

การหาคุณลักษณะของรังสีเอกซเรย์พลังงานต่ำในระดับกิโลโวลต์จากแหล่งกำเนิด
intraoperative โดยใช้แผ่นฟิล์ม Gafchromic EBT3
The dose characteristics of low kV intraoperative x-ray source using
Gafchromic EBT 3 film

จารึก ก้านเพชร, ธนวัฒน์ ถาวรวงษ์

สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ฝายรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร

ผู้นิพนธ์ประสานงาน

จารึก ก้านเพชร

สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ฝายรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร

อีเมล: metinee32@gmail.com

Jaruek Kanphet, Tanawat Tawonwong

*Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorials Hospital,
Thai Red Cross Society*

Corresponding author

Jaruek Kanphet

*Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorials Hospital,
Thai Red Cross Society*

Email: metinee32@gmail.com

Submitted: Jul 29, 2024

Revised: Nov 10, 2024

Accepted: Nov 14, 2024

บทคัดย่อ

หลักการและเหตุผล: เครื่อง INTRABEAM เป็นเครื่องฉายรังสีร่วมกับการผ่าตัด (Intraoperative radiotherapy : IORT) ที่สามารถให้รังสีปริมาณสูงบริเวณเซลล์มะเร็งได้โดยตรง ปริมาณรังสีกระจายออกไปเท่ากันทุกทิศทางในลักษณะทรงกลม

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของปริมาณรังสี และความสามารถในการป้องกันอันตรายจากรังสีของแผ่นตะกั่ว

วัสดุและวิธีการ: แบ่งการทดลองเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การสร้าง calibration curve โดยใช้ Gafchromic EBT3 film 2. วัดปริมาณรังสีในแนวลึก (Depth dose) และการกระจายตัวของปริมาณรังสีโดย Gafchromic EBT3 film 3. การตรวจสอบความสามารถของแผ่นตะกั่วในการป้องกันอันตรายจากรังสีบนหุ่นจำลองเต้านม และ 4. การวัดปริมาณรังสีรอบๆ ห้องผ่าตัดขณะปล่อยรังสีโดยใช้ survey meter

ผลการศึกษา แบ่งผลการทดลองเป็น 4 ส่วน 1) calibration curve ที่ได้มีค่า optical density (OD) แปรผันตามปริมาณรังสีเป็นเส้นตรง จากนั้นค่า OD คงที่โดยแสงสีแดงมีความไวต่อรังสีมากที่สุดมีความเป็นเส้นตรงถึงประมาณ 250 cGy จึงใช้การอ่านค่าจากแสงสีแดงในการอ่านค่าฟิล์มในทุกการทดลอง 2) ปริมาณรังสีในแนวความลึกมีรูปร่างคล้ายจากโรงงาน โดยพบความแตกต่างบริเวณใกล้ผิว applicator และมีค่าใกล้เคียงที่ 1 เซนติเมตร ขณะที่ การกระจายตัวของปริมาณรังสีจากจุดกึ่งกลางของ applicator cone มีลักษณะเท่าๆ กันในทุกระนาบทั้งในแนวแกน X และ แกน Y ซึ่งเป็นลักษณะการกระจายรังสีแบบ isotropy 3) ตะกั่วสามารถดูดกลืนปริมาณรังสีได้สูงถึงร้อยละ 89.4 4) ปริมาณรังสีสูงสุดอยู่บริเวณรอบเครื่อง INTRABEAM โดยสูงสุดที่ 34 mR/hr และปริมาณรังสีลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น โดยภายนอกห้องและตำแหน่งผู้ปฏิบัติงานปริมาณรังสีเหลือไม่เกิน 1 mR/hr

ข้อสรุป: ค่า depth dose ที่วัดโดยฟิล์ม Gafchromic EBT3 สอดคล้องกับข้อมูล depth dose ที่ได้จากโรงงานผลิต การกระจายตัวของปริมาณรังสีจากขอบของ applicator ออกไปมีลักษณะเป็นการกระจายตัวแบบเท่ากันทุกทิศทางเป็นทรงกลม (isotropy) แผ่นตะกั่วมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนปริมาณรังสีสูง สามารถลดปริมาณรังสีรอบบริเวณที่ทำการรักษาผู้ป่วยได้ดี ปริมาณรังสีรอบๆ ห้องมีความปลอดภัยต่อเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมเครื่องที่ทำงานในขณะที่ให้ปริมาณรังสีผู้ป่วยทั้งในและนอกห้องผ่าตัด

คำสำคัญ: การฉายรังสีในระหว่างผ่าตัด, แหล่งกำเนิดรังสีเอกเรย์พลังงานระดับกิโลโวลต์, แผ่นตะกั่วป้องกันรังสี, การกระจายตัวของปริมาณรังสีเท่ากันในทุกทิศทางมีลักษณะเป็นทรงกลม

Abstract

Background: The INTRABEAM device is an intraoperative radiotherapy (IORT) system used in conjunction with surgery. It delivers a high radiation dose directly to cancer cells, with the radiation evenly distributed in all directions in a spherical pattern.

Objective: To study the radiation dose distribution characteristics from a 50 kV X-ray source of the INTRABEAM, Intra-Operative radiotherapy (IORT) machine, and the efficiency of radiation absorption of the lead sheet using Gafchromic EBT3 film.

Materials and methods: The experiment is divided into four stages as follows: 1) Creating a calibration curve using Gafchromic EBT3 film. 2) The measured depth dose and the distribution of radiation using Gafchromic EBT3 film. 3) The evaluation of the lead shielding effectiveness on a breast phantom to prevent radiation hazards. 4) The radiation dose measurement around the operating room during radiation delivery using a survey meter.

Results: The results are divided into 4 parts. 1) The calibration curve showed that the optical density (OD) increased linearly with the radiation dose, and then plateaued. The red light spectrum was the most sensitive to radiation, maintaining linearity up to approximately 250 cGy. Therefore, red light was used to read the film in all experiments. 2) The depth dose profile resembled the manufacturer's specifications, with slight deviations near the applicator surface and stabilization at around 1 cm depth. The radiation dose distribution from the applicator cone's center was uniform across all planes along both the X and Y axes, indicating an isotropic radiation pattern. 3) Lead sheets were able to absorb up to 89% of the radiation dose. 4) The highest radiation dose was detected near the INTRABEAM device, with a maximum of 34 mR/hr. The radiation dose decreased with increasing distance, measuring below 1 mR/hr outside the operating room and at the staff positions.

Conclusion: The depth dose measured using Gafchromic EBT3 film is consistent with the depth dose data provided by the manufacturer. The distribution of radiation from the edge of the applicator demonstrates isotropic distribution. The lead sheets have high efficiency in absorbing radiation. The radiation levels around the operating room are within safe limits for personnel operating the device, ensuring safety both inside and outside the operating room during patient treatment.

Keywords: INTRABEAM, Intraoperative irradiation: IORT, Low kV X-Ray source, Lead Sheet Shielding, isotropy

J Thai Assoc Radiat Oncol 2024; 30(2): R30 - R44

หลักการและเหตุผล

การวิเคราะห์ทางพยาธิสภาพทำให้ทราบว่า บริเวณที่มีเซลล์มะเร็งมากที่สุด (มากกว่าร้อยละ 90 ของ microscopic cell ที่เหลือทั้งหมด) อยู่ในบริเวณ 4 เซนติเมตร ถัดออกไปจากขอบของก้อนมะเร็ง (macroscopic tumor)^[1,2] ดังนั้นหลังจากการผ่าตัดมะเร็งเต้านมแบบสงวนเต้า (breast conserving surgery: BSC) นั้น บริเวณที่ตั้งของก้อนมะเร็ง (tumor bed) มีโอกาสเกิดการกำเริบของโรคมะเร็งมากที่สุด การเพิ่มปริมาณรังสีให้กับที่ตั้งของก้อนมะเร็งโดยตรง จึงสามารถลดโอกาสการกำเริบของโรคมะเร็งเต้านมได้อย่างมีนัยสำคัญ^[3] ปัจจุบันการเพิ่มปริมาณรังสีบริเวณที่ตั้งของก้อนมะเร็งจึงเป็นที่นิยมหลังจากฉายรังสีบริเวณทั่วทั้งเต้านม (Whole breast irradiation) นิยมใช้ลำอิเล็กตรอน ปริมาณรังสี 10-16 เกรย์ (2 เกรย์ต่อครั้ง จำนวน 5-8 ครั้ง) หรือการให้รังสีบริเวณที่ตั้งของก้อนมะเร็งภายหลังจากการนำก้อนมะเร็งออกทันที (intraoperative irradiation: IORT) ในระหว่างการผ่าตัดมะเร็งแบบสงวนเต้าโดยการให้รังสีปริมาณสูงเพียงครั้งเดียวไปที่ที่ตั้งของก้อนมะเร็ง^[4,5] ซึ่งมีความแม่นยำมากเนื่องจากสามารถเห็นที่ตั้งของก้อนมะเร็งได้โดยตรง^[6] ระบบ orthovoltage ประกอบด้วย หลอดเอกซเรย์ขนาดเล็กที่มีพลังงานอยู่ในระดับ low kV ที่สามารถปลดปล่อยพลังงานเอกซเรย์เป็นรูปแบบกระจายเป็นทรงกลมเท่ากันในทุกทิศทาง (isotropic) สำหรับวิธีการฉายรังสีแบบ IORT นั้น แพทย์ทำการเลือกสวมปลดอกลายแหล่งกำเนิดรังสีแบบทรงกลม (spheric applicator) ตามขนาดของก้อนมะเร็งที่ผ่าตัดออกไป และสอดเข้าไปแทนที่ก้อนมะเร็งตรงกับที่ตั้งของก้อนมะเร็งที่แพทย์ผ่าตัดเอาก้อนมะเร็งออกไปดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) เพื่อให้ขนาดของปริมาณรังสีกระจายตัวออกไปแบบทรงกลมครอบคลุมบริเวณที่มี microscopic cell ที่อยู่รอบๆ ก้อนมะเร็งและเมื่อพ้นจากบริเวณดังกล่าวแล้วปริมาณรังสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว (rapid fall off) เพื่อลดปริมาณรังสี

ของเนื้อเยื่อปกติที่ผู้ป่วยจะได้รับ^[7-11] จากนั้นแพทย์ใช้แผ่นผ้าตะกั่วปิดทับบนผิวผู้ป่วยรอบๆ applicator เพื่อป้องกันการกระจายของรังสีต่อผู้ที่อยู่ใกล้เคียง ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของปริมาณรังสีของการฉายรังสีแบบ IORT ที่ให้รังสีเอกซเรย์ในระดับพลังงาน 50 kVp และศึกษาผลของใช้แผ่นตะกั่วปิดเพื่อป้องกันการกระจายตัวของปริมาณรังสีโดยใช้ Gafchromic EBT3 film เป็น dosimeter ในการวัด

วัสดุและวิธีการ

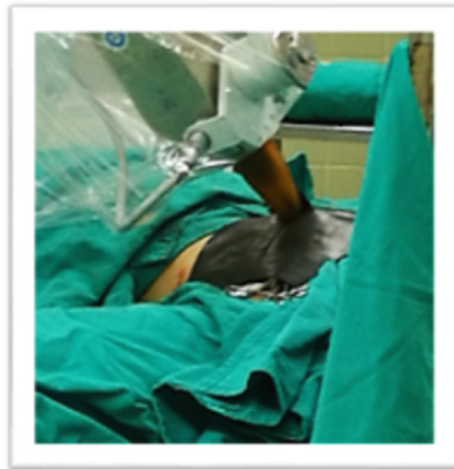
การศึกษานี้เก็บข้อมูลโดยใช้เครื่อง INTRABEAM (INTRABEAM, Carl Zeiss Surgical, Oberkochen, Germany) ให้เอกซเรย์พลังงาน 50 kVp กระแส 40μA ติดตั้งบนแขนกล (stand) ดังแสดงในภาพที่ 2 ทำการศึกษาโดยแบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

1.การสร้าง calibration curve

ปริมาณรังสีของเครื่อง INTRABEAM ได้รับสอบเทียบโดยหัววัดรังสีแบบประจุแตกตัว ชนิด pararell plate (IBA Dosimetry GmbH, PPC05, Schwarzenbruck, Germany) และใช้ฟิล์ม Gafchromic (Ashland, EBT3, NJ, USA) สร้าง calibration curve โดยใช้รังสีเอกซเรย์พลังงาน 50 kVp ปริมาณรังสี 0 ถึง 30 เกรย์ เพื่อทดสอบการตอบสนองของ EBT3 film ต่อปริมาณรังสีที่ได้รับเพื่อให้สามารถเปลี่ยนความเข้มของฟิล์ม (optical density: OD) เป็นปริมาณรังสีสัมบูรณ์ (absolute dose) ได้โดยใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 วางบน solid water phantom (Gammex, Solid water, WI, USA) ที่มีความหนาแน่น เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร และให้แหล่งกำเนิดรังสีที่สวม applicator ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร วางสัมผัสเหนือฟิล์มโดยตรง ให้ปริมาณรังสีกับฟิล์มแต่ละแผ่น เท่ากับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ตำแหน่งของ applicator cone ที่ tumor bed (ก) ก่อนคลุมแผ่นตะกั่ว (ข) หลังคลุมแผ่นตะกั่ว



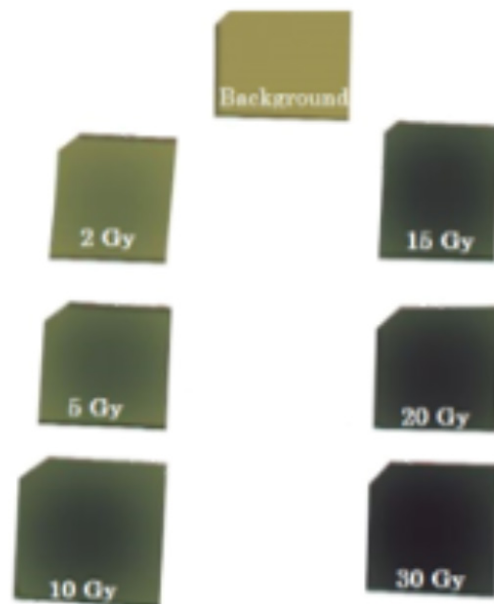
ภาพที่ 2 เครื่อง INTRABEAM และหลอดเอกซเรย์

0 เกรย์ (background), 2 เกรย์, 5 เกรย์, 10 เกรย์, 15 เกรย์, 20 เกรย์ และ 30 เกรย์ ตามลำดับ ดังแสดงใน **ภาพที่ 3** หลังจากให้ปริมาณรังสีแก่ฟิล์มทุกแผ่นตามที่กำหนดแล้ว อ่านค่า optical density โดยใช้เครื่องอ่าน film Epson scanner (Seiko Epson Corporation, Perfection V750 Pro scanner, Japan) แยกแสงของการอ่านเป็น red channel, green channel และ blue channel นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่า optical density กับค่าปริมาณรังสีโดยแยกเป็นแต่ละ channel

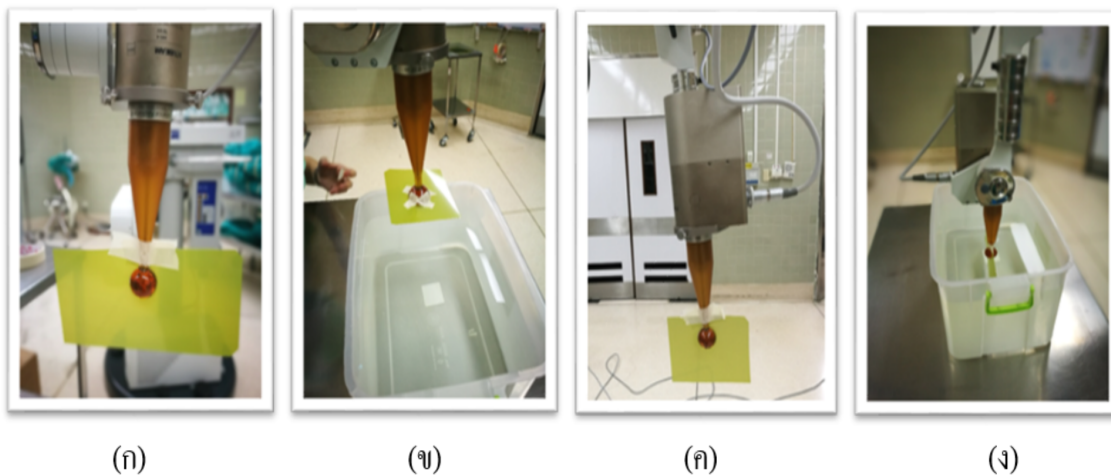
2. การวัดปริมาณรังสีในแนวลึก (depth dose) และ วัดการกระจายตัวของปริมาณรังสี (isotropy test)

เปรียบเทียบค่า depth dose ที่วัดได้กับค่าที่แสดงจากเครื่อง INTRABEAM และพิจารณาค่าการกระจายตัว

ของปริมาณรังสีรอบๆ applicator โดยศึกษาการกระจายตัวของปริมาณรังสีแบบ isotropy คือการกระจายตัวของปริมาณรังสีเท่ากันในทุกทิศทางมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ทำการศึกษาโดยใช้ EBT3 film ตัดเป็นรูปทรงขนาดเท่ากับปลาย applicator ทั้งสามแนวแกน ติดไว้กับปลาย applicator และทำการปล่อยรังสีเท่ากับ 800 เซนติเกรย์ที่ผิว applicator ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่ใช้รักษาผู้ป่วย ทำการวัดปริมาณรังสีในหุ่นจำลองน้ำเพื่อให้การกระจายตัวเหมือนกับที่กระจายตัวในร่างกายผู้ป่วย วัดแบบเดียวกันนี้จนครบทั้งสามแนวแกน คือ axial, coronal และ sagittal ดังแสดงใน **ภาพที่ 4** นำฟิล์มที่ได้ไปสแกนและอ่านค่า optical density จากนั้นเปลี่ยนเป็นปริมาณรังสีโดยใช้ค่า calibration curve จากการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3 ฟิล์ม Gafchromic EBT3 หลังได้รับปริมาณรังสีในช่วง 2-30 เกรย์ เพื่อใช้สร้าง calibration curve



ภาพที่ 4 การใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 วัดการกระจายตัวของปริมาณรังสี (ก) แนว coronal (ข) แนว axial (ค) แนว sagittal และ (ง) การวัดการกระจายตัวของปริมาณรังสีในหุ่นจำลองน้ำ

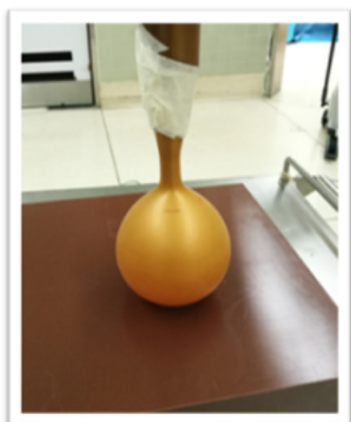
3. การตรวจสอบความสามารถของแผ่นตะกั่วในการป้องกันอันตรายจากรังสี

ทดสอบความสามารถในการป้องกันปริมาณรังสีของแผ่นตะกั่วโดยทดลองในหุ่นจำลองเต้านมโดยใช้ลูกโป่งใส่น้ำปริมาณ 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อให้ใกล้เคียงกับขนาดเต้านมของผู้หญิงไทย ควบคุมขนาดของลูกโป่งโดยวัดความกว้าง ยาวและสูงให้เท่าๆ กันตลอดการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) ใช้ applicator cone ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้มากที่สุด สอดปลาย cone เข้าไปในหุ่นจำลองเต้านมที่มีความลึก 1 เซนติเมตรให้เหมือนขณะให้การรักษาผู้ป่วยในห้องผ่าตัด ทำการวัดปริมาณรังสีโดยใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 ขนาด 2x2 ตารางเซนติเมตร ในการวัดโดยติดบริเวณผิวหนังของลูกโป่ง ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y รวมทั้งหมด 4 แผ่น ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) ให้ปริมาณรังสี 8 เกรย์ เว้นระยะเวลาก่อนอ่านฟิล์มไว้

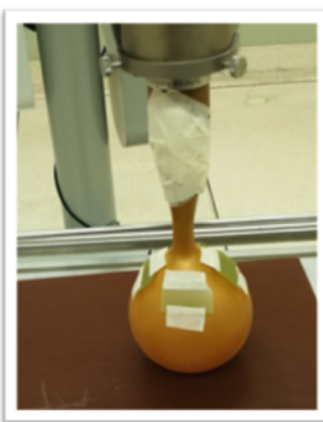
24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา polymerization ของฟิล์มที่สมบูรณ์ จากนั้นนำฟิล์มไปสแกนด้วยเครื่องสแกน EPSON scanner และใช้กราฟ calibration curve เปลี่ยนค่า optical density เป็นปริมาณรังสีที่วัดได้ จากนั้นทำการวัดรังสีอีกครั้งโดยวางแผ่นตะกั่วที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตรไว้รอบๆ application cone และวางฟิล์ม Gafchromic EBT3 ลงบนแผ่นตะกั่วในตำแหน่งเดียวกับที่ทำการวัดครั้งแรก ดังแสดงในภาพที่ 5 (ค) เพื่อหาความสามารถในการป้องกันอันตรายจากรังสีของแผ่นตะกั่ว

4. การวัดปริมาณรังสีรอบ ๆ ห้องผ่าตัดขณะปล่อยรังสีโดยใช้ survey meter

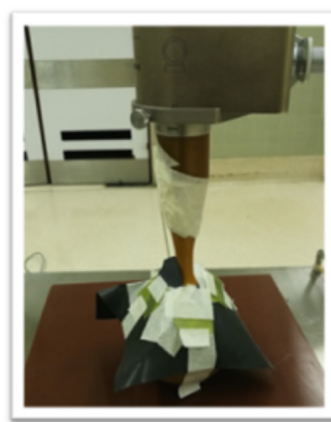
ใช้ Survey meter (Fluke Biomedical, 451B-RYR, USA) ตรวจวัดปริมาณรังสีรอบๆ ห้องผ่าตัดขณะที่ใช้เครื่อง INTRABEAM บันทึกค่าปริมาณรังสีในแต่ละจุดในแผนที่ ดังแสดงในภาพที่ 6



(ก)

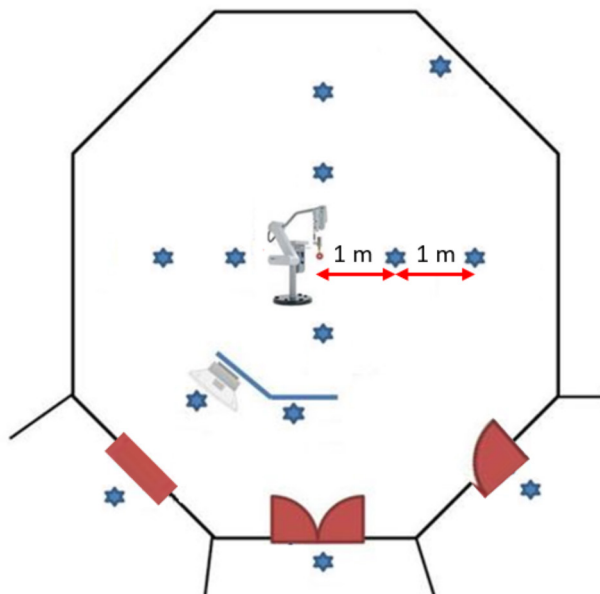


(ข)



(ค)

ภาพที่ 5 (ก) หุ่นจำลองน้ำเต้านมภายในบรรจุน้ำ 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ข) จำลองการวัดปริมาณรังสีจากการให้รังสีแก่เต้านมผู้ป่วยโดยใช้เครื่อง IORT ในขณะที่วางแผ่นตะกั่วป้องกันรังสี (ค) จำลองการวัดปริมาณรังสีจากการให้รังสีแก่เต้านมผู้ป่วยโดยใช้เครื่อง IORT ในขณะที่วางแผ่นตะกั่วป้องกันรังสี



ภาพที่ 6 แผนผังการวัดปริมาณรังสีในแต่ละจุดขณะให้ปริมาณรังสีโดยใช้เครื่อง INTRABEAM

ผลการศึกษา

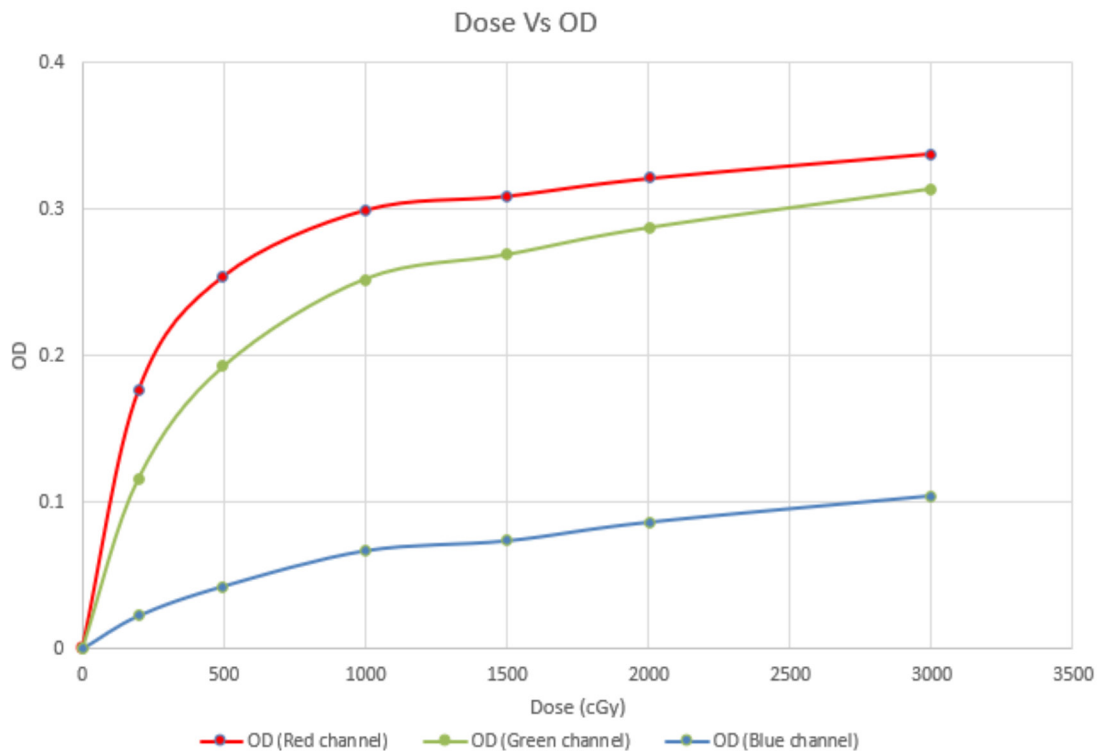
1.การสร้าง calibration curve

ภาพที่ 7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณรังสีและค่า optical density โดยใช้การอ่านค่าของแสงสีแดง สีเขียวและสีฟ้า ตามลำดับ โดยค่าความดำมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสี เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ความดำเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณรังสีหนึ่ง ค่าความดำคงที่

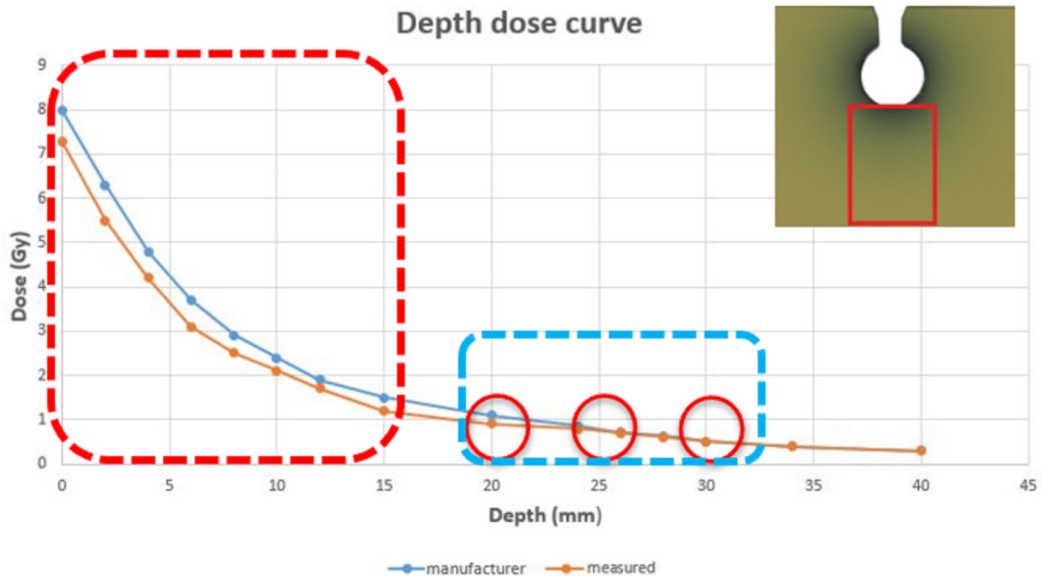
2. การสร้าง depth dose curve และการวัดเพื่อทดสอบการกระจายตัวของปริมาณรังสีแบบ isotropy

2.1 การสร้าง depth dose curve

กราฟแสดงปริมาณรังสีตามแนวความลึกถูกสร้างขึ้นจากปริมาณรังสีจากการวัดรังสีตั้งแต่ขอบล่างที่สุดของ Applicator ลึกลงไป 4.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยปริมาณรังสีลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางจาก applicator ไกลมากขึ้น



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีและค่า optical density



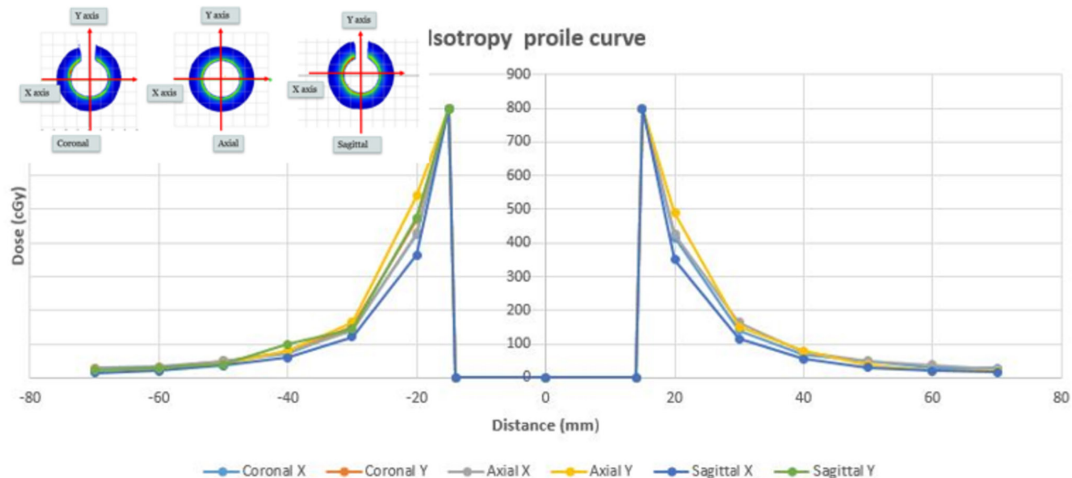
ภาพที่ 8 depth dose curve ที่ได้จากการวัดปริมาณรังสีบริเวณส่วนปลายจากขอบของ applicator cone

2.2 การวัดเพื่อทดสอบการกระจายตัวของปริมาณรังสีแบบ isotropy

การวัดการกระจายตัวของปริมาณรังสีในรูปแบบทรงกลมด้วยการใช้ฟิล์ม EBT3 โดยนำฟิล์มที่ผ่านการได้รับปริมาณรังสี 800 เซนติเกรย์ที่ผิวของ Applicator cone จากเครื่อง INTRABEAM สแกนด้วยเครื่องสแกน Epson และวิเคราะห์ค่าด้วยโปรแกรม MapCheck (Sun Nuclear Corporation, FL, USA) ภาพการกระจายตัวของปริมาณรังสีระนาบ coronal, axial และ sagittal แสดงในภาพที่ 9 โดยจะเห็นว่าค่อนข้างมีความเป็น isotropy ในทุกทิศทาง

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดกลืนรังสีของแผ่นตะกั่วด้วยการใช้ฟิล์ม EBT3

ตารางที่ 1 แสดงผลของการวัดปริมาณรังสีที่บริเวณผิวของหุ่นจำลองเต้านมโดยใช้ฟิล์ม EBT3 เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดกลืนรังสีของแผ่นตะกั่ว พบว่าปริมาณรังสีสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ ในขณะที่ไม่ได้วางแผ่นตะกั่ว เท่ากับ 224.3 เซนติเกรย์และ 184.3 เซนติเกรย์ ในบริเวณที่ติดฟิล์มด้านหน้าและด้านหลังของหุ่นจำลองเต้านมตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยที่ 202.8 ± 16.4 เซนติเกรย์ ในขณะที่ปริมาณรังสีสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในขณะที่วางตะกั่วเพื่อดูดกลืนรังสี เท่ากับ 22.7 เซนติเกรย์ และ 17.3 เซนติเกรย์ ในบริเวณที่ติดฟิล์มด้านหลังและด้านซ้าย เป็นบริเวณที่มีค่ามากที่สุดและบริเวณด้านหน้าของหุ่นจำลองเต้านมเป็นบริเวณที่มีค่าน้อยที่สุด ร้อยละของการลดลงของปริมาณรังสีหลังวางแผ่นตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ 89.6 ± 2.0



ภาพที่ 9 กราฟแสดงปริมาณรังสีจากขอบของ applicator cone ในแกน X และแกน Y ของระนาบ coronal, axial และ sagittal

ตารางที่ 1 ผลการวัดปริมาณรังสีบริเวณผิวของหุ่นจำลองเต้านมโดยใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 ก่อนและหลังวางแผ่นตะกั่ว

Film position	Dose (cGy)		Reduction (%)
	Without shielding	With Shielding	
Front	224.3	17.3	92.3
Back	184.3	22.7	87.7
Right	200.5	21.0	89.5
Left	202.1	22.7	88.8
Average	202.8 ± 16.4	20.9 ± 2.5	89.6 ± 2.0

4. การวัดปริมาณรังสีรอบห้องด้วยเครื่องวัดรังสี survey meter

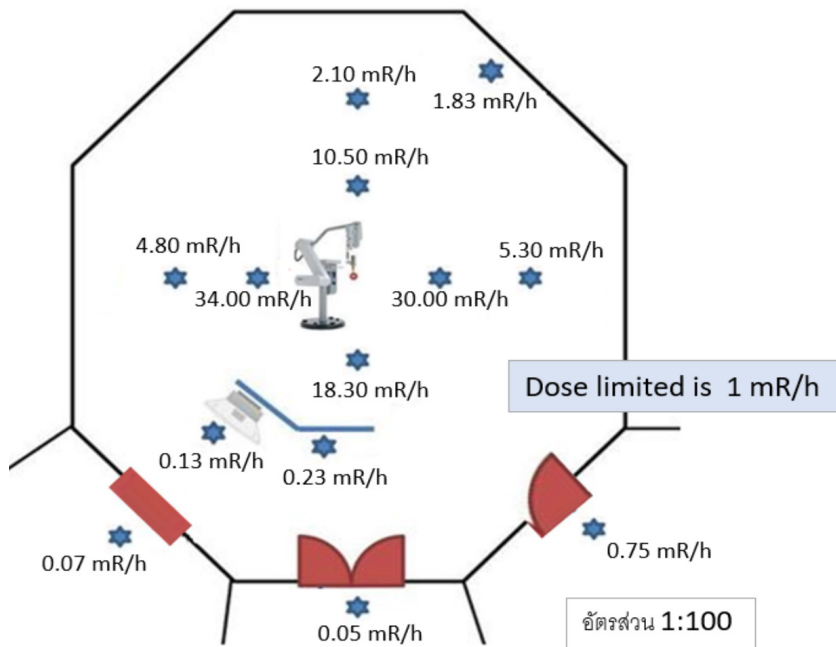
แผนผังปริมาณรังสีที่จุดต่างๆ รอบห้องผ่าตัดขณะทำการปล่อยรังสีปริมาณ 20 เกรย์ที่ผิว applicator cone พบว่าปริมาณรังสีสูงที่สุดอยู่บริเวณใกล้ตัวเครื่อง IORT มีค่าเท่ากับ 34.0 มิลลิเรนต์เกินต่อชั่วโมง ที่ระยะห่างจากตัวเครื่อง 1 เมตร และค่าจะลดลงเหลือ 5.3 มิลลิเรนต์เกินต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยปริมาณรังสีหลังจากตะกั่ว และนอกห้องอยู่ต่ำกว่า 1 มิลลิเรนต์เกินต่อชั่วโมง

บทวิจารณ์

จากกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีและค่า OD พบว่า ค่า OD เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่

เพิ่มขึ้นจากนั้นค่า OD ค่อนข้างคงที่ โดยค่าที่อ่านจากแสงสีแดงมีค่าความไวต่อรังสีสูงสุด (high sensitivity) เนื่องจากกราฟมีความชันสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟอื่นๆ ตามด้วยแสงสีเขียวและสีฟ้า ตามลำดับ โดยแสงสีแดงมีกราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงต้น จึงเลือกใช้แสงสีแดงในการอ่านค่าฟิล์มตลอดในทุกการทดลอง

ความสอดคล้องกันระหว่างกราฟของ depth dose ที่ได้จากการวัดและกราฟของ depth dose ที่ได้จากโรงงานผลิต จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณรังสีมีการลดอย่างรวดเร็วตามแนวความลึกที่มากขึ้นในรูปแบบของ exponential curve ค่าความแตกต่างมากที่สุดของกราฟทั้งสองอยู่บริเวณใกล้กับผิวของ applicator (ในกรอบสีแดง) เพราะการจัดท่ามีผลมากที่สุดบริเวณที่



ภาพที่ 10 ปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องผ่าตัดขณะให้รังสี 20 เกรย์

เป็น high dose gradient และหลังจากระยะ 25-30 มิลลิเมตร จากผิวของ applicator กราฟทั้งสองจะมีความเหมือนกันมากขึ้นเรื่อย ๆ (ในกรอบสี่เหลี่ยมสีฟ้า) ตามระยะจากพื้นผิวของ applicator ที่เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณรังสีตามแนวความลึก ที่ความลึก 20 มิลลิเมตร 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร เท่ากับ 1.08 เซนติเกรย์ 0.5 เซนติเกรย์ และ 0.3 เซนติเกรย์ ตามลำดับ และจะมีค่าน้อยกว่า 0.1 เซนติเกรย์ เมื่อมีระยะมากกว่า 35 มิลลิเมตร จากผิวของ applicator ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anil S และคณะ^[12] ที่ทำการทดลองวัดการกระจายตัวของรังสีจากเครื่อง INTRABEAM โดยใช้ Applicator cone ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร พบว่า ปริมาณรังสีมากที่สุดอยู่ที่ผิวของ Applicator และปริมาณรังสีลดลงแบบ Exponential curve โดยปริมาณรังสีลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อมีความลึก 5 เซนติเมตรจากผิว Applicator และปริมาณรังสีลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.05 เมื่อความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร

จากภาพที่ 9 กราฟแสดงปริมาณรังสีจากขอบของ applicator cone ในแกน X และแกน Y ของระนาบ coronal, axial และ sagittal จะเห็นว่า ปริมาณรังสีจากขอบของ applicator cone ตลอดแกน X และแกน Y ของทุกระนาบมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยบริเวณใกล้ผิวของ applicator cone มากจะมีความแตกต่างกันมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณรังสีที่สูงและเป็นบริเวณที่มีการลดลงของปริมาณรังสีอย่างรวดเร็ว (high dose gradient) จึงทำให้การจัดตำแหน่งมีผลต่อปริมาณรังสีมาก และหลังจากระยะ 40 มิลลิเมตรจากจุดศูนย์กลาง applicator กราฟทุกกราฟเริ่มมีค่าปริมาณรังสีที่ใกล้เคียงกันในทุกระนาบ และหลังจากระยะมากกว่า 60 มิลลิเมตรจากจุดศูนย์กลาง applicator cone ค่าที่วัดได้เท่ากันในทุก ๆ ระนาบ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า การกระจายตัวของปริมาณรังสีจากจุดกึ่งกลาง applicator cone มีลักษณะ

เท่าๆ กันในทุกระนาบทั้งในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งเป็นลักษณะการกระจายปริมาณรังสีแบบ isotropy สอดคล้องงานวิจัยของ Fernando G และคณะ^[13] ที่ศึกษาการกระจายตัวของปริมาณรังสีจากเครื่อง INTRABEAM โดยใช้ ionization chamber 2 ชนิด Exradin A26 (Standard Imaging Inc, Middleton, WI, USA) (และ PTW 60019 microDiamond (PTW, Freiberg, Germany)) ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวของปริมาณรังสีเป็นแบบ isotropy เช่นเดียวกัน

จากการศึกษาการวัดปริมาณรังสีรอบห้องด้วยเครื่องวัดรังสี survey meter พบว่า เมื่อที่ระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เมตรจากตัวเครื่อง บริเวณที่นักรังสีการแพทย์ควบคุมเครื่อง IORT และบริเวณที่วิสัญญีแพทย์ทำงานอยู่หลังฉากตะกั่วในขณะที่เครื่องปล่อยรังสีอยู่นั้น มีค่าเท่ากับ 0.13 มิลลิเกรย์ต่อชั่วโมง และเมื่อวัดปริมาณรังสีนอกห้องผ่าตัด พบว่า นอกห้องผ่าตัดมีปริมาณรังสีเท่ากับ 0.05 มิลลิเรนต์เกินต่อชั่วโมง ในขณะที่ค่าจำกัดปริมาณรังสีเพื่อความปลอดภัยของประชาชน (dose limit) เท่ากับ 1 มิลลิเรนต์เกินต่อชั่วโมง เนื่องจากบุคลากรทางการแพทย์อื่นไม่ใช้บุคลากรที่ใช้รังสีจึงใช้ค่าจำกัดความปลอดภัยของประชาชนเป็นมาตรฐานและควรวัดปริมาณรังสีรอบห้องโดยใช้ applicator ที่ใช้ทุกอันเพื่อประเมินปริมาณรังสีและความเสี่ยงของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับปริมาณรังสีอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด^[12]

ข้อสรุป

ค่า depth dose ที่วัดโดยใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 สอดคล้องกับข้อมูล depth dose ที่ได้จากโรงงานผลิตการกระจายตัวของปริมาณรังสีจากขอบของ applicator ออกไปมีลักษณะเป็นการกระจายตัวแบบเท่ากันทุกทิศทางเป็นทรงกลม (isotropy)

แผ่นตะกั่วมีประสิทธิภาพในการดูดซับปริมาณรังสีสูง สามารถลดปริมาณรังสีรอบบริเวณที่ทำการรักษา

ผู้ป่วยได้ดี ปริมาณรังสีรอบ ๆ ห้องมีความปลอดภัยต่อเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมเครื่องที่ทำงานในขณะที่ให้ปริมาณรังสีผู้ป่วยทั้งในและนอกห้องผ่าตัด แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้คือ เครื่องเอกซเรย์พลังงานต่ำในระดับกิโลโวลต์ แต่อย่างไรก็ตามมีบางจุดในห้องผ่าตัดที่มีรังสีปริมาณที่สูงกว่าข้อจำกัดปริมาณรังสีต่อผู้ปฏิบัติงานและต่อบุคคลทั่วไป จึงควรใส่เสื้อตะกั่วตลอดเวลาเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางพันทิwa อุณหศิริ ผู้ทรงคุณวุฒิระดับ 10 และนางสาวเมทินี วิเศษรินทอง ผู้อำนวยการพิเศษ นักรังสีการแพทย์ ระดับ 7 สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ที่ให้คำปรึกษาในบทความนี้และช่วยออกแบบตำแหน่งการเก็บข้อมูลการวัดปริมาณรังสีรอบห้อง

เอกสารอ้างอิง

1. Roland H, Solke V, Marcel M, Jan H. Histologic multifocality of Tis, T1-2 breast carcinomas. Implications for clinical trials of breast-conserving surgery. Cancer 1985;56:979-90.
2. Daniel F, Jan H, Roland H. Breast carcinomas of limited extent: frequency, radiologic-pathologic characteristics, and surgical margin requirements. Cancer 2001;91:647-59.
3. Ninja A, Heather J, Jean Claude H, Philip P, Henk S, Walter B, et al. Effect of age and radiation dose on local control after breast conserving treatment: EORTC trial 22881-10882. Radiother Oncol 2007; 82:265-71.
4. Jayant V, Michael B, Jeffrey T, Frederik W, Samuele M, Mohammed K, et al. Long-term results of TARGeted intraoperative radiotherapy (Targit) boost during breast-conserving surgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2011;81: 1091-7.
5. Elena B, Uta T, Grit W, Anke K, Markus B, Marc S, et al. Single-center long-term follow-up after intraoperative radiotherapy as a boost during breast-conserving surgery using low-kilovoltage x-rays. Ann Surg Oncol 2010;17:352-8.
6. Joyce B, Jean D, Hollis M, Ralph D. IORT for breast cancer. Current Clinical Oncology: Intraoperative Irradiation Techniques and Results 1999:521-6.
7. Georg P, Georg D, Van Limbergen E. The use of the source-skin distance measuring bridge indeed reduces skin telangiectasia after interstitial boost in breast conserving therapy. Radiother Oncol 2005; 7:323-30.
8. Hammer J, Mazon JJ, Van Limbergen E. Breast boost—why, how, when...?. Strahlenther Onkol 1999; 175:478-83.

9. Hammer J, Strnad V. Mammakarzinom V, Pötter R, Kovács G. Stand und Perspektiven der klinischen Brachytherapie. Uni-Med, Hamburg 2004: 157–67.
10. Alexandra R, Richard P, Erik L, Eva B, Tanja K, Claudia F, et al. Long-term results (10 years) of intensive breast conserving therapy including a high-dose and large-volume interstitial brachytherapy boost (LDR/HDR) for T1/T2 breast cancer. *Radiother Oncol* 2002;63: 47–58.
11. Erik Van L. Indications and technical aspects of brachytherapy in breast conserving treatment of breast cancer. *Cancer Radiother* 2003;7:107–20.
12. Anil S, Bahman E, William S, and Tarita O. Intraoperative Radiotherapy With INTRABEAM: Technical and Dosimetric Considerations. *Front Oncol* 2018;8:00074
13. Fernando G, Jaroslav S, Rolf B, Thorsten S. Dose distributions of the INTRABEAM electronic brachytherapy system measured with traceable detectors. *J inst* 2023;18:P07049