

The Study of Shielding Effect on Ovoids of Three Different Gynecological Applicator Sets in microSelectron-HDR System

Young K. Cho*, Sung Y. Park*, Jin H. Choi†, Hung J. Kim*,
Woo C. Kim*, John J.K. Loh* and Joo Y. Kim†

Department of Radiation Oncology

*Inha University Medical College, Inha University Hospital

†Gachon Medical College, Ghil Medical Center

microSelectron-HDR System에서 부인암 강내조사에 쓰이는 세 가지 Applicator Set들의 Ovoids에 대한 차폐효과 연구

조영갑* · 박성용* · 최진호† · 김현정* · 김우철* · 노준규* · 김주영†

방사선종양학과, *인하대병원, †길병원

(1998년 11월 19일 접수, 1999년 2월 12일 채택)

Abstract - There are three different types of gynecological applicator sets available in microSelectron-high dose-rate(HDR) System by Nucletron; standard applicator set(SAS), standard shielded applicator set(SSAS), and Fletcher-Williamson applicator set(FWAS). Shielding effect of a SAS without shielding material was compared with that of a SSAS with shielding material made of stainless steel(density $\rho=8,000 \text{ kg/m}^3$) at the top and bottom of each ovoid, and of a FWAS with shielding material made of tungsten alloy(density $\rho=14,000 \text{ kg/m}^3$) at the top and bottom of each ovoid. The shielding effects to the rectum and bladder of these two shielded applicator sets were to be measured at reference points with an ion chamber and specially designed supporting system for applicator ovoids inside of the computerized 3-dimensional water phantom. To determine the middle point of two ovoids the measurement was performed with the reference tip of ion chamber placed at the same level and at the middle point from the two ovoids, while scanning the dose with the ion chamber on each side of ovoids. The doses to the reference points of rectum were measured at 20(R1), 25(R2), 30(R3), 40(R4), 50(R5), and 60(R6) mm located posteriorly on the vertical line drawn from M5(the middle dwell position of ovoid), and the doses to the bladder were measured at 20(B1), 30(B2), 40(B3), 50(B4), and 60(B5) mm located anteriorly on the vertical line drawn from M5. The same technique was employed to measure the doses on each reference point of both SSAS and FWAS. The differences of measured rectal doses at 25 mm(R2) and 30 mm(R3) between SAS and SSAS were 8.0 % and 6.0 %: 25.0% and 23.0 % between SAS and FWAS. The differences of measured bladder doses at 20 mm(B1) and 30 mm(B2) between SAS and SSAS were 8.0 % and 3.0 %: 23.0 % and 17.0 % between SAS and FWAS. The maximum shielding effects to the rectum and bladder of SSAS were 8.0 % and 8.0 %, whereas those of FWAS were 26.0 % and 23.0 %, respectively. These results led to the conclusion that FWAS has much better shielding effect than SSAS does, and when SSAS and FWAS were used for gynecological intracavitary brachytherapy in microSelectron-HDR system, the dose to the rectum and bladder was significantly reduced to optimize the treatment outcome and to lower the complication rates in the rectum and bladder.

Key Words : gynecological tumors, brachytherapy, intracavitary applicator, high dose rate, shielding effect

요약 - Nucletron사의 microSelectron-High Dose-Rate(HDR) System에서 부인암의 강내 근접치료에 사용되는 standard shielded applicator set(SSAS)와 Fletcher-Williamson applicator set(FWAS)는 standard applicator set(SAS)와 비교해서 다른 점이 ovoids 위와 아래 부분에 방광과 직장으로 가는 선량을 줄이기 위해 각각 스테인레스 강철(밀도 $\rho=8,000 \text{ kg/m}^3$)과 텅스텐 합금(밀도 $\rho=14,000$

kg/m³)으로 차폐가 되어 있다. 이에 본 연구에서는 특별히 고안한 지지장치를 사용해서 국제방사선단 위위원회(ICRU) 보고서 38에서 권고한 직장과 방광의 위치에 대하여 두 shielded ovoids의 차폐효과가 어느 정도인가를 알아보고자 하였다. 지지장치를 PTW사의 전산화된 3차원 물팬텀에 부착하고 SAS의 ovoids를 지지장치에 고정하였다. Ovoids의 끝 부분을 전리함(PTW 0.125cc)의 측정점 높이와 일치시키고 전리함을 좌우로 이동시키면서 선량을 측정하여 두 ovoids의 중간 위치를 확인하였다. 직장에 미치는 선량은 ovoids의 중간에 위치한 선원 M5로부터 posterior방향으로 수직으로 위치한 점들인 20(R1), 25(R2), 30(R3), 40(R4), 50(R5), 60(R6) mm에서 측정하였다. 방광에 미치는 선량은 M5로부터 anterior방향으로 수직으로 위치한 점들인 20(B1), 30(B2), 40(B3), 50(B4), 60(B5) mm에서 측정하였다. 위와 같은 방법으로 SSAS와 FWAS의 ovoids에서도 각각의 점들에 대한 선량을 측정하였다. SAS와 SSAS의 직장에 미치는 선량차이는 실제 임상에서의 관심 점들과 가장 가까운 25 mm(R2)와 30 mm(R3)거리에서 각각 8.0%, 6.0%였고 SAS와 FWAS의 직장에 미치는 선량차이는 25 mm(R2)와 30 mm(R3)거리에서 각각 25.0%, 23.0%로 나타났다. SAS와 SSAS의 방광에 미치는 선량차이는 20 mm(B1)와 30 mm(B2)거리에서 각각 8.0%, 3.0%였고 SAS와 FWAS의 방광에 미치는 선량차이는 20 mm(B1)와 30 mm(B2)거리에서 각각 23.0%, 17.0%로 나타났다. SAS를 SSAS나 FWAS로 대체하였을 때 직장에 미치는 선량은 SSAS는 최대 8.0%, FWAS는 최대 26.0%까지 감소되고 방광에 미치는 선량은 SSAS는 최대 8.0%, FWAS는 최대 23.0%까지 감소됨을 알 수 있었고 FWAS가 SSAS보다 차폐효과가 더 좋은 것으로 나타났으며 이 두 종류의 shielded applicator set는 부인암의 근접치료시 직장과 방광으로 가는 선량을 감소시켜 환자치료의 최적화를 이룰 수 있을 것으로 생각된다.

중심어 : 부인암, 근접치료, 강내 어플리케이터, 고선량율, 차폐효과

서론

부인암 중에 우리 나라에서 가장 발생빈도가 높은 자궁경부암의 방사선치료에서 외부 방사선치료와 강내 근접치료를 병용하는 것이 가장 좋은 치료선택이다. 자궁경부암의 치료에서 근접치료는 방사선치료가 발전하기 시작한 초기부터 사용되어 왔으며 그 중요성이 1930년대부터 알려져 왔고 임상경험을 기초로 하여 세 가지의 다른 기본 시스템인 Manchester 시스템, Paris 시스템, 그리고 Stockholm 시스템이 소개된 이후 이 시스템들을 개발 발전시킨 유사한 여러 종류의 applicator set들이 사용되고 있다[7,8,9,10]. 이 세 가지 시스템들은 모두 전장진(preloaded)된 ²²⁶Ra을 방사성 동위원소 선원으로 사용하였으며 Paris와 Stockholm 시스템들은 선량산정방법으로 일정기간 내에 몇 milligram의 라디움을 주는가(milligram-hours)를 이용했고 Manchester 시스템에서는 자궁경부 양 옆의 point A에서의 등선량율(isodose line)에 의한 선량분포를 도출하여 총 선량을 계산하는 방법을 이용하였다. 1950년대 초에 미국 MD Anderson 병원에서 개발한 Fletcher applicator set와 미국 뉴욕 Memorial 병원에서 개발한 Henschke applicator set가 널리 사용되어 왔으며 그 후 1950년대 말에 Henschke와 Hilaris가 후장진(afterloading) applicator set를 개발하였다. 이 후장진법은 시술자와

보조인력의 방사선 노출을 많이 감소시킬 수 있다는 장점 때문에 다른 형태의 여러 applicator sets에서도 이 후장진법을 채택하여 사용하게 되었다. 인공적으로 제작한 ¹³⁷Cs이 등장하면서 ²²⁶Ra 대신 사용되기 시작했고 이 때까지는 저선량율(low dose-rate)에 의해 치료가 이루어졌다.

1960년대에 미국의 Memorial 병원에서는 처음으로 원격조정에 의한 수제(handmade) 후장진법 강내치료 시스템이 개발되면서 시술자와 보조인력에게 방사선 노출이 전혀 없는 획기적인 전기가 마련되었고 그 후 불란서제 Curietron 등과 같은 상용제품들이 등장하였다. 최근에 좀 더 정교한 원격조정 후장진 시스템이 컴퓨터와 결합하여 고방사능 활성화도의 ¹⁹²Ir을 이용한 고선량율(high dose-rate) 치료[3]가 가능하게 되면서 방사선의 노출 염려가 없고 외래에서 치료가 이루어지게 되어 상용화된 제품들이 전 세계적으로 보급되고 있다.

Fletcher-Suit applicator set와 Henschke applicator set가 여러 번 변형되고 새롭게 개발되면서 직장과 방광에 미치는 합병증을 줄이기 위해 ovoids의 위와 아래에 여러 재료, 모양 및 굵기의 차폐물(shielding material)을 부착하여 직장과 방광에 가는 방사선량을 줄이는 shielded applicator set들이 등장하였다[1,4]. Non-shielded applicator set와 shielded applicator set들의 차폐효과에 대한 선량 차이를 보기 위해 몇 연구자들은 고체검출

기, 전리함, 열형광선량계, 그리고 필름 등으로 한 개의 ovoid에서 측정된 결과, 물팬텀 내의 이차원적 선량분포상 25 %에서 50 %까지의 차이가 있음을 규명하였다[14]. 전형적인 강내 근접치료에서 차폐되지 않은 applicator를 사용하면 직장과 방광에 10 %내지 20 %의 선량이 더 가는 것으로 보고되고 있다[5,6]. 삼차원의 개념으로 applicator set의 이질성(heterogeneities)을 고려하면서 근접치료의 선량을 계산한 몇 개의 연구들[14,15,16]을 제외하고 대부분의 computer를 이용한 치료계획 시스템에서는 각 applicator들의 이질성(heterogeneities)뿐만 아니라 이 차폐물의 차폐효과도 고려하지 않아 실제로 임상치료에서는 직장과 방광에 어느 정도의 선량 차이가 있는지 명확하게 알 수 없는 실정이다[8,11].

우리 병원에서는 Nucletron사에서 제작한 microSelectron-HDR system의 강내 치료기구를 사용하고 있으며 standard(non-shielded)(SAS), standard shielded(SSAS) 그리고 Fletcher-Williamson applicator set(FWAS) 등 세 가지 종류가 있다. SSAS의 ovoids에는 위와 아래에 4.5 mm 두께의 스테인레스 강철(density $\rho=8,000 \text{ kg/m}^3$)로 만든 차폐물(shielding material)이 부착되어 있고 FWAS의 ovoids에는 2.0 mm 두께의 텅스텐 합금(density $\rho=14,000 \text{ kg/m}^3$)이 부착되어 있어 직장과 방광으로 가는 방사선량을 줄인다. 하지만 우리 병원에서 사용하고 있는 근접치료 계획 시스템인 Nucletron사의 근접치료 전산화 계획 시스템(Brachytherapy Planning System)에서는 위의 세 가지 applicator들의 차이점들을 인식하지 못하며 어느 applicator를 사용하더라도 차폐물에 의한 선량분포의 차이를 도출해 낼 수 없다. 스테인레스 강철로 만든 차폐물을 부착한 SSAS에 의한 차폐효과는 Verellen[12] 등에 의해 연구되어 발표되었으나 텅스텐 합금을 사용한 FWAS의 ovoids에 의한 차폐효과는 아직까지 문헌상으로 발표되어 있지 않다. 이에 본 연구진은 자체 개발한 특수 지지장치와 실험을 통하여 차폐물을 스테인레스 강철로 만든 SSAS의 ovoids와 차폐물을 텅스텐 합금으로 만든 FWAS의 ovoids가 SAS(non-shielded)의 ovoids와 비교해서 여러 관심 있는 점들에 어느 정도의 차폐효과가 있는가를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구를 위해 사용된 실험 기기는 다음과 같다.

- 1) microSelectron-HDR system(High Dose-Rate Remote Afterloading System, Nucletron, Netherlands)
선원으로 사용되는 방사성 동위원소는 ^{192}Ir 이고, 실제 선원크기는 지름 0.6 mm, 길이는 3.5 mm이며 초기 방사능의 세기는 대략 10 Ci 정도이다.
Applicator channel 수는 18개이고 최대 선원 치료거리는 1500 mm이다.
- 2) 전산화된 3차원 물팬텀(MP3S, PTW, Germany)
- 3) Standard applicator set(SAS)(084.024, Nucletron)
Applicator tube와 ovoid부분은 스테인레스 강철(density $\rho=8,000 \text{ kg/m}^3$), ovoid caps은 polysulfone(density $\rho=1,240 \text{ kg/m}^3$)인 물질로 구성되어 있다.
- 4) Standard shielded applicator set(SSAS)(084.200, Nucletron)
Applicator tube와 ovoid부분, 및 차폐물은 스테인레스 강철, ovoid caps은 polysulfone인 물질로 구성되어 있다.
- 5) Fletcher-Williamson applicator set(FWAS)(085.230, Nucletron)
Applicator tube와 ovoid부분은 스테인레스 강철, 차폐물은 Densimet(텅스텐 합금density $\rho=17,000 \text{ kg/m}^3$), ovoid caps은 polysulfone인 물질로 구성되어 있다.
- 6) 0.125 cc 전리함(M31002, PTW)
- 7) 전기계(Unidos Electrometer, PTW)
- 8) Applicator 지지장치
전산화된 3차원 물팬텀에 부착하여 각 applicator들을 고정하도록 고안하였다.
- 9) 수평계

방법

Nucletron사에서 제작한 세 종류 applicator sets의 user guide에 기록된 ovoid부분의 기하학적 구조는 차폐물(shielding material)을 제외하고 모두 동일한 것으로 확인되었다(Fig. 1,2,3).

이 ovoid부분의 기하학적 구조와 ^{192}Ir 방사성 선원의 위치를 그래프용지에 확대하여 도식화하고 관심 있는 점들의 좌표를 설정하여 그려 넣었다(Fig. 4).

수평계를 사용하여 측정실 바닥과 수평이 되도록 전산화된 3차원 물팬텀을 설치하고 applicator 지지장치의 지지대부분이 물팬텀과 수직이 되도록 고정하였다. SAS의 ovoids에 20 mm크기의 ovoid

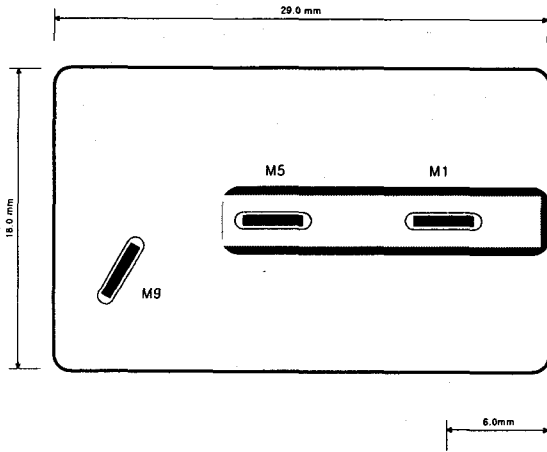


Fig. 1. Diagram of ovoid for standard applicator set(SAS).

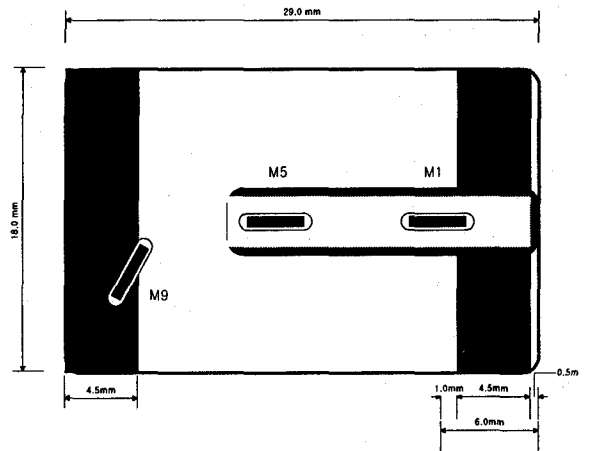


Fig. 2. Diagram of ovoid for standard shielded applicator set(SSAS).

caps을 끼우고 ovoids의 간격을 40 mm로 하여 standard applicator를 지지장치에 부착하고 지지대와 평행을 이루도록 고정시켰다. Applicator ovoids의 끝부분이 두 ovoid cap의 중앙과 만나는 점을 원점으로 하였고 전리함의 측정점 높이를 물 표면과 일치시키는 방법으로 Y축을 정하였고 전리함의 중앙에 오도록 Z축을 정하였다. 또한 두 ovoids의 중앙에 전리함을 위치시켜 X축을 정하였다. 원점으로부터 Z=30 mm 떨어진 거리에서 channel 1의 첫 번째 선원위치(M1)에 Ir-192 방사성 선원을 10초간 조사하여 측정값을 얻고 같은

방법으로 channel 2에서도 측정값을 얻었다. Channel 1과 channel 2의 측정값들이 동일하도록 실험을 계속하여 X축을 확인하였다. Z좌표는 30 mm이고 Y좌표는 0인 지점에서 X좌표를 -30 mm부터 +30 mm까지 10 mm 간격으로 channel 1과 channel 2의 첫 번째 선원위치에 Ir-192 방사성 선원을 10초간 각각 조사하였다. 각 channel의 측정값들을 비교 분석하여 위에 설정한 전리함과 applicator의 원점이 일치하는지를 확인하였다. 직장에 미치는 선량은 각각의 세 가지 applicator sets에서 M5로부터 posterior 방향으로 수직으로

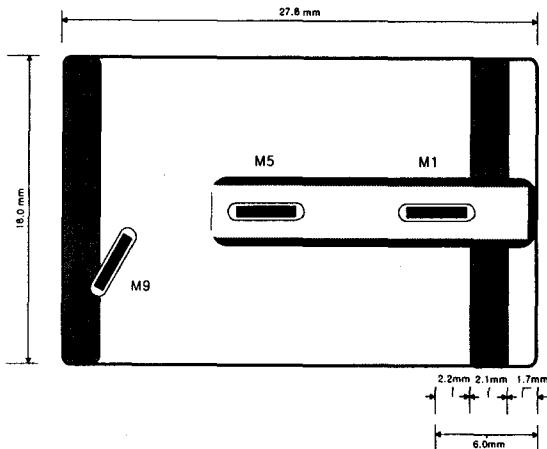


Fig. 3. Diagram of ovoid for Fletcher Williamson applicator set(FWAS).

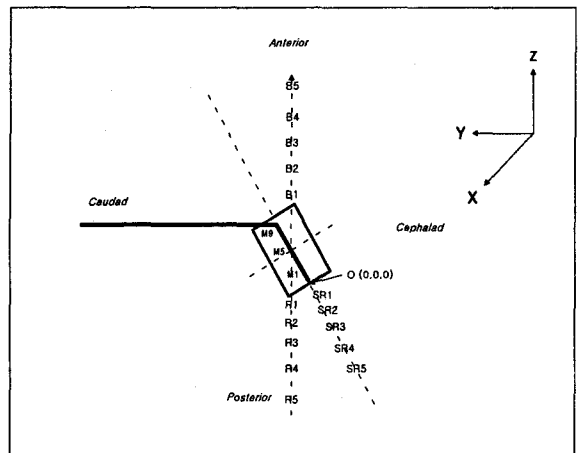


Fig. 4. Diagram of applicator with points of interest.

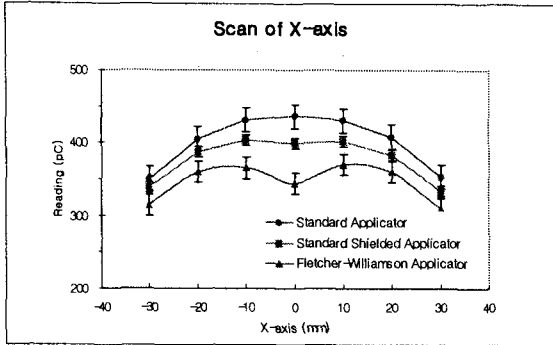


Fig. 5. Comparison of scan of X axis for Standard, standard shielded, and Fletcher-Williamson applicator.

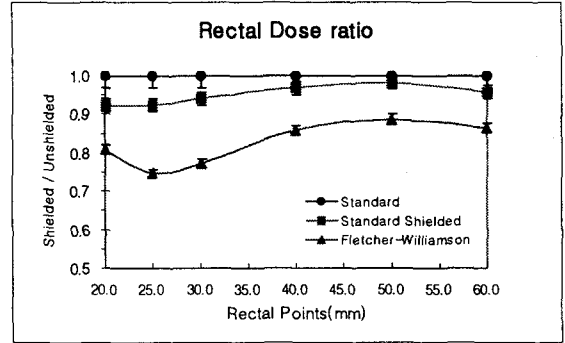


Fig. 6. Comparison of measured rectal doses at each interesting point on the vertical line drawn from M5 for standard, standard shielded, and Fletcher-Williamson applicator set.

위치한 점들인 20(R1), 25(R2), 30(R3), 40(R4), 50(R5), 60(R6) mm에서 측정하였고 channel 1과 channel 2의 M1, M5 및 M9 지점에 ¹⁹²Ir 방사성 선원을 각각 10초씩 조사하여 측정값을 얻었다. 또한 ovoid cap의 장축과 posterior 방향으로 평행하게 위치한 점들인 20(SR1), 25(SR2), 30(SR3), 35(SR4), 40(SR5) mm에서 측정하였으며 위와 동일한 방법으로 측정값을 얻었다. 방광에 미치는 선량도 M5로부터 anterior 방향으로 수직으로 위치한 점들인 20(B1), 30(B2), 40(B3), 50(B4), 60(B5) mm에서 측정하였으며 위와 동일한 방법으로 측정값을 얻었다. 위와 같은 방법으로 SSAS와 FWAS에서도 직장과 방광의 관심 있는 점들에 대한 측정값들을 얻었다. 얻은 측정값들이 어느 정도의 신빙성이 있는가를 보기 위해 다른 날들에

두 번 더 반복 측정하여 첫 번 측정값들과 비교 분석하였다. 총 세 번 측정된 값들에 대한 평균값 및 표준편차를 계산 도출하였다.

결과

SAS, SSAS 그리고 FWAS의 ovoids 중앙을 기준으로 하여 X좌표를 -30 mm으로부터 +30 mm 까지 10 mm 간격으로 측정된 값들을 비교한 그래프는 Fig. 5에 나타내었다. 각 측정 점들의 평균 표준편차는 비교적 작았으며 모든 applicator set는 중앙(x=0 mm)을 기준으로 하여 좌우 대칭이 잘됨을 알 수 있다. SSAS는 SAS와 비교해서 중앙 즉 x=0 mm인 지점에서 7.7 %, x= 10 mm인

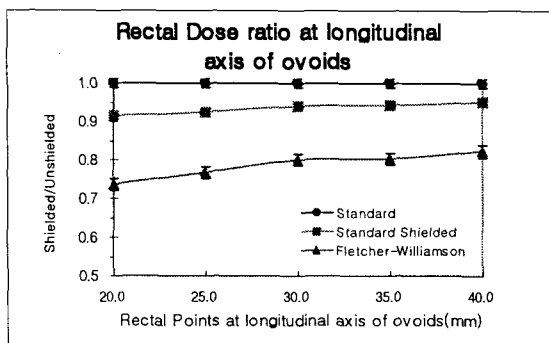


Fig. 7. Comparison of measured rectal doses of each interesting point on the longitudinal axis of ovoid cap for standard, standard shielded, and Fletcher-Williamson applicator set.

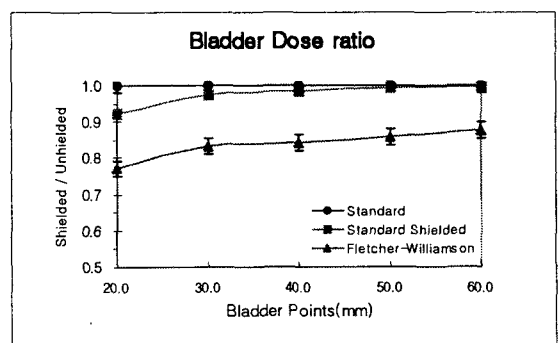


Fig. 8. Comparison of measured bladder doses of each interesting point on the vertical line drawn from M5 for standard, standard shielded, and Fletcher-Williamson applicator set.

지점에서 5.8 %, $x = 20$ mm인 지점에서 4.7 %, 그리고 $x = 30$ mm인 지점에서 3.7 %의 선량 감소가 나타났다. 또한 FWAS는 SAS와 비교하여 $x = 0$ mm인 지점에서 20.3 %, $x = 10$ mm인 지점에서 13.3 %, $x = 20$ mm인 지점에서 10.5 %, 그리고 $x = 30$ mm인 지점에서 10.8%의 선량감소가 나타났다.

직장에 미치는 선량 측정은 M5로부터 posterior 방향으로 수직으로 위치한 점들이며 이에 대한 그래프는 Fig. 6에 나타내었다. SAS를 기준으로 하여 SSAS는 R1에서 8.0 %, R2에서 8.0 %, R3에서 6.0 %, R4에서 3.0 %, R5에서 2.0 %, R6에서 4.0%의 선량 감소가 나타났으며 FWAS는 R1에서 19.0 %, R2에서 25.0 %, R3에서 23.0 %, R4에서 14.0 %, R5에서 11.0 %, R6에서 14.0 %의 선량 감소가 나타났다.

또한 ovoid caps의 장축과 평행이며 수직으로 위치한 직장에 미치는 선량 값들에 대한 그래프는 Fig. 7에 나타나 있다. SAS를 기준으로 하여 SSAS는 SR1에서 8.0 %, SR2에서 8.0 %, SR3에서 6.0 %, SR4에서 3.0 %, SR5에서 2.0 %의 선량 감소가 나타나며 FWAS는 SR1에서 26.0 %, SR2에서 23.0 %, SR3에서 20.0 %, SR4에서 20.0 %, SR5에서 18.0 %의 선량 감소가 나타났다.

방광에 미치는 선량측정은 M5로부터 anterior 방향으로 수직으로 위치한 점들이며 이점들의 측정 값들에 대한 그래프는 Fig. 8에 나타나 있다. SAS를 기준으로 하여 SSAS는 B1에서 8.0 %, B2에서 3.0 %, B3에서 2.0 %, B4에서 1.0 %, B5에서 0.4 %의 선량 감소가 나타나며 FWAS는 B1에서 23.0 %, B2에서 17.0 %, B3에서 16.0 %, B4에서 14.0 %, B5에서 12.0%의 선량 감소가 나타났다.

고찰

Fig. 5에서 보면 X 축 방향으로의 스캔은 모든 applicator sets에 대하여 ovoids의 중앙을 기준으로 좌우 대칭이 잘 되었으며 SAS는 중앙을 기준으로 좌우로 선량 감소가 나타났다. SSAS와 FWAS는 SAS와 비교하여 ovoids 중앙에서 선량 감소 폭이 가장 크게 나타났으며 이것은 각 applicator 차폐물질의 물리적 성질과 기하학적 차이에 의한 것으로 생각된다.

Verellen 등은 SAS와 SSAS의 한쪽 ovoid를 측정 set에 나란히 설치하여 SSAS의 4.5 mm 굵기 스테인레스 강철의 감쇠 자료를 얻었으나 두 다른 모양의 ovoid의 비대칭성 때문에 전리함의 측정위

치가 정확하지 않았던 것으로 보고하였다[12]. 본 연구에서는 각각 다른 applicator set의 두 ovoids를 대칭 시켜 설치한 후 측정값들을 얻었으므로 전리함의 측정위치로 생기는 오차를 줄일 수 있었다. Verellen 등이 얻은 선형감약계수(linear attenuation coefficient)는 방사선원(M9)과 전리함의 거리가 20 mm와 40 mm에서 위쪽 차폐방향으로는 각각 $0.035 \pm 0.018 \text{ mm}^{-1}$, $0.030 \pm 0.005 \text{ mm}^{-1}$ 이었고 유효투과계수(effective transmission factor)는 각각 0.854 ± 0.067 , 0.874 ± 0.021 이었다. 아래쪽 차폐방향으로는 20 mm와 40 mm에서 선형감약계수가 각각 $0.032 \pm 0.017 \text{ mm}^{-1}$, $0.041 \pm 0.008 \text{ mm}^{-1}$ 이었고 유효투과계수는 각각 0.864 ± 0.067 , 0.828 ± 0.028 이었다[12]. 이 측정값들은 저자들도 지적했듯이 측정 위치의 부정확성과 두 다른 ovoids의 비대칭성 때문에 정확한 차폐효과를 측정했다고 볼 수 없다. 또한 이 저자들은 과거에 치료했던 20명 환자들의 치료계획을 뽑아 근접치료 계획 시스템을 사용하여 실험에서 얻은 차폐물에 대한 감쇠 자료를 추가하고 다시 계산한 것과 원래의 차폐물 없이 계획한 치료계획을 비교하였다. 방사선원의 장진 위치는 M3, M5 그리고 M7이었다. 직장과 방광의 선량 Dr과 Db는 ICRU 보고서 38[2]에서 권고한 정의를 따랐고 최대 선량감소율은 tandem의 방사선원을 고려하여 계산했을 때 Dr에서 10.15 %, Db에서 8.68 %로 나왔고 tandem없이 계산했을 때는 Dr에서 15.33 %, Db에서 10.77 %로 나온 것으로 보고하였다. 이 값들은 Verellen 등이 근접치료 계획 시스템으로 다시 계산하여 얻는 절차를 설명하지 않았고 계산에 필요했던 자료들을 명시하지 않았을 뿐만 아니라 세 방사선원의 장진 위치가 틀리므로(본 연구에서의 장진 위치는 M1, M5 그리고 M9) 본 연구에서 직접 측정하여 얻은 직장과 방광으로의 선량 변화 값들을 Verellen 등이 얻은 값들과 비교하는 것은 별다른 의미가 없다[12].

M5로부터 posterior 방향으로 수직으로 위치한 점들에서 직장으로 가는 선량을 비교한 Fig. 6을 보면 SSAS의 차폐효과는 R1과 R2에서 8.0 %와 8.0 %로 나왔고 거리가 멀어지면서 점차 감소하였다. FWAS의 차폐효과는 R1에서는 19.0 %였으나 R2와 R3에서 증가하여 25.0 %와 23.0 %로 나타났으며 거리가 멀어지면서 점차 감소하였다. 두 shielded applicator sets를 비교하였을 때 FWAS의 차폐효과가 R2에서 18.5 % 정도로 현저하게 높음을 보여주고 있다. FWAS의 차폐효과는 아직까지는 문헌상에 발표된 것이 없으며 본 연구에서

얻은 각 관심 있는 점들에서의 측정값들이 SSAS의 측정값들보다 낮은 것으로 나와 차폐효과가 좋은 것으로 판단된다. 한가지 흥미 있는 발견은 FWAS의 R1에서의 측정값의 SAS에 대한 감소비가 19.0 %이고 R2에서의 측정값이 25.0 %로 나온 것은 차폐물의 기하학적 구조가 R2로의 차폐가 더 큰 것으로 추측되며 R3부터는 거리 역자승 법칙에 따른 것임을 알 수 있다.

Ovoid caps의 장축과 평행이며 posterior방향으로 위치한 점들에서의 직장에 미치는 선량을 비교한 Fig. 7에서도 마찬가지로 FWAS이 SSAS의 차폐효과가 20 % 정도로 높았다.

M5로부터 anterior방향으로 수직으로 위치한 점들인 방광으로 가는 선량을 비교한 Fig. 8을 보면 SSAS의 차폐효과는 B1에서 8.0 %, B2에서 3.0 %로 나왔고 거리가 멀어지면서 점차 감소하였다. FWAS의 차폐효과는 B1에서 23.0 %, B2에서 17.0 %로 나와 SSAS와 비교할 때 B1에서는 16.3 %, B2에서는 14.4 % 이상의 현저한 차이로 높음을 보여준다. 이 차이는 차폐물의 물리학적 및 기하학적인 차이뿐만 아니라 방사선원이 ovoid내에서 놓이는 각도가 M1, M5, 및 M9의 세 위치에서 각각 다름에 기인 한 것으로 생각된다.

실제적으로 임상에서 가장 중요시하는 직장과 방광으로의 선량이 본 연구에서 사용한 두 가지 shielded applicator sets 즉 SSAS와 FWAS를 사용했을 때 얼마만큼 차폐가 되는지를 정확히 계산하기 위해서는 tandem으로부터 오는 선량의 기여를 반드시 고려해야 하므로 본 연구에서 얻은 측정치들은 tandem에 방사선원을 장진 하여 측정할 경우에는 이 측정치들 보다 낮은 값들을 얻을 것으로 추정된다[12]. 본 실험을 처음 계획할 초기에는 tandem과 ovoids를 함께 부착한 상태에서 각 applicator의 차폐효과를 보고자 하였으나 tandem을 부착한 상태에서는 제한된 공간 때문에 전리함을 이용하여 관심 있는 점들의 정확한 측정이 불가능하다는 것을 발견하여 tandem을 제외하고 실험하였다. Tandem으로부터의 방사선 선량이 세 가지 applicator에 미치는 영향이 모두 같다는 조건하에서 tandem을 빼고 이 실험이 이루어졌으나 tandem으로부터의 선량이 각 applicator의 차폐효과에 상당한 영향을 줄 것으로 보아 전리함 이외의 다른 측정방법이나 새로운 지지장치의 고안 혹은 고체팬텀(solid phantom)을 이용하여 측정하는 방법[7] 등이 필요하다. ¹⁹²Ir 방사성 선원의 기하학적 특성상 비등방성 선량분포(anisotropic dose distribution)의 효과[17]를 고려해야 하지만 같은

조건하에서 각 applicator의 차폐효과를 측정한다는 점에서 이 비등방성 선량분포의 효과는 서로 상쇄되어 큰 영향을 미치지 않으리라 사료된다. 또한 ¹⁹²Ir 방사성 선원의 명목상 지름이 1.0 mm 인데 반하여 ovoid tube의 지름은 3.0 mm 이므로 매 측정시 항상 tube의 중간지점에 위치한다는 것을 확신할 수 없으므로 여기에서 발생할 수 있는 선량변화를 예측하기 어렵고 각 applicator의 차폐효과에 어느 정도의 영향을 미치는지는 미지수이다. 또한 방사성 선원으로부터 근접한 점들의 측정은 선량 경사도가 크므로 매 측정시 전리함의 위치에 따른 재현성이 중요한 변수로 작용한다.

결론

SAS를 SSAS나 FWAS로 대체하였을 때 직장에 미치는 선량은 SSAS에서 최대 8.0 %까지, FWAS에서 최대 26.0 %까지 감소됨을 알 수 있었고 방광에 미치는 선량은 SSAS에서 최대 8.0 %까지, FWAS에서 최대 23.0 %까지 감소됨을 알 수 있었다. 두 shielded applicator sets의 차폐효과 차이는 FWAS가 SSAS보다 직장에서 19.6 %, 방광에서 16.3 % 더 높은 것으로 나타났다. 이 두 shielded applicator sets를 임상에서 SAS 대신 사용할 경우 직장과 방광으로 가는 선량을 충분히 줄여 주므로 직장과 방광에서의 합병증을 줄일 수 있고 따라서 치료효과를 최적화할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 얻은 차폐효과와 모든 데이터는 이 차원 면에서 이루어졌지만 근접치료 전산화 계획 시스템(Brachytherapy Planning System)을 사용한 삼차원적인 치료계획에 필요한 여러 데이터를 충분히 축적하여 두 shielded applicator sets의 직장과 방광으로 가는 선량분포를 직접 계산 도출할 수 있도록 만들어 Monte Carlo dosimetry[13]와 비교해 볼 수 있는 첫 단계가 되리라는 것을 밝힌다.

본 연구는 1998년도 인하대학교 교내연구비를 지원 받아 수행하였음.

참고문헌

1. J.S. Haas, R.D. Dean, and C.M. Mansfield, "Dosimetric comparison of the Fletcher family of Gynecological colpostats 1950-

- 1980," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 11:1317-1321(1985).
2. International Commission on Radiation Units and Measurements, "Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology," *ICRU Report No. 38*(1985).
 3. H.D. Kubo, G.P. Glasgow, T.D. Pethel, B.R. Thomadsen, and J.F. Williamson, "High dose-rate brachytherapy treatment delivery: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 59," *Med. Phys.*, 24(4):375-403(1998).
 4. M.V. Lancker, and G. Storme, "Prediction of severe late complications in fractionated, high dose-rate brachytherapy in gynecological applications," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 20:1125-1129(1991).
 5. C.C. Ling, and I.J. Spiro, "Measurement of dose distribution around Fletcher-Suit-Delclos colpostats using a Therados radiation field analyzer(RFA-3)," *Med. Phys.*, 11:326-330(1984).
 6. C.C. Ling, M.C. Schell, K.R. Working, K. Jentzsch, L. Harisiadis, S. Carabell, and C.C. Rogers, "CT-assisted assessment of bladder and rectum dose in Gynecological implants," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 13:1577-1582(1987).
 7. J.A. Meli, A.S. Meigooni, and R. Nath, "On the choice of phantom material for the dosimetry of ^{192}Ir sources," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 14:587-594(1988).
 8. R. Mohan, I.Y. Ding, J. Toraskar, C. Chui, L.L. Anderson, and D. Normi, "Computation of radiation dose distributions for shielded cervical applicators," *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 11:823-830(1985).
 9. S. Nag, *High Dose Rate Brachytherapy: A Textbook*, pp. 373-383, Futura Publishing Co., Inc., Armonk, New York(1994).
 10. B. Pierquin, J.-F. Wilson, and D. Chassagne. *Modern Brachytherapy: A Textbook*, pp. 175-203, Masson Publishing USA, Inc., New York(1987).
 11. S.L. Schoepfel, B.A. Fraass, M.P. Hopkins, M.L. LaVigne, A.S. Lichter, D.L. McShan, S. Noffsinger, C. Perez-Tamayo, and J.A. Roberts, "A CT-compatible version of the Fletcher system intracavitary applicator: clinical application and 3-dimensional treatment planning," *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 17:1103-1109(1989).
 12. D. Verellen, W. De Neve, F. Van den Heuvel, G. Storme, V. Coen, and M. Coghe, "On the determination of the effective transmission factor for stainless steel ovoid shielding segments and estimation of their shielding efficacy for the clinical situation," *Med. Phys.*, 21(11):1677-1684(1994).
 13. Y. Watanabe, J. Roy, P.J. Harrington, and L.L. Anderson, "Experimental and Monte Carlo dosimetry of the Henschke applicator for high dose-rate ^{192}Ir remote after-loading," *Med. Phys.*, 25(5):736-744(1998).
 14. J.F. Williamson, "Dose calculations about shielded gynecological colpostats," *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 19:167-178(1990).
 15. J.F. Williamson, "Comparison of measured and calculated dose rates in water near ^{125}I and ^{192}Ir seeds," *Med. Phys.*, 18:776-786(1991).
 16. J.F. Williamson, H. Perez, Z. Li, and W.R. Lutz, "Comparison of calculated and measured heterogeneity correction factors for ^{125}I , ^{137}Cs , and ^{192}Ir brachytherapy sources near localized heterogeneities," *Med. Phys.*, 20:209-222(1993).
 17. R. Zandona, L. Riccardi, C. Cauzzo, F. Simonato, C. Merlo, E. Bolla, and R. Fabbris, "Anisotropy of a microSelectron-HDR Iridium-192 source," *Nucletron-Oldelft Activity Report No. 7.*, pp. 39-42(1995).