

## Rectal IORT cone의 선량분포에 관한 연구

김성규, 신세원, 김명세

영남대학교 의과대학 치료방사선과학교실

### 초록

수술중방사선치료는 개복후 가능한 광범위하게 병소를 절제한 후 방사선에 예민한 장기는 조사면적 밖으로 밀어내고 국소재발이 높은 부위에만 전자선을 사용하여 한번만에 다량의 방사선을 조사하므로써 정상조직의 손상을 최소화하면서 국소재발을 최대로 저하시키는 방법이다.

수술중방사선치료를 실시하는 병원마다 사용하는 cone의 모양, 시행방법, 조사선량등이 모두 달라 수술중방사선치료시 사용된 cone의 선량분포도 및 치료면적의 범위, 누설선량등은 치료효과의 중요한 지표가 된다.

대장직장암의 수술중 방사선치료를 위하여 본 교실에서 제작한 IORT cone의 선량분포 특성을 비교 검토하였다.

### I. 서론

방사선치료의 목표는 종양이 있는 부위에는 암세포의 치사에 충분한 선량을 조사하고 인접한 정상조직에는 최소한의 선량이 조사되도록 하여 치료효과를 최대로 하면서 부작용은 최소로 하는데 있다.

초기의 대장직장암의 치료는 수술과 항암요법과 외부방사선치료를 병합한 여러가지의 치료에도 불구하고 평균생존율은 20-50%이며<sup>1, 2)</sup>, 3,4기의 경우에는 0-14%를 보이고 있는 실정이다<sup>3,4)</sup>. 방사선치료에 있어서는 주로 외부 방사선치료에 의존하였으므로 주위의 정상조직의 한계선량인 45-50 Gy 범위내에서만 실시해 왔으므로 대장직장암의 치사선량인 70Gy 이상의 선량에는 크게 미흡하여 암세포의 일정기간 동안의 정지(static)기능 정도에만 그쳐 방사선치료에 대한 신뢰가 낮은 원인이 되었다.

대장직장암에 대한 수술중방사선치료(Intraoperative Radiation Therapy, IORT)는 병소 부위를 절제해 낸 후 개복된 상태에서 정상조직을 조사면적 밖으로 밀어낸 후 국소재발의 위험이 가장 높은 부위에 전자선을 이용하여 한번에 다량의 방사선을 조사하는 방법이다.

영남대학교 의료원 치료방사선과에서는 1988년 6월에 처음으로 위암 환자의 수술중 방사선치료를 실시하여 현재까지 50명을 치료하였으며, 또한 1991년 5월에 직장암 환자의 수술중 방사선치료를 국내에서 처음으로 시행하여 7명을 치료하였다.

일본과 구미 각국에서는 여러 병원에서 수술중 방사선치료를 실시하고 있으나 병원마다 사용하는 cone의 모양, 시행방법, 조사선량등이 모두 달라 수술중 방사선치료시 사용된 cone의 선량분포도 및 치료면적의 범위, 누설선량등은 치료효과의 중요한 지표가 된다.

이에 저자들은 대장직장암의 수술중 방사선치료를 위하여 본 교실에서 제작한 IORT cone의 선량분포 특성을 비교 검토함으로써 바람직한 대장직장암의 수술중 방사선치료를 유도하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

전자선은 방사선 치료에 있어서 X-선과 더불어 가장 보편적으로 사용되는 선원이다. 전자선의 선량특징을 해석하는데 있어서 1952년 Glasstone과 Edland에 의한 age diffusion equation이 선구적인 역할을 하였다. 이 식에 대한 컴퓨터 해석이 1975년 Kawachi에 의하여 이루어졌고, 그 후 Brown Rover가 몇몇 필수 변수를 사용하여 수식화하였다.

전자선의 흡수선량 D는 다음과 같이 주어진다.

$$D(x,y,z, \tau) = \frac{D_o}{2} \left\{ \left[ \operatorname{erf} \frac{Xo(z)-X}{2(k \tau)^{1/2}} \right] + \left[ \operatorname{erf} \frac{Xo(z)+X}{2(k \tau)^{1/2}} \right] \right\} \\ \times \left[ \operatorname{erf} \frac{Yo(z)-Y}{2(k \tau)} \right] + \left[ \operatorname{erf} \frac{Yo(z)+Y}{2(k \tau)} \right] \\ \times \cos[G1(z/Rp)^2 + G2(z/Rp) + G3] \cdot [F/(F+Z)]^2 \\ \times \exp[-(z \cdot \pi/3Rp) \cdot (k \tau)^2]$$

여기서

$$(k\tau) = [(C\tau/Rp) + P]^N$$

$$F = \text{SSD (source-skin-distance)}$$

$$Xo(z) = 1/2(\text{width} + Ke) \cdot [(F+Z)/F]$$

$$Yo(z) = 1/2(\text{length} + Ke) \cdot [(F+Z)/F]$$

Rp는 실용거리이며, G1, G2, G3, C, N, P는 에너지에 따라 주어지는 상수들이다. 주어진 식에서 percentage depth dose를 결정하는 인자는

$$\cos \left[ G1 \left( \frac{Z2}{Rp^2} \right) + G2 \left( \frac{Z}{Rp} \right) + G3 \right] \text{ 이다.}$$

수술중 방사선치료를 적절하게 시행하기 위해서는 적당한 에너지의 선택과 IORT시 조사선량과 아울러 적합한 cone의 제작이 무엇보다도 중요하다. 제작된 IORT cone의 선량분포 특성은 18MeV 선형 가속기(Linac1018-1)를 사용하여 6, 9, 12, 15 MeV의 에너지에서 0.6cc PTW 이온챔버를 사용하여 측정하였고, 또 코닥 XV-2 film을 사용하여 verification 필름을 만든 후 Densimeter(Sakura PDP-5)로 심부백분율을 측정하여 (Victoreen, Electrometer 500) 비교 검토하였다.

## III. 성취

본 교실에서 저자들이 제작이 대장직장암의 IORT cone의 모양은 다음과 같다(Fig. 1,2). 그림 1의 직사각형 IORT cone의 크기에 따른, 에너지에 따른 출력특성은 cone의 크기  $10 \times 10 \text{cm}^2$ 를 기준으로 하여  $6 \times 6 \text{cm}^2$  cone에서는 6 MeV에서 0.826, 9 MeV에서 0.921, 12 MeV에서 0.945, 15 MeV에서 0.982를 나타내었으며,  $7 \times 10 \text{cm}^2$  cone에서는 6 MeV에서 0.921, 9 MeV에서 0.964, 12MeV에서 0.975, 15MeV에서 1.000를 나타내었다(Fig. 3, Table 1). 30의 경사각을 가지는 타원형 IORT cone의 선량분포특성은 치료면적 내에서는 거의 균등하게 100%를

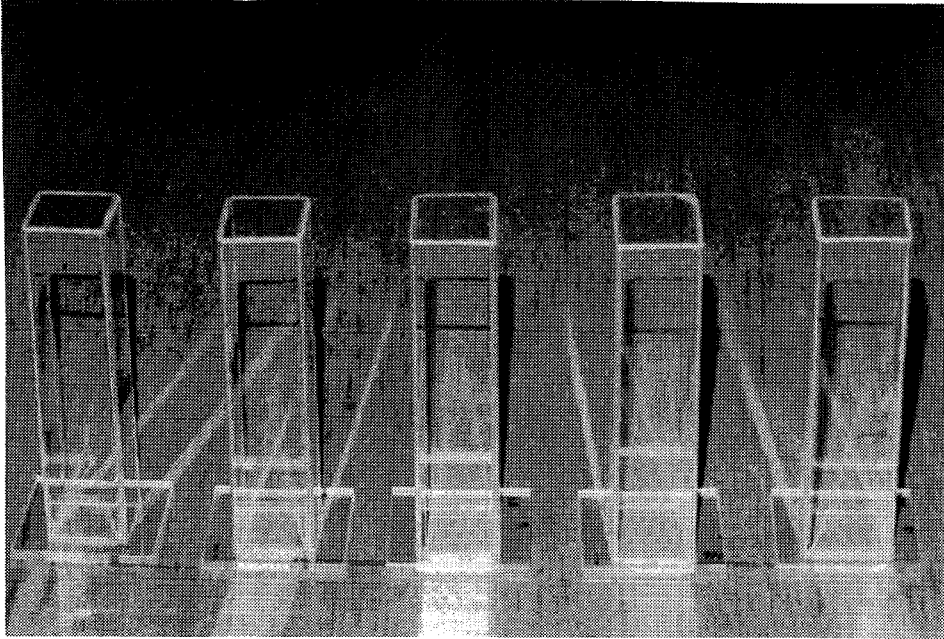


Fig. 1. Features of rectangular IORT cone

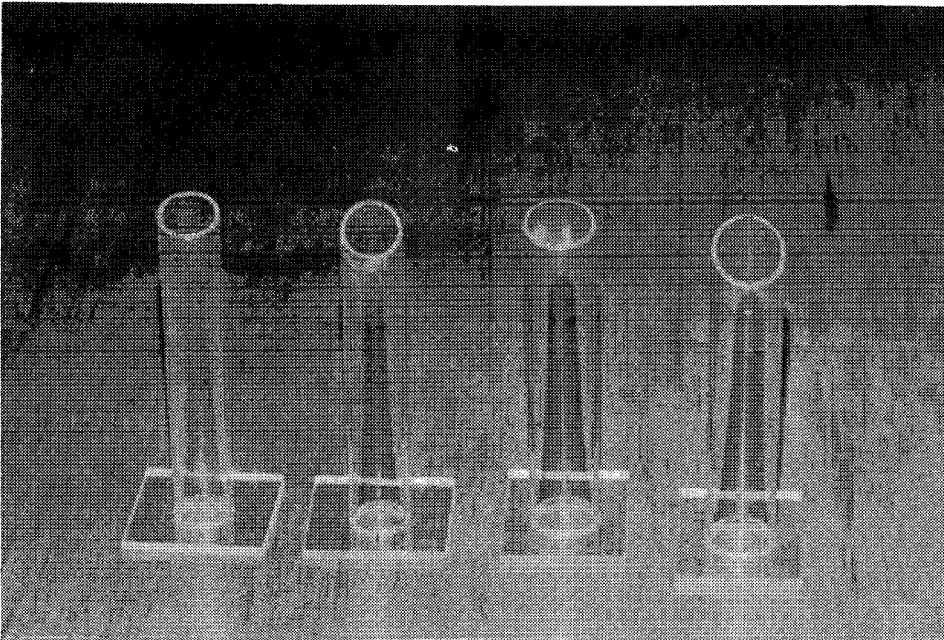


Fig. 2. Features of elliptical IORT cone

## OUTPUT FACTORS WITH CONE SIZE

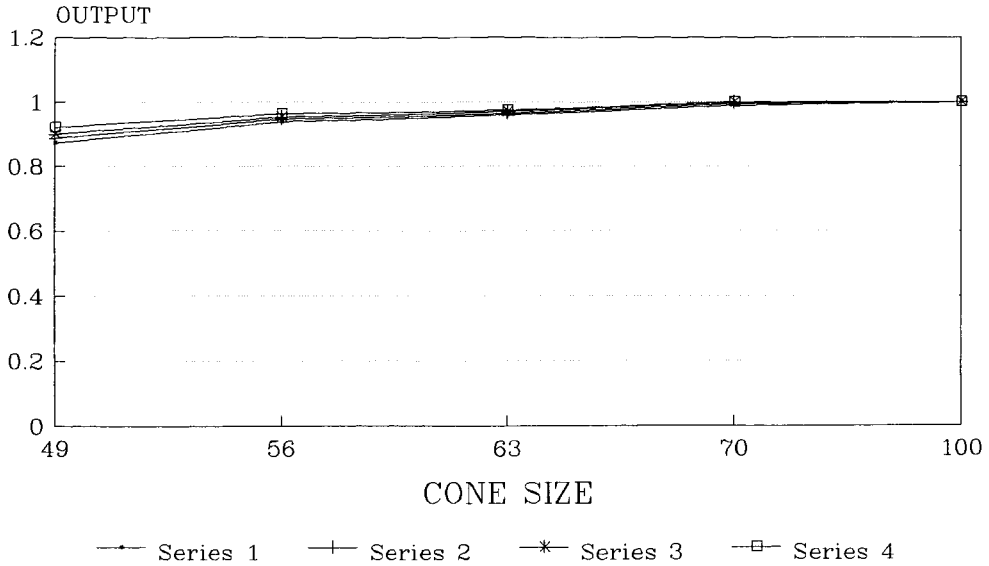


Fig. 3. Output factors with cone size

Table 1. Output factors with cone size

|        | 6×6   | 7×7   | 7×8   | 7×9   | 7×10  | 8×8   | 9×9   | 10×10 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6 MeV  | 0.826 | 0.872 | 0.887 | 0.901 | 0.921 | 0.922 | 0.989 | 1.000 |
| 9 MeV  | 0.921 | 0.938 | 0.946 | 0.954 | 0.964 | 0.970 | 0.993 | 1.000 |
| 12 MeV | 0.945 | 0.960 | 0.965 | 0.970 | 0.975 | 0.979 | 0.997 | 1.000 |
| 15 MeV | 0.982 | 0.990 | 0.995 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

보이고 있으며, 밑면에 덮개가 없는 cone보다 밑면에 덮개가 있는 cone의 flatness가 우수하게 나타나고 있다. 또한 밑면에 덮개가 없을 때 표면선량은 88% 밖에 되지 않는데 비해 1.3mm의 아크릴 투명 덮개를 붙임으로서 표면선량은 92%로 증가하였으며(Fig. 4), 산란선에 의한 cone 외부에서의 선량은 3.0%를 나타내었다.

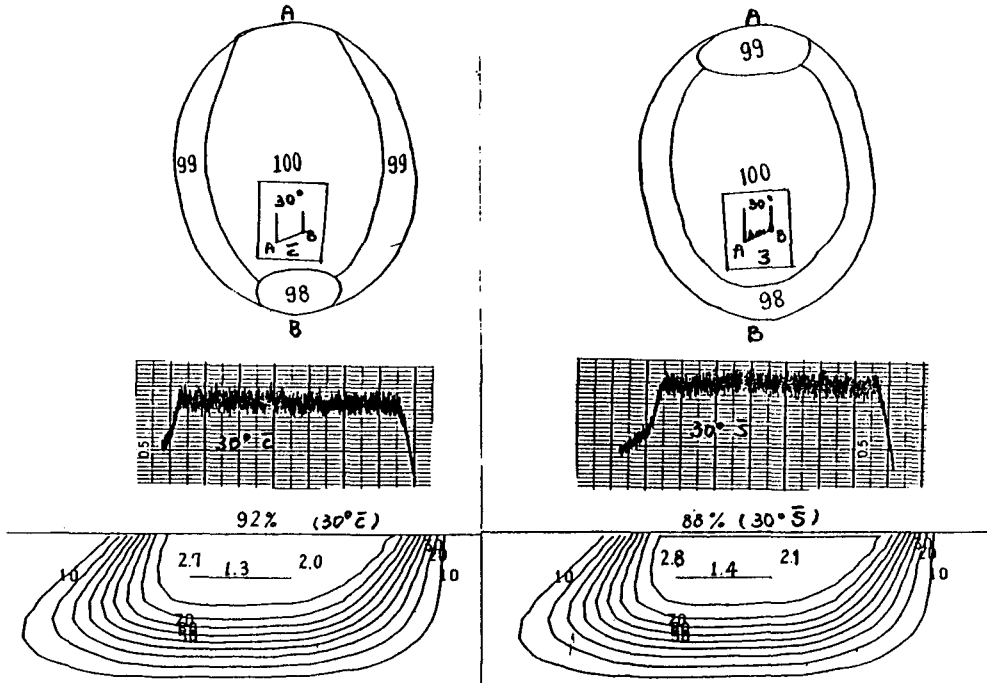


Fig. 4. Surface and depth dose distribution of elliptical IORT cone

#### IV. 고찰

대장직장암은 한국의 암환자 분포에서 4번째로 빈도가 높은 암으로 나타나고있으며 전체 암환자의 6%를 차지하고 있다.

근치적 수술요법에 의한 생존율은 20%~50%에 불과하며, 국소재발은 대장직장암에서 가장 흔한 실패의 원인으로서는 근치적 복합치료요법의 발달에도 불구하고 40%이상의 높은 국소재발율을 보이고 있다.

수술중 방사선치료는 개복후 가능한한 광범위하게 병소를 절제한 후 방사선에 예민한 장기는 조사면적 밖으로 밀어내고 국소재발이 높은 부위에만 전자선을 사용하여 한번만에 다량의 방사선량을 조사하므로써 정상조직의 손상을 최소화하면서 국소재발을 최대로 저하시키는 방법이다.

최초의 IORT는 1909년 Beck<sup>5)</sup>이 복강내 위암을 방사선으로 치료하기 위하여 종양을 abdominal wound 쪽으로 밀어내어 직접 조사하였고, 1915년에 Finisterer<sup>6)</sup>는 최초로 복개된 상태하에서 수술 불가능한 위암을 직접 조사하였으나 X-선 에너지가 약하여 치료효과는 극히 미약하였다. 1937년 Stanford Eloesser<sup>7)</sup>는 200 KVP의 X-선을 사용하여 위암과 직장암 환자 6명을 45 Gy 단일 조사를 시행하여 근대적 IORT 방법의 기초를 세웠다. 그후 1965년 일본 경도대 Abe<sup>8-10)</sup>는 위암환자를 개복된 채로 전신마취 하에서 수술실부터 방사선치료실로 이동하여 Co-60 원격치료를 사용하여 25-30 Gy 단일조사를 시행하였으며, Betatron을 설치하여 최초로 전자선으로 수술중 방사선치료를 시행하였다.

전자선의 물리적 특징은 선량분포에 있어서 급격한 강하 때문에 주변 정상조직의 방사선 피폭을 최소화 할 수 있는 장점때문에 일본, 미국, 유럽등에 널리 보급되어 위암, 대장직장암, 방광암, 자궁경부암, 식도암, 폐암등에 수술중 방사선치료가 보편적인 방법으로 시행되고 있다.

수술중 방사선치료의 치료효과를 좌우하는 요건으로는 종양의 침윤 정도에 따른 적절한 에너지의 선택과 조사면적의 크기 결정, 조사되는 방사선의 총선량, 조사되는 표면과 심부에서 얼마나 균등하게 선량이 분포하는가에 좌우된다. 이러한 요소중에서 에너지와 총선량은 cone에 무관하지만 조사면적의 크기, 표면과 심부에서의 선량분포는 cone에 따라 상당한 차이가 있으므로 cone의 모양이 치료효과를 좌우하는 중요한 요소가 된다.

Abe등은 수술중 방사선치료 단독으로 3000~4000 cGy를 조사하여 좋은 생존율을 얻었음은 물론 특별한 부작용은 없었다고 보고하고 있으며, Cromack<sup>11)</sup>등은 절제가능한 위암이나 췌장암에서 수술중 방사선치료로 인한 합병증율이 일반 수술에 의한 합병증율과 거의 비슷함을 보고하고 있다.

Minsky<sup>12)</sup>등은 재발된 대장암에서 수술중 방사선치료만을 시행하여 44%의 재발을 보고하고 있으며, Tepper<sup>13)</sup>등은 국소진행된 대장직장암 환자에서 1000~2000 cGy의 수술중방사선치료와 4500~5000 cGy의 수술전 외부 방사선치료를 병행하여 92%의 3년 생존율과 5%의 국소 재발율을 보고하고 있어 수술중방사선치료와 함께 외부 방사선치료가 필요함을 시사하였다.

저자들은 1200 cGy의 수술중방사선치료(Fig. 5)와 4000~4500 cGy의 외부방사선치료를 수술 후 4주 이내에 시작하는 것을 원칙으로 하였다.<sup>14)</sup>

영남대학교 의료원 치료방사선과학교실에서 제작한 직사형의 아크릴 IORT cone의 크기에 따른 출력특성은 주로 사용하고 있는 9 MeV의 전자선 에너지에 대해서 6×6cm에서는 0.921을 나타내며, 7×10cm에서는 0.964를 나타내고 있어 NEC 선형가속장치에 부착되어 있는 전자선 cone과 비슷한 출력특성을 나타내었다. 또한 30° 경사각을 가진 타원형 아크릴 cone의 선량분포는 밀면에 덮개가 있는 것과 없는 것 모두 98%에서 100%까지 좋은 선량분포를 나타내었다.

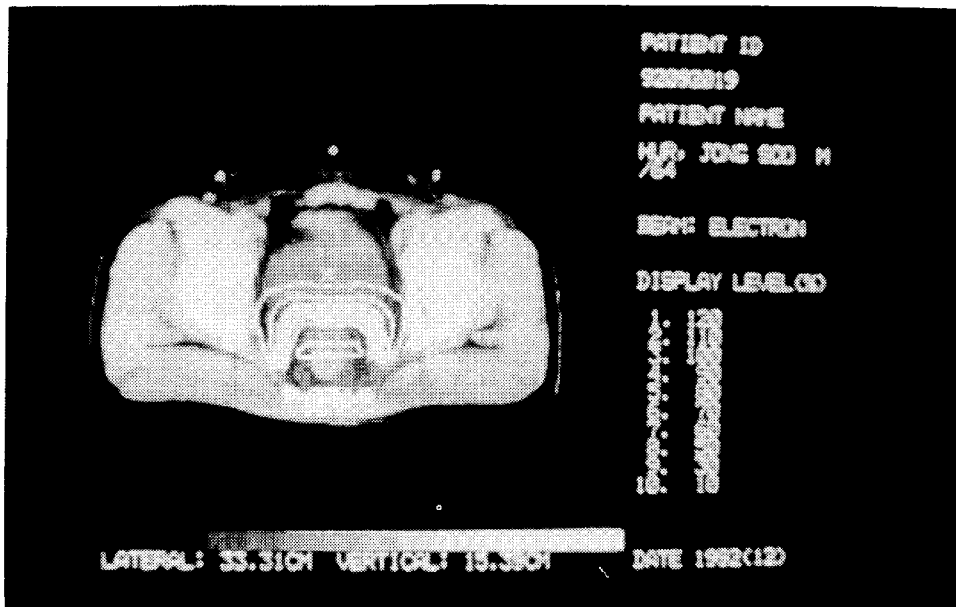


Fig. 5. Dose distribution of IORT for rectal cancer

## V. 결론

영남대학교 의료원 치료방사선과학교실에서 제작한 대장직장암의 아크릴 IORT cone의 선량 분포 특성은 다음과 같았다.

1. cone의 밑면에 1.3mm 아크릴 덮개를 부착한 것이 덮개가 없는 것보다 flatness가 좋았으며, 표면선량도 4% 증가 되었다.
2. 타원형 cone의 선량분포는 cone의 내부에서 거의 100%를 나타내었다.
3. 아크릴 cone의 크기에 따른 출력특성이 기존의 전자선 cone의 출력과 비슷하였다.

## Reference

1. C. Y. Choi, S. I. Ahn, J. B. Kim: A clinical analysis for the 92 cases of colorectal cancer in young male patients: J. Korean Cancer Assoc., 23(2), 357-365(1991)
2. A. D. Treurniet-Donker, W. L. J. von Putten, J. C. J. Wereldsma: Postoperative radiation therapy for rectal cancer. An interim analysis of a prospective randomized multicenter trial in the Netherlands: Cancer, 67, 204-2048(1991)
3. A. Allicepe, J. E. Tepper, L. L. Gunderson: Postoperative radiation therapy for incompletely resected colorectal carcinoma: Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 17, 1171-1176(1989)
4. S. Wadler: The role of immunotherapy in colorectal cancer: Seminar Oncol., 18, 27-38(1991)
5. C. Beck: On external reontgen treatment of internal structures(event radiation treatment): N. Y. State J. Med., 89, 621-622(1909)
6. H. Finsterer: Zur Therapie inoperable Magen und Darmkarzinome mit Freilegung und nachfolgender Rontgenbestrahlung Strahlentherapie: 6, 205-213(1915)
7. L. Eloesser: The treatment of some abdominal cancers by irradiation through the open abdomen combined with cautery excision: Ann. Surg., 106, 645-652(1937)
8. M. Abe, M. Fukada, K. Yamano: Intraoperative irradiation in abdominal and cerebral tumor: Acta. Radiol., 10, 408-416(1971)
9. M. Abe, M. Takahashi: Intraoperative radiotherapy: The Japanese experience: Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 7, 863-868(1981)
10. M. Abe: Intraoperative radiotherapy past, present, future: Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 10, 1987-1990(1984)
11. D. T. Cromack, M. M. Maher, H. Hoekstra: Are complications in intraoperative radiation therapy more frequent than conventional treatment?: Arch. Surg., 124, 229-235(1989)
12. B. D. Minsky, A. M. Cohen, D. Fass: Intraoperative brachytherapy alone for incomplete resected recurrent rectal cancer: Radiol. Oncol., 21, 115-120(1991)
13. J. E. Tepper, W. C. Wood, A. M. Cohen: Treatment of locally advanced rectal with external beam radiation therapy: Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 16,

1437-1444(1989)

14. M. S. Kim, S. K. Kim, J. H. Kim: Intraoperative Radiotherapy(IORT) for locally advanced colorectal cancer: J. Korean Soc. Ther. Radiol., 9(2), 265-270(1991)

## Analysis of Dose Distribution of Rectal IORT Cone

Sung Kyu Kim, Ph. D., Sei One Shin, M. D., Myung Se Kim, M. D.

Dept. of Therapeutic Radiology, Yeungnam University Medical Center,  
Teagu, 705-035, Korea

### Abstract

Authors started IORT for stomach cancer patient on 1988 and rectal cancer on 1991. We developed various sized, shaped IORT cones for better clinical application and homogeneous surface and depth dose distribution.

Authors obtained results as following.

1. The acryl cover fixed on the end for rectal IORT cone not only improvement of surface dose but also flatness of dose distribution.
2. Dose distribution of elliptical cone were shown almost 100% at inner field.
3. The output with acryl cone size were similar output of made electron cone.