

입체 방사선 치료 기술과 입자선 에너지를 이용한 중양 치료

지연상 교수, 최성관 교수 (광주보건대학 방사선과)

1. 서 론

최근 노령화 증가와 함께 우리 주위에서 암이란 질환에 고생하는 사람들을 흔하게 볼 수 있다. 고도의 경제 성장과 좋은 환경에서 살아가는 현대인에게 무섭게 다가오고 있는 것이 암이다. 세계보건기구(WHO)의 발표 자료에 의하면 2007년 암으로 인한 사망자는 7백9십만 명에 이르고 있으며, 그것은 전체 사망원인의 13%를 차지한다. 2030년에는 암으로 인한 사망자가 1천2백만 명이 될 것으로 추정하고 있다. 우리나라로 인구 노령화가 급속하게 진행되고 있기 때문에 암환자의 발생률과 사망률이 계속 증가 할 것으로 예상된다. 현재 우리나라 국민의 사망원인 질환 1위는 “암”이다. 2008년 9월 통계청 사망원인연보에 따르면 우리나라 전체 사망자 24만 6천 1백 명 중 암으로 인한 사망자가 6만 8천 9백 명으로 28%가 암으로 사망했다. 21세기 과학기술은 빠른 속도로 발전하고 있으며, 더불어 의료기술도 눈부신 발전을 가져오고 있다. 세계는 계획 프로젝트를 통해 DNA를 해독하고 있으며 유전자 요법을 통해 암을 치료하려는 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직 까지도 암을 정복할 수 있는 확실한 기술은 발표되지 않고 있지만 최근 방사선 종양치료가 3D입체치료, 강도변조치료, 사이버나이프치료, 토모치료, 양자선 치료, 중입자선 치료 등의 기술이 개발되어 암이 정복 되어가고 있다.

2. 종양진단과 치료방법

2.1 숨은 암을 찾아내는 양전자방출-컴퓨터단층촬영(PET-CT)

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography ; PET)은 양전자를 방출하는 포도당과 유사한 방사성의약품(FDG)을 체내에 주사한 후 최첨단 의료기기(PET)를 이용하여 그 물질의 분포를 사진화시키는 것으로, 몸속에 있는 각 장기의 기능과 생리적 반응을 알 수 있는 특수한 검사이다. 대부분의 질병은 이상부위에 형태의 변화가 나타나기 전에 기능의 변화가 먼저 일어나는데 다른 영상검사는 형태의 변화만 보여주지만 PET은 형태와 기능의 변화를 볼 수 있는 검사법이다. 영상진단법은 인체의 형태 변화를 진단하는 컴퓨터단층촬영(CT), 핵자기공명장치(MRI) 등과, 조직의 기능변화를 진단하는 양전자방출단층촬영(PET)이 대표적인데, PET-CT는 PET 영상과 CT 영상을 동시에 촬영하여 병의 위치를 정확하게 진단하는 새로운 검사법이다.

즉, PET-CT는 우리 몸에 질병이 생겨서 일정한 크기의 종양을 만들기 전에 종양이 만들어 지는 과정에서 조기에 찾을 수 있는 PET과, 종양의 위치를 정확히 알 수 있는 CT가 결합한 첨단영상진단기기라고 할 수 있다. 또한 PET-CT는 CT의 도움으로 검사 시간을 25~30분 정도로 단축할 수 있으며, PET과 CT의 합성영상을 얻어 조직검사나 수술, 방사선치료를 위한 병의 위치확인에 큰 도움을 주고 있다.

PET의 원리는 살아있는 암세포에서는 포도당대사가 활발하여 정상세포보다 훨씬 많은 양의 포도당을 소모하므로 포도당 소비량을 반영하는 부위가 PET 컴퓨터 영상에 뚜렷이 나타나 정확한 진단이 가능하다. 따라서 PET은 주로 포도당 이용률이 높은 암의 진단, 항암제 치료나 방사선치료 후 평가, 수술 후 재발 유무, 전신전이 평가 등에 널리 이용되고 있다. 또한 뇌 PET 영상은 치매의 진단, 간질을 일으키는 위치확인, 뇌혈관질환의 추적관찰 등 신경학적 질환 및 정신과 질환에 이용되고 있다. PET은 전신을 영상화할 수 있기 때문에 비용 및 효과가 우수하여 의료 선진국을 중심으로 급속히 확산되고 있으며, 최근에는 국내에도 여러 대학병원뿐만 아니라 일반종합병원에서도 PET이 널리 이용되고 있다.

2.2 암의 치료 방법

임상에서 암을 치료하는 방법은 여러 가지가 이용된다. 암 덩어리를 메스로 잘라내어 암세포를 제거하는 수술방법, 방사선 에너지를 이용하여 암을 사멸시키는 방사선 치료법, 항암제라고 하는 화학약품을 정맥에 주사하여 전신에 퍼져있는 암 세포를 파괴하는 항암요법, 암 조직에 온도를 높여 암을 치료하는 온열요법, 인체의 항질병 면역체계를 강화하여 암을 치료하는 면역요법, 치료유전자를 체내의 원하는 장기로 전달하여 세포 내에서 새로운 단백질이 발현되도록 하여 질병을 치료하는 유전자 치료방법이 있다. 이러한 여러 가지 암 치료 방법 중에서 최첨단 의료장비를 이용한 방사선 치료법을 소개하고자 한다.

3. 입체 방사선치료

3.1 방사선 강도조절치료 (IMRT)

방사선종양학과에서는 최신 방사선치료 방법인 강도 조절 방사선 치료 (Intensity-Modulated Radiation Therapy ; IMRT)를 적용할 수 있는 새로운 선형가속기를 사용하고 있다. IMRT는 현재까지 개발된 방사선치료방법 중에서 가장 발전된 방법으로 기존의 방사선치료의 단점을 혁신적으로 보완한

신 개념의 치료 방법이다. 선형가속기 (Linear accelerator)란 전자총에 의해 전자를 진공상태의 선형관 안에 조사해 주면, 이 전자를 고주파 전자가파장을 이용하여 점차 가속시켜 매우 높은 에너지 (수천만볼트)의 방사선을 만들어주는 장치이다. 방사선의 암 치료 목적은 방사선을 조사하고자 하는 종양부위에 방사선량을 집중시키면서 주위 정상조직 특히 방사선에 민감한 정상조직에는 방사선 영향을 최소화하는 것이다. 또한 병소 내에서도 선량을 많이 전달해야 하는 지점과 상대적으로 적게 전달해야 하는 지점이 존재할 수 있고 정상조직의 피해를 줄이기 위해서도 빔의 강도를 조절해야 할 필요가 있다. 병소의 모양대로 선량을 전달하는 방법은 기존의 3차원 입체조형 방사선치료로도 가능했으나 강도조절 방사선치료가 본격적으로 도입되면서부터 시작되었다고 할 수 있다.

기존의 2차원 방사선치료에서는 정상조직을 보호하기 위한 차폐물을 만들어 전후 혹은 좌우 두 방향으로 치료하든지 전·후·좌·우 네 방향으로 치료하였으나 3차원 방사선치료에서는 CT 스캔에서 얻은 이미지를 3차원계획용 컴퓨터로 직접 받아 좀 더 정밀하게 3차원적으로 계획을 세우고 치료방향도 통상적인 전·후·좌·우 외에도 다양한 방향으로 치료할 수 있고 복잡한 차폐물도 사용할 수 있다. 이보다 더욱 발전된 방법이 IMRT인데 조사면의 형태와 조사시간을 전용컴퓨터로 계획하여 1 cm 넓이

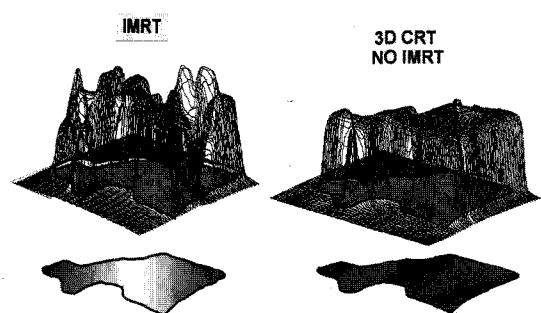


그림 1. IMRT와 3D Plan 치료 비교.

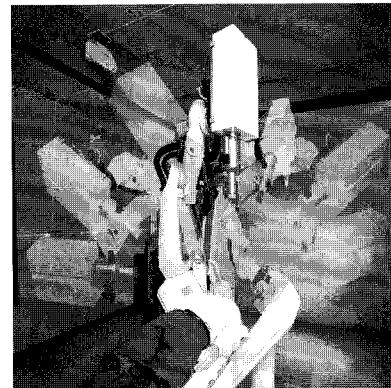


의 80개의 Leaf로 구성된 다엽콜리메이터 (Multileaf collimator)가 열리고 닫히는 수십 가지의 조건으로 변화시키면서 방사선을 집중적으로 조사하여 각 부분의 방사선강도까지 조절할 수 있는 치료법이다.

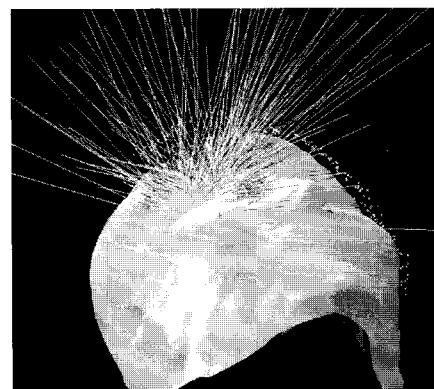
2차원 및 3차원 방사선치료는 방사선조사면에 같은 방사선량이 고르게 조사되지만 IMRT는 방사선조사면을 바둑판 모양으로 세분하여 각 부분에 방사선의 강도를 조절하여 다르게 조사할 수 있기 때문에 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다. 현재의 치료기술 수준으로 뇌종양, 두경부종양, 자궁암, 전립선암 등의 치료에 IMRT가 사용될 수 있고, 이번에 같이 도입된 호흡동조 (Respiratory Gaiting)장비를 이용하면 흉부종양 및 유방암도 IMRT를 적용해서 치료할 수 있을 것이며, 앞으로 그 적용 범위가 넓어질 것이다.

3.2 사이버나이프 (CyberKnife)

사이버나이프는 메스 대신 방사선을 조사해 종양을 제거하는 최첨단 치료 기기로 신체 어느 부위라도 안전하게 수술을 시행할 수 있도록 개발된 첨단 장비이다. 사이버나이프는 1994년 미국 스텐포드 대학에서 개발되어 첫 치료를 시작하였고, 2001년 미국 식품의약국 (FDA : Food and Drug Administration)의 승인을 받아 현재 암 환자의 획기적 치료에 기여하고 있다. 사이버나이프는 미국 항공우주국에서 개발한 우주선에서 사용하는 3차원 영상유도기와 치료용 고성능 컴퓨터에 의해 조정되는 로봇 팔에 방사선을 발생시킬 수 있도록 장착된 선형가속기를 통해 보다 정확하고 안전하게 방사선 치료를 시행할 수 있는 첨단 시스템이다. 사이버나이프는 선형가속기 장치와 6개축으로 이루어진 로봇팔과 영상유도기를 결합시킨 형태의 방사선 치료 장비이다. 동작이 자유로운 로봇 팔에 방사선 조사 장치인 선형가속기를 장착시켜 어느 방향에서든지 방사선을 조사시킬 수 있으며 영상 유도기술로 실시간 환자의 병변 위치를 확인할 수 있고, 천장에 달린 진단용 엑스선 발생기가 병변 추적용 엑스선을 조사하여 치료대 위에 누워있는 환자의 영상을 실시간으로 감지한다. 로봇 팔이 처음 CT로 촬영된 3차원 영상과 비교하면서 병변의 위치를 파악해 자동으로 1,296개의



(a)



(b)

그림 2. 6개축의 로봇 팔이 정착되고 1,296개 방향으로 방사선이 나온 사이버나이프.

방향에서 방사선을 조사하여 치료 할 수 있도록 설계되어 있다. 영상 유도기 (Imaged Guided Target Localization System)를 이용하면 신체 골격을 좌표로 하는 전혀 새로운 접근방식이 가능해 환자의 신체 어느 부위에 있는 병변에 대해서도 1 mm 이하의 정확도를 가지고 방사선 수술을 할 수 있다.

3.3 토모치료기 (TomoTherapy)

토모테라피란 방사선 치료기에 CT와 같은 영상 장치기능을 추가시킴으로써 예전의 방사선치료에 비하여 더욱 정확하고 효과적인 방사선 치료를 할 수 있도록 한 것을 말한다. 일반적으로 CT는 일정한

양의 방사선이 기계에서 나와서 환자의 몸을 투과하면서 환자 내부의 횡단면 사진 등을 얻는 것을 말한다. 토모치료기는 이러한 CT의 기능에 방사선치료 기능이 추가되어 CT상에서 어떤 종양이 보이면 그 종양부위에는 방사선이 집중 조사되고, 종양 이외의 부위에는 방사선이 최소화되어 조사되도록 한다. 종양 치료 방법은 환자의 방사선치료 여부가 결정이 나면 우선은 토모치료를 위한 CT 촬영을 한다. 그리고 이 CT 결과를 가지고 토모 방사선치료를 하기 위한 계획을 세운 뒤에 그 결과에 따라서 방사선치료를 하게 된다. 토모치료기의 가장 큰 특징은 방사선치료기에 붙어있는 CT의 기능을 이용하여 매번 치료 전에 CT를 촬영하여 환자의 자세와 위치가 정확을 확인 후 그리고 종양의 위치나 형태의 변화는 없는지를 확인한 뒤에 방사선 치료를 하게 된다. 토모테라피의 장점은 CT의 기능과 방사선치료의 기능이 조화된 장비이므로, 방사선 치료전후에 토모치료기에 내장되어 있는 Megavoltage CT를 촬영하여 종양부위 혹은 방사선 치료 부위가 정확하게 조준되었는지 확인하는 것이 가능한데, 이러한 기능을 영상유도방사선치료 (IGRT : Image guidedradiation therapy)라고 한다.

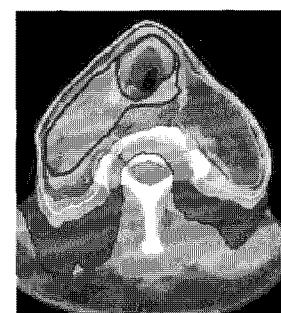
나선형으로 방사선치료를 하기 때문에 여러 부위에서 여러 개의 종양이 발견 되었을 때, 예전에는 항암제 치료를 하거나 가장 심한 한 두 곳만을 골라서 방사선으로 치료를 하는데 토모치료기를 이용하면 여러 개의 종양을 한꺼번에 방사선으로 치료할 수 있다. 이 경우에도 강도조절기능과 영상유도기능을 통하여 정확하고 효과적인 방사선 치료를 할 수 있다.

치료 과정 중에 종양의 크기 변화를 별도의 검사 없이 알 수 있다는 것이다. 방사선 치료 전후에 매번 촬영하는 CT 영상을 이용하여 종양의 크기가 줄어드는지 아니면 더 악화되는지를 치료하는 당시에 바로 알 수 있어, 이러한 변화를 바로 다음번 치료에 응용할 수 있다.

한 대의 장비로 일반 방사선치료의 효과는 물론 방사선 수술의 효과까지도 동시에 낼 수 있다. 방사선치료는 여러 가지 방법이 있지만 환자에게 맞는 방사선 치료 방법을 선택하려면 기능이 다른 장비를



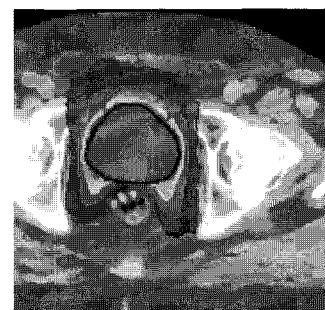
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. 종양의 모양과 수에 상관없이 치료가 가능한 토모치료계획.

이용하여야 하므로 환자나 의사들이 방사선 치료방법을 선택하는데 제한이 많았다. 그러나 토모치료는 현재 이용되는 모든 방사선치료 즉, 일반방사선치료는 물론, 정위적 방사선 수술, 강도조절 방사선치료, 영상유도방사선치료 등이 모두 가능하므로 방사선치료에 대한 선택에 제한이 없다.

3.4 양성자 치료

양성자 치료는 방사선 치료의 하나로 양성자를 가속시켜 이를 이용한 치료방법이다. 기존의 엑스선이나 전자를 이용한 방사선 치료는 빔의 강도가 체내에 흡입되어 곧바로 현저히 떨어진다. 즉, 이는 암세포와 충돌하기 전에 그 에너지가 정상세포조직에 손상을 줄 위험성이 높다는 것을 의미한다. 하지만 양성자 치료는 체내에서 양성자의 에너지 흡수가 최대깊이(암세포가 위치한 체내깊이) 바로 전에서 일어나므로 정상조직에의 에너지 흡수는 엑스선을 이용한 방사선치료에 비하여 매우 낮다. 사이클로트론을 이용하여 가속된 양성자선은 몸속을 통과하면서 정상조직에 장해를 주지 않다가 암 조직 부위에서 최고의 에너지를 조사하여 암세포의 DNA를 파괴한다. 이후 양성자선은 바로 소멸하고, 암 조직 뒤에 있는 정상조직에는 방사선 영향을 주지 않는다. 양성자선의 치료방법은 양성자가속기인 Cyclotron에서 생성된 최대 230 MeV, 300 nA의 전류를 갖는 양성자 빔이 에너지 선택장치, 빔 이송장치, 노즐을 차례로 통과하며 각 환자에 적합하도록 빔의 전류, 위치, 형상 등을 조정한 후, 환자위치장치에 있는 환자의 치료부위에 정확하게 빔을 조사하여 치료하도록 설계되어졌다.

3.5 중입자 가속기 치료

중입자 치료란 환자의 몸속에 탄소 입자(탄소이온선)를 조사하여 암세포만을 선택하여 사멸시키는 방법이다. 엑스선과 같은 빛은 우리 몸을 향해 조사할 경우 몸을 통과해 빠져나가게 되지만, 탄소 입자는 빛이 아니기 때문에 몸속에 잘 들어가지 않는다. 탄소입자를 몸 속 암세포까지 조사하려면 엄청난 에너지가 필요한데 이 에너지를 만드는 것이 바로 중입자 가속기이다. 직경이 30미터인 대형 원형 가속

기에 탄소입자를 집어넣고 회전시키는데 1초에 200만 번 이상, 빛의 속도의 70%까지 가속된다. 탄소는 엄청난 속도로 우리 몸 속 25센티미터 정도까지 뚫고 들어가 암세포와 같은 특정 세포만을 죽이게 되는 것이다. 우리가 꿈의 암치료기라고 부르는 이유는 탄소 입자의 성질을 이용해서 정상세포를 죽이지 않고 암세포만 파괴할 수 있어 항암부작용이 없기 때문이다. 중입자가속기는 항암 부작용이 거의 없다고 말한다. 기존의 치료법인 엑스선 치료의 경우에는 빛이 우리 몸을 통과하면서 에너지를 많이 잃게 된다. 우리 몸의 반대편으로 빠져나갈 때의 에너지는 처음의 40% 정도에 지나지 않을 정도이다. 그러니까 암세포를 죽이기 위해서는 암세포를 죽일 수 있는 강도보다 더 높은 세기로 엑스선을 조사해야 몸속의 암세포를 죽일 수 있게 된다. 엑스선이 암세포에 도달하기 전에 거쳐야 하는 정상세포들의 DNA가 먼저 파괴되는데 이게 바로 항암 부작용이다. 하지만 중입자의 경우는 다르다. 탄소 입자는 우리 몸속에 들어갈 경우 일정부분까지 도달한 뒤 늦게 폭발하는 성질을 가지고 있다. 탄소가 암세포에 도달한 뒤 터진다면 정상세포의 장해를 최소화하고 암세포만을 골라 사멸할 수 있는데 이게 바로 중입자 치료의 원리이다. 치료가 불가능하다고 여겨졌던 암도 치료가 가능해진 이유이다. 중입자 가속기는 수술과 같은 기존의 치료법으로는 어려웠던 난치 암도 완치될 수 있는 가능성이 높다. 난치 암의 치료가 50%에서 최고 90%까지 이뤄지고 있다. 또 완치의 기준이 되는 5년 생존율을 보면 기존 치료법보다 20% 포인트 이상 높아졌다. 또 기존에는 치료가 불가능했던 재발 암 환자도 43%가 완치된 것으로 나타났다. 신약을 개발할 때 5년 생존율이 5%만 높아져도 엄청난 효과가 있는 것으로 여겨지는 것과 비교해보면 중입자 가속기의 효과를 어느 정도 짐작할 수 있다. 그러나 모든 암을 치료할 수 있는 것은 아니다. 중입자 치료는 암이 국소부위에 한정돼 있어야 한다. 예를 들어 혈액 암의 경우에는 약물 등을 통한 화학요법을 써야 하고, 암세포가 위벽이나 장벽과 같은 기관에 가까이 있다면 입자선이 장기의 벽을 파괴해버릴 우려가 있어 중입자 치료는 맞지 않다. 중입자 치료가 효과가 높은 것이지 모든 것을 치료할

수 있는 것은 아니라는 것이다. 하지만 현재 치료할 수 있는 암의 영역을 계속 넓혀나가고 있고, 치료기 간도 2주에서 3주 정도로 매우 짧은 점과 수술이 아니기 때문에 치료 중에도 통증이 없고 수혈도 필요 없다는 점은 정상생활을 하면서 암을 치료할 수 있다는 것은 중입자 가속기가 가지는 훌륭한 장점이라고 할 수 있겠다.

중입자가속기는 처음 미국에서 연구용으로 개발됐다. 하지만 이를 응용해 치료용으로 개발을 해낸 것은 바로 일본이었다. 탄소입자가 치료 효과가 있다는데 착안한 것이다. 이후 탄소이온선을 이용한 일본형 중입자가속기의 치료 효과가 나타나면서 독일도 빠르게 중입자가속기를 도입해 현재 전 세계에 중입자가속기가 곳곳에서 도입될 전망이다.

세계 최초로 중입자가속기를 만들어 연구에 나섰던 미국은 아르곤 중입자에 대한 연구에 집중을 해왔다. 하지만 아르곤은 치료효과가 매우 크지만 그 만큼 부작용도 만만치 않은 것으로 나타나 결국 아르곤 중입자를 포기하고 일본식 탄소 중입자가속기를 도입하기로 결정했다. 현재 미국 외에도 이탈리아와 오스트리아 등 많은 국가들이 중입자가속기의 도입을 서두르고 있다. 우리나라로 2015년까지 원자력 의학원에 중입자가속기를 건설할 예정이다. 원자력 선진국인 우리나라라는 입자를 빛의 속도로 가속시키는 기술은 이미 확보하고 있다. 다만 입자를 암세포에 정확히 명중시킬 수 있는 독자기술을 확보하는 것은 앞으로 남은 과제이다. 일단 중입자 선진국과의 기술 제휴가 추진이 되고 있는데 이를 통해 수준 높은 한국형 치료기가 탄생을 할 수 있을지 기대를 모으고 있다. 가속기의 설계에 2년 정도가 걸리고 시설의 완공까지 또 2년이 걸린다. 시설물이 다 들어섰다고 곧바로 환자 치료에 나설 수는 없는데 어느 정도의 세기로 입자를 조사하여 암세포가 파괴되는지와 같은 여러 가지 임상실험을 거쳐야 하는데 여기에 다시 1년이 소요하게 된다. 그래서 모두 5년이 걸릴 걸로 예상이 되는데 이것보다 더 앞당겨 짓는 것은 무리가 따른다. 중입자가속기의 단점이라면 높은 치료비이다.

4. 결 론

향후 우리 앞에 다가올 방사선치료 현실은 각종 의료영상을 얻어서 중입자 에너지를 이용한 적절한 치료 계획과 재현성 있는 영상유도가 가능할 것으로 사료된다. 환자가 치료하고자 하는 의지와 경제적인 문제가 해결된다면 방사선 종양치료는 완치율이 향상될 것이다. 많은 사람들은 암이란 내가 아닌 남들에게만 걸릴 수 있고 운이 나쁜 사람에게만 오는 질환으로 자기건강은 안전하다고 생각하면서 살아가고 있다. 하지만 청소년, 성인, 노인 등이 그 대상이 되고 있다. 암은 예방 가능한 질환이라는 인식이 고취되어져야 한다. 암 예방 수칙으로 담배 피우지 말기, 채소와 과일을 비롯한 균형 잡힌 식사하기, 음식은 짜고 탄 것 먹지 않고, 땀이 날 정도로 매일 30분 이상 운동하기, 자신의 체격에 맞는 체중 유지하기, B형 간염 예방접종 받기, 나이에 따른 조기 암 건강검진을 받음으로 암을 충분히 예방할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Mackie TR, holmes T, Swerdluff S, et al, tomotherapy: a new concept for the delivery of conformal radiotherapy using dynamic collimation. *med phys*, 20:1709~1719, 1993.
- [2] Yu CX. Intensive modulated arc therapy: a new method for delivering radiation therapy. In: Sternick ES, ed. *The theory and practice of intensity modulated radiotherapy*. Madison, WI: advanced Medical publishing, 107-120, 1997.
- [3] Curran B. conformal radiation therapy using a multileaf intensity modulation collimator. In: Sternick ES, ed. *the theory and practice of intensity modulated radiotherapy*. Madison, WI: advanced medical Publishing, 75-90, 1997.
- [4] Carol MP, Grant W, bleier AR, et al. The field-matching problem as I applies to the Peacock three-dimensional conformal system for modulation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 183-187, 1996.



- [5] Chui CS, Spirou S, LoSasso T. Testing of dynamic multileaf collimation. *Med Phys*, 23:635-641, 1996.
- [6] LoSasso T, Chui CS, Ling CC. Physical and dosimetric aspects of a Multileaf collimation system used in the dynamic mode for implementing intensity modulated radiotherapy. *Med Phys*, 25:1919-1927, 1998.
- [7] Boyer A, Xing L, Ma C-M, et al. theoretical considerations of monitor unit calculations for intensity modulated beam treatment planning. *Med phys*, 26:187-195, 1999.
- [8] Kung JH, Chen GTY, Kuchnir FK. A monitor unit verification in intensity modulated radiotherapy as a dosimetry quality assurance. *Med phys*, 27:2226-2230, 2000.
- [9] Sternick ES Carol MP, Grand W. Intensity-modulated radiotherapy. In: Khan FM, Potish RA, eds. *Treatment planning in radiation oncology*. Baltimore: Williams & Wilkins, 187-213, 1998.
- [10] Mackie TR, Rechwerdt P, McNutt T, et al. Photon beam dose computations. In: Mackie TR, Palta JR, eds. *Teletherapy: present and future*. Madison, WI: Advanced Medical Publishing, 103-135, 1996.
- [11] Levitt SH, Khan FM. The rush to judgment: dose evidence support the enthusiasm over threedimensional conformal radiation therapy and dose escalation in the treatment of prostate cancer? *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 51:871-879, 2001.
- [12] Swindell W, Simpson RG, Oleson JR, et al. Computed tomography with a linear accelerator with radiotherapy applications. *Med Phys*, 10:416-420, 1983.
- [13] Gildenberg, P.L., Tasker, R.R. (editors), "Textbook of stereotactic and functional neurosurgery", McGraw-Hill, New York, New York, U.S.A, 1998.
- [14] McCullough, E.C., "Intraoperative electron beam radiation therapy (IORT)", in "Advances in Radiation Oncology Physics - Dosimetry, Treatment Planning, and Brachy-therapy", edited by J. Purdy, American Institute of Physics, New York, New York, U.S.A, 1992.
- [15] Podgorsak, E.B., Podgorsak, M.B., "Stereotactic irradiation", in "The Modern Technology in Radiation Oncology: A compendium for Medical Physicists and Radiation Oncologists", edited by J. Van Dyk, chapter 16, pp.589-640, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, U.S.A, 1999.
- [16] Podgorsak, E.B., Podgorsak, M.B., "Special techniques in radiotherapy", in "The Modern Technology in Radiation Oncology: A compendium for Medical Physicists and Radiation Oncologists", edited by J. Van Dyk, chapter 17, pp. 641-693, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, U.S.A, 1999.
- [17] Sternick, E.S.(editor), "The theory and practice of intensity modulated radiation therapy", Advanced Medical Publishing, Madison, Wisconsin, U.S.A, 1997.
- [18] Veeth, J.M., "Intraoperative radiation therapy in treatment of cancer", in "Frontiers of Radiation Therapy and Oncology", 31, Karger, Basel, Switzerland, 1997.
- [19] Webb, S., "The physics of conformal radiotherapy", Institute of Physics Publishing, Bristol, United Kingdom, 1997.
- [20] Wolkov, H.B., "Intraoperative radiation therapy", in "Textbook of Radiation Oncology", edited by S.A. Leibel & T.L. Philips, W.B Saunders Co., Philadelphia, Pennsylvania, 1998.
- [21] Christine E. Oh, Kyle Antes, Michel Darby, et al.: Comparison of 2D conventional, 3D conformal, and intensity-modulated treatment planning techniques for patients with prostate cancer with regard to target-dose homogeneity and dose to critical, uninvolved structures. *Med Dosim*, 24:255-263, 1999.
- [22] Carlson D: Intensity modulation using multileaf collimators: current status. *Med Dosim*, 26:151-156, 2001.
- [23] Cheng CW, Das IJ: Comparison of beam characteristics in intensity modulated radiation therapy (IMRT) and those under normal treatment condition. *Med Phys*, 29:226-230, 2002.
- [24] Cheng B Saw, Komanduri M Ayyangar, Weining Zhen, et al.: Clinical implementation of intensity-modulated radiation therapy. *Med Dosim*, 27:161-169, 2002.
- [25] Glenn Bauman, Slav Yartsev, George Rodrigues, et al.: A prospective evaluation of helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 68:632-641, 2007.
- [26] Robert Jeraj, Thomas R. Mackie, John Balog, et al.:

- Radiation characteristics of helical tomotherapy.
Med Phys,31:396-404, 2004.
- [27] Kissick MW, Fenwick J, James JA, et al.: The helical tomotherapy thread effect. Med Phys,32:1414-1423, 2005.
- [28] ICRU Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50). international Commission of Radiation Units and Measurements (ICRU 62, Bethesda, MD 1999).
- [29] Thomas H Wagner, Francis J Bova, William A Friedman, et al.: A simple scoring ratio to index the conformity of radio surgical treatment plans. Int J Radiat Oncol Biol Physics, 57:1141-1149, 2003.

저|자|약|력|



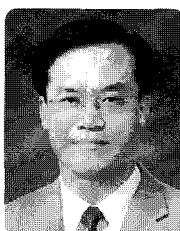
성 명 : 지연상

◆ 학 력

- 1990년 조선대학교 대학원 전자계산학과 이학석사
- 1999년 조선대학교 대학원 전자계산학과 이학박사

◆ 경 력

- 1991년 - 1993년 조선대학교 전자계산학과 강사
- 1994년 - 현재 광주보건대학 방사선과 교수



성 명 : 최성관

◆ 학 력

- 1998년 순천대학교 행정대학원 행정학과 행정학석사
- 2007년 조선대학교 대학원 보건학과 보건학 박사

◆ 경 력

- 2000년 - 2003년 광양보건대학 방사선과 교수
- 2004년 - 2007년 한려대학교 방사선학과 교수
- 2008년 - 현재 광주보건대학 방사선과 교수

