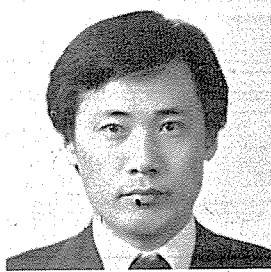


# 醫學과 加速器



강 위 생  
(서울대 의대 교수)

## ◇ 머리말

의학과 가속기간의 관계는 사돈의 팔촌보다 훨씬 인연이 없는 것으로 여기는 편이 오히려 당연한 것 같다. 그럼에도 의학과 가속기 사이의 인연을 찾으려고 고집하고 있으니 무슨 억지를 쓰려나 하고 궁금해 하는 것도 무리는 아닐 것이다.

의학이란 질병을 진단하고 치료하며 또한 예방도 하여 인간의 고통을 덜어주는 것에 관한 학문인데 반해 가속기란 입자를 가속시키는 장치로서 물리학의 연구의 대상이며 수단이기 때문에 의학과는 무관하게 개발 발전되어 왔다. 그렇지만 오늘날에는 질병의 진단과 치료에 필수적인 장비로서 가속기가 의료계에 중요한 위치를 차지하고 있다. 우리나라에서는 부끄럽게도 물리학계보다 의료계에 가속기가 먼저 설치되었고 그 수도 의료계에 더 많다. 가속기가 의

학에 어떻게 이용되는지 알기 위해서는 가속기에서 무엇이 방출되고, 방출된 것들이 어떤 특성을 가지고 있기에 질병의 진단과 치료에 이용될 수 있는지 알아보는 것이 좋을 듯하다.

## ◇ 가속기에서 무엇이 방출되는가?

가속기란 전자나 양성자 또는 이온과 같은 하전입자(전기를 띤 입자)를 강력한 전기장이나 자기장으로 가속시켜 하전입자가 높은 운동에너지로 갖게 하는 장치이다. 가속기로는 정전고압발생기(Van de Graaff generator)와 사이클로트론, 싱크로사이클로트론, 베타트론, 싱크로트론, 선형가속기(linear acclerator), 마이크로트론 등이 있다. 이와 같은 가속기에 의해 높은 에너지를 얻은 하전입자들의 장래는 어떻게 될까?

사격할 때 총구를 빠져나간 탄환이 어떤 사건을 일으키는지 알아보는 것이 고속 하전입자의 장래를 이해하는데 도움이 될 것이다. 탄환은 날아가다가 물체를 만나 충돌하게 된다. 물체가 얇은 나무판인 경우는 탄환은 관통할 것이고, 두꺼운 나무판이면 탄환은 나무에 박혀버릴 것이다. 유리와 같이 잘 깨지는 물체와 탄환이 충돌하면 유리가 박살이 나게 깨지거나 구멍이 뚫리기도 할 것이다. 바위와 같이 단단한 물체와 충돌하면 일부만 깨뜨리면서 탄환은 어디론가 튀어나간다.

가속기 내에서 높은 에너지를 얻은 고속 하전입자는 언제까지나 가속기 내에 존재하는 것이 아니고, 언젠가는 창을 통해 가속기 밖으로 나오게 된다. 창밖에 장애물인 타겟을 두면, 탄환이 물체를 통과하거나 물체와 충돌하여 물체 속에 박히거나 물체를 깨면서 흩어지는 것과 마찬가지로 고속하전입자로 타겟을 투과하기도 하고 타겟과 충돌하여 타겟에 박히기도 하고 타겟에 의해 흩어지기도 한다. 탄환과 물체의 충돌이 물체의 표면에서 일어나는 거시적인 현상과는 달리 가속기로부터 방출된 고속하전입자는 타겟의 표면 뿐만 아니고 어디서든지 타겟을 이루고 있는 원자와 충돌을 일으킨다. 고속하전입자는 원자의 외각전자를 원자로부터 분리시켜 불안정한 원자를 만들기도 하고 원자핵과 충돌하여 원자핵을 다른 불안정한 핵종으로 바꿔버리기도 한다. 불안정한 원자나 핵이 안정되어 가는 과정에서 또 다른 새로운 입자나 전자기파가 방출된다. 이와같이 가속기에서 직접 방출된 고에너지 하전입자는 물론이고 이 하전입자가 타겟과 충돌할 때 방출되는 입자나 전자기파를 알파선, 베타선, 감마선과 더불어 방사선이라 일컫는다. 즉, 인간은 가속기를 이용해 인공적으로 방사선을 만들 수가 있다. 인공적으로 만들 수 있는 방사선으로는 가속기로부터 직접 방출되는 고에너지 하전입자 뿐만 아니라 X선이나 중성자선 또한 중간자를 비롯한 모든 소립자까지도 가능하며, 방사성동위원소마저도 인공적으로 얻을 수 있다. 이런 인공적인 방사선이나 방사성동위원소는 가속된 하전

입자의 종류나 에너지 또 타겟 물질의 원소에 따라 다르다.

◇ 방사선은 의료에 어떻게 이용되는가?

가속기로부터 방출된 방사선이 어떤 특성을 가지고 있기에 의학에 이용되는지 알아보자.

방사선치료에 가장 널리 이용되고 있는 방사선은 X선이다. X선발생용 가속기로는 전자를 가속시키는 장치들인 선형가속기, 베타트론, 마이크로트론이 있는데 그 중 선형가속기가 가장 많이 보급되어 있다. 국내에도 선형가속기 14대와 마이크로트론 1대가 병원에 도입되어 있다. 그런 가속기에서 방출되는 X선의 에너지는 MeV 크기이며 전자의 방출로 가능하다.

X선은 원자와 충돌하여 간섭성산란이나, 광전흡수, 콤프톤산란, 쌍생성, 광핵반응에 의해 에너지를 잃는다. 특히 광전흡수와 콤프톤산란, 쌍생성 작용에서는 고속전자가 방출된다. 이 전자들은 물질속을 통과하면서 원자(또는 분자)와 충돌하여 원자나 분자를 전리시킨다. 인체의 세포를 이루고 있는 물질의 80%가 물이기 때문에 X선이나 전자는 주로 물분자와 충돌하여 물분자를 전리시킨다. 형성된 이온은 다시 다른 분자와 충돌하여 자유기(주로 수산화기)를 생성한다. 이들 자유기는 쌍을 이루지 못한 전자를 가지고 있어서 다른 분자와 쉽게 반응한다. 특히 DNA와 같은 세포의 생명에 중요한 분자와 반응하여 세포의 사멸을 초래한다.

중성자는 직접 가속시킬 수는 없지만 중양성자를 사이클로트론으로 가속시켜 삼중양성자나 베릴륨 타겟을 이용해 고에너지 중성자를 얻는다. 조직에 들어온 중성자는 원자핵과 충돌하여 원자핵을 되튀게 하거나 분열시킨다. 중성자에 의해 에너지를 얻은 입자들이나 가속기에서 직접 방출되는 양성자나 이온들도 원자의 전리에 의해 세포를 죽일 수 있다.

중간자는 거대한 가속기에 의해서만 생성이

가능하다.  $\pi^-$  중간자는 전자와 마찬가지로 방법으로 원자를 전리시키기도 하고, 정지할 무렵에는 원자핵에 흡수되어 원자핵을 분열시키기도 하여 에너지를 잃고 세포를 죽인다.

방사선치료만 가속기가 필요한 것이 아니고 방사선진단에도 가속기가 필요하다. 핵의학에 필요한 여러가지 방사성동위원소( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{123}\text{I}$  등)는 양성자나 중양성자를 사이클로트론으로 가속시켜 타겟을 때려 생성한다. 양성자나 중양성자 그의 중이온을 이용한 방사선촬영에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있으며 X선에 의한 촬영보다 더 질이 좋은 질의 방사선사진을 얻을 수 있다는 보고도 있다.

### ◇ 왜 가속기가 필요한가

가속기의 필요성에 관해 앞에서 간단히 언급하기는 했지만 충분한 것은 아니다.

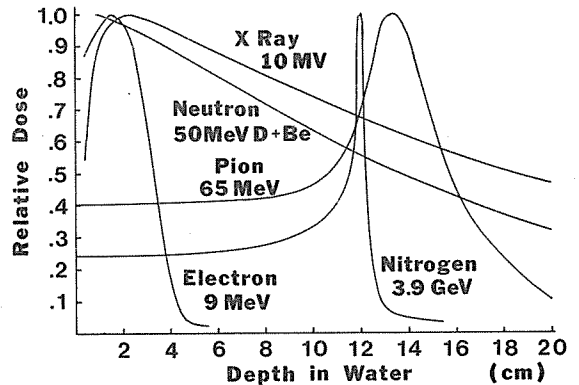
방사선치료의 대상이 되고 있는 질병은 거의 종양이며, 종양의 위치와 크기는 다양하다. 정상조직 아래에 있는 종양까지 도달할 정도로 방사선의 에너지는 충분히 높아야 한다. 선량은 짧은 시간내에 치료를 끝낼 수 있도록 충분히 높아야 한다. 선량이란 단위질량의 조직이 단위시간당 흡수하는 에너지이다. 선형가속기등 X선발생용 가속기도 X선관도 X선발생장치이지만 가속기가 앞의 두가지를 훨씬 잘 충족시켜 주고 있다. X선이 방사선치료에 중요한 역할을 해왔으며 앞으로도 그 역할이 클 것이지만 몇가지 문제점을 가지고 있다.

첫째로 종양의 위와 아래에 상당히 많은 선량이 전달되고 있으며, 둘째로는 혈액순환이 원활하지 못한 거대한 종양은 산소결핍으로 말미암아 치료가 잘 되지 않는다. 첫째 문제점은 여러 방향에서 조사하면 X선만으로도 해결할 수 있지만, 둘째 것의 해결은 X선으로는 어렵다. 방사선에 의한 산소결핍의 문제점의 해결 방법으로는 방사선에 대한 세포의 감수성이 세포중 산소농도에 무관한 방사선을 이용하는 것이다. 중성자나  $\pi^-$  중간자등에 대한 세포의 감

수성은 산소의 양에 별로 영향을 받지 않는다. 그래서 저산소증에 있는 종양의 치료에는 중성자나  $\pi^-$  중간자가 효과적이다.

그림에서 볼 수 있는 것처럼  $\pi^-$  중간자(pion)와 질소이온( $\text{N}^+$ )의 선량분포는 X선이나 중성자선에 비해 특이하다. 입자들의 비정의 끝에서 선량이 갑자기 증가한다. 그와 같은 선량곡선의 뿔을 Bragg peak라 한다. Bragg peak는 전자를 제외한 고속하전입자에 대해서는 존재하며 이 Bragg peak는 방사선치료자의 관심을 집중시키기에 충분하였다. 즉, 종양을 전후한 정상조직에 비해 종양에만 집중적으로 많은 선량을 줄 수 있다는 것이다.

전자선의 이점도 간과될 수는 없다. 최대 선량점보다 약간 깊은 곳에서 선량이 급격히 감소함을 그림에서 볼 수 있다. 즉, 종양보다 깊은데 있는 정상조직이 선량을 훨씬 적게 받는다는 것을 뜻한다.



여러가지 방사선에 대하여 살펴보았다. X선이나 전자선, 중성자선은 비교적 낮은 에너지의 가속기로도 생산이 가능하지만,  $\pi^-$  중간자나 양성자, 질소이온등은 100Mev이상의 아주 높은 에너지까지 가속시킬 수 있는 거대한 가속기라야 만 얻을 수 있다. 그래서  $\pi^-$  중간자나 양성자, 중이온등을 방사선치료에 이용하기 위해 병원에 거대한 가속기를 설치하기란 경제적인 면에서나 공간적인 면에서 거의 불가능하다. 그렇지만 물리학의 연구나 의학적인 이용등이 가능한 거대한 가속기가 국가적인 차원에서 하나 세워져야 할 것이다.