บทที่ 3
การทดลอง ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การทดลอง

ได้ทำการทดลองออกแบบและสร้างเครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดต้นแบบเครื่องแรกของประเทศไทยในห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่โดยอาศัยภูมิปัญญาของคนไทย (เชียงใหม่) ผสมผสานกับเทคโนโลยีต่างประเทศที่นำมาปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตเครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดขนาดเล็กกะทัดรัด ซึ่งพกพาไปใช้งานนอกสถานที่ได้สะดวก โดยเครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและทดแทนการนำเข้าเครื่องมือดังกล่าวจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง

เครื่องวัดออกซิเจนอิ่มตัว (pulse oximeter หรือ SpO_2 meter) ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้เป็นแบบหนีบนิ้ว เช่นเดียวกันกับที่มีขายในตลาดซึ่งเป็นเครื่องราคาแพง จากการสืบค้นข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต พบว่าเครื่อง SpO_2 meter ที่มีขายตามบริษัทต่างๆที่มีขายในร้านขายเครื่องมือทางการแพทย์ทั่วไป มีราคาอยู่ในช่วง 3,200–19,500 บาท ขึ้นอยู่กับ specification ยี่ห้อและบริษัทผู้ผลิตและประเทศที่ผลิตเครื่อง SpO_2 meter นั้นๆ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยต้องนำเข้าเครื่องมือทางการแพทย์จากต่างประเทศ รวมถึงเครื่อง SpO_2 meter ด้วย ต้องใช้งบประมาณจำนวนมหาศาล หากมีเครื่องมือที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ จะช่วยลดเม็ดเงินที่ต้องจ่ายเพื่อการนำเข้าเครื่องมือทางการแพทย์และ/หรือเครื่องมือวิทยาศาสตร์อื่นๆปีละมากพอสมควร ดังนั้นคณะผู้วิจัยโครงการวิจัยนี้มีความสนใจในการผลิตเครื่องมือทำเองภายในประเทศมาก่อนแล้ว จึงได้ร่วมมือกันทุ่มเทกำลังสมอง เวลาและกำลังกาย มาพัฒนาเครื่องมือทำเองต้นแบบ โดยเลือกการพัฒนา SpO_2 meter เป็นอันดับแรก โดยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินในปีงบประมาณ 2553 จากสถาบันคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติผ่านสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่งผลให้คณะผู้วิจัยโครงการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบเครื่องแรกของประเทศไทย ซึ่งพร้อมใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับเครื่องมือประเภทเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศ

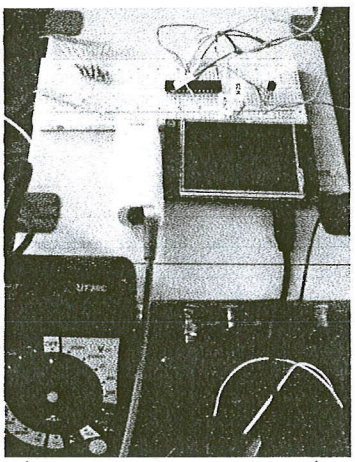
3.1.1 เครื่องวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดต้นแบบ

เครื่องวัดออกซิเจนต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นแบบหนีบนิ้วมือตามสากลนิยมในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาจนกระทั่งปัจจุบันนี้ เพราะเป็นเครื่องที่ใช้ได้ง่าย อ่านค่าการ

เต้นของหัวใจต่อนาทีและค่าระดับออกซิเจนอิ่มตัวเป็นร้อยละอย่างอัตโนมัติ วัดได้รวดเร็ว มีความถูกต้องและความแม่นยำในการวัดสูงทัดเทียมกับเครื่อง SpO_2 meter มาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ทำการประเมินจากผลการทดลอง) ซึ่งจะอภิปรายในหัวข้อต่อไป

3.1.1.1 ลักษณะและส่วนประกอบหลักของเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบ

เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น ดังแสดงในรูป 3.1



รูป 3.1 เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น

ส่วนประกอบหลักสำคัญของเครื่อง SpO_2 meter นี้เป็นไปตามหลักการของเครื่องตรวจวัดเชิงแสง (spectrophotometer) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

(1) เครื่องตรวจวัดประกอบด้วยแหล่งของแสง (light source) และเครื่องตรวจวัดเชิงแสง (photodetector) มีรายละเอียดดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 2 พร้อมทั้งคัดเลือกส่วนประกอบเหล่านี้อย่างเหมาะสม

(2) ซอร์ฟแวร์ (software) ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้เพื่อขับเคลื่อนการทำงานของเครื่อง SpO_2 meter ทำงานโดยอัตโนมัติ

(3) แผงวงจรรวมสำหรับควบคุมและขับเคลื่อนการทำงานของเครื่อง SpO_2 meter เป็นการผนวกวงจรของเครื่องพ่วงอื่นๆที่จำเป็นให้อยู่ในวงจรอันเดียวกัน ทำให้เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบมีขนาดเล็กและกะทัดรัด พกพาได้สะดวก ส่วนการทำงานของแผงวงจรรวม พร้อมข้อได้เปรียบ ได้อภิปรายโดยละเอียดแล้วในบทที่ 2 รายการโปรแกรมเครื่องวัดออกซิเจนที่อิ่มตัวในระดับเลือดแสดงในภาคผนวก 1

(4) ชุดอุปกรณ์สำหรับหนีบปลายนิ้วมือในกรณีทำการวัดค่าอัตราการเต้นของชีพจรและค่า SpO_2

3.1.1.2 การทดสอบเบื้องต้น

หลังจากการสร้างเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบขึ้นเป็นผลสำเร็จแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อประเมินสมรรถภาพการทำงานของเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบ โดยทำการวัดระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือด โดยการเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้โดยใช้เครื่อง SpO_2 meter มาตรฐานซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ ได้ทำการทดลองโดยวัดค่าระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดของบุคลากร/นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในห้องปฏิบัติการวิจัย จำนวน 5 คน พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจและค่าระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดของแต่ละคนจะต่างกัน ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละคน แต่ผลที่วัดได้จากแต่ละคน เมื่อวัดซ้ำกันคนละ 5 ครั้ง จะมีค่าเท่ากันและคงที่อยู่เสมอ และพบว่าค่าที่วัดได้จากการใช้เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีค่าที่เท่ากันกับผลที่วัดได้จากการใช้เครื่อง SpO_2 meter มาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศทุกประการ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบนี้ ให้ผลการทดลองในกรณีของความถูกต้องและความแม่นยำไม่ต่างจากผลการทดลองที่ได้จากการใช้เครื่อง SpO_2 meter มาตรฐาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทดลองเพื่อให้ได้รายละเอียดที่ลึกซึ้งต่อไป เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขจนได้เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่เหมาะสมและน่าพอใจว่าใช้งานได้จริง

3.2 การศึกษาสมรรถนะการทำส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบ และคุณลักษณะของสัญญาณจากเครื่องตรวจวัด

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (รูป 3.1) มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้ใช้งานได้จริงสูงมาก คณะผู้วิจัยโครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการตรวจสอบและสอบเทียบสมรรถนะการทำงานขององค์ประกอบหลักที่นำมาประดิษฐ์หรือสร้างเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบนี้ เพื่อจะได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางสำคัญในการปรับปรุงแก้ไขให้ได้เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบเครื่องแรกของประเทศไทยที่สามารถใช้งานได้จริง

3.2.1 การปรับแก้แรงดันอ้างอิงและผลจากการใช้ตัวต้านทานไวแสงและไดโอดไวแสง

สำหรับอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบมา ให้ผลจำกัดกับค่าแรงดันอ้างอิง กล่าวคือ หากไม่มีการปรับแรงดันอ้างอิงที่ขา VRef ของสมองกล ค่าระดับแรงดันที่อ่านได้จาก ขา ADC0 จะเป็น 255 เสมอ นั่นคือมีแสงมากเกินไป หรือค่าแรงดันอ้างอิง น้อยกว่าค่าที่อ่านได้ จึงจำเป็นต้องมี

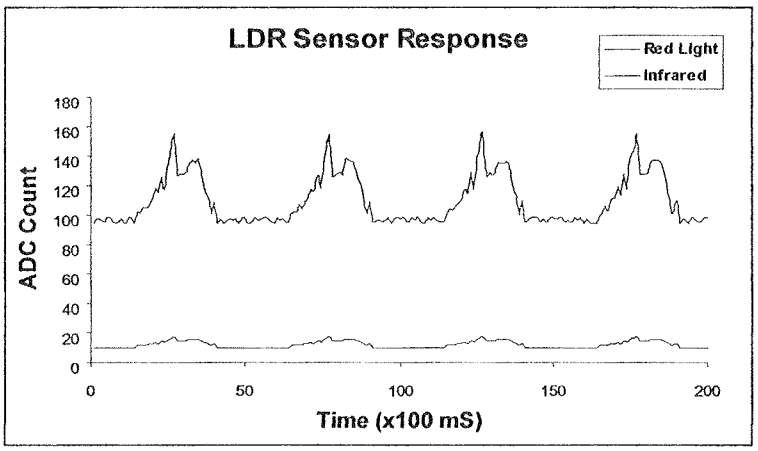
การปรับ VR1 ให้แรงดันเหมาะสม สำหรับการทดลองปรับแก้แรงดันอ้างอิง ให้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ผลการทดลองปรับเทียบระดับแรงดันอ้างอิงเพื่อหาเกณฑ์ที่เหมาะสม

แรงดันที่ขา VRef	ระดับที่อ่านได้จาก ADC0	การปรับของสมองกล	PWM ของขา OC1A	เกณฑ์การปรับเทียบ
+1.25V	255	แสงมากเกินไป	ลดลงจาก 100% เรื่อย ๆ จน LED ดับ	แรงดันอ้างอิงน้อยเกินไป
+2.00V	255	แสงมากเกินไป	ลดลงจาก 100% เรื่อย ๆ จน LED ดับ	แรงดันอ้างอิงน้อยเกินไป
+2.50V	255	แสงมากเกินไป	ลดลงจาก 100% เรื่อย ๆ จน LED ดับ	แรงดันอ้างอิงน้อยเกินไป
+3.00V	240	แสงอยู่ในระดับที่วัดได้	พยายามปรับให้เป็น 75% โดยแกว่งไปมาระหว่าง 71-78%	แรงดันอ้างอิงอยู่ในช่วงที่อ่านค่าได้
+4.00V	210	แสงอยู่ในระดับที่วัดได้ แต่น้อยเกินไป	พยายามปรับให้เป็น 90% โดยแกว่งกวัดในช่วง 80-95%	แรงดันอ้างอิงมากเกินไปทำให้ค่าที่อ่านกลับมีค่าน้อย
+3.50V	225	แสงอยู่ในระดับที่วัดได้	พยายามปรับให้เป็น 85% โดยแกว่งกวัดในช่วง 82-86%	แรงดันอ้างอิงอยู่ในช่วงที่อ่านค่าได้ แต่ยังมีการกวัดแกว่งของระดับแสง
+3.30V	220	แสงอยู่ในระดับที่วัดได้พอดี	80% คงที่ อาจมีการปรับลงเป็น 79% บ้าง	แรงดันอ้างอิงเหมาะสมและมีการกวัดแกว่งน้อย

3.2.1.1 การใช้ตัวต้านทานไวแสงเป็นตัวตรวจวัด

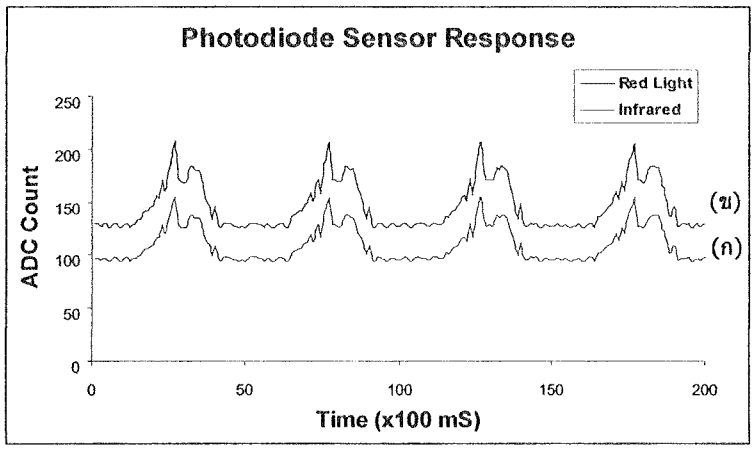
เมื่อใช้ตัวต้านทานไวแสงเป็นตัวตรวจวัด ผลของสัญญาณเป็นดังรูป 3.2 จะเห็นว่าเมื่อใช้ตัวต้านทานไวแสงเป็นตัวตรวจวัด ในช่วงแสงอินฟราเรด ตัวต้านทานไวแสงจะไม่ค่อยตอบสนอง ส่งผลให้การอ่านค่าการดูดกลืนแสงไม่แม่นยำ ทำให้การคำนวณย้อนกลับผิดพลาด



รูป 3.2 ตัวต้านทานไวแสงที่ตอบสนองต่อช่วงแสงสีแดงและแสงอินฟราเรด

3.2.1.2 การใช้ไดโอดไวแสงเป็นตัวตรวจวัด

เนื่องจากการใช้ตัวต้านทานไวแสงเป็นตัวตรวจวัด ตัวตรวจวัดนี้ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรดน้อยมาก (รูป 3.2) จึงได้นำเอาไดโอดไวแสงมาใช้แทนตัวต้านทานไวแสง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปลี่ยนมาใช้ไดโอดไวแสงเป็นตัวตรวจวัด จะให้ผลดังรูป 3.3 ซึ่งตอบสนองต่อช่วงแสงอินฟราเรดได้ดีกว่าตัวต้านทานไวแสง



รูป 3.3 การตอบสนองของไดโอดไวแสงต่อช่วง(ก)แสงสีแดงและ(ข)แสงอินฟราเรด

ในการพัฒนาเครื่องมือต่อไป จึงเลือกใช้ไดโอดไวแสงเป็นตัวตรวจวัด และจะออกแบบวงจรเพื่อให้เหมาะสำหรับการตรวจวัดด้วยไดโอดไวแสง แม้ตัวต้านทานไวแสงจะมีราคาถูก แต่

ก็ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวตรวจวัดเนื่องจากไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงอินฟราเรดดัง แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณในรูปทั้งสอง

3.2.2 การหาค่าความถี่ตัดทอน (frequency cut-off)

เนื่องจากภาครับสัญญาณขาข้าวของสมองกลมีความไวสูงมาก (หากกำหนด Prescale = 1 ใน 1 วินาที สมองกลจะรับสัญญาณขาเข้าได้ 8 ล้านครั้งเมื่อสมองกลปฏิบัติการด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 8 เมกะเฮิร์ทซ์) ดังนั้น ทุกความถี่ตั้งแต่ 1 รอบต่อวินาที จนถึง 8 ล้านรอบต่อวินาที (สัญญาณไฟฟ้าของกระแสสลับ สัญญาณวิทยุ สัญญาณอื่น ๆ) จะสามารถแทรกสอดเข้าสู่ระบบการวัดได้เสมอ แต่สัญญาณเป้าหมายที่รบกวนได้ตลอดเวลา นั่นคือสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับตามบ้านเรือนต่าง ๆ ที่มีความถี่ 50 รอบต่อวินาที จึงเป็นเป้าหมายที่จะต้องตัดทอนความถี่ดังกล่าวออกไป

กระบวนการนี้สามารถทำได้โดยการใช้วงจรกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำ ที่เรียกว่า Low pass filter ซึ่งจะใช้เฟสที่ต่างกันของ ความต้านทานและตัวเก็บประจุไฟฟ้า ที่ต่ออยู่คนละแกนศักย์ของสัญญาณขาเข้า อธิบายได้ว่า

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$$

เมื่อ f_c คือความถี่ที่ตัดทอนแล้ว

R คือ ค่าความต้านทานเชิงประกอบที่ใช้ในวงจรภาครับ มีหน่วยเป็น โอห์ม

C คือ ค่าตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด

กระบวนการตัดทอนให้เหลือความถี่ต่ำกว่า 50 รอบต่อวินาที โดยมีข้อแม้ว่า ต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่มากกว่า 50 ไมโครแอมแปร์ (เพราะในการอ่านค่าของช่องสัญญาณขาเข้าต้องมีกระแสมากพอที่จะเคลื่อนเข้าไปให้สมองกลอ่าน) ศักย์สูงสุดที่ใช้ในวงจรคือ +5.00V ต้องการกระแสมากกว่า 50 ไมโครแอมแปร์ ควรใช้ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม และควรใช้ตัวเก็บประจุ ตามรายการคำนวณต่อไปนี้

จาก $$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$$

แทนค่า $f_c = 50$ Hz

$2\pi = 6.283$

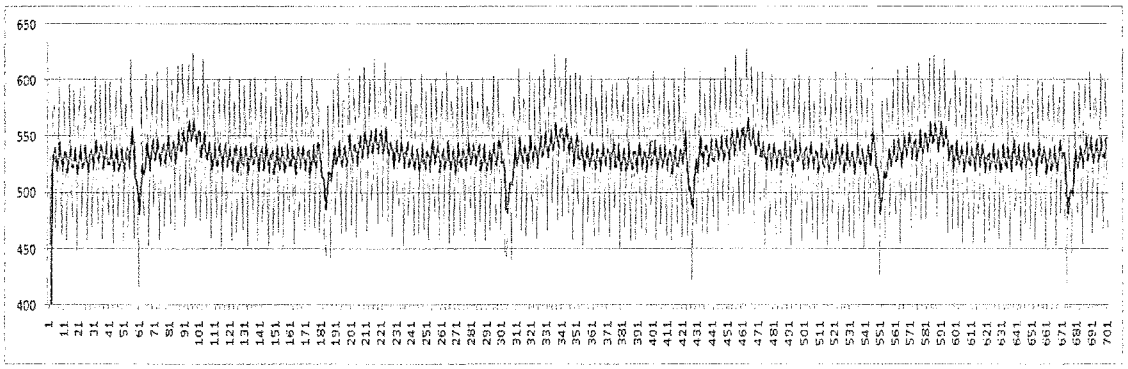
$R = 100{,}000$

หาค่า C ได้จาก $$C = \frac{1}{50 \times 6.28 \times 100{,}000}$$

C = 0.03 μF ซึ่งไม่มีขาย

ในการทดลองจึงใช้ C = 0.047 μF และใช้ R = 68 kΩ แทนซึ่งจะได้ความถี่ตัดทอนประมาณ 49.79 Hz

ในการศึกษาเอกสารคู่มือประกอบการใช้งานของบริษัทอื่น ๆ บางบริษัทใช้ความถี่ตัดทอน 0.5 Hz ซึ่งต้องใช้อะไหล่และอุปกรณ์ที่หาได้ยากซึ่งไม่มีความจำเป็น จากการทดสอบการใช้ความถี่ตัดทอนต่าง ๆ ให้ผลดังรูป 3.4

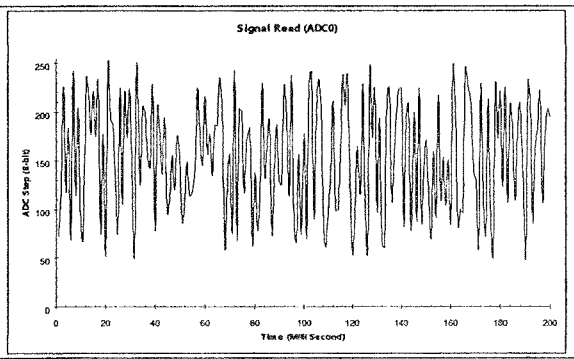
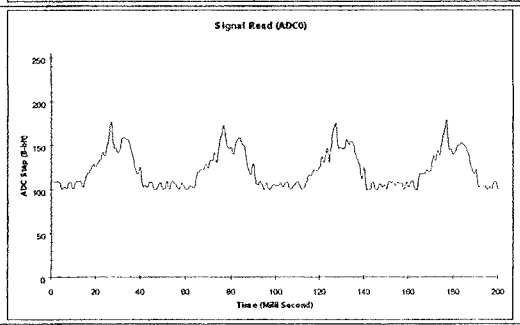
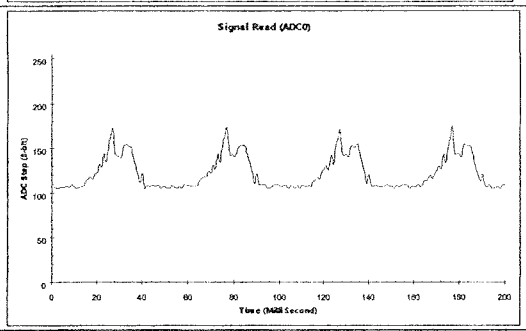


รูป 3.4 การตัดทอนกรองเอาแต่ความถี่ที่ต่ำกว่า 50 รอบต่อนาทีของช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด แกนตั้ง : ศักย์ที่อ่านได้จากไดโอดไวแสง, แกนนอน : เวลา (มิลลิวินาที)

จะเห็นได้ว่า เมื่อไม่มีการตัดทอนความถี่เลย (กราฟเส้นสีฟ้าทางด้านหลัง) สัญญาณจะมีการแกว่งกวัดมาก แต่เมื่อติดตั้งวงจรกรองความถี่แล้ว สัญญาณจะถูกปรับแก้เป็นแบบเส้นกราฟสีดำ ซึ่งมีการแกว่งกวัดน้อยลง และสมองกลจะเข้าใจกระบวนการหาความต่างได้

อย่างไรก็ดี การติดตั้งอะไหล่ คือตัวเก็บประจุ 0.047 μF และตัวต้านทาน 68 kΩ ลงไปเพิ่มในวงจรรวมอีกก็เหมาะสม เนื่องจากสมองกลรุ่นนี้มีความสามารถในการตัดทอนความถี่ออกแบบดิจิตอลอยู่แล้ว ดังนั้น จึงทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างการติดตั้งวงจรกรองความถี่เพิ่ม และการกรองความถี่โดยอาศัยการคำนวณแบบบวกสะสมและหารรวบยอดของสมองกล (ตาราง 3.2)

ตาราง 3.2 การเปรียบเทียบระหว่างการกรองอะนาลอค และการกรองดิจิตอล

รูปแบบการกรอง / ความถี่	**ลักษณะสัญญาณ**	**Maxima deviation**
ไม่มีการกรองสัญญาณ (Time x 100 mS)		Max = 249 Count Min = 51 Count Diff = 198 Count
การกรองอะนาลอค/ 50 Hz (Time x 100 mS)		Max = 178 Count Min = 100 Count Diff = 78 Count
การกรองดิจิตอล / 50 Hz (Time x 100 mS)		Max = 174 Count Min = 105 Count Diff = 69 Count

จะเห็นว่า รูปกราฟการกรองแบบอะนาลอค และการกรองแบบดิจิตอลไม่ต่างกัน ทั้งการกรองแบบดิจิตอลยังให้รูปสัญญาณที่เรียบและมีความแตกต่างน้อยกว่า ดังนั้นวงจรกรองอะนาลอคที่เพิ่มเข้ามาไม่มีความจำเป็นเลย

3.2.3 การปรับเทียบเชิงระบบกับเครื่องมือมาตรฐาน

สำหรับการนับอัตราการเต้นของหัวใจนั้น ส่วนใหญ่ฐานเวลาของสมองกลจะทำงานไม่ผิดพลาด ทำให้ค่า Heart rate ไม่แตกต่างจากเครื่องมาตรฐานเท่าใดนัก (ไม่ว่าเครื่องใดก็ตาม) แต่ค่าระดับออกซิเจนอาจจะต่างไป เนื่องจาก RISC เป็นกระบวนการที่ใช้ look-up table และเทียบบัญญัติไตรยางศ์ หากค่าใน look-up table ผิดไปก็จะทำให้การอ่านค่าย้อนกลับจากความเข้มของแสงเป็น %ออกซิเจนในเลือดผิดไปด้วย ดังนั้น ในการปรับเทียบเชิงระบบ จึงจองหน่วยความจำไว้อีกตัวแปรหนึ่ง ชื่อ Calibrate เป็นหน่วยความจำแบบ integer ขนาด 4 byte เพื่อใช้ในการบวกเข้า หรือลบออกจากตาราง look-up เนื่องจากการใช้ตาราง look-up และใช้กราฟที่ได้ในทฤษฎีเพียงอย่างเดียว อาจจะทำให้หุ่นจำลองคณิตศาสตร์ผิดพลาดได้ เพราะดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มีตัวแปรอิสระอีก 4 ตัวใน 2 มิติที่มีผลโดยตรงต่อการวัดออกซิเจนผ่านเนื้อเยื่อ ในการปรับเทียบเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐานที่มีขายตามท้องตลาดจำนวน 2 เครื่อง ให้ผลดังตาราง 3.3 และตาราง 3.4

ตาราง 3.3 ครั้งที่ 1 ใช้ตาราง look-up และ ค่า Calibrate = 0, N = Normal, A = Abnormal

ผู้ทดสอบ	เครื่องที่สร้างขึ้น	เครื่องมาตรฐาน 1 *1	เครื่องมาตรฐาน 2 *2
หญิง 1N	Hr = 82 SpO_2 = 95	Hr = 82 SpO_2 = 97	Hr = 82 SpO_2 = 98
ชาย 1N	Hr = 78 SpO_2 = 95	Hr = 78 SpO_2 = 98	Hr = 78 SpO_2 = 98
เด็ก 1N	Hr = 76 SpO_2 = 96	Hr = 76 SpO_2 = 99	Hr = 76 SpO_2 = 98
ชาย 2N	Hr = 74 SpO_2 = 94	Hr = 74 SpO_2 = 97	Hr = 74 SpO_2 = 97
ชาย 3N	Hr = 74 SpO_2 = 95	Hr = 74 SpO_2 = 98	Hr = 74 SpO_2 = 98
หญิง 1A	Hr = 88 SpO_2 = 94	Hr = 88 SpO_2 = 97	Hr = 88 SpO_2 = 97
ชาย 2A	Hr = 80 SpO_2 = 95	Hr = 80 SpO_2 = 98	Hr = 80 SpO_2 = 98

*1 = Nelcor Oximax N-600x, *2 = Bionics BMP-200

จะเห็นว่า จากการทดลองค่า Hr ของเครื่องที่สร้างขึ้นให้ผลการตรวจวัดทั้งการเต้นของหัวใจและระดับออกซิเจนอิ่มตัวในเลือดจากผู้ป่วยกลุ่มเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกับผลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมาตรฐานทั้งสอง แต่ต่างกันเพียงค่า SpO_2 ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น ต่ำกว่าเครื่องมาตรฐานประมาณ 3% หากวัดติดต่อกันนานๆ ดังนั้นจึงปรับค่า Calibrate ให้บวกเพิ่มจากตาราง look-up (ตาราง 3.3) เพื่อให้อ่านค่าได้เท่ากัน กล่าวคือ หากวัดติดต่อกันนานๆ จะต้องคอย calibrate เครื่อง เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องอยู่เสมอ

ตาราง 3.4 ครั้งที่ 2 ใช้ตาราง look-up และ ค่า Calibrate = +3, N = Normal, A = Abnormal

ผู้ทดสอบ	เครื่องที่สร้างขึ้น	เครื่องมาตรฐาน 1[*1]	เครื่องมาตรฐาน 2[*2]
หญิง 1N	Hr = 80 SpO_2 = 97	Hr = 80 SpO_2 = 97	Hr = 80 SpO_2 = 97
ชาย 1N	Hr = 78 SpO_2 = 98	Hr = 78 SpO_2 = 98	Hr = 78 SpO_2 = 98
เด็ก 1N	Hr = 76 SpO_2 = 98	Hr = 76 SpO_2 = 99	Hr = 76 SpO_2 = 98
ชาย 2N	Hr = 72 SpO_2 = 97	Hr = 72 SpO_2 = 97	Hr = 72 SpO_2 = 97
ชาย 3N	Hr = 76 SpO_2 = 97	Hr = 76 SpO_2 = 98	Hr = 76 SpO_2 = 98
หญิง 1A	Hr = 88 SpO_2 = 97	Hr = 88 SpO_2 = 97	Hr = 88 SpO_2 = 97
ชาย 2A	Hr = 78 SpO_2 = 98	Hr = 78 SpO_2 = 98	Hr = 78 SpO_2 = 98

*1 = Nelcor Oximax N-600x, *2 = Bionics BMP-200

หลังจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของการวัดแล้ว ทำให้เครื่องที่สร้างขึ้นอ่านค่าได้ตรงกับเครื่องมาตรฐานทั้งสอง จากนั้นจึงนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นไปทดสอบใช้ในสถานที่จริง โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์เป็นผู้ทดสอบ

3.3 ความสำคัญของเครื่องวัดระดับออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดกับสภาวะของร่างกาย

3.3.1 ผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระบบหายใจ

การออกกำลังกายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์เท่าๆ กับการรับประทานอาหารและการพักผ่อนทั้งนี้เนื่องจากร่างกายต้องมีการเคลื่อนไหวหรือการออกกำลังกายอยู่เสมอ จึงจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการใช้และไม่ใช้ ผลของการออกกำลังกายสามารถเร่งกระบวนการต่างๆ ของร่างกายให้เพิ่มขึ้น กระตุ้นให้ระบบต่างๆ ในร่างกายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอวัยวะส่วนต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาดีขึ้น

หน้าที่ของระบบหายใจ คือ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างออกกำลังกายการหายใจจะเพิ่มมากกว่าตอนพัก ก๊าซทั้ง 2 ชนิดจะถ่ายเทแลกเปลี่ยนกันระหว่างอากาศและเลือดโดย ผ่านทางผนังของถุงลม (alveoli) ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) จะนำออกซิเจนซึ่งไม่ค่อยละลายในน้ำเหลืองไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในน้ำเหลืองได้ง่ายในรูปของ ไบคาร์บอเนต (bicarbonate)

เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย จะมีการเพิ่มการหายใจอย่างปานกลางโดยทันที ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการเคลื่อนไหวกระดูก ข้อ กล้ามเนื้อ และอีก 2 – 3 นาทีต่อมา ถ้ายังออกกำลังกายต่อไป การหายใจจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และค่อย ๆ คงที่ไม่เพิ่มต่อไปอีก ช่วงนี้อาจจะเป็นผลจากการกระตุ้นของสารเคมีบางอย่างซึ่งยังไม่ทราบกลไกชัดเจน กล้ามเนื้อที่ทำงานจะผลิตของเสียออกมาคือคาร์บอนไดออกไซด์และกรดแลกติก (lactic acid) และต้องการออกซิเจนมากขึ้น ในขณะนั้นความดันของคาร์บอนไดออกไซด์และความดันของออกซิเจนจะยังคงปกติ นอกจากจะออกกำลังกายหนักจริง ๆ การที่เลือดมีฤทธิ์เป็นกรดมิได้เป็นผลจากการหายใจ เมื่อหยุดการออกกำลังกาย การหายใจจะลดลงทันทีเช่นกัน และลดลงมากกว่าตอนขึ้นเสียอีก ต่อจากนั้นจะค่อย ๆ กลับคืนสู่สภาพปกติ แต่ช้ากว่าตอนขึ้นการ ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอมีคุณค่าต่อระบบหายใจดังนี้

(1) ทำให้ขนาดของทรวงอกเพิ่มขึ้น

(2) กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจมีความแข็งแรงมากขึ้น

(3) อัตราการหายใจในขณะพักช้าลง เพราะคุณภาพของการหายใจเพิ่มขึ้น

(4) ความจุปอดเพิ่มขึ้น เนื้อที่ของถุงลมมากขึ้น

(5) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซดีขึ้น ร่างกายสามารถรับออกซิเจนได้มากขึ้น

3.3.2 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจและระดับออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือด

(1) eupnea เป็นการหายใจปกติ

(2) dyspnea เป็นการหายใจลำบาก ซึ่งต้องการความพยายามมากในการหายใจแต่ละครั้ง ในสัตว์จะสามารถสังเกต dyspnea ได้บ่อย

(3) hyperpnea (หรือ hyperventilation) เป็นการหายใจที่มีการเพิ่มความลึกหรือความถี่หรือเพิ่มทั้ง 2 อย่าง

(4) polypnea เป็นการหายใจที่มีการเพิ่มความถี่ แต่ความลึกการหายใจลดลง (หายใจตื้น) จะเหมือนกับ hyperpnea ในแง่ของการเพิ่มความถี่ แต่ความลึกการหายใจจะต่างกัน

(5) apnea เป็นการหยุดหายใจ

(6) tachypnea เป็นการหายใจเร็วมากเกินไป เป็นการผิดปกติ

(7) bradypnea เป็นการหายใจช้าเกินไป เป็นการผิดปกติ

(8) anoxia โดยคำศัพท์หมายถึง การขาด O_2 (ซึ่งจะต้องแยกให้ชัดเจนจากคำว่า hypoxia ซึ่งหมายถึงภาวะ O_2 ลดต่ำลง)

(9) hypoxia หมายถึงภาวะที่ O_2 ลดต่ำกว่าปกติในอากาศ ในเลือด หรือในเนื้อเยื่อ สำหรับ hypoxemia หมายถึง การที่ความเข้มข้นของ O_2 ในเลือดลดลงต่ำกว่าปกติ ภาวะที่ O_2 ในเลือดต่ำกว่าปกตินั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

(ก) ambient hypoxia เป็นภาวะ hypoxia ที่เกิดจากเลือดได้รับ O_2 ไม่เพียงพอ เนื่องจากมี PO_2 ต่ำในบรรยากาศ หรืออากาศที่หายใจเข้ามี PO_2 ต่ำ มักพบในที่สูงบรรยากาศเบาบาง

(ข) anemic hypoxia เป็นการลดลงของ O_2 ในเลือดเนื่องจากมี Hemoglobin น้อยไม่เพียงพอ (โดย PAO_2 และ saturation percent ของ hemoglobin ยังคงปกติ) ทั้งนี้การลำเลียง O_2 ไปยังเนื้อเยื่อจึงไม่เพียงพอ มักพบ anemic hypoxia ในภาวะเสียเลือด ในภาวะโลหิตจางเนื่องจากสาเหตุต่างๆ หรือในภาวะที่ hemoglobin เสียหายไม่สามารถทำงานได้ เช่น ถูกเปลี่ยนเป็น methemoglobin หรือไปเกาะกับ CO_2

(ค) stagnant hypoxia หรือ ischemic hypoxia เป็นการลดลงของ O_2 ในเนื้อเยื่อเนื่องจาก blood flow ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อไม่เพียงพอ ทั้งที่ระดับ PAO_2 เป็นปกติ

(ง) histotoxic hypoxia เป็นภาวะที่ cell ไม่สามารถใช้ O_2 ที่ส่งมาเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ ทั้งที่ระดับ O_2 ในเลือดยังปกติ จึงมี O_2 หลงเหลือมากในกระแสเลือด และทำให้ค่า PV O_2 สูงกว่าปกติ

(10) hypercapnia ภาวะการมี CO_2 มากในเลือด

(11) hypocapnia ภาวะการมี CO_2 น้อยในเลือด

(12) cyanosis หมายถึง ลักษณะผิวหนังและเยื่อเมือกซึ่งเป็นสีคล้ำ (bluish or purplish) อันเนื่องมาจากการขาด O_2 ทั้งนี้จะคล้ำมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณการขาด O_2 ถ้าเป็นที่เฉพาะตำแหน่งอาจเกิดจากภาวะ ขาดเลือดมาเลี้ยง (blood flow obstruction) ได้

(13) asphyxia เป็นภาวะของ hypoxia ร่วมกับ hypercapnia (โดยปกติ 2 ภาวะนี้ไม่จำเป็นต้องเกิดร่วมกัน) ทำให้มีอาการหายใจไม่ออกหรือหายใจลำบาก เนื่องจากขาดอากาศ ตัวอย่างเช่น คนที่ติดอยู่ในลิฟต์ไม่มีอากาศหายใจ

3.4 การศึกษาทางการแพทย์เกี่ยวกับความสำคัญของปริมาณออกซิเจนที่อิ่มตัว ในเลือดที่เป็นเกณฑ์วิกฤตสำหรับการรักษาด้วยวิธีพิเศษ

ในงานวิจัยนี้ ผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ได้ให้ความเห็นว่า เครื่องวัดปริมาณของระดับออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการผ่าตัดและการรักษาด้วยวิสัญญีวิธี เนื่องด้วยมีข้อจำกัดทางเวลา จึงสามารถศึกษาได้เพียง 2 กรณี คือ

(ก) การผ่าตัดโดยใช้กล้องส่องเข้าไปในบริเวณที่จะผ่าตัด (Laparoscopic Surgery)

(ข) การฉีดยาชาเฉพาะที่เข้าสู่ช่องว่างระหว่างไขสันหลัง(Spinal anesthesia)

ทั้งสองกรณีนี้ สามารถเกิดภาวะแทรกซ้อนที่เรียกว่า hypoxemia ดังนิยามที่ให้ไว้ในหัวข้อ 3.3.2 ข้อ (9) ทำให้การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดมีความสำคัญมากในการรักษา

3.4.1 การผ่าตัดโดยใช้กล้องส่องเข้าไปในบริเวณที่จะผ่าตัด และการใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดเป็นตัวชี้บอกสภาวะของผู้ป่วย

ผ่าตัดโดยใช้กล้องส่องเข้าไปในบริเวณที่จะผ่าตัด อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในระหว่างผ่าตัด ต้องผ่านรูที่เจาะผ่านผนังหน้าท้องเข้าไป เทคนิคการผ่าตัด แบบนี้ได้รับการยอมรับมากขึ้นทั่วโลก เนื่องจากมีประโยชน์ในการลดความเจ็บปวดจากแผลผ่าตัดได้, ลดเวลาที่ต้องพักรักษาตัวในโรงพยาบาล และสามารถกลับมาทำงานได้เร็วกว่าการผ่าตัดแบบปกติ แต่อย่างไรก็ตาม การให้ยาระงับความรู้สึกในระหว่างผ่าตัดจะแตกต่างจากการผ่าตัดทั่วไป เนื่องจากผลของ CO_2 insufflation (การใส่ก๊าซ CO_2 เข้าไปในช่องท้อง) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทาง physiologic รวมทั้งการเปลี่ยน position ของผู้ป่วย ทำให้มีผลต่อ cardiopulmonary function โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ป่วย ASA physical status 3 หรือ 4

3.4.1.1 Intraabdominal Laparoscopic Procedures

Cholecystectomy

การผ่าตัด Laparoscopic cholecystectomy (LC) มีประโยชน์ในเบื้องต้นที่เหนือกว่า open cholecystectomy คือ ผู้ป่วยสามารถกลับสู่การใช้ชีวิตปกติได้เร็วกว่าเนื่องจากการผ่าตัดที่ไม่มี muscle spitting, การเจ็บปวดน้อยกว่า, ความต้องการยาระงับปวดชนิด narcotics น้อยกว่า, ภาวะแทรกซ้อนจาก narcotics น้อยกว่า เช่น ileus, และ ลดภาวะ respiratory compromise หลังผ่าตัดได้ นอกจากนี้ LC สามารถลดเวลาที่ต้องนอนโรงพยาบาล ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้ แต่อย่างไรก็ตามผู้ป่วยจะต้องมีค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งสำหรับอุปกรณ์ LC ที่มี

ราคาแพง ข้อเสียของการผ่าตัด LC ได้แก่ ความเสี่ยงจาก pneumoperitoneum และอาจมีการกระจายของมะเร็งทาง port sites ได้ ข้อห้ามของการทำ LC ได้แก่ ภาวะ coagulopathy ที่ไม่สามารถแก้ไขได้, มีโรคร่วมที่ต้องผ่าตัดแบบหน้าท้อง (laparotomy) และผู้ป่วยที่ไม่สามารถทนต่อการให้ยาระงับความรู้สึกแบบนี้ และภาวะ hypercarbia (poor cardiopulmonary function, impaired intracranial compliance) คนอ้วน (morbid obesity) ไม่ได้เป็นข้อห้ามสำหรับ LC ถึงแม้ว่าการให้ยาระงับความรู้สึกในผู้ป่วยเหล่านี้จะยากก็ตาม โดยสรุปการผ่าตัดแบบ LC มีความแตกต่างจาก open cholecystectomy ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.5 Laparoscopic cholecystectomy

Comparison with traditional open cholecystectomy	***Potential postoperative benefits***
Smaller abdominal incision	Reduced pain
Longer operating time	Less diaphragmatic dysfunction
Requires pneumoperitoneum	Improved pulmonary function
Expensive instrumentation	Less ileus
	Early ambulation
	Economic benefits
	Shorter hospital stay

3.4.1.2 ลำดับขั้นตอนการผ่าตัด (Surgical sequence)

(ก) ใน closed technique จะมีการใช้ verres needle แทงทะลุ abdominal wall โดยผ่านทางรอยลงมีดเหนือสะดือเข้าไปในช่องท้อง หลังจากนั้น CO_2 จะถูก insufflated ผ่าน needle เพื่อให้เกิด pneumoperitoneum ทำให้มองเห็นอวัยวะในช่องท้องได้

(ข) open technique จะใช้ trocar แทงทะลุในตอนแรก และ CO_2 จะถูก insufflated

(ค) เปิดรูเพิ่มเพื่อ manipulate เนื้อเยื่อและอวัยวะในช่องท้อง

(ง) CO2 จะถูก insufflated ในอัตรา 6 ลิตร/นาที ด้วยความดัน สูงสุดไม่เกิน 12-15 มิลลิเมตรปรอท

(จ) ขณะที่ศัลยแพทย์จะเปิดช่องแรก (initial puncture) บางคนอาจต้องการให้ผู้ป่วยนอนในท่าศีรษะต่ำ (head-down position) หรืออาจใช้ท่านอนราบธรรมดา (supine) ก็ได้

(ฉ)ในระหว่างผ่าตัด ถ้าเป็นการผ่าตัดช่องท้องส่วนบน ผู้ป่วยจะถูกจัดท่า head-up position อาจจะร่วมกับการหักเตียงผ่าตัด บริเวณสะโพกผู้ป่วยก็ได้

(ช) เริ่มต้นผ่าตัดโดยอวัยวะภายในช่องท้องถูก identified, gallbladder ถูก dissected จาก liver bed, cystic duct และ artery ถูก clipped และ ligated

(ซ) gallbladder ที่ถูก dissected แล้ว จะถูกเอาออกทางแผลเหนือสะดือ

(ฌ) ถ้ามีปัญหากายวิภาคไม่ชัดเจน หรือมีการอักเสบมาก หรือมีเลือดออกมาก, ศัลยแพทย์จะเปลี่ยนเป็น open cholecystectomy แทน (ประมาณ 5% ของ cases)

3.4.1.3 ภาวะแทรกซ้อนจากการผ่าตัด

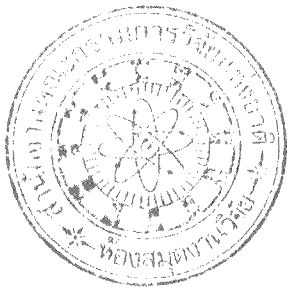
(ก) Injury ต่อทางเดินน้ำดี เป็นภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นได้บ่อยหลังจาก laparoscopy และมีแนวโน้มที่รุนแรงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ open cholecystectomy ดังนั้นโอกาสที่จะซ่อมแซม (reconstruction) ให้ได้ผลสำเร็จจึงน้อยลง ปัญหา identification ที่ผิดพลาดของ common duct ทำให้ทำให้เกิด accidental division หรือ resection และ obstruction โดย hemoclips เป็นอันตรายที่พบบ่อยที่สุดผู้ป่วยที่มีปัญหาแทรกซ้อนต่อทางเดินน้ำดี จะอาการและอาการแสดงหลังผ่าตัด ได้แก่ อาการปวดมาก, มีตัวเหลืองตาเหลือง และอาการของ bile collections.

(ข) Intestinal injury ได้แก่ การเกิดอุบัติเหตุโดยตรงต่อระบบทางเดินอาหาร เช่น duodenum, transverse colon.

(ค) Vascular injury คือการเกิดอันตรายต่อเส้นเลือด โดยเฉพาะ iliac vessels.

3.4.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา(physiologic) และภาวะแทรกซ้อน

การใส่ Trocar มีรายงานการเกิดอันตรายที่เกิดขึ้นในขณะใช้ Verres needle หรือ trocar โดยวิธี blind ผ่านผนังหน้าท้องก่อนที่จะใช้กล้อง พบว่า อันตรายดังกล่าว เช่น bleeding จากเส้นเลือดบริเวณผนังหน้าท้อง, ระบบทางเดินอาหารทะลุ, มีการฉีกขาดของตับและม้าม, มีอุบัติเหตุต่อเส้นเลือดใหญ่, มีการแยกของ omentum และมีการเลื่อนของตำแหน่งที่ใส่ trocar เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการใส่ Verres needle และ trocar แบบ blind ได้แนะนำให้ใช้เทคนิค "Hasson" minilaparotomy ก่อน โดย primary trocar จะถูกสอดผ่าน minilaparotomy incision



3.4.1.5 การจัดท่าผู้ป่วย

ระหว่างการทำ laparoscopic surgeryผู้ป่วยจะถูกจัดท่าเพื่อให้แรงโน้มถ่วงของโลกดันอวัยวะในช่องท้องออกจากบริเวณที่จะผ่าตัด แรงโน้มถ่วงจะมีผลอย่างมากต่อระบบหัวใจหลอดเลือดและระบบหายใจ การที่ให้ศีรษะต่ำ 10-20 องศา ซึ่งใช้บ่อยในการผ่าตัดทางนรีเวช และการใส่ trocar ใน LC จะทำให้เพิ่ม central blood volume, ลด vital capacity และลดการเคลื่อนไหวของกระบังลม ในขณะที่ท่า reverse trendelenburg (ศีรษะสูง) จะทำให้ pulmonary dynamics ดีขึ้น แต่ลด venous return การเปลี่ยนแปลงท่าของผู้ป่วย จะมีผลมากหรือน้อยขึ้นกับ องศา, อายุของผู้ป่วย, สภาวะน้ำในร่างกาย, โรคทางหัวใจ, ยาดมสลบที่ใช้และเทคนิคการช่วยหายใจ

3.4.1.6 การทำให้เกิด Pneumoperitoneum

(ก) ปัญหาทางด้านเทคนิค

การใส่ CO_2 ออกนอกช่องท้อง (extraperitoneal insufflation) เป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยที่สุดอันหนึ่งของ laparoscopy มีรายงานอุบัติการณ์ตั้งแต่ 0.4 - 2%. Extraperitoneal insufflation อาจทำให้เกิด subcutaneous emphysema โดยอาจเกิดได้ถ้าปลายของ Verres needle ไม่ทะลุผ่าน peritoneal cavity ก่อนใส่ก๊าซทำให้มีการสะสมของก๊าซใน Subcutaneous tissue หรือระหว่าง fascia และ peritoneum มีรายงานการเกิด extensive subcutaneous emphysema ซึ่งเกิดจนถึงคอ, หน้าอก, หน้าท้อง และขยายไปถึงขาหนีบได้ การเกิด extraperitoneal insufflation มีความสัมพันธ์กับ absorption ของ CO_2 ที่สูงขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ intraperitoneal insufflation และอาจทำให้ระดับ ET CO_2 (CO_2 ในลมหายใจออก) เพิ่มขึ้นทันทีทันใดระหว่างผ่าตัดได้

(ข). Pneumomediastinum และ Pneumothorax

ปัญหานี้ถ้าวินิจฉัยไม่ได้ ทำให้เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ การวินิจฉัยควรพิจารณาในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของ airway pressure, hemodynamic compromise, oxygen desaturation หรือ ภาวะ hypoxemia/hypercarbia โดยไม่ได้คาดคิด ภาวะ subcutaneous emphysema ของคอ, หน้าอก และหน้า เป็นสัญญาณเตือนวิสัญญีแพทย์ว่า อาจจะมีภาวะแทรกซ้อนเหล่านี้

(ค). ผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด

ผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านระบบหัวใจและหลอดเลือด ที่สัมพันธ์กับการทำให้เกิด pneumoperitoneum จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การจัดท่าของผู้ป่วยระหว่างผ่าตัด, intraabdominal pressure ที่เพิ่มขึ้น ระหว่าง insufflation และ neurohumoral effects ของ absorbed CO2 ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 Hemodynamic changes during pheumoperitoneum

HEMODYNAMIC CHANGES DURING PHEUMOPERITONEUM	
Mean arterial blood pressure (MABP) Systemic vascular resistance (SVR)	Increase
Left ventricular end – systolic wall stress	Increase
Heart rate (HR)	Increase
Central venous pressure (CVP)	No/Increase
Pulmonary artery occlusion pressure (PAOP)Cardiac index (CI)	Increase
Mean arterial blood pressure (MABP) Systemic vascular resistance (SVR)	Increase
Left ventricular end – systolic wall stress	Decrease

ภาวะทางด้าน cardio respiratory ก่อนผ่าตัด, intravascular volume และยาดมสลบที่ใช้ อาจมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงทางระบบหัวใจและหลอดเลือดดังกล่าว

filling pressure ของหัวใจ, central venous pressure (CVP) และ pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) ในตอนต้นจะลดลงหลังจากการนำสลบ และมี venous pooling จากท่า reverse trendelenburg แต่หลังจาก CO_2 insufflation จะมีการเพิ่มขึ้นของ filling pressures ทั้งด้านขวาและซ้าย CO_2 ที่ถูก insufflated กดทั้งระบบหลอดเลือดดำและแดง ผลต่อหลอดเลือดดำจะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ venous return ในตอนแรก ตามด้วยการยับยั้ง ส่วนผลต่อระบบหลอดเลือดแดง ทำให้ systemic vascular resistance (SVR) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน phase ต้น ๆ ของ CO_2 insufflation ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของความดันเลือดแดงเฉลี่ย (MABP) ส่งผลให้เพิ่ม afterload ของหัวใจ และสัมพันธ์กับการลดลงของ cardiac index (CI) ขนาดของ CI ที่ลดลง จะสัมพันธ์โดยตรงกับ insufflation pressure โดยพบว่า threshold pressure ที่มีผลต่อ hemodynamic น้อยที่สุด อยู่ที่ intraabdominal pressure ไม่เกิน 12 mmHg.

ในผู้ป่วยที่มี ASA 3 และ 4 ที่มีโรคหัวใจอย่างรุนแรง cardiac output จะลดลง, SVR และ MABP จะเพิ่มขึ้นหลังจาก CO_2 insufflation โดยมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของ

mixed venous oxygen saturation (SVO_2) และ oxygen delivery ประมาณ 50% ในผู้ป่วยเหล่านี้

ภาวะ hypercarbia และ respiratory acidosis อาจมีผลลด myocardial contractility และลด arrhythmia threshold โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้า myocardium พร้อมที่จะถูกกระตุ้นโดย volatile anesthetic agents.

นอกจากนี้ภาวะ hypercarbia และ pneumoperitoneum จะกระตุ้นระบบประสาท sympathetic และมีการหลั่ง catecholamines และพบว่าระหว่าง pneumoperitoneum ระดับ dopamine, vasopressin, epinephrine, norepinephrine, renin และ cortisol จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

มีรายงานผู้ป่วยที่มี acute hypotension, hypoxemia และ cardiovascular collapse หลังจาก laparoscopy มีสมมุติฐานเกิดจาก

(1) hypercarbia อาจชักนำให้เกิด dysrhythmias

(2) vagal reflex จาก peritoneum ถูกยืดมากเกินไป

(3) จากการกด inferior vena cava ทำให้ลด cardiac output

(4) ภาวะเลือดออก

(5) venous gas embolism ซึ่งในกรณีนี้จะสัมพันธ์กับ profound hypotension, cyanosis และ asystole

(ง). ผลต่อระบบการหายใจ

CO_2 insufflation เข้าสู่ peritoneal cavity จะเพิ่ม arterial CO_2 tension ซึ่งจะแก้ไขโดยการเพิ่ม minute ventilation การ absorption ของ CO_2 จาก closed cavity ขึ้นกับความสามารถในการละลายของ CO_2 และ perfusion ที่ผนังของ cavity นั้น โดยไม่ขึ้นกับอัตราของ insufflation ของก๊าซที่เข้าสู่ cavity

ในผู้ป่วย ASA 3 หรือ 4 ค่า $PaCO_2$ อาจเพิ่มสูงขึ้นทั้ง ๆ ที่ มีการปรับ minute ventilation และพบว่า การตรวจหน้าที่ของปอด (pulmonary function test) ที่มีค่า FEV1 น้อยกว่า 70% ของค่าทำนายและมี diffusion defects น้อยกว่า 80% ของค่าทำนาย จะเพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะ hypercarbia และrespiratory acidosis หลังจาก pneumoperitoneum

ในระหว่างผ่าตัด การเปลี่ยนแปลงทาง respiratory function ที่เกิดขึ้นได้แก่ การลดลงของ functional residual capacity (FRC), lung compliance เนื่องจากท่า supine และมีการเลื่อนไปทางศีรษะของกระบังลม อย่างไรก็ตาม เมื่อ insufflation ของ CO_2 เข้าไปในช่องท้อง

อาจทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดมากขึ้น มีการศึกษาของ Kendall และคณะในผู้ป่วย 20 คน ที่มาทำ laparoscopic cholecystectomy พบว่ามีการลดลงของ thoracic และ lung compliance 49 % และ 39% ตามลำดับ เมื่อความดันในช่องท้องขึ้นถึง 15 mmHg.

ภาวะ hypoxemia ระหว่าง laparoscopic abdominal surgery เกิดได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ การลดลงของ compliance, ลด FRC และ V/Q mismatch ภาวะนี้เกิดขึ้นน้อยในผู้ป่วยที่มีสุขภาพดี นอกจากนี้ hypoxemia อาจเกิดจาก regurgitation และ aspiration ของ gastric contents ได้

การเปลี่ยนแปลงในระบบการหายใจภายหลังการผ่าตัด พบว่า laparoscopic surgery อาจลดภาวะแทรกซ้อนทางการหายใจได้ เนื่องจากหลีกเลี่ยงปัญหา restrictive pattern ของการหายใจ จากการศึกษาของ schauer และ คณะเปรียบเทียบ open cholecystectomy กับ LC พบว่า LC มี impairment ของ pulmonary function น้อยกว่า 30-38% โดยประเมินจาก FRC, FEV1, maximum forced expiratory flow และ total lung capacity โดยสรุปการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับระบบหายใจระหว่าง pneumoperitoneum ดังตาราง 3.7

ตาราง 3.7 Pulmonary function changes during pneumoperitoneum

Pulmonary function changes during pneumoperitoneum	
Peak inspiratory pressure (PIP) Intrathoracic pressure (ITP)	Increase
Vital capacity (VC)	Increase
Functional residual capacity (FRC)	Decrease
Compliance	Decrease
PaCO2	Decrease
PaO2	Increase
Peak inspiratory pressure (PIP) Intrathoracic pressure (ITP)	No/Decrease

3.4.1.7 การเปลี่ยนแปลงด้าน hemodynamic และ ventilatory effect ในผู้ป่วยส่องกล้องทางนรีเวช

ตั้งแต่ปี 1970's เมื่อเริ่มมี gynecologic laparoscopy ได้มีการศึกษา laparoscopy ในท่า trendelenburg พบว่าค่าความดันเลือดแดงเฉลี่ยและค่า PaCO2 จะเพิ่มขึ้น สำหรับความดันในช่องท้อง 15 - 20 cmH2O จะมีผลน้อยมากในผู้หญิงที่มีสุขภาพดี เมื่อความดันในช่องท้องเพิ่มเป็น 25 cmH2O สังเกตว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของ airway pressure,

intrathoracic, central venous pressure และ cardiac output เมื่อความดันเพิ่มถึง 40 cmH2O ผู้ป่วยจะ tachycardia, มีการลดลงของ BP, CVP และ cardiac output การเพิ่มความดันในช่องท้องมาก ๆ อาจไล่เลือดออกจากอวัยวะในช่องท้อง ทำให้มีการเพิ่มของ peripheral venous pooling และลด CVP ได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจแตกต่างจาก LC เนื่องจาก position ของผู้ป่วยขณะทำผ่าตัดแตกต่างกัน (head-down กับ head-up position)

3.4.2 เทคนิคการให้ยาระงับความรู้สึก

choice ของ anesthetic technique สำหรับ upper abdominal laparoscopic surgery ส่วนใหญ่เป็น general anesthesia เนื่องจากผู้ป่วยจะรู้สึกไม่สบายเมื่อมี pneumoperitoneum และจากการเปลี่ยน position ระหว่างผ่าตัด การใช้ท่อช่วยหายใจที่มี cuffed จะช่วยลดความเสี่ยงต่อ acid aspiration ถ้ามี reflux เกิดขึ้น แนะ-นำให้ controlled ventilation เนื่องจากมีหลายปัจจัยอาจทำให้เกิด hypercarbia รวมทั้งการกดการหายใจจากยาดมสลบ, absorption ของ CO_2 จาก peritoneal cavity, การรบกวนการหายใจจาก pneumoperitoneum และการให้ศีรษะต่ำมาก ๆ ในตอนแรก

หลังจากนำสลบแล้ว จะใส่ urinary catheter และ nasogastric tube การใส่ bladder catheterization เพื่อ decompress กระเพาะปัสสาวะและหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุต่ออวัยวะในช่องท้อง ขณะใส่ trocar การใส่ NG tube เพื่อทำ gastric decompression อาจลดความเสี่ยงต่ออวัยวะภายในทะลุและอาจทำให้การผ่าตัดมองเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น

(1) การเลือกใช้ยาระหว่างผ่าตัด วิสัญญีแพทย์ส่วนใหญ่จะใช้ balanced anesthetic techniques โดยใช้ oxygen, nitrous oxide, volatile anesthetic agents, muscle relaxants และ opioids. ยากลุ่ม opioids มีรายงานการเกิด spasm ของ sphincter of Oddi ได้ โดยเฉพาะ morphine และ fentanyl , ส่วน nalbuphine ไม่มีผลต่อการหดตัวของ sphincter of Oddi

ภาวะคลื่นไส้ และอาเจียนเป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุด หลังจาก laparoscopic surgery ปัจจุบันมี antiemetic agent ที่พบว่ามีประสิทธิผลดีมากในการป้องกันและรักษาภาวะดังกล่าว คือ ondansetron ซึ่งเป็น selective 5-HT3 receptor antagonist

(2) การเลือกใช้ Nitrous oxide การใช้ nitrous oxide ระหว่าง laparoscopic surgery ยังคงมี controversial อยู่ เนื่องจากได้คำนึงถึงความสามารถของ N_2O ที่ทำให้เกิด bowel distention ระหว่างการผ่าตัด และการเพิ่มภาวะคลื่นไส้/อาเจียนหลังผ่าตัด ได้มีการศึกษาของ Taylor และคณะเกี่ยวกับความปลอดภัยและประสิทธิผลของ N_2O ระหว่าง laparoscopic cholecystectomy พบว่า operating conditions หรือ bowel distention ไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ได้ air และ N_2O อุบัติการณ์ของภาวะคลื่นไส้และอาเจียนเหมือนกันทั้งสองกลุ่ม มีการศึกษาของ Neuman และคณะเกี่ยวกับ diffusion ของ N_2O เข้าสู่ CO_2 pneumoperitoneum พบว่า N_2O สามารถ diffuse เข้าสู่ CO_2 ได้ และมีความเข้มข้นของ N_2O เพียงพอที่จะช่วยให้ไฟติด (support combustion) หลังจากการใช้ N_2O 30 นาที ดังนั้น Neuman และคณะจึงแนะนำให้ลดหรือ หลีกเลี่ยงการใช้ N_2O ใน laparoscopic procedures

โดยสรุป N_2O สามารถใช้ได้ใน laparoscopic surgery เนื่องจากยังไม่มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ surgical conditions หรือ อุบัติการณ์ของภาวะคลื่นไส้และอาเจียนหลังผ่าตัด แต่อย่างไรก็ตามการใช้ N_2O นานเกิน 30 นาที จะช่วยให้ไฟติดได้

(3) Monitoring ระหว่างผ่าตัด

ก. Monitoring ตามมาตรฐานได้แก่ NIBP (noninvasive blood pressure), pulse rate, EKG, peripheral oxygen saturation (ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถเชื่อมต่อแบบ Wireless ไปปรากฏบน monitoring center และทีมแพทย์สามารถร้องขอข้อมูลได้ครั้งละหลาย ๆ คน)

ข. Monitors เฉพาะสำหรับการผ่าตัด laparoscopy ได้แก่

- ETCO2 คือก๊าซ CO_2 ในขณะที่สิ้นสุดการหายใจออก โดยใช้เครื่อง capnometer เนื่องจากเป็นการผ่าตัดที่ใส่ CO_2 เข้าไปในช่องท้อง อาจมี ภาวะ hypercarbia ได้
- ความดันในช่องท้อง (Intraabdominal pressure) ที่เกิดจาก CO_2 pneumoperitoneum ในระหว่างการผ่าตัด ควรจำกัดให้ความดันอยู่ระหว่าง 8 – 12 mmHg.

ค. Monitors สำหรับผู้ป่วย ASA 3, 4 ควรมี invasive hemodynamic monitoring ได้แก่ arterial line สำหรับวัดความดันโลหิตโดยตรง และดูค่า ABG โดยเฉพาะค่า $PaCO_2$

(4) การให้ยาระงับปวดหลังผ่าตัด

ก. Opioids อาจจำเป็นต้องใช้ในขนาดใกล้เคียงกับ open cholecystectomy ใน PACU แต่ขนาดทั้งหมดก่อนผู้ป่วยจะกลับบ้านจะได้รับน้อยกว่า รูปแบบการใช้ อาจเป็นการฉีดยาทางหลอดเลือดเป็น intermittent หรือ PCA ก็ได้

ข. NSAID มีการใช้ Ketorolac ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพดีมากสำหรับการระงับปวดหลังผ่าตัด โดยการฉีดเข้ากล้าม ขนาด 1 มก./กก. ขณะใกล้เสร็จผ่าตัด แต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับกลไกการแข็งตัวของเลือดได้ มีการศึกษาพบว่า Ketoralac สามารถลดความต้องการ opioid หลังผ่าตัดได้ แต่ไม่สามารถลดปัญหาภาวะคลื่นไส้และอาเจียนหลังผ่าตัด laparoscopic cholecystectomy ได้

ค. Local anesthetics มีการใช้ intraperitoneal bupivacaine และ interpleural bupivacaine แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ นอกจากนี้มีการใช้ thoracic epidural analgesia พบว่าได้ผลดี

ง. Surgical maneuvers ได้แก่ การทำ preemptive analgesia โดยศัลยแพทย์ฉีดยาชา infiltrate บริเวณ puncture site ก่อนลงมีด และหลังเสร็จการผ่าตัดทำ desufflate abdomen เอาก๊าซที่ใส่เข้าไปในช่องท้องออกให้ได้มากที่สุด ซึ่งพบว่าก๊าซที่เหลือในช่องท้องเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเจ็บปวดหลังผ่าตัด

3.4.3 ผลการฉีดยาชาเฉพาะที่เข้าสู่ช่องว่างระหว่างไขสันหลัง (Spinal Anesthesia) และการใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่อิ่มตัวในเลือดเป็นตัวชี้บอกสภาวะของผู้ป่วย

spinal anesthesia คือ เทคนิคการฉีดยาชา (local anesthetic) เข้าสู่ subarachnoid space โดยยาชาจะออกฤทธิ์ที่ spinal nerve และ dorsal ganglion (ที่ spinal cord เอง พบว่า concentration ของยาชาต่ำเกินกว่าจะทำให้เกิด clinical effect) ทำให้เกิดอาการชาและขยับส่วนล่างของร่างกายไม่ได้อยู่ ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ตาม dermatome ที่ยาชาออกฤทธิ์ ซึ่งยาชาแต่ละชนิดมีระยะเวลาการออกฤทธิ์ยาวนานแตกต่างกัน

นอกจากคำว่า spinal anesthesia แล้ว ยังมีบางคำที่ใช้อยู่ และมีความหมายเดียวกัน คือ subarachnoid anesthesia และ intrathecal anesthesia โดย August Bier เป็นผู้ค้นพบเทคนิคนี้ครั้งแรกในปี 1898 และยังมีการใช้เทคนิคนี้จนกระทั่งทุกวันนี้ เทคนิคการฉีดยาชาเป็นหน้าที่ของวิสัญญีแพทย์ ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางนี้โดยเฉพาะ รายละเอียดเกี่ยวกับการผ่าตัดด้วยการฉีดยาชา ซึ่งสัมพันธ์กับกายวิภาค (anatomy) ของมนุษย์มีบรรยายไว้ในภาคผนวกที่ 2 ผลกระทบของการผ่าตัดด้วยวิธีการใช้ยาฉีดเข้าสู่ช่วงว่างระหว่างไขสันหลังมีดังนี้

3.4.3.1 Physiologic Effect

- Somatic nerve block (ภาคผนวก 2)

nerve fiber (A, B, C) มีความไวต่อยาชาไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดและการมีหรือไม่มี myelin sheath หุ้ม โดย nerve fiber ขนาดเล็กถูกขัดขวางการนำส่งกระแสประสาท (block) ง่ายกว่า, ถ้ามี myelin sheath หุ้มจะถูก block ง่ายกว่า พบว่า sympathetic nerve fiber จะถูก block ก่อน nerve fiber ที่ทำหน้าที่ด้าน pain, touch, และ motor

นอกจากนี้ nerve fiber ขนาดเล็กกว่าจะถูก block ได้โดยความเข้มข้น (concentration) ของยาชาที่ต่ำกว่า ดังนั้นการทำ spinal anesthesia จึงทำให้เกิด differential block โดย sympathetic block จะสูงกว่า sensory block (pin-prick sensation) ประมาณ 2-6 dermatomes ในขณะที่ motor block จะต่ำกว่า sensory block ประมาณ 2-3 dermatomes

-Autonomic block autonomic fiber ออกจาก spinal cord ดังนี้

- sympathetic fiber เป็น thoracolumbar (T1-L2) outflow

- parasympathetic fiber เป็น sacral outflow physiologic effect ส่วนใหญ่ เกิดจากการ block sympathetic fiber ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

3.4.3.2 Cardiovascular effect

เกิดจาก sympathetic block ทำให้เกิด vasodilation และมีผลดังนี้

- venodilatation ทำให้เกิด venous pooling และลด venous return เข้าสู่หัวใจ cardiac output จึงลดลง ทำให้ความดันเลือดต่ำลง ภาวะนี้เป็นภาวะที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิด hypotension (hypotension หมายถึง mean arterial blood pressure : MAP ลดลงจากค่าพื้นฐานมากกว่า 30% ในผู้ป่วยที่แข็งแรงสมบูรณ์ หรือ มากกว่า 20% ในผู้ป่วยที่มี hypertension, coronary artery disease, cerebrovascular disease, หรือโรคไต เป็นต้น)

- arterial dilatation ทำให้ peipheral vascular resistance (afterload) ลดลง ส่งผลให้ความดันเลือดต่ำลง

โดยทั่วไป ร่างกายจะพยายาม compensate ผ่านทาง baroreceptor mechanism โดยการเกิด tachycardia เพื่อคงความดันเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ และอาจเพิ่ม sympathetic activity ในระดับที่เหนือกว่า sympathetic block แต่ถ้า sensory block สูงถึง T4 จะทำให้ sympathetic fiber T1- T4 (cardioaccerelator nerve) ถูก block ด้วย จึงไม่สามารถเกิด tachycardia ซึ่งเป็น compensatory mechanism และอาจเกิด bradycardia ได้ เนื่องจาก unopposed vagal activity ของหัวใจ ความรุนแรงของ sympathetic block ขึ้นกับหลายปัจจัย ดังนี้

- degree ของ sympathetic activity ก่อนการ block ถ้ามี sympathetic activity สูงอยู่ก่อน การทำ spinal anesthesia จะมีผลให้ความดันเลือดลดลงมาก

- heart disease ผู้ป่วยกลุ่มนี้อาจไม่สามารถ compensate ต่อการเปลี่ยนแปลงของ cardiovascular dynamic

- ความสามารถของร่างกายที่จะ compensate ต่อ circulatory change ซึ่งความสามารถส่วนนี้อาจถูกยับยั้งในผู้ป่วยที่ได้รับยา beta-blocker, calcium channel block, หรือ ACE inhibitor เป็นต้น แม้แต่ sedative drug, anesthetics, และ opioid ก็สามารถกด vasomotor center ทำให้ร่างกายลดความสามารถในการตอบสนองต่อ cardiovascular change

- hypovolemia การทำ spinal anesthesia ทำให้ venous return ลดลง ในผู้ป่วยที่มี hypovolemia อยู่ก่อนจะ tolerate ต่อ extensive sympathetic block ไม่ได้

- head-up posture เนื่องจากท่าศีรษะสูงมีผลให้ venous return ลดลง

3.4.3.3 Respiratory effect

การ block ถึง midthoracic level มีผลเล็กน้อยต่อ pulmonary function ในผู้ป่วยที่ไม่มี pre-existing lung disease แม้ว่าการชาของ anterior abdominal muscle และ intercostal muscle ทำให้เสีย proprioception ผู้ป่วยจะรู้สึกว่าทรวงอก (chest wall) ไม่ขยายและรู้สึก dyspnea ตามมา ผู้ป่วยมักกังวลต่ออาการนี้ ซึ่งแพทย์ควรอธิบายและให้ความมั่นใจ (reassure) เพื่อให้ผู้ป่วยคลายกังวล เนื่องจาก 70% ของการหายใจ เป็นการทำหน้าที่ของกระบังลม ซึ่ง supply โดย phrenic nerve C3-5 และไม่มีผลกระทบจากการ block ที่ระดับนี้ (แม้แต่กรณีที่เกิด total spinal block ความเข้มข้นของยาชาก็มักจะไม่มากพอที่จะ block A α fiber ของ phrenic nerve หรือ block respiratory center ใน brain stem) ในผู้ป่วย obstructive pulmonary disease ซึ่งอาศัย accessory muscle สำหรับ active exhalation อาจเกิดปัญหา respiratory impairment ได้เช่นเดียวกับผู้ป่วยที่มี severe restrictive disease หรือ acute bronchospasm ดังนั้น ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ จึงไม่ควรให้ motor block สูงกว่า T7 นอกจากนี้ ภาวะ hypotension จาก sympathectomy อาจมีผลให้เกิด brain stem ischemia และ ผู้ป่วยหยุดหายใจได้

3.4.3.4 Gastrointestinal effect

การ block sympathetic outflow ที่ supply ลำไส้ (T5-L1) ทำให้ parasympathetic activity ซึ่ง ควบคุมด้วย vagus nerve (cranial nerve X) เด่นขึ้น ส่งผลให้ peristalsis ของลำไส้ และ relaxation ของ sphincter เพิ่มขึ้น

3.4.3.5 Liver

เลือดที่ไปยังตับจะลดลงเป็นสัดส่วนกับ mean arterial blood pressure ที่ลดลง แต่เซลล์ตับจะ extract oxygen มากขึ้นจาก arterial inflow จึงไม่เกิด ischemia

3.4.3.6 Urinary tract

การ block sacral parasympathetic outflow (S2-S4) ทำให้เกิด bladder atony ในขณะที่การ block sympathetic activity ของ bladder ทำให้ bladder sphincter tone เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 ภาวะที่เกิดขึ้น มีผลให้ ผู้ป่วยปัสสาวะเองไม่ได้ (มี urinary retention) ผู้ป่วยจะกลับมาปัสสาวะได้เป็นปกติหลังจากยาชาหมดฤทธิ์ต่อเส้นประสาทดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเป็นฤทธิ์ของยาชาที่หมดเป็นลำดับสุดท้าย

3.4.3.7 Metabolic & Endocrine

การผ่าตัดและความเจ็บปวดทำให้เกิด stress response เราเชื่อกันว่า central neural blockade (spinal & epidural anesthesia) สามารถยับยั้ง stress response ได้ เพราะ afferent sensory information ที่ initiate ให้เกิด stress response ถูก block ไว้

3.4.3.8 Thermoregulation

ภาวะ vasodilatation ที่เกิดจาก sympathectomy ทำให้ skin blood flow เพิ่มขึ้น จึงเกิด redistribution ของความร้อนจาก central part ไปยัง periphery ร่างกายจึงสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น

3.5 การประยุกต์ใช้เครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่สร้างขึ้นในผู้ป่วยภายใต้สภาวะการเจ็บป่วยที่ต่างกัน

ได้นำเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นในโครงการวิจัยนี้ (รูป 3.1) มาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าออกซิเจนอิ่มตัวหรือ SpO_2 และวัดอัตราการเต้นของหัวใจของคนไข้ที่อยู่ภายใต้สภาวะการเจ็บป่วยต่างกันในโรงพยาบาลและ/หรือสถานพยาบาลที่ให้ความร่วมมือกับโครงการวิจัยนี้ เช่นโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ โรงพยาบาลชุมชนสันป่าตอง โรงพยาบาลชุมชนหางดง และโรงพยาบาลนครพิงค์ เป็นต้น เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่อง SpO_2 meter ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่อง SpO_2 meter มาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศ

3.5.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดที่ได้รับ spinal anesthesia

3.5.1.1 หลักการและเหตุผล

ผู้ป่วยหลังผ่าตัดที่ได้รับ general anesthesia มีโอกาสเกิดภาวะ hypoxemia ได้บ่อย จึงมีการให้ออกซิเจนในผู้ป่วยกลุ่มนี้ทุกราย แต่ไม่มีรายงานถึงค่า SpO_2 ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดที่ได้รับ spinal anesthesia

3.5.1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาค่า SpO_2 ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดที่ได้รับ spinal anesthesia

3.5.1.3 รูปแบบการศึกษา

Descriptive study

3.5.1.4 สถานที่ทำการศึกษา

ห้องพักฟื้น โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ โรงพยาบาลชุมชนสันป่าตอง โรงพยาบาลชุมชนหางดง และโรงพยาบาลนครพิงค์

3.5.1.5 กลุ่มตัวอย่าง

ศึกษาในผู้ป่วย 121 คน ทั้งหมดอยู่ใน ASA class I หรือ II ผู้ป่วยเหล่านี้ได้รับยา 5% heavy lidocaine หรือ 0.5% bupivacaine ผู้ป่วยเป็นชาย 79 คน หญิง 42 คน อายุเฉลี่ย 38.16 ±18.42 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 56.99 ± 10.63 กก. มีค่า hematocrit เฉลี่ย 37.34 ± 5.44% ระดับการชาเฉลี่ย T8.94 ± 2.65 ระยะเวลาการผ่าตัด 74.20 ± 37.13 นาที

3.5.1.6 การวัดผล

บันทึกค่า SpO_2 ด้วยเครื่อง pulse oximeter monitor ที่เวลา 0.5, 10 , 15, 20, 25 และ 30 นาทีนับจากเมื่อผู้ป่วยมาถึงห้องพักฟื้น

3.5.1.7 ผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยของ SpO_2 ที่เวลาต่าง ๆ ดังกล่าวมีค่า 98, 98, 98, 97, 98, 97 และ 98 % ตามลำดับค่า Sp02 ที่เวลา 0, 5 และ 10 นาที ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีอายุมากกว่า 60 ปี จะมีค่าน้อยกว่ากลุ่มผู้ป่วยที่อายุน้อยกว่า 40 ปี และกลุ่มผู้ป่วยที่มีอายุระหว่าง 40 ถึง 60 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า SpO_2 ที่เวลา 30 นาที ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีน้ำหนักตัวมากกว่า 80 กก. จะมีค่าน้อยกว่ากลุ่มผู้ป่วยที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า 60 กก. และกลุ่มที่มีน้ำหนักระห่าง 60 ถึง 80 กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกลุ่มผู้ป่วยที่มีความเร็วชีพจรมากกว่า 100 ครั้ง/นาที จะมีค่า SpO_2 ที่เวลา 0 และ 25 นาที น้อยกว่ากลุ่มผู้ป่วยที่มีความเร็วชีพจรน้อยกว่า 80 ครั้ง/นาที และกลุ่มที่มีชีพจรระหว่าง 80 ถึง 100 ครั้ง / นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแตกต่างเหล่านี้มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางคลินิก

3.5.1.8 สรุป

ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SpO_2) ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ย 98% พบภาวะ hypoxemia น้อยมาก (พบเพียง 0.65%) อายุผู้ป่วยที่มากกว่า 80 ปี น้ำหนักตัวมากกว่า 80 กก.และชีพจรที่สูงกว่า 100 ครั้ง/นาที จะมีผลทำให้ค่า SpO_2 ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ระดับการชา ค่า hematocrit, ชนิดของยาชาที่ใช้เวลาของการผ่าตัด และความดันโลหิตไม่มีผลต่อค่า SpO_2

3.5.2 การทดลองเพื่อใช้เครื่องวัดระดับออกซิเจนในเลือดเป็นหนึ่งในตัวชี้บอกสัญญาณชีพที่หกในโครงการ The Sixth Vital Sign ในผู้ป่วยเด็ก (OPD PED)

3.5.2.1 หลักการและเหตุผล

แผนก OPD PED เป็นหน่วยงานที่สำคัญในการคัดกรองผู้ป่วย เพื่อเข้ารับการตรวจรักษา การประเมินสภาพผู้ป่วยอย่างเหมาะสม ถูกต้องจะเป็นการป้องกันหรือลดอุบัติการณ์เสี่ยงในผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาอย่างรวดเร็ว ไม่เกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงถึงแก่ชีวิต ดังนั้นทางแผนก OPD PED เห็นความสำคัญของการใช้ Pulse Oximeter เพื่อเป็นการประเมินอาการผู้ป่วยในทุกราย โดยการตรวจวัด Pulse oximeter มีข้อดี คือ เป็นเครื่องตรวจระดับ Oxygen ในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดค่าใช่จ่าย ไม่เจ็บ และ

สามารถช่วยเหลือคนไข้ได้ทันถ่วงที ซึ่งเป็นหัวข้อของการ Screening ทำให้มาตรฐานการดูแลมีความปลอดภัยและมีประโยชน์ต่อผู้ป่วย

3.5.2.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถดูแลผู้ป่วยภาวะ Emergency ได้ถูกต้อง

(2) เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถดูแลผู้ป่วยภาวะUrgent ได้ถูกต้อง

(3) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดกรองผู้ป่วยภาวะ Emergency ได้ถูกต้อง

(4) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดกรองผู้ป่วยภาวะUrgent ได้ถูกต้อง

3.5.2.3 เป้าหมาย

(1) กระบวนการดูแลผู้ป่วยภาวะ Emergency ของเจ้าหน้าที่ถูกต้อง > 90%

(2) กระบวนการดูแลผู้ป่วยภาวะ Urgent ของเจ้าหน้าที่ถูกต้อง > 90%

(3) ประสิทธิภาพการคัดกรองผู้ป่วยภาวะ Emergency ของเจ้าหน้าที่ถูกต้อง > 90%

(4) ประสิทธิภาพการคัดกรองผู้ป่วยภาวะ Urgent ของเจ้าหน้าที่ถูกต้อง > 90%

3.5.2.4 วิธีดำเนินงาน

(1) ฝึกอบรมให้เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานให้ทราบถึงประสิทธิภาพของ Pulse Oximetry และประโยชน์ต่อผู้ป่วยในการ Assessment ดังนี้

Pulse oximeter เป็นเครื่องตรวจระดับออกซิเจนที่ไม่เจ็บปวด ง่ายและรวดเร็ว การตรวจกระทำโดยใช้อุปกรณ์ที่มีรังสีอินฟาเรด หนีบที่ปลายนิ้ว รังสีจะชี้วัดเปอร์เซ็นต์ของฮีโมโกบินที่จับกับออกซิเจนและบอกได้ว่าผู้ป่วยมีความต้องการออกซิเจนเพื่อรักษาหรือไม่ ค่าที่วัดได้เรียกว่า Oxygen saturation ซึ่งปกติต้องมากกว่า 95 % และค่าที่วัดได้สามารถนำมาแบ่งประเภทผู้ป่วย ดังนี้

ผู้ป่วย Case **E** ค่า O_2 Sat < 90%

ผู้ป่วย Case **U** ค่า O_2 Sat = 90% - 95%

ผู้ป่วย Case **N** ค่า O_2 Sat > 95%

ในผู้ป่วยที่มีค่า O_2 Sat < 95% บ่งบอกได้ว่าผู้ป่วยขาดออกซิเจนต้องมีการประเมินติดตามต่อไป

(2) เจ้าหน้าที่ทุกคนในหน่วยงานสามารถสื่อสารให้ผู้ป่วยและครอบครัว ทราบถึงประสิทธิภาพและประโยชน์ Pulse oximeterต่อผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ปกครองให้ความร่วมมือในการวัด

(3) วัด O_2 Sat ในผู้ป่วยที่เข้ามาทำการตรวจ OPD PED ทุก Case

(4) วัดพร้อม Routine vital sign เพื่อการเฝ้าระวังที่ดีอย่างใกล้ชิด

(5) บันทึกประเภทผู้ป่วยลงในแฟ้ม V/S O_2 Sat อายุและน้ำหนักผู้ป่วยให้ครบ ถ้า Case ใดไม่สามารถทำการวัดได้ ให้เขียนเหตุผลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินอาการ

(6) จัดเจ้าหน้ารวบรวมแฟ้ม Case E, U มาตรวจสอบทุกวัน เพื่อดูการจัดประเภทผู้ป่วยและประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วย

(7) รวบรวมสถิติการวัด V/S วัด O_2 Sat การจัดประเภทผู้ป่วยและประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วย หากพบว่ามีปัญหา จะนำปัญหาดังกล่าวเข้าที่ประชุม เพื่อหาทางแก้ไขและปรับปรุง

3.5.2.5 ขั้นตอนการปฏิบัติ

(1) เตรียมเครื่องมือ Pulse Oximeter ให้พร้อมที่จะทำการวัด

(2) ติด Probe ที่มือ ตำแหน่งที่เหมาะสม คือ บริเวณปลายนิ้ว

(3) รอจนค่า O_2 sat คงที่ มีสัญญาณชัดเจน จึงบันทึกค่า O_2 sat ที่ได้ใน V/S record ค่าปกติที่ยอมรับได้ คือ O_2 sat $\geq$ 95%

(4) กรณีวัดแล้วได้ค่า O_2 sat $<$ 95% ให้ปฏิบัติดังนี้

(4.1) ตรวจสอบสัญญาณที่วัดชัดเจนดีหรือไม่ ในตำแน่งมือที่วัดข้างนั้น ๆ

(4.2) ถ้าสัญญาณไม่ชัดเจน ให้เปลี่ยนมาวัดที่มือข้างตรงกันข้ามแทน รอให้สัญญาณชัดเจนและค้า O_2 sat คงที่จึงอ่านค่า

(4.3) ถ้ายังได้ค่า O_2 sat $<$ 95% เช่นเดิม ให้ตรวจสอบว่าผู้ป่วยระดับ Conscious, rate การหายใจผิดปกติหรือไม่ร่วมด้วย และให้เฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด พร้อมลงบันทึกและรายงานแพทย์ทันที ตามแผนภาพที่ปรากฏในรูป 3.5

3.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

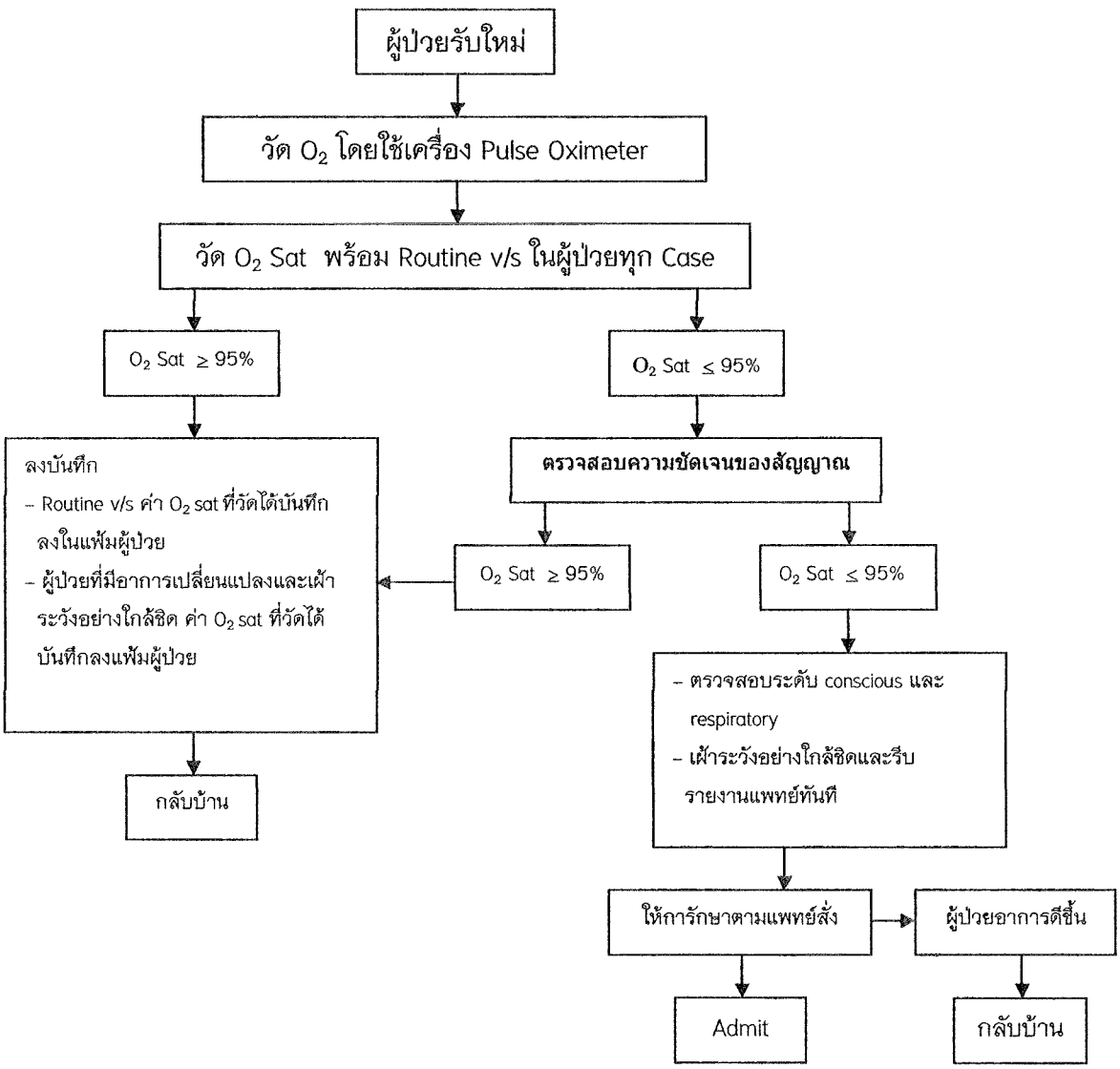
(1) กระบวนการดูแลผู้ป่วยภาวะ Emergency เจ้าหน้าที่ปฏิบัติได้ถูกต้อง

(2) กระบวนการดูแลผู้ป่วยภาวะ Urgent เจ้าหน้าที่ปฏิบัติได้ถูกต้อง

(3) เจ้าหน้าที่มีประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วยภาวะ Emergency

(4) เจ้าหน้าที่มีประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วยภาวะ Urgent

แผนภาพแสดงขั้นตอนในการตรวจวัด Sixth Vital Sign



รูป 3.5 แผนผังขั้นตอนในการตรวจวัด Sixth Vital Sign