

Evaluation of OSLD and EBT3 film for dose, energy, and angular dependence

OSLD 와 EBT3 필름의 선량, 에너지, 방향의존성에 대한 평가

¹Ju-seong Lee, ²Bo-ram Kang, ³Hyeon-Kyung Kwon, ⁴Ji-Young Park, ⁵Ju-Hye Kim, ⁶Young-Se Choi, ⁷Daehong Kim

^{1, First Author} Department of Radiological Science, Eulji University

^{2,3,4, Co-Author} Department of Radiological Science, Eulji University

^{5, Co-Author} Department of Radiation Oncology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong

^{6, Co-Author} Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center

^{*7, Corresponding Author} Department of Radiological Science, Eulji University, E-mail: goldcollar011@eulji.ac.kr

Received: May 23, 2013., Revised: June 01, 2013., Accepted: June 17, 2013.

Abstract

A radiation dosimeter is important to assess quality assurance (QA) of radiation therapy devices and to estimate the radiation dose in vivo dosimetry. Recently, optically stimulated luminescence detector (OSLD) is widely used in clinical field. Therefore, the purpose of this study is to evaluate dose, energy, and angular dependence of OSLD and EBT3 film. The absorbed dose in clinical linear accelerator (Linac) beam is calibrated for dose per monitor unit (MU). Dose, energy, and angular dependence of OSLD and EBT3 film are estimated after the calibration procedure. The absorbed dose is measured at 50, 100, 150, and 200 cGy in a 6 MV X-ray beam for dose dependence. A dose of 150 cGy is delivered to OSLD and EBT3 film with 6 and 10 MV photon energies for energy dependence. For measurements of angular dependence, angular positions of gantry are $0^{\circ} \pm 80^{\circ}$ with 6 MV at 150 cGy. The results of dose dependence is linear for OSLD and EBT3 film. For the results of energy dependence, errors were 0.39% and 0.03% for OSLD and EBT3 film, respectively. The results of dose for angular is decreased from 0° to $\pm 80^{\circ}$ for both OSLD and EBT3 film. When angle of 0° is normalized to 1, and the dose is decreased to 60 and 66% at 80° for OSLD and EBT3 film, respectively. Dose and energy dependence of OSLD and EBT3 film are measured within the recommendation of manufacturer. Angular dependence is increased from 0° to $\pm 80^{\circ}$ for OSLD and EBT3 film. The characteristics of OSLD and EBT3 film are similar and expected to be useful for clinical field.

Keywords: OSLD, EBT3 film, Dose dependence, Energy dependence, Angular dependence

1. 서론

외조사 방사선 치료는 고에너지 빔을 암에 조사하는 기법이며, 고선량을 사용하므로 정상조직에 많은 부작용을 일으킬 수 있어 ALARA (As low as reasonably achievable) 원칙에 따라 환자에게 정확한 양의 방사선을 조사하는 것이 주과제가 되고 있다. 이 과제를 수행하기 위해 임상에서는 방사선 치료 장비의 정도 관리 (Quality assurance, QA) 및 선량측정 (In vivo dosimetry)을 주기적으로 시행하고 있다. 방사선

치료 방법의 발전에 따른 고도화에 의해 수행하는 선량측정의 중요성이 서서히 증가하고 있으며, 선량 확인을 위해 사용되는 선량계의 역할이 매우 중요하다.

광자극발광선량계 (Optically Stimulated Luminescent Dosimeter, OSLD)는 기존 열형광선량계 (Thermoluminescent dosimeter, TLD)를 대체하여 사용이 증가하는 추세에 있다. TLD 에 비교한 OSLD 의 장점은 어닐링에서 열 대신 빛을 사용하기 때문에 냉각 소요 시간이 짧아서 어닐링 후 바로 사용할 수 있는 장점이 있다 (2012). OSLD 는 구조적으로 칩 형태이기 때문에 피부선량 측정에 유리하고, 소자 크기가 작기 때문에 세기조절방사선치료 (Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT) 등과 같은 소조사면 선량 측정에 용이하다 (2014). 이런 장점을 가진 OSLD 는 방사선 치료장치의 QA 에 사용되고 있으며 (2017), 유방암 환자를 대상으로 수행했던 환자 표면선량 측정에도 이용되었다 (2015). 또한, 6 MV 광자빔의 선량 변화, 조사면의 변화, 썬기필터 유무에 따른 OSLD 의 특성도 보고 되었다 (2016). 방사선 진단 영역에서의 OSLD 특성에 대해서 연구가 되었고, 선량의 직선성과 에너지의존성 및 방향의존성에 대해서 연구되었다 (2012). 하지만 방사선 치료 영역에서의 OSLD 의 특성에 대해서 연구가 필요하며, 고에너지 광자선을 사용하는 엑스선 치료 시 OSLD 의 선량의존성, 에너지의존성, 방향의존성에 대해서 보고된 바가 없다.

따라서, 본 연구의 목적은 OSLD 를 이용하여 방사선치료에 사용하는 광자선 선량의 직선성을 확인하고, 방사선 치료에 사용하는 주요 에너지의 의존성을 평가하며, 방사선 치료빔의 방향의존성을 분석하는 것이다. OSLD 로 측정된 선량, 에너지, 방향의존성은 EBT3 필름을 이용하여 획득한 결과와 비교되었다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 선형가속기 및 팬텀

고에너지 엑스선 빔을 OSLD 와 EBT3 필름에 조사하기 위해 선형가속기 (Infinity, Elekta, Stockholm, Sweden)를 사용했다. 엑스선 에너지는 6 MV 와 10 MV 이며, 선원-표면간 거리 (Source-to-Surface Distance, SSD)는 100 cm이고, 조사면은 10×10 cm² 였다.

실험에 사용된 팬텀 (PTW, Freiburg, Germany)은 고체로 되어있으며, 깊이에 따른 선량 측정과 보정을 수행할 수 있으며, 고에너지 광자와 전자 선량 측정에 적합한 물 등가물질이다. 팬텀은 30×30 cm² 의 면적을 가지고 있으며, 본 연구에서는 이온챔버의 선량 보정 및 OSLD 와 EBT3 필름의 선량 측정에 팬텀을 이용하였다.

2.1.2. 선량계

OSLD (nanoDot™ Dosimeter, Landauer Inc., Glenwood, IL)는 방사선 방호에서 광범위하게 이용되어 왔으며, 결과 확인이 빠르고 annealing 후 재사용이 가능하다는 장점으로 인해 최근 방사선 치료에서 선량 측정을 위해서 널리 사용되고 있다. OSLD 는 방사성 물질로 Al₂O₃:C 를 이용하여 인공방사선 발광을 일으키기 위해 열 대신에 빛을 이용한다. 이온화 방사선이 조사될 때, light emitting diodes (LED)나 광(laser)으로부터 525 nm 파장의 빛으로 자극 된다. 이 과정에서 방사선 계측기에서 470 nm의 발광 전체가 방사선 선량으로 측정된다.

고감도 radiochromic 필름인 EBT3 (International Specialty Products, Wayne, NJ)는 IMRT 의 고에너지 광자선의 흡수선량을 측정하도록 설계되었다. 필름의 최적 선량측정범위는 0.2~10.0 Gy 로 IMRT 와 VMAT QA 에 사용되며, 조직등가물질로서 근접치료 등 많은 치료법에서의 응용에 적합하다. 또한 일반 필름에 비해 적외선 및 가시광선에 덜 민감하며, 60 °C 이상의 온도에서도 안정적이다. 본 실험에서는 사전에 보정된 3×3 cm² 크기의 EBT3 필름을 사용하였다.

2.2. 실험방법

치료장치에 표시되는 선량 단위는 기계적 값인 Monitor Unit (MU)를 사용하므로 실제 사용하는 흡수선량 (Gy) 단위에서 MU 로 변환이 필요하다. 본 연구에서는 SSD 법에 의한 MU 변환을 수행하였고, 이를 계산하는 수식은 아래와 같다.

$$MU = \frac{TumorDose \times 100}{PDD \times S_c \times S_p \times W \times Tray \times SSD_f} \quad (1)$$

PDD 는 깊이에 따른 심부선량백분율을 의미하며, S_c 는 콜리메이터산란계수, S_p 는 팬텀산란계수, W 는 뼈기계수, Tray 는 트레이계수, SSD_f 는 SSD 인자를 의미한다.

이온챔버를 통해 전리된 전하량을 전위계를 이용하여 측정했고, 각 선량 당 MU 값의 전하량을 측정했다. 획득된 전하량을 바탕으로 선량값을 계산해 확인하였다. 선량측정 깊이는 팬텀 표면으로부터 5 cm로 고정하였으며, 이는 모든 에너지에서의 build up 을 충분히 포함하기 위함이다. 6 MV 광자선에 대한 5 cm 깊이에서의 PDD 는 0.859 였고, 이를 바탕으로 계산된 MU 당 선량 값을 표 1 에 기술하였다.

Table 1. Absorbed dose per MU measured with ion chamber for 50, 100, 150, and 200 cGy.

Expected dose (cGy)	Measured dose (cGy)	MU	Error (%)
50.0	49.8	58	-0.4

100.0	99.7	116	-0.3
150.0	150.4	175	0.3
200.0	200.2	233	0.1

EBT3 필름 또는 OSLD 는 팬텀의 표면 아래 5 cm 깊이에 위치하여 방사선을 조사하였고, 이때 SSD 는 100 cm, 조사면은 10×10 cm² 으로 설정하였다. 방사선 조사 시 EBT3 필름 또는 OSLD 의 면 방향은 갠트리 각도 기준 0°와 마주보게 장착했다. 각 선량계의 선량 의존성 평가를 위해 엑스선 빔의 에너지를 6 MV 로 고정한 후 50, 100, 150, 200 cGy 가 흡수되도록 조사했다. 선량계의 에너지 의존성을 평가하기 위해 각각 6, 10 MV 의 에너지에 대하여 150 cGy 의 선량이 흡수되도록 조사하였다. 방향 의존성을 평가하기 위해 갠트리의 각도를 -80°, -60°, -40°, -20°, 0°, 20°, 40°, 60°, 80°로 변화시키며 빔을 조사하였다. 이때 에너지는 6 MV 이고 선량은 150 cGy 가 흡수되도록 빔을 조사했다.

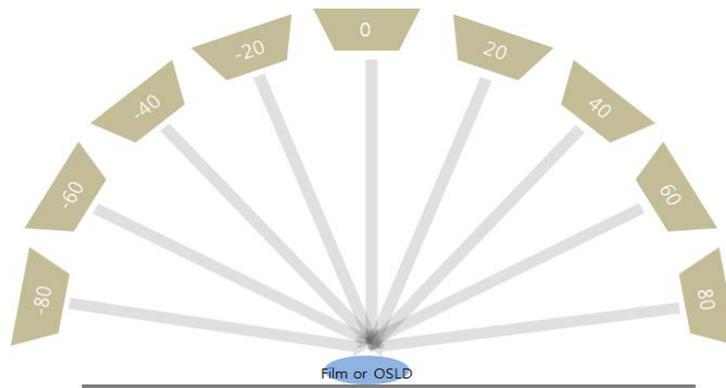


Figure 1. Dose linearity of absorbed dose 50, 100, 150, and 200 cGy for OSLD and EBT3 film

3. 결과

3.1. 선량의존성

선량의존성을 평가하기 위해 OSLD 와 EBT3 필름에 6 MV 에너지로 흡수선량이 각각 50, 100, 150, 200 cGy 이 되도록 조사하여 측정된 선량값을 확인하였다. OSLD 와 EBT3 필름에서 측정된 선량 값은 그림 1(A)와 (B)에 나타내었다.

그림 1(A)는 이온챔버에서 측정된 절대 선량을 기준으로 측정된 OSLD 의 절대선량이다. 선량은 총 5 회 측정된 값을 바탕으로 평균 선량을 산출하였다. 50 cGy 에 대해서는 기대값에 비해 -12.2-%의 오차를 보였고, 100 cGy 에 대해서는 -10.45%, 150 cGy 에 대해서는 -4.94%, 200 cGy 에 대해서는 -5.43%의 오차를 보였다. 그림 1(B)는 EBT3 필름을 이용하여 측정된 선량값을 보여주고 있으며, 선량은 총 3 회 측정하여 평균값을 산출하였다. EBT3 필름이 기본적으로 가지고 있는 백그라운드 선량 값인 11.33 cGy 를 평균 선량값에서

감산하였다. 그 결과 50 cGy 에 대해서는 -6.45%, 100 cGy 에 대해서는 4.92%, 150 cGy 에 대해서는 2.25%, 그리고 200 cGy 에 대해서는 9.42%의 오차를 보였다. OSLD와 EBT3 필름을 이용하여 측정된 선량 값을 바탕으로 작성된 선량의존성 그래프에서 대략적으로 선량에 따른 응답이 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었고 OSLD와 EBT3 필름의 R^2 값은 각각 0.9988로 동일한 값을 보였다.

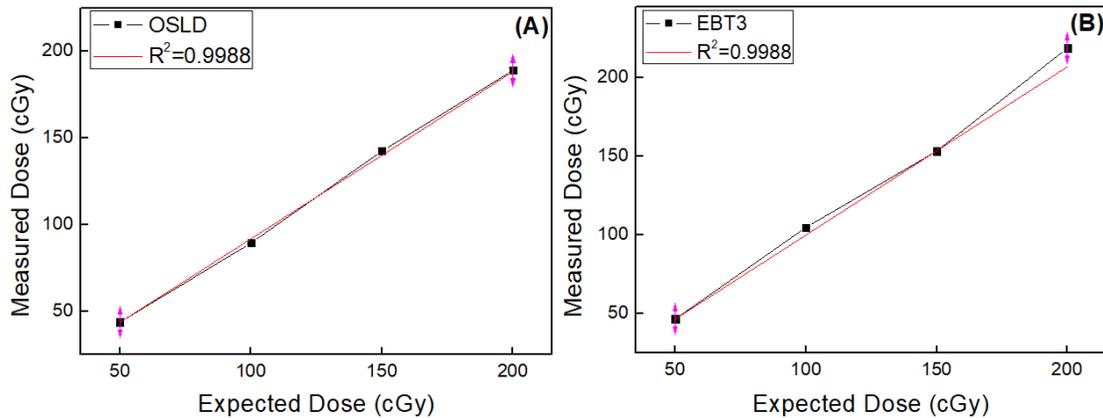


Figure 1. Dose linearity of absorbed dose 50, 100, 150, and 200 cGy for OSLD and EBT3 film.

3.2. 에너지의존성

OSLD와 EBT3 필름의 에너지의존성 측정결과는 그림 2(A)와 (B)와 같다. 에너지의존성은 두 선량계에 6 MV와 10 MV 에너지로 흡수선량은 150 cGy가 되도록 조사하였다. OSLD는 6 MV와 10 MV 에너지에 대하여 각각 5회 측정하였고, EBT3 필름은 3회 측정하였다. 6 MV 에너지에 대한 OSLD의 평균값은 142.59 cGy였고, EBT3 필름으로 측정된 값은 153.38 cGy였다. 10 MV 에너지에 대한 OSLD의 평균값은 148.22 cGy, EBT3 필름으로 측정된 선량의 평균값은 154.84 cGy였다. 150 cGy를 기준으로 흡수선량에 대한 오차는 OSLD는 6 MV와 10 MV에서 각각 -4.94, -1.19%를 보였고, EBT3 필름은 6 MV와 10 MV에서 각각 2.25, 2.56%를 보였다. 에너지에 의한 선량의 차이는 6 MV일 때의 흡수선량을 1.0으로 표준화했을 때, OSLD의 오차는 0.39%로 광자 및 전자 (5 MeV - 20 MeV)에 대한 제조사의 권고 값인 $\pm 5\%$ 이내에 존재했다. EBT3 필름은 오차가 0.03%로 측정되었고, 제조사 오차 권고인 100 keV에서 18 MeV의 에너지로 노출될 때 $\pm 5\%$ 미만을 만족하고 있다. OSLD와 EBT3 필름 모두 제조사 권고에 만족한 결과를 나타내고 있다.

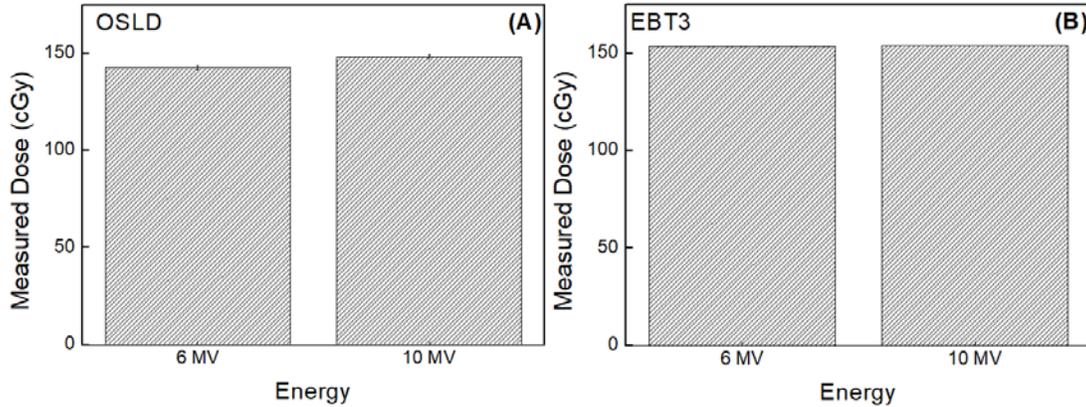


Figure 2. Energy dependence of OSLD and EBT3 film for 6 MV and 10 MV.

3.3. 방향의존성

OSLD 와 EBT3 필름의 방향의존성 측정 결과는 그림 3 과 같다. 갠트리 방향 0°의 선량값을 1.0 으로 표준화시켰을 때 ±80°에서의 선량값들을 나타내었다. OSLD 로 측정한 방향의존성 결과 ±40°이내에서 모두 1.0% 미만의 오차를 보였고, 그 외 범위에서는 오차가 크게 증가하였다. ±40°이내에서 EBT3 필름으로 측정한 결과 중 갠트리 40°에서 최대 16.8%의 오차를 보였고, 그 외 각도에서는 오차가 크게 증가하였다. OSLD 와 EBT3 필름의 방향의존성은 갠트리 각도 0°를 기준으로 멀어질수록 오차가 증가하는 경향을 보였으나, OSLD 는 ±40°이내에서 방향의존성에 의한 영향이 EBT3 필름보다 적은 경향을 보였다.

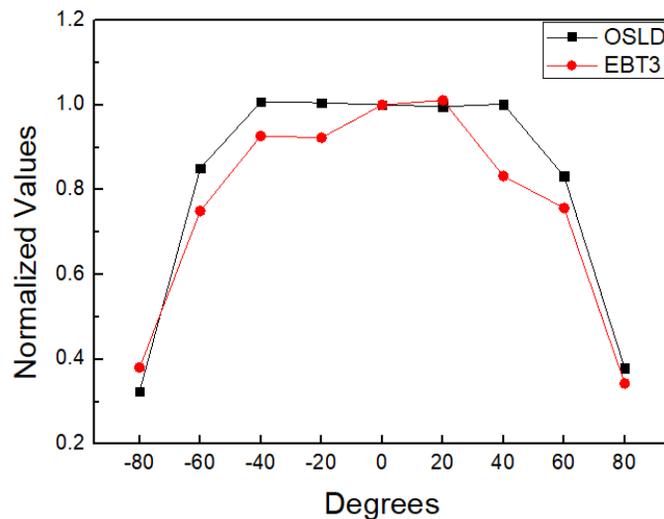


Figure 3. Energy dependence of OSLD and EBT3 film for 6 MV and 10 MV.

4. 고찰 및 결론

방사선치료 시 치료정확도에 대한 평가는 치료성적을 좌우하는데 매우 중요한 요소이다. 치료 정확도에 대한 평가 요소 중 하나인 선량 평가를 위해 사용되는 선량계의 역할이 대두되고 있으며, 본 연구에서는 임상에서 주로 사용되는 OSLD와 EBT3 필름의 선량, 에너지, 방향의존성 특성을 분석 및 비교하였다.

선량의존성에서 직선성을 확인한 결과 두 선량계의 선량에 따른 응답은 모두 직선성을 보여주고 있다. 그러나 OSLD는 50 cGy와 100 cGy에서 오차가 10% 이상을 보여주고 있으므로 저선량 영역에서의 선량 측정에는 고려할 필요가 있다. EBT3 필름은 50, 100, 150, 200 cGy 선량 영역에서 10% 이내의 오차를 보여주고 있지만, 200 cGy의 선량에서는 약 9%이상의 오차를 보여주고 있으므로 고선량 부분에서의 선량 측정에 대한 고려가 필요하다고 보여진다.

에너지의존성 측면에서는 6 MV를 기준으로 표준화한 결과 EBT3 필름의 오차가 OSLD로 측정한 오차보다 적었다. 그러나, 결과에서 보여주듯 두 선량계의 오차 값이 모두 1% 이내로 나타났다. 이는 제조사의 권고에 만족하므로 결과에 신뢰성이 있다고 판단되며, 두 선량계 모두 에너지에 따른 의존성은 없는 것으로 보여진다.

방향의존성 평가에서는 OSLD와 EBT3 필름 모두 갠트리 각도 0°를 기준으로 각도가 $\pm 80^\circ$ 로 증가할 때 선량이 감소하는 경향을 보여주고 있고, 특히 -60°에서 -80°와 60°에서 80°사이에서 급격한 선량 감소를 보였다. 이는 갠트리의 각도가 0°를 기준으로 멀어질수록 조사면이 out filed화 되었기 때문이다. 기존 연구에 의하면 OSLD는 방향의존성을 가지는 단점이 있었으며 (2014) OSLD와 EBT3 필름 모두 방향의존성이 있는 것을 확인하였다. $\pm 40^\circ$ 이내의 갠트리 각도에서는 EBT3 필름이 OSLD보다 불안정한 결과를 보였고, 이는 각도에 의해 조사면이 변형되어 EBT3 필름에 임의로 설정한 관심영역 내의 선량차이가 있을 것으로 생각된다. 또한 OSLD와 EBT3 필름은 활성영역의 크기가 다르고 조사 후 선량을 읽는 시간의 차이에 의해 오차가 발생한 것으로 사료된다. 정확한 선량 측정을 위해서 OSLD와 EBT3 필름 모두 조사면 크기, 선량을 읽는 환경, 선량계의 위치 등의 고려가 필요할 것으로 판단된다.

OSLD와 EBT3 필름은 수 Gy 범위까지 사용가능하며 진단영역에서 사용되는 kV 에너지 범위에 대해 추가 검증을 한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다. 보다 정확한 선량측정을 위해 주기적인 선량계의 교정이 중요하다고 판단된다.

OSLD와 EBT3 필름에 대한 선량, 에너지의존성은 제조사 기준에 맞게 측정되었고, 방향의존성 측면에서는 OSLD와 EBT3 필름 모두 각도가 증가함에 따라 오차가 증가하였다. 이 두 선량계의 특성은 비슷하나 OSLD는 크기가 작고 재사용이 가능하며 열처리의 복잡한 과정없이 판독이 용이하다는 장점이 있으며, EBT3 필름은 유연하여 굴곡진 환자의 몸에 밀착시킬 수 있고 피부의 흡수선량 측정이 용이한 장점이 있으므로 임상적으로 각각의 특성에 따라 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Ahmed, M. F., Shrestha, N., Schnell, E., Ahmad, S., Akselrod, M. S., and Yukihiro, E. G. (2016). Characterization of Al₂O₃ optically stimulated luminescence films for 2D dosimetry using a 6 MV photon beam. *Phys. Med. Biol.*, 61(21), 7551-7570.
- Alvarez, P., Kry, S. F., Stingo, F., and Followill, D. (2017). TLD and OSLD dosimetry systems for remote audits of radiotherapy external beam calibration. *Radiat. Meas.*, 106, 412-415.
- Endo, A., Katoh, T., Kobayashi, I., Joshi, R., Sur, J., Okano, T. (2012). Characterization of optically stimulated luminescence dosimeters to measure organ doses in diagnostic radiology. *Dentomaxillofac Radiol.* 41(3), 211-216.
- Lehmann, J., Dunn, L., Lye, J. E., Kenny, J. W., Alves, A. D., Cole, A., Asena, A., Kron, T., Williams, I. M. (2014). Angular dependence of the response of the nanoDot OSLD system for measurements at depth in clinical megavoltage beams. *Med. Phys.* 41(6), 061712-1-9.
- Tien, C. J., Ebeling, R. 3rd, Hiatt, J. R., Curran, B., and Sternick, E., (2012). Optically Stimulated Luminescent Dosimetry for High Dose Rate Brachytherapy. *Front. Oncol.*, 91(2), 1-7.
- Yusof, F. H., Ung, N. M., Wong, J. H. D., Jong, W. L., Ath, V., Phua, V. C. E., Heng, S. P., and Ng, K. H. (2015). On the Use of Optically Stimulated Luminescent Dosimeter for Surface Dose Measurement during Radiotherapy. *Plos One*, 10(6), e0128544.
- Zhuang, A. H., and Olch, A. J. (2014). Validation of OSLD and a treatment planning system for surface dose determination in IMRT treatment. *Med. Phys.*, 41(8), 81720.