

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จำลองฝึกหัดการใช้เครื่องอัลตราซาวด์

**Design and Development of an Ultrasound Training Tool**

ณัฐพร อ่วมคำ (Nuttaporn Ouamkum)\* ดร.สุเมธ อ่ำชิต (Dr.Sumet Umchid)\*\*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ให้กับนักศึกษาแพทย์หรือแพทย์ผู้เริ่มใช้เครื่องอัลตราซาวด์ได้เข้าใจภาพอัลตราซาวด์ที่ใช้สำหรับการฝึกหัดแทงเข็มเข้าเส้นเลือด และยังสามารถแสดงภาพความแตกต่างของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำได้ด้วยวัสดุที่มีราคาข้อมเยาว์และหาได้ง่าย โดยทำการจำลองการไหลเวียนโลหิตของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำโดยการควบคุมปั๊มผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่รับการสั่งงานจากสวิทช์ ปั๊มทำการปั้มน้ำผ่านวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือดที่อยู่ภายในอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์จากเนื้อเจลาคินผ่านกลับไปสู่อุปกรณ์ปั๊มหมุนเวียนไปเรื่อยๆ จากนั้นนำภาพเสมือนเนื้อเยื่อและเส้นเลือดที่ได้จากอุปกรณ์จำลองฝึกหัดที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากอุปกรณ์จำลองมาตรฐาน พบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกันทั้งในแบบภาพอัลตราซาวด์ 2 มิติ และในฟังก์ชันคัลเลอร์ดอปเพลอร์และพัลส์เวฟดอปเพลอร์

**ABSTRACT**

The objective of this research was to design and develop an ultrasound training tool for interns or new physicians to understand the visibility of a needle during ultrasound guided interventions and to show the difference between the artery and vein on the ultrasound images. Both artery and vein in blood circulatory system were simulated. The microcontroller was used to control pump in order to circulate water in the simulated blood vessels inside the gelatin. The ultrasound images of the simulated tissue and vessels from the developed ultrasound training tool were compared with those from the standard ultrasound phantom. The results show that the ultrasound images of the simulated tissue and vessels from the developed ultrasound training tool are similar to those from the standard ultrasound phantom in 2D ultrasound and in the functions of color doppler and pulsed wave doppler.

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์ฝึกหัดการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์จากเจลาคิน

**Key Words:** Ultrasound training tool, Gelatin phantom

---

\* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**บทนำ**

ในปัจจุบันอัลตราซาวด์ทางการแพทย์มีการประยุกต์ให้มีความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้นทั้งในการวินิจฉัย และในการรักษาโรค (Palussiere et al., 2003; Wu et al., 2000; Bercoff et al., 2004; Lertsilp et al., 2011; Lertsilp et al., 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการตรวจวินิจฉัยโรค ตัวอย่างเช่น การตรวจช่องท้อง ทางเดินปัสสาวะ เต้านม ที่สำคัญ ทางสูติกรรมและนรีเวชกรรม ซึ่งเป็นการใช้อัลตราซาวด์ในการวินิจฉัยทารกในครรภ์ (สายฝน, ม.ป.ป.) เนื่องจากปลอดภัยกว่ารังสี ไม่เหมือนกับเอกซเรย์ และยังสามารถให้ภาพโครงสร้างสรีรวิทยาแบบเวลาเสมือนจริงได้

ถึงแม้ว่าอัลตราซาวด์จะสามารถตรวจวินิจฉัยได้หลากหลาย แต่ความถูกต้องแม่นยำก็มีความสำคัญมาก ซึ่งการตรวจวินิจฉัยอาจจะต้องทำมากกว่าหนึ่งครั้งเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประสิทธิภาพของการตรวจวินิจฉัยโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์นั้น นอกจากจะอาศัยศักยภาพของเครื่องอัลตราซาวด์แล้ว การฝึกฝนประสบการณ์และความชำนาญของแพทย์นั้น ยังถือว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะนักศึกษาแพทย์ ที่จำเป็นต้องมีความเข้าใจกายวิภาคและระบบการทำงานของร่างกาย เมื่อแสดงภาพผ่านเครื่องอัลตราซาวด์

การฝึกหัดของแพทย์โดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์กับผู้ป่วยจริงนั้นถือว่าเป็นเรื่องยาก ไม่ว่าจะเป็นการแทงเข็มเพื่อฉีดยาระงับปวด การสอดสายสวนเข้าในเส้นเลือดแดงหรือเส้นเลือดดำ ซึ่งวิธีการเหล่านี้ไม่สามารถที่จะฝึกหัดได้กับผู้ป่วยจริง อันเนื่องมาจากความเสี่ยงถึงแก่ชีวิตของผู้ป่วย และภาวะแทรกซ้อนของผู้ป่วย ซึ่งในต่างประเทศนั้น แพทย์จะทำการฝึกการใช้อัลตราซาวด์เฉพาะทางต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์จำลอง ซึ่งอุปกรณ์จำลองนั้นๆ มีราคาสูงมากกว่าแสนบาท (Ultrasound Phantom, n.d.) ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมาก ได้ทำการประดิษฐ์อุปกรณ์จำลองฝึกหัดการใช้อัลตราซาวด์ขึ้นหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น

อุปกรณ์จำลองที่ใช้สำหรับการฝึกหัดแทงเข็ม หรืออุปกรณ์จำลองที่สามารถแสดงลักษณะเส้นเลือด (Cheruparambath et al., 2012; Domenico et al., 2008) แต่งานวิจัยดังกล่าวข้างต้นไม่สามารถแสดงการทำงานของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำพร้อมกันได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ในราคาข่อมเยาที่ไม่เพียงแต่สามารถใช้แสดงลักษณะการทำงานของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำพร้อมกันในการแสดงภาพ 2 มิติ และในฟังก์ชันคัลเลอรัคอปเพลอร์ของเครื่องอัลตราซาวด์แล้ว ยังสามารถใช้สำหรับการฝึกหัดการแทงเข็มได้อีกด้วย โดยภาพเสมือนเนื้อเยื่อที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์เส้นเลือดมาตราบฐาน (IV and Arterial Line Vascular Access Ultrasound Model, n.d.) และยังสามารถแสดงลักษณะเส้นเลือดซึ่งชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำ (The Division of Critical Care at the Christian Medical College Hospital, 2009) ได้อีกด้วย

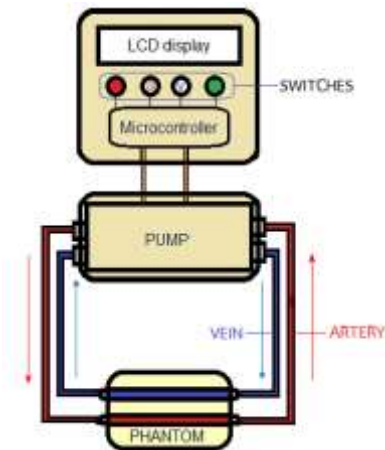
**วัตถุประสงค์การวิจัย**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ให้นักศึกษาแพทย์หรือแพทย์ผู้เริ่มใช้เครื่องอัลตราซาวด์ได้เข้าใจภาพอัลตราซาวด์ที่ใช้สำหรับการฝึกหัดแทงเข็ม และสามารถแสดงภาพความแตกต่างของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำได้ โดยใช้วัสดุที่มีราคาข่อมเยา หาได้ง่ายและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

**วิธีการวิจัย**

**การออกแบบอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์**  
ทำการจำลองเป็นระบบไหลเวียนโลหิต ซึ่งเป็นการจำลองการไหลของเลือดในเส้นเลือดแดง และเส้นเลือดดำโดยการควบคุมปั๊มผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่รับการสั่งงานจากสวิทช์หลัก (Main Switch) ปั๊มทำการปั้มน้ำผ่านวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือดแดง (Artery) และเส้นเลือดดำ (Vein) ที่

อยู่ภายในอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์จากเนื้อเยื่อเจลาคตินผ่านกลับไปสู่อุปกรณ์หมวนเวียนไปเรื่อยๆ ซึ่งสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภาพการจำลองระบบไหลเวียนโลหิต

### ส่วนประกอบของระบบจำลองการไหลเวียนโลหิต

1. อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ทำจากเจลาคติน (Gelatin Ultrasound Training Tool/Phantom) ซึ่งจะมีสาย 2 เส้น จำลองเป็นเส้นเลือด 2 เส้น คือ ท่อยาง (Rubber Tube) จำลองเป็นเส้นเลือดแดง และ ลูกโป่ง (Balloon) จำลองเป็นเส้นเลือดดำผ่านภายในเนื้อเยื่อเจลาคติน

2. สวิตช์เป็นตัวสั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน โดยจะมีสวิตช์หลัก 2 ตัว เพื่อเลือกระหว่างการทำงานของเส้นเลือดแดงกับเส้นเลือดดำ นอกจากนี้ยังมีสวิตช์ย่อยอีก 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับปรับตั้งค่าความถี่พัลส์ตั้งแต่ 0-1000 เฮิร์ตซ์

3. หน้าจอแสดงคำสั่ง (LCD display) แสดงคำสั่งหลังจากเลือกสวิตช์ คือ Artery และ Vein ซึ่งแสดงสถานะการทำงานเป็น 2 บรรทัด คือ Artery ON/OFF และ Vein ON/OFF

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการจำลองการไหลเวียนโลหิต จะทำงานโดยการควบคุมปั๊มให้ทำงานตามลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำ ซึ่งสามารถควบคุมให้ทำงานได้เฉพาะเส้น

เลือดแดงหรือเส้นเลือดดำ หรือทำงานพร้อมกันทั้งเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำ

5. ปั๊มควบคุมการไหลของน้ำ ทำการปัมน้ำจากการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สั่งให้ทำงานโดยสวิตช์ โดยปั๊มจะทำการปัมน้ำเป็นลักษณะของเส้นเลือดแดง คือ ปัมน้ำเป็นจังหวะ และทำการปัมน้ำเป็นลักษณะของเส้นเลือดดำ คือ ปัมน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยทิศทางการไหลของปั๊มทั้ง 2 ตัวนั้นจะไหลในทิศทางที่ตรงกันข้าม ตามลักษณะของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำในร่างกายมนุษย์

### การเตรียมและการทดสอบ

1. การเตรียมเจลาคติน เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสมือนเนื้อเยื่อสำหรับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนชนิดของเจลาคติน (เจลาคตินแผ่นและเจลาคตินผง) และอัตราส่วนของเจลาคติน เพื่อให้ได้เนื้อเยื่อที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ ทำการเตรียมส่วนผสมโดยตวงเจลาคตินต่อน้ำ (เจลาคติน:น้ำ) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการต้มน้ำให้ร้อน ค่อยๆ เทเจลาคตินที่ทำการตวงไว้ก่อนหน้าและใช้ช้อนเคี้ยวเจลาคตินให้ละลายจนหมดเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ประมาณ 10-15 นาที จากนั้นจึงเทเจลาคตินบรรจุใส่ในกล่องพลาสติก รอให้ความร้อนของเจลาคตินลดลงประมาณ 10-15 นาที จึงนำไปแช่ในตู้เย็นประมาณ 2 ชั่วโมง เจลาคตินจะจับตัวภายในกล่องพลาสติก โดยเมื่อเตรียมเจลาคตินแล้วจึงได้นำเจลาคตินที่ได้จากการผสมเจลาคตินทั้ง 2 ชนิด ในอัตราส่วนต่างๆ ไปทดสอบ โดยดูจากภาพที่ได้ผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ยี่ห้อ Mindray โดยทำการปรับตั้งค่าเครื่องอัลตราซาวด์ให้อยู่ในฟังก์ชันเดียวกันและพารามิเตอร์เดียวกัน

2. การเตรียมวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือด โดยทดลองเลือกใช้วัสดุ 4 ชนิด คือ ท่อพลาสติก (Plastic Tube) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 มม. หน้า 0.75 มม. ท่อยาง (Rubber Tube) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 มม. หน้า 1 มม. ท่อซิลิโคน (Silicone Tube) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มม.

หนา 1.25 มม. และลูกโป่ง (Balloon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 มม. หนา 0.5 มม. โดยเริ่มจากการเตรียมเจลลาตินเช่นเดียวกับการออกแบบอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ข้างต้น แต่กล่องพลาสติกที่ใช้ทำการบรรจุเจลลาติน จะทำการเจาะรู 2 ด้านเพื่อสอดวัสดุที่จะนำมาทดลองจำลองเป็นเส้นเลือดนั้นผ่าน จากนั้นจึงค่อยๆ เทเจลลาตินบรรจุในกล่องพลาสติก และทำการทดสอบวัสดุทั้ง 4 ชนิดด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ โดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ยี่ห้อ Mindray ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องอัลตราซาวด์ให้คงที่เหมือนกันในวัสดุทั้ง 4 ชนิด แล้วเปรียบเทียบภาพที่ได้จากเครื่องอัลตราซาวด์ ว่าวัสดุที่นำมาทำการจำลองนั้นชนิดใดมีลักษณะภาพที่ได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน

3. การทดสอบแทงเข็ม เมื่อทำการประดิษฐ์อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์จากเจลลาตินร่วมกับวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือดเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบการแทงเข็มผ่านเนื้อเยื่อเจลลาตินและเส้นเลือดจำลอง โดยแสดงภาพผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ แล้วทำการเปรียบเทียบผลจากภาพอัลตราซาวด์ระหว่างอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน

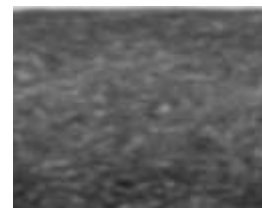
4. การทดสอบอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นร่วมกับระบบจำลองการไหลเวียนโลหิตผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ยี่ห้อ Mindray โดยปรับให้เครื่องอยู่ในฟังก์ชันเดียวกันและพารามิเตอร์เดียวกัน เพื่อทดสอบการแสดงคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันระหว่างเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำ แล้วจึงทำการเปรียบเทียบผลจากภาพอัลตราซาวด์ระหว่างอุปกรณ์จำลองที่ประดิษฐ์ขึ้นกับอุปกรณ์จำลองมาตรฐาน

### ผลการวิจัย

#### การทดสอบเจลลาติน

จากการทดสอบอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์จากเจลลาติน ที่เกิดจากการผสมเจลลาติน 2

ชนิด คือ เจลาตินแผ่นและเจลลาตินผง โดยดูจากภาพที่ได้ผ่านเครื่องอัลตราซาวด์นั้นค่อนข้างแตกต่างกันมาก โดยภาพเสมือนเนื้อเยื่อที่ได้จากเจลลาตินแผ่นจะมีลักษณะเป็นกลุ่ม ในขณะที่ภาพเสมือนเนื้อเยื่อที่ได้จากเจลลาตินผงนั้นมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลอง ฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน รุ่น PICC with IV and Arterial Line Vascular Access Ultrasound Trainer ยี่ห้อ Blue Phantom<sup>TM</sup> ดังรูปที่ 2



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 ภาพอัลตราซาวด์เปรียบเทียบ ระหว่าง (ก) อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน (ข) อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากการผสมเจลลาตินแผ่น และ (ค) อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากการผสมเจลลาตินผง

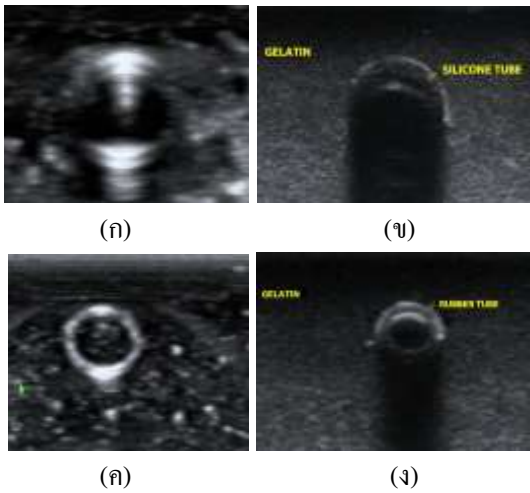
ในการทดสอบเจลลาตินผงอัตราส่วนต่างๆ กันนั้น ภาพเสมือนเนื้อเยื่อที่ได้ผ่านเครื่องอัลตราซาวด์นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ผิวสัมผัสภายนอก ความอ่อนนุ่มหรือความยืดหยุ่นนั้นมีความแตกต่างกันมาก นั่นคือ หากอัตราส่วนของน้ำมากจะทำให้เนื้อเจลลาตินมีความยืดหยุ่นน้อย กล่าวคือ เนื้อเจลลาตินสามารถแตก

ได้ง่าย เมื่อทำการทดสอบแทงเข็มหรือทำการกดหัวตรวจอัลตราซาวด์กับเนื้อเจลลาติน

ดังนั้นชนิดของเจลลาตินที่เหมาะสม คือ เจลลาตินผง และอัตราส่วนที่พอเหมาะนั้น คือ อัตราส่วนระหว่างเจลลาตินต่อน้ำเท่ากับ 1:5

**การทดสอบวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือด**

เมื่อทดสอบด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ พบว่า ภาพอัลตราซาวด์ที่ได้จากท่อพลาสติก จะเกิดเงาสะท้อนภายในท่อสูง ดังรูปที่ 3 (ก) ภาพอัลตราซาวด์ที่ได้จากท่อซิลิโคน มีลักษณะของเนื้อเยื่อของท่อซิลิโคนใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อของเจลลาติน ทำให้การแบ่งแยกความแตกต่างระหว่างวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือดกับเจลลาตินที่จำลองเป็นเนื้อเยื่อไม่ชัดเจน ดังรูปที่ 3 (ข) ภาพอัลตราซาวด์ที่ได้จากลูกโป่ง มีความแตกต่างกับเนื้อเจลลาตินชัดเจนและไม่มีเงาสะท้อนภายในลูกโป่ง ดังรูปที่ 3 (ค) และภาพอัลตราซาวด์ที่ได้จากท่อยาง มีความแตกต่างกับเนื้อเจลลาตินชัดเจนและไม่มีเงาสะท้อนภายในท่อ ดังรูปที่ 3 (ง)



**รูปที่ 3** ภาพอัลตราซาวด์ของวัสดุทั้ง 4 ชนิด คือ (ก) ท่อพลาสติก (ข) ท่อซิลิโคน (ค) ลูกโป่ง และ (ง) ท่อยาง เพื่อทดสอบว่าวัสดุชนิดใดเหมาะสมกับการนำมาจำลองเป็นเส้นเลือด

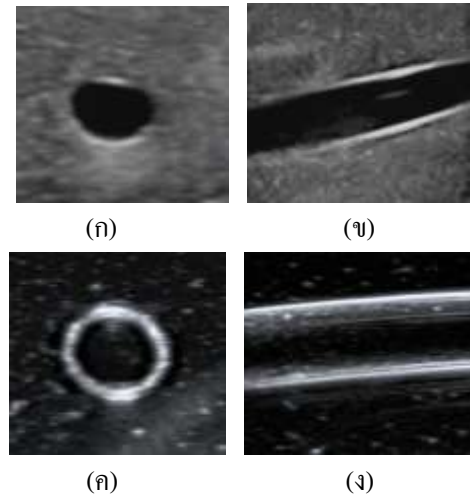
จากการทดสอบวัสดุที่เหมาะสมต่อการจำลองเป็นเส้นเลือดแดง คือ ท่อยาง และเส้นเลือดดำ คือ ลูกโป่ง นอกเหนือจากภาพอัลตราซาวด์ของวัสดุ 2

ชนิดนี้ที่มีขอบเขตที่มีความแตกต่างกับเนื้อเยื่อเจลลาตินชัดเจนและไม่มีเงาสะท้อนภายในท่อแล้ว ยังมีความใกล้เคียงกับลักษณะทางกายวิภาคของเส้นเลือดจริง คือ เส้นเลือดแดงจะมีผนังที่หนากว่าเส้นเลือดดำ ดังรูปที่ 4



**รูปที่ 4** ภาพอัลตราซาวด์แสดงความแตกต่างของเส้นเลือดในภาพเดียวกัน โดยขวามือแสดงภาพจำลองเส้นเลือดแดงที่มีผนังหนากว่าและซ้ายมือแสดงภาพจำลองเส้นเลือดดำ

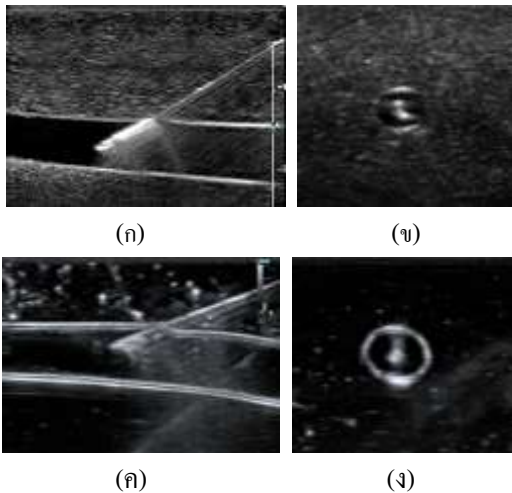
เมื่อนำอุปกรณ์จำลองฝีกัดอัลตราซาวด์จากเจลลาตินที่มีการจำลองเส้นเลือดมาทำการทดสอบโดยสแกนด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ พบว่า ภาพอัลตราซาวด์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน ทั้งภาพของเนื้อเยื่อและภาพของเส้นเลือด ดังรูปที่ 5



**รูปที่ 5** (ก) ภาพอัลตราซาวด์แนวตัดขวาง และ (ข) ภาพแนวยาวของเส้นเลือดจำลองของอุปกรณ์จำลองฝีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน และ (ค) ภาพอัลตราซาวด์แนวตัดขวางและ (ง) ภาพแนวยาวของเส้นเลือดของอุปกรณ์จำลองฝีกัด อัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

**การทดสอบการแทงเข็ม**

จากการทดสอบการแทงเข็มลงในเนื้อเยื่อเจลาติน เข็มสามารถผ่านเนื้อเยื่อเจลาตินได้อย่างดี ไม่มีการแตกตัวของเนื้อเยื่อเจลาติน และเข็มสามารถผ่านเข้าไปในทั้งเส้นเลือดแดงจำลอง คือ ท่อยาง และเส้นเลือดดำจำลอง คือ ลูกโป่ง ได้เป็นอย่างดีเช่นกัน จากภาพอัลตราซาวด์การแทงเข็ม ปรากฏว่า สามารถเห็นภาพแนวการเข้าของเข็มใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานทั้งแนวยาวและแนวตัดขวาง ดังรูปที่ 6



**รูปที่ 6** (ก) ภาพอัลตราซาวด์เปรียบเทียบแนวเข็มเมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานตามแนวยาว และ (ข) แนวตัดขวาง (ค) ภาพอัลตราซาวด์เปรียบเทียบแนวเข็มเมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นตามแนวยาว และ (ง) แนวตัดขวาง

**การทดสอบการจำลองระบบไหลเวียนโลหิต**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการจำลองการไหลเวียนโลหิต ซึ่งได้ออกแบบให้ควบคุมปั๊ม 2 ตัว คือ ปั๊มตัวที่ 1 ทำการจำลองเป็นเส้นเลือดแดง โดยทำการตั้งค่าให้ปั๊มทำงานเป็นจังหวะ เช่นเดียวกับการเต้นของชีพจร (Pulsatile) และปั๊มตัวที่ 2 ทำการจำลองเป็นเส้นเลือดดำ โดยจะทำการปัมน้ำให้ไหลต่อเนื่องไปเรื่อยๆ (Continuous) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้

ปั๊มทำการปัมน้ำผ่านสายยางผ่านเข้าไปในท่อยางและลูกโป่งซึ่งอยู่ภายในอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ ซึ่งทำจากเจลาตินที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก และผ่านออกอีกด้านหนึ่งของกล่องพลาสติกผ่านสายยางกลับ ไปสู่อุปกรณ์ปั๊ม เพื่อทำการปัมน้ำต่อไปแบบหมุนเวียน ดังรูปที่ 7

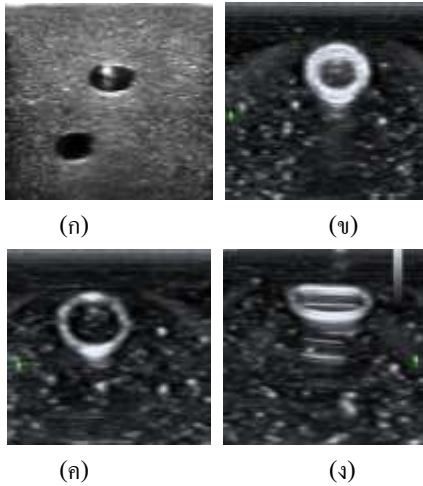


**รูปที่ 7** วงจรจำลองการไหลเวียนโลหิตร่วมกับปั๊ม

เมื่อทดสอบระบบจำลองการไหลเวียนโลหิตร่วมกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ โดยสามารถแสดงคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันระหว่างเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำ ซึ่งทดสอบโดยใช้ฟังก์ชันคัลเลอร์ดอปเพลอร์และพัลส์เวฟดอปเพลอร์ของเครื่องอัลตราซาวด์ พบว่า ท่อยางที่จำลองเป็นเส้นเลือดแดง สามารถแสดงเป็นจังหวะ (Pulse) ให้มีลักษณะเช่นเดียวกับการไหลของระบบเลือดแดงได้ และลูกโป่งที่จำลองเป็นเส้นเลือดดำ สามารถแสดงเป็นการไหลต่อเนื่อง ให้มีลักษณะเช่นเดียวกับการไหลของระบบเลือดดำได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานแล้วพบว่า มีลักษณะทั้งภาพ 2 มิติ (2D) คัลเลอร์ดอปเพลอร์ (Color Doppler) และพัลส์เวฟดอปเพลอร์ (Pulsed Wave Doppler) ที่ใกล้เคียงกันมาก

กล่าวคือ ในภาพ 2 มิติ สามารถแสดงลักษณะของเส้นเลือดได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน แต่อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถแสดงถึง

ลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดได้ชัดเจนกว่าอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน คือ สามารถแสดงความแตกต่างทางกายวิภาคของเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำได้ ภาพที่ได้จากเส้นเลือดแดงจะมีขอบที่มีความหนามากกว่าเส้นเลือดดำ และเมื่อออกแรงกด เส้นเลือดดำสามารถยุบได้ในขณะที่เส้นเลือดแดงไม่สามารถยุบได้ในภาพเดียวกัน ดังรูปที่ 8



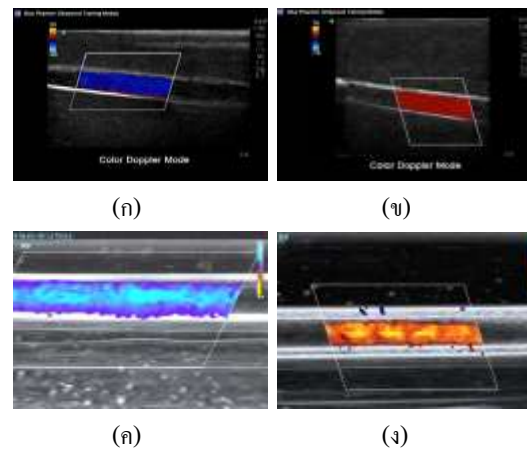
**รูปที่ 8** (ก) ภาพอัลตราซาวด์เนื้อเยื่อเจลาตินและเส้นเลือดตามแนวตัดขวางของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน (ข) ภาพอัลตราซาวด์อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งจำลองเป็นเส้นเลือดแดง (ค) ภาพอัลตราซาวด์อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งจำลองเป็นเส้นเลือดดำ และ (ง) ภาพเส้นเลือดดำจำลองที่เมื่อออกแรงกดสามารถยุบตัวได้

ในภาพของฟังก์ชันคลื่นเลอว์คอปเพลอร์สามารถแสดงทิศทางของสีได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน คือ สีแดงเป็นการแสดงทิศทางของน้ำที่มีทิศทางเข้าหาหัวตรวจอัลตราซาวด์ และสีน้ำเงินเป็นการแสดงทิศทางของน้ำที่มีทิศทางออกจากหัวตรวจ แต่อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถแสดงได้พร้อมกัน ทั้งทิศที่เข้าหาหัวตรวจอัลตราซาวด์และออกจากหัวตรวจอัลตราซาวด์ และยังสามารถแสดง

ลักษณะการไหลที่แตกต่างกันทั้ง 2 เส้นเลือดพร้อมกันได้ คือ เส้นเลือดแดงมีลักษณะเป็นจังหวะ และเส้นเลือดดำมีลักษณะเป็นการไหลต่อเนื่อง ดังรูปที่ 9 และเมื่อนำอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานด้วยฟังก์ชันคลื่นเลอว์คอปเพลอร์พบว่ามีความใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานมาก ดังรูปที่ 10

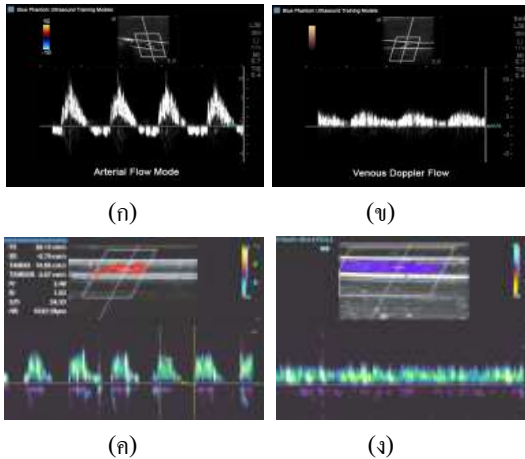


**รูปที่ 9** ภาพอัลตราซาวด์ของเส้นเลือดจำลองตามแนวตัดขวางแสดงความแตกต่างระหว่างเส้นเลือดแดง (ภาพทางด้านขวา) และเส้นเลือดดำ (ภาพทางด้านซ้าย) ในภาพเดียวกัน



**รูปที่ 10** (ก) ภาพอัลตราซาวด์ตามแนวยาวของเส้นเลือดของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานเมื่อแสดงเป็นลักษณะของเส้นเลือดดำ และ (ข) ลักษณะของเส้นเลือดแดงเปรียบเทียบกับ (ค) ภาพอัลตราซาวด์ตามแนวยาวของเส้นเลือดของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ที่ทำการประดิษฐ์ขึ้นเมื่อแสดงเป็นลักษณะของเส้นเลือดดำ และ (ง) ลักษณะของเส้นเลือดแดง โดยฟังก์ชันคลื่นเลอว์คอปเพลอร์

ในฟังก์ชันพัลส์เวฟคอปเพลอร์ สามารถแสดงความแตกต่างของกราฟได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน คือ สามารถแสดงกราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดแดง ซึ่งมีลักษณะเป็นจังหวะซึบจร และกราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดดำ ซึ่งมีลักษณะเป็นการไหลต่อเนื่องได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 (ก) ภาพอัลตราซาวด์แสดงกราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดแดง และ (ข) กราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดดำของอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐาน เปรียบเทียบกับ (ค) กราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดเส้นเลือดแดง และ (ง) กราฟลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดดำของอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์ที่ทำการประดิษฐ์ขึ้นโดยฟังก์ชันพัลส์เวฟคอปเพลอร์

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เมื่อทำการทดสอบอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยเครื่องอัลตราซาวด์แล้ว ในภาพ 2 มิติ สามารถแสดงภาพเสมือนเนื้อเยื่อของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำที่มีความแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน ซึ่งภาพเสมือนเนื้อเยื่อของหลอดเลือดแดงมีความใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานมากกว่าหลอดเลือดดำ และนอกจากจะได้ภาพเสมือนเนื้อเยื่อเมื่อแสดงผ่านเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานแล้ว เนื้อสัมผัสภายนอกยังมีความยืดหยุ่น

ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานอีกด้วย

การทดสอบการเลือกวัสดุที่นำมาจำลองเป็นเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำด้วยเครื่องอัลตราซาวด์พบว่า ภาพอัลตราซาวด์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับกายวิภาคของเส้นเลือด สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเส้นเลือดแดงจำลองและเส้นเลือดดำจำลองได้อย่างชัดเจน และวัสดุ 2 ชนิดนี้ยังสามารถหาได้ง่ายและมีราคาข้อมเยียวอีกด้วย

การทดสอบแทงเข็มผ่านเนื้อเยื่อหลอดเลือดไม่เกิดการแตกตัวของเนื้อเยื่อหลอดเลือด เข็มสามารถผ่านลงไปได้ดี ภาพอัลตราซาวด์สามารถแสดงแนวเข็มได้อย่างชัดเจนเมื่อเข็มผ่านเนื้อเยื่อหลอดเลือด จนกระทั่งเข็มผ่านเข้าไปในเส้นเลือดจำลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับภาพอัลตราซาวด์กับอุปกรณ์จำลองฟีกัดมาตรฐานแล้ว พบว่าอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น มีคุณภาพของภาพอัลตราซาวด์ที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานมากทั้งในแนวขวางและแนวตัดขวาง

การทดสอบในโหมด 2 มิติ พบว่า อุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถแสดงความแตกต่างของเส้นเลือดตามลักษณะเฉพาะได้อย่างชัดเจน คือ เส้นเลือดแดงมีผนังที่หนากว่าเส้นเลือดดำที่มีผนังบางกว่า และเส้นเลือดดำสามารถออกแรงกดให้ยุบตัวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานที่สามารถแสดงได้เพียงภาพเส้นเลือด แต่ไม่ได้แสดงความแตกต่างได้ว่าเส้นเลือดใดคือเส้นเลือดแดงหรือเส้นเลือดดำ

การทดสอบโดยฟังก์ชันคัลเลอร์คอปเพลอร์พบว่า อุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้น มีคุณภาพของภาพใกล้เคียงกับอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานมาก และยังสามารถทำได้มากกว่า คือ สามารถแสดงภาพจำลองทั้งเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำพร้อมกันได้ ในแนวตัดขวาง ซึ่งอุปกรณ์จำลองฟีกัดอัลตราซาวด์มาตรฐานสามารถ



ทำได้เพียงแสดงการจำลองเส้นเลือดดำหรือเส้นเลือดแดงเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งเท่านั้น

และเมื่อทดสอบ โดยฟังก์ชันพัลส์เวฟคอปเพลอร์ เส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำที่จำลองขึ้นมา นั้น สามารถแสดงกราฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดแดง คือ เป็นจังหวะชีพจร และกราฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเส้นเลือดดำ คือ เป็นการไหลต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะกราฟของอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มาตรฐานแล้วมีความใกล้เคียงกันมาก

ในขณะที่อุปกรณ์ที่นำมาประดิษฐ์อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์มีราคาขอมเขาว์เพียง 9,300 บาท และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทั้งระบบยกเว้น วัสดุ 2 ชนิด คือ ลูกโป่ง เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบแทงเข็มผ่านเส้นเลือดจำลองแล้ว ทำให้ลูกโป่งมีรอยร้าวและจะมีน้ำไหลออกมาจากรอยร้าว และเจลาติน เนื่องจากเมื่อทำการแทงเข็มผ่านเนื้อเยื่อเจลาตินจะทำให้มีรอยของเข็มอยู่ภายในเนื้อเยื่อเจลาตินทำให้ไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ใหม่ จึงเป็นการเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์นี้มาใช้ฝึกหัดสำหรับนักศึกษาแพทย์และแพทย์ผู้เริ่มใช้เครื่องอัลตราซาวด์

อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ในราคาขอมเขาว์นี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการฝึกหัดอัลตราซาวด์ขั้นพื้นฐาน ซึ่งอุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์สามารถที่จะออกแบบและพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกทั้งการปรับเปลี่ยนรูปร่างหรือวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นอุปกรณ์จำลอง การปรับเปลี่ยนรูปแบบ เช่น อุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์เส้นประสาท หรืออุปกรณ์จำลองฝึกหัดอัลตราซาวด์ในการเจาะชั้นเนื้อเป็นต้น

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### เอกสารอ้างอิง

สายฝน ชาวลาโพบูลย์. อัลตราซาวด์กับการ

วินิจฉัยทารกในครรภ์. ความรู้สู่ประชาชน

[วารสารออนไลน์] 14 ตุลาคม 2553

[อ้างเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2557]. จาก

<http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/epl/article/detail.asp?id=459>

Bercoff J, Tanter M, Fink M. Supersonic shear imaging: a new technique for soft tissue elasticity mapping. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 2004; 51(4): 396-409.

BIOMEDEQUIP. Ultrasound Phantoms [online] 2014 [cited 2014 Nov 30]. Available from: <http://biomedequip.com/ultrasoundimagingphantoms.aspx>

Blue Phantom™. IV and Arterial Line Vascular Access Ultrasound Model [online] 2013 [cited 2014 Nov 30]. Available from: <http://www.bluephantom.com/product/iv-and-arterial-line-vascular-access-ultrasound-model.aspx?cid=436>

Cheruparambath N, Deshikar LN, Sampath S, Ismail HM, Bhuzvana K. A low-cost reusable phantom for ultrasound-guided subclavian vein cannulation. *IJCCM* 2012; 16(3): 163-165.

Domenico SD, Licausi M, Porcile E, Piaggio F, Troilo B, Centanaro M, and et al. Introducing ultrasound-guided vein catheterization into clinical practice: A step-by-step guide for organizing a hands-on training program with inexpensive handmade models. *J Ultrasound* 2008; 11(4): 135-42.

Lertsilp D, Umchid S, Techavipoo U, Thajchayapong P. Improvements in Ultrasound Elastography using Dynamic Focusing. In: *IEEE Biomedical Engineering International Conference (IEEE BMEiCON2011)*; 2012 January 29-31; Chiang Mai. Thailand: IEEE; 2012. p. 225-228.

Lertsilp D, Umchid S, Techavipoo U, Thajchayapong P. Resolution Improvements in Ultrasound Elastography Using Dynamic Focusing. In: *IEEE Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON2012)*; 2012 December 2-7; Ubon Ratchathani. Thailand: IEEE; 2012. p. 1-4

Palussiere J, Salomir R, Bail BL, Fawaz R, Quesson B, Grenier N, and et al. Feasibility of MR-guided focused ultrasound with real-time temperature mapping and continuous sonification for ablation of VX2 carcinoma in rabbit thigh. *Magn Reson Med* 2003; 49(1): 89-98.

The Division of Critical Care at the Christian Medical College Hospital. *Vascular Ultrasound* [online] 2009 [cited 2014 Nov 30]. Available from: <http://www.criticalecho.com/content/tutorial-10-vascular-ultrasound>

Wu T, Felmlee JP, Greenleaf JF, Riederer SJ, Ehman RL. MR imaging of shear waves generated by focused ultrasound. *Magn Reson Med* 2000; 43(1): 111-115.