S.E | t | p-value |
|--------------------|-------------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Beam-on time | Head & Neck | 22 | 4.2745 | 1.58471 | -3.044 | 0.005 |
| | pelvis | 9 | 6.2644 | 1.81655 | | |
| Registration time | Head & Neck | 22 | 5.4818 | .45527 | -3.256 | 0.003 |
| | Pelvis | 9 | 6.0333 | .34641 | | |
| Set-up & scan time | Head & Neck | 22 | 9.4482 | 2.06912 | 0.164 | 0.871 |
| | Pelvis | 9 | 9.3133 | 2.08520 | | |
| Actual Time | Head & Neck | 22 | 21.4406 | 3.27632 | -1.886 | 0.069 |
| | Pelvis | 9 | 23.9284 | 3.47876 | | |

※ All statistical computations were performed with SPSS 22.0(Institute Inc, IBM, co USA)

Table 2. Test of normality for procedure times

| procedure | Kolmogorov-Smirnov ^a | | |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------|
| | Statistics | Degree of Freedom | p-value |
| Beam-on time | .104 | 31 | .200* |
| Registration time | .110 | 31 | .200* |
| Set-up& Scan time | .096 | 31 | .200* |
| Actual time | .114 | 31 | .200* |

Table 3. Results of procedure times and treatment sites on influence actual treatment time

| Treatment site | Patient Number | Percentage (%) | Cumulative Percentage(%) |
|----------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Head & Neck Region (brain, neck) | 22 | 71 | 71 |
| Pelvis Region (prostate, rectum) | 9 | 29 | 100 |
| Total | 31 | 100 | - |

TomoTherapy Processes Estimation

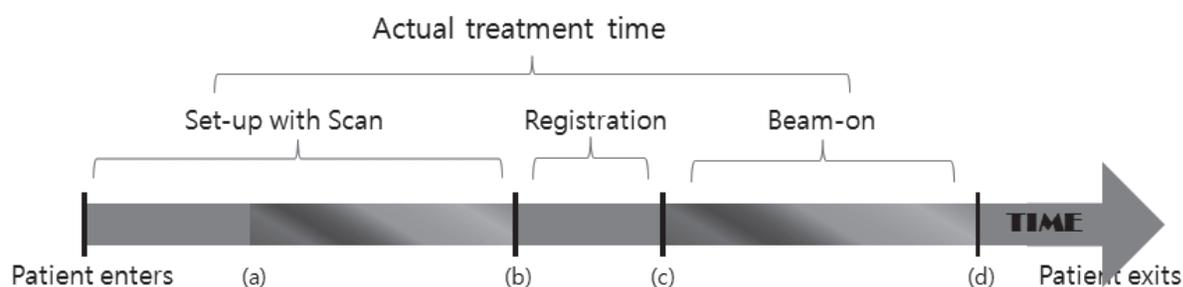


Fig 1. TomoTherapy treatment procedure times

값 ‘이상치’를 정의했다.

결 과

H.T로 치료를 받는 환자 31명을 대상으로 치료과정에서 각 절차마다 소요되는 시간을 분석하였다.

Table 1은 환자의 치료된 사이트에 따라 분류된 것으로 환자는 두경부 Site(whole brain, neck)환자 22명(71%), 골반부 Site(prostate, rectum)환자 9명(29%)으로 총 31명의 환자가 두 그룹에서 치료를 받았다. 31명의 환자들은 155개 분획(31×5회)에 대해 평균 치료시간을 후향적 연구로 분석하였다. Actual treatment time과 각 절차마다 측정된 시간의 분포를 나타낸다. 두 그룹의 총 치료시간의

평균은 22.68±3.37분이며 두경부 암의 경우 21.44±3.27분, 골반부 암의 경우 23.92±3.47분이었다(Table 3). Set-up with Scan time에서는 두 그룹간의 소요시간 차이는 없었으나 Image Beam-on time(head & neck: 4.27분, pelvis: 6.26분)와 Registration time은 그룹간의 차이를 보였으며, 골반부 Site(Head & neck: 5.48, pelvis: 6.03)에서 유의한 차이가 있었다(Table 3). Beam-on time의 소요시간의 범위는 2.0분에서 9.5분의 범위에 있었으며, Registration time은 4.5분에서 6.5분 사이의 범위 그리고 Set-up with Scan time의 경우 5분에서 12.5분의 범위에 있었으나 15분 이상의 시간이 소요된 경우도 있었다. 또한 실제 치료시간은 15.5분에서 27.5분 범위에 소요된 시간분포를 보이나 특정한 경우 28분이 소요된 케이스도 발견할 수 있었다(Fig. 2). 각 절차에 따른 사분위 범위는 Fig.

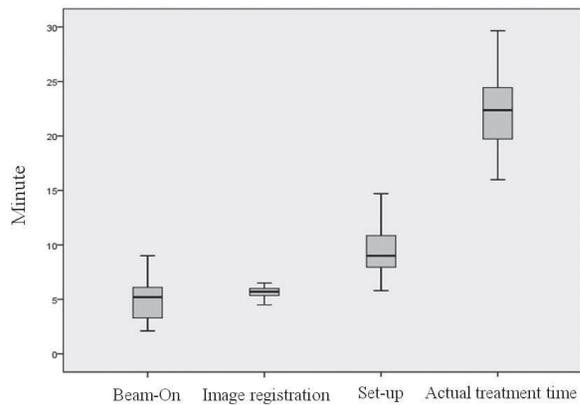


Fig 2. Relationship between beam-on time, image registration time, set-up with scan time and actual treatment time

1에서 보는 것과 같이 Beam-on time에서 25 % 범위는 3.5분, 50 % 범위는 5.5분 그리고 75 % 범위는 6.0분의 분포를 보였다. Registration time은 25 % 범위는 5.0분, 50 % 범위는 5.9분, 75 % 범위의 분포는 6.0분이었으며, Set-up with Scan time에서 25 % 범위 7.5분, 50 %는 8.0분, 75 %는 11.5분의 범위에 분포를 보였다. 그리고 Actual treatment time의 분포는 25 % 범위가 19분, 50 % 범위는 22.5분, 75 % 범위는 24.5분의 분포를 보였다. 따라서 환자 전체의 50 % 정도가 22.5분의 치료시간이 소요됨을 알 수 있다.

전체 환자의 실제 치료시간에서 1사분위(19.0분×1.5),

Table 4. Correlation analysis for treatment procedure times

| Variable | Beam on time | Registration time | Set-up & Scan time | Actual treatment time |
|-----------------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Beam-on time | 1 | | | |
| Registration time | .169 | 1 | | |
| Set-up & Scan time | .381* | .047 | 1 | |
| Actual treatment time | .765** | .287 | .848** | 1 |

※ *p<0.05, **p<0.01 수준(양측)에서 유의.

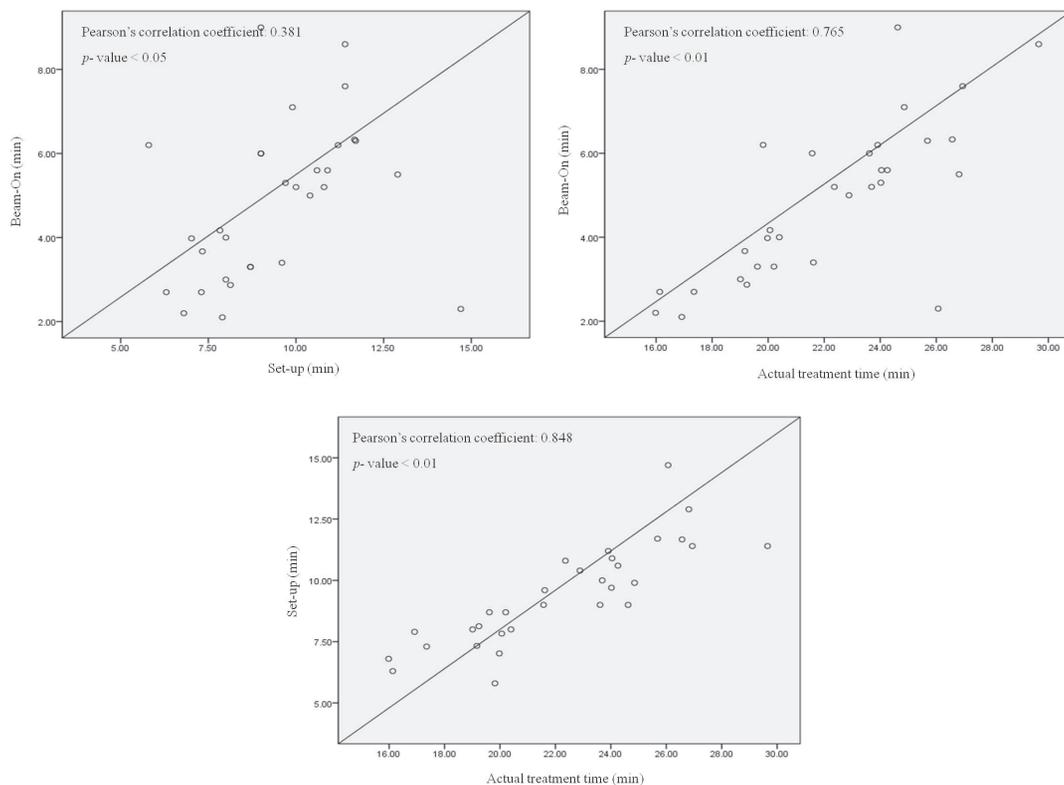


Fig 3. distribution of correlation relationship for treatment procedure time.

Table 5. Results of stepwise regression analysis for factors influencing actual treatment time

| Variable | B | S.E | t | R ² | p |
|--------------------|-------|------|--------|----------------|---------|
| Beam on time | 1.425 | .222 | 6.404 | .571 | < 0.001 |
| Beam on time | 1.373 | .222 | 6.173 | .584 | < 0.001 |
| Registration time | 1.146 | .844 | 1.358 | | < 0.185 |
| Beam on time | 0.906 | .060 | 15.030 | | < 0.001 |
| Registration time | 1.227 | .212 | 5.800 | | < 0.001 |
| Set-up & scan time | 1.113 | .054 | 20.460 | | < 0.001 |

$$Actual\ treatment\ time = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + b \quad (x_1 = beamon, x_2 = registration, x_3 = set up)$$

3사분위(28.9분×1.5)를 초과하는 값을 이상 값으로 정의 하였으나 Outlier(특이점)은 측정되지 않았다. Table 3은 Head & Neck site, Pelvis site 그룹간의 변수들의 평균값에 대한 유의성 여부를 확인하였으며 Beam-on time은 0.005, Registration time은 0.003으로 유의하였다. 실제 치료시간에 연관성이 있는 치료절차 시간은 Set-up with Scan time (0.848, p < 0.01)과 Beam-on time(0.765, p < 0.01)은 강한 양의 상관관계를 보였고, Registration time(0.381, p < 0.05)의 약한 양의 상관관계를 보였다 (Table 4, Fig. 3)

치료시간에 영향요인에는 Beam-on time, Registration time, Set-up with scan time이 중요한 요인이었다. 그리고 실제 치료시간에 미치는 영향은 Beam on time, Set-up with Scan time, Registration time의 각 시간에 대한 영향력 분석한 결과 각각 0.571, 0.974, 0.584이었다 (Table 5).

따라서 치료과정의 Beam-on time(57.1 %)과 Set-up with Scan time(39 %)이 실제치료시간에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 평가할 수 있으며 Image Registration time(1.3 %)은 영향이 다소 낮은 것을 알 수 있었다.

고 안

부산지역의 부산대학교병원은 대형 의료기관이며 모든 부위의 암환자에게 방사선치료 서비스를 제공한다. 방사선치료 장비는 CLA 3대와 H.T 1대를 보유하고 있다. CLA에서 3D-CRT(3차원입체방사선치료) 및 IMRT가 가능하

며 VMAT도 이용되고 있다. 연간 약 1,000명의 새로운 환자가 치료를 받고, 그중에서 약 45 %가 IMRT, VMAT, H.T 등 최선의 치료기법을 적용한 정밀치료를 받고 있다.

H.T는 부산대학교 병원에서 시행되는 치료기법 중 가장 정밀한 치료중의 하나로서 복잡한 치료부위에 높은 정밀도의 치료를 시행할 수 있기 때문에, CLA에 의한 치료가 부족할 우려가 있는 환자(인공삽입물, 육종, 큰종양 등)와 두경부 암 및 골반부위의 암 치료에 활용하는 장비로 특화하여 사용되고 있다.⁽¹⁵⁻¹⁶⁾ HT는 두경부암 및 골반부위 (Prostate, Rectum)의 치료에 있어 큰 이점⁽³⁻⁴⁾이 있다는 연구가 있으며, 선량을 전달하는 치료시간 보다는 정확한 선량품질에 더 중요성을 가지므로, 더욱 복잡하고 민감성이 높은 케이스에 사용되고 있다. 방사선치료에서 Set-up의 검증과 교정을 위한 임상적인 적용은 오프라인과 온라인 접근방식으로 분류 할 수 있다. 통계적 분석을 바탕으로 한 처방개념은 환자의 Set-up에서 발생하는 Systematic error가 Random error 보다 더 중요하다.^(17,18) 따라서 마진을 줄이기 위해서는 Systematic error 감소에 초점을 맞추어야 한다. 이는 일반적으로 오프라인 접근방식에 기초하고 있으며, 오프라인의 경우 안전한 마진 치료계획을 적용하여 치료할 수 있지만 고도의 정밀성을 요하는 H.T에서 충분한 치료 마진을 줄일 수 없다. 그러나 온라인 접근법은 대부분의 기하학적 오류(체계적, 무작위적)를 줄이는 가능성을 제공하므로 환자를 정확하게 Set-up하고 매일 치료를 위해 이미지 가이드를 사용하고 있다. 매일 MVCT 사용하여 환자의 위치 확인과 H.T의 모든 치료법이 IMRT가 된다는 사실은 필연적으로 CLA에 비해 치료 소요시간을 증가시킨다. CLA의 작업량은 치료에 관련된 가중치와

비 작동시간도 포함되어, 치료시간을 예측하는 계산에서 더 많은 변수가 포함되어 있을수록 더 민감해질 뿐만 아니라 더 복잡해진다.⁽⁵⁾ 그렇지만 치료관련 가중치(wedge, 선량전달 방법 등)를 제외 하고 H.T에서 적용되는 치료 소요 시간과 유사하다고 할 수 있다. 환자의 치료 위치를 가능한 한 오래 유지하고 레이저와 외부(피부)표시를 확인하는 동안의 시간(최소 16분)은 환자의 편안함에 의존된다. 일반적인 방사선치료에서 위치를 결정하는 절차와는 약간 다르므로, 위치 확인 시간에 차이가 발생한다. 그러므로 H.T에서 Set-up with Scan time(39 %, $p > 0.001$)는 비교적 큰 영향을 보이고 있다. 환자의 위치를 정렬하고 스캔하는 과정에서 환자의 신체적 변화에 따른 정렬시간이 달라지고 열가소성 마스크 등의 재장착과 방광체적의 확인 과정에 소요시간의 차이의 발생되며 치료 전 스캔시간은 표적영역의 길이와 선택된 슬라이스 너비에 따라 달라지지만 전체 치료체적이 포함되어야 하고 치료체적이 적어도 PTV가 포함되는 체적의 길이(평균 10.2 cm)로 스캔되므로 선택된 슬라이스 너비(0.25 cm)에 따라 다르기 때문에 소요시간의 차이가 발생하는 것으로 사료된다. 또한 이미지 등록(1.3 %, $p > 0.001$) 과정에서 해부학적 구조의 일치성, 장기의 위험성, 치료 체적의 적절한 선량분포 등을 고려해야 하므로 복잡성 정도에 따라 등록시간은 영향을 미치게 되지만 본 연구에서 등록시간은 크게 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이는 2년 이상의 숙련된 방사선치료사에 의해 수행되어 치료사에 의한 이미지 획득과 정합시간에 의한 영향은 적은 것으로 생각된다. 이러한 절차 외에도 반자동 조정으로 Couch 이동과 환자의 위치 변경은 치료시간의 소모에 중요하다. 위치가 정확하지 않은 상태는 머리 목암의 경우, 열가소성 마스크의 재장착과 위치조정 후 치료 재계까지 시간이 소요되고 골반부의 경우, 방광의 체적측정(계획과 동일 체적유지)시간에 의해 치료시간에 영향을 주게 된다. 그리고 실제 치료시간은 Beam-on 시간(57 %, $p > 0.001$)에 가장 영향을 받는 것으로 나타나는데 선량, 치료체적의 크기, 선량분포, 선택된 계획의 파라미터(콜리메이터 슬라이스 폭, 피치, 등)에 의존되며 현재 사용되는 Parameter는 Pitch 0.28에 Field size 2.5 cm의 기본 값으로 고정되어 있지만, 본 센터에서는 각 사이트에 사용되는 평균 표적의 길이는 약 10~20 cm로 일반적으로 H.T 시

스템의 이점⁽⁴⁾을 충분히 활용하고 있다고 생각되지만 표적의 체적 길이가 전체 치료시간에 중요한 부분이기 때문에 치료표적 길이에 대한 가장 적절한 크기의 선정이 고려되어야 한다.⁽²⁰⁾ 그리고 이는 치료계획에 의해 달라지는 것으로 예측이 가능한 시간이다. 따라서 두 그룹의 총 치료시간의 평균은 22.68분이며, 두경부의 경우 21.44분, 골반부의 경우 23.92분이었다. 이는 bijdekerke 등⁽¹²⁾의 평균 치료시간 24.4분과 비교하면 본 연구 결과와는 약 2분의 차이를 보였다. 이러한 차이는 본 연구는 2개 그룹의 결과(31명)로서 연구 환자수(76명)와 치료부위(다수)에 의한 차이로 생각되며, 본 연구의 결과에 치료 그룹 Head & Neck Site, Pelvis에 Brain or Bladder 를 각각 구분하여 측정하고 환자수가 고려된다면 유사한 결과를 보일 수 있을 것으로 사료된다. 한편 일부에서 치료시간의 큰 차이를 보이는 환자(1회, 20.9분)는 Pelvis(rectum)에 치료받은 환자로 복와위 자세에서 치료표적 위치 변화의 조정과정에서 평균 치료시간을 상회하는 시간이 측정되었으며, 또 다른 케이스(1회, 28.6분)는 양와위 자세에서 방광의 체적변화로 재확인 및 Re-scanning후 치료 재계 시간의 영향 때문으로 생각된다. 이러한 차이는 예측할 수 없고, 무작위로 일어난다. 따라서 그 시간대에 예약된 환자와 다음 환자의 대기시간에 영향이 있으므로 사전에 환자에게 알리는 것이 필요하며 예약된 경우 스케줄의 조정이 요구된다. 또 다른 극단적인 시간 차이의 상황은 H.T의 중단과 고장에 의한 시간의 영향도 있으나 본 연구에서는 이를 제외하였다.

결론

선량계산에 사용되는 KVCT의 이미지와 TomoTherapy MVCT 이미지를 정합하는 것은 치료 전에 정확하게 환자를 설정하는 강력한 도구이다. 기존 치료법에 비해, H.T 시스템은 강도 변조치료와 조합된 온라인 영상 통합방식으로 전체 총 치료시간을 연장시킨다. 실제 치료시간에서 Beam-on time 및 Set-up with Scan time이 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. Beam-on 시간은 치료시간 전체에 큰 영향이 있기 때문에 이것은 매일 스케줄의 관리에 알려진 변수로 활용될 수 있다. 현재 본 Tomo-

therapy Center 관행에서 환자 1명당 두경부에서 약 21분이 소요되고 골반부에서 약 24분이 소요된다는 것을 보여주며, 평균 22.68분이 소요됨을 알 수 있고 1일(8시간) 약 21명의 환자를 치료할 수 있을 것으로 예측되지만, 가끔 일일 약속 스케줄의 지연이나 기계 중단에 의해 영향을 받을 수 있다. 따라서 효율적 치료를 위한 환자의 스케줄 관리와 업무부하량의 평가에 가이드라인으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Korreman S, Rash C, McNair Hele, et al. The European Society of Therapeutic Radiology and Oncology-European Institute of Radiotherapy (ESTRO-EIR) report on 3D CT-based in-room image guidance systems: a practical and technical review and guide. *Radiother Oncol*. 2010;94(2):129-44.
2. Ruchala KJ, Olivera GH, Schloesser EA, Mackie TR. Megavoltage CT on a tomotherapy system. *Phys Med Biol*. 1999;44(10):2594-621.
3. Donnay L, Dejean C, Amsellem E, et al. [Radiotherapy for soft tissue sarcomas of extremities. Preliminary comparative study of 3D conformal radiotherapy versus helical tomotherapy.] [in French] *Cancer Radiother*. 2008;12(8):809-16.
4. Peñgnaríano J, Moros E, Corry P, Saylor R, Ratanatharathorn V. Pediatric craniospinal axis irradiation with helical tomotherapy: patient outcome and lack of acute pulmonary toxicity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2009;75(4):1155-61.
5. Martin J, Balter J, Balter S, et al. The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: report of the AAPM Task Group 75. *Med Phys*. 2007;34(10):4041-63.
6. Duma MN, Kampfer S, Wilkens JJ, Schushter T, Molls M, Geinitz H. Comparative analysis of an image-guided versus a non-image-guided setup approach in terms of delivered dose to the parotid glands in head-and-neck cancer IMRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010; 77(4):1266-73.
7. Barbera, L., Jackson, L. D., Schulze, K., Groome, P. A., Foroudi, F., Delaney, G. P., et al. Performance of different radiotherapy workload models. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 55, 1143-1149(2003).DOI:10.1016/S0360-3016(02)04400-0
8. Kazmierczak, D., Bogusz-Czerniewicz, M. Identification of patient's requirements in quality management system in health care institutions. *Rep Pract Oncol Radiother* 17, 50-53 (2012). DOI: 10.1016/j.rpor.2011.10.006
9. Welsh, J. S., Patel, R. R., Ritter, M. A., Harari, P., Mackie, T. R., Mehta, M. P. Helical tomotherapy: an innovative technology and approach to radiation therapy. *Technol Canc Res Treat* 1, 55-63 (2002).
10. Piotrowski, T., Skórska, M., Jodda, A., Ryczkowski, A., Kaźmierska, J., Adamska, K., et al. Tomotherapy- different way of dose delivery in radiotherapy. *Wspolczesna Onkol (Contemporary Oncol)* 16, 16-25 (2012). DOI: 10.5114/wo.2012.27332
11. Dejean, C., Kantor, G., Henriques de Figueiredo, B., Lisbona, A., Mahé M., Mervoyer, A., et al. Helical tomotherapy: description and clinical applications. *Bull Cancer* 97, 783-789 (2010). DOI: 10.1684/bdc.2010.1135
12. Bijdekerke, P., Verellen, D., Tournel, K., Vinh-Hung, V., Somers, F., Bieseman, P., et al. Tomotherapy: Implications on daily workload and scheduling patients. *Radiother Oncol* 86, 224-230 (2008). DOI: 10.1016/j.radonc.2007.10.036
13. Bauman, G., Yartsev, S., Rodrigues, G., Lewis, C., Venkatesan, V. M., Yu, E., et al. A prospective

- tive evaluation of helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 68, 632–641 (2007). DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.11.052.
14. Burnet, N. G., Adams, E. J., Fairfoul, J., Tudor, G. S. J., Hoole, A. C. F., Routsis, D. S., et al. Practical aspects of implementation of helical tomotherapy for intensity modulated and image guided radiotherapy. *Clin Oncol* 22, 294–312 (2010). DOI: 10.1016/j.clon.2010.02.003.
 15. Martin J, Balter J, Balter S, et al. The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: report of the AAPM Task Group 75. *Med Phys*. 2007;34(10): 4041-63.
 16. Duma MN, Kampfer S, Schuster T, et al. Do we need daily image-guided radiotherapy by megavoltage computed tomography in head and neck helical tomotherapy? The actual delivered dose to the spinal cord. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012;84(1):283-88.
 17. Duma MN, Kampfer S, Wilkens JJ, Schushter T, Molls M, Geinitz H. Comparative analysis of an image-guided versus a non-image-guided setup approach in terms of delivered dose to the parotid glands in head-and-neck cancer IMRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;77(4):1266-73.
 18. de Boer HC and Heijmen BJ. A protocol for reduction of systematic patient setup errors with minimal portal imaging workload. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2001;50(5):1350-65.
 19. de Boer HC, van Os MJ, Jansen P, Heijmen BJ. Application of the No Action Level (NAL) protocol to correct for prostate motion based on electronic portal imaging of implanted markers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2005; 61(4):969-83.
 20. Piotrowski, Ph.D., Czajka, M.Sc. Tomotherapy: Implications on Daily Workload and Scheduling Patients based on Three Years' Institutional Experience. *Technology in Cancer Research and Treatment*, 13, 1–2 (2014) DOI: 10.7785/tcrt.2012.500374.

TomoTherapy: Analysis of treatment time and influencing factor

Department of Radiation Oncology, Pusan National University Hospital

Jong Gi Son, Hyun Sung Kang, Chul Hwan Hwang, Seung Jeong Se, Min Ho Choi

Purpose: The purpose of this study was to measure the average actual treatment time at the time of Tomotherapy treatment. We want to investigate the time required for the procedure in the treatment process that affects the actual treatment time.

Patients and Methods: We measured the time required by the procedure in 31 patients who were treated with tomography therapy. Beam-on time, Image registration time, Set-up with scan time and Actual treatment time were measured and stepwise regression analysis was performed.

Result: The average treatment time per a patient was 21.44 - 23.92 minutes. Beam-on time, Image registration time, and Set-up with Scan time were the important factors affecting the actual treatment time. The biggest influence was Beam-on time and Registration time was less affected by analysing.

Conclusion: The average treatment time per a patient in tomotherapy treatment was 22.68 ± 3.37 minutes. The Approximately 21 patients are expected to be treated within 8 hours of regular work time. However, if the treatment is interrupted or the time of the procedure is changed during the treatment process, it affects the schedule of the daily treatment patients and the workload is expected to increase.

▶**Key words:** Actual treatment time, Beam-on time, Set-up with Scan time, Image registration time.