

## 암의 해결사, 방사선의학의 힘

조철구

한국원자력의학원 원자력병원장



서울대학교 의대 학사, 약리학 석사,  
방사선종양학 박사  
원자력병원(KCCH) 종양학과 과장, 연구부장,  
진료부장  
한국원자력의학원(KIRAMS) 원자력병원 원장

더운 날씨에도 불구하고 이 자리를 빛내주신 여러분께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 원자력병원은 국내 방사선 치료의 효시라고 할 수 있고 그 역할을 방사선종양학과에서 담당하였다고 생각합니다. 오늘은 방사선의학이 인류의 과제인 암의 정복에 중요한 기술임을 소개하고자 합니다.

본 강연에서는 방사선의 발견에서 최신 치료 기술에 이르기까지의 방사선 치료의 역사와 원리, 방사선 치료 과정, 최첨단 방사선 치료 기기인 사이버나이프 및 한국원자력의학원의 방사선 치료 관련 연구와 결과 등에 대해 말씀드리고자 합니다.

최근 모 방송국의 의학 특집 프로그램인 '생로병사의 비밀'을 통해 국내 방사선 치료 기술의 현황과 발전에 대해 방영되었듯이 방사선 치료는 이제 호흡에 의해 움직이는 암 덩어리도 실시간으로 추적

하여 치료하는 단계까지 발달하였습니다.

암 주변의 정상 조직은 보호하고 암세포에만 방사선을 쬐어, 치료 효과는 높이고 치료 후 부작용을 최소화하는, 방사선 치료의 목적을 실현하는 기술들이 속속 등장하고 있습니다.

암을 치료하는 방법은 크게 나누어 3가지로 분류되는데, 국소적으로 암을 제거하기 위한 수술 요법과 방사선 치료법이 있고, 암이 전신으로 퍼져 있을 경우 사용하는 화학(항암) 요법이 있습니다.

최근에는 최첨단 방사선 치료 기기의 개발로 방사선 치료의 정확성이 향진되어 예전보다 치료 후유증을 줄이고, 암세포에만 집중적으로 방사선이 조사되게 함으로써 치료 성적을 올릴 수 있게 되었습니다.

병을 진단하고 암을 치료하는 데 많이 사용되고 있는 엑스선은 1895년 독일의 물리학자 뢰트겐에



<그림 1> 방사선 치료기의 변천 역사

의해 처음 발견되었습니다. 뢰트겐은 음극선관을 이용한 실험을 하던 중 정체를 알 수 없는 이상한 빛(방사선)이 발생되어 스크린을 형광시키고 사진 건판을 감광시킨다는 것을 발견하고는, 미지의 빛이란 뜻으로 알파벳의 엑스(X)를 붙여 명명하게 되었다고 합니다.

엑스선의 발견 이후 여러 현상에 관해 연구하던 뢰트겐은 엑스선이 물체를 투시하는 능력이 있음을 찾아내고는 아내를 설득하여 최초의 손가락 뼈 사진을 찍게 되었고, 이후에 진단용 영상으로 활용하는 시초가 되었습니다.

엑스선의 발견이 인류의 생활에 미치게 될 영향은 참으로 지대하였지만, 발견 초기 이 방사선의 효용 가치를 가장 먼저 인식한 사람들은 외과 의사들이었습니다. 당시 외과 의사들은 엑스선을 이용하여 절개

하지 않고도 뼈나 내부 장기의 이상 유무를 확인할 수 있었고, 특히 사고에 의해 심한 부상을 입은 환자들의 수술에 엑스선을 적극 활용하게 되었습니다.

과학기술의 발달과 더불어 고에너지의 엑스선을 발생시키는 복잡하고 거대한 전자가속기가 개발됨에 따라, 엑스선의 의학적 이용은 질병의 진단뿐만 아니라, 암세포를 파괴하여 암을 치료하는 단계로 발전되었습니다.

초기의 방사선 치료용 선형가속기는 가속기 몸체를 회전시킬 수 있는 기술력이 부족하여 환자가 치료할 부위를 치료기에 직접 이동하거나, 치료 중 보조 기구에 의지하여 치료받는 부위가 움직이지 않도록 하는 불편함을 주기도 했습니다.

최근에 이르러 치료 기기 개발의 기술 발전으로 수 톤에 가까운 치

료기 몸체를 전 방향으로 자유롭게 제어할 뿐 아니라, 로봇을 이용한 치료기, 전산화 단층 촬영(CT)과 치료 기기가 한 몸을 이루어 치료 정확도를 높인 첨단 메커니즘 등이 치료 기기에 적용되었습니다.

치료에 이용되는 방사선의 종류도 엑스선 뿐 만 아니라, 중성자선, 양성자선 등이 활용되어 방사선생물학적 측면에서 암세포 살상력을 높임으로 치료 효과가 증진되었다는 연구 결과가 보고 되었습니다. 특히 사이버나이프, 감마나이프와 같은 방사선 치료 기기는 치료 정밀도가 1mm 이내로 고도의 정확도를 자랑하기도 합니다.

지난 수 십 년간 방사선 치료의 발전은 영상 장비의 발전과 밀접한 연관을 이루고 있습니다.

1970년대 초반까지 병의 진단을 위해 주로 사용된 영상 장비는



<그림 2> 한국원자력의학원 방사선 치료 역사

엑스선 촬영이었고, 엑스선 영상으로서의 암의 모양과 크기를 정확하게 분간하기 힘들기 때문에 방사선 치료 범위를 계획하기가 어려움이 있었습니다.

하지만 전산화 단층 촬영(CT)이 개발된 이후로 질병의 진단이 용이해졌고, 이와 더불어 방사선 치료에도 획기적인 전환을 마련하게 되었습니다.

보다 선명하고 분별력이 있는 영상 장비를 통해 암의 크기와 위치를 정확하게 진단하면서, 방사선 치료도 불필요한 부분에는 방사선이 쬐이지 않고 병소 부위에만 방사선을 조사시켜 치료 효과를 높였

으며, 이러한 치료 계획을 위해 첨단 컴퓨터가 사용되기 시작하였습니다. 최근에 와서는 더욱 진보된 영상 장비와 고성능 컴퓨터, 발전된 방사선 치료 기기가 삼위일체를 이루어 3차원적으로 종양 모양과 동일하게 방사선 치료를 수행함으로써, 치료 효과를 극대화시키고 있으며 우리는 이를 3차원 입체 조형 치료라 지칭하고 있습니다.

지금에 이르기까지 국내 방사선 치료 발전의 발자취는 한국원자력의학원의 역사와 맥락을 같이 하고 있습니다.

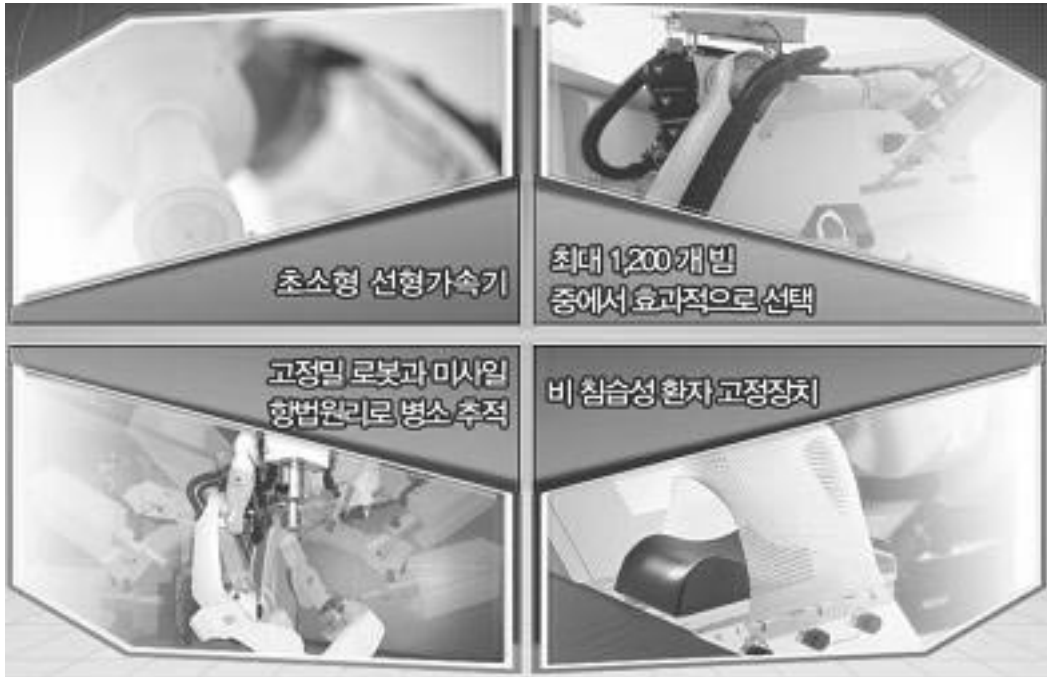
1963년 정동에 방사선의학연구소가 운영될 때 국내 최초로 코발트

60 심부치료기가 도입되었습니다. 이후 총 4기의 코발트 치료기가 도입되어 치료에 활용되고 있습니다.

1984년에는 현재 위치한 공동동으로 원자력의학원이 이전하면서 국내 최초의 중성자 치료기, 마이크로트론 치료기가 도입되어 임상에 적용되었습니다.

또한 근래에는 사이버나이프를 도입하여 최단 기간 1000례 치료를 수행하는 경이적인 기록으로 국내 방사선 치료 기술의 발전 역사에 깊은 뿌리를 이루고 있습니다.

지금까지 방사선 치료의 발전과 치료 기기의 발달 역사에 대해 설명을 드렸지만, 이제 방사선 치료



〈그림 3〉 사이버나이프의 개요

의 원론적인 이해를 위해 방사선 치료의 원리와 과정, 첨단 방사선 치료 기법에 대해 말씀드리고자 합니다.

방사선 치료란 전기적으로 중성인 원자에서 전자를 분리시킬 수 있는 정도의 에너지를 가진 전리 방사선을 이용하여 암이나 이에 관련되는 질환을 치료하는 임상 의학의 한 분야로서, 세계적으로 전체 암환자의 60~70%가 방사선 치료를 받고 있지만 국내에서는 치료 역사와 인식 문제로 암 환자의 약 30%가 방사선 치료를 받고 있습니다.

치료 대상은 신체 부위에서 발생하는 모든 조직의 암이 될 수 있고, 방사선 치료 단독 요법 혹은 수술

이나 항암 치료 등 다른 요법과 병용하여 치료하기도 합니다.

고에너지를 갖는 방사선은 암세포 DNA의 연결 구조와 핵산을 파괴하여 암세포를 죽이는데, 암세포가 계속적으로 손상으로부터 회복되기 때문에 한번에 충분한 양의 방사선을 조사하거나, 또는 정상세포를 최대한 보호하기 위하여 일정량을 여러 번 반복하여 치료하는 방법을 사용합니다.

그러므로 방사선 치료의 궁극적인 목표는 통증을 최소화한 양질의 치료를 추구하기 위해 암세포에는 최대한 많은 방사선을 조사하여 치료 효과를 극대화하고, 주변 정상 조직이나 내부 장기에는 방사선량을

을 최소화하여 치료 부작용을 줄이고자 합니다.

방사선 치료의 과정은 첫째, 임상 각과에서 방사선 치료가 효과적이거나 필요하다고 판단될 경우에 방사선종양학과로 치료를 의뢰하거나 또는 직접 방사선종양학과로 내원한 환자에 대하여, 환자와 의사가 병에 관한 각종 자료와 문진을 통해 치료 여부를 결정하게 됩니다.

이러한 과정 속에서 드물게는 자료가 미비하거나 자료가 오래된 경우, 더 정확한 진단을 위해 전산화 단층 촬영(CT)나 자기 공명 영상 촬영(MRI), 양성자 방출 단층 촬영(PET) 등 별도의 추가 검사를 수행할 수도 있습니다.

둘째로 병의 종류와 위치, 크기 등에 따라 적당한 치료 기기나 방사선 종류, 방사선량 등을 결정하고, 이를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 치료 계획을 수립합니다.

셋째로는 치료기와 동일한 구조를 가진 모의 치료기를 이용하여 수립된 치료 계획을 치료실에서 정확하게 재현하여 치료할 수 있는 각종 사전 준비를 시행합니다.

이러한 과정에는 치료 재현성을 향상시키기 위해 환자 고정 장치, 정상 조직을 보호하기 위한 차폐물 제작 등의 과정이 수반되며, 필요할 경우에는 치료 계획과 모의 치료를 여러 번 반복하여 보다 양질의 방사선 치료를 준비합니다.

넷째, 치료실에서 치료 조준이 끝나고 난 후 매회 또는 서너 차례마다 수립된 치료 계획과 현재 치료 조준이 서로 정확하게 일치하는지를 검증하는 일련의 준비 과정을 거치는데, 그 결과를 담당 의사에게 보고하여 치료 진행 여부를 확인합니다.

이러한 여러 과정을 거치며 치료에 들어가게 되는데 전체 치료 오차를 5% 이하로 하여 정확한 방사선 치료를 구현하기 위한 노력의 일부라고 할 수 있겠습니다.

최근에 가장 대두가 되고 있는 첨단 방사선 치료 기술 중 하나인 방사선 수술은 고용량의 방사선을 1mm 이내의 정확도로 암 부위에 조사하여 종양을 급격히 괴사시키는 방사선 치료법으로, 초기암과 재발암에 대해 출혈 없이 외과적

수술과 동일한 치료 효과를 얻을 수 있다는 데서 방사선 수술이라는 표현을 사용하고 있습니다.

이와 같은 치료법은 치료 기술과 영상 의학 발전의 결과이며, 방사선 수술을 위한 방사선 치료 기기로는 사이버나이프, 감마나이프 및 선형가속기를 이용한 방사선 수술 등이 있습니다.

먼저 감마나이프는 가장 오랜 역사를 가진 방사선 수술 장비로서 200 여개의 코발트 60 방사선원을 이용하고, 뇌암 및 두경부암에 대해 방사선 수술을 수행할 수 있습니다.

침습적인 기계적 고정 장치를 이용하기 때문에 환자의 고통을 유발하는 원인이 되기도 하지만 치료 준비 과정에서 환자를 정확하게 조준할 경우 정확한 치료가 보장되는 장점이 있습니다.

선형가속기를 이용한 방사선 수술은 방사선종양학과에서 방사선 치료를 위해 일반적으로 사용하고 있는 선형가속기에 부대 장치를 설치하여 방사선 수술을 시행하기 때문에 치료 수가가 저렴하고 장비의 효과적인 활용이라는 측면에서 큰 장점이 있지만, 치료 정확도나 효과가 전용 장비에 비해 다소 떨어지는 단점이 있습니다. 최근에는 이러한 단점을 개선한 방사선 수술 전용 선형 가속기도 등장하고 있습니다.

이러한 단점들을 보완하여 가장 최근에 개발된 방사선 수술 전용 장비가 사이버나이프입니다.

사이버나이프의 주요 구성을 살펴보면 첫째, 기계적 정확도가 0.2

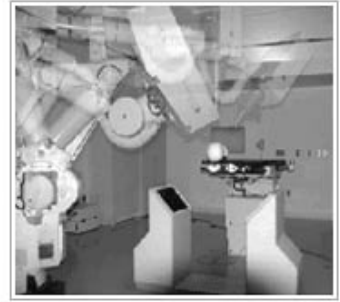
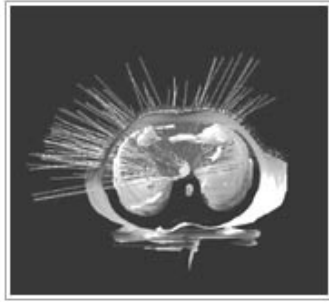
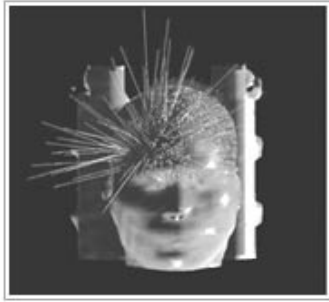
mm 이내인 최첨단의 6관절 로봇을 이용하여 최대 1,200 여 개의 서로 다른 방향에서 방사선을 조사하여 종양과 3차원적으로 동일한 방사선 분포를 얻을 수 있고, 치료 오차를 1mm 이내로 수행할 수 있는 고정밀의 치료 장비입니다.

둘째로 로봇 상부에 초소형의 6MV X-선 발생 장치를 장착하여 치료 중장비 무게에 의한 힘이나 비틀림 없이 정확한 치료를 수행할 수 있습니다.

셋째, 비침습성의 환자 고정 장치 사용으로 환자가 통증 없이 편안한 치료를 받을 수 있고, 네 번째로 미사일 항법 원리를 이용한 영상 검출 시스템을 사용하여 치료 중에 실시간으로 환자의 움직임을 인지하고, 로봇 스스로 이를 보정하여 치료하는 첨단 기술을 사용합니다. 또한 최근에는 환자의 호흡에 의한 종양의 주기적인 움직임도 감지하여 실시간으로 로봇이 종양의 움직임과 연동하여 치료함으로써, 폐암이나 간암 등과 같이 종양의 움직임이 많은 부위도 정확하게 치료할 수 있는 보다 향상된 기술도 등장하고 있습니다.

사이버나이프의 적용 대상으로는 먼저 뇌질환으로서 전이성 뇌종양, 원발성 뇌종양 등의 악성 뇌종양이나 청신경초종, 뇌수막종, 뇌하수체선종, 혈관모세종, 두개인두종 등 양성 뇌종양이 대상입니다.

두경부 질환 중에는 비인두암, 부비동암 등과 수술이 힘든 각종 이비인후과 종양에 사이버나이프



미사일 항법 기술을 채택한 영상 유도 기술로 병변의 위치를 실시간으로 추적한다. 즉 컴퓨터 단층 촬영에서 얻은 환자의 골격 또는 금침의 이미지와 실제 환자의 이미지를 컴퓨터에서 합성하여 병변의 위치를 알 수 있다.

로봇팔에 장착된 선형가속기에서 1,286개의 방향으로 방사선이 나오므로 정상 조직은 손상시키지 않고 오직 병변만 집중적으로 파괴시킨다.

<그림 4> 사이버나이프의 원리

를 이용할 수 있습니다.

그 외 뇌동정맥기형, 해면혈관종 등의 뇌혈관 질환이나 삼차신경통, 파킨슨씨병, 간질 등 기능성 질환이 적용 대상이 될 수 있습니다.

척추와 체부 등의 전신 질환에서도 사이버나이프는 훌륭한 치료 효과를 기대할 수 있는데 전이성 척추암, 원발성 척추암과 같은 악성 척추종양과 신경초종, 수막종 등의 양성 척추종양 그리고 동정맥기형, 혈관아세포종, 해면혈관종 등의 척추 혈관 질환이 대상이고 폐암, 간암, 췌장암, 전립선암, 자궁경부암, 유방암 등의 원발암이나 재발암에서도 탁월한 임상 효과를 보이고 있습니다.

우리 의학원에 사이버나이프가 도입된 지 5년 동안 1,700례에 가까운 사이버나이프 치료를 통해 많은 임상 치료 효과를 경험하였고, 국내 사이버나이프 의료진의 수준과 풍부한 경험은 과히 세계 최고의 수준이라 자부할 수 있습니다.

사이버나이프는 전신 종양에 대

해 제거 효과가 탁월하고 정상 조직의 손상이 가장 적은 방사선 치료 장비라 할 수 있습니다. 많은 분께서 사이버나이프를 고가 장비이기 때문에 진료비도 상당히 비쌀 것이라 인식하시지만, 일부 암에서는 의료 보험이 적용되므로 오히려 저렴하고, 단 며칠 만에 치료를 마치고 귀가하실 수 있기 때문에 그 장점은 실로 크다고 사료됩니다.

우리 의학원에서는 앞서서도 언급한 바와 같이 국내 최초의 코발트(Co-60) 심부치료기, 역시 최초의 중성자치료기 및 사이버나이프를 도입하여 임상 치료에 활용함으로써 국내 방사선 치료의 역사와 발전에 이바지한 바가 지대하다고 생각합니다.

아울러 과학기술부에서 주관하는 많은 연구 과제를 수행하며 방사선 치료 기술 및 장비, 임상 기술의 발전에 주력하여 왔습니다.

방사선 치료에 관련한 대표적인 성과로는 2건의 특허를 생산한 정위 방사선 분할 치료 시스템 개발

과제, 한국원자력연구원과 공동으로 7년의 연구 기간을 투자하여 하나로 원자로에 개발한 국내 최초이며 유일의 붕소중성자 포획 치료 설비와 치료 기술, 그리고 국내 방사선 관련 기술의 저변 확대를 위해 자체 개발한 7종의 방사선 조사 장치로 구축한 종합방사선조사센터 등이 있습니다.

아울러 국내 방사선 관련 기술의 저변 확대와 전국적으로 모든 암 환자가 양질의 방사선 치료를 받을 수 있는 기반 마련을 위해 경남 기장군에 동남권 분원을 건립 중이며, 여기에는 꿈의 방사선 치료 기기라는 중입자 치료기를 설치하기 위해 정부 부처와 협의 중입니다.

이는 우리나라에도 중입자 치료기와 같은 거대 첨단 치료 시설이 도입될 수 있다는 희망의 발로이며, 국가 위상을 고려할 때 이제는 우리도 이와 같은 치료 기반 시설을 이용하여 연구하고 최상의 방사선 치료를 시술해야 할 때라는 자신감의 표현이 될 것입니다. ☯