A Multimodal AI Prognosis System for Pediatric Knee Physis Deformity Post-Trauma

1) **Surface Problem** อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับข้อเข่าเด็กมักส่งผลกระทบต่อ เส้นการเจริญเติบโตของกระดูก ปัญหาหลักคือแพทย์ไม่สามารถฟันธงในวันที่เกิดเหตุได้ว่า กระดูกชิ้นนี้จะหยุดโต หรือจะโตผิดทิศทาง ในอีก 3-5 ปีข้างหน้า

Impact

- **ข้อจำกัดทางสรีรวิทยา** บริเวณข้อเข่าของเด็กมี เส้นการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นเซลล์กระดูกอ่อนที่ทำหน้าที่สร้างความยาวของกระดูก ถ้ารอยหักตัดผ่านเส้นนี้ เซลล์จะได้รับความเสียหายและอาจหยุดการเจริญเติบโต
- **ข้อจำกัดทางเทคโนโลยีคลินิก** ในวันที่เกิดอุบัติเหตุ ภาพ X-ray บอกได้เพียงความเสียหายเชิงโครงสร้างปัจจุบัน แต่ไม่สามารถพยากรณ์พฤติกรรมของเซลล์กระดูกในอนาคต ได้
- **กระบวนการตัดสินใจในปัจจุบัน** แพทย์ต้องอาศัยประสบการณ์ส่วนบุคคลประกอบกับสถิติทางระบาดวิทยาในการคาดเดาแนวโน้ม ซึ่งต้องใช้เวลาติดตามผล นาน 3-5 ปี หากเกิดความผิดพลาด กว่าจะตรวจพบโครงสร้างที่บิดเบี้ยว เด็กก็สูญเสียโอกาสในการแทรกแซงการรักษาตั้งแต่เนิ่นๆ ไปแล้ว

2)วัตถุประสงค์

- เพื่อสร้างโมเดล AI สนับสนุนการตัดสินใจทางคลินิก ในการทำนายแนวโน้มการเติบโตของกระดูก
- เพื่อลดข้อผิดพลาดในการประเมินผลระยะยาวจากภาพถ่ายรังสีและข้อมูลทางคลินิกเบื้องต้น

3)**ขอบเขตของโครงการ**

ตำแหน่งกายวิภาค โฟกัสเฉพาะกระดูกรอบข้อเข่า ได้แก่ ปลายกระดูกต้นขา และ ต้นกระดูกหน้าแข้ง

ตัวแปรข้อมูล

- **ภาพถ่ายรังสี** วิเคราะห์ระดับความเสียหายตามเกณฑ์ Salter-Harris Classification
- **ข้อมูลตัวแปรทางคลินิก** เพื่ออุดช่องโหว่ของการพยากรณ์ AI จะประเมินภาพ X-ray ร่วมกับปัจจัยทางชีววิทยาและชีวกลศาสตร์ ในสมการเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

1. อายุจริง และ อายุกระดูก

    - ยิ่งเด็กอายุน้อย ระยะเวลาที่กระดูกจะโตต่อยิ่งมีมาก ถ้าเส้นการเจริญเติบโตเสียหายเพียงเล็กน้อยในเด็กเล็ก ผลลัพธ์ในอีก 5 ปีข้างหน้าจะขยายวงกว้าง มากกว่าเด็กวัยรุ่นที่กระดูกใกล้หยุดโต

2. น้ำหนักตัว และ BMI

    - ตามกฎของ Hueter-Volkmann แรงกดทับที่มากเกินไปจะยับยั้งการเจริญเติบโตของกระดูก หากเด็กมีน้ำหนักตัวมากและกระดูกหักฝั่งด้านในข้อเข่า น้ำหนักที่กดทับจะเร่งให้กระดูกฝั่งนั้นหยุดโตเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดภาวะ ขาโก่ง ชัดเจนและรวดเร็วกว่าปกติ

3. ยา และ โรคประจำตัว

    - การใช้ยาบางกลุ่ม เช่น คอร์ติโคสเตียรอยด์ หรือภาวะทุพโภชนาการ ส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการ Osteogenesis ตัวแปรนี้ทำหน้าที่เป็น Negative Bias ที่ลดทอนประสิทธิภาพการซ่อมแซมตัวเองของร่างกาย

4) Solution

วางสถาปัตยกรรม Automated Clinical Data Pipeline ที่บูรณาการข้อมูลหลายมิติ โดยเน้นความเสถียรและการแสดงผลที่นำไปใช้ได้จริง

1. Data Pipeline & Synthetic Logic Generation

- ด้วยข้อจำกัดด้าน Data Privacy และระยะเวลาการเก็บข้อมูลที่ยาวนาน โครงการนี้จึงใช้ Open Data จากงานวิจัยทางการแพทย์ที่น่าเชื่อถือ
- กระบวนการ สร้าง Data Pipeline ดึงข้อมูลจำลองประวัติผู้ป่วย และภาพ X-ray ที่ทำการ Augmentation แล้ว จัดเก็บอย่างเป็นระบบผ่านระบบ Cloud เพื่อเตรียมป้อนเข้าสู่โมเดล

2. Multimodal AI Engine โมเดลถูกแบ่งการทำงานเป็น 2 Branches และนำมารวมกันที่ปลายทาง

A. **Branch A (Computer Vision)** โมเดลสกัดลักษณะเด่น จากภาพ X-ray เพื่อคำนวณองศาความเสียหาย แบ่งเกรดตาม Salter-Harris
B. **Branch B (Tabular Data Analytics)** นำตัวแปร Clinical Biases มาผ่านกระบวนการ Feature Scaling และคำนวณน้ำหนักความเสี่ยง

C. **Prediction Head** นำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมาConcatenation เพื่อคำนวณ Regression

3. Output & Clinical Dashboard

- ส่งออกผลลัพธ์ผ่าน Automated Workflow ตรงเข้าสู่ Interactive Data Dashboard ด้วย Power BI หรือ ถ้าเพื่อนๆๆมีไอเดียอยากทำรูปแบบเว็บหรือเว็บแอปก็ได้
- แพทย์สามารถดูหน้าปัดสรุปผลแบบเรียลไทม์ ซึ่งประกอบด้วย

  Risk Score Indicator ระดับความเสี่ยงในการเกิดความผิดปกติ

  Predictive Graph กราฟจำลองแนวโน้มความยาวขาที่อาจหดสั้นลงในอีก 1, 3 และ 5 ปีข้างหน้า

  Visual Aid การทำBounding Box หรือ Heatmap บริเวณ Growth Plate ที่มีความเสี่ยงสูงบนภาพ X-ray

5) ผลลัพธ์ที่คาดหวัง

1. โมเดลสามารถพยากรณ์ความเสี่ยงของความยาวขาที่ต่างกันในระดับมิลลิเมตร
2. โมเดลสามารถจัดกลุ่มความเสี่ยงทิศทางการโก่งตัวของกระดูก

6) คุณค่าและผลกระทบของนวัตกรรม

- **Clinical Impact** เปลี่ยนกระบวนทัศน์จากการ รอรักษาเมื่อเกิดปัญหา เป็นการพยากรณ์และป้องกันก่อนเกิดปัญหา
- **Economic Impact** ลดความจำเป็นในการผ่าตัดแก้ไขโครงสร้างกระดูก ในอนาคต ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ทรัพยากรห้องผ่าตัดมหาศาล
- **Scalability** ตัวโมเดลและ Data Pipeline นี้สามารถ Fine-tune เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นการเจริญเติบโตของข้อต่ออื่นๆ เช่น ข้อศอก ข้อมือ หรือข้อเท้าได้ในเฟสถัดไป