

การวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติโดยวิธีเวฟเล็ต

Wavelet Analysis of Normal Sinus Rhythm and Ventricular Arrhythmias

ศุภิชญา โพธิ์สาขา (Supichaya Phosaka)* ดร. ชัยณัฐพันธ์ บรรลือโชคชัย (Dr. Chissanuthat Bunluechokchai)**

ดร. วีระศักดิ์ อัสววงค์อารยะ (Dr. Weerasak Ussawongaraya)**

บทคัดย่อ

หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อนำออกซิเจนและอาหารไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย หากหัวใจทำงานผิดปกติอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดอันตรายได้ เช่น ภาวะโรคหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติชนิด Ventricular tachycardia (VT) และ Ventricular fibrillation (VF) เมื่อเกิดภาวะนี้ขึ้น หัวใจจะไม่สามารถสูบฉีดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ป่วยจะเกิดอาการช็อกและอาจนำไปสู่ภาวะหัวใจหยุดเต้นได้ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ โดยใช้ Continuous wavelet transform (CWT) ในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อหาพลังงานรวม จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเอนโทรปี พบว่าสัญญาณที่ไม่เป็นระเบียบจะมีค่าเอนโทรปีสูงกว่าสัญญาณที่เป็นระเบียบ จากผลการทดลองพบว่าสัญญาณ VT/VF มีความไม่เป็นระเบียบมากกว่าสัญญาณ Normal sinus rhythm จากการศึกษาจึงเสนอวิธีการจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติออกจากกันได้

ABSTRACT

The heart functions as a blood pump via electrical potential to provide a continuous circulation of oxygen and nutrients to the body. In case of heart abnormality, it can harm to patients. The heart cannot sufficiently pump blood when two types of ventricular arrhythmias, ventricular tachycardia and ventricular fibrillation, occur. Patients will be shocked and may lead to sudden heart failure. The objectives of this research are to study and develop the classification algorithm of the normal sinus rhythm and ventricular arrhythmias using the continuous wavelet transform and entropy.

คำสำคัญ: คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ ภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ การวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ต

Key Words: Normal sinus rhythm, Ventricular arrhythmia, Wavelet analysis

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

หัวใจเป็นอวัยวะที่สำคัญ ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อนำอาหารและออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย หัวใจจะทำงานโดยกล้ามเนื้อหัวใจบีบและคลายตัวตามศักย์ไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งในหัวใจ หากหัวใจส่วนใดทำงานผิดปกติอาจทำให้เกิดภาวะโรคหัวใจได้หลากหลายชนิด อีกทั้งความรุนแรงก็แตกต่างกันไปตามอาการที่เกิด เช่น ในภาวะโรคหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ ชนิด Ventricular tachycardia (VT) และ Ventricular fibrillation (VF) ซึ่งเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อของหัวใจห้องล่างอย่างไม่สัมพันธ์กัน จึงทำให้หัวใจไม่สามารถสูบฉีดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากรายงานทางการแพทย์พบว่า ภาวะ VT มีแนวโน้มสูงที่จะพัฒนาเป็นภาวะ VF ซึ่งหากเกิดภาวะนี้ขึ้นอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการช็อก และนำไปสู่ภาวะหัวใจวายในที่สุด ดังนั้นผู้ป่วยต้องได้รับการรักษาอย่างทันที่ทันที (Mohd et al., 2012)

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ได้มีนักวิทยาศาสตร์จากหลายแขนง ทำการวิจัยเกี่ยวกับภาวะโรคหัวใจ VT/VF โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณใน Time-frequency และ Wavelet transform เนื่องจากเทคนิค Wavelet transform สามารถวิเคราะห์หาพลังงานและยังสามารถอธิบายลักษณะของสัญญาณที่ไม่คงที่ได้ ดังนั้น Wavelet transform จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีความละเอียดสูง (Khadra et al., 1997)

งานวิจัยนี้ ใช้เทคนิค Continuous wavelet transform (CWT) ในการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ (Normal sinus rhythm: NSR) และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติชนิด VT/VF คำนวณหาค่าพลังงาน จากนั้นใช้เวฟเลตเอนโทรปี (Wavelet entropy) ในการอธิบายลักษณะของสัญญาณ ECG ระหว่างคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและ VT/VF

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ และภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ
2. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ
3. เพื่อจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ และภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ

วิธีการวิจัย

การรวบรวมข้อมูล

สัญญาณ ECG ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จาก MIT-BIH Normal sinus rhythm database และ MIT-BIH ventricular tachyarrhythmia database (Physionet, 2011) สัญญาณมี sampling frequency เท่ากับ 128 Hz และ 250 Hz ตามลำดับ

Continuous Wavelet Transform

Wavelet transform ถูกใช้ในงานวิจัยในหลายๆ ด้าน รวมถึงงานทางด้านการประมวลสัญญาณชีวการแพทย์ (Biomedical signal processing) จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในการศึกษาทางด้านหัวใจในการวิเคราะห์สัญญาณ ECG (Ruiz et al., 2004) จากทฤษฎีการแปลงสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตทำได้โดยการนำกลุ่มของเวฟเลตที่มีโครงสร้างเดียวกันเป็นตัวอธิบาย โดยเวฟเลตแม่ สามารถสร้างกลุ่มของสัญญาณ $\psi_{a,b}$ จากการบิดหรือการหดของสัญญาณเวฟเลตแม่ $\psi(t)$ ดังสมการที่ 1

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

CWT สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2

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

$s(t)$ คือ สัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์

$\psi(t)$ คือ เวฟเลตแม่ (Mother wavelet)

a คือพารามิเตอร์ของการปรับสเกล (Scaling)

b คือพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

เวฟเลตแม่จะถูกนำมาใช้สร้างสัญญาณเวฟเลตย่อยๆ ในตระกูลเดียวกัน โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สเกล พร้อมกันนี้จะมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่งด้วยขณะที่มีการวิเคราะห์สัญญาณ โดยสัญญาณจะถูกวิเคราะห์ในแกนเวลาและสเกลโดเมน ดังนั้นการวิเคราะห์สัญญาณด้วย CWT จะถูกอธิบายใน Time-scale domain จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณที่ค่าสเกลต่างๆ ตามแกนเวลา โดยที่สเกลค่าต่ำ จะสอดคล้องกับส่วนประกอบความถี่สูงของสัญญาณ ขณะที่ค่าสเกลสูง จะสอดคล้องกับส่วนประกอบความถี่ต่ำของสัญญาณ ถ้าหากสัญญาณมีส่วนประกอบความถี่สูง จะถูกวิเคราะห์ได้ดีที่ค่าสเกลต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าหากสัญญาณมีส่วนประกอบความถี่ต่ำ จะถูกตรวจจับได้ดีที่สเกลค่าสูง ดังนั้น Wavelet transform สามารถวิเคราะห์ส่วนประกอบที่มีความถี่ของสัญญาณ ได้ทั้งความถี่ต่ำและสูง การเลือกใช้เวฟเลตแม่จึงมีความสำคัญอย่างมากเพื่อการวิเคราะห์สัญญาณที่ดีที่สุด

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Wavelet ตระกูล Daubechies2 ในการวิเคราะห์สัญญาณ และเวฟเลตแม่ตระกูลนี้ได้ถูกตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณที่มีความละเอียดสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Chissanuthat, Weerasak, 2008)

Wavelet Entropy

แนวคิดในการนำเวฟเลตเอนโทรปี (Wavelet entropy) มาใช้ในการจำแนกความผิดปกติในระบบ (Baodan, Yuanyuan, 2011) มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง สัญญาณ ECG ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CWT หลังการวิเคราะห์ข้อมูล จะได้สัมประสิทธิ์ของ CWT จากสมการที่ 2 จากนั้นนำไปคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานของ CWT พลังงานของ CWT (E_{ij}) ของ

สัญญาณ ECG ใน Time-scale domain ถูกคำนวณในแต่ละช่วงเวลา i และสเกล j จากนั้นความน่าจะเป็นในการกระจายตัวของพลังงานในแต่ละสเกลถูกกระทำดังสมการที่ 3

$$P_{ij} = \frac{E_{ij}}{E_i} \quad (3)$$

P_{ij} คือความน่าจะเป็นในการกระจายตัวของพลังงาน

E_{ij} คือพลังงานที่เวลา i และสเกล j

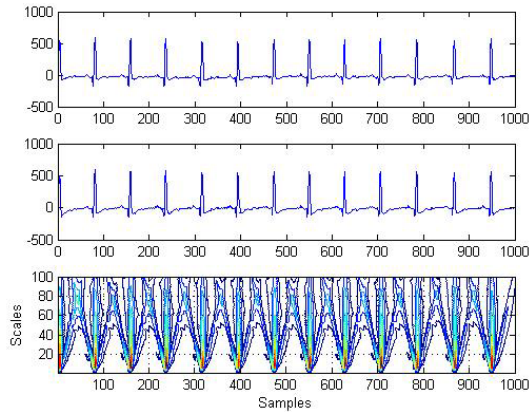
E_i คือพลังงานที่เวลา i

Wavelet entropy (W) สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 4

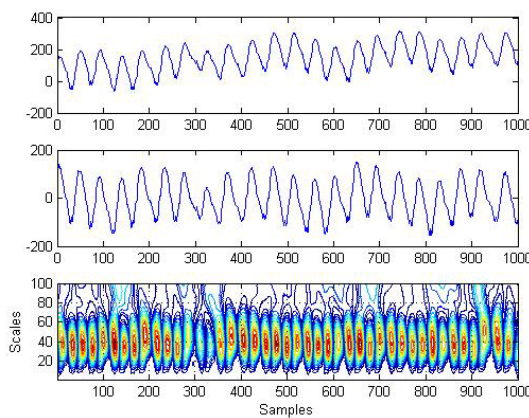
$$W = -\sum_{j=1}^N P_{ij} \times \log_2 P_{ij} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

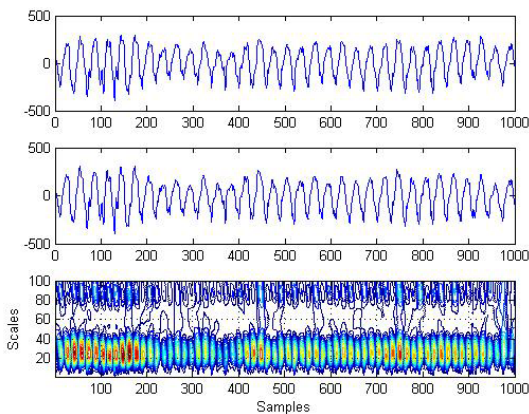
จากภาพที่ 1 แสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจปกติ (NSR) ซึ่งภาพที่ 1 ด้านบนคือสัญญาณที่ได้จาก MIT-BIH Normal sinus rhythm database แสดงการวิเคราะห์สัญญาณ 1000 ข้อมูล จะเห็นว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเด่นอย่างสม่ำเสมอ เป็นจังหวะ และมี QRS complex ที่ชัดเจน ส่วนภาพที่ 1 ตรงกลาง เป็นสัญญาณที่ผ่าน High pass filter ที่มี Cutoff frequency เท่ากับ 0.5 Hz และภาพที่ 1 ด้านล่าง เป็นสัญญาณที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CWT สัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ถูกพล็อตลงบนแกน x คือจำนวนข้อมูลแกน y คือสเกล และอธิบายพลังงานและส่วนประกอบความถี่ด้วยภาพ Contour จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณ NSR มีส่วนประกอบความถี่ของ QRS complex ที่สเกลต่ำ ในช่วง 10-30 และส่วนประกอบความถี่ของคลื่น P และ T จะเห็นได้ในช่วงสเกลสูงๆ



ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์สัญญาณ NSR



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณ VT



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์สัญญาณ VF

จากภาพที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติชนิด VT ซึ่งภาพที่ 2 ด้านบน คือสัญญาณที่ได้จาก MIT-BIH ventricular tachyarrhythmia database แสดงการวิเคราะห์สัญญาณ 1000 ข้อมูล จากภาพจะเห็นว่า

สัญญาณหัวใจเต้นเร็วไม่เป็นจังหวะ มีช่วง QRS กว้าง และไม่มีคลื่น P ส่วนภาพที่ 2 ตรงกลาง เป็นสัญญาณที่ผ่าน High pass filter ที่มี Cutoff frequency 0.5 Hz และภาพที่ 2 ด้านล่างเป็นสัญญาณที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CWT สัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ถูกพล็อตลงบนแกน x คือจำนวนข้อมูล แกน y คือสเกล และอธิบายพลังงานและส่วนประกอบความถี่ด้วยภาพ Contour จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณ VT มีส่วนประกอบความถี่ในช่วงสเกล 20-60 ซึ่งมีสเกลที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณ NSR

ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติชนิด VF ภาพที่ 3 ด้านบน ใจัดจากร MIT-BIH ventricular tachyarrhythmia database แสดงการวิเคราะห์สัญญาณ 1000 ข้อมูล จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเต้นเร็วมาก ไม่มีช่วงคลื่น QRS complex และไม่มีคลื่น P ส่วนภาพที่ 3 ตรงกลาง เป็นสัญญาณที่ผ่าน High pass filter ที่มี Cutoff frequency 0.5 Hz และภาพที่ 3 ด้านล่าง เป็นสัญญาณที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CWT สัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ถูกพล็อตลงบนแกน x คือจำนวนข้อมูล แกน y คือสเกล และอธิบายพลังงานและส่วนประกอบความถี่ด้วยภาพ Contour จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณ VF มีส่วนประกอบความถี่ในช่วงสเกล 20-40 ซึ่งมีสเกลที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณ NSR

ภาพที่ 1 ภาพที่ 2 และภาพที่ 3 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ CWT ในช่วงสเกล 1-100 จะพบว่าสัญญาณ NSR มีพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงสเกล 10-30 สัญญาณ VT มีพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงสเกล 20-60 และสัญญาณ VF มีพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงสเกล 20-40

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เอนโทรปีในการจำแนกสัญญาณ NSR และสัญญาณ VT/VF จึงได้ลองเลือกใช้สเกลในช่วง 20-30 และนำสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปคำนวณพลังงานทั้งหมดของแต่ละช่วงเวลา โดยพลังงานรวมทั้งหมดถูกคำนวณแต่ละช่วงสเกลและช่วงเวลา ดัง

สมการที่ 3 จากนั้นการคำนวณ Wavelet entropy ได้ถูกกระทำดังสมการที่ 4 และหาค่า Normalized wavelet entropy ของสัญญาณ

ภาพที่ 4 แสดงการพล็อต CWT entropy ของสัญญาณ ECG จากภาพที่ 4 สามารถสังเกตความแตกต่างของเวฟเลตเอนโทรปีระหว่าง NSR และสัญญาณ VT/VF ได้ว่าเวฟเลตเอนโทรปีของสัญญาณ NSR (แสดงด้วยเครื่องหมาย X) มีแนวโน้มต่ำ ในทางกลับกันพบว่าช่วง Wavelet entropy ของสัญญาณ VT/VF (แสดงด้วยเครื่องหมาย O และ □ ตามลำดับ) มีแนวโน้มสูง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อัลกอริทึมพื้นฐานของ CWT entropy และ Threshold ที่เหมาะสมของค่า Normalized CWT entropy ในการแยกสัญญาณ NSR และสัญญาณ VT/VF โดยทดลองเลือกค่า Threshold ที่ 0.352 ดูจากเส้นประในภาพที่ 4

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

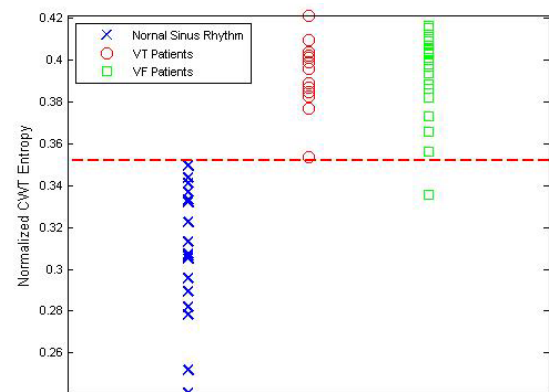
ภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติเป็นอันตรายมากอาจนำไปสู่ภาวะหัวใจหยุดเต้นแบบเฉียบพลัน ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณ VT/VF จึงมีความสำคัญมาก เพื่อการรักษาผู้ป่วยได้อย่างทันเวลาที่

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิค CWT ในการวิเคราะห์สัญญาณ ECG ระหว่างการเกิดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติและภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ จากนั้นได้ใช้ข้อมูล Wavelet entropy ซึ่งได้มาจากการคำนวณสัมประสิทธิ์ของ Wavelet จากพื้นฐาน CWT entropy มีประโยชน์อย่างมากในการอธิบายลักษณะของสัญญาณ NSR และ VT/VF และพบว่า Wavelet entropy จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ VT/VF มีค่าที่แตกต่างจากสัญญาณ Normal sinus rhythm

เอนโทรปีจะสัมพันธ์กับระดับของความผิดปกติของสัญญาณ ถ้าสัญญาณมีความปกติที่เป็นระเบียบ เอนโทรปีจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าสัญญาณมีความผิดปกติหรือไม่มีความเป็นระเบียบมาก เอนโทรปีจะมีค่าสูง การอธิบายลักษณะ Wavelet entropy ของ

สัญญาณ ECG ระหว่าง NSR และ สัญญาณ VT/VF สามารถอธิบายได้จากค่าเอนโทรปีของเวฟเลต จากภาพที่ 4 ผลการศึกษาพบว่าสัญญาณ VT/VF มีค่าเวฟเลตเอนโทรปีสูงกว่าสัญญาณ NSR

ทีมงานวิจัยได้ใช้พลังงานงานของเวฟเลตในการจำแนกสัญญาณ NSR และสัญญาณ Ventricular arrhythmias ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อัลกอริทึมพื้นฐานของเวฟเลตเอนโทรปีในการพัฒนาการจำแนกสัญญาณ ดังผลการทดลองจากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้อัลกอริทึมนี้สำหรับการจำแนกสัญญาณได้และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้งานวิจัยยังคงดำเนินต่อไปเพื่อเปรียบเทียบและพัฒนาอัลกอริทึมให้สมบูรณ์สำหรับการจำแนกภาวะโรคหัวใจเต้นเร็วผิดปกติ



ภาพที่ 4 ผลการจำแนกสัญญาณ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาสองท่าน คือ รศ.ดร. ชัยฤทธิ์ บวรลือโชคชัย และ รศ.ดร. วีระศักดิ์ อัสววงค์อารยะ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาระหว่างการดำเนินงานด้วย ขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- Baodan Bai, Yuanyuan Wang. Ventricular Fibrillation Detection based on empirical mode decomposition. In: Bioinformatics and Biomedical Engineering. New York: IEEE; 2011. p. 1-4
- Bunluechokchai, C., Ussawongaraya, W. Wavelet Detection of Ventricular Tachycardia. The journal of KMUTNB 2008; 18(2): 1-6.
- Khadra, L., al-Fahoum, AS., al-Nashash, H. Detection of life-threatening cardiac arrhythmias using the wavelet transformation. Medical Engineering & Computing [serial online] 1997; 35: 626-32.
- Mohd Afzan Othman, Norlaili Mat Safri, Ismawati Abdul Ghani & Fauzan Khairi Che Harun. Characterization of Ventricular Tachycardia and Fibrillation Using Semantic Mining. Canadian center of Science and Education [serial online] 2012; 5 (Pt5): 35-41. Physionet [online] 2011 Jan 22 [cited 2014 Nov 12]. Available from: <http://www.physionet.org>
- Ruiz de Gauna, S., Lazkano, A., and Aramendi, E. Discrimination between Ventricular Tachycardia and Ventricular Fibrillation Using the Continuous Wavelet Transform. In: Computer in Cardiology. New York: IEEE; 2004. p. 21-24.