

การวิเคราะห์เสียงหัวใจ โดยวิธีการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง  
**Heart Sound Analysis using Continuous Wavelet Transform**

อมรเทพ ลี้เกรียงไกร (Amorntep Leekriangkrai)\* ดร.ชัชมนุทศน์ บรรลือโชคชัย (Dr.Chissanuthat Bunluechokchai)\*\*  
 ดร.ประสงค์ ฐุสรานนท์ (Dr.Prasong Tosranon)\*\*\*

**บทคัดย่อ**

สัญญาณเสียงหัวใจเป็นข้อมูลทางคลินิกที่สำคัญในการวินิจฉัยความผิดปกติของหัวใจ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาการวิเคราะห์เสียงหัวใจโดยวิธีการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform, CWT) ประกอบด้วยกระบวนการทั้งหมด 3 ขั้นตอน เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล จากนั้นเป็นขั้นตอนการหาขอบสัญญาณด้วยเทคนิค CWT และ Low pass filter และขั้นตอนสุดท้ายกำหนดตำแหน่งเสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงหัวใจที่สอง (S2) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของช่วงเวลากการบีบตัวและการคลายตัวของหัวใจ เทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะถูกนำไปทดสอบกับสัญญาณเสียงหัวใจจากฐานข้อมูล The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge 2011 โดยผลการทดสอบสามารถระบุสัญญาณเสียงหัวใจแรกและเสียงที่สอง มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 97.02 % และสามารถแบ่งแยกระหว่างสัญญาณเสียงหัวใจปกติและผิดปกติออกจากกันในเชิงคุณภาพโดยพิจารณาจากกราฟคอนทัวร์

**ABSTRACT**

The heart sound signal is important clinical information in the diagnosis of heart disorders. The objective of this paper was to develop heart sound analysis using continuous wavelet transform (CWT). The process consists of three steps. The first step is preprocessing the heart sound data. Then, the next stage performs envelope extraction of the heart sound signals using CWT and low pass filter. Finally, it is to locate the positions of the first heart sounds (S1) and the second heart sounds (S2) based on relation of the systolic and diastolic periods. The proposed technique was tested using heart sound signals from The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge 2011. The test results can identify the first (S1) and second (S2) heart sounds with accuracy of 97.02 % and also they can qualitatively distinguish between the normal and abnormal heart sounds by the CWT contour.

**คำสำคัญ:** เสียงหัวใจ การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง

**Key Words:** Heart sound, Continuous wavelet transform

\* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\*\* รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\*\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**บทนำ**

หัวใจมีหน้าที่ส่งเลือดให้ไหลเวียนอยู่ในระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา การเต้นของหัวใจทำให้เกิดการไหลเวียนของเลือดและการเคลื่อนไหวของลิ้นหัวใจ ซึ่งผลดังกล่าวทำให้เกิดเสียงหัวใจ เสียงหัวใจปกติจะประกอบด้วย 4 เสียง คือเสียง S1, S2, S3 และ S4 (ซึ่งส่วนใหญ่จะได้ยินเพียง 2 เสียงคือเสียง S1 และ S2) โดยระยะจากเสียง S1 ถึงเสียง S2 เป็นระยะการบีบตัวของหัวใจ (Systolic) และระยะจากเสียง S2 ถึงเสียง S1 ถัดไป เป็นระยะการคลายตัวของหัวใจ (Diastolic)

สัญญาณเสียงหัวใจเป็นข้อมูลทางคลินิกที่สำคัญในการวินิจฉัยความผิดปกติของหัวใจ การฟังเสียงหัวใจเป็นการตรวจคัดกรองโรคหัวใจเบื้องต้น แต่ด้วยข้อจำกัดการได้ยินเสียงของมนุษย์ ดังนั้นแพทย์ผู้ตรวจวินิจฉัยจึงต้องมีทักษะและประสบการณ์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อความถูกต้องในการวินิจฉัยโรค มีการศึกษาวิธีการที่บันทึกสัญญาณเสียงหัวใจให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะสามารถนำมาประมวลผลและแสดงผลสัญญาณเสียงหัวใจด้วยคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยให้สามารถตรวจและวินิจฉัยได้รวดเร็วขึ้น

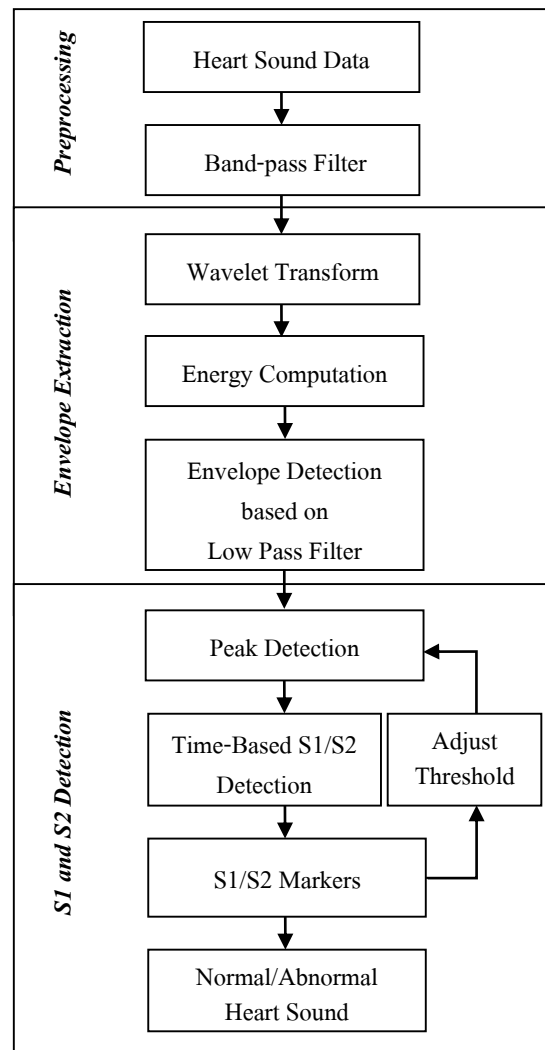
งานวิจัยนี้ได้เสนออัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform, CWT) เพื่อกำหนดตำแหน่ง S1, S2 และคุณลักษณะของสัญญาณเสียงหัวใจ การประมวลผลด้วยเทคนิค Wavelet transform จะได้ข้อมูลในรายละเอียดค่าสเกล (Scale resolution) และเวลา (Time resolution) ซึ่งเหมาะกับสัญญาณเสียงหัวใจที่มีคุณลักษณะไม่คงที่ (Non-stationary signals) และเปลี่ยนแปลงตามเวลา

**วัตถุประสงค์การวิจัย**

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงหัวใจทั้งปกติและผิดปกติ
2. เพื่อกำหนดตำแหน่งสัญญาณเสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2)
3. เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณเสียงหัวใจทั้งปกติและผิดปกติ

**วิธีการวิจัย**

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เสนอการวิเคราะห์เสียงหัวใจ โดยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Preprocessing), ขั้นตอนการหาขอบสัญญาณ (Envelope extraction) และขั้นตอนกำหนดตำแหน่ง S1 และ S2 (S1 and S2 detection) ตามรูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมการวิเคราะห์เสียงหัวใจ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการวิเคราะห์เสียงหัวใจ

**1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Preprocessing)**

สัญญาณเสียงหัวใจจากฐานข้อมูล The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge 2011 (Peter et al., 2011) ค่าอัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling rate) เท่ากับ 4000 Hz

การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-pass Filter)

นอกจากมีการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจแล้ว ยังมีสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่ถูกบันทึกเข้ามาด้วย เช่น สัญญาณรบกวนจากการหายใจ สัญญาณรบกวนแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแถบความถี่ผ่านที่ Cutoff frequency ช่วง 30 - 900 Hz (Ana et al., 2013)

## 2. ขั้นตอนการหาขอบสัญญาณ (Envelope Extraction)

การหาขอบสัญญาณเสียงหัวใจด้วยเทคนิค CWT และ Low pass filter

### 2.1 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยเทคนิค CWT

Wavelet transform จะแยกสัญญาณออกเป็นชุด Basis functions โดยที่ Wavelet แต่ละชนิดจะมาจาก Wavelet หลักอันเดียวกันที่เรียกว่า Mother wavelet นั้นคือ เวฟเล็ตแม่ ที่สามารถสร้าง Wavelet ย่อยๆ ได้อีกสมการของ Mother wavelet ดังสมการที่ 1

$$\psi(\tau, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (1)$$

$\psi(t)$  คือ Mother Wavelet

$a$  คือ พารามิเตอร์สเกล (Scale)

$\tau$  คือ พารามิเตอร์เวลา (Time)

$\psi(\tau, a)$  คือ Wavelet ย่อยที่สเกล  $a$  และเวลา  $\tau$

การวิเคราะห์สัญญาณ ด้วยวิธี Continuous Wavelet Transform แสดงดังสมการที่ 2 การวิเคราะห์สัญญาณให้มีประสิทธิภาพ จะต้องมีการเลือก Mother wavelet ที่เหมาะสม และในงานวิจัยนี้ได้เลือก Morlet wavelet เพราะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณเสียงหัวใจ และมีหลายงานวิจัยได้เลือกใช้ Wavelet ชนิดนี้

$$CWT(\tau, a) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi_{\tau, a}^*(t) dt \quad (2)$$

$s(t)$  คือ สัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์

$\psi^*(t)$  คือ Complex conjugate ของ Analyzing wavelet function  $\psi(t)$

$a$  คือ Scaling parameter

$t$  คือ Shifting parameter หรือ Time parameter

สำหรับสัดส่วนสัมพันธ์พลังงานของสัญญาณที่ค่าสเกล ( $a$ ) และเวลา ( $\tau$ ) ถูกให้โดยฟังก์ชันความหนาแน่นพลังงาน (Energy density function) ของ Wavelet แสดงดังสมการที่ 3

$$E(\tau, a) = |CWT(\tau, a)|^2 \quad (3)$$

กราฟที่แสดงค่า  $E(\tau, a)$  จะเรียกว่า Scalogram

### 2.2 การหาขอบสัญญาณด้วยเทคนิค Low Pass Filter (Envelope Detection based on Low Pass Filter)

การหาแอมพลิจูดของสัญญาณที่มีค่าบวกและลบ ต้องหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ของสัญญาณแต่ละช่วงเวลาโดยเรียงสัญญาณแบบเต็มคลื่น วิธีการนี้ทำให้เกิดส่วนประกอบความถี่สูง ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ จึงต้องมีการกรองสัญญาณด้วย Low pass filter ที่ Cutoff frequency เท่ากับ 20 Hz

## 3. ขั้นตอนกำหนดตำแหน่ง S1 และ S2 (S1 and S2

### Detection)

การกำหนดตำแหน่งสัญญาณเสียงหัวใจแรก S1 และเสียงที่สอง S2 ด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งจุดยอดของสัญญาณแอมพลิจูดและความสัมพันธ์ของช่วงเวลา Systolic กับ Diastolic (Time-Based S1/S2)

#### 3.1 การหาตำแหน่งจุดยอดของสัญญาณ (Peak Detection)

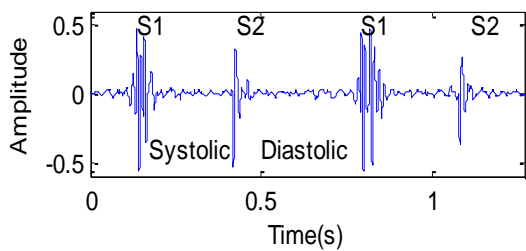
การหาจุดยอดของสัญญาณเสียงหัวใจได้มาจากการนำสัญญาณที่ผ่านการแอมพลิจูดหาขอบสัญญาณแล้ว นำมาหาจุดยอดของสัญญาณแอมพลิจูดโดยมีการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ให้เหมาะสมเพื่อควบคุมระยะระหว่างจุดยอด (Eli, 2012)

#### 3.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลา Systolic กับ Diastolic (Time-Based S1/S2)

วิธีการแยกความแตกต่างระหว่างสัญญาณ

เสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2) อาศัยความสัมพันธ์ของช่วงเวลา Systolic (เสียง S1 ถึงเสียง S2) และช่วงเวลา Diastolic (เสียง S2 ถึงเสียง S1 ถัดไป) คือ ช่วงเวลา Diastolic มักจะมีค่ามากกว่าช่วงเวลา Systolic (Elsa, Emanuel, 2012)

ดังนั้นระยะห่างระหว่างจุดยอดของการเต้นแต่ละครั้งจะถูกคำนวณและเปรียบเทียบตลอดทุกช่วงเพื่อหาระยะห่างที่กว้างที่สุด ช่วงเวลาระหว่างเสียงที่กว้างที่สุดจะให้สอดคล้องกับช่วงเวลา Diastolic และการกำหนดตำแหน่งเสียงหัวใจจะให้เสียงทางด้านขวา กำหนดตำแหน่งให้เป็น S1 และเสียงทางด้านซ้าย กำหนดตำแหน่งให้เป็น S2 ตามรูปที่ 2 แสดงลักษณะสัญญาณเสียงหัวใจ



รูปที่ 2 สัญญาณเสียงหัวใจ

### ผลการวิจัย

การวิเคราะห์สัญญาณเสียงหัวใจโดยวิธีการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมได้นำไปทดสอบกับฐานข้อมูล The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge (B-training normal dataset) ข้อมูลเสียงหัวใจ 50 ไฟล์ ประกอบด้วยเสียงแรก (S1) 437 ตำแหน่ง เสียงที่สอง (S2) 435 ตำแหน่ง ช่วงเวลาระหว่าง 1.3 และ 9.9 วินาที

ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่ง S1 และ S2 จะหาได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้องต่อจำนวนตำแหน่งทั้งหมด ซึ่งผลลัพธ์การทดสอบของอัลกอริทึมถูกแสดงดังตารางที่ 1 ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่ง S1 และ S2 เท่ากับ 97.02%

ตารางที่ 1 ผลทดสอบอัลกอริทึมกำหนดตำแหน่ง S1,S2

Data	Annotated	Detected	Accuracy (%)
S1	437	424	97.03
S2	435	422	97.01
Total	872	846	97.02

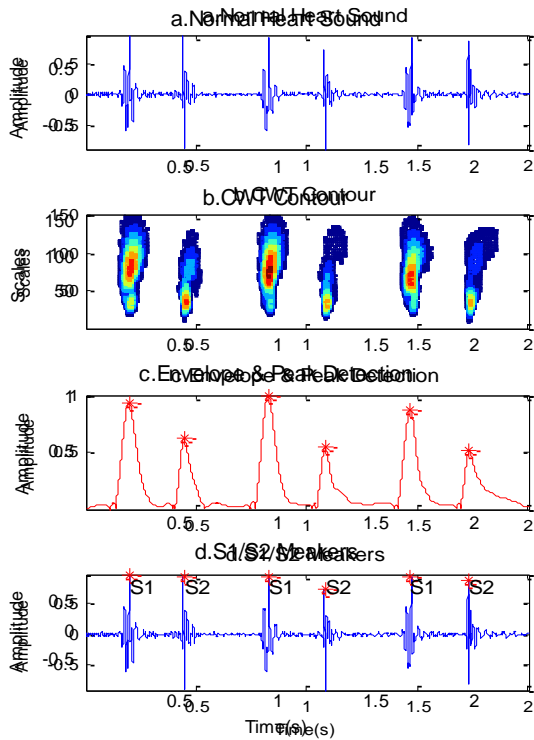
### ผลการศึกษาคู่ด้วย Continuous Wavelet Transform

Wavelet transform ได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณเสียงหัวใจในโดเมนของเวลาและสเกล เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณเสียงหัวใจทั้งปกติและผิดปกติ

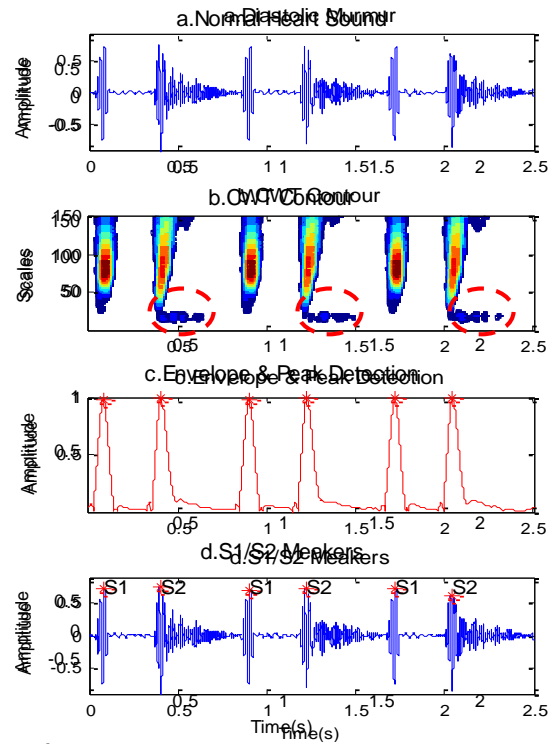
รูปที่ 3 (a) เสียงหัวใจปกติที่เต้น 3 ครั้งติดต่อกัน (b) กราฟคอนทัวร์ CWT แสดงค่า Magnitude ด้วยความเข้มต่างๆ คือ สีแดงมีค่ามากและสีน้ำเงินมีค่าน้อย ตามลำดับ มีค่าสเกลช่วง 10 -150 ลักษณะเส้นคอนทัวร์ราบเรียบ เสียง S2 มีส่วนประกอบความถี่สูงกว่าเสียง S1 (c) กราฟเอนเวโลปและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจ ประกอบด้วยเสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2)

รูปที่ 4 (a) เสียง Systolic murmur ที่เต้น 3 ครั้งติดต่อกัน (b) กราฟคอนทัวร์ CWT แสดงให้เห็นว่ามี Murmur เป็นสัญญาณส่วนประกอบความถี่สูง (ที่สเกลค่าต่ำ) ระหว่างเสียง S1 และเสียง S2 ลักษณะเส้นคอนทัวร์ไม่สม่ำเสมอและขรุขระ (c) กราฟเอนเวโลปและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจ ประกอบด้วยเสียงหัวใจแรก (S1), เสียงที่สอง (S2) และ Murmur สัญญาณรูปคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอ ระหว่างเสียง S1 และเสียง S2

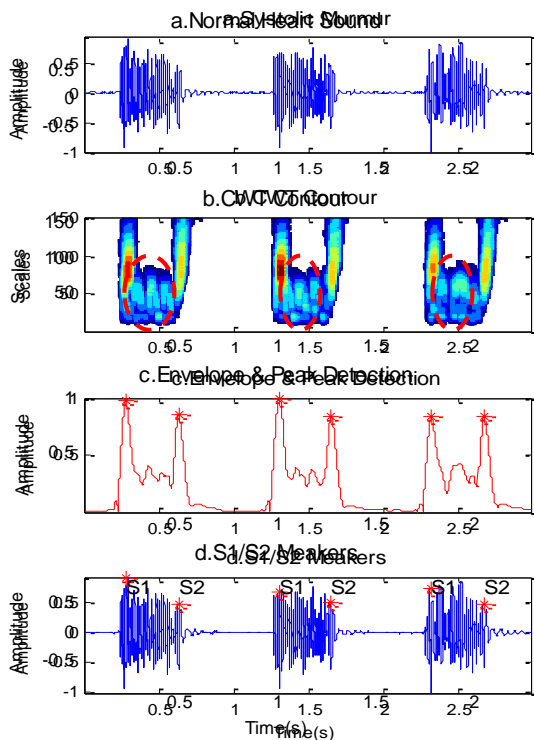
รูปที่ 5 (a) เสียง Diastolic murmur ที่เต้น 3 ครั้งติดต่อกัน (b) กราฟคอนทัวร์ CWT แสดงให้เห็นว่ามี Murmur เป็นสัญญาณส่วนประกอบความถี่สูง (ที่สเกลค่าต่ำ) ระหว่างเสียง S2 และเสียง S1 ถัดไป ลักษณะเส้นคอนทัวร์ไม่สม่ำเสมอและขรุขระ (c) กราฟเอนเวโลปและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจ ประกอบด้วยเสียงหัวใจแรก (S1), เสียงที่สอง (S2) และ Murmur สัญญาณรูปคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอ ระหว่างเสียง S2 และเสียง S1 ถัดไป



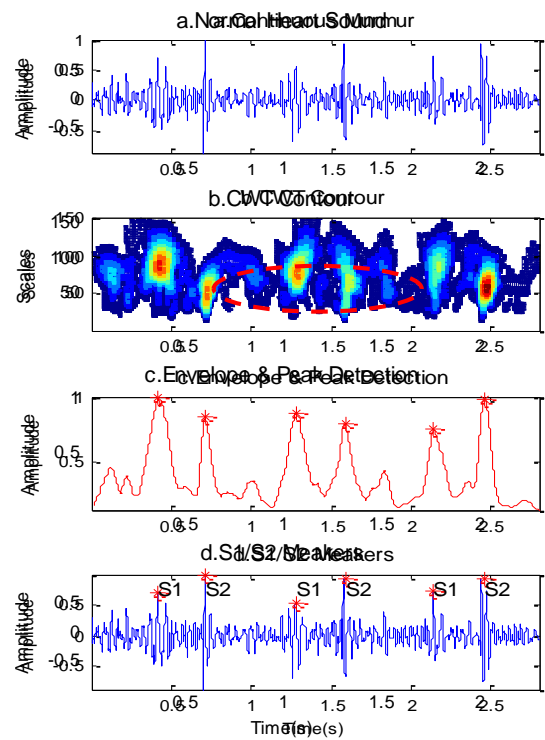
รูปที่ 3 (a) เสียงหัวใจปกติ (b) กราฟคอนทัวร์ CWT (c) กราฟเอนVELOIPและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจแรก และเสียงที่สอง



รูปที่ 5 (a) เสียง Diastolic murmur (b) กราฟคอนทัวร์ CWT (c) กราฟเอนVELOIPและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจแรก และเสียงที่สอง



รูปที่ 4 (a) เสียง Systolic murmur (b) กราฟคอนทัวร์ CWT (c) กราฟเอนVELOIPและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจแรก และเสียงที่สอง



รูปที่ 6 (a) สัญญาณเสียง Continuous murmur (b) กราฟคอนทัวร์ CWT (c) กราฟเอนVELOIPและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจ

รูปที่ 6 (a) เสียง Continuous murmur ที่เดิน 3 ครั้งติดต่อกัน (b) กราฟคอนทัวร์ CWT แสดงให้เห็นว่ามี Murmur สัญญาณส่วนประกอบความถี่สูง (ที่สเกลค่าต่ำ) ต่อเนื่องตลอดช่วงสัญญาณ ลักษณะเส้นคอนทัวร์ไม่สม่ำเสมอและขรุขระ (c) กราฟเอนเวโลปและตำแหน่งจุดยอด (d) ตำแหน่งเสียงหัวใจ ประกอบด้วยเสียงหัวใจแรก (S1), เสียงที่สอง (S2) และ Murmur สัญญาณรูปคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องตลอดช่วงสัญญาณ

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้เสนออัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง เพื่อกำหนดตำแหน่ง S1 และ S2 แล้วนำไปทดสอบกับฐานข้อมูล The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge สามารถระบุสัญญาณเสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2) ได้ โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 97.02 %

คุณลักษณะของสัญญาณเสียงหัวใจ เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณจากการวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง โดยใช้ Morlet wavelet ที่สเกลค่า 10-150 เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงหัวใจทั้งสี่กลุ่ม ผลของ wavelet จะเห็นความแตกต่างที่สำคัญทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณจากคุณลักษณะในแกนเวลาและสเกล กล่าวคือ สัญญาณเสียงหัวใจปกติ มีลักษณะเส้นคอนทัวร์ราบเรียบ สามารถระบุสัญญาณเสียงหัวใจแรก (S1) และเสียงที่สอง (S2) ได้ เสียง S2 มีส่วนประกอบความถี่สูงกว่าเสียง S1 สัญญาณเสียงหัวใจผิดปกติทั้ง 3 ชนิด คือเสียง Systolic murmur, เสียง Diastolic murmur และเสียง Continuous murmur มีลักษณะเส้นคอนทัวร์ไม่สม่ำเสมอและขรุขระ สัญญาณ Murmur มีลักษณะส่วนประกอบความถี่สูง จากผลความแตกต่างนี้สามารถนำมาใช้แบ่งแยกกระหว่างสัญญาณเสียงหัวใจปกติและผิดปกติออกจากกันในเชิงคุณภาพโดยพิจารณาจากกราฟคอนทัวร์ CWT

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าใช้การวิเคราะห์ด้วย Wavelet ร่วมกับการแสดงกราฟคอนทัวร์ที่

เหมาะสม สามารถที่จะแยกแยะและอธิบายผลผู้ป่วยที่มีแนวโน้มจะเป็นโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ และเป็นที่น่าสนใจสำหรับการวิจัยต่อไป มีข้อเสนอแนะควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณลักษณะเด่นอื่นๆ

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวคิด และเสียสละเวลาอันมีค่าแก้ไขข้อบกพร่องในการวิเคราะห์ข้อมูล และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

### เอกสารอ้างอิง

- Ana Castro, Tiago, T., Vinhoza, V., Sandra, S., Mattos, Miguel, T. Coimbra. Heart sound segmentation of pediatric auscultations using wavelet analysis. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2013). 35th Annual International Conference of the IEEE; 2013 July 3-7; Osaka. New York: IEEE; 2013. p. 3909-12.
- Eli Billauer. peakdet: Peak detection using MATLAB [online] 2012 [cited 2014 Dec 15]. Available from: [www.billauer.co.il/peakdet.html](http://www.billauer.co.il/peakdet.html)
- Elsa Ferreira Gomes, Emanuel Pereira. Classifying heart sounds using peak location for segmentation and feature construction. Paper presented at The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge; 2012 April 24; La Palma, Spain.
- Peter Bentley, Glenn Nordehn, Miguel Coimbra, Shie Manno, Rita Getz. The PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge 2011 [online] 2011 [cited 2014 Dec 15]. Available from: <http://www.peterjbentley.com/heartchallenge/>