



รายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสี
รักษาสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

The invention of a Linear Accelerator model for the development of
teaching and learning in radiotherapy equipment courses for the 3rd student
faculty of radiological technologist, Rangsit University

โดย

กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2567





รายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสี
รักษาสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

The invention of a Linear Accelerator model for the development of
teaching and learning in radiotherapy equipment courses for the 3rd student
faculty of radiological technologist, Rangsit University

โดย

กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง: การสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษา
สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้วิจัย: กัญจนพร โตชัยกุล

สถาบัน: คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่พิมพ์: 2567

สถานที่พิมพ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

แหล่งที่เก็บรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

จำนวนหน้างานวิจัย: 34 หน้า

คำสำคัญ: โมเดลสามมิติ, การศึกษาแบบทางเลือก, ผลลัพธ์การเรียนรู้, ประสิทธิภาพการฝึกฝน, รังสีเทคนิค

ลิขสิทธิ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

การสอนเรื่องเครื่องมือการตรวจวินิจฉัยด้วยรังสีเป็นหัวข้อสำคัญในหลักสูตรระดับปริญญาตรีด้านรังสีเทคนิค แต่โอกาสที่นักศึกษาจะได้ฝึกปฏิบัติการทำงานกับเครื่องเร่งอนุภาค ถูกจำกัดด้วยปัจจัยด้านการเงินและระยะเวลา ดังนั้นการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อบูรณาการโมเดลการพิมพ์สามมิติและประเมินประสิทธิภาพในการสอนเรื่องเครื่องเร่งอนุภาค ให้กับนักศึกษารังสีเทคนิค ระดับปริญญาตรี โมเดลทางกายภาพของเครื่องเร่งอนุภาค ถูกสร้างขึ้นโดยการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติชนิด Fused Deposition Modeling (FDM) เพื่อเพิ่มความเข้าใจให้กับนักศึกษาจำนวน 114 คน โดยถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มใช้โมเดลสามมิติ ผลการทดสอบทางทฤษฎีของกลุ่มที่ใช้โมเดลสามมิติสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) อีกทั้งการเพิ่มโอกาสในการฝึกปฏิบัติก่อนการฝึกงานทำให้นักศึกษาในกลุ่มใช้โมเดลสามมิติมีความกังวลลดลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสถานการณ์จริง และผลจากการตอบกลับระบุว่านักศึกษามากกว่า 94 เปอร์เซ็นต์ เชื่อว่าการสอนแบบใหม่นี้เป็นประโยชน์ในการเพิ่มความเข้าใจและการปฏิบัติ

Title: The invention of a Linear Accelerator model for the development of teaching and learning in radiotherapy equipment courses for the 3 rd student faculty of radiological technologist, Rangsit University
Researcher: Gunjanaporn Tochaikul
Institution: Faculty of Radiologic Technology, Rangsit University
Year of Publication: 2024
Publisher: Rangsit University
Sources: Rangsit University
No. of pages: 34 pages
Keywords: 3D-printed model, alternative education, learning outcomes, apprentice performance, radiological technologists
Copyrights: Rangsit University

Abstract

The teaching of instrumentation has consistently been the subject of undergraduate program in radiological technology (RT). However, opportunities for students to engage in face-to-face operation of linear accelerator machine (LINAC) during their education and training processes have been limited by financial and timeframe considerations. So, the aim of this study is to integrate a 3D-printed model and assess its effectiveness in teaching LINAC to RT undergraduate students. For this purpose, a LINAC physical model was developed using a fused deposition modeling 3D printer, with access through free online software. Color coding was implemented alongside with explanatory color cards to enhance understanding. A total of 114 participants were randomly divided into two groups: a control group and a 3D model group. Compare the theoretical scores of the 3D model group were found to be significantly higher than those of the control group, with p-value < 0.05. Moreover, the increase in student opportunity for hand-on training prior to their apprenticeships allowed participants in the 3D model group to reduced anxiety and better performance in clinical situation. To summarize participant feedback regarding the integration of this novel 3D technology in the context of LINAC learning and training. Results indicated that over 94% of students perceived the alternative teaching method as essential for enhancing both of their understanding and practical performance. In conclusion, the use of modern 3D-printed models technology, presents a potential tool for stimulating teaching and training activities, thereby improving overall educational outcomes in RT programs.

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะวิจัยขอขอบพระคุณ คณะที่มอจารย์คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต และวิทยาลัย
วิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่และอุปกรณ์ เครื่องมือ ทำให้
งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

กัญจนพร โตชัยกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญแผนภูมิ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมุติฐานของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	8
การสร้างโมเดลสามมิติ (Fabrication of 3D model)	8
ผู้เข้าร่วมการศึกษา (Student participants)	11
การวิเคราะห์ความรู้ในการเรียนและความสามารถในการฝึกงาน	11
การประเมินความพึงพอใจต่อโมเดล 3 มิติ (3D model satisfying assessment)	12
การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)	13
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	14
บทที่ 5 สรุป วิจัย และข้อเสนอแนะ	19
สรุป	19
วิจัย	19
ข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก-ประวัติผู้วิจัย	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	Questionnaire with 10-scale scoring to assess student usefulness satisfaction of the 3D models	12
2.	Comparison of learning knowledge results of the student's subgroup	15



สารบัญรูป

ภาพที่		หน้า
	1. Three-dimensional illustration of the LINAC printed model included the couch and gantry	9
	2. Prototypes of separate couch and gantry of the LINAC machine made with PLA	10
	3. Represent of unique color designed of different LINAC geometry with an example of green and pink color-card instructions provided to experimental student group	10
	4. Performance distribution of students by quartiles: pre-test (left) and post-test results (right)	15
	5. Scatter plot representing an apprentice performance of the students in control group (blue) versus experimental group (orange)	16
	6. Reported overall helpful satisfaction feedback questionnaire of the integration of 3D LINAC models in radiological technology undergraduate program (n = 57)	18



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีรักษาเป็นการใช้รังสีเอกซเรย์ที่มีพลังงานสูงเข้าทำลายสารพันธุกรรม (DNA) ภายในเซลล์มะเร็งเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตและทำให้เซลล์มะเร็งตายไปในที่สุด ปัจจุบันเทคโนโลยีของเครื่องฉายรังสีมีการพัฒนาไปมาก ทำให้ได้การรักษาที่แม่นยำ สามารถควบคุมโรคได้ดีขึ้นและลดผลข้างเคียงต่อเนื้อเยื่อปกติโดยรอบ ซึ่งการเรียนการสอนของนักศึกษารังสีเทคนิคที่ผ่านยังขาดการเห็นภาพอุปกรณ์เครื่องมือที่จับต้องได้ เนื่องจากเครื่องมือในทางรังสีรักษามีราคาค่อนข้างสูง ประกอบกับมีตั้งอยู่ภายในโรงพยาบาลขนาดใหญ่หรือศูนย์มะเร็งเท่านั้น คณะรังสีเทคนิคจึงมุ่งปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนการสอนเพื่อตอบรับกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีรวมถึงพัฒนาการจัดการเรียนการสอนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ให้นักศึกษาเกิดความสนใจและกระตือรือร้นในการเรียน จึงมีการสนับสนุนและส่งเสริมให้อาจารย์ผลิตสื่อการสอนในหลากหลายรูปแบบ รวมถึงการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ทางรังสีซึ่งจะช่วยให้ศึกษามองเห็นภาพและการทำงานได้ง่ายขึ้น

ผู้วิจัยจึงสนใจจะพัฒนาและสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษาสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต เพราะในปัจจุบันเครื่องเร่งอนุภาคจะเป็นเครื่องมือที่นิยมสำหรับทำการรักษาโรคมะเร็งและมีความสำคัญอย่างมากในการวางแผนการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็ง โดยแบบจำลองดังกล่าวจะสร้างขึ้นจาก 3D printer และมีส่วนประกอบหลักต่างๆ เหมือนกับเครื่องเร่งอนุภาคของจริง เพื่อจะช่วยให้นักศึกษาสามารถมองเห็นส่วนประกอบและการทำงานต่างๆ ของเครื่องได้ชัดเจนขึ้นมากกว่าการนั่งเรียนจากบรรยายทั่วไป โดยงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากการสร้างแบบจำลองแล้วยังได้ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจในงานวิจัยพัฒนาการเรียนการสอน ดังนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะเกิดประโยชน์ต่อนักศึกษารังสีเทคนิค รวมถึงบุคลากรที่เกี่ยวข้องทางรังสีเทคนิคที่จะสามารถเข้าถึงข้อมูลเพื่อการทบทวนหรือศึกษาได้ตลอดเวลาตามความต้องการ

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคและส่วนประกอบต่างของเครื่องสำหรับการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษาสำหรับนักรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 3
- 2) ประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ก่อนและหลังการสอนโดยใช้แบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค
- 3) ประเมินความพึงพอใจหลังจากการสอนโดยใช้แบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค

สมมติฐานของการวิจัย

แบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษาสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต จะช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรวมถึงมีความพึงพอใจที่จะนำมาใช้เป็นสื่อเสริมการเรียนรู้ได้หรือไม่

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง: -

ระยะเวลาในการทดลอง: 12 เดือน

งบประมาณ: 80,800 บาท

เนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง: ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคจากนั้นนำมาทดลองในกลุ่มนักศึกษา คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต โดยวัดความรู้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาเฉพาะด้านความรู้เท่านั้น และความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เนื่องจากเครื่องทางรังสีรักษามีราคาค่อนข้างแพง การเรียนการสอนในห้องเรียนก่อนไปฝึกงาน นักศึกษาต้องอาศัยการจดจำจากตำราและการบรรยายจากอาจารย์ผู้สอนเท่านั้น จึงต้องการศึกษาวิจัยการสร้างโมเดลจำลองของเครื่องเร่งอนุภาพ หรือ linear accelerator (LINAC) เพื่อให้นักศึกษาเห็นภาพส่วนประกอบได้ทั้งภายนอกและภายใน รวมถึงวัดความรู้ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักศึกษางานวิจัยดังกล่าวนอกจากจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนการสอนแล้ว ทีมผู้วิจัยยังต้องการนำไปเผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติเพื่อยกระดับองค์ความรู้และงานวิจัยให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ด้านการเรียนการสอนและงานวิจัย



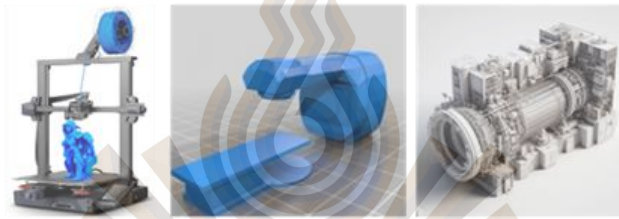
เครื่องมือทางรังสีรักษามีราคาแพง
และอุปกรณ์จำลองเครื่องมือทางด้านรังสีเทคนิคยังมีน้อย



นักศึกษาไม่สามารถมองเห็นภาพอุปกรณ์เครื่องมือทางรังสีได้
อาศัยการจดจำตำราในห้องเรียน



การสร้างแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค Linear Accelerator (LINAC)



- เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษาสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต
- วัดความรู้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษารวมถึงความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค

กรอบแนวคิดในการวิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องเร่งอนุภาค (Linear Accelerator: LINAC)	คือเครื่องมือที่ใช้เร่งอนุภาคประจุไฟฟ้า เช่น อิเล็กตรอน ให้มีพลังงานสูงขึ้นโดยใช้สนามไฟฟ้าในแนวเส้นตรง เครื่อง LINAC ถูกใช้งานในหลายสาขา เช่น ในทางฟิสิกส์อนุภาค การรักษามะเร็งด้วยรังสีรักษา และการสร้างภาพทางการแพทย์ โดยในทางการแพทย์ LINAC มักใช้ในงานรังสีรักษาเพื่อให้อนุภาคที่ถูกเร่งปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีเพื่อทำลายเซลล์มะเร็ง
เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printer)	คืออุปกรณ์ที่ใช้สร้างชิ้นงานทางกายภาพจากแบบจำลองดิจิทัล โดยการพิมพ์วัสดุเป็นชั้นๆ ซ้อนทับกันจนเกิดเป็นวัตถุที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนดไว้ในแบบจำลองสามมิติ วัสดุที่ใช้พิมพ์มักประกอบด้วยพลาสติก โลหะ หรือวัสดุอื่นๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องพิมพ์และการใช้งาน เครื่องพิมพ์สามมิติถูกใช้ในการผลิตชิ้นงานในหลายวงการ รวมถึงการแพทย์ วิศวกรรม และการออกแบบผลิตภัณฑ์
เอกซเรย์	รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 5×10^{-9} เมตร ถึง 6×10^{-12} เมตร มีอำนาจทะลุผ่านสูง สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆ และประยุกต์นำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ทางอุตสาหกรรม เป็นต้น
รังสี	พลังงานที่แผ่มาจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งซึ่งอาจสามารถทะลุผ่านวัตถุชนิดต่าง ๆ ได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคสำหรับนักรังสีเทคนิค ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดและสามารถใช้เป็นเครื่องมือเสริมการเรียนรู้ของนักศึกษาได้
2. นักศึกษาสามารถใช้แบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ รวมถึงมีความพึงพอใจต่อแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้
3. สามารถนำเสนอผลงานวิจัยในระดับชาติได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รังสีรักษา คือการนำรังสีมาใช้รักษาโรค ได้แก่ โรคมะเร็ง และโรคอื่นๆ เช่น โรคเนื้องอก ผลเป็นคีลอยด์ ซึ่งรังสีที่ใช้ในการรักษาโรค ได้แก่ รังสีประเภทไอออนไนเซชัน (ionization) ซึ่งเป็นรังสีประเภทเดียวกับรังสีที่ใช้ถ่ายภาพเอกซเรย์ แต่มีพลังงานสูงกว่าและใช้ในจำนวน ขนาด และ ปริมาณรังสีที่สูงกว่าที่ใช้ในการตรวจโรค (Mayles, Nahum, & Rosenwald, 2007) ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ Kilovoltage X-Ray Units, Cobalt therapy, Linear Accelerator (LINAC), Gamma knife และ Cyber Knife (Heath & Heath, 2016)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันเครื่องเร่งอนุภาค หรือ Linear Accelerator (LINAC) เป็นเครื่องฉายรังสีที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิตรังสีเอกซเรย์พลังงานสูง ได้เข้ามาทดแทนเครื่อง Cobalt therapy (Page et al., 2014) และมีการติดตั้งใช้งานในแผนกรังสีรักษารวมถึงศูนย์มะเร็งต่างๆ เพื่อใช้สำหรับรักษาผู้ป่วยมะเร็ง โดยทั่วไปแล้วเครื่องอนุภาคมี 2 ประเภทคือ ได้แก่ Conventional ที่สามารถให้การรักษาได้ด้วยเทคนิคแบบมาตรฐาน (Conventional Therapy) (Nachbar et al., 2019) และ Cyber knife ถูกออกแบบมาเพื่อการฉายรังสีร่วมฟิสิกส์โดยเฉพาะ (Kilby, Naylor, Dooley, Maurer Jr, & Sayeh, 2020)

จากองค์ความรู้และความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ดังกล่าว ในงานวิจัย พัฒนาการเรียนการสอนนี้มีจึงมีจุดมุ่งหมายที่จะจัดทำแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอุปกรณ์รังสีรักษาโดยแบบจำลองดังกล่าวจะสร้างขึ้นจาก 3D printer และมีส่วนประกอบหลักต่างๆ เหมือนกับเครื่องเร่งอนุภาคของจริง เพื่อจะช่วยให้นักศึกษาสามารถมองเห็น ส่วนประกอบและการทำงานต่างๆของเครื่องได้ชัดเจนขึ้นมากกว่าการนั่งเรียนจากบรรยายทั่วไป

ซึ่งแบบจำลองเครื่องเร่งอนุภาค จะจำลองส่วนประกอบเหมือนจริงจากเครื่องฉายรังสี โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ *External Components* (Gentry, Stand, Electronic Portal Imaging Device (EPID) และ kV Imaging System) และ *Internal Components* (Electron Gun, Accelerating Waveguide, Microwave Generators, Waveguide, Bending Magnet, Treatment Head,

Primary collimator, Secondary collimator และ Multileaf collimator (MLC) ซึ่งในการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในรายวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทอ้งทำซื้ออุปกรณ์ทางรังสีจากการเรียนบรรยาย อาจจะทำให้นักศึกษาไม่เกิดองค์ความรู้ในระยะยาวได้ รวมถึงนักศึกษายังมีความกดดันจากการทอ้งจำ และขาดการมองเห็นภาพเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆ ส่งผลให้ขาดความสนใจและความสนุกสนานในการเรียน (Joseph, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาศักยภาพอาจารย์ให้ทันต่อความก้าวหน้าทางวิชาการในยุคปัจจุบัน เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนรวมถึงงานวิจัยที่สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงวิชาการ ดังนั้นเมื่อเทคโนโลยีและสื่อต่างๆ บทบาทสำคัญในวงการวิชาการ รวมถึงในศาสตร์ทางด้านรังสีเทคนิค โดยเหตุผลดังกล่าวองค์กรและคณะรังสีเทคนิค รวมถึงอาจารย์จึงต้องปรับตัวให้เท่าทันในด้านเทคโนโลยีการเรียนรู้ เพื่อให้สามารถถ่ายทอดและส่งเสริมให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง รวมถึงนักศึกษายังสามารถมองเห็นภาพอุปกรณ์เครื่องมือทางรังสีได้มากกว่าการจดจำตำราในห้องเรียน ซึ่งจะทำให้การเรียนรู้มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพได้มากกว่าการเรียนรู้แบบเดิม (Phuaphan, Kijkuakul, & Chanunan, 2022)

โดยในงานศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองโมเดล 3 มิติ โดย 3D printer มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่นการศึกษา ศักยภาพของการพิมพ์ 3 มิติในด้านการแพทย์รวมถึงจักษุวิทยา โดยทำการผลิตแว่นตา อุปกรณ์เทียม รากฟันเทียม และแม้แต่วัสดุต่างๆ ในงานวิจัยนี้พบว่าการพิมพ์ 3 มิติมีศักยภาพในการผลิตในลักษณะเดียวกับแท่นพิมพ์แบบเดิม (Schubert, Van Langeveld, & Donoso, 2014) นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติในทางการแพทย์ ยังมีประสิทธิภาพและข้อดีคือ ความรวดเร็ว ความแม่นยำ และความสามารถในการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อน (Ventola, 2014)

จากองค์ความรู้การสร้างแบบจำลองโมเดล 3 มิติ ได้มีศึกษาเพื่อช่วยเพิ่มทักษะบุคลากรทางการแพทย์ เช่นทักษะในการผ่าตัดส่องกล้อง พบว่าการฝึกผ่าตัดจำลองช่วยเพิ่มพูนทักษะความรู้เพื่อนำไปใช้พัฒนาในการผ่าตัดผู้ป่วยจริง ดังนั้นทักษะการผ่าตัดแบบส่องกล้องมีความจำเพาะที่จะต้องฝึกฝนปฏิบัติด้วยเครื่องมือที่มีความเสมือนจริง แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการผ่าตัดเสมือนจริงมีความซับซ้อน ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ มีราคาสูง และต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศจึงเป็นเรื่องยากที่จะจัดการฝึกทักษะพื้นฐานการผ่าตัดส่องกล้อง ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นแบบจำลองลงผ่าตัดส่องกล้อง โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ทั่วไป มีราคาพอเหมาะ ใช้พื้นที่น้อยแต่มีความเสมือนจริง ผลพบว่าแพทย์ประจำบ้านมีความชำนาญที่มากขึ้น มีทักษะพื้นฐานในการรับรู้ทิศทาง 2 มิติ, 3 มิติ ผ่านทางการจำลองผ่าตัดเสมือนจริง ทำให้มีความเข้าใจในการเรียนวิชาเวชศาสตร์การกีฬาดีขึ้น สามารถนำไปใช้ต่อยอดในการผ่าตัดส่อง

กล้องในผู้ป่วยจริง (ภาส et al.)

รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าในการทำแบบจำลองการก่อสร้างโดยการแปลงไฟล์ซอฟต์แวร์เพื่อนำไปใช้ขึ้นรูปอาคาร 3 มิติ โดยเครื่อง 3D printer จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบความคุ้มค่าและมาตรฐานแบบก่อสร้าง ซึ่งผลงานวิจัยเบื้องต้นพบว่าการออกแบบก่อสร้างอาคารโดยแบบจำลองทำให้ลดเวลาในการก่อสร้าง มีความแม่นยำกว่าการใช้ทรัพยากรบุคคลในการถอดราคาแบบปัจจุบัน และสามารถถอด ส่วนประกอบอาคารให้เห็นรายละเอียดของอาคารได้ตามมาตรฐานถูกต้องตามแบบ และยังลดระยะเวลา กับ ต้นทุนการใช้ทรัพยากรบุคคลในการตัดชิ้นงานอาคารได้ตามที่คาดการณ์ไว้ (ปิ่น, เกลี้ยง, เสน, & เจริญ, 2020)

อย่างไรก็ตามแบบจำลองโดย 3D printer ในทางด้านการศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนทางด้านรังสีเทคนิคยังมีน้อยและจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดการพัฒนาศักยภาพการเรียนการสอนได้อย่างเต็มที่ รวมถึงประเมินผลการเรียนรู้ในรายวิชาและความพึงพอใจนักศึกษา และจากข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวมาจะเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยการเรียนการสอนในครั้งนี้อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างจาก 3D printer มาประยุกต์ร่วมกับการเรียนการสอน ในรายวิชาอุปกรณ์ทางรังสีรักษา รวมถึงสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการเรียนและความพึงพอใจต่อการ
ใช้แบบจำลองในการเรียนรู้สำหรับนักศึกษารังสีเทคนิค



บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

การสร้างโมเดลสามมิติ (Fabrication of 3D model)

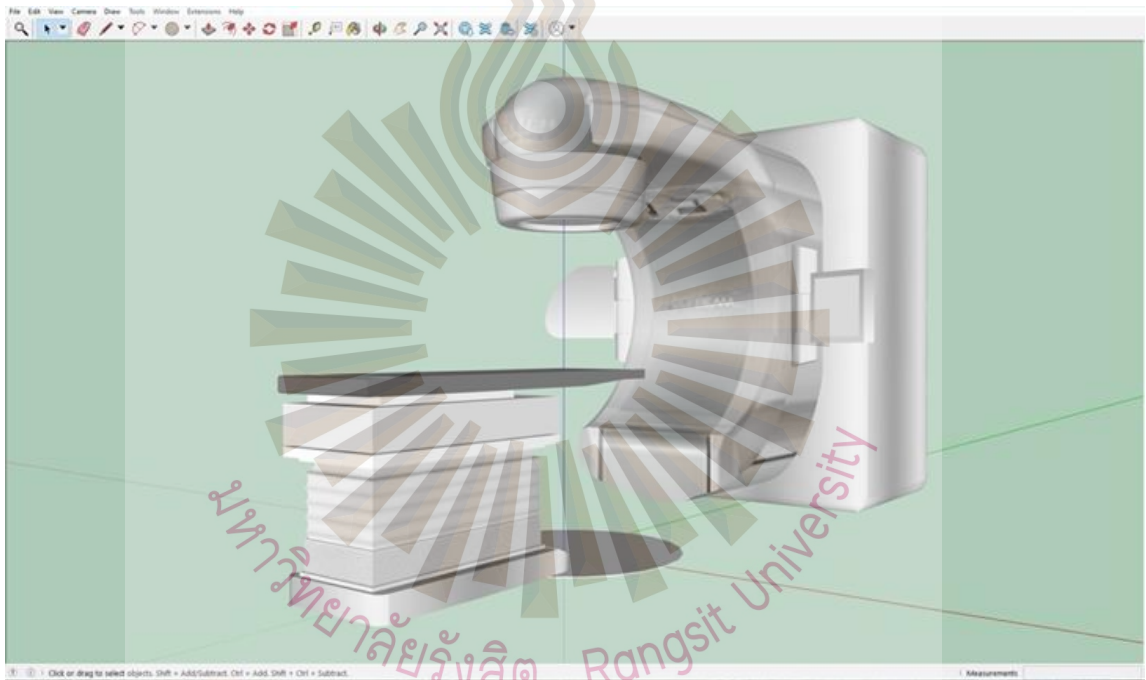
ในขั้นแรก เราใช้ฐานข้อมูลฟรีที่มีอยู่ที่เว็บไซต์ 3dwarehouse.sketchup.com เพื่อดาวน์โหลดไฟล์โมเดล LINAC แบบสามมิติ จากนั้นไฟล์นี้ถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่รองรับการพิมพ์สามมิติ โดยต้องนำเข้าและบันทึกเป็นไฟล์มาตรฐานในรูปแบบ 3D Standard Tessellation Language (.STL) ก่อนที่จะอัปโหลดเข้าสู่ซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อทำการพิมพ์ การสร้างรูปทรงสามมิติของเครื่อง LINAC นี้เริ่มจากการแบ่งส่วนอัตโนมัติเพื่อแยกส่วนของ gantry และ couch หลังจากนั้นทำการตรวจสอบการแบ่งส่วนและแก้ไขส่วนที่ไม่เหมาะสมด้วยตนเองเพื่อให้มั่นใจว่าการแบ่งส่วนนั้นถูกต้อง การแก้ไขเหล่านี้ทำโดยใช้ซอฟต์แวร์ FlashPrint รุ่นฟรี (บริษัท Neotech, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย) และเพิ่มวัสดุรองรับเพื่อช่วยในการพิมพ์

ในการสร้างรูปทรงภายนอกของเครื่อง LINAC เราใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ Flashforge Guider III ที่ผลิตโดย Neotech, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ชนิด Fused Deposition Modeling (FDM) มีขนาดแท่นพิมพ์ใหญ่ (300×250×340 มม.) ด้วยความเร็วในการพิมพ์ 250 มม./วินาที โมเดล LINAC ที่พิมพ์ออกมามีความละเอียดประมาณ 0.0025 มม. ในแกน z และใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มม. สำหรับแกน x และ y โมเดลนี้สร้างขึ้นจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก PLA (3DD PLA MATTE เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มม. สีขาว, Neotech, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย) การเตรียมเส้นใย PLA ต้องทำการติดตั้งด้วยตนเองในหัวฉีดของเครื่องพิมพ์ และเมื่อเส้นใยพลาสติกถูกให้ความร้อนจนละลาย การพิมพ์ชั้นแรกจะเริ่มตันขึ้น และชั้นที่พิมพ์จะค่อยๆ แข็งตัวหลังจากเย็นลง จากนั้นหัวฉีดจะเคลื่อนที่และเริ่มพิมพ์ชั้นใหม่เข้าไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพิมพ์โมเดลทั้งหมดเสร็จสิ้น

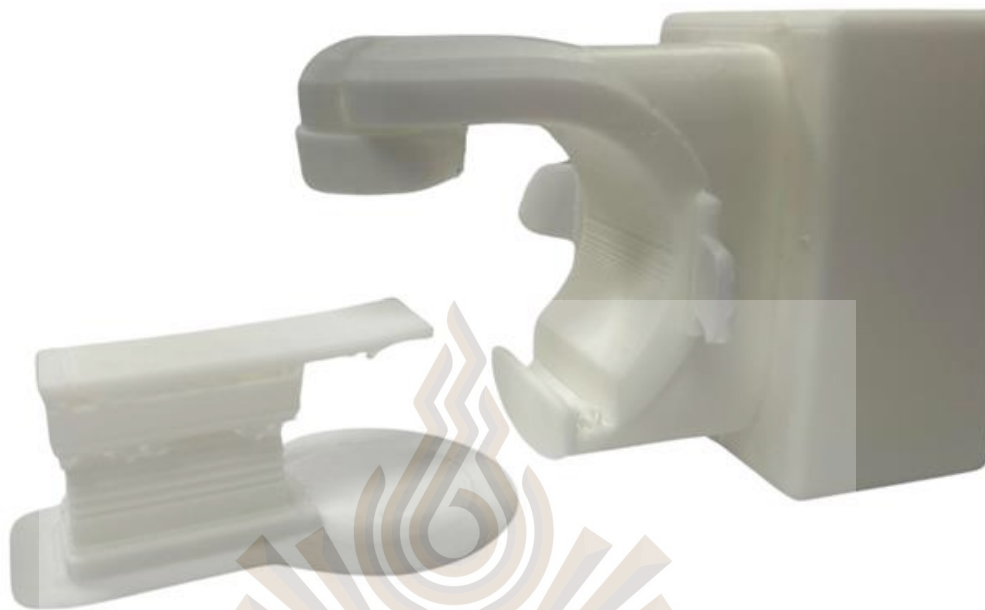
แต่ละชั้นของโมเดลที่ประกอบจะมีความหนาเท่ากัน ในระหว่างกระบวนการพิมพ์ ส่วนที่ยื่นออกและรูปทรงที่ซับซ้อนไม่สามารถพิมพ์ในพื้นที่ว่างได้ จึงต้องมีการเพิ่มวัสดุรองรับเพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของโมเดล เราพบว่าการใช้แท่นเหล็กที่ยึดหยุ่นได้พร้อมกับแผ่นแม่เหล็กและพื้นผิวที่เอียงได้ช่วยให้สามารถถอดโมเดลที่พิมพ์เสร็จแล้วออกจากโต๊ะเสกนได้ง่าย กระบวนการนี้ใช้เวลาน้อยกว่า 4 ชั่วโมงสำหรับส่วน

gantry และ 1 ชั่วโมงสำหรับส่วน couch เมื่อโมเดลเสร็จสิ้น วัสดุรองรับสามารถถอดออกด้วยมือได้อย่างง่ายดาย ดังภาพที่ 1-2

หลังจากนั้น โมเดลจะถูกทาสีให้แตกต่างกันเพื่อแยกแยะส่วนสำคัญต่างๆ ของเครื่อง LINAC ได้แก่ สีม่วงสำหรับ gantry, สีส้มสำหรับ collimator, สีชมพูสำหรับ on board imaging (OBI), สีแดงสำหรับ electronic portal device (EPID), สีเขียวสำหรับ couch และสีฟ้าสำหรับพื้นโต๊ะหมุน ซึ่งจะช่วยให้ นักศึกษาสามารถเห็น แยกแยะ และจดจำส่วนต่างๆ ของโมเดล LINAC ได้ชัดเจน โดยมีการดัดสีที่อธิบายชื่อและการทำงานของแต่ละส่วน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1. Three-dimensional illustration of the LINAC printed model included the couch and gantry.



ภาพที่ 2. Prototypes of separate couch and gantry of the LINAC machine made with PLA.



ภาพที่ 3. Represent of unique color designed of different LINAC geometry with an example of green and pink color-card instructions provided to experimental student group.

ผู้เข้าร่วมการศึกษา (Student participants)

โมเดลนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนให้เข้าใจง่ายและจำได้ดีขึ้น เพื่อประเมินเทคนิคการสอนใหม่สำหรับเครื่อง LINAC นักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต ประเทศไทย รวมทั้งหมด 114 คน ที่ได้ลงทะเบียนเรียนในวิชาที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือรังสีรักษาในปีการศึกษา 2023 ถึง 2024 โดยนักศึกษาถูกแบ่งแบบสุ่มออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกใช้เทคนิคการสอนแบบดั้งเดิมซึ่งมีนักศึกษจำนวน 57 คน โดยเรียนผ่านภาพประกอบแบบสองมิติและวิดีโอ ส่วนกลุ่มที่สองซึ่งมีนักศึกษา 57 คน ได้รับการสอนด้วยเทคนิคการสอนแบบดั้งเดิมร่วมกับการใช้โมเดล 3 มิติ หัวข้อเกี่ยวกับเครื่อง LINAC ถูกสอนเป็นเวลา 90 นาที สัปดาห์ละหนึ่งครั้ง และใช้เวลาเรียนทั้งหมด 2 สัปดาห์ การศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของสถาบัน

การวิเคราะห์ความรู้ในการเรียนและความสามารถในการฝึกงาน (Analysis of learning knowledge and apprenticeship competency)

เพื่อวัดความรู้พื้นฐานของนักศึกษาทั้งสองกลุ่ม ได้ทำการทดสอบตัวอย่างก่อนเริ่มชั้นเรียน ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทั้งสอง ผลการประเมินหลังการเปลี่ยนแปลงในการศึกษาที่เกี่ยวกับเครื่อง LINAC แบ่งออกเป็น 2 ด้านหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงความรู้ทางทฤษฎีและการเปลี่ยนแปลงทักษะการปฏิบัติ การทดสอบทางทฤษฎีใช้คะแนนเต็ม 30 คะแนน เพื่อประเมินความรู้ในการเรียนรู้ ผลการประเมินวัดจากความถูกต้องโดยใช้เครื่องอ่านคะแนนแบบ optical mark reader คะแนนแอลฟาของการทดสอบอยู่ที่ 0.77 ซึ่งถูกตรวจสอบความเชื่อถือได้โดยใช้สูตร Cronbach's Alpha (Tavakol & Dennick, 2011)

หลังจากการเรียนเป็นเวลา 4 เดือน นักศึกษาทุกคนได้เข้าสู่การฝึกงานในคลินิกจริงในวันแรก การประเมินความสามารถในการฝึกงานถูกทำโดยผู้ควบคุมการฝึกงาน 2 คนซึ่งมีประสบการณ์มากกว่า 5 ปี การประเมินความสามารถใช้แบบสอบถามทั้งหมด 16 ข้อ โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน โดยคะแนนที่สูงกว่าจะหมายถึงความสามารถที่ดีกว่า แบบสอบถามมุ่งเน้นไปที่การประเมินทักษะการปฏิบัติของนักศึกษาเฉพาะในเครื่อง LINAC ซึ่งพิจารณาระดับความมั่นใจของผู้เรียน ระยะเวลาการตอบสนอง และเวลาที่ใช้ในการทำงานให้เสร็จ การประเมินความเสี่ยงของอคติในแต่ละข้อถูกตรวจสอบและวิเคราะห์โดยผู้ตรวจสอบอิสระ 2 คน โดยการทดสอบความเชื่อถือได้ของค่าสัมประสิทธิ์โคเฮน (Cohen's Kappa) ให้ผลที่ 0.79 (McHugh, 2012)

การประเมินความพึงพอใจต่อโมเดล 3 มิติ (3D model satisfying assessment)

ได้มีการแจกแบบสอบถามง่าย ๆ จำนวน 12 ข้อ ซึ่งรวมถึงคำถามปลายเปิดเพื่อให้กลุ่มทดลองตอบในตอนที่ท้ายของการฝึกงาน โดยแบบสอบถามนี้ถูกใช้เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานโมเดลต้นแบบ 3 มิติของเครื่อง LINAC เพื่อวัดระดับความพึงพอใจ ใช้วิธีการให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ตามการศึกษาโดย Wake และคณะ (Wake et al., 2019) ซึ่งแบ่งระดับความช่วยเหลือออกเป็น “ไม่มีประโยชน์”, “ช่วยเหลือเล็กน้อย”, “ช่วยปานกลาง” และ “ช่วยได้มาก” (No help, Mild help, Moderate help and Great help) โดยคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ตามที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. Questionnaire with 10-scale scoring to assess student usefulness satisfaction of the 3D models.

	No help		Mild help			Moderate help			Great help	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Quality and detail of the 3D models material used										
2. 3D models in helping you understand LINAC structures.										
3. 3D models improved your ability to visualize and comprehend LINAC machine concepts										
4. Integration of 3D models has impacted your academic learning knowledge in LINAC machine topic										
5. 3D models making learning more engaging and interactive										
6. 3D models have enhanced your overall performance in apprentice.										
7. 3D models have enhanced your ability to work effectively with LINAC machine in a clinical setting										
8. 3D models have increased your confidence in operating LINAC machine after using 3D models for practice										
9. The unique color designs of 3D models enhance your ability to differentiate and identify key features in LINAC structures										
10. Unique colors of 3D models improve your memory retention and recall of information										
11. 3D models with color card help you understand the functionality of LINAC structures										
12. 3D models with color card contribute to your understanding of the maintenance of LINAC structures										

การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)

ข้อมูลการวัดถูกแสดงเป็นสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) และช่วงควอไทล์ (interquartile range, Q) มีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (percentage difference, PD) ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองในด้านคะแนนทฤษฎีและคะแนนฝึกงาน (Moonkum et al., 2022; Tochaikul, 2021) การวิเคราะห์ทางสถิติใช้การทดสอบ t-test แบบจับคู่ของนักศึกษา (student paired t-test) ซึ่งดำเนินการโดยโปรแกรม OriginPro เพื่อเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม โดยระดับความเชื่อมั่นทางสถิติถูกกำหนดที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

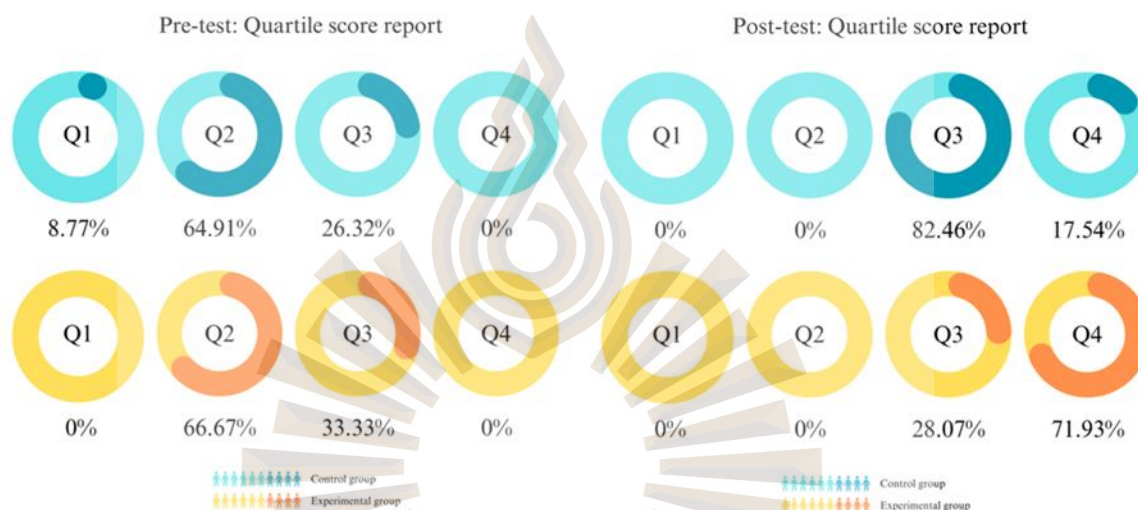
ผลการทดลอง

การใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติเพื่อสร้างโมเดลเครื่อง LINAC ช่วยให้สามารถย่อขนาดของโมเดลได้ โดยเฉพาะในส่วนประกอบภายนอกที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่อง LINAC ความก้าวหน้านี้ได้รับการตอบรับอย่างดีจากนักศึกษา ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจอย่างมาก ผลการประเมินเชิงปริมาณจากการเปรียบเทียบโมเดล 3D กับเครื่องต้นแบบจริงพบว่าโครงสร้างของโมเดลลดลงถึง 99% โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบหลักของเครื่อง

การศึกษาได้ดำเนินการกับนักศึกษา 114 คนจากมหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งเรียนวิชาที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์รังสีรักษาและเข้าฝึกงานในโรงพยาบาล ผลการวิเคราะห์ไม่พบความแตกต่างของคะแนนก่อนการทดสอบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม หลังการทดสอบ กลุ่มทดลองมีความรู้ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ข้อมูลเชิงสถิติของคะแนนสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ต่างถูกแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าคะแนนหลังการทดสอบเพิ่มขึ้นประมาณ 13% ในขณะที่คะแนนก่อนการทดสอบต่างกันเพียง 1% รูปภาพที่ 4 แสดงภาพรวมของคะแนนและการคำนวณ Q ของผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยกลุ่มควบคุมส่วนใหญ่ย้ายจาก Q2 ไป Q3 ส่วนกลุ่มทดลองย้ายจาก Q2 ไป Q4 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ากลุ่มทดลองมีการเรียนรู้ที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม

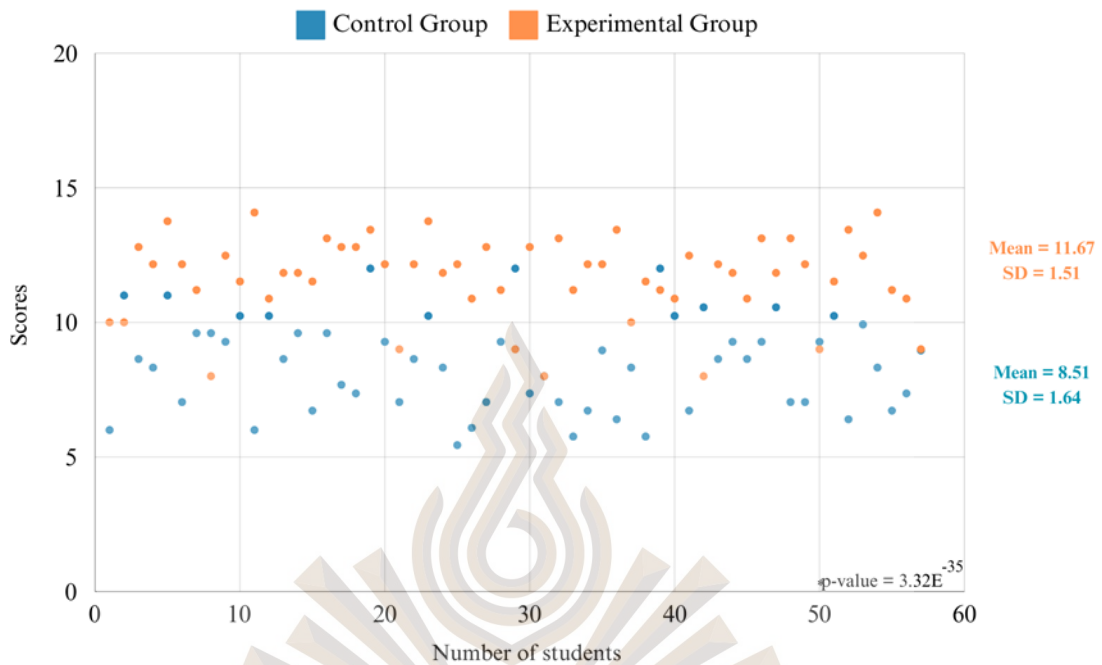
ตารางที่ 2. Comparison of learning knowledge results of the student's subgroup.

	Study group	Maximum score	Minimum score	Mean \pm SD	PD	p-value
Pre-test	Control	16.00	8.00	13.20 \pm 2.45	1.14%	0.21
	Experimental	16.50	8.50	13.35 \pm 2.60		
Post-test	Control	25.00	18.00	21.33 \pm 1.79	12.66%	2.74e ⁻³⁷
	Experimental	28.50	22.00	24.03 \pm 1.54		



ภาพที่ 4. Performance distribution of students by quartiles: pre-test (left) and post-test results (right).

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบทักษะการฝึกงานระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 5 โดยใช้มาตราส่วนการวัดตั้งแต่ 1 ถึง 5 นักเรียนที่ได้คะแนนเกิน 3 ถือว่าผ่านเกณฑ์การประเมิน คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ที่ประมาณ 8.5 และ 11.5 จากแบบสอบถามทั้งหมด 16 ข้อ สำหรับกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองตามลำดับ นอกจากนี้ ผู้ประเมินยังพบความแตกต่างที่ชัดเจนในการแยกแยะประเภทของส่วนประกอบ ความถูกต้องของคำตอบ การระบุบทบาทในการอภิปรายทดสอบ และทักษะการปฏิบัติงานระหว่างสองกลุ่ม กลุ่มทดลองแสดงความมั่นใจยิ่งขึ้นในการทำครั้งแรกและใช้เวลาน้อยลงในการทำแบบทดสอบ แม้ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังคงรักษามาตรฐานในการดูแลอุปกรณ์และปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมที่ใช้โมเดล 3 มิติยังแสดงความมั่นใจมากกว่ากลุ่มที่ใช้วิธีการแบบดั้งเดิม



ภาพที่ 5. Scatter plot representing an apprentice performance of the students in control group (blue) versus experimental group (orange).

การประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของโมเดล 3 มิติ

ได้มีการประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของโมเดล 3 มิติในการช่วยเพิ่มความสามารถในการมองเห็นและเข้าใจ, ส่งผลต่อความรู้ทางวิชาการ, ทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจและมีส่วนร่วมมากขึ้น, เพิ่มความมั่นใจในการใช้งาน, และช่วยในการจดจำและเรียกคืนข้อมูลในกลุ่มทดลอง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมประเมินว่าโมเดล 3 มิติมีความช่วยเหลือในระดับปานกลาง โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.21 คะแนน ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ (จำนวน 28 คน) แสดงความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งอยู่ในช่วง "โชนสี่เหลี่ยม" ตามที่แสดงในรูปที่ 6

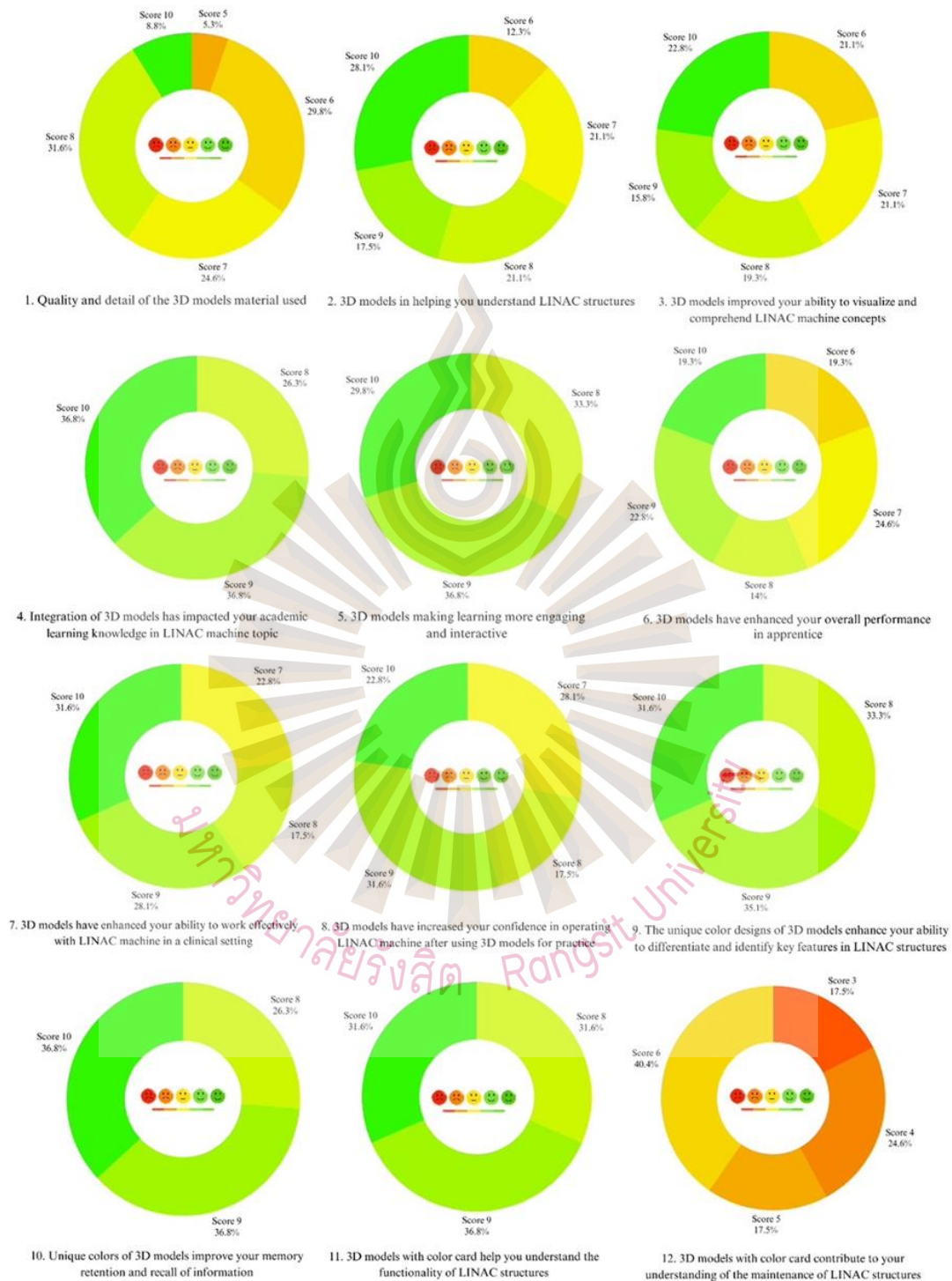
คำถามที่ได้คะแนนสูงสุดสองข้อ ได้แก่ "การบูรณาการโมเดล 3 มิติมีผลต่อความรู้ทางวิชาการในหัวข้อเครื่อง LINAC" และ "สีที่เป็นเอกลักษณ์ของโมเดล 3 มิติช่วยเพิ่มความสามารถในการจดจำและเรียกคืนข้อมูล" โดยได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากันที่ 9.11 ในขณะที่คำถามที่ได้คะแนนต่ำสุดคือ "โมเดล 3 มิติที่มีการดสีช่วยให้คุณเข้าใจการบำรุงรักษาโครงสร้างของ LINAC" ซึ่งได้คะแนนเพียง 4.81

จากคำตอบแบบปลายเปิด นักศึกษาแสดงความคิดเห็นว่า "โมเดล 3 มิติเป็นเครื่องมือการเรียนการสอนที่เป็นนวัตกรรมใหม่ซึ่งให้ภาพจำลองที่จับต้องได้และสามารถโต้ตอบได้ ทำให้นักศึกษาเข้าถึง

เนื้อหาได้อย่างมีความหมายมากขึ้น", "ประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเองนี้เพิ่มความมั่นใจในการทำงานกับอุปกรณ์จริงในสถานพยาบาล" และ "โมเดล 3 มิติมีศักยภาพในการเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างความรู้ทางทฤษฎีกับการประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติ ซึ่งในที่สุดจะช่วยปรับปรุงผลลัพธ์ทางการศึกษาโดยรวม"

คำแนะนำในการปรับปรุงบางประการ ได้แก่ "สร้างโมเดล 3 มิติที่สามารถประกอบและถอดชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้นได้", "รวมส่วนที่เคลื่อนไหวได้เพื่อจำลองการทำงานจริงของเครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้น" และ "เพิ่มรายละเอียดบนการ์ดสี (หรือเพิ่ม QR code) เพื่ออธิบายหน้าที่การทำงานและการบำรุงรักษา





ภาพที่ 6. Reported overall helpful satisfaction feedback questionnaire of the integration of 3D LINAC models in radiological technology undergraduate program (n = 57).

บทที่ 5

สรุป วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติในหลักสูตรเกี่ยวกับเครื่อง LINAC ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาในด้านโครงสร้างและการทำงานของเครื่อง การใช้โมเดล 3 มิติเพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้ที่จับต้องได้ ทำให้นักศึกษาเกิดความมั่นใจมากขึ้นในการฝึกปฏิบัติและการใช้งานเครื่องจริง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่เรียนด้วยโมเดล 3 มิติมีคะแนนหลังการทดสอบสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ นักศึกษาส่วนใหญ่แสดงความพึงพอใจในระดับสูงต่อการใช้งานโมเดล 3 มิติ โดยเฉพาะในเรื่องการจำข้อมูลและการทำงานของเครื่อง LINAC ได้ดีกว่า

วิจารณ์

ความต้องการเครื่องมือการศึกษาแบบสมัยใหม่ในโปรแกรมการศึกษาด้านการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (Sahney, Banwet, & Karunes, 2006; Tzima, Styliaras, & Bassounas, 2019; Yuan et al., 2021) นักวิจัยหลายคนได้ศึกษาการใช้สื่อดิจิทัล เทคโนโลยีบนมือถือ และการสร้างสามมิติ ซึ่งทั้งหมดนี้แสดงผลในเชิงบวกต่อผลการศึกษา (Kaufmann, Schmalstieg, & Wagner, 2000; Sahney et al., 2006; Tzima et al., 2019) เทคโนโลยีเหล่านี้ถูกนำมาใช้ทั้งในด้านการสอนทฤษฎีและการฝึกปฏิบัติ (Bliznakova et al., 2023; Garcia, Yang, Mongrain, Leask, & Lachapelle, 2018) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับอาจารย์ที่จะผนวกเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงความเข้าใจทางทฤษฎีของนักศึกษา และสามารถนำความรู้นั้นไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ปฏิบัติ รวมทั้งเพิ่มความมั่นใจในการใช้งานเครื่องมือทางคลินิก การใช้โมเดลสามมิติทางกายภาพถูกมองว่าเป็นเครื่องมือการศึกษาที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้และประสิทธิภาพโดยการเพิ่มประสิทธิภาพกิจกรรมการสอน (Kaufmann et al., 2000) การศึกษาเกี่ยวกับการใช้โมเดล 3 มิติกับนักศึกษาแพทย์ส่วนใหญ่เกี่ยวกับการเรียนรู้กายวิภาค การผ่าตัด การฝัง และการจำลอง (Salazar, Thompson, Rosen, & Zuniga, 2022; Soares et al., 2013)

อย่างไรก็ตามในประเทศไทย การใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติในการศึกษาด้านรังสีรักษายังค่อนข้างจำกัด การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติในหลักสูตรเกี่ยวกับเครื่องมือรังสีรักษา และประเมินผลตอบรับ การเรียนรู้ และการฝึกงานเกี่ยวกับโมเดล LINAC 3 มิติ เครื่องมือการศึกษาหลายรูปแบบที่ใช้สอนการใช้งานเครื่อง LINAC เช่น การจำลอง 3 มิติแบบเสมือนจริงและการทัวร์โรงพยาบาล อย่างไรก็ตาม วิธีเหล่านี้มักมีค่าใช้จ่ายสูงและการเข้าถึงจำกัด ข้อเสียสำคัญคือจำกัดจำนวนรอบการเรียนรู้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ในการฝึกทักษะและความมั่นใจในการใช้งานเครื่อง (Pagnucci et al., 2015; Yuan et al., 2021) เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติได้แสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการศึกษาแบบทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากโมเดลสามารถผลิตซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ซึ่งทำให้เหมาะสมกับการสอนและการฝึกอบรม (Asghar, Naaz, Patra, Ravi, & Khanal, 2022; McMenemy, Quayle, McHenry, & Adams, 2014) ข้อดีของโมเดลพิมพ์ 3 มิติประกอบด้วยความคุ้มค่า ความทนทาน ความแม่นยำ และความสามารถในการผลิตซ้ำได้หลายครั้ง ซึ่งทำให้เหมาะสมกับสถาบันการศึกษาที่อาจไม่สามารถเข้าถึงการจำลองเสมือนจริงหรือการทัวร์โรงพยาบาลได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ (Cercenelli et al., 2022; Sá dos Reis, Pascoal, Radu, de Oliveira, & Alves, 2017; Wu et al., 2018)

ในการศึกษานี้ เราเลือกใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ FDM และวัสดุ PLA เนื่องจากมีความแม่นยำเหมาะสมสำหรับโมเดลขนาดใหญ่ ความคุ้มค่าด้านต้นทุน และความสะดวกในการใช้งานโดยไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ ค่าใช้จ่ายในการสร้างโมเดล LINAC 3 มิติเพียงหนึ่งตัวอยู่ที่ประมาณ 10 เหรียญสหรัฐ ซึ่งต่ำกว่าค่าทัวร์โรงพยาบาลอย่างมาก อีกทั้งโมเดลยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Bliznakova et al., 2023; Garcia et al., 2018; George, Liacouras, Rybicki, & Mitsouras, 2017; Mitsouras et al., 2015)

ตามการศึกษาของ Garcia และคณะ ลักษณะที่สำคัญของโมเดล ซึ่งรวมถึงขนาด โครงสร้างรอบข้าง และความแม่นยำ ควรถูกวางแผนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ทางการศึกษา (Garcia et al., 2018) ในการพิจารณาของเรา มุ่งเน้นไปที่การลดขนาดของเครื่อง LINAC ต้นแบบให้มีขนาดพอถือได้ในมือ โดยมีความแม่นยำที่ 0.15 มิลลิเมตร ส่วนประกอบหลักอย่าง gantry และ couch ถูกพิมพ์แยกออกจากกัน แล้วจึงนำมาประกอบเข้าด้วยกัน วิธีนี้เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากหากพิมพ์ชิ้นส่วนเหล่านี้พร้อมกันจะเกิดช่องว่างที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้โมเดลที่พิมพ์มีการบิดเบี้ยวมากขึ้น นอกจากนี้ โมเดล LINAC แบบดั้งเดิมที่มีสีเดียว แต่ในกรณีของโมเดลที่พิมพ์ 3 มิติ เราสามารถใช้สีหลายสีเพื่อแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างได้ โมเดลที่ปรับแต่งนี้ถูกพัฒนาในงบประมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมในการพิมพ์

ผลลัพธ์คือ รังสีเทคนิคที่เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมดสามารถระบุโครงสร้างหลักของ LINAC ได้อย่างแม่นยำเกือบ 100% อัตราความผิดพลาดมีความสัมพันธ์ทางลบอย่างชัดเจนกับขนาดที่เล็กของโครงสร้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลพิมพ์ 3 มิติมีความละเอียดเพียงพอในการระบุส่วนประกอบของ LINAC ได้อย่างแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง LINAC ต้นแบบ

เพื่อให้แน่ใจว่าการประเมินมีความสม่ำเสมอทั้งในด้านคุณภาพและความยากของข้อสอบ ได้ใช้ชุดคำถามเดียวกันในการทดสอบก่อนและหลังการเรียน (Asghar et al., 2022; Moonkum, Mongkolsuk, Suwannaporn, & Tochaikul, 2025) การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในคะแนนก่อนการทดสอบระหว่างสองวิธีการเรียน คือ การใช้โมเดล 3 มิติของ LINAC และวิธีการสอนแบบดั้งเดิม ซึ่งผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมมีระดับความรู้พื้นฐานที่เทียบเคียงกันได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินประสิทธิผลของโมเดล LINAC พบว่ากลุ่มที่ใช้โมเดล LINAC 3 มิติ มีการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นจากคะแนนหลังการทดสอบที่สูงกว่ากลุ่มที่ใช้วิธีการสอนแบบดั้งเดิม โดยเฉลี่ยคะแนนหลังการทดสอบของกลุ่มที่ใช้โมเดล 3 มิติอยู่ที่ 24.0 ± 1.5 ในขณะที่กลุ่มที่ใช้วิธีการดั้งเดิมมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 21.3 ± 1.8

ความแตกต่างของผลลัพธ์นี้อาจมาจากความสามารถในการโต้ตอบและการสัมผัสของโมเดล 3 มิติ ซึ่งช่วยเพิ่มความสนใจและการมีส่วนร่วมของนักศึกษาในการเรียนรู้ หัวข้อนี้ได้รับการสนับสนุนจากการศึกษาของ Jansen และคณะ ที่แสดงให้เห็นว่าการแสดงภาพโครงสร้างในรูปแบบ 3 มิติ มีข้อได้เปรียบเหนือการแสดงผลแบบสองมิติบนหน้าจอ (Jansen, Dragicevic, & Fekete, 2013) นอกจากนี้ การสังเกตพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มที่ใช้โมเดล 3 มิติต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้วิธีดั้งเดิม ซึ่งแสดงถึงการลดช่องว่างของความรู้ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Seitzman และ Moonkum (Moonkum et al., 2025; Seitzman, Pushkin, & Berg, 2020)

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโมเดล LINAC 3 มิติเป็นเครื่องมือการศึกษาที่มีคุณค่าสำหรับการเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเครื่อง LINAC ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Stefan และ Yuan ที่รายงานว่า การใช้โมเดล 3 มิติช่วยพัฒนาการฝึกฝนในการจำลองการผ่าตัดกระดูกสันหลังและการสอนภาพทางการแพทย์ (Stefan et al., 2020; Yuan et al., 2021) นอกจากนี้ การศึกษาโดย Sá dos Reis และ Bliznakova ยังได้แสดงให้เห็นว่าโมเดล 3 มิติมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาคุณภาพการฝึกอบรมในด้านการตรวจเต้านมด้วยแมมโมแกรม (Bliznakova et al., 2023; Sá dos Reis et al., 2017)

หลังจากที่นักศึกษาได้เรียนรู้เกี่ยวกับเครื่อง LINAC เป็นเวลาประมาณหนึ่งปี พวกเขาได้เข้าสู่ช่วง

ฝึกงานด้านรังสีรักษา เราจึงได้สำรวจประสิทธิผลของวิธีการสอนทางเลือกว่าด้วยโมเดล 3 มิติ ประสิทธิภาพของเรพบว่าการสอนนี้ช่วยให้นักศึกษาเข้าใจแนวคิดหลักของเครื่อง LINAC ได้ดีขึ้น ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้งานเครื่อง วิธีการนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wu และ Yuan ที่รายงานว่าการใช้โมเดล 3 มิติช่วยเพิ่มความสามารถและทักษะในด้านการศึกษาทางคลินิก (Wu et al., 2018; Yuan et al., 2021) การศึกษาของ Lynch และ Chatterjee ยังแนะนำว่าการเรียนรู้ผ่านโมเดลทางกายภาพที่ผสมผสานการสัมผัสและการรับรู้ด้วยสายตาช่วยเพิ่มการจดจำข้อมูลในระยะยาวได้ดียิ่งขึ้น (Lynch & Chatterjee, 2008)

จากการบูรณาการโมเดล 3 มิติรวมกับการใช้การ์ดสี พบว่าการจดจำความรู้ในระยะยาวที่เกี่ยวข้องกับทักษะทางคลินิกดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้รหัสสีช่วยให้นักศึกษาเข้าใจและจำแนกโครงสร้างและการทำงานของเครื่อง LINAC ได้ดีขึ้น การศึกษาโดย Santos และ Singg ยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ให้กับข้อมูล ช่วยเพิ่มความสนใจ การจดจำข้อมูล และการเรียกคืนข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถเก็บข้อมูลปริมาณมากได้โดยมีข้อผิดพลาดน้อย (Santos et al., 2019; Singg & Mull, 2017)

นอกจากนี้ ผู้ควบคุมการฝึกงานยังสังเกตว่านักศึกษาที่เรียนรู้ด้วยโมเดล 3 มิติมีระดับความมั่นใจสูงขึ้น ใช้เวลาน้อยลงในการทำงานทางคลินิกให้เสร็จ และสามารถตอบคำถามได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความกลัว ความวิตกกังวล และความไม่สบายใจที่สูงขึ้นในกลุ่มที่เรียนรู้ด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งหลายคนเพิ่งเคยเจอเครื่อง LINAC เป็นครั้งแรกในช่วงฝึกงาน ตรงกันข้าม นักศึกษาที่เรียนรู้ด้วยโมเดล 3 มิติมีความคุ้นเคยกับโครงสร้างและการทำงานของเครื่อง LINAC มากขึ้น ทำให้พวกเขารู้สึกสบายใจและมั่นใจมากกว่า

ความคิดเห็นโดยรวมจากนักศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการสอนดีขึ้นเมื่อมีการรวมโมเดล 3 มิติ เพราะช่วยให้นักศึกษาสามารถเข้าใจโครงสร้างในรูปแบบสามมิติ ซึ่งวิธีการสอนแบบดั้งเดิมไม่สามารถตอบโจทย์ในส่วนนี้ได้ การทัวรโรงพยาบาลเป็นประสบการณ์ที่มีคุณค่า แต่เนื่องจากนักศึกษาจำนวนมากไม่ได้มีโอกาสใช้เครื่องจริงซ้ำๆ ทำให้ประโยชน์ของโมเดล 3 มิติถูกมองว่าเป็นการช่วยในระดับปานกลาง นักศึกษาสามารถเข้าใจได้ว่าทำไมและเมื่อใดที่ต้องปรับเปลี่ยนส่วนประกอบต่างๆ และมีความเข้าใจที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการทำงานของโครงสร้างเครื่อง LINAC และความแตกต่างของแต่ละส่วน

นักศึกษาประมาณ 94% ยอมรับว่าการบูรณาการเทคโนโลยีโมเดล 3 มิติใหม่ในการฝึกอบรมช่วยเพิ่มผลลัพธ์การเรียนรู้ของพวกเขา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Bliznakova และ Valverde ที่พบว่ามีผู้เข้าร่วมเพียง 5-10% เท่านั้นที่ไม่เห็นด้วยกับประสิทธิภาพของการสอนที่ใช้โมเดล 3

มิติ (Bliznakova et al., 2023; Valverde et al., 2022) กลุ่มที่ใช้โมเดล 3 มิติรายงานว่าเกิดผลกระทบเชิงบวกมากขึ้นในด้านความกระตือรือร้นและแรงจูงใจสำหรับวิธีการเรียนรู้ทางเลือกที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ นักวิจัยหลายคนยังแสดงความสนใจในการนำโมเดล 3 มิติไปใช้ในชั้นเรียนของตน (Bliznakova et al., 2023; Celorrio-Barragué, Calvo-Simón, Gaspar, Vidal-Cortés, & Martín-Ramos, 2019; Soares et al., 2013)

ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการใช้โมเดลที่พิมพ์ 3 มิติในการศึกษา คือการเป็นแพลตฟอร์มที่สะดวกสบายสำหรับนักศึกษาในการฝึกฝนวิชาชีพในสภาพแวดล้อมทางคลินิกจำลองก่อนที่จะทำงานจริงกับผู้ป่วย คะแนนความพึงพอใจสูงสุดที่ได้รับจากนักศึกษาคือ 9.11 คะแนน โดยเฉพาะในประเด็น "การบูรณาการโมเดล 3 มิติมีผลกระทบต่อการเรียนรู้วิชาการเกี่ยวกับเครื่อง LINAC" และ "สีที่เป็นเอกลักษณ์ของโมเดล 3 มิติช่วยเพิ่มความสามารถในการจดจำและเรียกคืนข้อมูล" ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเดล 3 มิติช่วยปรับปรุงความรู้ทางการเรียนรู้ของนักศึกษาได้ดีขึ้น และการใช้สีที่แตกต่างกันในโมเดลช่วยเพิ่มความเข้าใจมากกว่าการใช้เครื่อง LINAC สีเดียวแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม คะแนนต่ำสุดที่ได้รับคือ 3.30 คะแนน ซึ่งมาจากประเด็นที่ว่า "โมเดล 3 มิติที่มีการ์ดสีช่วยให้เข้าใจการบำรุงรักษาโครงสร้างของ LINAC

ดังนั้น การปรับปรุงการสอนเกี่ยวกับเครื่อง LINAC ในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การประกันคุณภาพเป็นประจำเพื่อเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ LINAC



ข้อเสนอแนะ

1. **ปรับปรุงการสอนด้านการบำรุงรักษา:** การเพิ่มรายละเอียดในส่วนของการบำรุงรักษาเครื่อง LINAC ควรมีการปรับปรุง เช่น เพิ่มข้อมูลหรือคำอธิบายเพิ่มเติมบนการ์ดสี หรือใช้ QR code เพื่อเข้าถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษา
2. **พัฒนาโมเดลแบบประกอบและเคลื่อนไหวได้:** การพัฒนาโมเดล 3 มิติที่สามารถประกอบและถอดชิ้นส่วนได้ รวมถึงส่วนที่สามารถเคลื่อนไหวได้ เพื่อจำลองการทำงานของเครื่อง LINAC อย่างแท้จริง อาจช่วยเพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้ที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากขึ้น
3. **ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีในด้านอื่นๆ:** เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติควรถูกนำไปใช้ในสาขาอื่น ๆ ของวิชาชีพเทคโนโลยีรังสี เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่หลากหลายมากขึ้น
4. **ปรับปรุงการวางแผนการเรียนการสอน:** การปรับการสอนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ทางการศึกษาและเพิ่มจำนวนรอบการฝึกปฏิบัติ จะช่วยให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะมากขึ้น และเพิ่มความมั่นใจในการทำงานกับอุปกรณ์จริง



เอกสารอ้างอิง

- Asghar, A., Naaz, S., Patra, A., Ravi, K. S., & Khanal, L. (2022). Effectiveness of 3D-printed models prepared from radiological data for anatomy education: A meta-analysis and trial sequential analysis of 22 randomized, controlled, crossover trials. *J Educ Health Promot*, 11, 353. doi:10.4103/jehp.jehp_199_22
- Bliznakova, K., Dukov, N., Tsekova, K., Yordanova, M., Milev, M., & Bliznakov, Z. (2023). An Innovative Approach to Training of Radiologic Technologists in Mammography.
- Celorio-Barragué, L., Calvo-Simón, S., Gaspar, M., Vidal-Cortés, M., & Martín-Ramos, P. (2019). *3D printed models-based lab activities to enhance learning-teaching processes in Structural Engineering courses*. Paper presented at the Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.
- Cercenelli, L., De Stefano, A., Billi, A. M., Ruggeri, A., Marcelli, E., Marchetti, C., . . . Badiali, G. (2022). AEducaAR, anatomical education in augmented reality: A pilot experience of an innovative educational tool combining AR technology and 3D printing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1024.
- Garcia, J., Yang, Z., Mongrain, R., Leask, R. L., & Lachapelle, K. (2018). 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*, 4(1), 27-40. doi:10.1136/bmjstel-2017-000234
- George, E., Liacouras, P., Rybicki, F. J., & Mitsouras, D. (2017). Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models. *Radiographics*, 37(5), 1424-1450. doi:10.1148/rg.2017160165
- Heath, A., & Heath, A. (2016). Treatment and Simulation Equipment. *Radiation Therapy Study Guide: A Radiation Therapist's Review*, 27-33.
- Jansen, Y., Dragicevic, P., & Fekete, J.-D. (2013). *Evaluating the efficiency of physical*

visualizations. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems.

- Joseph, V. (2022). E-BOOKS-AN OVERVIEW OF ITS MEANING, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES. *International Journal of Early Childhood Special Education*, 14(5).
- Kaufmann, H., Schmalstieg, D., & Wagner, M. (2000). Construct3D: a virtual reality application for mathematics and geometry education. *Education and information technologies*, 5, 263-276.
- Kilby, W., Naylor, M., Dooley, J. R., Maurer Jr, C. R., & Sayeh, S. (2020). A technical overview of the CyberKnife system. *Handbook of robotic and image-guided surgery*, 15-38.
- Lynch, B., & Chatterjee, H. (2008). Touch in museums: Policy and practice in object handling.
- Mayles, P., Nahum, A., & Rosenwald, J.-C. (2007). *Handbook of radiotherapy physics: theory and practice*: CRC Press.
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
- McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat Sci Educ*, 7(6), 479-486. doi:10.1002/ase.1475
- Mitsouras, D., Liacouras, P., Imanzadeh, A., Giannopoulos, A. A., Cai, T., Kumamaru, K. K., . . . Pomahac, B. (2015). Medical 3D printing for the radiologist. *Radiographics*, 35(7), 1965-1988.
- Moonkum, N., Mongkolsuk, M., Suwannaporn, K., & Tochaikul, G. (2025). The use of designed E-book to improve a concept understanding and practical skill on a mammography machine quality control among radiological technologist students. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 20, 002-002.
- Moonkum, N., Turathong, S., Pinitpatcharalert, A., Seechompoo, J., Suetong, C., Danthanavat, N., & Tochaikul, G. (2022). A phantom study: In vivo rectal dosimetry of high dose rate brachytherapy in cervical cancer. *Applied Radiation and Isotopes*,

110604. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110604>

- Nachbar, M., Mönnich, D., Kalwa, P., Zips, D., Thorwarth, D., & Gani, C. (2019). Comparison of treatment plans for a high-field MRI-linac and a conventional linac for esophageal cancer. *Strahlentherapie und Onkologie*, 195(4), 327-334.
- Page, B. R., Hudson, A. D., Brown, D. W., Shulman, A. C., Abdel-Wahab, M., Fisher, B. J., & Patel, S. (2014). Cobalt, linac, or other: what is the best solution for radiation therapy in developing countries? *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 89(3), 476-480.
- Pagnucci, N., Carnevale, F. A., Bagnasco, A., Tolotti, A., Cadorin, L., & Sasso, L. (2015). A cross-sectional study of pedagogical strategies in nursing education: opportunities and constraints toward using effective pedagogy. *BMC medical education*, 15, 1-12.
- Phuaphan, N., Kijkuakul, S., & Chanunan, S. (2022). การ พัฒนา รายวิชา การ สอน แนว ใหม่ ที่ ส่งเสริม ความ รู้ เนื้อหา ผนวก วิธี สอน และ เทคโนโลยี ของ นักศึกษา ครู วิทยาศาสตร์: การ วิจัย ปฏิบัติการ เชิง วิพากษ์ แบบ มี ส่วน ร่วม: DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE METHODS COURSE SUPPORTING PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS' TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL AND CONTENT KNOWLEDGE: A CRITICAL PARTICIPATORY ACTION RESEARCH. *JOURNAL OF EDUCATION NARESUAN UNIVERSITY*, 24(2), 159-169.
- Sá dos Reis, C., Pascoal, A., Radu, L., de Oliveira, M. F., & Alves, J. (2017). Overview of the radiographers' practice in 65 healthcare centers using digital mammography systems in Portugal. *Insights into imaging*, 8, 345-355.
- Sahney, S., Banwet, D., & Karunes, S. (2006). An integrated framework for quality in education: Application of quality function deployment, interpretive structural modelling and path analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 17(2), 265-285.
- Salazar, D., Thompson, M., Rosen, A., & Zuniga, J. (2022). Using 3D printing to improve student education of complex anatomy: a systematic review and meta-analysis. *Medical science educator*, 32(5), 1209-1218.

- Santos, J., Sabino, A., Duane, C., Mallari, J. K. C., Eusebio, M., & Gonzales, P. (2019). The effects of color coded words on memory retention. *Available at SSRN* 3438889.
- Schubert, C., Van Langeveld, M. C., & Donoso, L. A. (2014). Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *British Journal of Ophthalmology*, 98(2), 159-161.
- Seitzman, R. L., Pushkin, J., & Berg, W. A. (2020). Radiologic technologist and radiologist knowledge gaps about breast density revealed by an online continuing education course. *Journal of Breast Imaging*, 2(4), 315-329.
- Singg, S., & Mull, C. W. (2017). Effect of color on information retention by young men and women. *JOJ Case Stud*, 2(4), 555591.
- Soares, P. V., de Almeida Milito, G., Pereira, F. A., Reis, B. R., Soares, C. J., de Sousa Menezes, M., & de Freitas Santos-Filho, P. C. (2013). Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. *Journal of dental education*, 77(3), 358-363.
- Stefan, P., Pfandler, M., Lazarovici, M., Weigl, M., Navab, N., Euler, E., . . . Weidert, S. (2020). Three-dimensional-printed computed tomography-based bone models for spine surgery simulation. *Simulation in Healthcare*, 15(1), 61-66.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53.
- Tochaikul, G., Moonkum, N., Sriwongta, S., Neamchumnan, M., Thawornnittayakul, A., & Danthanavat, N. (2021). Determination of appropriate proportional in-house flexible radiation shielding material using bismuth powder and natural-silicon rubber compounds. *Journal of Current Science and Technology*, 11(2), 277-286. doi:10.14456/jcst.2021.28
- Tzima, S., Styliaras, G., & Bassounas, A. (2019). Augmented reality applications in education: Teachers point of view. *Education Sciences*, 9(2), 99.
- Valverde, I., Gomez, G., Byrne, N., Anwar, S., Silva Cerpa, M. A., Martin Talavera, M., . . . Velasco Forte, M. N. (2022). Criss-cross heart three-dimensional printed models in medical education: A multicenter study on their value as a supporting tool to

- conventional imaging. *Anatomical sciences education*, 15(4), 719-730.
- Ventola, C. L. (2014). Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704.
- Wake, N., Rosenkrantz, A. B., Huang, R., Park, K. U., Wysock, J. S., Taneja, S. S., . . . Chandarana, H. (2019). Patient-specific 3D printed and augmented reality kidney and prostate cancer models: impact on patient education. *3D printing in medicine*, 5, 1-8.
- Wu, A. M., Wang, K., Wang, J. S., Chen, C. H., Yang, X. D., Ni, W. F., & Hu, Y. Z. (2018). The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Ann Transl Med*, 6(20), 403. doi:10.21037/atm.2018.09.59
- Yuan, Q., Chen, X., Zhai, J., Chen, Y., Liu, Q., Tan, Z., . . . Shao, X. (2021). Application of 3D modeling and fusion technology of medical image data in image teaching. *BMC Med Educ*, 21(1), 194. doi:10.1186/s12909-021-02620-z
- ปิ่น, อ. ต. ย. ต., เกลี่ยง, เ. พ. ส. ช. ฐ. บ., เสน, พ. พ. น., & เจริญ, ม. แ. โ. (2020). ความ คุ่ม ค่า คุ่ม ทุน ในการนำ พรีนเตอร์ 3 มิติ ร่วม กับ แบบ จำลอง สารสนเทศ อาคาร (BIM) มา ใช้ ใน กระบวนการ ออกแบบ ก่อสร้าง. การ ประชุม วิชาการ วิศวกรรม โยธา แห่ง ชาติ ครั้งที่ 25, 25, CEM06-CEM06.
- ภาส, ร. ภ. ว. โ., เสถียร, ช. ศ. ก. ค., พันธุ์, เ. ช. ล. ม. เ. ห., เพชร, ณ. ฐ. พ. แ., กุล, ช. เ. บ. ช. ย. น., นนท์, จ. พ. ว. น. ช. ช., & รุ่ง, ช. น. น. ท. ว. ต. การ พัฒนา ชุด อุปกรณ์ และ รูป แบบ การ สอน การ ฝึก ผ่าตัด ส่อง กล้อง จำลอง.

ภาคผนวก
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า นาย นาง นางสาว

ตำแหน่งทางวิชาการ ศ. รศ. ผศ. อื่นๆ

ชื่อผู้วิจัย กัญจนพร

นามสกุลผู้วิจัย โตชัยกุล

ชื่อภาษาอังกฤษ GUNJANAPORN

นามสกุลภาษาอังกฤษ TOCHAIKUL

วัน/เดือน/ปี เกิด 28/03/2538

ที่อยู่(บ้าน) 293 ถ.ลาดพร้าว ซ.ลาดพร้าว 101 แยก 17 เขต วังทองหลาง แขวง คลองเจ้าคุณสิงห์

จังหวัด(บ้าน) กรุงเทพฯ

รหัสไปรษณีย์(บ้าน) 10310

โทรศัพท์(บ้าน) -

แฟกซ์(บ้าน) -

ที่อยู่(ที่ทำงาน) คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 พหลโยธิน 87 ถ.พหลโยธิน อ.เมือง

จังหวัด(ที่ทำงาน) ปทุมธานี

รหัสไปรษณีย์(ที่ทำงาน) 12000

โทรศัพท์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

แฟกซ์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

E-Mail Address: gunjanaporn.t@rsu.ac.th

ปริญญาตรี

สาขา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (รังสีเทคนิค)

ปีที่จบ 2559

สถาบัน คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศไทย

ปริญญาโท

สาขา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์การแพทย์)

ปีที่ยจบ 2562

สถาบัน คณะแพทยศาสตร์รามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารภายในประเทศ

1. **Gunjanaporn Tochaikul**, Krissanat Chuamsaamarkkee, Chayanit Jumpee, Jatechan Channuie, Phongyut Sriploy, Daranee Piriyaasang, Putthiporn Charoenphun .*Monte Carlo simulation of $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ plaque radiation dose in ophthalmic brachytherapy* 2020 page FP1-1 ถึง 1-4

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารต่างประเทศ

- 1) Moonkum, N., Wongpiem, U., Sriwongta, S., Danthanawat, N., **Tochaikul, G.**, & Pilapong, C. (2021). Effect of X-ray diagnostic energy to peripheral blood mononuclear cells and CD34+/CD133+ expression: an in vitro study. *Journal of Current Science and Technology*, 11(1), 24-31.
- 2) **Tochaikul, G.**, Moonkum, N., Sriwongta, S., Neamchumnan, M., Thawornnittayakul, A., & Danthanawat, N. (2021). Determination of appropriate proportional in-house flexible radiation shielding material using bismuth powder and natural-silicon rubber compounds. *Journal of Current Science and Technology*, 11(2), 277-286.
- 3) **Tochaikul, G.**, Moonkum, N., Sriwongta, S., Neamchumnan, M., Thawornnittayakul, A., & Danthanawat, N. (2021). Determination of appropriate proportional in-house flexible radiation shielding material using bismuth powder and natural-silicon rubber compounds. [Abstract]. *RSU International Research Conference* 769.
- 4) Danthanawat, N., Mongkolsuk, M., **Tochaikul, G.**, Sriwongta, S., Piyajaroenporn, A., Lithreungnam, C., & Moonkum, N. (2021). Study of epoxy shielding material with barium sulphate for development of radiation protection materials in low-dose

- diagnostic X-ray. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9. doi:10.1080/10420150.2021.1972113
- 5) **Tochaikul, G.**, Phattanasub, A., Khemkham, P., Saengthamthawee, K., Danthanavat, N., & Moonkum, N. (2022). Radioactive waste treatment technology: a review. *Kerntechnik*.
 - 6) **Tochaikul, G.**, Danthanavat, N., Pilapong, C., & Moonkum, N. (2022). Effect of low dose radiation from general X-ray to T-cell lymphocyte expression using an in vitro method. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9.
 - 7) Moonkum, N., Pilapong, C., Daowtak, K., & **Tochaikul, G.** (2022). Evaluation of silicone rubber shielding material composites enriched with BaSO₄ and Bi₂O₃ particles for radiation shielding properties. *Materials Research Innovations*, 1-8.
 - 8) Moonkum, N., Turathong, S., Pinitpatcharalert, A., Seechompoo, J., Suetong, C., Danthanavat, N., & **Tochaikul, G.** (2022). A phantom study: In vivo rectal dosimetry of high dose rate brachytherapy in cervical cancer. *Applied Radiation and Isotopes*, 110604.
 - 9) **Tochaikul, G.**, Phattanasub, A., Muanglay, C., Thongcommak, W., Majan, S., Doungkrat, L., & Moonkum, N. (2023). Fabrication of epoxy-resin-based bismuth-oxide powder radioactive container for Technetium-99m and Iodine-131 radiopharmaceuticals. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-14.
 - 10) Moonkum, N., Pilapong, C., Daowtak, K., & **Tochaikul, G.** (2023). Radiation Protection Device Composite of Epoxy Resin and Iodine Contrast Media for Low-Dose Radiation Protection in Diagnostic Radiology. *Polymers*, 15(2), 430.
 - 11) **Tochaikul, G.**, Pilapong, C., Daowtak, K., & Moonkum, N. (2023). Influence of radiation dose from repeated chest X-ray on cell morphology and proliferation in peripheral blood mononuclear cells an in vitro study. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9.
 - 12) Daowtak, K., Pilapong, C., **Tochaikul, G.**, & Moonkum, N. (2023). Effect of iodinated contrast media on peripheral blood mononuclear cells in terms of cell viability,

cell cycle and oxidative stress in an in vitro system. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 1-8.

- 13) **Tochaikul, G.**, Mongkolsuk, M., Kobutree, P., Kawwised, S., Pairodsantikul, P., Wongsas, P., & Moonkum, N. (2023). Properties of cement Portland composite prepared with Barium sulfate and Bismuth oxide for radiation shielding. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-19.
- 14) **Tochaikul, G.**, Mongkolsuk, M., Daowtak, K., Pilapong, C., & Moonkum, N. (2024). Determination of radiosensitivity from chest X-ray on human breast cancer cell line MDA-MB-231 in terms of cell morphology and cell proliferation. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-10.
- 15) Moonkum, N., Withayanuluck, T., Somarungsan, A., Sichai, N., Wongsiri, A., Chawkhaodin, W., & **Tochaikul, G.** (2024). Osteopenia and Osteoporosis Screening Detection: Calcaneal Quantitative Ultrasound with and without Calibration Factor Comparison to Gold Standard Dual X-ray Absorptiometry. *Journal of Clinical Densitometry*, 101470.
- 16) Moonkum, N., Mongkolsuk, M., Suwannaporn, K., & **Tochaikul, G.** (2025). The use of designed E-book to improve a concept understanding and practical skill on a mammography machine quality control among radiological technologist students. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 20, 002-002.
- 17) **Tochaikul, G.**, Yokesahachart, C., Daowtak, K., Pilapong, C., & Moonkum, N. (2024). Preparation and characterization of polylactic acid-based composite incorporating with BaSO₄ for low radiation dose shielding. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 1-12.
- 18) **Tochaikul, G.**, & Moonkum, N. (2024). Development of Sustainable X-ray Shielding Materials: An Innovative Approach Using Epoxy Composite with Crab Shell, Eggshell, and Bone Waste. *Radiation Physics and Chemistry*, 111871.

- 19) **Tochaikul, G.**, Daowtak, K., Pilapong, C., & Moonkum, N. (2024). In vitro investigation the effects of iodinated contrast media on endothelial cell viability, cell cycle, and apoptosis. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 1-8.
- 20) **Tochaikul, G.**, Tanadchangsang, N., Panaksri, A., & Moonkum, N. (2024). Innovative radiation shielding material with flexible lightweight and low cost from shrimp shells waste. *Radiation Physics and Chemistry*, 112162.
- 21) **Tochaikul, G.**, Withayanuluck, T., & Moonkum, N. (2024). Assessment of occupational dose during abdominal fluoroscopic-guided procedures in Thailand using nanoDot OSL dosimeters. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-17.

ผลงานที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการภายในประเทศ

-

ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการในต่างประเทศ

-

ผลงานวิจัยที่ได้รับรางวัล

-

บทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสาร

สาขาวิชาที่นักวิจัยเชี่ยวชาญ

- 1) Molecular imaging
- 2) Radiobiology
- 3) Radiation protection
- 4) Adult stem cells

