



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ
Application for Control Sequential Compression Device

นางสาวขวัญชนก บุญดาราช

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ
Application for Control Sequential Compression Device

นางสาวขวัญชนก บุญดาราช

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา แอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวขวัญชนก บุญดาราช รหัสประจำตัว 58010131
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.สรินพร วิสิฐสัทธาพงศ์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายอนุชา กว้างไชย
สถานประกอบการ บริษัท เซนต์เมด จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยสหกิจนี้มีจุดประสงค์ในการออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับรักษาผู้ป่วยที่เกิดภาวะหลอดเลือดดำอุดตันหรือภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ โดยศึกษาการใช้แรงดันลมเพื่ออัดเข้าไปในปลอกขาให้มีการอัดและปล่อยลมเป็นจังหวะ การสร้างแรงดันลมมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สำหรับการควบคุมจังหวะของแรงดันลมนั้นกระทำโดยการเขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมจังหวะการปล่อยลม จากนั้นจึงมีการออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และแอปพลิเคชันใช้การเชื่อมต่อผ่านบลูทูธ โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถควบคุมการเปิด-ปิดเครื่อง, การตั้งเวลาการทำงานของเครื่อง และการเลือกบีบไล่เลือดเฉพาะส่วน

คำสำคัญ : เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ / หลอดเลือดดำอุดตัน / ลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ

Cooperative Title: Application for Control Sequential Compression Device

Student intern name: Kwanchanok Boondarach

Faculty: Engineering **Department:** Biomedical Engineering

Advisor name: Dr. Sirinporn Visitsattapongse

Mentor name: Mr. Anucha Kwangchai

Company: Saintmed Co., LTD

ABSTRACT

This cooperative project aimed at designing application for control sequential compression device. And this machine uses for Venous thrombosis therapy. It uses air pressure to compress into the sleeve (SCD Express Sleeve) to inflate and deflate be rhythm. Furthermore, creating pressure with a simple structure. For controlling the pulse of the pressure by writing commands to the microcontroller controls the rhythm of deflates. Consequently, the application has been designed to control the microcontroller used. When connecting the device between the microcontroller and the application, Use Bluetooth connection. This application can control the power-on, set the time of the machine. And a selection of press blood for specific parts.

Keyword: Sequential Compression Device / Deep Vein thrombosis / Venous thrombosis

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.สรินพร วิสิฐสุทธาทพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย สหกิจศึกษานี้ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือทั้งในเรื่องงานวิจัยและปัญหาต่าง ๆ ซึ่งเป็น ประโยชน์อย่างมากทั้งกับงานวิจัยและผู้ทำวิจัย ทั้งนี้โครงการวิจัยสหกิจนี้ยังได้รับความกรุณาและการ ช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ชูชาติ ปินทวิรุจน์ ที่ปรึกษา ด้านอิเล็กทรอนิกส์ , รศ.นพ. ชุมพล ว่องวานิช ที่ปรึกษาด้านศัลยศาสตร์หลอดเลือด และเจ้าหน้าที่ โรงพยาบาลศิริราชที่ได้เอื้อเพื่อช่วยในขั้นตอนการทำการทดลอง อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ นาย อนุชา กว้างไชย จากบริษัท เซนต์เมต จำกัด ที่ได้เปิดโอกาสให้ผู้ทำวิจัยได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานกับทางบริษัท และการสนับสนุนอุปกรณ์การทำงานวิจัยเป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยผลักดันให้มีการทำสหกิจศึกษา เพื่อให้ นักศึกษามีประสบการณ์ จากได้เรียนรู้จากการทำงานจริง และโรงพยาบาลศิริราชที่ได้เอื้อเพื่อและอำนวยความสะดวกในเรื่องของ สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของผู้ทำวิจัยที่ได้ให้ การสนับสนุนทำงานด้านการศึกษา รวมทั้งให้กำลังใจและความห่วงใยมาโดยตลอด และขอขอบคุณพี่ ๆ ปริญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาไฟฟ้าและภาควิชาชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ หากงานโครงการสหกิจนี้มี ข้อบกพร่องประการใด ผู้ทำวิจัยขออภัยมา ณ โอกาสนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการสหกิจนี้จะเป็น ประโยชน์ต่อผู้อื่นไม่มากนัก

ขวัญชนก บุญดาราช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	vii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลอดเลือดดำผิว	5
2.2 หลอดเลือดดำลึก	6
2.3 ภาวะลิ่มเลือดอุดตัน	7
2.4 การใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ (INTERMITTENT PNEUMATIC COMPRESSION)	36
2.5 แบบจำลองการคำนวณทางคณิตศาสตร์การไหลของเลือดมนุษย์	37
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการทดลอง	44
2.7 ทฤษฎี PROGRAM ที่เกี่ยวข้อง	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การเลือกใช้อุปกรณ์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบวงจร	51
3.3 การออกแบบแอปพลิเคชัน.....	52
3.4 การทดลอง	54
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการวัดการไหลเวียนเลือดกลับ.....	57
4.2 ผลการวัดความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชัน.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การใช้ BLUETOOTH HC-05.....	67
ภาคผนวก ข การทำงานของแอปพลิเคชัน.....	72
ภาคผนวก ค แบบประเมินที่ใช้ในการทดลอง.....	75
ประวัติผู้วิจัย	77

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 หลอดเลือดดำชั้นผิวของรยางค์บน	5
2.2 หลอดเลือดดำชั้นลึกของรยางค์บน	6
2.3 พยาธิสภาพที่พบในผู้ป่วยที่เกิดภาวะ PULMONARY EMBOLISM.....	23
2.4 การทำ VENOGRAM	25
2.5 PHLEGMASIA CAERULA DOLENS	28
2.6 การทำงานของกล้ามเนื้อบริเวณขาขณะใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ	37
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดและความเร็วการไหลในSYSTEMIC CIRCULATION .	44
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO	45
2.9 3 CHANNEL OPTOCOUPLER RELAY MODULE	46
2.10 4 CHANNEL RELAY SHIELD MODULE FOR ARDUINO CATALEX V1.0.....	47
2.11 การต่อ RELAY SHIELD MODULE กับ ARDUINO	47
2.12 การทำงานเบื้องต้นของโซลินอยด์วาล์ว	48
2.13 ตัวอย่างของปลอกขา SCD.....	48
2.14 หน้าต่างโปรแกรม APP INVENTOR 2.....	49
3.1 MICRO AIR PUMP	51
3.2 SCD EXPRESS SLEEVES	51
3.3 FLOWCHART การทำงานของเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.4 การต่อวงจรสำหรับเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.5 การออกแบบหน้าต่างแอปพลิเคชัน.....	53
3.6 BLOCK DIAGRAM คำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานภายในแอปพลิเคชัน	53
3.7 ไอคอนแอปพลิเคชัน.....	54
3.8 ผู้ป่วยที่มีอาการขาบวมเนื่องจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำบริเวณขา.....	55
3.9 การใส่ SCD EXPRESS SLEEVES	55
3.10 การใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD EXPRESS ยี่ห้อ KENDALL	57
4.2 BESTMAN รุ่น VASCULAR DOPPLER DETECTOR BV-620V	57
4.3 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจลักษณะทั่วไปของเครื่อง	59
4.4 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจการใช้งานเครื่อง	59
4.5 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจลักษณะทั่วไปของแอปพลิเคชัน	60
4.6 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน	60
4.7 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย	61
1ก การต่อวงจรตั้งค่า	67
2ก การเข้าสู่โหมดตั้งค่าในกรณีไม่มีขาคีย์	68
3ก การเลือกพอร์ตในโปรแกรม Arduino IDE	69
4ก ตำแหน่ง serial monitor	69
5ก การปรับค่าใน serial monitor	70
6ก โมดูลอยู่ในโหมดพร้อมรับคำสั่ง	70
1ข การเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธ	72
2ข การตั้งเวลาการทำงาน	72
3ข การเลือกการทำงาน	73
4ข หน้าต่างแอปพลิเคชันขณะมีการทำงาน	73
5ข หน้าต่างแสดงการสิ้นสุดการทำงาน	74

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 การดำเนินงานวิจัยในแต่ละเดือน	3
2.1 สารที่สร้างจาก ENDOTHELIAL CELL	10
2.2 ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ.....	15
2.3 การประเมินปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ.....	16
2.4 ปัจจัยเสี่ยงในการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัด.....	17
2.5 CAPRINI RISK ASSESSMENT MODEL (RAM).....	18
2.6 อุบัติการณ์การเกิด POST-OPERATIVE DVT ในคนเอเชียและแอฟริกาเปรียบเทียบกับคนผิวขาว	20
2.7 SENSITIVITY AND SPECIFICITY OF DIAGNOSTIC TOOLS FOR DVT	27
2.8 ขนาดยาต้านการแข็งตัวของเลือดที่ใช้ในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำผู้ป่วย ที่ได้รับการผ่าตัดใหญ่.....	33
2.9 RANDOMIZED CONTROLLED TRIALS FOR CANCER-RELATED VENOUS THROMBOEMBOLISM (VTE)	35
2.10 Consensus guidelines on treatment of deep vein thrombosis or pulmonary embolism in patients	36
4.1 ตารางแสดงค่าความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำก่อนและหลังการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็น จังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD Express ยี่ห้อ Kendall ของบริษัท Convidien.....	58
4.2 ตารางแสดงค่าความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำก่อนและหลังการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็น จังหวะที่ใช้ในการทดลอง และใช้แอปพลิเคชันในการควบคุม.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หลอดเลือดดำชั้นลึก (Deep vein) เป็นคำที่ใช้อธิบายหลอดเลือดดำที่อยู่ลึกลงไปในร่างกาย ต่างจากหลอดเลือดดำที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวของร่างกายที่เรียกว่าหลอดเลือดดำชั้นผิว หลอดเลือดดำชั้นลึกมักจะอยู่ข้างหลอดเลือดแดงที่มีชื่อเดียวกัน เช่น หลอดเลือดดำต้นขา (femoral vein) ที่อยู่ข้างหลอดเลือดแดงต้นขา (femoral artery) เรียกลักษณะหลอดเลือดดำนี้ว่า venae comitantes หลอดเลือดดำชนิดนี้จะลำเลียงเลือดได้เป็นปริมาณมาก การอุดตันของหลอดเลือดดำชั้นลึกมักทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดมีลิ่มเลือด (thrombosis) ซึ่งอันตรายถึงชีวิต การอุดตันของหลอดเลือดดำชั้นลึกนี้มีคำเรียกเฉพาะว่า deep vein thrombosis [1]

ภาวะหลอดเลือดดำอุดตันเกิดจากลิ่มเลือดแข็งตัวในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่พบมากในบริเวณขา ภาวะนี้เป็นอันตรายได้ ลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำนี้สามารถหลุดไปยังบริเวณปอด ทำให้เกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด (Pulmonary embolism) ซึ่งอันตรายถึงชีวิต กรมควบคุมโรค (Centers of Disease Control and Prevention; CDC) ประเมินว่า คนอเมริกัน จำนวน 900,000 คน ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ และคนอเมริกันเสียชีวิตจากภาวะนี้มากถึง 100,000 คนต่อปี [2] อุบัติการณ์ของภาวะหลอดเลือดดำอุดตันสูงขึ้นตามอายุ และในประเทศแถบเอเชียมีอุบัติการณ์การเกิดต่ำกว่าประเทศทางตะวันตก ในประเทศไทยยังไม่มีตัวเลขในภาพรวม [3] มีเฉพาะในหอผู้ป่วยวิกฤตศัลยกรรมพบอัตราการเกิด ร้อยละ 3.6 ในผู้ป่วยที่ไม่ได้รับการป้องกัน และในหอผู้ป่วยวิกฤตอายุรกรรมรพ.ศิริราชพบร้อยละ 8.82 [4]

การรักษาแบ่งออกเป็น 2 วิธี

1.) การรักษาโดยใช้ยา ยาที่นิยมใช้ได้แก่

Low dose unfractionated heparin (LDUH)

Low molecular weight heparin (LMWH)

ในปัจจุบัน นิยมใช้ LMWH มากกว่าเนื่องจากได้ผลดี สะดวก และมีผลข้างเคียงน้อย ขนาดปกติ 40 mg ฉีดใต้ผิวหนังวันละครั้ง หรือ 30 mg ฉีดใต้ผิวหนังวันละสองครั้ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ยามีผลข้างเคียงทำให้เลือดออกง่าย

2.) การป้องกันเชิงกล (mechanical prophylaxis) อาศัยกลไกการบีบขาจากภายนอก วิธีที่นิยมใช้ได้แก่

Graded compression stocking (GCS) สามารถลดการเกิดได้ร้อยละ 50 เมื่อใช้เดี่ยว ๆ หลังการผ่าตัดใหญ่ แม้ว่าถุงเท้าวยางยืดมีความสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ในการป้องกันการเกิดลิ่มเลือดเมื่อใช้เป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง แต่ถูกทำอย่างยืดไม่เหมาะกับผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตนเอง ผู้ป่วยที่มีสายระบายบริเวณขา หรือผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง อย่างเช่นผู้ป่วยวิกฤต เป็นต้น [4]

Intermittent pneumatic compression (IPC) หรือ Sequential Compression Device (SCD) มีประสิทธิภาพมากกว่า GCS และสามารถใช้ได้ยาว ๆ ในกรณีผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อการเกิดเลือดออก ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่แนะนำให้ใช้มากที่สุด ในปัจจุบันเครื่อง Sequential Compression Device มีราคาสูง ไม่เหมาะสมสำหรับบางหน่วยงานหรือผู้ป่วยบางรายที่ขาดปัจจัยด้านอุปกรณ์สนับสนุน และมีขนาดใหญ่ การใช้จำเป็นต้องเข้ารับการรักษาที่ทางโรงพยาบาลขนาดใหญ่เท่านั้น การใช้งานเครื่องจำเป็นต้องมีนักกายภาพบำบัดควบคุมดูแล ไม่เหมาะกับการใช้งานโดยผู้ป่วยเอง เมื่อผู้ป่วยกลับมารักษาตัวที่บ้าน โอกาสในการใช้เครื่องเพื่อการรักษาจึงมีลดลง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำมาสู่การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะเพื่อการใช้งานที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เหมาะสำหรับการใช้งานโดยผู้ป่วยเอง และสามารถใช้ได้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งสามารถพกพาเครื่องได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาและป้องกันการเกิดภาวะการเกิดลิ่มเลือดอุดตันในปอด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องมือและเขียนคำสั่งเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ
2. เพื่อสร้างเครื่องบีบไล่เลือดให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานได้ทุกที่ และมีการใช้งานที่ง่ายไม่ซับซ้อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบหน้าต่างแอปพลิเคชันสำหรับมาใช้ควบคุมเครื่อง
2. เขียนคำสั่งในการทำงานให้แอปพลิเคชัน
3. ออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของปั๊มและวาล์ว
4. เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของวงจรการทำงานปั๊มและวาล์ว จากไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ทำการทดลองกับผู้ป่วยที่มีอาการขาบวมเนื่องจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่หลอดเลือดดำบริเวณขา โดยการวัดความเร็วในการไหลเวียนเลือดดำ

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

เมื่อเดือน มิถุนายน ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาหาข้อมูลและเก็บข้อมูลจากการดูงานจากสถานที่จริง คือ โรงพยาบาลศิริราช โดยได้มีโอกาสสัมภาษณ์ปัญหาของการใช้งานเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะจากผู้ป่วย เจ้าหน้าที่กายภาพบำบัด และแพทย์ผู้รักษา และได้แบ่งกิจกรรมการดำเนินงานดังนี้

1. ออกแบบหน้าต่างแอปพลิเคชันสำหรับมาใช้ในการควบคุมเครื่อง
2. เขียนคำสั่งในการทำงานให้แอปพลิเคชัน
3. ออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของปั๊มและวาล์ว
4. ทดสอบการทำงานของวงจร จับเวลา และเก็บข้อมูลเพื่อนำไปเขียนคำสั่งในการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป
5. เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของวงจรปั๊มและวาล์ว จากไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันและวงจร

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงานวิจัยในแต่ละเดือน

แผนการดำเนินงาน	เดือนที่ปฏิบัติงาน			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. หาข้อมูลเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ	■			
2. ศึกษาข้อมูลการทำงานและวงจรของเครื่อง	■			
3. ออกแบบแอปพลิเคชันในการควบคุม		■		
4. ออกแบบวงจรการทำงานของปั๊มและวาล์ว		■		
5. เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์			■	
6. ทดสอบการใช้งานของวงจร				■
7. ปรับปรุงวงจร และคำสั่งการทำงาน				■
8. ทดสอบการใช้งานโดยผู้ป่วย				■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะให้มีการใช้งานที่ง่าย และสะดวกมากยิ่งขึ้น
2. สามารถสร้างเครื่องปั๊มไล่เลือดให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานได้ทุกที่ และมีการใช้งานที่ง่ายไม่ซับซ้อน
3. ช่วยส่งเสริมการดูแลสุขภาพสุขภาพของผู้ป่วยภาวะหลอดเลือดดำอุดตันให้หันกลับมาดูแลตนเองมากขึ้น เนื่องจากสามารถมีเวลาใช้งานเครื่องได้มากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องเดินทางไปยังโรงพยาบาล



บทที่ 2

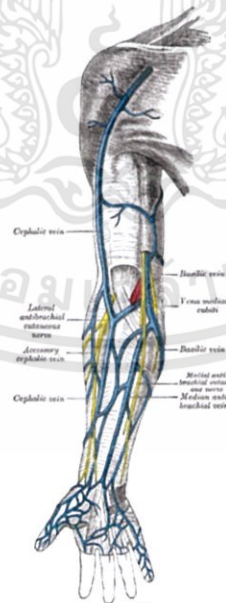
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลอดเลือดดำผิว

หลอดเลือดดำชั้นผิว (Superficial vein) เป็นคำที่ใช้อธิบายหลอดเลือดดำที่อยู่ติดกับพื้นผิวของลำตัว ซึ่งต่างกับหลอดเลือดดำอีกชนิดหนึ่งที่อยู่ลึกลงไปจากผิวหนัง เรียกว่าหลอดเลือดดำชั้นลึก (deep vein) หลอดเลือดดำชั้นผิวจะไม่ทอดคู่กับหลอดเลือดแดงเหมือนกับหลอดเลือดดำชั้นลึกที่จะมีลักษณะเป็น venae comitantes หรือลักษณะทอดคู่ขนานหลอดเลือดแดงที่มีชื่อเดียวกัน

หลอดเลือดดำชั้นผิวมีความสำคัญในทางสรีรวิทยาในแง่การระบายความร้อนให้แก่ร่างกาย เมื่อร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้น ร่างกายจะลัดเล็ดจากหลอดเลือดดำชั้นลึกมายังหลอดเลือดดำชั้นตื้นเพื่อระบายความร้อนออกไปยังสิ่งแวดล้อม หลอดเลือดดำชั้นผิวสามารถมองเห็นได้จากผิวหนัง โดยเฉพาะเมื่ออวัยวะนั้นอยู่ต่ำกว่าระดับหัวใจ หลอดเลือดดำชั้นผิวจะพองออก สังเกตได้เมื่อยกแขนขึ้นเหนือระดับหัวใจ เลือดจะไหลออกจากหลอดเลือดนั้น แต่เมื่อบางแขนลงในระดับต่ำกว่าหัวใจ เลือดจะไหลกลับเข้ามาใหม่ หลอดเลือดนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อเรายกของหนัก ๆ

ในทางสรีรวิทยา หลอดเลือดดำชั้นผิวนี้ไม่มีความสำคัญเท่าหลอดเลือดดำชั้นลึก เพราะขนส่งเลือดในปริมาณน้อยกว่า และบางครั้งหลอดเลือดนี้สามารถตัดเอาออกได้โดยไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติใด ๆ เรียกว่าวิธี vein stripping ซึ่งเป็นการรักษาหลอดเลือดดำขอด (varicose vein) ที่ใช้กันในปัจจุบัน [5]



รูปที่ 2.1 หลอดเลือดดำชั้นผิวของรยางค์บน 5

2.2 หลอดเลือดดำลึก

หลอดเลือดดำชั้นลึก (Deep vein) เป็นคำที่ใช้อธิบายหลอดเลือดดำที่อยู่ลึกลงไปในร่างกาย ต่างจากหลอดเลือดดำที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวของร่างกายที่เรียกว่าหลอดเลือดดำชั้นผิว

หลอดเลือดดำชั้นลึกมักจะอยู่ข้างหลอดเลือดแดงที่มีชื่อเดียวกัน (เช่น หลอดเลือดดำต้นขา (femoral vein) ที่อยู่ข้างหลอดเลือดแดงต้นขา (femoral artery)) เรียกลักษณะหลอดเลือดดำนี้ว่า *venae comitantes* หลอดเลือดดำชนิดนี้จะลำเลียงเลือดได้เป็นปริมาณมาก การอุดตันของหลอดเลือดดำชั้นลึกมักทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดมีลิ่มเลือด (thrombosis) ซึ่งอันตรายถึงชีวิต การอุดตันของหลอดเลือดดำชั้นลึกนี้มีคำเรียกเฉพาะว่า deep vein thrombosis [1]

ตัวอย่างหลอดเลือดดำชั้นลึก [1]

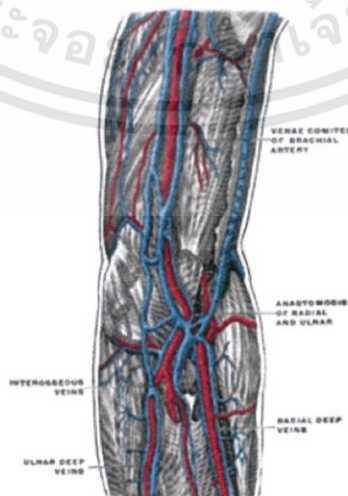
- หลอดเลือดดำคอชั้นใน (internal jugular vein)

รยางค์บน

- หลอดเลือดดำแขน (brachial vein)
- หลอดเลือดดำเรเดียล (radial vein)
- หลอดเลือดดำอัลนา (ulnar vein)

รยางค์ล่าง

- หลอดเลือดดำต้นขา (femoral vein) หรือบางครั้งเรียกว่า หลอดเลือดดำต้นขาชั้นผิว (superficial femoral vein) ซึ่งอาจทำให้สับสนได้
- หลอดเลือดดำต้นขาชั้นลึก (profunda femoris vein)
- หลอดเลือดดำขาพับ (popliteal vein)
- หลอดเลือดดำพีโรเนียล (peroneal vein)
- หลอดเลือดดำแอนทีเรียลทิวเบียล (anterior tibial vein)
- หลอดเลือดดำโพสทีเรียลทิวเบียล (posterior tibial vein)



รูปที่ 2.2 หลอดเลือดดำชั้นลึกของรยางค์บน ¹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ภาวะลิ่มเลือดอุดตัน

เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า deep vein thrombosis (DVT) เป็นปัญหาสำคัญของชาวผิวขาว (Caucasian) และ venous thromboembolism (VTE) เป็นสาเหตุการตายที่สำคัญมากของคนกลุ่มนี้ในสหรัฐอเมริกา [6] กรมควบคุมโรค (Centers of Disease Control and Prevention; CDC) ประเมินว่า คนอเมริกัน จำนวน 900,000 คน ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ และคนอเมริกัน เสียชีวิตจากภาวะนี้มากถึง 100,000 คนต่อปี [2] นอกจากนี้เป็นปัญหาสำคัญหลังการผ่าตัดด้วย กล่าวคือ หลังการผ่าตัด general surgery การตรวจ phlebography อาจพบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำ สูงถึง 30% และในกลุ่มการผ่าตัดกระดูก อาจพบถึง 40 - 50% หรือสูงกว่า และผู้ป่วยที่เกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำหลังการผ่าตัดเหล่านี้จะเกิด pulmonary embolism ได้ ซึ่งพบว่า 1 - 2% จะเป็น fatal pulmonary embolism

เป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ที่ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำชั้นลึก รวมทั้งภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือด โดยเฉพาะภาวะลิ่มเลือดอุดตันบริเวณปอด รวมทั้งภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำชั้นลึกหลังการผ่าตัดต่าง ๆ พบเป็นปัญหาน้อยมากในชาวเอเชียแอฟริกา (Negro) รวมทั้งชนพื้นเมืองชาวออสเตรเลีย อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่น่าสนใจคือการศึกษาภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดจาก autopsy ในคนอายุเกิน 40 ปีขึ้นไปในชาวแอฟริกันนิโกรที่อุแกนดา พบ 2% ในขณะที่ชาวเมืองเซนต์หลุยส์ สหรัฐอเมริกา พบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดในอเมริกันนิโกรถึง 22% เกือบเท่ากับคนผิวขาวซึ่งพบ 24% จึงเห็นได้ว่าเชื้อชาติ (ethnic factor) อาจไม่เป็นปัจจัยหลักในการกำหนดความชุกของโรคต่าง ๆ เสมอไป สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนได้

ในปัจจุบันเป็นยุคโลกาภิวัตน์ โลกแคบลง ข้อมูลข่าวสารกระจายไปได้ทั่วถึง เกิดการเลียนแบบวิธีการ ความเป็นอยู่ต่าง ๆ แม้แต่วัฒนธรรมประเพณี ตามประเทศที่ทั่วไปยอมรับว่าเจริญหรือศิวิไล คือ ประเทศในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกาซึ่งอาจเกิดผลเสียได้ หากการเลียนแบบไม่ได้พิจารณาถ่วงถ่วง สำหรับประเทศไทยเราทุกคนต้องยอมรับว่าพวกเรามากเลียนแบบหรือทำตามผู้อื่นได้ค่อนข้างง่ายและรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าสภาพความเป็นอยู่อาหารการกินในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงไปตามซีกโลกตะวันตกมากขึ้น อุบัติการณ์การเกิดโรคบางโรคเช่น HIV ได้แพร่มาถึงประเทศไทยรวดเร็วมาก ฉะนั้นอุบัติการณ์การเกิดโรคอื่น ๆ รวมทั้งภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำชั้นลึก ซึ่งพบน้อยในคนไทยมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้และโดยเฉพาะปัญหาการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำชั้นลึกหลังการผ่าตัด การคลอด จึงสมควรได้มีมุมมองข้อคิดในด้านนี้ [6]

Deep vein thrombosis (DVT) หรือ ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก คือพยาธิสภาพที่เกิดมีลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำชั้นลึกของร่างกายเช่นเดียวกับการเกิดลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดแดง ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกสามารถเกิดได้ในคนปกติ (spontaneous occurrence) ทั้งชาย หญิง หรือแม้แต่ในเด็ก หรือเกิดร่วมกับการเป็นโรค หรือการเกิดพยาธิสภาพบางประการต่อร่างกาย หรือ การเปลี่ยนแปลงของร่างกาย รวมทั้งการใช้ยาบางประเภทได้แก่ การเป็นมะเร็งชนิดต่าง ๆ หัวใจล้มเหลว เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัมพาต หลังการผ่าตัด การตั้งครรภ์ การคลอด คนอ้วน (obesity) การใช้ยากลุ่ม estrogen การเกิดอุบัติเหตุ โรคเบาหวาน รวมทั้งการสูบบุหรี่ ดื่มสุรา เป็นต้น ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่เกิดขึ้นนี้นอกจากจะทำให้เกิดพยาธิสภาพเฉพาะที่ คือบวมและปวดมาก ลิ่มเลือดที่เกิดขึ้นสามารถหลุดไหลไปตามกระแสเลือด (venous thromboembolism) ไป ทำให้เกิดพยาธิสภาพในส่วนอื่นของร่างกายโดยเฉพาะปอด (pulmonary embolism) ซึ่งบ่อยครั้งทำให้เกิดพยาธิสภาพรุนแรงถึงแก่ชีวิตและบางครั้งเป็นพยาธิสภาพที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตอย่างกะทันหัน (death without warning) ได้ ซึ่งจัดเป็นปัญหาฉุกเฉินที่แพทย์ทั่วไปต้องรู้และสามารถบริหารจัดการรักษาผู้ป่วยได้ทันทั่วทั้งที่และมีประสิทธิภาพ สำหรับตรงตำแหน่งที่เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้นจะเกิดปัญหาบวมและปวดแม้ไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องก็จะค่อยๆทุเลาและหายไปได้ แต่หลายปีต่อมาจะเกิดภาวะแทรกซ้อนของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก คือ chronic venous insufficiency syndrome ซึ่งสร้างความลำบากยุ่งยากเป็นระยะต่อไป

การเกิด thrombosis

Thrombus เป็นสภาวะการเกิดลิ่มเลือดที่เป็นพยาธิสภาพร่างกาย

- ในหลอดเลือดแดง (artery) : การเกิดลิ่มเลือดเริ่มจากการเกิดพยาธิสภาพชั้น endothelium ลอกหลุด ชั้น subintimal collagen สัมผัสกับกระแสเลือด เกร็ดเลือดจึงมาเกาะติด (adhesion) ที่ตำแหน่งดังกล่าวและเกิดการรวมกลุ่มระหว่างเกร็ดเลือด (aggregation) เกิด “white thrombus” ซึ่งตามมาด้วยการเกิด fibrin และมีเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาวร่วมเข้าไปในลิ่มเลือด
- ในหลอดเลือดดำ (vein) : การเกิดลิ่มเลือดซึ่งมักเริ่มเกิดที่ valve pocket ของหลอดเลือดดำ การขยายขนาดของลิ่มเลือดจะไปในทิศทางของการไหลของเลือดเช่นเดียวกับลิ่มเลือดในหลอดเลือดแดง thrombus ในหลอดเลือดดำ เกิดได้ในหลอดเลือดดำทั่วไปรวมทั้งซีกขวาของหัวใจ แต่เกิดบ่อยในส่วนองขาตั้งแต่ iliac veins ไปถึง calf vein

การศึกษา venous thrombi จำนวน 50 thrombi ที่เกิดใหม่ใน femoral veins พบว่าลิ่มเลือดนั้น ๆ เกิดบน intact endothelia layer และจุดเริ่มต้นของ thrombus จะประกอบด้วยเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาวแทรกอยู่ในสายของ fibrin คือ “red thrombus” บ่งชี้ว่าเกร็ดเลือดมีบทบาทน้อยในการเริ่มต้นของการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำต่างจากในหลอดเลือดแดง

การเกิด venous thrombosis : การเกิดลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดนั้นยังยึดถือตาม hypothesis ของ Virchow “Virchow Triad” ซึ่งได้บันทึกไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1862 (หนังสือบางเล่มเป็น ค.ศ. 1860 หรือ 1856) ปัจจัยนำสำคัญ (predisposing factors) ในการเกิด thrombosis คือ Virchow Triad นั้น ประกอบด้วย

1. การมีเลือดไหลช้า (stasis) เป็นการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของเลือดดำ เช่น เลือดไหลเวียนช้าลง หรือไม่ไหลเวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผนังหลอดเลือดบาดเจ็บ (Vascular endothelial injury) การมีบาดแผลที่ผนังด้านในของหลอดเลือดดำ
3. เลือดแข็งตัวได้ง่าย (Hypercoagulability) เช่น มีปัจจัยการแข็งตัวของเลือดมาก เช่น มีเกล็ดเลือดสูงมาก หรือมีเลือดข้นมากกว่าปกติ หรือมีสารที่ต้านการแข็งตัวของเลือดต่ำกว่าปกติ

ในปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับหลอดเลือดและ coagulability ของเลือดได้เพิ่มขึ้นมากมายทำให้เกิดความเข้าใจในกลไกการเกิดลิ่มเลือดมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจุดเริ่มต้นของการเกิดลิ่มเลือดว่าเริ่มต้นขึ้นอย่างไรนั้นยังไม่มี การอธิบายที่ชัดเจน กล่าวคือกลุ่มผู้ป่วย inherited thrombophilia เช่นขาด clotting inhibitors ตัวใดตัวหนึ่งก็มิได้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกทุกราย และบุคคลนั้นที่เกิดเป็นภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก แม้บางรายมีแนวโน้มจะเกิดซ้ำแต่บางคนก็เกิดเพียงครั้งเดียวเป็นต้น [6]

กระบวนการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกเริ่มต้นด้วยการมีเกร็ดเลือดรวมตัวกันที่บริเวณใดก็ตามที่มีการคั่งของเลือดโดยเฉพาะ เช่น ที่บริเวณเหนือลิ้นหลอดเลือดดำ หรือบริเวณที่มีการบาดเจ็บของ Venous endothelial จากการผ่าตัดซึ่งจะไปกระตุ้นทำให้มีการเกิดลิ่มเลือดทำให้มีก้อนเลือดเกิดบริเวณหลอดเลือดดำที่ขา ทั้งที่จริง ๆ แล้วในร่างกายก็มีกระบวนการสลายลิ่มเลือดเช่นกัน แต่เนื่องจากกระบวนการเกิดลิ่มเลือดมีอัตราที่เร็วกว่ากระบวนการสลายลิ่มเลือดของร่างกาย ดังนั้นจึงเกิด venous thrombosis เกิดขึ้น [7]

- **หลอดเลือด (vessel wall) :** ปัจจุบันจากการศึกษาต่าง ๆ ได้ทราบว่าผนังชั้นต่าง ๆ ของหลอดเลือดมีบทบาทสำคัญมากในการไหลเวียนของเลือด และกลไกการห้ามเลือดของร่างกาย (hemostatic mechanism) และโดยเฉพาะชั้น endothelial layer พบว่าสามารถสังเคราะห์สารชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีฤทธิ์ทั้งห้ามการเกิดลิ่มเลือด ละลายลิ่มเลือด ช่วยในการเกิดลิ่มเลือด ทำให้หลอดเลือดขยายตัวและหดตัวด้วย ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.1 และสารเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะมีบทบาทใน hemostatic mechanism ของร่างกายเท่านั้น ยังมีฤทธิ์ในด้านอื่น ๆ คือ inflammation immune response รวมทั้งมีบทบาทในการเกิดพยาธิสภาพหลายประการของร่างกายด้วยเช่น nitric oxide (NO) ซึ่งมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับ pulmonary hypertension atherosclerosis เป็นต้น อย่างไรก็ตามสารที่มีฤทธิ์แตกต่างกันจาก endothelial cell เหล่านี้ถูกหลั่งออกมาพร้อมกันอย่างพอเหมาะยิ่ง ทำให้เลือดคงความเป็นของเหลวอยู่ในระบบไหลเวียนของเรา จึงมีคนกล่าวไว้ว่าการทำงานของ endothelial cell นั้นเสมือนเป็นวงดนตรี “endothelial cell orchestration” มีความแตกต่างของเครื่องดนตรีแต่เมื่อรวมเล่นไปพร้อมกันไพเราะน่าฟัง

บทบาทของหลอดเลือดดำต่อการเกิด venous thrombi ที่เกิดใหม่ ๆ พบว่าเกิดบน endothelial layer ที่ปกติ ซึ่ง endothelial layer ที่ intact นั้น เกร็ดเลือดจะไม่เกาะติด อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณ venous valve cusps มีออกซิเจนมาเลี้ยงน้อย ออกซิเจนส่วนใหญ่ได้จากกระแสเลือด ฉะนั้นจึงมีผู้ให้ความเห็นว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิด hypoxic injury อาจทำให้หลอดเลือดดำบริเวณนั้นสูญเสีย non-thrombogenicity ได้ โดยไม่พบ anatomical damage แต่เป็นผลทำให้เกิด thrombus ขึ้น

สารจาก endothelial cells	Functions
1. Nitric oxide (NO) or Endothelial derived relaxing factor (EDRE) Prostacyclin (PGI ₂)	Vasodilatation Vasodilatation Inhibit platelet aggregation
Endothelin-1	Vasodilatation
Endothelial derived growth factor (EDGR)	Smooth muscle cells proliferation
2. vWF (von Willebrand factor)	Platelet adhesion binding F VIII
Factor III (tissue factor)	Extrinsic coagulation
Factor V	Binding with factor Xa
Platelet activating factor (PAF)	Platelet aggregation
Thrombospondin	Platelet interaction
Fibronectin	Adhesive protein - platelet
Plasminogen activator inhibitor (PAI)	Inhibit fibrinolysis
3. Heparan sulfate	as heparin
Protein S	Cofactor to protein C-inhibitor
Tissue plasminogen activator (t-PA)	Plasmin generation - clot lysis
Thrombomodulin	Binding to thrombin-activates protein C
4. Interleukin-1, 6, 8	
Low molecular weight cytokine	
Colony stimulating factors : G-CSF GM-CSF,M-CSF	To cells and vascular wall
Tumor necrosis factor (TNF) lymphotoxin	
Others	

ตารางที่ 2.1 สารที่สร้างจาก endothelial cell⁸

- Coagulability ของเลือด : Virchow's triad ข้อนี้ในปัจจุบันมีข้อมูลกว้างขวางเพิ่มขึ้นมาก ได้เข้าใจว่าโรค หรือภาวะต่าง ๆ เช่นการตั้งครรภ์ การผ่าตัด solid cancer, autoimmune diseases, estrogen, etc. ซึ่งสามารถส่งเสริมให้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้น พบมีการเปลี่ยนแปลงในเลือดสามารถตรวจสอบได้ว่าเกิด "hypercoagulable stage" คือพบหลักฐานการกระตุ้นปัจจัยต่าง ๆ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับการเกิดลิ่มเลือดโดยการวัดสารที่เป็น maker ของการกระตุ้นดังกล่าวนี้ได้ชัดเจนกว่าแต่ก่อน ได้แก่ D-dimer, fibrinopeptide A, platelet factor 4, prothrombin fragment 1+2 และ activated protein C เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมการวัดคือวัดปริมาณปัจจัยการแข็งตัวของเลือดที่เพิ่มขึ้นหรือวัด half-life ของปัจจัยนั้น ๆ ฉะนั้นความรู้นี้อาจนำมาซึ่งการวิจัยที่เร็วขึ้นและการรักษาป้องกันภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ในกลุ่มผู้ป่วยภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่เกิดเป็น spontaneous และกลุ่มที่ปัจจุบันเรียกว่า “thrombophilia” ซึ่งหมายถึงสภาวะที่มีแนวโน้มจะเกิด recurrent VTE ปัจจุบันก็สามารถอธิบายได้อีกระดับหนึ่งคือพบว่าผู้ป่วยเหล่านี้มักเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกในขณะอายุน้อยและจะพบความผิดปกติของ physiologic anticoagulant ในผู้ป่วย ได้แก่พบมีภาวะพร่อง antithrombin III, protien C, protein S รวมทั้ง factor V Leiden

กลุ่มนี้อาจได้ประวัติในครอบครัวเพราะสืบทอดได้ทางพันธุกรรม “inherited thrombophilia” การตรวจเลือดของคนกลุ่มนี้ได้ผลการตรวจบ่งชี้ว่ามีการกระตุ้น coagulation process คือพบ fragment 1+2, fibrinopeptide A สูงกว่าคนปกติ อย่างไรก็ตามพบว่าเพียง 50% ของคนเหล่านี้เกิด thrombotic events นอกจากนี้ภาวะ thrombophilia อาจเกิดจากความผิดปกติอื่น ๆ อีก ได้แก่การมีปริมาณ plasminogen น้อยกว่าปกติหรือมี molecule ที่ผิดปกติ พบร่วมกับ endothelial cell หลัง tissue-plasminogen activator inhibitor-1 เพิ่มขึ้น หรือร่วมกับ hyperhomocysteinemia นอกจากนี้ภาวะ acquired anticoagulant ซึ่งเป็นที่น่าสนใจกันในปัจจุบันอย่างกว้างขวาง คือ lupus anticoagulant หรือกลุ่ม “antiphospholipid sysndrom” ก็เป็นผลให้เกิดภาวะ thrombophilia

อย่างไรก็ตามการพบภาวะ hypercoagulability ก็คือ ภาวะ thrombophilia ก็คือ สามารถอธิบายการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกได้ส่วนหนึ่งเท่านั้น ต้องมีปัจจัยอื่นที่จะเป็นส่วนร่วมส่งเสริมให้คนเหล่านี้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก ซึ่งต้องติดตามผลการศึกษาค้นคว้าต่อไป

พบว่าภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้น เกิดได้ในหลอดเลือดดำชั้นลึกได้ทั่วร่างกาย แต่พบบ่อยในหลอดเลือดดำที่ขา ซึ่งบางรายงานให้ความชุกสูงถึง 98% ต่างกับภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกของหลอดเลือดดำที่แขนพบน้อยเพียง 1 - 2% ความแตกต่างนี้มีการตรวจพบที่น่าสนใจ คือพบว่าหลอดเลือดดำที่แขนมี t-PA activity สูงกว่าที่ขาถึง 3 เท่า น่าจะเป็นปัจจัยช่วยป้องกันที่สำคัญทำให้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกของแขนน้อยลง แต่ในปัจจุบันภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่แขนจะพบมากขึ้น เนื่องจากการทำหัตถการ อาจเรียก catheter-related DVT

- **Blood stasis** : มีผลทำให้เกิด venous thrombosis และ ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ นั้นเป็นที่ทราบกันดีทั่วไปพบได้ในผู้ป่วยหัวใจล้มเหลว เป็นอัมพาต และ bed-ridden อื่น ๆ การไหลเวียนของเลือดช้าลง มีผู้อธิบายว่าภาวะการมีเลือดไหลช้า ทำให้เลือดที่ไหลวนอยู่บริเวณ valve cusps ของหลอดเลือดดำได้สัมผัสระหว่างกันนานที่จะมีผลให้เกิดการเกาะรวมกลุ่มของเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด โดยเฉพาะเม็ดเลือดขาวเมื่อเกิดการมีเลือดไหลช้าจะพบเม็ดเลือดขาวเกาะที่ผนังของหลอดเลือด ในขณะที่เดียวกันปัจจัยการแข็งตัวของเลือดบางปัจจัยก็อาจถูกกระตุ้นในกระแสเลือด เช่น factor Xa และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thrombin เหล่านี้ปกติจะถูกกำจัดโดย RE-cells ยังร่วมอยู่ในบริเวณนั้น ทั้ง ADP ถูกหลั่งจากเม็ดเลือดต่าง ๆ ดังกล่าว inhibitors ต่าง ๆ เข้าร่วมในบริเวณดังกล่าวได้น้อยลง เหล่านี้ น่าจะช่วยส่งเสริมให้เกิด thrombosis

การเกิด venous thromboembolism :

ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนใหญ่เกิดจากภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกของขาเป็นสำคัญ การศึกษาพบว่า 50% ของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาจะเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ปอดได้แต่บางรายไม่มีอาการ สำหรับภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำจากภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกของแขนซึ่งพบน้อย และเป็นเหตุของภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ปอดน้อยด้วย พบว่าขนาดของ emboli นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของหลอดเลือดดำที่เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก เคยมีผู้รายงานขนาดของ emboli ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2.5 ซม. และยาวถึง 50 ซม. emboli ขนาดใหญ่เหล่านี้มักจะไปติดที่ bifurcation ของหลอดเลือดโดยเฉพาะที่ bifurcation of pulmonary artery เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิด sudden death ได้

การศึกษาทางพยาธิสภาพของ thromboembolus ที่เกิดใหม่ ๆ จะพบเห็น fibrin เป็นเส้นแทรกด้วยกลุ่มเม็ดเลือดแดง เกร็ดเลือด บ่งชี้ว่าเป็น thrombus ที่เกิดตอนแรก ก่อน embolus ที่หลุดมานี้กว่าจะ organized ติดกับหลอดเลือดจะใช้เวลาหลายวัน ซึ่งการพบเช่นนี้บ่งชี้ว่า embolus ที่พบนี้ไม่ทำให้ผู้ป่วยถึงแก่กรรม

Multiple emboli จะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดได้บ่อยเป็น emboli ขนาดเล็ก ๆ เชื่อว่าเกิดในหลอดเลือดดำขนาดเล็ก เช่นที่ร่อง deep collection veins ของต้นขา periprostatic และ paraovarian plexuses เป็นต้น หรือเป็นเศษของ thrombus จากหลอดเลือดดำใหญ่ที่แตกหลุดไประหว่างการเกิด process ของ canalization โดย thrombus จะสลายไปบางส่วนจาก fibrinolytic activity ของหลอดเลือด หรือเป็น thromboembolus ขนาดใหญ่ แต่ไปแตกเป็นชิ้นเล็กเมื่อผ่านหัวใจในผู้ป่วยโรคตีบบางราย

พยาธิสภาพของเนื้อปอดจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำพบว่า ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำทั่วไปซึ่งมีขนาดเล็ก ๆ มักไม่ทำให้เกิดพยาธิสภาพถาวร เพราะเลือดยังไหลแทรกผ่านระหว่าง embolus กับผนังของหลอดเลือดไปสู่เนื้อปอดเพียง 10 - 15% ที่จะเกิด necrosis ของเนื้อปอดเนื่องจาก embolus ไปอุดตันเลือดมาเลี้ยงเนื้อปอดไม่ได้ พบว่าในระยะแรกเริ่มตรงตำแหน่งที่เกิด embolus จะเกิดมีเลือดออก (hemorrhage) ในเนื้อปอดเป็นรูป conical หรือ wedge shape ขยายไปถึง pleura เนื่องจากมีเลือดคั่งมากอย่างรวดเร็วใน bronchial artery หากไม่เกิด tissue necrosis คือมีเลือดไปเลี้ยงเนื้อปอดได้บ้างเลือดที่ออกจะสลายไปโดยเร็ว เหลือเพียงเซลล์ macrophage ที่มี hemosiderin laden อยู่ใน alveoli และ embolus นั้น ๆ ก็จะถูกกำจัดสลายไปค่อนข้างเร็ว ในเวลาเพียงไม่กี่วัน แต่ถ้า embolus ขนาดใหญ่หรือเกิด thrombus เพิ่มขึ้นใน 1 - 2 วัน เนื้อปอดที่เกิด infarction จะแข็งแยกจากเนื้อปอดที่รอบ ๆ ได้ อย่างชัดเจน พบมี process ของ inflammation เกิดขึ้น พบ polymorph เข้ามามากมายเกิด fibrosis สูญเสียสภาพเนื้อปอดที่ตีไปอย่างถาวร [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผู้ศึกษาว่าผู้ที่มีลิ้มเลือดในหลอดเลือดดำที่อยู่ลึกพบปัจจัยเหล่านี้บ่อยคือ

- ประมาณ 45% ของผู้ป่วยมีประวัตินอนนิ่งๆ นานกว่า 48 ชั่วโมงติดต่อกันในเดือนก่อนที่จะป่วย
- ประมาณ 38% มีประวัติผ่าตัดภายใน 3 เดือนนำมาก่อน
- ประมาณ 34% มีประวัติเป็นโรคมะเร็งเมื่อ 3 เดือนนำมาก่อน
- ประมาณ 34% มีประวัติติดเชื้อมาก่อน
- ประมาณ 26% มีประวัตินอนรักษาตัวในโรงพยาบาลก่อนหน้านั้น
- มีผู้ป่วยเพียงประมาณ 11% ที่ไม่มีปัจจัยดังกล่าวข้างต้น และพบหนึ่งในสามมีปัจจัย ข้างต้น 1 ถึง 2 ปัจจัย และครึ่งหนึ่งมีปัจจัยตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป
- สำหรับผู้ป่วยที่มีประวัติครอบครัวมีภาวะลิ้มเลือดในหลอดเลือดดำ จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดภาวะนี้ได้สูงขึ้นมาก [9]

ปัจจัยที่ส่งเสริมทำให้เกิด DVT สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกัน

- สาเหตุที่เกิดจากกรรมพันธุ์ คือเป็นโรคที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งเมื่อศึกษารายละเอียดพบว่ามีความผิดปกติในระดับยีนหรือจีน (Gene, หน่วยพันธุกรรมที่นำสารพันธุกรรมจากบิดาหรือมารดาสู่บุตร)
- สาเหตุส่วนที่เกิดตามหลังการเกิดโรคหรือเกิดภาวะต่าง ๆ ทั้งที่ปกติ (เช่น การตั้งครรภ์) และผิดปกติ มีการศึกษาพบว่าสาเหตุของการเกิดลิ้มเลือดในหลอดเลือดดำประมาณครึ่งหนึ่งเกิดจาก ทั้งสาเหตุทางพันธุกรรม ร่วมกับปัจจัยเสริมอื่น ๆ อีกหลายปัจจัย ซึ่งปัจจุบัน 80% ของภาวะนี้ แพทย์สามารถหาสาเหตุได้ [9]

สาเหตุที่ทำให้เกิดลิ้มเลือดในหลอดเลือดดำ ได้แก่

1. สาเหตุจากพันธุกรรม เช่น
 - มีปัจจัยแข็งตัวของเลือดเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ
 - ขาดโปรตีนที่ต้านการแข็งตัวของเลือดเช่น โปรตีนซี (Protein C) โปรตีนเอส (Protein S) แอนติธโรมบิน III (Antithrombin III) ทั้งนี้การเกิดลิ้มเลือดในหลอดเลือดดำจากสาเหตุทางพันธุกรรม จะมีอุบัติการณ์และความชุกแตกต่างกันในแต่ละชาติพันธุ์
2. สาเหตุที่เกิดตามหลังภาวะต่าง ๆ ได้แก่
 - การตั้งครรภ์ หรือภาวะที่มีการกระตุ้นให้เลือดแข็งตัวง่ายหลังคลอด
 - การได้รับฮอร์โมนเพศหญิงเอสโตรเจน (Estrogen) เช่น ยาคุมกำเนิด (ยาเม็ดคุมกำเนิด) หรือการรักษาอาการวัยทองด้วยฮอร์โมน
 - การนอนนิ่งๆ อยู่กับที่นาน ๆ (Immobilization) จึงทำให้เลือดอยู่ในภาวะนิ่งจึงแข็งตัวได้ง่าย
 - การได้รับบาดเจ็บบ้นตราบายทำให้หลอดเลือดมีบาดแผล
 - ภาวะหลังผ่าตัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผ่าตัดอุ้งเชิงกรานที่ hip joint หรือผ่าตัดที่ขา มีความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะลิ้มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาในระหว่างผ่าตัดได้ โดยเฉพาะในช่วง 7-14 วันหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่าตัด และยังพบได้ถึง 30 วันหลังผ่าตัด หรือเกิดขึ้นในระหว่างทำการผ่าตัดอยู่ แล้วเกิดเป็นภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดแบบรุนแรง (massive PE) ทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในระหว่างการผ่าตัดได้ โดยทั่วไปการพิจารณาให้การป้องกันลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำในผู้ป่วยระหว่างผ่าตัดนั้น ต้องมีข้อมูลอุบัติการณ์ของภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาแบบไม่มีอาการ (asymptomatic DVT) ในผู้ป่วยที่จะมาผ่าตัด ในประเทศตะวันตกนั้นมียางานสูงถึงร้อยละ 11-18 ในผู้ป่วยที่ไม่ได้รับยาป้องกันการแข็งตัวของเลือดก่อนผ่าตัด โดยมีอัตราการเสียชีวิตจากภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดแบบรุนแรงในระหว่างผ่าตัดร้อยละ 1-2.6 [8]

- ผู้สูงอายุ
 - คนอ้วน โรคอ้วน
 - ผู้ที่นั่งอยู่กับที่นาน ๆ เช่น นั่งเครื่องบินระยะทางไกล ๆ
 - การเกิดลิ่มเลือดในโรคบางชนิดเช่น โรคลูปัส หรือเอสแอลอี หรือโรคพุ่มพวง (Lupus, SLE, Systemic lupus erythematosus), โรคมะเร็ง หรือเกิดตามหลังจากให้ยารักษาโรคมะเร็งบางชนิดเช่น ยา L-asparaginase โดยเฉพาะมะเร็งที่อู่เชิงกราน หรือที่ท้อง หลักฐานทางคลินิกและทางพยาธิได้แสดงให้เห็นว่าภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำเป็นภาวะแทรกซ้อนของโรคมะเร็งที่สำคัญ จากการศึกษาโดยการตรวจศพพบว่าภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำพบได้สูงมากในผู้ป่วยโรคมะเร็ง และเป็นสาเหตุการตายอันดับที่ 2 ในผู้ป่วยโรคมะเร็ง โดยร้อยละ 15 ได้รับการวินิจฉัยก่อนเสียชีวิต และ ร้อยละ 35-50 พบจากการตรวจศพผู้ป่วยโรคมะเร็งเกือบทุกราย แม้จะยังไม่มีอาการแสดงของภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำ แต่จะพบว่ามีภาวะกระตุ้นการแข็งตัวของเลือดเกิดขึ้นแล้วในพลาสมาของผู้ป่วย มีการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วย มีระดับของ tissue factor (TF), factor VIIa, thrombin-antithrombin complex (TAT), prothrombin fragment 1+2 (PF 1+2) และ factor XIIa ในพลาสมาสูงกว่าในกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [8]
 - การให้สารเพื่อให้เลือดแข็งตัวในผู้ที่มีเลือดออกผิดปกติเช่น การให้ Prothrombin complex
 - โรคไตบางชนิดเช่น โรค Nephrotic syndrome (โรคที่มีสารไข่ขาวหรือแอลบูมิน/albumin ออกมากับปัสสาวะทั้งนี้ในปัสสาวะปกติจะไม่มีสารไข่ขาว)
 - การใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดที่ชื่อ เฮพาริน (Heparin, ยาชนิดนี้เป็นยาต้านการแข็งตัวของเลือด แต่มีอาการข้างเคียงที่อาจทำให้เกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำได้บ้าง)
 - โรคที่มีความผิดปกติของการสร้างเม็ดเลือดต่าง ๆ (Myeloproliferative disorder)
 - ภาวะมีลิ่มเลือดกระจายทั่วไปในหลอดเลือด (Disseminated intra vascular coagulation) ซึ่งอาจเกิดตามหลังภาวะติดเชื้อ ภาวะช็อก หรือภาวะเนื้อเยื่อขาดออกซิเจน
- อนึ่ง ในผู้ป่วยเด็ก ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนใหญ่ (สองในสาม) เกิดจากการใส่สายสวน (Catheter) เข้าไปในหลอดเลือดดำ เช่น เป็นทางให้สารน้ำ เลือด สารอาหาร ยาปฏิชีวนะ และ/หรืออื่น ๆ ที่จำเป็นในการรักษาโรคต่าง ๆ หรือเกิดตามหลังโรคหัวใจที่เป็นมาแต่กำเนิด [9]

Cancer-related factors
<ul style="list-style-type: none"> • Primary site of cancer • Advanced stage of cancer • Histology • Initial period after diagnosis of cancer (<3 mo , >3-12 mo , >12-36 mo)
Patient-related factors
<ul style="list-style-type: none"> • Older age • History of venous thromboembolism • Immobility longer than 4 days • Performance status (e.g., Eastern Cooperative Oncology Group [ECOG] performance status) • Comorbid conditions (severe infection or sepsis, renal disease, pulmonary disease, systemic inflammatory disease, arterial thromboembolism) • Hereditary thrombophilia • Race/ethnicity (e.g., African Americans > Caucasians > Hispanics > Asians/Pacific Islanders) • Obesity
Treatment-related factors
<ul style="list-style-type: none"> • Recent major surgery • Hospitalization • Chemotherapy • Hormonal therapy • Antiangiogenic agents (thalidomide, lenalidomide, bevacizumab) • Central venous catheters • Transfusions • Erythropoiesis-stimulating agents
Biomarkers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Platelet count ($>350,000/\text{mm}^3$)
- Leukocyte count ($>11,000/\text{mm}^3$)
- Hemoglobin ($<10 \text{ g/dL}$)
- Tissue factor (antigen expression, circulating microparticles, antigen, or activity)
- Soluble P-selectin ($>51.1 \text{ ng/mL}$)
- Factor VIII
- Prothrombin fragment F 1 + 2 ($>358 \text{ pmol/L}$)

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ⁸

การประเมินปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ (VTE risk assessment model)

การประเมินปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ (VTE risk assessment model) แสดงในตารางที่ 2.3

Patient Characteristics	Risk Score
Site of cancer	
very high risk (stomach, pancreas)	2
high risk (bladder, gynecologic, lung, lymphoma, testicular)	1
Prechemotherapy platelet count $\geq 350 \times 10^9/\text{L}$	1
Hemoglobin $< 10 \text{ g/L}$ or use of erythropoietin	1
Prechemotherapy leukocyte count $> 11 \times 10^9/\text{L}$	1
Body mass index $\geq 35 \text{ kg/m}^2$	1
Risk Classification (score)	2.5-Month VTE Rate, %
Low (0)	0.3
Intermediate (1-2)	2.0
High (≥ 3)	6.7

ตารางที่ 2.3 การประเมินปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ⁸

ปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัดหรือต้องได้รับการรักษาภายในโรงพยาบาลได้แสดงใน ตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Risk factor	OR	95% CI
History of venous thromboembolism	6.0	2.1 – 16.8
Anesthesia lasting > 2 hours	4.5	1.1 – 19.0
Bed rest postoperatively > 4 hours	4.4	2.5 – 7.8
Advanced tumor/cancer stage	2.7	1.4 – 5.2
Aged 60 years or older	2.6	1.2 – 5.7

ตารางที่ 2.4 ปัจจัยเสี่ยงในการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัด⁸

การประเมินปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำมีการนำ Caprini risk assessment model (RAM) มาใช้ในผู้ป่วย โดยอาศัยภาวะ comorbid และ perioperative risk factors มาคำนวณแต้ม 1 – 5 สามารถนำมาใช้แยกผู้ป่วยตามกลุ่มเสี่ยงในการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ จากน้อยไปมาก ดังนี้ :

- Low (0–1 points) มีโอกาสเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ 2%
- Moderate (2 points) มีโอกาสเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ 10–20%
- Higher (3–4 points) มีโอกาสเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ 20–40%
- Highest Risk (5 or more points) มีโอกาสเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ 40–80%

ผู้ป่วย Highest risk ควรแนะนำให้ใช้ dual prophylaxis ได้แก่ การให้ heparin ร่วมกับ mechanical prophylaxis [8]

Each risk factor represents 1 points

Age 41–60 years
Swollen legs (current)
Varicose veins
Obesity (BMI > 25)
Minor surgery planned
Sepsis (< 1 month)
Acute myocardial infarction
Congestive heart failure (< 1 month)
Medical patient currently at bed rest
History of prior major surgery (< 1 month)
History of inflammatory bowel disease
Abnormal pulmonary function (COPD)
Serious lung disease including pneumonia (< 1 month)
Oral contraceptives or hormone replacement therapy
Pregnancy or postpartum (< 1 month)
History of unexplained stillborn infant, recurrent spontaneous abortion (> 3), premature birth with txemia or growth-restricted infant

Each risk factor represents 2 points

Age 61–74
Arthroscopic surgery
Malignancy (present or previous)
Laparoscopic surgery (> 45 min)
Patient confined to bed (> 72 h)
Immobilizing plaster cast (< 1 month)
Central venous access
Major surgery (> 45 min)

Each risk factor represents 3 points

Age 75 or older
History of DVT/PE
Positive factor V Leiden
Elevated serum homocysteine
Heparin-induced thrombocytopenia
Elevated anticardiolipin antibodies
Positive Prothrombin 20210A
Positive lupus anticoagulant
Other congenital or acquired thrombophilia

Each risk factor represents 5 points

Stroke (< 1 month)
Multiple trauma (< 1 month)
Elective major lower extremity arthroplasty
Hip, pelvis, or leg fracture (< 1 month)
Acute spinal cord injury (paralysis) (< 1 month)

ตารางที่ 2.5 Caprini risk assessment model (RAM)⁸

Post-operative DVT พบในคนผิวขาวมากกว่าชนชาติอื่น ๆ :

การศึกษาการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกหลังการผ่าตัด จะเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้มากกว่าข้อมูลในด้านอื่น ๆ ดังสรุปในตารางที่ 2.6 เป็นผลการศึกษาในผู้ใหญ่ ในเด็กพบมีปัญหาน้อยจะได้อีกกล่าวถึงต่อไป พบว่า post-operative DVT ที่มีรายงานในคนผิวขาวนั้น ส่วนมากเกิดในผู้ป่วยที่รับการผ่าตัด general surgery คือการผ่าตัดช่องท้อง pelvic cavity และทาง orthopedic โดยเฉพาะผ่าตัด hip joint ซึ่งพบอัตราการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกสูงถึงเกิน 50% ของผู้เข้ารับการผ่าตัด การผ่าตัดอื่น ๆ ไม่พบรายงานการศึกษาหาอุบัติการณ์เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกโดยเฉพาะการผ่าตัด open heart surgery จากการ review ผู้ป่วยจำนวน 10,638 คนที่รับการผ่าตัด ผู้ป่วยมีอาการทางคลินิกที่ต้องให้การรักษาด้วย heparin โดยพบภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก 77 ราย (0.7%) ซึ่งเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด 41 ราย คือผู้ป่วยแสดงอาการของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก 52 ราย อีก 25 ราย แสดงอาการเฉพาะภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด ซึ่งถึงแก่กรรม 6 ราย ผู้ป่วยทุกรายได้รับยา heparin อย่างไรก็ตามผู้ป่วยที่เกิด post-operative DVT โดยทั่วไปถูกประเมินว่า ประมาณ 50% จะเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด และพบว่าเกิดมาจากภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกบริเวณขา และ pelvic cavity เป็นสำคัญ จากแขนอาจเกิดได้บ้าง ที่มีความสำคัญมากคือ 1 - 2% ของผู้ป่วยจะเป็น “fetal PE” ฉะนั้นในต่างประเทศเหล่านั้น จึงให้ยา anticoagulant แก่ผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดเพื่อป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด

สำหรับประเทศทางแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทยพบอัตราการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกหลังการผ่าตัดได้ไม่น้อย แม้จะไม่สูงเท่ากลุ่มคนผิวขาว แม้ผู้ป่วยยังมีน้อยรายที่แสดงอาการของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก โดยส่วนใหญ่จะยังไม่มีอาการแสดงของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกก็ตาม แต่สำหรับแพทย์จำเป็นต้องตระหนักว่าได้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกในผู้ป่วยจำนวนหนึ่งแล้ว ฉะนั้นอันตรายจากการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดมีแนวโน้มจะเกิดได้ สำหรับอัตราการเกิด postoperative DVT ในคนนิโกรนั้นน่าสนใจที่ Sudan มีอัตราเท่า ๆ กับในเอเชีย แต่จากเมือง Capetown coloured และ Bantu รวมทั้งชาว Indian ที่นั่นพบภาวะภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกสูงและเท่า ๆ ที่พบในคนผิวขาวที่เมืองนั้น (ตารางที่2.6)

สำหรับในเด็กการเกิด post-operative DVT และภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดไม่เคยปรากฏจากรายงาน ก่อนปี 1969 ถ้าพบจะร่วมกับการใส่ catheter เข้าหลอดเลือด อย่างไรก็ตามระยะหลังมีการรายงานว่าพบภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกได้บ้าง รายงานจาก Liverpool การผ่าตัดแก้ scoliosis และตามด้วยการทำ halo-femoral traction ในผู้ป่วยเด็ก 54 ราย เป็นหญิง 38 ราย ชาย 16 ราย อายุ 5.5 ถึง 16.5 ปี พบภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกหลังการผ่าตัด 2 ราย (3.7%) เป็นเด็กหญิงทั้งสองราย อายุ 14 และ 16 ปี ประเทศทางแถบเอเชีย แอฟริกายังไม่พบรายงาน [6]

ผู้รายงาน	เชื้อชาติ	การผ่าตัด	จำนวนผู้ป่วย		
			ทั้งหมด	แสดงอาการ ของ DVT	ตรวจพบ DVT ด้วยวิธีพิเศษ*
ปราโมทย์ พรพิบูลย์และคณะ จพศท 65:52,1982 จพศท 67:377,1984	ไทย	Abdominal	21	ไม่มีอาการ	3 - ร้อยละ 14.3
เจิมศรี ชำนิการกิจและคณะ Lancet 1:1357, 1975	ไทย	Abdominal	74	ไม่มีอาการ	9 - ร้อยละ 12.1
วิชัย อติชาตการและคณะ Arch Intern Med 148:1349,1988	ไทย	Abd.Hystect.	117	ไม่มีอาการ	2 - ร้อยละ 1.7
Cunningham et al Br J Surg 61:482,1974	ไทย	Pelvic Surg	52	ไม่มีอาการ	2 - ร้อยละ 3.8
Inada et al. Amer J Surg 145:775,1983	มาเลเซีย	hip	50	ไม่มีอาการ	2 - ร้อยละ 4.0 **
Nandi et al. Br J Surg 67:251,1980	มาเลเซีย	Abdominal	68	3	8 - ร้อยละ 11.7
Cheng et al. Amer J Surg 153:302,1987	ญี่ปุ่น	Abdominal	256	8	19 - ร้อยละ 15.3
Nililus et al. Br J Surg 66:324,1979	จีนฮ่องกง	Gen.Surg.	150	ไม่มีอาการ	4 - ร้อยละ 2.6
Kakkar et al Amer J Surg 120:527,1970	ไต้หวัน	Gen.Surg.	220	11	17 - ร้อยละ 7.7
William OB et al Brit Med J 1:517,1973	สวีเดน	Hip	134	12	78 - ร้อยละ 5.8
Sikoroki JM et al J Bone Jt Surg 63:171,1981	อังกฤษ	Major,M.Surg.	203	30	62 - ร้อยละ 30.5
Hassan MA et al Brit M J 1:515,1973	ออสเตรเลีย	Gen.Surg.	75	2	9 - ร้อยละ 12.0
Joffe SN et al (capetown) Brit J Surg 61:982,1974	ออสเตรเลีย	Hip	223	Not mention	107-ร้อยละ 48.0
Delaria et al Chest 99:280, 1991	สหรัฐอเมริกา	Abdominal, TUR	100	3	12 - ร้อยละ 12.0
	สวีเดน	Gen.Surg.	50	Not mention	24 - ร้อยละ 48.0 ***
	สวีเดน	Open Heart	50	Not mention	28 - ร้อยละ 56.0
	สหรัฐอเมริกา		10638	52	7 - ร้อยละ 0.7

* I-labelled Fibrinogen ** Venogram *** I labelled fibrinogen and US and Venogra

ตารางที่ 2.6 อุบัติการณ์การเกิด post-operative DVT ในคนเอเชียและแอฟริกา เปรียบเทียบกับคนผิวขาว⁶

ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำร่วมกับการตั้งครรภ์และการคลอด

มีรายงานว่าอัตราเสี่ยงต่อการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดในหญิงตั้งครรภ์และหลังคลอดที่ไม่ได้รับยา contraceptive pill สูงกว่าหญิงไม่ตั้งครรภ์ ถึง 5.5 เท่า คือพบ 5.9 ต่อ 1,000 รายในหญิงตั้งครรภ์ รายงานในชาว Finnish พบภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ 10.7 ต่อ 1,000 ราย หลังการคลอดปกติและพบ 22.1 ต่อ 1,000 รายที่คลอดโดย caesarean section สำหรับอัตราตายจาก ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดมีรายงานว่าพบ 1 - 2 ต่อ 100,000 ราย

อย่างไรก็ตามข้อมูลในด้านภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกร่วมกับการตั้งครรภ์จากประเทศอื่น ๆ มีความจำกัด อาจเป็นไปได้ว่าในปัจจุบันยังไม่เป็นปัญหาหรือเพียงประปราย มีรายงานการวิเคราะห์ในหญิงไทยพบน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานจาก Mayo Clinic [6]

DVT: racial และ geographic variability

อัตราการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก และ ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ : เป็นที่ทราบและยอมรับกันทั่วไปว่า ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่เกิดในผู้ป่วยทั่วไป หรือเกิดหลังการผ่าตัดนั้นพบบ่อยและเป็นปัญหาสำคัญของคนผิวขาว และภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดนั้นถือว่าเป็นสาเหตุการตายเป็นอันดับแรก ๆ เหล่านี้จะแตกต่างจากชนชาติ ชาวเอเชีย แอฟริกา รวมทั้งชนพื้นเมืองประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเชื่อว่าพบภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกน้อย และ ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดไม่ใช่สาเหตุการตายที่พบบ่อย อย่างไรก็ตาม การจะเปรียบเทียบอุบัติการณ์ของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างชนชาติต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นั้น พบว่าข้อมูลค่อนข้างจำกัดมาก ข้อมูลส่วนมากจะเป็นการรวบรวมผู้ป่วยจากแต่ละสถาบัน หากผู้รายงานสนใจอาจได้จำนวนมากขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ โดยเฉพาะภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดมีความจำกัดในการวินิจฉัยให้ถูกต้อง บางรายงานประมาณว่า 75% ของผู้ป่วยที่มีอาการสงสัยภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกหรือภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดไม่ได้เป็นจริง และภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้นบางครั้งผู้ป่วยอาจไม่ได้มารับการรักษาเพราะโรคทุกอย่างเองได้ ทำให้ยากสำหรับบางประเทศที่จะทราบอุบัติการณ์ที่แท้จริงของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดทั่วไปค่อนข้างจำกัด และมักจะเป็นการรวบรวมโดยอาศัยอาการทางคลินิกเป็นหลัก ซึ่งอาจไม่ตรงทั่วไปจะอ้างอิงการรายงานจากสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ซึ่งได้จากการศึกษารวบรวมผู้ป่วย แล้วคำนวณขยายเป็นอุบัติการณ์ของโรคได้ อุบัติการณ์ในประชาชนคือเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดครั้งแรก 170,000 คนต่อปี และเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดซ้ำ 90,000 คนต่อปี และอุบัติการณ์ในประชากรของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกที่วินิจฉัยได้ทางคลินิกถึง 250,000 คนต่อปี สำหรับในอิตาลีมีอุบัติการณ์ของ DVT 48 ใน 100,000 คนต่อปี [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulmonary embolism จากการศึกษา autopsy :

พบมีรายงานไม่น้อยแต่มีความจำกัดถึงความน่าเชื่อถือพอสมควร เพราะข้อมูลขึ้นการอัตราการทำ autopsy ของสถาบันนั้น ๆ อายุของผู้ป่วยความสมบูรณ์ครบถ้วนของการตรวจในสหรัฐอเมริกา มีรายงานถึงภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด เป็นสาเหตุการตายโดยตรงหรือเป็นปัจจัยสำคัญ 140,000 – 200,000 คนต่อปี จาก autopsy พบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดในปริมาณที่มีความสำคัญ 7.4-15.2% ต่อปี แต่ถ้าเป็นรายงานจากแต่ละสถาบันพบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดสูงถึง 24% การศึกษา autopsy จากประเทศทางยุโรป อังกฤษ มีรายงานสาเหตุการตายจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดในประชากรเพิ่มขึ้นจากเดิม 15-19 คนต่อล้านในปี 1841-1845 เป็น 94 คนต่อล้านในปี 1966 ส่วนการตรวจ autopsy จากอังกฤษ 8-10% ในปี 1963 จากเมือง Prague เชคโกสโลวาเกีย พบ 14% จากเมือง Yalta รัฐ Crimea รัสเซียพบ 2% เท่า ๆ กับอิตาลี ซึ่งมีรายงานพบ 316 รายจาก 11,000 รายหรือ 2.9% ที่น่าสนใจคือจากเมือง Malmö สวีเดน ซึ่งมีอัตราการทำ autopsy สูงถึง 90% ระหว่างปี 1951-1980 พบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด 1,274 ราย จาก 5,477 ราย (23.6%) และการศึกษาเพิ่มเติมในปี 1987 พบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด 260 ราย (26.3%) ไม่แตกต่างกัน แต่ไม่มีรายงานต่อประชากรทั้งหมดสำหรับจากออสเตรเลีย มีรายงานอัตราการภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด 6.8-9.2 ต่อแสนคน เท่า ๆ กับจากประเทศอังกฤษ

สำหรับรายงานการพบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด ในชนชาติอื่น ๆ จากการศึกษา autopsy มีดังนี้คือ จากอูแกนดา แอฟริกา พบ 2% ประเทศทางเอเชีย คือญี่ปุ่น ฮองกง สิงคโปร์ (คนจีนและอินเดีย) พบ 0.8% 1.89% และ 0.08% ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยมีรายงานจาก รพ.ศิริราช และ รพ.รามาธิบดี พบ 0.41% และ 0.24% ตามลำดับ สำหรับการตรวจพบที่บ่งชี้ว่าภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดเป็นสาเหตุการตายโดยตรงนั้นพบจากฮองกง สิงคโปร์ และ รพ.รามาธิบดี พบ 0.87% 0.049% และ 0.081% ตามลำดับ ตามข้อมูลดังกล่าวนี้พบว่าในกลุ่มชาวเอเชียรวมแอฟริกา อาจยอมรับได้ว่าภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดพบได้น้อยและไม่ใช่สาเหตุการตายสำคัญเช่นที่พบในคนผิวขาว อย่างไรก็ตามรายงานจากฮองกงให้ความเห็นว่า อัตราการพบภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอดสูงกว่าแต่ก่อนอาจจะเป็นปัญหาสำคัญของคนจีนในฮองกงต่อไปข้างหน้า เพราะสภาพความเป็นอยู่ของคนฮองกงเปลี่ยนแปลงไปมาก [6]



รูปที่ 2.3 พยาธิสภาพที่พบในผู้ป่วยที่เกิดภาวะ pulmonary embolism ⁷

แนวทางการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ [7,8]

1. ภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกของขาและของเชิงกราน

อาศัยการซักประวัติการตรวจร่างกายและการตรวจด้วยวิธีพิเศษอื่น ๆ ต้องนึกถึงภาวะนี้ไว้เสมอในผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา แต่การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาโดยอาศัยอาการทางคลินิกอย่างเดียวพบว่ามีควมไวและความจำเพาะต่ำ เนื่องจากผู้ป่วยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาหลายรายไม่มีอาการแสดง ในขณะที่ผู้ป่วยที่มีอาการคล้ายภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาเช่นอาการปวด บวมขาในผู้ป่วยที่มีโรคมาเรียมะเร็งอาจเกิดจากการที่หลอดเลือดดำหรือทางเดินน้ำเหลืองถูกกดทับจากก้อนมะเร็งตั้งนั้นผู้ป่วยที่สงสัยจะเป็นภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาจึงควรได้รับการพิสูจน์โดย objective test เสมอ

วิธีการตรวจสอบที่ทำ กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

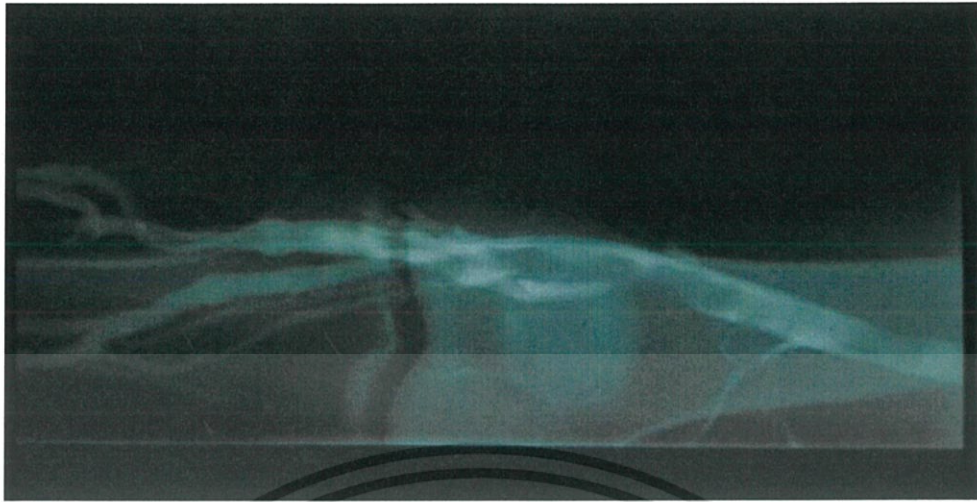
1.1 Venous ultrasound เป็นการตรวจแบบ noninvasive เพื่อดู compressibility ของหลอดเลือดดำตั้งแต่ common femoral vein ลงมาจนถึงส่วนปลายของ popliteal vein การตรวจด้วยวิธีนี้มีความไวและความจำเพาะสูงในผู้ป่วยที่มีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ต้นขา (proximal DVT) ที่มีอาการ (ร้อยละ 95 และ 96 ตามลำดับ) ในปัจจุบันจึงนิยมใช้เป็นการตรวจอย่างแรกในการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา

ในผู้ป่วยที่มีเฉพาะภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกของขาบริเวณน่อง (distal DVT) พบว่า ความไวของการตรวจโดยวิธีนี้จะต่ำ (ประมาณร้อยละ 73) เนื่องจากส่วนใหญ่ของผู้ป่วยที่มีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกของขา บริเวณน่องจะมีการอุดตันของหลอดเลือดดำมากขึ้น มักจะเกิดภายในสัปดาห์แรก หลังมีอาการ จึงแนะนำให้ทำการตรวจซ้ำอีกครั้ง ใน 1 สัปดาห์ต่อมา

วิธีการดังกล่าวสามารถใช้ B-mode ultrasound เพื่อดูว่ามีส่วนใดของหลอดเลือดดำที่ไม่สามารถกดให้แบนได้ ซึ่งบ่งบอกว่าน่าจะมีก้อนเลือดอยู่บริเวณนั้น ในขณะที่หลอดเลือดดำปกติจะสามารถกดแบนได้ และนอกจากนั้น ultrasound ยังสามารถทดสอบดูได้ว่าก้อนเลือดที่กดไม่ได้นี้มี echogenicity เท่าใด เพราะในก้อนเลือด ที่เกิดใหม่ echogenicity นั้นจะเหมือนเลือด นอกจากนี้ ส่วนของ Doppler ที่เป็นส่วนประกอบของ duplex scan ก็สามารถที่จะทดสอบดูทิศทางการไหลของเลือดได้ ปัญหาในการตรวจนี้คือ การตรวจสอบจะทำได้ยากในกรณีที่มีก้อนเลือดที่บริเวณของ iliac vein และ vena cava

1.2 Venography หรือ Bilateral ascending venography ถือเป็นบรรทัดฐาน (gold standard) ในการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา คือพบมี intraluminal filling defect แต่มีข้อเสีย คือเป็นการตรวจที่ invasive รังสีแพทย์ต้องมีความชำนาญสูง ผู้ป่วยอาจแพ้สารทึบที่ใช้ในการตรวจ หรือเกิดภาวะ phlebitis ตามมา วิธีการดังกล่าวทำโดยการฉีดสีเข้าไปในหลอดเลือดดำของเท้า ทั้ง 2 ข้าง โดยสีที่ฉีดในข้างเดียวกันกับข้างที่สงสัยมีภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกจะพบว่า หลอดเลือด deep vein ต้น และสีก็จะผ่านไปตาม collateral vessel และสีซึ่งมาจากด้านตรงข้ามก็จะไหลย้อนกลับมาเหนือต่อก้อนเลือดที่อุดตันทำให้เห็นความยาวของก้อนเลือด (thrombosis) ได้

การตรวจดูสารในเลือดที่เป็นผลจากการที่มีลิ่มเลือดเกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การตรวจหา D-dimer ซึ่งเป็น degradation product ของ cross-linked fibrin พบว่าไม่จำเพาะ โดยอาจเพิ่มขึ้นในภาวะอื่น เช่น ภายหลังการผ่าตัด ภายหลังเลือดออก trauma โรคมะเร็ง และภาวะติดเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ในผู้ป่วยโรคมะเร็งก็มักจะมียกระดับของ D-dimer สูงขึ้น อยู่แล้ว ดังนั้นจึงนิยมใช้ในแง่ลบข้างมากกว่ายืนยันการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา และไม่แนะนำให้ส่งตรวจในผู้ป่วยโรคมะเร็งที่สงสัยจะมีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา



รูปที่ 2.4 การทำ venogram ⁷

2. ภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอด

การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดโดยอาศัยอาการและอาการแสดง การตรวจ chest x-ray การตรวจคลื่นหัวใจและ arterial blood gas พบว่าไม่มีความจำเพาะ แต่อาจช่วยวินิจฉัยแยกโรคอื่นออกไป

วิธีการตรวจเพื่อยืนยันการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

2.1 Computerized tomography (CT) การตรวจด้วยเครื่อง CT ธรรมดาไม่เหมาะสมที่จะใช้วินิจฉัยเนื่องจากไม่สามารถเห็น filling defect ใน pulmonary artery ด้วยสารทึบแสงภายในระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจเนื่องจากสีจะเจือจางไปก่อน นอกจากนี้ยังมีปัญหาเนื่องจากการเคลื่อนไหวหรือการหายใจของผู้ป่วยซึ่งอาจทำให้การแปลผลผิด ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ helical CT (spiral หรือ continuous volume CT) ซึ่งสามารถถ่ายภาพได้ภายในเวลา 20 วินาที ในผู้ป่วยที่ไม่สามารถกลั้นหายใจนานกว่า 20 วินาที อาจใช้ electron beam (Ultrafast) CT

มีการศึกษาพบว่า contrast - enhanced helical CT มีความไวร้อยละ 72 และความจำเพาะร้อยละ 95 ในการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอด เมื่อเทียบกับ pulmonary angiogram สำหรับภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดใน central pulmonary artery (ระดับ main ถึง segmental branch) พบว่าการใช้ helical CT มีความไวร้อยละ 94 และความจำเพาะร้อยละ 94 ส่วนภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดใน subsegmental pulmonary artery พบว่ามีความไวเพียงร้อยละ 13 ดังนั้นในรายที่ helical CT ให้ผลลบจึงไม่สามารถตัดภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดใน subsegmental pulmonary artery ออกไปได้ อาจจะต้องส่งการตรวจอย่างอื่นเพิ่มเติม เช่น pulmonary angiogram ในรายที่ยังสงสัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Ventilation - perfusion lung scan เป็นการตรวจแบบ noninvasive ถ้า พบว่า perfusion scan ปกติจะตัดภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดออกไปได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำ ventilation scan แต่การพบมี perfusion defect จะไม่จำเป็นสำหรับภาวะลิ่มเลือดหลุดอุด หลอดเลือดที่ปอด โดยพบว่าประมาณ 1 ใน 3 ของ ผู้ป่วยเท่านั้นที่มีภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอด โอกาสที่ perfusion defect จะเกิดจากภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดขึ้น กับขนาด รูปร่าง จำนวน ของ perfusion defect และการที่มี ventilation scan ปกติ (mismatched defect) พบว่า ถ้ามี “high - probability” defect หรือ mismatched segmental perfusion defect 1 ตำแหน่งจะมี โอกาสเป็นภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดประมาณร้อยละ 80 แต่ถ้าพบมี mismatched defect ตั้งแต่ 3 ตำแหน่งขึ้นไปจะมีโอกาสเป็นภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอดมากกว่าร้อยละ 90

2.3 Pulmonary angiogram จัดเป็นบรรทัดฐาน (gold standard) ในการวินิจฉัยโรค การเปลี่ยนแปลงที่ใช้ในการวินิจฉัย คือพบมี intraluminal filling defect ใน pulmonary artery แต่ ข้อเสียคือเป็นการตรวจที่ invasive ต้องอาศัยความชำนาญในการทำและอาจเกิดภาวะแทรกซ้อนได้

จากข้อมูลดังกล่าวมา แนวทางในการตรวจเพื่อยืนยันการวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำมีดังนี้

1. ผู้ป่วยที่มีอาการสงสัยว่าจะมีภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา ให้ส่งตรวจ venous ultrasound ถ้าได้ผลบวกและลักษณะทางคลินิกเข้าได้กับภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำส่วนลึกของขา ก็ให้การรักษได้แล้ว ถ้าได้ผลลบแต่ อาการทางคลินิกเข้าได้กับภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา ให้ทำ venogram หรือทำ venous ultrasound ซ้ำในวันที่ 7
2. ผู้ป่วยที่มีอาการสงสัยว่าจะมีภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอด ให้ส่งตรวจ helical CT หรือ ventilation-perfusion lung scan ถ้าได้ผลเป็น high probability ร่วมกับมี moderate / high clinical suspicion ก็ให้การวินิจฉัยได้เลยใน สถานที่ที่ไม่สามารถส่งตรวจ CT หรือ ventilation-perfusion lung scan อาจส่งตรวจ venous ultrasound ของขาทั้งสองข้าง ถ้าพบมีภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขา ร่วมกับมีอาการแสดงที่สงสัยภาวะลิ่มเลือดหลุดอุดหลอดเลือดที่ปอด ก็ ให้การรักษาภาวะลิ่มเลือดอุดหลอดเลือดดำไปได้เลย

	Sensitivity	Specificity
Compression US	97-98%	100%
Color doppler	95%	100%
D-dimer (ELISA)	97%	35%
D-dimer (agglutination)	83%	68%

Remark: for clinical suspected cases of DVT

ตารางที่ 2.7 Sensitivity and specificity of diagnostic tools for DVT⁸

Pathophysiology ของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก [7]

หลังจากการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้นผลที่ตามมาคือ

- มีการละลายของลิ่มเลือดที่บริเวณขาและลิ่มยังทำงานได้ปกติ
- ถ้า thrombus ลอยไปที่ปอดก็เกิด Pulmonary infarction หรือถ้า thrombus ก้อนใหญ่มากก็เกิด acute right heart failure ได้
- ถ้าก้อนเลือดไม่ละลายหรือลิ่มของหลอดเลือดดำถูกทำลายจากก้อนเลือดผู้ป่วยจะมีลักษณะของ Chronic venous insufficiency

อาการ

อาการของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำที่อยู่ลึกหรือภาวะหลอดเลือดดำอุดตันจะขึ้น อยู่กับตำแหน่งของหลอดเลือดดำแห่งในหลอดเลือดที่เกิดลิ่มเลือด และขนาดความยาวของตัวลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ

การเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำลึกที่ขา จะมีอาการขาบวม ปวด คล้ำตุร้อน หรือคล้ำได้หลอดเลือดเป็นเส้นแข็ง เนื่องจากการแข็งตัวของเลือดในหลอดเลือดดำ และเห็นมีการเปลี่ยน สีที่ผิวหนัง เริ่มแรกจะมีสีแดงหากนานไปจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ การเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำที่ขาส่วนต้นหรือเกิดในหลอดเลือดดำแถวช่วงต้นขา จะเสี่ยงต่อการมีหลอดเลือดอุดตันที่ปอดด้วย

การเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดของปอด

ภาวะนี้ถือเป็นภาวะฉุกเฉิน โดยผู้ป่วยส่วนใหญ่จะมีอาการดังนี้

- หายใจลำบาก
- เวลาหายใจเข้าเจ็บเหมือนถูกมีดแทง
- ไอ หรือไอเป็นเลือด
- หัวใจเต้นเร็ว
- ซ็อก (วัดความดันโลหิตไม่ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหากให้การรักษาไม่ทันท่วงทีผู้ป่วยอาจเสียชีวิต(ตาย) หากมีอาการดังกล่าวต้องรีบตามรพพยาบาลฉุกเฉินมารับอย่าง

การเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำลึกที่แขน มักเกิดจากมีการกดหลอดเลือดดำแขนส่วนที่ออกมาจากทรวงอกเช่น ถูกกดจากกระดูกซี่โครงหรือจากพังผืดหรือเอ็น เป็นต้น ซึ่งจะพบว่าแขนและบริเวณหน้าอกหรือใบหน้าบวม มีอาการปวด หรืออาจมีการเปลี่ยนสีของผิวหนังในบริเวณนั้นเริ่มจากสีแดงก่อนต่อไปสีจinggaแล้ว [9]

ผู้ป่วยอาจไม่พบอาการเลยได้ถึง 60 % ของผู้ป่วยภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกทั้งหมด อาการของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกสามารถ แบ่งได้ง่าย ๆ เป็น 2 กลุ่มตามตำแหน่งการเกิด

ก. calf vein thrombosis ผู้ป่วยจะมีอาการเจ็บที่บริเวณน่องบวมบริเวณข้อเท้า และมีไข้ต่ำ ๆ และมักจะมีอาการร้อนที่บริเวณน่อง

ข. iliofemoral thrombosis ผู้ป่วยจะมีอาการเจ็บแบบกระจายไปทั่วทั้งขา มีบวมแบบ Pitting oedema ซึ่งอาการบวมนี้จะกระจายไปเนื้อเข้า ถ้าอาการของ deep vein thrombosis นี้สกัดกั้นการไหลเวียนโลหิตกลับของขาอย่างรุนแรง ผู้ป่วยอาจจะเปลี่ยนแปลงสีของขาเป็นสีเขียวคล้ำ (phlegmasia caerulea dolens) ทำให้เกิดการเน่าของขาได้ (venous gangrene) [7]



รูปที่ 2.5 phlegmasia caerulea dolens ⁷

ภาวะแทรกซ้อนของภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน

ลิ่มเลือดอุดตันในปอดเป็นภาวะแทรกซ้อนที่ต้องระวังให้มากที่สุด เกิดจากลิ่มเลือดกระจายไปอุดตันที่เส้นเลือดในปอด ซึ่งส่วนมากมาจากเส้นเลือดดำที่ขา ภาวะนี้อันตรายถึงชีวิตถ้าไม่ได้รับการรักษา ภาวะอาการหลังเกิดเส้นเลือดอุดตัน (Post - thrombotic syndrome) เป็นอีกหนึ่งภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยหลังเกิดภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน สาเหตุเกิดจากการอักเสบที่หลอดเลือดดำทำให้เลือดไปเลี้ยงบริเวณดังกล่าวลดลง โดยจะมีอาการ

- บวม หรือ ปวดขาทั้งสองข้าง
- สีผิวเปลี่ยนไป
- เจ็บที่ผิวหนัง

สุดท้ายภาวะความดันในปอดสูง (pulmonary hypertension) เป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบน้อยจากการเกิดลิ่มเลือดอุดตันในปอด โดยจะเกิดเมื่อลิ่มเลือดที่อุดตันในหลอดเลือดแดงไม่สลายไปและยังอุดตันต่อเนื่อง [2]

คำแนะนำในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด [8]

1. ผู้ป่วยมะเร็งในบริเวณ โดยเฉพาะมะเร็งรังไข่และมะเร็งเยื่อโพรงมดลูก ที่ได้รับการผ่าตัดใหญ่ (major surgery) ถือว่ามีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ แพทย์ควรพิจารณาใช้การป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำ โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายวิธีร่วมกัน
2. แพทย์ควรประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากโรคประจำตัวและการผ่าตัดใหญ่ที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ ที่พบร่วมด้วยและมีผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำขึ้นไปอีก ได้แก่
 - 2.1 มะเร็งรังไข่ หรือ มะเร็งเยื่อโพรงมดลูก มีความเสี่ยงสูงกว่ามะเร็งปากมดลูก
 - 2.2 อายุมากกว่า 60 ปี
 - 2.3 เคยมีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำมาก่อน
 - 2.4 นอนอยู่กับเตียง (immobilization) ไม่สามารถลุกเดินได้นานกว่า 3 วัน
 - 2.5 ผู้ป่วยที่อ้วน (ดัชนีมวลกายมากกว่า 25 กก./ตรม.)

ผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงหลายอย่างในคนเดียว อาจพิจารณาใช้การป้องกันหลายวิธีร่วมกัน เช่น การใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดร่วมกับ mechanical prophylaxis ซึ่งสามารถลดอัตราการเกิดภาวะลิ่มเลือด

อุดหลอดเลือดดำลงได้อีกร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับการใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดอย่างเดียว หรือให้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดเป็นระยะเวลาสั้นขึ้นเป็น 4 สัปดาห์ (extended prophylaxis)

3. แพทย์ควรประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเลือดออกในผู้ป่วยแต่ละราย เพื่อเลือกใช้วิธีการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำให้เหมาะสม ผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อภาวะเลือดออกสูง ควรเลือกใช้วิธี mechanical prophylaxis แทนการใช้ยา ต้านการแข็งตัวของเลือดปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะเลือดออกได้แก่

3.1 ปัจจัยเสี่ยงทั่วไป ได้แก่ ผู้ป่วยที่มีเลือดออกอยู่ (active bleeding) เคยมีประวัติเลือดออกมากมาก่อน มีภาวะเลือดออกง่าย โรคตับแข็ง ไตวาย เกล็ดเลือดต่ำ โรคหลอดเลือดสมอง เย็บปล้น ความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ มีการเจาะ spinal หรือ epidural (ก่อนการเจาะ 4 ชั่วโมงจนถึงหลังเจาะ 12 ชั่วโมง ไม่ควรได้รับยาต้านการแข็งตัวของเลือด) ได้ยาต้านเกล็ดเลือด หรือ ยาละลายลิ่มเลือด (thrombolytic agent)

3.2 ปัจจัยเสี่ยงในการผ่าตัดผ่านกล้อง

การผ่าตัดผ่านกล้องหรือ Minimally Invasive Surgery (MIS) ได้แก่ Laparoscopic surgery และ Robotic surgery กำลังมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งรังไข่ ได้แก่ หรือ มะเร็งเยื่อบุโพรงมดลูก มะเร็งปากมดลูก ตลอดจนมะเร็งรังไข่ เนื่องจากมีภาวะแทรกซ้อนน้อยกว่าการผ่าตัดเปิดหน้าท้อง โดยมักเสียเลือดน้อยกว่าสามารถหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องมือที่อาจทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อ เช่น deep retractor ตลอดจนมีความเจ็บปวดหลังผ่าตัดน้อยกว่า อยู่โรงพยาบาลสั้นกว่าฟื้นตัวเร็วกว่าสามารถลุกเดินได้เร็ว

อุบัติการณ์ของภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัดผ่านกล้องพบน้อยกว่าการผ่าตัดเปิดหน้าท้อง กล่าวคือไม่เกินร้อยละ 2 จากการศึกษาส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นแบบการศึกษาย้อนหลัง (retrospective) 14 - 18 ผู้ป่วยกลุ่มนี้บางส่วนได้รับยาต้านการแข็งตัวของเลือดร่วมกับ mechanical prophylaxis อย่างไรก็ตามแม้อุบัติการณ์ของภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัดผ่านกล้องจะพบน้อย ACOG ยังคงแนะนำให้ดูแลป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำภายหลังการผ่าตัดผ่านกล้องไม่แตกต่างจากการผ่าตัดเปิดหน้าท้อง คำแนะนำดังกล่าวใช้ข้อมูลการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำจากการผ่าตัดเปิดหน้าท้องเป็นส่วนใหญ่ ส่วน ACCP ไม่แนะนำให้ป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำโดยการใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดในผู้ป่วยทุกรายที่ได้รับการผ่าตัดผ่านกล้อง ควรพิจารณาให้เฉพาะในรายที่มีปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ร่วมด้วย จึงยังไม่มีข้อสรุปแน่ชัด เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาแบบไปข้างหน้า (prospective) ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามความเห็นส่วนใหญ่แนะนำให้พิจารณาป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำโดยการใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดผ่านกล้องเฉพาะในรายที่มีปัจจัยเสี่ยงสำคัญอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น morbid obesity หรือการผ่าตัดนานกว่า 3 ชั่วโมง เป็นต้น

4. การป้องกันด้วยวิธี mechanical prophylaxis ใช้ในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงต่อภาวะเลือดออก เพราะการศึกษาแบบ meta-analysis พบว่า mechanical prophylaxis ได้ผลในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตัน

หลอดเลือดดำด้อยกว่า low molecular weight heparin (LMWH) แต่ก็มีภาวะเลือดออกน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ การป้องกัน วิธี mechanical prophylaxis มี 2 วิธี คือ

4.1 Elastic stocking (ES) สามารถลดการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำลงได้ ร้อยละ 65 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่มีอาการ ไม่มีข้อมูลเพียงพอของผลลัพธ์ในด้านหลอดเลือดดำอุดตันแบบมีอาการ หลอดเลือดดำที่ปอดหรืออัตราการตาย การศึกษาในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองพบว่าการใช้ elastic stocking รััดสูงถึงต้นขาได้ผลในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำดีกว่าการรััดสูงถึงแค่เข่าร้อยละ 31 โดย stocking ที่ถูกต้อง จะรััดแน่นตรงข้อเท้า (ตำแหน่งข้อเท้าควรรััดด้วยแรงดันไม่น้อยกว่า 30 - 40 มิลลิเมตรปรอท) ถ้ารััดผิดที่ เช่น การรััดแน่นที่เข่าหรือต้นขาอาจทำให้เลือดเดินได้น้อยลงเกิดผลเสียมากกว่าผลดี ผลข้างเคียงของ stocking คือการเกิดผิวน้ำบริเวณที่รััดแตกได้ร้อยละ 5.1 เมื่อเทียบกับร้อยละ 1.3 ในกลุ่มควบคุมการใส่ ES แนะนำให้ใส่จนกว่าผู้ป่วยลุกเดินได้ปกติ [4]

ข้อห้ามในการใช้ ES ในกรณีที่มีผู้ป่วยมีโรค/ภาวะต่อไปนี้ [10]

- โรคหลอดเลือดแดงส่วนปลาย (peripheral arterial disease)
- โรคหลอดเลือดแดงแข็งตัว (arteriosclerosis)
- โรคระบบประสาทส่วนปลายระดับรุนแรง (severe peripheral neuropathy)
- ขาบวมมาก หรือมีภาวะปอดบวมน้ำ
- อาการบวมอันสืบเนื่องมาจากภาวะหัวใจล้มเหลว
- มีโรคผิวน้ำหรือโรคเนื้อเยื่ออ่อนเฉพาะที่หรือหลังการทำปลูกผิวน้ำหรือการอักเสบของผิวน้ำ
- มีความพิการรุนแรงที่ขา (severe deformity of the leg)
- ขามีเนื้อเน่าตาย (gangrenous limb)
- ค่าดัชนีความดันดอปเปลอร์ (Doppler pressure index) < 0.8
- มีเซลล์ลูไลติสเห็นได้ชัดเจนที่ขา (gross limb cellulitis)

4.2 Intermittent pneumatic compression (IPC) สามารถลดการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ขาทั้งหมด (total deep vein thrombosis) และภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำส่วนลึกที่ต้นขา (proximal deep vein thrombosis) ลงได้ร้อยละ 60 และ 50 ตามลำดับ แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอในด้านภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดที่ปอด หรือ อัตราตาย การศึกษาแบบสุ่ม (randomized control trial) ในผู้ป่วยมะเร็งนรีเวชที่ได้รับการผ่าตัด พบว่า IPC มีประสิทธิภาพเท่ากับ LMWH ในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำและมีภาวะ

เลือดออกไม่แตกต่างกัน การใช้ IPC ควรใช้ให้ได้ถึง 22 ชั่วโมงต่อวัน จนกว่าผู้ป่วยจะสามารถลุกเดินได้ปกติแต่ในเวช-ปฏิบัติ ผู้ป่วยอาจเกิดความรำคาญทำให้ไม่ได้ใช้เท่าเวลาที่เหมาะสม [8]

จากบทความการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำสำหรับผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง โดยภาควิชาอายุรศาสตร์และภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้เสนอว่า จากการทบทวนอย่างเป็นระบบพบว่า การใช้ IPC เป็นวิธีป้องกันเชิงกลที่มีหลักฐานยืนยันประสิทธิภาพมากที่สุด จึงเป็นวิธีที่แนะนำให้ใช้มากที่สุด สมาคมเวชศาสตร์ไขสันหลังของสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใส่ต่อเนื่องกันให้นานที่สุด หรืออย่างน้อย 23 ชม. ต่อวัน [11]

5. การป้องกันโดยใช้ยาต้านการแข็งตัวของเลือด เป็นวิธีที่ควรใช้เป็นอันดับแรก เพราะมีหลักฐานเชิงประจักษ์มาก รวมทั้ง meta-analysis ในกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งเนื้องอกโดยตรง มีหลักฐานว่าลดอัตราการเสียชีวิตจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดที่ปอด (pulmonary embolism) ไปได้ 50 % และได้รับการแนะนำโดยแนวทางปฏิบัติทั้งหมดในต่างประเทศมียา 2 ชนิดที่แนะนำให้ใช้ คือ unfractionated heparin (UFH) และ low molecular weight heparin (LMWH) การศึกษาแบบสุ่มหลายชิ้น รวมทั้ง meta-analysis ในผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับการผ่าตัด พบว่า UFH วันละ 3 ครั้ง (ทุก 8 ชั่วโมง) มีประสิทธิภาพเท่ากับ LMWH วันละครั้ง โดยภาวะเลือดออกไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน UFH วันละ 2 ครั้ง (ทุก 12 ชั่วโมง) มีประสิทธิภาพด้อยกว่า LMWH โดยการศึกษาในผู้ป่วยมะเร็งเนื้องอกก็ได้ผลเช่นเดียวกัน แต่การรักษาดังกล่าวก็มีโทษคือทำให้เลือดออกง่าย จึงทำให้อาจเกิดมีการสะสมของก้อนเลือดในร่างกาย (haematoma) โดยเฉพาะผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด นอกจากนั้นการรักษาดังกล่าวอาจทำให้เกิดภาวะเกล็ดเลือดต่ำ (Thrombocytopenia)

5.1 Unfractionated heparin (UFH) การใช้ป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในช่วงผ่าตัด พบว่าสามารถลดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดที่ปอด ภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดที่ปอดจนเสียชีวิต และ อัตราตาย ได้ร้อยละ 41 48 และ 18 ตามลำดับ แต่มีภาวะเลือดออกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 57

5.2 Low molecular weight heparin (LMWH) การใช้ป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในช่วงผ่าตัด พบว่าสามารถลดหลอดเลือดดำที่มีอาการร้อยละ 70 และลดอัตราตายร้อยละ 46 แต่มีโอกาสเกิดเลือดออกเพิ่มขึ้นเท่าตัว

ขนาดยาที่มีในประเทศไทยและความถี่ในการให้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.8 สามารถให้ยาตั้งแต่ก่อนผ่าตัด 12 ชั่วโมงหรือเริ่มให้หลังผ่าตัด 12 - 24 ชั่วโมง เมื่อไม่มีเลือดออก โดยการฉีดเข้าทางใต้ผิวหนัง (subcutaneous) ควรหลีกเลี่ยงการฉีดใกล้กับแผลผ่าตัด เพราะอาจทำให้เกิดเลือดออกที่แผลผ่าตัดได้ ต้องระวังไม่ให้ฉีดลึกถึงชั้นกล้ามเนื้อ เพราะอาจทำให้เกิดเลือดออกในชั้นกล้ามเนื้อที่ฉีดได้

ระยะเวลาที่ให้ยา 7 – 10 วัน หรือจนผู้ป่วยสามารถเดินได้ปกติ มีการศึกษาแบบสุ่มเปรียบเทียบการให้ LMWH เป็นเวลา 7 - 10 วันเทียบกับ 4 สัปดาห์ (extended prophylaxis) พบว่าการให้ LMWH ยาวนานขึ้น สามารถลดการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำอย่างมีนัยสำคัญในผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับการผ่าตัด แต่ส่วนใหญ่ภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำที่เกิดขึ้นเป็นชนิดไม่มีอาการ และมีอัตราการเกิดเลือดออกเพิ่มขึ้นได้ จึงพิจารณาให้ extended prophylaxis เฉพาะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำสูงมาก จากการมีปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำหลายปัจจัยร่วมกันและมีความเสี่ยงต่อภาวะเลือดออกต่ำ [8]

ข้อห้ามในการให้ยา heparin [12]

- ในกรณีที่ผู้ป่วยมีปัญหาของเลือดออกง่ายที่ไม่สามารถแก้ไขได้
- คนไข้ที่มีโรคซึ่งมีโอกาสมีเลือดออก เช่น เลือดออกในสมอง (intracerebral haemorrhage)
- ผู้ป่วยซึ่งมีประวัติของ HIT

Anticoagulant	Dosage
Unfractionated heparin	5,000 IU Sc q 8 hr
Tinzaparin	4,500 IU Sc OD
Enoxaparin	40 mg Sc OD

ตารางที่ 2.8 ขนาดยาต้านการแข็งตัวของเลือดที่ใช้ในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดใหญ่⁸

คำแนะนำในการป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในผู้ป่วยปกติ

การรักษาในกรณีที่ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยอย่างชัดเจนว่ามีอาการของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก จุดประสงค์ในการรักษามีด้วยกัน 3 ข้อ

- เป็นการสนับสนุนทำให้เกิดการละลายของก้อนเลือดที่อยู่ในหลอดเลือดดำ
- ป้องกันการกระจายของก้อนเลือดที่จะเป็นมากขึ้นในหลอดเลือดดำ
- ป้องกันการเกิด ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในปอด
- วิธีการทั่วไป
 - ให้สารน้ำอย่างเพียงพอ
 - ให้ผู้ป่วยนอนพัก
 - รักษาโรคที่เป็นสาเหตุการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก เช่น ผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจวายการ รักษาภาวะนี้ก็เป็น การเพิ่มการไหลเวียนเลือดจากหัวใจให้ดีขึ้น ลดการคั่งของเลือดในขา เป็นต้น
- การรักษาเฉพาะของการเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Anticoagulation

การรักษาสามารถทำได้โดยการให้ยา heparin ทำได้โดยให้ heparin (bolus) ทางหลอดเลือดดำ ในขนาดประมาณ 100 – 150 units/kg. ในทันทีและหลังจากนั้นให้ heparin อย่างต่อเนื่องทางหลอดเลือดดำ โดยคาดว่าจะให้จนกระทั่ง activated partial thromboplastin time (APTT) ได้ประมาณ 2 เท่าของค่าปกติ ทางเลือกอีกทางหนึ่งคือการให้ low molecular weight heparin (LMWH) ซึ่งข้อดีคือ ให้ครั้งเดียวต่อวันและมีผลข้างเคียงทำให้เลือดออกง่ายน้อยกว่าการให้ Continuous heparin ผลข้างเคียงของการให้การรักษาด้วย Anticoagulation คือ

- เลือดออกง่าย เช่น ทางเดินอาหาร ใต้ผิวหนัง หรือในสมอง การรักษาทำโดยหยุดการให้ heparin และการให้ fresh frozen plasma

- ภาวะเกล็ดเลือดต่ำจากการได้รับ heparin (heparin – induced thrombocytopenia -HIT) เป็นปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันของร่างกายกับ heparin ทำให้เกล็ดเลือดต่ำลง ซึ่งพบได้ประมาณ 3-4 % ของผู้ป่วย ดังนั้นการนับจำนวนของเกล็ดเลือดควรทำทุก 2-3 วัน ในระหว่างการได้รับ heparin วิธีการรักษาคือ การหยุดยา ก็จะสามารถช่วยได้

หลังจากที่ผู้ป่วยได้รับ continuous heparin ในระยะแรกแล้ว ผู้ป่วยควรจะได้รับประเภทยา (oral anticoagulant) เป็นยาทำให้เลือดหยุดยาก เช่น coumadin ตั้งแต่ในระยะแรกเช่นกัน เนื่องจากยาดังกล่าวใช้เวลา 5 วันกว่าจะออกฤทธิ์ ดังนั้นในผู้ป่วยเหล่านี้จะได้ heparin เป็นเวลา 5 วัน แล้วสามารถจะหยุดการให้ heparin เปลี่ยนเป็นได้รับ coumadin ได้ โดยการให้ยาทางกินนั้น จะสามารถควบคุมให้ prothrombin time ประมาณ 2 เท่าของค่าปกติ ผลการแทรกซ้อนจากการให้ยา oral anticoagulant ได้แก่มีเลือดออกหรือมีผื่นขึ้น (Dematitis) และยาดังกล่าวสามารถมีปฏิกิริยากับยาชนิดอื่นได้ ผู้ป่วยที่เป็นภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกควรได้รับยาดังกล่าวอย่างน้อย 3 เดือนหลังเริ่มเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกเพื่อป้องกันการเกิดใหม่ซ้ำของภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก

การให้ Warfarin (ชื่อการค้า Coumadin) มีข้อเสียคือต้องเจาะเลือดตรวจบ่อยมี onset และ clearance ของยามี therapeutic window แคบนอกจากนี้การใช้ warfarin เป็นเวลานานในผู้ป่วยโรคมะเร็ง พบว่ามีอัตราการเกิดภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำซ้ำ และภาวะเลือดออกได้สูงถึงร้อยละ 21 และ 12 ต่อปี ตามลำดับ ในระยะหลัง จึงมีการศึกษาซึ่ง ใช้ LMWH เป็น long-term anticoagulant แทนเนื่องจากมีข้อดีกว่า คือไม่ต้องเจาะเลือดตรวจ มี onset และ clearance ของยาเร็วกว่า สามารถทำนายการตอบสนองต่อยาได้ค่อนข้างแน่นอน นอกจากนี้ยังใช้ได้ผลในผู้ป่วยที่มี warfarin resistance มีการศึกษาพบว่าการใช้ long-term LMWH ในผู้ป่วยโรคมะเร็งที่มีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำจะมีภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำซ้ำต่ำกว่าผู้ป่วยที่ใช้ยา warfarin (ตารางที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trial	Patients (n)	Regimen		Duration of treatment	Outcome	Incidences					
		Study	Control			VTE		Major bleeding		p Value	
						Study (%)	Control (%)	p Value	Study (%)	Control (%)	p Value
Meyer et al, 2002 ³²	146	Enoxaparin 1.5 mg/kg daily	Enoxaparin 1.5 mg/kg daily for 5-7 days, then warfarin at INR 2-3	3 Months	Combined recurrent VTE and hemorrhage	10.5 ^a	21.1 ^a	0.09 ^d	7.0	16.0	0.09
Lee et al, 2003 ³³	672	Dalteparin 200 IU/kg daily for 1 month, then 150 IU/kg daily for 5 months	Dalteparin 200 IU/kg daily for 5-7 days, then warfarin at INR 2-3	As described in "Regimen"	Recurrent VTE	9.0	17.0	0.002	6	4	0.27
Hull et al, 2006 ³⁴	200	Tinzaparin 175 IU/kg daily	UFH infusion then warfarin at INR 2-3	3 Months	Recurrent VTE	6.0 ^b 7.0 ^c	10.0 ^b 16.0 ^c	>0.05 ^b 0.044 ^c	7.0	7.0	>0.05
Deitcher et al, 2006 ³⁵	122	Enoxaparin 1 mg/kg twice daily, then 1.0 mg/kg daily or 1.5 mg/kg daily	Enoxaparin 1 mg/kg twice daily, then warfarin at INR 2-3	5 Days at twice daily, then 6 months	Recurrent VTE	6.9 (1 mg), 6.3 (1.5 mg)	10.00	>0.05	6.5 (1 mg), 11.1 (1.5 mg)	2.90	>0.05

^aCombined 3-month incidence of patients with either recurrent venous thromboembolism or major bleeding. VTE = venous thromboembolism; INR = international normalized ratio.

^b3-Month incidence of patients with recurrent venous thromboembolism.

^c12-Month incidence of patients with recurrent venous thromboembolism.

ตารางที่ 2.9 Randomized controlled trials for cancer-related venous thromboembolism (VTE) ⁸

- Thrombolysis

วิธีการดังกล่าวจะใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีอาการส่อว่าขาจะเน่าจากหลอดเลือดดำอุดตัน (phlegmasia cerulea dolens) วิธีนี้ทำโดยการให้ยาละลายลิ่มเลือดผ่านการใส่สายเข้าไปบริเวณหลอดเลือดที่มี thrombosis และฉีดสารละลายลิ่มเลือด เช่น plasminogen activator (TPA) เป็นต้น

- Caval filter

การใส่ที่กรองใน inferior vena cava เป็นการทำได้โดยเทคนิคของทางรังสี สามารถสกัดกั้น การลดยของก้อนเลือดจากขาไปปอด ใช้เฉพาะผู้ป่วยที่มี ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกเกิดขึ้นแล้ว แต่วิธีการดังกล่าวอาจพิจารณาใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีโอกาสเสี่ยงสูงต่อการเกิด pulmonary embolism โดยดูจากลักษณะของก้อนเลือดที่อยู่ในหลอดเลือด ยกตัวอย่างเช่น ก้อนเลือดซึ่งลอยไปมาอยู่ในหลอดเลือดดำ (free floating iliac vein thrombosis หรือ caval thrombosis)

ผลของการรักษาโรคภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึก

หลักการที่สำคัญที่สุดของการดูแลผู้ป่วยภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนั้น คือการป้องกันไม่ให้เกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกและเมื่อเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกแล้วควรให้ยา anticoagulation อย่างน้อย 3 เดือน เพราะพบว่า 10% ของผู้ป่วยที่เคยเป็นภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำส่วนลึกนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือดดำส่วนลึกจะกลับมาเป็นซ้ำใหม่ในช่วง 3 เดือน และ ผู้ป่วยที่มี iliofemoral deep vein thrombosis โอกาสที่จะเกิดภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำอุดตันในปอดประมาณ 10 – 20% [8]

	ACCP 2012 ²⁹	NCCN 2013 ³⁰	ASCO 2013 ³¹
Initial/acute treatment	<ul style="list-style-type: none"> Not addressed in cancer patients 	<ul style="list-style-type: none"> LMWH <ul style="list-style-type: none"> - Dalteparin 200 U/kg OD - Enoxaparin 1 mg/kg BID - Tinzaparin 175 U/kg OD Fondaparinux 5 mg (<50 kg), 7.5 mg (50-100 kg) or 10 mg (> 100 kg) OD APTT-adjusted UFH infusion 	<ul style="list-style-type: none"> LMWH is preferred for initial 5-10 days of treatment in patients with a CrCl > 30 mL/min
Long-term treatment	<ul style="list-style-type: none"> LMWH preferred over VKA [2B]* In patients not treated with LMWH, VKA therapy is preferred over dabigatran or rivaroxaban [2C]* Patients receiving extended therapy should continue with the same agent used for the first 3 months of treatment [2C]* 	<ul style="list-style-type: none"> LMWH is preferred for first 6 months as monotherapy without warfarin in patients with proximal DVT or PE and metastatic or advanced cancer Warfarin 2.5-5 mg every day initially with subsequent dosing based on INR value targeted at 2-3 	<ul style="list-style-type: none"> LMWH is preferred for long-term therapy VKAs (target INR 2-3) are acceptable for long-term therapy if LMWH is not available
Duration of treatment	<ul style="list-style-type: none"> Extended anticoagulant therapy is preferred over 3 months of treatment [2B]* 	<ul style="list-style-type: none"> Minimum 3 months Indefinite anticoagulant if active cancer or persistent risk factors 	<ul style="list-style-type: none"> At least 6 months duration Extended anticoagulation with LMWH or VKA may be considered beyond 6 months for patients with metastatic disease or patients who are receiving chemotherapy

ACCP = American college of chest Physicians; NCCN = National Comprehensive Cancer Network; ASCO = American Society of Clinical Oncology; LMWH = low molecular weight heparin; OD = once daily dosing; BID = twice daily dosing; CrCl = creatinine clearance; and VKA = vitamin K antagonist.
 *ACCP adaptation of the Grades of Recommendation, Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) Working Group evidence based recommendations: 2B-weak recommendation, moderate-quality evidence, 2C-weak recommendation, low- or very-low-quality evidence.

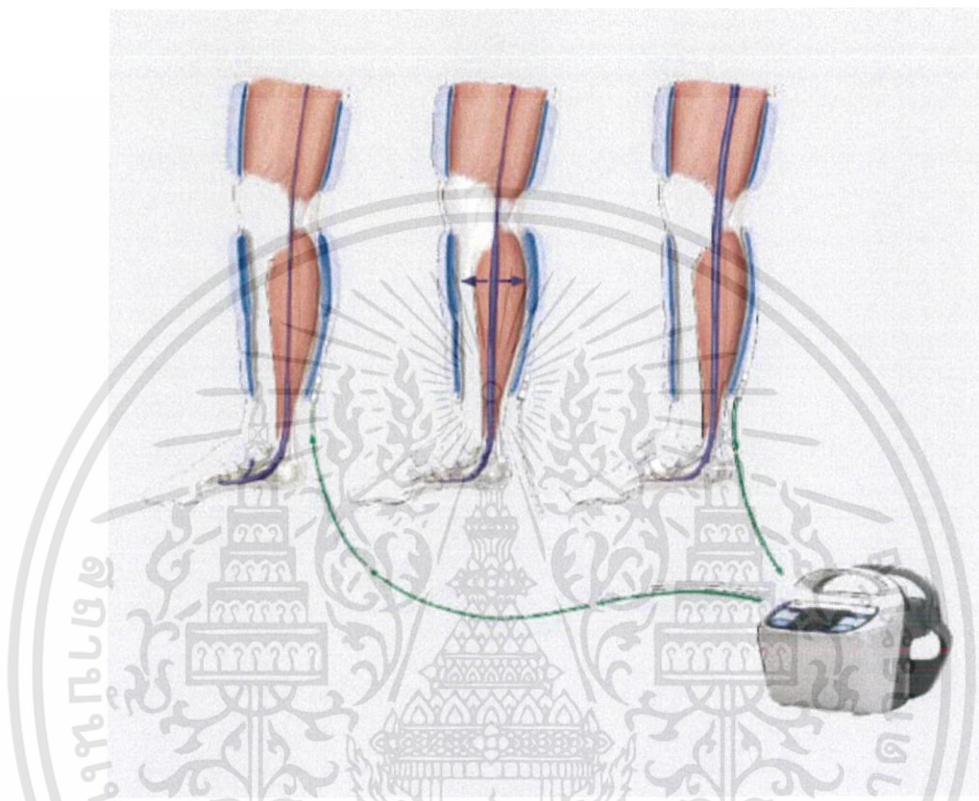
ตารางที่ 2.10 Consensus guidelines on treatment of deep vein thrombosis or pulmonary embolism in patients ⁸

2.4 การใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ (Intermittent Pneumatic Compression)

การใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะสามารถเพิ่มความเร็วในการไหลเวียนกลับเข้าสู่หัวใจ ป้องกันการหยุดนิ่งของเลือดดำ ลดความเสี่ยงในการเกิดภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน (Caprini, 2010; Lieberman, 2012) โดยใช้หลักการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ ให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวและคลายตัวเป็นจังหวะ เกิดแรงกดดันหลอดเลือดดำ เกิดทิศทางการไหลของหลอดเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจ กระตุ้นการเปิด-ปิดของลิ้นจึงไม่มีการไหลย้อนกลับของเลือดดำ ส่งผลให้ความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำเข้าสู่หัวใจเพิ่มขึ้น (Caprini, 2010) ซึ่งการทำงานของเครื่องที่ประกอบไปด้วยตัวเครื่องและปลอกขา โดยตัวเครื่องจะปล่อยลมออกมาที่ปลอกขาเป็นจังหวะตามการทำงานเป็นวงกลม ใน 1 นาทีจะปล่อยลมออกมาประมาณ 10-35 วินาที เพื่อกระตุ้นให้มีกล้ามเนื้อมีการหดตัว เกิดแรงกดดันหลอดเลือดดำ ทำให้เลือดดำไหลผ่านลิ้นในหลอดเลือดดำ มีผลทำให้เลือดดำจากปลายขาไหลต่อไปยังหลอดเลือดดำใหญ่ส่วนบนและไหลกลับเข้าสู่หัวใจ ในจังหวะที่เครื่องไม่ปล่อยแรงดันลมกล้ามเนื้อจะคลายตัว เลือดดำส่วนที่อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ถูกกระตุ้นจะไหลเข้ามาแทนที่ ซึ่งภายใน 1 ชั่วโมงสามารถเพิ่มความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำเข้าสู่อกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจได้ถึงร้อยละ 75 (Kakkos et al; Le Gal et al., 2012) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหลอดเลือดด้วย ถ้าสวม
 หลอดขาแบบเต็มขาจะเพิ่มความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำเข้าสู่หัวใจได้ถึงร้อยละ 200-300
 (Yamashita et al., 2005) และเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะยังสามารถกระตุ้นกระบวนการสลายลิ่มเลือด
 อีกด้วย [13]



รูปที่ 2.6 การทำงานของกล้ามเนื้อบริเวณขาขณะใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ

2.5 แบบจำลองการคำนวณทางคณิตศาสตร์การไหลของเลือดของมนุษย์ [15]

ในเลือดของมนุษย์ประกอบด้วยส่วนพลาสมาเซลล์เม็ดเลือดแดงและลิ่มเลือดในส่วนของ
 พลาสมาีประมาณ 90-95% เมื่ออนุภาคของเซลล์เม็ดเลือดที่มีขนาดใหญ่เคลื่อนที่จะทำให้อัตราส่วนของ
 ความเค้นเฉือนมีค่า อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่า 100 s^{-1} Michael Bonert, Myers
 J.G et al (2002) การไหลของเลือดจะกลายเป็นการไหลแบบนอนนิวโตเนียน New-Newtonian โดยขึ้นอยู่กับ
 กับสัดส่วนของความเค้นตามแบบจำลองของ คาร์เรล (Carreau model) B.Wiwatanapataphee et al
 (2005) ดังนั้นอัตราส่วนของความเค้นเฉือนสัมพันธ์กับความเค้นของหัวใจตามสมการ

$$D_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_{ij} = -p^F \delta_{ij} + 2\mu(\dot{\gamma})D_{ij} \quad (2.2)$$

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2D} \quad (2.3)$$

เมื่อ

μ คือ ค่าความหนืดของเลือด (Dynamic Viscosity) [N.s/m²]

D_{ij} คือ เทนเซอร์อัตราส่วนการเปลี่ยนรูป (Tensor) [m/s]

$\dot{\gamma}$ คือ อัตราความเค้นเฉือน (Shear rate) [Sec⁻¹]

σ_{ij} คือ ความเค้น (Stress) [N/m²]

δ_{ij} คือ Dirac delta

p^F คือ ความดันของเส้นเลือด (Pressure blood) [Pa]

2.5.1 สมการควบคุมการไหลของเลือด

การไหลของเลือดเป็นแบบสามมิติภายในเส้นเลือดที่มีผนังสามารถยืดหยุ่นและไม่สามารถยืดหยุ่นซึ่งมีสมการควบคุมพื้นฐานที่ใช้ในการแสดงพฤติกรรมเคลื่อนที่ของของไหลอยู่ 2 สมการคือสมการของการอนุรักษ์มวล Conservation of mass และสมการโมเมนตัม Momentum equation และสมการต่อเนื่องความเค้นที่ผนังมีการยืดหยุ่น

2.5.1.1 สมการของการอนุรักษ์มวล (conservation of mass)

กฎของการอนุรักษ์มวลมีประเด็นความสำคัญดังนี้ สำหรับปริมาตรควบคุมใด ๆ อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลของของไหลมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่ออัตราการไหลของมวลของไหลที่ไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลของมวลที่ไหลออกของของไหล เขียนอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

$$\frac{Dm}{Dt} = 0 \quad (2.4)$$

เมื่อ

m คือ มวลของของไหล (Mass of fluid) [kg]

t คือ เวลา(Time) [sec]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการอนุรักษ์มวลสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{Dm}{Dt} = \frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial(mu_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2.5)$$

ซึ่ง

$$\frac{\partial(mu_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial(mu)}{\partial x} + \frac{\partial(mv)}{\partial y} + \frac{\partial(mw)}{\partial z} \quad (2.6)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$\rho \frac{\partial V}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial(Vu)}{\partial x} + \frac{\partial(Vv)}{\partial y} + \frac{\partial(Vw)}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.7)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของไหล (Fluid density) [kg/m³]

u คือ ความเร็วของไหลตามแกน (Velocity) [m/sec]

V คือ ปริมาตรของไหล (Volume) [m³]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคิดต่อหน่วยความยาวในสามมิติของเส้นเลือดดั่งนั้นสมการ (4.6) จะได้

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial (uS)}{\partial x} + \frac{\partial (vS)}{\partial y} + \frac{\partial (wS)}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.8)$$

เมื่อ

S คือ พื้นที่หน้าตัดของเส้นเลือด [mm^2]

2.5.1.2 สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

นิยามของสมการโมเมนตัมเกิดขึ้นจากการนำกฎของการอนุรักษ์โมเมนตัมหรือกฎข้อที่สองของนิวตันมาใช้ซึ่งมีประเด็นความสำคัญดังนี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของของไหลมีค่าเท่ากับแรงลัพธ์จากภายนอกที่มากระทำกับของไหลนั้นโดยนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\frac{D(m\vec{V})}{Dt} = \sum \vec{F} \quad (2.9)$$

เมื่อ

\vec{V} คือ เวกเตอร์ความเร็วของการไหล (Vector velocity)

\vec{F} คือ เวกเตอร์แรงที่กระทำต่อของไหล (Vector force)

สมการโมเมนตัมสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ

p_1 คือ ความดันสถิตทางเข้าเส้นเลือด (Static pressure blood) [Pa]

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Gravity) [m/s^2]

μ คือ ค่าความหนืดของเลือด (Dynamic Viscosity) [$\text{N}\cdot\text{s/m}^2$]

เนื่องจากพิจารณาเลือดมีคุณสมบัติเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียน เพราะฉะนั้นในสมการจะต้องทำการแก้ไขและพัฒนาให้เหมาะสมในเบื้องต้น อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นของพื้นที่หน้าตัดของเส้นเลือดกับค่าความดันต่าง

2.5.2 สมการการไหลของเลือดอธิบายโดยสมการของ (Brinkman equations)

$$V_{i,i} = 0 \quad (2.12)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + \frac{\mu}{k} v_i \right) = p_i^s \left(\mu (v_{i,j} + v_{j,i}) \right)_{,j} + F_i \quad (2.13)$$

เมื่อ

μ คือ ความหนืดในชั้นวัสดุพรุน (Viscosity in porous layer) [$\text{N}\cdot\text{s/m}^2$]

k คือ ค่าการซึมผ่านผนัง (Permeability of wall) [m^2]

v_i คือ เวกเตอร์ความเร็วทิศทาง (Velocity i) [m/s]

p คือ ความดัน (Pressure) [Pa]

F_i คือ แรงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่กระทำกับของไหล (Volume force on fluid) [N/m^3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 สมการควบคุมการเปลี่ยนรูปของผนังเส้นเลือด

ผนังแบบจำลองเส้นเลือดให้เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และขยายตัว และหดตัวตามจังหวะการเต้นของหัวใจ ค่าความดันของเลือดเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่กระทำกับพื้นผิวผนังเส้นเลือด และผนังเส้นเลือดมีการเปลี่ยนรูปไปตามฟังก์ชันเวลาการเปลี่ยนรูปของผนังเส้นเลือด สามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.14

$$\rho^s \frac{\partial^2 D}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 D + (\lambda_L + \mu_L) \nabla (\nabla \cdot D) + F_i \quad (2.14)$$

$$\lambda = \frac{E \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

2.5.4 สมการความดันที่เป็นจังหวะ (Pulse pressure)

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการไหลของเลือดสามารถพิจารณาจากโครงสร้างการไหลของเลือด ลักษณะเฉพาะของความดันที่เป็นจังหวะจะแปรเปลี่ยนไปตามความแตกต่างของเส้นเลือดในระบบไหลเวียนโลหิตความดันที่มีการขยายตัวและหดตัวเป็นจังหวะและอัตราส่วนการไหลตามสมการความดันที่เป็นจังหวะ Pulse pressure (A.Pfenniger et al (2010))

$$P_{inlet}(t) = (P_1 + P_{initial}) f(t) \quad (2.15)$$

ที่ซึ่ง

$$f(t) = \begin{cases} (3.14 \times 1) \sin, 0 < t < 0.5 \\ (1.5 - 0.5 \cos(-2\pi(0.5 - t))), 0 \leq t \leq 5 \end{cases}$$

เมื่อ

P_1 คือ ความดันสถิตทางเข้าเส้นเลือด(Static pressure blood) [11208 Pa]

$P_{initial}$ คือ ความดันเริ่มต้น(Initial pressure) [4408 Pa]

2.5.5 สมการจำลองค่าความหนืดของคาร์ลู (Carreau's Shear thinning)

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตผนังเส้นเลือดให้สามารถยืดหยุ่นและไม่สามารถยืดหยุ่นจากสมการ จึงนำสมการจำลองค่าความหนืดของคาร์ลู Carreau's Shear thinning โดยใช้ค่าคงที่ ความหนืดที่ค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ มีค่าเท่ากับ $0.56 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ค่าความหนืดที่ค่าความเค้นเฉือนอนันต์ มีค่าเท่ากับ $0.0345 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ และพารามิเตอร์ระหว่าง 0 และ 1 มีค่าเท่ากับ (0.3568) Y.I.Cho,K.R et al (1991)

$$\mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) \left[1 + (t \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (2.16)$$

เมื่อ

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2 \text{tr}(D^2)} \text{ (Rate of deformation tensor)}$$

μ_0 คือ ความหนืดที่ค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ (The zero shear viscosity) $[0.56 \text{ g} \frac{1}{\text{mm}\cdot\text{s}}]$

μ_{∞} คือ ความหนืดที่ค่าความเค้นเฉือนอนันต์ (The infinite shear viscosity) $[0.0345 \text{ g} \frac{1}{\text{mm}\cdot\text{s}}]$

n คือ พารามิเตอร์ระหว่าง 0 ถึง 1 [0.3568]

t คือ เวลาที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด [sec]

2.5.6 ความเร็วการไหลของเลือด (Blood Flow Velocity)

ความเร็วการไหลของเลือดเป็นแนวตรงแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของระบบไหลเวียน โดยเฉลี่ยความเร็วการไหลของเลือดในหลอดเลือดเออร์ตา มีค่าประมาณ 30-35 เซนติเมตร/วินาที และลดลงไปตามขนาดหลอดเลือด จนในหลอดเลือดฝอยจะลดลงเหลือเพียง 0.2-0.3 มิลลิเมตร/วินาที (รูปที่ 2.5) ถ้าปริมาตรของเลือดคงที่และเลือดไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของระบบไหลเวียนโดยปริมาตรการไหลที่เท่ากัน จะได้ว่า ความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหลผ่านหลอดเลือดแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของหลอดเลือด [16] ดังสมการ

$$V = F/A \quad (2.17)$$

โดย

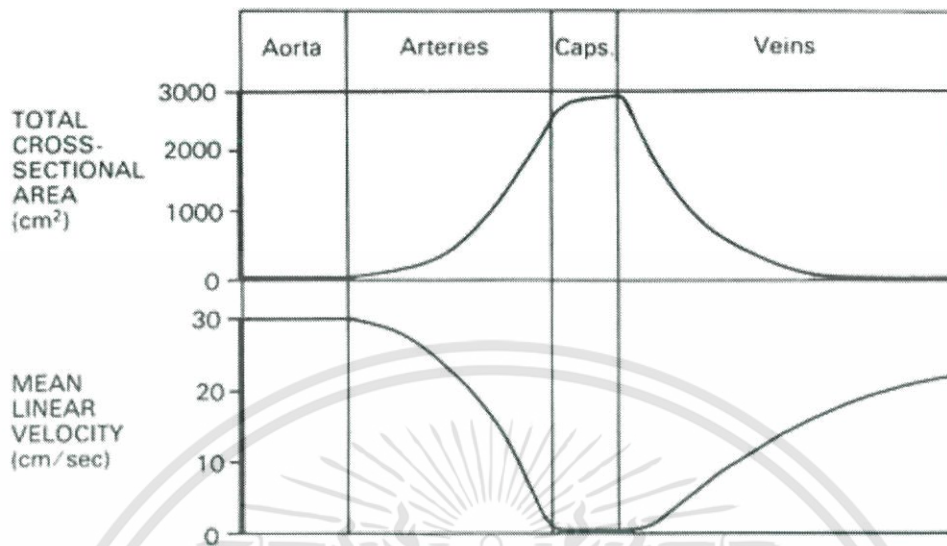
$V =$ ความเร็วการไหล (Velocity)

$F =$ ปริมาตรการไหล (Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = พื้นที่หน้าตัด (Cross-Sectional Area)



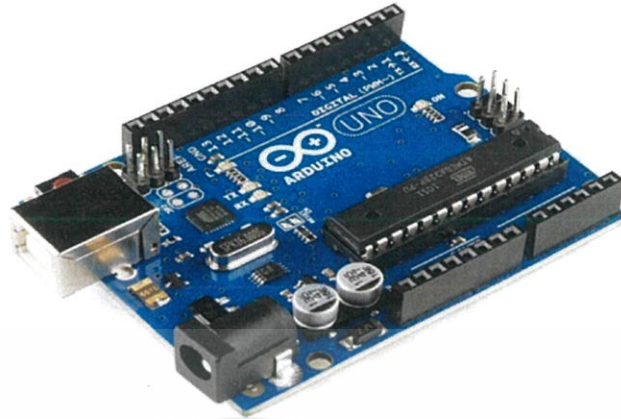
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดและความเร็วการไหลใน systemic circulation (ดัดแปลงจาก Sherwood 2001) ¹⁶

ในขณะที่ปริมาตรการไหลมีค่าคงที่ ความเร็วการไหลมีค่าสูงในหลอดเลือดที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยและความเร็วการไหลมีค่าน้อยในหลอดเลือดที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก หลอดเลือดฝอยมีพื้นที่หน้าตัดรวมมากที่สุดในร่างกายจึงพบว่ามีความเร็วการไหลน้อยหรือช้าที่สุด

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการทดลอง

2.6.1 Arduino

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไป พัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ด ของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำ โมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น [17]



รูปที่ 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ¹⁷

2.6.2 Bluetooth

Bluetooth คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วย ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การบ่อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และ ป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น

โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก อย่างเช่น ไฟล์ภาพ, เสียง, แอปพลิเคชันต่าง ๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น (ประมาณ 5-10 เมตร) นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน โดยไม่ต้องนำไปชาร์จไฟบ่อย ๆ ด้วย [18]

Bluetooth module HC05

HC05 เป็นโมดูล Bluetooth ที่ใช้งานในการเชื่อมต่อกับสมาร์ตทีวีต่าง ๆ ให้สมาร์ตทีวีสามารถสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino AVR PIC etc.) ได้ ผ่าน Serial port โมดูลรุ่น HC05 สามารถตั้งให้ใช้งานเป็นได้ทั้งโหมด Master (ให้อุปกรณ์อื่นมาเชื่อมต่อ) และโหมด Slave (เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น) การตั้งค่าต่าง ๆ เช่น ชื่ออุปกรณ์ รหัสผ่าน ทำได้ผ่าน AT Command ซึ่งจะต้องมีการต่อขาพิเศษเพื่อให้โมดูลเข้าโหมดการตั้งค่า หรือกดปุ่มบนโมดูลค้างไว้

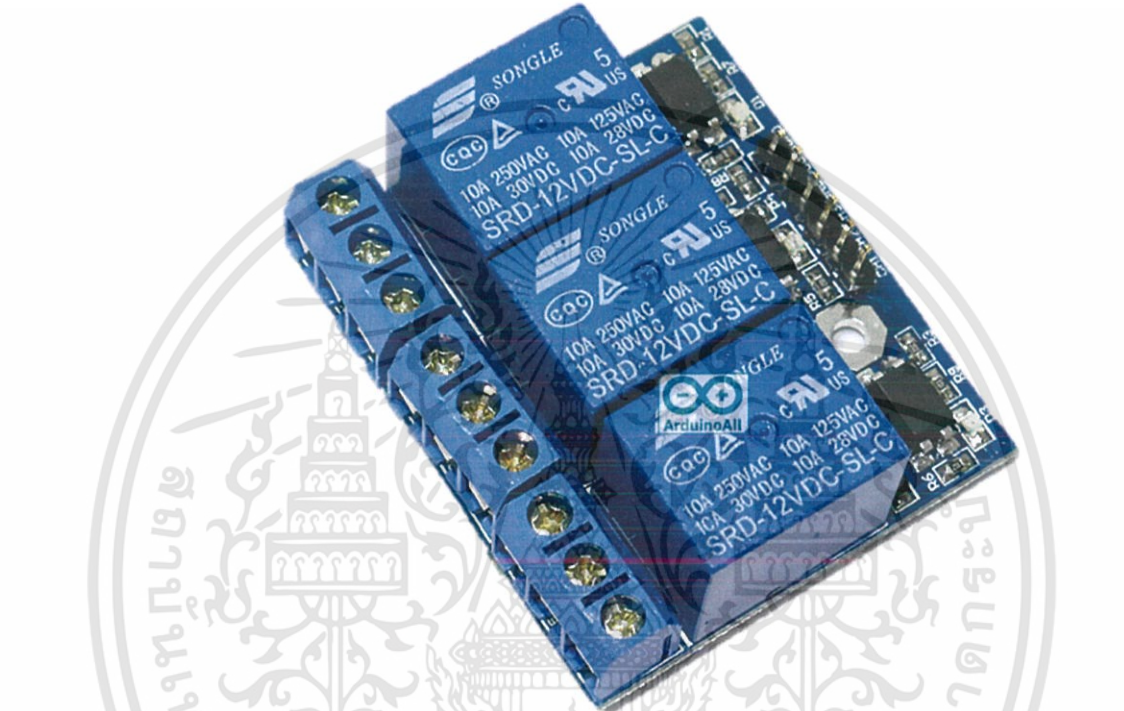
HC05 เป็นโมดูล Bluetooth ที่รองรับกับอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน (05/08/2558) มีเพียง iPhone ที่ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจาก iPhone ใช้ Bluetooth เวอร์ชัน 4.0 ต้องใช้งานโมดูล HM-10 แทน ซึ่งเป็นโมดูล Bluetooth 4.0 จึงจะสามารถนำมาใช้งานกับ iPhone ได้ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 Relay

3 Channel Optocoupler Relay Module

โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง ใช้ไฟเลี้ยง 12V มีวงจรป้องกันแบบ Optocoupler ปลอดภัยกับอุปกรณ์ควบคุม เช่น Arduino ทำงานแบบ Active High เมื่อมีไฟ 3-12V มาที่ขา CH1-CH4 รีเลย์จะทำงานบนบอร์ด มีไฟ LED แสดงสถานการณ์ทำงานของรีเลย์ทุกช่อง [20]

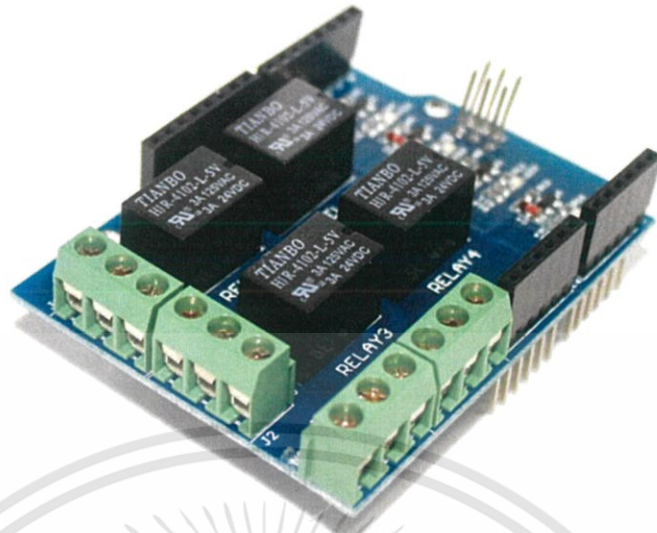


รูปที่ 2.9 3 Channel Optocoupler Relay Module ²⁰

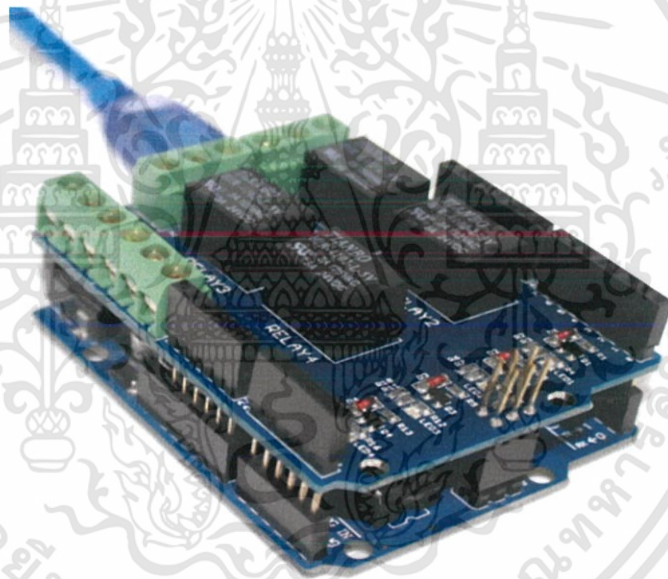
4 Channel Relay Shield Module For Arduino CATaLEX V1.0

บอร์ดชีลด์ Arduino Shield Relay 4 ช่อง รุ่น CATALEX V1.0 ขนาด 3A/125VAC หรือ 3A/24VDC ช่องต่อแบบสกรูพร้อมไฟ LED แสดงผล เสียบลงบนบอร์ด Arduino ก็สามารถควบคุมไฟผ่าน Relay ได้ รองรับ Arduino Uno , Arduino Mega2560 และ Arduino Leonardo

Relay Shield (ie 5V Quad Relay Module) เป็นอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้กันทั่วไปในโมดูลอิเล็กทรอนิกส์ ถูกนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ควบคุม high-power single-chip อย่างแพร่หลายในระบบ SCM เพื่อสร้างอุปกรณ์ smart home และสามารถเสียบเข้ากับ Arduino ได้โดยตรงลดปัญหาในการใช้สาย patch [21]



รูปที่ 2.10 4 Channel Relay Shield Module For Arduino CATaLEX V1.0 ²¹



รูปที่ 2.11 การต่อ Relay shield module กับ Arduino ²¹

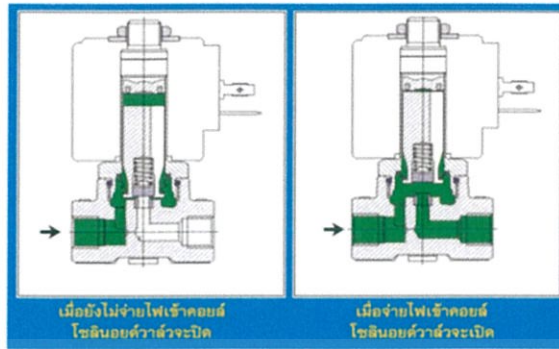
2.6.4 Solenoid Valve

หลักการการทำงานของ Solenoid Valves

โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) คือ วาล์วที่ทำงานด้วยไฟฟ้า มีทั้งชนิด 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 และ 5/3 ในการทดลองนี้ใช้เฉพาะวาล์วชนิด 2/2 ซึ่งใช้ควบคุมการ เปิดปิด ของเหลว และ ก๊าซเท่านั้น ส่วนวาล์วชนิด 3/2, 4/2, 5/2 และ 5/3 ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับระบบนิวแมติก และ ระบบไฮดรอลิก

เมื่อกล่าวถึงชนิดของวาล์วเป็นตัวเลขเช่น 2/2, 4/2 หรือ 5/2 นั้น ตัวเลขหน้าบอกถึงจำนวนทางเข้าออกของวาล์ว นั้น ๆ ว่ามีกี่ทางหรือมีกี่รู (port) ส่วนตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมายทับ (/) นั้นบอกถึงจำนวนสถานะ หรือ จำนวนตำแหน่ง (position) ของวาล์ว เช่น วาล์ว 2/2 ก็คือ วาล์วที่มี 2 ทาง และมี 2 สถานะ คือ ปิด และ เปิด ส่วนวาล์ว 5/2 ก็คือวาล์วที่มี 5 ทาง และมี 2 สถานะ เป็นต้น [22]

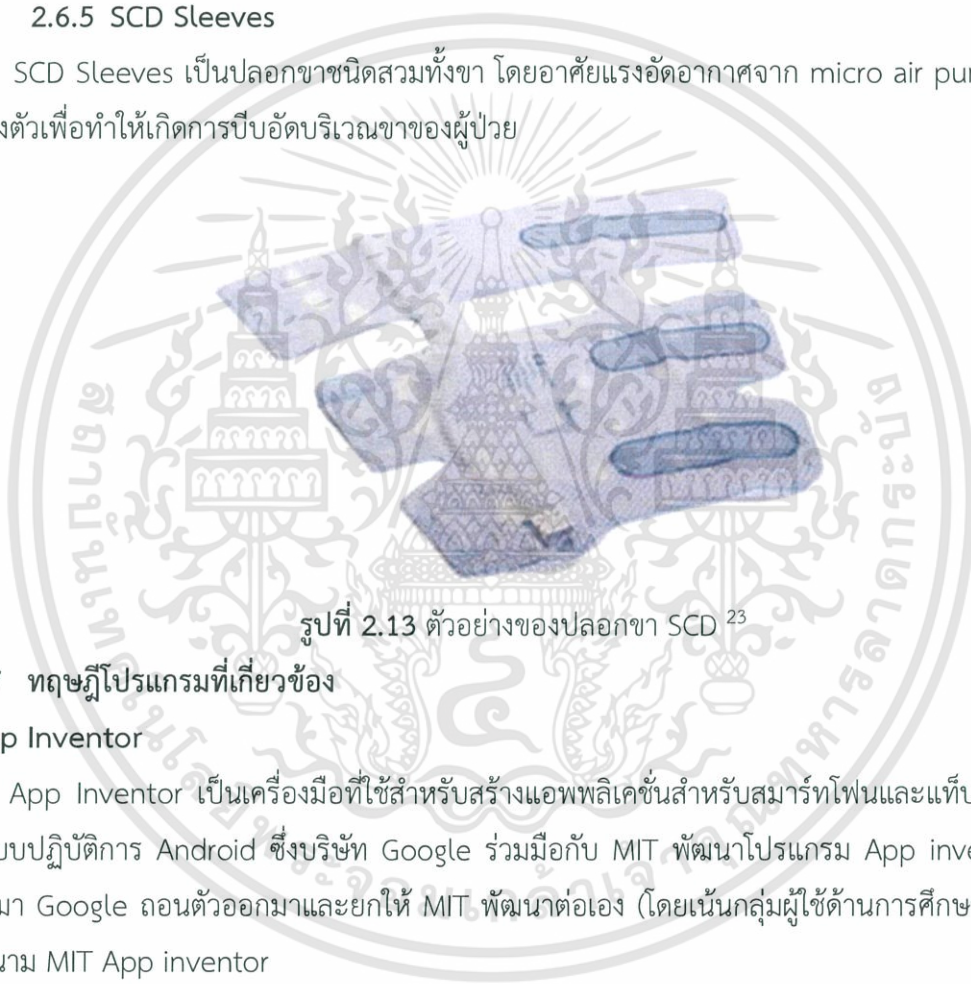
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การทำงานเบื้องต้นของโซลินอยด์วาล์ว²²

2.6.5 SCD Sleeves

SCD Sleeves เป็นปลอกขาชนิดสวมทั้งขา โดยอาศัยแรงอัดอากาศจาก micro air pump และมีการพองตัวเพื่อทำให้เกิดการบีบอัดบริเวณขาของผู้ป่วย



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของปลอกขา SCD²³

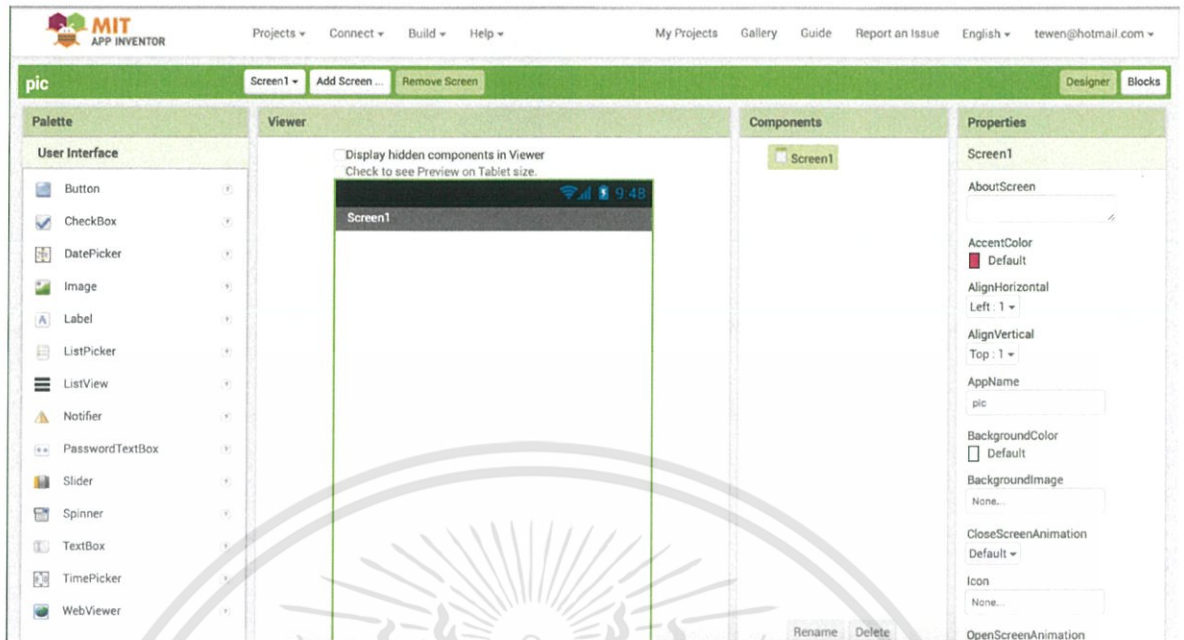
2.7 ทฤษฎีโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

App Inventor

App Inventor เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันสำหรับสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เป็นระบบปฏิบัติการ Android ซึ่งบริษัท Google ร่วมมือกับ MIT พัฒนาโปรแกรม App inventor ขึ้น ต่อมา Google ถอนตัวออกมาและยกให้ MIT พัฒนาต่อเอง (โดยเน้นกลุ่มผู้ใช้ด้านการศึกษามากกว่า) ในนาม MIT App inventor

App inventor ใช้หลักการคล้าย ๆ กับ Scratch แต่ซับซ้อนกว่า โดยลักษณะการเขียนโปรแกรมแบบ Visual Programming คือ เขียนโปรแกรมด้วยการต่อบล็อกคำสั่ง เน้นการออกแบบเพื่อแก้ปัญหา (problem solving) ด้วยการสร้างโปรแกรมที่ผู้ใช้สนใจ บนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน นอกจากนี้ยังมี App Inventor servers เป็นเครื่องมือที่ให้บริการและเก็บงานโปรเจคต่าง ๆ ที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา ผู้ใช้พัฒนาโปรแกรมมือถือ Android โดยสร้างโปรเจคและเขียนโปรแกรมบนเว็บเบราว์เซอร์ ที่เชื่อมต่อไปยัง App Inventor servers เมื่อได้โปรแกรมมา ก็สามารถทดสอบกับโปรแกรมมือถือจำลอง (Android emulator) หรือโทรศัพท์มือถือ Android จริง ๆ ได้ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หน้าต่างโปรแกรม app inventor 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยได้ออกแบบและสร้างแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะ โดยเลือกใช้ออกแบบผ่านเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันสำหรับสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เป็นระบบปฏิบัติการ Android โดยลักษณะการเขียนโปรแกรมเป็นแบบ Visual Programming นอกจากนี้มีการออกแบบและสร้างวงจรสำหรับเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะ มีวิธีการออกแบบและสร้างดังต่อไปนี้

3.1 การเลือกใช้อุปกรณ์

3.1.1 Arduino UNO

Arduino UNO ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของวงจร pneumatic pump โดยรับค่าการทำงานผ่าน Bluetooth และนำมาประมวลผลเพื่อสั่งให้ pump และ valve ทำงาน

3.1.2 Bluetooth module HC05

ในการทดลองแอปพลิเคชันที่ผู้ทดลองจัดทำขึ้น เป็นแอปพลิเคชันที่ถูกเขียนขึ้นมาจากคำสั่งแอนดรอยด์ แอปพลิเคชันจึงสามารถใช้งานได้เฉพาะในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ดังนั้นผู้จัดทำจึงเลือกใช้ module HC05

3.1.3 Relay เลือกใช้ relay 2 ชนิด ดังนี้

3 Channel Optocoupler Relay Module

สำหรับ Optocoupler Relay Module นำมาใช้เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของ valve สำหรับปล่อยลมออก โดยรับคำสั่งมาจาก Arduino

4 Channel Relay Shield Module For Arduino CATaLEX V1.0

ในการทดลองใช้ Relay shield module ในการควบคุมการทำงานของ pump และ valve ตามจังหวะเวลาที่กำหนด โดย module นี้มีการทำงานแบบ Active High

3.1.4 Solenoid Valve

การทำงานจะถูกควบคุมโดย Arduino ที่ได้รับคำสั่งมาจากแอปพลิเคชัน

3.1.5 Micro air pump

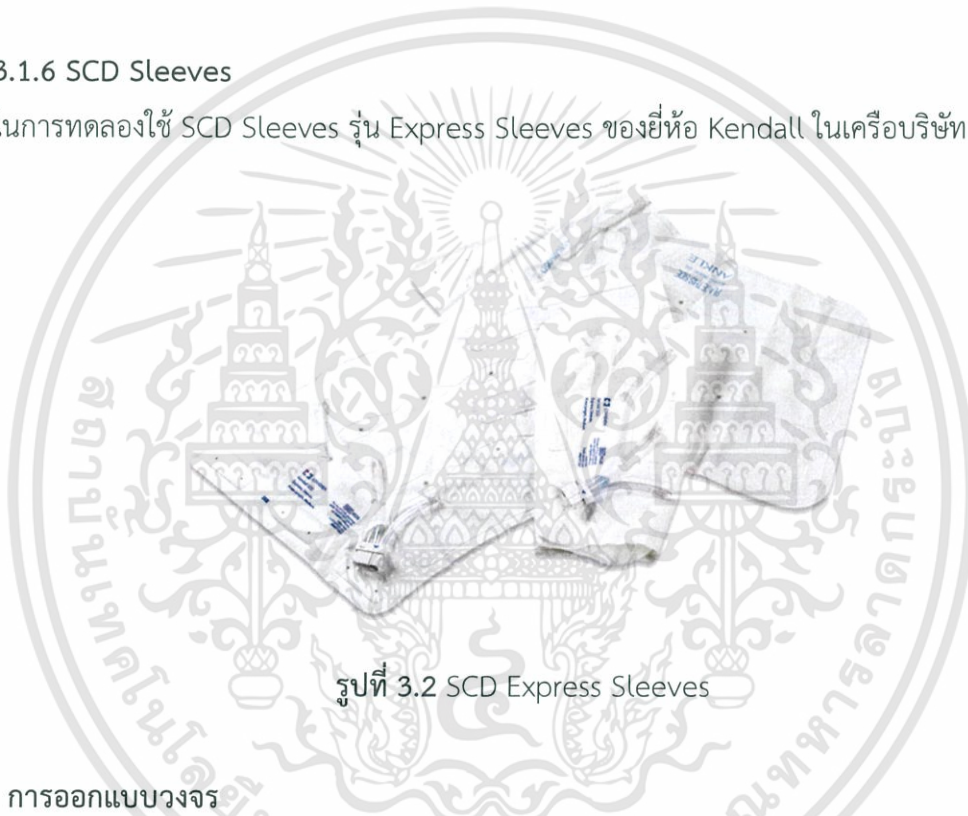
Micro air pump ใช้สำหรับผลิตแรงดันลมในการอัดเข้าไปในปอดขวา โดยการทำงานจะถูกควบคุมโดย Arduino ที่ได้รับคำสั่งมาจากแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.1 Micro Air Pump

3.1.6 SCD Sleeves

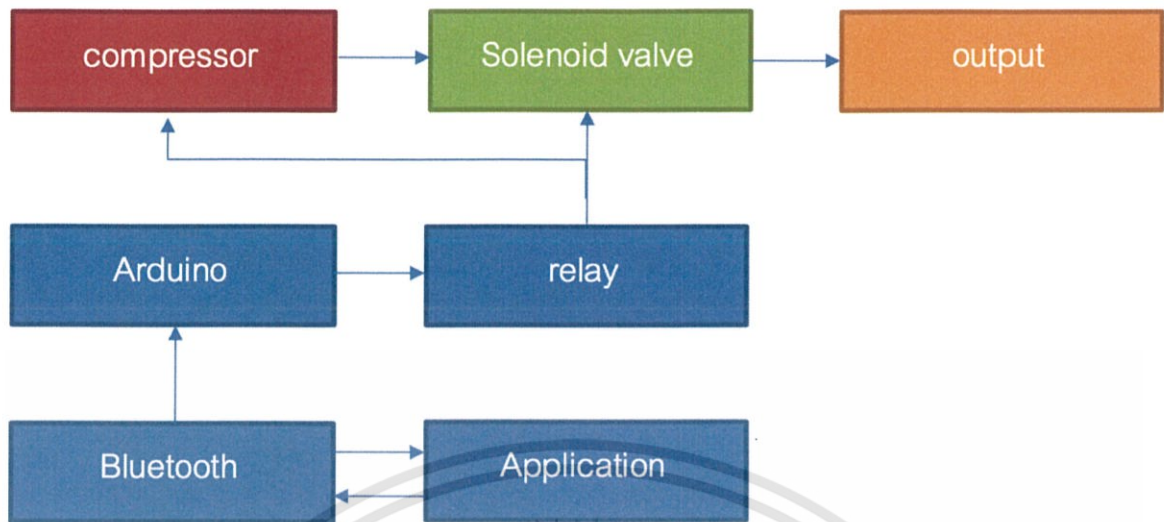
ในการทดลองใช้ SCD Sleeves รุ่น Express Sleeves ของยี่ห้อ Kendall ในเครื่องบริษัท Covidien



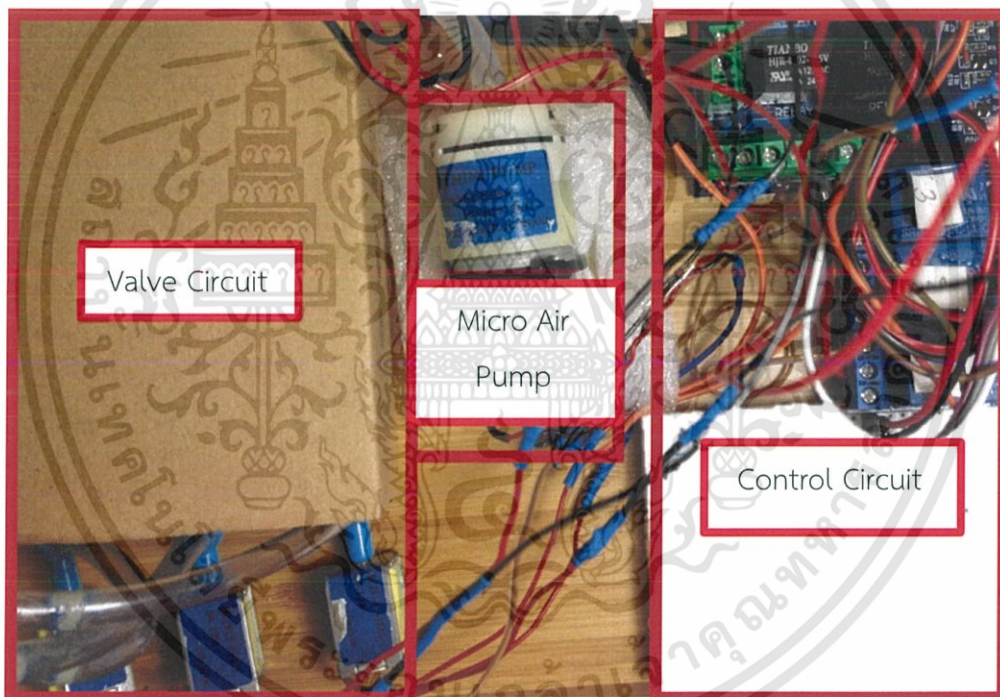
รูปที่ 3.2 SCD Express Sleeves

3.2 การออกแบบวงจร

- เริ่มจากศึกษาการทำงานของเครื่อง Kendall SCD express compression
- เขียน flowchart การทำงานของเครื่อง
- ออกแบบ flowchart การทำงานของเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง
- ต่อดวงจรการทำงานของเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 flowchart การทำงานของเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรสำหรับเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การออกแบบแอปพลิเคชัน

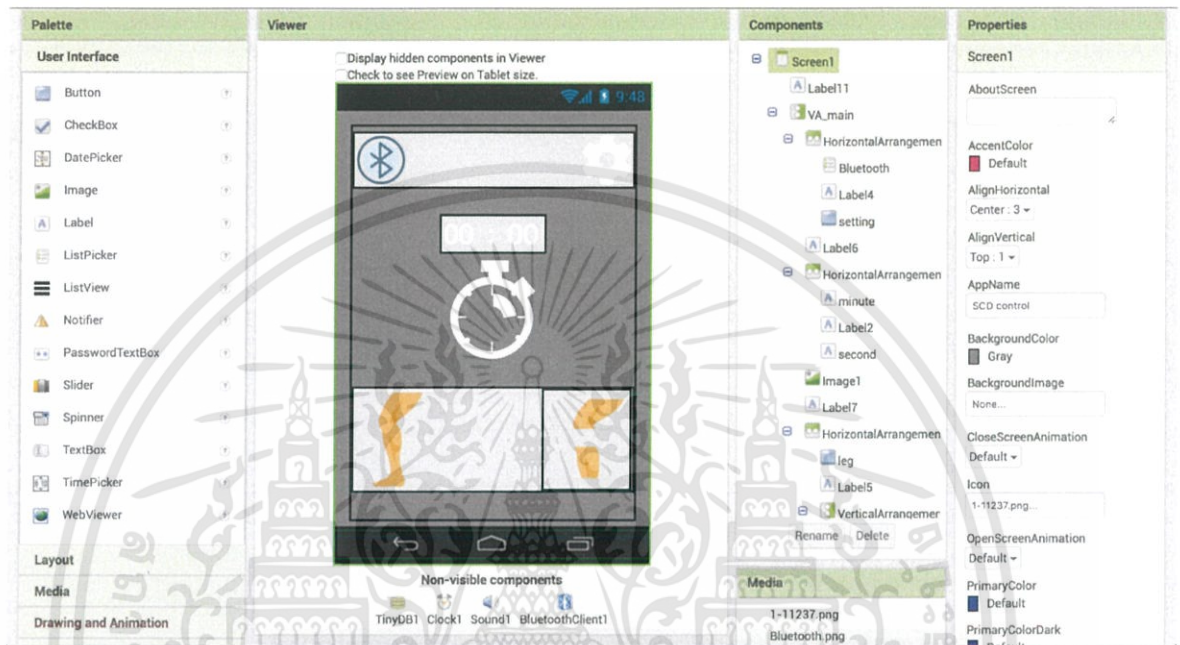
เนื่องจากการเวลาที่จำกัดในการศึกษาและทดลอง ในการออกแบบแอปพลิเคชันจึงมุ่งเน้น ออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอย (Andriod) การออกแบบสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยนั้นมีความง่ายและไม่ซับซ้อน อีกทั้งการดาวน์โหลดและติดตั้งบนสมาร์ตโฟนสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยสามารถทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบและสร้างแอปพลิเคชัน ผู้จัดทำเลือกใช้โปรแกรม App inventor 2 ในการออกแบบ เนื่องจากมีลักษณะการทำงานที่ง่าย และสามารถเขียนแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้จัดทำ

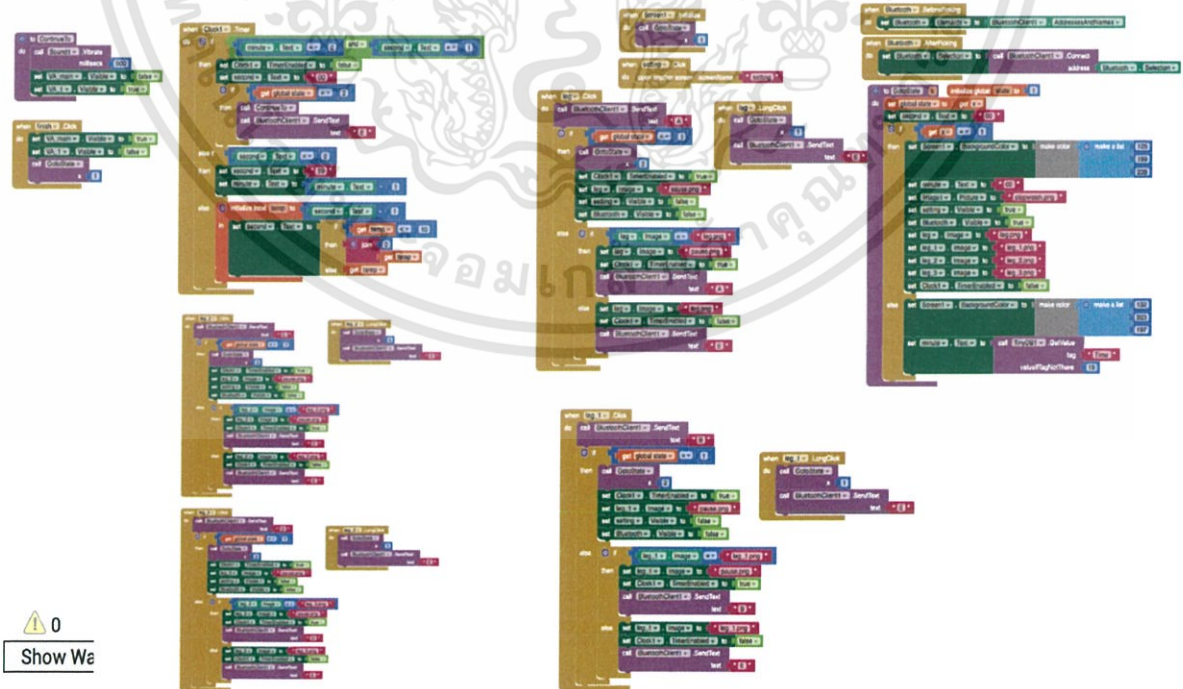
ขั้นตอนการออกแบบแอปพลิเคชัน

- เริ่มต้นออกแบบหน้าต่างของแอปพลิเคชัน



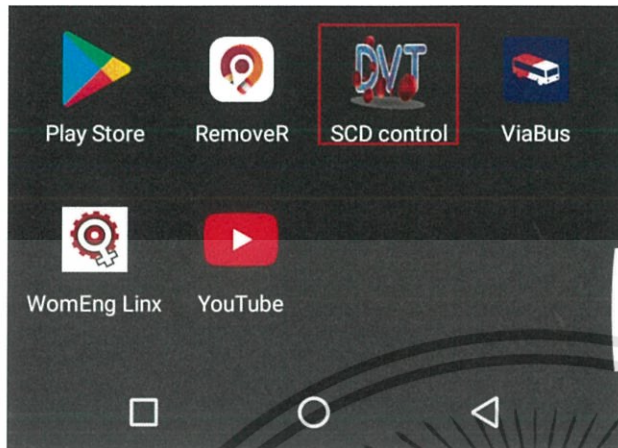
รูปที่ 3.5 การออกแบบหน้าต่างแอปพลิเคชัน

- เขียนคำสั่งการทำงานภายในแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.6 Block diagram คำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานภายในแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

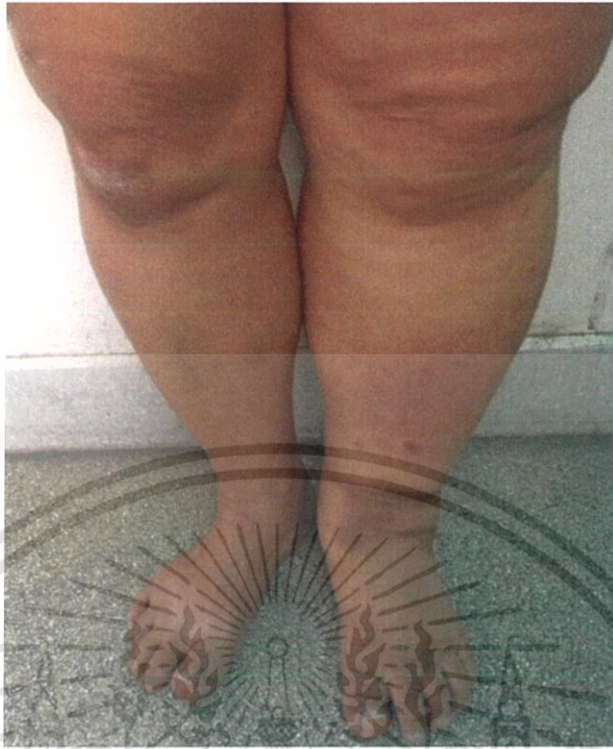


รูปที่ 3.7 ไอคอนแอปพลิเคชัน

3.4 การทดลอง

ในการทดลองมีอาสาสมัครทั้งหมด 10 คน ซึ่งเป็นผู้ป่วยที่มีอาการขาบวมเนื่องจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำบริเวณขา โดยแบ่งผู้ทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มควบคุม โดยใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD Express ยี่ห้อ Kendall ของบริษัท Convidien กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง โดยใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะจากการทดลอง และใช้แอปพลิเคชันในการควบคุม

1. เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญวัดความเร็วในการไหลเวียนกลับของหลอดเลือดดำบริเวณขาของผู้ป่วยก่อนการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ
2. เริ่มการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ ในผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่ม
3. หลังการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญทำการวัดความเร็วในการไหลเวียนกลับของหลอดเลือดดำบริเวณขาของผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่ม
4. เนื่องจากอาสาสมัครทุกคน เคยได้รับการรักษาโดยใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน ดังนั้นจึงให้ผู้ป่วยในกลุ่มที่ 2 ทำการประเมินเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะทั้ง 2 รุ่น



รูปที่ 3.8 ผู้ป่วยที่มีอาการขาบวมเนื่องจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำบริเวณขา



รูปที่ 3.9 การใส่ SCD Express Sleeves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดแรงดันการไหลเวียนเลือดกลับ

ในการทดลองได้แบ่งผู้ป่วยออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มควบคุม โดยใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD Express ยี่ห้อ Kendall ของบริษัท Covidien กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง โดยใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะจากการทดลอง และใช้แอปพลิเคชันในการควบคุม โดยวัดผลการทดลองด้วยการวัดความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำโดยเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลศิริราช และใช้เครื่องฟังเสียงสะท้อนการไหลเวียนเลือดด้วยเครื่องดอปเปลอร์ ยี่ห้อ Bestman รุ่น vascular doppler detector BV-620V



รูปที่ 4.1 เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD Express ยี่ห้อ Kendall



รูปที่ 4.2 Bestman รุ่น vascular doppler detector BV-620V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มแรกที่ได้ทำการทดลองได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำก่อนและหลังการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน รุ่น SCD Express ยี่ห้อ Kendall ของบริษัท Covidien

ลำดับผู้ป่วย	เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน ความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำ(ซม./วินาที)	
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
คนที่ 1 เพศ หญิง อายุ 54 ปี	10.37	10.59
คนที่ 2 เพศ หญิง อายุ 45 ปี	10.40	10.60
คนที่ 3 เพศ หญิง อายุ 49 ปี	10.46	10.60
คนที่ 4 เพศ หญิง อายุ 41 ปี	10.37	10.40
คนที่ 5 เพศ ชาย อายุ 57 ปี	10.59	10.70
ค่าเฉลี่ย	10.44	10.62

กลุ่มที่ 2 ที่ได้ทำการทดลองได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำก่อนและหลังการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะที่ใช้ในการทดลอง และใช้แอปพลิเคชันในการควบคุม

ลำดับผู้ป่วย	เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะที่ใช้ในการทดลอง ความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำ(ซม./วินาที)	
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
คนที่ 1 เพศ ชาย อายุ 56 ปี	10.58	10.68
คนที่ 2 เพศ หญิง อายุ 40 ปี	10.40	10.44
คนที่ 3 เพศ ชาย อายุ 30 ปี	10.42	10.56
คนที่ 4 เพศ หญิง อายุ 55 ปี	10.39	10.40
คนที่ 5 เพศ ชาย อายุ 47 ปี	10.47	10.50
ค่าเฉลี่ย	10.45	10.52

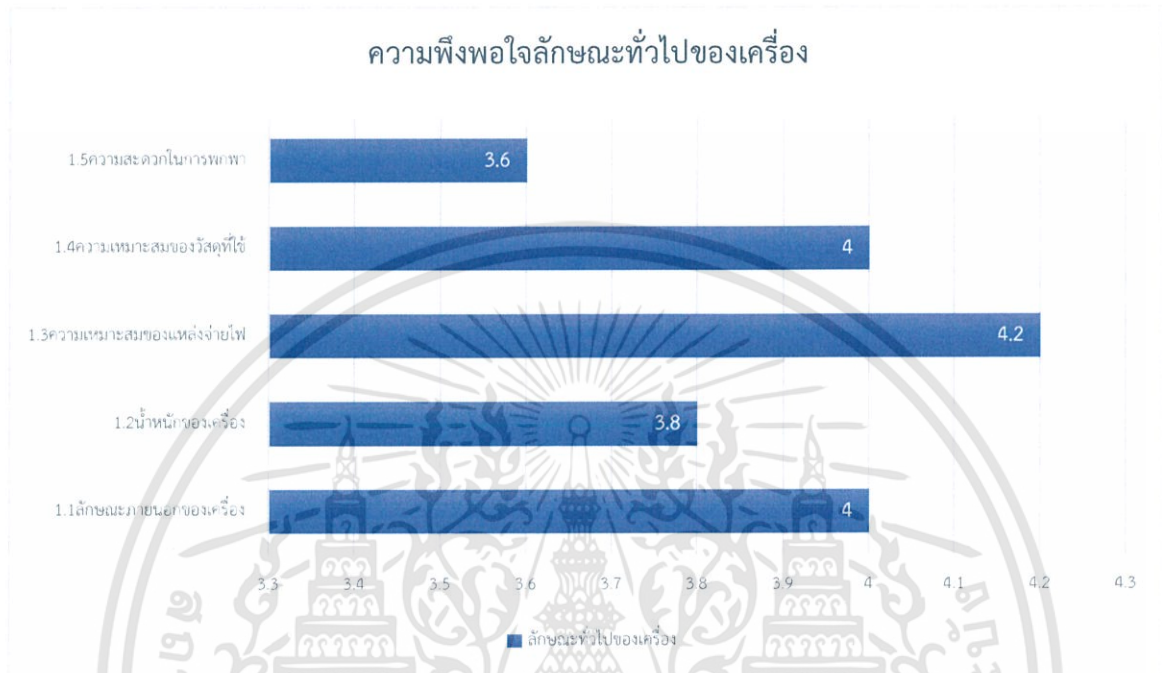
จากการทดลองไม่มีการควบคุมเพศและอายุ รวมทั้งลักษณะทางกายภาพในด้านการแพทย์ของผู้ทดลองเนื่องจากระยะเวลาที่มีจำกัดในการศึกษา และจากผลการทดลองพบว่าเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะสามารถเพิ่มความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำได้ โดยประสิทธิภาพของเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะแบบมาตรฐานมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องด้วยเครื่องได้รับการ calibrate แรงดันอย่างสม่ำเสมอ ส่วนเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะที่ใช้ในการทดลองมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า แต่สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะแบบมาตรฐาน (จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วการไหลเวียนกลับของเลือดดำตามตารางที่ 4.1 และ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

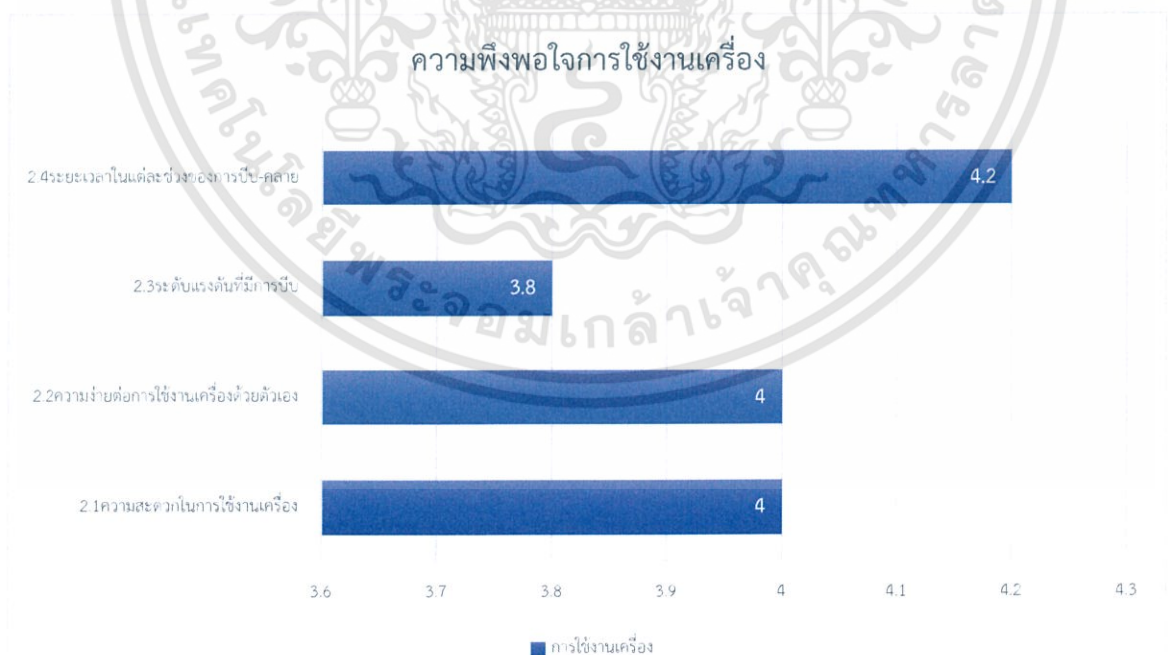
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวัดความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชัน

จากแบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ ได้ผลดังนี้



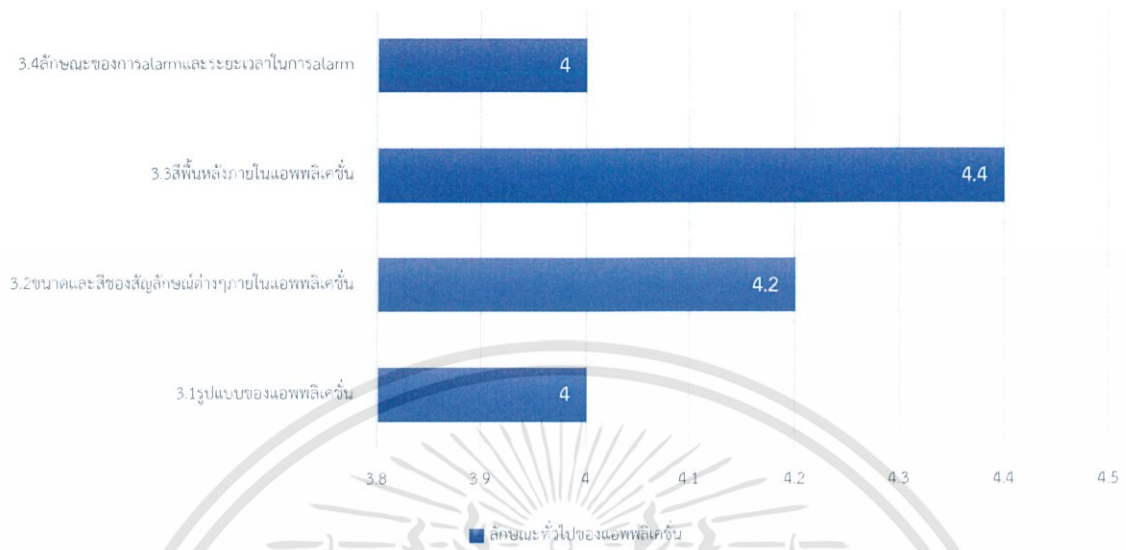
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจลักษณะทั่วไปของเครื่อง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจการใช้งานเครื่อง

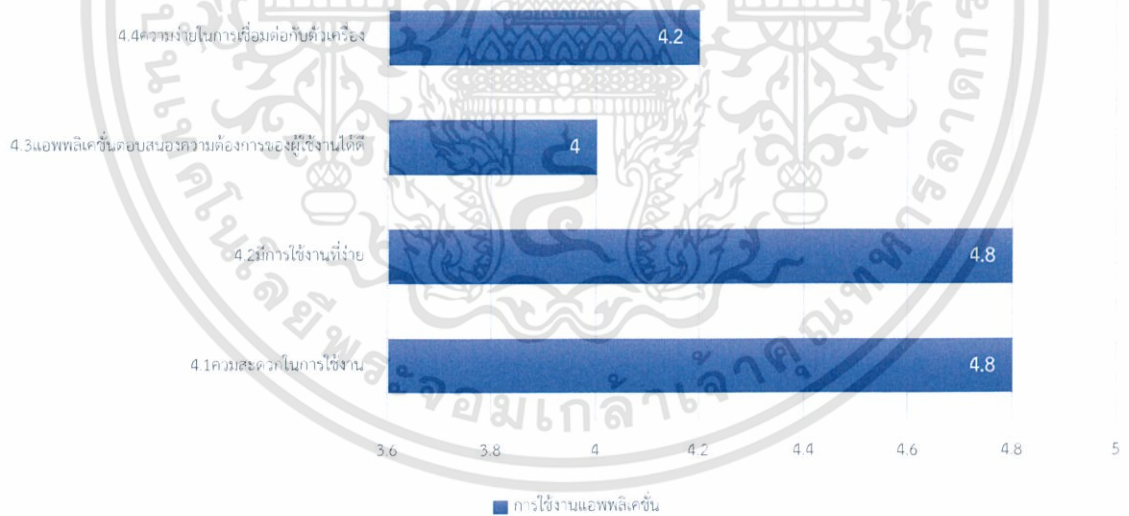
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพึงพอใจลักษณะทั่วไปของแอปพลิเคชัน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจลักษณะทั่วไปของแอปพลิเคชัน

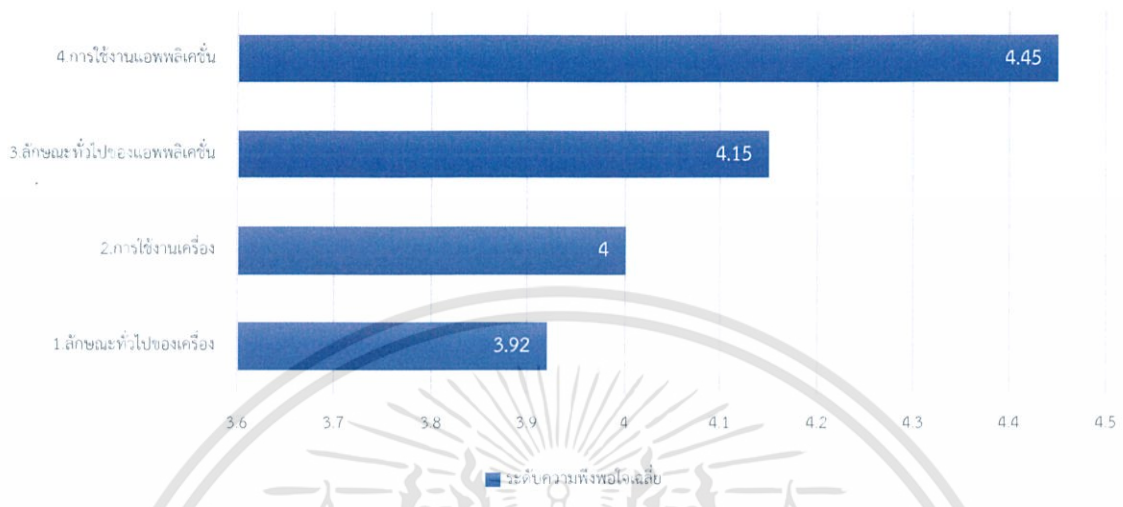
ความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องบีบไล่
เลือดเป็นจังหวะ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย

จากการทำแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมเครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะ โดยอาสาสมัครในกลุ่มที่ 2 เป็นผู้ประเมิน พบว่าความพึงพอใจในลักษณะทั่วไปของเครื่องอยู่ในระดับที่ดี (3.92) ความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอยู่ในระดับที่ดี (4) ความพึงพอใจในลักษณะทั่วไปของแอปพลิเคชันอยู่ในระดับที่ดี (4.15) และความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันอยู่ในระดับที่ดี (4.45) ดังนั้นความพึงพอใจโดยรวมจึงถือว่าอยู่ในระดับที่ดี

โดยผู้ประเมินได้เสนอแนะในสิ่งที่ควรนำไปพัฒนาต่อไปดังนี้

- เสนอให้มีการเพิ่ม function บางอย่างใน application เช่น สามารถ record ข้อมูลย้อนหลังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป
- เสนอในเรื่องของการพกพาเครื่อง โดยสามารถคาดเอวหรือสะพายหลังได้ ไม่ต้องถือหรือเข็นเพื่อความง่ายและสะดวกต่อการพกพามากขึ้น
- เสนอให้มีความสามารถในการปรับระดับความแรงของ Pressure ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วของการไหลเวียนกลับของเลือดดำได้ดียิ่งขึ้น
2. เครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะที่ประดิษฐ์ขึ้นมามีประสิทธิภาพใกล้เคียงเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะมาตรฐาน แต่ค่าความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำมีค่าที่ต่ำกว่า อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยทั้งทางด้านของกายภาพของตัวผู้ป่วยเนื่องจากไม่มีการควบคุมอายุ เพศ รวมไปถึงลักษณะทางกายภาพทางการแพทย์ต่าง ๆ หรืออาจเกิดจากตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากปั๊มและวาล์วที่ใช้ในการทดลองไม่ได้ผ่านการ calibrate ก่อนนำมาใช้และเป็นอะไหล่ที่ถูกแทงชำรุดมาจากทางบริษัท ด้วยปัจจัยเหล่านี้จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการใช้งานได้
3. แอปพลิเคชันสามารถทำงานควบคุมการทำงานของเครื่องได้ตรงตามต้องการ อาจมีดีเลย์ในบางครั้งเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้เวลาในการรับค่าและประมวลผล
4. แอปพลิเคชันมีความเหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานตามผลที่ได้มาจากการประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันควบคุมการทำงานของเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะ
5. ระยะเวลาในการเปิดใช้งานเครื่องอย่างต่อเนื่องพบว่าเครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะสามารถใช้งานได้นานกว่าเนื่องจากการเสียบสายกับแหล่งจ่ายไฟตามบ้าน แต่เครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะที่ประดิษฐ์ขึ้นมาให้แหล่งจ่ายไปเป็นแบตเตอรี่ชนิดใช้ครั้งเดียว ไม่สามารถชาร์จได้ จึงมีระยะเวลาในการใช้งานที่สั้นกว่า โดยสามารถใช้งานอย่างต่อเนื่องได้นานสุดไม่เกิน 1 ชม.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับวงจรกำเนิดแรงดัน ควรใช้ปั๊มและวาล์วที่ผ่านการ calibrate มาแล้ว เพื่อลดข้อผิดพลาดในการใช้งานให้น้อยลง
2. การเลือกกลุ่มทดลอง ควรมีการควบคุมปัจจัยทางกายภาพในหลาย ๆ ด้าน เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง เพศ เป็นต้น
3. หากสามารถลดขนาดของปั๊มและวาล์วได้ จะทำให้สามารถลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องลงได้

4. แหล่งจ่ายไฟควรเปลี่ยนมาใช้แบตเตอรี่แบบชาร์จได้ เพื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้งานให้นานขึ้น และลดต้นทุนให้กับผู้ป่วยในการต้องซื้อแบตเตอรี่เปลี่ยนบ่อยครั้ง การที่สามารถใช้แบตเตอรี่โดยไม่ต้องต่อไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟตลอดเวลา เป็นเป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้งานให้กับผู้ป่วยในกรณีที่ต้องเดินทางไปในสถานที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ ณ ขณะนั้น



เอกสารอ้างอิง

1. 2559. หลอดเลือดดำลึก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/หลอดเลือดดำลึก>.
2. 2560. ภาวะหลอดเลือดดำอุดตัน. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.honestdocs.co/deep-vein-thrombosis>.
3. 2560. โรคหลอดเลือดดำชั้นลึกอุดตัน และความเสี่ยงในผู้สูงอายุ. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.honestdocs.co/deep-vein-thrombosis-risk-elderly>.
4. นิภาพร รัตนมูล. “DVT Recognition and Prophylaxis.” สไลด์. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
5. 2559. หลอดเลือดดำผิว. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/หลอดเลือดดำผิว>.
6. สุขนธ์ วิสุทธิพันธ์. 2541. “แนวโน้มการเกิดลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำลึกในประเทศไทย.” หน้า 283-302. ใน วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล.
7. Deep vein thrombosis. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา.
8. สมาคมมะเร็งนรีเวชไทย. 2557. แนวทางดูแลภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำในผู้ป่วยมะเร็งนรีเวช. กรุงเทพฯ.
9. อรุณี เจตศรีสุภาพ. 2558. ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ (Venous thrombosis). [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://haamor.com/th/ภาวะลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ/>.
10. อัจฉรา สุคนธรสรพ์, ผู้แปล. 2551. ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับการปฏิบัติที่เป็นเลิศสำหรับนักวิชาชีพด้านสุขภาพ. เล่มที่12 พิมพ์ครั้งที่4. เชียงใหม่ : คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
11. สนิธิป พัฒนาคูหา, ปิชญพร คำเมืองลือ, สยาม ทองประเสริฐ, อภิชนา ไชวินทะ และอดิศักดิ์ ตันติวรวิทย์. 2561. “การป้องกันภาวะลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดดำสำหรับผู้บาดเจ็บไขสันหลัง.” หน้า 24-31. ใน เวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร. เชียงใหม่ : คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
12. กันตา ชื่นจิต. 2557. “ผลของโปรแกรมการออกกำลังกายร่วมกับการนวดกดจุดสะท้อนฝ่าเท้า ต่อความเสี่ยงในการเกิดภาวะหลอดเลือดดำอุดตันในผู้ป่วยหลังผ่าตัดช่องท้อง.” วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพยาบาลศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
13. สุพรรณนิการ์ ทองผา, ประณีต ส่งวัฒนา และวิภา แซ่เจี๋ย. 2553. “การเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็วในการไหลเวียนกลับของเลือดดำบริเวณขาหนีบภายหลังการนวดกดจุดสะท้อนฝ่าเท้าและการใช้เครื่องบีบไล่เลือดเป็นจังหวะในผู้ป่วยอุบัติเหตุ.” หน้า 127-141. ใน วารสารสภาการพยาบาล. สงขลา : คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. พรทิพย์ สารีโส และ เกศรินทร์ อุทธิยะประสิทธิ์. 2552. “การประยุกต์ใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ เพื่อป้องกันหลอดเลือดดำอุดตันในผู้ป่วยอายุรกรรม-ศัลยกรรมศาสตร์.” หน้า 27-36. ใน วารสาร วิทยาศาสตร์การพยาบาล. กรุงเทพฯ : คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
15. สมพจน์ คำแก้ว. 2554. “การจำลองเชิงตัวเลขการไหลของเลือดในเส้นเลือดหัวใจตีบและเส้นเลือดบายพาส.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
16. 2561. ความเร็วการไหลของเลือด. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.cai.md.chula.ac.th/lesson/lesson4711/html/page03.html#>.
17. 2561. บทความ Arduino คืออะไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คือ-คือ-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html>.
18. กฤษณ์ เตตตานนท์สกุล. 2561. บลูทูธ “พันสีฟ้า” เทคโนโลยีไร้สายสำหรับอนาคต. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.siamphone.com/news/bluetooth/page.htm>.
19. 2559. การใช้งาน Bluetooth module HC05 แบบละเอียด. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.ioxhop.com/article/26/การใช้งาน-bluetooth-module-hc05-แบบละเอียด>.
20. 2561. Arduino Relay 3 Channel Optocoupler Relay Module 12V 10A รีเลย์ 12v 3ช่อง ทำงานแบบ Active High. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.arduinoall.com/product/2123/arduino-relay-3-channel-optocoupler-relay-module-12v-10a-รีเลย์-12v-3ช่อง-ทำงานแบบ-active-high>.
21. 2561. รีเลย์ 4 ช่อง Arduino Shield Four Channel Relay Electronic 5V 4 Channel Relay Shield Module For Arduino CATaLEX V1.0. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.arduinoall.com/product/467/รีเลย์-4-ช่อง-arduino-shield-four-channel-relay-electronic-5v-4-channel-relay-shield-module-for-ardu-2>.
22. 2559. หลักการทำงานของ Solenoid Valve. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-solenoid-valve/>.
23. 2559. Kendall SCD Comfort Sleeves. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.vitalitymedical.com/scd-sequential-compression-comfort-sleeves.html>.
24. 2561. App inverter คืออะไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://programmingappinventor.wordpress.com/รู้จักกับ-app-inventor/app-inventor-คืออะไร/>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

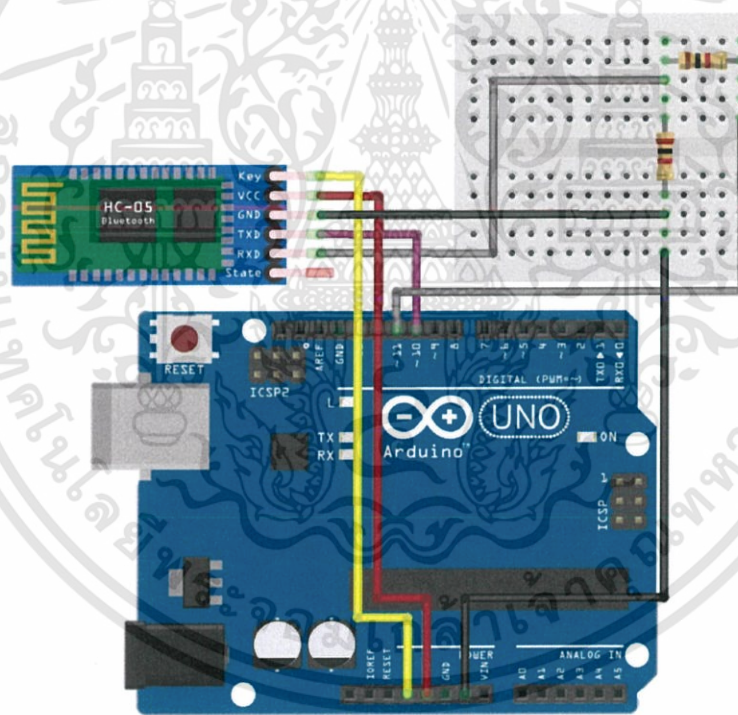
การใช้งาน Bluetooth HC-05

การเริ่มต้นใช้งาน HC05

เริ่มต้นใช้งาน HC05 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การต่อวงจรตั้งค่า

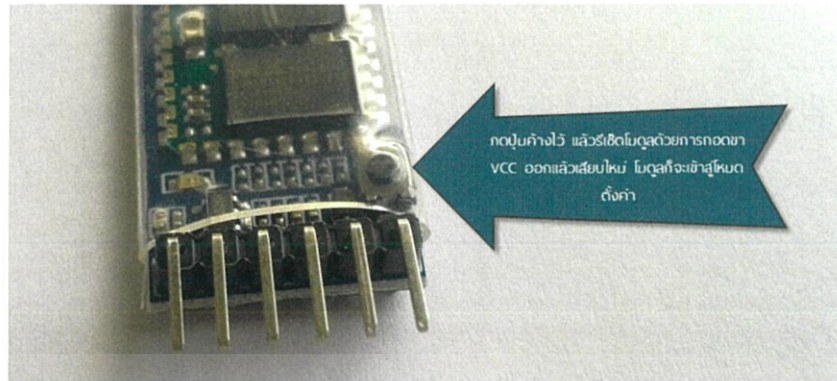
โมดูล HC05 ใช้การสื่อสารผ่าน Serial port กรณีที่มีโมดูล USB TTL to UART อยู่แล้ว สามารถนำมาต่อใช้งานเข้ากับโมดูลได้เลย โดยโมดูลใช้แหล่งจ่ายไฟที่ 5V แต่ขา Tx ของโมดูล USB TTL to UART จะต้องมีการต่อวงจรเพื่อดรอปแรงดันลง เนื่องจากโมดูล HC05 ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3V แต่ขา Tx ของโมดูล USB TTL to UART มีแรงดันไฟฟ้าที่ 5V หากนำมาเชื่อมต่อกันโดยตรงอาจทำให้โมดูลพังเสียหายได้ กรณีที่มีบอร์ด Arduino อยู่ ก็สามารถนำมาใช้งานได้เช่นกัน โดยต่อวงจรต่อไปนี้



รูปที่ ก1 การต่อวงจรตั้งค่า

- การทำให้โมดูลอยู่ในโหมดตั้งค่านั้นต้องต่อขา KEY ให้สถานะเป็น HIGH หรือลอจิก 1
- ใน HC05 บางรุ่นจะไม่มีขา KEY ให้ต่อ ต้องใช้วิธีการกดปุ่มบนโมดูลค้างไว้ แล้วจึงค่อยต่อขา VCC เข้าไปเพื่อจ่ายไฟ ขา EN และขา STATE ปลอยวางไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก2 การเข้าสู่โหมดตั้งค่าในกรณีไม่มีขา KEY

และอัปโหลดโค้ดต่อไปนี้ลงไปในบอร์ด

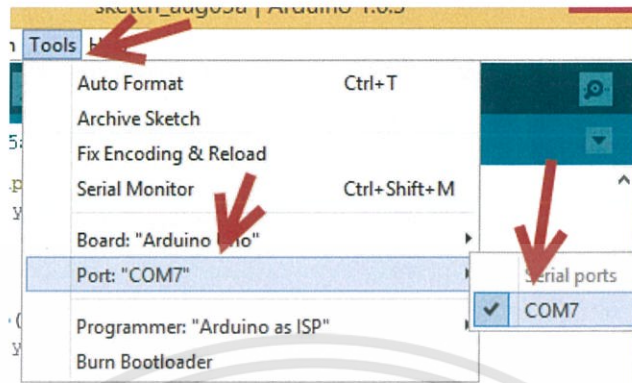
```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(10, 11) ; //RX, TX
void setup()
{
  Serial.begin(38400) ;
  while(!Serial);
  MySerial.begin(38400) ;
}
void loop()
{
  if(mySerial.available())
    Serial.write(mySerial.read()) ;
  if(Serial.available())
    mySerial.write(Serial.read()) ;
}
```

2. การใช้คำสั่ง AT

ใช้โปรแกรม Arduino IDE สำหรับส่งคำสั่งผ่าน Serial เปิดโปรแกรม Arduino ขึ้นมา ในขั้นตอนนี้ให้เสียบบอร์ด Arduino ที่ต่อกับ HC05 แล้วเลือกพอร์ตให้ถูกต้อง หากไม่ทราบว่าอุปกรณ์ที่เสียบอยู่พอร์ตใด ให้ไปที่คลิกขวาที่ My Computer (ใน Windows 8.1 ใช้คำว่า This PC) เลือกเมนู Manage ในช่องด้านขวา คลิกที่ Device Manager แล้วหาตรง Com port หากไม่เจอ ลองถอดสาย USB ออกก่อน แล้วเสียบเข้าไปใหม่ หากเจอแล้วให้ดับเบิลคลิกเพื่อดูรายชื่อพอร์ตทั้งหมดที่สามารถเชื่อมต่อได้ หากมีตัวเดียวก็สามารถนำไปตั้งในโปรแกรมได้เลย

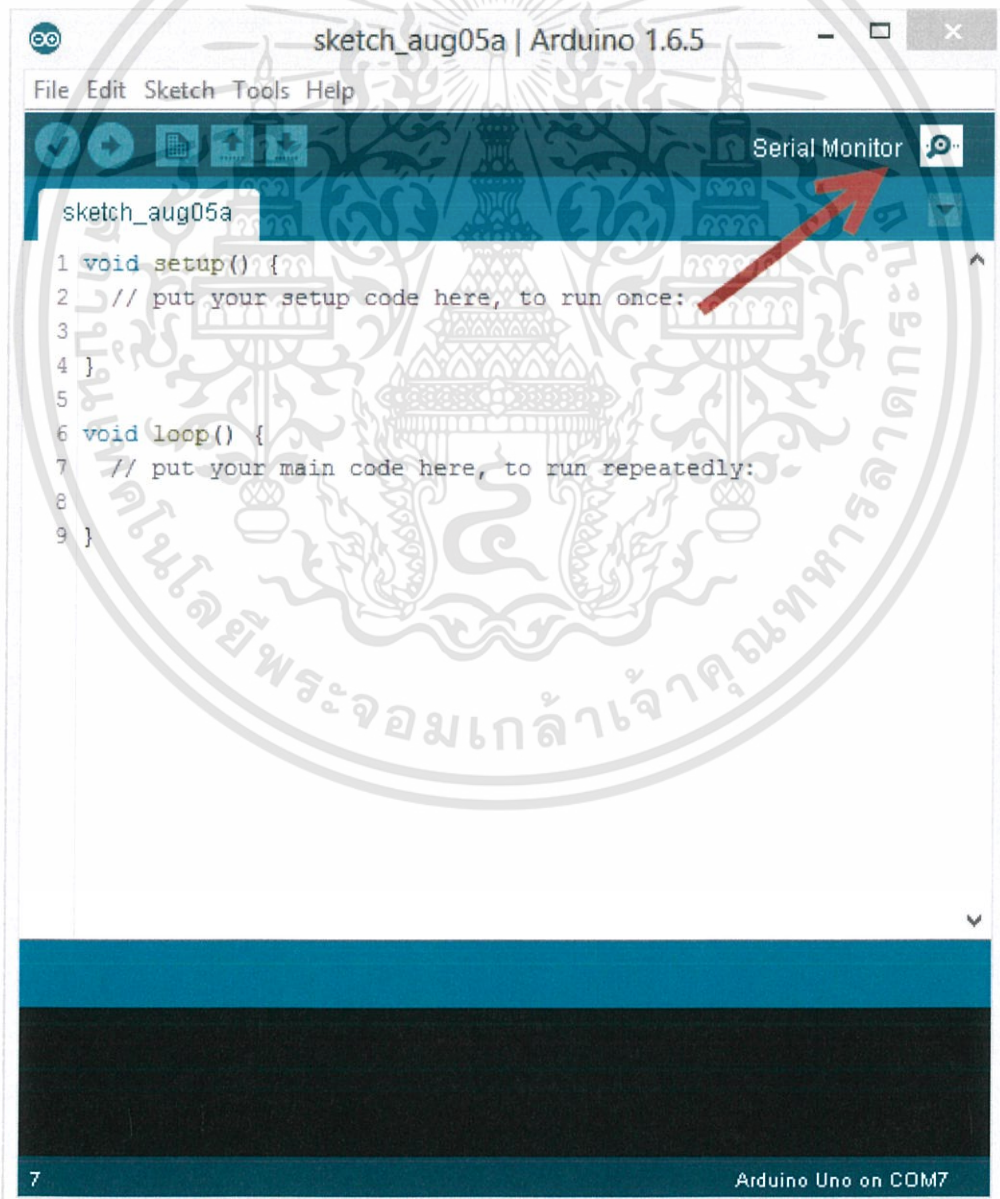
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ชื่อพอร์ตมาแล้ว ก็ไปเลือกพอร์ตในโปรแกรม Arduino IDE กดเมนู Tool > Port > เลือกพอร์ตที่ถูกต้อง



รูปที่ ก3 การเลือกพอร์ตในโปรแกรม Arduino IDE

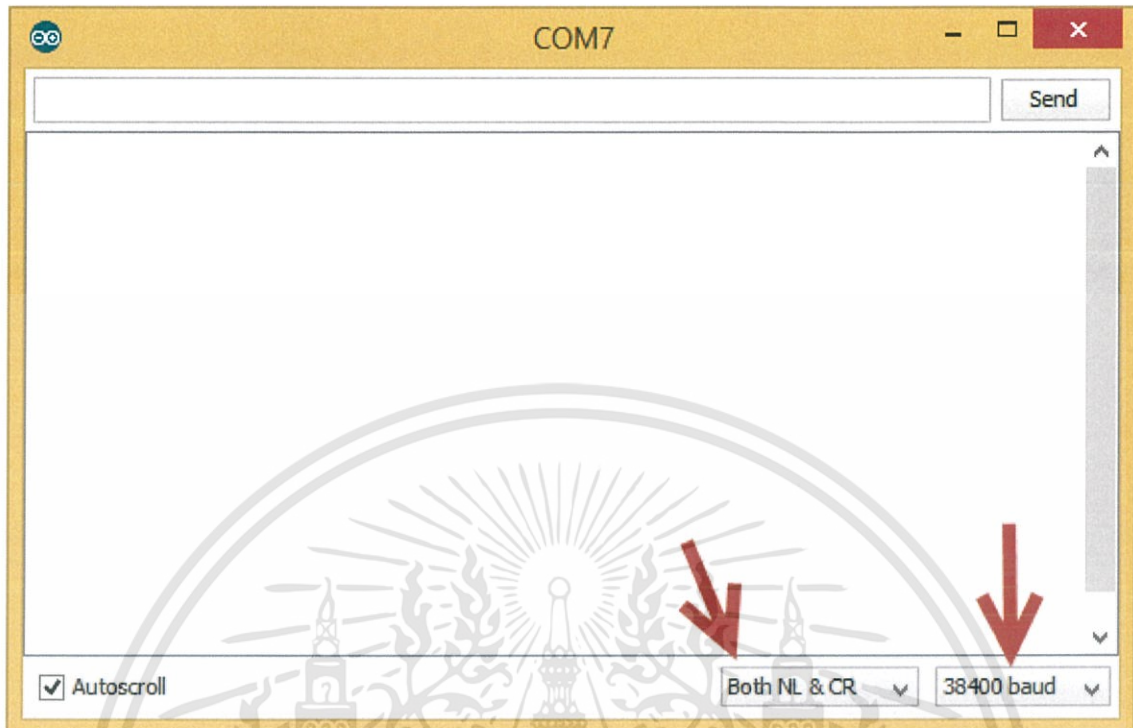
จากนั้นเปิด Serial Monitor ขึ้นมา



รูปที่ ก4 ตำแหน่ง serial monitor

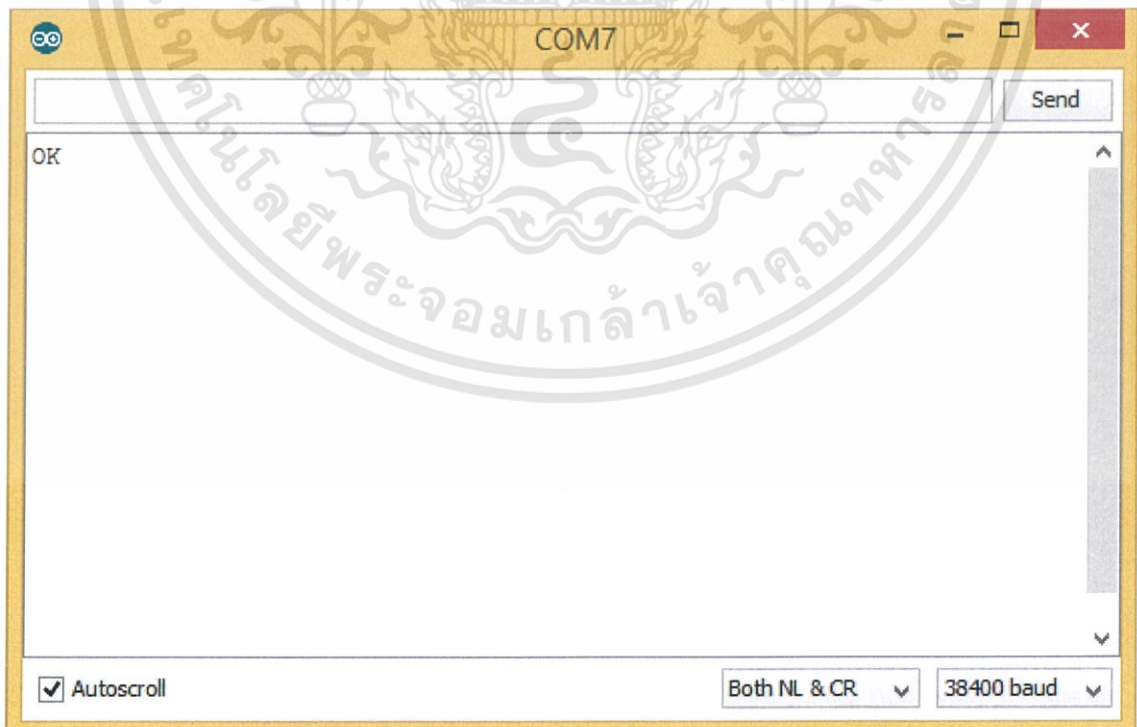
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับค่าตามรูป



รูปที่ ก5 การปรับค่าใน serial monitor

ลองพิมพ์ AT จากนั้นกด Enter จะขึ้นว่า OK หรือ ERROR แสดงว่าต่อวงจรถูกแล้ว และไม่ดูอยู่ในโหมดพร้อมรับคำสั่งตั้งค่าแล้ว



รูปที่ ก6 โมดูลอยู่ในโหมดพร้อมรับคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

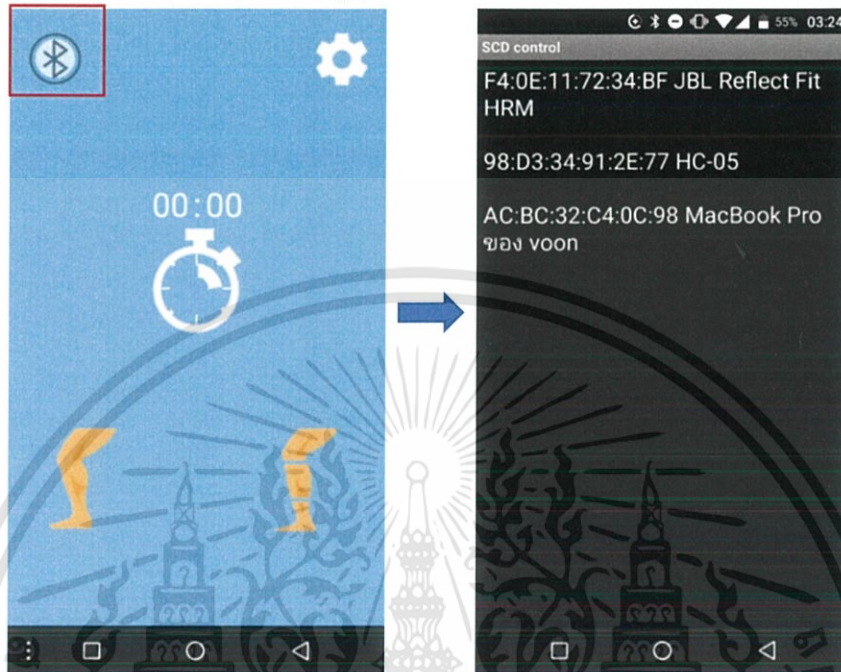
- คำสั่งเปลี่ยนชื่ออุปกรณ์ คือคำสั่ง AT+NAME="Device Name" เช่น หากต้องการเปลี่ยนชื่อเป็น IOXhop HC5 ต้องพิมพ์ว่า AT+NAME="IOXhop HC5" แล้วกด Enter หากสำเร็จจะขึ้น OK
- เปลี่ยนพาสที่ใช้จับคู่ ใช้คำสั่ง AT+PSWD=New Password เช่น ต้องการตั้งค่าเป็นรหัส 9876 ต้องใช้คำสั่ง AT+PSWD=9876
- เมื่อตั้งค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว เอาขา KEY ที่ต่อไว้ออก และเอาขา VCC ออก แล้วเสียบขา VCC เข้าไปใหม่ โมดูลจะรีเซ็ต จากนั้นใช้อุปกรณ์อื่น ๆ ค้นหาชื่อที่ได้ตั้งไว้ได้เลย



ภาคผนวก ข

การทำงานของแอปพลิเคชัน

- สามารถเลือกการเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธได้



รูปที่ ข1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธ

- สามารถตั้งเวลาในการทำงานของเครื่อง SCD ที่ใช้ในการทดลองได้ (หน่วยเป็นนาที)

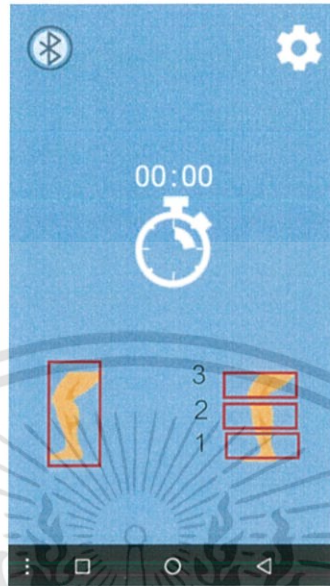


รูปที่ ข2 การตั้งเวลาการทำงาน

- แอปพลิเคชันสามารถจดจำเวลาการทำงานของเครื่อง SCD ที่ตั้งค่าไว้ก่อนหน้านี้ได้ ในกรณีที่ปิดแอปพลิเคชัน และเปิดการทำงานแอปพลิเคชันขึ้นมาใหม่

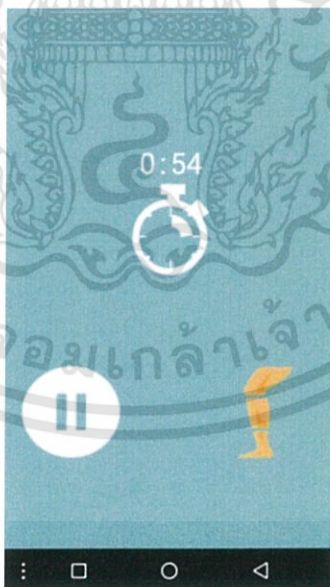
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเลือกการทำงานของ SCD Sleeves ได้โดยแบ่งเป็นการเลือกทำงานทั้งหมด หรือ การทำงานเฉพาะส่วนที่ต้องการ



รูปที่ ข3 การเลือกการทำงาน

- เมื่อเริ่มการทำงาน หน้าต่างของแอปพลิเคชันจะเปลี่ยนไปเพื่อให้เห็นถึงความต่างและทราบว่ามีการทำงานเกิดขึ้น ตัวเลขจะนับถอยหลังจากเวลาที่ได้ตั้งค่าไว้ ในหน้าต่างนี้สามารถกดหยุดชั่วคราว (กด 1 ครั้ง) หรือหยุดการทำงานเครื่องทั้งหมด (กด ค้าง) เพื่อกลับมาหน้าเริ่มต้น



รูปที่ ข4 หน้าต่างแอปพลิเคชันขณะมีการทำงาน

- เมื่อมีการทำงานครบตามเวลาที่กำหนด จะเกิด alarm โดยการสั่น 0.5 วินาที และมีการเปลี่ยนหน้าต่างเพื่อแสดงว่าการทำงานสิ้นสุด เมื่อกดปุ่ม “Finish” 1 ครั้ง แอปพลิเคชันจะกลับมาสู่หน้าต่างเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Finish



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
แบบประเมินที่ใช้ในการทดลอง

แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของ
เครื่องปั๊มไล่เลือดเป็นจังหวะ

คำชี้แจง แบบสอบถาม

1. เพื่อให้ผู้จัดทำมีโอกาสรับทราบผลการดำเนินงานของตนเอง และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงโครงการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. โปรดเติมเครื่องหมาย และกรอกข้อความให้สมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ชาย หญิง
2. ประวัติการผ่าตัด เคย ไม่เคย
3. วุฒิการศึกษา ต่ำกว่าปริญญาตรี ปริญญาตรี สูงกว่าปริญญาตรี
4. อายุ ต่ำกว่า 20 ปี 21-30 ปี 31-40 ปี 41 ปีขึ้นไป

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้งาน

ระดับ 5 = มากที่สุดหรือดีมาก 4 = มากหรือดี 3 = ปานกลางหรือพอใช้ 2 = น้อยหรือต่ำกว่ามาตรฐาน 1 = น้อยที่สุดหรือต้องปรับปรุงแก้ไข

รายละเอียด	ระดับ				
	5	4	3	2	1
1.3 ความเหมาะสมของแหล่งจ่ายไฟ					
2.1 ความสะดวกในการใช้งานเครื่อง					
3. ลักษณะทั่วไปของแอปพลิเคชัน					
4. การใช้งานแอปพลิเคชัน					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ความสะดวกในการใช้งาน					
4.2 มีการใช้งานที่ง่าย					
4.3 แอปพลิเคชันตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดี					
4.4 ความง่ายในการเชื่อมต่อกับเครื่อง					

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

3.1 สิ่งที่ท่านพึงพอใจในการร่วมโครงการนี้

.....

.....

.....

3.2 สิ่งที่คุณเสนอแนะเพื่อนำไปพัฒนาโครงการต่อไป

.....

.....

.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือ
ผู้จัดทำโครงการ

การแปลความหมาย

ค่าระดับคะแนน

- ระดับคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่า 1.5
- ระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.5 แต่น้อยกว่า 2.5
- ระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 2.5 แต่น้อยกว่า 3.5
- ระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.5 แต่น้อยกว่า 4.5
- ระดับคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 4.5 หรือมากกว่า

การแปลความหมาย

- วิกฤต
- ควรปรับปรุง
- ปานกลาง
- ดี
- ดีเยี่ยม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวขวัญชนก บุญดาราช
วัน เดือน ปีเกิด	15 มิถุนายน 2539
ภูมิลำเนา	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม ปีการศึกษา 2558 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมชีวการแพทย์ ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

