ความแม่นยำของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ในผู้ใหญ่สุขภาพดี

Accuracy of a prototype of heart rate and respiratory rate measurement in healthy adults

กรอนงค์ ยืนยงชัยวัฒน์[1*], ศศิภา บูรณพันธฤกษ์[1], ขจรศักดิ์ พงษ์พานิช[1], สุเมธี ธนังกุล[2]

Kornanong Yuenyongchaiwat[1*], Sasipa Buranapuntalug[1], Khajonsak Pongpanit[1], Sumethee Thanungkul[2]

[1]ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล

[1] Department of Physiotherapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

[2] Center for Biomedical Instrument, Institute of Molecular Biosciences, Mahidol University

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: มีการศึกษามากมายที่รายงานผลของการหายใจแบบช้า-ลึก สามารถลดความดันโลหิตได้ นอกจากนี้มีรายงานว่าเครื่องวัดอัตราการหายใจซึ่งถูกนำมาใช้ในการฝึกการหายใจแบบช้า-ลึก สามารถลดความดันโลหิตได้ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือดังกล่าวมีราคาแพงและสามารถวัดได้เพียงอัตราการหายใจ แต่ไม่สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

วัตถุประสงค์: เพื่อการสร้างเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและ อัตราการหายใจ และศึกษาความแม่นยำของการวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจในกลุ่มผู้ใหญ่สุขภาพดี

วิธีการ: อาสาสมัคร จำนวน 30 คนถูกวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจด้วยเครื่อง Electrocardiography (ECG) รุ่น Philips Intellivue MP20 bedside monitor และเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและ อัตราการหายใจทำการบันทึกค่าการเต้นของหัวใจและการหายใจเป็นเวลา 10 นาที

ผลการศึกษา: จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจมีความแม่นยำเมื่อเทียบกับเครื่อง ECG monitor นอกจากนี้ ค่าอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจในอาสาสมัครจำนวน 30 คน ที่มีอายุเฉลี่ย 32.07 ± 11.58 ปี ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจไม่แตกต่างกับการวัดด้วยเครื่อง ECG monitor โดยมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ -2.03% สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจ และ 1.35% สำหรับอัตราการหายใจ

สรุปการศึกษา: เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ มีความถูกต้องในการวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจ นอกจากนี้เครื่องต้นแบบนี้ น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่ง ในการส่งเสริมการฝึกการหายใจและวัดอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจได้

ABSTRACT

Background: A several studies have been reported that slow and deep breathing could be decreased blood pressure (BP). Furthermore, a breathing device that promotes slow and deep breathing has been reported helping reduced BP. However, the portable electronic device is a commercial price and it detects only breathing rate not heartbeat detection.

Objectives: To develop a prototype of heart rate and respiratory rate measurement and to study the accuracy of the breathing and heart rate detector in healthy adults.

Methods: Thirty healthy participants underwent heart rate and respiratory rate monitoring by both cardiorespiratory monitor [Electrocardiography (ECG): Philips Intellivue MP20 bedside monitor] and under the prototype of breathing device. Heartbeat and breathing were recorded for 10 minute resting period.

Results: The results found that the efficiency of the prototype of heart rate and respiratory rate

*corresponding author: Kornanong Yuenyongchaiwat. Department of Physiotherapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University, Thailand. Email: ykornano@tu.ac.th, plekornanong@gmail.com

measurement had a good agreement and accuracy when comparted to ECG bedside monitor. In addition, 30 healthy volunteers aged 32.07 ± 11.58 years old who had attached the prototype of breathing device were not different from ECG monitoring and the accuracy of heartbeat was within -2.03% and 1.35% for breathing rate compared to the ECG monitoring.

Conclusion: The prototype of heart rate and respiratory rate measurement is accurate in detecting for heartbeat and breathing among healthy adults. Therefore, the prototype of heart rate and respiratory rate measurement may be an alternative device to encourage breathing training and also detect cardiorespiratory.

Keywords: Breathing, Heart rate, Assisted breathing device, Slow and deep breathing, Blood pressure

บทนำ

การฝึกควบคุมการหายใจเข้า-ออกอย่างช้าๆ (slow breathing) เป็นเทคนิคเบื้องต้นอย่างหนึ่งในการรักษาทางกายภาพบำบัด[1] ซึ่งมีการนำมาใช้ในรักษากลุ่มผู้ป่วยต่างๆ เช่น กลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะความดันโลหิตสูง กลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะเหนื่อยหอบ เพื่อควบคุมการหายใจเข้าออกให้ช้าๆ กลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) รวมถึงกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดหลอดเลือดหัวใจและศัลยกรรมทางปอด โดยเป็นการฝึกการหายใจทั้งก่อนและหลังการผ่าตัด นอกจากนี้ การใช้เทคนิคดังกล่าวยังรวมไปถึงกลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะปอดแฟบ (atelectasis) และกลุ่มที่ไม่สามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้ โดยทำการรักษาในลักษณะการออกกำลังกายโดยการหายใจลึกๆ (deep breathing exercise) โดยเป็นการรักษาที่เรียกว่า manual therapy ซึ่งมิได้มีการใช้เครื่องมือในการเข้ามาฝึกการหายใจของผู้ป่วย

นอกจากนี้ การฝึกควบคุมการหายใจเข้า-ออกอย่างช้าๆ ในรูปแบบนี้ยังเป็นการรักษาด้วยการไม่ใช่ยา (non - pharmacological treatment) อย่างหนึ่ง ที่สามารถรักษาผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตสูงได้ โดยการฝึกหายใจเข้าและออกช้าๆ สามารถส่งผลให้ค่าความดันโลหิตลดลงได้ [1-4] ส่งผลให้ลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease: CVD) และหลอดเลือดสมอง (cerebrovascular disease) โดยในปัจจุบันได้มีการฝึกหายใจรูปแบบนี้ด้วยเครื่องฝึกการหายใจ (device-guided breathing)[1-2, 5-7] นอกจากจะสามารถลดความดันโลหิตได้แล้วนั้น ยังมีการศึกษาที่สนับสนุนว่าสามารถใช้เพิ่ม cardiopulmonary endurance ในกลุ่มที่มีโรคหัวใจวายเรื้อรัง (chronic heart failure)[8-9] ในกลุ่มผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง (subacute stroke)[10] กลุ่มผู้ป่วยที่ทำการผ่าตัดหัวใจทำทางเบี่ยงหลอดเลือดหัวใจ (coronary artery bypass surgery: CABG)[11-12] การผ่าตัดเปลี่ยนลิ้นหัวใจ (valve replacement)[13] ศัลยกรรมทางทรวงอก เช่น การผ่าตัดเอาเนื้อปอดออก[14] เป็นต้น

หลักการทำงานของเครื่องช่วยฝึกการหายใจ (device-guided breathing) คือ การใช้ตัววัดสัญญาณวางบริเวณหน้าท้องเพื่อวัดอัตราการหายใจเข้าและออก โดยมีการส่งสัญญาณป้อนกลับ (feedback) ไปแสดงผลรูปสัญญาณยังผู้ที่ใช้งานทำให้เกิดการหายใจเข้าออกอย่างช้าๆ ลึกๆ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือดังกล่าวยังไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ยังต้องมีการนำเข้า เช่น เครื่องวัดอัตราการหายใจซึ่งใช้ฝึกการหายใจ (device-guided breathing exercise) รุ่น RESPeRATE® นอกจากนี้ เครื่องฝึกดังกล่าวมีเพียงแสดงค่าการหายใจ ซึ่งมิได้แสดงผลของค่าการเต้นของหัวใจ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า หากหายใจที่ช้าลงจะสามารถลดอัตราการเต้นของหัวใจได้[15-16] ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ป่วยได้เรียนรู้และป้อนกลับ (feedback) ไปยัง

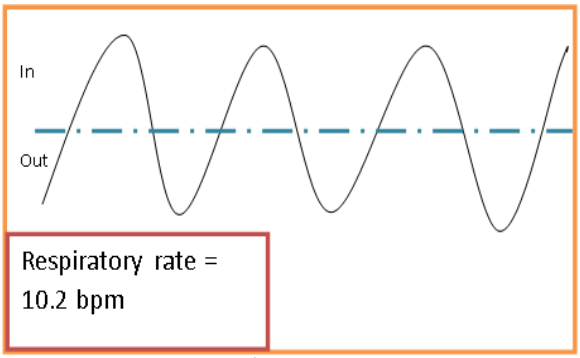
ผู้ป่วยได้เห็นผลของการฝึกการหายใจมากยิ่งขึ้น ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ซึ่งสามารถวัดการหายใจและการเต้นของหัวใจ เพื่อที่จะนำเครื่องต้นแบบนี้ไปสู่การฝึกการหายใจสำหรับการลดความดันโลหิตต่อไป

<u>วัตถุประสงค์การวิจัย</u>

เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ และศึกษาความแม่นยำของเครื่องต้นแบบในการวัดอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจในกลุ่มผู้ใหญ่สุขภาพดี

<u>กรอบแนวคิดการวิจัย</u>

ปัจจุบันเครื่องมือสื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน หรือ tablet ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความสะดวก พกพาได้ง่าย นอกจากนี้ เครื่องมือสื่อสารดังกล่าวยังถูกนำมาพัฒนาโดยการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในทางการแพทย์ เช่น โปรแกรมการวัดค่าการเต้นของหัวใจ (heartbeat detector) โดยการใช้ปลายนิ้วสัมผัสผ่านที่บริเวณกล้องตัวหลัง ซึ่งพบว่ามีความแม่นยำ (accuracy) สามารถวัดค่าการเต้นของหัวใจได้ เช่นเดียวกับการใช้ เครื่อง electrocardiogram (ECG)[17] จากแนวความคิดดังกล่าวเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานทางการแพทย์ ร่วมกับการใช้เครื่องมือที่สามารถพกพาได้ง่าย จึงเกิดแนวคิดในการสร้างเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ที่สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ ซึ่งเป็นการให้ผู้ใช้งานเกิดการเรียนรู้การหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจและฝึกการหายใจ แบบช้าๆ โดยพบว่า ด้วยรูปแบบการหายใจดังกล่าวจะสามารถลดความดันโลหิตได้[1-7] จึงพัฒนาโปรแกรมการแสดงผลการหายใจ และการเต้นของหัวใจ จากหน้าจอมอนิเตอร์ของ tablet พร้อมกับแสดงรูปสัญญาณการหายใจให้ผู้ฝึกได้เกิดการเรียนรู้การหายใจให้ช้าๆ ซึ่งเป็นลักษณะการ feedback กลับไปยังผู้ฝึก ด้วยตัวเลขและรูปภาพซึ่งแสดงถึงจังหวะในการหายใจเข้า-ออก โดยมีสายคาดที่บริเวณหน้าท้อง ซึ่งจะจับจังหวะการขยายและการหดสั้นของตัว sensor เมื่อหายใจเข้าและออก โดยสัญญาณการขยายและหดนี้จะส่งข้อมูลไปยัง tablet ทำให้ผู้ฝึกเห็นการเปลี่ยนแปลง แบบ real time ทำให้เป็นการป้อนข้อมูลย้อนกลับไปยังผู้ฝึกอีกทางหนึ่ง (รูปที่ 1)

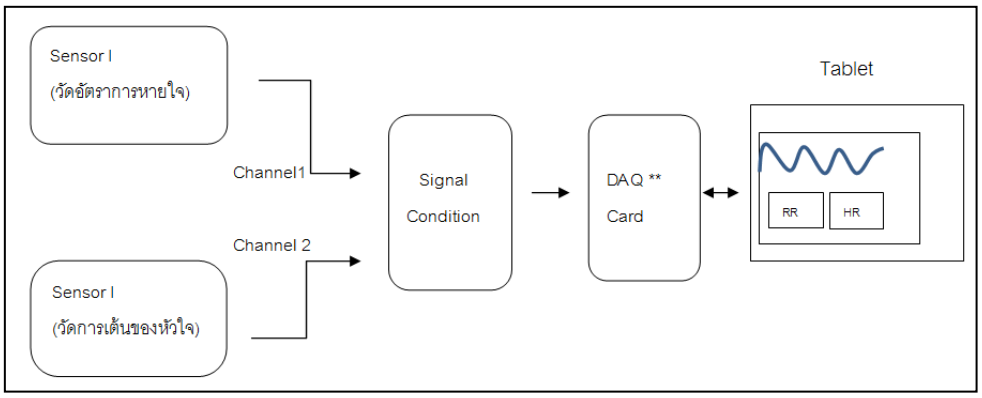


รูปที่ 1 แสดงหน้าจอเครื่องวัดสัญญาณการหายใจของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ

วิธีการวิจัย

<u>วิธีดำเนินการวิจัย</u>

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องการสร้างเครื่องวัดอัตราการหายใจ ที่สำหรับฝึกการหายใจ (device-guided breathing)
2. ออกแบบและสร้างเครื่องวัดสัญญาณหายใจและสัญญาณการเต้นของหัวใจ โดยดำเนินการร่วมกับผู้เชี่ยวชาญที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาอุปกรณ์ชีวการแพทย์
3. ดำเนินการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ อิเล็คทรอนิกส์ วงจรสัญญาณไฟฟ้า กล่องประกอบเครื่องมือวัดสัญญาณหายใจและการเต้นของหัวใจ
4. ออกแบบวงจรอิเลคทรอนิกส์และเขียนโปรแกรม เพื่อแปลงจังหวะการกระเพื่อมของทรวงอก/หน้าท้องและการหายใจเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้ปรากฏออกเป็นรูปกราฟ



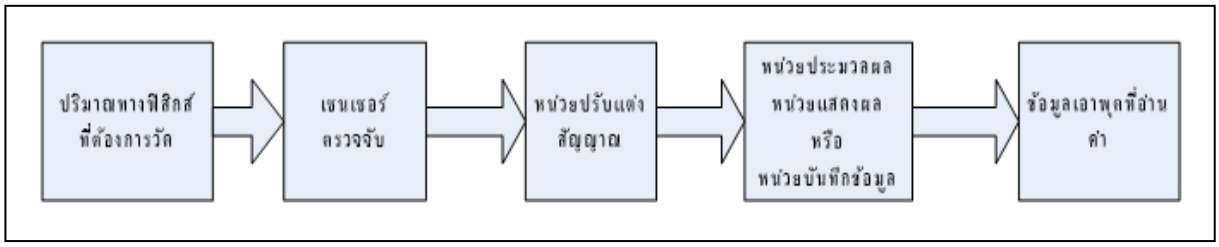
รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการประดิษฐ์

5. ออกแบบวงจรอิเลคทรอนิกส์และเขียนโปรแกรม เพื่อแปลงการเต้นของหัวใจ เป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อบอกเป็นตัวเลขให้เห็นแสดงถึงการเต้นของหัวใจ
6. ทดลองวงจรอิเลคทรอนิกส์ในข้อ 4 และ 5 ในแผงทดลองเพื่อการวัดสัญญาณการหายใจและสัญญาณการเต้นของหัวใจ ตามคุณสมบัติที่ต้องการจนได้วงจรที่ใช้งานได้จริง
7. การทำแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับสัญญาณการหายใจและการเต้นของหัวใจ รวมถึงการเขียนโปรแกรม
8. สร้างเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ซึ่งสามารถวัดสัญญาณการหายใจและการเต้นของหัวใจ
9. เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจโดยออกแบบ software, user ในการดูกราฟที่แสดงอัตราการหายใจที่เป็นสัญญาณกราฟขึ้นและลงตามจังหวะการหายใจเข้าและออก พร้อมกับการประเมินผลอัตราการเต้นของหัวใจ อย่างเป็น real time จากหน้าจอ tablet
10. ทำการทดสอบเครื่องวัดสัญญาณการหายใจ โดยสอบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจรุ่น Philips Intellivue MP20 bedside monitor (Phillips Electronics, Eindhoven, Netherlands) ซึ่งเป็นเครื่อง ECG monitor ที่สามารถวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจได้

ทั้งนี้ signal condition จะทำหน้าที่ ขยายสัญญาณของแต่ละ sensors, กรองความถี่ที่รบกวนออกรวมถึงการปรับระดับแรงดันสัญญาณ ให้เข้ากับวงจร Data Acquisitioned Card (DAQ) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณ analogue เป็น digital เพื่อประเมินค่าของอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจ โดยประมวลผลค่าของอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจเพื่อแสดงผลออก มาเป็น software (รูปที่ 2)

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ

จากหลักการของสัญญาณการเต้นของหัวใจและการหายใจ เป็นผลของ physiological function โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากสัญญาณการเต้นของหัวใจจะเกิดจากสัญญาณการทำงานของคลื่นไฟฟ้าของห้องหัวใจ นอกจากนี้การหายใจและคลื่นสัญญาณการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กัน โดยการที่คลื่นสัญญาณการเต้นของหัวใจจะส่งผลไปยังการเคลื่อนไหวของทรวงอก (respiratory movement) จากหลักการดังกล่าวการวัดสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจะต้องผ่านระบบการวัดซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลและแสดงผลหรือบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด

ดังนั้น องค์ประกอบในการวัดสัญญาณจึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน (รูปที่ 3) คือ

1. ส่วนตรวจจับสัญญาณ (sensing unit)

2. ส่วนปรับแต่งสัญญาณ (signal conditioning unit)

3. ส่วนประมวลผลและแสดงผลหรือส่วนบันทึกผลข้อมูล (display or recording unit)

วัสดุอุปกรณ์

1. ตัววัดสัญญาณการหายใจ (respiration sensor: SA 9311 M)
2. สมาร์ตโฟนหรือ tablet เพื่อเชื่อมต่อกับบลูทูธของสมาร์ตโฟนหรือ tablet ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการ Android ได้
3. วงจรปรับแต่งสัญญาณของ sensor วัดการหายใจ
4. ตัววัดสัญญาณการเต้นของหัวใจ (ECG sensor: T9307M)
5. บอร์ด IOIO-Q เป็น data acquisition card ทำหน้าที่เป็นบอร์ด input และ output เพื่อแปลงสัญญาณ analog ให้เป็นสัญญาณ digital
6. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

วิธีการสร้างเครื่องมือต้นแบบสำหรับวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจ

นำอุปกรณ์ที่เลือกมาต่อวงจรเข้าด้วยกันตามแผนผัง ตามรูปที่ 4

วิธีการสร้าง แบ่งออกเป็น สองขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์ วัสดุต่างๆ

1.1. อุปกรณ์ respiration sensor (SA 9311 M)

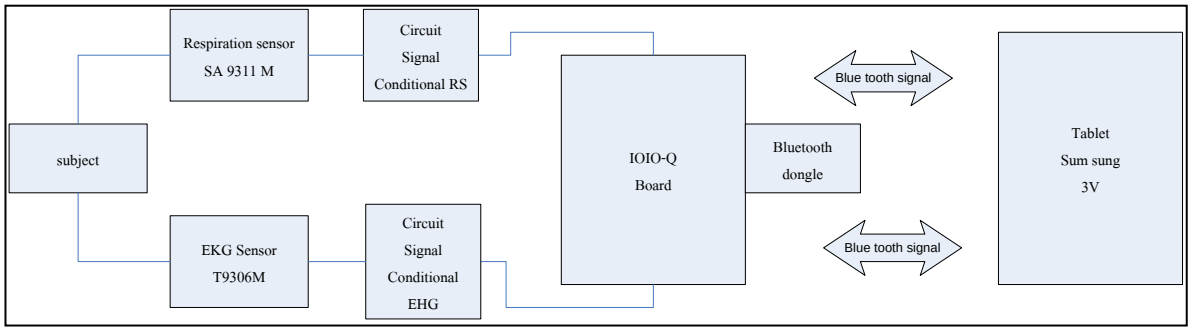
ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัด สัญญาณการหายใจที่เกิดจากการยืดและขยายของช่องท้อง ที่เกิดจากการหายใจเข้า-ออก

1.2 อุปกรณ์ ECG sensor (T9036M)

ทำการเชื่อมต่อ sensor plug โดยการต่อเข้ากับวงจรปรับแต่สัญญาณของ sensor วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ECG

1.3 กล่องติดตั้งอุปกรณ์ด้านหน้ากล่อง

เป็นช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ respiration sensor (SA 9311 M) และช่องสัญญาณอุปกรณ์ ECG sensor (T9036M) ทำการติดตั้งแผงวงจรปรับแต่งสัญญาณของเซนเซอร์วัดการหายใจ RS ภายในกล่อง โดยต่อสายสัญญาณส่งออกของวงจรนี้เข้ากับช่องรับสัญญาณ



รูปที่ 4 แสดงแผนผังอุปกรณ์ทั้งหมดที่นำมาทำเครื่องมือต้นแบบสำหรับวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจ

AN 2 ของบอร์ด IOIO-Q และวงจรปรับแต่งสัญญาณของเซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ECG โดยต่อสายสัญญาณส่งออกของวงจรนี้เข้ากับช่องรับสัญญาณ AN 12 ของบอร์ด IOIO-Q ซึ่งบอร์ดนี้จะประกอบด้วย Bluetooth dongle โดยบอร์ดจะรับสัญญาณและประมวลผลส่งข้อมูลของทั้ง 2 แบบ โดยผ่าน Bluetooth dongle ไปยัง ภาครับส่ง Blue tooth ของ Galaxy Tab 3V

1.4 Galaxy Tab 3V

ทำการสร้างโปรแกรม software ที่เรียกว่า Application software ซึ่งที่หน้าจอ tablet นี้จะสามารถแสดงรูปกราฟการหายใจพร้อมสเกลค่า amplitude และสเกลค่าเวลาในการหายใจ โดยแสดงค่าการหายใจเป็นหน่วยครั้งต่อนาที ขณะเดียวกันก็จะมีข้อมูลแสดงการเต้นของหัวใจมีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที นอกจากนี้ ยังสามารถบันทึกผลข้อมูล parameter ต่างๆ ไว้เป็นไฟล์ Excel

1.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

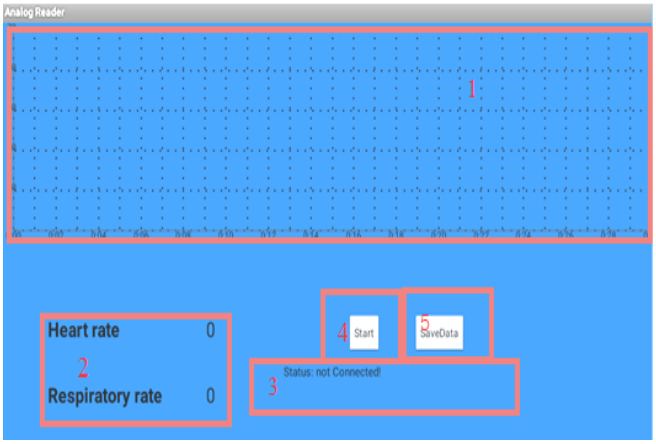
ใช้แบตเตอรี่ 2 ชุดๆ ละ 2 ก้อน พร้อมวงจร charge ไฟฟ้าและลดสัญญาณรบกวนอีกชุดละ 1 วงจร โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน ซึ่งแบตเตอรี่ชุดที่ 1 ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด8.5 โวลต์ สำหรับวงจร Sensor วัดการเต้นของหัวใจ T9306M และแบตเตอรี่ชุดที่ 2 ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 8.5โวลต์สำหรับวงจร Sensor วัดการหายใจ SA9311M

2. การออกแบบโปรแกรมและขั้นตอนการสร้าง Application software

จากการอ่านข้อมูลของ respiratory sensor และ ECG sensor จะถูกนำมาแปลงจากค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะของ respiration sensor และ ECG sensor (simplified transfer function) แล้วนำมาแสดงในรูปแบบกราฟ แบบ real-time จากนั้น คำนวณหาอัตราการหายใจ และอัตราการเต้นของหัวใจ หน่วยเป็นครั้งต่อนาที (bpm) มาแสดงผลที่หน้าจอ โดยที่ จะมีเสียงร้องเตือน เมื่อมีการหายใจเกิน 30 ครั้งต่อนาที (bpm) และสามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบ Text file ได้ โดยที่ระบบจะบันทึกข้อมูลหลังจากที่ผู้ใช้กดบันทึกข้อมูลนาน 30 นาที

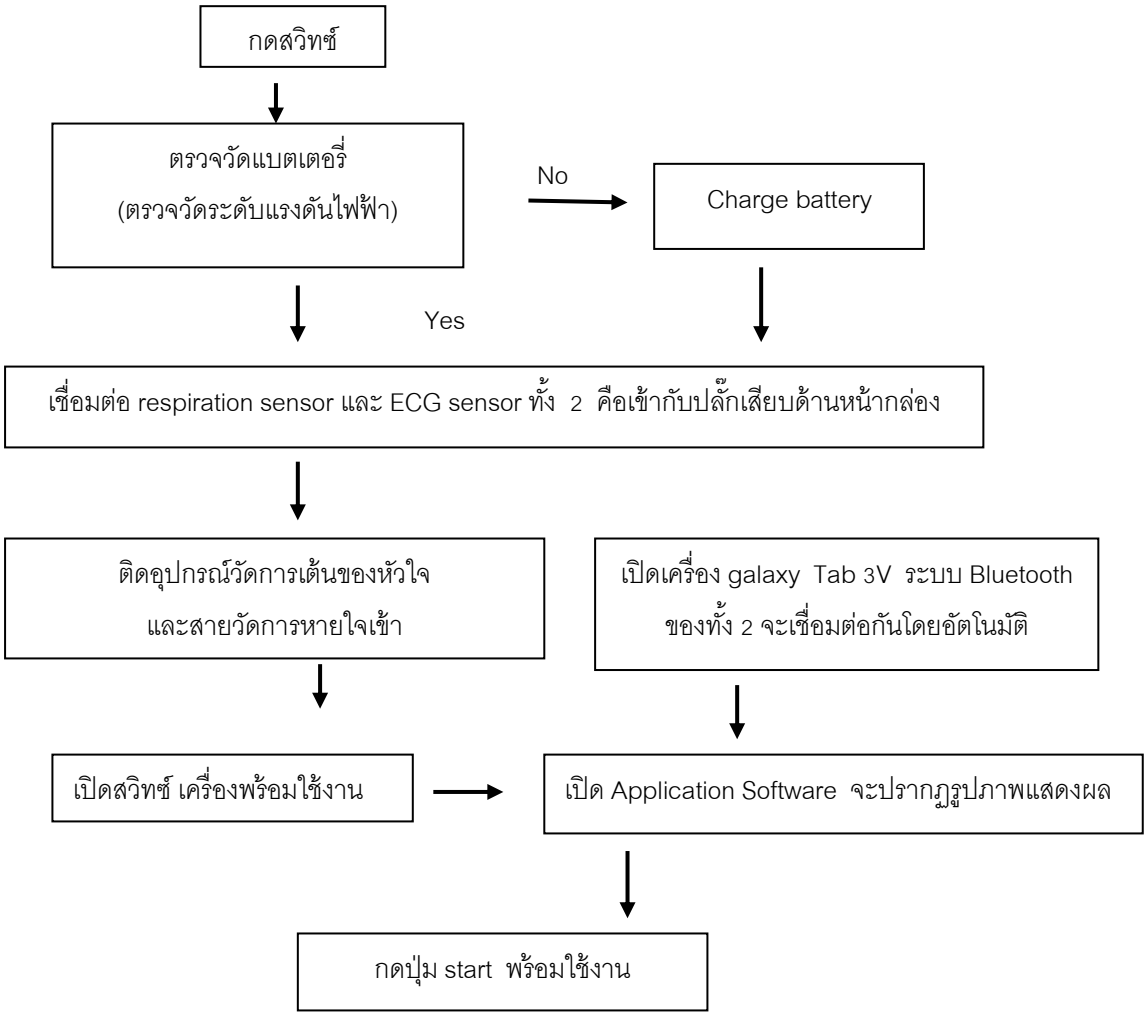
ข้อมูลที่นำเข้ามาเป็นข้อมูลที่มาจาก respiration sensor ซึ่งผ่าน simplified transfer function แล้วนำมา plot จุดของข้อมูลลงบนสเกลกราฟที่ได้สร้างไว้ โดยค่าของแกน X แสดงเวลา และค่าแกน Y แสดงเปอร์เซ็นต์ของการหายใจ

ข้อมูลทั้งสัญญาณการหายใจและสัญญาณการเต้นของหัวใจ จะเป็นสัญญาณข้อมูลซึ่งส่งผ่านทาง USB dongle ของบอร์ด IOIO-Q ในรูปสัญญาณ Bluetooth และไปยังภาครับส่งผ่าน Bluetooth ของ Galaxy Tab 3V เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ Android สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทาง port USB โดยใช้ USB dongle



รูปที่ 5 แสดงลักษณะหน้าจอของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ

โดยที่ปรากฏบนหน้าจอ tablet จะแสดงถึงตัว application software ซึ่งประกอบไปด้วย การแสดงกราฟแบบ real-time (หมายเลข 1) ข้อมูลอัตราการหายใจ และอัตราการเต้นของหัวใจ (หมายเลข 2), สถานะของโปรแกรมในการได้เชื่อมต่อ Bluetooth และ



รูปที่ 6 แสดงวิธีการใช้งานของเครื่องต้นแบบ

สถานะการบันทึกข้อมูลเ (หมายเลข 3) ปุ่มเริ่มการทำงานของโปรแกรม และสามารถหยุดโปรแกรมได้ด้วย (หมายเลข 4) และปุ่มบันทึกข้อมูล (หมายเลข 5) โดยวิธีการใช้งานเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ดังแสดงในรูปที่ 6

ผลการวิจัย

ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

<u>คุณลักษณะของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ</u> ดังรูปที่ 7

เครื่องต้นแบบการวัดการหายใจ หลังจากผ่านการปรับปรุง แก้ไข จากผู้เชี่ยวชาญ และทำให้มีขนาดที่กระทัดรัดขึ้น นั้น พบว่ามีคุณลักษณะดังนี้

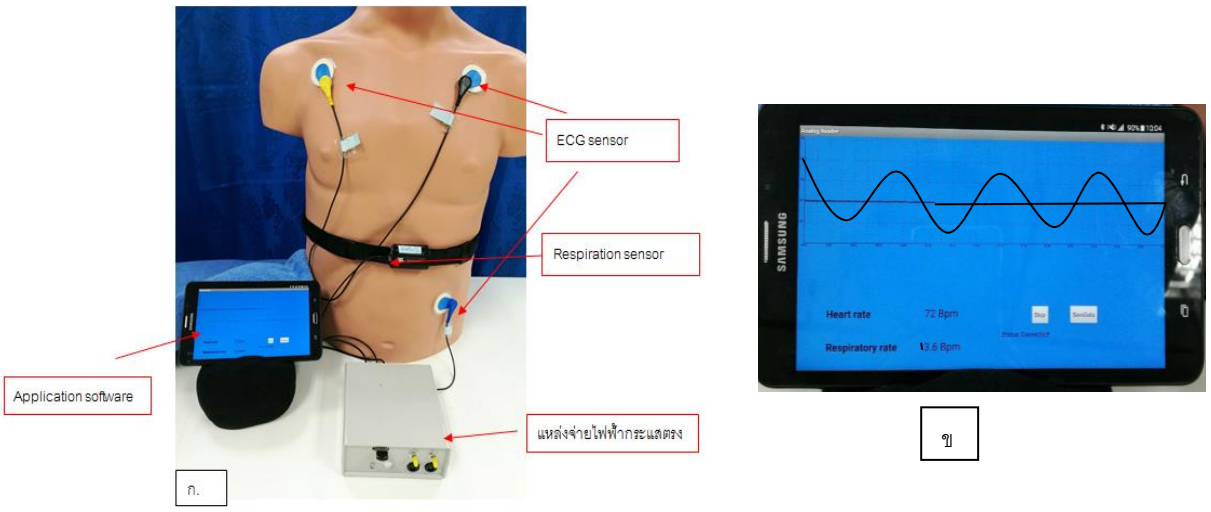
1. สามารถวัดการหายใจ จากตัวสัญญาณ respirator sensor ซึ่งจับสัญญาณการกระเพื่อม/การเคลื่อนไหวที่บริเวณท้อง ในขณะที่มีการหายใจเข้า-ออก
2. สามารถวัดการเต้นของหัวใจ จากตัวสัญญาณ ECG sensor ซึ่งจับสัญญาณการเต้นของหัวใจจากการติด lead ECG ที่บริเวณหน้าอก (chest lead) ทั้งสามจุด

3. ภาพที่หน้าจอของ tablet จะประมวลผล และแสดงออกเป็นทั้งภาพการเคลื่อนไหวและตัวเลขที่สามารถมองได้เห็นชัด
   3.1. หน้าจอของ tablet เป็นรูปกราฟขึ้น-ลง ตามจังหวะการหายใจเข้า-ออก ซึ่งเป็นสัญญาณ real time ตามจังหวะที่มีการหายใจในขณะนั้นๆ
   3.2. หน้าจอแสดงค่าเป็นตัวเลขสำหรับอัตราการหายใจ ซึ่งมีหน่วยเป็นทศนิยมหนึ่งจุด ทำให้มีความละเอียดในการนำไปใช้ในการฝึกการหายใจต่อไป รวมถึงตัวเลขแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ
4. สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้นานถึง 30 นาที รวมถึงมีสัญญาณป้อนกลับในกรณีที่มีอัตราการหายใจมากกว่า 30 ครั้งต่อนาที โดยจะมีสัญญาณเตือนเป็นเสียง
5. สามารถทำการบันทึกผลข้อมูล โดยเป็นไฟล์ Excel ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ยังคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ๆ ได้
6. มีความถูกต้องและแม่นยำสูง ของตัวสัญญาณ respiration sensor (SA9311M) และ ECG sensor (T9036M) เนื่องจาก เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่มีค่าความเที่ยงตรงและถูกต้อง[18]
7. มีความปลอดภัยสูงและลดสัญญาณรบกวนของทั้งการวัดการหายใจและการเต้นของหัวใจ เนื่องจากใช้แบตเตอรี่คนละชุด จำนวน 2 ชุด โดยเป็นแบตเตอรี่ลิเธียม ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 8.5 โวลต์ ที่สามารถนำกลับมา charge ไฟได้หลายครั้ง

<u>การทดสอบเครื่องมือ</u>

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบนี้เป็นการทดสอบในอาสาสมัครจำนวน 30 คน เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการอ่านของเครื่องต้นแบบวัดการหายใจกับเครื่องวัดสัญญาณ ECG ซึ่งเป็น ECG monitor ที่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย (portable monitor)

อาสาสมัครในการทดสอบ อายุระหว่าง 20-60 ปี จำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิงที่มีสุขภาพดี โดยมีเกณฑ์การคัดออกคือ มีประวัติอาการ unstable angina ภาวะของกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial infarction) ซึ่งได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์เกิดขึ้นภายในเวลาหนึ่งเดือนก่อนทำการทดสอบ อัตราชีพจรขณะพักมากกว่า 120 ครั้ง/นาที มีความดันเลือด systolic อยู่ระหว่างพักมากกว่า 180 mmHg และ/หรือ ความดันเลือด diastolic ขณะพักมากกว่า 100 mmHg มีอุณหภูมิสูง (เป็นไข้) และมีตั้งครรภ์ การศึกษานี้ได้



รูปที่ 7 แสดงลักษณะของเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ
ก. แสดงลักษณะการติดตั้งและเครื่องมือ, ข. แสดงลักษณะหน้าจอของเครื่องมือ

ผ่านการพิจารณาจากคณะอนุกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชุดที่ 3 รหัส สาขาวิทยาศาสตร์ รหัสโครงการวิจัย 126/2558

อาสาสมัครจะได้รับการติด chest ECG electrodes จากเครื่อง ECG monitor ที่บริเวณทรวงอก ซึ่งวัดการหายใจ ร่วมกับการคาดสายวัด respiration sensor ซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ บริเวณใต้ต่อระดับ xiphoid process หลังจากนั้น ให้อาสาสมัครนั่งพักนิ่งๆ เป็นเวลา 10 นาที ทำการบันทึกค่าการหายใจ

หลังจากนั้น อาสามัครจะได้รับการวัดค่าการเต้นของหัวใจจากเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ โดยการติด ECG lead ร่วมกับการวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ที่ปลายนิ้วมือ จากเครื่อง ECG monitor ซึ่งจะปรากฏค่าของอัตราการเต้นของหัวใจ อาสาสมัครนั่งพักนิ่งๆ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจว่ามีความแม่นยำเมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตราฐาน นอกจากนี้ระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่ถูกนำมาใช้ในการฝึกการหายใจ[19] ทำการบันทึกค่าการเต้นของหัวใจจากเครื่องทั้งสอง

สำหรับเครื่อง ECG monitor นี้ได้ผ่านการสอบเทียบเครื่องมือทางการแพทย์ โดยใช้ patient stimulator (ตามเกณฑ์ของการสอบเทียบเครื่องมือทางการแพทย์) ซึ่งกำหนดให้มีค่า ECG performance test ไม่เกิน ± 2 ครั้งต่อนาที และ respiration performance test ไม่เกิน ± 2 ครั้งต่อนาที เทียบกับเครื่อง patient stimulator พบว่าเครื่องวัดสัญญาณ ECG มีค่าความน่าเชื่อถือ โดยสามารถอ่านค่าของอัตราการเต้นของหัวใจ, อัตราการหายใจ และ ค่า SpO_2 ซึ่งสามารถอ่านค่าของอัตราการเต้นของหัวใจ โดยพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน ± 1 ครั้งต่อนาที เมื่อเทียบกับเครื่องสอบเทียบ (patient stimulator) ทั้งค่าของการหายใจ และค่าของการเต้นของหัวใจ (ที่เกิดจากการใช้เครื่อง ECG monitor วัดและใช้ SpO_2 วัด)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS version 17.0 ในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของ ค่าการหายใจและค่าอัตราการเต้นของหัวใจ โดยรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ร้อยละ และหาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดสัญญาณ ECG กับเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ โดยใช้สถิติ Pearson correlation โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ($p<0.05$)

ผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 จำนวนอาสาสมัครทั้งสิ้น 30 คน ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก พบว่ามีอายุเฉลี่ยที่ 33 ปี โดยแบ่งเป็น เพศชาย จำนวน 9 คน และเพศหญิง จำนวน 21 คน โดยมีดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ดัชนีมวลกายน้อยกว่า 25 กก.เมตร$^{-2}$)

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของประชากรเข้าร่วมโครงการ

	จำนวน (%)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เพศ			
ชาย (คน)	9 (30.0)		
หญิง (คน)	21 (70.0)		
อายุ (ปี)		32.07	11.58
น้ำหนักตัว (ก.ก.)		58.27	11.07
ดัชนีมวลกาย (กก/ม^2)		22.20	3.51

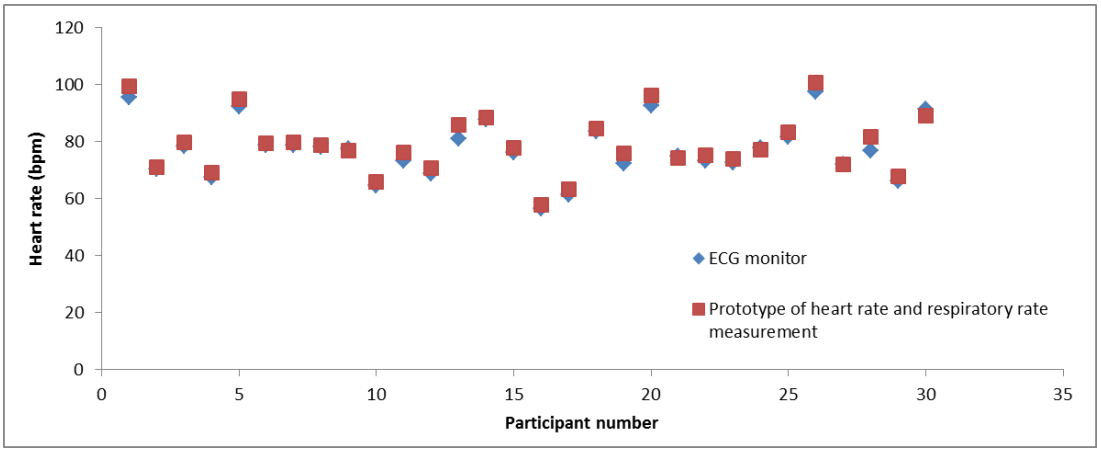
จากการศึกษาพบว่า ค่าอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจของเครื่องมือต้นแบบ อยู่ที่ 13.34 ± 3.28 ครั้งต่อนาที และ 78.87 ± 10.32 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ในขณะที่เครื่อง ECG มีค่าอัตราการหายใจอยู่ที่ 13.75 ± 3.41 ครั้งต่อนาที และ อัตราการ

เต้นของหัวใจอยู่ที่ 77.30 ± 9.99 ครั้งต่อนาที โดยพบว่าค่าการหายใจและหัวใจที่ได้จากการเครื่องต้นแบบมีค่าที่แตกต่างกับเครื่องมาตราฐานของ ECG โดยค่าอัตราการหายใจมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 0.23 ± 0.63 ครั้งต่อนาที และอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ที่ -1.57 ± 1.62 ครั้งต่อนาที (ตารางที่ 2, กราฟที่ 1 และกราฟที่ 2)

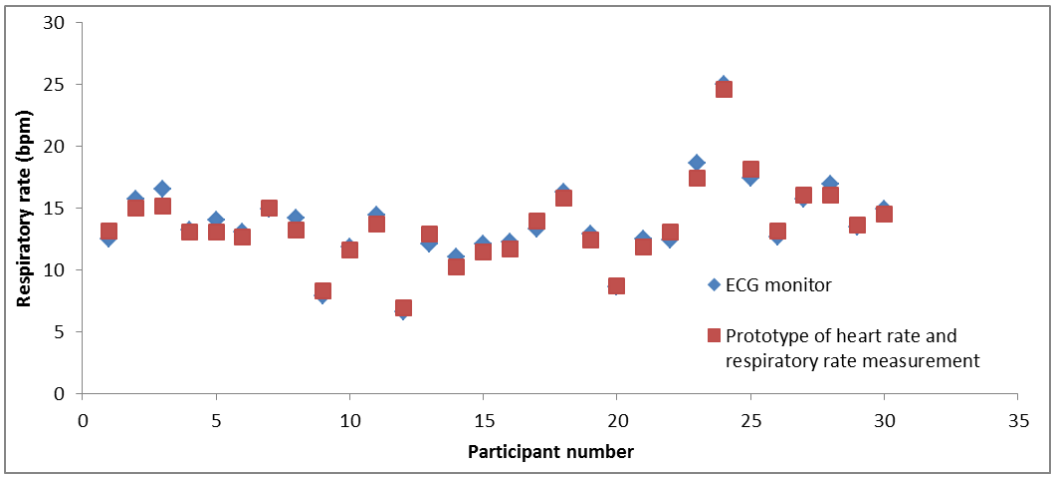
จากการใช้สถิติทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการอ่านจากเครื่อง ECG (Bedside monitor Philips รุ่น IntelliVue MP 20 Junior) และเครื่องมือต้นแบบ พบว่า มีความสัมพันธ์ระดับสูงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจที่ได้จากการอ่านของเครื่อง ECG และเครื่องต้นแบบ (r = 0.988, r = 0.983)

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจที่ได้จากเครื่องวัดสัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจ (ECG monitor) และเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและ อัตราการหายใจ (Prototype of heart rate and respiratory rate measurement)

อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน				อัตราการหายใจ (ครั้งต่อนาที) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน			
เครื่อง ECG	เครื่องต้นแบบ	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	% ความต่าง	เครื่อง ECG	เครื่องต้นแบบ	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	% ความต่าง
77.30 ±9.99	78.87±10.32	+1.57±1.62	+2.03±1.98	13.75±3.41	13.52±3.26	- 0.23±0.63	- 1.35±4.59



กราฟที่ 1 แสดงการความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ จากเครื่องวัดสัญญาณ ECG monitor และเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและ อัตราการหายใจ (prototype of heart rate and respiratory rate measurement) ในกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 30 คน



กราฟที่ 2 แสดงการความสัมพันธ์ ค่าอัตราการหายใจเครื่องวัดสัญญาณ ECG monitor และเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและ อัตราการหายใจ (prototype of heart rate and respiratory rate measurement) ในกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 30 คน

บทวิจารณ์

การศึกษานี้ มีขอบเขตการวิจัย โดยการออกแบบสร้างและพัฒนาเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ที่ใช้ในการฝึกหายใจเข้า-ออกอย่างช้าๆ (slow breathing) ซึ่งเป็นการพัฒนาโปรแกรมการแสดงผลการหายใจ และการเต้นของหัวใจจากหน้าจอมอนิเตอร์ของ tablet พร้อมกับแสดงรูปภาพเพื่อแสดงรูปแบบการหายใจ รวมถึงการนำเครื่องต้นแบบนี้ไปทดสอบ (calibration equipment) เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการอ่านของเครื่องต้นแบบวัดการหายใจ กับเครื่องมือมาตราฐาน ซึ่งในที่นี้ได้เลือกเครื่องวัดสัญญาณ ECG monitor เป็นเครื่องมือสำหรับการเปรียบเทียบ โดยเครื่องวัดสัญญาณ ECG monitor ได้ผ่านการการสอบเทียบเครื่องมือตามหลักของการสอบเทียบเครื่องมือทางการแพทย์

ทั้งนี้จำนวนอาสาสมัครทั้งสิ้น 30 คน ที่ถูกเข้าร่วมทำการทดสอบเครื่องมือเพื่อดูเปรียบเทียบเครื่องมือต้นแบบที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐาน (ECG monitor) นั้น พบว่าจำนวนอาสาสมัคร 30 คน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบเครื่องมือดังกล่าวได้ เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าจำนวนอาสาสมัครประมาณ 16-36 คน จะมีค่าความเชื่อถือโดยมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% confidence interval[20]

จากการศึกษา พบว่า เครื่องต้นแบบการหายใจนี้ สามารถใช้วัดอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสัญญาณ ECG monitor โดยพบว่าในขณะพัก ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ให้อาสาสมัครนั่งพักนิ่งๆ ค่าอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องสัญญาณ ECG monitor โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง +2.03 % ซึ่งค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการอ่านของเครื่องต้นแบบมีค่าสูงกว่าเครื่องที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ECG monitor ในขณะที่ค่าการหายใจมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ -1.35% โดยมีค่าการหายใจจากเครื่องต้นแบบมีค่าที่ต่ำกว่าเครื่อง ECG monitor อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าว ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ รวมถึงพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ ECG monitor กับเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ระดับมาก ซึ่งเป็น large effect size[21]

ค่าการหายใจ ที่ได้จากเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจนี้ เป็นการวัดสัญญาณ

ซึ่งเกิดจากการกระเพื่อมของช่องท้อง โดยการใช้สายคาดรัดบริเวณช่องท้อง ที่มีตัว sensor รับสัญญาณการยืดขยายในขณะที่อัตราการหายใจเข้า-ออก ในขณะที่ค่าการหายใจที่ได้จากเครื่องที่ใช้เปรียบเทียบ ECG monitor ไม่จำเป็นต้องให้อาสาสมัครหายใจเข้าลึกๆ เนื่องจากตัวรับสัญญาณเป็นชุดเดียวกับการวัดค่า ECG ซึ่งเป็น chest lead ติดที่ผนังทรวงอก ดังนั้น ค่าการหายใจที่ได้จากการเครื่อง ECG จึงไม่จำเป็นต้องให้อาสาสมัครหายใจเข้า-ออก ลึกๆ ส่งผลให้ค่าการหายใจจากเครื่อง ECG มีค่าที่สูงกว่าเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ อย่างไรความคลาดเคลื่อนนี้เพียง 1-2% หรือมีค่าความแตกต่างกันประมาณ 0.2 ครั้งต่อนาที

สำหรับค่าอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ใช้การติดสัญญาณการเต้นของหัวใจที่จุดเดียวกับการใช้เครื่อง ECG monitor โดยการติด electrode ที่บริเวณทรวงอก (chest lead) ทั้งสามจุด แต่เนื่องจากการติดเครื่องมือทั้งสองอย่างในเวลาเดียวกันเพื่อวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากมีปัญหาของสัญญาณที่รบกวนทำให้เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ ไม่สามารถอ่านค่าได้ จึงทำให้คณะผู้วิจัยต้องใช้ตัววัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ควบคู่กับการติด electrode ที่ผนังทรวงอกซึ่งมาจากเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ อย่างไรก็ตาม การวัดค่าอัตราการหายใจที่ได้จากเครื่อง SpO_2 มีค่าความแม่นยำเมื่อเทียบกับการวัดสัญญาณการเต้นของหัวใจจากเครื่อง ECG [22]

ข้อจำกัดงานวิจัย

งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดที่ควรต้องพิจารณา เนื่องจากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ไม่สามารถวัดได้จากตัว lead ECG ของเครื่อง ECG monitor โดยตรงจากปัญหาของสัญญาณที่รบกวนทำให้เครื่องมือวัดอัตราการหายใจไม่สามารถอ่านค่าได้ จึงทำให้ต้องใช้ตัววัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ควบคู่กับการติด electrode ที่ผนังทรวงอกแทน อย่างไรก็ตาม การวัดสัญญาณการเต้นของหัวใจ โดยการวัดที่ปลายนิ้วยังมีค่าความแม่นยำเช่นเดียวกับการวัดสัญญาณโดยตรงจาก lead ECG นอกจากนี้ การวัดสัญญาณการหายใจที่ได้จากเครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจนี้ ผู้ใช้จะต้องหายใจให้ได้ระดับที่ลึกเพียงพอ โดยการหายใจที่ต้องใช้กระบังลม ซึ่งจะทำให้ sensor ของสายรัดสามารถจับสัญญาณการยืดและขยายได้ ดังนั้นในกรณีที่ผู้ฝึกหายใจโดยใช้ทรวงอกส่วนบน (upper chest) หรือหายใจ โดยใช้กล้ามเนื้อช่วยหายใจ (accessory respiratory muscle) เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ จะไม่สามารถจับสัญญาณได้

สรุปผลการวิจัย

เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจมีความแม่นยำเทียบเท่ากับเครื่อง ECG monitor นอกจากนี้ เครื่องดังกล่าวยังสามารถเคลื่อนย้ายได้พกพาได้สะดวก รวมถึงเครื่องดังกล่าวยังมีคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือจากการวัดค่าการหายใจซึ่งมีขายในท้องตลาด เช่น เครื่องวัดอัตราการหายใจ RESPeRATE® ซึ่งมีเพียงตัวเลขบอกค่าอัตราการหายใจ ในขณะที่เครื่องต้นแบบวัดการเต้นหัวใจและอัตราการหายใจ นี้ ยังสามารถวัดค่าเต้นของหัวใจ รวมถึงมีกราฟแสดงถึงรูปแบบการหายใจให้กับผู้ใช้งานอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณมยุรี เอี่ยมไธสง สำหรับการอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล ขอขอบคุณอาสาสมัครที่เข้าร่วมงานวิจัยทุกท่าน ขอบคุณภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการเอื้อเฟื้อ

สถานที่และเครื่องมือทดสอบ และท้ายสุดขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยเพื่อพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

1. Gavish B. Device-guided beating in the home setting: technology, performance and clinical outcomes. Biol Psychol 2010; 84:150-6.
2. Mahtani KR, Nunan D, Henghan CJ. Device-guided breathing exercises in the control of human blood pressure: systematic review and meta-analysis. J Hypertens 2012;30:852-60. doi: 10.1097/HJH.0b013e3283520077.
3. Schein MH, Gavish B, Baevsky T, Kaufman M, Levine S, Nessing A, Alter A. Treating hypertension in type II diabetic patients with device-guided breathing: a randomized controlled trial. J Hum Hypertens 2009; 23:325-31.
4. Wang SZ, Li S, Lin GP, Shao L, Zhao Y, Wang TH. Effect of slow abdominal breathing combined with biofeedback on blood pressure and heart rate variability in prehypertension. J Altern Complement Med 2010; 16: 1039-45.
5. Elliott WJ, Jr Izzo JL. Device-guided breathing to lower blood pressure: case report and clinical overview. MedGenMed 2006; 8:23. PMCID: PMC1781326
6. Pandic S, Ekman I, Nord L, Kjellgren KI. Device-guided breathing exercises in the treatment of hypertension – perceptions and effects. CVD Prev Control 2008; 3:163-9.
7. Sharma M, Frishman WH, Gandhi K. RESPeRATE: nonpharmacological treatment of hypertension. Cardiol Rev 2011; 19:47-51.
8. Bernardi L, Spadacini G, Bellwon J, Hajric R, Roskamm H, Frey AW. Effect of breathing rate on oxygen saturation and exercise performance in chronic heart failure. Lancet 1998; 351: 1308-11.
9. Bosnak-Guclu M, Arikan H, Savci, S, Inal-Ince D, Tulumen E, Aytemir K, Tokgozoglu L. Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure. Respir Med 2011; 105:1671-81.
10. Sutbeyaz ST, Koseoglu F, Inan L, Coskun O. Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial. Clin Rehabil 2010; 24:240-50.
11. Hulzebos EH, Helders PJ, Favie NJ, De Bie RA, Brutel de la Riviere A, Van Meeteren NL. Preoperative intensive inspiratory muscle training to prevent postoperative pulmonary complications in high-risk patients undergoing CABG surgery: a randomized clinical trial. JAMA 2006; 296:1851-7.
12. Matheus GB, Dragossavac D, Trevisan P, Costa CE, Lopes MM, Ribeiro GC. Inspiratory muscle training improved tidal volume and vital capacity after CABG surgery. Rev Bras Cir Cardiovascs 2012; 27:362-9.
13. Kordric M, Trevisan R, Torregiani C, Cifaldi R, Longo c, Cantarutti F, Confalonieri M. Inspiratory muscle training for diaphragm

dysfunction after cardiac surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 2013; 145:819-23.

14. Crisafulli E, Venturelli E, Siscaro G, Florini F, Papetti A, Lugli D, Cerulli M, Clini E. Respiratory muscle training in patients recovering recent open cardiothoracic surgery: a randomized-controlled trial. Biomed Res Int 2013:354276. doi: 10.1155/2013/354276
15. Bernardi L, Gabutti A, Porta C, Spicuzza L. Slow breathing reduces chemoreflex response to hypoxia and hypercapnia, and increases baroreflex sensitivity. J Hypertens 2001; 19:2221–9.
16. Pramanik T, Sharma HO, Mishra S, Mishra A, Prajapati R, Singh S. Immediate effect of slow pace Bhastrika Pranayama on blood pressure and heart rate. J Altern Complement Med 2009;15:293-5.
17. Scully CG, Lee J, Meyer J, Gorbach AM, Granquist-Fraser D, Mendelson Y, Chon KH. Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone. IEEE Trans Biomed Eng 2012; 59: 303-6.
18. Thought Technology Ltd. Blood volume pulse (BVP): HR/BVR sensor (P/N: SA9308M) Available from http://thoughttechnology.com/index.php/respiration-sensor.html. Accessed 20 December 2016.
19. Schein MH, Gavish B, Herz M, Rosner-Kahana D, Naveh P, Knishkowy B, Zlotnikov E, Ben-Zvi N, Melmed RN. Treating hypertension with a device that slows and regularises breathings: a randomised, double-blind controlled study. J Hum Hypertens 2001; 15: 271-8.
20. Linacre JM. Sample size and item calibration stability. Rasch Measurement Transactions 1994; 7(4): 328. Available from:http://www.rasch. org/rmt/rmt74m.htm.
21. Cohen J. A power primer. Psychol Bull 1992; 112: 155–9.
22. Dawson JA, Saraswat A, Simionato L, Thio M, Kamlin CO, Owen LS, Schmölzer GM, Davis PG. Comparison of heart rate and oxygen saturation measurements from Masimo and Nellcor pulse oximeters in newly born term infants. Acta Paediatr 2013; 102:955-60.