

การสร้างแบบจำลองเต้านมจากเจลลาตินเพื่อใช้ฝึกทักษะการตรวจเต้านม ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

ธัญวีร์ เพ็งแป้น* จันทกานต์ วงศ์สุวรรณ* พรสวรรค์ เรือนอิน* อศันย์ ประพันธ์*

บทคัดย่อ

บทนำ : การตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์มีบทบาทสำคัญในการตรวจรอยโรคบริเวณเต้านม และต้องอาศัยความชำนาญ อย่างไรก็ตามยังพบความไม่สะดวกในการฝึกทักษะทั้งบุคลากรทางการแพทย์และผู้รับบริการ ดังนั้นการนำแบบจำลองมาใช้ทดแทนตัวผู้ป่วยจริงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย : เพื่อพัฒนาแบบจำลองเต้านมสำหรับใช้ในการฝึกทักษะการตรวจเต้านมในการตรวจหารอยโรคด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

วิธีการวิจัย : สร้างแบบจำลองเต้านมที่มีเจลลาตินเป็นส่วนประกอบหลักจาก 1 ใน 5 สูตร ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ผ่านการทดสอบหาค่าโมดูลัสของยังใกล้เคียงเต้านมจริงมากที่สุด แล้วนำสูตรดังกล่าวมาสร้าง 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองที่ไม่มีพยาธิสภาพ แบบจำลองที่มีพยาธิสภาพแบบก้อน และแบบจำลองที่มีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำ เพื่อทดลองใช้และศึกษาผลการใช้แบบจำลองโดยการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการตรวจเต้านมก่อนและหลังการทดลอง และประเมินความพึงพอใจแบบจำลองและการใช้งานโดยนิสิตหญิง หลักสูตรรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 4 จำนวน 36 คน

ผลการวิจัย : ได้แบบจำลองเต้านมที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มและสามารถคงตัวในอุณหภูมิห้อง มีค่าโมดูลัสของยังใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อเต้านม สำหรับผลการประเมินทักษะก่อนและหลัง พบว่าหลังการฝึกทักษะมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นก่อนฝึกทักษะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความพึงพอใจต่อแบบจำลองและการใช้งานโดยรวมอยู่ระดับมาก

สรุปผล : แบบจำลองเต้านมสามารถนำไปใช้เพื่อฝึกทักษะและเรียนรู้ในการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ได้

คำสำคัญ : แบบจำลองเต้านม การตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ เจลาติน

*ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : อศันย์ ประพันธ์, E-mail: ausanaip@nu.ac.th

Received: May 28, 2021

Revised: March 24, 2022

Accepted: April 21, 2022

Construction of gelatin-based breast model for practicing in breast ultrasound

Thanyawee Pengpan* Janthakan Wongsuwan* Ponsawan Ruan-in* Ausanai Prapan*

Abstract

Background: Breast ultrasound plays a vital role in detecting breast lesions. However, breast ultrasound requires the expertise and great skills of medical personnel. However, training medical personnel on live patients is still impractical. Therefore, simulation-based training on a phantom is necessary.

Objectives: To develop a breast model for lesion detection for the use in ultrasound breast training.

Methods: Firstly, the samples of gelatin-based model were constructed in five samples in different concentrations of gelatin, and then a sample that was closest to the elastic modulus of breast tissue was selected to make a model. Three breast models were made including a non-pathologic model, a pathologic model with a paraffin wax mass, and a fluid cyst model. After that, 36 female 4th-year radiologic technology students were asked to rate their skills before and after training and their satisfaction.

Results: The result showed that the breast models were successfully made of gelatin, which represents a soft and elastic texture, stable at room temperature, and nearly matched the elastic modulus of breast tissue. The evaluation of our breast model showed that it was a good training model, resulting in a significant increase in exercise skill after using our breast model ($p < .05$). Moreover, overall breast model appearance and pilot tests showed a good level of satisfaction.

Conclusions: Our gelatin-based breast models can be used as a training tool for practicing breast ultrasound examinations.

Keywords: breast model, breast ultrasound examination, gelatin

*Department of Radiological Technology, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University

Corresponding Author: Ausanai Prapan, E-mail: ausanaip@nu.ac.th

บทนำ

โรคมะเร็งเต้านมเป็นโรคที่พบบมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งในผู้หญิงไทย ตามข้อมูลของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ พ.ศ. 2562¹ โดยส่วนใหญ่โรคมะเร็งเต้านมจะไม่แสดงอาการหรือความผิดปกติในระยะแรก ดังนั้นเพื่อเพิ่มโอกาสในการรักษาและการป้องกันที่ดีที่สุด ควรหมั่นสังเกตความผิดปกติด้วยตัวเองและทำการตรวจคัดกรองเต้านมอย่างสม่ำเสมอ โดยทั่วไปการตรวจคัดกรองมะเร็งเต้านมมีวิธีการตรวจดังนี้ การตรวจเต้านมด้วยตนเอง (Breast self-examination) การตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Breast ultrasound) และการตรวจเต้านมด้วยเครื่องแมมโมแกรม (Mammogram)²⁻³ เป็นต้น

ในปัจจุบันการตรวจเต้านมด้วยเครื่องแมมโมแกรมและเครื่องอัลตราซาวด์ ถือเป็นวิธีการและเทคนิคที่ทำให้การวินิจฉัยโรคมะเร็งเต้านมมีความแม่นยำสูง แต่อย่างไรก็ตามการตรวจเต้านมด้วยเครื่องแมมโมแกรมนั้น พบว่าผู้ป่วยได้รับรังสี อีกทั้งได้รับความเจ็บปวดเนื่องจากการใช้แรงกดบริเวณเต้านมจากแผ่นกดทับบริเวณเต้านมของเครื่องแมมโมแกรม ดังนั้นการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์จึงเป็นวิธีการตรวจคัดกรองบริเวณเต้านมที่ใช้ทดแทนได้ เพราะเนื่องจากไม่มีอันตรายจากรังสี อีกทั้งสามารถระบุลักษณะสิ่งผิดปกติแบบถ่วงน้ำหนักหรือก้อนเนื้อได้ นอกจากนี้การเตรียมตัวและวิธีการตรวจไม่ยุ่งยาก สามารถเห็นภาพได้ในขณะตรวจ⁴

อย่างไรก็ตามการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ อาจมีข้อจำกัดในด้านของคุณภาพของภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น คลื่นเสียงอาจจะไม่สามารถทะลุผ่านร่างกายได้ในระดับที่ลึก และความแม่นยำและความถูกต้องของการตรวจด้วยอัลตราซาวด์

นั้นยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของผู้ใช้เครื่องอัลตราซาวด์เอง ดังนั้นบุคลากร เช่น แพทย์ นักรังสีเทคนิค หรือผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องเรียนรู้และฝึกทักษะในการตรวจเพื่อตรวจพบความผิดปกติ ควรรู้เทคนิคต่างๆ ในการปรับและการวางหัวตรวจจนเกิดความชำนาญอีกด้วย นอกจากนี้การฝึกตรวจเต้านมด้วยการใช้เครื่องอัลตราซาวด์นั้น หากกระทำในผู้ป่วยจริงอาจจะทำให้เกิดความอึดอัด ไม่สะดวกสบายทั้งตัวผู้ป่วยและผู้ทำการตรวจเอง ดังนั้นการนำแบบจำลองเต้านมมาใช้แทนตัวผู้ป่วยนั้นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ปัจจุบันแบบจำลองเต้านมที่มีขายตามท้องตลาดนั้น มีราคาสูง อีกทั้งแบบจำลองเต้านมอาจมีน้ำหนักค่อนข้างมากและเคลื่อนย้ายลำบาก เช่น แบบจำลองเต้านมที่ผลิตจากยางพารา ดังนั้นการหาวัสดุที่หาได้โดยทั่วไป ราคาไม่แพง และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อเต้านมจริงของมนุษย์มาทดแทนนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและท้าทาย และจากการศึกษาหาข้อมูลของคณะผู้วิจัยได้พบว่า เจลาตินคือวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง และยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตแบบจำลองเต้านมได้ โดยในปี ค.ศ. 2015 Richardson, et al.⁵ ได้สร้างโมเดลที่ทำมาจากเจลาตินขึ้นมา เพื่อใช้ในการสอนและฝึกปฏิบัติสำหรับการเจาะด้วยเข็มขนาดเล็กดูดเซลล์มาตรวจ (Fine needle aspiration) บริเวณคอและศีรษะ และผลพบว่า โมเดลที่สร้างขึ้นนั้นสามารถใช้งานและแสดงถึงกายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์ได้ ในปี ค.ศ. 2017 Jheng, et al.⁶ ได้ทำการศึกษานำร่องโดยสร้างแบบจำลองเต้านมเสมือนเนื้อเยื่อเต้านมจากเจลาตินและพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane; PDMS) สำหรับในการตัดชิ้นเนื้อเพื่อส่งตรวจ (Needle biopsy

cutting) ซึ่งพบว่าแบบจำลองเต้านมจากวัสดุทั้งสองสามารถนำมาใช้ได้ ในปี ค.ศ 1978 และ 1982 Madsen, et al.⁷⁻⁸ สร้างแบบจำลองเต้านมสำหรับใช้งานทางอัลตราซาวด์ได้สำเร็จโดยใช้เจลลาตินเป็นส่วนประกอบหลัก และในปี ค.ศ. 2019 Simona Di Meo, et al.⁹ ได้ทำการสร้างแบบจำลองเต้านมที่มีส่วนผสมจากเจลลาติน ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบเต้านมได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลองดังกล่าวมีต้นทุนราคาต่ำ ไม่เป็นพิษ และง่ายต่อการผลิต อีกทั้งยังสามารถใช้ในการทดสอบเนื้อเยื่อเต้านมโดยวิธีการการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟได้อีกด้วย มากกว่านั้น ในปี ค.ศ. 2020 Si Yen Ng, et al.¹⁰ ได้พัฒนาและสร้างแบบจำลองเต้านมที่ทำจากเจลลาตินเพื่อใช้ในการฝึกทักษะในการตัดชิ้นเนื้อ ผลพบว่าแบบจำลองเต้านมดังกล่าวสามารถทำได้ง่ายและราคาไม่แพง และยังช่วยเสริมทักษะและความมั่นใจให้กับแพทย์ประจำบ้านได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างและตรวจสอบแบบจำลองเต้านมที่ทำจากเจลลาติน
2. เพื่อทดลองใช้และศึกษาผลการใช้แบบจำลองเต้านม โดยการเปรียบเทียบทักษะในการตรวจหารอยโรคด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ก่อนและหลัง
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองเต้านม

กรอบแนวคิดการวิจัย

สำหรับการศึกษานี้ ขั้นตอนแรกทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูล ทฤษฎี บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องในการสร้างแบบจำลองเต้านมเพื่อใช้งานในการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ จากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองเต้านมโดยใช้

เจลลาตินเป็นส่วนประกอบหลัก ทำการออกแบบการทดลอง ทดลองสูตร ทดสอบสภาพความยืดหยุ่นโดยหาค่าโมดูลัสของยังของแบบจำลองเต้านม เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อเต้านมของมนุษย์มากที่สุด และตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นแบบจำลองเต้านม สำหรับขั้นตอนต่อไปทำการประเมินทักษะก่อนและหลังการตรวจเต้านมเพื่อตรวจพบรอยโรคด้วยเครื่องอัลตราซาวด์จากแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น และสุดท้ายจะทำการประเมินความพึงพอใจในด้านรูปแบบและการใช้งานแบบจำลองเต้านมสำหรับใช้ในการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยพัฒนาแบบจำลองเต้านมจากงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์มาก่อนหน้านี้⁶⁻⁷ และได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (COA No. 255/2020) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างและตรวจสอบแบบจำลองเต้านม

1.1 ออกแบบหุ่นจำลองเต้านมและกำหนดสัดส่วนเจลลาตินสำหรับใช้ทำแบบจำลองเต้านม

แบบจำลองเต้านมในงานวิจัยนี้มีการกำหนดขนาด ตามขนาดของแบบจำลองเต้านมที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป คือ สูง 6 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร¹¹ จากนั้นจะทำการขึ้นรูปแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองเต้านมนั้น ทำจากเจลลาตินผสมด้วยน้ำตาลทราย น้ำ และสารกันเสีย โดยมีร้อยละความเข้มข้นของเจลลาตินที่แตกต่างกัน 5 สูตร ดังนี้ ร้อยละ 9.50, 14.00, 19.00, 24.00 และ 29.00 โดย

น้ำหนักของเจลลาติน เมื่อขึ้นรูปในแต่ละสูตร เรียบร้อย จากนั้นทำการสังเกตการแข็งตัวและความคงตัวของแบบจำลองเต้านมด้วยตาเปล่า และการคลำ

1.2 ทดสอบค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus)

ทำการวัดค่าโมดูลัสของยังโดยการสร้างชิ้นงาน (Sample) ตามแบบจำลองเต้านมทั้ง 5 สูตร สำหรับใช้ในการทดสอบ เพื่อให้ได้สูตรของแบบจำลองเต้านมที่มีค่าโมดูลัสของยังใกล้เคียงเนื้อเยื่อเต้านมจริงของมนุษย์มากที่สุด โดยจะสร้างชิ้นงานมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร และ สูง 1.25 เซนติเมตร¹² จำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 สูตร รวมชิ้นงานทั้งสิ้น 25 ชิ้น จากนั้นนำไปทดสอบค่าโมดูลัสของยังด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine รุ่น Instron Model 5965)

1.3 การสร้างแบบจำลองเต้านม

งานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองเต้านมทั้งหมด 3 แบบคือ แบบจำลองเต้านมแบบไม่มีพยาธิสภาพ แบบจำลองเต้านมแบบมีก้อนพยาธิสภาพโดยก้อนพยาธิสภาพทำมาจากชีผึ้งพาราฟิน และหุ่นจำลองเต้านมแบบมีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำโดยถุงน้ำทำมาจากถุงมือยางที่ใส่ด้วยน้ำเปล่า¹³ ซึ่งแบบจำลองเต้านมจะมีขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

1. เทเจลลาติน (แม็กกาแรต บริษัทเจอาร์ เอฟ แอนด์ บี จำกัด) และน้ำตาล (น้ำตาลทรายขาวตราลิน บริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาลบ้านไร่ จำกัด) ในอัตราส่วนที่กำหนดลงภาชนะที่เตรียมไว้ เติมน้ำและคนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มด้วยไฟอ่อนจนส่วนผสมละลายเข้ากันทั้งหมด

2. พักส่วนผสมไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอให้อุณหภูมิของส่วนผสมลดลงน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่สารกันเสีย (Phenoxyethanol)

3. เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร และสูง 6 เซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 1 - 4 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 7 ชั่วโมง

4. แกะเจลลาตินออกจากแม่พิมพ์ และพักไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1.5 ชั่วโมง

5. เคลือบน้ำยาพารา (ยางขาว น้ำยาพาราทำกบยาง ตราลุงขุน) บนผิวของแบบจำลองเต้านมให้ทั่ว และพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนน้ำยาพาราแห้งสนิท

สำหรับแบบจำลองเต้านมแบบมีก้อนพยาธิสภาพ ทำมาจากชีผึ้งพาราฟินโดยให้ความร้อนและปั้นขึ้นรูปเป็นทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และสำหรับแบบจำลองเต้านมแบบมีพยาธิสภาพเป็นถุงน้ำ ทำการใส่น้ำเปล่าลงในถุงมือยางใช้ยางรัดถุงมือ ขึ้นรูปเป็นทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จากนั้นนำพยาธิสภาพที่ทำขึ้นนำมาติดกับตัวยึดที่สร้างขึ้น แล้วนำไปวางบนแม่พิมพ์ โดยให้จมลงจากขอบบนของส่วนผสมประมาณ 2 เซนติเมตร

1.4 การตรวจสอบคุณภาพแบบจำลอง

ทำการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น โดยการนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นอย่างเสร็จสมบูรณ์ ให้อาจารย์ภาควิชารังสีเทคนิคจำนวน 2 คนเป็นผู้ตรวจสอบและประเมินด้วยสายตาและการคลำ ลักษณะทางกายภาพ และนำไปทดสอบการใช้งานด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินทักษะก่อนและหลังการใช้แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นสำหรับการฝึกทักษะในด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

ทำการประเมินทักษะก่อนและหลังการใช้งานแบบจำลองเต้านม ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์เพื่อการตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น

2.1 ตัวอย่าง นิสิตหญิงรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2563 จำนวน 36 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาอัลตราซาวด์ และยังไม่มีความรู้และทักษะในการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน

1. แบบจำลองเต้านมที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ แบบจำลองเต้านมไม่มีพยาธิสภาพ แบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพแบบก้อน และแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำ

2. เครื่องอัลตราซาวด์ยี่ห้อ TOSHIBA รุ่น Justvision 200 ร่วมกับการใช้หัวตรวจแบบแถวความถี่ 8 MHz ของภาควิหารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับเครื่องอัลตราซาวด์ มีการควบคุมคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญเป็นประจำ

3. แบบประเมินทักษะก่อนและหลังในการตรวจอัลตราซาวด์เต้านมโดยใช้แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น เพื่อตรวจพบรอยโรคแบบก้อนพยาธิสภาพและรอยโรคแบบถุงน้ำด้วยการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ โดยให้คะแนน 0 สำหรับไม่สามารถตรวจพบรอยโรคได้ คะแนน 1 หมายถึง สามารถพบรอยโรค แต่ภาพอัลตราซาวด์ของรอยโรคไม่ชัดเจนและมีขนาดไม่ใกล้เคียงกับรอยโรคจริง และคะแนน 2 สำหรับสามารถตรวจพบรอยโรคและภาพอัลตราซาวด์ของรอย

โรคชัดเจนและมีขนาดใกล้เคียงกับรอยโรคจริง สำหรับการแปลผลโดยคะแนนของผู้ประเมินจะหาค่าเฉลี่ย โดยมีเกณฑ์ระดับทักษะ¹⁴ ดังนี้ 1.5 - 2.00 หมายถึง มีทักษะระดับมาก 1.00 - 1.49 หมายถึง มีทักษะระดับปานกลาง และ 0 - 0.99 หมายถึง มีทักษะระดับน้อย

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับรูปแบบและการใช้งานของแบบจำลองเต้านม

ภายหลังการทดลองใช้แบบจำลองเต้านม คณะผู้วิจัยได้นำแบบจำลองไปทำการประเมินความพึงพอใจในด้านรูปแบบของแบบจำลองเต้านม และการใช้งานแบบจำลองเต้านม ตามแบบประเมินที่จัดเตรียมไว้

3.1 ตัวอย่าง นิสิตหญิงรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2563 จำนวน 36 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาอัลตราซาวด์ และยังไม่มีความรู้และทักษะในการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในรูปแบบและการใช้งานแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น โดยทำการประเมินความพึงพอใจด้วยแบบประเมินที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามมาตรวัดของลิเคิร์ต (Likert Rating Scale) ซึ่งมีเกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง พอใช้ และต้องปรับปรุง¹⁵

ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม

การวิจัยนี้ได้รับเอกสารรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของมหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ IRB.NO. P10076/63 เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ.2563

วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษครั้งนี้ผู้วิจัยเก็บข้อมูลด้วยตนเองโดยมีผู้ช่วยวิจัย 3 คน คือ อาจารย์ภาควิชารังสีเทคนิคและนิสิตรังสีเทคนิค โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่การสร้างแบบจำลองเต้านมรวมถึงการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น สำหรับการประเมินทักษะนั้น ผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัยจะดำเนินการตามแนวทางการเก็บข้อมูลตามแบบประเมินทักษะการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์เพื่อตรวจหารอยโรคแบบก้อนพยาธิสภาพและถุงน้ำ นอกจากนี้ยังประเมินความพึงพอใจในรูปแบบของแบบจำลองเต้านมจำนวน 5 ข้อและการใช้งานแบบจำลองเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ จำนวน 6 ข้อ จากนั้นเมื่อรวบรวมข้อมูลครบถ้วนแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ผลการประเมินความพึงพอใจสำหรับรูปแบบและการใช้งานแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ โดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. วิเคราะห์ผลคะแนนจากการประเมินทักษะของผู้ประเมินต่อการใช้แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นเพื่อฝึกทักษะในการตรวจพบ

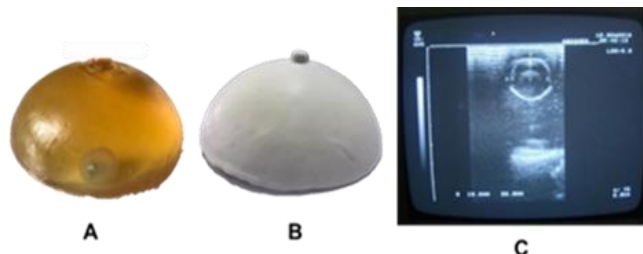
รอยโรค โดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 กลุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยใช้สถิติ Pair-T-test

ผลการวิจัย

1. การสร้างและตรวจสอบแบบจำลองเต้านม

คณะผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองเต้านมที่ทำจากเจลาคินได้สำเร็จ และแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นนั้นสามารถสร้างได้ง่าย และมีรูปร่างลักษณะคล้ายเต้านมตามที่ต้องการดังแสดงในภาพที่ 1

สำหรับการทดลองเกี่ยวกับการทำสูตรเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเจลาคินในความเข้มข้นแตกต่างกันนั้น พบว่า สูตรที่ 2 (มีเจลาคินร้อยละ 14.00 โดยน้ำหนัก) มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างแบบจำลองเต้านมเนื่องจากเมื่อทำการขึ้นรูปแล้ว เนื้อสัมผัสมีความอ่อนนุ่ม สามารถคงรูปร่างที่อุณหภูมิห้องได้ นอกจากนี้ยังมีค่าโมดูลัสของยังที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเต้านมได้ เมื่อเทียบกับค่าโมดูลัสของยังของแบบจำลองเต้านมที่ทำจากเจลาคินในสูตรอื่นที่มีความเข้มข้นของเจลาคินมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้น (A) แบบจำลองเต้านมแบบมีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำ และยังไม่ได้คลุมด้วยยางพารา (B) แบบจำลองเต้านมที่เสร็จสมบูรณ์ (C) ภาพถ่ายอัลตราซาวด์ของแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำ

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะที่พบหลังจากการสร้างแบบจำลองเต้านม และค่าโมดูลัสของยังของแบบจำลองเต้านมในความเข้มข้นของเจลลาตินที่แตกต่างกัน

สูตร	เจลาติน (%w/w)	ลักษณะที่พบ (ที่อุณหภูมิห้อง)	Young's modulus
			(4 % preload compression) (KPa)
1	9.50	เนื้อสัมผัสค่อนข้างเหลว ไม่สามารถคงรูปร่างได้	54.90 ± 4.40
2	14	เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สามารถคงรูปร่างได้ดี	107.40 ± 3.40
3	19	เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สามารถคงรูปร่างได้ดี	160.60 ± 15.60
4	24	เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง สามารถคงรูปร่างได้ดี	180.50 ± 13.90
5	29	เนื้อสัมผัสแข็งมาก ไม่เหมือนเต้านมจริง	289.30 ± 15.20

สำหรับการตรวจสอบแบบจำลองเต้านมที่เสร็จสมบูรณ์นั้น พบว่าจากการตรวจสอบด้วยสายตาและการคลำ คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีเนื้อสัมผัสนุ่ม และสามารถคงตัวในอุณหภูมิห้องได้ และเมื่อนำไปทดลองใช้งานด้วยเครื่องอัลตราซาวด์พบว่า สามารถใช้งานได้ดีและสามารถเห็นพยาธิสภาพได้

2. ผลการประเมินทักษะก่อนและหลังการใช้แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นสำหรับตรวจพบรอยโรคด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

นำแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นทั้งสามแบบ ไปทดลองใช้งานกับเครื่องอัลตราซาวด์เพื่อประเมินทักษะก่อนและหลังในการตรวจพบรอยโรคแบบก้อนพยาธิสภาพและรอยโรคแบบถุงน้ำ สรุปผลได้จากตารางที่ 2 ดังนี้

เมื่อทำการทดสอบโดยการตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพแบบก้อนด้วยการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ พบว่าได้ค่าเฉลี่ย 1.19 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และ

หลังจากการฝึกทักษะได้ค่าเฉลี่ย 1.92 อยู่ในระดับมาก และคะแนนค่าเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อทำการทดสอบโดยการตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพแบบถุงน้ำด้วยการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ พบว่าได้ค่าเฉลี่ย 1.36 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และหลังจากการฝึกทักษะได้ค่าเฉลี่ย 1.92 อยู่ในระดับมาก โดยคะแนนค่าเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อทำการทดสอบการใช้หัวตรวจเครื่องอัลตราซาวด์ เพื่อตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพและไม่มีพยาธิสภาพนั้น พบว่าก่อนการฝึกทักษะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.31 อยู่ในระดับปานกลาง และเมื่อทำการทดสอบหลังฝึกทักษะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 อยู่ในระดับมาก โดยคะแนนค่าเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนทักษะและระดับทักษะก่อนและหลังการฝึกตรวจแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นด้วยการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ของนิสิตหญิงรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 3 (n=36)

รายละเอียดการประเมิน	M	SD	ระดับทักษะ	P
1. ทักษะในการตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีก้อนพยาธิสภาพโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์				
ก่อนฝึกทักษะ	1.19	0.71	ปานกลาง	P<.05
หลังฝึกทักษะ	1.92	0.28	มาก	
2. ทักษะในการตรวจพบรอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีถุงน้ำโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์				
ก่อนฝึกทักษะ	1.36	0.68	ปานกลาง	P<.05
หลังฝึกทักษะ	1.92	0.28	มาก	
3. ทักษะในการใช้หัวตรวจเครื่องอัลตราซาวด์ เพื่อตรวจหารอยโรคในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพและไม่มีพยาธิสภาพ				
ก่อนฝึกทักษะ	1.31	0.71	ปานกลาง	P<.05
หลังฝึกทักษะ	1.86	0.35	มาก	

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยการฝึกทักษะหลังการใช้สำหรับการตรวจพบรอยโรคด้วยเครื่องอัลตราซาวด์สูงขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงสรุปได้ว่า แบบจำลองเต้านมที่ผลิตขึ้นมานั้น สามารถนำไปใช้ในการฝึกทักษะการตรวจเต้านมได้

3. ผลการประเมินความพึงพอใจสำหรับรูปแบบและการใช้งานแบบจำลองเต้านม

แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นมามีรูปแบบคล้ายกับเต้านมจริง มีความคงรูป ไม่แตกหัก

หรือเสียหายง่าย โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในด้านรูปแบบของแบบจำลองเต้านมเท่ากับ 4.44 ± 0.65 ซึ่งอยู่ในระดับมาก นอกจากนี้แบบจำลองเต้านมสามารถนำไปใช้ในการถ่ายภาพด้วยเครื่องตรวจอัลตราซาวด์ได้ และในกรณีที่นำแบบจำลองเต้านมมีพยาธิสภาพ มาทำการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์พบว่า สามารถตรวจพบรอยโรคได้ และมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อแบบจำลองเต้านมในด้านการใช้งานแบบจำลองเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์เท่ากับ 4.64 ± 0.53 ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบและด้านการใช้งานแบบจำลองเต้านมที่สร้างด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ของนิสิตหญิงรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 3 (n=36)

รายละเอียดการประเมิน	M±SD	ความพึงพอใจ
รูปแบบของแบบจำลองเต้านม		
1. รูปร่างลักษณะเหมือนเต้านมจริง	4.33±0.59	มาก
2. มีความยืดหยุ่น เนื้อสัมผัสเหมือนเต้านมจริง	3.86±0.76	มาก
3. ความเหมาะสมของขนาดแบบจำลองเต้านม	4.47±0.56	มาก

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบและด้านการใช้งานแบบจำลองเต้านมที่สร้างด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ของนิสิตหญิงรังสีเทคนิคชั้นปีที่ 3 (n=36) (ต่อ)

รายละเอียดการประเมิน	M±SD	ความพึงพอใจ
4. ความคงรูปร่างของแบบจำลองเต้านม	4.75±0.44	มากที่สุด
5. แบบจำลองเต้านมมีความแข็งแรงไม่แตกง่ายสามารถทนต่อแรงกดในได้ดี	4.81±0.40	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	4.44±0.65	มาก
การใช้งานแบบจำลองเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์		
1. สามารถแยกแยะได้วาร์รอยโรคที่เห็นในภาพอัลตราซาวด์มีลักษณะเป็นก้อนในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพ	4.42±0.60	มาก
2. สามารถแยกแยะได้วาร์รอยโรคที่เห็นในภาพอัลตราซาวด์มีลักษณะเป็นถุงน้ำในแบบจำลองเต้านมที่มีพยาธิสภาพ	4.69±0.52	มากที่สุด
3. เห็นพยาธิสภาพในแบบจำลองเต้านมได้ชัดเจน	4.58±0.60	มากที่สุด
4. แบบจำลองเต้านมมีความคงสภาพเดิมภายหลังการใช้งาน	4.81±0.40	มากที่สุด
5. ดูแลรักษาหลังใช้งานไม่ยุ่งยาก	4.78±0.42	มากที่สุด
6. แบบจำลองเต้านมมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ฝึกตรวจอัลตราซาวด์บริเวณเต้านม	4.58±0.50	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	64.4±0.53	มากที่สุด

อภิปรายผล

จากการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยเลือกใช้เจลลาตินเป็นวัสดุหลักในการสร้างแบบจำลองเต้านม เนื่องจากเจลลาตินเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายปลอดภัย เมื่อนำมาทำแบบจำลองมีเนื้อสัมผัสและความยืดหยุ่นใกล้เคียงเต้านมจริงของมนุษย์ สามารถคงสภาพอยู่ได้เมื่อแข็งตัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่มีการเลือกใช้เจลลาตินเป็นส่วนประกอบสำหรับทำเป็นเนื้อเยื่อเสมือนเต้านม (Tissue mimicking breast phantom)^{9-10,16} นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังใช้สารกันเสียร่วมด้วย เพื่อให้แบบจำลองเต้านมสามารถอยู่ได้นาน และไม่ทำให้เกิดเชื้อราขึ้น อย่างไรก็ตามในเรื่องของระยะเวลาการใช้งานและความคงที่ (Stability) ยังคงต้องมีการศึกษาต่อไป

สำหรับการทดสอบหาค่าโมดูลัสของยังพบว่าสูตรที่ 1 นั้นมีค่าโมดูลัสของยังค่าใกล้เคียงมากที่สุดกับเนื้อเยื่อที่สร้างนํ้านมปกติ (Normal

Glandular Tissue, 28-35 KPa) และเนื้อเยื่อไขมัน (Normal fat tissue, 18-22 KPa)¹⁶⁻¹⁷ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำส่วนผสมสูตรที่ 1 มาทำการขึ้นรูปพบว่าเนื้อสัมผัสเหลวและไม่สามารถคงรูปร่างได้ในอุณหภูมิห้อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้สูตรที่ 2 ในการสร้างแบบจำลองเต้านมแทน

นอกจากนี้การทดสอบหาวัสดุเพื่อนำมาแทนเนื้อเยื่อของแบบจำลองเต้านมโดยการตรวจด้วยเครื่องอัลตราซาวด์นั้น ควรจะมีการทดสอบค่า Speed of sound, Attenuation coefficient และ Back scatter level^{7,18} เข้ามาประกอบด้วย แต่เนื่องจากการทดสอบนี้ค่อนข้างซับซ้อน และมีอุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจง จึงทำให้ขาดข้อมูลในส่วนนี้ไป แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การสร้างแบบจำลองเต้านมเพื่อใช้ในงานทางการตรวจอัลตราซาวด์โดยใช้เจลลาตินเป็นองค์ประกอบหลัก ได้มีการทดสอบและแสดงผล

ให้ทราบแล้วและยังคงถูกนำใช้อ้างอิงในการผลิตแบบจำลองสำหรับงานทางอัลตราซาวด์ได้^{7,10}

สำหรับผลประเมินทักษะก่อนและหลังการใช้งานแบบจำลองเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์นั้น มีคะแนนค่าเฉลี่ยหลังการฝึกทักษะโดยรวมอยู่ระดับมาก ดังนั้นแบบจำลองเต้านมจึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อฝึกทักษะในการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถเป็นสื่อการสอนและช่วยเพิ่มพูนทักษะผู้เรียนเกี่ยวกับเทคนิคการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ได้

สำหรับการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นนั้น พบว่ามีคะแนนค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของรูปแบบอยู่ระดับมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการสังเกตและคำแนะนำจากผู้ประเมินยังพบปัญหาและข้อจำกัดที่ควรปรับปรุงและพัฒนาต่อไปเกี่ยวกับลักษณะสีของแบบจำลองเต้านมที่ไม่เหมือนจริง และควรปรับปรุงแบบให้มีความเหมือนเต้านม เป็นต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

แบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นมานี้สามารถนำไปใช้เพื่อฝึกทักษะและเรียนรู้ในการตรวจเต้านมด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ด้านการวิจัย ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำแบบจำลองเต้านมไปทดลองใช้ในส่วนงานอื่น เช่น โรงพยาบาล เป็นต้น เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิผลของแบบจำลองเต้านมอย่างต่อเนื่อง

2. ด้านการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์นั้น อาจนำแบบจำลองเต้านมที่สร้าง

ขึ้น ไปทำการวิจัยต่อยอดหรือนำไปใช้ในการฝึกตรวจเต้านมด้วยตัวเอง เพื่อใช้ในการคัดกรองมะเร็งเต้านมเบื้องต้นได้ เนื่องจากแบบจำลองเต้านมที่สร้างขึ้นมีลักษณะสัมผัสคล้ายเต้านมจริงและสามารถคล้ายพบก้อนพยาธิสภาพที่ใส่เข้าไปได้

References

1. Cancer register unit, Medical Digital division National Cancer Institute. Hospital-based cancer registry 2019. Bangkok: New Thammada Press; 2020. (in Thai).
2. Urairoekkun C. Breast cancer screening [Internet]. 2019 [cited 2020 Feb 11]; Available from: <http://doh.hpc.go.th/bs/topicDisplay.php?id=134>. (in Thai).
3. National Cancer Institute. Breast cancer screening (PDQ®) - health professional version [Internet]. 2018 [cited 2020 Feb 11]; Available from: <https://www.cancer.gov/types/breast/hp/>.
4. Thanyarak Breast Centre, Breast Foundation Under the Patronage of HRH The Princess Mother. Training manual of targeted breast ultrasound [Internet]. 2017 [cited 2020 Feb 11]; Available from: <http://doh.hpc.go.th/data/bse/targetUS.pdf>. (in Thai).
5. Richardson C, Bernard S, Dinh VA. A Cost-effective, gelatin-based phantom model for learning ultrasound-guided fine-needle aspiration procedures of the head and neck. J Ultrasound Med. 2015;34(8):1479–84. doi: 10.7863/ultra.34.8.1479.
6. Jheng Y, Lin C. "Fabrication and testing of

- breast tissue-mimicking phantom for needle biopsy cutting: A pilot study." Proceedings of the 2017 Design of Medical Devices Conference. 2017 Design of Medical Devices Conference. 10–13 April 2017; Minneapolis, Minnesota, USA. doi: 10.1115/DMD2017-3505.
7. Madsen EL, Zagzebski JA, Banjavie RA, Jutila RE. Tissue mimicking materials for ultrasound phantoms. *Med Phys*. 1978;5 (5):391-4. doi:10.1118/1.594483.
8. Madsen EL, Zagzebski JA, Frank GR. Oil-in-gelatin dispersions for use as ultrasonically tissue-mimicking materials. *Ultrasound Med Biol*. 1982;8(3):277-87. doi: 10.1016/0301-5629(82)90034-5.
9. Di Meo S, Pasotti L, Iliopoulos I, Pasian M, Ettorre M, Zhadobov M, et al. Tissue-mimicking materials for breast phantoms up to 50 GHz. *Phys Med Biol*. 2019;64(5): 055006. doi: 10.1088/1361-6560/aafeeec.
10. Ng SY, Kuo YL, Lin CL. Low-cost and easily fabricated ultrasound-guided breast phantom for breast biopsy training. *Appl. Sci*. 2021;11(16):7728. doi: 10.3390/app11167728.
11. Erler-Zimmer GmbH & Co. KG Ultrasound-guided breast biopsy phantom (Set of one basic and one advanced breast) [Internet]. 2020 [cited 2020 Mar 10]; Available from: <https://www.erler-zimmer.de/shop/en/10157>.
12. Sawasdiraksa A. Materials development and design of heel cushion for reducing plantar heel pressure [Dissertation]. Songkhla. Prince of Songkla University; 2010. (in Thai).
13. Manickam K, Reddy MR, Seshadri S, Raghavan B. Development of a training phantom for compression breast elastography -comparison of various elastography systems and numerical simulations. *J Med Imaging (Bellingham)*. 2015;2(4):047002. doi: 10.1117/1.JMI.2.4.047002.
14. Sayorwan W, Phaekhunthot S, Chumworathayee P, Udompittayason J. Development of a 3D para rubber model for practicing massage skill of TTM students of Kanchanabhisek institute of Medical and Public Health Technology. *Journal of Nursing and Education*. 2017;10(3):71–82. (in Thai).
15. Srisa-ard B. Basic research. 9th ed. Bangkok: Suweeriyasan Publishing; 2013.
16. Krouskop TA, Wheeler TM, Kallel F, Garra BS, Hall T. Elastic moduli of breast and prostate tissues under compression. *Ultrason Imaging*. 1998;20(4):260–74. doi: 10.1177/016173469802000403.
17. Ramião NG, Martins PS, Rynkevicius R, Fernandes AA, Barroso M, Santos DC. Biomechanical properties of breast tissue, a state-of-the-art review. *Biomech Model Mechanobiol*. 2016;15(5):1307–23. doi: 10.1007/s10237-016-0763-8.
18. Culjat MO, Goldenberg D, Tewari P, Singh RS. A review of tissue substitutes for ultrasound imaging. *Ultrasound Med Biol*. 2010;36(6):861–73. doi: 10.1016/j.Ultrasmedbio.2010.02.012.