หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่วไปของคลื่นอัลตร้าซาวน์ และกายวิภาคสรีรวิทยาของหลอดเลือด

2.1 คลื่นเสียง (SOUND WAVE)

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว (LONGITUDINAL WAVE) หมายถึง การเคลื่อนที่ของคลื่นทำให้อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในแนวเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง สามารถเดินทางผ่านไปในสารตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ ระบบประสาทหูของมนุษย์สามารถรับฟังคลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20 เฮิร์ทซ ถึง 20 กิโลเฮิร์ทซ ช่วงความถี่ที่มนุษย์ฟังได้ยินนี้เรียกว่า "ออดิเบิ้ล" (AUDIBLE) คลื่นความถี่ที่ต่ำกว่าออดิเบิ้ลเรียกว่า "อินฟราซาวน์" (INFRASOUND) และคลื่นความถี่ที่สูงกว่าออดิเบิ้ลเรียกว่า "อัลตร้าซาวน์" (ULTRASOUND)

2.2 คลื่นอัลตร้าซาวน์ (ULTRASOUND)

เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ทซขึ้นไป ความถี่ที่นิยมใช้ในเครื่องมือแพทย์ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 1 ถึง 15 เม็กกะเฮิร์ทซ์ คลื่นอัลตร้าซาวน์สามารถเดินทางผ่านสารตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ ความเร็วของคลื่นที่เดินทางผ่านสารตัวกลางแต่ละชนิดจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารตัวกลางนั้น (ตารางที่ A,B,C) เช่นคลื่นอัลตร้าซาวน์เดินทางผ่านเนื้อเยื่อ (TISSUE) ในร่างกายมนุษย์จะมีความเร็วประมาณ 1530 เมตรต่อวินาที

ถ้าให้ f = ความถี่ของคลื่นอัลตร้าซาวน์

λ = ความยาวคลื่นของคลื่นอัลตร้าซาวน์

c = ความเร็วของคลื่นอัลตร้าซาวน์ที่เดินทางผ่านสารตัวกลาง

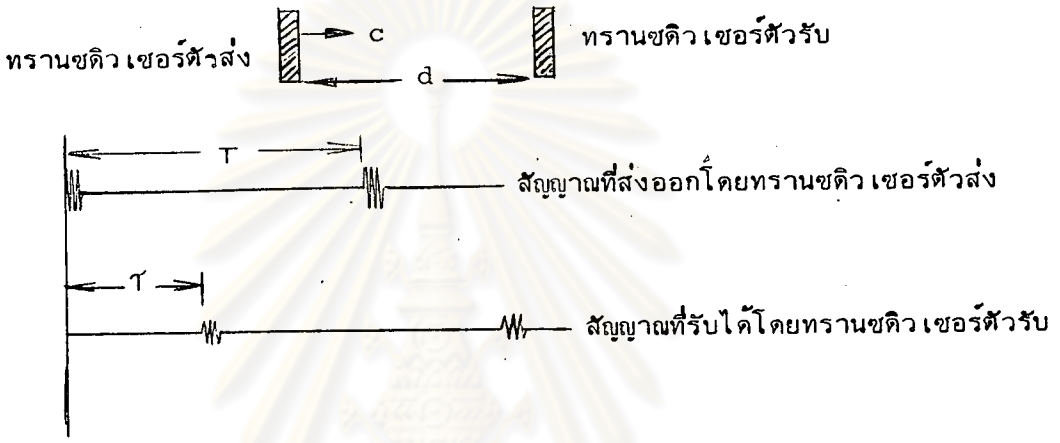
จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$c = \lambda f \qquad \ldots\ldots (2.1)$$

เช่นที่ความถี่อัลตร้าซาวน์ 2 เม็กกะเฮิรทซ์เดินทางผ่านเนื้อเยื่อ จะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 0.77 มิลลิเมตร และที่ความถี่ 5 เม็กกะเฮิรทซ์ความยาวคลื่นเท่ากับ 0.31 มิลลิเมตร

2.3 ความสัมพันธ์ของระยะทางและเวลาในการส่งและรับคลื่น

ในการส่งสัญญาณคลื่นอัลตร้าซาวน์ที่เป็นระบบพัลส์ สัญญาณจะถูกส่งออกไปโดยทรานซดิว-เซอร์ตัวส่งเป็นช่วง ๆ และจะรับได้โดยทรานซดิวเซอร์ตัวรับ ถ้าวางทรานซดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับดังรูปที่ 2.1 และส่งสัญญานเป็นช่วง ๆ ห่างกันด้วยเวลา T คลื่นจะเดินทางจากทรานซดิว-เซอร์ตัวส่งไปยังทรานซดิวเซอร์ตัวรับใช้เวลา τ จะได้ความสัมพันธ์ของระยะทางและเวลาดังสมการ (2.2)



รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการเดินทางของคลื่นจากทรานซดิวเซอร์ตัวส่งไปยังทรานซดิวเซอร์ตัวรับ

ให้ τ = เวลาที่คลื่นอัลตร้าซาวน์เดินทางจากทรานซดิวเซอร์ตัวส่งไปถึงทรานซดิวเซอร์ตัวรับ

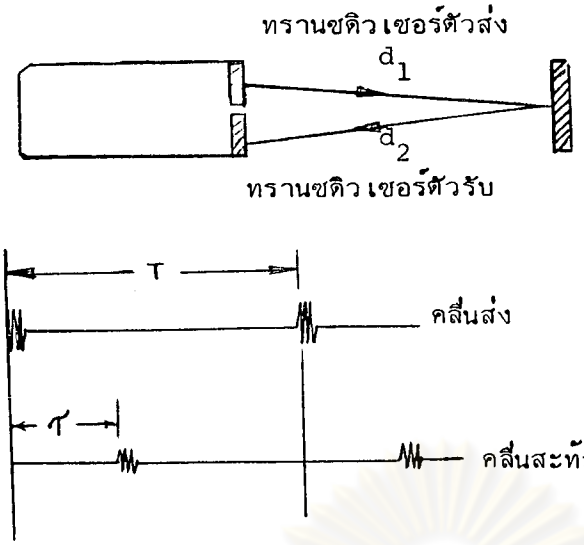
d = ระยะห่างของทรานซดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$d = C\tau \qquad \ldots\ldots (2.2)$$

แต่ในการใช้เครื่องอัลตร้าซาวน์สำหรับตรวจวัดความลึกของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย คลื่นอัลตร้าซาวน์ที่ส่งออกไปเมื่อกระทบกับอวัยวะจะสะท้อนกลับมายังทรานซดิวเซอร์ตัวรับที่วางใกล้กับทรานซดิวเซอร์ตัวส่ง ดังรูปที่ 2.2 (หรืออาจเป็นตัวเดียวกับตัวส่ง) จะทำให้คลื่นใช้เวลาเดินทางเป็น 2 เท่า ดังนั้นระยะทางจากทรานซ์ดิวเซอร์ถึงหลอดเลือดที่วัดจะหาได้จากสมการ (2.3)

$$d = C\tau/_2 \qquad \ldots\ldots (2.3)$$

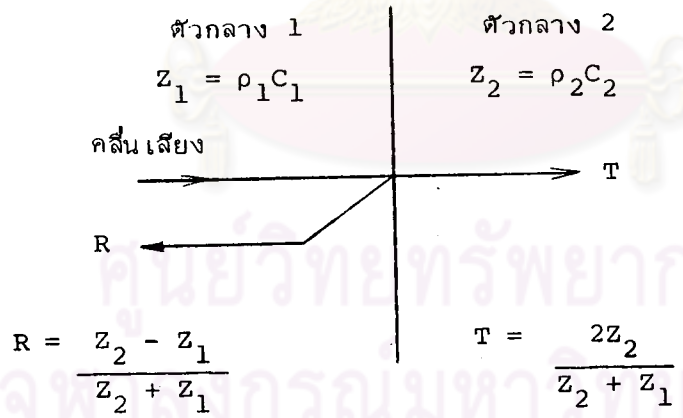


$d_1 = d_2$ = ระยะทางของทรานซดิวเซอร์ไปยังจุดที่วัด

ระยะทางรวม $d = d_1 + d_2 = 2d_1$

รูปที่ 2.2 แสดงการวางทรานซดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับไว้ในตัวเดียวกัน

2.4 การเดินทางผ่านตัวกลางและการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง (TRANSMISSION AND REFLECTION OF SOUNDWAVE) (12)



รูปที่ 2.3 รูปแสดงให้เห็นถึงการเดินทางผ่านตัวกลางและการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง

จากรูปที่ 2.3 เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายเข้าไปในสารตัวกลางที่ 1 และขอบเขตของตัวกลางที่ 2 จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นมาในตัวกลางที่ 1 ส่วนหนึ่ง และเดินทางผ่านไปยังสารตัวกลางที่ 2 อีกส่วนหนึ่ง อัตราส่วนของแอมพลิจูดของคลื่นที่สะท้อนกลับ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของ

การสะท้อนกลับ (REFLECTION COEFICIENT = R) และส่วนที่คลื่นเดินทางผ่านเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการเดินทางผ่าน (TRANSMISSION COEFFICIENT = T) และสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้[12]

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \qquad \ldots\ldots (2.4)$$

$$T = 2Z_2 / (Z_1 + Z_2) \qquad \ldots\ldots (2.5)$$

โดยที่ Z_1, Z_2 เป็นค่าแอคคูสติคอิมพีแดนซ์ (ACOUSTIC IMPEDANCE) ของสารตัวกลางที่ 1 และ 2 หาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของสารคูณกับความเร็วของคลื่นที่เดินผ่านสารตัวกลาง ดังสมการ (2.6, 2.7)

$$Z_1 = \rho_1 C_1 \qquad \text{สำหรับสารตัวกลางที่ 1} \qquad \ldots\ldots (2.6)$$

$$Z_2 = \rho_2 C_2 \qquad \text{" " 2} \qquad \ldots\ldots (2.7)$$

ซึ่ง ρ_1 = ความหนาแน่นของสารตัวกลางที่ 1

ρ_2 = " " 2

C_1 = ความเร็วของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่ 1

C_2 = " " " 2

ในเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นสะท้อน (ECHO) ได้นำเอาสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับมาใช้สำหรับวัดการทำงานของอวัยวะต่างๆภายในร่างกายความแรงของสัญญาณคลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นจากอวัยวะต่าง ๆ กันจะไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อนำไปขยายและส่งผลไปหลอดภาพจะทำให้เห็นความแตกต่างของระดับสัญญาณออกมาเป็นภาพได้[12]

2.5 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์[13]

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระดับเสียงของวัตถุตามการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดเสียงและผู้สังเกตโดยสัมพัทธ์ต่อกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "DOPPLER EFFECT" ซึ่งเกิดขึ้นได้ 3 กรณี คือ

2.5.1 ผลของดอปเปลอร์เมื่อต้นกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังที่อยู่นิ่ง

ในกรณีนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของคลื่นเสียงที่ผู้ฟังได้ยินสั้นลง ซึ่งทำให้ความถี่ของคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นดังสมการ (2.8)

$$f_2 = f_1 \left(1 + \frac{V_o}{C_1}\right) \qquad \ldots\ldots (2.8)$$

V_o = ความเร็วของต้นกำเนิดที่เคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟัง

2.5.2 ผลของดอปเปลอร์เมื่อต้นกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกห่างจากผู้ฟัง

ในกรณีนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของคลื่นเสียงที่ผู้ฟังได้ยินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ความถี่ของคลื่นเสียงลดลงดังสมการ (2.9)

$$f_2 = f_1 \left(1 - \frac{V_s}{C_1}\right) \quad \ldots\ldots (2.9)$$

V_s = ความเร็วของต้นกำเนิดที่เคลื่อนที่ออกห่างจากผู้ฟัง

2.5.3 ผลของดอปเปลอร์เมื่อผู้ฟังและต้นกำเนิดเสียงต่างเคลื่อนที่ในตัวกลางเดียวกัน

ในกรณีนี้จะทำความถี่ของคลื่นเสียงที่ผู้ฟังได้ยินเกิดขึ้น 2 แบบดังสมการ

$$f_2 = f_1 \left(\frac{C_1 \pm V_o}{C_1 \pm V_s}\right) \quad \ldots\ldots (2.10)$$

ในเครื่องหมายชุดบนใช้เมื่อทั้งต้นกำเนิดเสียงและผู้ฟังต่างเคลื่อนที่เข้าหากันในแนวเส้นตรงเดียวกัน

เครื่องหมายชุดล่างใช้เมื่อทั้งสองต่างเคลื่อนที่ออกห่างจากกันในแนวเส้นตรงเดียวกัน

จากหลักการของดอปเปลอร์นี้ได้นำมาใช้กับเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดดอปเปลอร์เพื่อใช้วัดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ การวัดการไหลของเลือดก็ได้นำหลักการนี้มาใช้ โดยการส่งคลื่นลงไปใต้ผิวหนังบริเวณหลอดเลือดที่จะวัดการไหลของเลือด ความเร็วของเลือดที่ไหลจะทำให้คลื่นสะท้อนมีความถี่ผิดไปจากความถี่เดิมที่ส่งออกไป และสามารถรับคลื่นนี้ได้โดยทรานซดิวเซอร์ตัวรับ ความต่างความถี่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความถี่ดอปเปลอร์[16] สามารถหาได้จากสมการ (2.11)

$$\Delta f = \frac{2\upsilon f_o \cos\theta}{C} \quad \ldots\ldots (2.11)$$

Δf = ค่าเฉลี่ยความแตกต่างความถี่ระหว่างสัญญาณที่ส่งไปกับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา

f_o = ความถี่ของคลื่นอัลตร้าซาวน์ที่ส่งออกไป

υ = ความเร็วเฉลี่ยของเลือดที่ไหล

C = ความเร็วของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านสารตัวกลาง (เนื้อเยื่อประมาณ 1530 ม./วินาที)

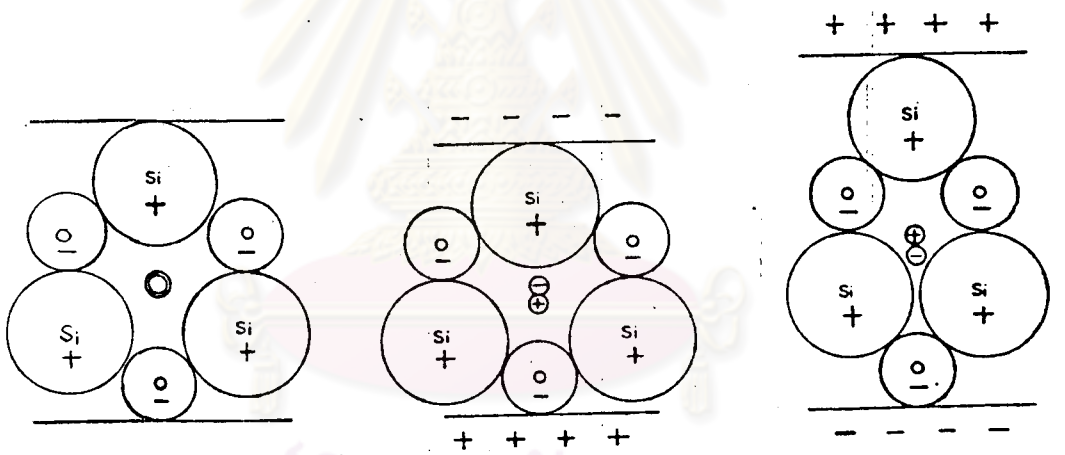
θ = มุมระหว่างลำคลื่นอัลตร้าซาวน์กับเวคเตอร์ของความเร็วของเลือดที่ไหล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Δf ที่ได้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วเลือดที่ไหล ถ้านำสัญญาณดอปเปลอร์ที่ได้ไปขยายและผ่านวงจรดีมอดดูเลเตอร์แล้ว สัญญาณขาออกที่ได้จะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วเลือดที่ไหล

2.6 สาร PIEZOELECTRIC[12]

ในย่านความถี่เสียงการส่งและรับคลื่นเสียงในอากาศ จะใช้ลำโพงและไมโครโฟน ส่วนในย่านความถี่อัลตร้าซาวน์จะใช้สาร PIEZOELECTRIC เป็นตัวส่งและรับคลื่น สาร PIEZOELECTRIC เป็นผลึกแร่ประเภท LEAD ZIRCONATE TITANATE (PZT) หรือ BARIUM TITANATE OXIDE ซึ่งโมเลกุลของสารพวกนี้จะไม่สมดุลย์ที่จุดกึ่งกลางเมื่อมีพลังงานมากระทบ ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของผลึกสาร PIEZOELECTRIC

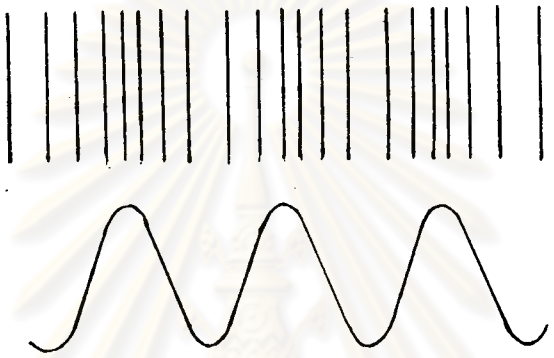
ก. โครงสร้างของโมเลกุลที่สมดุลย์ภายใน

ข, ค โครงสร้างของโมเลกุลที่ไม่สมดุลย์เนื่องจากมีพลังงานมากระทบ ทำให้เกิดขั้วขึ้นที่ผิวทั้งสอง

2.6.1 การส่งคลื่นโดยใช้สาร PIEZOELECTRIC

ถ้าป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับให้กับสาร PIEZOELECTRIC จะทำให้สาร PIEZOELECTRIC เกิดการยืดหรือหดตัวทางความหนาตามขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับดังรูป 2.5

ถ้าความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับที่ป้อนตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของสารนี้จะทำให้สารนี้สามารถกำเนิดความถี่อัลตร้าซาวน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการนี้จะนำมาใช้สำหรับการส่งคลื่น กล่าวคือการยืดและหดตัวของสารจะทำให้เกิดแรงกดที่ผิวด้านหน้าแผ่กระจายออกไปเป็นระลอก



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงการส่งคลื่นของสาร PIEZOELECTRIC เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับเข้าไปให้ที่ขั้วของสาร

2.6.2 การรับคลื่นโดยใช้สาร PIEZOELECTRIC

ในทางตรงข้ามถ้าคลื่นเสียงที่เดินทางจากสารตัวกลางมากระทบที่ผิวของสาร PIEZOELECTRIC จะทำให้สารนี้เกิดการยืดหรือหดตัวทางความหนาและทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วของสารนี้ วิธีการนี้จะนำมาใช้สำหรับการรับคลื่นอัลตร้าซาวน์

2.7 การทำงานของระบบการไหลเวียนเลือด (14)

ระบบการไหลเวียนเลือดอาศัยหัวใจเป็นตัวสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ

1) Systemic circulation

2) Pulmonary circulation

2.7.1 Systemic circulation

การทำงานของระบบนี้เริ่มที่เวนตริเคิลซ้าย เลือดจะถูกบีบตัวจากเวนตริเคิลซ้ายผ่าน

หลอดเลือดเออร์ต้า (Aorta) ไปสู่หลอดเลือดแดงไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย พา ของเสียกลับเข้าทางหลอดเลือดดำเข้าสู่เอเทรียมขวา หัวใจซีกซ้ายจะทำงานหนักเพราะเลือดจะต้องถูกส่งไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย หัวใจซีกซ้ายทำหน้าที่เป็นปั๊มความดัน (pressure pump) กล้ามเนื้อหัวใจซีกซ้ายจะแข็งแรงกว่ากล้ามเนื้อหัวใจซีกขวาและมีขนาดใหญ่กว่า

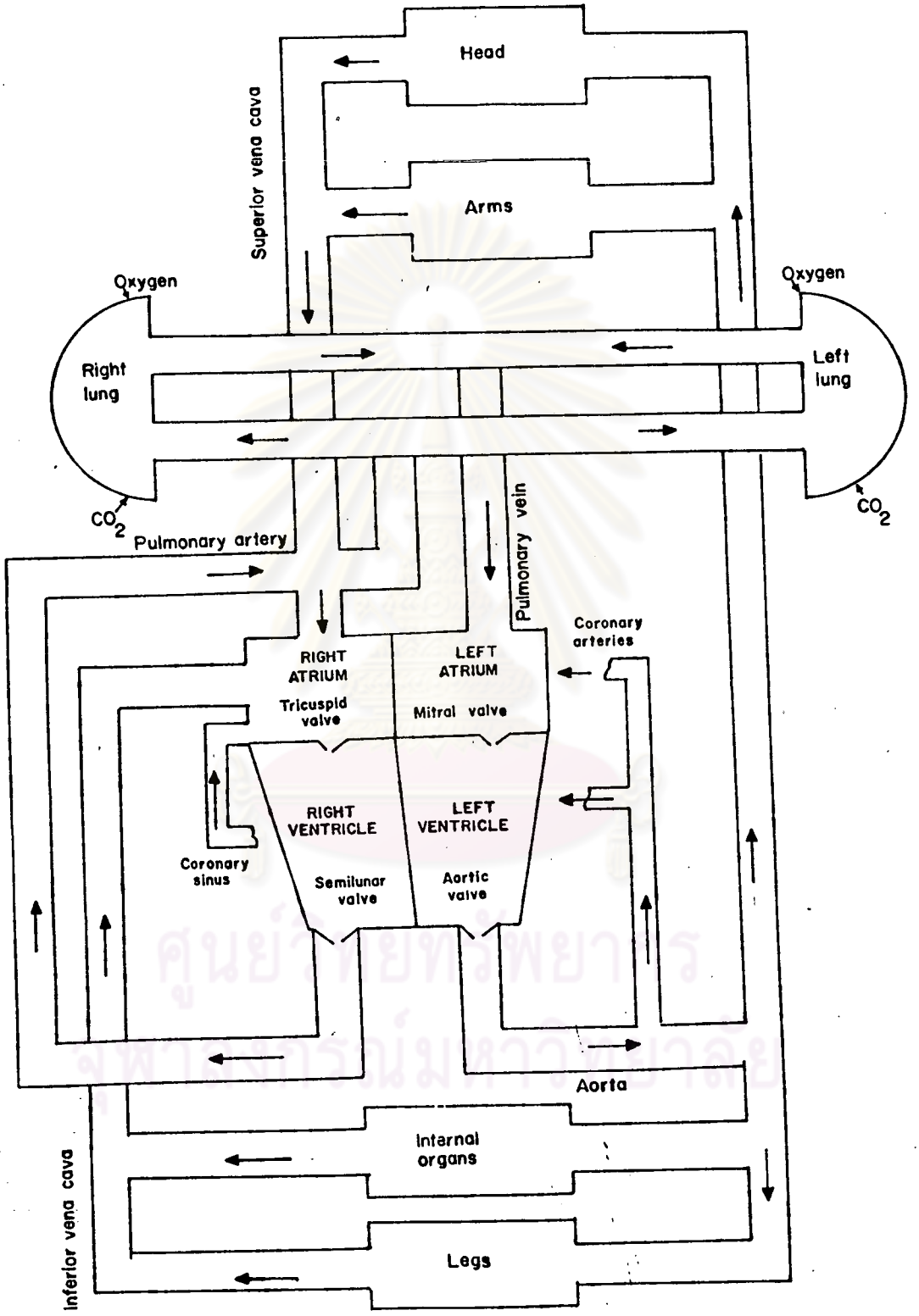
2.7.2 Pulmonary circulation

การทำงานของระบบนี้เริ่มจากเอเทรียมขวาส่งเลือดดำให้เวนตริเคิลขวา นำเลือดเข้าสู่ปอดเพื่อแลกเปลี่ยนออกซิเจน หลังจากนั้นจะนำเลือดแดงเข้าสู่หัวใจทางเอเทรียมซ้าย เป็นการครบวงจรการทำงานของระบบการไหลเวียนเลือด หัวใจซีกขวาจะทำงานเป็นปั๊มปริมาตร (volume pump)

ในรูปที่ 2.6 แสดงระบบการไหลเวียนเลือดทั้งระบบ เลือดจะไหลเข้าสู่เอเทรียมขวาสองทางคือทางหลอดเลือดดำ Superior vena cava และ inferior vena cava เลือดจะรวมตัวในเอเทรียมขวา เมื่อเลือดเข้าสู่เอเทรียมขวาเต็มจะเกิดการบีบตัวของเอเทรียมขวา ดันเลือดผ่านลิ้นหัวใจไตรคัสปิด (Tricuspid valve) ลงสู่เวนตริเคิลขวา เลือดจะไหลเข้าสู่เวนตริเคิลขวา จนความดันเลือดมากกว่าความดันเลือดในเอเทรียมขวา ลิ้นหัวใจไตรคิสปิด (Tricuspid valve) จะปิด ขณะเดียวกันความดันเลือดในเวนตริเคิลขวาจะดันเลือดให้ลิ้นหัวใจพูลโมนารีย์ (Pulmonary valve) เปิด เลือดจะไหลไปทางหลอดเลือด Pulmonary Artery เข้าสู่ปอด เพื่อแลกเปลี่ยนเอาออกซิเจนและขับของเสียคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ทิ้ง เมื่อเลือดได้รับออกซิเจนจะไหลเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือด Pulmonary vein เข้าทางเอเทรียมซ้าย เอเทรียมซ้ายจะดันเลือดผ่านลิ้นหัวใจไมทรัล (Mitral valve หรือ Bicuspid valve) เข้าสู่เวนตริเคิลซ้าย กล้ามเนื้อหัวใจเวนตริเคิลซ้ายจะบีบตัวทำให้ลิ้นหัวใจไมทรัลปิด ขณะเดียวกันจะดันลิ้นหัวใจเออร์ติค (Aortic Valve) เปิด เลือดจะพุ่งออกจากเวนตริเคิลซ้ายสู่หลอดเลือดเออร์ต้า (Aorta) ไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแล้วย้อนกลับเข้าสู่เอเทียมขวาอีกครั้ง การทำงานของหัวใจซีกซ้ายและขวาจะทำงานพร้อมกัน เวนตริเคิลซ้ายจะส่งเลือดสู่หลอดเลือดเออร์ต้า (Aorta) และเวนตริเคิลขวาจะส่งเลือดสู่หลอดเลือดพูลโมนารีย์อาร์เทอรีย์ (Pulmonary Artery) เลือดในหลอดเลือดเออร์ต้า (Aorta) จะส่งไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยผ่านทาง Capillaries เข้าสู่เซล จากนั้นจะย้อนกลับเข้าทางหลอดเลือดดำ Superior vena cava และ inferior vena cava สู่เอเทรียมขวา การไหลเวียนเลือดจะดำเนินไปเช่นนี้ตลอดเวลา โดยอาศัยหัวใจเป็นตัวส่งดันเลือดไป

013321

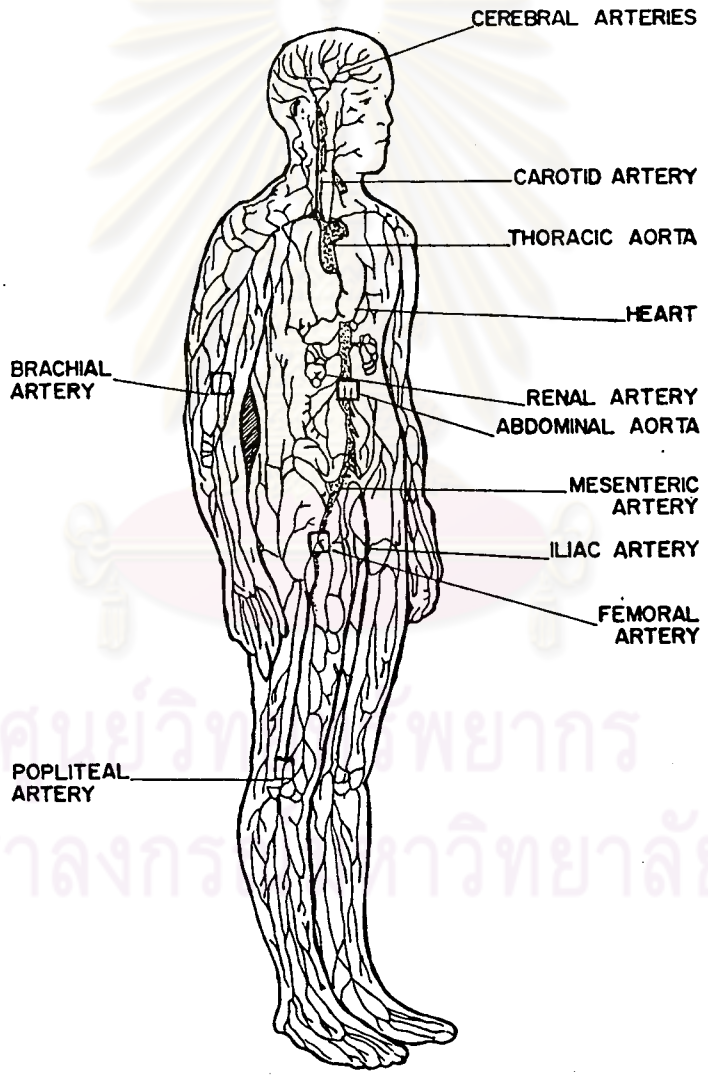
เลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย



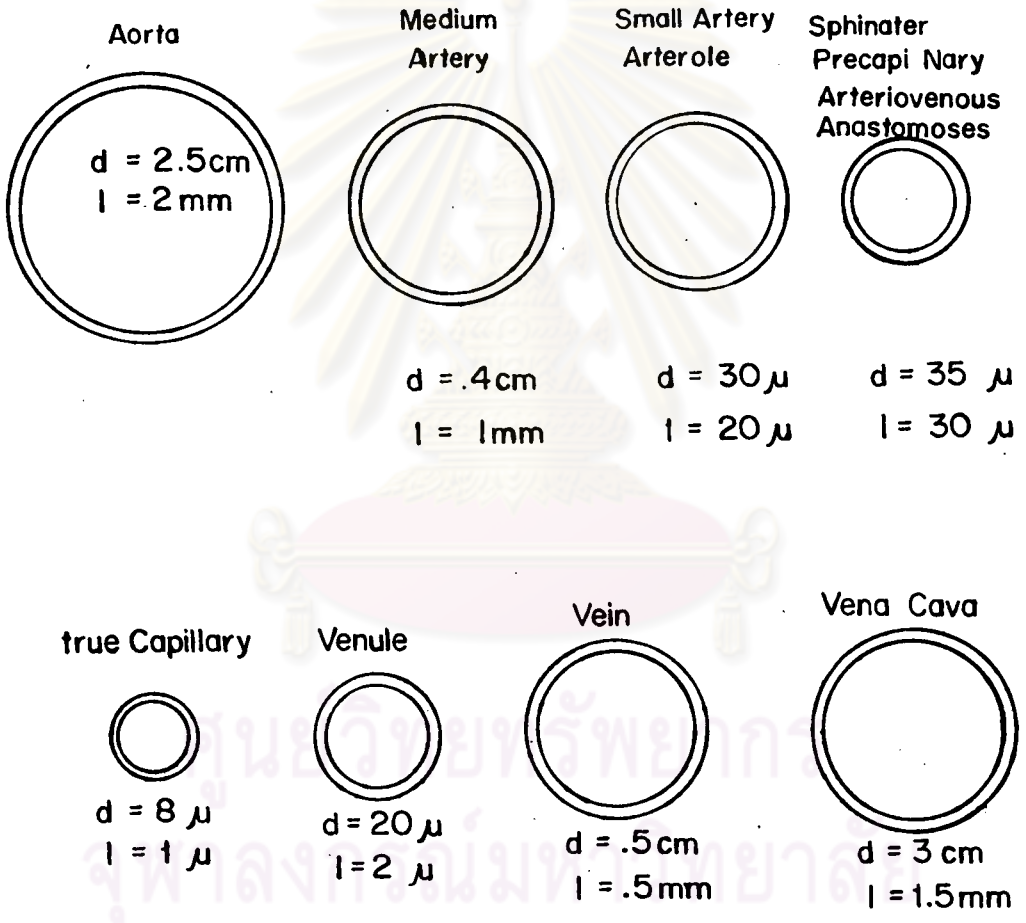
รูปที่ 2.6 แสดงระบบการไหลเวียนเลือด

2.8 ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของหลอดเลือดในร่างกายมนุษย์[15]

การไหลเวียนของเลือดที่ออกจากหัวใจไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย อาศัยหลอดเลือดซึ่งแตกสาขาออกไปทั่วร่างกาย หลอดเลือดในร่างกายแบ่งออกได้เป็น 3 พวกคือ หลอดเลือดแดง หลอดเลือดดำ และหลอดเลือดฝอย คุณสมบัติและหน้าที่จะแตกต่างกันไป บริเวณตำแหน่งของหลอดเลือดต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 2.7 ขนาดของหลอดเลือดต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงบริเวณตำแหน่งของหลอดเลือดที่อยู่ในร่างกายมนุษย์



<u>รูปที่ 2.8</u> แสดงขนาดของหลอดเลือดต่าง ๆ

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

ℓ = ความหนาของผนังเลือด