정밀 방사선치료

High Precision Radiotherapy

이 창 걸
연세의대 세브란스병원 방사선종양학과 / 연세암센터
서울 서대문구 신촌동 134
Chang Geol Lee, M.D.
Department of Radiation Oncology
Yonsei University College of Medicine, Severance Hospital / Yonsei Cancer Center
E-mail : cglee1023@yumc.yonsei.ac.kr

Abstract

The technical advances that have been achieved over the last decade in the area of 3-dimensional radiotherapy treatment planning capabilities and new and more flexible hardware capabilities, such as computer-controlled treatments, multileaf collimators, and real-time portal imaging devices, have brought about 3-dimensional conformal radiation therapy. For the purpose of highly conformal radiation therapy, a variety of radiation treatment techniques and treatment machines such as stereotactic radiosurgery(SRS) using gamma-knife, stereotactic radiotherapy(SRT) using linear accelerator, and stereotactic whole body radiotherapy have been invented. Intensity-modulated radiation therapy(IMRT) is a new and evolving technological advance in high-precision radiation therapy. It is an extension of 3-dimensional conformal radiotherapy(3-DCRT) that allows the delivery of highly complex isodose profiles to the target, while minimizing radiation exposure to surrounding normal tissues. Image-guided adaptive radiotherapy(IGRT) combines scanning and radiation equipment, to provide images of the patient's organs in the treatment position, at the time of the treatment, optimizing the accuracy and precision of the radiotherapy. Respiratory-gated radiotherapy was developed to overcome the motion of organs. Most high precision radiation therapy approaches increase the time and efforts required by physicians and physicists, because optimization systems are not yet robust enough to provide automated solutions for all disease sites, and routine QA testing is still quite time-consuming. Preliminary clinical experiences of high precision radiation therapy have been encouraging by high rates of local control and decrease of toxicity. This article provides an overview of high precision radiotherapy such as 3-DCRT, SRS, SRT, Cyberknife, IMRT, and IGRT.

Keywords : **Radiotherapy; 3-dimensional conformal RT; IMRT; Stereotactic radiosurgery**
핵 심 용 어 : 방사선치료; 3차원 입체조형치료; 세기조절 방사선치료; 정위적 방사선수술

서 론

3차원 입체조형 방사선치료(3-dimensional conformal RT)가 도입되면서 방사선치료의 새 장을 열게 되었다면 최근 시행되고 있는 세기조절방사선치료(IMRT)는 3차원 입체조형치료의 가장 진보된 치료형태라고 말할 수 있다. 3차원 입체조형치료를 통해 종양의 모양에 근접하게 치료를 하면서 정상조직의 방사선량을 최소화 할 수 있게 되어 종양의 총 방사선량을 올리는 것이 가능해졌다. 그러나 3차원 입체조형치료는 기존의 2차원적인 치료에 비해 우수한 치료법이지만 정상조직에 대한 방사선량을 치료자가 계획하는 대로 충분히 낮추기에는 제한점이 많다. 특히 방사선에 민감한 조직, 안구, 시신경, 뇌간, 침샘, 척수 근처에 종양이 있을 경우 이들에 대한 방사선량 제한점으로 인해 부작용을

감수하거나 혹은 충분한 방사선량을 조사하지 못하게 된다(1, 2).

IMRT는 컴퓨터에 의해 조절되는 다엽콜리메이터라는 방사선세기 조절장치를 이용하여 종양 부위에는 강한 방사선이, 그리고 주위 정상조직에는 약한 방사선이 조사되도록 고안된 첨단 정밀 방사선치료 기법이다. 이 치료를 통해 종양의 국소제어율을 높여 생존율 향상을 가져오고 방사선치료에 대한 부작용을 최소화 함으로써 삶의 질을 고려한 수준높은 방사선치료가 가능해진 것이다(3). IMRT의 치료계획과 QA에 많은 시간이 소요되는 것이 사실이지만, 또한 통상적인 방사선치료를 담당하던 방사선종양학 의사들에게 IMRT는 새로운 도전이 되고 있으며 동시에 새로운 기회도 되고 있다.

본 의학강좌에서는 3차원 입체조형 방사선치료인 정위적 방사선수술, 정위적 방사선치료, 정위적 전신 방사선수술을 포함하여 최근 시도되고 있는 IMRT, CyberKnife, IGRT(Image-guided adaptive radiation therapy) 등의 정밀 방사선치료에 대해 알아보고자 한다.

3차원 입체조형 방사선치료 (3-Dimensional Conformal Radiotherapy)

CT 영상을 3차원적으로 재구성하는 기술의 발달과 함께 3차원적인 모의치료기술이 개발되었는데, CT 모의치료기로 촬영한 영상은 재구성되어 Beam's eye view를 통해 다양한 각도에서 종양을 좀 더 정확히 구별하고 방사선에 민감한 주위조직을 제외할 수 있게 되었고, 비동일면 조사(non-coplanar beam irradiation)가 가능해지면서 종양의 형태에 근접한 방사선치료가 가능하게 되었다. 또한 방사선량과 종양 그리고 주요 장기에 대한 체적과의 상관관계를 나타내는 지표(dose-volume histogram)를 통해 방사선에 의한 정상조직의 합병증 가능성(normal tissue complication probability)과 종양의 국소제어율(tumor control probability)을 예측하는 것이 가능해졌다. 따라서 정상조직을 더 방사선 조사범위에서 제외함으로써 종양의 총 방사선량을 증가시키는 것이 가능해졌고, 국소제어율을 올림으로써 완치율을 올릴 수 있게 되었다. 대표적인 예가 전립선암, 두경부암, 수술 불가능한 조기 폐암 환자에서 총방사선량을 올려 치료한 결과 생존율 향상과 함께 방사선에 의한 부작용도 감소하였음을 보고하였다(1, 2).

정위적 방사선수술, 정위적 방사선치료 (Stereotactic Radiosurgery, Radiotherapy)

정위적 방사선수술(SRS) 혹은 정위적 방사선치료(SRT)는 정위좌표계를 이용하여 주로 두개강내 혹은 뇌기저부 병소에 대해 방사선을 집중하도록 하여 두개골을 열지 않고도 수술과 같은 효과를 내는 치료이다. 정위틀을 두개골에 고정시킨 후 CT, MRI를 통해 종양의 좌표값을 얻어 3차원적인 치료계획을 시행하면 정상 뇌조직의 손상 없이 종양에 고선량의 방사선을 한번에 조사할 수 있다. 뇌수막종, 뇌하수체종양, 악성 뇌종양, 뇌전이암 등의 각종 뇌종양과 뇌혈관기형, 삼차신경통 등 다양한 신경외과적 질환을 치료하는 데 수술과 동일하거나 우수한 결과를 보고하고 있다. 이런 원리 하에 가장 먼저 개발된 것이 감마나이프이다. 스웨덴의 신경외과 의사인 Leksell에 의해 개발된 감마나이프는 코발트 60 방사성 동위원소(Co-60) 201개에서 나오는 감마선을 두개강 내의 종양을 향해 집중하도록 함으로써 치료하는 방법이다(4).

감마나이프가 코발트-60 동위원소에서 방출되는 감마선을 이용하여 정위적 방사선수술을 하는 것에 비해 최

근 3차원 입체 조형치료기술의 발달로 기존의 방사선 치료장비인 선형가속기(LINAC)를 이용한 정위적 방사선수술도 시행하고 있다. 감마선 대신 X선을 이용한다고 하여 X-knife 라는 용어를 사용하기도 한다. 다수의 비동일면 arc 방사선치료를 시행하여 방사선이 종양으로 집중되게 하는 방법으로 감마나이프와 동일한 치료효과를 얻고 있다. 기존의 방사선치료기를 이용한다는 점에서 고가의 감마나이프 도입이 어려운 병원에서도 정위적 방사선수술이 가능하다(5).

정위적 방사선수술은 두개골에 고정틀을 착용하여 시술한 후 당일 제거해야 하는 관계로 2회 이상 분할치료는 불가능하다. 최근에 무고정틀이 개발되어 두개골에 정위틀을 고정하지 않고도 정위적 방사선치료가 가능해졌는데, 수술과 같은 1회 치료가 아닌 여러번에 걸쳐 분할치료가 가능하여 정위적 분할 방사선치료(fractionated stereotactic radiotherapy)라고 한다. 이 FSRT는 분할조사를 함으로써 방사선 생물학적으로 정상조직 보호에 유리한 점이 있으며 종양에 좀 더 높은 방사선을 조사할 수 있다. 따라서 종양의 크기가 작은 경우 SRS가 유리하며 종양이 크거나 작더라도 방사선에 민감한 조직 근처에 종양이 있을 때는 1회 고선량 방사선치료보다는 분할조사인 FSRT가 유리하다(4, 5).

체부 정위적 방사선수술 (Extracranial SRS)

정위적 방사선수술 혹은 방사선치료가 주로 뇌와 두경부에 주로 시행되면서 이 외의 신체부위에서도 정위적 치료의 필요성을 인식하게 되었다. 폐나 간 등의 장기는 두경부와는 달리 지속적인 움직임이 있어서 통상적인 방사선치료시 장기의 움직임을 고려하여 치료범위를 넓게 해야 하지만 체부의 움직임을 제한하는 체부고정틀이 개발되면서 정위적 방사선수술이 가능해졌다. 물론 장기의 움직임을 완전히 억제할 수는 없지만 최소화 함으로써 정상조직의 방사선량을 최소화 하면서 종양에 고선량 방사선치료가 가능해졌다. 체부 고정틀을 이용하여 분할치료도 가능하므로 체부 FSRT도 가능하다. 국내 보고에서도 원발성 간암, 동정맥 기형, 전이암에 대해 체부 SRS를 시행하여 37%의 완전관해를 포함한 87%의 반응률을 보고하여 1~3회의 치료로 높은 치료효과를 나타내고 있다(4~6).

6개의 축을 가진 로보트 팔에 장착된 LINAC에서 다양한 각도에서 방사선을 조사할 수 있으며 종양추적장치로 치료의 오차를 줄일 수 있다.

그림 1. Cyberknife

사이버나이프(CyberKnife)

사이버나이프를 이용한 정위적 방사선치료는 6개의 축을 가진 로봇팔에 장착된 선형가속기(LINAC)에서 발생되는 가는 방사선(pencil beam)들을 다양한 각도에서 종양을 향해 집중적으로 조사하면서, 동시에 종양의 움직임을 병변추적장치를 이용하여 병변의 위치를 실시간으로 추적하면서 치료하는 방법이다(그림 1). 따라서 종양에

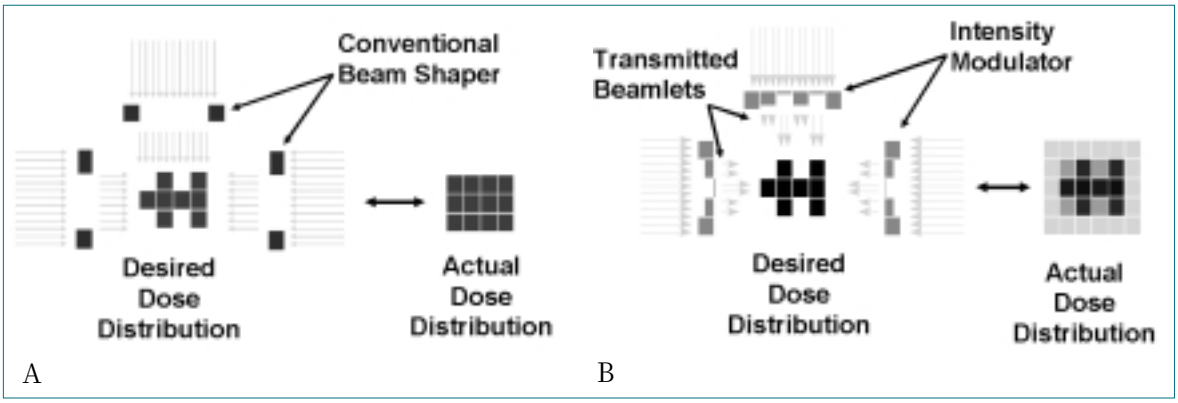
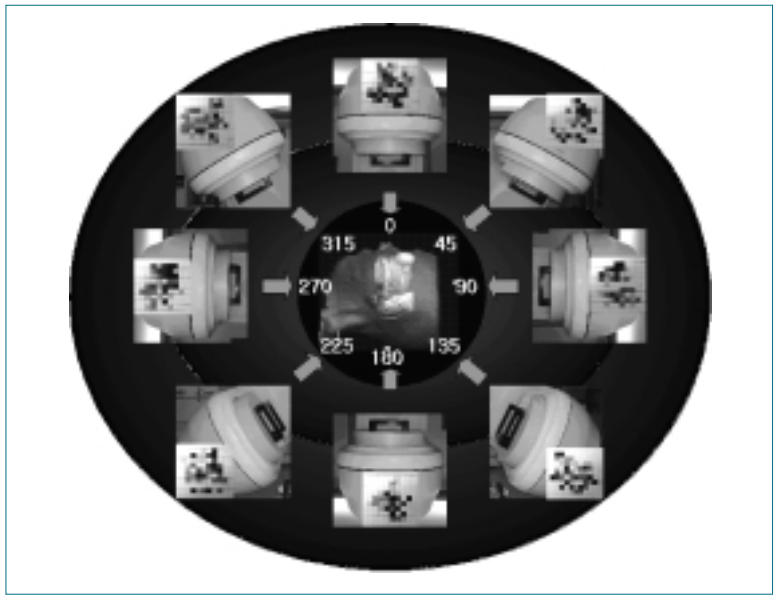


그림 2. A) 통상적인 방사선치료시 선량 분포 : 같은 세기의 방사선이 조사되어 종양의 모양과는 다른 사각형의 선량분포를 이룬다.
B) 세기조절방사선치료시 방사선량 분포 : 종양 부위에는 강한 세기, 정상조직에는 약한 세기의 방사선을 조사하여 종양 형태와 유사하게 방사선량이 분포되고 정상조직이 보호된다.

는 1~3회의 치료로 고선량의 방사선을 조사하면서 종양의 움직임에 의한 오차를 줄일 수 있어 정상조직의 손상을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 종양의 위치 추적을 위해 gold marker를 삽입하고 CT에서 얻은 환자의 골격 또는 gold marker의 이미지와 실제 환자의 이미지를 컴퓨터에서 합성하여 병변의 위치를 알 수 있다. 감마나이프 정위적 방사선수술은 주로 뇌, 두경부에 국한되고, X-knife로는 체부 정위방사선치료까지 가능하지만 종양의 움직임과 다양한 각도에서의 치료가 일부 제한되는 단점이 있다. 사이버나이프는 어느 각도에서든 치료가 가능하다는 점과 종양의 움직임에 대해 추적하면서 치료하므로 정상조직 보호면에서나 종양의 치료면에서 정확성이 더 높다고 할 수 있다(7). 사이버나이프를 포함한 모든 정위적 치료는 종양의 크기가 크지 않은 경우에 효과적이나 종양이 크거나 종양의 특성이 침윤성이고 림프절 전이가 동반된 일반적인 암 치료에는 적합하지 않다. 이와 같은 경우 정상조직에 과량의 방사선이 한번에 조사될 수 있어 종양에 대한 방사선량을 높이기 어렵고 방사선 조사면 근처에서 재발의 가능성도 높아진다. 이런 경우는 3차원 입체조형치료 혹은 IMRT가 더 적합한 치료법이다. 국내 보고에서 자궁암, 대장암의 대동맥 주위 림프절 전이에 대한 사이버나이프 치료를 하여 약 80%의 국소제어율을 보고하였고 척추전이로 인한 통증 조절에 효과가 있다고 하였으며 향후 조기암 치료에 확대될 전망이다(8).

세기조절방사선치료 (Intensity-modulated Radiation Therapy)

기존의 방사선치료가 동일한 세기의 방사선을 여러 방향에서 조사하는 데 비해 세기조절방사선치료(IMRT)는 컴퓨터에 의해 다엽콜리메이터가 조절되어 방사선조사면에 서로 다른 세기의 방사선이 조사되도록 하는 치료법으로(그림 2) 방사선종양학 분야를 선도할 첨단치료기술로 각광받고 있다. 서로 다른 세기를 갖는 방사선조사를 여러 방향에서 조사하게 되면 종양 모양에 가장 근접한 치료가 되어 종양에는 더 높은 방사선량을 조사하면서 인접 정상장기에는 방사선량을 최소화 하는 것이 가능해졌다(그림 3). 이 기술은 3차원 입체조형치료 기술보다 더 진



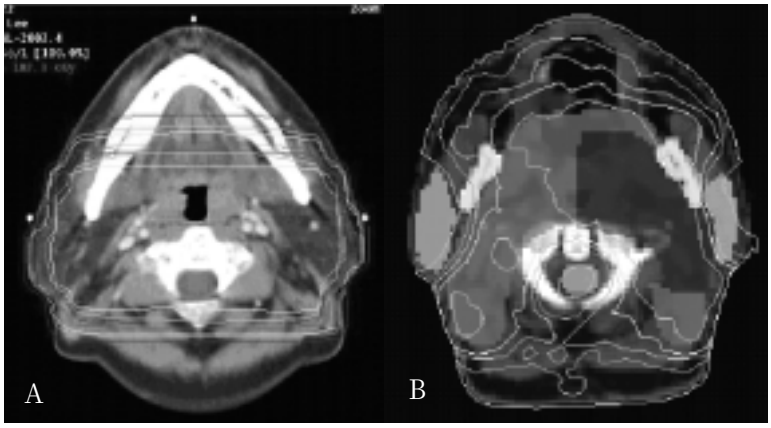
여러 방향에서 서로 다른 intensity map을 갖는 IMRT를 시행하면 종양에 대한 conformality를 극대화하고 안구, 뇌간 등 방사선에 민감한 주위장기에 대한 손상을 최소화 할 수 있다.

그림 3. 세기조절 방사선치료

보된 기술로 이런 기술이 가능해진 것에는 방사선치료 계획시 컴퓨터에 의해 최적화되는 역치료계획(inverse treatment planning)과 방사선치료중 컴퓨터에 의해 조절되는 방사선세기 조절 기능이 바로 그 것이다. 역치료계획은 치료하고자 하는 종양체적(gross target volume), 미세종양체적(clinical target volume)에 대해 원하는 선량을 처방하면서 동시에 종양 주위에 인접한 방사선에 민감한 장기(안구 시신경, 뇌간, 침샘, 척수 등) 의 방사선량을 제한하여 이를 토대로 최적의 방사선 세기를 조절하는 치료계획을 역으로 수립하는 것을 말한다. 조건에 맞도록 계획이 나오면 처음 목표와 비교 평가하고 수차례 시도한 후 처음 계획과 가장 근접한 계획을 선택한다(9).

IMRT의 장점으로는 우선 아주 정밀한 입체조형 방사선량 분포를 들 수 있는데 IMRT를 이용하여 종양의 모양에 아주 근접한 입체조형치료를 할 수 있게 되어 종양에 대한 총 방사선량을 올릴 수 있고 이에 따른 국소제어율 향상과 완치율 향상을 기대할 수 있다. 특히 종양이 방사선에 민감한 조직 근처에 있는 경우 IMRT는 그 진가를 발휘할 수 있다. 가장 좋은 예가 두경부암이다. 그 이유로 두경부암은 주로 국소재발이 문제가 되며 방사선량과 비례하여 국소제어율이 향상되고 종양 주변에 해부학적으로 방사선치료에 제한이 될 수 있는 침샘, 척수 등의 장기가 있어서 통상적인 치료에 어려움이 있으며 두경부 쪽에는 움직임이 적어 고정이 용이하다는 점이다. 비인두암은 종양의 형태가 다양하고 주변에 방사선에 민감한 구조물로 둘러싸여 있어서 통상적인 방사선치료시 비교적 높은 국소제어율에도 불구하고 침샘의 손상으로 인한 구강건조증, 방사선에 의한 중이염, 청력손상 등의 부작용 등이 문제시되어 왔으나 IMRT의 적용으로 높은 국소제어율과 함께 정상조직의 부작용을 현저히 감소시켜 이제 주된 치료법으로 자리잡고 있다(10, 11)(그림 4).

IMRT의 또 다른 장점으로는 여러가지 표적에 대한 차별화된 방사선량 분포를 꼽을 수 있다. IMRT는 치료범위 내에 다양한 치료표적을 정해 각기 다른 방사선량을 조사할 수 있으며 이것은 통상적인 방사선량(1.8 Gy or 2.0 Gy)보다 높은 방사선량을 종양에 조사할 수 있도록 해준다. 이로 인해 총 치료기간의 단축을 가져올 수 있어 방사선생물학적으로 가속방사선치료의 효과를 가져올 수 있는데 이것을 SMART(simultaneously modulated



A) 통상적인 치료로 종양과 양쪽 침샘에 같은 고선량의 방사선이 조사됨.
B) IMRT 치료시 종양에는 70 Gy가 조사되지만 침샘에는 25 Gy 미만이 조사됨.

그림 4. 통상적인 방사선치료와 IMRT의 방사선량 분포

accelerated radiation therapy)라고 한다. 이 가속치료로 인해 방사선치료시 나타나는 암조직의 가속 재생(accelerated repopulation)을 극복할 수 있고 종양의 1회당 방사선량을 더 높혀 치료함으로써 국소제어율을 더 높힐 수 있게 되었다. 치료범위 내에 방사선량을 달리 할 수 있어서 종양의 양에 따라 육안적 종양 표적체적(gross target volume)과 미세종양 표적체적(clinical target volume)에 대해 다른 방사선량을 조사할 수 있으며 또한 방사선 민감도의 차이를 파악하여(저산소 부위와 정상산소 부위의 차이) 민감도가 낮은 부위는 상대적으로 더 높은 방사선을 조사하여 치료효과를 높힐 수 있다. 현재의 종양 형태에 맞춘 물리적인 conformality를 갖는 정밀치료는 향후 PET, MRS 등의 기능적인 영상을 접목하여 분자생물학적인 이해가 추가된 생물학적인 conformality를 갖는 정밀방사선치료가 될 전망이다(3, 9).

한편 IMRT가 성공적으로 시행되기 위해서는 환자와 종양의 움직임을 최소화 하는 것이 중요하다. 따라서 내적인 장기운동이 거의 없는 부위인 두경부암이 가장 적절한 IMRT의 대상이 된다. IMRT가 부위 별로 서로 다른 방사선을 조사하는 것으로 자세고정(immobilization)이 제대로 되지 않는다면 IMRT는 정교한 치료의 의미가 없어지고 종양에 방사선량이 적게 들어가거나 정상조직의 합병증이 더 커질 수도 있다. 따라서 환자의 자세고정을 철저히 할 뿐만 아니라 장기의 내적 운동을 억제하기 위해 적극적인 호흡조절(active breathing control)을 하거나 호흡과 공조하여(respiratory-gating) 폐손상을 줄이고 종양에 방사선을 집중할 수 있다(9).

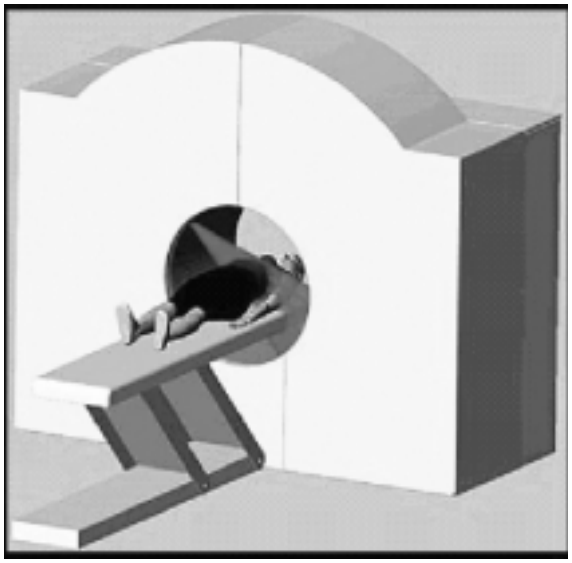
IMRT의 단점으로는 첫째, 표적체적 내 방사선량의 불균등 분포를 들 수 있다. IMRT를 시행함에 있어 여러 방향에서 방사선을 조사함으로써 종양의 형태에 근접한 치료는 가능해졌으나 이로 인해 선량 분포의 불균질성은 높아진다. 육안적 종양이 있는 부위의 과선량은 오히려 장점이 될 수 있으나 과선량 부위가 정상조직과 겹쳐있을 때는 부작용이 될 수 있으며, 수술 후 IMRT를 시행할 때에는 정상조직 내 미세종양을 치료하게 되어 주의를 요한다. 둘째, IMRT는 7~9개의 방향에서 방사선을 조사하므로 종양의 형태에 맞는 최적의 방사선치료가 되지만 주위 정상조직에 양은 작아도 방사선피폭 체적이 증가된다는 점이다. 셋째 IMRT를 위한 방사선세기를 조절하기 위해 기존의 방사선량에서 약 10배의 monitor unit을 조사하여 이 중 10%만이 실제 종양에 조사되므로 효율성이 떨어지고 치료장비의 부하가 늘어난다. 넷째, IMRT시 방사선량의 세기조절을 하는 과정에서 치료시간이 길어지는데 통상적인 치료가 10분 이내에 끝나는 데 비해

20~30분 정도의 치료시간이 소요된다. 따라서 환자가 고정장치를 착용하고 치료하는 동안 견디기에 어려움이 있을 수 있으며 치료과정중 움직일 수도 있어서 다양한 방법으로 움직임을 최소화 하도록 노력하고 있다. 다섯째, 방사선종양학 전문의가 치료계획을 세우는데 시간과 노동력이 많이 들고 치료과정의 QA 역시 복잡하고 시간이 많이 소요된다. 이와 같은 정밀치료를 위해 박사급 방사선물리학자의 참여는 필수적이다(9, 11).

Lee 등은 비인두암의 IMRT 결과 98%의 국소제어율과 90%의 높은 생존율을 보고하였으며 침샘에 대한 손상을 최소화하여 치료 후 1년이 지나면 경미한 구강건조증 이하로 회복됨을 보고하였다(10). Chao 등도 구인두암의 IMRT 결과 통상적인 방사선치료에 비해 생존율을 향상시켰음을 보고하였고(12), Zelefsky 등은 전립선암에서 총 방사선량을 80 Gy까지 증량하여 생존율 향상과 함께 방사선직장염도 현저히 낮추었다고 보고하였다(13).

IGRT (Image-guided Adaptive Radiotherapy)

IGRT는 방사선치료기에 CT를 찍을 수 있도록 연결하여 IMRT 시행시 발생되는 치료중 혹은 치료간 오차를 줄일 수 있도록 고안된 치료법이다. 방사선치료실에서 치료 전 CT를 찍어 계획된 영상과 일치하는지 확인하여 오차 발생시 실시간 오차교정이 가능하여 치료의 정교성을 더 올릴 수 있게 되었다. IGRT의 또 다른 방법으로 회전식 단층치료법(helical tomotherapy) 방법이 최근 개발되어 환자 치료에 적용되고 있다. LINAC 장비에 CT 기능을 할 수 있도록 CT gantry에 6 MV LINAC과 detector를 달아 megavoltage(MV) beam CT를 찍어



CT Gantry에 6 MV LINAC 방사선치료기를 달아 360도 나선형으로 돌면서 다엽콜리메이터의 조절에 의해 단층 IMRT가 이루어짐.

그림 5. Helical tomotherapy의 모형도

치료 및 치료 오차 검정 및 교정을 함께 하도록 고안된 것이 특징이다. MV CT는 물리적 특성상 kilovoltage CT에 비해 영상이 선명하지 않았으나 최근 전산화 기술의 발달로 화질이 많이 개선되었으며, 특히 MV CT는 금속에 의한 artifact가 없어 더욱 선명하게 영상을 나타내는 장점이 있다. 치료 전 MV CT를 찍어 종양의 크기, 형태 및 위치를 치료계획과 일치하는지 파악한 후 360도 회전식 단층치료를 시행하는데, 부채 모양의 방사선(fan-beam)이 회전하면서 다엽콜리메이터에 의해 방사선세기를 조절하여 종양의 형태와 일치된 방사선을 조사하고 정상조직의 방사선량을 최소화 할 수 있다(그림 5). 크기가 작은 종양부터 큰 종양까지 치료 가능하며 여러 부위의 전이암도 동시에 치료가 가능하다. 전신 골수조사시 불필요한 장기를 피하면서 치료할 수 있는 점도 장점이다(14, 15).

결 론

최근 시도되고 있는 정밀 방사선치료는 종양에 대한 방사선량을 높이고 주위 정상조직에는 방사선량을 최소화하여 부작용 없는 암치료가 가능하게 되어 암환자도 치료 후 높은 삶의 질을 가질 수 있게 되었다. 다양한 방법의 정밀 방사선치료는 그 목적에 따라 치료의 적응증이 다르므로 치료법을 선택할 때는 장·단점을 잘 따져 보아야 한다. 이와 같은 정밀 방사선치료에 대해 최근에 보고되는 임상결과들은 기존의 치료법보다는 높은 치료효과를 나타내면서 부작용이 탁월하게 낮음을 나타낸다. 향후 정밀 방사선치료의 문제점인 환자와 종양의 움직임을 교정하면서 치료하는 방법은 더욱 발전될 전망이며 정밀 방사선치료가 지금과 같은 물리적인 종양의 맞춤치료(physical conformal therapy)에서 종양의 내면을 분자생물학적으로 분석하여 생물학적인 맞춤치료(biological conformal therapy)로 발전되면 종양의 치료효과는 더 높아질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Purdy JA. Advances in three−dimensional treatment planning and conformal dose delivery. Semin Oncol 1997 ; 24 : 655 - 72
2. Armstrong J, Raben A, Zelefsky M, Burt M, Leibel S, Fuks Z, et al. Promising survival with three−dimensional conformal radiation therapy for non−small cell lung cancer. Radiother Oncol 1997 ; 44 : 17 - 22
3. IMRT Collaborative Working Group. Intensity modulated radiation therapy : current status and issues of interest. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001 ; 51 : 880 - 914
4. Corn BW, Curran WJ, Shrieve DC, Werner−Wasik M, Loeffler JS. Stereotactic irradiation : linear accelerator and gamma knife. In : Gunderson LL, Tepper JE, eds. Clinical radiation oncology. 1st ed. Philadelphia : Churchill Livingstone, 2000 : 217 - 24
5. Chan AW, Cardinale RM, Loeffler JS. Stereotactic irradiation. In : Perez CA, Brady LW, et al. eds. Principles and practice of radiation oncology. 4th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Willkins, 2004 : 410 - 27
6. Ahn SD, Yi BY, Choi EK, Kim JH, Noh YJ, Chang HS, et al. Preliminary results of stereotactic radiosurgery using stereotactic body frame. J Korean Soc Ther Radiol Oncol 2000 ; 18 : 251 - 6
7. Kuo JS, Yu C, Petrovich Z, Apuzzo ML. The CyberKnife stereotactic radiosurgery system : description, installation, and an initial evaluation of use and functionality. Neurosurgery 2003 ; 53 : 1235 - 9
8. Cho CK. Role of cyberknife in the field of surgical oncology. J Korean Surg Soc 2004 ; 66(Suppl) : 40 - 41
9. Mohan R, Low D, Chao KSC, Wu Q, Dong L. Intensity−modulated radiation treatment planning, quality assurance, delivery, and clinical application. In : Perez CA, Brady LW, et al. eds. Principles and practice of radiation oncology. 4th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Willkins, 2004 : 314 - 36
10. Lee P, Xia P, Quivey JM, Sultanem K, Poon I, Fu KK, et al. Intensity−modulated radiotherapy in the treatment of nasopharyngeal carcinoma : an update of the UCSF experience. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2002 ; 53 : 12 - 22
11. Zhen W, Thompson RB, Enke CA. Intensity−modulated radiation therapy (IMRT) : the radiation oncologist's perspective. Medical Dosimetry 2002 ; 27 : 155 - 9
12. Chao KSC, Low DA, Perez CA, Purdy JA. Intensity−modulated radiation therapy in head and neck cancers : The Mallinckrodt experience. Int J Cancer 2000 ; 90 : 92 - 103
13. Zelefsky MJ, Fuks Z, Hunt M, Lee HJ, Lombardi D, Leibel SA, et al. High dose radiation delivered by intensity modulated conformal radiotherapy improves the outcome of localized

prostate cancer. J Urol 2001 ; 166 : 878 -81
14. Dawson LA, Balter JM. Interventions to reduce organ motion effects in radiation delivery. Semin in Rad Oncol 2004 ; 14 : 76 - 80
15. Mackie TR, Kapatoes J, Ruchala K, Lu W, Wu C, Mehta M, et al. Image guidance for precise conformal radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2003 ; 56 : 89 - 105

정정합니다

대한의사협회지 2004년도 6월호(제47권 제6호)의 특집“어린이 기생충 질환”중 p. 517 (그림 6)의 좌우가 바뀌어 정정합니다.

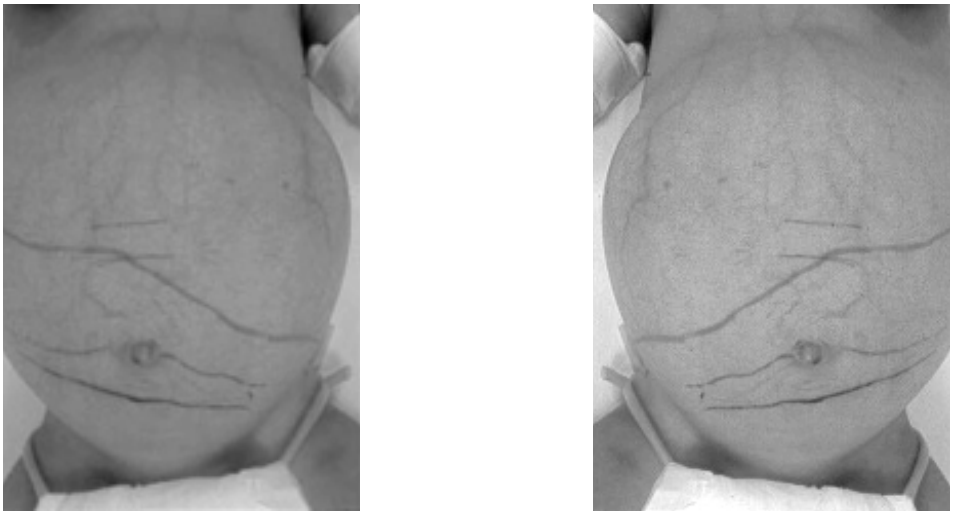


그림 6. 간모세선충에 감염되어 간비대가 온 16개월된 여아의 복부 사진. 간이 점점 커진 모습을 칠함 (서울의대 기생충학교실 채종일 교수 제공).