

전산화단층 모의치료조준장치의 소개 및 유용성 고찰

세브란스병원 방사선종양학과

김주호 · 이 석 · 조정희 · 박재일

I. 서 론

방사선 치료의 목적은 종양조직에는 최대한의 선량을 주는 동시에 결정장기와 정상조직에는 최소한의 선량을 주는 것이다. 이를 위해서는 치료계획과정 즉, 환자의 고정, 종양부위의 정확한 위치선정, 치료의 재현성, 적절한 조사면과 차폐, 적절한 에너지의 선택, 치료의 검증 및 확인 등의 인자들은 필수 불가결한 요소이다. 이러한 요소들을 충족시킬 수 있는 것의 하나로 최근 소개된 전산화 단층 모의치료장치는 CT 영상이 진단적 X선 영상에 획기적인 발전을 가져왔듯이 방사선치료에 있어서도 3차원 방사선 치료계획(3D RTP)으로의 발전을 가져왔다. 3차원 방사선 치료계획에서의 획기적인 발전은 실시간으로 치료조준을 위한 방사선영상을 구현하고 계산해 낼 수 있다는 점이다.

이러한 발전으로 인해 치료조준중 환자가 대기해야 하는 시간을 감소시킬 수 있으며, 종전의 conventional simulation이 종양부위(target volume)의 위치를 결정하고, 각각의 치료 조사면에 따라 빔의 면적, 빔의 방향, 빔을 디자인하는 작업에 많은 시간을 할애한 반면 3D RTP에서는 종양부위의 묘사와 결정장기를 보호하기 위해 기하학적인 최적화하는 과정에 많은 시간을 할애할 수 있게 됨으로써 방사선 치료목적에 훨씬 부합된다고 하겠다. 이러한 3D RTP의 기능을 수행하는데 가상 치료조준장치(virtual simu-

lator)는 객관적으로 매우 유용한 장비이며 이러한 conventional simulator의 기능과 CT scanner, 3D planning system을 연결함으로써 이루어진 CT simulator/3D planning system은 가까운 장래에 실용화된 표준으로 conventional simulator/2D planning system을 대체할 것으로 사료된다.

II. CT simulator의 구성

본원의 경우에는 3D RTP로써 Picker사의 AcQ plan을 사용하며 virtual simulation software(AcQ-sim)와 3D RTP를 같은 workstation에서 사용하고 있지만, 대개의 경우 표 1 CT simulator는 1) CT scanner 2) graphic workstation(virtual simulation) 3) patient position alignment system 그리고 이와 interface하는 4) 3D RTP로 이루어진다.

CT scanner는 3세대 혹은 4세대 방식의 spiral scanning과 데이터의 재구성을 위한 CPU의 발달로 데이터 획득의 속도는 유용하게 개선되었으며, 영상의 질 또한 종전의 CT scanner와는 상당한 차이가 있다. 이미 알고 있듯이 spiral scan은 환자가 누워 있는 테이블이 연속적으로 이동하는 동안 X-ray tube가 회전하는 나선형의 데이터 획득 방식을 말하며 종전의 conventional CT scanner가 50 cm의 데이터(8 mm slice thickness)를 얻는데 8분 정도의 시간이 소요되는 반면 spiral CT로는 약 1분 정도의 시간이 소요된다.

표 1. CT simulator 특성¹⁾

<i>CT scanner</i>	
aperture	≥ 70 cm
minimum slice width	1 mm
minimum slice spacing	1 mm
minimum (spiral) pitch	1.0
spatial resolution	10 line/cm-1
<i>Acquisition and recostrution time</i>	
60 slices(ideally)	
axial	< 10 min
spiral	< 5 min
<i>Memory requirements</i>	
<i>Mass storage</i>	
axial	1 Gbyte
spiral	2.5 Gbyte
<i>Virtual simulaor(work station)</i>	
<i>DRR caculation speed</i>	
coarse	< 1 s
fine resolution	< 6 s
memory(minimum)	> 64 Mbyte(60 slice)
Mass storage(minimum)	> 5 Gbyte(200 pt)
CT data transfer speed	≥ 100 Mbit/s
laser marking	± 1 mm

Graphic workstation은 대개의 경우 CT scanner와 독립적으로 설치되며, CT scanner와 3D RTP system에 연결되어 있고, virtual simulation을 이용하여 종양부위의 결정, 빔 설계, DRRs 영상의 재구성, 선량계산, 치료계획 검증 등의 기능을 수행한다.

Laser alignment system은 종전 simulator의 alignment system과 유사하나, 종축의 sagittal laser가 좌우로 이동하며 isocenter를 표시 할 수 있도록 하며 벽면에 설치된 laser alignment system의 isocenter와 CT 갠트리 내의 laser는 일정한 거리 값을 갖고 있어서 virtual simulation 시에 isocenter 좌표를 계산해 낼 수 있다.

III. Virtual simulation의 개념

전산화단층 가상 치료조준(CT virtual simulation)의 개념은 치료조준장치의 테이블에 환자가 위치하지 않고서도 CT 영상에 의해 재구성된 가상의 환자(virtual patient)를 대상으로 simulator와 같은 작업을 수행할 수 있도록 하기 위한 프로그램의 개발을 시도하던 Sherouse²⁾에 의해 소개되었다.

Virtual simulator와 conventional simulator의 차이는 표 2에서 보는 바와 같이 이용하는 영상에 의해 가장 큰 차이를 나타낸다. conventional simulation이 실시간 fluoroscopy영상과 plane film을 이용하여 빔 설계를 하고 종양부위를 그려내야 하는 반면 virtual simulation은 CT 데이터에 의해 얻어진 CT 영상 위에 직접적으로 GTV (Gross Tumer Volume)를 묘사함으로써 그것과 연계된 DRRs 혹은 DCRs 영상에 wire frame으로 나타나는 종양부위를 바탕으로 치료조준 한다.

Virtual simulation의 이러한 방식은 치료조준실에서 오랫동안 대기해야하는 환자의 불편함을 감소시키고, 진단용 CT 영상과 치료 position의 차이에서 생기는 GTV 결정의 오차를 줄일 수 있으며 환자의 skin 윤곽과 두께를 측정해야하는 등의 작업시간을 줄임으로써 전체적인 simulation 시간을 감소시킬 수 있다.

1. DRR(digitally reconstructed radiography) and DCR(digitally composited radiography)

DRRs과 DCRs는 CT에 의해 획득한 체적 데이터(volumemetic data)를 향해 그림 1에서 보듯이 임의의 한 점(source)에서 투사(projection)하여 치료빔의 확산(divergence)를 나타낼 수 있도록 정확하게 재구성된 영상을 말하며 Goitein과 Abrams³⁾가 다차원 치료계획 프로그램의 개발에서 그것의 사용을 처음으로 기술했다. DRRs 영상의 재구성은 Ray tracing, Interpolation, Line

II 2. Conventional simulator와 virtual simulator의 비교

Function	Conventional Simulator	Virtual Simulator
Localization	Radiography film	Digitally reconstructed radiography (DRR)
Anatomical and target visualization for planning	Fluoroscopic examination	CT plane image and DRR
Treatment field design	move wire during fluoroscopy Marker pencil on radiographic film	control of field size and position in CT scans and DRR
Design of beam shielding	Pencil marks on film	contouring of portal shielding
Patient marking	field, center mark on patient's skin	Laser system with control of CT table(usually point marks only)
<u>Verification</u>		
Port image	radiographic film or fluoroscopic image	DRR of portal with CT window and level control
Visualization of patient in treatment position	walking in the room	Room's eye view(REV) using rendered 3D display of patient structures and CT data
Check of manufactured shielding	Attach to accessory tray and check radiograph	Not available
Collision avoidance and treatment set-up capability	Visual check Mechanical interlocks	solid model calculation of treatment geometry infringements

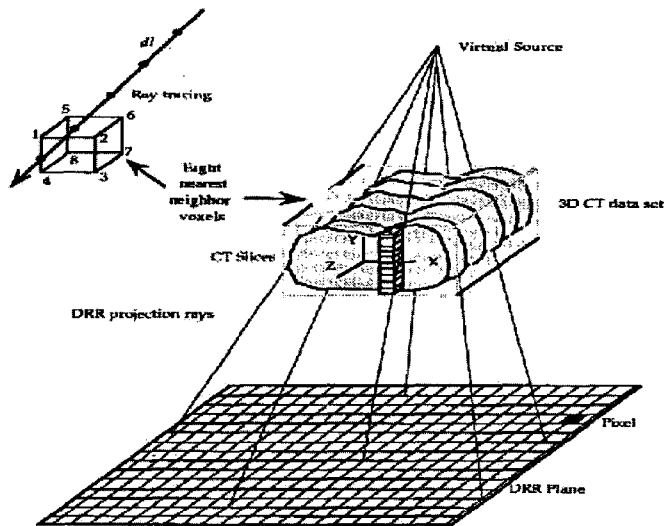


그림 1. DRR의 재구성

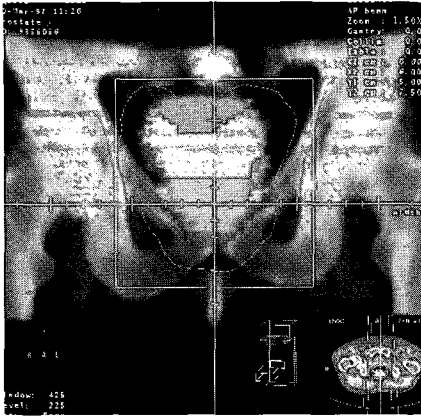


그림 2. 전립선암 환자의 DRR 영상

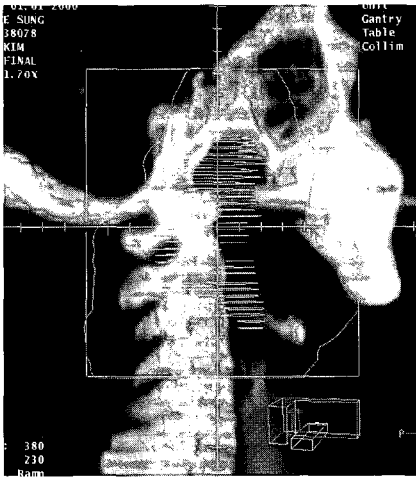


그림 3. 두경부 임파절 치료를 위한 DCR 영상

integration, Gray scale mapping의 4단계를 통해 이루어지며 영상의 질은 체적 데이터(volume data)의 인자 즉 Voxel size, Spacing, Interpolation method 등에 의해 영향을 받는다.

DRRs(그림 2)은 plane film과 유사한 영상에 GTV와 organ을 wire frame으로 나타낸 영상이고 DCRs(그림 3)은 DRR처럼 빔의 확산(bean divergence)를 가지며 사용자가 원하는 부위를 강조하거나 제거하여, 원하는 영상을 얻고자 할 때 사용되어진다.

IV. CT simulation의 과정

(개략적인 CT simulation 과정)

1. patient set up on CT scanner in treatment position
2. Sagittal laser alignment mark on patient skin
3. CT spiral data acquisition
4. Target contouring or Reference point marking and patient leave
5. Reference point marking
6. Leave patient
7. contouring remaining target volume(GTV, CTV, PTV and critical organ)
8. Virtual simulation(treatment field, block, beam angle design)
9. Export 3D planning system for dose calculation
10. Verification(Room's view, Beam's eye view, DVH)
11. Print port film, print information

1. 환자고정/데이터 획득(Immobilization/ data acquisition)

가능한 기하학적 빔의 조정과 더불어 3차원 방사선 치료계획 과정 중에서 또 하나의 중요한 인자는 환자가 동일한 치료 자세를 정확하게 유지할 수 있도록 보장되어야 한다는 것이다. CT simulation시에 환자의 치료 자세는 데이터 획득 이후 CT scanner에서 virtual simulator 또는 3D RTP로 전송되는 동안 기하학적인 인자들이 일치될 수 있도록 재현성이 우수한 방법으로 고정되어야 하며 궁극적으로는 초기 치료 자세가 매번 동일하게 치료실에서 재현 될 수 있어야 한다.

데이터 획득은 치료계획의 목적에 부합되도록 스캔범위를 결정하고, 재구성 영상을 고려한 slice thickness, pitch factor, reconstruction ima-

ge slice, 조영제 사용, DFOV 등의 인자 등을 결정하여 스캔해야 한다. 스캔하기 전 얻을 수 있는 scout 혹은 pilot 영상은 전체적인 CT 체적 데이터에서 어느 한 부위의 위치를 확인하고자 할 때 DRR보다 더욱 유용할 수도 있으나 scout 혹은 pilot image는 DRR처럼 빔확산(divergence)의 정보를 갖고 있지 않은 직교하는 X-ray beam 즉, orthogonal radiography이기 때문에 DRR을 대신해 사용할 수는 없다.

2. 종양부위 결정 (Volume definition)

결정장기, 종양부위의 묘사는 흔히 방사선종양학자에 의해 mouse나 digitizer를 이용하여 윤곽선으로 그리는 작업으로 수행하게 된다. 경우에 따라서 (i.e. skin) 구별되는 윤곽을 통해 자동으로 그려지는 경우도 있으나 대부분 수 작업으로 이루어지며 대부분 60~90분 가량 소요된다. 종양부위는 세 가지로 구분하여^{4,5)}

- GTV는 비정상적으로 커져있는 lymph node를 포함하는 gross tumor volume.
- CTV는 GTV를 포함하여 육안으로 식별하지 못하는 잠재적 미세 병변.
- PTV는 daily set up 오차가 내부장기의 움직임을 고려한 CTV의 주변을 의미한다. 그러므로 beam의 크기(aperture)는 beam의 특성(penumbra)을 고려해 PTV로부터 추가적인 margin을 포함할 수 있도록 그려져야 한다.

3. Dose prescription

ICRU 50에서 선량은 volume center의 가까운 지점에서의 최대치와 최소치를 의미한다. 치료계획을 시작하기 전에 종양부위에 조사할 최소와 최대치를 결정하고 민감장기(critical organ)의 최대허용선량(maximum allowable dose)을 결정해야 하며 부분체적선량(partial volume dose) 또한 중요한 인자로서 다루어져야 한다.

4. Virtual simulation

가상치료 조준은 가상 투시영상에서 얻어진 GTV와 민감장기의 모형을 DRR 영상에 wire frame으로 나타내어 conventional simulator에서 가능한 모든 기능 즉 갠트리, 카우치, 콜리메이터 조정, field aperture 등의 인자들을 조절한다. 그림 4는 가상치료조준의 여러 가지 기능 등을 이용하여 가장 적절하게 계획된 port의 BEV(Beam's Eye View)를 보여 주는 그림으로 BEV는 색, 투과도, window level 등을 조절함으로써 bony landmark를 통한 center의 확인이나 종양과 민감 장기의 관계를 자세히 볼 수 있다. 결과적으로 virtual simulator에선 이러한 다양한 기능을 통해 단순한 port의 치료계획 뿐만 아니라 복잡한 치료계획도 실행할 수 있다.

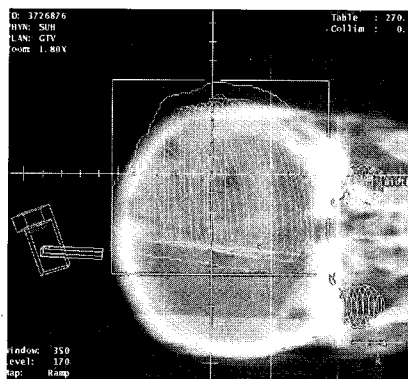


그림 4. vertex beam 치료시 가상치료조준

5. Plan Evaluation and optimization

빔 설계와 arrangement가 끝난 모든 데이터는 3D planning system에서 등선량분포(dose distribution)와 DVH(Dose Volume Histogram)을 통해 확인하고 원하는 Isodosecurve를 얻기 위해 wedge, bolus의 사용이나, 빔 강도, 에너지를 변화시킴으로써 최적화하고 MU(Monitor Unit)을 계산한다.

6. Verification

3D RTP를 거쳐 선량계산의 과정까지 거친 모든 치료계획은 worksheet로 치료계획정보를 출력하고 DRR 혹은 DCR 영상을 통해 linac-gram이나 EPID 영상을 통해 환자 자세, 조사면, 차폐 블록 등을 확인하며 경우에 따라 center 이동이나 fluoroscopy를 통해 내부장기의 움직임을 확인해야 할 경우도 있다.

V. 임상적용(Clinical case)

CT simulation/3D planning system이 완벽하

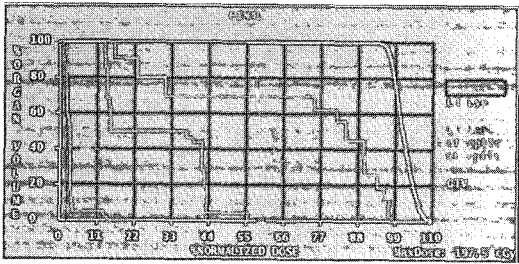


그림 5. 두경부 중앙환자의 DVH

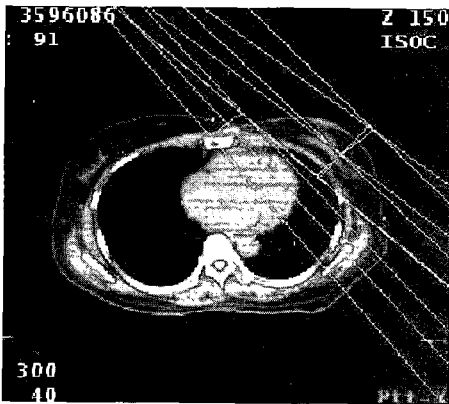


그림 6. 유방암 환자 치료시 빔 구성 : primary breast (photon beam), SCL node, intra mammary node(electron beam)

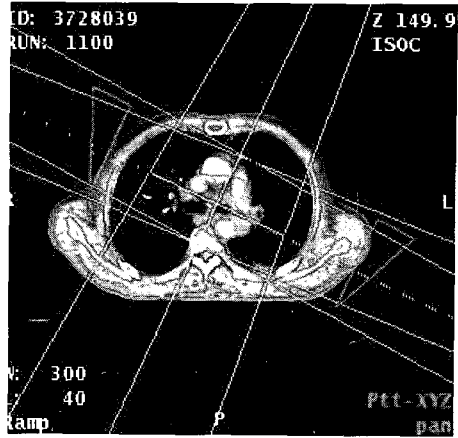


그림 7. 폐암 환자의 3분 치료 조사면

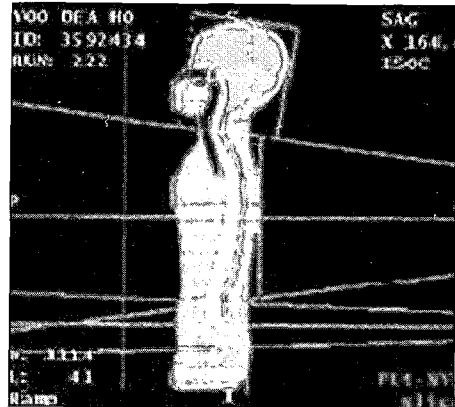


그림 8. 뇌척수 조사(Cranio-spinalnerve irradiation) 시 field의 Junction을 보여주는 multiple 영상

개 임상예 응용되기 위해선 여러 가지 다양한 부분들 즉, 환자의 고정, 치료시와 동일한 데이터 획득, 체적선량의 계산, 빔의 최적화, 치료계획 검증과 측정 등에 있어서 치료방사선 종사자들에게 더욱 많은 연구와 노력을 요구할 것이다. 또한 그러한 노력은 종전보다 훨씬 효율적인 새로운 방식들을 제공하리란 것은 지금까지 소개된 가상치료조준과 3-D planning을 임상예 적용한 예^{6,7)}에서도 알 수 있으며 앞으로 더욱 많은 사례를 만들어낼 것이라는 사실은 당연한 일이다.

VI. 결 론

1. CT simulation의 장점과 단점

1) Advantage

- 정확한 target volume의 선정
: multiplane image 구현, CT image를 이용한 GTV 묘사, 빠른 scanning 속도와 개선된 image quality, 치료자세와 동일한 환자의 정보
- 치료조건시간 감소
: physical procedure 축소(i.e contour, depth 측정) spiral scanning, reference mark
- 환자의 불편감소
: 재 치료조건, conedown, boost등의 치료인자 변화 시 환자 부재
- large field of view

2) Disadvantage

- 치료 field 표시의 어려움
- 내부장기와 환자의 움직임 확인불능
- target volume을 contouring하는데 많은 시간 소비
- CT gantry의 구경(aperture)에 따른 치료자세의 제한

2. The future of CT simulation

가상치료조건(virtual simulation)을 이용한 CT simulation은 종전의 어떠한 3차원 방사선치료계획(3D RTTP)장비보다 환자의 해부학적 정보를 시각적으로 풍부하게 보여줄 수 있다. 그러나 그것만으로 종전의 Conventional simulation을 완벽히 대체할 수 있을지는 아직도 많은 부분에서의 검증은 필요로 하고 아래와 같은 의문사항에 대하여 열거하여 보면

- 1) 가상치료조건이 종전의 치료조건 방식보다 정확한가?

- 2) 가상치료조건은 종전의 conventional simulation에 의해 보완되어져야 하는가?
- 3) 가상치료조건은 어떠한 환자에게 적용 가능한가?

이러한 의문들은 앞으로 계속 거론될 것이며 아직 초기 단계인 가상치료조건을 이용한 CT simulation이 방사선 치료에서 주된 치료방식이 되기 위해 해결해야 할 과제일 것이다.

참 고 문 헌

1. J conway and M H robinson et al. : CT virtual simulation., The British journal of radiology. specific Issue november, 1997
2. Sherouse GW. Chaney EL : virtual simulation : Concept and implementation., The use of computer in radiation therapy Bruinvis. et al editors Elsevier, 1987
3. Goitein M, Abrams M multi dimensional treatment planning : beam'eye view. back projection and projection though CTseries., Int J Radiat Oncol Biol Phys 1983, 9 : 789-97
4. ICRU, Report No 50 : Prescribing, Recording, and Reporting Photon beam therapy Washinton, D.C ICRU : 1993
5. Purdy JA : A pratical guide to ICRU 50 volume and dose specification in 3-D conformal therapy, in(ed) : ACMP annual Meeting, 1997
6. Butker EK, Helton DJ, Keller JW, et el : A totallt intergrated simulation technic in three field breast treatment using a CT simulator., Med phy., 23 : 1809-1814, 1996
7. Coia LR, Schultheiss TE, Hanks G, A practical guide to CT simulation 1-209(Advanced medical publishing, Madison, WI, 1995)

8. Meyer JL, Purdy JA, 3-d Conformal Radiotherapy : Anew era in the irradiation of cancer(Karger, Basel, 1996)
9. Purdy JA, Emami JA, 3-D Radiation treatment planning and Conformal therapy(Medical physics publishing, Madison, wisconsin, 1995)