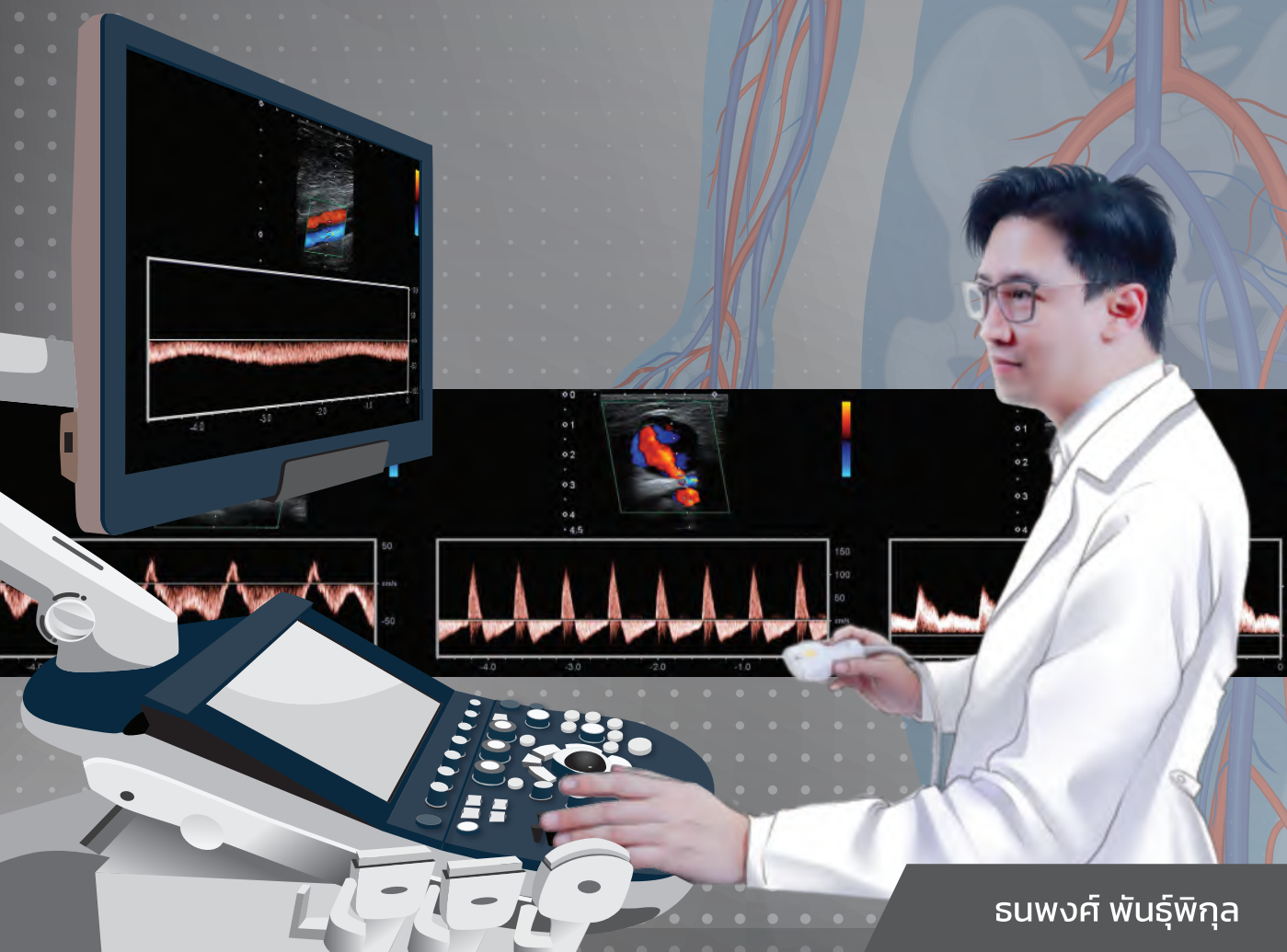


คลื่นเสียงความถี่สูง

ของหลอดเลือดส่วนปลาย

Peripheral Vascular Ultrasound





มหาวิทยาลัยมหิดล
คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี



คลื่นเสียงความถี่สูง ของหลอดเลือดส่วนปลาย

Peripheral Vascular Ultrasound

ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย Peripheral Vascular Ultrasound

บรรณาธิการ	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล
ISBN (ebook)	978-616-622-057-5
พิมพ์ครั้งที่ 1	500 เล่ม มกราคม 2568 ตุลาคม 2568 ฉบับ e-book
ราคา	1,100 บาท
สงวนลิขสิทธิ์	สำนักพิมพ์รามาริบัติ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาริบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล
สงวนลิขสิทธิ์	ตามพระราชบัญญัติการพิมพ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำหรือลอกเลียนแบบโดยไม่ได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล.

คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย (Peripheral Vascular Ultrasound) .--

กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์รามาริบัติ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาริบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2568.
448 หน้า.

1. คลื่นเสียงความถี่สูงทางการแพทย์. I. ชื่อเรื่อง.

616.07543

ISBN 978-616-622-057-5

จัดทำและ	สำนักพิมพ์รามาริบัติ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาริบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล
เผยแพร่โดย	270 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 0-2201-2258, 0-2201-1542 Website: www.rama.mahidol.ac.th/academic/textbook/ Facebook: สำนักพิมพ์รามาริบัติ
ออกแบบปก และรูปเล่ม	บริษัท ไอที ออล ดิจิตอลพริ้นท์ จำกัด โทรศัพท์ 0-2899-5429-35

•—————•

บออุทิศ คุณความดีของหนังสือ
“คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย”
แด่ บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่าน
และสถาบันการศึกษา
ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้หนังสือเล่มนี้
เกิดขึ้นและสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์
ตามความตั้งใจของผู้นิพนธ์

•—————•

คำนิยม

การตรวจ Doppler ultrasound เป็นหัตถการที่ต้องการความอดทน ทั้งของแพทย์และความร่วมมือของผู้ป่วยในการที่จะให้ได้ภาพและสัญญาณภาพที่ดีพอจะนำมาแปลผลที่ถูกต้องและแม่นยำได้

ในฐานะคนที่ทำงานด้านนี้มานาน ตั้งแต่เริ่มมีการใช้ Doppler ultrasound ในเครื่องมือที่มีการใช้งานในทางการแพทย์ นอกจากการดูงานและการฝึกฝนเป็นเวลานานกว่าจะปฏิบัติงานได้ ก็ต้องหาความรู้จากตำราและบทตีพิมพ์ของต่างประเทศ

ปัจจุบันได้มีพัฒนาการของเครื่องตรวจที่ดีขึ้นและมีตำราที่แพร่หลายมากขึ้น แต่ดิฉันเห็นว่าตำราของอาจารย์ธนพงศ์เล่มนี้ เป็นตำราที่ครอบคลุมความรู้ที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะบทความรู้พื้นฐานจนถึงการแปลผลและวินิจฉัยในโรคหลอดเลือดส่วนปลายต่าง ๆ ที่อาจารย์ได้ทุ่มเทเวลาในการเรียบเรียงจากประสบการณ์การทำงานอย่างตั้งใจมายาวนานและหลักการทางทฤษฎี เป็นตำราที่จะมีประโยชน์อย่างมาก สำหรับผู้ปฏิบัติงานในทุกระดับ ตั้งแต่การตรวจคัดกรองเบื้องต้นจนถึงการตรวจวินิจฉัยระดับสูง โดยที่ความรู้พื้นฐานยังสามารถนำไปใช้ในการตรวจหลอดเลือดส่วนอื่นของร่างกายได้ด้วย

ต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล ผู้นิพนธ์ตำรา **“คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound”** เป็นตำราที่แนะนำและขอส่งกำลังใจสำหรับผู้ใช้งานเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทุกท่าน

ศาสตราจารย์คลินิกเกียรติคุณ แพทย์หญิงบุษณี วิบุลผลประเสริฐ

คำนิยม

ดิฉันได้รับเกียรติจาก รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล ให้เขียนคำนิยมในหนังสือ เรื่อง **“คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound”**

ดิฉันทุ่มเทเวลาเกือบ 30 ปี ในการทำงานรังสีร่วมรักษา ทำให้ก่อนหน้านี้ ดิฉันไม่ได้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด มากมายนัก ถ้าใช้คำว่า “ทำไม่เป็น” ก็คงไม่ผิดนัก

จนกระทั่งได้มีโอกาส เข้าไปร่วมฟังบ้างเป็นครั้งคราว เวลาที่อาจารย์ธนพงศ์ บรรยาย เพื่อให้ความรู้ แก่แพทย์ประจำบ้านในสาขารังสีวิทยา และอาจารย์แพทย์ต่างสาขา และต่อมาได้มาอ่านหนังสือเล่มนี้ของอาจารย์ ทำให้ได้รับความรู้เพิ่มขึ้น จาก “ทำไม่เป็น” ก็เปลี่ยนเป็น “พอทำได้” ซึ่งเป็นเครื่องยืนยันได้ว่า หนังสือเล่มนี้ของอาจารย์ เป็นหนังสือที่มีประโยชน์ ไม่ใช่แค่ มีประโยชน์แก่ผู้มีประสบการณ์การทำงานอยู่แล้วให้ได้รับความรู้ และความมั่นใจในการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงมากขึ้น แต่ยังมีประโยชน์ในการให้ความรู้พื้นฐานแก่คนที่เริ่มต้นทำงานอีกด้วย

ดิฉันทำงานร่วมกับอาจารย์ธนพงศ์ ในหน่วยรังสีร่วมรักษาของลำตัว สาขารังสีวิทยาวิจินิจฉัย คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ในระหว่างที่อาจารย์เขียนหนังสือเล่มนี้ ทำให้ได้ทราบว่า อาจารย์ทุ่มเทเวลา แรงกาย แรงใจ ตลอดจนแรงสมอง ให้กับหนังสือเล่มนี้เป็นอย่างมาก

อาจารย์ธนพงศ์ เขียนหนังสือเล่มนี้ขึ้นมา จากความรู้พื้นฐานร่วมกับความรู้ที่ได้มาจากการงานวิจัย แถมท้ายด้วยประสบการณ์ส่วนตัว ที่สั่งสมมานาน ซึ่งไม่สามารถหาอ่านที่ไหนได้

ดิฉันเชื่อว่าหนังสือเรื่อง **“คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound”** เล่มนี้ จะเป็นหนังสือที่ทรงคุณค่าเพราะในหนังสือเล่มนี้ อาจารย์ได้สรุปเนื้อหา และประเด็นความรู้ พร้อมทั้งมีตัวอย่างประกอบทำให้เข้าใจง่ายและสามารถนำไปปฏิบัติได้ในการทำงานจริง

ศาสตราจารย์คลินิกเกียรติคุณ แพทย์หญิงเจียมจิตร์ ตปนิยากร

คำนิยม

ก่อนอื่นดิฉันก็ต้องขอแสดงความขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้เกียรติดิฉันเป็นผู้เขียนคำนิยมในหนังสือเรื่อง “คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound” ที่มีคุณค่าอย่างยิ่งเล่มนี้

ในอดีตที่ผ่านมา เมื่อเรื่องคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด หรือ Doppler ultrasound นี้ เริ่มเข้ามาในประเทศไทยใหม่ๆ ดิฉันมีความเห็นว่า เรื่องนี้เป็นเรื่องที่ฟังดูน่าจะยาก แต่ก็ เป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถของเราจริง ๆ ในการที่จะตรวจคนไข้ด้วยเทคนิค Doppler ultrasound เนื่องจากต้องใช้ความพยายาม ความอดทน และความเอาใจใส่ในการที่จะตรวจหลอดเลือดเล็ก ๆ ในร่างกายคนที่มีขนาดเล็กเป็น มิลลิเมตร หรือถ้าเป็นหลอดเลือดใหญ่ก็สัก 2 ถึง 3 เซนติเมตร และต้องจับภาพหลอดเลือดให้ได้ เพื่อ ดูลักษณะสี หรือ วัดความเร็วอะไรต่าง ๆ จึงจะสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการออกมาได้ ซึ่งจะต้องอาศัยความร่วมมือของคนไข้ในการกลั้นหายใจให้ดี

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล เอง ก็คงเป็นหนึ่งในผู้ที่หลงใหลวิชานี้เช่นเดียวกับตัวดิฉัน อาจารย์เป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการทำ Doppler ultrasound ในหลอดเลือดของ หลาย ๆ อวัยวะในร่างกายของเราเป็นอย่างดี เนื่องจากการมีความใจเย็น และละเอียดอ่อนในการทำงานเป็นอย่างดี

หนังสือเล่มนี้ อาจารย์ธนพงศ์ มีความพากเพียรพยายามที่จะลิขิตมาด้วยความตั้งใจอย่างเต็มที่ ใช้ ระยะเวลายาวนานพอสมควร ประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักการความรู้พื้นฐานของ Doppler ultrasound และเทคนิคในการปรับภาพทั้ง color and spectral Doppler รวมทั้งการวินิจฉัยโรคของหลอดเลือด แดงและดำส่วนปลายทั้งลำคอ แขน ขา และหลอดเลือดฟอกไต อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

ดิฉันหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สูงสุดกับผู้ที่จะได้ทำการตรวจรักษาด้วย Doppler ultrasound ทั้งรังสีแพทย์ แพทย์ประจำบ้านและแพทย์ต่อยอดรังสีวิทยา รวมทั้งแพทย์ ในระบบอื่น ๆ ที่ต้องการตรวจ Doppler ultrasound ด้วยตัวเอง

อย่างที่ดิฉันเคยพูดเสมอในเลคเชอร์เรื่องนี้ว่า การทำ Doppler ultrasound จะต้องอาศัย การให้ใจรวมสามอย่าง คือ ใจรัก ใจเย็น และใจสู้ ซึ่งถ้าเราไม่มีสิ่งเหล่านี้ เราคงจะไม่สามารถทำ วิชานี้ได้ดีหรือวินิจฉัยได้ถูกต้องออกมาได้ จึงขอให้กำลังใจกับทุก ๆ ท่านที่จะทำการตรวจ Doppler ultrasound ให้กับคนไข้

ด้วยอาณิสต์และเจตนาอันดีที่อาจารย์ธนพงศ์มีความตั้งใจในการที่จะถ่ายทอดความรู้เหล่านี้ ให้กับแพทย์ทั้งหลาย ก็ขอให้อาจารย์ประสบความสำเร็จและเจริญก้าวหน้าในหน้าที่การงาน กอปร ทั้งมีปัญญาเฉลียวฉลาด สุขภาพแข็งแรง และได้มีโอกาสถ่ายทอดวิชาความรู้ไปให้กับแพทย์รุ่นถัดไป อีกนานเท่านาน

ศาสตราจารย์คลินิก แพทย์หญิงวลัยลักษณ์ ชัยสูตร

คำนำ

หนังสือ “คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound” เล่มนี้ เขียนขึ้นจากแนวความคิดการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ ร่วมกับการค้นคว้าข้อมูลและการศึกษาวิจัยของผู้นิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนที่ได้รับเผยแพร่ในระดับนานาชาติและที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลภายใน ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ตลอดระยะเวลาการทำงานของผู้นิพนธ์ โดยครอบคลุมเนื้อหาที่เป็นความรู้ขั้นพื้นฐานสำหรับผู้เริ่มทำการตรวจ ได้แก่ ความรู้พื้นฐานของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดและการปรับคุณภาพของภาพสีและเส้นกราฟ ความรู้ระดับกลาง สำหรับการตรวจหลอดเลือดที่พบบ่อย ได้แก่ หลอดเลือดแดงส่วนคอ และ ภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำลึกส่วนขา และความรู้ระดับสูงสำหรับผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางโรคหลอดเลือดและเกี่ยวข้อง สำหรับการตรวจหลอดเลือดแดงส่วนแขน หลอดเลือดดำส่วนคอและแขน หลอดเลือดพอกไต หลอดเลือดแดงส่วนขา และหลอดเลือดดำตื้นส่วนขา

เนื้อหาส่วนพื้นฐาน ผู้นิพนธ์ได้เรียบเรียงเนื้อหาตามลำดับจากภาคทฤษฎีไปสู่ภาคปฏิบัติเพื่อให้ผู้อ่าน เข้าใจและสามารถนำไปปฏิบัติตามขั้นตอนได้จริง และเนื้อหาส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยโรคหลอดเลือด จะประกอบด้วย ข้อบ่งชี้ วิธีการตรวจ การวินิจฉัยและการรายงานผล ตามลำดับเหมือนกันในทุกบท โดยวิธีการตรวจเขียนขึ้นตามประสบการณ์จริงของผู้นิพนธ์และอ้างอิงตามทฤษฎีตามเนื้อหาในส่วนต้น รวมถึงแสดงภาพประกอบในทุกขั้นตอนตามคำบรรยาย เนื้อหาในส่วน ข้อบ่งชี้ การวินิจฉัย ได้เรียบเรียงจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ทันสมัยที่สุด ณ เวลาที่ทำการเขียนหนังสือเล่มนี้ การวินิจฉัยจะเลือกใช้ตามเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับและแพร่หลายมากที่สุด

นอกจากนี้ ผู้นิพนธ์ได้สอดแทรกเนื้อหาที่เรียบเรียงขึ้นจากคำถามของผู้เรียนและผู้เข้าร่วมประชุมในระหว่างที่ผู้นิพนธ์ทำการสอนหรือการบรรยาย จึงอาจกล่าวได้ว่า หนังสือเล่มนี้เขียนขึ้นตามประสบการณ์ของผู้นิพนธ์และเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจ เห็นภาพตามคำบรรยาย และสามารถนำไปปฏิบัติเองได้จริงอันถือเป็นวัตถุประสงค์สูงสุดของหนังสือเล่มนี้ ในส่วนสุดท้ายผู้นิพนธ์ ได้กล่าวถึง ความก้าวหน้าในการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด ที่เป็นพื้นฐานและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ผู้นิพนธ์หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะให้คุณประโยชน์ตามที่ผู้นิพนธ์มุ่งหวัง ผู้อ่านได้ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด ผู้ทำการตรวจสามารถทำการตรวจวินิจฉัย แผลผลและรายงานผลตรวจ สื่อสารข้อมูลสำคัญสู่ผู้ทำการส่งตรวจได้อย่างถูกต้อง ผู้ทำการส่งตรวจสามารถ เลือกส่งตรวจได้อย่างเหมาะสมตามข้อบ่งชี้ นักศึกษา แพทย์ประจำบ้าน แพทย์ประจำบ้านต่อยอด แพทย์เฉพาะทาง และผู้ที่สนใจ สามารถใช้เพื่อการศึกษา ค้นคว้าข้อมูล สร้างสรรค์งานวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

กิตติกรรมประกาศ

หนังสือ “คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound” เล่มนี้ เกิดขึ้นและสำเร็จได้โดย แรงสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลากหลายบุคคลและหน่วยงาน เป็นอย่างดี ผู้นิพนธ์ขอแสดงความขอบคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงศรสุภา ลิ้มเจริญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงวิภาณี ณ เชียงใหม่ แรงบันดาลใจของการเป็นรังสีแพทย์และอาจารย์แพทย์

ศาสตราจารย์คลินิกเกียรติคุณ แพทย์หญิงบุษณี วิบุลผลประเสริฐ ต้นแบบอาจารย์แพทย์ ผู้เชี่ยวชาญการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด ศาสตราจารย์คลินิกเกียรติคุณ แพทย์หญิง เจียมจิตร ตปณียากร สำหรับการสนับสนุน ส่งเสริม โอกาสการทำงานที่ภาควิชารังสีวิทยา คณะ แพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ศาสตราจารย์คลินิก แพทย์หญิงวลัยลักษณ์ ชัยสูตร ต้นแบบ แพทย์รังสีร่วมรักษาผู้เชี่ยวชาญการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดและโอกาสเผยแพร่ ความรู้ ความสามารถผ่านทางสมาคมอัลตราซาวด์ทางการแพทย์แห่งประเทศไทย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์นครินทร์ อินมุตโต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ชินรัตน์ บัวงาม นายแพทย์ บรรจงศักดิ์ เวชศาสตร์ แพทย์หญิง ธรินทร์ ตรีสิทธิ์ แพทย์หญิง วรรณชล สุกุลกรกิจ แพทย์หญิง อรพิน ชาญสันติ แพทย์หญิง ศศิกร เพื่องำลุน แพทย์หญิง แก้วพิชชา พิชาติพิเชษฐกุล แพทย์หญิง อภิขญา ศรีปรัชญากุล แพทย์หญิง อนิลวรรณ สมิตินิธิพันธ์ แพทย์หญิง สุริชา ประชุม แพทย์หญิง ชมพูนุช ทั้งทอง นายแพทย์ ทรงพล ฉันทโรจน์ นายแพทย์ วิษณุ ภัทรพฤกษา และ แพทย์หญิง ปารมี เมธิกุล ผู้เก็บ รวบรวมข้อมูลการศึกษาและผู้ร่วมงานวิจัยในระหว่างการศึกษาและปฏิบัติงานที่ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ซึ่งได้นำผลการศึกษามาใช้อ้างอิงในหนังสือเล่มนี้

คุณ พิมพ์ณภา เพื่องทิพรังสี นักรังสีการแพทย์ห้องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง รวบรวมสถิติจำนวน ผู้เข้ารับการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด แยกตามประเภทการตรวจ

แพทย์หญิง ชนนยา ห่อเกียรติ วาดภาพประกอบ

มิสเตอร์ หวัง เหมยเถา แนวคิดและออกแบบปก

สำนักพิมพ์รามารามิบัติ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่ได้สนับสนุนทุนการเขียน การผลิต การจัดพิมพ์และการจัดจำหน่าย รวมถึงคำแนะนำ ปรับปรุง แก้ไขให้หนังสือเล่มนี้สมบูรณ์มากที่สุด

ผู้เรียน ผู้ฟังบรรยาย และผู้เข้ารับการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด ที่ภาควิชา รังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดีทุกท่าน ที่ถือเป็นส่วนสำคัญที่สุด ในการสร้างและ พัฒนาองค์ความรู้ที่ผู้นิพนธ์สามารถนำมาถ่ายทอดผ่านหนังสือเล่มนี้ได้

ครอบครัว พันธุ์พิกุล ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้นิพนธ์เสมอมา

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

คำชี้แจง

หนังสือ “คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนปลาย : Peripheral Vascular Ultrasound” เล่มนี้ ใช้ภาษาไทยที่ยึดตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน โดยวงเล็บภาษาอังกฤษตามหลังในครั้งแรกที่ได้กล่าวถึงในแต่ละบท เช่น คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound), ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) จากนั้นจึงใช้ภาษาไทยในเนื้อหาส่วนต่อไปภายในบทเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นเนื้อหาเฉพาะทางที่ไม่มีบัญญัติคำแปลภาษาไทย ผู้นิพนธ์จึงเลือกใช้ศัพท์ที่บุคลากรทางการแพทย์คุ้นเคยและแปลความหมายให้เข้าใจได้ง่าย เช่น B-mode ย่อมาจาก bright-mode หากแปลความหมายเป็นภาษาไทยจะแปลได้ว่า รูปแบบการทำงานแสงสว่าง ผู้นิพนธ์ได้เลือกใช้คำว่า รูปแบบทำงานปกติ แทน เนื่องจากเป็นรูปแบบการทำงานตามปกติของคลื่นเสียงความถี่สูงที่แสดงผลเป็นภาพขาวดำ ให้อรรถาธิบายของอวัยวะต่าง ๆ ได้จากความแตกต่างของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับจากหัวตรวจที่แสดงระดับความสว่างของภาพแตกต่างกัน

ผู้นิพนธ์ให้คำนิยามหรือบรรยายความหมายของศัพท์เทคนิคเฉพาะให้เป็นภาษาไทยที่เข้าใจง่ายก่อนที่จะใช้คำศัพท์ภาษาไทยนั้นในการบรรยายเนื้อหาส่วนต่อไป ยกตัวอย่างเช่น frequency shift หรือ Doppler shift (ส่วนต่างของความถี่), angle of insonation (มุมระหว่างคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกจากหัวตรวจกับแนวของหลอดเลือดที่ทำการตรวจ), preset (ค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า) และจัดทำอภิธานศัพท์ไว้ในส่วนท้าย ยกเว้นคำศัพท์เทคนิคภาษาอังกฤษที่สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่ายกว่าภาษาไทย ผู้นิพนธ์จะใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษนั้นในการบรรยาย เช่น pulse repetitive frequency (PRF) หากแปลความหมายเป็นภาษาไทยจะแปลได้ว่า ความถี่ซ้ำเป็นช่วง ๆ ซึ่งยากแก่การเข้าใจหากใช้ในการบรรยายเนื้อหา

เนื้อหาในส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 4 ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทางฟิสิกส์ ผู้นิพนธ์ได้กล่าวถึงเฉพาะหลักการสำคัญที่ผู้ทำการตรวจต้องทราบและได้นำมาปฏิบัติใช้จริง โดยนำเสนอเป็นกรณีศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากกว่าการท่องจำทฤษฎี

เนื้อหาในส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 ในทุกบทจะประกอบด้วย ข้อบ่งชี้ วิธีการตรวจ การวินิจฉัย และการรายงานผล ผู้นิพนธ์บรรยายวิธีการตรวจตามขั้นตอนการตรวจจริงจึงคล้ายเป็นการบรรยายที่ซ้ำซ้อน เนื่องจากในการตรวจหลอดเลือดทุก ๆ ตำแหน่งใช้หลักการและมีวิธีการตรวจเหมือนกัน หากไม่มีรายละเอียดที่จำเพาะสำหรับหลอดเลือดตำแหน่งนั้น ๆ ผู้นิพนธ์จะบรรยายว่าใช้หลักการเดียวกันกับหลอดเลือดที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ภาพวินิจฉัยจากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทั้งหมด นำมาจากฐานข้อมูลของภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี โดยได้รับการอนุญาตจากผู้อำนวยการโรงพยาบาลรามาธิบดี ภาพวาดทั้งหมดวาดขึ้นใหม่โดยผู้นิพนธ์และแพทย์หญิง ชันนยา ห่อเกียรติ เช่นเดียวกับทุกตารางที่เรียบเรียงขึ้นใหม่ทั้งหมดโดยผู้นิพนธ์เช่นกัน

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

ผู้บรรยาย



ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

- แพทยศาสตร์บัณฑิต คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วุฒิบัตรแสดงความรู้ความชำนาญในการประกอบวิชาชีพเวชกรรม สาขารังสีวิทยาวินิจฉัย
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วุฒิบัตรแสดงความรู้ความชำนาญในการประกอบวิชาชีพเวชกรรม
อนุสาขารังสีร่วมรักษาของลำตัว
คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล
- Clinical visitor : Imperial College Healthcare NHS Trust
London, United Kingdom
- รองศาสตราจารย์ สาขารังสีวิทยาวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา
คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

สารบัญ

คำนิยาม	II
คำนำ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
คำชี้แจง	VII
ผู้นิพนธ์	VIII
สารบัญ	IX
สารบัญรูปภาพ	XII

ส่วนที่ 1 หลักการพื้นฐาน

Basic Principle

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด	3
Basic Knowledge of Vascular Ultrasound	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	
บทที่ 2 การปรับคุณภาพของภาพสีและเส้นกราฟ	33
Color and Spectral Optimization	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	

ส่วนที่ 2 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนคอและแขน

Ultrasound of Neck and Upper Extremity Vessels

บทที่ 3 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนคอ :	61
ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ	
Ultrasound of Neck Arteries : Indications and Examination Techniques	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	

บทที่ 4	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงแข็งส่วนคอ 87
	โดยคลื่นเสียงความถี่สูง
	Ultrasound Diagnosis of Atherosclerosis of
	Neck Arteries
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล
บทที่ 5	คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนแขน 113
	Ultrasound of Upper Extremity Arteries
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล
บทที่ 6	คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำส่วนคอและแขน 135
	Ultrasound of Neck and Upper Extremity Veins
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล
บทที่ 7	คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดฟอกไต..... 169
	Ultrasound of Hemodialysis Vascular Access
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

ส่วนที่ 3 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนขา

Ultrasound of Lower Extremity Vessels

บทที่ 8	คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนขา 211
	Ultrasound of Lower Extremity Arteries
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล
บทที่ 9	คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำลึกส่วนขา : 243
	ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ
	Ultrasound of Lower Extremity Deep Veins :
	Indications and Examination Techniques
	ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

บทที่ 10 การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำลึกส่วนขา	281
โดยคลื่นเสียงความถี่สูง	
Ultrasound Diagnosis of Lower Extremity	
Deep Vein Thrombosis	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	
บทที่ 11 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำตื้นส่วนขา :	313
ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ	
Ultrasound of Lower Extremity Superficial Veins :	
Indications and Examination Techniques	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	
บทที่ 12 การวินิจฉัยโรคหลอดเลือดดำส่วนขาเรื้อรัง	335
โดยคลื่นเสียงความถี่สูง	
Ultrasound Diagnosis of Lower Extremity	
Chronic Venous Disease	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	

ส่วนที่ 4 ความก้าวหน้าของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด

Advances in Vascular Ultrasound

บทที่ 13 เทคโนโลยีภาพแสดงการไหลเวียนภายในหลอดเลือด	373
Flow Imaging Technology	
ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล	
อภิธานศัพท์	391
ดัชนี	399
INDEX	409

สารบัญรูปภาพ

ส่วนที่ 1 หลักการพื้นฐาน

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด

ภาพที่ 1-1	รูปแบบการแสดงผลของ duplex ultrasound	6
ภาพที่ 1-2	ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	6
ภาพที่ 1-3	ขอบเขตภาพสี (color box)	8
ภาพที่ 1-4	แถบสี (color bar)	9
ภาพที่ 1-5	การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดด้วยระยะภายในช่องท้องจาก color image	11
ภาพที่ 1-6	การเอียงมุม color box และ angle of insonation	12
ภาพที่ 1-7	การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายจาก color image	13
ภาพที่ 1-8	Spectral waveform ของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ	14
ภาพที่ 1-9	การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายกรณี วางหัวตรวจในแนวตัดขวาง	15
ภาพที่ 1-10	การไหลเวียนรูปแบบ laminar	17
ภาพที่ 1-11	การไหลเวียนรูปแบบ turbulent และ color aliasing	18
ภาพที่ 1-12	การไหลเวียนของเม็ดเลือดบริเวณ carotid bulb	19
ภาพที่ 1-13	การแปลผล spectral waveform	20
ภาพที่ 1-14	Spectral waveform ของหลอดเลือดแดง	21
ภาพที่ 1-15	Spectral waveform ของหลอดเลือดดำ	23
ภาพที่ 1-16	ภาวะรอยต่อของหลอดเลือดแดง hepatic ตีบ	24

บทที่ 2 การปรับคุณภาพของภาพสีและเส้นกราฟ

ภาพที่ 2-1	ผลของ angle of insonation ที่มีต่อคุณภาพของ color image ของหลอดเลือดในช่องท้อง	37
ภาพที่ 2-2	ผลของ angle of insonation ที่มีต่อคุณภาพของ spectral waveform	39
ภาพที่ 2-3	ผลของ angle of insonation ที่มีต่อคุณภาพของ color image ของหลอดเลือดส่วนปลาย	42

ภาพที่ 2-4	ผลของ color gain ที่มีต่อคุณภาพของ color image.....	43
ภาพที่ 2-5	ผลของ color pulse repetitive frequency ที่มีต่อคุณภาพของ color image	45
ภาพที่ 2-6	Sample gate และ angle correction	47
ภาพที่ 2-7	ผลของ sample gate ที่มีต่อคุณภาพของ spectral waveform	49
ภาพที่ 2-8	ผลของ sample gate ที่มีต่อคุณภาพของ spectral waveform กรณีหลอดเลือดขนาดเล็ก	50
ภาพที่ 2-9	ผลของการกำหนดมุม angle correction ที่มีต่อค่าความเร็วของเม็ดเลือด	51
ภาพที่ 2-10	การกำหนดมุม angle correction ที่เหมาะสม.....	52
ภาพที่ 2-11	ผลของ spectral gain ที่มีต่อคุณภาพของ spectral waveform.....	53
ภาพที่ 2-12	ผลของ spectral pulse repetitive frequency ที่มีต่อคุณภาพของ..... spectral waveform	55

ส่วนที่ 2 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนคอและแขน

บทที่ 3 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนคอ : ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ

ภาพที่ 3-1	กายวิภาคของหลอดเลือดแดงส่วนคอ	73
ภาพที่ 3-2	ผนังของหลอดเลือดแดง common carotid	74
ภาพที่ 3-3	การวัดระยะห่างระหว่างผนังชั้น intima และ adventitia.....	75
ภาพที่ 3-4	เปรียบเทียบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง..... และการวัดพื้นที่หน้าตัดของหลอดเลือด	76
ภาพที่ 3-5	Gray scale และ color image ของหลอดเลือดแดง common carotid.....	78
ภาพที่ 3-6	Gray scale และ color image ของหลอดเลือดแดง external carotid.....	80
ภาพที่ 3-7	การวัดค่าตัวชี้วัดพื้นฐานจาก spectral waveform.....	80
ภาพที่ 3-8	Spectral waveform ของหลอดเลือด external carotid.....	81
ภาพที่ 3-9	Gray scale และ color image ของหลอดเลือดแดง vertebral	83

บทที่ 4 การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงแข็งส่วนคอโดยคลื่นเสียงความถี่สูง

ภาพที่ 4-1	วิธีการวัด intima-media thickness	90
ภาพที่ 4-2	การจัดแบ่งชนิดของ plaque ตาม..... The International Classification System	92

ภาพที่ 4-3	วิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดเลือดแดง internal carotid.....	94
ภาพที่ 4-4	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง internal carotid ตีบ	97
ภาพที่ 4-5	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง external carotid ตีบ.....	99
ภาพที่ 4-6	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง internal carotid ตีบซ้ำ.....	101
ภาพที่ 4-7	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง internal carotid อุดตัน	102
ภาพที่ 4-8	Spectral waveform ปกติของหลอดเลือดแดงส่วนคอ.....	105
ภาพที่ 4-9	การวินิจฉัยโรคจากการเปรียบเทียบ spectral waveform	108
	ของหลอดเลือดแดงสองข้าง	
ภาพที่ 4-10	Spectral waveform ผิดปกติของหลอดเลือดแดงส่วนคอ.....	108

บทที่ 5 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนแขน

ภาพที่ 5-1	กายวิภาคของหลอดเลือดแดงส่วนแขน.....	117
ภาพที่ 5-2	การตรวจหลอดเลือดแดง subclavian	119
ภาพที่ 5-3	ความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ subclavian	119
ภาพที่ 5-4	การกดตรวจหลอดเลือดบริเวณรักแร้.....	120
ภาพที่ 5-5	Color image และ spectral waveform ของหลอดเลือดแดง subclavian	121
ภาพที่ 5-6	การตรวจหลอดเลือดแดง brachial	122
ภาพที่ 5-7	การตรวจหลอดเลือดแดง ulnar และ radial	123
ภาพที่ 5-8	Color image ของหลอดเลือดแดง ulnar และ radial ตามแนวยาว	124
ภาพที่ 5-9	การตรวจหลอดเลือดแดง radial ใกล้ข้อมือ	124
ภาพที่ 5-10	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง radial ตีบ	129
ภาพที่ 5-11	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง radial อุดตัน.....	130
ภาพที่ 5-12	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง radial โป่งพองไม่แท้	130
ภาพที่ 5-13	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดง radial โป่งพองแท้	131

บทที่ 6 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำส่วนคอและแขน

ภาพที่ 6-1	การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงนำทางระหว่างทำหัตถการผ่านหลอดเลือดดำ.....	141
ภาพที่ 6-2	กายวิภาคของหลอดเลือดดำส่วนคอและแขน	146
ภาพที่ 6-3	การตรวจหลอดเลือดดำ internal jugular	149
	โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	
ภาพที่ 6-4	การตรวจหลอดเลือดดำ internal jugular	150
	โดยรูปแบบการทำงาน Doppler-mode	

ภาพที่ 6-5	Color image ของหลอดเลือดดำ subclavian	151
ภาพที่ 6-6	Color image ของหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง subclavian.....	151
ภาพที่ 6-7	การตรวจหลอดเลือดดำ axillary โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	153
ภาพที่ 6-8	การตรวจหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง axillary	153
	โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	
ภาพที่ 6-9	การตรวจหลอดเลือดดำ brachial โดยรูปแบบการทำงาน B-mode.....	154
ภาพที่ 6-10	การตรวจหลอดเลือดดำ basilic โดยรูปแบบการทำงาน B-mode.....	155
ภาพที่ 6-11	การตรวจหลอดเลือดดำ cephalic โดยรูปแบบการทำงาน B-mode.....	155
ภาพที่ 6-12	การตรวจหลอดเลือดดำ cephalic เมื่อทำการรัดสาย tourniquet	156
ภาพที่ 6-13	การตรวจหลอดเลือดดำ radial โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	157
ภาพที่ 6-14	การตรวจหลอดเลือดดำ ulnar โดยรูปแบบการทำงาน B-mode.....	157
ภาพที่ 6-15	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเฉียบพลัน.....	159
	ในหลอดเลือดดำ internal jugular (1)	
ภาพที่ 6-16	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเฉียบพลัน.....	160
	ในหลอดเลือดดำ internal jugular (2)	
ภาพที่ 6-17	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเรื้อรัง.....	160
	ในหลอดเลือดดำ internal jugular (1)	
ภาพที่ 6-18	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเรื้อรัง.....	161
	ในหลอดเลือดดำ internal jugular (2)	
ภาพที่ 6-19	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเฉียบพลันในหลอดเลือดดำ subclavian.....	161
ภาพที่ 6-20	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเรื้อรังในหลอดเลือดดำ subclavian.....	162
ภาพที่ 6-21	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเฉียบพลันในหลอดเลือดดำ axillary	162
ภาพที่ 6-22	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเฉียบพลันในหลอดเลือดดำ brachial.....	163
ภาพที่ 6-23	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันระยะเรื้อรังในหลอดเลือดดำ brachial.....	163
ภาพที่ 6-24	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำต้น	164
ภาพที่ 6-25	การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำต้น	164
	ภายหลังจากการใส่สายสวน	
ภาพที่ 6-26	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดดำ internal jugular ตีบ.....	165
	ภายหลังจากการใส่สายสวน	
ภาพที่ 6-27	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดดำ internal jugular ตีบชั่วคราว.....	166
	จากการกดเบียด	

บทที่ 7 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดฟอกไต

ภาพที่ 7-1	การวินิจฉัยภาวะมือขาดเลือดจากปรากฏการณ์ steal.....	174
ภาพที่ 7-2	การวัดปริมาตรของเลือดที่ไหลเวียนผ่านหลอดเลือดดำ	176
ภาพที่ 7-3	รูปแบบต่าง ๆ ของหลอดเลือดฟอกไต	179
ภาพที่ 7-4	การหาตำแหน่งหลอดเลือดแดงก่อนรอยต่อ.....	182
ภาพที่ 7-5	การตรวจหลอดเลือดแดงก่อนรอยต่อ	182
ภาพที่ 7-6	การตรวจรอยต่อระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ	183
ภาพที่ 7-7	การหนาตัวใหม่ (neointimal hyperplasia) ของผนังหลอดเลือด.....	185
ภาพที่ 7-8	การไหลเวียนของเม็ดเลือดบริเวณหลอดเลือดดำหลังรอยต่อ	185
ภาพที่ 7-9	การตรวจหลอดเลือดดำหลังรอยต่อ	187
ภาพที่ 7-10	การตรวจรอยต่อระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดเทียม.....	189
ภาพที่ 7-11	เปรียบเทียบหลอดเลือดเทียมและหลอดเลือดดำ.....	189
ภาพที่ 7-12	การตรวจ arteriovenous graft fistula ชนิดหลอดเลือดเทียมโค้ง	190
ภาพที่ 7-13	การตรวจรอยต่อระหว่างหลอดเลือดเทียมและหลอดเลือดดำ.....	192
ภาพที่ 7-14	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous fistula ดีบ (1).....	196
ภาพที่ 7-15	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous fistula ดีบ (2).....	197
ภาพที่ 7-16	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous fistula ดีบ (3).....	198
ภาพที่ 7-17	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous fistula ดีบ (4).....	199
ภาพที่ 7-18	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous graft fistula ดีบ (1)	200
ภาพที่ 7-19	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous graft fistula ดีบ (2)	201
ภาพที่ 7-20	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous graft fistula ดีบ (3)	202
ภาพที่ 7-21	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous fistula อุดตัน	202
ภาพที่ 7-22	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตชนิด arteriovenous graft fistula ติดเชื้อ	203
ภาพที่ 7-23	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตโป่งพองแท้	203
ภาพที่ 7-24	การวินิจฉัยหลอดเลือดฟอกไตโป่งพองไม่แท้	204

ส่วนที่ 3 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดส่วนขา

บทที่ 8 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดงส่วนขา

ภาพที่ 8-1	กายวิภาคของหลอดเลือดแดงส่วนขา.....	218
ภาพที่ 8-2	การตรวจหลอดเลือดแดง common femoral และ superficial femoral	222

ภาพที่ 8-3	การตรวจหลอดเลือดแดง popliteal	223
ภาพที่ 8-4	การตรวจหลอดเลือดแดง anterior tibial, posterior tibial และ peroneal	225
ภาพที่ 8-5	เปรียบเทียบ spectral waveform ของหลอดเลือดแดงส่วนต้นขา..... และต่ำกว่าเข่า	225
ภาพที่ 8-6	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงส่วนขาตีบ	227
ภาพที่ 8-7	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงส่วนขาอุดตัน	228
ภาพที่ 8-8	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงส่วนขาตีบ	229
	กรณีมีรอยโรคมากกว่า 1 ตำแหน่ง	
ภาพที่ 8-9	การตรวจรอยต่อระหว่างหลอดเลือดแดงต้นทางและหลอดเลือดทางผ่าน	233
ภาพที่ 8-10	การตรวจหลอดเลือดทางผ่าน.....	234
ภาพที่ 8-11	การตรวจรอยต่อระหว่างหลอดเลือดทางผ่าน	234
	และหลอดเลือดแดงปลายทาง	
ภาพที่ 8-12	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดทางผ่านตีบมากกว่าร้อยละ 50.....	236
ภาพที่ 8-13	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดทางผ่านตีบมากกว่าร้อยละ 75.....	237
ภาพที่ 8-14	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดแดงตีบซ้ำภายหลังการรักษา	238
ภาพที่ 8-15	การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดทางผ่านอุดตัน.....	239

บทที่ 9 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำลึกส่วนขา : ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ

ภาพที่ 9-1	หลอดเลือดดำ femoral ที่ไม่มีลิ้มเลือดอุดตัน	250
ภาพที่ 9-2	หลอดเลือดดำ femoral ที่มีลิ้มเลือดอุดตัน	251
ภาพที่ 9-3	Spectral waveform ของหลอดเลือดดำ common femoral.....	253
ภาพที่ 9-4	กายวิภาคของหลอดเลือดดำลึกส่วนขา	260
ภาพที่ 9-5	การตรวจโดยวิธี compression ของหลอดเลือดดำ common femoral	261
ภาพที่ 9-6	การปรับระดับ B-mode gain ที่เหมาะสม	262
ภาพที่ 9-7	Color image ของหลอดเลือดดำ common femoral.....	263
ภาพที่ 9-8	Spectral waveform ของหลอดเลือดดำ common femoral.....	264
ภาพที่ 9-9	การตรวจโดยวิธี compression ของหลอดเลือดดำ femoral.....	266
ภาพที่ 9-10	ประโยชน์ของการแสดงผลรูปแบบ color image	267
ภาพที่ 9-11	Spectral waveform ของหลอดเลือดดำ femoral	269
ภาพที่ 9-12	การตรวจโดยวิธี compression ของหลอดเลือดดำ popliteal.....	270
ภาพที่ 9-13	Color image ของหลอดเลือดดำ popliteal	270

ภาพที่ 9-14 Spectral waveform ของหลอดเลือดดำ popliteal	271
ภาพที่ 9-15 การตรวจหลอดเลือดดำ anterior tibial	273
ภาพที่ 9-16 การตรวจหลอดเลือดดำ posterior tibial และ peroneal.....	275
ภาพที่ 9-17 Color image ของหลอดเลือดดำ posterior tibial และ peroneal	276
ภาพที่ 9-18 เทคนิคการถ่ายภาพหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง anterior tibial	277
ภาพที่ 9-19 เทคนิคการถ่ายภาพหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง.....	277
posterior tibial และ peroneal	

บทที่ 10 การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำลึกส่วนขาโดยคลื่นเสียงความถี่สูง

ภาพที่ 10-1 ลิ่มเลือดในระยะ 1-2 วันแรก	286
ภาพที่ 10-2 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (1).....	287
ภาพที่ 10-3 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (2).....	287
ภาพที่ 10-4 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (3).....	288
ภาพที่ 10-5 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (4).....	288
ภาพที่ 10-6 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (5).....	289
ภาพที่ 10-7 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (6).....	289
ภาพที่ 10-8 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน (7).....	290
ภาพที่ 10-9 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน ชนิด free floating (1)	291
ภาพที่ 10-10 ลิ่มเลือดในระยะเฉียบพลัน ชนิด free floating (2)	292
ภาพที่ 10-11 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (1).....	294
ภาพที่ 10-12 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (2).....	294
ภาพที่ 10-13 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (3).....	295
ภาพที่ 10-14 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (4).....	295
ภาพที่ 10-15 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (5).....	296
ภาพที่ 10-16 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (6).....	296
ภาพที่ 10-17 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (7).....	297
ภาพที่ 10-18 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (8).....	297
ภาพที่ 10-19 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (9).....	298
ภาพที่ 10-20 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (10).....	298
ภาพที่ 10-21 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (11).....	299
ภาพที่ 10-22 ลิ่มเลือดในระยะเรื้อรัง (12).....	299
ภาพที่ 10-23 ภาวะหลอดเลือดดำอุดตันอย่างสมบูรณ์	301

ภาพที่ 10-24	ภาวะหลอดเลือดดำตีบ	303
ภาพที่ 10-25	ภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทาง (1)	304
ภาพที่ 10-26	ภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทาง (2)	304
ภาพที่ 10-27	ภาวะอักเสบและลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดดำตื้น	306
ภาพที่ 10-28	ภาวะต่อน้ำเหลืองโต	307
ภาพที่ 10-29	ถุงน้ำเบเคอร์	308
ภาพที่ 10-30	ภาวะบวมน้ำและบวมจากระบบน้ำเหลือง	309

บทที่ 11 คลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดดำตื้นส่วนขา : ข้อบ่งชี้และวิธีการตรวจ

ภาพที่ 11-1	กายวิภาคของหลอดเลือดดำตื้นส่วนขา	320
ภาพที่ 11-2	ความหลากหลายทางกายวิภาคของหลอดเลือดดำ	322
	great saphenous ส่วนต้นขา	
ภาพที่ 11-3	ความหลากหลายทางกายวิภาคของหลอดเลือดดำ	323
	great saphenous ส่วนน่อง	
ภาพที่ 11-4	การตรวจหลอดเลือดดำ great saphenous	326
	โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	
ภาพที่ 11-5	การตรวจหลอดเลือดดำ small saphenous	330
	โดยรูปแบบการทำงาน B-mode	
ภาพที่ 11-6	การตรวจหลอดเลือดดำเชื่อมต่อโดยรูปแบบการทำงาน B-mode	332

บทที่ 12 การวินิจฉัยโรคหลอดเลือดดำส่วนขาเรื้อรังโดยคลื่นเสียงความถี่สูง

ภาพที่ 12-1	ลิ้นหลอดเลือดดำ	337
ภาพที่ 12-2	พยาธิสรีรวิทยาของภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทาง	339
ภาพที่ 12-3	การวินิจฉัยภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางโดยวิธี augmentation	342
ภาพที่ 12-4	การวินิจฉัยภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางโดยวิธี Valsalva's maneuver	343
ภาพที่ 12-5	วิธีการระบุตำแหน่งของ saphenofemoral junction	346
ภาพที่ 12-6	การวินิจฉัยภาวะ saphenofemoral junction incompetence	347
ภาพที่ 12-7	กายวิภาคของหลอดเลือดดำ anterior accessory และ	348
	great saphenous	
ภาพที่ 12-8	ความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดดำ anterior accessory และ	348
	great saphenous (1)	

ภาพที่ 12-9 ความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดดำ anterior accessory และ.....	349
great saphenous (2)	
ภาพที่ 12-10 Color image บริเวณ saphenofemoral junction.....	349
ภาพที่ 12-11 การวินิจฉัยภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ.....	351
great saphenous	
ภาพที่ 12-12 ความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดดำ great saphenous	352
และหลอดเลือดดำสาขา	
ภาพที่ 12-13 ความหลากหลายทางกายวิภาคของหลอดเลือดดำ.....	353
great saphenous ชนิดเส้นคู่	
ภาพที่ 12-14 ภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางภายในหลอดเลือดดำ	355
small saphenous ส่วนต้นขา	
ภาพที่ 12-15 การวินิจฉัยภาวะ saphenopopliteal junction incompetence	356
ภาพที่ 12-16 การวินิจฉัยภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ perforator.....	359
ภาพที่ 12-17 การรายงานผลภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ	363
great saphenous (1)	
ภาพที่ 12-18 การรายงานผลภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ	364
great saphenous (2)	
ภาพที่ 12-19 การรายงานผลภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ	365
great saphenous (3)	
ภาพที่ 12-20 การรายงานผลภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ	366
small saphenous (1)	
ภาพที่ 12-21 การรายงานผลภาวะเลือดดำไหลย้อนทิศทางในหลอดเลือดดำ	367
small saphenous (2)	

ส่วนที่ 4 ความก้าวหน้าของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด

บทที่ 13 เทคโนโลยีภาพแสดงการไหลเวียนภายในหลอดเลือด

ภาพที่ 13-1 เปรียบเทียบการแสดงผลรูปแบบ color, power Doppler	377
และ microvascular image	
ภาพที่ 13-2 การปรับขนาดขอบเขตภาพสีใน microvascular image	378
ภาพที่ 13-3 ประโยชน์ของ power Doppler image	379
ภาพที่ 13-4 ผลลวงของการแสดงผลรูปแบบภาพสีโดยเทคโนโลยีดอปเพลอร์.....	381

ภาพที่ 13-5 เปรียบเทียบการแสดงผลรูปแบบ gray scale image และ B-flow image.....383

ภาพวินิจฉัยจากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง

ทุกภาพนำมาจากฐานข้อมูลภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี โดยได้รับอนุญาตจาก ผู้อำนวยการโรงพยาบาลรามธิบดี หนังสือเลขที่ อว 78.068/0738

ภาพวาด

ภาพที่ 1-2

วาดภาพโดย ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

ภาพที่ 3-1, 5-1, 6-2, 7-3, 8-1, 9-4, 11-1, 11-2, 11-3 และ 12-2

วาดภาพโดย ชนนยา ห่อเกียรติ

ส่วนที่ 1

หลักการพื้นฐาน
Basic Principle

บทที่

1

ความรู้พื้นฐาน ของคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือด Basic Knowledge of Vascular Ultrasound

สรุปสาระสำคัญ

- บทนำ
- หลักการพื้นฐาน
- การแปลผลภาพสี
 - การแปลผลทิศทางจากภาพสี
 - การแปลผลความเร็วจากภาพสี
- การแปลผลเส้นกราฟ
- หลักการวินิจฉัย
 - ตัวชี้วัดของการวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดตีบ
- สรุป

บทนำ

การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound) เพื่อวินิจฉัยโรคของหลอดเลือดอาศัยปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบและสะท้อนกลับจากเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือด หรือปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) จึงนิยมเรียกชื่อการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด ว่า **คลื่นเสียงความถี่สูงดอปเพลอร์ (Doppler ultrasound)** สามารถแสดงผลการตรวจได้หลากหลายรูปแบบขึ้นกับเทคนิคที่ใช้และจุดประสงค์ของการตรวจ ได้แก่

Continuous wave (CW) Doppler ultrasound ที่ใช้การฟังเสียงเพื่อตรวจการไหลเวียนภายในหลอดเลือดหรือการเต้นของหัวใจโดยไม่แสดงผลเป็นรูปภาพ

Pulse wave (PW) Doppler ultrasound ที่แสดงผลการตรวจ 2 รูปแบบ คือ ภาพสี (color image) และเส้นกราฟ (spectral waveform) เพื่อบอกข้อมูลทิศทางและความเร็วของเม็ดเลือด

Doppler ultrasound เป็นการตรวจที่ถูกเลือกใช้เพื่อวินิจฉัยโรคของหลอดเลือดเป็นลำดับแรก หากพบรอยโรคหรือสงสัยความผิดปกติจึงพิจารณาส่งตรวจภาพวินิจฉัยของหลอดเลือดวิธีอื่น เช่น ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหลอดเลือดแดงหรือหลอดเลือดดำ (computed tomographic angiography or venography) และภาพสะท้อนในสนามแม่เหล็กของหลอดเลือดแดงหรือหลอดเลือดดำ (magnetic resonance angiography or venography) ส่วนการฉีดสารเปรียบเทียบความชัดหรือสารทึบรังสี (contrast medium) เข้าหลอดเลือดแดงหรือหลอดเลือดดำโดยตรง (conventional angiography or venography) นั้น จะพิจารณาทำการตรวจต่อเมื่อต้องการทำการรักษาผ่านทางหลอดเลือด (endovascular treatment) หรือการตรวจภาพวินิจฉัยที่ผ่านมาก่อนหน้าให้ข้อมูลไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เท่านั้น

ข้อดีของการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงนอกเหนือจากสามารถทำได้ง่าย ใช้เครื่องมือราคาไม่แพง ไม่ก่อเกิดความเจ็บปวดขณะรับการตรวจ ไม่มีความเสี่ยงจากการฉีดสารเปรียบเทียบความชัดเข้าสู่ร่างกายแล้ว ยังมีข้อเด่นที่เหนือกว่าการตรวจภาพวินิจฉัยชนิดอื่น ๆ คือ สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการไหลเวียนของเม็ดเลือดภายในระบบหลอดเลือด ได้เพิ่มเติมนอกจากความผิดปกติที่ตรวจพบจากการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคเพียงอย่างเดียว และใช้ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนร่วมกันเพื่อการวินิจฉัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและวิธีการแปลผลการตรวจของ Doppler ultrasound ทั้ง color image และ spectral waveform ซึ่งถือว่าเป็นความรู้พื้นฐานสำคัญของการวินิจฉัยโรคของหลอดเลือดที่จะได้กล่าวถึงในเนื้อหาของบทต่อ ๆ ไปในหนังสือเล่มนี้

หลักการพื้นฐาน

การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด (vascular ultrasound) แตกต่างจากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของอวัยวะอื่น ๆ คือ มีการใช้รูปแบบการทำงานดอปเพลอร์ (Doppler-mode) เพิ่มเติมขึ้นมาจากรูปแบบการทำงานปกติ (B-mode) จึงนิยมเรียกชื่อว่า **คลื่นเสียงความถี่สูงดูเพล็กซ์ (duplex ultrasound)** หมายถึง การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงที่ใช้ 2 รูปแบบการทำงานร่วมกันเพื่อวินิจฉัยโรคของหลอดเลือด คือ

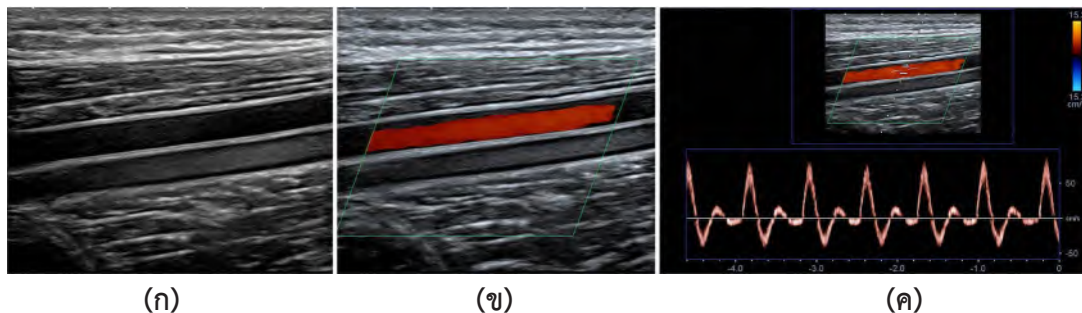
1. **B-mode หรือ Bright-mode** แสดงผลการตรวจเป็นภาพขาวดำ (gray scale image) ให้ข้อมูลทางกายวิภาคของหลอดเลือด (anatomical information)

2. **Doppler-mode** แสดงผลการตรวจเป็น color image และ spectral waveform ให้ข้อมูลของการไหลเวียนภายในระบบหลอดเลือด (hemodynamic information)¹

Gray scale image จากการตรวจรูปแบบการทำงาน B-mode ได้มาจากการเดินทางของคลื่นเสียงความถี่สูงผ่านผิวหนังไปกระทบรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกัน เกิดการสะท้อนกลับและทะลุผ่านของคลื่นเสียง คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังหัวตรวจ (transducer) จะถูกแปลงสัญญาณเป็นจุดสีขาวหรือสีดำบนจอแสดงผล หากคลื่นเสียงกระทบรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันมาก จะสะท้อนกลับมามาก (hyperechoic) แสดงผลเป็นสีขาว แต่หากคลื่นเสียงกระทบตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันอย่างน้อยลง คลื่นเสียงจะสะท้อนกลับมาน้อยลง (hypoechoic) และแสดงผลตามปริมาณของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับ จากสีเทาอ่อนค่อนข้างขาวจนถึงสีเทาเข้มค่อนข้างดำ และหากไม่มีการสะท้อนกลับเลย (anechoic) จะแสดงผลเป็นสีดำสนิท^{2,3} รอยต่อระหว่างผนังชั้นในของหลอดเลือด (intima) กับเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือด มีความหนาแน่นต่างกันมากจึงเห็นเป็นเส้นสีขาว (hyperechoic line) ส่วนเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดเป็นของเหลวที่ไม่มีรอยต่อระหว่างกัน ไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง จึงเห็นเป็นสีดำสนิท

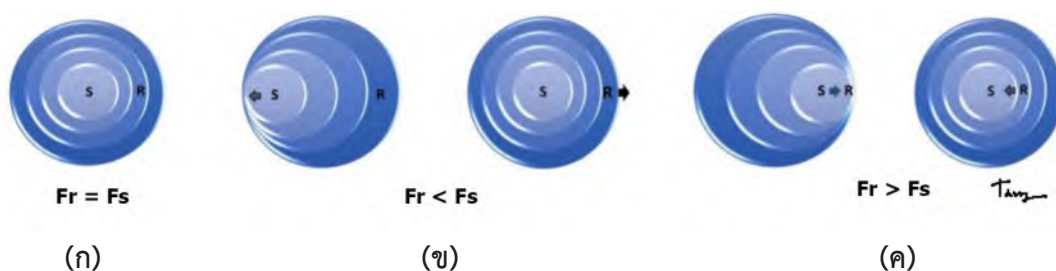
ดังนั้นเฉพาะการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง รูปแบบการทำงาน B-mode ที่แสดงผลเป็น gray scale image จะสามารถให้ข้อมูลเรื่อง ตำแหน่ง ขนาด ความหนาของผนังหลอดเลือด หินปูนที่ผนังหลอดเลือด หรือลิ่มเลือดภายในหลอดเลือด เท่านั้น ไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการไหลเวียนของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือดได้

การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดจึงใช้รูปแบบการทำงาน Doppler-mode มาตรวจเพื่อทราบข้อมูลการไหลเวียนของเม็ดเลือดร่วมด้วยเสมอ โดยอาศัยหลักการของ **Doppler effect** ที่เกิดขึ้นจากการไหลเวียนหรือเคลื่อนที่ของเม็ดเลือดมาแปลงสัญญาณเป็น color image และ spectral waveform แสดงตาม **ภาพที่ 1-1**



ภาพที่ 1-1 รูปแบบการแสดงผลของ duplex ultrasound ประกอบด้วย gray scale image (ก) จากรูปแบบการทำงาน B-mode, color image (ข) และ spectral waveform (ค) จากรูปแบบการทำงาน Doppler-mode

Doppler effect เป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่ค้นพบโดย Johann Christian Doppler แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียง เมื่อมีการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (source) หรือตัวรับคลื่นเสียง (receiver)⁴ กล่าวคือ ถ้าหากแหล่งกำเนิดและตัวรับคลื่นเสียงไม่มีการเคลื่อนที่ คลื่นเสียงที่ถูกส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเมื่อเดินทางมาถึงตัวรับ คลื่นเสียงนั้นจะมีความถี่เท่ากับความถี่เดิมที่ถูกส่งออกมาไม่เปลี่ยนแปลง แต่หากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงมีการเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวรับหรือตัวรับเคลื่อนที่เข้าใกล้แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมาถึงตัวรับ คลื่นเสียงนั้นจะมีความถี่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับความถี่เดิมที่ถูกส่งออกมา และหากแหล่งกำเนิดเสียงมีการเคลื่อนที่ห่างออกจากตัวรับหรือตัวรับเคลื่อนที่ห่างออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมาถึงตัวรับ คลื่นเสียงก็จะมีค่าความถี่ต่ำลงเมื่อเทียบกับความถี่เดิมที่ถูกส่งออกมา แสดงตาม ภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เปรียบเทียบค่าความถี่ที่ได้รับ (F_r) กับค่าความถี่ที่ถูกส่งออกมาจากแหล่งกำเนิด (F_s)

- (ก) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (S) และตัวรับคลื่นเสียง (R) ไม่มีการเคลื่อนที่
- (ข) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (S) เคลื่อนที่ออกจากตัวรับคลื่นเสียง (R) หรือตัวรับคลื่นเสียง (R) เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (S)
- (ค) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (S) เคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวรับคลื่นเสียง (R) หรือตัวรับคลื่นเสียง (R) เคลื่อนที่เข้าใกล้แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (S)

วาดภาพโดย ธนพงศ์ พันธุ์พิกุล

ปรากฏการณ์ดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด กล่าวคือ เมื่อมีการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงจากหัวตรวจไปกระทบเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดแล้วเกิดการสะท้อนของคลื่นเสียงกลับมายังหัวตรวจ คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังหัวตรวจจะมีความถี่สูงขึ้นหรือต่ำลงจากความถี่เดิมที่ถูกส่งออกมาจากหัวตรวจขึ้นกับว่าเม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดนั้นมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากหัวตรวจ เรียกส่วนต่างของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงนี้ว่า **Doppler shift** หรือ **frequency shift** ส่วนคลื่นเสียงความถี่สูงจากหัวตรวจที่ไปกระทบตัวกลางอื่นที่ไม่มีการเคลื่อนที่จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียง

ดังนั้นระหว่างการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังหัวตรวจจึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาจากตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่ คลื่นเสียงนี้จะมีค่าความถี่เท่ากับความถี่เดิมที่ส่งออกจากหัวตรวจและจะแปลงสัญญาณเป็นจุดสีขาวหรือสีดำ สร้างเป็น **gray scale image** แสดงลักษณะทางกายวิภาคของหลอดเลือดและอวัยวะ

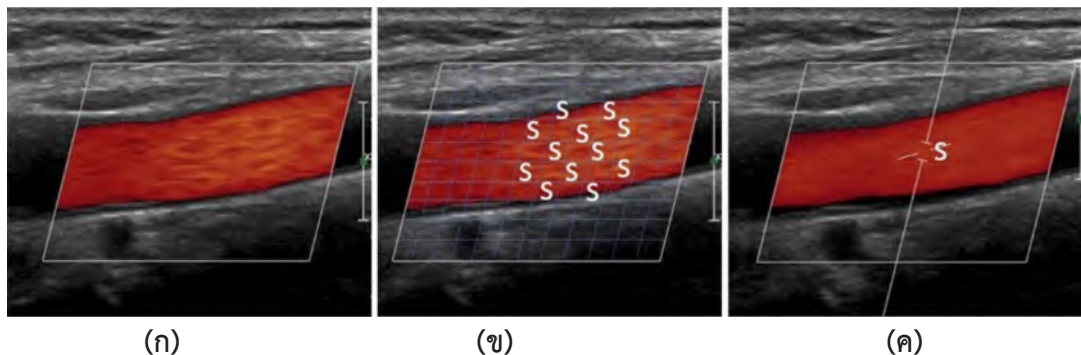
2. คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาจากตัวกลางที่มีการเคลื่อนที่หรือจากเม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือด คลื่นเสียงส่วนนี้จะมีค่าความถี่ต่างไปจากเดิม ส่วนต่างของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณภาพสีและนำมาซ้อนทับกับ **gray scale image** ที่สร้างจากตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่เหมือนสีที่ระบายอยู่ภายในหลอดเลือดหรืออาจเลือกแปลงสัญญาณจากส่วนต่างของความถี่นั้นให้แสดงผลเป็น **spectral waveform** ก็ได้เช่นกัน

ส่วนต่างของความถี่ที่เกิดขึ้นนี้ จะมีค่าน้อยกว่าความถี่ที่สะท้อนกลับจากตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่มากและอยู่ในช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยิน ดังนั้น ระหว่างทำการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดรูปแบบการทำงาน **Doppler-mode** จึงได้ยินเสียงที่สัมพันธ์กับความเร็วของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดร่วมด้วยเสมอ

ส่วนต่างของความถี่ที่ถูกนำมาแปลงเป็น **color image** และ **spectral waveform** นั้น ได้มาจากการกระบวนการเก็บตัวอย่างผ่านช่องจับสัญญาณ (**sample volume**) โดย **sample volume** ของการแสดงผลรูปแบบ **color image** จะแสดงในรูปแบบขอบเขตภาพสี (**color box**) ที่เห็นลักษณะเป็นกรอบหรือขอบเขตรูปสี่เหลี่ยมซ้อนทับบน **gray scale image** ระหว่างทำการตรวจ ภายใน **color box** นี้จะประกอบด้วย **sample volume** ขนาดเล็กจำนวนหลายพันช่องที่ไม่แสดงให้เห็น สัญญาณภาพสีที่ปรากฏขึ้นภายใน **color box** เป็นผลมาจากมีเม็ดเลือดไหลเวียนผ่าน **sample volume** แต่ละช่อง⁵ แสดง **color box** และภาพสมมุติของ **sample volume** ตามภาพที่ 1-3ก และ ข

แตกต่างจาก **sample volume** ของการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง ที่แสดงผลเป็น **spectral waveform** ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างทำการตรวจ ลักษณะเป็นช่องว่างกึ่งกลางระหว่างแนวทิศทางของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกจากหัวตรวจ (**ultrasound beam**) นิยมเรียกอีกชื่อว่า **sample gate** แสดงตาม ภาพที่ 1-3ค เฉพาะส่วนต่างของความถี่จากเม็ดเลือดที่ไหลเวียนผ่าน **sample gate**

เท่านั้น ที่จะถูกนำไปประมวลผลและแสดงเป็น spectral waveform



ภาพที่ 1-3 ขอบเขตภาพสี (color box) (ก) ประกอบด้วย sample volume (s) ขนาดเล็กจำนวนมากที่ไม่แสดงให้เห็นระหว่างการตรวจที่แสดงผลเป็น color image (ข) แตกต่างกับ sample volume หรือ sample gate (s) ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนระหว่างการตรวจที่แสดงผลเป็น spectral waveform (ค)

ขั้นตอนการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงโดยรูปแบบการทำงาน Doppler mode จึงเริ่มต้นจากให้แสดงผลเป็น color image โดยกำหนดขอบเขตและวางตำแหน่งของ color box ให้ซ้อนทับและครอบคลุมหลอดเลือดที่ต้องการตรวจทั้งหมด มีจุดประสงค์เพื่อแสดงภาพรวมของการไหลเวียนภายในหลอดเลือดทั้งหมดเสียก่อน จากนั้นจึงวางตำแหน่งของ sample gate ทำการเก็บสัญญาณและให้แสดงผลเป็น spectral waveform เพื่อวัดค่าตัวชี้วัดของหลอดเลือดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามหลักเกณฑ์การวินิจฉัยโรคเป็นลำดับถัดไป

การวินิจฉัยโรคจากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดจะใช้การแปลผลร่วมกันระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาจากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทั้ง 3 รูปแบบการแสดงผล คือ

1. ข้อมูลทั่วไปเรื่อง ตำแหน่ง ขนาดและลักษณะทางกายวิภาคต่าง ๆ ของหลอดเลือด จากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงรูปแบบการทำงาน B-mode ที่แสดงผลเป็น gray scale image
2. ข้อมูลการไหลเวียนภายในหลอดเลือดในภาพรวม เช่น ทิศทาง ความเร็ว และลักษณะการไหลเวียนที่ปกติหรือผิดปกติ หรือผลจากการตรวจโดยรูปแบบการทำงาน Doppler-mode ที่แสดงผลเป็น color image
3. รายละเอียดเกี่ยวกับการไหลเวียนของเม็ดเลือดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในหลอดเลือด เช่น ค่าความเร็วของเม็ดเลือด การเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของเม็ดเลือดตามระยะเวลา ตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้สำหรับการเพิ่มความเร็วของเม็ดเลือดจนถึงค่าความเร็วสูงสุด (acceleration time : AT) หรือ ค่าดัชนีแรงต้านทานภายในหลอดเลือด (resistive index : RI) แต่ละตำแหน่งภายในหลอดเลือดตามเกณฑ์การวินิจฉัยโรคหลอดเลือด จากผลการตรวจโดยรูปแบบการทำงาน Doppler-mode ที่แสดงผลเป็น spectral waveform

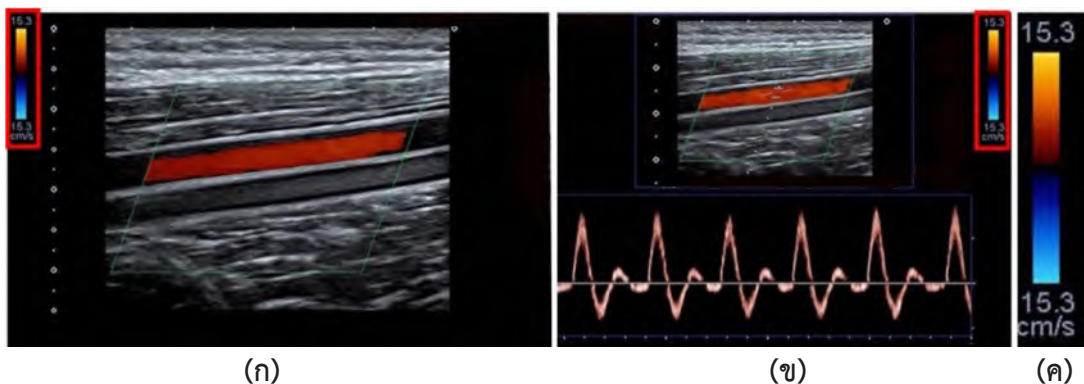
การวินิจฉัยโรคหลอดเลือดที่ถูกต้องและแม่นยำตามหลักเกณฑ์ จำเป็นต้องอาศัยการแปลผลร่วมกันระหว่างข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทั้ง 2 รูปแบบการทำงาน และการแสดงผลทุกรูปแบบ โดยข้อมูลที่ได้ ควรต้องมีความสอดคล้องและสัมพันธ์กันอย่างเป็นเหตุเป็นผล

การแปลผลภาพสี

การแปลผล color image ใช้การอ้างอิงจากแถบสี (color bar) ที่จะแสดงอยู่บริเวณมุมบนด้านใดด้านหนึ่งของภาพ ในขณะที่ทำการตรวจโดยรูปแบบการทำงาน Doppler-mode

Color bar ประกอบด้วย เส้นเชื่อมฐาน (baseline) สีดำอยู่กึ่งกลางระหว่างแถบสีแดงและสีน้ำเงิน สีแดงและสีน้ำเงินที่อยู่ติดเส้น baseline จะมีโทนสีเข้มมากที่สุดและมีโทนสีอ่อนลงเรื่อย ๆ ตามระยะห่างจากเส้น baseline ที่ตำแหน่งปลายสุดของแถบสีแต่ละด้านจะมีตัวเลขแสดงค่าความเร็วของเม็ดเลือด ข้อมูลสำคัญที่ได้จาก color bar จึงประกอบด้วยข้อมูลเรื่องทิศทางและความเร็วของเม็ดเลือด⁶

สีขององค์ประกอบต่าง ๆ ของ color box ได้ตาม ภาพที่ 1-4



ภาพที่ 1-4 แถบสี (color bar) (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ที่มุมบนซ้าย (ก) และบนขวา (ข) ของภาพขณะทำการตรวจด้วยรูปแบบการทำงาน Doppler-mode และภาพขยายของ color bar (ค)

การแปลผลทิศทางการไหลเวียน

สีแดงและสีน้ำเงินที่อยู่เหนือและใต้ต่อเส้น baseline แสดงถึงทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดที่ตรงข้ามกัน โดย

1. สีที่อยู่เหนือต่อเส้น baseline แสดงทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนเข้าหาหัวตรวจหรือสวนทางกับ ultrasound beam ตัวเลขแสดงค่าความเร็วของเม็ดเลือดจะมีค่าเป็นบวก

2. สีที่อยู่ใต้ต่อเส้น baseline แสดงทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนออกจากหัวตรวจหรือไปในทิศทางเดียวกับ ultrasound beam ตัวเลขแสดงค่าความเร็วของเม็ดเลือดจะมีค่าเป็นลบ

สัญญาณภาพทั้งสีแดงและสีน้ำเงินนั้น สามารถแสดงทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือดได้ทั้ง 2 ทิศทาง ไม่จำกัดว่าสีแดงต้องอยู่เหนือเส้น baseline แสดงทิศทางเข้าหาหัวตรวจหรือสีน้ำเงินต้องอยู่ใต้ต่อเส้น baseline แสดงทิศทางออกจากหัวตรวจเสมอไป ผู้ทำการตรวจสามารถเลือกให้สีใดแสดงทิศทางเข้าหรือออกจากหัวตรวจก็ได้ตามความเหมาะสม

ทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานช่วยระบุว่า หลอดเลือดที่ตรวจนั้น เป็นหลอดเลือดแดงหรือหลอดเลือดดำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลสำคัญเพื่อการวินิจฉัยบางภาวะที่มีทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดผิดปกติหรือย้อนทิศทาง เช่น ภาวะ steal phenomenon หรือ โรคหลอดเลือดดำเรื้อรัง (chronic venous disease : CVD) เป็นต้น

การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดอวัยวะภายในช่องท้อง

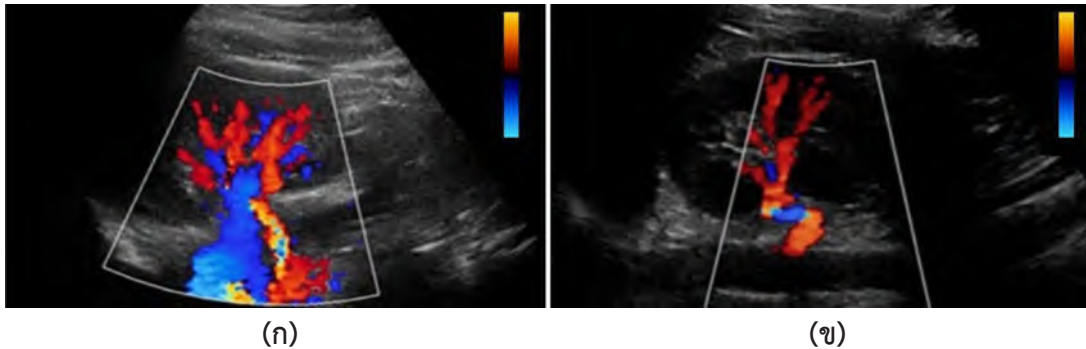
การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดของอวัยวะภายในช่องท้อง เช่น หลอดเลือดของตับและไต หัวตรวจจะวางอยู่บนผิวหนังชิดกับอวัยวะที่ต้องการตรวจ ส่วนหลอดเลือดของอวัยวะนั้นจะเป็นสาขาที่มาจากหลอดเลือดใหญ่ คือ หลอดเลือดแดงเอออร์ตา (aorta) หรือหลอดเลือดดำอินฟีเรียเวนาคาวา (inferior vena cava : IVC) ที่อยู่ห่างจากหัวตรวจออกไปหรือลึกเข้าไปภายในช่องท้อง

หัวตรวจจะส่งคลื่นเสียงความถี่สูง โดยมีทิศทางจากผิวหนังเข้าไปยังส่วนลึกของร่างกายเสมอ ทิศทางที่เม็ดเลือดไหลเข้าหาหรือออกจากอวัยวะนั้น จะเป็นทิศทางแนวเดียวกับทิศทางที่เข้าหาหรือออกจากหัวตรวจด้วยเช่นกัน ไม่จำเป็นต้องมีการกำหนดทิศทางของ ultrasound beam

ศึกษาวิธีการแปลผลทิศทางของหลอดเลือดอวัยวะภายในช่องท้องได้จากตัวอย่าง แสดงตามภาพที่ 1-5ก และ ข

ภาพที่ 1-5ก แสดง color image จากผลการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงรูปแบบการทำงาน Doppler-mode ของหลอดเลือดไตข้างขวา โดยวางหัวตรวจไว้ที่ผิวหนังบริเวณข้างลำตัวของผู้ป่วย แสดงภาพหลอดเลือด 2 สี คือ สีแดงและสีน้ำเงิน หลอดเลือดทั้ง 2 เป็นสาขามาจากหลอดเลือดใหญ่ที่อยู่ลึกเข้าไปภายในช่องท้องและแตกแขนงให้สาขาเข้าไปในเนื้อไต การบอกทิศทางและระบุชนิดของหลอดเลือดให้ปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

1. พิจารณาลักษณะกายวิภาคของหลอดเลือด เมื่อไตข้างที่ตรวจเป็นไตข้างขวาหลอดเลือดใหญ่ที่ให้สาขาสีน้ำเงินอยู่ใกล้ไต้มากกว่าหลอดเลือดใหญ่ที่ให้สาขาสีแดง ดังนั้น หลอดเลือดสีน้ำเงินควร



ภาพที่ 1-5 การแปลผลทิศทางการไหลของหลอดเลือดด้วยระยะภายในช่องท้องจาก color image ภาพ (ก) และ (ข) ได้จากผลการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดของไตข้างขวาและซ้ายตามลำดับ

เป็นหลอดเลือดดำ renal ที่เป็นสาขามาจากหลอดเลือดดำอินฟีเรียเวนาคาวา ส่วนหลอดเลือดสีแดงควรเป็นหลอดเลือดแดง renal ที่เป็นสาขามาจากหลอดเลือดแดงเอออร์ตา

2. พิจารณา color bar ที่บริเวณมุมบนด้านขวาของภาพ เหนือจากเส้น baseline เป็นสีแดงแสดงค่าความเร็วเป็นบวก ใต้ต่อเส้น baseline เป็นสีน้ำเงินแสดงค่าความเร็วเป็นลบ แสดงว่าหลอดเลือดสีแดงมีทิศทางวิ่งจากหลอดเลือดใหญ่ในช่องท้องเข้าหาไตควรเป็นหลอดเลือดแดง renal และหลอดเลือดสีน้ำเงินมีทิศทางวิ่งออกจากเนื้อไตเข้าหลอดเลือดใหญ่ในช่องท้องควรเป็นหลอดเลือดดำ renal

3. เมื่อข้อมูลจากข้อ 1 และ 2 สัมพันธ์กัน จึงสรุปได้ว่า หลอดเลือดสีแดงคือหลอดเลือดแดง renal และหลอดเลือดสีน้ำเงินคือหลอดเลือดดำ renal

4. หากข้อมูลจากข้อ 1 และ 2 ขัดแย้งกัน หรือแสดงกายวิภาคของหลอดเลือดไม่ชัดเจน ให้พิจารณาผลตรวจจากการแสดงผลแบบ spectral waveform เพิ่มเติม ข้อมูลที่ได้จะสามารถระบุลักษณะจำเพาะของหลอดเลือดแดงหรือหลอดเลือดดำได้

ข้อควรระวัง สำหรับการแปลผล color image คือ สีที่เห็นในหลอดเลือดแสดงทิศทางการไหลที่วิ่งอยู่ภายในหลอดเลือดโดยอ้างอิงจากทิศทางที่ทำกับหัวตรวจเท่านั้นและสามารถเลือกกำหนดให้สีแดงหรือน้ำเงินอยู่เหนือหรือใต้ต่อเส้น baseline ก็ได้ โดยไม่จำกัดว่าสีแดงต้องมีทิศทางการไหลเข้าหาหัวตรวจเป็นหลอดเลือดแดงหรือน้ำเงินต้องมีทิศทางการไหลออกจากหัวตรวจเป็นหลอดเลือดดำเสมอไป หากหลอดเลือดมีความคดเคี้ยว ภายในหลอดเลือดเดียวกันอาจแสดงสีมากกว่าหนึ่งสีได้

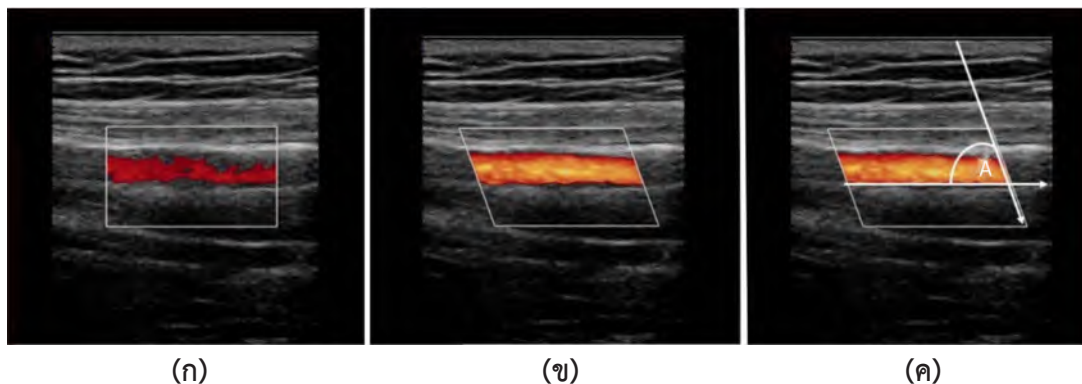
ภาพที่ 1-5 แสดง color image จากผลการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือดแดง renal ที่นำเลือดเข้าสู่ไตข้างซ้าย สัญญาณภาพสีที่ปรากฏภายในหลอดเลือดดำแขนงที่ออกจากหลอดเลือดแดงเอออร์ตาเป็นสีแดง (เข้าหาหัวตรวจและเข้าหาไต) ตำแหน่งถัดมาหลอดเลือดมีความคดเคี้ยวแสดงเป็นสีน้ำเงิน (ออกจากหัวตรวจแต่เข้าหาไต) และสาขาย่อยในไตแสดงเป็นสีแดง (เข้าหาหัวตรวจและเข้าหาไต) เป็นต้น

การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลาย

การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายหรือหลอดเลือดของแขนและขาแตกต่างจากการแปลผลทิศทางของหลอดเลือดอวัยวะภายในช่องท้อง เนื่องจากทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดส่วนปลายอยู่คนละระนาบกับทิศทางของ ultrasound beam

เม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดของแขนและขามีทิศทางการไหลเวียนจากต้นแขน ต้นขา ไปสู่ปลายแขน ปลายขา หรือจากปลายแขน ปลายขา กลับเข้าสู่ต้นแขน ต้นขา ในขณะที่ทิศทางของ ultrasound beam มีทิศทางจากผิวหนังเข้าหาหลอดเลือด ทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดจึงไม่ได้ไหลเข้าหาหรือออกจากหัวตรวจโดยตรงแตกต่างจากหลอดเลือดของอวัยวะภายในช่องท้อง จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดทิศทางของ ultrasound beam ให้เอียงไปทางต้นขาหรือปลายขาและตรวจทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือดตามแนวยาว (longitudinal axis) เพื่อให้ทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดและ ultrasound beam อยู่ระนาบเดียวกัน

วิธีการกำหนดทิศทางของ ultrasound beam สามารถทำได้โดยการเอียงมุม color box ไปทางซ้ายหรือขวา โดยให้มุมที่ color box ทำกับหลอดเลือดเป็นมุมแหลม เรียกมุมที่ ultrasound beam ทำกับหลอดเลือดในแนวยาวนี้ว่า angle of insonation^{7,8} แสดงการเอียงมุมของ color box และ angle of insonation ตาม ภาพที่ 1-6 ภายหลังจากทำการเอียง color box ที่เหมาะสมแล้ว จึงจะสามารถแปลผลทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดนั้นได้ ตามขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการแปลผลทิศทางของหลอดเลือดอวัยวะภายในช่องท้อง



ภาพที่ 1-6 การเอียงมุมของ color box และ angle of insonation

- (ก) ไม่มีการเอียงมุมของ color box
- (ข) มีการเอียงมุมของ color box
- (ค) มุม angle of insonation (A)

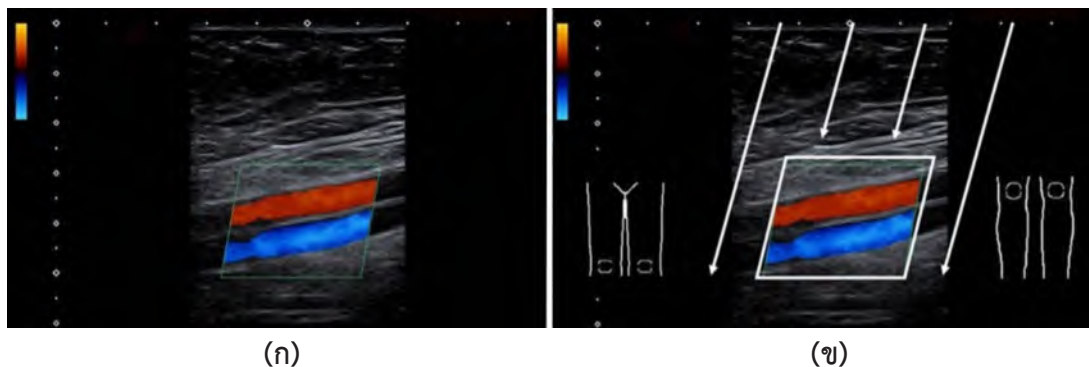
ศึกษาการแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายจากตัวอย่าง ตาม ภาพที่ 1-7

ภาพที่ 1-7ก แสดง ผลของการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดบริเวณต้นขา โดยวางหัวตรวจไว้ที่ผิวหนังบริเวณต้นขาด้านในของผู้ป่วย มีการเอียงมุมของ color box ไปทางด้านซ้ายและทำมุมแหลมกับหลอดเลือด แสดงภาพหลอดเลือด 2 เส้น คือ หลอดเลือดสีแดงและสีน้ำเงินคู่ขนานกัน การบอกทิศทางและระบุชนิดของหลอดเลือด ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาลักษณะกายวิภาคของหลอดเลือดบริเวณต้นขา หลอดเลือดดำ femoral และหลอดเลือดแดง superficial femoral อยู่คู่ขนานกัน โดยที่หลอดเลือดดำ femoral นั้น มักจะอยู่ลึกกว่าหลอดเลือดแดง superficial femoral

ดังนั้น หลอดเลือดที่แสดงสัญญาณภาพสีน้ำเงินควรเป็นหลอดเลือดดำ femoral และหลอดเลือดที่แสดงสัญญาณภาพสีแดง ควรเป็นหลอดเลือดแดง superficial femoral

2. พิจารณาทิศทางจากการเอียงมุมของ color box พบว่า มุมแหลมของ color box เอียงไปทางด้านซ้าย บ่งบอกว่า ultrasound beam มีทิศทางจากบนลงล่างและจากขวาไปซ้าย แสดงตามภาพที่ 1-7ข



ภาพที่ 1-7 การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายจาก color image ของหลอดเลือดบริเวณต้นขา (ก) ทิศทางของ ultrasound beam (ลูกศรสีขาว) แสดงตามภาพ (ข)

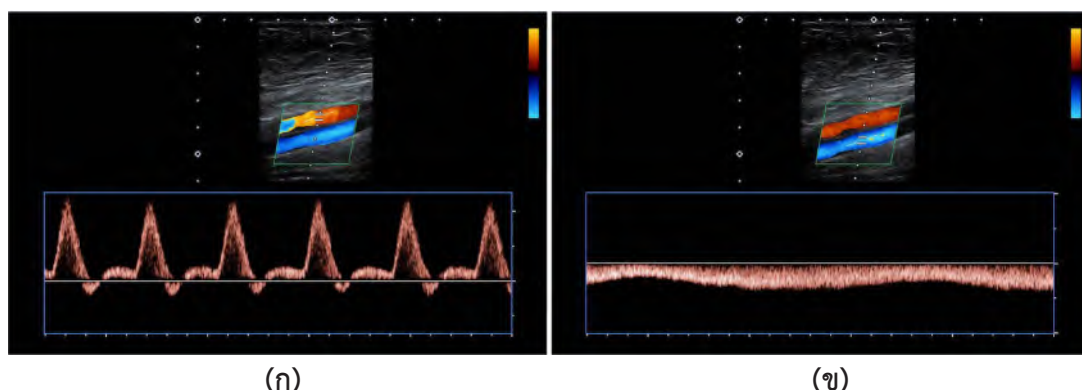
3. พิจารณา color bar ที่มุมบนด้านซ้ายของภาพ เหนือจากเส้น baseline เป็นสีแดง มีค่าความเร็วเป็นบวก ใต้ต่อเส้น baseline เป็นสีน้ำเงิน มีค่าความเร็วเป็นลบ แสดงว่า หลอดเลือดสีแดง มีทิศทางเข้าหาหัวตรวจหรือย้อนทิศทางกับ ultrasound beam คือ ไหลจากซ้ายไปขวา ส่วนหลอดเลือดสีน้ำเงิน มีทิศทางออกจากหัวตรวจหรือไปในทิศทางเดียวกับ ultrasound beam คือ ไหลจากขวาไปซ้าย

4. พิจารณาทิศทางการวางหัวตรวจ หากหันด้านซ้ายของหัวตรวจไปทางต้นขาและด้านขวาไปทางปลายขา หลอดเลือดสีแดงมีทิศทางของการไหลเวียนจากซ้ายไปขวาหรือจากต้นขาลงไปปลายขา ดังนั้น หลอดเลือดสีแดงจึงควรเป็นหลอดเลือดแดง superficial femoral หลอดเลือดสีน้ำเงินมี

ทิศทางการไหลเวียนจากขวาไปซ้ายหรือจากปลายขาขึ้นมาที่ต้นขา หลอดเลือดสีน้ำเงินจึงควรเป็นหลอดเลือดดำ femoral

5. เมื่อข้อมูลจากข้อ 1 ถึง 4 สัมพันธ์กัน จึงสรุปได้ว่า หลอดเลือดสีแดง คือ หลอดเลือดแดง superficial femoral และหลอดเลือดสีน้ำเงิน คือ หลอดเลือดดำ femoral

6. หากข้อมูลจากข้อ 1 ถึง 4 ขัดแย้งกัน หรือแสดงกายวิภาคของหลอดเลือดไม่ชัดเจน ให้ใช้ข้อมูลจากการแสดงผลเป็น spectral waveform เพิ่มเติม ข้อมูลที่ได้จะสามารถระบุลักษณะจำเพาะของหลอดเลือดแดงหรือดำได้ ตาม ภาพที่ 1-8



ภาพที่ 1-8 Spectral waveform ของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ ที่มีลักษณะจำเพาะแตกต่างกัน หลอดเลือดแดง superficial femoral แสดงตามภาพ (ก) และหลอดเลือดดำ femoral แสดงตามภาพ (ข)

อย่างไรก็ดี วิธีการแปลผลทิศทางการที่กล่าวมาอาจมีข้อจำกัดในกรณีที่ไม่สามารถวางหัวตรวจได้ตามแนวยาวของหลอดเลือด

ตัวอย่าง เช่น การตรวจหลอดเลือดบริเวณคอในผู้ป่วยที่มีช่วงคอสั้นหรือในเด็กเล็ก ในกรณีนี้ผู้นิพนธ์ใช้วิธีวางหัวตรวจตามแนวตัดขวาง (cross-sectional axis) ของหลอดเลือด และทำการเอียงหัวตรวจไปทางศีรษะหรือปลายเท้าของผู้รับการตรวจทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ประมาณ 60 องศา จากนั้นจึงพิจารณาทิศทางจาก color bar โดยใช้หลักการเดียวกัน

ศึกษาการแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายกรณีวางหัวตรวจตามแนวตัดขวางตามภาพที่ 1-9 ที่แสดง color image ของการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหลอดเลือดบริเวณคอ โดยวางหัวตรวจในแนวตัดขวาง เห็นหลอดเลือดเป็นรูปวงกลมต่างจากวางหัวตรวจในแนวยาวที่เห็นหลอดเลือดเป็นท่อ

ในกรณีที่ไม่ทำการเอียงหัวตรวจ ทิศทางของ ultrasound beam คือ จากผิวหนังลงสู่ลำคอ ส่วนลึกเป็นคนละระนาบกับทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือด ที่อาจมีทิศทางการไหลเวียนจากศีรษะไปลำตัวหรือจากลำตัวไปศีรษะ ภาพที่แสดงจึงไม่สามารถบอกทิศทางการไหลเวียนของหลอดเลือดได้ แสดงตาม ภาพที่ 1-9ก

การแปลผลทิศทางการไหลจะสามารถทำได้ เมื่อผู้ทำการตรวจเอียงหัวตรวจไปทางศีรษะหรือปลายเท้าของผู้รับการตรวจในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เพื่อเป็นการกำหนดทิศทางของ ultrasound beam จากนั้นจึงพิจารณาทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือด ตามขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาทิศทางการเอียงหัวตรวจ เมื่อการเอียงหัวตรวจลงไปทางลำตัว หมายถึง การกำหนดให้ทิศทางของ ultrasound beam จากศีรษะไปลำตัว ตาม **ภาพที่ 1-9ข** และการเอียงหัวตรวจขึ้นไปทางศีรษะ หมายถึง การกำหนดให้ทิศทางของ ultrasound beam เป็นจากลำตัวไปศีรษะ แสดงตาม **ภาพที่ 1-9ค**

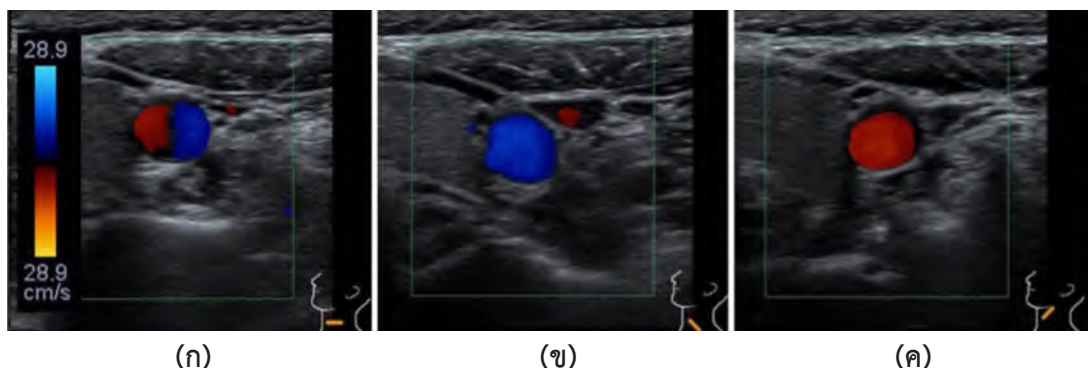
2. พิจารณาสีที่แสดงตาม color bar สีน้ำเงินเหนือต่อเส้น baseline หมายถึง ทิศทางเข้าหาหัวตรวจหรือสวนทางกับ ultrasound beam ส่วนสีแดงใต้ต่อเส้น baseline หมายถึง มีทิศทางออกจากหัวตรวจหรือไปทิศทางเดียวกับ ultrasound beam

3. พิจารณาเปรียบเทียบทิศทางการเอียงของหัวตรวจและสัญญาณภาพสีที่แสดงภายในหลอดเลือด

3.1. เมื่อทำการเอียงหัวตรวจ ลงไปทางลำตัว ทิศทางของ ultrasound beam คือ จากศีรษะไปลำตัว สัญญาณภาพสีที่แสดงภายในหลอดเลือดเป็นสีน้ำเงิน หมายถึง มีทิศทางสวนทางกับ ultrasound beam ดังนั้น ทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือด คือ จากลำตัวไปศีรษะ

3.2. เมื่อทำการเอียงหัวตรวจ ขึ้นไปทางศีรษะ ทิศทางของ ultrasound beam คือ จากลำตัวไปศีรษะ สัญญาณภาพสีที่แสดงภายในหลอดเลือดเป็นสีแดง หมายถึง มีทิศทางเดียวกันกับ ultrasound beam ดังนั้น ทิศทางการไหลเวียนของเม็ดเลือด คือ จากลำตัวไปศีรษะ เช่นกัน

4. เมื่อข้อมูลจากข้อ 3.1 และ 3.2 สัมพันธ์กัน จึงสรุปได้ว่า หลอดเลือดสีน้ำเงินใน **ภาพ 1-9ข** และหลอดเลือดสีแดงใน **ภาพ 1-9ค** มีทิศทางนำเลือดจากลำตัวขึ้นไปศีรษะเหมือนกัน ดังนั้น หลอดเลือดนี้ คือ หลอดเลือดแดง common carotid



ภาพที่ 1-9 การแปลผลทิศทางของหลอดเลือดส่วนปลายกรณีวางหัวตรวจในแนวตัดขวาง เมื่อไม่มีการเอียงหัวตรวจ (ก) เอียงหัวตรวจลงไปทางลำตัว (ข) เอียงหัวตรวจขึ้นไปทางศีรษะ (ค)

การแปลผลความเร็วจากภาพสี

สัญญาณภาพสีโทนเข้มและอ่อน แสดงถึง ค่าความเร็วของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดที่มีความเร็วสูงและต่ำแตกต่างกัน โดยที่

1. โทนสีเข้มใกล้เส้น baseline แสดงเม็ดเลือดที่ไหลเวียนด้วยความเร็วต่ำ
2. โทนสีที่อ่อนลง ตามระยะทางห่างจากเส้น baseline แสดง เม็ดเลือดที่ไหลเวียนด้วยความเร็วสูงขึ้น

3. โทนสีอ่อนสุดที่ขอบ color bar แสดงเม็ดเลือดที่ไหลเวียนด้วยความเร็วสูงสุดที่สามารถแสดงได้ มีค่าใกล้เคียงกับตัวเลขแสดงค่าความเร็วที่ตำแหน่งปลายสุดของ color bar โดยประมาณ

การแปลผลความเร็วของเม็ดเลือด โดย color image จึงใช้ประโยชน์เพื่อประเมินความเร็วของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดในเบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถบอกค่าความเร็วที่แท้จริงของเม็ดเลือดได้ หากผู้ทำการตรวจต้องการทราบค่าความเร็วที่แท้จริง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดค่าจากการแสดงผลในรูปแบบ spectral waveform

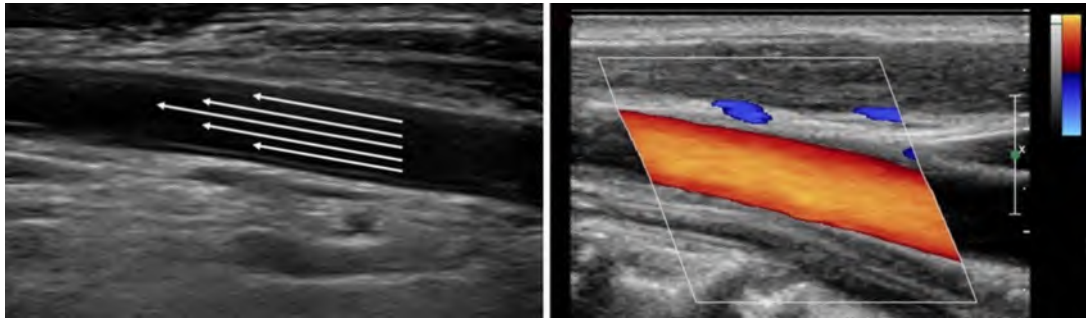
ทั้งนี้ความเร็วของเม็ดเลือดโดยประมาณ ที่แสดงจาก color image นั้น สามารถใช้ประโยชน์เพื่อบอกลักษณะการไหลเวียนภายในหลอดเลือดและประเมินเบื้องต้นได้ว่า หลอดเลือดนั้นมีพยาธิสภาพหรือไม่ ตามหลักการต่อไปนี้⁹

หลอดเลือดผนังเรียบและไม่ตีบ

ภายในหลอดเลือดปกติ เม็ดเลือดทุกตัวที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือดจะไหลเวียนในทิศทางเดียวกันและเม็ดเลือดในระดับเดียวกันจะไหลเวียนด้วยความเร็วเท่ากันอย่างเป็นระเบียบ เม็ดเลือดที่ตำแหน่งกึ่งกลางหลอดเลือดจะไหลเวียนด้วยความเร็วสูงที่สุด ส่วนเม็ดเลือดที่อยู่ห่างออกมาจะไหลเวียนด้วยความเร็วที่ลดต่ำลงและเม็ดเลือดที่อยู่ใกล้ผนังหลอดเลือดจะไหลเวียนด้วยความเร็วต่ำสุด เรียก ลักษณะการไหลเวียนรูปแบบนี้ว่า **laminar flow**

สัญญาณภาพที่แสดง คือ สีภายในหลอดเลือดเป็นสีเดียวกัน (ทิศทางเดียวกัน) กลางหลอดเลือดจะมีสีอ่อนที่สุด (ความเร็วสูงที่สุด) และค่อย ๆ เข้มขึ้นจนเป็นสีเข้มที่สุด (ความเร็วต่ำสุด) ที่ผนังหลอดเลือดทั้งสองข้าง อย่างไรก็ตาม ความเร็วของเม็ดเลือดที่ไหลผ่านภายในหลอดเลือดแต่ละตำแหน่งอาจมีความเร็วที่แตกต่างกันได้เล็กน้อยจากปัจจัยต่าง ๆ นอกเหนือไปจากความเรียบหรือขรุขระของผนังหลอดเลือด เช่น จังหวะการบีบและคลายตัวของหัวใจ สัญญาณภาพสีที่ระดับเดียวกันจึงอาจเข้มหรืออ่อนแตกต่างกันเล็กน้อยได้เป็นปกติ ในหลอดเลือดผนังเรียบและไม่มีพยาธิสภาพ

แสดงตัวอย่างการไหลเวียนภายในหลอดเลือดปกติ รูปแบบ laminar ตาม **ภาพที่ 1-10**



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1-10 การไหลเวียนรูปแบบ laminar ของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือดผนังเรียบ (ก) (ลูกศรยาว = ความเร็วสูง, ลูกศรสั้น = ความเร็วต่ำ) และ color image (ข)

หลอดเลือดผนังขรุขระแต่ไม่ตีบ

ภายในหลอดเลือดที่ผนังขรุขระ เม็ดเลือดทุกตัวที่ไหลเวียนภายในหลอดเลือด จะยังคงไหลเวียนในทิศทางเดียวกัน แต่เม็ดเลือดที่อยู่ในระดับเดียวกันจะไหลเวียนด้วยค่าความเร็วที่แตกต่างกันเล็กน้อย เม็ดเลือดที่ไหลผ่านหลอดเลือดตำแหน่งที่ผนังหนาหรือมีหินปูนเกาะจะไหลเวียนด้วยความเร็วสูงกว่าเม็ดเลือดในระดับเดียวกันที่ไหลผ่านหลอดเลือดปกติ เนื่องจากตำแหน่งที่มีผนังหนาหรือหินปูนเกาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหลอดเลือดปกติตำแหน่งใกล้เคียงเล็กน้อย เรียก ลักษณะการไหลเวียนรูปแบบนี้ ว่า **disturbed flow**

สัญญาณภาพที่แสดง คือ สีภายในหลอดเลือดเป็นสีเดียวกัน กลางหลอดเลือดจะมีสีอ่อนที่สุด และที่ผนังหลอดเลือดทั้งสองข้างจะมีสีเข้มที่สุดเช่นกัน แต่ตำแหน่งที่หลอดเลือดมีผนังหนาหรือมีหินปูนเกาะ สีจะอ่อนกว่าสีที่หลอดเลือดตำแหน่งข้างเคียง ทำให้สีที่ระดับเดียวกันอาจเข้มหรืออ่อนแตกต่างกันได้ ในทางปฏิบัติการแสดงผลรูปแบบ color image ของหลอดเลือดผนังเรียบกับหลอดเลือดผนังขรุขระเล็กน้อยจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

หลอดเลือดตีบ

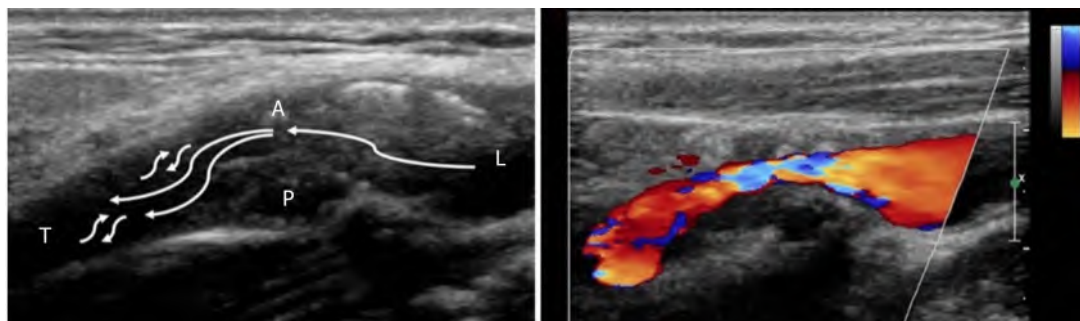
ภายในหลอดเลือดตีบ เม็ดเลือดที่ไหลผ่านจุดตีบจะไหลเวียนในทิศทางเดิม แต่มีค่าความเร็วเพิ่มสูงขึ้นมาก หากเปรียบเทียบความเร็วที่จุดตีบกับความเร็วปกติก่อนถึงจุดตีบมักมีค่าเกิน 2 เท่าขึ้นไปและมักเกินกว่าค่าความเร็วสูงสุดที่สามารถแสดงได้จาก color bar ตามปกติ

สัญญาณภาพที่แสดง คือ สีภายในหลอดเลือดช่วงที่มีการตีบแคบเป็น 2 สีปะปนกันระหว่างสีโทนอ่อนที่สุดในแต่ละด้านของ color bar เรียกลักษณะเฉพาะนี้ว่า **color aliasing** เกิดจากการที่เม็ดเลือดไหลเวียนด้วยค่าความเร็วที่สูงมากกว่าสีขอบบนสุดของ color bar สามารถแสดงได้ จึงนำสีด้านตรงข้ามปลายสุดของ color bar มาแสดงค่าความเร็วนั้นแทน

เม็ดเลือดที่ไหลเข้าใกล้จุดตีบและผ่านออกจากจุดตีบมาเล็กน้อยจะไหลเวียนด้วยค่าความเร็วและทิศทางที่แตกต่างกันไม่เป็นระเบียบ เรียก ลักษณะการไหลเวียนในรูปแบบนี้ว่า **turbulent flow**

สัญญาณภาพที่แสดง คือ สี 2 สีทั้งอ่อนและเข้มปะปนกันไม่เป็นระเบียบ

กรณีหลอดเลือดตีบ จึงมักพบลักษณะการไหลเวียนทั้ง 2 รูปแบบนี้ร่วมกัน แสดงตัวอย่างการไหลเวียนในกรณีหลอดเลือดตีบ ตาม ภาพที่ 1-11



(ก)

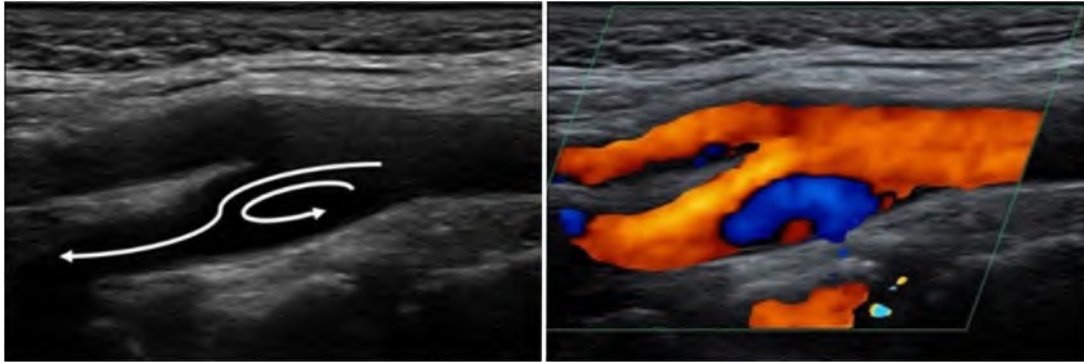
(ข)

ภาพที่ 1-11 การไหลเวียนรูปแบบ turbulent และ color aliasing ของเม็ดเลือดภายในหลอดเลือดตีบ (ก) จากผนังหลอดเลือดหนาตัว (P) เม็ดเลือดที่ไหลผ่านจุดตีบ (A) จะมีความเร็วสูงมากกว่าตำแหน่งก่อนตีบ (L) หลังจากจุดตีบเม็ดเลือดจะไหลเวียนด้วยความเร็วและทิศทางที่แตกต่างกัน (T) และ color image (ข)

ลักษณะการไหลเวียนรูปแบบ turbulent และ color aliasing นี้ มีลักษณะจำเพาะ สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย มีความแตกต่างจากการไหลเวียนรูปแบบ laminar และ disturbed อย่างชัดเจน ขั้นตอนการวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดตีบโดยการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงของหลอดเลือด จึงนิยมเริ่มต้นโดยใช้การทำงานรูปแบบ Doppler-mode ที่แสดงผลเป็น color image เพื่อสำรวจหรือค้นหาการไหลเวียนรูปแบบ turbulent flow และ color aliasing ก่อนเป็นลำดับแรก

อย่างไรก็ดี อาจพบการไหลเวียนรูปแบบ turbulent หรือ color aliasing ได้ ในกรณีอื่น ๆ นอกเหนือจากภาวะหลอดเลือดตีบ เช่น ที่ตำแหน่ง carotid bulb ภายหลังจากที่เม็ดเลือดไหลเวียนผ่านทางแยกจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยและมีเม็ดเลือดบางส่วนที่ไหลวนหรือย้อนทิศทาง ในตำแหน่งของหลอดเลือดที่โป่งพองกว่าตำแหน่งข้างเคียง ถัดจากตำแหน่งนี้ไปเม็ดเลือดจึงกลับมาไหลเวียนด้วยทิศทางและความเร็วปกติ แสดงตัวอย่าง ตาม ภาพที่ 1-12

การแปลผล color image ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการวินิจฉัยโรคหลอดเลือด ทิศทางความเร็วและลักษณะการไหลเวียนปกติหรือผิดปกติที่ตรวจพบ ใช้เพื่อบอกตำแหน่งสำหรับการตรวจจับสัญญาณหรือวางตำแหน่ง sample gate เพื่อทราบรายละเอียดและค่าตัวชี้วัดต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยโรคจากการแสดงผลเป็น spectral waveform ต่อไป เช่น การวินิจฉัยภาวะหลอดเลือดตีบ จำเป็นต้องวัดค่าความเร็วสูงสุดของเม็ดเลือดขณะไหลผ่านจุดตีบ ผู้ทำการตรวจจึงต้องวาง sample gate ให้ตรงกับตำแหน่งที่เม็ดเลือดไหลเวียนด้วยความเร็วสูงสุด คือ ตำแหน่ง color aliasing ที่ตรวจพบหรือสังเกตได้จากการแสดงผลรูปแบบ color image นั้นเอง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1-12 การไหลเวียนของเม็ดเลือดบริเวณ carotid bulb (ก) และ color image (ข) แสดง turbulent flow ในตำแหน่ง carotid bulb

การแปลผลเส้นกราฟ

การแสดงผลการตรวจรูปแบบ spectral waveform คือ การบันทึกค่าความเร็วของเม็ดเลือดที่ไหลเวียนผ่าน sample gate ในระหว่างช่วงเวลาที่ทำการตรวจ ข้อมูลที่แสดงในแนวแกนตั้ง (X) คือ ค่าความเร็วของเม็ดเลือด มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที (cm/sec) ส่วนข้อมูลในแนวแกนนอน (Y) คือ เวลา มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (millisecond : msec) ค่าความเร็วของเม็ดเลือด ที่มีค่าเป็นบวกแสดงทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลเข้าหาหัวตรวจหรือย้อนทิศทางกับ ultrasound beam ส่วนค่าความเร็วของเม็ดเลือดที่มีค่าเป็นลบแสดงทิศทางของเม็ดเลือดที่ไหลออกจากหัวตรวจหรือไปทิศทางเดียวกันกับ ultrasound beam ทั้งนี้ สามารถเลือกแสดงค่าบวกหรือลบให้อยู่เหนือหรือใต้ต่อเส้น baseline ได้ตามที่ผู้ทำการตรวจกำหนด

ค่าความเร็วของเม็ดเลือดที่เปลี่ยนแปลงขึ้นหรือลงไปตามเวลา โดยมีลักษณะเหมือนกัน ซ้ำเป็นรอบ ๆ เรียกว่า phasic cycle ทำให้ลักษณะ spectral waveform ของหลอดเลือดแต่ละชนิด หรือแต่ละตำแหน่งมีความจำเพาะที่แตกต่างกัน สามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่างหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำได้ในเบื้องต้น และหากพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะของ spectral waveform ที่ต่างไปจากปกติ ก็สามารถเป็นส่วนช่วยในการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดได้เช่นกัน

ตัวชี้วัดพื้นฐาน จาก spectral waveform ที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดแดง ที่ควรรู้จัก ได้แก่

1. Peak systolic velocity (PSV) คือ ค่าความเร็วสูงสุดในช่วงหัวใจบีบตัว (systole)
2. End diastolic velocity (EDV) คือ ค่าความเร็วในช่วงสิ้นสุดหัวใจคลายตัว (end-diastole) หรือก่อนหัวใจเริ่มบีบตัว