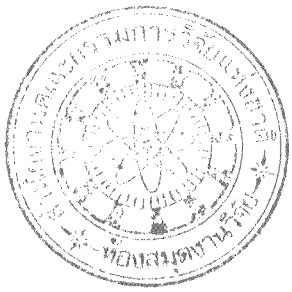
บทที่ 4
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ



4.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดต้นแบบ หรือเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่มีราคาถูกด้วยภูมิปัญญาของคนเชียงใหม่ผสมผสานกับเทคโนโลยีต่างประเทศโดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ และวัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศและในห้องวิจัยของกลุ่มวิจัย "Alpha Flow Research Group" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าคณะผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการออกแบบ และสร้างเครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดต้นแบบเครื่องแรกของประเทศไทย โดยทำการประเมินผลจากการทดสอบเบื้องต้นและการทดสอบโดยละเอียดของสมรรถนะการทำงานของส่วนประกอบหลักของเครื่องดังกล่าว ตลอดจนการนำไปทดสอบใช้ในโรงพยาบาลและสถานพยาบาลหลายแห่ง

4.1.1 เครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น

รูป 3.1 แสดงเครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นเป็นเครื่องแรกของประเทศไทย ซึ่งเป็นแบบที่ใช้วัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดโดยตรงด้วยการหนีบรอบๆที่ปลายนิ้วมือของผู้ป่วย ซึ่งมีขนาดสำหรับผู้ใหญ่และสำหรับวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวโดยใช้หนีบที่ปลายนิ้วมือของเด็ก เครื่องนี้สามารถใช้ในการวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจพร้อมๆกัน เครื่องมือนี้มีขนาดเล็กกะทัดรัด สามารถพกพาไปวัดพารามิเตอร์ (parameters) ทั้งสองดังกล่าวในภาคสนามได้ สะดวกรวดเร็วและมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือในทำนองเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศ เครื่องมือทางการแพทย์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ มีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงให้เป็นรูปธรรมยิ่งขึ้นเพื่อเชิงพาณิชย์ได้ เพื่อทดแทนการนำเข้าเครื่องมือดังกล่าว

4.1.2 การศึกษาสมรรถนะการทำงานของส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง SpO_2 ต้นแบบ

4.1.2.1 การปรับแก้แรงดันอ้างอิงและผลจากการใช้ตัวต้านทานไวแสงและไดโอดไวแสง

จะเห็นว่า จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 แรงดันอ้างอิงหากต่ำกว่า +3.30V จะทำให้เครื่องวัดอ่านค่าเป็น 255 ตลอดเวลา นั่นคือระดับแรงดันอ้างอิงน้อยกว่าแรงดันที่วัดได้ ทำให้สมองกลพยายามปรับตัวเข้าหา โดยลดแสงคงเรื่อย ๆ แต่ถ้าหากแรงดันอ้างอิงมากกว่า +3.30V จะเกิดความแตกต่างระหว่างระดับแรงดันอ้างอิง กับแรงดันที่วัดได้ ทำให้สมองกลปรับตัว ทำให้ระดับแสงกวัดแกว่ง เกิดค่าความผิดพลาดในการอ่านกลับตลอดเวลา สรุปว่า แรงดันอ้างอิงที่ใช้ป้อนให้กับขา Vref ของสมองกลที่เหมาะสมคือ +3.30V

4.1.2.2 การเลือกตัวตรวจวัด

จากการทดลอง 3.2.1 จะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวต้านทานไวแสงเป็นตัวตรวจวัดในช่วงแสงอินฟราเรด ตัวต้านทานไวแสงจะไม่ค่อยตอบสนอง ส่งผลให้การอ่านค่าการดูดกลืนแสงไม่แม่นยำ ทำให้การคำนวณย้อนกลับผิดพลาด แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ไดโอดไวแสงเป็นตัวตรวจวัด จะให้ผลที่ดีกว่าดังรูป 3.2 ซึ่งตอบสนองต่อช่วงแสงอินฟราเรดได้ดีกว่าตัวต้านทานไวแสง จึงเลือกใช้ไดโอดไวแสงเป็นตัวตรวจวัด และจะออกแบบวงจรเพื่อให้เหมาะสำหรับการตรวจวัดด้วยไดโอดไวแสง แม้ตัวต้านทานไวแสงจะมีราคาถูก แต่ก็ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวตรวจวัดเนื่องจากไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงอินฟราเรดดังแสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณในรูป 3.2 และ 3.3

4.1.2.3 การตัดทอนความถี่

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อไม่มีการตัดทอนความถี่เลย สัญญาณจะมีการแกว่งกวัดมาก เนื่องจากการรบกวนของสัญญาณวิทยุ และสัญญาณไฟฟ้ากำลังตามบ้านเรือนทั่วไป แต่เมื่อติดตั้งวงจรกรองความถี่แล้ว สัญญาณจะถูกปรับแก้ให้ราบเรียบ ซึ่งมีการแกว่งกวัดน้อย ทำให้สมองกลจะเข้าใจกระบวนการหาความต่างได้ ในขณะเดียวกัน การเปรียบเทียบการกรองแบบอะนาลอค และการกรองแบบดิจิตอลนั้น ให้ผลการทดลองที่ไม่ต่างกัน การกรองแบบดิจิตอลให้รูปสัญญาณที่เรียบและมีความแตกต่างน้อยกว่า ดังนั้นวงจร

กรองอะนาลอคที่เพิ่มเข้ามาไม่มีความจำเป็นในการออกแบบวงจรวัด เพราะสมองกลมีความเร็วมากพอและมีความสามารถในการตัดทอนความถี่แบบดิจิตอลอยู่แล้ว

4.1.2.4 การปรับเทียบ

เนื่องจากฐานเวลาของสมองกลจะทำงานไม่ผิดพลาด ทำให้ค่า Heart rate ไม่แตกต่างจากเครื่องมาตรฐานเท่าใดนัก (ไม่ว่าเครื่องใดก็ตาม) แต่ค่าระดับออกซิเจนอาจจะต่างไป เนื่องจาก RISC เป็นกระบวนการที่ใช้ look-up table และเทียบบัญญัติไตรยางศ์ หากค่าใน look-up table ผิดไปก็จะทำให้การอ่านค่าย้อนกลับจากความเข้มของแสงเป็น %ออกซิเจนในเลือดผิดไปด้วย ดังนั้น เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระ Calibrate เพื่อบวกเข้าหรือลบออกจากตาราง look-up table ก็จะทำให้องศาความเป็นอิสระในการคำนวณเพิ่มขึ้นมาอีก 1 มิติ คือมิติของค่าคงที่ทุกการวัด (freedom of measuring element) ซึ่งเมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดออกซิเจนในเลือดมาตรฐาน พบว่า เมื่อบวกเข้าด้วยค่าองศาความเป็นอิสระในทุกค่าของตารางแล้ว เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐานจะอ่านค่าได้ตรงกัน องศาความเป็นอิสระของการคำนวณในเครื่องมือที่สร้างขึ้นนั้น น้อยกว่าเครื่องมือมาตรฐานไปร้อยละ 3 ทุกกระบวนการวัด

4.1.3 กระบวนการหายใจและระดับออกซิเจน

หน้าที่ของระบบหายใจ คือ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างออกกำลังกายการหายใจจะเพิ่มมากกว่าตอนพัก ก๊าซทั้ง 2 ชนิดจะถ่ายเทแลกเปลี่ยนกันระหว่างอากาศและเลือดโดย ผ่านทางผนังของถุงลม (alveoli) ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) จะนำออกซิเจนซึ่งไม่ค่อยละลายในน้ำเหลืองไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในน้ำเหลืองได้ง่ายในรูปของ ไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ดังนั้นการวัดออกซิเจนในเลือดจึงมุ่งเน้นไปยังเส้นเลือดแดงที่มีฮีโมโกลบินลำเลียงออกซิเจนอยู่ ส่วนในพลาสมาและน้ำเหลืองจะไม่นิยม วัดจากการทดลองพบว่าระดับออกซิเจนอิ่มตัวของคนปกติจะอยู่ในช่วง 94-99 % (ตาราง 3.3) การทดลองครั้งที่ 1 และ (ตาราง 3.4) การทดลองครั้งที่ 2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ เพศ อายุ และความผิดปกติในร่างกายของคนไข้ และค่า Hr และ SpO ยังขึ้นกับการ Calibrate เครื่องและยี่ห้อของเครื่อง SpO_2 meter อีกด้วย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซดีขึ้น หากร่างกายสามารถจับออกซิเจนได้มากขึ้น และถ้าทำการกลั้นหายในระดับออกซิเจนที่วัดได้จะลดลงพร้อมทั้งการเต้นของหัวใจถี่ขึ้น เนื่องจากร่างกายตอบสนองต่อภาวะ hypoxemia ดังแสดงในตาราง 4.1

4.1.4 กรณีศึกษาทางการแพทย์เกี่ยวกับความสำคัญของปริมาณออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดที่เป็นเกณฑ์วิกฤตสำหรับการรักษาด้วยวิธีพิเศษ

4.1.4.1 การใช้งานเครื่องวัดออกซิเจนใน Laparoscopic Surgery

พบว่า ผลของ CO_2 insufflation (การใส่ก๊าซ CO_2 เข้าไปในช่องท้อง) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทาง physiologic รวมทั้งการเปลี่ยน position ของผู้ป่วย ทำให้มีผลต่อ cardiopulmonary function ทำให้ระดับออกซิเจนในเลือดเปลี่ยนแปลง หากระดับออกซิเจนในเลือดต่ำมาก จะเป็นอันตราย ในกรณีนี้ จะใช้เครื่องวัดระดับออกซิเจนตลอดทั้งกระบวนการ และยังติดตั้งเครื่องวัดออกซิเจนหลังจากการรับการรักษาด้วย Laparoscopic Surgery สำหรับข้อดีของเครื่องมือที่สร้างขึ้น เป็นที่น่าพอใจของแพทย์คือ แพทย์เวรสามารถร้องขอข้อมูลและดาวน์โหลดประวัติของระดับออกซิเจนของผู้ป่วยได้ตลอดเวลา การเฝ้าระวัง ตามมาตรฐานได้แก่ NIBP (noninvasive blood pressure), pulse rate, EKG, peripheral oxygen saturation นั้นมีความจำเป็นมาก และแพทย์ยังได้ให้ความเห็นว่า น่าจะเพิ่ม Blood Pressure Monitor แบบอัตโนมัติด้วยจะครบสมบูรณ์ ส่วน EKG และ Thermal Sensor สำหรับวัดอุณหภูมิร่างกายนั้นสามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาดอยู่แล้ว ทั้งนี้คณะผู้วิจัยจะพิจารณาพัฒนาเครื่องมือที่ครบสมบูรณ์ดังกล่าวในปีงบประมาณถัดไป

4.1.4.2 การใช้งานเครื่องวัดออกซิเจนใน Spinal Anesthesia

เนื่องจากผู้ป่วยหลังผ่าตัดที่ได้รับ general anesthesia มีโอกาสเกิดภาวะ hypoxemia ได้บ่อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดระดับออกซิเจนในเลือดและรายงานผล จากผลการทดลองพบว่า ผู้ป่วยเป็นชาย 79 คน หญิง 42 คน อายุเฉลี่ย 40 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 57 กก. มีค่า hematocrit เฉลี่ย 37% ระดับการชาเฉลี่ย T8.94 ± 2.65 (อาการชามาก) ระยะเวลาการผ่าตัด ประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อบันทึกค่า SpO2 ด้วยเครื่อง pulse oximeter monitor ที่เวลา 0.5, 10 , 15, 20, 25 และ 30 นาทีนับจากเมื่อผู้ป่วยมาถึงห้องพักฟื้น พบว่าค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SpO2) ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ย 98% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ พบภาวะ hypoxemia น้อยมาก (พบเพียง 0.65%) ซึ่งเป็นผู้ป่วยที่มีอายุมากกว่า 80 ปี และมีน้ำหนักตัวมากกว่า 80 กก.

4.2 ข้อเสนอแนะ

(1) เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพสูง ทัดเทียมกับเครื่อง SpO_2 meter ที่นำเข้าจากต่างประเทศ หากมีการปรับปรุงรูปลักษณ์ในดูสวยงามน่าใช้ยิ่งขึ้น มีแนวโน้มสูงมากที่จะพัฒนาเครื่องมือทำเองผลิตภายในประเทศ

(2) คณะผู้วิจัยมีความตั้งใจที่จะทำงานวิจัยต่อเพื่อทำการปรับปรุงเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบดังกล่าวให้เป็นรูปธรรมอย่างสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น อีกทั้งปรับปรุงด้านซอร์ฟแวร์ (software) และฮาร์ดแวร์ (hardware) ให้มีราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและ/หรือเหมือนเดิม เพื่อให้ได้เครื่อง SpO_2 meter ที่สมบูรณ์แบบเพื่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

(3) คณะผู้วิจัยมีแผนในการพัฒนาเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบนี้ให้นำไปใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น นอกจากจะมีการพัฒนาฟังก์ชันต่างๆ ของเครื่องให้อยู่ในวงจรเดียวและเป็นแบบไร้สายแล้ว คณะผู้วิจัยยังทำการวิจัยเพื่อนำเครื่อง SpO_2 meter นี้ไปเชื่อมต่อกับเครื่องสื่อสารอื่นๆ เช่นโทรศัพท์มือถือ ซึ่งสามารถติดตามระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดของคนไข้พร้อมอัตราการเต้นของหัวใจ จากเครื่องมือสื่อสารทางอิเล็คทรอนิคได้โดยไม่ต้องไปห้องผู้ป่วย และยังสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังของคนไข้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ใหม่อีกครั้ง