

Verification of Balloon Catheter for Rectal Dose Reduction in Brachytherapy

To-Sol Yu^{1,2}, Young-Min Moon¹, Wan Jeon¹, Chul-Won Choi¹, Bae-Sang Il¹, Jin-Young Kim^{1,*}

¹Department of Radiation Oncology, Dongnam Institute of Radiological and Medical Sciences, Busan, Korea

²Department of Radiation Oncology, Seoul National University College of Medicine

Received: November 02, 2022. Revised: November 24, 2022. Accepted: November 30, 2022.

ABSTRACT

In order to reduce side effects such as rectal bleeding in the Brachytherapy, the rectal retractor and wet gauze have been used to increase the distance between the rectum and the tandem. However, there were disadvantages that it was difficult to insert through a narrow entrance into the vagina and poor reproducibility. Also, based on the CT image of the selected catheter, the distance from the tandem to the rectum with or without the balloon catheter was checked and the reduction of the dose to the rectum was confirmed. As a result of the experiment, catheter No. 7 was selected considering the maximum balloon size at a level that does not affect the distance between the start point of the balloon and the end of the catheter, and the ovoid applicator. Based on the CT image of the selected catheter, the degree of expansion according to the presence or absence of the balloon catheter was compared, and it was found that the distance difference was 0.3 - 1 cm. In addition, it was confirmed that a decrease of about 32% was observed due to this distance difference. Therefore, the actual clinical application of the selected catheter can be used as a substitute for the existing rectal retractor and wet gauze.

Keywords: Balloon Catheters, Brachytherapy, Rectal Dose Reduction

I. INTRODUCTION

자궁경부암은 세계적으로 여성암 중 사망률 2위, 발생률 4위를 기록하고 있는 악성 종양으로 흔하게 발생하는 암으로 국내에서도 2015년 5만명에서 2019년 6만명으로 약 15% 증가하였으며 이 중 20~30대 환자에 대하여 47%의 발생률 증가를 보이고 있다^[1].

자궁경부암은 비교적 방사선에 잘 반응하는 암으로 알려져 있으며, 원격전이 가능성이 없는 자궁경부암은 근치적 방사선치료가 주된 치료로 자리잡았다. 방사선치료는 주변부와 림프절을 포함해서 치료할 수 있는 외부 방사선치료와 자궁 경부를 중심으로 치료할 수 있는 근접방사선치료로 나뉜다^[2,3].

방사선 치료는 외부 방사선치료로만 치료했을

때와 외부 방사선치료 및 근접방사선치료를 혼합하여 치료했을 때 20% 이상의 5년 생존률이 차이가 나므로 근접방사선치료는 필수라 할 수 있다. 현재 흔히 사용하는 근접방사선치료 방법은 탄뎀과 링 또는 오보이드 어플리케이터를 사용하는 고선량 강내방사선치료 (intracavitary brachytherapy)이며, 어플리케이터를 질 내에 삽입하여 거치시킨 후, 고선량 방사선선원을 이용하여 방사선을 종양 부위에 전달하는 것이다. 따라서 일반적인 자궁경부암의 근접방사선치료는 탄뎀과 오보이드 어플리케이터 내에서 선원의 체류시간 및 위치를 조정하여 배모양(pear shape)의 방사선 등선량곡선을 형성하며, 이 곡선의 모양에 따라서 종양과 그 주변의 장기에 방사선이 조사된다^[4].

* Corresponding Author: Jin-Young Kim E-mail: 99me@nate.com Address: (46033) 40, Jwadong-gil, Jangan-eup, Gijang-gun, Busan

3차원 근접방사선치료는 등방원의 선량분포로 고정되어 있는 동위원소 선원의 선량 분포로 인하여 외부방사선치료의 3차원 입체조형 방사선치료와 같이 치료체적(target volume)에 맞추어 곡선 모양의 조절이 어렵다. 이로 인해 치료용적의 모양과 주변 장기의 해부학적 위치에 따라 주변 장기(방광, 직장, 소장 등)에 불필요한 방사선이 조사될 수 있으며 이로 인하여 직장 출혈 등의 방사선치료 부작용이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 부작용을 줄이고자 탄뎀 및 오보이드 삽입 시 Fig. 1과 같이 직장견인기, 젖은 거즈 등을 이용하여 직장의 거리를 늘려준다. 그러나 이러한 기구들의 사용은 질내 좁은 입구로 삽입이 어렵고 재현성이 떨어지는 단점이 있다^[5].

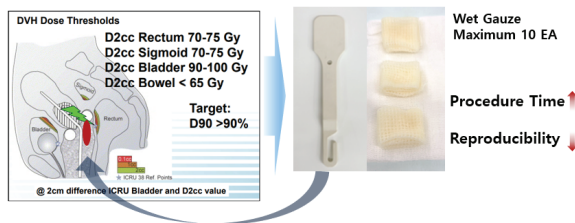


Fig. 1. Rectal Retractor and Wet Gauze.

따라서 풍선형 카테터와 같이 쉽게 삽입이 가능하고 고정기구를 통해 위치가 고정되어 재현성을 향상시킬 수 있는 시스템이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 다양한 풍선형 카테터를 직장견인기, 젖은 거즈 대용으로 적용하여 직장 선량 감약 정도를 검증하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 풍선형 카테터의 선택

본 논문에서 사용한 카테터의 종류는 Fig. 2와 같다. 또한 각각의 카테터에 대한 주요 명세는 Table 1과 같다.

Fig. 3과 같이 카테터의 고정을 위해서는 풍선의 시작지점과 카테터 끝부분의 거리가 적절해야 하며 풍선의 크기 또한 오보이드 어플리케이터에 영향을 주지 않는 수준에서 큰 사이즈를 만족하는 수

준에 카테터를 선정하였다.

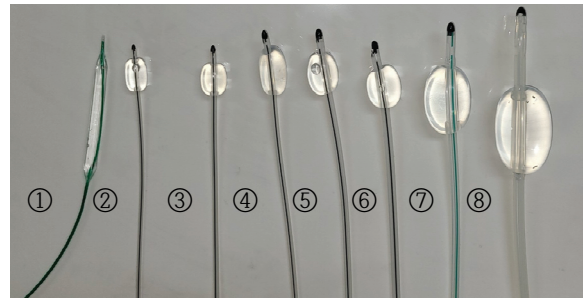


Fig. 2. Various Balloon Catheters.

Table 1. Specifications of the Balloon Catheters

No	Ballon size	Catheter Thickness	distance for tip to ballon
1	10 X 60 (mm)	6 fr	0.8
2	3 cc	8 fr	0.6
3	3 cc	10 fr	0.9
4	5 cc	12 fr	1.2
5	5 cc	14 fr	1.4
6	5 cc	16 fr	1.6
7	20 cc	16 fr	2.3
8	50 cc	20 fr	4.2



Fig. 3. Balloon Catheter.

또한 본 논문에서 직접 제작한 팬텀에 삽입하여 CT 영상을 획득하여 풍선으로 탄뎀과 직장과의 거리 및 기존 어플리케이터와의 간섭을 확인하였다. CT 영상획득은 GE 의 LightSpeed RT 16 CT 시뮬레이터(LightSpeed RT16, General Electric Healthcare, Milwaukee, WI)를 이용하여 2.5 mm 간격의 슬라이스를 채택하였다.

2. 풍선형 카테터를 이용한 직장선량 감소 검증

풍선형 카테터를 이용한 직장 선량 감소 검증을 위하여 MicroSelectron HDR (Nucletron, The Netherlands) 을 1m 거리에서 초 당 0.5 mGy를 조사하였으며 선택된 카테터를 토대로 직장쪽으로 thimble chamber PTW-31010 (PTW-Freiburg, Freiburg, Germany)를 삽입하여 풍선형 카테터 삽입 전과 삽입 후의 선량 차이를 검증하고자 하였다. 측정에 사용된 일렉트로미터는 교정된 Model UNIDOS 10001 (PTW-Freiburg, Freiburg, Germany)에 400 V 인가 전압을 사용하였다. 측정값은 3번의 측정후 평균값으로 구하였다. 이온 챔버의 측정 위치는 Fig. 4와 같이 각각 파란색 부분에 위치하였다.

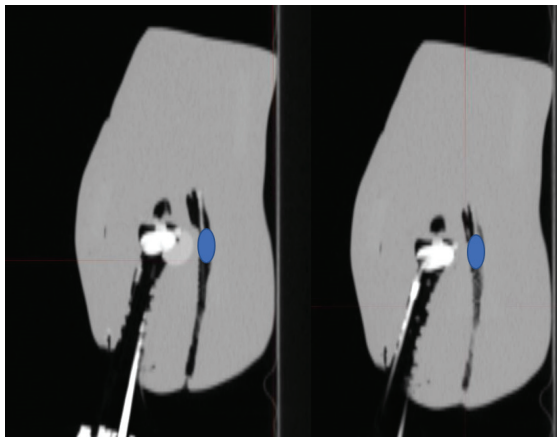


Fig. 4. Chamber position with and without a balloon catheter.

III. RESULT

1. 풍선형 카테터의 선택

총 8가지 형태의 풍선형 카테터를 이용하여 기준 어플리케이션에 고정해본 결과, 1번 카테터는 고정되지 않았고 2 - 3 번까지의 풍선형 카테터는 풍선의 시작지점과 카테터 끝부분의 거리가 짧아 고정 후 풍선의 위치로 인해 오보이드와의 간섭이 발생하였다. 또한 4 - 6 번 카테터의 경우 풍선의 크기가 작아 직장과 텐텀과의 거리를 충분히 확장하지 못하였으며 8 번 카테터의 경우 시작지점과 카테터 끝부분의 거리가 길어 풍선이 형성되는 위치가 치료위치에서 떨어져 있다. 따라서 7 번 카테터

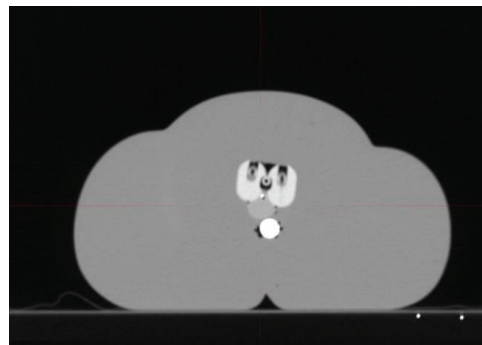
의 경우가 가장 적절하게 사용되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5와 같이 풍선의 유무에 따른 CT 영상을 획득하여 텐텀에서 직장까지의 거리를 여러 슬라이스에서 측정해 본 결과 0.3 - 1 cm 의 거리 차이를 보임을 알 수 있었다.

2. 풍선형 카테터를 이용한 직장선량 감소 검증

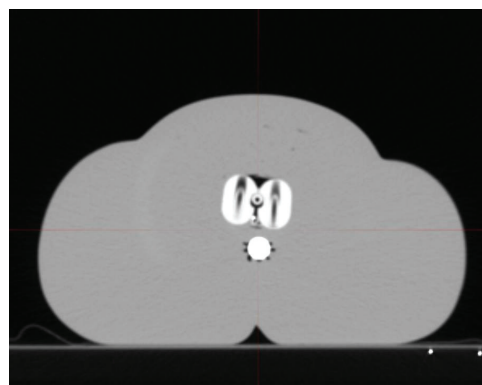
풍선형 카테터 삽입 전과 삽입 후의 선량 차이는 전류 값의 최대치를 토대로 측정하였다. 측정 결과는 Table 2와 같이 각각 38.6 pA, 26.1 pA 값을 얻을 수 있었는데 이는 12.5 pA 의 차이로 약 32%의 감소가 발생함을 알 수 있었다.

Table 2. signal reduction with and without a balloon catheter

Signal (pA) without a balloon catheter	Signal (pA) with a balloon catheter	Signal Reduction Ratio (%)
38.6 ± 0.1 pA	26.1 ± 0.1 pA	32 %



(a) With Balloon Catheter



(b) Without Balloon Catheter

Fig. 4. CT images with and without a balloon catheter.

IV. DISCUSSION

본 논문은 기존의 재현성이나 시술에 어려움이 있는 직장견인기 및 젖은 거즈를 대신하여 풍선형 카테터를 삽입하고자 하였다. 총 8가지 카테터 중에서 가장 적합한 형태의 카테터를 선정할 수 있었으며, 이를 통해 약 0.3 - 1 cm의 거리 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 기존 2013년 출판된 Palmer 등 IR-192 선량 감약에 대한 여러 논문을 토대로 0.3 cm에서 1 cm의 거리차이는 약 40 - 90 %의 선량 감소로 이어지는 것을 확인할 수 있다^[6-8]. 또한 이온 챔버를 통한 결과 값에서도 유의미한 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 반면 실제 인체에서는 자궁경부와 직장 간의 거리가 밀착하여 있으나 자체 제작한 팬텀에서 자궁경부와 직장 간의 거리가 1 cm 이상으로 멀게 제작되었다. 이에 따라 Palmer 논문의 거리에 따라 지수함수적으로 감소하는 그래프에 대입해 볼 때 거리가 1 cm 이상 떨어진 상태에서는 밀착된 상태에서 확장된 경우에 비해 감약의 정도가 미비한 것으로 보인다^[6]. 즉 그래프 상에서 텐덤이 직장에 밀접해 있을 때 1 cm 확장시킬 경우 약 77 %의 선량 감소를 가져오지만 1 cm 떨어져 있는 상태에서의 1 cm 확장시킬 경우 40%의 선량 감소를 보이고 있다. 따라서 본 논문상에서 감약된 정도는 약 32 % 정도이지만 실제 임상 적용 시에는 자궁경부와 직장 간의 거리가 밀착하여 직장 선량 감소의 효과가 더욱 클 것으로 예상된다.

반면 본 연구는 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 본 연구에서는 단일 팬텀을 이용하였고, 다양한 환자의 골반 구조를 대변해주지 못한다. 이에 추후 실제 환자에서 본 풍선형 카테터 방식을 적용한 임상시험이 필요할 것이다. 또한 풍선형 카테터가 재현성이 기존 젖은 거즈 등의 방식보다 우월할 것으로 예상되나, 이에 대한 과학적 검증을 거치지 못했다. 이에 추후 실험에서는 이에 대한 비교실험을 시행할 계획이다. 하지만 풍선형 카테터는 삽입 시 텐덤 밑에 정확히 고정되어 들어가서 이후 일정한 용량의 생리식염수가 들어가기 때문에 재현성은 매우 뛰어날 것으로 기대된다. 이외에 하이드로겔 삽입을 이용한 직장분리방식도 시도되었으나 침습

적이고 효과가 충분치 않아 널리 사용되고 있지 않다^[7]. 또한 풍선형 직장 및 방관 분리 장치를 개발하여 시도한 사례^[8]도 있으나 본 연구에서 사용한 풍선형 카테터는 기존에 널리 사용되는 값싼 도뇨관을 개량하여 사용하기 때문에 저렴하고 손쉽게 접근이 가능하다는 장점이 있다.

V. CONCLUSION

기존 강내방사선치료 시스템은 직장 출혈 등의 부작용을 줄여주고자 직장견인기, 젖은 거즈 등을 이용하여 직장과 탄뎀과의 거리를 늘려주고자 하나 질 내 좁은 입구로 삽입이 어렵고 재현성이 떨어지는 단점이 존재하였다.

이에 본 논문에서는 기존 강내방사선치료 시스템에 직장 피폭 선량을 줄여줄 수 있는 다양한 풍선형 카테터를 적용하여 적절한 풍선형 카테터를 선정하고 풍선형 카테터의 삽입 유무에 따른 직장에 피폭되는 선량의 감소를 확인하고자 하였다. 실험 결과 약 32 % 감약이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 실제 임상적용에 있어서도 기존의 직장견인기 및 젖은 거즈 등을 충분히 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 동남권원자력의학원의 지원을 받아 수행된 연구임(50601-2022).

Reference

- [1] Annual report of cancer statistics in Korea in 2019
- [2] P. Sadegh, F. A. Mourrada, R. H. Taylor, J. H. Anderson, "Brachytherapy optimal planning with application to intravascular therapy", *Medical Image Analysis*, Vol. 3, No. 3, pp. 223-236, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S1361-8415\(99\)80021-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1361-8415(99)80021-8)
- [3] P. Georg, R. Pötter, D. Georg, S. Lang, J. C. A. Dimopoulos, A. E. Sturdza, D. Berger, C. Kirisits, W. Dörr, "Dose Effect Relationship for Late Side Effects of the Rectum and Urinary Bladder in Magnetic Resonance Image-Guided Adaptive Cervix

Cancer Brachytherapy", *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Vol. 82, No. 2, pp. 653-657, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2010.12.029>

- [4] M. J. Rivard, B. M. Coursey, L. A. DeWerd, W. F. Hanson, M. S. Huq, G. S. Ibbott, M. G. Mitch, R. Nath, J. F. Williamson, "Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations", *Medical Physics*, Vol. 31, No. 3, pp. 633-674, 2004.
<https://doi.org/10.1118/1.1646040>
- [5] T. P. Hellebust, E. Dale, A. Skjønberg, D. R. Olsen, "Inter fraction variations in rectum and bladder volumes and dose distributions during high dose rate brachytherapy treatment of the uterine cervix investigated by repetitive CT-examinations", *Radiotherapy and Oncology*, Vol. 60, No. 3, pp. 273-280, 2001.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8140\(01\)00386-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8140(01)00386-3)
- [6] A. L. Palmer, C. Lee, A. J. Ratcliffe, D. Bradley, A. Nisbet, "Design and implementation of a film dosimetry audit tool for comparison of planned and delivered dose distributions in high dose rate (HDR) brachytherapy", *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 58, No. 19, pp. 6623-6640, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/58/19/6623>
- [7] M. Simone, B. Volker, W. Friederike, B. Elena, G. Bernhard, V. Filiberto, K. Christhardt, "Rectum separation in patients with cervical cancer for treatment planning in primary chemo-radiation", *Radiation Oncology*, Vol. 7, pp. 109, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1186/1748-717X-7-109>
- [8] B. Rai, F. D. Patel, S. Chakraborty, R. Kapoor, S. C. Sharma, S. Kumaravelu, P. Raghukumar, A. S. Aprem, "Bladder-Rectum Spacer Balloon versus Vaginal Gauze Packing in High Dose Rate Brachytherapy in Cervical Cancer: A Randomised Study. Part II", *Clinical Oncology*, Vol. 27, No. 12, pp. 713-719, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.clon.2015.06.014>

강내 방사선치료에 있어 직장선량 감소를 위한 풍선형 카테터의 검증

유도솔^{1,2}, 문영민¹, 전완¹, 최철원¹, 배상일¹, 김진영^{1,*}

¹동남권원자력의학원 방사선종양학과

²서울대학교 의과대학 방사선종양학과

요 약

기존 강내방사선치료 시스템은 직장 출혈 등의 부작용을 줄여주고자 직장견인기, 젖은 거즈 등을 이용하여 직장과 탄뎀과의 거리를 늘려주고자 하나 질 내 좁은 입구로 삽입이 어렵고 재현성이 떨어지는 단점이 존재하였다. 이에 본 논문에서는 이에 본 논문에서는 기존 강내방사선치료 시스템에 직장 피폭 선량을 줄여줄 수 있는 다양한 풍선형 카테터를 적용하였다. 카테터의 고정을 위해서는 풍선의 시작지점과 카테터 끝부분의 거리가 적절해야 하며 풍선의 크기 또한 오보이드 어플리케이션에 영향을 주지 않는 수준에서 큰 사이즈를 만족하는 수준으로 카테터를 선정하였다. 또한 선정된 카테터의 CT 영상을 토대로 풍선형 카테터 유무에 따른 탄뎀에서 직장까지 거리를 확인하고 직장에 피폭되는 선량의 감소를 확인하고자 하였다. 실험 결과 풍선의 시작지점과 카테터 끝부분의 거리, 오보이드 어플리케이션에 영향을 주지 않는 수준에서 최대한의 풍선 크기를 고려하여 7번 카테터를 선정하였다. 선정된 카테터의 CT 영상을 토대로 풍선형 카테터 유무에 따른 확장정도를 비교해본 결과 0.3 - 1 cm 의 거리 차이를 보임을 알 수 있었다. 또한 이러한 거리차이에 의해 약 32%의 감소를 보였다. 따라서 선택된 카테터의 실제 임상적용에 있어서도 기존의 직장견인기 및 젖은 거즈 등을 충분히 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 풍선형 카테터, 강내방사선치료, 직장선량 감소

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	유도솔	동남권원자력의학원 방사선종양학과	의사
(공동저자)	문영민	동남권원자력의학원 방사선종양학과	연구원
	전완	동남권원자력의학원 방사선종양학과	의사
	최철원	동남권원자력의학원 방사선종양학과	의사
	배상일	동남권원자력의학원 방사선종양학과	연구원
	김진영	동남권원자력의학원 방사선종양학과	연구원
(교신저자)	김진영	동남권원자력의학원 방사선종양학과	연구원