หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

จากความต้องการที่จะหาวิธีวัดปริมาณการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์ได้มีมากขึ้น จึงได้มีผู้พยายามค้นคว้าหาวิธีการต่าง ๆ มาตรวจจับการไหลของเลือด ทั้งทิศทางการไหลและความเร็วของเลือด เริ่มจากเทคนิค plethysmography จนถึง nuclear magnetic resonance แต่เทคนิคของวิธีการเหล่านี้ยังขาดคุณสมบัติที่ต้องการบางประการคือไม่สามารถนำไปตรวจจับการไหลของเลือดบริเวณที่เจาะจงบางที่ได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคนิคของดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์มาใช้กันมากขึ้น เพราะเทคนิคของอัลตร้าซาวน์สามารถแก้ข้อจำกัดของวิธีการเหล่านั้นได้

จากความรู้เกี่ยวกับจำนวนออกซิเจนที่จ่ายไปให้กับบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์เป็นส่วนประกอบอันหนึ่งที่ช่วยเหลือให้แพทย์สามารถตรวจและวินิจฉัยอาการของโรคได้ ปริมาตรของเลือดที่ไหลอาจจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่ชี้ให้เห็นถึงจำนวนของออกซิเจนที่บริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย และจะเป็นตัวชี้บอกถึงความสามารถในการทำงานของหัวใจ ที่ทำหน้าที่คล้ายปั๊มในการสูบฉีดโลหิตสำหรับคนปรกติได้

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเลือดที่ไหลอาจจะมีความสำคัญสำหรับแพทย์ เช่น อัตราเร่งของการไหลของเลือดในหลอดเลือด ascending aorta หรือจากหลอดเลือดใหญ่อื่น ๆ จะมีประโยชน์มากในการบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจ และความเร็วของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดจะมีผลกระทบกระเทือนเกิดขึ้น ถ้าหากเกิดการอุดตันของหลอดเลือด ซึ่งทำให้ผลที่ได้จากการวัดแตกต่างออกไปจากคนปรกติ จากความเข้าใจถึงผลที่อ่านได้จะเป็นตัวชี้บอกถึงการไหลของเลือดและบริเวณที่เกิดการอุดตันของหลอดเลือดได้

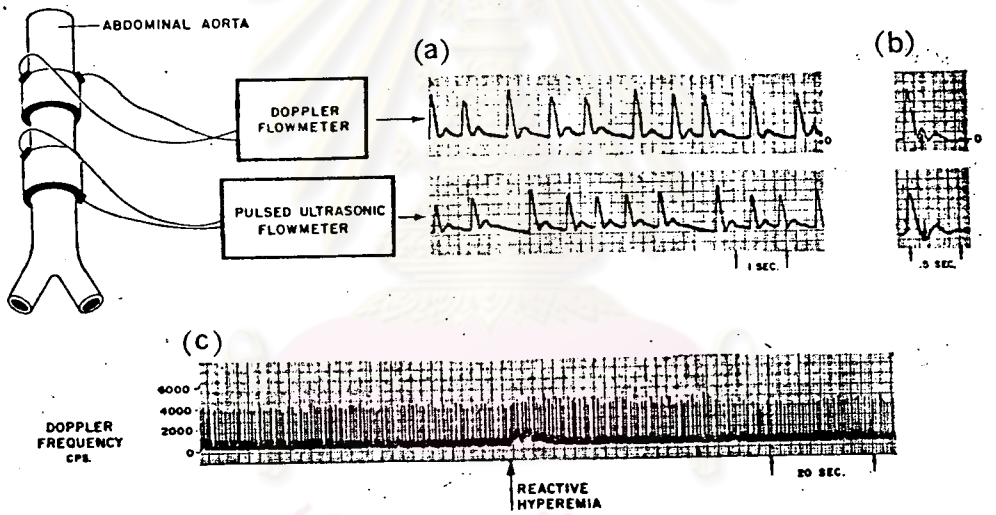
ในปี ค.ศ. 1956 ซาตามูระ[1] ได้แสดงให้เห็นถึงการตรวจจับการไหลของของเหลวภายในท่อโดยใช้วิธีดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่อง (CONTINUOUS - WAVE ULTRASONIC DOPPLER)

ในปี ค.ศ. 1961 แฟลงคลินและผู้ร่วมงาน[2] เป็นคนกลุ่มแรกที่ได้สร้างเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์มาใช้สำหรับวัดความเร็วของเลือดที่ไหลในสัตว์ทดลอง

ในปี ค.ศ. 1964 เบเกอร์และผู้ร่วมงาน[3] เป็นคนกลุ่มแรกที่ได้สร้างเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์สำหรับใช้วัดความเร็วของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดในร่างกายมนุษย์

แต่นั้นมาได้มีบริษัทต่าง ๆ ได้สร้างเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น วัดการเต้นของหัวใจ และวัดความเร็วของเลือดออกขายในท้องตลาดทั่วไป

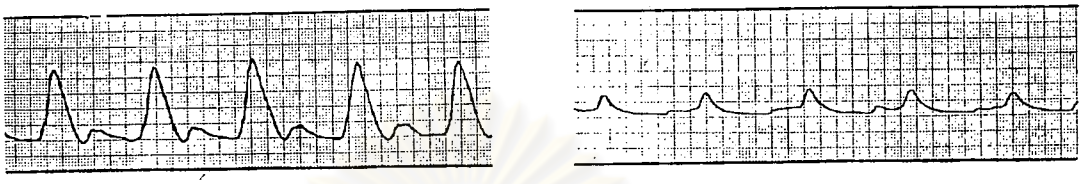
ข้อจำกัดอันหนึ่งของเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องรุ่นแรก ๆ ก็คือไม่สามารถตรวจจับทิศทางการไหลของเลือดได้[16] ดังแสดงในรูป 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงกราฟที่ได้จากการวัดการไหลของเลือดในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางปรกติ ด้วยเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์รุ่นแรก ๆ

จากผลที่ได้จากการวัดทำให้คนทั่ว ๆ ไป คิดว่าเลือดที่ไหลในหลอดเลือดในร่างกายมนุษย์ไหลได้ในทิศทางเดียว จนกระทั่งปี ค.ศ. 1966 แมคคลอยด์[4] ได้สร้างเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่อง เพื่อใช้วัดทิศทางการไหลของเลือดทั้งในทิศทางปรกติและทิศทางตรงข้ามได้ ในตอนแรก ๆ ที่ค้นพบ ผลที่ได้ยังไม่แพร่หลายและยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก แต่ในระยะหลังได้มีการค้นพบถึงวิธีการที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการตรวจ

วิเคราะห์มูลฐานของโรค[5] ได้มากขึ้น จากนั้นจึงได้มีบริษัทต่าง ๆ ทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้อาศัยทฤษฎีของแมคคลอยด์สร้างเครื่องมือชนิดนี้ออกขายทั่วไป ตัวอย่างของกราฟแสดงทิศทางการไหลของเลือด ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 สัญญาณที่วัดได้จากหลอดเลือดแดง Brachial

รูปซ้าย แสดงทิศทางการไหลของเลือดในทิศทางปรกติ

รูปขวา แสดงทิศทางการไหลของเลือดในทิศทางตรงกันข้าม

การพัฒนาที่ควบคู่กันไปกับเครื่องมือชนิดนี้ก็คือ บรรดาแพทย์ได้มีความสามารถในการใช้เครื่องมือและมีความชำนาญในการนำผลที่ได้ไปใช้วิเคราะห์มูลเหตุของโรคต่าง ๆ ทั้งยังเข้าใจถึงทิศทางความเร็วของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดบริเวณที่เกิดการอุดตันของหลอดเลือด และความต้องการที่มากขึ้นไปอีกก็คือ ความอยากที่จะทราบถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดที่วัด บริเวณที่เกิดการอุดตันของหลอดเลือด อัตราการไหลของปริมาตร Velocity profiles และ Volume profiles และความต้องการที่จะวัดถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ได้มีมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่วิธีการที่จะวัดได้เพียงแต่พัฒนาไปอย่างช้า ๆ

เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องที่ใช้วัดการไหลของเลือด วัดได้เพียงเฉพาะความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหล โดยเพียงแต่ทราบค่ามุมของลำคลื่นที่ทำกับหลอดเลือดในการวัดก็สามารถที่จะหาความถี่ดอปเปลอร์ที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ (1.1)

$$\Delta f = \frac{2Vf_o\cos\theta}{C} \qquad \ldots\ldots (1.1)$$

V = ความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหล

f_o = ความถี่อัลตร้าซาวน์ที่ใช้

c = ความเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลาง

θ = มุมระหว่างลำคลื่นเสียงกับเวคเตอร์ความเร็ว

Δf = ค่าเฉลี่ยของความถี่ดอปเปลอร์

อัตราการไหลของปริมาตรของเลือดสามารถหาได้จากสมการ (1.2)

$$Q = V.A \quad \ldots\ldots (1.2)$$

ซึ่ง Q = อัตราการไหลของปริมาตร (cm^3/s)

V = ความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหล (cm/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของหลอดเลือดตรงบริเวณที่วัด (cm^2)

<u>เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่อง</u>

มีเหตุผลบางประการว่าทำไมเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องที่ใช้ตรวจจับการไหลของเลือดไม่สามารถวัดหรือปรับแต่งให้สามารถวัดค่าปริมาตรของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดได้ ด้วยสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้คือ

เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องจะส่งคลื่นความถี่สูงประมาณ 3-10 MH_z ยิงผ่านผิวหนังลงไปยังหลอดเลือดที่วัด เมื่อคลื่นไปกระทบกับโมเลกุลของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดจะทำให้เกิดสัญญาณดอปเปลอร์สะท้อนกลับขึ้นมายังทรานซดิวเซอร์ตัวรับ ซึ่งทรานซดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับส่วนมากจะวางอยู่ใกล้ ๆ กัน และบริเวณที่ทรานซดิวเซอร์ตัวรับสามารถตรวจจับสัญญาณดอปเปลอร์ได้จะอยู่ในบริเวณที่เกิดการ Overlap กันระหว่างบริเวณของหลอดเลือดที่วัดกับลำคลื่นอัลตร้าซาวน์ของทรานซดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ ซึ่งบริเวณที่ Overlap กันนี้จะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับหลอดเลือดที่วัด เช่น ขนาด ความลึก ด้วยเหตุนี้ทำให้เทคนิคของเครื่องอัลตร้าซาวน์แบบคลื่นต่อเนื่องไม่สามารถวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดได้

เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของทุกทุกสิ่งที่ลำคลื่นเสียงเดินทางผ่าน ด้วยเหตุนี้สัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับอาจจะเกิดผิดพลาดเมื่อคลื่นที่ส่งลงไปเดินทางผ่านหลอดเลือดมากกว่าหนึ่งหลอดเลือด สัญญาณดอปเปลอร์ที่ได้จะเกิดจากการรวมของสัญญาณทั้งหมดซึ่งทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาด

เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ระบบพัลส์

NONCOHERENT PULSE DOPPLER[16]

ในระบบชีววิทยา สัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมาจะเกิดจากการผสมกันระหว่างส่วนที่เคลื่อนที่และส่วนที่อยู่กับที่ (CLUTTER) สัญญาณที่รับได้โดยทรานซดิวเซอร์ตัวรับในรูปของแอมพลิจูทมอดดูเลชั่น และสัญญาณดอปเปลอร์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับการผสมกันทางความถี่ (FREQUENCY MODULATION) หรือกล่าวได้ว่าระบบนี้เป็น externally coherent

ในระบบ NONCOHERENT PULSE DOPPLER จะดีกว่าระบบอัลตร้าซาวน์แบบคลื่นต่อเนื่องและจะง่ายกว่าระบบ COHERENT คลื่นสัญญาณส่งจะเป็นสัญญาณเบิสร์ทรูปคลื่นซายน์ใช้ส่งเป็นช่วง ๆ ภาครับที่ใช้จะเป็น linear หรือ logarithm amplifier เพื่อให้รูปคลื่นสัญญาณดอปเปลอร์ที่ขยายออกยังคงเหมือนเดิม สัญญาณที่ขยายออก จะใช้สัญญาณเกท (โดยคำนวณจากความลึกที่วัด) เป็นตัวควบคุมให้สัญญาณออกไปยังภาคดีเทคเตอร์ ซึ่งเป็นแบบ Squar - law diode detector ส่วนประกอบของสัญญาณดอปเปลอร์ที่ถูกดีเทคแล้วจะถูกสุ่มและนำไปแปรผลอีกทีหนึ่ง

ในระบบนี้จะมีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่ได้จะขึ้น ๆ ลง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วนการผสมของสัญญาณดอปเปลอร์และสัญญาณ clutter ซึ่งมีความยุ่งยากในการแยกเอาสัญญาณดอปเปลอร์ออกมา และระบบนี้ยังไม่มีผู้นำมาใช้ในการตรวจจับการไหลของเลือดเลย

Coherent Pulse Doppler

สัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนจากการเคลื่อนที่ของเลือดที่ไหลจะอยู่ในรูปของ phase modulation ถ้านำสัญญาณดอปเปลอร์ที่รับได้มาขยายไปเปรียบเทียบกับสัญญาณความถี่หลักที่ใช้ส่งโดยวงจรเฟสดีเทคเตอร์ จะทำให้แยกส่วนประกอบของความถี่ดอปเปลอร์ออกมาได้ง่าย หรือกล่าวได้ว่า ระบบนี้เป็น COHERENT

ในระบบ COHERENT นี้สามารถที่จะนำมาใช้ตรวจจับการไหลของน้ำในท่อและอัตราการไหลของปริมาตรได้

เครื่องตรวจจับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของอัลตร้าซาวน์เพื่อวัดการไหลของของโลหิตที่ทำวิทยานิพนธ์นี้ใช้ระบบ COHERENT PULSE DOPPLER ซึ่งได้นำมาใช้การตรวจวัดการไหล

ของของเหลวภายในท่อ และได้พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับวัดการไหลของเลือดในหลอดเลือดภายในร่างกายมนุษย์ เครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดพัลส์ดอปเปลอร์ที่ทำนี้ใช้หลักการของการส่งคลื่นสัญญาณเบิสร์ท (BURST) มีความยาวนาน 1 ไมโครวินาทีของคลื่นอัลตร้าซาวน์ขนาดความถี่ประมาณ 4 เม็กกะเฮิทร์ซเป็นช่วง ๆ ตามความถี่ PRF (PULSE REPETITION FREQUENCY) ยิงลงไปด้วยทรานซดิวเซอร์ตัวส่งบนผิวหนังบริเวณหลอดเลือดที่จะวัดการไหลของเลือด สัญญาณเบิสร์ทที่ยิงลงไปจะเดินทางผ่านเนื้อเยื่อ และเมื่อไปกระทบกับเลือดที่ไหลในหลอดเลือด จะทำให้เกิดสัญญาณสะท้อนกลับมาซึ่งความถี่ของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะผิดไปจากความถี่ของสัญญาณเดิม เรียกว่าปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (DOPPLER EFFECT) ความต่างความถี่เรียกว่าความถี่ดอปเปลอร์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหลตรงบริเวณที่วัดนั้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมาซึ่งจะเรียกว่าสัญญาณดอปเปลอร์สามารถตรวจจับได้ด้วยทรานซดิวเซอร์ตัวรับ เนื่องจากสัญญาณดอปเปลอร์ที่รับได้ยังมีแอมพลิจูดต่ำอยู่ จึงต้องนำมาขยายให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น และนำไปเปรียบเทียบเฟสกับเฟสของสัญญาณที่ส่งออกไปโดยวงจรเฟสดีเทคเตอร์ (PHASE DETECTOR) สัญญาณอ้างอิงเฟส (PHASE REFERENCE SIGNAL) ที่จะส่งไปเปรียบเทียบเฟสกับสัญญาณดอปเปลอร์จะต้องปรับช่วงหน่วงเวลา (RANGE GATE DELAY) ให้พอเหมาะกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมานั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากคลื่นสัญญาณเบิสร์ทที่ส่งลงไปบนผิวหนังจะใช้เวลาในการเดินทางผ่านเนื้อเยื่อต่าง ๆ ลงไปจนถึงหลอดเลือดและสะท้อนกลับขึ้นมายังทรานซดิวเซอร์ตัวรับ เวลาที่คลื่นใช้เดินทางทั้งไปและกลับจะเป็นระยะเวลาที่หน่วงสัญญาณอ้างอิงเฟสไว้ หลังจากหน่วงเวลาแล้วจะเปิดเกทให้สัญญาณอ้างอิงเฟสออกไปยังวงจรเฟสดีเทคเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเฟสกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่รับได้ สัญญาณที่ออกจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์จะมีแอมพลิจูดที่สัมพันธ์กับความเร็วของเลือดที่ไหล เนื่องจากการรับสัญญาณดอปเปลอร์แต่ละครั้งเกิดขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาสั้น ๆ ด้วยความถี่ PRF ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์ก็จะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะด้วยเช่นกัน แต่ละครั้งใช้เวลาค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับเวลาของสัญญาณที่เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ค่าของสัญญาณที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งคงที่อยู่ตลอดเวลาก่อนที่จะเกิดสัญญาณครั้งใหม่ต่อไป จึงต้องนำสัญญาณที่ออกจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์มาเข้าวงจรสุ่มและรักษาระดับ (SAMPLE AND HOLD) เพื่อให้ระดับของสัญญาณที่ออกจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์เป็นไปอย่างต่อเนื่องตามค่าของสัญญาณที่ได้แต่ละครั้ง สัญญาณที่ออกจากวงจรสุ่มและรักษาระดับจะมีแอมพลิจูดต่ำ และมีความถี่ของ PRF ที่นำไปเกทให้วงจรสุ่มและรักษาระดับทำงานปะปนอยู่ จึงต้องนำสัญญาณนี้ไปผ่านวงจรกรองแถบความถี่เพื่อตัดความถี่นี้ทิ้งไป และนำสัญญาณที่ได้ไปขยายให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นให้พอเพียงที่จะไปแสดงผลในวงจรแสดงผลต่าง ๆ ต่อไป

จากผลของการปรับระยะหน่วงเวลาของสัญญาณอ้างอิงเฟสที่ส่งไปยังวงจรเฟสดีเทคเตอร์ทำให้สามารถนำค่าของเวลานี้มาหาค่าความลึกของหลอดเลือดได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ของระยะทางกับความเร็วของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อ และจากการสังเกตเวลาที่จุดเริ่มมีสัญญาณและเวลาที่จุดเริ่มสิ้นสุดสัญญาณที่ได้จากวงจรแสดงผลทำให้ทราบถึงเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านหลอดเลือด จากค่าของเวลานี้และค่าของสัญญาณที่ได้จากวงจรแสดงผลสามารถนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาคำนวณหาค่าความเร็วของเลือดที่ไหล ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือด และปริมาตรของเลือดที่ไหลได้

ประโยชน์ของเครื่องอัลตร้าซาวน์มิได้มีเพียงแต่ในวงงานแพทย์เท่านั้น ในงานอุตสาหกรรมก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้วัดความเร็วของน้ำในท่อ[6] ใช้วัดหารอยร้าว (FLAW DETECTOR) ภายในโครงสร้าง[7] นอกจากนี้นักวิจัยยังได้นำเครื่องอัลตร้าซาวน์มาใช้ช่วยในงานวิจัยหาข้อมูลต่าง ๆ[8,9] ทั้งยังพิมพ์เป็นบทความถึงคุณประโยชน์ที่ได้จากเครื่องอัลตร้าซาวน์อย่างแพร่หลาย

ในประเทศไทยได้มีการนำเอาเทคนิคของดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์มาใช้ประโยชน์มากทั้งในอุตสาหกรรม เช่น หารอยร้าวในวัสดุโครงสร้างของเหล็ก วัดความเร็วน้ำในท่อ ในงานแพทย์ได้แก่ การตรวจวินิจฉัยอาการของโรค เช่น วัดการทำงานของหัวใจ ลิ้นหัวใจ และสมอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประดิษฐ์เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อเนื่องมาใช้ในการวัดการเต้นของหัวใจ[10] และชนิดพัลส์ดอปเปลอร์มาใช้ในการวัดระดับของสาร[11] แต่ยังมิได้มีการนำเอาเทคนิคของพัลส์ดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์มาใช้ในการวัดการไหลของเลือดเลย ดังนั้นการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้จะทำให้เกิดประโยชน์หลายประการคือ

1) เป็นจุดเริ่มของการวิจัย ค้นคว้าเพื่อหาข้อมูล การแก้ปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น อันเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัยรุ่นต่อไป

2) เป็นต้นแบบของเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ใช้วัดความเร็วเลือด

3) สามารถพัฒนาขั้นตอนในการสร้าง และเทคนิคของการออกแบบต่าง ๆ

4) สามารถสร้างเครื่องพัลส์ดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์เพื่อนำไปใช้ในวงงานแพทย์เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยในขั้นต่อไป