



หลักการและการประยุกต์ใช้ เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

Principles and Clinical Applications of Dual-Energy
X-Ray Absorptiometry



ชนิกา ศรีธรา
บรรณาธิการ

หลักการและการประยุกต์ใช้ เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

Principles and Clinical Applications
of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

ชนิกา ศรีธรา
บรรณาธิการ

หลักการและการประยุกต์ใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

Principles and Clinical Applications of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

บรรณาธิการ : ชนิกา ศรีธรา

พิมพ์ครั้งที่ 1 : พฤษภาคม 2565 ฉบับ e-book

ISBN (e-book) : 978-616-443-683-1

ราคา : 550 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ : โครงการตำรารามธิบดี คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

สงวนลิขสิทธิ์ : ตามพระราชบัญญัติการพิมพ์
ห้ามมิให้ทำซ้ำหรือลอกเลียนแบบโดยไม่ได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ชนิกา ศรีธรา.

หลักการและการประยุกต์ใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน = Principles and Clinical Applications of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry.-- กรุงเทพฯ : โครงการตำรารามธิบดี คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, 2565. 385 หน้า.

1. การแพทย์. 2. รังสีเอกซ์. 3. แพทยศาสตร์ -- เครื่องมือและอุปกรณ์. I. กฤตณัฏฐ์ เชื่อมสามัคคี, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

621.361

ISBN 978-616-443-683-1

จัดพิมพ์และ : โครงการตำรารามธิบดี คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

เผยแพร่โดย 270 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

0-2201-2258, 0-2201-1542

Website : www.rama.mahidol.ac.th/academic/textbook/

facebook : โครงการตำรารามธิบดี

ออกแบบปก : พัชรศักดิ์ คณิชากรณ์ โทรศัพท์ 0-81485-5977

และรูปเล่ม

พิมพ์ที่ : บริษัท ไอดี ออล ดิจิตอลพริ้นท์ จำกัด โทรศัพท์ 0-2899-5429-35

คำนิยม

หนังสือ “หลักการและการประยุกต์ใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน (Principles and Clinical Applications of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry)” ที่ได้เรียบเรียงขึ้นมาเล่มนี้ โดยมีรองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงชนิกา ศรีธรา เป็นผู้เขียนหลัก และทำหน้าที่เป็นบรรณาธิการ นับว่าเป็นหนังสือที่มีคุณค่าอย่างมากเล่มหนึ่ง ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับแพทย์และบุคลากรทางการแพทย์ ที่เกี่ยวข้องในการดูแลรักษาผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน ซึ่งเป็นโรคที่พบได้มากขึ้นในปัจจุบัน ทั้งสังคมไทยและสังคมโลก ที่มีประชากรอายุยืนยาวมากขึ้น นอกจากนี้ โรคกระดูกพรุนยังมีผลกระทบ ต่อคุณภาพชีวิตและระบบสาธารณสุข ในการดูแลป้องกัน และให้การรักษาที่เหมาะสม ทำให้การตรวจ วินิจฉัยมีความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบันว่า ควรให้การรักษาหรือไม่ อย่างไร

หนังสือเล่มนี้ได้รวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ครบถ้วน ทั้งข้อมูลของประเทศไทยและ ต่างประเทศ ในแง่มุมต่าง ๆ ที่มีการพัฒนาขึ้นในการตรวจวินิจฉัยโรคกระดูกพรุน ตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน และแนวโน้มต่อไปในอนาคตอีกด้วย นอกจากนี้ ยังได้ให้ข้อมูลอย่างลึกซึ้งของการใช้ dual-energy X-ray absorptiometry ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจความหนาแน่นของกระดูก เพื่อใช้ วินิจฉัย และติดตามผลการรักษาโรคได้เป็นอย่างดี มีข้อมูลและเอกสารอ้างอิงที่สำคัญ และเป็นปัจจุบัน ที่จะเป็นประโยชน์ต่ออาจารย์ นักศึกษาและนักวิจัย ที่กำลังค้นคว้างานด้านนี้ต่อไปอีกด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นหนังสือทางการแพทย์อีกเล่มหนึ่ง ที่ช่วยยกระดับความรู้ ความเข้าใจในการตรวจวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนของวงการแพทย์ของไทย ให้มีความถูกต้องแม่นยำ เพื่อ ประโยชน์ต่อวงการแพทย์ และต่อสังคมผู้สูงอายุของไทยในอนาคต



ศาสตราจารย์ นายแพทย์บรรจง มไหสวริยะ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล

อดีตประธานราชวิทยาลัยแพทย์ออร์โธปิดิกส์แห่งประเทศไทย

คำนำ

โรคกระดูกพรุนเป็นปัญหาสุขภาพของประชากรทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย ซึ่งความชุกของโรคนี้จะมากขึ้นตามจำนวนของประชากรสูงวัย และเนื่องจากในปัจจุบันนี้ ประชากรสูงวัยมีจำนวนมากขึ้น จำนวนผู้ป่วยโรคกระดูกพรุนจึงมากขึ้นตามไปด้วย โรคนี้ทำให้กระดูกหัก ซึ่งส่งผลให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตน้อยลง กลายเป็นผู้ป่วยติดเตียงที่ต้องมีผู้ดูแล ตลอดจนนำไปสู่การเสียชีวิตได้ การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุน และให้การรักษา จะสามารถป้องกันการเกิดกระดูกหักได้

เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจความหนาแน่นของกระดูก เพื่อวินิจฉัย และติดตามผลการรักษาโรคกระดูกพรุน นอกจากนี้ ยังใช้ในการตรวจองค์ประกอบของร่างกาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาทางด้านโภชนาการ เวชศาสตร์การกีฬา รวมทั้งการวินิจฉัยภาวะกล้ามเนื้อน้อยในผู้สูงอายุ ดังนั้น ความเข้าใจหลักการพื้นฐานจึงมีความสำคัญต่อการแปลผลอย่างถูกต้องเหมาะสม

เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ครอบคลุมหลักการทำงานของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน วิวัฒนาการของแนวคิด ตั้งแต่อดีตจนมาสู่เครื่องที่ใช้อย่างแพร่หลายในขณะนี้ การควบคุมคุณภาพของเครื่องและการตรวจ การเตรียมผู้ป่วยอย่างเหมาะสม การวิเคราะห์ค่า และการแปลผลอย่างถูกต้อง รวมทั้งปัญหาที่พบบ่อยในการตรวจ และแนวทางการแก้ไขที่สามารถทำได้ ตลอดจนความปลอดภัยทางรังสี โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นความรู้พื้นฐาน และแนวทางในเวชปฏิบัติในการวินิจฉัย และติดตามผลการรักษาโรคกระดูกพรุน รวมทั้งการตรวจองค์ประกอบของร่างกาย ทั้งนี้ ผู้เขียนได้เรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ขึ้น โดยอาศัยการประมวลความรู้ และประสบการณ์จากการทำงาน ตั้งแต่ พ.ศ. 2535

หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับรังสีแพทย์ และแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นโรคกระดูกพรุน และการเกิดกระดูกหัก รวมทั้งการติดตามความหนาแน่นของกระดูก และการตรวจองค์ประกอบของร่างกาย ตลอดจนนักรังสีการแพทย์ผู้ทำการตรวจ นักฟิสิกส์ และนักวิจัยในเรื่องโรคกระดูกพรุน และการตรวจองค์ประกอบของร่างกาย โดยเฉพาะภาวะกล้ามเนื้อน้อย

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่าน สามารถใช้เป็นแนวทางในการดูแลผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสม สมดังเจตนารมณ์ของผู้เขียน และสามารถต่อยอดองค์ความรู้นี้เพื่อนำไปสู่การดูแลสุขภาพของประชาชนไทย ให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงชนิกา ศรีธรา
บรรณาธิการ

กิตติกรรมประกาศ

หนังสือเรื่อง “หลักการและการประยุกต์ใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน (Principles and Clinical Applications of Dual-Energy X-Ray Absorptometry)” เล่มนี้ สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนจากบุคลากรและหน่วยงานหลายภาคส่วน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคุณณัณยา มหรรฆานุเคราะห์ คุณย่าผู้รักหลานอย่างล้นเหลือ เป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตด้วยสติปัญญาและความเพียร เป็นแรงบันดาลใจของผู้เขียนเสมอมา ในการฝ่าฟันอุปสรรคทั้งหมด

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นายแพทย์ชนินทร์ และคุณมัลลิกา มหรรฆานุเคราะห์ บุพการีที่ได้อบรมเลี้ยงดู และให้การศึกษาจนได้เป็นแพทย์ในวันนี้ ขอบคุณศาสตราจารย์ นายแพทย์ ปิยะมิตร ศรีธรา รวมทั้งสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้อำนาจใจ และสนับสนุนช่วยเหลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณณิก ศรีธรา บุตรีที่ช่วยวาดภาพประกอบออกมาอย่างสวยงาม เพิ่มคุณค่าให้กับหนังสือ

ขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ จนสำเร็จการศึกษา ให้โอกาสในการทำงาน และการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นเหมือนบ้านหลังที่ 2 ของผู้เขียน ที่มีครูคอยอบรมสั่งสอนด้วยความเมตตาเสมือนญาติผู้ใหญ่ มีรุ่นพี่และรุ่นน้องที่เกื้อกูล ทั้งในด้านการงาน และการดำเนินชีวิต รวมถึงมีเพื่อนร่วมงานและลูกศิษย์ ที่สามารถฝากฝังให้สานต่องานในอนาคต

ขอขอบคุณโครงการตำรา รามาธิบดี คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ทุนสนับสนุนการเขียนและผลิตหนังสือ คณะกรรมการโครงการฯ ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดทุกระบวนการเขียน และให้อำนาจใจผู้เขียนอยู่เสมอ รวมถึงความคิดเห็น และคำแนะนำที่ทรงคุณค่าจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ซึ่งทำให้หนังสือเล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอบคุณคุณชมภูษ ฉัตรนภารัตน์ ที่พร้อมให้ความช่วยเหลือ และตอบข้อสงสัยตลอดเวลา

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ นายแพทย์จิรวุฒิ อดตมะกุล ที่ช่วยตรวจสอบ และแก้ไขต้นฉบับ ตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งให้อำนาจใจเสมอมา

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์รัฐ เชื้อสมศักดิ์ ผู้ร่วมเขียนหนังสือเล่มนี้ ศาสตราจารย์ น.ต. หญิง แพทย์หญิงสุกัญญา งามวิจิตร ภาควิชาศัลยกรรมกระดูกและข้อ มหาวิทยาลัยมหิดล คุณศศิธร อำนวยวัฒนากร นักฟิสิกส์การแพทย์ และคุณกิตติพงษ์ ทองกล้า นักรังสีการแพทย์ สำหรับการจัดทำภาพประกอบหนังสือ ขอบคุณอาจารย์แพทย์และนักรังสีการแพทย์ สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ทุกท่าน บุคลากรผู้ร่วมงานทุกระดับที่ช่วยเหลืองานด้านอื่น ๆ ตลอดมา ทำให้งานต่าง ๆ ในสาขาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยเฉพาะคุณอรุณ เทียงแท้ ที่ช่วยประสานงาน เตรียมเอกสารอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณองค์กร ผู้เชี่ยวชาญ บุคคลต่าง ๆ เว็บไซต์และสำนักพิมพ์ ที่เอื้อเฟื้อภาพ และอนุญาตให้ดัดแปลงภาพ เพื่อนำมาใช้ประกอบในหนังสือ ซึ่งทำให้เป็นหนังสือวิชาการที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยมีรายชื่อดังต่อไปนี้

CNX OpenStax

DarkEvil

Egon Willighagen

GE Precision Healthcare LLC

HOLOGIC, Inc. and affiliates

International Atomic Energy Agency (IAEA)

International Society for Clinical Densitometry (ISCD)

National Institute of Standards and Technology (NIST)

OpenStax

Prof. John Shepherd

Servier Medical Art

Swissray Asia

Università di Bologna

ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

สำนักพิมพ์ BioMed Central

สำนักพิมพ์ Elsevier

สำนักพิมพ์ Frontiers

สำนักพิมพ์ BMJ Publishing Group Ltd.

สำนักพิมพ์ Springer Nature

ท้ายสุดนี้ คุณงามความดี และประโยชน์ของหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขออุทิศให้แก่ คุณย่า บุพการี ศาสตราจารย์ นายแพทย์ปิยะมิตร ศรีธรา สมาชิกทุกคนในครอบครัว บุรพคุณาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้ร่วมงานทุกท่าน และผู้ป่วยที่เปรียบเสมือนดังครู

รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงชนิกา ศรีธรา
สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา
คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

คำชี้แจง

ผู้เขียนขอชี้แจงเกี่ยวกับการเขียนหนังสือเล่มนี้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

การใช้ภาษา

การที่จะเข้าใจโรคกระดูกพรุนต้องอาศัยความรู้ทางกายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา พยาธิสรีรวิทยา รวมทั้งโรคและยาบางชนิด ส่วนหลักการตรวจ และการแปลผลความหนาแน่นของกระดูก ต้องอาศัยความเข้าใจทางรังสีและฟิสิกส์ ศาสตร์เหล่านี้จำเป็นต้องศึกษาจากตำรา วารสารทางการแพทย์ และแหล่งความรู้ต่าง ๆ ซึ่งใช้ศัพท์เทคนิคภาษาอังกฤษ อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนได้พยายามอธิบายให้เข้าใจง่ายที่สุด

คำศัพท์ที่มีการใช้ภาษาไทยอย่างแพร่หลาย ผู้เขียนจะใช้ภาษาไทยเป็นหลัก เช่น เบาหวาน กระดูกสันหลังหัก กระดูกคอสะโพกหัก เป็นต้น

คำศัพท์ภาษาไทยที่เข้าใจยาก จะวงเล็บภาษาอังกฤษไว้ในการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก เพื่อช่วยให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น เช่น การลดทอนรังสี (radiation attenuation) ปริมาณรังสีสมมูล (equivalent dose) ปริมาณรังสียังผล (effective dose)

คำศัพท์ที่แพทย์และบุคลากรทางการแพทย์คุ้นเคยกับภาษาอังกฤษ หรือการใช้ภาษาอังกฤษ จะช่วยให้กระชับ และเข้าใจได้ง่ายขึ้น จะใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก โดยจะเขียนเป็นภาษาไทย และวงเล็บภาษาอังกฤษในครั้งแรก เช่น ส่วนหน้าของปล้องกระดูกสันหลัง (vertebral body) ครั้งต่อไปจะใช้เฉพาะภาษาอังกฤษ คือ vertebral body

ชื่อโรคบางชนิด ชื่อสารทางชีวเคมี ชื่อกระดูก รวมทั้งคำศัพท์ทางฟิสิกส์ คำศัพท์ทางรังสี และการบรรยายสิ่งตรวจพบทางรังสี ที่ไม่มีการบัญญัติชัดเจนเป็นภาษาไทย จะใช้คำทับศัพท์ภาษาอังกฤษตั้งแต่ครั้งแรกโดยไม่มีภาษาไทยกำกับ เช่น ulnar styloid, inferior facet, superior facet, transverse process, spinous process, lamina เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกของผู้อ่านในการทำความเข้าใจ และการสืบค้นเพื่อศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป ผู้เขียนจะใช้ตัวอักษรย่อภาษาอังกฤษแทนคำที่ต้องกล่าวถึงบ่อย ดังนี้

ROI ย่อมาจาก “region of interest” แทนคำว่า “บริเวณที่สนใจ” ซึ่งหมายถึง ส่วนของกระดูกที่ทำการตรวจวัด

การบอกระดับกระดูกสันหลังจะใช้อักษรย่อภาษาอังกฤษ T และ L แทนกระดูกสันหลังระดับอก และกระดูกสันหลังระดับเอว ตามลำดับ เช่น กระดูก T11 และ กระดูก L1 หมายถึง กระดูกสันหลังระดับอกปล้องที่ 11 และกระดูกสันหลังระดับเอวปล้องที่ 1 กระดูก L1–L4 หมายถึง กระดูกสันหลังระดับเอวปล้องที่ 1–ปล้องที่ 4 เป็นต้น

คำชี้แจง

แม้ว่าการตรวจนี้ส่วนหนึ่งเป็นการตรวจเพื่อคัดกรอง ดังนั้น ผู้ที่ได้รับการตรวจบางคนอาจไม่ใช่ผู้ป่วย แต่เพื่อความกระชับของเนื้อหา ในที่นี้จะเรียก “ผู้ที่มารับการตรวจ” ว่า “ผู้ป่วย”

การใช้คำศัพท์บัญญัติภาษาไทยนั้น ผู้เขียนอ้างอิงจากเว็บไซต์ของสำนักงานราชบัณฑิตยสภา <https://coined-word.orst.go.th/> เป็นหลัก เช่น ความแม่นยำ (accuracy) ความเที่ยง (precision) ลิพิด (lipid) สมบัติ (property) เอสโตรเจน (estrogen) เป็นต้น แต่ในกรณีที่ไม่มีคำบัญญัติไว้ ผู้เขียนได้ค้นคว้าจากตำราภาษาไทยที่เขียนโดยผู้เชี่ยวชาญในเรื่องที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ทั้งนี้ ผู้เขียนได้จัดทำรายการตัวย่อ สัญลักษณ์ หน่วยวัด ตัวย่อ รวมทั้งอภิธานศัพท์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษทั้งหมดไว้ท้ายเล่ม การอธิบายความหมายในอภิธานศัพท์ จะเน้นตามบริบทของหนังสือเล่มนี้เป็นหลัก ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากการใช้ในบริบทอื่น

หน่วยวัดที่เกี่ยวข้องกับทางรังสีหรือฟิสิกส์จะใช้อักษรย่อภาษาอังกฤษ โดยสามารถศึกษาได้จากรายการหน่วยวัดที่ผู้เขียนได้รวบรวมไว้เพื่อความสะดวกของผู้อ่าน

การใช้ปี พ.ศ.

การกล่าวถึงปีในหนังสือจะใช้เป็นปี พ.ศ. เพียงอย่างเดียว เพื่อลดความสับสน

ภาพและตาราง

ภาพที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้มีลิขสิทธิ์ ผู้เขียนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรแล้วทั้งหมด ยกเว้นภาพที่เจ้าของลิขสิทธิ์อนุญาตให้ใช้ได้โดยไม่ต้องขออนุญาต ทั้งนี้ ผู้เขียนจะใส่ที่มาของภาพทุกภาพไว้ใต้คำบรรยายภาพ

ภาพรังสีทั้งหมดที่นำมาใช้ประกอบในหนังสือเล่มนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

กรณีที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ภาพ แต่ไม่ได้รับอนุญาตให้ดัดแปลง ผู้เขียนจะใช้ภาพดั้งเดิมเพื่อให้ตรงตามการอนุญาตของเจ้าของลิขสิทธิ์ เมื่อจำเป็นต้องแสดงรายละเอียดเพิ่มเติม ผู้เขียนจะวาดภาพขึ้นใหม่ เพื่อประกอบกับภาพดั้งเดิมในการแสดงรายละเอียดเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม ภาพส่วนใหญ่ได้รับอนุญาตให้ดัดแปลงได้ ผู้เขียนจึงวาดขึ้นใหม่ โดยดัดแปลงจากภาพในเอกสารอ้างอิง

คำชี้แจง

โครงการดูเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ และห้องตรวจสแกน ที่นำมาแสดงในภาพทั้งหมดเป็นภาพที่จัดทำขึ้นใหม่ โดยได้รับอนุญาตจากคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดลแล้ว

ภาพจากจอของสถานีงานของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน ได้รับอนุญาตจาก GE Precision Healthcare LLC เมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2564 และ HOLOGIC, Inc. and affiliate เมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2564

การดัดแปลงตาราง ผู้เขียนได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์เป็นลายลักษณ์อักษรแล้ว ส่วนตารางที่ผู้เขียนเรียบเรียงเองจะอ้างอิงที่มาของข้อมูลที่นำมาแสดง

ภาพตาราง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการรายงานผลจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานจะเป็นภาษาอังกฤษตามที่บริษัทผู้ผลิตได้จัดทำไว้ ตารางเหล่านี้เมื่อนำมาแสดงในหนังสือ ความคมชัดจะลดลง โดยผู้เขียนได้พยายามปรับความเปรียบต่าง (contrast) และขยายให้ชัดที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ผู้อ่านจะได้เห็นภาพตารางของจริงจากเครื่อง อย่างไรก็ตาม บางตารางตัวอักษรมีขนาดเล็กมาก ผู้เขียนจึงต้องสร้างตารางขึ้นใหม่ เพื่อแสดงให้เห็นข้อมูลอย่างชัดเจน

การอ้างอิง

การอ้างอิงวารสารหรือเว็บไซต์จะใช้อ้างอิงแบบ Vancouver กรณีที่มี digital object identifier (doi) ผู้เขียนได้จัดทำเชื่อมโยง เพื่อความสะดวกในการสืบค้นของผู้อ่าน

ทั่วโลกมีเครื่อง dual-energy X-ray absorptiometry ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์คำนวณความเสี่ยงต่อการเกิดกระดูกหัก 5 ตรา (ยี่ห้อ) โดย 2 ใน 5 ตรานี้มีการใช้ในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย และผู้เขียนมีประสบการณ์การใช้เครื่องทั้ง 2 ตรานี้ เป็นเวลานาน 20–30 ปี เนื่องจากเครื่องมีความแตกต่างทางเทคนิค ส่งผลให้มีวิธีการตรวจ และวิเคราะห์ต่างกันในระยะยาว หากปฏิบัติไม่ถูกต้องตามคำแนะนำของแต่ละตรา จะส่งผลให้การตรวจวัดคลาดเคลื่อน หรือได้ภาพไม่ชัดเจน ผู้เขียนจึงจำเป็นต้องกล่าวถึงตราของเครื่องอย่างเจาะจงเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่าง

รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงชนิกา ศรีธรา
บรรณาธิการ

รายนามผู้เขียน



กฤษฎา คุ้ม คุ้ม

- วท.บ (รังสีเทคนิค) คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- M.Sc. with Distinction (Medical Radiation Physics) School of Engineering Physics, University of Wollongong, Australia
- Ph.D. (Imaging Sciences and Radiation Biology) School of Medicine, King's College London, United Kingdom
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โรงเรียนฟิลิปปินส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล



ชนิกา ศรีธรา

- พ.บ. (เกียรติคุณอันดับ 1) คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล
- M.Sc. (Nuclear Medicine) Guy's Hospital, University of London, United Kingdom
- วว. (เวชศาสตร์นิวเคลียร์) คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล
- M.Sc. (Health Development) คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- International Society for Clinical Densitometry (ISCD) Certified Clinical Densitometrist (CCD)
- ISCD Clinician of the Year 2021
- ISCD Scientific Advisory Council
- รองศาสตราจารย์ สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

สารบัญ

คำนิยาม	I
คำนำ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
คำชี้แจง	V
รายนามผู้เขียน	VIII
สารบัญ	IX
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XIII
สัญลักษณ์	XVIII
หน่วยวัด	XIX
ตัวย่อ	XX

บทที่ 1	ความสำคัญทางคลินิกของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	1
----------------	---	----------

Clinical Importance of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

ชนิกา ศรีธรา

บทที่ 2	วิวัฒนาการของการตรวจทางรังสีวิทยาเพื่อประเมินมวลกระดูก	19
----------------	---	-----------

Development of Radiological Techniques for the Evaluation of Bone Mass

ชนิกา ศรีธรา

บทที่ 3	หลักการของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	39
----------------	--	-----------

Principles of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

ชนิกา ศรีธรา

บทที่ 4	การป้องกันอันตรายจากรังสีและความปลอดภัยจากรังสีในการใช้	65
----------------	--	-----------

เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

Radiation Protection and Radiation Safety in Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

กฤษณ์ภรณ์ เชื้ออมสาคี

บทที่ 5	กายวิภาคศาสตร์และจุลกายวิภาคศาสตร์ของกระดูก	89
----------------	--	-----------

ที่สัมพันธ์กับการตรวจความหนาแน่นของกระดูก

Anatomy and Microanatomy of Bones Related to Bone Densitometry

ชนิกา ศรีธรา

สารบัญ

บทที่ 6	สรีรวิทยาของกระดูกและพยาธิสรีรวิทยาของโรคกระดูกพรุน 109 Physiology of Bones and Pathophysiology of Osteoporosis ชนิกา ศรีธรา	109
บทที่ 7	การตรวจความหนาแน่นของกระดูก 143 Measurement of Bone Mineral Density ชนิกา ศรีธรา	143
บทที่ 8	การแปลผลการตรวจความหนาแน่นของกระดูก การวินิจฉัยและกรณีศึกษา 195 Interpretation of Bone Mineral Density, Diagnosis of Osteoporosis and Case Studies ชนิกา ศรีธรา	195
บทที่ 9	การใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานในเวชปฏิบัติอื่น 231 Other Clinical Applications of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry ชนิกา ศรีธรา	231
บทที่ 10	การตรวจองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน 265 Body Composition Assessment using Dual-Energy X-Ray Absorptiometry ชนิกา ศรีธรา	265
บทที่ 11	ภาวะอื่นที่มีผลต่อความหนาแน่นของกระดูก 289 Other Conditions Affecting Bone Mineral Density ชนิกา ศรีธรา	289
บทที่ 12	บทบาทของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง 315 และการเรียนรู้เชิงลึกในโรคกระดูกพรุน Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning in Osteoporosis กฤตณัฐ เชื้ออมสาคี	315
อภิธานศัพท์		324
Glossary		332
ดรชนี		342
Index		349

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ข้อมูลทางระบาดวิทยาของโรคกระดูกพรุนในภูมิภาคเอเชีย	10
ตารางที่ 1.2	ความชุกของโรคกระดูกพรุนในประเทศไทย.....	12
ตารางที่ 1.3	ข้อมูลทางระบาดวิทยาของการเกิดกระดูกหักจากโรคกระดูกพรุน	13
	ในประเทศไทย	
ตารางที่ 2.1	การประเมินความแข็งแรงของกระดูกโดยอาศัย trabecular pattern.....	23
	(Singh index)	
ตารางที่ 3.1	สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ($\frac{\mu}{\rho}$) ที่ 40 และ 70 keV และ	44
	อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ 40 keV ต่อ	
	ที่ 70 keV (ratio value, R) ของธาตุที่พบบ่อยในร่างกาย	
ตารางที่ 3.2	ความหนาแน่น (ρ) และสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ($\frac{\mu}{\rho}$)	45
	ขององค์ประกอบของร่างกาย	
ตารางที่ 3.3	สัดส่วนมวลของธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นองค์ประกอบของร่างกาย	46
	สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ($\frac{\mu}{\rho}$) และ R ขององค์ประกอบเหล่านั้น	
	ที่ 40 และ 70 keV	
ตารางที่ 3.4	สมบัติของรูปทรงทางเรขาคณิตของลำรังสี (beam geometry).....	61
ตารางที่ 4.1	ปริมาณรังสีที่ผิวจากการตรวจความหนาแน่นของกระดูกด้วย.....	68
	เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตามวิธีการสแกน (scan mode)	
	ของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตราและรุ่นต่างๆ	
ตารางที่ 4.2	Organ weighting factor (W_T) ตาม ICRP ฉบับที่ 60 พ.ศ. 2533	69
	และ ICRP ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2550	
ตารางที่ 4.3	ปริมาณรังสียังผลจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานโดยการใช้ลำรังสี.....	71
	และพารามิเตอร์แบบต่าง ๆ	
ตารางที่ 4.4	ปริมาณรังสียังผลจาก ICRP ฉบับที่ 60 พ.ศ. 2533 และ	72
	ICRP ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2550 ในการตรวจความหนาแน่นของกระดูกสันหลัง	
	ระดับเอวและกระดูกสะโพกจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน ตรา Hologic®	
	รุ่น QDR-Discovery A	
ตารางที่ 4.5	รายละเอียดในการตรวจความหนาแน่นของกระดูกในเด็กด้วย.....	73
	เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตรา Lunar® ปริมาณรังสีที่ผิวและ	
	ปริมาณรังสียังผล	
ตารางที่ 4.6	ปริมาณรังสีสมมูลตาม ICRP ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2550 ในการตรวจ.....	75
	ความหนาแน่นของกระดูกด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตรา Hologic®	
	รุ่น QDR-Series ด้วยวิธีสแกน (mode) แบบต่าง ๆ ในหุ่นจำลองผู้หญิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.7	ปริมาณรังสีสะสมในเด็กตาม ICRP ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2550 ในการตรวจ 76 ความหนาแน่นของกระดูก ด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตรา Lunar® รุ่น Prodigy ในหุ่นจำลองเด็กอายุ 5 และ 10 ปี
ตารางที่ 4.8	ปริมาณรังสียังผลในการตรวจกระดูกสันหลังระดับเอวด้วย 80 เครื่อง QCT ตรา Philips® รุ่น MX8000 โดยใช้โปรแกรม ImpactDose®
ตารางที่ 5.1	การบอกระดับของกระดูกสันหลังระดับเอว..... 98
ตารางที่ 7.1	Precision error และ LSC ที่สูงที่สุดยอมรับได้..... 185
ตารางที่ 7.2	ตัวอย่างการแปลผลการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของกระดูก (Δ BMD)..... 186
ตารางที่ 7.3	การสแกน phantom หรือผู้ป่วยเพื่อเทียบมาตรฐานระหว่างเครื่อง..... 188 (cross-calibration)
ตารางที่ 8.1	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาแน่น 198 ของกระดูก L1-L4 (L1-L4 BMD) ความหนาแน่นของกระดูกคอสะโพก (femoral neck BMD) และความหนาแน่นของกระดูกสะโพกโดยรวม (total hip BMD) สำหรับเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตรา Lunar® และ Hologic®
ตารางที่ 8.2	เกณฑ์การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนขององค์การอนามัยโลก..... 203
ตารางที่ 8.3	ความไว ความจำเพาะ และความแม่นยำในการตรวจคัดกรอง 223 โรคกระดูกพรุนด้วย CT
ตารางที่ 9.1	รูปแบบของการหักของกระดูกสันหลัง..... 245
ตารางที่ 9.2	เกณฑ์การวินิจฉัยกระดูกสันหลังหักแบบ semiquantitative method (SQ) 245

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1	การใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานในทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ	3
ภาพที่ 1.2	หลักการใช้รังสีเอกซ์สองระดับพลังงานในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของกระดูก	4
ภาพที่ 1.3	ความเที่ยง (precision) และความแม่นยำ (accuracy)	5
ภาพที่ 1.4	ความชุกของโรคกระดูกพรุนตามกลุ่มอายุและเพศ	9
ภาพที่ 2.1	Trabecular pattern ที่กระดูกต้นขาส่วนต้น	21
ภาพที่ 2.2	การประเมินความแข็งแรงของกระดูกโดยอาศัย trabecular pattern	22
	(Singh index)	
ภาพที่ 2.3	ตำแหน่งที่วัดความหนาของ calcar femorale บนภาพรังสีของกระดูกต้นขา	24
ภาพที่ 2.4	ส่วนประกอบหลักของเครื่อง single-photon absorptiometry (SPA)	33
ภาพที่ 2.5	กราฟแสดงผลการตรวจด้วย single-photon absorptiometry	34
ภาพที่ 3.1	การสร้างรังสีเอกซ์สองระดับพลังงานด้วยการกรองรังสีส่วนที่อยู่	41
	กลางสเปกตรัมออกโดยใช้เทคนิค K-edge filtering	
ภาพที่ 3.2	การแปรผันของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ($\frac{\mu}{\rho}$) ของซีเรียม	43
	(cerium, Ce)	
ภาพที่ 3.3	ร้อยละขององค์ประกอบของร่างกาย (body composition)	49
ภาพที่ 3.4	ความแตกต่างของความหนาแน่นของกระดูกที่ตรวจด้วยวิธีการ 3 แบบ	55
ภาพที่ 3.5	ส่วนประกอบหลักของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	57
ภาพที่ 3.6	แบบแผนการสแกนด้วยลำรังสีแบบต่าง ๆ	59
ภาพที่ 3.7	การขยายภาพที่แปรผันตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี	60
ภาพที่ 4.1	ปริมาณรังสียังผล จากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	74
	ในหุ่นจำลองของทารกแรกเกิด เด็กอายุ 1 ปี 5 ปี และ 10 ปี	
ภาพที่ 4.2	ปริมาณรังสียังผลคำนวณจาก ICRP ฉบับที่ 60 พ.ศ. 2533	77
	เปรียบเทียบการตรวจความหนาแน่นของกระดูกด้วยเครื่อง	
	รังสีเอกซ์สองพลังงานและการตรวจทางรังสีวิทยาอื่น ๆ	
ภาพที่ 4.3	ป้ายเตือนการตั้งครุภัณฑ์และอันตรายจากการตรวจในทางรังสีวิทยา	78
	จากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ	
ภาพที่ 4.4	การใช้ฉากตะกั่วกันระหว่างเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานและ	82
	บริเวณเครื่องคอมพิวเตอร์สถานีงาน	
ภาพที่ 4.5	อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิด OSL	83
ภาพที่ 4.6	สัญลักษณ์เตือนบริเวณรังสี	84
ภาพที่ 5.1	โครงสร้างของ cortical bone และ trabecular bone	92
	แสดงรายละเอียดของ osteon	
ภาพที่ 5.2	ส่วนประกอบของปล้องกระดูกสันหลัง (vertebra)	94

สารบัญภาพ

ภาพที่ 5.3	กระดูกสันหลังระดับเอว	97
ภาพที่ 5.4	ตารางจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานแสดงผลการวิเคราะห์ ความหนาแน่นของกระดูกสันหลังระดับเอว	98
ภาพที่ 5.5	มุมระหว่างแกนของกระดูกคอสะโพกกับระนาบของเตียงตรวจในท่านอนหงาย.....	100
ภาพที่ 5.6	Region of interest (ROI) ในการตรวจความหนาแน่นของกระดูกสะโพก ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน	101
ภาพที่ 5.7	การเรียกตำแหน่งกระดูกเรเดียสและกระดูกอัลนา	104
ภาพที่ 6.1	แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของกระดูก	112
ภาพที่ 6.2	Bone remodeling.....	115
ภาพที่ 6.3	RANK/RANKL/Osteoprotegerin signaling pathway	117
ภาพที่ 6.4	Wnt/ β -catenin signaling pathway	119
ภาพที่ 6.5	การเปลี่ยนแปลงของมวลกระดูกตามอายุ	124
ภาพที่ 6.6	การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของกระดูก L1-L4 ตามอายุ	125
ภาพที่ 6.7	ผลของเพศและอายุต่อการสร้างกระดูกแบบ periosteal apposition และการสลายกระดูกด้าน endocortical ของกระดูกที่มีลักษณะเป็นท่อ (tubular bone)	127
ภาพที่ 6.8	ผลของตรรกะนิมัลกายต่อความหนาแน่นของกระดูก L1-L4.....	129
ภาพที่ 7.1	สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient, $\frac{\mu}{\rho}$).....	150
ภาพที่ 7.2	ความสามารถของเตียงตรวจของเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานในการ..... รองรับน้ำหนักผู้ป่วย	154
ภาพที่ 7.3	การจัดท่าผู้ป่วยเพื่อตรวจความหนาแน่นของกระดูกสันหลังระดับเอว.....	156
ภาพที่ 7.4	การกำหนดตำแหน่งเริ่มสแกนเพื่อตรวจความหนาแน่นของกระดูกสันหลัง..... ระดับเอว	157
ภาพที่ 7.5	ภาพสแกนกระดูกสันหลังระดับเอวและการกำหนดขอบเขตของกระดูก..... และ ROI ที่เหมาะสม	158
ภาพที่ 7.6	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมทุกรูปแบบของการเลือกกระดูก L1-L4.....	159
ภาพที่ 7.7	การจัดท่าผู้ป่วยและอุปกรณ์สำหรับยึดเท้าสำหรับการตรวจ ความหนาแน่นของกระดูกสะโพก	160
ภาพที่ 7.8	ผลของ internal rotation ของลำกระดูกต้นขา (femoral shaft) ต่อมุมระหว่างกระดูกคอสะโพกกับระนาบของเตียงตรวจ	161
ภาพที่ 7.9	ผลของ internal rotation ของลำกระดูกต้นขาต่อความหนาแน่น ของกระดูกคอสะโพก	162
ภาพที่ 7.10	การกำหนดตำแหน่งเริ่มสแกนเพื่อตรวจความหนาแน่นของกระดูกสะโพก	163
ภาพที่ 7.11	ภาพสแกนกระดูกสะโพกแสดงการกำหนดขอบเขตของกระดูกและ ROI	164

สารบัญภาพ

	ที่เหมาะสม	
ภาพที่ 7.12	การวัดความยาวของกระดูกอัลนาเพื่อกำหนดตำแหน่งกระดูกเรเดียส 1/3.....	165
ภาพที่ 7.13	การจัดทำผู้ป่วยสำหรับการตรวจความหนาแน่นของกระดูกเรเดียส 1/3.....	166
ภาพที่ 7.14	ภาพความหนาแน่นของกระดูกเรเดียส 1/3	167
ภาพที่ 7.15	Hologic® spine phantom.....	172
ภาพที่ 7.16	Lunar® spine phantom	173
ภาพที่ 7.17	การสร้าง control chart.....	175
ภาพที่ 7.18	Control chart	176
ภาพที่ 7.19	รายงานการตรวจสอบคุณภาพประจำวันด้วยการสแกน Hologic® spine phantom	178
ภาพที่ 7.20	Lunar® calibration block.....	178
ภาพที่ 7.21	รายงานการตรวจสอบคุณภาพประจำวันด้วยการสแกน Lunar® calibration block	179
ภาพที่ 7.22	รายงานผลการสแกน Lunar® spine phantom ประจำสัปดาห์.....	180
ภาพที่ 7.23	ซอฟต์แวร์เอ็กเซล (Excel) สำหรับคำนวณ precision error และ LSC.....	184
ภาพที่ 7.24	ตัวอย่างการคำนวณ precision error และ LSC	185
ภาพที่ 8.1	ขนาดของกระดูกมีผลต่อความหนาแน่นของกระดูก	200
ภาพที่ 8.2	ความหนาแน่นของกระดูกปกติ.....	208
ภาพที่ 8.3	โรคกระดูกสันหลังเสื่อม.....	209
ภาพที่ 8.4	ความหนาแน่นของกระดูกอยู่ในเกณฑ์มวลกระดูกต่ำ.....	210
ภาพที่ 8.5	การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนเมื่อมีปัจจัยเสี่ยง.....	211
ภาพที่ 8.6	ความหนาแน่นของกระดูกอยู่ในเกณฑ์โรคกระดูกพรุน	212
ภาพที่ 8.7	ROI สำหรับการตรวจความหนาแน่นของกระดูกสะโพกที่เคยมีการศึกษา.....	215
ภาพที่ 8.8	ROI สำหรับการตรวจความหนาแน่นของกระดูกเรเดียสที่เคยมีการศึกษา	220
ภาพที่ 9.1	Parallax และ diaphragmatic shadow.....	233
ภาพที่ 9.2	หน้าจอของสถานีงาน (workstation) ของเครื่องรังสีเอกซ์	234
	สองพลังงานแสดงพารามิเตอร์และระยะเวลาในการสแกนเพื่อตรวจ VFA	
ภาพที่ 9.3	การเลื่อนตำแหน่งของ diaphragmatic shadow และการซ้อนทับ.....	235
	ของหลอดเลือดและข้อปอดที่กระดูกสันหลังระดับอก	
ภาพที่ 9.4	การวัดความสูงด้านหน้า (h_a) ตรงกลาง (h_m) และด้านหลัง (h_p)	238
	ของ vertebral body	
ภาพที่ 9.5	การวัดความสูงของ vertebral body ด้วยซอฟต์แวร์ของเครื่องรังสีเอกซ์.....	241
	สองพลังงานตรา Hologic®	
ภาพที่ 9.6	การวัดความสูงของ vertebral body ด้วยเครื่องรังสีเอกซ์.....	243

สารบัญภาพ

	สองพลังงานตรา Lunar®	
ภาพที่ 9.7	การจำแนกการหักของกระดูกสันหลังตามรูปร่างของ vertebral body	244
ภาพที่ 9.8	Endplate depression	246
ภาพที่ 9.9	Incident vertebral fracture.....	247
ภาพที่ 9.10	ตัวอย่างการวัดความสูงของ vertebral body ในระบบ PACS	249
	เพื่อรายงานผลในเชิงปริมาณ	
ภาพที่ 9.11	Cupid's bow	250
ภาพที่ 9.12	Scheuermann's disease	250
ภาพที่ 9.13	Schmorl's node	251
ภาพที่ 9.14	การเปลี่ยนแปลงของ trabecular bone score (TBS) ตามอายุ	252
ภาพที่ 9.15	ตัวอย่างรายงานผล TBS ปกติ.....	253
ภาพที่ 9.16	TBS ในผู้ป่วยที่เป็นโรคกระดูกสันหลังเสื่อม	255
ภาพที่ 9.17	TBS ในผู้ป่วยเบาหวาน ชนิดที่ 2	256
ภาพที่ 9.18	ความสัมพันธ์ระหว่างตรรกะนิมัลกายกับความหนาแน่นของกระดูกและ TBS.....	257
ภาพที่ 9.19	กราฟแบบ box plot แสดงผลของความหนาแน่นของเนื้อเยื่ออ่อน.....	258
	ที่ซ้อนทับกระดูกต่อการลดลงของ TBS	
ภาพที่ 9.20	การทดลองวัด TBS รุ่น 3.0.2.0 ในคนที่มีเนื้อเยื่ออ่อนหนาขึ้น	260
ภาพที่ 10.1	การจัดทำผู้ป่วยและเส้นแบ่งการวิเคราะห์ภาพการตรวจองค์ประกอบของร่างกาย ..	273
ภาพที่ 10.2	ผลการตรวจองค์ประกอบของร่างกายที่จัดทำด้วยเทคนิค offset-scanning...	274
ภาพที่ 10.3	ROI สำหรับ android, gynoid และ VAT และผลการตรวจองค์ประกอบ.....	276
	ของร่างกาย	
ภาพที่ 10.4	ไขมันใต้ผิวหนังและในช่องท้องจากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) และ	278
	ตรรกะนิมัลไขมันจากการตรวจด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	
ภาพที่ 10.5	ผลการตรวจองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน	281
	ที่ตราต่างกัน	
ภาพที่ 11.1	Osteogenesis imperfecta.....	291
ภาพที่ 11.2	Osteolytic lesion.....	293
ภาพที่ 11.3	Laminectomy	294
ภาพที่ 11.4	โรคกระดูกสันหลังเสื่อม	295
ภาพที่ 11.5	กระดูกสันหลังหัก	296
ภาพที่ 11.6	Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH).....	297
ภาพที่ 11.7	Dagger sign ใน ankylosing spondylitis	298
ภาพที่ 11.8	Trolley track sign ใน ankylosing spondylitis.....	299
ภาพที่ 11.9	Abdominal aortic calcification	300

สารบัญภาพ

ภาพที่ 11.10	Abdominal aortic stent.....	300
ภาพที่ 11.11	Lanthanum carbonate.....	301
ภาพที่ 11.12	Paget's disease	303
ภาพที่ 11.13	Osteoblastic tumor.....	304
ภาพที่ 11.14	Osteopoikilosis	305
ภาพที่ 11.15	การมีวัตถุที่บร้งสีใน ROI ของเนื้อเยื่ออ่อน	307
ภาพที่ 11.16	การกำหนดขอบเขต ROI มีผลต่อความหนาแน่นของกระดูก	309
ภาพที่ 11.17	การบอกระดับของกระดูกสันหลังไม่ถูกต้อง	310

สัญลักษณ์

β	เบตา (beta)	Am	อะเมริเซียม (americium)
σ	มวลต่อพื้นที่ หรือความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (mass per unit area or areal mass density)	b	กระดูก (bone)
I	ความเข้มของลำรังสีส่งผ่านหลังจาก การผ่านการลดทอนในตัวกลางหรือวัตถุ	C	คาร์บอน (carbon)
I_0	ความเข้มของลำรังสีส่งผ่านโดย ไม่ถูกลดทอนพลังงาน หรือความเข้ม ตั้งต้นของลำรังสี	Ca	แคลเซียม (calcium)
$\ln$	ลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm)	Ce	ซีเรียม (cerium)
μ	สัมประสิทธิ์รวมของการลดทอนเชิงเส้น (total linear attenuation coefficient)	Cl	คลอรีน (chlorine)
$\frac{\mu}{\rho}$	สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient)	Gd	แกโดลิเนียม (gadolinium)
ρ	ความหนาแน่น (density)	H	พลังงานสูง (high energy)
R	ratio value	H	ไฮโดรเจน (hydrogen)
R_s	ratio value ของเนื้อเยื่ออ่อน	I	ไอโอดีน (iodine)
Σ	ผลรวม	K	โพแทสเซียม (potassium)
T	ความหนาของตัวกลางหรือวัตถุ ที่ลำรังสีส่งผ่าน	L	พลังงานต่ำ (low energy)
		Mg	แมกนีเซียม (magnesium)
		N	ไนโตรเจน (nitrogen)
		Na	โซเดียม (sodium)
		O	ออกซิเจน (oxygen)
		P	ฟอสฟอรัส (phosphorus)
		s	เนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue)
		S	กำมะถัน (sulfur)
		Sm	ซาแมเรียม (samarium)

หน่วยวัด

μGy	ไมโครเกรย์ (microgray)	mA	มิลลิแอมแปร์ (milliampere)
μSv	ไมโครซีเวิร์ต (microsievert)	mAs	มิลลิแอมแปร์วินาที (milliampere seconds)
Bq	เบ็กเคอเรล (Becquerel)	mCi	มิลลิวูรี (millicurie)
cGy	เซนติเกรย์ (centigray)	mR	มิลลิเรินต์เกน (milliroentgen)
Ci	คูรี (curie)	mSv	มิลลิซีเวิร์ต (millisievert)
erg	เอิร์ก (erg)	nSv	นาโนซีเวิร์ต (nanosievert)
erg/g	เอิร์กต่อกรัม (erg/g)	R	เรินต์เกน (roentgen)
g	กรัม (gram)	rad	radiation absorbed dose
g/cm^2	กรัม/ตารางเซนติเมตร (gram/square centimeter)	rem	roentgen equivalent
g/cm^3	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (gram/cubic centimeter)	Sv	ซีเวิร์ต (sievert)
Gy	เกรย์ (gray)	กก.	กิโลกรัม
J	จูล (joule)	ชม.	เซนติเมตร
J/kg	จูลต่อกิโลกรัม (joule/kilogram)	ตร.ชม.	ตารางเซนติเมตร
keV	กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (kiloelectron volt)	ม.	เมตร
kV	กิโลโวลต์ (kilovolt)	มก.	มิลลิกรัม
kVp	กิโลโวลต์สูงสุด (kilovoltage peak)	มม.	มิลลิเมตร
		ลบ.ชม.	ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวย่อ

AACE	American Association of Clinical Endocrinologists
aBMD	areal bone mineral density
ABQ	algorithm-based qualitative assessment
ADT	androgen deprivation therapy
AG ratio	android/gynoid fat mass ratio
AI	artificial intelligence
ALM	appendicular lean mass
ALMI	appendicular lean mass index
ANN	artificial neural network
AP	anteroposterior
ASMMI	appendicular skeletal muscle mass index
ATPase	adenosine triphosphatase
AWGS	Asian Working Group for Sarcopenia
BIA	bioelectrical impedance analysis
BMC	bone mineral content
BMD	bone mineral density
BMI	body mass index
BMPs	bone morphogenic proteins
BSF	back scatter factor
BUA	broadband ultrasound attenuation
BV/TV	bone volume/total volume
c-fms	colony-stimulating factor-1 receptor
COPD	chronic obstructive lung disease
COX-2	cyclooxygenase 2
CT	computed tomography
CTDI	computed tomography dose index
CTDI _c	center computed tomography dose index
CTDI _p	peripheral computed tomography dose index
CTDI _v	volume computed tomography dose index
CTDI _w	weighted computed tomography dose index
CV	coefficient of variation
DHT	5 α - dihydrotestosterone
DISH	diffuse idiopathic skeletal hyperostosis
DKK1	Dickkopf-1

ตัวย่อ

DL	deep learning
DLP	dose length product
DPA	dual-photon absorptiometry
DXA	dual-energy X-ray absorptiometry
E1	estrone
E2	17 β - estradiol
E3	estriol
E4	estetrol
EGAT	Electricity Generating Authority of Thailand
ESCEO	European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis
ESP	European spine phantom
EWGSOP	European Working Group on Sarcopenia in Older People
FDG	fluorodeoxyglucose
FFM	fat-free mass
FGF23	fibroblast growth factor 23
FM	fat mass
FMI	fat mass index
GM-CSF	granulocyte-macrophage colony-stimulating factor
GnRH	gonadotropin-releasing hormone
HCG	human chorionic gonadotropin
HIV	human immunodeficiency virus
HR-pQCT	high-resolution peripheral quantitative computed tomography
HU	Hounsfield unit
IAEA	International Atomic Energy Agency
IC	ionization chamber
ICRP	International Commission on Radiation Protection
IGF-1	insulin-like growth factor-1
IL-1 β	interleukin-1 beta
IOF	International Osteoporosis Foundation
ISCD	International Society for Clinical Densitometry
IVNA	in-vivo neutron activation
kVp	kilovoltage peak
LHRH	luteinizing hormone-releasing hormone

ตัวย่อ

LM	lean mass
LRP	low-density lipoprotein receptor-related protein
LSC	least significant change
M-CSF	macrophage-colony stimulating factor
MDP	methylene diphosphonate
ML	machine learning
MMPs	matrix metalloproteinases
MRI	magnetic resonance imaging
NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
NIH	National Institute of Health
OPG	osteoprotegerin
OR	odds ratio
OSL	optically stimulated luminescence dosimeter
PA	posteroanterior
PACS	picture archiving and communication system
PGE2	prostaglandin E2
PPAR- γ	peroxisome proliferator-activated receptor gamma
pQCT	peripheral quantitative computed tomography
PSMA	prostate-specific membrane antigen
QALY	quality-adjusted life year
QCT	quantitative computed tomography
QM	quantitative morphometric measurement of vertebral height
QUS	quantitative ultrasound
RAD	radiation absorbed dose
RANK	receptor activator of nuclear kappa-B
RANKL	receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand
RBE	relative biological effectiveness
RMS %CV	root mean square %coefficient of variation
RMS SD	root mean square standard deviation
ROI	region of interest
RR	relative risk
SAPHO	synovitis-acne-pustulosis-hyperostosis-osteitis
SCD	Society for Clinical Densitometry
SD	standard deviation

ตัวย่อ

SGLT2	sodium-glucose cotransporter 2
SMI	skeletal muscle index, skeletal muscle mass index
SOP	standard operating procedure
SPA	single energy photon absorptiometry
SQ	semiquantitative visual method หรือ Genant's method
SSRI	selective serotonin-reuptake inhibitor
SVH	short vertebral height
SXA	single-energy X-ray absorptiometry
TB.	total body
TB.BMC	total body bone mineral content
TB.FM	total body fat mass
TB.LM	total body lean mass
Tb.N	trabecular number
Tb.Sp	trabecular separation
Tb.Th	trabecular thickness
TBS	trabecular bone score
TGF- β	transforming growth factor beta
TGNC	transgender and gender conforming
TLD	thermoluminescence dosimeter
TNF- α	tumor necrosis factor alpha
TSH	thyroid stimulating hormone
UWW	underwater weighing
VAT	visceral adipose tissue
vBMD	volumetric bone mineral density
VFA	vertebral fracture assessment
vQCT	volumetric quantitative computed tomography
WHO	World Health Organization

บทที่

1

ความสำคัญทางคลินิกของ เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

Clinical Importance of
Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

ชนิกา ศรีธรา

- บทนำ
- เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน
- โรคกระดูกพรุน
- นิยามของโรคกระดูกพรุน
- ระบาดวิทยาของโรคกระดูกพรุน
- สรุป

บทนำ

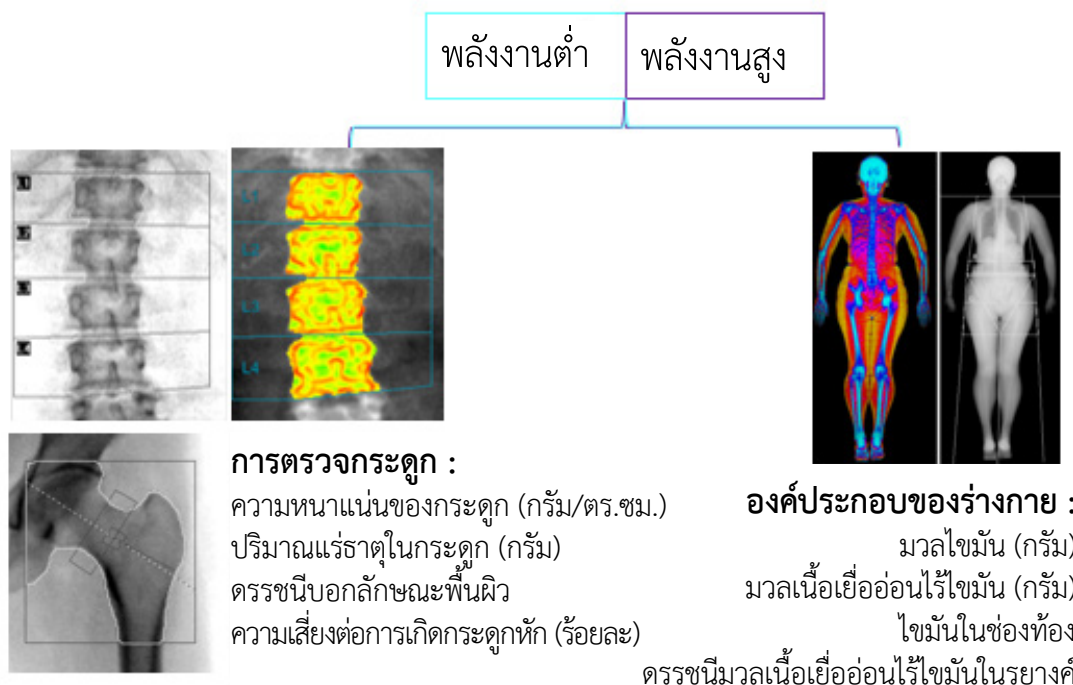
เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจความหนาแน่นของกระดูก (bone mineral density, BMD) ซึ่งใช้วินิจฉัยและติดตามการรักษาผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) นอกจากนี้ ยังใช้ในการตรวจกระดูกสันหลังหัก (vertebral body assessment) และองค์ประกอบของร่างกาย (body composition) ซึ่งปัจจุบันใช้ในการวัดมวลกล้ามเนื้อเพื่อช่วยในการวินิจฉัยภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย (sarcopenia)

เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน

เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานเป็นเครื่องมือในการตรวจความหนาแน่นของกระดูกเพื่อวินิจฉัยโรคกระดูกพรุน โดยใช้รังสีเอกซ์ปริมาณเล็กน้อยสองระดับพลังงานในการวิเคราะห์ปริมาณมวลของสารเมื่อสารนั้นอยู่ร่วมกับสารชนิดอื่น โดยอาศัยสมบัติในการลดทอนรังสี (radiation attenuation) ที่เป็นเอกลักษณ์ของสารเหล่านั้นที่พลังงานแต่ละระดับ ภาพที่ได้จากรังสีเอกซ์เป็นภาพที่เกิดจากการลดทอนรังสี ขนาดของการลดทอนรังสีขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของมวลสารหรือเนื้อเยื่อ โดยรังสีจะถูกลดทอนมากในกระดูกและฟัน เนื่องจากเป็นอวัยวะที่มีความหนาแน่นสูง ส่วนกล้ามเนื้อและน้ำจะมีการลดทอนรังสีรองลงมาตามด้วยไขมัน ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้รวมเป็นเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ขณะที่การลดทอนรังสีในอากาศมีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้ การลดทอนรังสียังขึ้นกับระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ กล่าวคือ รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ดี เนื่องจากมีการลดทอนรังสีน้อยกว่ารังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ รังสีเอกซ์พลังงานต่ำมีความสามารถในการทะลุทะลวงน้อย เนื่องจากมีการลดทอนรังสีมาก โดยเฉพาะในกระดูกที่มีความหนาแน่นมาก ดังนั้น จากสมบัติเหล่านี้ทำให้สามารถใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานตรวจความหนาแน่นของกระดูก รวมทั้งองค์ประกอบของร่างกาย (body composition) ได้ (ภาพที่ 1.1)

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray source) ซึ่งเชื่อมต่อกับหัววัดรังสี (radiation detector)¹ จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน โดยมีการปล่อยรังสีออกจากแหล่งกำเนิด และวัดรังสีส่งผ่าน (transmitted radiation) ด้วยหัววัดรังสีครอบคลุมส่วนของร่างกายที่ต้องการตรวจ ด้วยการเคลื่อนที่ของหัววัดรังสีในลักษณะนี้จึงมักเรียกรวดตรวจนี้ว่าการสแกน (scan) (ดูบทที่ 3)

รังสีเอกซ์

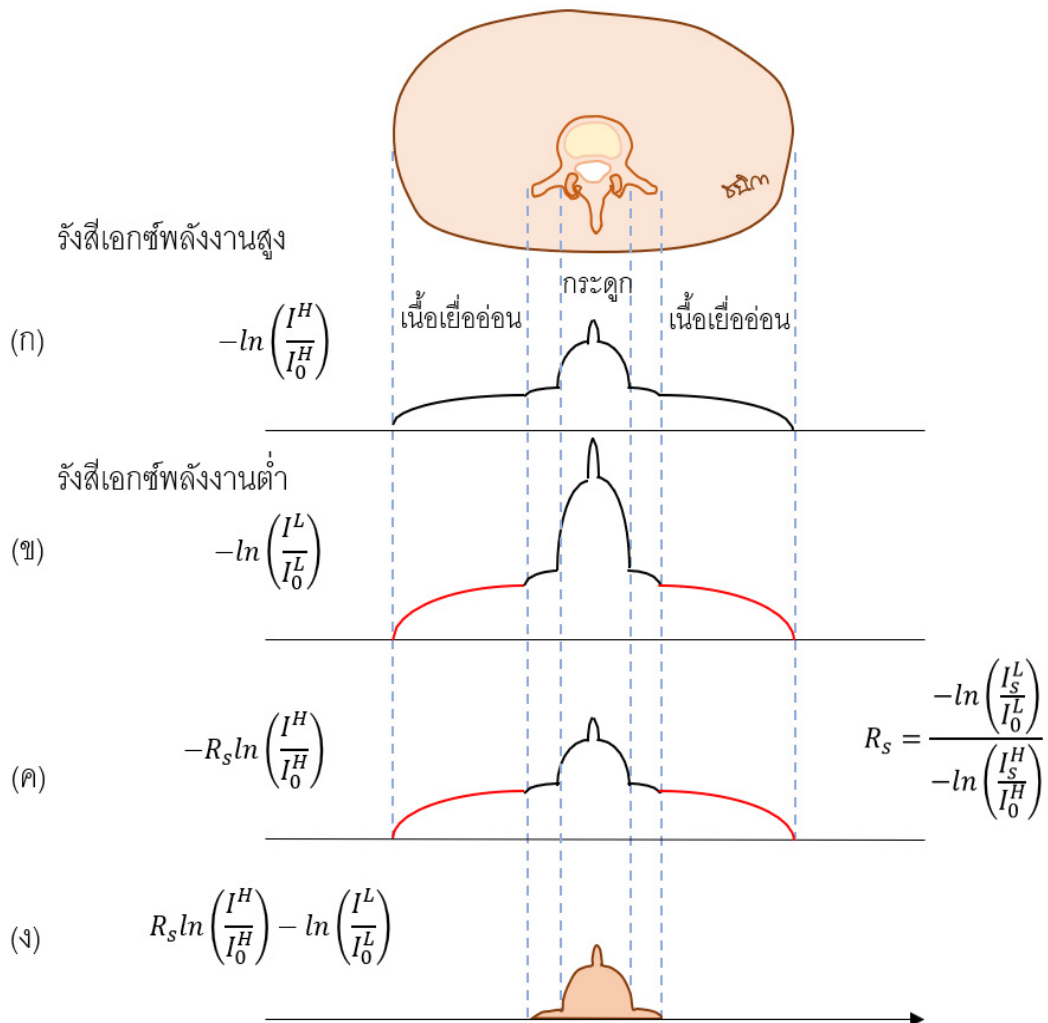


ภาพที่ 1.1 การใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานในทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อตรวจความหนาแน่นของกระดูกรวมทั้งตรวจองค์ประกอบของร่างกาย

ตร.ซม. = ตารางเซนติเมตร

จัดทำโดย ชนิกา ศรีธรา

การใช้รังสีเอกซ์สองระดับพลังงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ รังสีเอกซ์พลังงานสูงและรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลการลดทอนรังสีที่ตำแหน่งต่าง ๆ (attenuation map) 2 ชุด (ภาพที่ 1.2) อธิบายโดยสังเขป ได้ดังนี้ ใน 1 แกนของข้อมูลที่สแกน จะสามารถวัดการลดทอนได้ 2 แบบ ซึ่งทำหน้าที่เสมือน 2 สมการ คือ แบบที่เกิดกับรังสีเอกซ์พลังงานสูงซึ่งแทนด้วยสมการ (ก) และแบบที่เกิดกับรังสีเอกซ์พลังงานต่ำซึ่งแทนด้วยสมการ (ข) ดังกราฟที่แสดงการลดทอนรังสี เนื่องจากสมการการลดทอนรังสี (ก และ ข) มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (unknown) 2 ตัว คือกระดูกและเนื้อเยื่ออ่อน ในการแก้สมการต้องจัดตัวแปรที่ไม่ทราบค่าออก 1 ตัว ซึ่งคือเนื้อเยื่ออ่อน เนื่องจากต้องการทราบค่ากระดูก วิธีการคือหาค่าคงที่ (แทนด้วยสัญลักษณ์ R_0) คูณกับสมการ (ก) ทำให้ได้สมการใหม่ (ค) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของเนื้อเยื่ออ่อนเท่ากับสัมประสิทธิ์ของเนื้อเยื่ออ่อนในสมการ (ข) เมื่อนำสมการ (ค) ลบออกจากสมการ (ข) จะได้สมการ (ง) ที่ขจัดส่วนเนื้อเยื่ออ่อนออกไปเหลือส่วนที่เป็นการลดทอนรังสีจากกระดูกเท่านั้น ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่ามวลกระดูกได้¹



ภาพที่ 1.2 หลักการใช้รังสีเอกซ์สองระดับพลังงานในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของกระดูก (ดูสมการโดยละเอียดในบทที่ 3)

I_0 เป็นความเข้มของลำรังสีที่ส่งผ่าน (transmitted radiation) พลังงานต่ำโดยไม่ถูกกลืนโดยกระดูก

I^L เป็นความเข้มของลำรังสีที่ส่งผ่านพลังงานต่ำหลังจากการผ่านการกลืนโดยกระดูกหรือวัตถุ

I_0^H เป็นความเข้มของลำรังสีที่ส่งผ่าน (transmitted radiation) พลังงานสูงโดยไม่ถูกกลืนโดยกระดูก

I^H เป็นความเข้มของลำรังสีที่ส่งผ่านพลังงานสูงหลังจากการผ่านการกลืนโดยกระดูกหรือวัตถุ

R_s เป็นค่าคงที่

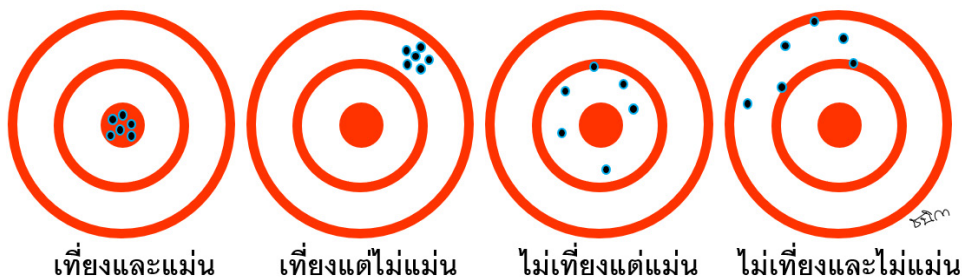
วาดภาพโดย ชนิภา ศรีธรา

[ดัดแปลงจาก : International Atomic Energy Agency. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment, human health series No. 15. Vienna: IAEA; 2011. [cited 2022 Jan 9]. 118 p. Available from: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1479_web.pdf โดยได้รับอนุญาตจาก Prof. John Shepherd]

เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานเริ่มมีจำหน่ายในท้องตลาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2530^{1,2} เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากเทคนิคการดูดกลืนโฟตอน (photon absorptiometry) ซึ่งเทคนิคต้นแบบ คือ การดูดกลืนโฟตอน

พลังงานเดี่ยว (single-photon absorptiometry, SPA) และในเวลาต่อมาได้พัฒนาเป็นการดูดกลืนโฟตอนสองพลังงาน (dual-photon absorptiometry, DPA)³ ความแตกต่างคือ เทคนิคการดูดกลืนโฟตอนใช้นิวไคลด์กัมมันตรังสี (radionuclide) ซึ่งให้รังสีแกมมาเป็นแหล่งกำเนิดรังสี เช่น แกโดลิเนียม-153 (gadolinium-153, ¹⁵³Gd) ขณะที่เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานใช้หลอดรังสีเอกซ์ อย่างไรก็ตาม ทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า^a ซึ่งประกอบด้วยโฟตอน (photon)^b

การใช้รังสีเอกซ์มีข้อดี คือ หลอดรังสีเอกซ์ให้จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อพื้นที่ (photon flux) ได้มาก ภาพที่ได้จึงมีความละเอียด (resolution) มากกว่า ทำให้ค่าที่ตรวจได้มีความเที่ยง (precision) และความแม่นยำ (accuracy)^c สูงกว่า (ภาพที่ 1.3) นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการสแกนสั้นกว่าเทคนิคการดูดกลืนโฟตอน จึงเป็นการแก้ไขข้อด้อยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีซึ่งมี photon flux น้อยกว่า รวมทั้งมีการสลายตัวตามธรรมชาติ ทำให้ใช้เวลาในการสแกนนานขึ้นเรื่อย ๆ จนต้องเปลี่ยน ¹⁵³Gd ใหม่



ภาพที่ 1.3 ความเที่ยง (precision) และความแม่นยำ (accuracy)

วาดภาพโดย ชนิกา ศรีธรา

[ดัดแปลงจาก : DarkEvil. High accuracy low precision [image on Internet]. 2006 [cited 2021 Nov 26]. Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:High_accuracy_Low_precision.svg และ Willighagen, E. Accuracy versus precision by [Internet]. 2011 [cited 2021 Nov 26] Available from: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Accuracy-vs-precision-nl.svg> (CC0 1.0)]

จุดมุ่งหมายหลักของการใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานคือเพื่อตรวจมวลกระดูก (bone mass) โดยวัดจากปริมาณแร่ธาตุในกระดูก (bone mineral content, BMC) และความหนาแน่นของกระดูกเพื่อการวินิจฉัยโรคกระดูกพรุน ดังนั้น จึงได้มีการเลือกระดับพลังงานของโฟตอนให้เหมาะสมกับการตรวจดังกล่าว

ถึงแม้การตรวจความหนาแน่นของกระดูกด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานจะเป็นความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (areal BMD, aBMD) หน่วยเป็นมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ คือ กรัมต่อตารางเซนติเมตร (กรัม/ตร.ซม.) ขณะที่ความหนาแน่นของกระดูกที่ตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computed tomography, CT) หรือเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เชิงปริมาณ (quantitative computed tomography, QCT) นั้น เป็นความ

a. ตัวอย่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียงจากความถี่ต่ำไปหาสูง เช่น คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น

b. โฟตอนเป็นกลุ่มก้อนที่เล็กที่สุดของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีมวล และเดินทางด้วยความเร็วแสงในสุญญากาศ

c. ความเที่ยง หมายถึง ความใกล้เคียงกันของค่าที่ทำการตรวจซ้ำ ส่วนความแม่นยำ หมายถึง ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยของการตรวจซ้ำเมื่อเทียบกับค่าจริง

หนาแน่นเชิงปริมาตร (volumetric BMD, vBMD) จึงมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (กรัม/ลบ.ซม.) ทั้งนี้เนื่องจากภาพจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานเป็นภาพสองมิติ ไม่ได้นำความหนาแน่นมาใช้ในการวิเคราะห์ แต่การตรวจด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงาน ใช้ปริมาณรังสีน้อยมากและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่ามาก

การตรวจค่าความหนาแน่นของกระดูกด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานยังสามารถใช้พยากรณ์การเกิดกระดูกหักได้ กล่าวคือ เมื่อมีการลดลงของความหนาแน่นของกระดูก 1 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ความเสี่ยงต่อกระดูกหักจากโรคกระดูกพรุนจะสูงขึ้นเป็น 1.5–2.6 เท่า^{4,5} และเนื่องจากเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานเป็นเทคนิคที่มีความเที่ยงสูง⁶ จึงสามารถใช้ในการติดตามความหนาแน่นของกระดูกเพื่อประเมินการตอบสนองต่อการรักษาโรคกระดูกพรุนได้

นอกจากการตรวจความหนาแน่นของกระดูกมวลกระดูกแล้ว การใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานสแกนทั่วร่าง (total body, Tb.) สามารถตรวจองค์ประกอบของร่างกายได้เป็น 3 องค์ประกอบ (three-compartment model) ได้แก่ แร่ธาตุในกระดูก (bone mineral content, BMC) มวลไขมัน (fat mass, FM) และมวลเนื้อเยื่ออ่อนไร้ไขมัน (lean mass, LM หรือ non-lipid soft tissue)⁷ และยังสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบเหล่านี้โดยแยกเฉพาะบางส่วนของร่างกาย เช่น ไขมันในช่องท้อง (visceral adipose tissue, VAT) และมวลเนื้อเยื่ออ่อนไร้ไขมันในยางค์ (appendicular lean mass, ALM) เป็นต้น ซึ่งมีประโยชน์ในการประเมินภาวะโภชนาการ⁸ โรคหัวใจที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติทางเมแทบอลิซึม (cardiometabolic disease)^{9,10} และเวชศาสตร์การกีฬา¹¹ ที่เริ่มมีการใช้ทางคลินิกคือการตรวจตรวจไขมันเนื้อเยื่ออ่อนไร้ไขมันในยางค์ (appendicular lean mass index, ALMI) ทั้ง ALM และ ALMI^d ถือเป็นตัวแทนของมวลกล้ามเนื้อแกนขา (appendicular skeletal mass) โดย ALMI เป็นหนึ่งในเกณฑ์การวินิจฉัยร่วมสำหรับภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย^{12,13} อันเป็นภาวะเสี่ยงต่อการหกล้มและกระดูกหักในผู้สูงอายุ

อนึ่ง การตรวจความหนาแน่นของกระดูกและองค์ประกอบของร่างกาย ในหนังสือเล่มนี้ยึดตามคำแนะนำของ ISCD¹⁴ โดยผสมผสานกับคำแนะนำที่สำคัญขององค์กรระหว่างประเทศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ American Association of Clinical Endocrinologists (AACE)¹⁵, International Atomic Energy Agency (IAEA)¹, European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis (ESCEO) และ International Osteoporosis Foundation (IOF)⁵ รวมทั้งคำแนะนำเวชปฏิบัติการดูแลรักษาโรคกระดูกพรุนของมูลนิธิโรคกระดูกพรุนแห่งประเทศไทย¹⁶

โรคกระดูกพรุน

โรคกระดูกพรุน (osteoporosis) เป็นโรคที่พบบ่อยในประชากรผู้สูงอายุโดยเฉพาะผู้หญิง ซึ่งปัจจุบันประชากรผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ แสดงให้เห็นว่าประชากรไทยที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปเพิ่มขึ้นจาก 8.5 ล้านคนในปี พ.ศ. 2553¹⁷ เป็น 12.5 ล้านคนในปี พ.ศ. 2564¹⁸

d. ALMI เป็นคำที่ ISCD ใช้ แต่บางองค์กรเรียกว่า appendicular skeletal muscle index (ASMI) หรือ height-adjusted muscle mass

ผู้ป่วยโรคกระดูกพรุนส่วนใหญ่ไม่มีอาการผิดปกติ จนกระทั่งกระดูกหัก (fracture) จากอุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียตามมาทั้งในแง่คุณภาพชีวิตและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับรายได้อัตราเฉลี่ยของประชากร¹⁹ ในปี พ.ศ. 2551 มีรายงานค่ามัธยฐาน (พิสัย) ของต้นทุนในการรักษากระดูกสะโพกหักด้วยการผ่าตัดเปลี่ยนข้อสะโพกเทียมหรือยึดตรึงด้วยโลหะยึดกระดูกต่อครั้ง คิดเป็นเงิน 126,320 (23,960–5,070,921) บาท และค่ามัธยฐานปีสุขภาวะ (quality-adjusted life year, QALY) 0.636 คิดเป็นค่าใช้จ่ายเพื่อสุขภาวะต่อรายต่อปี (cost/QALY) 198,615.57 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78.8 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ²⁰ นอกจากนี้ การเกิดกระดูกหักยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตด้วย ในช่วงปี พ.ศ. 2549-2550 มีการศึกษาอัตราการตายภายในปีแรกของการเกิดกระดูกสะโพกหักในผู้สูงอายุ ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอายุน้อยกว่า 70 ปี กลุ่มอายุ 70–80 ปี และกลุ่มอายุมากกว่า 80 ปี พบว่าผู้ที่กระดูกสะโพกหักมีอัตราการตายสูงถึงร้อยละ 21.1 ซึ่งคิดเป็น 9.3 เท่าของอัตราการเสียชีวิตของประชากรเพศและกลุ่มอายุเดียวกันที่ไม่มีกระดูกหัก²¹

โรคกระดูกพรุนยังเป็นสาเหตุให้กระดูกสันหลัง (spine) หักได้บ่อยที่สุด โดย 2 ใน 3 ของผู้ป่วยไม่มีอาการชัดเจน แต่มีรายงานว่าผู้ป่วยเหล่านี้มักมีการทำงานของปอดลดลง มีอาการปวดหลังเรื้อรัง หลังโก่ง ความสูงลดลง ช่วยตัวเองได้น้อยลงและคุณภาพชีวิตลดลง²² รวมทั้งมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดกระดูกหักขึ้นใหม่อีกด้วย²³

การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนก่อนที่จะเกิดกระดูกหักจะนำไปสู่การรักษาที่สามารถป้องกันกระดูกหักได้ ซึ่งปัจจุบันนี้มีการรักษาและยาหลายชนิดที่สามารถรักษาโรคกระดูกพรุนอย่างได้ผล²⁴ การศึกษาในประเทศไทยพบว่าผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนที่เป็นโรคกระดูกพรุนและมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดกระดูกหักนั้น การให้ยารักษาโรคกระดูกพรุนมีความคุ้มค่ากว่าการไม่รักษา²⁵ โดยยารักษาผู้ป่วยโรคกระดูกพรุนที่มีความเสี่ยงสูงมีราคาประมาณ 25,550 บาทต่อปี²⁵ ส่วนยาขึ้นพื้นฐานมีราคาประมาณ 1,300 บาทต่อปี²⁶ และเนื่องจากปัจจุบันประชาชนสามารถเข้าถึงยารักษาโรคกระดูกพรุนระดับพื้นฐานได้ในทุกสิทธิการรักษา การให้การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนจึงช่วยให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงการรักษาได้อย่างเหมาะสม

นิยามของโรคกระดูกพรุน

ในปี พ.ศ. 2536 องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้นิยามโรคกระดูกพรุนว่าเป็น “โรคของกระดูกที่มีมวลกระดูกต่ำ (low bone mass) ร่วมกับการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเชิงจุลภาค (microarchitecture deterioration) ของกระดูก ทำให้กระดูกเปราะบางและหักได้ง่าย”^{27,28}

ทั้งนี้ องค์การอนามัยโลกได้ให้นิยามเชิงปฏิบัติการ (operational definition) เพื่อวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน คือ “การตรวจความหนาแน่นของกระดูกด้วยเทคนิครังสีเอกซ์สองพลังงานเพื่อคำนวณ T-score (ดูบทที่ 8) ซึ่งเป็นจำนวนเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ของความหนาแน่นของกระดูกของประชากรปกติที่มีมวลกระดูกสูงสุด (peak bone mass)” โดยองค์การอนามัยโลกกำหนดค่าจุดตัด (cutoff point) ในการวินิจฉัยที่ T-score น้อยกว่าหรือเท่ากับ -2.5²⁹ จากการใช้จุดตัดนี้

กับค่าความหนาแน่นของกระดูกที่กระดูกสันหลังระดับเอว (lumbar spine) กระดูกสะโพก (hip)^e และกระดูกปลายแขน (forearm) จะให้ความชุกของโรคกระดูกพรุนร้อยละ 30 ซึ่งเท่ากับความเสี่ยงตลอดชีวิต (life-time risk) ต่อการมีกระดูกหักที่ตำแหน่งเหล่านี้ในผู้หญิงอายุ 50 ปี และเมื่อใช้จุดตัดกับค่าความหนาแน่นของกระดูกสะโพกเพียงตำแหน่งเดียวจะให้ความชุกของโรคเป็นร้อยละ 20 ซึ่งใกล้เคียงกับความเสี่ยงตลอดชีวิตของการเกิดกระดูกสะโพกหัก^{29,30}

ต่อมาในปี พ.ศ. 2543 National Institute of Health (NIH) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้นิยามโรคกระดูกพรุนใหม่เพื่อให้ครอบคลุมยิ่งขึ้นว่าเป็น “โรคของกระดูกที่มีความแข็งแรงของกระดูก (bone strength) ลดลง ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อกระดูกหักเพิ่มขึ้น” ซึ่งความแข็งแรงของกระดูกเป็นผลมาจากปัจจัยหลัก 2 ส่วน คือ ความหนาแน่นของกระดูก และคุณภาพของกระดูก (bone quality)^{27,31}

ระบาดวิทยาของโรคกระดูกพรุน

• ระบาดวิทยาทั่วโลก

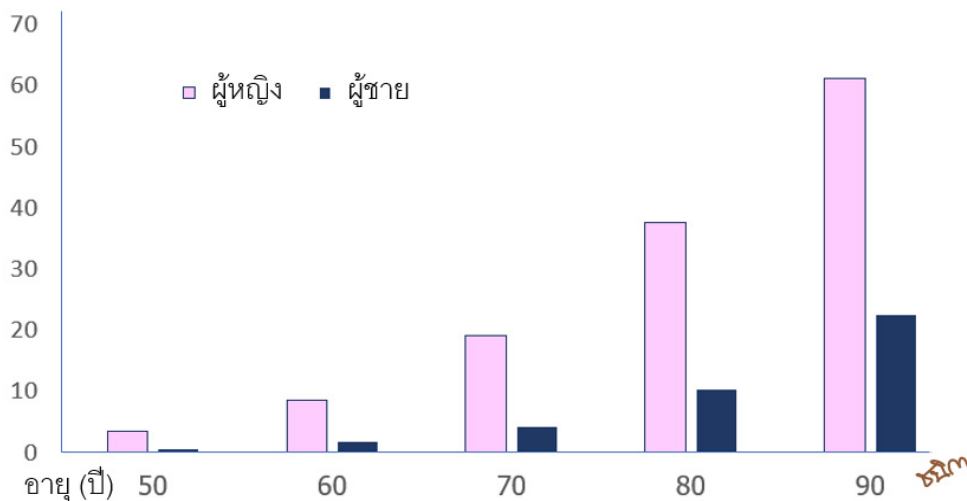
การศึกษาความชุกของโรคกระดูกพรุนต้องใช้เครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานซึ่งมีจำกัด และใช้เวลาในการเก็บข้อมูลไม่น้อยกว่า 5-10 นาทีต่อคน ในหลายประเทศจึงยังขาดข้อมูลความชุกของโรคกระดูกพรุน และการศึกษาความชุกมักครอบคลุมประชากรเพียงบางส่วน ซึ่งอาจไม่ใช่ตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับประชากรของประเทศ ดังนั้น การประเมินความชุกก็ต้องอาศัยการประมาณจากข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งมักเป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์นอกจากนี้ ความชุกที่ได้จากการสำรวจยังมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและอายุของประชากรที่อยู่ในการศึกษานั้น ๆ ตำแหน่งของกระดูกที่ตรวจ วิธีการและเครื่องมือในการตรวจ รวมทั้งเกณฑ์การวินิจฉัย และฐานข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิง

โรคกระดูกพรุนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กระดูกหัก การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) พบว่าในปี พ.ศ. 2543 โรคกระดูกพรุนทำให้คนทั่วโลก 8.9 ล้านรายเกิดกระดูกหัก ครึ่งหนึ่งของจำนวนนี้เกิดในยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนร้อยละ 17.4 เกิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้³² จากรายงานขององค์การอนามัยโลกเมื่อ พ.ศ. 2550³³ ตำแหน่งที่เกิดการหักได้บ่อยและมีผลต่อคุณภาพชีวิตมากคือ กระดูกสะโพก กระดูกสันหลังและกระดูกข้อมือ (wrist)³⁴ โดยความเสี่ยงตลอดชีวิตที่จะเกิดกระดูกหักที่ตำแหน่งเหล่านี้ประมาณร้อยละ 30-40 ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเทียบเคียงได้กับความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ และจัดเป็นโรคที่มีความสำคัญเทียบเท่าหลายโรคที่ทำให้ผู้ป่วยกลายเป็นผู้ป่วยติดเตียง³³

จากการตรวจความหนาแน่นของกระดูกที่กระดูกคอสะโพก (femoral neck) โดยอ้างอิงฐานข้อมูลผู้หญิงผิวขาว (Caucasian) ที่มีอายุ 20-29 ปี พบว่ามีผู้หญิงและผู้ชายในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป ประมาณ 10 ล้านคนเป็นโรคกระดูกพรุน และจากข้อมูลจากการศึกษาในประเทศต่าง ๆ ในยุโรป แคนาดา ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น พบว่าความชุกของโรคกระดูกพรุนสูงขึ้นตามอายุ และความชุกในผู้หญิงสูงเป็น 3 เท่าของผู้ชาย (ภาพที่ 1.4)³³

e. บางครั้งเรียกว่ากระดูกต้นขาส่วนต้น (proximal femur)

ความชุกของโรคกระดูกพรุน (ร้อยละ)



ภาพที่ 1.4 ความชุกของโรคกระดูกพรุนตามกลุ่มอายุและเพศ จากข้อมูลโดยรวมของประเทศต่าง ๆ ในยุโรป แคนาดา ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น

วาดภาพโดย ชนิกา ศรีธรร

จากข้อมูลในภาพที่ 1.4 จะเห็นว่าในผู้หญิงที่อายุ 60 ปี จะพบโรคกระดูกพรุนได้ประมาณ 1 ใน 10 ราย ส่วนผู้หญิงอายุ 70 ปี พบได้ 1 ใน 5 ราย และเมื่ออายุ 90 ปี พบได้มากถึง 2 ใน 3 ราย³³ การศึกษาในประเทศสวีเดนได้คำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิตต่อการเกิดกระดูกหักที่ไหล่ กระดูกแขนส่วนปลาย กระดูกสะโพก หรือกระดูกสันหลัง ในคนที่อายุ 45 ปีขึ้นไป เท่ากับร้อยละ 47.3 ในผู้หญิง และร้อยละ 23.8 ในผู้ชาย³⁵

• ระบาดวิทยาในภูมิภาคเอเชีย

ความชุกของโรคกระดูกพรุนในภูมิภาคเอเชียแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 9.3–41 ในผู้หญิง และร้อยละ 0.7–33.6 ในผู้ชาย (ตารางที่ 1.1) ความแตกต่างนี้ นอกจากจะเกิดขึ้นจากความแตกต่างของลักษณะของประชากรแล้ว อีกส่วนหนึ่งยังขึ้นอยู่กับวิธีการศึกษาดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม สิ่งตรงกันคือความชุกจะสูงขึ้นตามอายุ และความชุกในผู้หญิงจะสูงกว่าผู้ชาย

ในปี พ.ศ. 2562 มีงานวิจัยจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนที่ศึกษาความชุกของโรคกระดูกพรุนในคนอายุ 20 ปีขึ้นไปจำนวน 75,321 คน ด้วยการตรวจความหนาแน่นของกระดูกด้วยเครื่องรังสีเอกซ์สองพลังงานที่กระดูกสันหลังระดับเอวและกระดูกสะโพก พบว่าความชุกของโรคกระดูกพรุนในคนอายุ 50 ปีขึ้นไปเท่ากับร้อยละ 29.1 ในผู้หญิง และร้อยละ 6.5 ในผู้ชาย³⁶ ส่วนการศึกษาต่อมาในปี พ.ศ. 2564 พบว่าความชุกของโรคกระดูกพรุนในคนอายุ 40 ปีขึ้นไป เท่ากับร้อยละ 20.6 ในผู้หญิง และร้อยละ 5.0 ในผู้ชาย และยังพบเพิ่มเติมว่าความชุกของกระดูกสันหลังหักในคนอายุ 50 ปีขึ้นไปเท่ากับร้อยละ 9.7 ในผู้หญิงและร้อยละ 10.5 ในผู้ชาย³⁷