# **การเชื่อมโยงปัญญาประดิษฐ์และการวิจัยชีวการแพทย์: การวิเคราะห์เชิงลึกด้านภาพถ่ายทางการแพทย์และข้อมูลทางคลินิก**

## **บทที่ 1: การปฏิวัติวงการวิจัยชีวการแพทย์ด้วยปัญญาประดิษฐ์**

### **1.1 การเปลี่ยนกระบวนทัศน์: จากการวิจัยเชิงสมมติฐานสู่การวิจัยที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล**

วงการวิจัยชีวการแพทย์กำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ครั้งสำคัญ ซึ่งขับเคลื่อนโดยการมาถึงของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และการเพิ่มขึ้นของข้อมูลชีวการแพทย์ขนาดใหญ่ (Biomedical Big Data).1 ในอดีต กระบวนการวิจัยทางการแพทย์มักดำเนินไปในรูปแบบที่ขับเคลื่อนด้วยสมมติฐาน (Hypothesis-Driven Research) ซึ่งนักวิจัยจะต้องตั้งสมมติฐานที่เฉพาะเจาะจงขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลและพิสูจน์หรือหักล้างสมมติฐานนั้น กระบวนการนี้แม้จะมีรากฐานทางวิทยาศาสตร์ที่แข็งแกร่ง แต่ก็มีข้อจำกัดในแง่ของขอบเขตและความเร็วในการค้นพบองค์ความรู้ใหม่ๆ

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบัน AI ได้เปิดศักราชใหม่ของการวิจัยที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven Research).2 แทนที่จะเริ่มต้นด้วยสมมติฐานที่จำกัดกรอบความคิด นักวิจัยสามารถนำข้อมูลจำนวนมหาศาล ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลจีโนม, ภาพถ่ายทางการแพทย์, หรือเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ เข้าสู่โมเดล AI เพื่อให้ระบบทำการวิเคราะห์และค้นพบรูปแบบ (patterns), ความสัมพันธ์ (relationships), และองค์ความรู้ที่ซ่อนอยู่ซึ่งอาจซับซ้อนเกินกว่าที่มนุษย์จะสังเกตเห็นได้โดยง่าย.1 แนวทางนี้ไม่เพียงช่วยเร่งกระบวนการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังเปิดโอกาสในการสร้างสมมติฐานใหม่ๆ ที่ไม่เคยคาดคิดมาก่อน

สิ่งสำคัญที่ต้องเน้นย้ำคือ AI ไม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนแพทย์หรือนักวิจัย แต่ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือเสริมศักยภาพที่ทรงพลัง.4 การนำ AI เข้ามาประยุกต์ใช้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ (Increased efficiency) ในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว, เพิ่มความแม่นยำ (Improved accuracy) โดยลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากมนุษย์, และที่สำคัญที่สุดคือการเปิดมุมมองและสร้างองค์ความรู้ใหม่ (New insights) ที่อาจนำไปสู่การพัฒนาวิธีการวินิจฉัยและการรักษาแบบใหม่ๆ.1 ในบริบทของประเทศไทย AI ถูกมองว่าเป็นผู้ช่วยที่ทำให้บุคลากรทางการแพทย์ทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดภาระงานและยกระดับการให้บริการด้านสาธารณสุขโดยรวม.4

การเปลี่ยนแปลงนี้ยังส่งผลต่อวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูลอีกด้วย ในแนวทางดั้งเดิม การวัดตัวแปรจำนวนมากเกินไปอาจไม่เป็นที่น่าสนใจนักเนื่องจากข้อจำกัดทางสถิติ แต่ด้วย AI การมีตัวแปรจำนวนมากกลับช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ ทำให้การบันทึกข้อมูลที่หลากหลายและครอบคลุมกลายเป็นสิ่งที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง.3

### **1.2 แนวคิดพื้นฐานของ AI สำหรับบุคลากรทางการแพทย์**

เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถเข้าใจและประยุกต์ใช้ AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานบางประการจึงเป็นสิ่งจำเป็น

#### **การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning - ML)**

การเรียนรู้ของเครื่อง หรือ ML เป็นสาขาย่อยของ AI ที่เน้นการพัฒนาอัลกอริทึมที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากข้อมูลได้ด้วยตนเอง โดยไม่จำเป็นต้องมีการเขียนโปรแกรมกฎเกณฑ์ต่างๆ ไว้อย่างชัดเจน.2 กล่าวคือ ระบบจะสร้างแบบจำลอง (model) จากข้อมูลตัวอย่าง (training data) และใช้แบบจำลองนั้นในการตัดสินใจหรือพยากรณ์ข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน.2 ML สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่:

* **การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning):** เป็นวิธีการที่ใช้บ่อยที่สุดในการใช้งานทางการแพทย์.1 โมเดลจะเรียนรู้จากชุดข้อมูลที่มีการติดฉลาก (labeled data) ไว้อย่างชัดเจน หมายความว่าแต่ละข้อมูลตัวอย่างจะมี "คำตอบ" ที่ถูกต้องกำกับอยู่ เช่น ภาพถ่ายจอประสาทตาที่ถูกระบุแล้วว่าเป็น "โรคเบาหวานขึ้นจอตา" หรือ "ปกติ".5 เป้าหมายคือการสร้างฟังก์ชันที่สามารถทำนายผลลัพธ์ของข้อมูลใหม่ได้อย่างแม่นยำ.2 การประยุกต์ใช้รวมถึงการวินิจฉัยโรคและการพยากรณ์ผลการรักษา.1
* **การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning):** ในวิธีนี้ โมเดลจะเรียนรู้จากข้อมูลที่ไม่มีการติดฉลาก (unlabeled data).2 เป้าหมายคือการค้นพบโครงสร้างหรือรูปแบบที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลด้วยตัวเอง เช่น การจัดกลุ่มผู้ป่วยที่มีลักษณะอาการคล้ายคลึงกันออกเป็นกลุ่มย่อยๆ (patient clustering) หรือการค้นหารูปแบบการแสดงออกของยีนที่สัมพันธ์กัน.1
* **การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning):** โมเดลจะเรียนรู้ผ่านกระบวนการลองผิดลองถูก (trial and error) โดยมีเป้าหมายเพื่อหาแนวทางการตัดสินใจที่ให้ผลตอบแทน (reward) สูงสุดในสภาพแวดล้อมที่กำหนด.1 การประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น แต่มีศักยภาพสูงในด้านการวางแผนการรักษาเฉพาะบุคคล (personalized treatment planning) หรือการปรับเปลี่ยนการรักษาแบบพลวัต.1

#### **การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning - DL)**

การเรียนรู้เชิงลึก หรือ DL เป็นสาขาย่อยของการเรียนรู้ของเครื่องที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน โดยมีพื้นฐานมาจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks - ANNs) ที่มีหลายชั้น (multi-layered) ซ้อนกันอยู่.2 จุดเด่นที่สำคัญที่สุดของ DL คือความสามารถในการเรียนรู้และสกัดคุณลักษณะเด่น (feature extraction) ที่มีความซับซ้อนสูงจากข้อมูลดิบได้โดยอัตโนมัติ.7 ซึ่งแตกต่างจาก ML แบบดั้งเดิมที่มักต้องการกระบวนการ "วิศวกรรมคุณลักษณะ" (manual feature engineering) ซึ่งผู้เชี่ยวชาญต้องเป็นผู้กำหนดและสกัดคุณลักษณะที่สำคัญจากข้อมูลด้วยตนเองก่อนนำไปใช้ฝึกโมเดล.7

การเปลี่ยนแปลงจากการพึ่งพาวิศวกรรมคุณลักษณะไปสู่การสกัดคุณลักษณะอัตโนมัติโดย DL ถือเป็นการเร่งกระบวนการวิจัยและลดอุปสรรคทางเทคนิคสำหรับผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ลงอย่างมาก อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงนี้ได้สร้างความท้าทายใหม่ที่สำคัญขึ้นมาแทน นั่นคือการพึ่งพาชุดข้อมูลคุณภาพสูงที่มีการติดฉลากอย่างถูกต้องและมีปริมาณมหาศาล.5 ประเด็นเรื่องคุณภาพและความพร้อมของข้อมูลนี้เองที่กลายเป็นปัจจัยคอขวดหลักและเป็นหัวข้อที่จะถูกกล่าวถึงซ้ำๆ ตลอดทั้งรายงานนี้ ซึ่งบ่งชี้ว่าอนาคตของ AI ทางการแพทย์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความก้าวหน้าของอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับการสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลที่แข็งแกร่งและแพลตฟอร์มสำหรับความร่วมมือในการแบ่งปันข้อมูลอีกด้วย.1

#### **โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks - CNNs)**

CNNs เป็นสถาปัตยกรรม DL ประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกริด เช่น ภาพถ่าย และประสบความสำเร็จอย่างล้นหลามในการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์.7 หลักการทำงานของ CNNs ได้รับแรงบันดาลใจมาจากการประมวลผลภาพของเปลือกสมองส่วนการมองเห็น (visual cortex) ของมนุษย์.2 สถาปัตยกรรมประกอบด้วยชั้น (layers) ที่ทำหน้าที่ต่างกัน โดยชั้นแรกๆ จะเรียนรู้ที่จะตรวจจับคุณลักษณะพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อน เช่น เส้นขอบ (edges) หรือพื้นผิว (textures).7 เมื่อข้อมูลถูกส่งผ่านไปยังชั้นที่ลึกลงไป เครือข่ายจะนำคุณลักษณะพื้นฐานเหล่านี้มาประกอบกันเพื่อเรียนรู้ที่จะจดจำรูปแบบที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมมากขึ้น เช่น รูปทรงของอวัยวะ หรือลักษณะของรอยโรค.2 ด้วยเหตุนี้ CNNs จึงเป็นเครื่องมือหลักที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของ AI ในงานด้านจักษุวิทยาและรังสีวิทยา ดังที่จะได้กล่าวถึงในบทต่อๆ ไป.12

### **1.3 บทบาทของ AI ในการวิเคราะห์ข้อมูลชีวการแพทย์**

AI มีบทบาทที่หลากหลายในการวิจัยชีวการแพทย์ ซึ่งสามารถสรุปเป็น 3 บทบาทหลักได้ดังนี้ 3:

* **การพรรณนาและการพยากรณ์ (Description and Prediction):** บทบาทที่เป็นมาตรฐานและพบได้บ่อยที่สุดคือการใช้ AI เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลลัพธ์จากข้อมูลที่สามารถวัดได้.3 ตัวอย่างเช่น การใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์สวมใส่ (wearable devices) เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงโรคหัวใจ 13, การใช้ข้อมูลพฤติกรรมจากสมาร์ทโฟนเพื่อพยากรณ์สภาวะอารมณ์ของผู้ป่วยจิตเวช 3, หรือการใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ร่วมกับข้อมูลทางพันธุกรรมและประวัติการรักษาเพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งหรือเบาหวาน.13
* **การสร้างเกณฑ์เปรียบเทียบ (Benchmarking):** เนื่องจากโมเดล AI โดยเฉพาะ DL สามารถสร้างแบบจำลองที่อธิบายข้อมูลได้ดีมากโดยไม่ต้องตั้งสมมติฐานที่ซับซ้อนเกี่ยวกับระบบ.3 ประสิทธิภาพของโมเดล AI จึงสามารถใช้เป็น "เพดาน" หรือเกณฑ์เปรียบเทียบ (benchmark) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากความเข้าใจของมนุษย์ได้.3 หากแบบจำลองที่มนุษย์สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์เปรียบเทียบของ AI อย่างมีนัยสำคัญ อาจบ่งชี้ได้ว่าแบบจำลองนั้นอาจขาดหลักการที่สำคัญบางอย่างไป หรือมีแนวทางการสร้างแบบจำลองที่ไม่เหมาะสม ในทางกลับกัน หากแบบจำลองที่มนุษย์สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ AI ก็เป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นว่าแนวคิดพื้นฐานของแบบจำลองนั้นมีความสมเหตุสมผล.3
* **การทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ของระบบ (Understanding System Interactions):** AI ช่วยให้นักวิจัยสามารถตอบคำถามที่ซับซ้อนเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ภายในระบบทางชีววิทยาได้.3 ตัวอย่างเช่น AI สามารถใช้เพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณหรือข้อมูลชุดหนึ่ง (เช่น สัญญาณสมอง) มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรอีกชุดหนึ่ง (เช่น ความตั้งใจในการเคลื่อนไหว) แฝงอยู่หรือไม่ โดยไม่จำเป็นต้องทราบรูปแบบความสัมพันธ์ที่แน่ชัดล่วงหน้า.3 สิ่งนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำความเข้าใจระบบที่ซับซ้อนและมีปฏิสัมพันธ์สูง ซึ่งแนวคิดเรื่องความจำเป็นและความเพียงพอ (necessity and sufficiency) แบบดั้งเดิมอาจไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด.3

## **บทที่ 2: การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์เชิงลึก: กรณีศึกษาจักษุวิทยา**

การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์เป็นหนึ่งในสาขาที่ปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่โดดเด่นและสร้างผลกระทบได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยจักษุวิทยาได้กลายเป็นสาขาต้นแบบที่นำ AI มาประยุกต์ใช้จนประสบความสำเร็จและได้รับการยอมรับในระดับคลินิก.5

ความสำเร็จของ AI ในจักษุวิทยาสามารถอธิบายได้จากการบรรจบกันของปัจจัยสำคัญหลายประการ ประการแรกคือ ความพร้อมของข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ที่เป็นดิจิทัล มีมาตรฐาน และมีปริมาณมาก เช่น ภาพตัดขวางจอประสาทตา (Optical Coherence Tomography - OCT) และภาพถ่ายจอประสาทตา (Fundus Photography).14 ประการที่สองคือ ปัญหาทางคลินิกที่มีความสำคัญสูงและมีเป้าหมายที่ชัดเจน เช่น การป้องกันภาวะตาบอดจากโรคเบาหวานขึ้นจอตา (Diabetic Retinopathy - DR) และโรคจอประสาทตาเสื่อมในผู้สูงอายุ (Age-related Macular Degeneration - AMD) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียการมองเห็นทั่วโลก.16 ประการสุดท้ายคือ การมีตัวชี้วัดผลลัพธ์ที่ชัดเจนและวัดผลได้ เช่น ระดับสายตา หรือการมีอยู่ของของเหลวในจอประสาทตา.11 ปัจจัยเหล่านี้ได้สร้าง "ห้องทดลอง" ที่สมบูรณ์แบบสำหรับการพัฒนา, ทดสอบ, และนำโมเดล AI ไปใช้งานจริง ตั้งแต่งานวิจัยในห้องปฏิบัติการไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานกำกับดูแล.5 เส้นทางการพัฒนานี้จึงเป็นเสมือนแผนที่นำทางสำหรับสาขาการแพทย์อื่นๆ ที่ต้องการนำ AI มาปรับใช้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเริ่มต้นควรมาจากการสร้างมาตรฐานข้อมูลและกำหนดปัญหาทางคลินิกที่ชัดเจนและมีผลกระทบสูง

### **2.1 การวิเคราะห์ภาพตัดขวางจอประสาทตา (OCT) ด้วย AI**

#### **หลักการและข้อบ่งชี้ของ OCT**

Optical Coherence Tomography (OCT) เป็นเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางการแพทย์แบบไม่สัมผัส (non-invasive) ที่ใช้หลักการแทรกสอดของแสงเลเซอร์พลังงานต่ำในการสแกนและสร้างภาพตัดขวาง (cross-sectional images) ของโครงสร้างภายในดวงตา โดยเฉพาะอย่างยิ่งจอประสาทตา (retina) และขั้วประสาทตา (optic nerve head).20 ความสามารถที่โดดเด่นของ OCT คือการให้ภาพที่มีความละเอียดสูงมากในระดับไมโครเมตร ทำให้สามารถมองเห็นชั้นต่างๆ ของจอประสาทตาและโครงสร้างระดับจุลภาคได้อย่างชัดเจน ซึ่งเทียบเท่ากับการตรวจชิ้นเนื้อทางพยาธิวิทยาแต่ทำได้โดยไม่ต้องผ่าตัด.20 นอกจากนี้ OCT ยังสามารถให้ข้อมูลเชิงกายวิภาคแบบสามมิติ (3D) ที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการฝึกฝนโมเดล AI เมื่อเทียบกับภาพถ่าย Fundus แบบสองมิติ.14

ด้วยความสามารถดังกล่าว OCT จึงถูกนำมาใช้ในการวินิจฉัย ติดตาม และประเมินผลการรักษาโรคทางจอประสาทตาและต้อหินอย่างแพร่หลาย ข้อบ่งชี้ที่สำคัญได้แก่ โรคเบาหวานขึ้นจอตา (Diabetic Retinopathy), ภาวะจุดภาพชัดบวมจากเบาหวาน (Diabetic Macular Edema - DME), โรคจุดรับภาพเสื่อมในผู้สูงอายุ (Age-related Macular Degeneration - AMD), ภาวะจุดรับภาพบวมจากสาเหตุต่างๆ, ภาวะพังผืดที่จอประสาทตา, และโรคต้อหิน.21

#### **การประยุกต์ใช้กับโรคเบาหวานขึ้นจอตา (DR) และภาวะจุดภาพชัดบวม (DME)**

AI ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ภาพ OCT เพื่อการตรวจจับและจัดการโรคเบาหวานขึ้นจอตา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการตาบอดในวัยทำงาน

* **การตรวจจับและการจำแนก:** โมเดล AI สามารถเรียนรู้ที่จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างระดับจุลภาคในระยะเริ่มต้นของ DR ซึ่งมักมองข้ามได้ง่ายด้วยตามนุษย์ เช่น การหนาตัวของชั้นจอประสาทตา (retinal thickening), การสะสมของเหลวในชั้นจอประสาทตา (intraretinal fluid), หรือการปรากฏของหลอดเลือดโป่งพองขนาดเล็ก (microaneurysms).14 ความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ตั้งแต่เนิ่นๆ เป็นกุญแจสำคัญในการป้องกันการสูญเสียการมองเห็น
* **กรณีศึกษาและประสิทธิภาพ:** มีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงของ AI ในการวิเคราะห์ภาพ OCT สำหรับ DR และ DME ตัวอย่างเช่น งานวิจัยชิ้นหนึ่งได้นำเสนอแนวทางใหม่โดยใช้การวิเคราะห์มัลติแฟร็กทัล (Multifractal Analysis) เพื่อสกัดคุณลักษณะที่บ่งบอกถึงความผิดปกติของโครงสร้างจอประสาทตา แล้วนำไปจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron - MLP) ผลลัพธ์ที่ได้คือความสามารถในการตรวจจับ DR ด้วยความแม่นยำสูงถึง 98.02%.14 ในขณะเดียวกัน การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมาน (Systematic Review and Meta-analysis) ซึ่งรวบรวมผลจาก 19 งานวิจัย ครอบคลุมผู้ป่วยกว่า 41,000 ราย พบว่าโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะ CNNs มีความไว (Sensitivity) ในการตรวจหาภาวะจุดภาพชัดบวมจากเบาหวาน (DME) จากภาพ OCT สูงถึง 96.0% และมีความจำเพาะ (Specificity) สูงถึง 99.3%.22 ผลลัพธ์เหล่านี้ยืนยันว่า AI เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือสำหรับการคัดกรองโรคเหล่านี้
* **ปัญญาประดิษฐ์ที่อธิบายได้ (Explainable AI - XAI):** หนึ่งในความท้าทายที่สำคัญของโมเดล DL คือลักษณะ "กล่องดำ" (black box) ที่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลเบื้องหลังการตัดสินใจได้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ นักวิจัยได้เริ่มนำเทคนิค XAI มาประยุกต์ใช้ในจักษุวิทยา.18 การใช้ XAI ไม่เพียงแต่ช่วยสร้างความไว้วางใจให้กับแพทย์ แต่ยังนำไปสู่การค้นพบทางวิทยาศาสตร์ครั้งใหม่ด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้ถือเป็นวิวัฒนาการที่สำคัญ จากเดิมที่ AI ทำหน้าที่เป็นเพียง "ผู้พยากรณ์" ที่ให้คำตอบว่ามีโรคหรือไม่มีโรค ไปสู่การเป็น "พันธมิตรในการค้นพบ" ที่สามารถชี้แนะผู้เชี่ยวชาญให้เห็นถึงรูปแบบใหม่ๆ ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล ตัวอย่างที่ชัดเจนคือ งานวิจัยที่ใช้เทคนิค XAI เช่น Layer-wise Relevance Propagation เพื่อสร้าง "แผนที่ความสนใจ" (attention maps) ที่แสดงให้เห็นว่าส่วนใดของภาพ OCT ที่โมเดル AI "ให้ความสนใจ" มากที่สุดในการตัดสินใจ.18 เมื่อจักษุแพทย์ทำการตรวจสอบบริเวณที่ AI ชี้เป้า พวกเขาได้ค้นพบตัวชี้วัดทางชีวภาพ (biomarkers) ใหม่ๆ ของภาวะความเสื่อมของเซลล์ประสาทในจอตาจากเบาหวาน (diabetic retinal neurodegeneration) ซึ่งไม่เคยถูกบรรยายไว้ก่อนหน้านี้ ได้แก่ "ice-pick sign" (ลักษณะการบางลงของชั้น GCL/IPL ที่คล้ายเข็ม) และ "salt-and-pepper sign" (ลักษณะจุดในชั้น ONL).18 นี่คือตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่า AI ไม่ได้มาแทนที่ความเชี่ยวชาญของมนุษย์ แต่กำลังทำหน้าที่เป็นเครื่องมือขยายการรับรู้ (augmented perception) ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์และแพทย์ค้นพบองค์ความรู้ใหม่ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

**Table 2.1: Comparison of AI Models for Diabetic Retinopathy Detection in OCT Images**

| Methodology/Model | Dataset Size/Type | Key Performance Metric | Source |
| --- | --- | --- | --- |
| Multifractal Analysis + MLP | 24,000 OCT images (public dataset) | Accuracy: 98.02% | 14 |
| Deep Learning (CNNs) for DME (Meta-analysis) | 19 studies, 41,005 subjects | Pooled Sensitivity: 96.0%, Pooled Specificity: 99.3% | 22 |
| XAI-based model (RETFound-OCT) | 397 eyes (retrospective case series) | AUC: 0.947 (for predicting visual acuity reduction) | 18 |

#### **การประยุกต์ใช้กับโรคจอประสาทตาเสื่อมในผู้สูงอายุ (AMD)**

AMD เป็นอีกหนึ่งโรคสำคัญที่ AI ได้เข้ามามีบทบาทในการวิเคราะห์ภาพ OCT อย่างกว้างขวาง

* **การจำแนกประเภท:** โมเดล DL แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยมในการจำแนกภาพ OCT ของผู้ป่วย AMD ออกจากกลุ่มควบคุมที่มีสุขภาพตาปกติ.8 งานวิจัยชิ้นสำคัญจาก Stanford University ได้ใช้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่มาก ประกอบด้วยภาพ OCT ถึง 80,839 ภาพในการฝึกโมเดล และอีก 20,163 ภาพในการตรวจสอบความถูกต้อง ผลลัพธ์คือโมเดลสามารถจำแนกภาพเดี่ยวๆ ได้ด้วยความแม่นยำ 87.63% และเมื่อพิจารณาในระดับผู้ป่วย (โดยการเฉลี่ยค่าความน่าจะเป็นจากทุกภาพของผู้ป่วยคนเดียวกัน) ประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่า Area Under the ROC Curve (AUC) ถึง 97.46%.8
* **การจำแนกโรคอื่นและระยะของโรค:** ความสามารถของ AI ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การแยก AMD ออกจากภาวะปกติ แต่ยังสามารถแยกแยะ AMD จากโรคทางจอประสาทตาอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น Diabetic Macular Edema (DME) หรือ Choroidal Neovascularization (CNV) ได้อีกด้วย.11 นอกจากนี้ โมเดลยังสามารถจำแนกชนิดย่อยและระยะของ AMD ได้ เช่น การแยกระหว่างชนิดแห้ง (Dry AMD) และชนิดเปียก (Wet AMD) หรือการจำแนกภาวะมีน้ำ (exudative) กับไม่มีน้ำ.11 ตัวอย่างเช่น โมเดล AOCT-Net สามารถจำแนกภาพออกเป็น 5 กลุ่ม (Normal, AMD, CNV, DME, Drusen) ได้ด้วยความแม่นยำโดยรวม 95.3% และสามารถระบุ AMD ได้อย่างถูกต้อง 100%.11
* **การตรวจหา Biomarkers:** นอกจากการจำแนกโรคแล้ว AI ยังสามารถระบุและจำแนกขอบเขต (segmentation) ของพยาธิสภาพที่สำคัญใน AMD ได้โดยอัตโนมัติ เช่น ดรูเซน (drusen), ของเหลวใต้จอประสาทตา (subretinal fluid), และของเหลวในชั้นจอประสาทตา (intraretinal fluid).8 ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจให้การรักษา โดยเฉพาะการฉีดยาต้านการเจริญของหลอดเลือดผิดปกติ (anti-VEGF) ในผู้ป่วย AMD ชนิดเปียก.8

**Table 2.2: Performance Overview of Deep Learning Models for AMD Classification on OCT**

| Model/Architecture | Task | Key Performance Metric | Source |
| --- | --- | --- | --- |
| Modified VGG-16 CNN | Distinguish AMD vs. Normal | AUC: 97.46% (patient-level) | 8 |
| Two-stage DL (He et al.) | Detect neovascular/non-neovascular AMD | AUC: 0.99, Sensitivity: 95.0%, Specificity: 95.0% | 11 |
| Med-XAI-Net (Interpretable DL) | Detect Geographic Atrophy (GA) | AUC: 93.5%, Sensitivity: 82.8%, Specificity: 94.6% | 11 |
| AOCT-Net (Novel CNN) | Multiclass (Normal, AMD, CNV, DME, Drusen) | Overall Accuracy: 95.3% | 11 |

### **2.2 การคัดกรองโรคจากภาพถ่ายจอประสาทตา (Fundus) อัตโนมัติ**

#### **หลักการและประโยชน์ของ Fundus Photography**

การถ่ายภาพจอประสาทตา (Fundus Photography) เป็นเทคนิคมาตรฐานที่ใช้กล้องชนิดพิเศษถ่ายภาพพื้นผิวด้านในของลูกตา ซึ่งประกอบด้วยจอประสาทตา (retina), ขั้วประสาทตา (optic disc), จุดรับภาพ (macula), และหลอดเลือดต่างๆ.23 ภาพที่ได้จะมีความละเอียดสูงและให้มุมมองที่เหมือนกับที่แพทย์เห็นผ่านกล้องตรวจตาโดยตรง ทำให้เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างยิ่งในการวินิจฉัย, ติดตามผลการรักษา, และสื่อสารกับผู้ป่วย.15 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคัดกรองโรคเบาหวานขึ้นจอตาในประชากรกลุ่มใหญ่ ภาพถ่าย Fundus ถือเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก.5

#### **ระบบ AI สำหรับการคัดกรอง DR อัตโนมัติ**

ด้วยปริมาณผู้ป่วยเบาหวานที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก ทำให้ความต้องการในการคัดกรอง DR มีสูงมากจนเกินกว่ากำลังของจักษุแพทย์จะรองรับได้ทั้งหมด.5 ช่องว่างนี้เองที่ทำให้ระบบ AI สำหรับการคัดกรองอัตโนมัติ (Autonomous AI Screening) เข้ามามีบทบาทสำคัญ และกลายเป็นหนึ่งในเรื่องราวความสำเร็จที่เป็นรูปธรรมที่สุดของ AI ในทางการแพทย์

* **ภาพรวมระบบและกระบวนการทำงาน:** ระบบ AI เหล่านี้ถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์ภาพถ่าย Fundus และให้ผลการคัดกรองได้ทันที ณ จุดบริการ (point-of-care) โดยไม่จำเป็นต้องผ่านการแปลผลโดยจักษุแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญ.5 กระบวนการทำงานโดยทั่วไปมีความเรียบง่ายและรวดเร็ว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก: 1) เจ้าหน้าที่ (ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านตา) ทำการถ่ายภาพ Fundus ของผู้ป่วย, 2) ส่งภาพขึ้นไปยังระบบคลาวด์เพื่อให้ AI ทำการวิเคราะห์, และ 3) ระบบจะส่งรายงานผลการคัดกรองกลับมาภายในเวลาไม่ถึง 60 วินาที.16 ผลลัพธ์มักจะอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น "ตรวจไม่พบโรค แนะนำให้ตรวจซ้ำใน 12 เดือน" หรือ "ตรวจพบโรค แนะนำให้ส่งต่อจักษุแพทย์".16
* **ตัวอย่างระบบที่ได้รับการรับรองจาก FDA:** ความก้าวหน้าในสาขานี้ไม่ได้หยุดอยู่แค่ในงานวิจัย แต่ได้พัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานกำกับดูแลที่เข้มงวดอย่างองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) แล้วหลายระบบ ซึ่งถือเป็นเครื่องยืนยันถึงความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของเทคโนโลยี
* **ประโยชน์ในทางปฏิบัติ:** การนำระบบคัดกรองอัตโนมัติมาใช้ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมหาศาลต่อระบบสาธารณสุข ช่วยให้การคัดกรอง DR สามารถทำได้ในคลินิกปฐมภูมิ, ศูนย์เบาหวาน, หรือแม้แต่ร้านแว่นตา ทำให้ผู้ป่วยเข้าถึงบริการได้สะดวกขึ้นและลดอุปสรรคในการเดินทางไปพบจักษุแพทย์.16 สิ่งนี้ช่วยลดภาระงานของจักษุแพทย์ ทำให้พวกเขาสามารถทุ่มเทเวลาให้กับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ซับซ้อนได้มากขึ้น.5 นอกจากนี้ สำหรับสถานพยาบาลในสหรัฐอเมริกา การให้บริการนี้ยังสามารถสร้างรายได้ใหม่ผ่านรหัสการเบิกจ่ายเฉพาะ (CPT code 92229).16 ระบบ AI สมัยใหม่ยังถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานร่วมกับกล้องถ่ายภาพ Fundus ได้หลากหลายยี่ห้อและรุ่น เพิ่มความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งาน.16

**Table 2.3: Overview of FDA-Cleared Autonomous AI Systems for Fundus Image Analysis**

| System Name | Company | FDA Clearance Date | Key Indication | Reported Performance (Sensitivity/Specificity) | Source |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| IDx-DR (LumineticsCore) | Digital Diagnostics | 2018 | Autonomous detection of more than mild DR (mtmDR) | 87.2% / 90.7% | 5 |
| EyeArt | Eyenuk, Inc. | Cleared (2020) | Autonomous detection of mtmDR and vision-threatening DR (vtDR) | 96% / 88% (for mtmDR) | 5 |
| AEYE-DS | AEYE Health | Nov 2022 | Autonomous detection of mtmDR | (Pivotal trial details pending publication) | 5 |

## **บทที่ 3: การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์เชิงลึก: กรณีศึกษารังสีวิทยา**

นอกเหนือจากจักษุวิทยาแล้ว รังสีวิทยาก็เป็นอีกหนึ่งสาขาการแพทย์ที่ได้รับผลกระทบจากการเข้ามาของปัญญาประดิษฐ์อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography - CT) ซึ่งเป็นเครื่องมือวินิจฉัยที่สำคัญและถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย.6 การวิเคราะห์ภาพ CT ด้วย AI ได้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาการที่เป็นลำดับชั้นอย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนกระบวนการทำงานของรังสีแพทย์ในโลกความเป็นจริง เริ่มต้นจากงานพื้นฐานที่สุดคือการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (image enhancement) เพื่อให้ "มองเห็นได้ชัดเจน" ตามมาด้วยการตรวจจับรอยโรค (lesion detection) เพื่อ "ค้นหาสิ่งผิดปกติ" จากนั้นจึงเป็นการแบ่งส่วนภาพ (segmentation) เพื่อ "กำหนดขอบเขต" ของรอยโรคและอวัยวะโดยรอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับการวัดขนาดและวางแผนการรักษา และท้ายที่สุดคือการจำแนกประเภทหรือการวินิจฉัย (classification/diagnosis) เพื่อ "ตีความว่าสิ่งนั้นคืออะไร".12 ลำดับขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่า AI ไม่ใช่เครื่องมือชิ้นเดียว แต่เป็นชุดของเทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการทางรังสีวิทยา และความสำเร็จของ AI ในขั้นสูง (เช่น การวินิจฉัย) ย่อมต้องพึ่งพาประสิทธิภาพที่แข็งแกร่งของ AI ในขั้นพื้นฐาน (เช่น การแบ่งส่วนภาพ) เป็นสำคัญ

### **3.1 การวิเคราะห์ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) ด้วย AI**

#### **หลักการทำงานและประเภทของ CT Scan**

CT Scan หรือที่เรียกว่า ซีทีสแกน เป็นเทคนิคการตรวจทางรังสีวินิจฉัยที่ใช้หลักการปล่อยรังสีเอกซ์ (X-rays) จากแหล่งกำเนิดที่หมุนรอบร่างกายของผู้ป่วย และมีตัวรับสัญญาณ (detector) ที่อยู่ฝั่งตรงข้ามคอยเก็บข้อมูลรังสีที่ทะลุผ่านอวัยวะต่างๆ.27 จากนั้นระบบคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและสร้างเป็นภาพตัดขวาง (cross-sectional images) ที่มีความละเอียดสูง ซึ่งสามารถนำมาประกอบกันเป็นภาพสามมิติ (3D) ได้ในภายหลัง.27 ข้อดีของ CT Scan คือสามารถให้รายละเอียดของอวัยวะภายในได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถตรวจหาความผิดปกติได้หลากหลาย เช่น เนื้องอก, ก้อน, ถุงน้ำ, การติดเชื้อ, ภาวะหลอดเลือดโป่งพองหรืออุดตัน, และการแตกหักของกระดูก.28 เทคโนโลยี CT Scan ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากแบบดั้งเดิม (Conventional CT) ที่หมุนหนึ่งรอบได้หนึ่งภาพ มาเป็นแบบเกลียว (Spiral/Helical CT) ที่หลอดรังสีหมุนรอบตัวผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง ทำให้การตรวจรวดเร็วขึ้นและได้ภาพที่คมชัดกว่าเดิม.27

#### **การตรวจจับและจำแนกเนื้องอก (Tumor Detection and Classification)**

หนึ่งในการประยุกต์ใช้ AI ที่สำคัญที่สุดในรังสีวิทยาคือการช่วยตรวจหาและจำแนกเนื้องอก

* **บทบาทของ AI:** โมเดล AI โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อเป็นระบบช่วยวินิจฉัย (Computer-Assisted Diagnosis - CAD) สำหรับรังสีแพทย์.6 AI สามารถเรียนรู้ที่จะระบุตำแหน่ง (localization), ขนาด, และลักษณะของเนื้องอกที่น่าสงสัยจากภาพ CT ได้โดยอัตโนมัติ.24
* **ประสิทธิภาพ:** งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า AI มีประสิทธิภาพในการตรวจจับเนื้องอกเทียบเท่าหรือในบางกรณีดีกว่ารังสีแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจจับรอยโรคขนาดเล็กที่อาจถูกมองข้ามได้.24 ตัวอย่างเช่น งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร  
  *Radiology* ได้พัฒนาระบบ AI สำหรับตรวจหามะเร็งตับอ่อนจากภาพ CT ซึ่งเมื่อทดสอบกับชุดข้อมูลระดับประเทศ พบว่ามีความไว (sensitivity) ในการตรวจจับสูงถึง 90% และมีความจำเพาะ (specificity) 96% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับรังสีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางอย่างมาก.12
* **ประโยชน์:** การใช้ AI เป็นผู้ช่วยอ่านผล (overreading) หรือเป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้น สามารถช่วยลดเวลาในการแปลผลของรังสีแพทย์, ลดความแปรปรวนในการวินิจฉัยระหว่างบุคคล (inter-observer variability), และที่สำคัญคืออาจช่วยลดอัตราการวินิจฉัยที่คลาดเคลื่อนหรือการมองข้ามรอยโรคโดยไม่ได้ตั้งใจ (misses).12 นอกจากนี้ AI ยังมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายจากเครื่อง CT ที่ใช้ปริมาณรังสีต่ำ (low-dose CT) ทำให้ผู้ป่วยได้รับรังสีน้อยลงโดยที่ยังคงคุณภาพของภาพที่จำเป็นต่อการวินิจฉัยไว้ได้.24

#### **การแบ่งส่วนอวัยวะอัตโนมัติ (Automated Organ Segmentation)**

การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) หรือการจำแนกและวาดขอบเขตของอวัยวะและรอยโรค เป็นขั้นตอนพื้นฐานแต่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการทางรังสีวิทยา

* **ความสำคัญ:** การทราบขอบเขตที่แม่นยำของอวัยวะและเนื้องอกเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวางแผนการรักษา เช่น การวางแผนการฉายรังสีที่ต้องการความแม่นยำสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายเนื้อเยื่อปกติ.24 นอกจากนี้ยังใช้ในการติดตามการตอบสนองต่อการรักษาโดยการวัดปริมาตรของเนื้องอกที่เปลี่ยนแปลงไป และใช้ในการสกัดตัวชี้วัดเชิงปริมาณ (quantitative biomarkers) จากภาพเพื่อการวิจัย.26 กระบวนการนี้หากทำด้วยมือจะใช้เวลานานมากและผลลัพธ์อาจแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล.26
* **สถาปัตยกรรม U-Net และตระกูล:** ในงานด้านการแบ่งส่วนภาพถ่ายทางการแพทย์ สถาปัตยกรรม Deep Learning ที่ชื่อว่า U-Net ได้รับการยอมรับและประสบความสำเร็จอย่างสูงจนกลายเป็นมาตรฐานของวงการ.26 U-Net มีโครงสร้างแบบสมมาตรที่ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ Encoder (contracting path) ที่ทำหน้าที่ลดขนาดภาพและสกัดคุณลักษณะที่ซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ และ Decoder (expansive path) ที่ทำหน้าที่ขยายภาพกลับและสร้างแผนที่การแบ่งส่วน (segmentation map) ที่มีความละเอียดเท่ากับภาพต้นฉบับ จุดเด่นคือการมี "skip connections" ที่เชื่อมข้อมูลจากชั้น Encoder ไปยังชั้น Decoder ที่สอดคล้องกัน ทำให้โมเดลสามารถรักษาข้อมูลรายละเอียดเชิงพื้นที่ไว้ได้.26 ความสำเร็จของ U-Net ได้นำไปสู่การพัฒนาต่อยอดเป็นสถาปัตยกรรมต่างๆ มากมาย เช่น U-Net++ ที่เพิ่มความซับซ้อนของ skip connections, 3D U-Net ที่ออกแบบมาเพื่อทำงานกับข้อมูลสามมิติโดยตรง, และ nnU-Net ซึ่งเป็นเฟรมเวิร์กที่สามารถปรับแต่งสถาปัตยกรรม U-Net ให้เหมาะสมกับชุดข้อมูลใหม่ๆ ได้โดยอัตโนมัติ.35
* **การประยุกต์ใช้:** โมเดลตระกูล U-Net ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการแบ่งส่วนอวัยวะต่างๆ จากภาพ CT เช่น งานวิจัยหนึ่งได้พัฒนาระบบอัตโนมัติที่สามารถแบ่งส่วนอวัยวะในช่องท้อง 4 ชนิด (ตับ, ไต, ม้าม, และต่อมลูกหมาก) ได้ด้วยค่าความแม่นยำ (precision) และค่าความระลึก (recall) สูงเกินกว่า 95% สำหรับทุกอวัยวะ.36 ความสามารถในการแบ่งส่วนอวัยวะและเนื้องอกได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วนี้ ถือเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยปลดล็อกศักยภาพของ AI ในขั้นตอนต่อไปของการวินิจฉัยและการวางแผนการรักษาเฉพาะบุคคล.12

**Table 3.1: Key Deep Learning Architectures for Tumor/Organ Segmentation in CT Scans**

| Architecture | Key Features | Primary Application | Source |
| --- | --- | --- | --- |
| **U-Net (2D/3D)** | Symmetrical encoder-decoder with skip connections. | Foundational architecture for medical image segmentation of various organs and lesions. | 26 |
| **U-Net++** | Nested and dense skip connections, effectively an ensemble of U-Nets of varying depths. | Improves segmentation accuracy for complex structures like tumors. | 35 |
| **nnU-Net** | A self-configuring framework that automatically adapts preprocessing, network architecture, and post-processing to new datasets. | High-performance, general-purpose segmentation across many medical tasks and modalities. | 36 |
| **DenseU-Net** | Integrates dense blocks from DenseNet into the U-Net architecture. | Tumor segmentation, leveraging dense connectivity for better feature propagation. | 35 |
| **Cascaded U-Nets** | Sequential models where one U-Net's output (e.g., liver segmentation) becomes the input for the next (e.g., tumor segmentation). | Refines segmentation in stages for complex, hierarchical tasks. | 35 |

## **บทที่ 4: การปลดล็อกศักยภาพข้อมูลทางคลินิก: การพยากรณ์โรคจากเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์**

นอกเหนือจากข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์แล้ว ข้อมูลทางคลินิกที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบของเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Health Records - EHR หรือ Electronic Medical Records - EMR) ถือเป็นขุมทรัพย์ข้อมูลอีกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพมหาศาลสำหรับการวิจัยชีวการแพทย์และการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์.39 อย่างไรก็ตาม การจะปลดล็อกศักยภาพนี้จำเป็นต้องเผชิญกับความท้าทายที่แตกต่างและซับซ้อนกว่าข้อมูลภาพถ่ายอย่างมาก

การวิเคราะห์ภูมิทัศน์ของ AI ที่ใช้ข้อมูล EHR เผยให้เห็นว่าอุปสรรคสำคัญไม่ได้อยู่ที่ความซับซ้อนของอัลกอริทึม แต่เป็นปัญหาเชิงโครงสร้างพื้นฐานและโลจิสติกส์.39 คุณค่าของข้อมูลมหาศาลนี้ถูกจำกัดด้วยปัญหาด้านคุณภาพของข้อมูล, การขาดมาตรฐานกลาง, และอคติที่แฝงอยู่.1 ด้วยเหตุนี้ กระบวนการที่สำคัญและต้องใช้ทรัพยากรมากที่สุดในการพัฒนา AI จากข้อมูล EHR จึงไม่ใช่ขั้นตอน "การฝึกโมเดล" (model training) แต่เป็นขั้นตอน "การเตรียมและการปรับมาตรฐานข้อมูล" (data preprocessing and harmonization).40 มุมมองนี้ได้เปลี่ยนกรอบปัญหาจาก "ความท้าทายทางวิทยาการคอมพิวเตอร์" ไปสู่ "ความท้าทายทางสารสนเทศศาสตร์สุขภาพและการบริหารจัดการระบบ" ซึ่งหมายความว่าโรงพยาบาลและสถาบันวิจัยที่ต้องการประสบความสำเร็จในด้านนี้ ควรให้ความสำคัญกับการลงทุนในบุคลากรด้านวิศวกรรมข้อมูล (data engineers) และนักสารสนเทศศาสตร์คลินิก (clinical informaticians) ควบคู่ไปกับนักวิทยาศาสตร์ข้อมูล (data scientists)

### **4.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของข้อมูลในเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ (EHR/EMR)**

EHR หรือ EMR คือระบบการบันทึกข้อมูลสุขภาพและการรักษาของผู้ป่วยในรูปแบบดิจิทัล แทนที่การบันทึกบนกระดาษแบบดั้งเดิม.41 ระบบเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลแบบองค์รวมของผู้ป่วย ทำให้สามารถเข้าถึงและอัปเดตข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและเป็นปัจจุบัน.42

ข้อมูลที่จัดเก็บใน EHR/EMR มีความหลากหลายและสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก 40:

1. **ข้อมูลแบบมีโครงสร้าง (Structured Data):** คือข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานและมีความหมายชัดเจน เช่น ตารางในฐานข้อมูล ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ง่าย ตัวอย่างได้แก่:
   * ข้อมูลประชากร (Demographic information) 42
   * ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory values) 41
   * สัญญาณชีพ (Vital signs) เช่น ความดันโลหิต, อุณหภูมิ, ชีพจร 42
   * รหัสวินิจฉัยโรค (Diagnosis codes)
   * รายการยาที่สั่ง (Prescription records) 42
   * ข้อมูลการฉีดวัคซีนและประวัติการแพ้ 41
2. **ข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Data):** คือข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบการจัดเก็บที่ตายตัว ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบข้อความภาษาธรรมชาติหรือรูปภาพ ทำให้การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์มีความท้าทายมากกว่า ตัวอย่างได้แก่:
   * บันทึกความก้าวหน้าของแพทย์ (Physician's progress notes) 41
   * รายงานผลทางรังสีวิทยาและพยาธิวิทยา (Radiology and pathology reports) 42
   * เอกสารสรุปเมื่อจำหน่ายผู้ป่วยออกจากโรงพยาบาล (Discharge summaries) 42

ประโยชน์หลักของการใช้ EHR/EMR คือการช่วยรวมศูนย์ข้อมูล (Data Centralization) ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ครบถ้วนและต่อเนื่องของผู้ป่วยได้ แม้ผู้ป่วยจะเคยรับการรักษาจากสถานพยาบาลหลายแห่งก็ตาม ซึ่งนำไปสู่การตัดสินใจทางการรักษาที่แม่นยำและปลอดภัยยิ่งขึ้น.41

### **4.2 โมเดล AI สำหรับการพยากรณ์โรค**

ด้วยปริมาณและความหลากหลายของข้อมูลใน EHR ทำให้ AI โดยเฉพาะการเรียนรู้ของเครื่อง สามารถเข้ามามีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อค้นหารูปแบบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และนำไปสู่การสร้างโมเดลพยากรณ์ความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ ได้.13

* **กรณีศึกษา โรคหัวใจและหลอดเลือด (CVD):** การวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าโมเดล AI ที่ใช้ข้อมูลจาก EHR สามารถพยากรณ์ความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ดีกว่าโมเดลทางสถิติแบบดั้งเดิมที่ใช้ปัจจัยเสี่ยงเพียงไม่กี่อย่าง.39 AI สามารถบูรณาการข้อมูลที่หลากหลายเข้าด้วยกัน ทั้งข้อมูลทางคลินิก, การใช้ยา, ผลตรวจจากห้องปฏิบัติการ, และแม้กระทั่งข้อมูลจากภาพถ่ายทางการแพทย์ เพื่อสร้างแบบจำลองความเสี่ยงที่มีความแม่นยำและเฉพาะบุคคลมากขึ้น.39
* **กรณีศึกษา โรคอัลไซเมอร์:** หนึ่งในความสำเร็จที่น่าทึ่งคือการประยุกต์ใช้ AI กับข้อมูล EHR เพื่อพยากรณ์โรคที่วินิจฉัยได้ยากในระยะเริ่มต้นอย่างโรคอัลไซเมอร์ งานวิจัยจาก University of Florida ได้พัฒนาระบบ AI ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากเวชระเบียนของผู้ป่วยย้อนหลัง และสามารถพยากรณ์แนวโน้มการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้อย่างแม่นยำล่วงหน้าถึง 5 ปี ก่อนที่ผู้ป่วยจะได้รับการวินิจฉัยอย่างเป็นทางการจากแพทย์.43 สิ่งที่น่าสนใจยิ่งกว่านั้นคือ โมเดลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (data-driven model) ไม่เพียงแต่ใช้ปัจจัยเสี่ยงที่ทราบกันดีอยู่แล้ว แต่ยังสามารถค้นพบปัจจัยเสี่ยงใหม่ๆ ที่ไม่เคยมีอยู่ในองค์ความรู้เดิมได้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงหรือภาวะซึมเศร้ากับการเกิดโรคอัลไซเมอร์.43 นี่คือตัวอย่างที่ชัดเจนของศักยภาพของ AI ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่จากการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่

### **4.3 ความท้าทายในการใช้ข้อมูล EHR**

แม้จะมีศักยภาพมหาศาล แต่การนำข้อมูล EHR มาใช้ในการวิจัยและพัฒนา AI ก็ต้องเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญหลายประการ ซึ่งเป็นอุปสรรคหลักที่ทำให้ความก้าวหน้าในสาขานี้ไม่รวดเร็วเท่ากับการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์.39

* **คุณภาพและความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Quality and Completeness):** ข้อมูลใน EHR ถูกบันทึกขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการดูแลรักษาผู้ป่วย ไม่ใช่เพื่อการวิจัย ดังนั้นจึงมักมีปัญหาเรื่องคุณภาพ เช่น ข้อมูลไม่สมบูรณ์, มีข้อมูลที่ขาดหายไป (missing data), มีความไม่สอดคล้องกันในการบันทึก, หรือมีข้อมูลที่เป็นเสียงรบกวน (noisy data).1 ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของโมเดล AI
* **การขาดมาตรฐานและการเชื่อมโยง (Lack of Standardization and Interoperability):** แต่ละโรงพยาบาลหรือระบบสุขภาพมักมีระบบ EHR เป็นของตนเอง ซึ่งมีโครงสร้าง, รูปแบบการเก็บข้อมูล, และคำศัพท์ที่ใช้แตกต่างกัน.39 การขาดมาตรฐานกลางนี้ทำให้การรวบรวมและเชื่อมโยงข้อมูลจากหลายแหล่งเพื่อสร้างชุดข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับการวิจัยเป็นไปได้ยากและต้องใช้ทรัพยากรสูงมาก.40
* **อคติในข้อมูล (Bias in Data):** ข้อมูล EHR มีโอกาสที่จะมีอคติแฝงอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถส่งผลให้โมเดล AI ที่ฝึกจากข้อมูลเหล่านี้มีอคติตามไปด้วย.44 ตัวอย่างของอคติได้แก่:
  + **Selection Bias:** ข้อมูลใน EHR มักจะมาจากกลุ่มผู้ป่วยที่เข้าถึงระบบบริการสุขภาพ ซึ่งอาจมีภาวะโรคที่รุนแรงกว่าหรือมีลักษณะทางประชากรที่แตกต่างจากประชากรทั่วไป ทำให้โมเดลที่ได้อาจไม่สามารถนำไปใช้กับคนทั่วไปได้อย่างแม่นยำ.39
  + **Information Bias / Systemic Bias:** การบันทึกข้อมูลอาจสะท้อนอคติที่มีอยู่ในระบบ เช่น งานวิจัยพบว่าในสหรัฐอเมริกา มีการใช้จ่ายด้านการดูแลสุขภาพกับผู้ป่วยผิวสีน้อยกว่าผู้ป่วยผิวขาวที่มีภาวะโรคเดียวกัน หาก AI ใช้ "ค่าใช้จ่าย" เป็นตัวแทนของ "ความรุนแรงของโรค" ก็จะทำให้ AI ประเมินความเสี่ยงของผู้ป่วยผิวสีต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งนำไปสู่ความไม่เท่าเทียมในการรักษา.44

การเอาชนะความท้าทายเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือในระดับนโยบายเพื่อสร้างมาตรฐานข้อมูลกลาง (Common Data Models) และกรอบธรรมาภิบาลข้อมูล (Data Governance) ที่แข็งแกร่ง เพื่อให้สามารถนำขุมทรัพย์ข้อมูลใน EHR มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มศักยภาพและเป็นธรรม

## **บทที่ 5: แนวทางขั้นสูงและการบูรณาการข้อมูลหลายรูปแบบ (Multimodal AI)**

หลังจากที่ได้สำรวจการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์กับข้อมูลแต่ละประเภท ทั้งภาพถ่ายทางการแพทย์และข้อมูลทางคลินิกไปแล้ว ก้าวต่อไปที่สำคัญและน่าตื่นเต้นที่สุดในวงการวิจัยชีวการแพทย์คือการบูรณาการข้อมูลจากทุกแหล่งเข้าด้วยกัน หรือที่เรียกว่า "ปัญญาประดิษฐ์หลายรูปแบบ" (Multimodal AI).1 แนวทางนี้ถือเป็นการสังเคราะห์องค์ความรู้จากสาขาย่อยต่างๆ ของ AI เช่น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision), การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP), และการวิเคราะห์กราฟ (Graph Analytics) เข้าไว้ในระบบเดียวที่ทำงานแบบองค์รวม.17

แม้ว่า Multimodal AI จะมีศักยภาพในการวินิจฉัยที่แม่นยำอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มความซับซ้อนในการจัดการข้อมูล, การตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล, และการกำกับดูแลขึ้นอย่างมหาศาล.45 ความท้าทายไม่ได้อยู่ที่การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับข้อมูลแต่ละประเภทอีกต่อไป แต่อยู่ที่การจะรวบรวม, จัดเก็บ, และเชื่อมโยงข้อมูลที่แตกต่างกันเหล่านี้ (เช่น ภาพ CT, รายงานผล, ผลเลือด, ประวัติผู้ป่วย) ให้สอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์แบบสำหรับผู้ป่วยหลายล้านคนได้อย่างไร และหากเกิดข้อผิดพลาดขึ้น จะระบุได้อย่างไรว่าความผิดพลาดนั้นมาจากส่วนใดของโมเดลที่ซับซ้อนนี้.44 ดังนั้น ศักยภาพอันยิ่งใหญ่ของ Multimodal AI จึงมาพร้อมกับความท้าทายด้านจริยธรรมและธรรมาภิบาลที่เฉียบคมและซับซ้อนยิ่งกว่าเดิม

### **5.1 การผสานพลังข้อมูล: ก้าวต่อไปของการวินิจฉัย**

แนวคิดพื้นฐานของ Multimodal AI คือการเลียนแบบกระบวนการวินิจฉัยของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในโลกแห่งความเป็นจริง ซึ่งไม่ได้พิจารณาข้อมูลเพียงแหล่งเดียว แต่จะทำการสังเคราะห์ข้อมูลจากทุกมิติของผู้ป่วย ไม่ว่าจะเป็นการดูฟิล์มเอกซเรย์, การอ่านรายงานผล, การพิจารณาผลตรวจทางห้องปฏิบัติการ, การซักประวัติ, และการตรวจร่างกาย เพื่อประกอบการตัดสินใจ.45 ในทำนองเดียวกัน Multimodal AI มุ่งหวังที่จะสร้างภาพรวมของผู้ป่วยที่สมบูรณ์และรอบด้านที่สุด โดยการรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง (modalities) เข้าไว้ด้วยกัน เช่น 1:

* **ข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ (Imaging Data):** เช่น OCT, Fundus, CT, MRI
* **ข้อมูลทางคลินิกที่มีโครงสร้าง (Structured Clinical Data):** เช่น อายุ, เพศ, ผลเลือด, สัญญาณชีพ
* **ข้อมูลข้อความที่ไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Text Data):** เช่น รายงานของแพทย์, บันทึกการรักษา
* **ข้อมูลโอมิกส์ (Omics Data):** เช่น ข้อมูลทางพันธุกรรม (Genomics), โปรตีโอมิกส์ (Proteomics)

งานวิจัยจำนวนมากได้ยืนยันอย่างชัดเจนว่า การบูรณาการข้อมูลหลายรูปแบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการวินิจฉัยได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลเพียงรูปแบบเดียว.45 การให้บริบททางคลินิกเพิ่มเติมกับข้อมูลภาพถ่าย หรือการให้ข้อมูลภาพถ่ายประกอบกับข้อมูลทางคลินิก ช่วยให้โมเดล AI สามารถ "เข้าใจ" สถานการณ์ของผู้ป่วยได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และลดความคลุมเครือในการตัดสินใจ.45

### **5.2 สถาปัตยกรรม AI หลายรูปแบบ**

เพื่อรองรับการประมวลผลข้อมูลที่หลากหลาย สถาปัตยกรรม AI สมัยใหม่จึงถูกออกแบบมาให้มีความยืดหยุ่นและสามารถจัดการกับข้อมูลต่างประเภทได้ภายในโมเดลเดียว.17 หนึ่งในตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมคือสถาปัตยกรรม

**VisionTrack** ซึ่งถูกเสนอขึ้นเพื่อใช้พยากรณ์โรคทางจอประสาทตาหลายชนิดพร้อมกัน (multi-label disease prediction) โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่ทำงานร่วมกัน 17:

1. **Convolutional Neural Network (CNN):** ทำหน้าที่เป็น "ดวงตา" ของระบบ รับผิดชอบในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจอประสาทตา (ทั้ง OCT และ Fundus) เพื่อสกัดคุณลักษณะเด่น (discriminative features) ที่เกี่ยวข้องกับรอยโรคออกมาเป็นเวกเตอร์ของตัวเลข.17
2. **Graph Neural Network (GNN):** ทำหน้าที่เป็น "นักวิเคราะห์ความสัมพันธ์" รับผิดชอบในการประมวลผลข้อมูลเมทาเดตา (metadata) หรือปัจจัยเสี่ยงทางคลินิกของผู้ป่วย เช่น อายุ, สถานะโรคเบาหวาน, ความดันโลหิตสูง, และระยะเวลาการเป็นโรค GNN จะสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยเหล่านี้ในรูปแบบของกราฟ ซึ่งช่วยให้เข้าใจได้ว่าปัจจัยใดมีความเชื่อมโยงกันและส่งผลต่อความเสี่ยงของโรคอย่างไร.17
3. **Large Language Model (LLM):** ทำหน้าที่เป็น "ผู้ช่วยอ่าน" รับผิดชอบในการประมวลผลข้อมูลข้อความที่ไม่มีโครงสร้างจากรายงานทางการแพทย์ (medical reports) LLM สามารถ "อ่าน" และ "เข้าใจ" ภาษาธรรมชาติ เพื่อสกัดข้อมูลเชิงบริบทที่สำคัญซึ่งอาจไม่มีอยู่ในข้อมูลแบบมีโครงสร้าง.17

หลังจากที่แต่ละส่วนประมวลผลข้อมูลในรูปแบบของตนเองแล้ว คุณลักษณะเด่นที่สกัดได้จากทั้งสามแหล่ง (ภาพ, ปัจจัยเสี่ยง, ข้อความ) จะถูกนำมารวมกัน (feature fusion) เป็นเวกเตอร์ข้อมูลสุดท้าย จากนั้นจึงส่งเข้าสู่ชั้นประมวลผลเพื่อทำการพยากรณ์ความน่าจะเป็นของโรคต่างๆ.17 ผลการทดลองของ VisionTrack บนชุดข้อมูลสาธารณะสองชุด (RetinalOCT และ RFMID) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงมาก โดยมีความแม่นยำ (Accuracy) สูงถึง 98.0% และ 98.9% ตามลำดับ ซึ่งยืนยันถึงศักยภาพของแนวทาง Multimodal AI ในการยกระดับการวินิจฉัยทางการแพทย์.17

อนาคตของ AI ทางการแพทย์ไม่ได้อยู่ที่การมี CNN ที่ดีขึ้นสำหรับภาพ CT หรือมี LLM ที่ดีขึ้นสำหรับรายงานผล แต่อยู่ที่การสร้างระบบ AI แบบองค์รวมที่สามารถ "อ่าน" ภาพ CT, "อ่าน" รายงานของรังสีแพทย์, "อ่าน" ผลเลือดของผู้ป่วย, และ "เข้าใจ" ประวัติทางคลินิกได้พร้อมกัน เพื่อให้ได้การวินิจฉัยที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงของผู้ป่วยมากที่สุด

## **บทที่ 6: ภูมิทัศน์ AI ทางการแพทย์ในประเทศไทย**

ในขณะที่เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทางการแพทย์กำลังพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในระดับโลก ประเทศไทยเองก็ได้มีการตื่นตัวและริเริ่มโครงการต่างๆ เพื่อเตรียมความพร้อมและผลักดันให้เกิดการนำ AI มาใช้ประโยชน์ในระบบสาธารณสุขของประเทศอย่างเป็นรูปธรรม.4 การวิเคราะห์ความเคลื่อนไหวในประเทศไทยเผยให้เห็นถึงวิสัยทัศน์เชิงกลยุทธ์ที่น่าสนใจ โดยผู้กำหนดนโยบายและสถาบันวิจัยชั้นนำของไทยได้เล็งเห็นถึงปัญหาคอขวดที่สำคัญซึ่งเป็นความท้าทายร่วมกันทั่วโลก นั่นคือ "ปัญหาด้านข้อมูล".10 แทนที่จะมุ่งเน้นการพัฒนาอัลกอริทึมแยกกันในแต่ละสถาบัน ประเทศไทยกำลังพยายามสร้างรากฐานที่แข็งแกร่งผ่านการจัดตั้งแพลตฟอร์มข้อมูลกลางและเครือข่ายความร่วมมือเพื่อการแบ่งปันข้อมูล.46 แนวทางเชิงรุกนี้เป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์ของนานาชาติและเป็นการวางตำแหน่งเชิงกลยุทธ์ที่ถูกต้อง หากดำเนินการได้สำเร็จ จะเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญและบ่งชี้ว่าความสำเร็จของ AI ทางการแพทย์ของไทยในอนาคต อาจจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการบริหารจัดการและใช้ประโยชน์จากแพลตฟอร์มข้อมูลที่ใช้ร่วมกันนี้ มากกว่าการคิดค้นอัลกอริทึมใหม่ๆ เพียงอย่างเดียว

### **6.1 ภาพรวมโครงการริเริ่มและนโยบาย**

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านสู่ยุค "Digital Healthcare" โดยมีความพยายามในการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับระบบสุขภาพ.4 ความเคลื่อนไหวที่สำคัญคือการจัดตั้ง

**เครือข่ายความร่วมมือปัญญาประดิษฐ์ทางการแพทย์ (Medical AI Consortium)** ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นกลไกกลางในการส่งเสริมความร่วมมือด้านการแบ่งปันและใช้ประโยชน์จากข้อมูลทางการแพทย์ที่เดิมทีกระจัดกระจายอยู่ในแต่ละโรงพยาบาล ภายใต้แนวคิด "ร่วมแชร์ เชื่อม ใช้".10

หัวใจสำคัญของความร่วมมือนี้คือการพัฒนา **แพลตฟอร์มข้อมูลกลางทางการแพทย์ (Medical AI Data Platform)** ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเป็นคลังข้อมูลขนาดใหญ่และเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนา AI ทางการแพทย์ของประเทศในอนาคต.10 แพลตฟอร์มนี้ไม่ได้เป็นเพียงที่เก็บข้อมูล แต่ยังประกอบด้วยเครื่องมือที่สนับสนุนกระบวนการพัฒนา AI อย่างครบวงจร 47:

* **การจัดการข้อมูล (Data Management):** ใช้แพลตฟอร์ม CKAN Open-D เพื่อบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และรองรับการทำข้อมูลแบบเปิด (Open Data).
* **การกำกับข้อมูล (Data Annotation):** มีเครื่องมือเช่น RadiiView ซึ่งเป็น Annotation Tool ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับกำกับข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างชุดข้อมูลสำหรับฝึกโมเดล Supervised Learning.
* **การให้บริการ AI (AI Service Deployment):** มีแนวทางในการนำโมเดล AI ที่พัฒนาและตรวจสอบประสิทธิภาพแล้ว ไปสู่การใช้งานจริงในระบบบริการสุขภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในวงกว้าง.

โครงการริเริ่มเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจอย่างลึกซึ้งว่า การจะพัฒนา AI ทางการแพทย์ให้ประสบความสำเร็จได้นั้น จำเป็นต้องเริ่มต้นจากการแก้ปัญหาพื้นฐานเรื่องข้อมูลเป็นอันดับแรก.10

### **6.2 กรณีศึกษาจากสถาบันชั้นนำ**

สถาบันการแพทย์และการวิจัยชั้นนำของไทยหลายแห่งได้เริ่มโครงการวิจัยและพัฒนา AI ทางการแพทย์อย่างจริงจังและมีผลงานที่เป็นรูปธรรมออกมาแล้ว

#### **โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล**

โรงพยาบาลรามาธิบดีเป็นหนึ่งในผู้นำด้านนวัตกรรมทางการแพทย์และ AI ในประเทศไทย โดยมีกิจกรรมและความสำเร็จที่หลากหลาย:

* **ศูนย์กลางนวัตกรรม:** มีการจัดตั้ง "ศูนย์พัฒนานวัตกรรมทางการแพทย์" (Medical Innovations Development Center - MIND Center) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยงานหลักในการขับเคลื่อนนวัตกรรม และมีการจัดกิจกรรมให้ความรู้แก่บุคลากรทางการแพทย์อย่างต่อเนื่อง เช่น การจัดสัมมนาในหัวข้อ "AI in Healthcare: An overview and applications in Ophthalmology".49
* **การประยุกต์ใช้ในจักษุวิทยา:** มีการวิจัยและพัฒนาการนำ AI มาใช้ในสาขาจักษุวิทยา ซึ่งเป็นสาขาที่มีความพร้อมด้านข้อมูลสูง โดยมีโครงการที่เกี่ยวข้องกับโรคกระจกตา (Corneal disease) และโรคต้อหิน (Glaucoma) และขั้วประสาทตา.50
* **นวัตกรรม RAMAAI:** ทีมวิจัยได้พัฒนาโมเดล AI ชื่อ "RAMAAI" ซึ่งประสบความสำเร็จในการช่วยแพทย์วินิจฉัยภาวะปอดอักเสบจากการติดเชื้อ COVID-19 จากภาพเอกซเรย์ทรวงอก และมีแผนที่จะต่อยอดนวัตกรรมนี้ให้สามารถวินิจฉัยความผิดปกติทางปอดอื่นๆ ได้ครอบคลุมถึง 14 กลุ่มโรค เช่น โรคถุงลมโป่งพอง และมะเร็งปอด.51
* **ผู้ร่วมก่อตั้งแพลตฟอร์มข้อมูล:** โรงพยาบาลรามาธิบดีเป็นหนึ่งในผู้ร่วมก่อตั้งและออกแบบแพลตฟอร์มข้อมูลทางการแพทย์แบบเปิด (Open Medical Data Platform) ร่วมกับหน่วยงานระดับประเทศ เพื่อสร้างมาตรฐานและส่งเสริมการแบ่งปันข้อมูลสำหรับขับเคลื่อนนวัตกรรม AI.49

#### **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอีกหนึ่งสถาบันที่มีบทบาทสำคัญในการวิจัยและพัฒนา AI ทางการแพทย์ โดยมีความร่วมมือกับหลายภาคส่วน:

* **ความร่วมมือกับภาครัฐ:** คณะแพทยศาสตร์ จุฬาฯ ได้ร่วมมือกับกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ในการลงนามบันทึกข้อตกลงเพื่อนำเทคโนโลยี AI มาช่วยแปลผลภาพรังสีทรวงอก (Chest X-ray) เพื่อใช้ในการวินิจฉัยและคัดกรองวัณโรคเบื้องต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานบนรถเอกซเรย์เคลื่อนที่ (Digital Mobile X-ray) ซึ่งถือเป็นแห่งแรกในประเทศไทย.52
* **การพัฒนารับมือ COVID-19:** ในช่วงการระบาดของ COVID-19 หลายหน่วยงานในจุฬาฯ เช่น คณะแพทยศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, และศูนย์ CU-AIM (Center for AI in Medicine) ได้ร่วมกันพัฒนาโมเดล AI ชื่อ "PYLON" เพื่อช่วยแพทย์วินิจฉัยภาพ X-Ray ปอดของผู้ป่วยโควิด และได้บูรณาการโมเดลนี้เข้ากับแพลตฟอร์ม "We Safe" สำหรับการดูแลผู้ป่วยในระบบ Home Isolation เพื่อช่วยประเมินระดับความรุนแรงของโรคและจัดลำดับความเร่งด่วนในการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล.54
* **ศูนย์บ่มเพาะเทคโนโลยี:** จุฬาฯ มีศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม (UTC) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) เพื่อทำหน้าที่บ่มเพาะงานวิจัย Deep Tech รวมถึง AI ทางการแพทย์ เช่น AI สำหรับการวิเคราะห์ภาพ CT-Scan หรือการตรวจหาชิ้นเนื้อที่ผิดปกติจากการส่องกล้อง เพื่อผลักดันงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์.55

กรณีศึกษาจากทั้งสองสถาบันนี้สะท้อนให้เห็นถึงความก้าวหน้าและความมุ่งมั่นของประเทศไทยในการนำ AI มาใช้เพื่อแก้ปัญหาจริงในระบบสาธารณสุข ตั้งแต่การคัดกรองโรคติดต่อ, การรับมือกับภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุข, ไปจนถึงการสร้างนวัตกรรมสำหรับโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

## **บทที่ 7: ความท้าทาย ประเด็นเชิงจริยธรรม และธรรมาภิบาล**

แม้ว่าปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพมหาศาลในการปฏิวัติการวิจัยชีวการแพทย์และการดูแลสุขภาพ แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้อย่างแพร่หลายก็เต็มไปด้วยความท้าทายที่ซับซ้อนและประเด็นขัดแย้งที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ.1 ความท้าทายเหล่านี้ไม่ได้ดำรงอยู่อย่างเป็นอิสระ แต่มีความเชื่อมโยงกันอย่างลึกซึ้งเป็นเครือข่ายของเหตุและผล.9 ตัวอย่างเช่น ปัญหาทางเทคนิคอย่างการที่โมเดล AI ทำงานแบบ "กล่องดำ" (black box) ได้สร้างวิกฤตทางกฎหมายและจริยธรรมโดยตรง เนื่องจากทำให้การระบุความรับผิดเมื่อเกิดข้อผิดพลาดเป็นไปได้ยากและบั่นทอนความไว้วางใจ.9 ในทำนองเดียวกัน ปัญหาทางเทคนิคเรื่องข้อมูลที่ใช้ฝึกมีอคติ (biased data) ก็ส่งผลโดยตรงให้เกิดปัญหาทางจริยธรรมเรื่องการเลือกปฏิบัติ (discrimination) และอาจนำไปสู่ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการละเมิดกฎหมายความเท่าเทียมได้.44 ดังนั้น การจะแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงไม่สามารถทำได้โดยอาศัยความเชี่ยวชาญเพียงสาขาเดียว แต่นักเทคโนโลยี, นักกฎหมาย, นักจริยธรรม, และผู้กำหนดนโยบายจำเป็นต้องทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดเพื่อสร้างกรอบการกำกับดูแลที่สมดุลและมีประสิทธิภาพ

### **7.1 อุปสรรคทางเทคนิค**

* **คุณภาพข้อมูลและอคติ (Data Quality and Bias):** นี่คือความท้าทายที่สำคัญที่สุดประการหนึ่ง.1 ข้อมูลชีวการแพทย์ในโลกความเป็นจริงมักมีปัญหาด้านคุณภาพ เช่น มีข้อมูลรบกวน (noisy), ไม่สมบูรณ์ (incomplete), หรือขาดหายไป (missing).1 ยิ่งไปกว่านั้น ข้อมูลอาจมีอคติแฝงอยู่ ซึ่งหากนำไปใช้ฝึกโมเดล AI โดยไม่ระมัดระวัง โมเดลก็จะเรียนรู้และขยายอคตินั้นต่อไป.9 ตัวอย่างเช่น หากชุดข้อมูลภาพถ่ายผิวหนังที่ใช้ฝึก AI มีแต่ภาพจากคนผิวขาวเป็นส่วนใหญ่ โมเดลก็อาจมีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคผิวหนังในคนผิวสีต่ำกว่า ซึ่งนำไปสู่ความไม่เท่าเทียมในการดูแลสุขภาพ.44
* **ปัญหา "กล่องดำ" และความสามารถในการอธิบายได้ (The "Black Box" Problem and Explainability - XAI):** โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) จำนวนมาก โดยเฉพาะโมเดลที่มีความซับซ้อนสูง มักทำงานในลักษณะของ "กล่องดำ" กล่าวคือ แม้โมเดลจะให้คำตอบที่แม่นยำ แต่มนุษย์ (แม้กระทั่งผู้พัฒนาเอง) ก็ไม่สามารถอธิบายเหตุผลเบื้องหลังการตัดสินใจนั้นได้อย่างชัดเจน.9 ในบริบททางการแพทย์ที่การตัดสินใจอาจส่งผลต่อชีวิตและสุขภาพ การขาดความโปร่งใสนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้ยากและเป็นอุปสรรคต่อการสร้างความไว้วางใจ.9 ด้วยเหตุนี้ แนวคิดเรื่องปัญญาประดิษฐ์ที่อธิบายได้ (Explainable AI - XAI) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคนิคที่ช่วยให้เราสามารถ "มองเข้าไป" ในกล่องดำและทำความเข้าใจกระบวนการตัดสินใจของ AI ได้ดีขึ้น.1
* **ความสามารถในการประยุกต์ใช้ในวงกว้าง (Generalizability):** โมเดล AI ที่ฝึกฝนโดยใช้ข้อมูลจากโรงพยาบาลหรือประชากรกลุ่มหนึ่ง อาจมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากเมื่อนำไปใช้กับข้อมูลจากโรงพยาบาลหรือประชากรกลุ่มอื่น.39 ปัญหานี้เกิดจากความแตกต่างของปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะทางประชากรของผู้ป่วย, เครื่องมือและโปรโตคอลในการถ่ายภาพ, และแนวทางการบันทึกข้อมูล.22 การสร้างโมเดลที่มีความสามารถในการประยุกต์ใช้ในวงกว้างและมีความทนทาน (robust) ต่อความแตกต่างเหล่านี้จึงเป็นความท้าทายทางเทคนิคที่สำคัญ

### **7.2 ประเด็นขัดแย้งเชิงจริยธรรมและกฎหมาย**

* **ความเป็นส่วนตัวของข้อมูล (Data Privacy):** การพัฒนา AI ทางการแพทย์ต้องอาศัยข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยจำนวนมหาศาล ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความละเอียดอ่อนอย่างยิ่ง.57 สิ่งนี้ก่อให้เกิดความกังวลอย่างมากเกี่ยวกับความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล.44 การขอความยินยอมจากผู้ป่วย (Informed Consent) เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนา AI ก็เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและท้าทาย เนื่องจากผู้ป่วยอาจไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าข้อมูลของตนจะถูกนำไปใช้อย่างไร และอาจมีความกังวลเกี่ยวกับการใช้งานในอนาคต.44
* **ความรับผิด (Liability):** คำถามที่สำคัญที่สุดข้อหนึ่งในทางกฎหมายคือ "หาก AI ทำงานผิดพลาดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้ป่วย ใครคือผู้ที่ต้องรับผิดชอบ?".44 ความรับผิดชอบนี้ควรตกอยู่กับใคร ระหว่างผู้พัฒนาอัลกอริทึม, โรงพยาบาลที่จัดซื้อและนำระบบมาใช้, หรือแพทย์ผู้ดูแลที่เชื่อถือผลจาก AI?.44 ในปัจจุบันยังไม่มีคำตอบที่ชัดเจนสำหรับคำถามนี้ และกรอบกฎหมายที่มีอยู่เดิมอาจไม่ครอบคลุมความซับซ้อนของเทคโนโลยี AI.44
* **ความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Security Risks):** ระบบ AI ทางการแพทย์อาจกลายเป็นเป้าหมายของการโจมตีทางไซเบอร์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบร้ายแรงต่อการดูแลผู้ป่วย.57 นอกจากนี้ ยังมีความกังวลในระดับที่ใหญ่ขึ้นว่าความก้าวหน้าของ AI ในการทำความเข้าใจระบบชีววิทยา อาจถูกนำไปใช้ในทางที่ผิดเพื่อวัตถุประสงค์ที่เป็นอันตราย เช่น การออกแบบและพัฒนาอาวุธชีวภาพชนิดใหม่ๆ ได้อย่างรวดเร็ว.56

### **7.3 กรอบธรรมาภิบาลระดับโลก: แนวปฏิบัติของ WHO**

เพื่อรับมือกับความท้าทายที่ซับซ้อนเหล่านี้ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization - WHO) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการกำหนดทิศทางและสร้างกรอบการกำกับดูแล โดยได้เผยแพร่เอกสารแนวปฏิบัติ "Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health" ซึ่งถือเป็นเอกสารสำคัญที่ให้คำแนะนำแก่ประเทศสมาชิกในการพัฒนาและใช้งาน AI อย่างมีจริยธรรมและมีความรับผิดชอบ.62

แนวปฏิบัติของ WHO ได้สรุปหลักการสำคัญ 6 ประการ ที่ควรเป็นแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ AI ในทางการแพทย์ 63:

**Table 7.1: Summary of WHO's Core Principles for Ethics and Governance of AI for Health**

| Principle | Description | Key Implications for Implementation |
| --- | --- | --- |
| **1. Protecting human autonomy** | การปกป้องความเป็นอิสระของมนุษย์: มนุษย์ควรสามารถควบคุมระบบการดูแลสุขภาพและการตัดสินใจทางการแพทย์ของตนเองได้เสมอ AI ควรเป็นเครื่องมือเสริม ไม่ใช่ผู้ทำการตัดสินใจแทน | ระบบต้องออกแบบให้แพทย์และผู้ป่วยเป็นผู้มีอำนาจตัดสินใจสุดท้าย การให้ข้อมูลที่โปร่งใสและการขอความยินยอมเป็นสิ่งสำคัญ |
| **2. Promoting human well-being and safety** | การส่งเสริมสุขภาวะ ความปลอดภัย และประโยชน์สาธารณะ: ผู้พัฒนาและผู้ใช้งานต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ, คุณภาพ, และความปลอดภัย AI ต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคคลหรือสังคม | ต้องมีกระบวนการประเมินความเสี่ยงและตรวจสอบความถูกต้องของ AI อย่างเข้มงวดก่อนนำมาใช้งานจริง |
| **3. Ensuring transparency, explainability, and intelligibility** | การรับประกันความโปร่งใส, ความสามารถในการอธิบายได้, และความเข้าใจได้: ต้องมีการเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบและการทำงานของ AI อย่างเพียงพอ เพื่อให้เกิดความไว้วางใจ | ต้องมีการพัฒนาและใช้เทคนิค XAI เพื่อทำให้การตัดสินใจของ AI สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ |
| **4. Fostering responsibility and accountability** | การส่งเสริมความรับผิดชอบและความรับผิดชอบที่ตรวจสอบได้: แม้ AI จะทำงานโดยอัตโนมัติ แต่ต้องมีมนุษย์หรือหน่วยงานที่สามารถรับผิดชอบต่อการทำงานของมันได้เสมอ | ต้องมีการกำหนดกรอบกฎหมายที่ชัดเจนเกี่ยวกับความรับผิด (Liability) ของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกฝ่าย |
| **5. Ensuring inclusiveness and equity** | การรับประกันความครอบคลุมและความเท่าเทียม: AI ควรถูกออกแบบมาเพื่อส่งเสริมให้ทุกคนเข้าถึงการดูแลสุขภาพได้อย่างเท่าเทียม ไม่เลือกปฏิบัติ และไม่สร้างหรือตอกย้ำอคติที่มีอยู่เดิม | ต้องใช้ชุดข้อมูลที่หลากหลายและเป็นตัวแทนของประชากรกลุ่มต่างๆ ในการฝึกโมเดล และต้องมีการตรวจสอบอคติอย่างสม่ำเสมอ |
| **6. Promoting responsive and sustainable AI** | การส่งเสริม AI ที่ตอบสนองและยั่งยืน: AI ควรถูกออกแบบให้สามารถปรับตัวและทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามความคาดหวังและข้อกำหนดที่เปลี่ยนแปลงไป | ต้องมีการติดตามและประเมินผลการทำงานของ AI อย่างต่อเนื่องหลังการใช้งานจริง (post-deployment monitoring) และมีการปรับปรุงโมเดลเมื่อจำเป็น |

นอกจากหลักการเหล่านี้ WHO ยังได้ให้ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่างๆ.65 สำหรับ

**รัฐบาล**, WHO แนะนำให้จัดตั้งหน่วยงานกำกับดูแลที่ชัดเจน, ออกกฎหมายและข้อบังคับเพื่อรับประกันว่า AI เป็นไปตามมาตรฐานทางจริยธรรมและสิทธิมนุษยชน, และบังคับให้มีการตรวจสอบและประเมินผลกระทบหลังการใช้งาน.65 สำหรับ

**ผู้พัฒนาเทคโนโลยี**, WHO แนะนำให้มีการนำผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลาย (เช่น แพทย์, ผู้ป่วย, นักวิจัย) เข้ามามีส่วนร่วมตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบ และต้องออกแบบ AI ให้ทำงานที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ.66 แนวทางเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการสร้างระบบนิเวศ AI ทางการแพทย์ที่สมดุลระหว่างนวัตกรรม, ความปลอดภัย, และความไว้วางใจจากสังคม

## **บทที่ 8: บทสรุปและทิศทางในอนาคต: สู่การแพทย์ที่แม่นยำและยั่งยืน**

การเดินทางของปัญญาประดิษฐ์ในการวิจัยชีวการแพทย์ได้มาถึงจุดเปลี่ยนที่สำคัญ จากการเป็นเพียงเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อน ได้วิวัฒนาการมาสู่การเป็นพันธมิตรที่ทรงพลังในการค้นพบองค์ความรู้ใหม่และเปลี่ยนแปลงแนวทางการดูแลสุขภาพอย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน รายงานฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์เชิงลึกถึงการประยุกต์ใช้ AI ในหลากหลายมิติ ตั้งแต่การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์ไปจนถึงการพยากรณ์โรคจากข้อมูลทางคลินิก พร้อมทั้งสำรวจภูมิทัศน์ในประเทศไทยและพิจารณาถึงความท้าทายเชิงเทคนิคและจริยธรรมอย่างรอบด้าน

### **8.1 สังเคราะห์ประเด็นสำคัญและองค์ความรู้**

จากการวิเคราะห์ทั้งหมด สามารถสังเคราะห์ประเด็นสำคัญได้ดังนี้:

* **ความสำเร็จที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลภาพ:** ความสำเร็จที่เป็นรูปธรรมและชัดเจนที่สุดของ AI ในทางการแพทย์ปัจจุบัน กระจุกตัวอยู่ในสาขาที่มีข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่เป็นมาตรฐานและมีปริมาณมาก เช่น จักษุวิทยา (OCT, Fundus) และรังสีวิทยา (CT) สาขาเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงเส้นทางที่ชัดเจนตั้งแต่การวิจัยพื้นฐานไปจนถึงการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองและใช้งานได้จริงในทางคลินิก ซึ่งเป็นบทเรียนสำคัญสำหรับสาขาอื่นๆ
* **ศักยภาพที่ถูกจำกัดของข้อมูลทางคลินิก:** ในทางกลับกัน ข้อมูลทางคลินิกจากเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ (EHR) ซึ่งถือเป็นขุมทรัพย์ข้อมูลที่ใหญ่ที่สุดและสะท้อนภาพรวมของผู้ป่วยได้ดีที่สุด กลับยังคงมีศักยภาพที่ถูกจำกัดด้วยปัญหาเชิงโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นปัญหาคุณภาพ, การขาดมาตรฐาน, และอคติในข้อมูล การจะปลดล็อกศักยภาพนี้ได้จำเป็นต้องมีการลงทุนและวางนโยบายด้านสารสนเทศสุขภาพอย่างจริงจัง
* **อนาคตคือการบูรณาการ:** ทิศทางในอนาคตของ AI ทางการแพทย์มุ่งไปสู่การบูรณาการข้อมูลหลายรูปแบบ (Multimodal AI) อย่างไม่ต้องสงสัย การสร้างโมเดลที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลภาพ, ข้อมูลคลินิก, ข้อมูลทางพันธุกรรม, และข้อมูลข้อความได้พร้อมกัน จะนำมาซึ่งความเข้าใจในตัวผู้ป่วยอย่างลึกซึ้งและนำไปสู่การวินิจฉัยและการรักษาที่แม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม แนวทางนี้ก็จะนำมาซึ่งความท้าทายด้านเทคนิคและธรรมาภิบาลที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นเป็นเงาตามตัว
* **ความท้าทายที่เชื่อมโยงกัน:** อุปสรรคทางเทคนิค, จริยธรรม, และกฎหมายไม่ได้เป็นปัญหาที่แยกจากกัน แต่มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ปัญหา "กล่องดำ" ทางเทคนิค นำไปสู่ปัญหาความรับผิดทางกฎหมายและความไว้วางใจทางจริยธรรม การแก้ไขปัญหาจึงต้องอาศัยแนวทางแบบสหสาขาวิชาชีพ

### **8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและปฏิบัติการสำหรับประเทศไทย**

เพื่อให้ประเทศไทยสามารถเก็บเกี่ยวผลประโยชน์จากเทคโนโลยี AI ทางการแพทย์ได้อย่างเต็มศักยภาพและยั่งยืน จำเป็นต้องมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนสำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกกลุ่ม:

* **สำหรับนักวิจัยและนักพัฒนา:**
  + **ส่งเสริมความร่วมมือ:** ควรเข้าร่วมและใช้ประโยชน์จากเครือข่ายความร่วมมืออย่าง Medical AI Consortium อย่างแข็งขัน เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการทำงานและร่วมกันสร้างชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพ.46
  + **ใช้ประโยชน์จากแพลตฟอร์มกลาง:** ควรศึกษาและใช้ประโยชน์จากเครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่บนแพลตฟอร์มข้อมูลกลางทางการแพทย์ (Medical AI Data Platform) เช่น เครื่องมือกำกับข้อมูล (Annotation Tools) เพื่อเร่งกระบวนการพัฒนา.10
  + **มุ่งเน้นความโปร่งใส:** ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาโมเดลที่สามารถอธิบายได้ (XAI) เพื่อสร้างความไว้วางใจและอำนวยความสะดวกในการนำไปใช้งานจริงในทางคลินิก.59
* **สำหรับบุคลากรทางการแพทย์:**
  + **พัฒนาทักษะดิจิทัล (Digital Literacy):** จำเป็นต้องมีการส่งเสริมและพัฒนาทักษะความเข้าใจด้านดิจิทัลและ AI ให้กับแพทย์, พยาบาล, และบุคลากรทางการแพทย์อื่นๆ เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงาน, ข้อดี, ข้อจำกัด, และสามารถประเมินและใช้งานเครื่องมือ AI ได้อย่างมีวิจารณญาณ
  + **ปรับเปลี่ยนมุมมอง:** ควรมองว่า AI เป็นเครื่องมือช่วยเสริมการตัดสินใจ (Decision Support Tool) หรือเป็น "ผู้ช่วย" ที่ทรงพลัง ไม่ใช่ "ผู้มาแทนที่".4 การทำงานร่วมกันระหว่างความเชี่ยวชาญของมนุษย์และประสิทธิภาพของ AI จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
* **สำหรับผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานกำกับดูแล:**
  + **สร้างกรอบธรรมาภิบาลที่ชัดเจน:** ต้องเร่งดำเนินการสร้างกรอบธรรมาภิบาล, กฎหมาย, และข้อบังคับที่ชัดเจนสำหรับ AI ทางการแพทย์ในประเทศ โดยอาจอ้างอิงจากแนวปฏิบัติของ WHO เป็นต้นแบบ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและกำหนดทิศทางการพัฒนาที่ปลอดภัยและมีจริยธรรม.65
  + **ลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลอย่างต่อเนื่อง:** การสนับสนุนแพลตฟอร์มข้อมูลกลางต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน เพราะนี่คือหัวใจสำคัญของความสำเร็จในระยะยาว.46
  + **สนับสนุนระบบนิเวศนวัตกรรม:** ควรสนับสนุนการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบที่มีมาตรฐานสำหรับนวัตกรรม AI ทางการแพทย์ เพื่อช่วยลดอุปสรรค, ค่าใช้จ่าย, และระยะเวลาในการนำผลงานวิจัยไปสู่การขึ้นทะเบียนและใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์.47

### **8.3 ทิศทางในอนาคต: สู่การแพทย์ที่แม่นยำและยั่งยืน**

มองไปข้างหน้า ปัญญาประดิษฐ์กำลังนำเราไปสู่ยุคใหม่ของการแพทย์ที่เรียกว่า **การแพทย์แม่นยำ (Precision Medicine)**.1 ในอนาคตอันใกล้ เราอาจได้เห็นระบบ AI ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลองค์รวมของผู้ป่วยแต่ละราย ตั้งแต่ข้อมูลทางพันธุกรรม, ภาพถ่ายทางการแพทย์, ประวัติทางคลินิก, ไปจนถึงข้อมูลพฤติกรรมการใช้ชีวิตจากอุปกรณ์สวมใส่ เพื่อสร้างแบบจำลองความเสี่ยงเฉพาะบุคคล และแนะนำแนวทางการป้องกันหรือการรักษาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคนๆ นั้น.1

เป้าหมายสูงสุดที่หลายคนวาดฝันไว้คือการสร้าง **แบบจำลองดิจิทัลเสมือนของบุคคล (Digital Twin)** ซึ่งเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของร่างกายและสรีรวิทยาของคนๆ หนึ่งที่อัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์.46 Digital Twin นี้จะสามารถใช้ในการจำลองผลกระทบของการรักษาต่างๆ, ทดสอบประสิทธิภาพของยาใหม่, หรือให้คำแนะนำด้านสุขภาพที่ปรับเปลี่ยนไปตามสถานการณ์จริงของบุคคลนั้นได้อย่างแม่นยำ.46

อย่างไรก็ตาม การจะเดินทางไปถึงจุดนั้นได้ไม่ใช่เรื่องง่ายและไม่สามารถทำได้โดยอาศัยเพียงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ต้องอาศัยความร่วมมืออย่างเข้มแข็งจากทุกภาคส่วนในสังคม ทั้งนักวิจัย, แพทย์, ผู้ป่วย, ภาครัฐ, และภาคเอกชน เพื่อร่วมกันสร้างระบบนิเวศ (Ecosystem) ที่มีความสมดุลระหว่างการขับเคลื่อนนวัตกรรม, การธำรงไว้ซึ่งความรับผิดชอบทางจริยธรรมและกฎหมาย, และที่สำคัญที่สุดคือการสร้างความไว้วางใจจากสังคม เพื่อให้แน่ใจว่าเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จะถูกนำมาใช้เพื่อยกระดับสุขภาวะของมวลมนุษยชาติอย่างแท้จริงและยั่งยืน

#### Works cited

1. Mastering Machine Learning in Biomedical Research, accessed July 31, 2025, <https://www.numberanalytics.com/blog/mastering-machine-learning-biomedical-research>
2. Deep Learning in Medical Imaging: General Overview - PMC, accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5447633/>
3. The Roles of Machine Learning in Biomedical Science - Frontiers of ..., accessed July 31, 2025, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481619/>
4. การยอมรับและตัดสินใจเลือกใช้ปัญญาประดิษฐ์(AI) - CMMU Digital Archive, accessed July 31, 2025, <https://archive.cm.mahidol.ac.th/bitstream/123456789/5602/1/TP%20BM.097%202566.pdf>
5. Artificial Intelligence and Diabetic Retinopathy: AI Framework ..., accessed July 31, 2025, <https://diabetesjournals.org/care/article/46/10/1728/153626/Artificial-Intelligence-and-Diabetic-Retinopathy>
6. A Review of Deep Learning Techniques for Lung Cancer Screening and Diagnosis Based on CT Images - MDPI, accessed July 31, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/16/2617>
7. Medical image analysis using deep learning algorithms - Frontiers, accessed July 31, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1273253/full>
8. Deep learning is effective for the classification of OCT images of ..., accessed July 31, 2025, <https://comp.ophthalmology.uw.edu/2017/02/13/deep-learning-is-effective-for-the-classification-of-oct-images-of-normal-versus-age-related-macular-degeneration/>
9. The Real Limitations of AI in Life Sciences - AZoLifeSciences, accessed July 31, 2025, <https://www.azolifesciences.com/article/The-Real-Limitations-of-AI-in-Life-Sciences.aspx>
10. เปิดตัว Medical AI Data Platform ชวนโรงพยาบาล แชร์-เชื่อม-ใช้ ภาพทางการแพทย์ 2.2 ล้านภาพ, accessed July 31, 2025, <https://www.nectec.or.th/news/news-pr-news/medical-ai.html>
11. Deep Learning Applications to Classification and Detection of Age ..., accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10441995/>
12. Deep Learning to Detect Pancreatic Cancer at CT: Artificial Intelligence Living Up to Its Hype, accessed July 31, 2025, <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.222126>
13. The Future of Medicine: Artificial Intelligence for Sustainable Health ..., accessed July 31, 2025, <https://www.timeconsulting.co.th/future-of-medicine-artificial-intelligence-for-sustainable-health>
14. Early Diabetic Retinopathy Detection from OCT Images Using ..., accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12248572/>
15. เทคโนโลยีเพื่อการวินิจฉัยโรคทางตา - Mission Hospital, accessed July 31, 2025, <https://www.mission-hospital.org/th/excellent-center/2-uncategorised/611-%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%A2%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%89%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B8%B2.html>
16. RETINA-AI - Artificial Intelligence for Diabetic Retinopathy, accessed July 31, 2025, <https://www.retinahealth.ai/>
17. Multi-Modal AI for Multi-Label Retinal Disease Prediction Using OCT ..., accessed July 31, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/14/4492>
18. Explainable Artificial Intelligence–Assisted Exploration of Clinically ..., accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12156153/>
19. EyeArt - Eyenuk, Inc. ~ Artificial Intelligence Eye Screening, accessed July 31, 2025, <https://www.eyenuk.com/us-en/products/eyeart/>
20. www.bumrungrad.com, accessed July 31, 2025, <https://www.bumrungrad.com/th/treatments/optical-coherence-tomography-oct#:~:text=Optical%20Coherence%20Tomography%20(OCT)%20%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99,%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%AB%E0%B8%B4%E0%B8%99>
21. การตรวจวินิจฉัยจอประสาทตา | โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, accessed July 31, 2025, <https://www.bumrungrad.com/th/treatments/optical-coherence-tomography-oct>
22. Deep learning algorithms for detection of diabetic macular edema in ..., accessed July 31, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35473414/>
23. www.vibhavadi.com, accessed July 31, 2025, <https://www.vibhavadi.com/th/package/fundus-camera-eye-checkup#:~:text=Fundus%20Camera%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2,%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%20%E0%B9%86%20%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B8%B3>
24. A REVIEW ON ROLE OF AI AND MACHINE LEARNING IN ..., accessed July 31, 2025, <https://www.wjpmr.com/download/article/129112024/1733820009.pdf>
25. Deep Learning Image Reconstruction for CT: Technical Principles and Clinical Prospects, accessed July 31, 2025, <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.221257>
26. U-Net in Medical Image Segmentation: A Review of Its Applications Across Modalities - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/html/2412.02242v1>
27. CT Scan คืออะไร ต่างจาก MRI ไหม วินิจฉัยอะไรได้บ้าง? | โรงพยาบาล ..., accessed July 31, 2025, <https://praram9.com/th/articles/what-is-ct-scan>
28. การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ CT Scan | โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, accessed July 31, 2025, <https://www.bumrungrad.com/th/treatments/computed-tomography-ct-scan>
29. ทำความรู้จักกับ CT Scan ตรวจอะไรได้บ้าง? I AddLife, accessed July 31, 2025, <https://www.add-life.org/th/blogs/ct-scan>
30. New AI techniques improve tumor detection in PET and CT scans - News-Medical.net, accessed July 31, 2025, <https://www.news-medical.net/news/20250102/New-AI-techniques-improve-tumor-detection-in-PET-and-CT-scans.aspx>
31. Deep Learning for Lung Cancer Detection on Screening CT Scans: Results of a Large-Scale Public Competition and an Observer Study with 11 Radiologists | Radiology: Artificial Intelligence - RSNA Journals, accessed July 31, 2025, <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/ryai.2021210027>
32. Artificial Intelligence in CT and MR Imaging for Oncological Applications - PubMed Central, accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10177423/>
33. Deep Learning Models for Abdominal CT Organ Segmentation in Children: Development and Validation in Internal and Heterogeneous Public Datasets | AJR, accessed July 31, 2025, <https://ajronline.org/doi/10.2214/ajr.24.30931>
34. [2211.14830] Medical Image Segmentation Review: The success of U-Net - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/abs/2211.14830>
35. AI Radiologist: Revolutionizing Liver Tissue Segmentation with Convolutional Neural Networks and a Clinician-Friendly GUI - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/html/2406.07688v1>
36. Deep Learning-Based Automated Workflow for Accurate Segmentation and Measurement of Abdominal Organs in CT Scans - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/html/2503.10717v1>
37. Comparison of 2D vs. 3D U-Net Organ Segmentation in abdominal 3D CT images - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/abs/2107.04062>
38. A Large-Scale AI Benchmark for 3D Multi-Organ Segmentation - arXiv, accessed July 31, 2025, <https://arxiv.org/html/2411.03670v1>
39. Harnessing Electronic Health Records and Artificial Intelligence for ..., accessed July 31, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.124.036946>
40. Prospect of Artificial Intelligence Based on Electronic Medical ..., accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8473961/>
41. ระบบ EMR คืออะไร? นำไปใช้ประโยชน์อย่างไรได้บ้าง? | Firstcraft, accessed July 31, 2025, <https://1stcraft.com/what-is-emr/>
42. ระบบ EHR คืออะไร? สรุปประโยชน์และสิ่งที่คุณควรรู้ | Firstcraft, accessed July 31, 2025, <https://1stcraft.com/what-is-ehr/>
43. Using artificial intelligence and patient medical records to predict ..., accessed July 31, 2025, <https://news.ufl.edu/2023/02/ai-to-predict-alz/>
44. AI in healthcare: legal and ethical considerations in this new frontier ..., accessed July 31, 2025, <https://www.ibanet.org/ai-healthcare-legal-ethical>
45. Multimodal medical artificial intelligence (AI) applications across... - ResearchGate, accessed July 31, 2025, <https://www.researchgate.net/figure/Multimodal-medical-artificial-intelligence-AI-applications-across-disease-spaces_fig1_384564409>
46. 5 มุมมองขับเคลื่อน Medical AI: ใช้พลังข้อมูลเสริม AI สู่นวัตกรรมการแพทย์เพื่อคนไทย - NECTEC, accessed July 31, 2025, <https://www.nectec.or.th/news/news-article/medical-ai-consortium.html>
47. เผยเบื้องหลัง “Medical AI Data Platform” บิ๊กเดต้าผนวกเครื่องมือเทรนด์โมเดล หนุนสร้าง AI ช่วยวินิจฉัยลดภาระแพทย์โดยเฉพาะ - AI Thailand, accessed July 31, 2025, <https://www.ai.in.th/medical-ai-data-platform/>
48. 5 มุมมองขับเคลื่อน Medical AI: ใช้พลังข้อมูลเสริม AI สู่นวัตกรรมการแพทย์เพื่อคนไทย - AI Thailand, accessed July 31, 2025, <https://www.ai.in.th/medical-ai/>
49. แพทย์รามาฯ โชว์ใช้ AI-เมตาเวิร์ส ผ่าน AR-VR สร้างนวัตกรรมสุขภาพ ฝึกอบรมทางการแพทย์ - Hfocus, accessed July 31, 2025, <https://www.hfocus.org/content/2025/01/32986>
50. AI in Healthcare An overview and applications in Ophthalmology - YouTube, accessed July 31, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=9BdUTvbk9lE>
51. ม.มหิดลใช้ AI “RAMAAI” ช่วยแพทย์วินิจฉัยผู้ป่วย COVID-19 ปอดติดเชื้อ - ThaiPublica, accessed July 31, 2025, <https://thaipublica.org/2022/07/mahidol-ai-ramaai/>
52. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ร่วมมือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดพิธีลงนามบันทึกข้อตกลง (Artificial Intelligence: AI) ช่วยแปลผลภาพรังสีทรวงอก เพื่อวินิจฉัยวัณโรคเบื้องต้น ด้วย AI ในประเทศไทย, accessed July 31, 2025, <https://www.md.chula.ac.th/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84-%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%AC%E0%B8%B2%E0%B8%AF/>
53. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับในการเข้ามาของปัญญาประดิษฐ์ในด้านรังสีวิทยา - CMMU Digital Archive, accessed July 31, 2025, <https://archive.cm.mahidol.ac.th/bitstream/123456789/3691/1/TP%20MS.035%202563.pdf>
54. จุฬาฯ จับมือนักวิจัยพัฒนา AI ดูแลผู้ป่วยโควิดแบบ Home Isolation ช่วยคาดการณ์ระดับความรุนแรงโรคแม่นยำ-ลดภาระบุคลากร | Techsauce, accessed July 31, 2025, <https://techsauce.co/pr-news/chulalongkorn-university-developed-ai-for-medication>
55. บพข. หนุน UTC สร้างมูลค่าจากนวัตกรรมด้านการแพทย์และปัญญาประดิษฐ์, accessed July 31, 2025, <https://pmuc.or.th/%E0%B8%9A%E0%B8%9E%E0%B8%82-%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%99-utc-%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%84%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81/>
56. hai.stanford.edu, accessed July 31, 2025, <https://hai.stanford.edu/news/managing-risks-ai-powered-biomedical-research#:~:text=Some%20of%20those%20very%20real,of%20new%20types%20of%20bioweapons.>
57. 5 Major Disadvantages of AI in Healthcare - Keragon, accessed July 31, 2025, <https://www.keragon.com/blog/disadvantages-of-ai-in-healthcare>
58. The Neural Frontier of Future Medical Imaging: A Review of Deep Learning for Brain Tumor Detection - MDPI, accessed July 31, 2025, <https://www.mdpi.com/2313-433X/11/1/2>
59. A literature review of artificial intelligence (AI) for medical image segmentation: from AI and explainable AI to trustworthy AI - PMC, accessed July 31, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11651983/>
60. Ethics of AI in Healthcare and Medicine - HITRUST, accessed July 31, 2025, <https://hitrustalliance.net/blog/the-ethics-of-ai-in-healthcare>
61. Managing Risks in AI-Powered Biomedical Research | Stanford HAI, accessed July 31, 2025, <https://hai.stanford.edu/news/managing-risks-ai-powered-biomedical-research>
62. WHO Guidance: Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health - ConnexUs, accessed July 31, 2025, <https://cnxus.org/resource/who-guidance-ethics-and-governance-of-artificial-intelligence-for-health/>
63. WHO – Ethics ad Governance of Artificial Intelligence for Health: WHO Guidance / AHEAD - Legislative and regulatory framework / AHEAD OBSERVATORY / AI Legal Atlas / Biodiritto - Biodiritto, accessed July 31, 2025, <https://www.biodiritto.org/AI-Legal-Atlas/AHEAD-OBSERVATORY/AHEAD-Legislative-and-regulatory-framework/WHO-Ethics-ad-Governance-of-Artificial-Intelligence-for-Health-WHO-Guidance>
64. WHO Guidance on Ethics and Governance of AI for Health | CITI Program, accessed July 31, 2025, <https://about.citiprogram.org/blog/who-guidance-on-ethics-and-governance-of-ai-for-health/>
65. WHO Releases AI Ethics and Governance Guidance for Large Multimodal Models | Insight, accessed July 31, 2025, <https://www.bakermckenzie.com/en/insight/publications/2024/01/who-releases-ai-ethics-and-governance-guidance>
66. WHO releases guidance on AI ethics and governance - Digital Health Insights, accessed July 31, 2025, <https://dhinsights.org/blog/who-guidance-on-ai>