

ช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจและการเฉลี่ยสัญญาณ

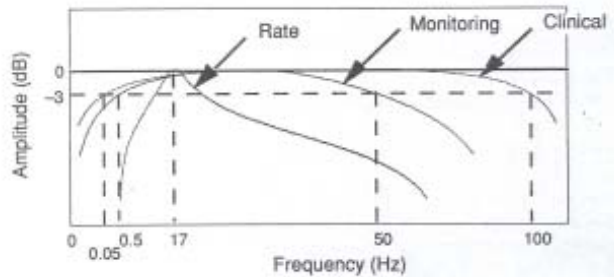
ECG Frequency Bandwidth and Signal Averaging

พีเชษฐ พงศาภักดิ์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล

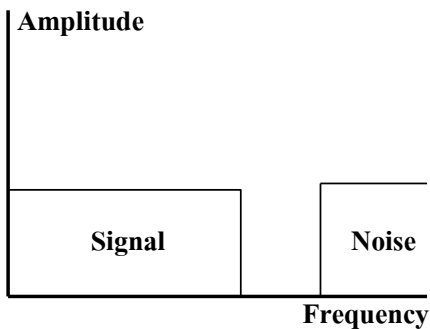
คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ

สัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ (ECG signal) สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ช่วงความถี่ (bandwidth) ดังแสดงในรูปที่ 1 ช่วงความถี่แรก เพื่อการใช้งานมาตรฐานด้านคลินิกในการบันทึกและวิเคราะห์สัญญาณ 12-lead ECG จะมีช่วงความถี่ 0.05-10 Hz ช่วงความถี่ที่สอง สำหรับการใช้งานเฝ้าติดตาม (monitoring) จะมีช่วงความถี่ 0.5-50 Hz เพื่อติดตามลักษณะจำเพาะและจังหวะการเต้นของหัวใจ หรือเมื่อจังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติ (arrhythmias) ซึ่งช่วงความถี่นี้จะลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่สูงอันเกิดจากกล้ามเนื้อหดตัว (EMG noise) และลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำที่เกิดจากการขยับของอิเล็กโทรดทำให้เส้นพื้นฐานขยับ (baseline changes) ช่วงความถี่ที่สาม การใช้งานตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate meters, cardiotachometers) ซึ่งช่วงความถี่นี้จะให้สัญญาณ QRS complex ผ่านไปเท่านั้นและลดทอนสัญญาณความถี่อื่นหมด ทำให้ ECG signal ที่ได้จากช่วงความถี่นี้ผิดเพี้ยนอย่างมาก ไม่ควรใช้เพื่อการวิเคราะห์ผล จึงเหมาะสมสำหรับใช้วัดอัตราเต้นของหัวใจเท่านั้น นอกจากนี้ ยังมีช่วงความถี่ที่ครอบคลุมถึง 500 Hz สำหรับใช้งานเฉพาะในการตรวจวัดสัญญาณ ventricular late potentials ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่สูงขนาดเล็ก (small high frequency) กล่าวคือความแรงของสัญญาณต่ำเป็นไมโครโวลต์ (microvolt) ที่ความถี่สูงถึง 500 Hz สัญญาณไฟฟ้านี้จะเกิดขึ้นตามหลัง QRS complex

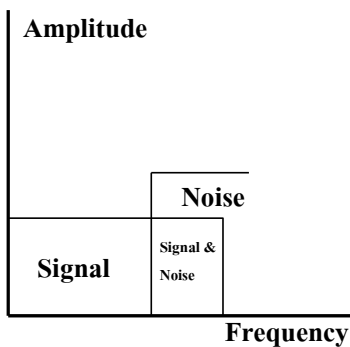


รูปที่ 1 แสดงช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อการวิเคราะห์ทางคลินิก การเฝ้าติดตาม และการใช้งานตรวจวัดอัตราเต้นหัวใจซึ่งจากข้อมูลส่วนมากของคนปกติ ทั่วไปจะได้ signal to noise ratio มากสุดที่ความถี่ประมาณ 17 Hz

ในขณะที่ทำการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ อาจมีสัญญาณรบกวนมาก เมื่อสัญญาณรบกวนเป็นแบบไม่แน่นอน (random noise) ปะปนอยู่กับสัญญาณ ECG จะทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่แท้จริงต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) มีค่าต่ำมากจนไม่สามารถใช้วิเคราะห์ผลได้ถูกต้อง การขจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณ ECG อาจนำวิธีการใช้หลักการกรองความถี่แบบธรรมดา (conventional filtering) ได้ในกรณีที่มีความถี่สัญญาณที่แท้จริงและสัญญาณรบกวนไม่ทับซ้อนกันดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อความถี่สัญญาณที่แท้จริงและสัญญาณรบกวนบางส่วนทับซ้อนกัน ดังในรูปที่ 2.2 จะไม่สามารถใช้การกรองความถี่แบบธรรมดาโดยไม่ทำให้สัญญาณที่แท้จริงบางส่วนสูญเสียไป



รูปที่ 2.1 ความถี่สัญญาณที่แท้จริงและสัญญาณรบกวนไม่ทับซ้อนกัน สามารถใช้วงจรกรองความถี่แบบธรรมดาในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณที่แท้จริง



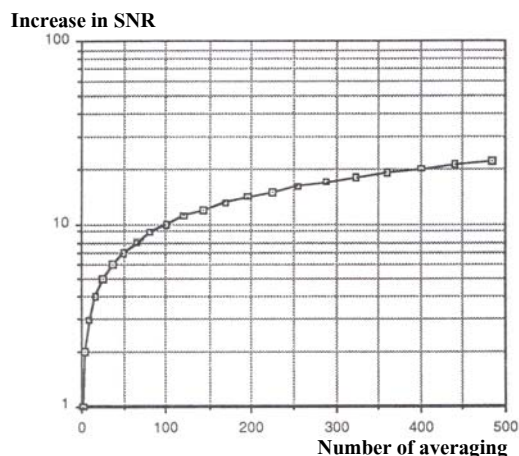
รูปที่ 2.2 เมื่อความถี่สัญญาณที่แท้จริงและสัญญาณรบกวนบางส่วนทับซ้อนกัน วงจรกรองความถี่แบบธรรมดาไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ เพราะจะมีผลกระทบต่อสัญญาณที่แท้จริงไปบางส่วน จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการที่ต่างไป

การเฉลี่ยสัญญาณ (Signal Averaging)

ในกรณีสัญญาณที่แท้จริงและสัญญาณรบกวนบางส่วนทับซ้อนกัน อาจนำวิธีการเฉลี่ยสัญญาณมาใช้ ซึ่งเป็นดิจิทัลเทคนิค (digital technique) การเฉลี่ยสัญญาณจะกระทำได้ผลดี ต่อเมื่อสัญญาณที่แท้จริงมีลักษณะสัญญาณที่เกิดซ้ำๆ (repetitive signal) แต่ไม่เป็นถึงลักษณะที่เกิดสม่ำเสมอ หรือเกิดขึ้นเท่าๆกัน (regular interval or periodic) จำนวนกลางหรือจำนวนเฉลี่ย (mean) จึงไม่ลดลง

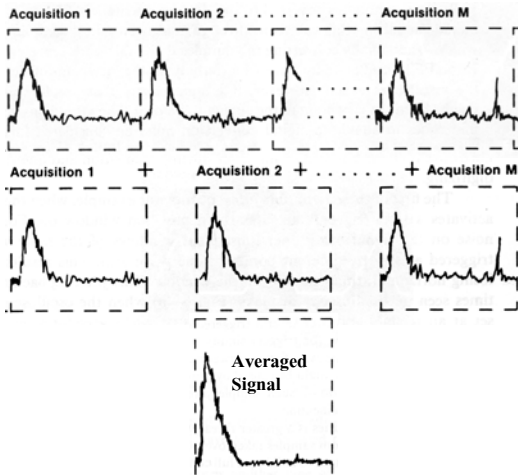
แต่สำหรับสัญญาณรบกวน (noise) ที่ปนอยู่ต้องมีลักษณะไม่แน่นอน (random) ทำให้จำนวนกลางหรือจำนวนเฉลี่ยเป็นศูนย์ (zero mean) เพราะสัญญาณรบกวนมีทั้งค่าบวกและลบแบบไม่แน่นอน ดังนั้นการเฉลี่ยสัญญาณที่มีการรบกวนแบบ random จึงไม่ทำให้สัญญาณที่ได้เกิดการบิดเพี้ยน (distortion) แต่เป็นการทำให้ค่า signal to noise ratio เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเฉลี่ยซ้ำๆกันมากขึ้น จำนวน m ครั้ง จะได้ค่าของสัญญาณที่แท้จริงต่อสัญญาณรบกวนครั้งที่ m หรือ SNR_m เพิ่มขึ้นเท่ากับรากที่สองของจำนวนครั้งในการเฉลี่ยซ้ำๆ (\sqrt{m}) นั่นคือ

$$SNR_m = \sqrt{m} SNR$$



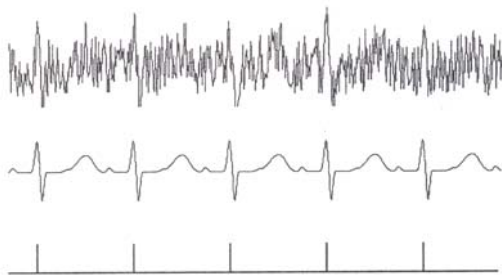
รูปที่ 3 เส้นกราฟแสดงค่าของ signal to noise ratio (SNR) เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเฉลี่ยซ้ำๆที่จำนวนครั้งมากขึ้น แต่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (nonlinear) จะให้ผลแตกต่างชัดเจนที่จำนวนครั้งในการเฉลี่ยตั้งแต่ 10-200 ครั้ง

เมื่อทำการเฉลี่ยซ้ำๆจำนวน 100 ครั้ง จะทำให้ค่า signal to noise ratio เพิ่มขึ้น 10 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3 ในการเฉลี่ยสัญญาณ กล่าวสั้นๆพอเข้าใจ คือขั้นแรก กำหนดช่วงการแบ่งสัญญาณเป็นส่วนๆ สัญญาณส่วนที่ 1 ถึง M แล้วหาผลรวมสัญญาณที่แบ่งไว้และทำการเฉลี่ยสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4

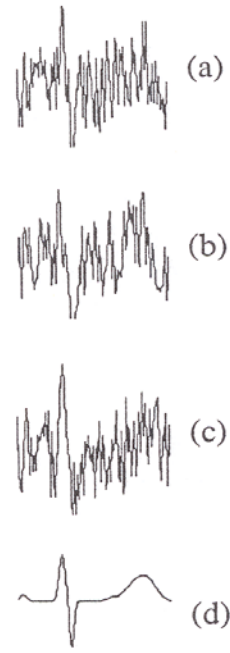


รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนสั้นๆพอเข้าใจ การเฉลี่ยสัญญาณไฟฟ้าที่สัญญาณรบกวนแบบไม่แน่นอนปนอยู่ท้ายที่สุดจะได้สัญญาณที่มีความชัดเจนขึ้น โดยมี signal to noise ratio เพิ่มมากขึ้น

ตัวอย่างการใช้เทคนิคการเฉลี่ยสัญญาณในทางการแพทย์ เช่น เมื่อนำมาใช้กับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจที่มี random noise ปนอยู่ด้วย จะทำให้ได้ ECG signal ที่ชัดเจนขึ้น ดังวิธีการที่แสดงในรูปที่ 5-1 และรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 สัญญาณบนสุดเป็น ECG signal ที่มี random noise ปนอยู่ด้วย และสัญญาณล่างสุดเป็นช่วงกำหนดการแบ่งส่วน (time-aligned) แสดงตำแหน่ง QRS สูงสุด เพื่อแบ่งส่วนย่อยๆ ในการนำไปเฉลี่ยสัญญาณ



รูปที่ 5-2 เมื่อทำการเฉลี่ยสัญญาณ ECG signal ที่มี random noise แต่ละ time-aligned ใน (a), (b), และ (c) จากรูปที่ 5-1 เพื่อทำให้ค่า SNR เพิ่มมากขึ้น ในรูป (d) ได้ค่า SNR เพิ่มขึ้น 10 เท่าเมื่อเฉลี่ยสัญญาณ 100 ครั้ง

การเฉลี่ยสัญญาณ (signal averaging) เป็นประโยชน์ในการทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีสัญญาณรบกวนที่เป็น random noise ปนอยู่ด้วย เมื่อทำการเฉลี่ยสัญญาณแล้ว จะได้สัญญาณที่แท้จริงมีค่า SNR เพิ่มมากขึ้น ทำให้ได้สัญญาณที่ชัดเจนก่อนที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลสัญญาณขั้นตอนต่อไป เพื่อให้สามารถนำไปใช้ทำการวิเคราะห์ผลในทางการแพทย์ที่ดีขึ้นแม้ว่าจะเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กน้อยมากเป็นไมโครโวลท์ก็ตาม

แหล่งข้อมูล

Berbari, EJ. Principles of Electrocardiography. In
Bronzino JD. The Biomedical Engineering
Handbook, 2nd Ed. Boca Raton CRC Press
LLC, 2000.

Lee J. Garvey. ECG Techniques and Technologies.
Emerg Med Clin N Am 24 (2006) 209-225.

Ramirez W. Robert. The FFT Fundamentals and
Concepts. 1985, Textronix, Inc., Prentice-Hall
Englewood Cliffs , New Jersey.

Tompkins, Willis J. Biomedical Digital Signal Process-
ing. 1993 p 43-47.

