

이리듬과 세슘의 혼합선원을 이용한 강내치료의 선량계획에 관한 연구

전주 예수병원 방사선종양학과

강정구 · 김수곤

Buchler용 강내치료장치에 대한 선량계산 프로그램을 개발하였다. 프로그램 디스크를 5도씩 72분할하여 구한 좌표에서 선원의 왕복 크기와 선원분포를 결정하였다. 프로그램 디스크별 그리고 각 선원별로 선량률을 계산하여 표로 작성하였다. 이 선량률표를 이용하여 인체내 관심점에 대한 선량률 계산에 이용하였으며 등선량 분포곡선을 구하였다. 기존 Buchler용 등선량 분포곡선을 이용한 근사적 계산보다 정확한 선량계산을 손쉽게 할 수 있었다. 또한 탄뎀의 선원으로 이리듬을 사용하였기에 선원의 장기적 수급문제가 해결되었다.

중심단어: Buchler, 밀봉선원, 이리듬, 세슘

서 론

Buchler의 강내치료장치는 3개의 applicator중 tandem의 선원이 디스크의 회전 에 따라 움직이는 이동 방식으로 되어있다. 또한 선량 및 치료시간을 계산하기 위한 전산 프로그램이 마련되어 있지 않다. 따라서 선량계산은 Buchler사에서 제공된 등선량 그래프를 이용하여 근사적 방법으로 계산하고 있다. 이에 따라 근사적 방법을 대신하여 좀더 빠르고 정확한 선량계산 프로그램의 필요성이 제기되어 왔다. 이에 본 저자들은 Buchler용 선량계산 프로그램을 자체 개발 하였다.

본 연구에서는 프로그램 디스크별로 움직이는 선원에 대해 가상 선형선원으로 환산한 후 이 가상 선형선원 주위의 각 좌표점의 선량률을 다점 분할방식으로 구하여 프로그램 디스크별 선량률 표를 만들었다. 실제 치료시의 선량계산은 미리 계산된 선량률 표를 선원의 좌표에 따라 참조하여 전체선량을 계산하는 표 참조방식을 이용함으로써 시간을 크게 줄일수 있었다. 따라서 치료시 중요 부위의 선량을 실시간으로 정확하게 계산할 수 있다.

재료 및 방법

1. 선원의 선량률 계산

일반적으로 선형선원은 방사성 화합물을 캡슐속에 밀봉시켜 제작하며 캡슐속에 방사성 물질을 넣는 기하학적 구조에 따라 선원의 특성이 결정되어 진다. 밀봉선원의 선량 계산은 다음 식에 의해 계산되어진다.¹⁾

$$\dot{D}(r,\theta) = \frac{S_K \cdot \Gamma \cdot G(r,\theta) \cdot F(r,\theta) \cdot g(r)}{G(1\pi/2)} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 r 은 밀봉선원을 실린더형의 대칭이라 가정한 방사상 거리이고 θ 는 선원의 종축에 대한 극좌표 각도이다. S_K 는 지수 함수적으로 감소하는 공기커마 강도이며 Γ 는 선량률 상수로 이리듬 192의 경우 $1.12cGy \cdot hr^{-1}U^{-1}$ 를 사용한다. $G(r,\theta)$ 는 선원의 기하학적 계수이고 $g(r)$ 은 방사상 선량함수인데 Meisberger의 다항식 $g(r) = a_0 + a_1r + a_2r^2 + a_3r^3$ 이 사용되며 이리듬의 경우 $a_0 = 1.0128, a_1 = 5.01 \times 10^{-3}, a_2 = -1.178 \times 10^{-3}, a_3 = -2.008 \times 10^{-3}$ 이 사용된다.

$F(r,\theta)$ 는 비대칭계수로 선원 제작자에게서 공급된다.²⁾

2. 선원의 선량률표 작성

여러개의 선원을 인체 조직내에 삽입 하였을 때 각 지점의 흡수선량은 매우 복잡하여 계산시간이 많이 소요된다. 따라서 계산시간을 단축하기 위하여 사용하고자 하는 선원 주위의 각 좌표점에 대한 선량률을 계산하여 표로 만들어 놓는다. 실제 치료시 환자의 각 좌표점에서의 선량은 각 좌표점과 선원과의 거리를 선원의 종축과 횡축에 대해 계산한다음 미리 계산해 놓은 선량률표를 참조하여 구한다. 선량률의 계산은 가상 선형선원을 N개의 미소 단위선원으로 나누어 각각의 미소단위 선원에 대한 선량률을 계산한 후 N개의 미소단위 선원에 대한 선량률을 모두 합하여 가상 선형선원의 전체 선량률 표를 구하였다. 이러한 알고리즘은 미소단위 선원의 수 N을 아주 크게 함으로써 매우 정확한 선량률 표를 구할 수 있다. Active length L인 가상 선형선원 주위의 임의의 지점 P(x,y)의 선량률 \dot{D}_P 는 다음의 식을 이용하여 계산 하였다.

$$\dot{D}_P = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot \Gamma \cdot f}{d^2} \cdot C_W(d_1) \cdot C_t(d_2) \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 A_i 는 i번째 단위선원의 activity이고 단위는 mCi이며 f는 선량 변환계수이며 Γ 는 선원의 감마계수이며 d는 j번째 단위 선원으로부터 선량률 계산점 P(x,y) 까지의 거리이다. $C_W(d_1)$ 은 밀봉물질 두께 d_1 을 통과 하면서 감쇄하는 흡수계수이며 $C_t(d_2)$ 는 선원의 외곽으로부터 선량률 계산점 P(x,y)까지의 인체 조직거리 d_2 를 통과하면서 감쇄하는 조직내 흡수계수이다. $C_W(d_1)$ 과 $C_t(d_2)$ 는 각각 다음과 같이 계산하였다.

$$C_W(d_1) = e^{-\lambda d} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_t(d_2) = A + B d_2 + C d_2^2 + D d_2^3 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 λ 는 캡슐의 재질과 선원 물질에 의해 정해지는 실효 흡수계수이다. A, B, C, D는 Table 1에 보인 Meisberger의 계수를 사용했다.

Table 1. Polynomial fitting coefficients.

Isotope	A ($\times 10^0$)	B ($\times 10^{-3}$)	C ($\times 10^{-3}$)	D ($\times 10^{-5}$)
¹⁹² Ir	1.013	5.019	-1.178	-2.008
¹³⁷ Cs	1.009	-9.015	-0.346	-2.817

3. 이동선원의 선량률 계산

Buchler의 강내치료 장치는 프로그램 디스크를 회전시키면 Tandem의 선원이 프로그램 디스크의 곡면 형태에 따라 움직이는 방식으로 선원의 길이가 5~6 cm인 선형선원 역할을 하고 디스크의 모양에 따라 선원의 loading을 변화시킬 수 있다. 또한 Ovoid에 사용되는 세슘선원의 크기도 2 cm가 되므로 dwell 타입에서 사용하는 점선원 방식과는 차이가 있다. 따라서 회전하는 프로그램 디스크에 따라 선원의 크기와 분포가 다른 가상 선형선원으로 취급하여 선량률을 계산하였다. 프로그램 디스크는 분당 6회전 하도록 되어 있으며 디스크 반경변화분의 2배만큼 선원이 움직이도록 되어있다. 따라서 프로그램 디스크가 완전히 6회전 했을때의 선원의 이동을 기준으로 선량률을 계산 하였다. 그러나 프로그램 디스크가 회전하고 있는 동안에 치료시간이 도달되어 선원이 저장 위치로 되돌아가기 때문에 생기는 오차는 피할 수 없다.

각 디스크별로 선형선원을 가정하고 이 선형선원 주위의 각 좌표점에 대한 선량률을 계산하였다. 선원의 분할 위치는 프로그램 디스크의 각 곡면과 고정 선원용 프로그램 디스크와의 거리 차이를 각도 5도씩 계산한 후 이를 2배하여 구하였다. 이 위치를 선형 선원의 y축 좌표로 잡고 가상 선원 주위의 1 mm 간격의 각 격자점에 대한 흡수 선량률을 구해 표로

만들었다. 세슘선원의 경우는 몇가지 계수값을 바꾸어 선량률표를 만들었다.

4. 인체조직내의 선량 계산

인체내 각 좌표지점의 선량은 탄뎀과 오보이드의 각 선원에 의한 선량 기여를 모두 합한 전체의 선량을 계산한다. 또한 이렇게 계산한 각 좌표점의 선량률을 이용하여 등선량 분포곡선을 만들어 내야 한다.

Fig. 1과 같이 조직내 선량 계산점 $P(x,y,z)$ 를 정의하고 각 선량 계산점에 대해 각 선원의 실제 좌표에 대한 i,j 를 계산한 후 선량률 표에서 계산점의 선량률 $\dot{D}(i,j)$ 를 구하였다. 여기에서 i,j 는 다음과 같이 계산 하였다.

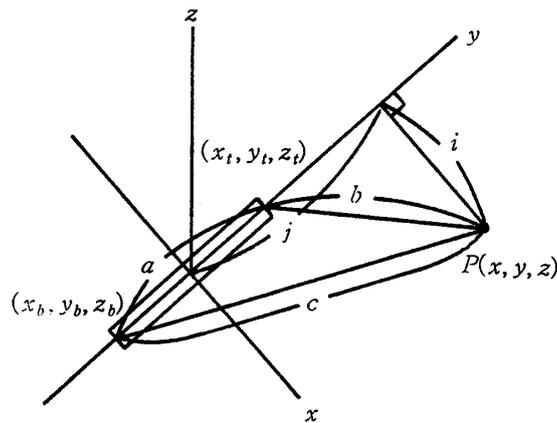


Fig. 1. 선량계산에 이용한 각 좌표점.

$$a^2 = \sqrt{(x_t - x_b)^2 + (y_t - y_b)^2 + (z_t - z_b)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$b^2 = \sqrt{(x - x_t)^2 + (y - y_t)^2 + (z - z_t)^2} \dots\dots\dots (6)$$

$$c^2 = \sqrt{(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 + (z - z_b)^2} \dots\dots\dots (7)$$

이 식을 i,j 에 대해 풀면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$i = \sqrt{b^2 - (j - \frac{a}{2})^2}, j = \frac{c^2 - b^2}{2a} \dots\dots\dots (8)$$

따라서 조직내 선량 계산점 $P(x,y,z)$ 의 전체 선량률 $\dot{D}(x,y,z)$ 는 각각의 선원에 대한 합으로 다음과 같이 구해진다.

$$\dot{D}(x,y,z) = \sum_{i=1}^N \dot{D}_i(x,y,z) \dots\dots\dots (9)$$

결 과

본 연구에서 계산한 이리듐 선원과 세슘선원의 일부 격자점에 대한 선량률을 Table 2와 Table 3에 보였다. 선량률 표는 각 프로그램 디스크별로 작성해야 하나 실제 치료에 많이 사용되는 2, 4, 5번의 프로그램 디스크에 대한 것만 계산 하였다. 계산한 선량률을 비교하기 위해 파라핀 팬텀속에 파머타입 이온 전리함을 삽입하여 측정 하였다. 그러나 정확한 측정을 위

Table 2. Dose rate for ¹³⁷Cs (cGy/min-Ci).

y \ x	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0 cm
0.0 cm	59.417	18.743	7.143	5.240	3.409	2.366	1.742	1.327	1.055	0.841
0.5	52.056	16.460	8.405	4.949	3.270	2.295	1.708	1.305	1.031	0.831
1.0	22.560	11.263	6.653	4.290	2.950	2.129	1.601	1.242	0.994	0.807
1.5	8.596	6.760	4.793	3.423	2.511	1.886	1.464	1.147	0.934	0.763
2.0	4.464	4.030	3.332	2.622	2.047	1.619	1.301	1.045	0.866	0.713
2.5	2.955	2.518	2.350	1.977	1.644	1.366	1.124	0.926	0.780	0.659
3.0	2.081	1.727	1.638	1.508	1.317	1.131	0.957	0.816	0.699	0.599
3.5	1.540	1.263	1.228	1.162	1.059	0.942	0.818	0.715	0.621	0.542
4.0	1.191	0.941	0.934	0.902	0.846	0.774	0.690	0.620	0.549	0.482

Table 3. Dose rate for ¹⁹²Ir (cGy/min-Ci).

y \ x	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0 cm
0.0 cm	64.811	27.486	16.626	11.103	8.028	6.033	4.687	3.723	3.042	2.511
0.5	64.785	27.430	16.577	11.061	8.003	6.021	4.681	3.720	3.040	2.510
1.0	64.450	27.102	16.315	10.857	7.853	5.911	4.601	3.664	2.998	2.480
1.5	63.364	26.163	15.550	10.246	7.366	5.521	4.284	3.405	2.782	2.298
2.0	61.596	24.751	14.498	9.461	6.769	5.061	3.925	3.115	2.545	2.103
2.5	58.325	22.548	13.029	8.465	6.058	4.534	3.523	2.802	2.291	1.896
3.0	50.748	18.950	11.000	7.247	5.239	3.952	3.087	2.468	2.026	1.689
3.5	30.255	13.698	8.561	5.878	4.353	3.340	2.637	2.125	1.754	1.461
4.0	12.581	8.657	6.169	4.525	3.472	2.732	2.190	1.784	1.483	1.242

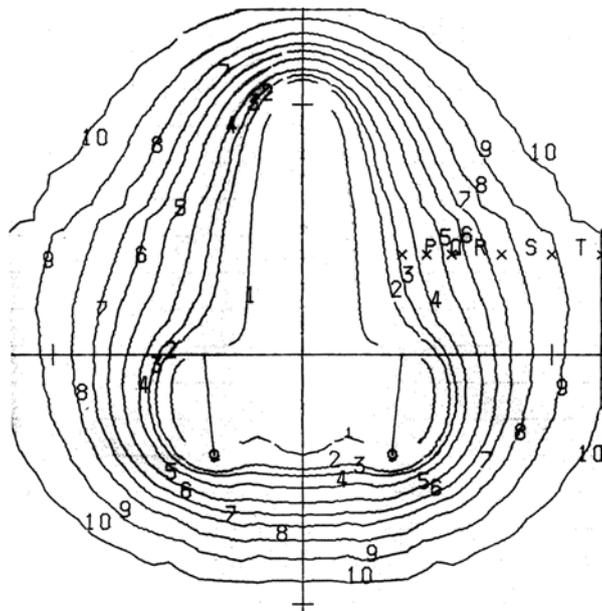


Fig. 2. 프로그램 디스크 4번을 사용한 이리듐과 세슘의 등선량곡선.

하여 열형광 선량계를 이용하기 위한 측정기구 제작등은 추후 더 보강할 계획이다. 이온 전리함을 이용하여 측정된 결과 선원의 중심에서 횡축방향으로 2 cm 지점의 선량값이 93.23 cGy/min 인데 계산값은 90.92 cGy/min로 약 2.5%의 오차를 보였으나 5 cm 지점에서는 측정값이 23.18 cGy/min이고 계산값은 20.63 cGy/min으로 약 11%의 차이를 보이고 있다. 이 부분은 좀 더 개선해야 할 것이다. Fig. 2에는 이번에 계산한 이리듐 선원과 이리듐 선원과 세슘선원을 탠덤과 오보이드로 동시에 이용한 경우 중 가장 많이 사용하는 4번 디스크에 대한 등선량 곡선을 보였다.

고찰 및 결론

Buchler의 강내 치료장치는 제작사에서 제공한 선량률 표를 이용하여 선량계산을 하기 때문에 도입 초기부터 선량계산 문제가 제기되어 왔었다. 이에따라 각 병원에서 다양한 방법으로 해결책을 모색하여 사용해오다 장비의 노후화와 코발트 선원의 교체불가 문제가 대두되자 사용중지 또는 새 장비로 교체요구 되는 추세이다. 그러나 지방 병원에서는 환자수의 격감에 따라 신장비로 교체가 여의치 않다. 그러나 국내에서 이리듐 선원이 개발되어 값싸게 공급 가능함에 따라 이 장비가 다시 이용 가능하게 되었다. 이에 따라 탠덤에 기존의 코발트 선원대신 이리듐 선원을 사용하고 오보이드로 세슘선원을 사용하게 되었고 이의 사용을 활성화 할수있는 선량 계산 문제를 해결 할 수 있다.³⁾

Buchler의 강내치료 장치는 반감기가 긴 세슘 선원을 사용하고 있기 때문에 국내의 열악한 환경에서는 이리듐 선원만을 이용하고 있는 타 장비에 비해 장점으로 작용하고 있다. 또한 1개의 선원으로 3개 채널을 교대로 사용하는 것보다 3개 채널을 동시에 사용함으로써 치료시 고선량률을 유지할 수 있어 치료효과의 향상을 기대할 수 있다. 이번 연구에서 미흡한 실제 측정과의 비교는 향후에도 지속적인 연구가 필요하며 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론에 도달 하였다.

1. Buchler의 강내치료장치의 문제점인 선량계산 문제를 근본적으로 해결할 수 있다.
2. 구입이 불가능한 코발트 선원대신 이리듐 선원을 사용함으로써 장비의 계속 사용이 가능해졌다. 따라서 신규 장비구입 문제에서 벗어날 수 있다.
3. 추후 타 장비나 선원의 이용에도 응용할 수 있어 밀봉선원의사용에 따른 선량계산의 기초 기반기술로 이용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Khan FM: The Physics of Radiation Therapy. 2nd ed, Williams & Wilkins, Baltimore, MD pp. 418-70 (1994)
2. Meisberger LL, Keller RJ, Shalek RJ: Effective attenuation in water of the gamma rays of gold 198, iridium 192, cesium 137, radium 226 and cobalt 60, Radiology 93:953 (1968)
3. 최태진, 이호준, 김옥배: 코발트60선원 대체용 고선량률 Ir-192 선원의 조직선량 특성. 의학물리 9:259-66 (1998)

Study on the Dose Calculation for Iridium and Cesium Sources

Department of Radiation Oncology, Jesus Hospital, Jeonju, Korea

Jeong Ku Kang, Soo Kon Kim

The Dose calculation program for the Buchler remote after-loading system was developed. We use iridium source for the tandem and cesium for the ovoids. We determined the source length and distributions by dividing the program disk to 72 points. The dose rate for the each program disk were calculated and stored to the tables for the xy coordinates. The dose rate for the interesting points for the patients were calculated by using these tables. We also made isodose curve from the calculations. By using the program, we could calculate the dose rate for the various points of the patient quickly and accurately.

Key words: Buchler, Iridium, Cesium