

코발트-60 선원 대체용 고선량률 Ir-192 선원의 조직선량특성

계명대학교 의과대학 의학과

최 태진, 이 호준, 김 옥배

코발트-60 근접조사선원을 대체할 Ir-192 선원주변의 2차원적 선량분포를 얻기 위하여, 조사선량률과, 조직감쇠계수를 구하였다. 조직감쇠계수는 선원에서 20 cm 지점까지 실험식을 구하였다.

겔보기 방사능은 조사선량상수를 사용하여 결정하였으며, 2.5mm 직경에 두께 2.5 mm 의 선원은 조직선량을 정하기 위해 선원을 4401 개로 분할하여 선원 자체의 흡수효과와 겔술벽의 차폐 효과와 조직감쇠계수를 적용하였다.

조직감쇠계수는 4차식을 사용하여 1% 오차범위내에서 실험값을 얻을 수 있었으며, Meisberger 상수는 선원에서 많이 떨어질수록 오차가 커서, 10 cm 위치서 7%, 20 cm 에서 33%의 오차를 발견할 수 있었으나, 겔보기방사능과 선원모양 및 크기가 달라 다른 결과를 가져올 수 있다고 본다.

발표된 Ir-192 선원의 에너지스펙트럼을 이용한 선량률상수는 질삭에너지 10 keV인 경우 4.69 Rcm²/mCi-hr을 얻었으며, Air Kerma 는 0.973을 구하였다.

이 실험에서 고안 선원의 분할선원에 의한 선원자체흡수와 겔술벽에 의한 감쇠는 실선원의 54.6% 가 겔보기방사능으로 나타남을 알 수 있었으며, 선량계획에 이용하기 위해 단위 겔보기 방사능에 대한 2차원적 선량표를 준비함으로써 기하학적선량과 선량 비등방성을 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

중심 단어: Brachytherapy source, Ir-192 source, Tissue Attenuation Factor, Air Kerma

서 론

고선량률 근접조사는 선량계획이 확정된 후 계획된 치료범위에 일치하는 선원의 갯수 또는 배열과 방사능을 원격조정장치에 의해 주입하는 Remote Afterloading system 으로 시술하게 된다.

고선량률 선원으로는 비방사능이 높으며, 광자 에너지가 수백keV에서 수MeV 범위에 있는 선원으로 Co-60, Cs-137, Ir-192 및 Ta-184 등이 주로 이용되고 있다¹⁾. 이중 Ir-192 는 광자선의 평균에너지가 약 380 keV 이고 반감기가 74.2일로 비방사능이 매우 높아 직경 0.5 mm에 길이 3.5 mm 의 소형 크기에 10 Ci 이상의 방사능을 갖는 선원을 얻을 수 있어 임상적 적용범위가 많아 수요가 날로 늘어갈 것으로

예상된다. 그러나 Ir-192 는 지금까지 약 30 여 년간 근접조사에 이용되어왔으나, 에너지스펙트럼이 잘 알려져 있지 않아 감마상수 결정에 논란의 여지를 남겨 놓고 있다.

— 문헌에 발표된 Ir-192 선원의 감마상수는 3.8에서 5.0Rcm²/mCi-h 까지 다양하게 사용하고 있는 것으로 발표되고 있으며, 적용한 에너지스펙트럼의 차이에 기인한다^{1,2)}. Galsgow³⁾ 는 Ge 반도체검출기에 의한 다중채널과 분석기에 의해 구한 Ir-192 선원의 에너지 스펙트럼이 β-붕괴에 의한 Pt 변환에서 발생하는 15개의 감마선피크와 전자 포획에 의한 Os 핵변환 과정에서 13개의 감마선피크를 발표한 바 있으며, 방출에너지 범위는 60keV에서 1.8 MeV 까지 분포 되어 있다. 특히 핵붕괴시 70 keV 영역의 K-특성X선과 10keV 미만의 L-특성X선이 다수 방출하므로 감도가 높고 에너지분해능이 우수한 다중채널과 분석기에 의한 에너지스펙트럼 분석이 중요하다.

* This study was supported by the middle-long term Korean Atomic Power Plan of Ministry of Science and Technology in 1998.

Glass 는 Ir-192 선원의 에너지스펙트럼으로부터 방사선의 통과 중 선원자체흡수나 선원캡슐벽의 차폐가 없는 알짜 선원의 감마상수는 $4.62 \pm 0.05 \text{ Rcm}^2/\text{mCi-h}$ 이고, 특성X선과 산란에 의한 Cut off 에너지 이상의 전 에너지를 이용한 감마상수는 $4.69 \pm 0.05 \text{ Rcm}^2/\text{mCi-h}$ 임을 발표한 바 있다.

Ir-192 선원은 원자번호가 높고($Z=77$) 밀도($\rho = 22.6 \text{ g/cm}^3$) 가 높으며, 캡슐 재질로 스텐레스-스틸 (SUS 304) 를 사용하고 있으므로, 자체흡수와 벽재질의 투과에 의한 선량감쇠율이 커서 겉보기 방사능과 캡슐내 선원의 실제 방사능과는 차이가 있다. 선원에서 방출된 방사선의 조직내 흡수선량은 공기중 조사선량과 수중의 조사선량을 실험적으로 구한 Meisberger 의 3차 다항식을 주로 이용해 왔으나, 조직내 10 cm 이내의 선량계산에 주로 이용되고 있다. 수작업에 의한 근접조사의 선원에 비해 원격조정에 의한 근접조사는 소형선원을 연속 이동하거나 펄스형 이동을 반복하여 치료부위와 일치시키므로 10 cm를 초과하는 경우도 임상에서는 흔히 볼 수 있어 선원주위의 선량분포를 전산화하는 데는 최소한 20 cm 범위의 조직감쇠계수가 필요하다.

본 연구에서는 Co-60 선원을 대체하기 위해 고안 제작한 Ir-192 선원에 대해 전산화선량계획에 이용하기 위해 선원의 중심으로 부터 20 cm 까지 거리의 실측치에 매우 근사한 흡수선량을 구할 수 있는 조직감쇠계수와, Glasgow 등이 발표한 에너지스펙트럼을 이용하여 저자들이 제작한 Co-60 대체용 Ir-192 선원에 대한 2차원적 조직선량을 발표하고자 한다.

대상 및 방법

고선량률 근접조사선원인 Ir-192 선원은 국내 하나로 원자로에서 직경 2.5 mm와 두께 0.25 mm 의 디스크형 시료에 중성자를 조사하여 생성한 Ir-191 (n, γ) Ir-192 방사체로 디스크형 선원 10개를 층층이 쌓아 길이 2.5 mm 가 되도록 하였으며, 이 선원은 Fig.1 과 같이 캡슐 외경은 4.0 mm 이고, 두께가 0.7 mm 인 스텐레스-스틸 용기 속에 밀봉입되어 있다⁴⁾. 이 선원은 기존 원격강내조사장치 (Buchler 3K, 독일) 에 사용하는 Co-60 선원과 동일한 크기로 제작되어 호환성을 유지하고 있다.

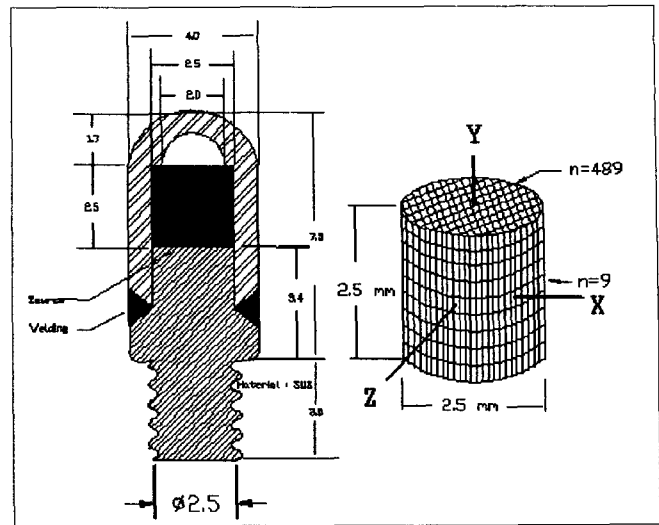


Fig. 1. High dose rate Ir-192 source and segments of source for computation of tissue dose rate.

개발선원은 방사선에너지에 비해 선원자체의 흡수와 선원 캡슐벽 물질에 대한 흡수가 조직선량결정에 큰 영향을 받게 된다. 조직선량은 2.5mm 직경의 선원을 단면적 0.1 mm x 0.1 mm 의 면적으로 선원을 분할하여 직경내부에 있는 선원 489개와 두께를 9 등분하여 총 4401 개의 점선원에서 방출되는 선량으로부터 선원의 자체흡수와 캡슐벽의 투과감쇠를 보정하여 조직에 흡수되는 선량을 계산하였다. 선원 캡슐벽이 없는 점선원에 의한 조직내 임의의 한 점에 도달되는 선량은 1식과 같이 얻을 수 있다⁵⁾.

$$D(r) = A_{app} \cdot (\Gamma_{\delta})_x \cdot F_{med} \cdot (1/r^2) \cdot T(r) \quad (1)$$

여기서 A_{app} 는 겉보기 방사능(mCi)으로 선원의 자체흡수와 선원 캡슐벽에 의한 감쇠가 없는 점선원에 의한 동일한 선량의 방사능을 의미한다. $(\Gamma_{\delta})_x$ 는 공기중 조사선량상수를 의미하며, 조직감쇠계수 $T(r)$ 은 선원주위의 조직내 산란과 감쇠에 의한 조직선량 보정계수로 공기중 조사선량에 대한 물에서 조사한 조사선량의 비로 얻는다⁷⁾.

F_{med} 는 조사선량을 흡수선량으로 변환하는 변환계수항이며, 조사선량의 정의와 전리상수 및 질량에너지흡수계수로 구한다⁶⁾. 즉

$$F_{med} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg-R (W/e)} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{\text{water}} / \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{\text{air}} \quad (2)$$

Table 1. Apparent activity was derived from the measurement of exposure dose rate (X_{air}/min) at 20 cm distance from source center and compare to that of the well-typed Curie Counter.

$X_{air}(R)/min$ at 20 cm	Apparent Activity	Curie counter	Discrepancy (%)
93.5	295GBq (7.98 Ci)	290GBq (7.83 Ci)	1.9

Table 2. Polynomial regression for mathematical models accounting for tissue attenuation and multiple scattering in a medium surrounding an Ir-192 radioactive source.

$X_w/X_a = A_0 + A_1r + A_2r^2 + A_3r^3 + A_4r^4$
$A_0 = 1.04424$
$A_1 = 0.00522$
$A_2 = -0.00231$
$A_3 = 3.60534E-5$
$A_4 = 5.77645E-7$

where,

X_w = Exposure in water.

X_a = Exposure in air.

r = Distance in cm from source to point of calculation. A_0, A_1, A_2, A_3 and A_4 are zero, first, second, third and fourth order polynomial fitting coefficients.

와 같다.

여기서 $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_{air}^{water}$ 는 공기에 대한 물의 질량에너지 흡수계수의 비이며, W/e 는 공기중 전리에너지 상수로 33.97 J/C 이다.

Ir-192 선원에 의한 조직투과 및 산란선에 대한 조직선량보정계수 $T(r)$ 는 35 x 35 x 35 cm³ 의 아크릴 (두께 6 mm) 수조 속에서, 선원과 전리함의 위치를 일정하게 유지할 수 있게 한 후, 측정범위를 선원에서 20 cm 까지로 정하고, 검출기를 1cm 씩 이동하면서 공기중 전리량과 물에서 전리량을 번갈아 측정한 값으로 실험적인 다항식계수를 통해 구하였다.

공기중 선량(D_{air})은 전리용적 0.14 ml 이고 선량 등방방성이 우수한 IC-10 전리함(WELLHOFER, 독일) 과 Farmer 전위계를 이용하여 구하였으며, 결보

기 방사능은

$$A_{app} = D_{air}(r) / (\Gamma_{\delta})_x \tag{3}$$

으로 구하였다.

본 연구에서 개발한 선원은 원주형이므로 식(1)을 근거로 선원 자체의 흡수 두께와 선원 캡슐벽의 두께에 대한 보정을 하였다.

조직선량은 선원의 방사능 크기를 균등히 하기 위해 디스크형 선원의 단면을 직교축(X,Z)으로 균등분할하여, 선원의 중심에서 측방향(X)과 선원축방향($\pm Y$)의 각 위치에서 결보기 단위방사능에 의한 2차원적 조직선량을 식(4)로 얻었다.

$$D(x, y) = \frac{1}{LMN} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N D(r) \cdot e^{-(\mu_{Ir}t_{Ir} + \mu_{Fe} \cdot T_r)} \tag{4}$$

여기서, μ_{Ir} 과 μ_{Fe} 은 Ir-192 선원의 에너지스펙트럼을 이용해서 구한 Iridium재질과 철에 대한 선흡수계수(cm^{-1})를 나타내며, 각각의 선흡수계수는 5.7406 cm^{-1} 과 0.7523 cm^{-1} 이다⁴⁾. 한편, 선원자체의 흡수와 용기벽의 두께를 감안한 유효감쇠비를 계산하여 역으로 실제 방사능의 세기는 결보기방사능에 유효감쇠비를 제하여 구하였다. 선원을 중심으로 계산점

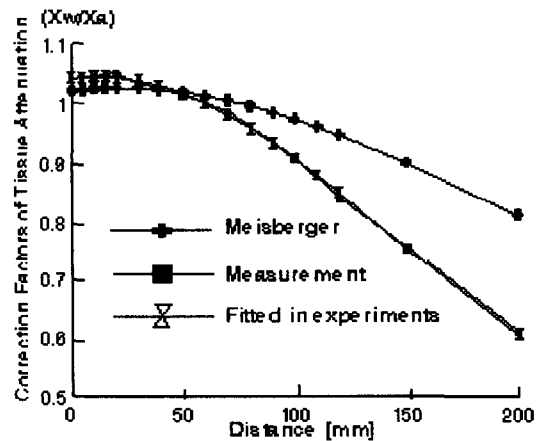


Fig. 2. The tissue attenuation factors of Ir-192 high dose rate source. The black square fitting shows the Meisberger's constant and the black round with error bar allows the empirical tissue attenuation factors within $\pm 1\%$ of discrepancy.

Table 3A. Normalized output factor to reference dose (0.001358 cGy/mCi-sec) of apparent activity at 10 mm of transverse distance from source center. (Upper region of central source axis)

X[mm] Y[mm]	Transverse distance in mm from source center														
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150	180	200
0	---	1.000	.247	.109	.061	.038	.026	.019	.014	.011	.009	.006	.003	.002	.001
10	.944	.490	.200	.100	.058	.037	.026	.019	.014	.011	.008	.006	.003	.002	.001
20	.228	.190	.122	.076	.049	.034	.024	.018	.013	.010	.008	.005	.003	.002	.001
30	.100	.093	.073	.054	.039	.028	.021	.016	.012	.010	.008	.005	.003	.002	.001
40	.055	.054	.047	.038	.030	.023	.018	.014	.011	.009	.007	.005	.003	.002	.001
50	.035	.034	.031	.027	.023	.018	.015	.012	.010	.008	.007	.005	.003	.002	.001
60	.024	.024	.022	.020	.017	.015	.012	.010	.009	.007	.006	.004	.003	.002	.001
70	.017	.017	.016	.015	.014	.012	.010	.009	.007	.006	.005	.004	.002	.002	.001
80	.013	.013	.012	.012	.011	.010	.008	.007	.006	.006	.005	.004	.002	.002	.001
90	.010	.010	.010	.009	.009	.008	.007	.006	.005	.005	.004	.003	.002	.001	.001
100	.008	.008	.008	.007	.007	.006	.006	.005	.005	.004	.004	.003	.002	.001	.001
110	.006	.006	.006	.006	.006	.005	.005	.004	.004	.004	.003	.003	.002	.001	.001
120	.005	.005	.005	.005	.005	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.002	.002	.001	.001
130	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.001	.001	.001
140	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.002	.001	.001	.001
150	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001
160	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001
170	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001
180	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
190	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
200	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001

$$*D_{water}(r)[cGy/Time]=0.001358(cGy/mCi-sec) \times Output\ Factor \times A_{apparent}\ activity\ (mCi) \times Time(sec)$$

사이에 놓인 선원자체의 두께 t_{Ir} 와 캡슐벽의 두께 t_{Fe} 는 선원중양을 원점으로 한 선원의 구형 첨단 부위와 선원캡슐벽의 측면의 두께를 해석적으로 구하였다. 계산에 의한 겉보기 방사능은 방사능의 세기를 측정하는 CRC-035R 이온함(Capintec)의 측정값과 비교하여 임상에서 겉보기방사능을 결정할 수 있게 하였다.

결 과

국내 하나로 원자로에서 생산한 Ir-192 선원은 직경 2.5 mm와 두께 0.25 mm 의 디스크형 선원을 10 겹으로 쌓고, 겉보기 방사능이 약 10 Ci 되는 선원을 외경 4 mm와 길이 7.5mm 의 스텐레스 캡슐용기에

봉입되어 있는 고선량률선원이다. 겉보기 방사능 A_{app} 는 전리함이 선원에서 20cm 떨어진 위치에서 측정된 전리량으로부터 전리함의 교정상수 N_x 와, 온도 및 기압 보정에 의한 식(3) 의 공기중선량(D_{air})을 이용하여 구하였으며, Table 1 과 같이 방사능의 세기를 측정하는 CRC-035R 이온함(Capintec)의 측정값과 비교한 결과 2% 이내 일치하는 값을 보였다. 개발선원은 방사선에너지에 비해 선원자체의 흡수와 선원 벽물질에 대한 흡수가 조직선량 결정에 큰 영향을 받게 되므로 2.5mm 직경의 선원을 0.1mm x 0.1 mm 크기로 총 4401 개의 선원으로 분할하여 선원자체 흡수에 의한 감쇠와 선원벽물질의 흡수감쇠에 의한 총 감쇠를 구한 결과 초기 방사능의 54.6%

Table 3B. Normalized output factor to reference dose (0.001358 cGy/mCi-sec) of apparent activity at 10 mm of transverse distance from source center. (Lower region of central source axis)

X Y[mm]	Transverse distance in mm from source center														
	0	10	20	30	40	50	60	70							
0	---	1.000	.247	.109	.061	.038	.026	.019	.014	.011	.009	.006	.003	.002	.001
-10	.835	.469	.197	.099	.058	.037	.026	.019	.014	.011	.008	.006	.003	.002	.001
-20	.202	.171	.117	.074	.048	.033	.024	.018	.013	.010	.008	.005	.003	.002	.001
-30	.089	.082	.068	.051	.038	.028	.021	.016	.012	.010	.008	.005	.003	.002	.001
-40	.049	.046	.042	.035	.028	.022	.018	.014	.011	.009	.007	.005	.003	.002	.001
-50	.031	.029	.028	.025	.021	.018	.014	.012	.010	.008	.007	.005	.003	.002	.001
-60	.021	.020	.020	.018	.016	.014	.012	.010	.008	.007	.006	.004	.003	.002	.001
-70	.015	.015	.014	.014	.012	.011	.010	.008	.007	.006	.005	.004	.002	.002	.001
-80	.011	.011	.011	.010	.010	.009	.008	.007	.006	.005	.005	.003	.002	.002	.001
-90	.009	.009	.008	.008	.008	.007	.006	.006	.005	.005	.004	.003	.002	.001	.001
-100	.007	.007	.007	.006	.006	.006	.005	.005	.004	.004	.004	.003	.002	.001	.001
-110	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.004	.004	.004	.003	.003	.002	.002	.001	.001
-120	.005	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.001	.001
-130	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.001	.001	.001
-140	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001
-150	.003	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001
-160	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001
-170	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
-180	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
-190	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
-200	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001

* $D_{\text{water}}(r) [\text{cGy/Time}] = 0.001358 \times \text{Output Factor} \times A_{\text{apparent activity}} (\text{mCi}) \times \text{Time}(\text{sec})$

가 겹보기 방사능으로 나타나는 결과를 얻었다. 이것은 외부에서 선원의 조사선량률을 측정하므로써 용기내 선원의 실제 방사능을 정량적으로 구하는 데 이용된다.

Ir-192 선원에 의한 조직투과 및 산란선에 대한 조직선량보정계수는 수조펜텀에서 선원과 전리함의 위치를 일정하게 유지하고, 측정범위는 선원에서 20 cm 까지 검출기를 1cm 씩 이동하면서 공기중 전리량과 물에서 전리량을 번갈아 측정하고, Table 2와 같은 다항식계수를 구하였다.

실험식에서 구한 조직감쇠보정계수에 의한 선량과 실측간의 선량차이는 ±0.5% 범위내에서 비교적 정확한 값을 얻을 수 있었다. 그러나 Fig. 2 와 같이 Meisberger 가 제시한 Ir-192 의 조직감쇠보정계수

는 선원에서 2 cm 떨어진 지점에서 약 2% 정도가 낮고, 10 cm 깊이에서는 7% 가 높으며, 20 cm 깊이에서는 약 33 % 높게 계산됨을 알 수 있다. 조직선량의 환산에 이용한 F_{med} 는 Ir-192 선원에 대한 에너지스펙트럼을 이용하여 각 에너지의 비율로 공기에 대한 물의 질량에너지의 비 1.112를 구할 수 있었으며, 식(2)를 통해 0.973을 얻었다. 제작선원 Ir-192 선원의 단위 겹보기방사능에 대한 출력선량은 식(4)를 이용하여 Table 3A와 3B 와 같이 구하였으며, 선원의 ±축방향을 중심으로 축방향의 조직선량을 각각 정량화 하였다. 선원이 원주형이고, 선원의 양단은 구형과 케이블 연결부분이 있어 기하학적 모양과 벽의 두께가 다르므로 선원을 중심으로 2 차원 평면상의 조직선량계수를 구하여 선원의 중심

에서 등근 부분(+ 선원축)의 정량화된 선량 Table 3A와 이송케이블의 연결자가 있는 하단부(- 선원축)의 선량 3B와 같이 얻어 선량등방성인자를 얻을 수 있게 하였다. 한편, 선원이 원주형이고 선원축을 중심으로 회전하면 대칭선량을 얻을 수 있으므로, 3차원선량은 구하고자하는 점이 선원축상에 수직으로 투사된 점과 측방향의 거리를 구하면 Table 3A,B에서 해당 위치의 조직선량을 신속하게 얻을 수 있게 된다.

고 찰

국내에서 사용되는 고선량률 근접조사선원은 거의 모두 해외에서 수입에 의존하고 있으며, 그 중 상당수는 Co-60 선원을 이용해 왔으나, 최근 생산 중단으로 방사능의 감쇠가 커서 임상에 이용하기 어렵게 되어 대체 선원개발이 필요하다⁴⁾.

이에 본 연구에서는 국내 하나로 원자료를 이용하여 Ir-192 선원을 Co-60 선원과 호환되도록 제작하였으며, 단위 결보기방사능에 대해 조직선량을 결정할 수 있게 하였으며, 선원을 분할하여 각 분할선원과 선량평가지점간 선원자체의 필터효과와 벽재질에 대한 감쇠효과와 실험에서 구한 조직선량계수를 이용하여 선원주위의 선량분포를 얻었다. 실험에서 구한 조직선량보정계수는 실험선량과 거의 일치하는 값을 얻었으나, Meisberger 등이 발표한 보정계수는 실측 선량에 비해 7-33% 까지 높게 나타나므로, 선원에서 수 cm 이상 떨어진 점의 조직선량에 대한 평가시 주의를 요한다.

본 연구와 Meisberger와의 조직선량보정의 차이는 선원크기 및 고선량률의 차이에 의한 것인지 더 연구가 필요하지만, Venselaar⁸⁾ 등에 의하면 본 연구와 거의 일치하는 선량차이를 발표한 바 있다.

임상에서 근접조사에 이용되는 치료부위의 크기는 수 cm에서 10cm 이상인 경우도 있으므로, 조직선량보정계수는 20 cm 까지 구할 필요가 있으며, Meisberger 계수의 적용시 실험적 비교확인이 매우 중요하다고 생각된다. 고선량률 근접조사선원이 점선원이 아닌 경우, 선량비등방성이 적용되어야 하므로, 조직선량을 구하기 위해서 선원주위의 선량비등방성을 확인할 필요가 있다. 전산화선량계획에서는 선원주위의 입체적 선량분포를 구하게 되므로 계산

에 시간이 많이 소요되므로 선원주위의 일정 선량을 Table 로 작성하여 선원축과 측방 거리를 알면, 조직선량을 구할 수 있게 할 필요가 있다.

Ir-192 선원의 평균에너지는 0.38 MeV이고, 선원은 고밀도(22.6 g/cm³)로 흡수가 많을 것이므로, 방사능세기에 대한 새로운 정의가 필요하다. 최근 고선량률 근접조사선원의 방사능은 결보기 방사능으로 나타내지만, 선원자체흡수와 캡슐용기벽에 의한 감쇠효과를 통한 조직선량계산에서는 유효감쇠를 통한 선원의 실제 방사능세기를 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 조직선량을 구하기 위한 공기중 조사선량상수 (Γ_B)_x는 Glasgow 가 제시한 에너지스펙트럼을 이용하여 4.69 Rcm²/mCi-h 를 얻었다. Ir-192의 에너지스펙트럼에서는 전자포획과 β⁻붕괴를 통해서 안정상태로 변환되며, 붕괴과정에 0.005 - 1.3 MeV 사이의 저지X선도 포함되었으며, 절삭에너지는 10 keV 이하를 정하였다. Ir-192에 대한 조사선량률상수는 3.8 에서 5.0 Rcm²/mCi-h 까지 다양하게 사용하고 있으나, Ir-192 선원의 에너지스펙트럼이 잘 알려지지 않은 데 기인하는 것으로 알려지고 있다. 최근 근접조사선원의 선량결정은 미국의 Task Group No. 43에서 권장하는 Air Kerma 세기, 선량률상수, 기하학적인자, 측방선량함수 등은 실측치에 근거를 두고 있으며, 각각 결보기방사능, 조사선량률상수, 거리제곱의 반비례법칙 및 조직감쇠계수와 대응되므로, 임상에서는 사용하는 사용선원에 대한 프로토콜의 확인이 중요하며, 특히 혼용하는 경우 정확한 해석이 주어져야 하며, 실험적 검증이 필수적이다^{5,9)}.

결 론

국내 개발한 고선량률 근접조사선원인 Ir-192 선원의 에너지스펙트럼을 이용하여 조사선량률상수를 결정하고, 조직투과 및 산란선에 대한 조직감쇠계수를 다항식으로 구하여 실험선량과 비교하여 높은 정밀도로 구할 수 있었다. 특히 선원의 다양한 물리적변수를 입력하여 선량계획을 수행하는 전산화치료계획에서는 선원자료의 각 변수에 대한 물리적 정의를 충실히 따를 때, 오차를 크게 줄일 수 있을 것으로 확신한다.

제작선원인 고선량률 Ir-192 선원 주위의 조직선

량은 단위 겔보기방사능에 대한 2차원적 선량분포인 기하학적선량분포, 측방선량 및 선량비등방성을 구하였으므로, 선량계획과 선원겔보기 강도 등의 비교에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 확신한다.

참고 문헌

1. Johns H.E., Cunningham J.R.: *The Physics of Radiology*. 4th ed. Thomas, Springfield. IL, pp.462(1983)
2. Nucletron Oldelft Activity Report No.7: Reference Air Kerma Rate Determination of an Iridium-192 Brachytherapy Source. 43(1995)
3. Glasgow G.P.: Specific γ -ray constant and exposure rate constant of ^{192}Ir . *Med. Phys.* 6:49 (1979)
4. 최태진, 원철호 등: 원격강내조사용 Co-60 선원의 대체용 Ir-192 선원의 조사선량결정 및 선량등방성조사. *의학물리*. 9:55(1998)
5. Nath R., Anderson L.L., Luxton G., et.al.: Task Group No.43: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. *Med. Phys.* 22:209(1995)
6. Glasgow G.P., Bourland J.D., et.al.: *Remote Afterloading Technology*. AAPM Report No. 41, (1993)
7. Meisberger L.L., Keller R.J., Shalek R.J.: Effective attenuation in water of the gamma rays of gold 198, iridium 192, cesium 137, radium 226 and cobalt 60. *Radiology* 93:953 (1968)
8. Venselaar J.L.M., Giessen P.H.: Measurement and calculation of the dose at large distances from brachytherapy sources: Cs-137, Ir-192, and Co-60. *Med. Phys.* 23:537(1996)
9. Williamson J.F., Nath R.: Clinical implementation of AAPM Task Group 32 recommendations on brachytherapy source strength specification. *Med. Phys.* 18:439(1991)

Characteristics of Tissue Dose of High Dose Rate Ir-192 Source Substitution for Co-60 Brachytherapy Source

Tae-Jin Choi, Ph.D., Ho Joon Lee, M.D., Ok Bae Kim, M.D.

School of Medicine, Keimyung University

To achieve the 2D dose distribution around the designed high dose rate Ir-192 source substitution for Co-60 brachytherapy source, we determined the exposure rate constant and tissue attenuation factors as a large depth as a 20 cm from source center.

The exposure rate constant is used for apparent activity in designed source with self-absorption and encapsulation steel wall. The tissue dose delivered from the 4401 segments of 2.5 mm in a diameter and 2.5 mm height of disk-type source layer. In the experiments, the tissue attenuation factors include the tissue attenuation and multiple scattering in a medium surrounding the source.

The fitted the polynomial regression with 4th order for the tissue attenuation factors are very closed to the experimental measurement data within ± 1 % discrepancy. The Meisberger's constant showed the large uncertainty in large distance from source.

The exposure rate constant $4.69 \text{ Rcm}^2/\text{mCi-hr}$ was currently used for determination of apparent activity of source and air kerma strength was obtained 0.973 for tissue absorbed dose from the energy spectrum of Ir-192 source.

In our experiments with designed high dose rate brachytherapy source, the apparent activity of Ir-192 source was delivered from the 54.6 % of actual physical source activity through the self-absorption and encapsulation wall attenuations.

This paper provides the 2-dimensional dose tabulation from unit apparent activity in a water medium for dose planning includes the multiple scattering, source anisotropy effect and geometric factors.

Keyword: Brachytherapy Source, Ir-192 Source, Tissue Attenuation Factor, Air Kerma