แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกสำหรับผู้ป่วยในหออภิบาล

MATHEMATICAL MODEL FOR QUANTIFYING OXYGEN LEVEL FOR PATIENT IN INTENSIVE CARE UNIT

เจษฎาวิชญ์ จันทรสาขา
JATTAWIT JARNTRARAKARD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552
KMITL-2009-SC-M-001-015

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกสำหรับผู้ป่วยในหออภิบาล

MATHEMATICAL MODEL FOR QUANTIFYING OXYGEN LEVEL FOR PATIENT IN INTENSIVE CARE UNIT

เจษฐวิชญ์ จันทรฆาฏ

Jattawit jarhtrarakard

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-SC-M-1-015

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105287
วัน,เดือน,ปี 18 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

MATHEMATICAL MODEL FOR QUANTIFYING OXYGEN LEVEL FOR PATIENT IN INTENSIVE CARE UNIT

Jattawit jarhtrarakard

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED MATHEMATICS

FACULTY OF SCIENCES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-SC-M-001-015

COPYRIGHT 2009

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกสำหรับผู้ป่วยในหออภิบาล

Mathematical Model for Quantifying Oxygen Level for Patient in Intensive Care Unit

นักศึกษา นายเจษฐวิชญ์ จันทรฆาฏ

รหัสประจำตัว 49067452

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ภัคคินี ชิตสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.พรรณทิพย์	ภัทรอินทากร	
รศ.ภัคคินี	ชิตสกุล	
ผศ.ดร.กิติพล	ชิตสกุล	
ผศ.ดร.จารุกูล	ตรีไตรลักษณะ	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 30 เมษายน 2552 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 217

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 25 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกสำหรับผู้ป่วยในหออภิบาล
นักศึกษา	นายเจษฐวิชญ์ จันทรฆาฏ
รหัสประจำตัว	49067452
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ภัคคินี ชิตสกุล
อาจารย์วิทยานิพนธ์ร่วมร่วม	ดร.กิติพล ชิตสกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาสูตรทางคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดการให้ปริมาณออกซิเจนแก่ผู้ป่วยสอดคล้องกับความต้องการออกซิเจนของตัวผู้ป่วยในขณะนั้นได้ โดยอาศัยการป้อนข้อมูลเข้าของผู้ป่วยเข้าไปในสูตรคือ น้ำหนักตัว, อัตราการหายใจ และค่าแรงดันจากผลการตรวจของเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในเลือดคือ แรงดันออกซิเจนในเลือดแดง และแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ผลการวิจัยพบว่าการป้อนข้อมูลออกของสูตรสามารถหาปริมาณออกซิเจนที่ผู้ป่วยต้องการได้ โดยสามารถตรวจสอบได้โดยเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง

Thesis	Mathematical Model For Quantifying Oxygen Level For Patient In Intensive Care Unit
Student	Mr.Jattawit jarhtrarakard
Student ID	49067452
Degree	Master of Science
Programme	Applied Mathematics
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Pakkinee Chitsakul
Thesis Co-Advisor	Dr.kittiphol Chitsakul

Abstract

The research shows the analytical method for deriving mathematical model being used in properly quantity of oxygen Nasal Cannula. The model provides an adequate amount of oxygen to particular patient at an instant of time by observing some parameters, which are body weight, respiratory rate, and instrumentally monitored blood conditions (partial pressure of oxygen in arterial blood, partial pressure of carbon dioxide in arterial blood). The result of using the model for supplying oxygen to the patient can be observed through arterial oxygen saturation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่มีคุณค่าต่องานวิจัยนี้จาก รศ.ภัคคินี ชิตสกุล ที่ให้ความรู้และคำแนะนำทางด้านคณิตศาสตร์ และ ดร.กิติพล ชิตสกุล ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.นพ. สรชัย ศรีสุมะ ที่ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระบบการหายใจในมนุษย์จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณวราลักษณ์ เพ็ญสุวรรณที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับสายให้ออกซิเจนทางจมูก

ขอขอบคุณพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ และอาก๋ง ที่ให้กำลังใจมาตลอด

ขอขอบคุณพระคุณ คุณยาย ขอให้ดวงวิญญาณสู่สุขคติ

เจษฐวิชญ์ จันทรฆาฏ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ.....IV

สารบัญรูป.....VI

คำนำ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขั้นตอนของงานวิจัย 4

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 ชั้นบรรยากาศ 5

2.1.2 สัดส่วนแรงดัน 5

2.1.3 ค่าปกติ 6

2.1.3.1 สัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดง 6

2.1.3.2 สัดส่วนแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง 6

2.1.3.3 ระดับความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินด้วยออกซิเจนในเลือดแดง 7

2.1.4 เครื่องมือทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 8

2.1.4.1 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ 8

2.1.4.2 เครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง 9

2.1.4.3 สายให้ออกซิเจนทางจมูก 10

2.1.5 การหายใจใน1นาที 11

2.1.6 สัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอด 12

2.1.7 ความสัมพันธ์ของการหายใจกับแรงดันออกซิเจน 16

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 17

3.1 การหาสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก 18

3.1.1 ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก 18

3.1.1.1 ออกซิเจนที่ไหลมาตามสาย 18

3.1.1.2 ออกซิเจนที่มีการตกค้างที่โพรงจมูกและหลอดลม 19

3.1.2 ออกซิเจนจากภายนอก 19

3.1.3 สัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก.....20

3.2 การปรับสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับเป็นค่าปกติ 20

บทที่ 4 ผลงานวิจัย 23

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าของโปรแกรม 23

4.2 การแสดงผลของโปรแกรม 24

4.2.1 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์อื่นแทน 24

4.2.2 ออกซิเจนปกติดี..... 25

4.2.3 ต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก 25

4.3 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม 31

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 46

5.1 สรุปผลงานวิจัย.....46

5.2 ข้อเสนอแนะ.....47

เอกสารอ้างอิง 48

บรรณณานุกรม.....51

ประวัติผู้เขียน 52

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงสายให้ออกซิเจนทางจมูก 1

1.2แสดงเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง ($\%SpO_2$).....1

1.3 แสดงการใช้งานสายให้ออกซิเจนทางจมูกและเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงในปัจจุบัน 2

1.4 แสดงแบบจำลองการควบคุมระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูก 3

2.1แสดงกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่นและArchibald Vivian Hill ผู้นำเสนอท่านแรก.....7

2.2 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในเลือด.....8

2.3แสดงอุปกรณ์Pulse OximeterโดยA.ตัวตรวจวัด (probe) B.มอนิเตอร์ที่แสดงค่าและรูปคลื่น...9

2.4 แสดงกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่นที่ 3 สภาวะ.....10

2.5 แสดงสายให้ออกซิเจน, อุปกรณ์ปรับแรงดัน, อุปกรณ์ให้ความชื้น.....10

2.6 แสดงการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์.....13

2.7 แสดงออกซิเจนที่ถูกเผาผลาญ.....14

3.1 แสดงขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย.....17

4.1 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรม.....23

4.2 แสดงหน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม.....24

4.3 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ40.....26

4.4 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ45.....26

4.5 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ50.....27

4.6 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ55.....27

4.7 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ60.....28

4.8 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ65.....28

4.9 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ70.....29

4.10 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ75.....29

4.11 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ80.....30

4.12 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 ตั้งแต่40-80 มม.ปรอท.....30

4.13 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่1.....31

4.14 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่2.....31

4.15 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่3.....32

4.16 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่4.....32

สารบัญรูป(ต่อ)

4.17 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่5.....33
4.18 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่6.....33
4.19 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่7.....34
4.20 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่8.....34
4.21 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่9.....35
4.22 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่10.....35
4.23 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่11.....36
4.24 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่12.....36
4.25 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่13 ก่อนได้รับออกซิเจน.....37
4.26 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่13 หลังได้รับออกซิเจน2LPM.....37
4.27 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่14 ก่อนออกจากโรงพยาบาล.....38
4.28 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่14 หลังออกจากโรงพยาบาล.....38
4.29 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่15.....39
4.30 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่16.....39
4.31 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่17.....40
4.32 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่18.....41
4.33 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่19.....42
4.34 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่20.....43
4.35 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่21เมื่อได้ออกซิเจน 1 LPM.....44
4.36 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่21เมื่อได้ออกซิเจน 3 LPM.....44
4.37 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่22.....45

คำนำ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการทำงานของสายให้ออกซิเจนทางจมูก และ การวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงโดยนำพารามิเตอร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยฉบับนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ประกอบด้วย ความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย และ ขั้นตอนของงานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย สมการที่ได้จากการหาสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก และ การปรับสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับเป็นค่าปกติ จนกระทั่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทที่ 4 ผลของงานวิจัย ประกอบด้วย ผลของงานวิจัย และ เปรียบเทียบประสิทธิผลกับข้อมูลผู้ป่วยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 5 สรุปผลของงานวิจัย และ ข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย สรุปผลของงานวิจัย ปัญหาของงานวิจัย ข้อเสนอแนะ และ แนวทางในการพัฒนาต่อไป

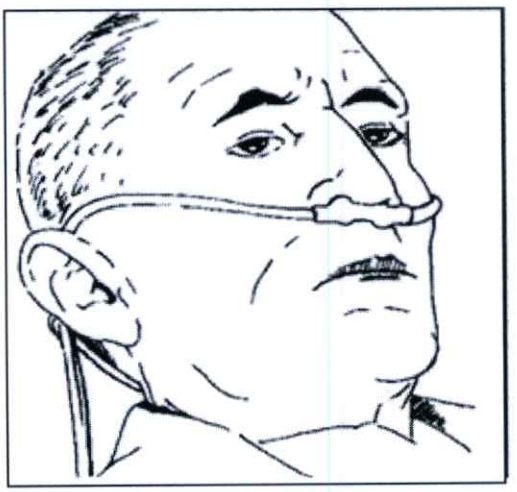
ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน

บทที่ 1

บทนำ

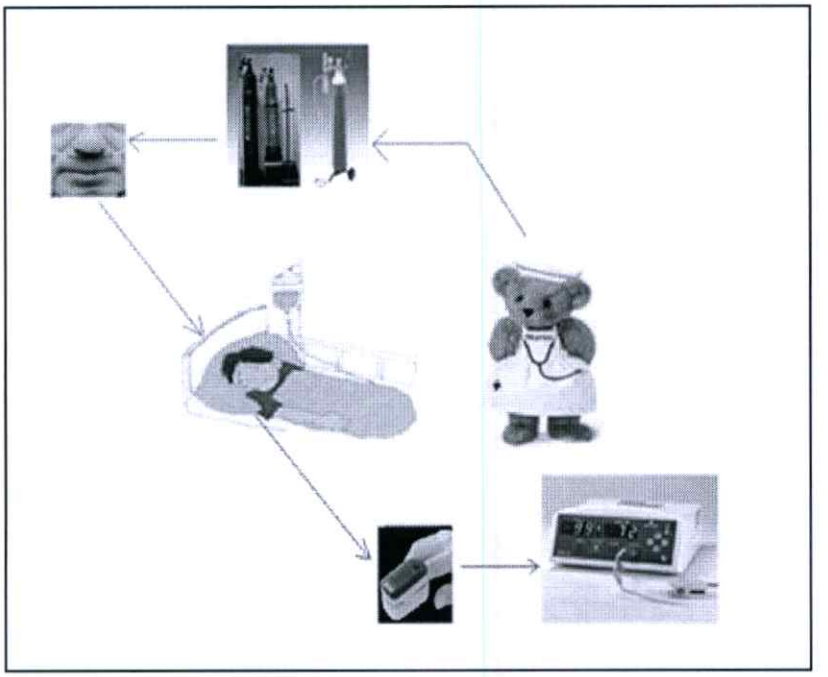
1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันในทางการแพทย์ การปรับปริมาณออกซิเจนแก่ผู้ป่วยโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูก (รูปที่1.1) ต้องอาศัยการควบคุมโดยสังเกตค่าระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (รูปที่1.2) ที่ตรวจพบในตัวผู้ป่วยควบคู่กันไป



รูปที่1.1 แสดงสายให้ออกซิเจนทางจมูก

รูปที่1.2 แสดงค่าระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (% SpO_2)



รูปที่1.3 แสดงการใช้งานสายให้ออกซิเจนทางจมูกและเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงในปัจจุบัน

จากรูปที่1.3 เครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (Pulse Oximeter) จะบอกปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงที่ตรวจพบ หากผลลัพธ์มีค่าตั้งแต่ 90-94% พยาบาลจะปรับปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก (Nasal Cannula) โดยการสุ่มในปริมาณที่ไม่แน่นอนให้แก่ผู้ป่วย โดยจะปรับจนกว่าปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงในตัวผู้ป่วยกลับเข้าสู่เกณฑ์ปกติดังเดิม คือ 95-99%

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) เพื่อเข้าไปช่วยควบคุมสายให้ออกซิเจนทางจมูกสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมให้แก่ผู้ป่วยได้แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่น่าเชื่อถือ [1] เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาสูตรทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาได้คือ

$$X_1(PaO_2) = \frac{1}{PaO_2}\left(80X_{old}+\frac{16.8mf}{39.5}-\frac{80PaCO_2mf}{23{,}938.975}\right)+\frac{PaCO_2mf}{23{,}938.975}-\frac{0.21mf}{39.5} \quad (1.1)$$

$$X_2(PaO_2) = \frac{1}{PaO_2}\left(100X_{old}+\frac{21mf}{39.5}-\frac{80PaCO_2mf}{23{,}938.975}\right)+\frac{PaCO_2mf}{23{,}938.975}-\frac{0.21mf}{39.5} \quad (1.2)$$

โดยที่

X_1 คือ ปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกที่ผู้ป่วยต้องได้รับ (ลิตร/นาที)

X_2 คือ ปริมาณออกซิเจนสุดท้ายจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกที่ผู้ป่วยต้องได้รับ (ลิตร/นาที)

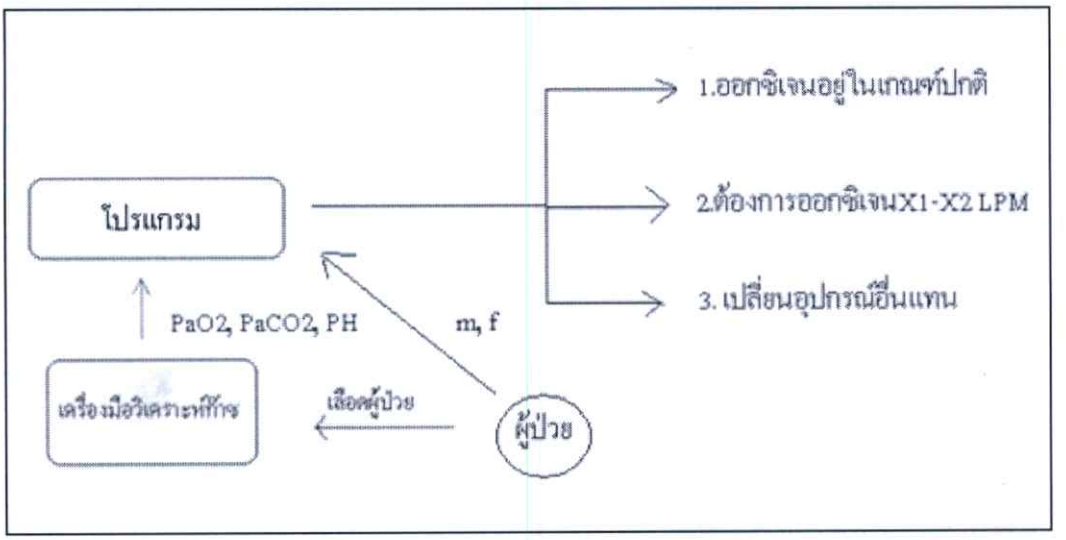
X_{old} คือ ปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกก่อนการเจาะเลือด (ลิตร/นาที)

$PaCO_2$ คือ แรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง (มม.ปรอท)

PaO_2 คือ แรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (มม.ปรอท)

f คือ อัตราการหายใจ (ครั้ง/นาที)

m คือ น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)



รูปที่ 1.4 แสดงแบบจำลองการควบคุมระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูก

จากรูปที่ 1.4 แบบจำลองการควบคุมระดับออกซิเจนโดยใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูก มีการปรับปริมาณออกซิเจนตามที่ต้องการโดยให้มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันของออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2) และค่าแรงดันของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ($PaCO_2$)ของผู้ป่วยที่ตรวจพบจากผลการเจาะเลือดในขณะนั้น โดยใช้ค่าน้ำหนักตัวของผู้ป่วย (Body weight) และอัตราการหายใจของผู้ป่วย (Respiratory rate) เข้ามามีส่วนช่วยในการคำนวณ โดยที่อีก 1 ค่าไม่มีส่วนช่วยในการคำนวณแต่มีส่วนในการตัดสินใจของโปรแกรม นั่นคือค่าภาวะกรดด่างในร่างกาย (PH) ซึ่งจะขอกล่าวไว้ในลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. เพื่อบอกว่าผู้ป่วยรายใดสามารถใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกได้
2. เพื่อหาปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ป่วย
3. เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานสายให้ออกซิเจนทางจมูกมากขึ้น

1.3 ขั้นตอนของงานวิจัย

1.ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่นค่าปกติของสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดง80-100 มม.ปรอท, ค่าปกติสัดส่วนแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง 35-45 มม.ปรอท, ค่าปกติความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดแดง95-99%, ลักษณะกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น, ลักษณะการทำงานของสายให้ออกซิเจนทางจมูก, ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง, การหาสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอด, ความสัมพันธ์ของการหายใจกับแรงดันออกซิเจนในปอดและในเม็ดเลือดแดง เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสร้างสูตรสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก และนำมาประยุกต์กับข้อมูลที่รวบรวมมาได้จนได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา

3.เปรียบเทียบประสิทธิผลของสูตร โดยการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาไปทดสอบใช้กับข้อมูลผู้ป่วยจริงที่ถูกบันทึกไว้ในหนังสือการวิเคราะห์ก๊าซในเลือดของอาจารย์พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถใช้ในผู้ป่วยที่สามารถเจาะเลือดได้เท่านั้น เพราะค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณส่วนใหญ่เป็นค่าที่หาได้จากการเจาะเลือด

2. ไม่สามารถใช้ได้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะตั้งครรภ์ เพราะงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้คำนึงถึงระบบการหายใจของเด็กเมื่ออยู่ในครรภ์ของมารดา

3. ไม่สามารถใช้ได้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีค่าสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงเกิน 120 มม. ปรอท เพราะงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้คำนึงถึงวิธีการแก้ไขภาวะออกซิเจนคั่งในกระแสเลือดจนเกินไป

บทที่2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ชั้นบรรยากาศ

อากาศเป็นสสาร มีน้ำหนัก บรรยากาศใกล้ผิวโลกจึงมีความหนาแน่นมากกว่าชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงขึ้นไป ที่ระดับน้ำทะเล ความดันบรรยากาศ (Barometric pressure, P_B) มีค่าเท่ากับ 760 มม.ปรอท แต่บนยอดเขาสูงๆความดันบรรยากาศอาจมีค่าน้อยกว่า 300 มม.ปรอท โดยที่อัตราส่วนของก๊าซแต่ละชนิดยังคงที่เสมอ เช่น ที่ระดับความสูง 18,000 ฟุต ความดันบรรยากาศจะมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งคือ 380 มม.ปรอท ในขณะที่สัดส่วนของออกซิเจนยังคงเดิมคือประมาณร้อยละ 21 [2]

2.1.2 สัดส่วนแรงดัน (Partial Pressure)

เราสามารถคำนวณสัดส่วนแรงดันของก๊าซได้ ถ้ารู้สัดส่วนของก๊าซนั้น เช่น ในบรรยากาศมีออกซิเจนร้อยละ 21 นั่นคือ ในอากาศ 100 ส่วน มีออกซิเจน 21 ส่วน หรือคิดเป็นเลขทศนิยมจะมีออกซิเจนเท่ากับ 0.21

สัดส่วนของออกซิเจนที่ร่างกายหายใจเข้าไปนี้เรียกว่า FiO_2 (Fraction of inspired oxygen) ดังนั้น ในบรรยากาศปกติจึงมี FiO_2 = 0.21 และทำนองเดียวกัน

ถ้าหายใจด้วย O_2 100% คิดเป็น..... FiO_2 = 1.0

ถ้าหายใจด้วย N_2 70%; O_2 30% คิดเป็น..... FiO_2 = 0.3

ที่ระดับน้ำทะเล ความดันบรรยากาศ 760 มม.ปรอท. มี O_2 ร้อยละ21นั่นคือ

ที่ความดันบรรยากาศ 100 มม.ปรอท. มี PO_2 21 มม.ปรอท

" 760 " " PO_2 $\frac{21\times760}{100}$ มม.ปรอท

PO_2 นี้ก็คือ สัดส่วนแรงดันของออกซิเจนในบรรยากาศที่ร่างกายหายใจเข้าไป (Partial pressure of inspired oxygen, PiO_2) ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$PiO_2 = (0.21) \times 760 \text{ มม.ปรอท}$$

หรือ $PiO_2 = FiO_2 \times P_B$

หรือ สัดส่วนแรงดันของก๊าซใดๆ เท่ากับสัดส่วนของก๊าซนั้นคูณกับความดันบรรยากาศโดยปกติ(Barometric pressure, P_B) อากาศในทางเดินหายใจจะถูกปรับอุณหภูมิและความชื้น ทำให้สัดส่วนของก๊าซในปอดมีแรงดันไอน้ำรวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นในการคำนวณสัดส่วนแรงดันของก๊าซแต่ละชนิดในถุงลมปอด

จำเป็นต้องลบสัดส่วนแรงดันของไอน้ำ (PH_2O) ซึ่งมีค่าประมาณ 47 มม.ปรอท [3] ออกก่อนเสมอ นั่นคือ

$$PiO_2 = FiO_2 \times (P_B - PH_2O) \qquad (2.1)$$

2.1.3 ค่าปกติ (Normal Values)

ค่าปกติที่วัดได้ เป็นค่าที่ถือนัยสำคัญทางสถิติ 95% ซึ่งมีความหมายว่าเป็นค่าที่สามารถพบได้ในประชากรร้อยละ 95 ของกลุ่มประชากรทั้งหมด โดยอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าในช่วงนี้ได้อีกร้อยละ5 ซึ่งถือว่าเป็นเพียงส่วนน้อย ด้วยเหตุนี้ ค่าปกติจึงใช้ค่าเฉลี่ยและขอบเขตของตัวเลขต่ำสุด/สูงสุดเป็นเกณฑ์ [4]

2.1.3.1 สัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (Partial pressure of oxygen in arterial blood)

PaO_2 แสดงถึง สัดส่วนแรงดันของออกซิเจนในเลือดแดง

ในภาวะปกติที่ $FiO_2 = 0.21$, PaO_2 มีค่าเท่ากับ 80-100 มม.ปรอท

ถ้า $PaO_2 < 80$ มม.ปรอท แสดงว่ามีภาวะออกซิเจนต่ำ (hypoxemia)

ถ้า $PaO_2 > 120$ มม.ปรอท แสดงว่ามีภาวะออกซิเจนเกินปกติ (hyperoxemia)

2.1.3.2 สัดส่วนแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง (Partial pressure of carbon dioxide in arterial blood)

$PaCO_2$ แสดงถึง สัดส่วนแรงดันของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง

ในภาวะปกติ $PaCO_2$ มีค่า 35-45 มม.ปรอท (40 ± 5 มม.ปรอท) โดยอาศัยการทำงานของปอดในการขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกทางลมหายใจ เรียกว่าริสไพระเทอริ (respiratory) หรือเว็นทิเลเทอริฟังก์ชัน (ventilatory function)

ผู้ป่วยที่หายใจเร็ว (Hyperventilation) จะขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาก ($PaCO_2 < 35$ มม.ปรอท)

ผู้ป่วยที่หายใจช้า (Hypoventilation) จะมีคาร์บอนไดออกไซด์คั่ง ($PaCO_2 > 45$ มม.ปรอท)

จะสังเกตได้ว่า $PaCO_2$ แปรกลับกับการหายใจ หรือ

$$PaCO_2 \alpha \frac{1}{\text{ventilation}} \qquad (2.2)$$

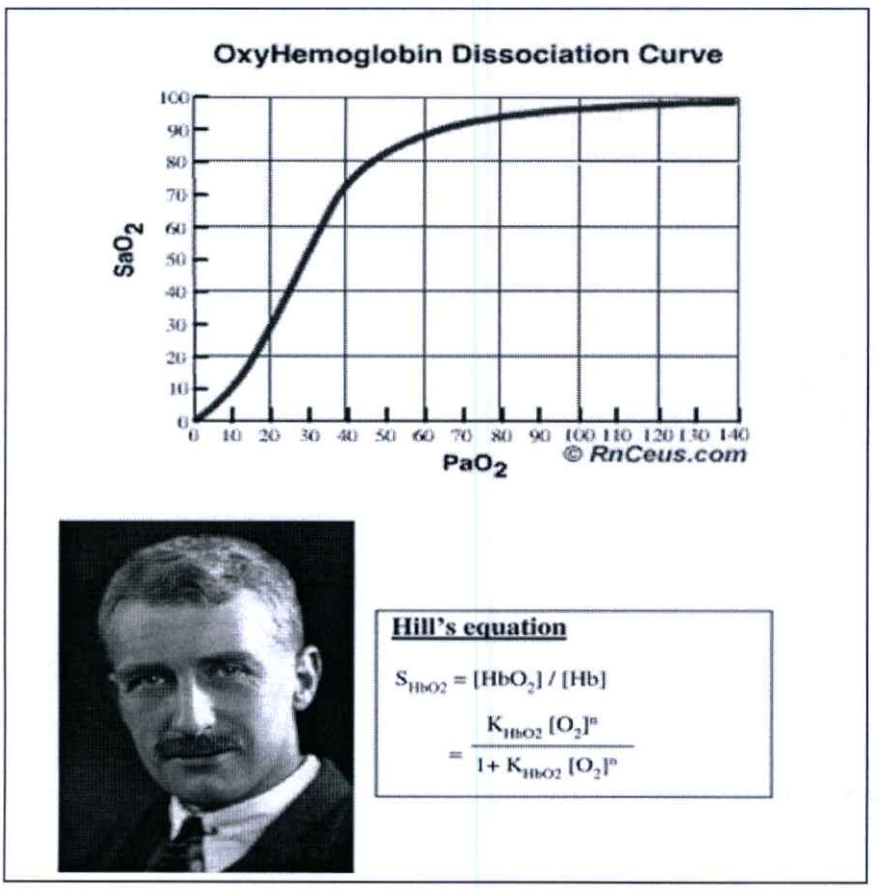
2.1.3.3 ระดับความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินด้วยออกซิเจนในเลือดแดง (Arterial oxygen saturation) [25]

SaO_2 หมายถึง สัดส่วนร้อยละของฮีโมโกลบินส่วนที่จับกับออกซิเจนในเลือดแดง หรือระดับความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินด้วยออกซิเจนในเลือดแดง โดยที่ออกซิเจนในเลือดประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่ละลายในพลาสม่าเป็น PaO_2 และส่วนที่จับกับฮีโมโกลบินคือ HbO_2 เมื่อฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนให้กับเซลล์แล้วจะเรียกว่า HbH^+

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HbH^+} \times 100 \qquad (2.3)$$

ปกติ ความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือดแดง หรือ SaO_2 มีค่า 95-99% เช่น SaO_2 99% หมายความว่า ในเลือดแดงมีฮีโมโกลบิน 99 ส่วนใน 100 ส่วนที่สามารถจับกับออกซิเจน

SaO_2 มีความสำคัญช่วยบอกให้ทราบถึงค่า PaO_2 จากความสัมพันธ์ของออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่นเคอฟ (Oxyhemoglobin dissociation curve) คือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PaO_2 กับ SaO_2 (รูปที่2.1)



รูปที่2.1 แสดงกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น และArchibald Vivian Hillผู้นำเสนอท่านแรก

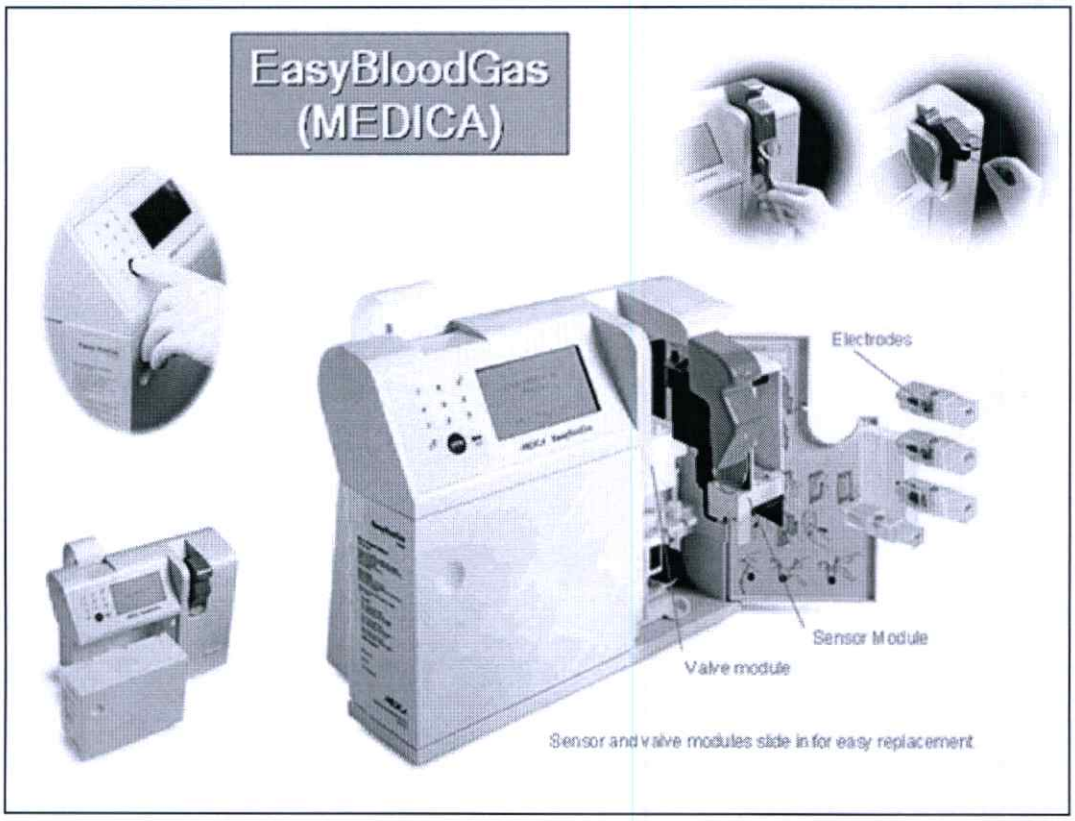
2.1.4 เครื่องมือทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

2.1.4.1 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ

ลักษณะทั่วไปประกอบด้วยขั้วบวก (anode) และขั้วลบ (cathode) ซึ่งสามารถตรวจปริมาณประจุไฟฟ้าได้ โดยการวัด PaO_2 อาศัยขั้วลบที่เรียกว่าคลาร์กอีเล็คตรอน (Clark electrode) [5] สำหรับ $PaCO_2$ ใช้ขั้วลบที่เรียกว่าซีเวริงฮอสอีเล็คตรอน (Severinghaus electrode) [6]

โดยทั่วไป เครื่องต้องได้รับการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ทุก 8 ชั่วโมง หรือเมื่อตรวจเลือดไปแล้วทุกๆ 50 ตัวอย่าง [7], [8] ด้วยเหตุนี้ เครื่องจึงควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพจากบริษัทผู้ขายอย่างสม่ำเสมอ

ปัจจุบันมีเครื่องวิเคราะห์ก๊าซบางรุ่นที่สามารถตรวจวัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซในเลือดได้ตลอดเวลา (Continuous blood gas monitoring) ซึ่งทำให้ผู้ป่วยไม่ต้องเสียเลือดในการตรวจแต่ละครั้งและยังได้ผลการตรวจตรงตามการเปลี่ยนแปลงของอาการทางคลินิกของผู้ป่วยจริงๆ (real time) ในขณะนั้นด้วย



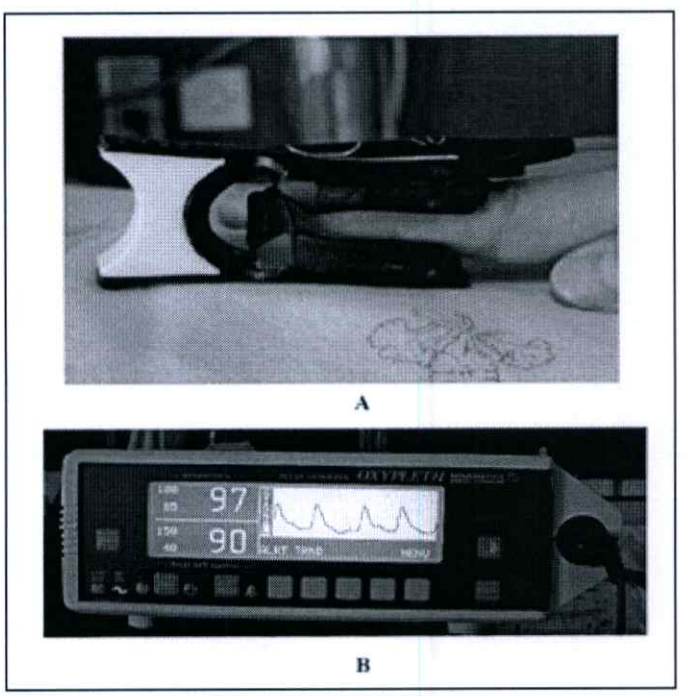
รูปที่2.2 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซในเลือด

2.1.4.2 เครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (Pulse Oximeter) [9]

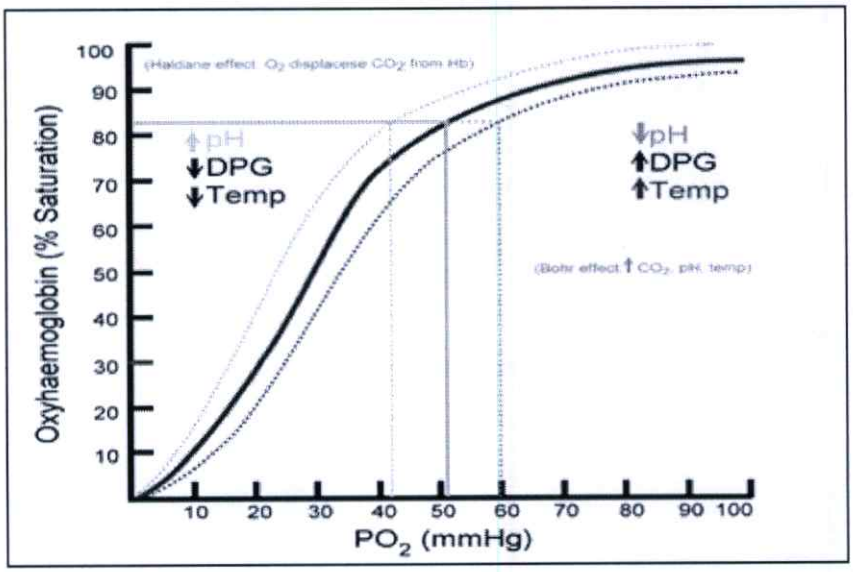
เราสามารถวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Pulse Oximeter ค่าที่อ่านได้เรียกว่า SpO_2 (oxygen saturation of arterial pulsation หรือ percutaneous oxygen saturation) ตามกฎของเบียร์ (Beer law) [27] กล่าวว่า HbO_2 (oxyhemoglobin) และ HbH^+ (reduced hemoglobin) มีคุณสมบัติในการดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นเข้มข้น (absorption spectra) แตกต่างกัน

อุปกรณ์ Spectrophotometer จะรับสัญญาณจากการเต้นของชีพจร และให้ลำแสงสีแดง (red and infrared) ที่มีความยาวคลื่น (wave length) แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ 660 และ 940 นาโนเมตร

ลำแสงจะผ่านผิวหนังส่วนที่บางๆ เช่น ปลายนิ้ว ติ่งหู ปริมาณของแสงจะถูกคำนวณด้วยเครื่องไมโครโพรเซ็สเซอร์ (Microprocessor) ได้เป็นค่าความอิ่มตัวของออกซิเจน



รูปที่2.3แสดงอุปกรณ์Pulse Oximeterโดย A.ตัวตรวจวัด (probe) B.มอนิเตอร์ที่แสดงค่าและรูปคลื่น



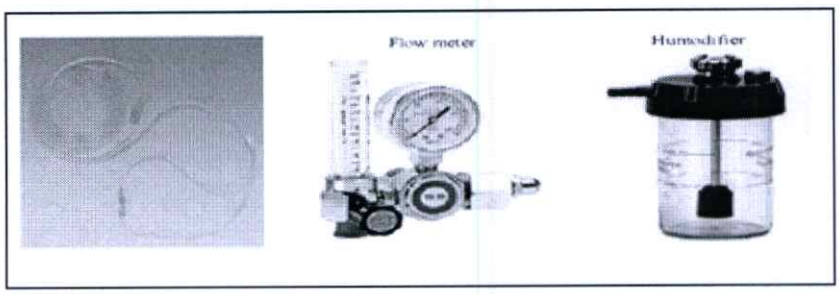
รูปที่2.4 แสดงกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่นที่ 3 สภาวะ

จากรูปที่2.4 หากกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่นปกติ (Oxyhemoglobin dissociation curve normal) ค่า SpO_2 ที่อ่านได้จะมีค่าใกล้เคียงกับ SaO_2 [10], [26] มีประโยชน์ช่วยบอกแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภาวะออกซิเจน (PaO_2) ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

2.1.4.3 สายให้ออกซิเจนทางจมูก (Nasal Cannula)

ผู้คิดค้นคือวิลฟรีโจนส์ (Wilfred Jones) [28] มีลักษณะเป็นท่อพลาสติกใส ใช้ใส่เข้าไปในรูจมูกของผู้ป่วย โดยสามารถเปิดออกซิเจนให้มีอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ลิตรต่อนาที

การให้อัตราการไหลมากกว่า 4 ลิตรต่อนาที ควรให้ความชื้นร่วมด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์เยื่อบุผิวในรูจมูกแห้ง ส่วนการให้อัตราการไหลที่สูงกว่า 6 ลิตรต่อนาที จะทำให้เซลล์เยื่อบุผิวในรูจมูกเกิดการระคายเคืองได้ อาจมีเลือดกำเดาออก ปวดแก้วหู หรืออาจเกิดภาวะเสียงหดเกร็งได้



รูปที่ 2.5 แสดงสายให้ออกซิเจน, อุปกรณ์ปรับแรงดัน, อุปกรณ์ให้ความชื้น

2.1.5 การหายใจใน 1 นาที (Minute Ventilation) [11]

การระบายอากาศของปอดใน 1 นาที เรียกว่า minute ventilation (V_E) มีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าออกในแต่ละครั้ง (tidal volume, VT = 7-10 มล. /กก.) กับความถี่ในการหายใจ (Respiratory rate, f = 12 ครั้ง/นาที)

$$V_E = VT \times f \tag{2.4}$$

และจากสมการที่ (2.2)

$$PaCO_2 \alpha \frac{1}{\text{ventilation}}$$

ดังนั้น

$$PaCO_2 \alpha \frac{1}{V_E} \tag{2.5}$$

หรือ

$$PaCO_2 = \frac{K}{V_E} \quad (K \text{ เป็นค่าคงที่}) \tag{2.6}$$

$$PaCO_2 \times V_E = K \tag{2.7}$$

นั่นคือ เมื่อปอดอยู่ในสภาพปกติ ผลคูณของแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงกับการระบายอากาศของปอดใน 1 นาที ย่อมเป็นค่าคงที่เสมอ [12], [13]

$$\text{new } PaCO_2 \times V_E = \text{old } PaCO_2 \times V_E \tag{2.8}$$

2.1.6 สัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอด (Partial pressure of alveolar oxygen) [14], [15], [16], [17]

ร่างกายนำออกซิเจนจากการหายใจไปใช้ในการสันดาปอาหาร เพื่อให้ได้พลังงาน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$\text{อาหาร} + O_2 \rightarrow \text{พลังงาน} + H_2O + CO_2 \qquad (2.9)$$

เรียก O_2 ที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาว่า ออกซิเจนที่ถูกเผาผลาญ (Oxygen consumption, $V O_2$)

เรียก CO_2 ที่เกิดขึ้นว่า การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide production, $V CO_2$)

จากสมการที่ (2.8)

$$V CO_2 \ \alpha \ V O_2 \qquad (2.10)$$

$$V CO_2 = R.Q. \times V O_2 \qquad (2.11)$$

$$R.Q. = \frac{V CO_2}{V O_2} \qquad (2.12)$$

R.Q. คือค่าคงที่ในสารอาหารแต่ละชนิดที่ใช้เผาผลาญในการหายใจ (Respiratory Quotient) [18]

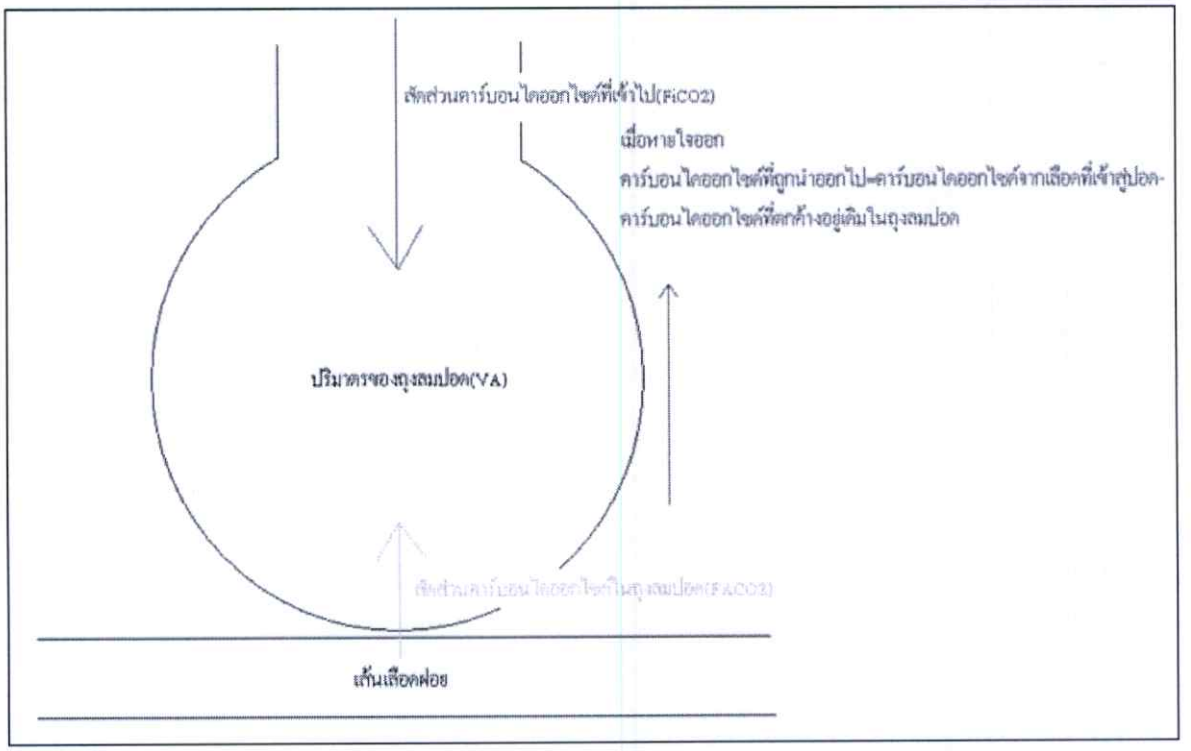
R.Q. Carbohydrate = 1.0

R.Q. Fat = 0.8

R.Q. Protein = 0.7

ในแต่ละวัน ร่างกายรับประทานอาหารหลายๆชนิดรวมกัน

ดังนั้น R.Q. เฉลี่ยของสารอาหาร = 0.85



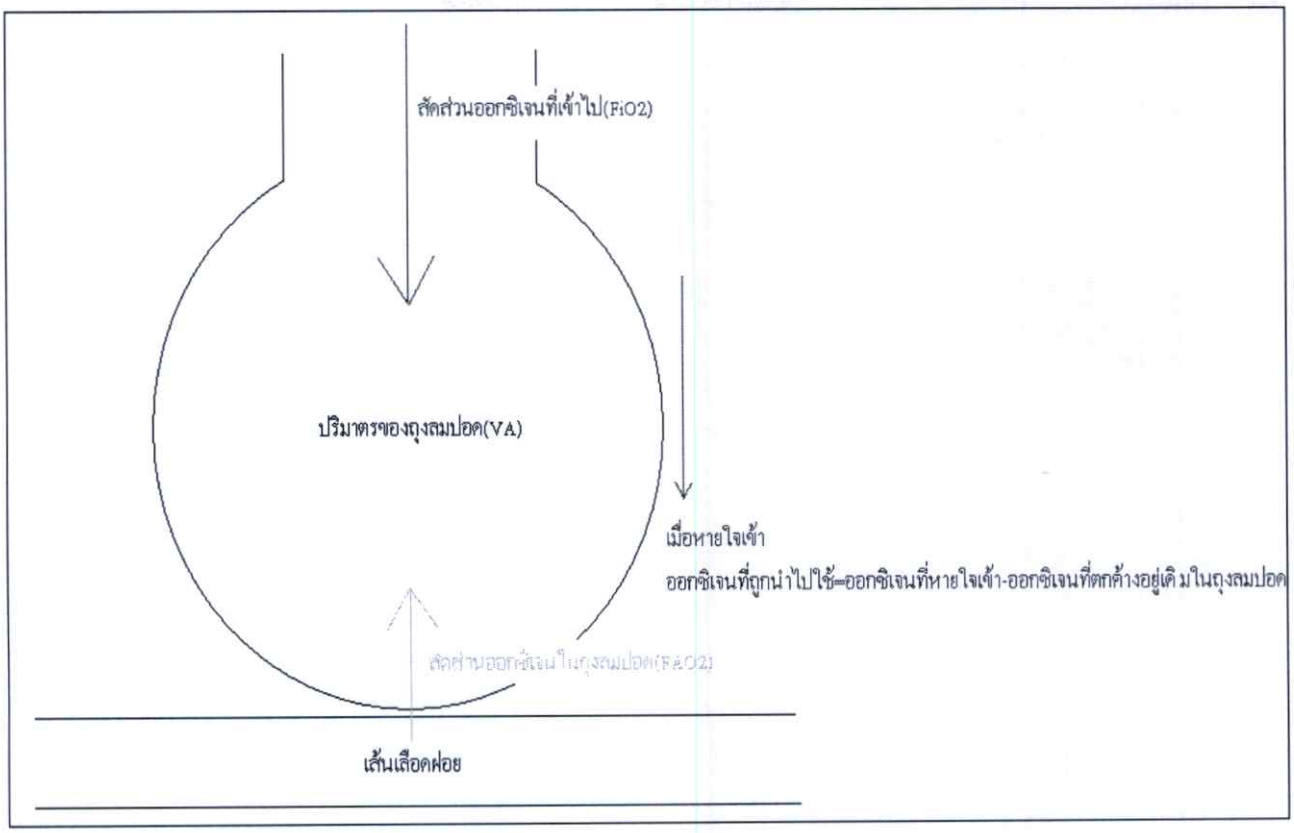
รูปที่2.6 แสดงการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

เราสามารถคำนวณหา $V\,CO_2$ ได้ดังนี้ (รูปที่2.6)

$$V\,CO_2 = CO_2 \text{ ที่ผ่านจากเลือดเข้าสู่ถุงลมปอด} - CO_2 \text{ ที่อยู่เดิมในถุงลมปอด} \qquad (2.13)$$

$$V\,CO_2 = (FACO_2 \times VA) - (FiCO_2 \times VA) \qquad (2.14)$$

$$VCO_2 = (FACO_2 - FiCO_2) \times VA \qquad (2.15)$$



รูปที่2.7 แสดงออกซิเจนที่ถูกเผาผลาญ

เราสามารถคำนวณหา VO_2 ได้ดังนี้ (รูปที่2.7)

$VO_2 = O_2$ ที่ได้จากการหายใจ- O_2 ที่เหลือค้างอยู่ในถุงลมปอด (2.16)

$$VO_2 = (FiO_2 \times VA) - (FAO_2 \times VA) \quad (2.17)$$

$$VO_2 = (FiO_2 - FAO_2) \times VA \quad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.12) แทนสมการ (2.15), (2.18) ลงไป

$$R.Q. = \frac{(FACO_2 - FiCO_2) \times VA}{(FiO_2 - FAO_2) \times VA} \quad (2.19)$$

$$R.Q. = \frac{(FACO_2 - FiCO_2)}{(FiO_2 - FAO_2)} \quad (2.20)$$

เนื่องจาก $FiCO_2$ มีค่าน้อยมาก ดังนั้น

$$R.Q. = \frac{FACO_2}{(FiO_2 - FAO_2)} \quad (2.21)$$

คูณด้วย P_B (Barometric pressure) ทั้งเศษและส่วน

$$R.Q. = \frac{FACO_2 \times P_B}{(FiO_2 - FAO_2) \times P_B} \quad (2.22)$$

$$R.Q. = \frac{PACO_2}{(PiO_2 - PAO_2)} \quad (2.23)$$

$$(PiO_2 - PAO_2) = \frac{PACO_2}{R.Q.} \quad (2.24)$$

$$PAO_2 = PiO_2 - \frac{PACO_2}{R.Q.} \quad (2.25)$$

แทนสมการ (2.1) ลงไป

$$PAO_2 = FiO_2 \times (P_B - PH_2O) - \frac{PACO_2}{R.Q.} \quad (2.26)$$

$$PAO_2 = FiO_2 \times (760 - 47) - \frac{PACO_2}{R.Q.} \quad (2.27)$$

$$PAO_2 = 713 \times FiO_2 - \frac{PACO_2}{R.Q.} \quad (2.28)$$

ดังนั้นจะได้

$$PAO_2 = 713 \times FiO_2 - \frac{PaCO_2}{0.85} \text{ มม.ปรอท} \quad (2.29)$$

โดยที่ PAO_2 = สัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอด (มม.ปรอท.)

FiO_2 = สัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้า

$PaCO_2$ = สัดส่วนแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง (มม.ปรอท)

2.1.7 ความสัมพันธ์ของการหายใจกับแรงดันออกซิเจน [12]

ผู้ป่วยที่มีสภาพปอดและ $PaCO_2$ คงที่ จะพบว่า PaO_2/PAO_2 เป็นค่าคงที่ หรือ

$$\text{new}\frac{PaO_2}{PAO_2} = \text{old}\frac{PaO_2}{PAO_2} \quad (2.30)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่3

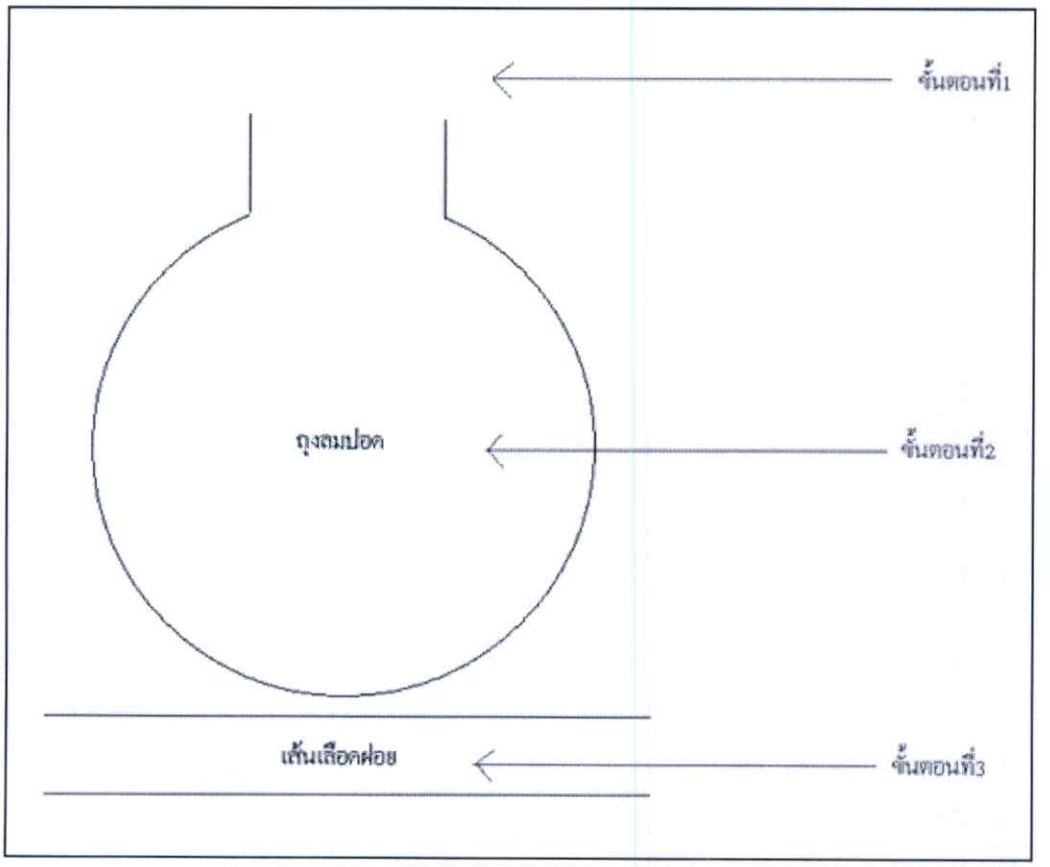
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้ ผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัยโดยมีแนวคิด 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อหายใจเข้าสร้างสูตรสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก

ขั้นตอนที่ 2 ภายในถุงลมปอดนำสูตรสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (บทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.6)

ขั้นตอนที่ 3 ภายในเส้นเลือดฝอยนำความสัมพันธ์ของการหายใจกับแรงดันออกซิเจนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (บทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.7) มาทำการปรับสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับสู่ช่วงปกติโดยการนำขั้นตอนที่1และ2มาประยุกต์ร่วมกันเพื่อหาแบบจำลองปริมาณออกซิเจนที่ผู้ป่วยต้องการ



รูปที่3.1 แสดงขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย

105287

3.1 การหาสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก (Fraction of Inspired Oxygen, FiO_2)

เมื่อผู้ป่วยใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก แล้วผู้ป่วยจะได้ออกซิเจน 2 ทางคือ ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก และ ออกซิเจนจากอากาศภายนอก

3.1.1 ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก

เนื่องจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกประกอบด้วยท่อส่งออกซิเจนขนาดเล็กที่ปลายเปิดในรูจมูก ดังนั้นในช่วงที่ผู้ป่วยหายใจออกออกซิเจนที่ไหลมาตามท่อบางส่วน จะถูกชะออกไปตามลมหายใจ และบางส่วนจะถูกเก็บไว้ในโพรงจมูกซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บออกซิเจน ส่วนในช่วงหายใจเข้าผู้ป่วยจะได้ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก โดยตรงรวมกับอากาศจากโพรงจมูกซึ่งมีออกซิเจนสูง ทำให้ผลรวมของระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในลมหายใจเข้าประกอบด้วยออกซิเจนที่ไหลมาตามสายรวมกับออกซิเจนที่มีการตกค้างที่โพรงจมูกและหลอดลม

3.1.1.1 ออกซิเจนที่ไหลมาตามสาย

สมมติ ผู้ใหญ่หายใจนาทีละ 20 ครั้ง ดังนั้นในอัตราการหายใจแต่ละครั้งจะใช้เวลา 3 วินาที เป็นการหายใจเข้า 1 วินาทีและการหายใจออก 2 วินาที

อัตราการหายใจ f ครั้ง/นาที

โดยที่ อัตราการหายใจ f ครั้ง ใช้เวลา 60 วินาที

ดังนั้น อัตราการหายใจ 1 ครั้ง ใช้เวลา $\frac{60}{f}$ วินาที

โดยอัตราการหายใจ 1 ครั้ง จะประกอบด้วย เวลาในการหายใจเข้า (t_{in}) รวมกับเวลาในการหายใจออก (t_{out}) จะได้

$$t_{in} = \frac{60}{f} \times \frac{1}{3} \text{ วินาที} \tag{3.1}$$

$$t_{out} = \frac{60}{f} \times \frac{2}{3} \text{ วินาที} \tag{3.2}$$

สายให้ออกซิเจนทางจมูกปรับปริมาณได้ X ลิตร/นาที

ดังนั้น ใน 60วินาที ได้ปริมาณออกซิเจน X ลิตร

ใน t_{in} วินาที ได้ปริมาณออกซิเจน $\frac{X}{60} \times t_{in}$ ลิตร (3.3)

3.1.1.2ออกซิเจนที่มีการตกค้างที่โพรงจมูกและหลอดลม

เหตุว่าก๊าซจะเต็มโพรงจมูกและหลอดลมได้เมื่อหายใจออกจนหมดแล้ว โดยสมมติให้การหายใจออกหมดใช้เวลา75%ของช่วงเวลาในการหายใจออก ที่เหลืออีก 25%ของช่วงเวลาในการหายใจออก จะเป็นช่วงที่อากาศเข้าไปค้างอยู่ในโพรงจมูกและหลอดลม

ดังนั้น ใน 60วินาที ได้ปริมาณออกซิเจน X ลิตร

ใน $0.25 \times t_{out}$ วินาที ได้ปริมาณออกซิเจน $\frac{X}{240} \times t_{out}$ ลิตร (3.4)

จะได้

ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก = ออกซิเจนที่ไหลมาตามสาย + ออกซิเจนที่มีการตกค้างที่โพรงจมูก

แทนสมการ (3.3), (3.4) ลงไป

$$\text{ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก} = \frac{X}{60} \times t_{in} + \frac{X}{240} \times t_{out} \text{ ลิตร} \quad (3.5)$$

แทนสมการ (3.1), (3.2) ลงไป

$$\text{ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก} = \frac{X}{60} \times (\frac{60}{f} \times \frac{1}{3}) + \frac{X}{240} \times (\frac{60}{f} \times \frac{2}{3}) \text{ ลิตร} \quad (3.6)$$

$$\text{ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก} = \frac{X}{2f} \text{ ลิตร} \quad (3.7)$$

$$\text{ออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก} = \frac{500X}{f} \text{ มิลลิลิตร} \quad (3.8)$$

3.1.2ออกซิเจนจากภายนอก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าออกในแต่ละครั้ง (tidal volume, VT = 7-10 มล. /กก.) ดังนั้นสมมติในร่างกายของเราหนัก m กิโลกรัม จะมีปริมาตรของออกซิเจนในร่างกายประมาณ10m มิลลิลิตร

จะได้

ออกซิเจนจากภายนอก = ออกซิเจนในร่างกายทั้งหมด - ออกซิเจนที่ได้จากสายให้ออกซิเจนทางจมูก

ออกซิเจนจากภายนอก = $(10m-\frac{500X}{f})$ มิลลิลิตร (3.9)

3.1.3สัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าเมื่อใส่สายให้ออกซิเจนทางจมูก (Fraction of Inspired Oxygen, FiO_2 **)**

FiO_2 = ออกซิเจนที่ได้จากสายให้ออกซิเจนทางจมูก (oxygen 100%) + ออกซิเจนจากภายนอก (oxygen 21%)

แทนสมการที่(3.8), (3.9) ลงไป

$$FiO_2 = [\frac{500X}{f}+(10m-\frac{500X}{f})\times 0.21] \quad (3.10)$$

$$FiO_2 = [\frac{3,950X}{mf}+21] \text{ เปอร์เซนต์} \quad (3.11)$$

$$FiO_2 = [\frac{39.5X}{mf}+0.21] \quad (3.12)$$

โดยที่

FiO_2 = สัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้า

X = ปริมาณออกซิเจนที่ได้จากสายให้ออกซิเจนทางจมูก (ลิตร/นาที)

m = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)

f = อัตราการหายใจ (ครั้ง/นาที)

3.2 การปรับสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับเป็นค่าปกติ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในปอด

$$PAO_2 = 713 \times FiO_2 - \frac{PaCO_2}{0.85} \tag{3.13}$$

และความสัมพันธ์ของการหายใจกับแรงดันออกซิเจน

$$\text{new}\frac{PaO_2}{PAO_2} = \text{old}\frac{PaO_2}{PAO_2} \tag{3.14}$$

ลักษณะของสมการสามารถปรับค่าสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงของผู้ป่วยให้กลับเข้าสู่ค่าปกติได้โดยให้ new PaO_2 อยู่ระหว่าง 80-100 มม.ปรอท

$$\frac{(PaO_2)_{new}}{(PAO_2)_{new}} = \frac{PaO_2}{(PAO_2)_{old}} \tag{3.15}$$

แทนสมการ (3.13) ลงไป

$$\frac{(PaO_2)_{new}}{(713 \times FiO_2 - \frac{PaCO_2}{0.85})_{new}} = \frac{PaO_2}{(713 \times FiO_2 - \frac{PaCO_2}{0.85})_{old}} \tag{3.16}$$

แทนสมการ (3.12) ลงไป

$$\frac{(PaO_2)_{new}}{[713 \times (\frac{39.5X_{new}}{mf} + 0.21) - \frac{PaCO_2}{0.85}]_{new}} = \frac{PaO_2}{[713 \times (\frac{39.5X_{old}}{mf} + 0.21) - \frac{PaCO_2}{0.85}]_{old}} \tag{3.17}$$

$$(PaO_2)_{new} = \frac{[606.05 \times (\frac{39.5X_{new}}{mf} + 0.21) - PaCO_2] \times PaO_2}{606.05 \times (\frac{39.5X_{old}}{mf} + 0.21) - PaCO_2} \tag{3.18}$$

โดยที่ $80 \leq (PaO_2)_{new} \leq 100$

$$80 \leq \frac{[606.05 \times (\frac{39.5X_{new}}{mf} + 0.21) - PaCO_2] \times PaO_2}{606.05 \times (\frac{39.5X_{old}}{mf} + 0.21) - PaCO_2} \leq 100 \tag{3.19}$$

ดังนั้นจะได้ปริมาณออกซิเจนที่ได้จากสายให้ออกซิเจนทางจมูกอยู่ระหว่าง X_1-X_2 ลิตร/นาที

$$X_1(PaO_2) = \frac{1}{PaO_2}\left(80X_{old}+\frac{16.8mf}{39.5}-\frac{80PaCO_2mf}{23,938.975}\right)+\frac{PaCO_2mf}{23,938.975}-\frac{0.21mf}{39.5} \quad (3.20)$$

$$X_2(PaO_2) = \frac{1}{PaO_2}\left(100X_{old}+\frac{21mf}{39.5}-\frac{80PaCO_2mf}{23,938.975}\right)+\frac{PaCO_2mf}{23,938.975}-\frac{0.21mf}{39.5} \quad (3.21)$$

โดยที่

X_1 คือ ปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกที่ผู้ป่วยต้องได้รับ (ลิตร/นาที)

X_2 คือ ปริมาณออกซิเจนสุดท้ายจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกที่ผู้ป่วยต้องได้รับ (ลิตร/นาที)

X_{old} คือ ปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกก่อนการเจาะเลือด (ลิตร/นาที)

$PaCO_2$ คือ แรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง (มม.ปรอท)

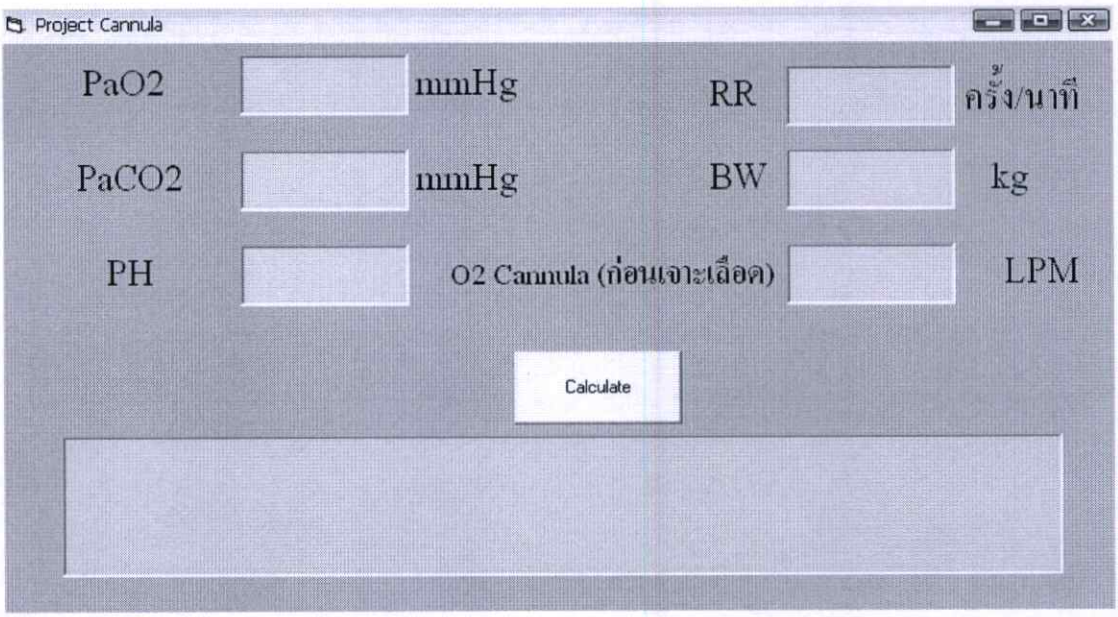
PaO_2 คือ แรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (มม.ปรอท)

f คือ อัตราการหายใจ (ครั้ง/นาที)

m คือ น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)

บทที่ 4
ผลงานวิจัย

ในบทที่ 4 นี้ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาวิชชวลเบซิค6 (Visual Basic 6) และได้ตั้งชื่อว่าโพรเจ็คท์ แคนนูล่า (Project Cannula) เพื่อให้ผู้ใช้สะดวกในการป้อนค่าต่างๆเข้าไปจึงได้แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมไว้ (รูปที่4.1)



รูปที่4.1 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรม

4.1ข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าของโปรแกรม

1.ข้อมูลที่วัดได้โดยการเจาะเลือด

-ค่าแรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2)

-ค่าแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ($PaCO_2$)

-ค่าความเป็นกรดด่างในเลือดแดง (PH)

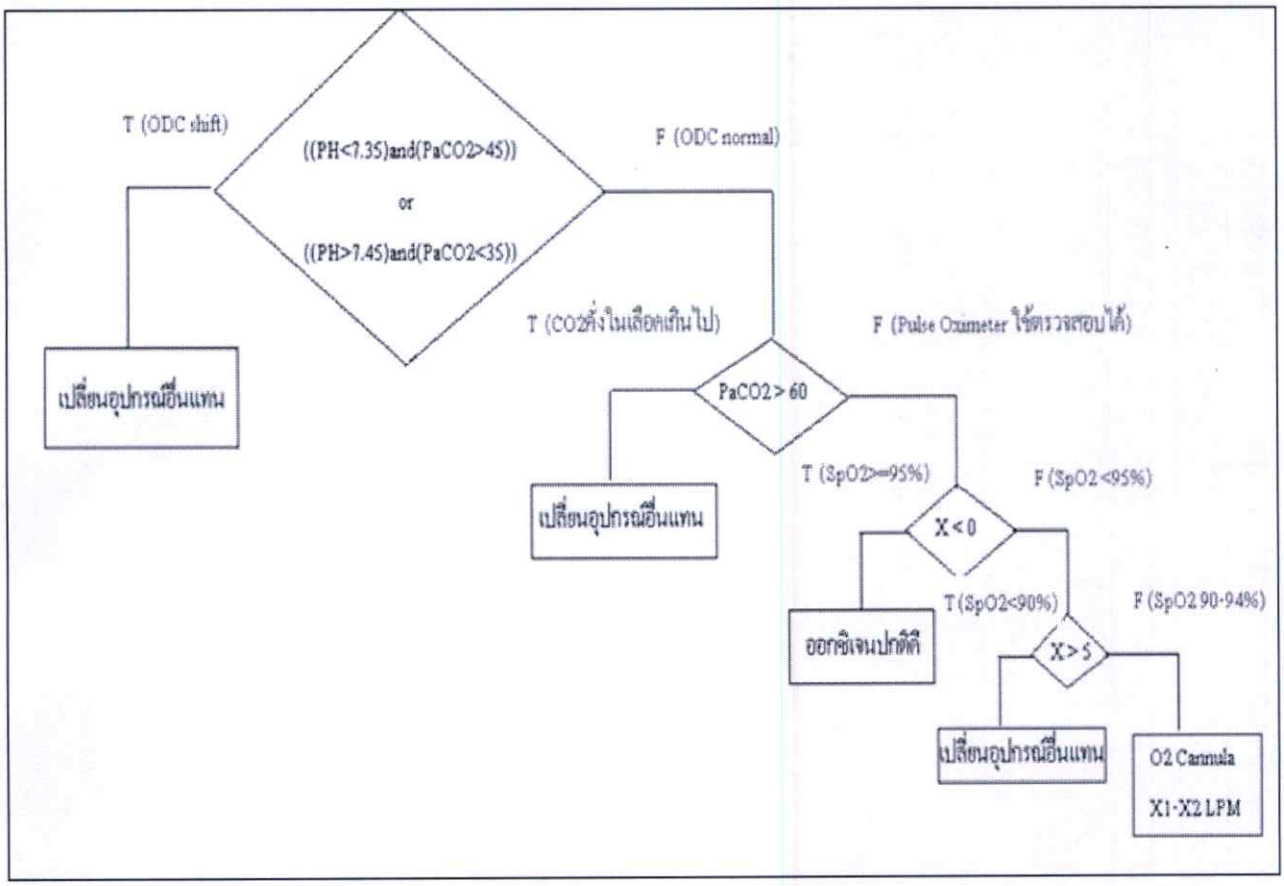
2.ข้อมูลที่วัดได้โดยตรงจากผู้ป่วย

-ค่าความถี่ในการหายใจ (Respiratory rate)

-ค่าน้ำหนักตัว (Body weight)

3.ปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกก่อนการเจาะเลือด

4.2 การแสดงผลของโปรแกรม



รูปที่4.2 แสดงหน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม

4.2.1 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์อื่นแทน (You should change to another machine)

ในกรณีที่หน้าจอแสดงผลให้เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์อื่นแทน ผู้ป่วยเป็น1ใน 3 สาเหตุ

สาเหตุที่1 ผู้ป่วยมีลักษณะกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น (Oxyhemoglobin dissociation curve) มีการเบี่ยงเบนไปจากปกติ [20]

สาเหตุที่2 ผู้ป่วยมีแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงคั่งเกินไปโดยมากกว่า 60มม. ปรอท [19]

สาเหตุที่3 คำนวณความต้องการปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกได้ค่ามากกว่า 5 ลิตรขึ้นไป

4.2.2 ออกซิเจนปกติดี (Oxygen in your body is good)

ในกรณีที่หน้าจอแสดงผลออกซิเจนปกติดี ผู้ป่วยต้องผ่านการตรวจสอบ 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่1 ผู้ป่วยต้องมีลักษณะกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น (Oxyhemoglobin dissociation curve) ปกติ [20]

ขั้นตอนที่2 ผู้ป่วยต้องมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงไม่เกิน 60 มม.ปรอท [19]

ขั้นตอนที่3 คำนวณความต้องการปริมาณออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกต้องได้น้อยกว่า 0

4.2.3 ต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก (You need Oxygen from Nasal Cannula)

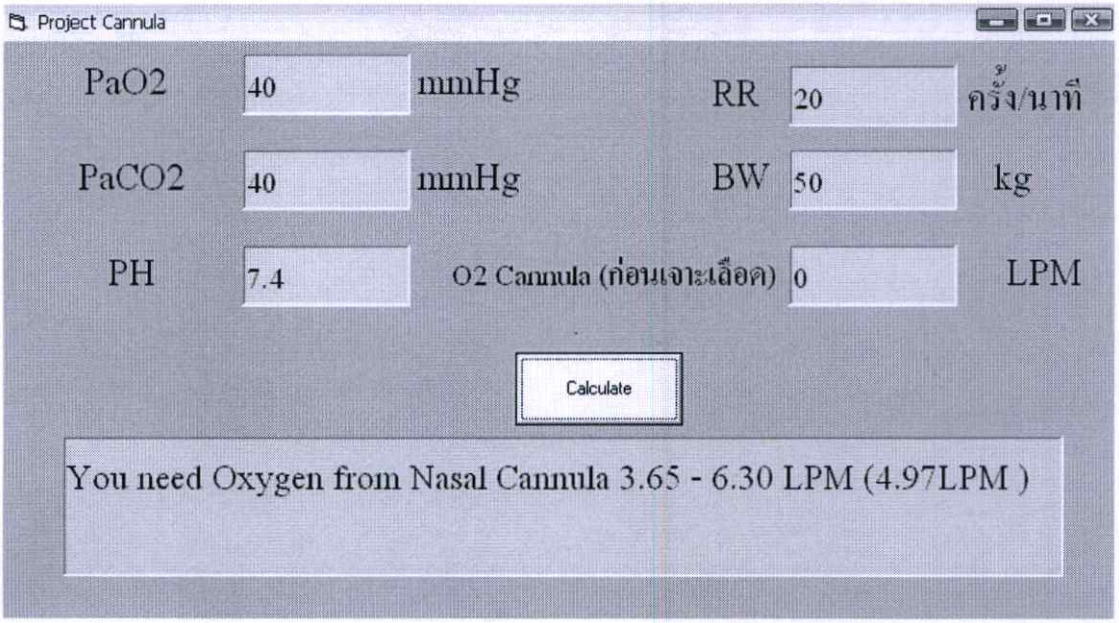
ในกรณีที่หน้าจอแสดงผลต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก ผู้ป่วยต้องผ่านการตรวจสอบ 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่1 ผู้ป่วยต้องมีลักษณะกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น (Oxyhemoglobin dissociation curve) ปกติ [20]

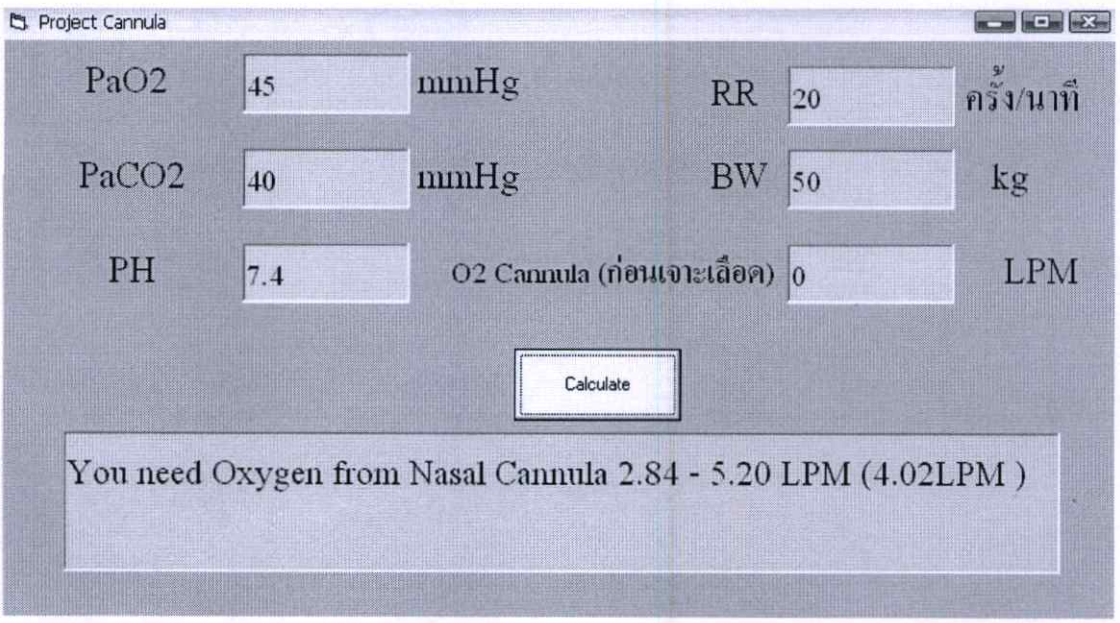
ขั้นตอนที่2 ผู้ป่วยต้องมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงไม่เกิน 60 มม.ปรอท [19]

ขั้นตอนที่3 คำนวณความต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกต้องได้ตั้งแต่ 1-5 ลิตรต่อนาที

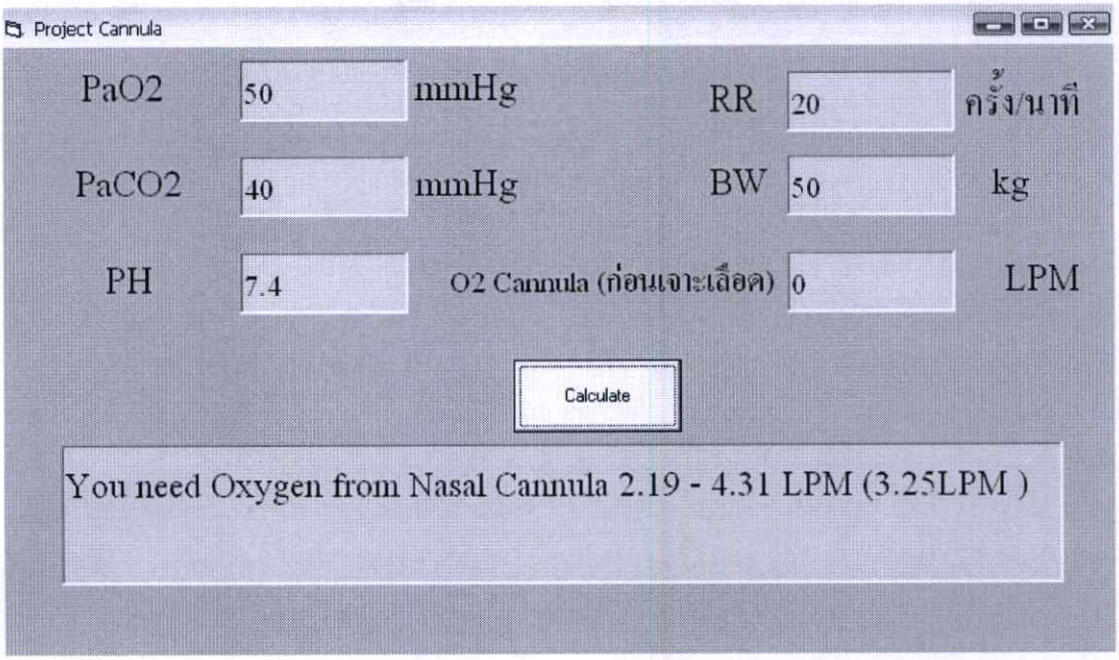
เนื่องจากตามโรงพยาบาลไม่มีการบันทึกการใช้งานปริมาณออกซิเจนที่ได้จากสายให้ออกซิเจนทางจมูก ผู้วิจัยจึงได้จำลองสถานการณ์ขึ้นมา โดยสมมติให้ผู้ป่วยมีสภาพปอดและแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงคงที่ แล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อสังเกตแนวโน้มปริมาณออกซิเจนที่ผู้ป่วยต้องการที่ค่า PaO_2 ตั้งแต่ 40-80 มม.ปรอท ซึ่งได้ผลดังนี้



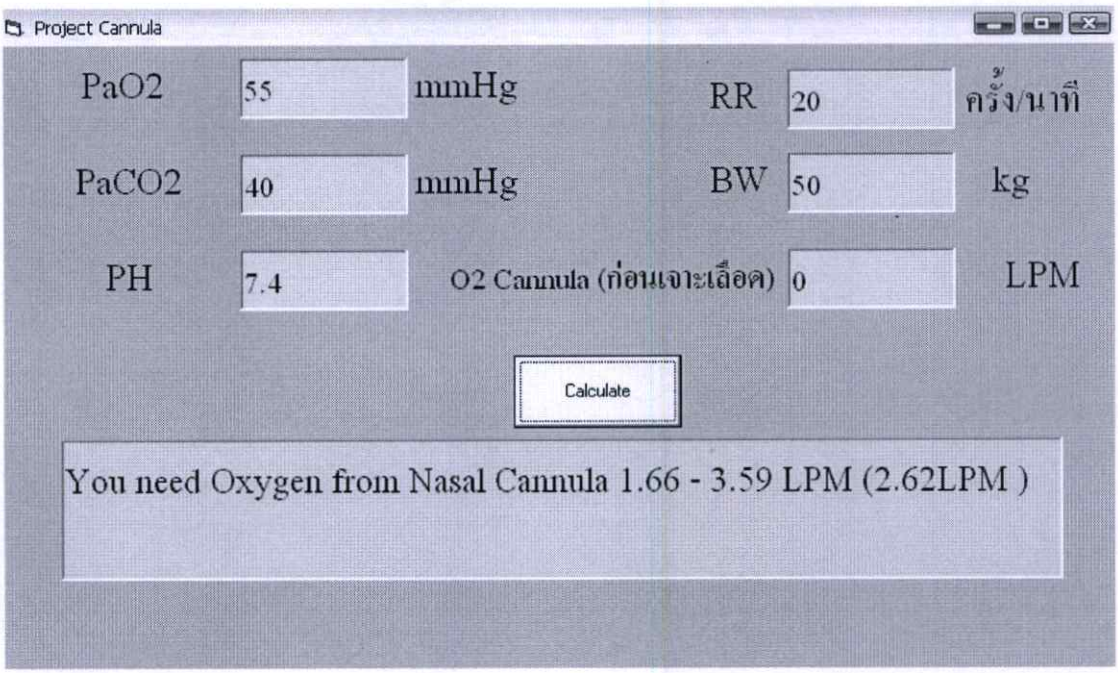
รูปที่4.3 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ40



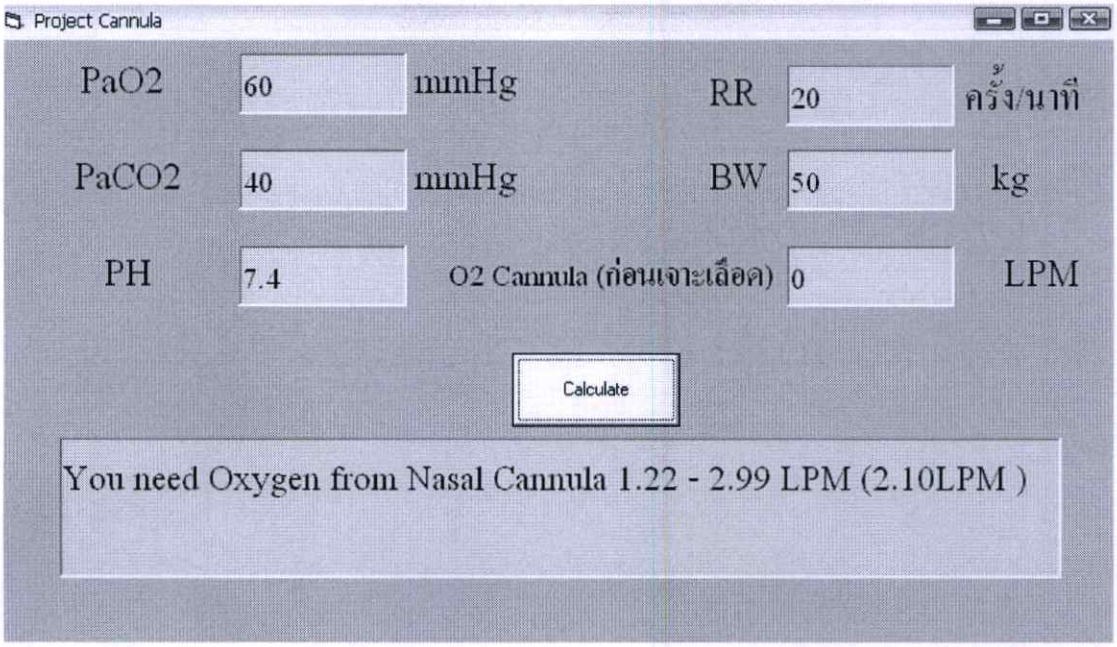
รูปที่4.4 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ45



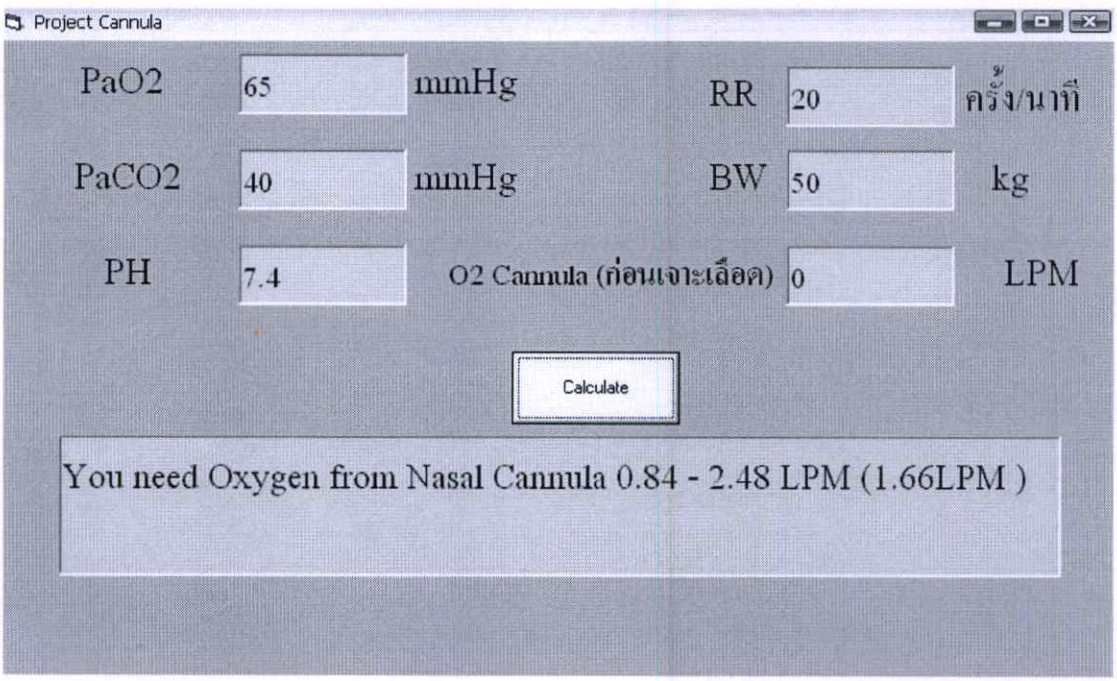
รูปที่4.5 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ50



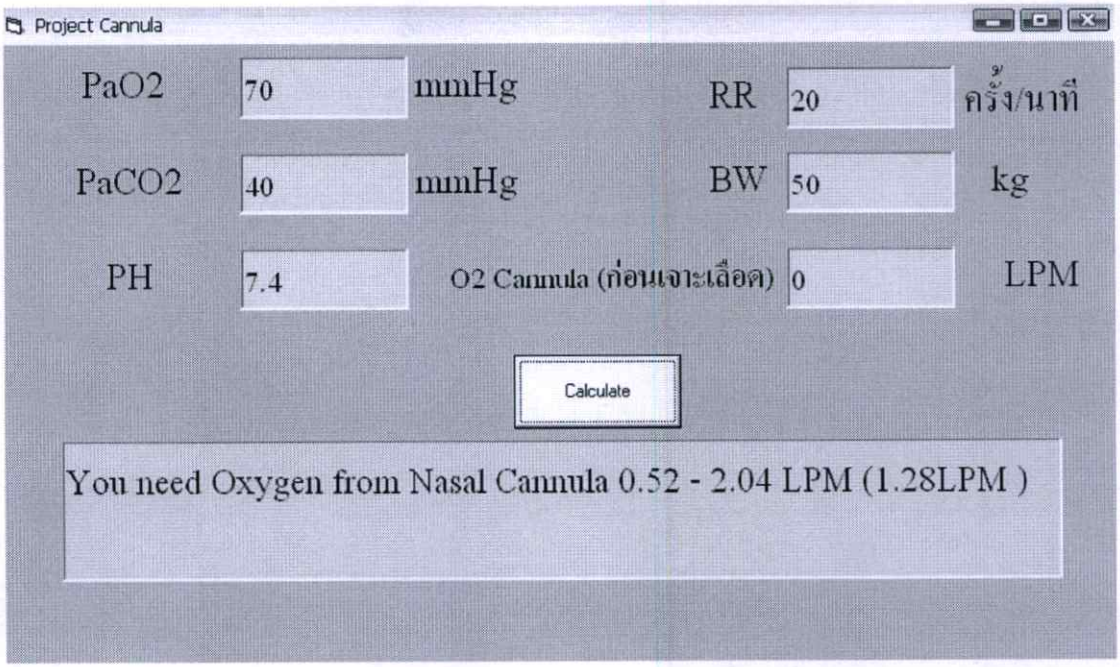
รูปที่4.6 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ55



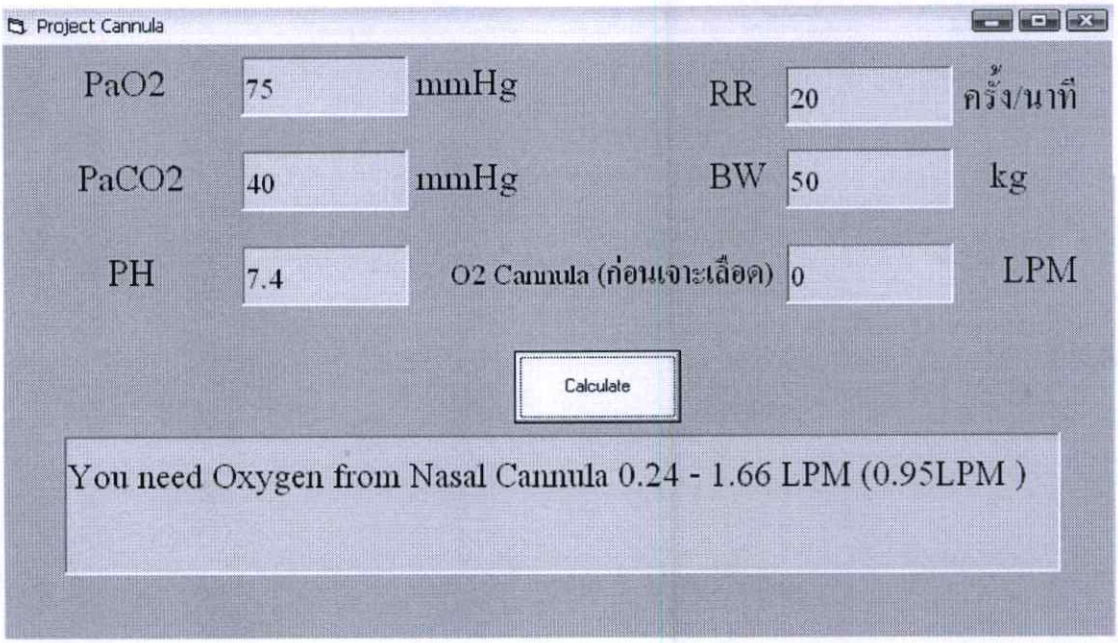
รูปที่4.7 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ60



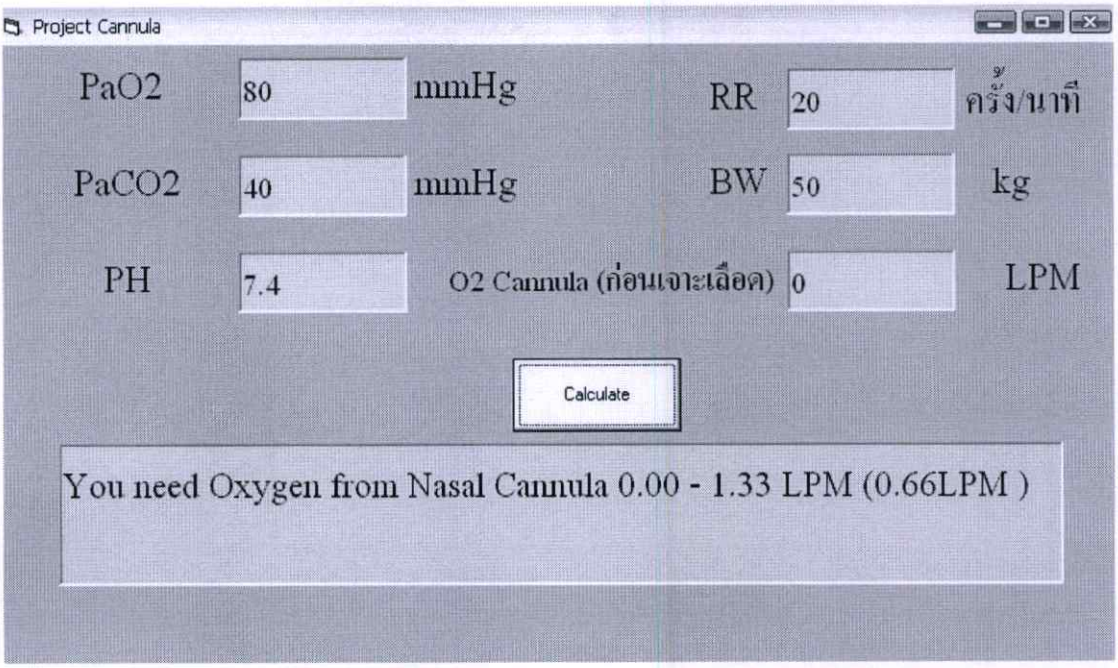
รูปที่4.8 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ65



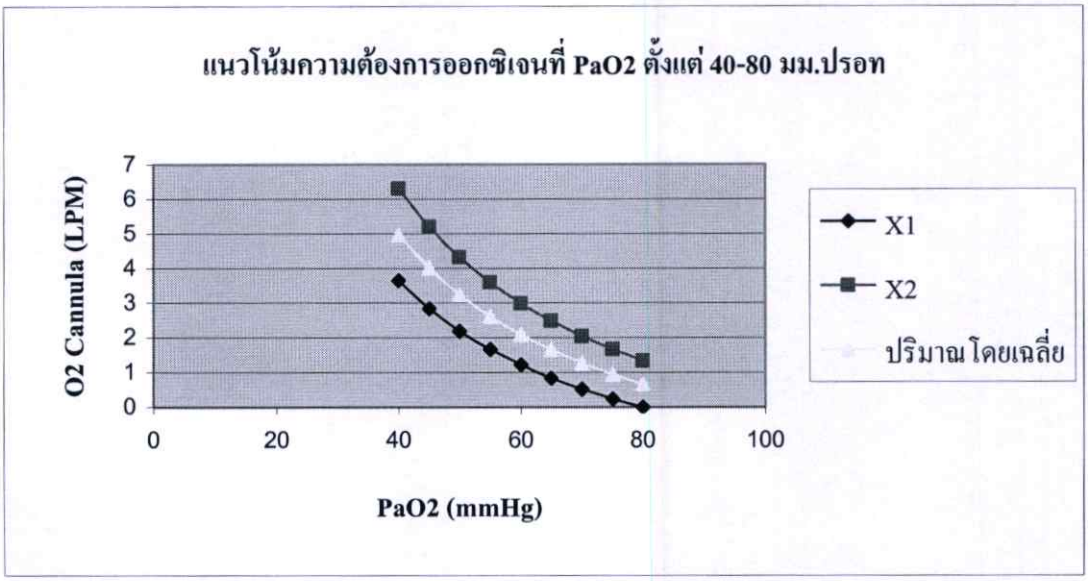
รูปที่4.9 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ70



รูปที่4.10 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ75



รูปที่4.11 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมที่ PaO_2 เท่ากับ80



รูปที่4.12 แสดงแนวโน้มความต้องการออกซิเจนที่ PaO_2 ตั้งแต่40-80 มม.ปรอท

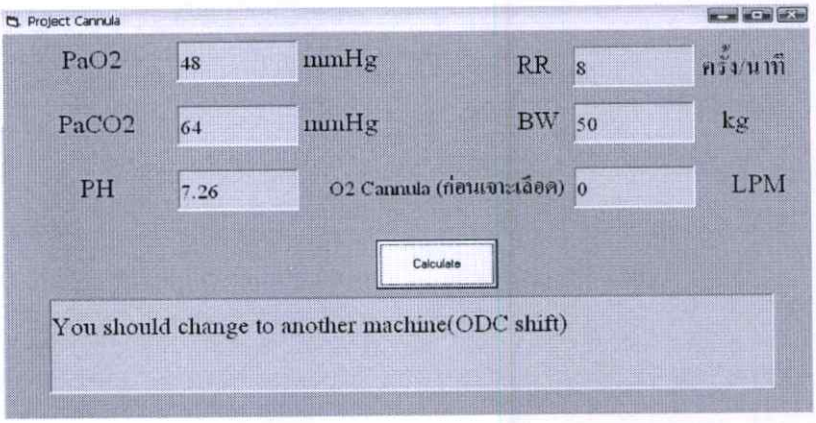
จากรูปที่4.12 เมื่อค่า PaO_2 เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ภาวะปกติที่ 80-100 มม.ปรอทแล้วความต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกลดลงตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นแนวโน้มที่เป็นไปได้ และหากค่า PaO_2 ต่ำกว่า40 มม.ปรอท ความต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูกจะเกิน 5 ลิตรซึ่งต้องเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์อื่นแทน

4.3 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

ผู้ป่วยรายที่1 ชายไทยโสดอายุ 25 ปี ถูกนำตัวส่งห้องฉุกเฉินโดยมีประวัติเสพยาเกินขนาดและสำลักเศษอาหาร ที่ room air:

PH=7.26, RR = 8ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =64 มม.ปรอท, PaO_2 =48 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะขาดออกซิเจนร่วมกับมีคาร์บอนไดออกไซด์คั่ง แสดงว่ามีภาวะการหายใจล้มเหลวเกิดขึ้น พิจารณาใช้เครื่องช่วยหายใจ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 252)

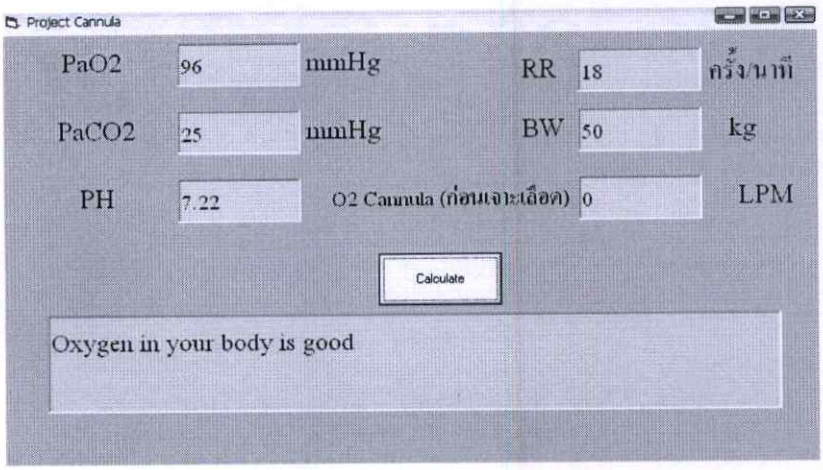


รูปที่4.13 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่1

ผู้ป่วยรายที่2 หญิงไทยคู่อายุ 46 ปี ซึมไม่รู้สึกตัว ที่ room air:

PH=7.22, RR = 18ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =25 มม.ปรอท, PaO_2 =96 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 255)

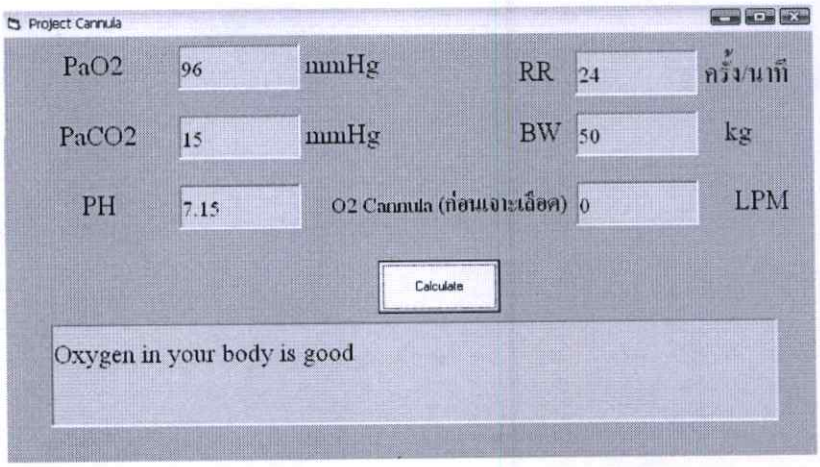


รูปที่4.14 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่2

ผู้ป่วยรายที่3 หญิงไทยคู่อายุ 35 ปี ท้องเสียอย่างรุนแรงก่อนมาโรงพยาบาล 2 วัน ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็น acute gastroenteritis ที่ room air:

PH=7.15, RR = 24ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =15 มม.ปรอท, PaO_2 =96 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 257)

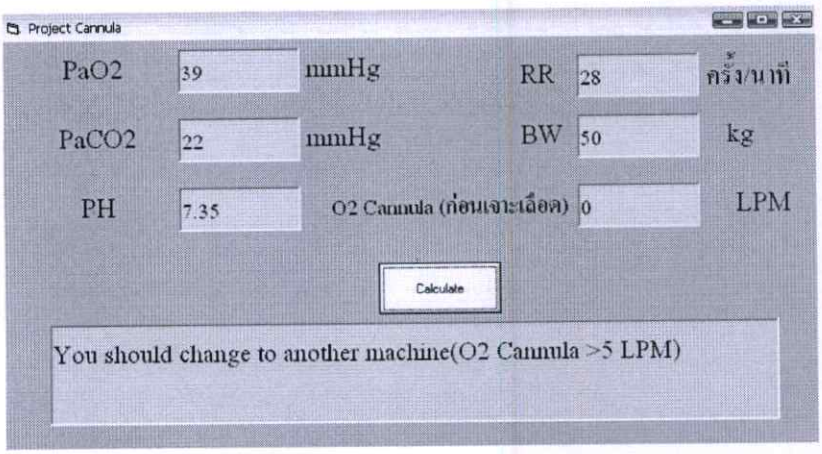


รูปที่4.15 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่3

ผู้ป่วยรายที่4 ชายไทยอายุ 17 ปี มีอาการจับหืดติดต่อกันมา 2 วัน เมื่อแรกรับผู้ป่วยหายใจมีเสียง wheeze และมี air hunger ที่ room air:

PH=7.35, RR = 28ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =22 มม.ปรอท, PaO_2 =39 มม.ปรอท

เบื้องต้นบริหารออกซิเจนผ่านทาง simple face mask โดยเปิดออกซิเจน 5-6 ลิตร/นาที เพื่อเพิ่ม PaO_2 และติดตามอาการต่อไปอย่างใกล้ชิด (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 259)

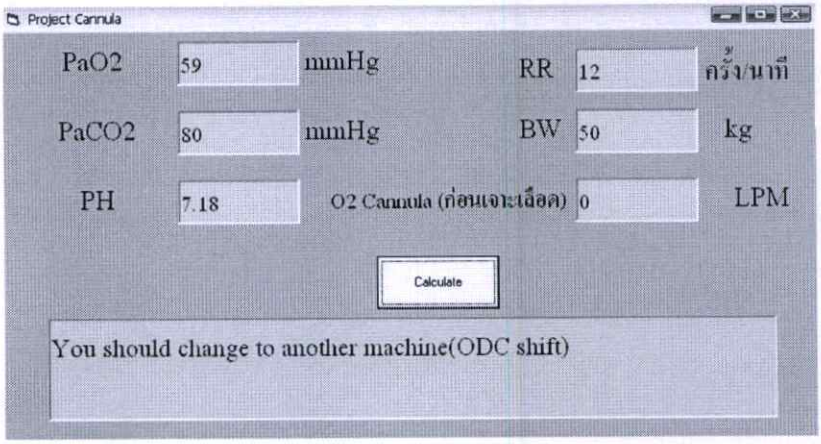


รูปที่4.16 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่4

<u>ผู้ป่วยรายที่5</u> ชายไทยอายุ 34 ปี ได้รับบาดเจ็บบริเวณศีรษะอย่างรุนแรงจากอุบัติเหตุรถยนต์ ที่ room air:

PH=7.18, RR = 12ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =80 มม.ปรอท, PaO_2=59 มม.ปรอท

ควรพิจารณาใส่ท่อช่วยหายใจอย่างเร่งด่วน เนื่องจาก $PaCO_2$ ที่สูงขึ้นทำให้หลอดเลือดในสมองขยายตัว ผู้ป่วยกำลังเข้าสู่ภาวะการหายใจล้มเหลว(พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 264)

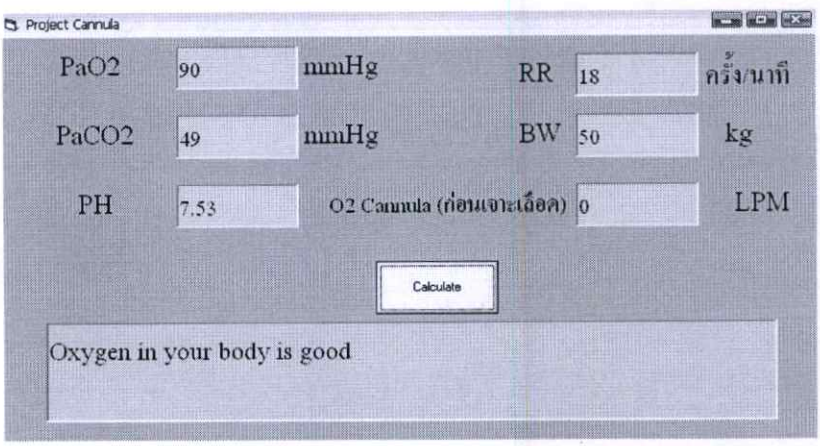


รูปที่4.17 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่5

<u>ผู้ป่วยรายที่6</u> หญิงไทยอายุ 32 ปี ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็น intestinal obstruction แพทย์ได้ใส่ NG tube เพื่อ suction ปรากฏว่าได้ fluid จำนวนมากติดต่อกับหลายวัน ที่ room air:

PH=7.53, RR = 18ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =49 มม.ปรอท, PaO_2=90 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 266)

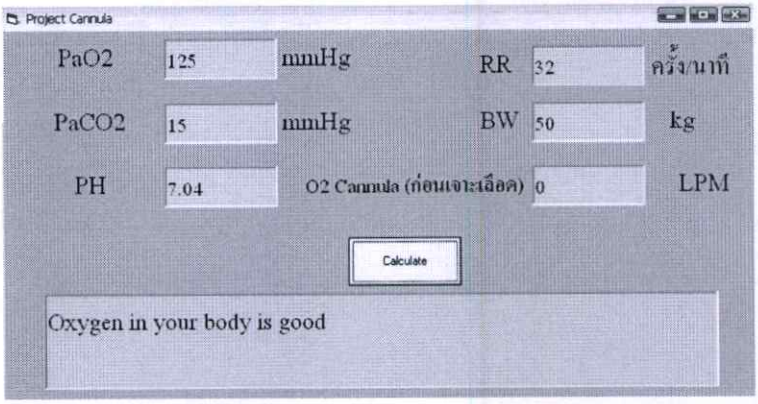


รูปที่4.18 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่6

ผู้ป่วยรายที่7 หญิงไทยคู่อายุ 32 ปี เป็นโรคเบาหวาน ขาด insulin และมีการหายใจหอบลึกซึมและสับสน ที่ room air:

PH=7.04, RR = 32ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =15 มม.ปรอท, PaO_2 =125 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 273)

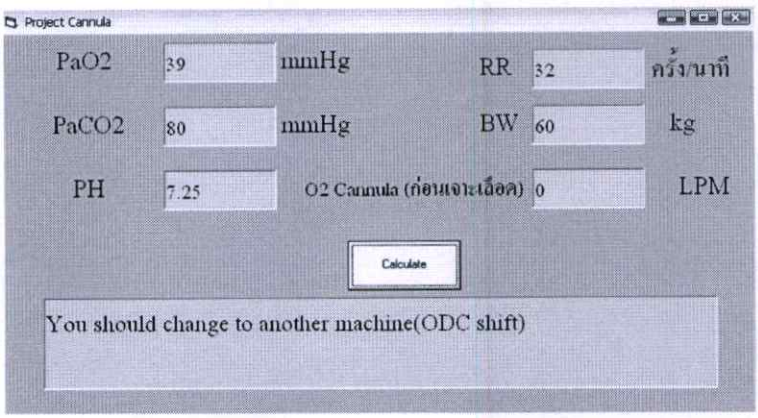


รูปที่4.19 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่7

ผู้ป่วยรายที่8 ชายไทยคู่อายุ 62 ปี น้ำหนัก 60 กิโลกรัม เป็น chronic bronchitis หายใจหอบเหนื่อย มีเสมหะเหลืองข้น ที่ room air:

PH=7.25, RR = 32ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =80 มม.ปรอท, PaO_2 =39 มม.ปรอท

Chronic bronchitis เป็นลักษณะของโรคกลุ่ม COPD ผู้ป่วยอาจมีการหายใจล้มเหลว มีคาร์บอนไดออกไซด์คั่ง (respiratory acidosis) และภาวะขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 276)

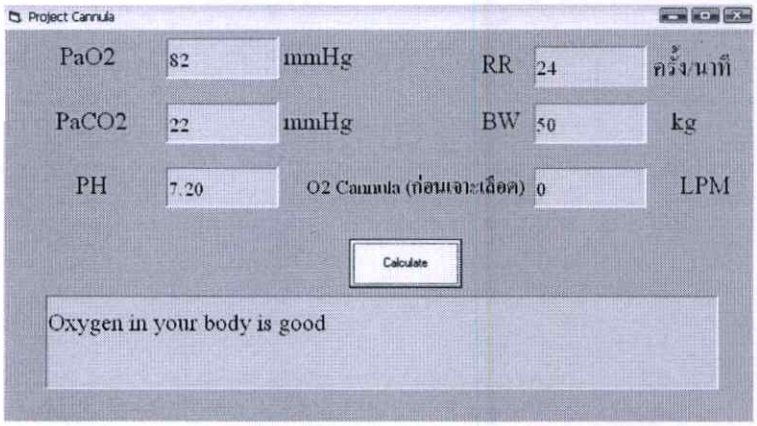


รูปที่4.20 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่8

ผู้ป่วยรายที่9 ชายไทยคู่อายุ 53 ปี แพทย์รับไว้ในโรงพยาบาลเพื่อผ่าตัด mitral valve replacement ระหว่างนั้นผู้ป่วยเริ่มมีอาการสับสนที่ room air:

PH=7.20, RR = 24ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =22 มม.ปรอท, PaO_2 =82 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 280)

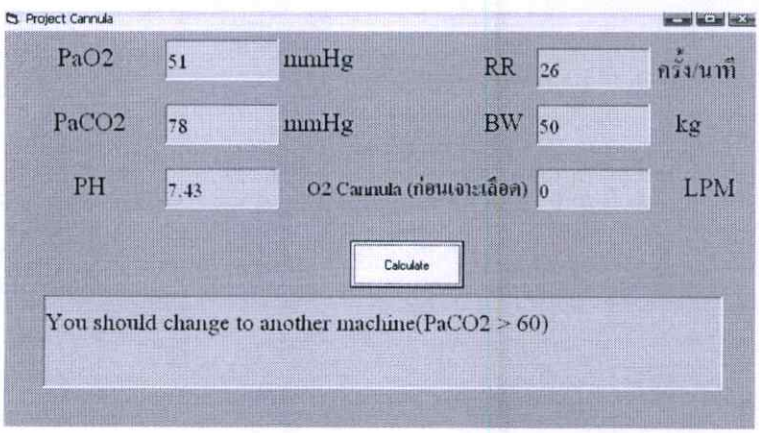


รูปที่4.21 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่9

ผู้ป่วยรายที่10 หญิงไทยคู่อายุ 53 ปี ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็น emphysema และ congestive heart failure ได้รับการรักษาด้วย digitalis, steroids และ furosemide มีอาการหายใจหอบเหนื่อย อาการอ่อนเพลียมาก ที่ room air:

PH=7.43, RR = 26ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =78มม.ปรอท, PaO_2 =51 มม.ปรอท

ผู้ป่วย COPD มีคาร์บอนไดออกไซด์คั่งเรื้อรัง (chronic respiratory acidosis) จำเป็นต้องหายใจด้วย hypoxic drive (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 291)

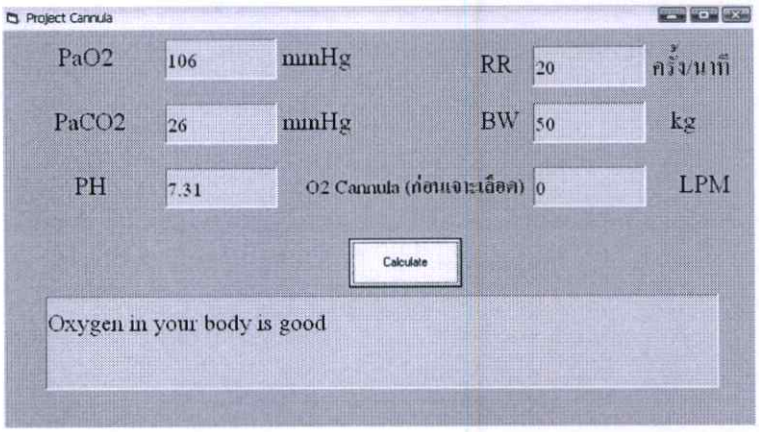


รูปที่4.22 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่10

ผู้ป่วยรายที่11 ผู้ป่วยชายไทยคู่อายุ 50 ปี มีประวัติเป็นเบาหวาน ขาดยาฉีดมา 2 วัน ถูกนำตัวส่งโรงพยาบาลด้วยอาการสำคัญคือมีอาการหายใจหอบเหนื่อย ที่ room air:

PH=7.31, $PaCO_2$ =26มม.ปรอท, PaO_2 =106 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 188)

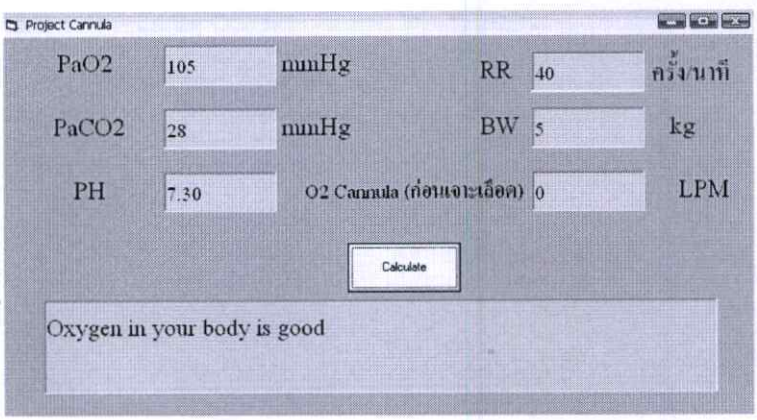


รูปที่4.23 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่11

ผู้ป่วยรายที่12 ทารกอายุ 4 เดือน มีภูมิลำเนาอยู่ในที่กันดารและใช้น้ำบ่อเพื่อการอุปโภคบริโภค ถูกรับไว้รักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากมีอาการหายใจหอบและเขียวคล้ำที่ room air:

PH=7.30, RR = 40ครั้ง/นาที, $PaCO_2$ =28 มม.ปรอท, PaO_2 =105 มม.ปรอท

ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 270)



รูปที่4.24 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่12

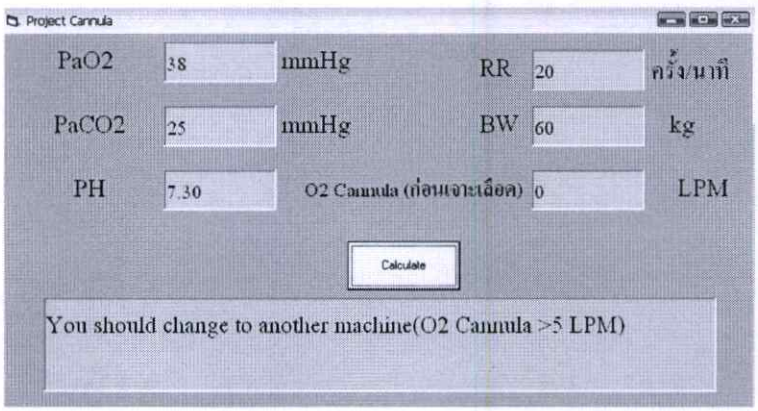
ผู้ป่วยรายที่13 ผู้ป่วยชายไทยคู่ อายุ 56 ปี อาชีพก่อสร้าง น้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม มีประวัติสูบบุหรี่จัด เคยได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคถุงลมโป่งพอง 6 วันก่อนถูกสังกะสีบาดที่เท้าซ้าย แผลกลายเป็นไฟลามทุ่ง (cellulites) ที่ใต้เข่าลงไปจนถึงปลายนิ้วเท้า มีอาการไข้สูง ซึม หายใจหอบเหนื่อย ที่ room air:

PH=7.30, $PaCO_2$ =25มม.ปรอท, PaO_2 =38 มม.ปรอท

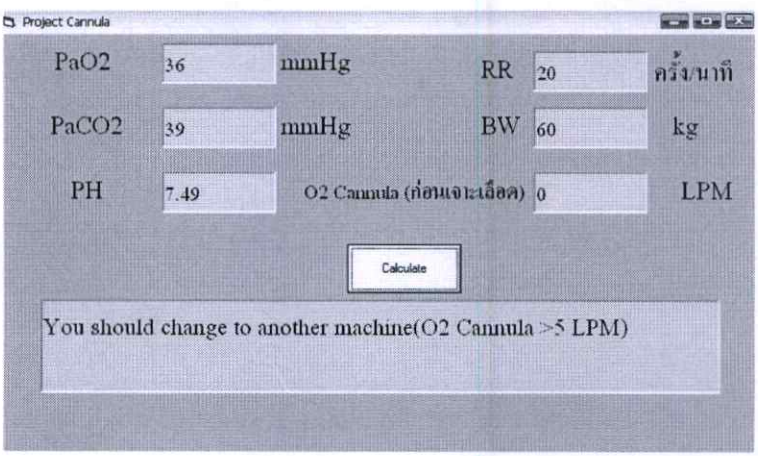
ผู้ป่วยได้รับการบริหารด้วย O2 cannula 2 LPM และ 7.5% NaHCO3 (ไม่ทราบปริมาณแน่นอน) หลังจากนั้น 1 ชั่วโมง ตรวจเลือดซ้ำพบว่า

PH=7.49, $PaCO_2$ =39มม.ปรอท, PaO_2 =36 มม.ปรอท

ผู้ป่วยเป็นโรคถุงลมโป่งพองเนื่องจากสูบบุหรี่จัด ทำให้ความสามารถในการหดกลับของปอดเสียไป ภายหลังได้รับออกซิเจนผู้ป่วยอาการไม่ดีขึ้น (refractory hypoxemia) น่าจะแสดงว่าพยาธิสภาพของปอดรุนแรงมาก (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 191)



รูปที่4.25 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่13 ก่อนได้รับออกซิเจน



รูปที่4.26 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่13 หลังได้รับออกซิเจน 2 LPM

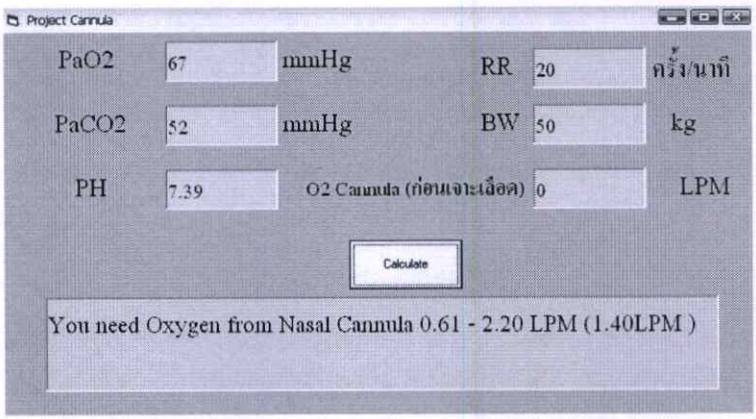
ผู้ป่วยรายที่14 ผู้ป่วยชายไทยคู่อายุ 78 ปี มีประวัติสูบบุหรี่จัดมา 50 ปี เคยเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลโรคทรวงอกเป็นครั้งคราว เช้าวันนี้มีอาการแน่นหน้าอกจึงมาโรงพยาบาล แพทย์ให้การวินิจฉัยว่าเป็นโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และรับตัวไว้รักษาในหออภิบาลที่ room air:

PH=7.39, $PaCO_2$ =52มม.ปรอท, PaO_2 =67 มม.ปรอท

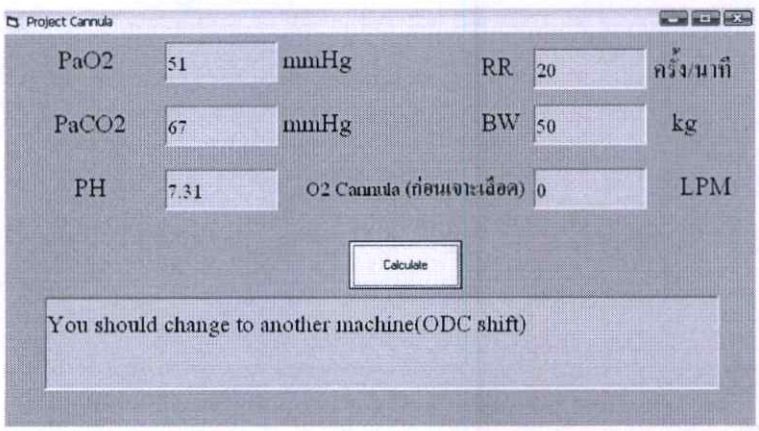
ภายหลังการรักษา 8 วัน ผู้ป่วยมีอาการดีขึ้น แพทย์จึงอนุญาตให้กลับบ้านได้ อีก 1 สัปดาห์ต่อมา ผู้ป่วยมีอาการไอและหายใจหอบเหนื่อยเพิ่มขึ้น จึงกลับมาโรงพยาบาล แพทย์ให้การวินิจฉัยว่ามีน้ำท่วมปอดก่อนให้การรักษาตรวจก๊าซในเลือดพบว่าที่ room air:

PH=7.31, $PaCO_2$ =67มม.ปรอท, PaO_2 =51 มม.ปรอท

ผู้ป่วย COPD มีคาร์บอนไดออกไซด์คั่งเรื้อรัง (chronic respiratory acidosis) จำเป็นต้องหายใจด้วย hypoxic driveและ1สัปดาห์ภายหลังออกจากโรงพยาบาลผู้ป่วยมีภาวะการหายใจล้มเหลว (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 203)

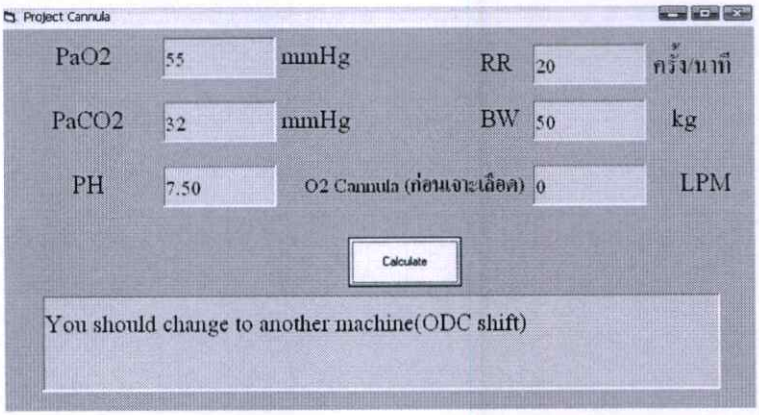


รูปที่4.27 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่14 ก่อนออกจากโรงพยาบาล



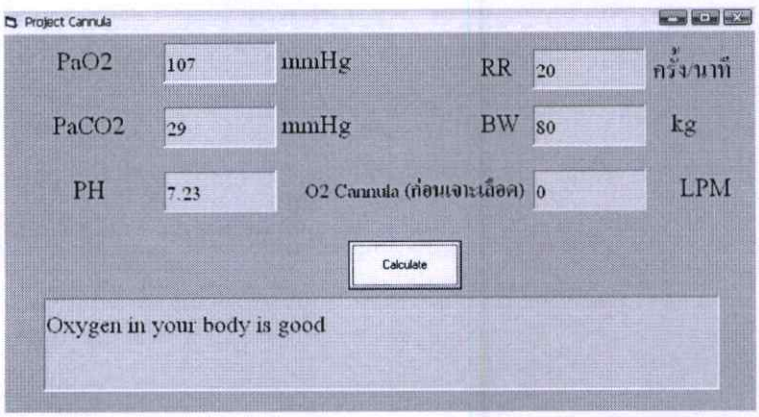
รูปที่4.28 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่14 หลังออกจากโรงพยาบาล

ผู้ป่วยรายที่ 15 ผู้ป่วยชายไทยโสดอายุ 35 ปี มีอาการเจ็บคอ ลิ้นแตกเป็นฝ้า ไข้สูงหนาวสั่น ไอ หอบเหนื่อย ตรวจร่างกายพบมีต่อมน้ำเหลืองโตทั่วไปได้รับการตรวจเลือดพบเชื้อ HIV ภาพถ่ายรังสีทรวงอกพบมีฝ้าขาวคล้ายปุยฝ้ายกระจายทั่วปอด แพทย์วินิจฉัยว่าเป็น bronchopneumonia ที่ room air: PH=7.5, $PaCO_2$ =32มม.ปรอท, PaO_2 =55 มม.ปรอท พยาธิสภาพทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอดผิดปกติ Bronchopneumonia ทำให้ผู้ป่วยหายใจหอบ มี $PaCO_2$ ลดลง, PHมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากปกติละมีภาวะการหายใจล้มเหลว (พงษ์ธารา วิจิตรเวช ไพศาล. 2545: 200)



รูปที่4.29 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่15

ผู้ป่วยรายที่16 ผู้ป่วยหญิงไทยคู่อายุ 40 ปี น้ำหนัก 80 กิโลกรัม มีประวัติเป็นเบาหวาน ปกติรักษาด้วยยาฉีด insulin ทุกวัน แต่ขาดยาไปในช่วงเทศกาลสงกรานต์ เช้าวันนี้ผู้ป่วยมีอาการหายใจหอบลึก ซึม ที่ room air: PH=7.23, $PaCO_2$ =29มม.ปรอท, PaO_2 =107มม.ปรอท ผู้ป่วยมีภาวะออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 222)

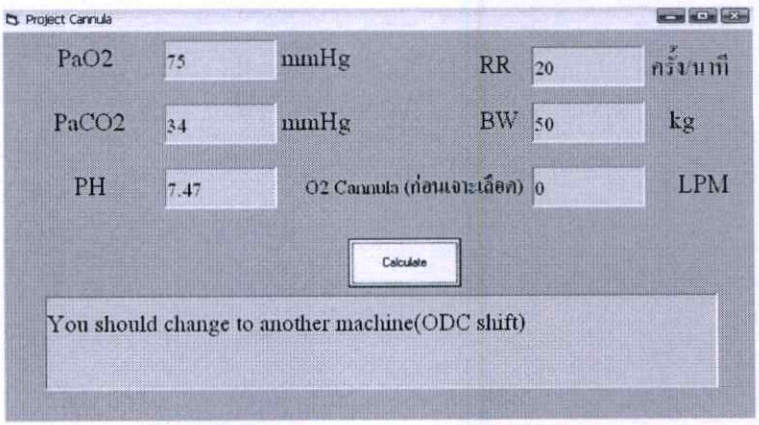


รูปที่4.30 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่16

<u>ผู้ป่วยรายที่ 17</u> ผู้ป่วยเด็กหญิงอายุ 14 ปี เป็นโรคหอบหืดมา 4 ปี กินยา terbutaline (Bricanyl) เป็นประจำวันละครึ่งเม็ดก่อนนอน โดยทุกครั้งมีอาการใจสั่นเล็กน้อย เคยใช้ยาพ่นเพื่อขยายหลอดลมเป็นครั้งคราว มีอาการหอบหืดครั้งสุดท้ายเมื่อเดือนที่แล้วก่อนเข้าห้องสอบ เช้าวันนี้ผู้ป่วยต้องเดินทางไปฟังผลสอบ รู้สึกแน่นอึดอัดและหายใจลำบากที่ room air:

PH=7.47, $PaCO_2$ =34มม.ปรอท, PaO_2 =75มม.ปรอท

ผู้ป่วยหายใจหอบทำให้ $PaCO_2$ ลดลง และ PH เปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก (respiratory alkalosis) (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 219)

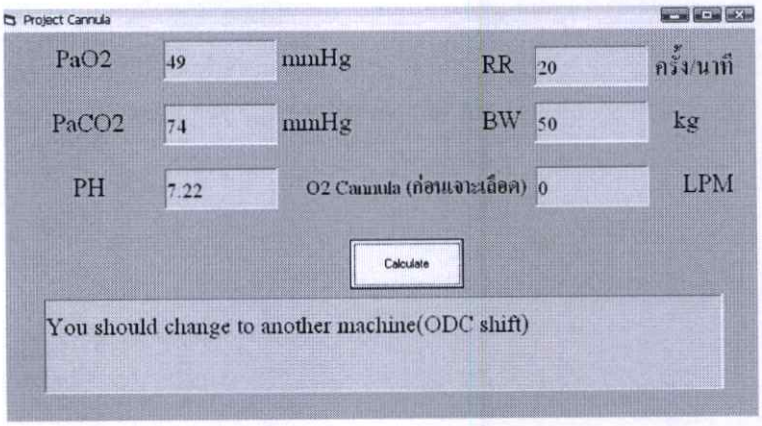


รูปที่4.31 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่17

<u>ผู้ป่วยรายที่ 18</u> ผู้ป่วยชายไทยอายุประมาณ 18 ปี ถูกพบนอนหมดสติอยู่ภายในห้องพัก น้ำลายฟูมปาก ผิวหนังเขียวคล้ำ ข้างตัวมีเข็มฉีดยาตกอยู่ที่ room air:

PH=7.22, $PaCO_2$ =74มม.ปรอท, PaO_2 =49มม.ปรอท

ผู้ป่วยมี PH เปลี่ยนแปลงไปจากปกติค่อนข้างมากเป็นเพราะ $PaCO_2$ สูง (respiratory acidosis) (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 225)



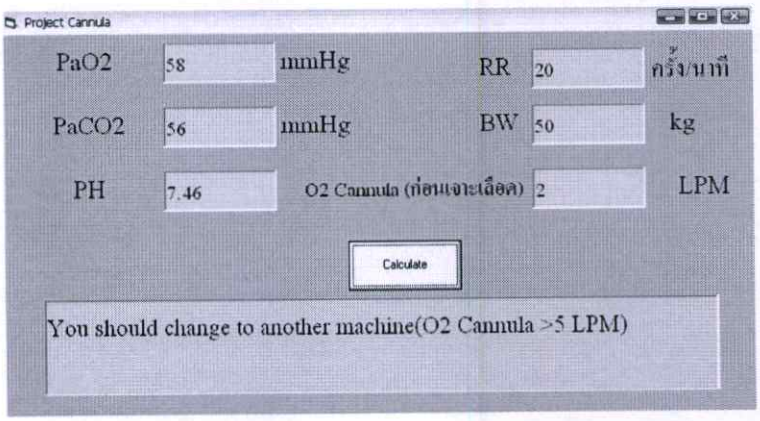
รูปที่4.32 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่18

<u>ผู้ป่วยรายที่ 19</u> ผู้ป่วยหญิงไทยคู่ อายุ 55 ปี มีประวัติเป็นเบาหวาน ความดันเลือดสูงและโรคปอดเรื้อรังมานาน 6 ปี ได้รับการรักษาด้วยยาเบาหวานชนิดรับประทาน ยาลดความดันเลือดและยาขับปัสสาวะ ผู้ป่วยไม่เคยขาดยาและติดตามการรักษากับแพทย์เฉพาะทางมาโดยตลอด

2 วันก่อนมาโรงพยาบาล มีอาการบวม หายใจหอบเหนื่อย ไอมีเสมหะนอนราบไม่ได้ ที่ห้องฉุกเฉินแพทย์ให้ผู้ป่วยหายใจด้วย O2 cannula 2 LPMที่ room air:

PH=7.46, $PaCO_2$ =56มม.ปรอท, PaO_2 =58มม.ปรอท

จากประวัติของผู้ป่วยซึ่งเป็น COPD ทำให้เชื่อว่าผู้ป่วยมีปัญหาเรื่อง chronic respiratory acidosis อยู่ก่อน (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 241)

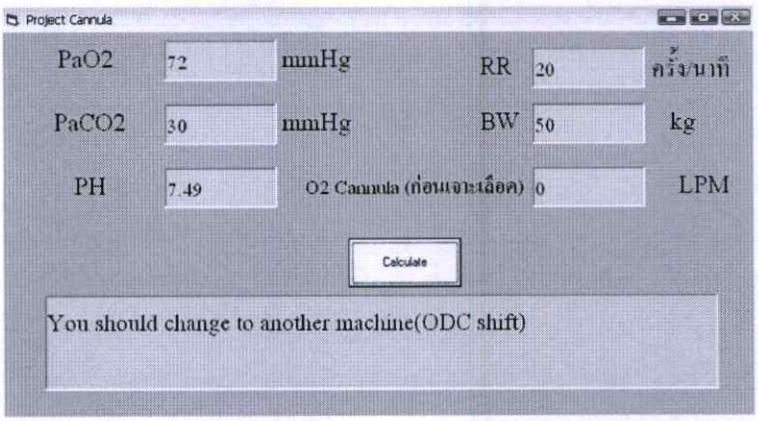


รูปที่4.33 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่19

<u>ผู้ป่วยรายที่ 20</u> ผู้ป่วยหญิงไทยคู่อายุ 68 ปี ลื่นหกล้มในห้องน้ำและกระดูกต้นขาซ้ายหัก ขณะนอนพักรักษาอยู่ในโรงพยาบาลเพื่อเตรียมตัวเข้ารับการผ่าตัด ผู้ป่วยมีอาการแน่น หอบเหนื่อย ที่ room air:

PH=7.49, $PaCO_2$ =30มม.ปรอท, PaO_2 =72มม.ปรอท

การที่กระดูกหักทำให้มี fat embolism ไปอุดตันหลอดเลือดฝอยในปอด ผู้ป่วยจึงมีอาการหายใจหอบ และ $PaCO_2$ ลดลง(respiratory alkalosis) PH มีค่าเปลี่ยนแปลงจากปกติ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 245)



รูปที่4.34 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่20

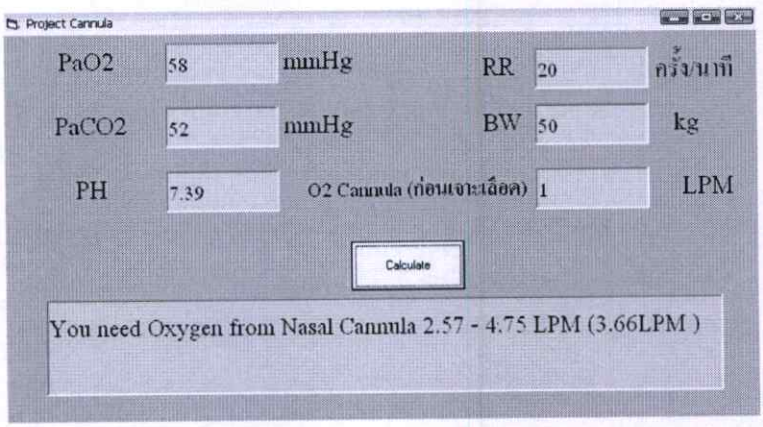
ผู้ป่วยรายที่21 ผู้หญิงไทยอายุ 58 ปี ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคปอดเรื้อรัง บางครั้งมีอาการจับหืด ต้องใช้ยาพ่นเพื่อขยายหลอดลมเป็นครั้งคราวเวลาอยู่บ้านต้องหายใจด้วย O2 cannula 1LPM ที่ room air:

PH=7.39, $PaCO_2$ =52มม.ปรอท, PaO_2 =58มม.ปรอท

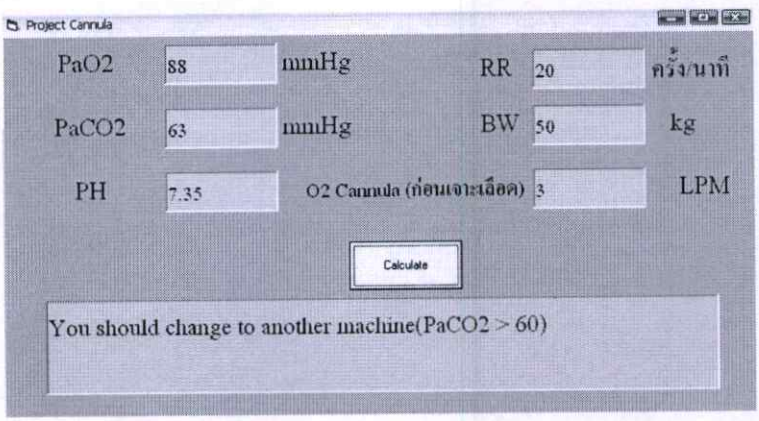
ญาติพบว่าในระยะหลังผู้ป่วยไม่ค่อยสดชื่น จึงได้เพิ่มออกซิเจนเป็น 3 LPM กลับพบว่าผู้ป่วยรู้สึกอึดอัดที่ room air:

PH=7.35, $PaCO_2$ =63มม.ปรอท, PaO_2 =88มม.ปรอท

เนื่องจากผู้ป่วย COPD จำเป็นต้องหายใจด้วย hypoxic drive ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณการบริหารออกซิเจน จึงทำให้ผู้ป่วยหายใจได้น้อยลงจนหยุดหายใจได้ (พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 230)



รูปที่4.35 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่21เมื่อได้ออกซิเจน 1 LPM



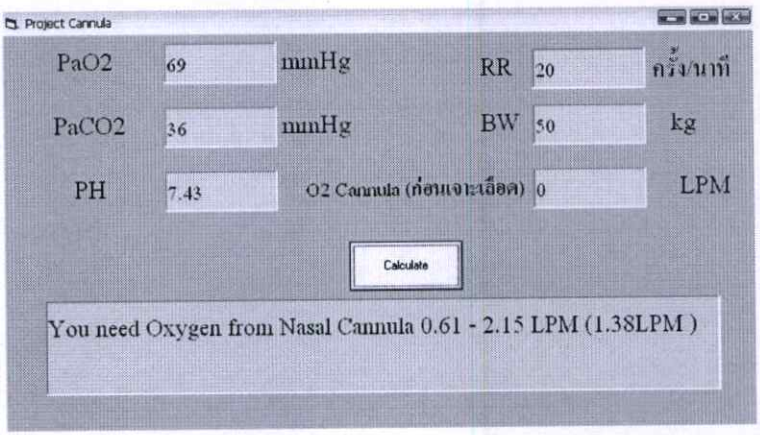
รูปที่4.36 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่21เมื่อได้ออกซิเจน 3 LPM

<u>ผู้ป่วยรายที่ 22</u> ชายไทยคู่อายุ 61 ปี เคยได้รับการวินิจฉัยว่าต่อมลูกหมากโตเข้ารับการผ่าตัดเมื่อ 5 ปีที่แล้ว โดยการฉีดยาชาเข้าทางไขสันหลัง ภายหลังการผ่าตัดต้องอยู่โรงพยาบาลนานประมาณ 1 เดือน เนื่องจากพบว่ามีลมในช่องเยื่อหุ้มปอด แพทย์ได้ใส่ท่อระบายให้จนหายเป็นปกติ มีประวัติสูบยาเส้นมานาน ระยะหลังเริ่มมีอาการซึม เหนื่อยง่ายที่ room air:

PH=7.43, $PaCO_2$ =36มม.ปรอท, PaO_2 =69มม.ปรอท

ผู้ป่วยต้องห่อริมฝีปากเวลาหายใจออก เพื่อไม่ให้มีอากาศเหลือค้างอยู่ภายในปอด

(พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545: 228)



รูปที่4.37 แสดงหน้าจอการใช้งานของโปรแกรมผู้ป่วยรายที่22

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 5 นี้ จะเป็นการสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยจะเห็นว่าประโยชน์ของงานวิจัยชิ้นนี้นั้นสามารถจำแนกผู้ป่วยออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผู้ป่วยที่มีภาวะออกซิเจนปกติดี

กลุ่มที่ 2 ผู้ป่วยที่มีความต้องการออกซิเจนจากสายให้ออกซิเจนทางจมูก โดยสามารถระบุปริมาณออกซิเจนที่ผู้ป่วยต้องการได้อย่างเพียงพอโดยไม่ต้องทำการสุ่มในปริมาณที่ไม่แน่นอนเหมือนในปัจจุบันทำให้เจ้าหน้าที่พยาบาลสะดวกในการใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกมากขึ้น

กลุ่มที่ 3 ผู้ป่วยที่ไม่สามารถใช้สายให้ออกซิเจนทางจมูกได้ โดยสามารถบอกถึง 3 สาเหตุที่ใช้ไม่ได้ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คั่งเกินไป, ความต้องการออกซิเจนเกิน 5 ลิตรซึ่งเกินความสามารถของสายให้ออกซิเจนทางจมูก, ลักษณะกราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น (Oxyhemoglobin dissociation curve) เบี่ยงเบนไปจากปกติเนื่องจากการใช้งานสายให้ออกซิเจนทางจมูกนั้นต้องใช้คู่กับเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (Pulse Oximeter) และเครื่องตัวนี้สามารถใช้เปรียบเทียบค่า PaO_2 ได้ในกรณีที่กราฟออกซีฮีโมโกลบินดิสโซซิชั่น (Oxyhemoglobin dissociation curve) ปกติเท่านั้น

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่สอดคล้องกับตัวผู้ป่วยในขณะนั้น โดยอาศัยตัวแปร คือ ค่าน้ำหนักตัว(Body weight), ค่าความถี่ในการหายใจ (Respiratory rate) และค่าต่างๆที่ได้จากการเจาะเลือดในขณะนั้นคือ ค่าแรงดันออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2), ค่าแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ($PaCO_2$), ค่าความเป็นกรดด่างในเลือดแดง (PH) โดยมีแนวคิด 3 ขั้นตอนหลักๆคือ

(1) สร้างสูตรสัดส่วนออกซิเจนที่หายใจเข้าไป (FiO_2)

(2) นำสูตรแรงดันออกซิเจนในปอดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (PAO_2)

(3) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องความสัมพันธ์ของการหายใจและแรงดันออกซิเจน ทำการปรับสัดส่วนแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับเป็นค่าปกติโดยการนำ(1), (2) มาประยุกต์ร่วมกันเพื่อหาแบบจำลองปริมาณออกซิเจนที่ผู้ป่วยต้องการและนำไปทดสอบประสิทธิผลกับข้อมูลผู้ป่วยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการวิเคราะห์พบว่า การแสดงผลตรงกับแนวทางการรักษาที่ได้บันทึกไว้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยเครื่องวัดระดับความอิ่มตัวของ

ออกซิเจนในเลือดแดง (Pulse oximeter) ที่จะคอยอ่านผลแสดงถึงภาวะออกซิเจนที่ตรวจพบในขณะนั้นว่ากลับสู่เกณฑ์ปกติแล้วหรือยัง

5.2 ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้ก็ยังมีข้อจำกัด เพราะปัญหาในทางปฏิบัติที่ผู้วิจัยได้พบก็คือ แบบจำลองนี้ใช้ได้กับผู้ป่วยที่มีภาวะขาดออกซิเจนแล้วเท่านั้นและจะปรับเพียงค่าแรงดันออกซิเจนในเลือดแดงให้กลับสู่เกณฑ์ปกติ แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่าแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงว่ามากน้อยเพียงใด ดังนั้นแบบจำลองนี้จะใช้ได้มีประสิทธิภาพกับกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะปอดและแรงดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงคงที่ แต่หากพบภาวะอื่นแทรกซ้อนเช่น ภาวะที่ผู้ป่วยมีคาร์บอนไดออกไซด์คลั่งในเลือดมากจนเกินไป เป็นต้น ก็ต้องให้แพทย์และพยาบาลดูแลอย่างใกล้ชิด และบางครั้งหากผู้ป่วยอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถเจาะเลือดได้ก็จะเป็นผลให้ไม่ทราบค่าแรงดันออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และค่ากรดด่างในเลือดแดง ก็จะทำให้เกิดปัญหาในการใช้แบบจำลองขึ้นมา เนื่องจากในแบบจำลองจะต้องแทนค่าทั้ง3ลงไป ดังนั้นเราอาจจะศึกษาหาวิธีการแบบอื่นๆหรือคิดค้นวิธีขึ้นใหม่ เพื่อไม่ให้เกิดข้อจำกัดในการนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. **การวิเคราะห์ก๊าซในเลือด.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร : บริษัท พี.เอ.ลีฟวิ่ง จำกัด. 2545.

[2] Guyton AC, Hall JE. **Aviation, high altitude and space physiology.** In: Guyton AC, Hall JE, eds. Textbook of medical physiology, 9th ed. Philadelphia : WB Saunders. 1996 : 549-55.

[3] Eubanks DH, Bone RC. **Humidity therapy.** In: Eubanks DH, Bone RC, eds. Comprehensive respiratory care-a learning system, 2nd ed. St. Louis : CV Mosby Co. 1990 : 317-34.

[4] Remington RD, Schork MA. **Statistics with applications to the biological and health sciences.** Englewood Cliffs : Prentice-Hall Inc. 1970.

[5] Clark LC Jr. **Measurement of oxygen tension: a historical perspective.** Crit Care Med. 1981; 9 : 690-2.

[6] Severinghaus JW, Bradley AF. **Electrodes for blood PO2 and PCO2 determinations.** J Appl Physiol 1958; 13 : 515-9.

[7] Shapiro BA, Harrison RA, Cane RD, Templin R. **Blood gas analyzer.** In: Shapiro BA, Harrison RA, Cane RD, Templin R, eds. Clinical application of blood gases, 5th ed. Chicago : Year Book Medical Publishers Inc. 1994 : 265-73.

[8] National Committee for Clinical Laboratory Standards. **Blood gas pre-analytical considerations: specimen collection, calibration and controls (proposed guideline).** NCCLS publication C27-P. Villanova, PA : N.C.C.L.S. 1985.

[9] Parbrook GD, Davis PD, Parbrook EO. **Oxygen measurement.** In: Parbrook GD, Davis PD, Parbrook EO, eds. Basic physics and measurement in anesthesia, 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd. 1995 : 235-49.

[10] Cohen NH. **Monitoring the respiratory system in the ICU: what works and what doesn't?** ASA Refresher Course 1993; 244 : 1-7.

[11] Mines AH. **Ventilation and alveolar gas pressure.** In: Mines AH, ed. Respiratory physiology, 3rd ed. New York : Raven Press. 1993 : 41-54.

[12] Eubanks DH, Bone RC. **Mechanical ventilation.** In: Eubanks DH, Bone RC, eds. Comprehensive respiratory care-a learning system, 2nd ed. St. Louis : CV Mosby Co. 1990 : 653-781.

[13] Bone RC. **Monitoring patients in acute respiratory failure.** Respir Care. 1982; 27 : 700-6.

[14] Bastian GF. **Cellular respiration.** In : Bastian GF, ed. The respiratory system. New York : Harper Collins College Pub. 1994 : 47-56.

[15] Moser K. **Oxygen and carbon dioxide transfer.** Respiratory Care 1975; 20 : 5-12.

[16] Baker JP, Detsky AS, Stewart S. **Randomized trial of total parenteral nutrition in critically ill patients: metabolic effects of varying glucose-lipid ratios as energy source.** Gastroenterology 1984; 87 : 53-9.

[17] Leff AR, Shumacker PT. **Ventilation-perfusion relationships.** In : Leff AR, Shumacker PT, eds. Respiratory physiology-basis and applications. Philadelphia : WB Saunders Co. 1993 : 93-110.

[18] Vender JS, Clemency MV. **Oxygen delivery systems, inhalation therapy, respiratory therapy.** In : Benumof JL, ed. Clinical procedures in anesthesia and intensive care. Philadelphia : JB Lippincott Co. 1992 : 63-87.

[19] Narins RG, Emmett M. **Simple and mixed acid-base disorders: a practical approach.** Medicine(Baltimore) 1980; 59 : 161-87.

[20] Laver MB. **A fable of our time: oxygen transport, or does the emperor have new clothes?** Anesthesiology 1972; 36 : 105.

[21] Barker SJ, Tremper KK. **The effect of carbon monoxide inhalation on pulse oximetry and transcutaneous PO2.** Anesthesiology 1987; 66 : 677-9.

[22] Watcha MF, Connor MT, Hing AV. **Pulse oximetry in methemoglobinemia.** Am J Dis Child 1989; 143 : 845-7.

[23] Ralston AC, Webb Rk, Runciman WB. **Potential errors in pulse oximetry III: effects of interference, dyes, dyshaemoglobins and other pigments.** Anaesthesia 1991; 46 : 291-5.

[24] Kim JM, Arakawa K, Benson KT. **Pulse oximetry and circulatory kinetics associated with pulse volume amplitude measured by photoelectric plethysmography.** Anesth Analg 1986; 65 : 1333-9.

[25] Melvin Khee-Shing Leow. **"Configuration of the hemoglobin oxygen dissociation curve demystified: a basic mathematical proof for medical and biological sciences undergraduates"** [Online]. Available : http://ajpadvan.physiology.org/cgi/content/full/31/2/198. 2007.

[26] บดินทร์ ขวัญนิมิตร. "การวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรในผู้ใหญ่." **สงขลานครินทร์เวชสาร,** ปีที่ 24, ฉบับที่3. เมษายน 2549. หน้า 246-252.

[27] Wikipedia. **"Beer-Lambert law"** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Beer-Lambert_law. 2008.

[28] Wikipedia. **"Nasal Cannula"** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Nasal_cannula. 1949.

บรรณานุกรม

พงษ์ธารา วิจิตรเวชไพศาล. 2545. **การวิเคราะห์ก๊าซในเลือด.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร : บริษัท พี.เอ.ลีฟวิ่ง จำกัด.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเจษฐวิชญ์ จันทรฆาฏ
วัน เดือน ปีเกิด	3 กันยายน 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดอุตรดิตถ์
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต(คณิตศาสตร์)
สถานศึกษาที่สำเร็จ	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ปีการศึกษาที่สำเร็จ	2548