

## Review article

# Premature physal arrest : A complication following a growth plate injury

Nakorn Prakaivorakit, Noppachart Limpaphayom, Pathcarapa Osateerakun\*

*Department of Orthopaedics, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society, Bangkok, Thailand*

---

## Abstract

Physal injuries are a common complication in pediatric trauma. While most cases resolve without consequence, a significant complication that can arise is premature physal arrest, which results from the formation of a physal bridge crossing the physis. Although this condition is relatively uncommon, it presents complex management challenges and, if left untreated, can lead to long-term morbidity such as limb length discrepancy and angular deformity. The primary pathophysiological process involves the development of a physal bridge that disrupts normal bone growth. Early diagnosis is crucial and depends on careful patient follow-up after injury, supported by imaging modalities such as X-rays, CT scans, or MRI to assess the location and extent of the physal bridge. Management strategies are tailored according to the size of the bar, the patient's age, and the remaining growth potential. Treatment options include physal bar resection, material transplantation, and, in cases of established deformity, corrective procedures such as osteotomy or limb lengthening. Thus this review aims to synthesize the current literature regarding the pathophysiology, diagnosis, and management strategies for premature physal arrest following pediatric physal injuries.

**Keyword:** Physal injury, premature physal arrest, physal bridge resection.

---

\*Correspondence to: Pathcarapa Osateerakun, Department of Orthopaedics, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society, Bangkok 10330, Thailand.

E-mail: Phatcharapa.o@chula.ac.th

Received: July 20, 2025

Revised: December 9, 2025

Accepted: January 10, 2026

## บทความปริทัศน์

# การหยุดเจริญเติบโตของกระดูกก่อนวัยภายหลังจากการบาดเจ็บ ต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญของกระดูกเด็ก

นคร ประกายวรกิจ, ณพชาติ ลิ้มปพยอม, พัชรภาภา โอสธีรกุล\*

ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร

## บทคัดย่อ

การบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต เป็นการบาดเจ็บที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยเด็ก แม้ว่าส่วนใหญ่จะมีการพยากรณ์โรคที่ดีหลังการรักษา แต่สามารถเกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงคือการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัยอันควร ซึ่งเกิดจากการเชื่อมกระดูก ข้ามผ่านแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต ภาวะนี้แม้พบได้น้อย แต่มีความซับซ้อนในการรักษา และหากไม่ได้รับการแก้ไข อาจนำไปสู่ความผิดปกติระยะยาว เช่น ภาวะความยาวแขนขาสั้นไม่เท่ากัน หรือ ภาวะแขนขาผิดรูป พยาธิสรีรวิทยาของภาวะหยุดเจริญเติบโต คือการเกิดการเชื่อมกระดูกเชื่อว่าสาเหตุมาจากการบาดเจ็บต่อหลอดเลือดที่มาเลี้ยงแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต และกลไกการซ่อมแซมระดับเซลล์ที่ผิดปกติ ซึ่งเหนี่ยวรั้งการเจริญเติบโตตามปกติของกระดูก การรักษาตั้งแต่การบาดเจ็บตั้งต้น และการวินิจฉัยในระยะแรกมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยอาศัยการติดตามผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง หลังการบาดเจ็บ ร่วมกับการใช้ภาพถ่ายรังสี ภาพถ่ายตัดขวางคอมพิวเตอร์ หรือ ภาพถ่ายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อประเมินตำแหน่งและขนาดของการเชื่อมกระดูก แนวทางการรักษาในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับขนาดของการเชื่อมกระดูก อายุของผู้ป่วย และศักยภาพในการเจริญเติบโตที่เหลืออยู่ ได้แก่ การผ่าตัดเลาะการเชื่อมกระดูก ร่วมกับการใส่วัสดุกันการปลุกถ่ายกระดูกอ่อน ไปจนถึงการผ่าตัดแก้ไขความผิดปกติของกระดูก หรือการยึดกระดูก ในกรณีที่มีความผิดปกติของแขนขาเกิดขึ้นแล้ว

**คำสำคัญ :** การบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต, ภาวะหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัย, การเลาะการเชื่อมกระดูก.

**ความสำคัญและกลไกของการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย**

การบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (physis) ที่เกิดจากอุบัติเหตุพบได้ประมาณร้อยละ 15.0 – 30.0 <sup>(1, 2)</sup> โดยส่วนใหญ่แล้วจะสามารถหายได้เป็นปกติโดยไม่มีภาวะแทรกซ้อน อย่างไรก็ตามการบาดเจ็บกลุ่มนี้พบว่าส่วนน้อยประมาณร้อยละ 5 - 10 <sup>(3, 4)</sup> เกิดภาวะการหยุดเจริญเติบโตของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตก่อนวัย (premature physeal arrest) ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในแนวยาวของกระดูก เนื่องจากโครงสร้างของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตประกอบด้วยกลุ่มชั้นของเซลล์ที่ใช้ในการเจริญเติบโตของกระดูกทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนที่ตามมา ได้แก่ ความยาวแขนขาไม่เท่ากัน (limb length discrepancy) ภาวะผิดรูปเชิงมุม (angular deformity) ที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิต และมีความซับซ้อนในการรักษา ดังนั้นในการทบทวนวรรณกรรมฉบับนี้ได้ทำการศึกษาดังกลไกการเกิดของภาวะดังกล่าว การวินิจฉัย และคัดกรอง เพื่อให้สามารถตรวจพบภาวะดังกล่าวได้ตั้งแต่ระยะแรก และได้รวบรวมทางเลือกในการรักษาสำหรับผู้ป่วยกลุ่มนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการดูแลผู้ป่วยในทางคลินิก

**กายวิภาคของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต**

กระดูกของเด็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ diaphysis, metaphysis และ epiphysis และ

มีบริเวณของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (physis) อยู่ระหว่าง metaphysis และ epiphysis โดยจะประกอบด้วยเซลล์กระดูกอ่อนเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ สามารถแบ่งการเรียงตัวเหล่านี้ได้เป็น 4 ชั้น (Figure 1) ดังนี้ <sup>(5, 6)</sup>

1. Germinal zone ในบางครั้งถูกเรียกว่า resting หรือ reserve zone อยู่บริเวณ epiphysis เป็นที่อยู่ของเซลล์ต้นกำเนิด (stem cell) และมีการสร้างคอลลาเจนและ โปรตีโอไกลแคน ออกมาเป็นสารเนื้อพื้่นนอกเซลล์ (extracellular matrix, ECM) ในบริเวณดังกล่าวจะมีหลอดเลือด epiphyseal artery เข้ามาแต่จะไม่มีทำให้สารอาหารแก่เซลล์ในชั้นนี้ และหลอดเลือดดังกล่าวจะผ่านลึกเข้าไปสู่ชั้นถัดไปเพื่อให้สารอาหารแก่ proliferative zone โดยตรง และชั้น germinal zone จะได้รับสารอาหารโดยการแพร่เท่านั้น (diffusion)
2. Proliferative zone เป็นส่วนที่เซลล์ต้นกำเนิดเริ่มมีการแบ่งตัวเป็นเซลล์กระดูกอ่อนจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นและเพิ่มปริมาณของสารเนื้อพื้่นนอกเซลล์ (ECM) ในส่วนนี้จะมีส่วนปลายของ epiphyseal artery เข้ามาให้สารอาหารโดยตรง
3. Hypertrophic zone ในส่วนนี้จะไม่พบการแบ่งตัวของเซลล์กระดูกอ่อนแล้ว แต่จะพบการขยายขนาดของเซลล์ (hypertrophy) และยังมีการสะสมสารเนื้อพื้่นนอกเซลล์เพิ่มมากขึ้น

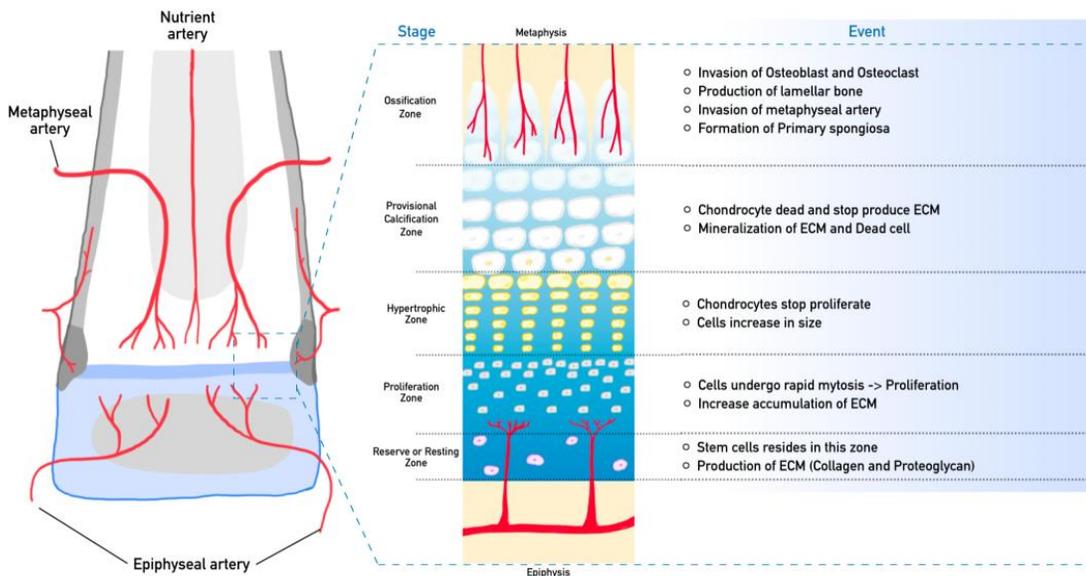


Figure 1. การเรียงตัวและคุณสมบัติของชั้นโครงสร้างเซลล์กระดูกอ่อนบริเวณแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต. <sup>(5)</sup>

4. Provisional calcification สารเนื้อฟั่นนอกเซลล์ เริ่มมีแคลเซียมและสารประกอบของกระดูกอื่น ๆ มาแทนที่ และจะแข็งตัวมากขึ้น ประกอบกับเซลล์กระดูกอ่อนจะตายลงและเริ่มมีหลอดเลือดจาก metaphysis แทรกเข้ามา ในขั้นนี้และมีเซลล์กระดูกเข้ามาทดแทน

แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเหล่านี้ไม่มีหลอดเลือดเข้ามาเลี้ยงโดยตรง<sup>(7)</sup> ยกเว้นบริเวณ proliferative zone ที่จะได้รับสารอาหารโดยตรงจาก epiphyseal artery แต่บริเวณอื่นจะได้รับสารอาหารผ่านทางารแพร่จากร่างแหหลอดเลือด epiphyseal artery, metaphyseal artery และ perichondrial artery แทนโดยเซลล์ต้นกำเนิด และเซลล์กระดูกอ่อนในแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่มีอยู่หนาแน่น บริเวณ germinal zone และ proliferative zone จะได้รับสารอาหารจากหลอดเลือด epiphyseal artery และในส่วนขั้น provisional calcification จะเริ่มมี metaphyseal artery แทรกตัวเข้ามาให้สารอาหารและแทนที่ส่วนเซลล์กระดูกอ่อนที่ตายเป็นลักษณะ primary spongiosum นอกจากนี้หลอดเลือดเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการซ่อมแซมของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตหลังการบาดเจ็บ ดังนั้นความเสียหายต่อหลอดเลือดเหล่านี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติของการเจริญเติบโต<sup>(8)</sup>

#### กลไกการเกิดการหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัยหลังจากการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต

ในการศึกษาเรื่องการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต มีการศึกษาทางด้านกายวิภาคและจุลกายวิภาคหลังการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต โดยมีการค้นพบลักษณะพยาธิสภาพของกระดูกที่เชื่อมระหว่าง epiphysis และ metaphysis ข้ามผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเรียกว่าการเชื่อมกระดูก หรือ physeal bridge<sup>(9, 10)</sup> ภายหลังมีการศึกษาหลังการบาดเจ็บโดยการนำภาพถ่ายทางรังสีวิทยาเข้ามาช่วยด้วยยังคงพบพยาธิสภาพนี้เช่นเดียวกัน<sup>(8)</sup> จากการศึกษาเหล่านี้สรุปได้ว่าการเชื่อมกระดูก (physeal bridge) เป็นสาเหตุหลักของการรบกวนการเจริญเติบโตหลังการบาดเจ็บ (growth disturbance) โดยการเชื่อมกระดูกเหล่านี้จะรบกวนการเจริญเติบโตโดยการเหนี่ยวรั้ง (tethering) การเจริญเติบโตในแนวยาวของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตไว้ โดยการเหนี่ยวรั้งนี้จะทำให้เกิดการรบกวนการเจริญเติบโตออกเป็น 3 ลักษณะ<sup>(11)</sup>

1. การหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัยแบบสมบูรณ์ (complete premature physeal arrest) เกิดในกลุ่มที่การเชื่อมกระดูก (physeal bridge) มีขนาดใหญ่ แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตไม่สามารถเอาชนะแรงที่การเชื่อมกระดูกยึดติดไว้ได้ ทำให้แขนขาข้างที่บาดเจ็บเติบโตน้อยกว่าข้างปกติ เกิดปัญหาความยาวแขนขาไม่เท่ากัน (limb length discrepancy หรือ LLD) ได้
2. การหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัยแบบบางส่วน (partial premature physeal arrest) ภายหลังการเกิดการเชื่อมกระดูกที่มีขนาดเล็ก ทำให้แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตบางส่วนยังสามารถทำงานได้ และมีบางส่วนที่หยุดทำงาน ทำให้การเจริญเติบโตทางแนวยาวเกิดขึ้นเพียงแคบางส่วนเท่านั้น ความผิดปกติเช่นนี้มักทำให้เกิดความผิดปกติของแขนขาเชิงมุม (angular deformity)
3. ไม่มีการรบกวนการเจริญเติบโต เกิดในกรณีที่มีการเชื่อมกระดูกมีขนาดเล็ก และไม่สามารถเหนี่ยวรั้งการเจริญเติบโตในแนวยาวไว้ได้ กลุ่มนี้การเจริญเติบโตของกระดูกจะกลับมาเป็นปกติ (spontaneous resolution)

นอกจากนี้ physeal bridge สามารถแบ่งรูปแบบได้ออกเป็น 3 แบบ<sup>(11)</sup> ได้แก่ peripheral, central and linear type ตามตำแหน่งของ physeal bridge ที่เกิดขึ้นบน physis (Figure 2) โดยชนิด peripheral นั้นมักจะทำให้เกิด angular deformity ไปทางด้านเดียวกับ physeal bridge เนื่องจากการเกิดการเจริญเติบโตของ physis ด้านที่ยังเป็นปกติอยู่เท่านั้น ในส่วน central type มักจะทำให้เกิดการหยุดการเจริญเติบโตทั้งหมด (global growth disturbance) เกิดเป็น limb shortening มากกว่า และ linear type เกิดการเชื่อมกระดูกชนิด central และ peripheral type รวมกันอาจทำให้เกิดการรบกวนการเจริญเติบโตได้ทั้งแบบ LLD หรือ angular deformity

กลไกที่ทำให้เกิดการเชื่อมกระดูก (physeal bridge) ยังเป็นประเด็นที่ถกเถียง แต่ทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือการบาดเจ็บต่อหลอดเลือดที่มาเลี้ยงแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (blood supply injury) โดยงานศึกษาที่เป็นข้อสนับสนุนทฤษฎีนี้ของ Salter RB. และ Harris WR.<sup>(8)</sup> พบว่าการบาดเจ็บต่อหลอดเลือดบริเวณ epiphyseal artery และ metaphyseal artery จะมีความเสี่ยงให้เกิดการรบกวนต่อการเจริญเติบโตเห็นได้จากการแบ่งความรุนแรงของการบาดเจ็บ โดยจัดแบ่งความรุนแรงมากขึ้นหากมีการบาดเจ็บต่อ metaphyseal หรือ epiphyseal artery ตามลำดับดัง

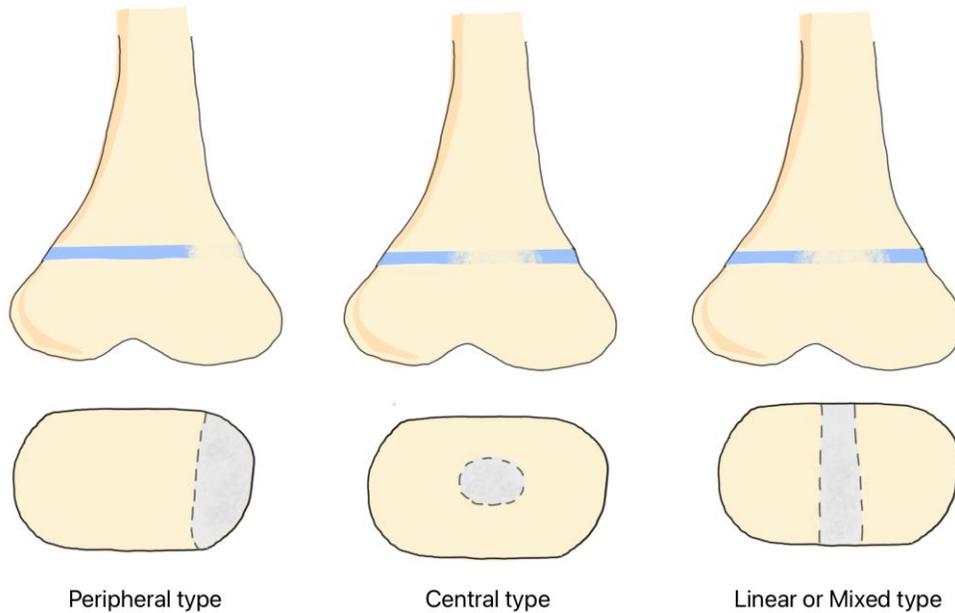


Figure 2. การแบ่งจำแนกการเกิดการเชื่อมกระดูกตามตำแหน่ง. (20)

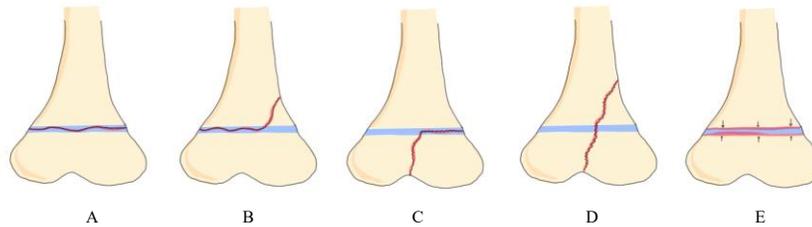


Figure 3. การแบ่งการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (Physal injury) โดย Salter RB. และ Harris WR. (A) รอยแยกการบาดเจ็บจะผ่านชั้น physis physis เพียงบริเวณเดียว; (B) รอยแยกการบาดเจ็บมีการผ่านไปยัง metaphysis ร่วมด้วย; (C) รอยแยกการบาดเจ็บจะผ่านเข้าไปสู่บริเวณ epiphysis; (D) รอยแยกการบาดเจ็บจะผ่านทั้งชั้น metaphysis และ epiphysis; (E) การบาดเจ็บเกิดจากแรงบีบอัดสู่บริเวณ Physis โดยอาจไม่เห็นรอยแยกชัดเจน (8)

Figure 3 เนื่องจากบริเวณ epiphysis นั้นเป็นบริเวณที่อยู่ของ epiphyseal artery ที่มีหน้าที่ให้สารอาหารแก่เซลล์ของ physis โดยเฉพาะเซลล์ต้นกำเนิด (germinal cell) ที่มักจะอยู่ในชั้น resting ที่ใกล้กับฝั่ง metaphysis

อย่างไรก็ตาม Salter RB. และ Harris WR. ได้ตั้งข้อสังเกตว่าปัจจัยด้านตำแหน่งของการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตตามความรุนแรง ไม่สามารถบ่งบอกการพยากรณ์โรคได้ทั้งหมด ยังมีปัจจัยอื่น เช่น ตำแหน่งที่หัก อายุขณะบาดเจ็บ ความรุนแรงของการบาดเจ็บ เป็นต้น (8) ทำให้มีความพยายามในการเสนอทฤษฎีที่ใช้อธิบายสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการเชื่อมกระดูกได้ เช่น การเกิดการผสมกันของหลอดเลือดบริเวณ epiphysis และ metaphysis, การมีเยื่อหุ้มกระดูกขวางกัน (periosteum interposition) ในบริเวณที่มีการบาดเจ็บและเกิดการเชื่อมกระดูกแทนที่เยื่อหุ้มกระดูก (12, 13)

ในปี พ.ศ. 2525 Shapiro F. (10) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมถึงการศึกษาทฤษฎีที่ทำให้เกิด physal bridge จากหลากหลายสาเหตุ และได้นำเสนอออกเป็น การจำแนกการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตแบบ pathophysiologic classification (Figure 4) ถึงแม้ว่าการจำแนกการบาดเจ็บดังกล่าวจะไม่น่าเป็นที่นิยมและต้องใช้ภาพถ่ายรังสีขั้นสูง เช่น magnetic resonance imaging (MRI) ในการจำแนก แต่ก็ทำให้เข้าใจกลไกการเกิดของ physal bridge มากขึ้น โดยจากการศึกษานี้ยังคงให้ความสำคัญต่อการบาดเจ็บของหลอดเลือดที่ มาเล็ ยงแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเช่นเดียวกับการศึกษาของ Salter RB. และ Harris WR. แต่ได้รวบรวมเอาทฤษฎีอื่น ๆ เข้ามาประกอบและแสดงออกมาตามการจำแนกดังนี้

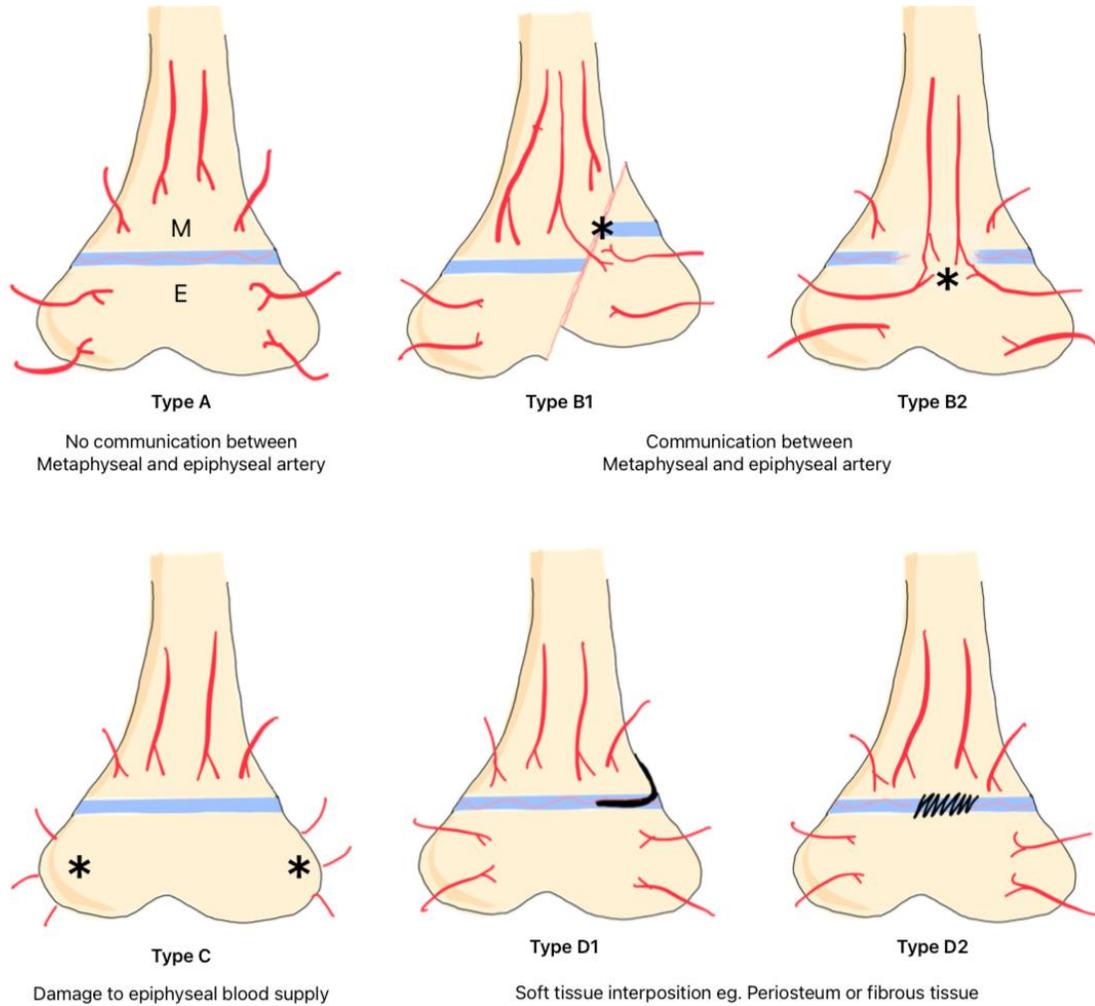


Figure 4. การจัดแบ่งการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตตามการจำแนกทางพยาธิสรีรวิทยา<sup>(10)</sup>

Type A คือการบาดเจ็บที่ไม่มีผลต่อหลอดเลือดที่มาหล่อเลี้ยง

Type B1, B2 คือการผสมกันของ epiphyseal และ metaphyseal artery

Type C คือการบาดเจ็บต่อหลอดเลือด โดยเฉพาะบริเวณ epiphysis มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Salter RB. และ Harris HR.

Type D คือการขวางกั้นของเนื้อเยื่ออื่นในบริเวณที่บาดเจ็บเช่น เยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) หรือ เนื้อเยื่อพังผืด (fibrous tissue)

นอกจากปัจจัยทางด้านกายวิภาค ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ในปัจจุบันมีการศึกษาในสัตว์ทดลองถึงกลไก

ตอบสนองระดับเซลล์ (cellular response) ในระหว่างการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต<sup>(14 - 16)</sup> ทำให้เข้าใจถึงกลไกการเกิด physeal bridge ด้วยเช่นกัน ซึ่งหลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตจะแบ่งระยะการบาดเจ็บเป็น 4 ระยะ (Figure 5) ได้แก่

1. Inflammatory phase ที่มีการหลั่งไซโตไคน์ เช่น transforming growth factor beta (TGF- $\beta$ ), tumor necrosis factor alpha (TNF- $\alpha$ ) รวมทั้งเกิดการรวมตัวกันของเซลล์เม็ดเลือดขาว neutrophils และ macrophage ในบริเวณที่บาดเจ็บ รวมถึงเกิดการสะสมของ hematoma ซึ่งกลไกเหล่านี้จะกระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมของกระดูกอ่อน แต่ยังมีเซลล์ osteoblast ที่เคลื่อนเข้ามาในบริเวณนี้เช่นกัน ทำให้เป็นจุดตั้งต้นของการเกิด physeal bridge

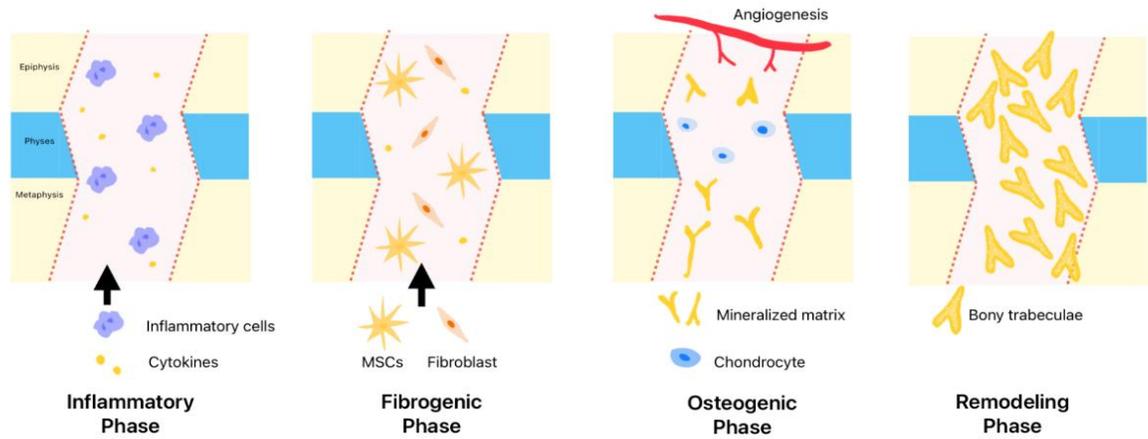


Figure 5. กลไกการเชื่อมกระดูกจากมุมมองระดับเซลล์ เมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างไซโตไคน์และบทบาทของเซลล์ต่าง ๆ ที่เคลื่อนเข้ามาบริเวณที่บาดเจ็บในช่วงต่าง ๆ จะทำให้เกิดการสร้างกระดูกแทนที่กระดูกอ่อน เกิดเป็นการเชื่อมกระดูกขึ้นมาแทนที่แผ่นศูนย์การเจริญเติบโต<sup>(16)</sup>

2. Fibrogenic phase เซลล์ fibroblast และ mesenchymal stem cells (MSCs) เคลื่อนที่เข้ามาบริเวณที่บาดเจ็บ มีการสร้าง fibrous matrix เพื่อช่วยในการซ่อมแซมกระดูกอ่อน แต่ในบางสถานการณ์ fibrous matrix ที่มากเกินไปทำให้เกิดการสร้างกระดูกมากกว่าการซ่อมแซมกระดูกอ่อน ผลลัพธ์เกิดเป็น physal bridge ขึ้นมาแทนที่ได้

3. Osteogenic phase ในช่วงนี้ MSCs ที่เข้ามาจะเปลี่ยนตัวเองให้เป็น osteoblast และ chondrocyte แต่ในบางสถานการณ์ที่มีความไม่สมดุลของการส่งสัญญาณระดับเซลล์ เกิดการหลั่งสารเช่น bone morphogenetic protein (BMP) ที่ไม่สมดุลเกิดภาวะการก่อสร้างกระดูกมากกว่า การสร้างกระดูกอ่อนก็ส่งผลทำให้เกิด Physal bridge ได้เช่นกัน นอกจากนี้ในช่วงนี้จะเกิดการสร้างหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) ที่นำสารอาหารเข้ามาสู่ physis แต่ก็มี การนำเซลล์ osteoblast และ osteoblast เข้ามาซึ่งนำไปสู่การเกิด physal bridge ได้เช่นกัน

4. Remodeling phase ในช่วงนี้หากการซ่อมแซมโครงสร้างกระดูกอ่อนสำเร็จจะเกิดการเรียงตัวของชั้นเซลล์กระดูกอ่อนในแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเพื่อให้อีกกลับไปทำงานได้ปกติ แต่หากเกิดความไม่สมดุลมีการสร้างกระดูก (osteogenesis) เนื้อกระดูกเหล่านี้ก็เจริญเติบโตเป็นเนื้อเยื่อกระดูกใหม่ และกลายเป็นการเชื่อมกระดูก (physal bridge) ได้ในระยะนี้

ดังนั้นการก่อตัวของ physal bridge มีกลไก cellular response ที่มีการนำเซลล์ต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้งมีสารไซโตไคน์ ต่าง ๆ เช่น TGF- $\beta$ , TNF- $\alpha$  หรือ BMP เป็นต้นนี้เข้ามากระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ

กระดูกอ่อนแต่ก็กระตุ้นการสร้างกระดูกด้วยเช่นกัน ทำให้เกิดเป็น physal bridge ได้ จากการศึกษากลไกทางระดับเซลล์เหล่านี้แล้ว หากมีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ เช่น การใช้เซลล์ต้นกำเนิดหรือไซโตไคน์อย่างเหมาะสม ก็อาจจะกระตุ้นการฟื้นฟูแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตและลดการเกิดการเชื่อมกระดูก (physal bridge) ลงได้<sup>(14 - 16)</sup>

นอกเหนือจาก physal bridge ที่มีลักษณะเป็นกระดูก (osseous structure) แล้ว ยังมีการพบ การเชื่อมกระดูกชนิด atypical physal bridge หรือ forme fruste<sup>(11)</sup> โดยจะแตกต่างกับ physal bridge ชนิดปกติตรงที่ atypical physal bridge จะประกอบด้วย physal cartilage ที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบและมักจะเกิดขึ้นชั่วคราว เกิดการเหนี่ยวนำการเจริญเติบโตเพียงแค่ชั่วคราวเท่านั้น ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะสามารถกลับไปสู่การเจริญเติบโตปกติได้ อย่างไรก็ตาม atypical physal bridge พบเจอได้น้อยกว่า typical physal bridge มาก และยังไม่มีการอธิบายการเกิดได้แน่ชัด

**การจัดแบ่งชนิดของการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต**

การพยายามจัดแบ่งลักษณะของการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตมีมาอย่างต่อเนื่องเพื่อเป้าหมายหลักที่จะแนะนำแนวทางการรักษา รวมถึงจัดลำดับการพยากรณ์โรค อย่างไรก็ตามยังไม่มี การจัดจำแนกใดที่ใช้พยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ แม้แต่งานศึกษาของ Salter RB. และ Harris WR. ที่ได้รับความนิยมเองนั้น ผู้แต่งเองก็ได้กล่าวว่าไม่สามารถใช้การจัดจำแนก

เพียงอย่างเดียวในการพยากรณ์การรบกวนการเจริญเติบโตได้<sup>(8)</sup> นอกจากนี้ในงานศึกษาด้านระดับวิทยาของ Peterson HA.<sup>(3)</sup> ที่ศึกษากลุ่มประชากรเด็กที่บาดเจ็บต่อ physis เฉพาะในเขต Olmsted เพียงที่เดียวได้นำเสนอการจัดแบ่งแบบใหม่ที่อิงตามหลักฐานทางระดับวิทยาในการพยากรณ์ภาวะแทรกซ้อน โดยเฉพาะการรบกวนการเจริญเติบโต ก็ยังต้องอาศัยปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ในการร่วมพยากรณ์การรบกวนการเจริญเติบโต ดังนั้นการดูแลผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตยังต้องอาศัยการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วยเสมอ

### ปัจจัยเสี่ยงต่อการหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัยหลังการบาดเจ็บ

เนื่องจากการใช้การจัดแบ่งความรุนแรงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นปัจจัยการพยากรณ์โรคได้ การพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมในการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนจะสามารถช่วยให้สามารถพยากรณ์โรคได้แม่นยำขึ้น โดยปัจจัยเสี่ยงต่อการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัยมีดังนี้

#### 1. ความรุนแรงของการบาดเจ็บ

การบาดเจ็บจากสาเหตุรุนแรง (high energy trauma), การบาดเจ็บแบบเปิดที่มีบาดแผล (open fracture) รวมถึงการที่มีแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตหายไปจากการบาดเจ็บที่มีแผลเปิด นอกจากนี้ระยะที่กระดูกเคลื่อนหลุด (degree of displacement) ยังเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญต่อการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัยหลังการบาดเจ็บ<sup>(17)</sup>

#### 2. อายุ

อายุเป็นตัวบ่งชี้การเจริญเติบโตที่เหลืออยู่ของกระดูกในเด็ก (growth remaining) เช่นเด็กโตวัย 13 - 15 ปีที่ใกล้เจริญเติบโตเต็มวัยแล้วนั้นจะมีการเจริญเติบโตเหลือเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการบาดเจ็บในเด็กโตถึงแม้จะมีภาวะหยุดโตก่อนวัยอาจไม่ได้ทำให้เกิดปัญหาหนัก ในทางตรงกันข้ามเด็กที่มีอายุน้อยกว่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าและมีการเจริญเติบโตที่เหลือมากกว่าเด็กโตทำให้การบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตในเด็กอายุน้อยมีโอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อนมากกว่าเด็กโต อย่างไรก็ตามการศึกษาด้านระดับวิทยาพบว่าเด็กวัยโต (13 - 15 ปี) นั้นพบภาวะ premature physeal arrest หลังการบาดเจ็บต่อ physis ได้มากกว่าในผู้ป่วยอายุน้อย<sup>(3, 4)</sup>

### 3. ตำแหน่งของการบาดเจ็บ

เนื่องจากแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตในแต่ละตำแหน่งของร่างกายมีผลต่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน เช่นในด้านความสูง แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่บริเวณส่วนปลายของกระดูกต้นขา (distal femur physis) และ ส่วนต้นของกระดูกหน้าแข้ง (proximal tibia physis) เป็นบริเวณที่ส่งผลกระทบต่อความสูงมากที่สุด ที่ส่งผลกระทบต่อส่วนสูงถึงร้อยละ 30 - 35<sup>(11)</sup> ดังนั้นการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตในตำแหน่งดังกล่าวที่สำคัญต่อการเพิ่มความสูงมักจะส่งผลกระทบต่อภาวะแทรกซ้อนในอนาคตมากกว่า นอกจากภาวะแทรกซ้อนที่มีมากกว่าแล้วนั้น การบาดเจ็บบริเวณส่วนปลายกระดูกหน้าแข้ง (distal tibia) และ ส่วนปลายกระดูกต้นขา (distal femur) เป็นบริเวณที่พบการหยุดเจริญเติบโต (premature physeal arrest) ได้มากที่สุดหลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต<sup>(4, 11)</sup>

### 4. ชนิดของการบาดเจ็บ

ถึงแม้การใช้การจัดจำแนกการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้พยากรณ์การหยุดเจริญเติบโตก่อนวัยได้ แต่การใช้การจัดแบ่งนี้ร่วมกับปัจจัยข้างต้นทำให้สามารถพยากรณ์การเกิด Premature physeal arrest ได้แม่นยำมากขึ้น ในปัจจุบันการใช้การจัดจำแนกของ Salter RB. และ Harris HR. เป็นที่ยอมรับและนิยม โดยทั่วไป Salter-Harris type I และ II ถือว่าเป็นกลุ่มเสี่ยงน้อย ส่วน Type III และ IV ถือว่าเป็นกลุ่มเสี่ยงสูง

นอกจากนี้ได้มีงานศึกษาที่จัดแบ่งการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น เช่น Peterson HA. ปี พ.ศ. 2537<sup>(3)</sup> ที่ได้รวบรวมการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต โดยมีข้อได้เปรียบในการเก็บข้อมูลประชากรในเขต Olmsted ของรัฐ Minnesota เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ในตลอดช่วงเวลา 10 ปี และเรียบเรียงการจัดจำแนกใหม่ (Figure 6) ตามความรุนแรงที่ผู้เขียนได้ติดตามการรักษาในตลอดช่วงเวลาดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะยังไม่ได้เป็นที่นิยมเท่าการแบ่งของ Salter และ Harris ก็ตาม

### 5. การรักษา

การจัดกระดูกให้เข้าที่ (closed reduction) ยังเป็นการรักษาหลักของการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต โดยการ closed reduction นั้นควรทำทันที เนื่องจากการยืดเวลาออกไปนั้นอาจเกิดการขวางกั้นของเนื้อเยื่ออื่นเช่น ฟังซีด (fibrous tissue) หรือกระดูกอ่อนใหม่ (callus)

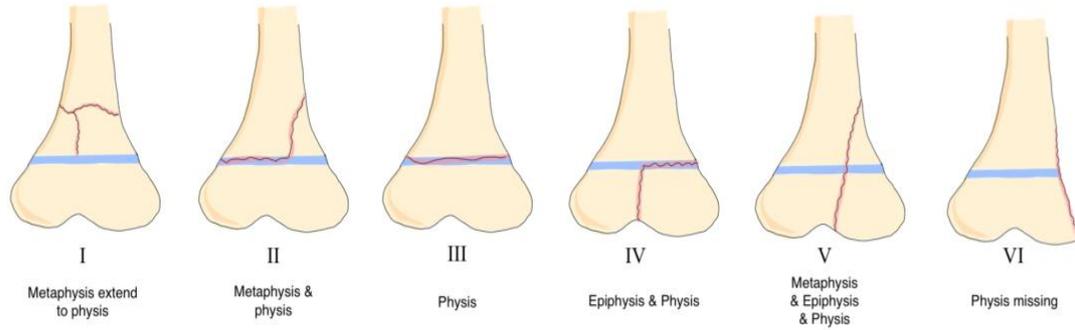


Figure 6. การจำแนกการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตของ Peterson HA. <sup>(11)</sup>

ที่ขัดขวางการจัดกระดูกให้ได้ตรงกับลักษณะทางกายวิภาคเดิม (anatomic reduction) และเนื้อเยื่อเหล่านี้ที่มาขวางบริเวณ การบาดเจ็บจะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย หากไม่ได้เอาเนื้อเยื่อเหล่านั้นออก <sup>(13)</sup> ดังนั้นหากไม่สามารถ ทำการจัดกระดูกแบบปิดได้แนะนำให้ทำการผ่าตัดเปิดเพื่อ จัดกระดูก (open reduction) ร่วมกับการตามกระดูก (fixation) ปัจจุบันระยะเวลาที่ต้องได้รับการจัดกระดูกยังไม่มี การศึกษาที่ชัดเจน แต่แนะนำให้จัดกระดูกให้เร็วที่สุดเพื่อ ลดโอกาสเกิดการเชื่อมกระดูก <sup>(7)</sup>

สำหรับการผ่าตัดเปิดและตามกระดูกนั้นมีการใช้ อุปกรณ์สำหรับการตามกระดูก เช่น การใช้หมุดปัก (Kirschner wire pinning) หรือการใช้ สกรูเกลียว (screw) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูก ทางผู้รักษาควรให้ความระมัดระวัง ต่อการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเป็นพิเศษจากการใช้ อุปกรณ์เหล่านี้ให้ผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต หรือถ้ามีความจำเป็นต้องผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต แนะนำให้ใช้หมุดที่มีปลายเรียบ (smooth-tip pinning) และไม่แนะนำให้ใช้สกรูเกลียว (screw) นอกจากนี้ควรนำ อุปกรณ์ที่ผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตออกให้เร็วที่สุด หลังการรักษาเสร็จสมบูรณ์ มีการศึกษาการใช้สกรูอุปกรณ์ ตามกระดูกชนิดย่อยสลายได้ (bioabsorbable screw) ที่ให้ผลลัพธ์เทียบเคียงกับการผ่าตัดโดยใช้ อุปกรณ์ตาม แบบโลหะ <sup>(18)</sup> และมีการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าสามารถใช้สกรูย่อยสลายได้โดยผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (transphyseal bioabsorbable screw) โดยไม่พบการหยุด เจริญเติบโตก่อนวัย <sup>(19)</sup>

### การดูแลรักษาภาวะหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย

#### การประเมินการหยุดของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตก่อนวัย

การตรวจติดตามหลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์ การเจริญเติบโต เป็นการตรวจติดตามตั้งแต่เกิดการ บาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตจนกระทั่งแผ่นศูนย์ การเจริญเติบโตมีการฟื้นฟูตัวเอง และติดตามต่อเพื่อเฝ้า ระวังภาวะการหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัย นอกจากนี้ เมื่ออ้างอิงจากปัจจัยเสี่ยงที่ได้กล่าวมาในหัวข้อก่อนหน้า ในผู้ป่วยที่ความเสี่ยงสูงนั้นต้องได้รับการติดตามอย่างใกล้ชิด โดยการใช้ภาพถ่ายทางรังสีเป็นหลักถึงแม้ว่าปัจจุบัน จะยังไม่มีแนวทางเวชปฏิบัติ แต่บางการศึกษาแนะนำให้ ตรวจติดตามจนถึงพบการปิดของแผ่นศูนย์การเจริญ เติบโตตามวัย (physeal closure) แต่ถ้าในผู้ป่วยที่อายุน้อย ที่ยังห่างจากการเจริญเติบโตเต็มวัย อาจตรวจติดตาม 2 - 3 ปีหากไม่พบการเปลี่ยนแปลงแล้ว ทั้งนี้การเชื่อม กระดูก (physeal bridge) อาจพบได้ตั้งแต่ในช่วง 1 - 2 เดือน หลังการบาดเจ็บ <sup>(20)</sup> แต่การรบกวนการเจริญเติบโตอาจพบ ได้ถึงช่วง 2 - 3 ปีหลังการบาดเจ็บ <sup>(4, 11, 21)</sup> ดังนั้นหากพบการเชื่อมกระดูกเกิดขึ้นก็อาจไม่พบการ รบกวนการเจริญเติบโตในผู้ป่วยทุกราย ดังนั้นหลังจก การพบลักษณะของการเชื่อมกระดูกอาจต้องให้ความสำคัญ ในการตรวจติดตามการรบกวนการเจริญเติบโตต่อไป

## การส่งตรวจทางรังสีวิทยา (imaging)

1. **ภาพถ่ายรังสีพื้นฐาน (plain radiograph)** <sup>(20, 22, 23)</sup> หลังจากทำการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต ได้ฟื้นฟูตัวเองแล้ว การใช้ภาพถ่ายรังสีในการเฝ้าสังเกตการก่อตัวของการเชื่อมกระดูก (physeal bridge) และ ช่วยตรวจหาการรบกวนต่อการเจริญเติบโต (growth disturbance) ได้ตั้งแต่ในระยะเริ่มต้นก่อนที่จะเกิดการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย (premature physeal arrest) โดยลักษณะที่แสดงในภาพถ่ายรังสีพื้นฐานมีทั้ง ลักษณะโดยตรง (direct) และลักษณะโดยอ้อม (indirect) ดังนี้

1.1 **ลักษณะโดยตรง (direct findings)** คือ การพบลักษณะของการเชื่อมกระดูกโดยตรง โดยการเชื่อมที่มีขนาดใหญ่จะมีลักษณะของการเป็นกระดูก (ossification) เห็นเป็นลักษณะร่างแหของกระดูก (trabecular bone pattern) ที่พาดผ่านระหว่าง Epiphysis และ metaphysis แต่ถ้าการเชื่อมมีขนาดเล็กอาจเป็นเพียงบริเวณที่มีลักษณะกระดูกหนาที่บวม (sclerotic foci) ในบริเวณ Physis ที่มีขนาดเล็กอาจทำให้การวินิจฉัยเป็นไปได้ยาก ดังนั้น การตรวจหาการรบกวนการเจริญเติบโตโดยลักษณะโดยอ้อม จะช่วยให้สามารถตรวจพบการรบกวนการเจริญเติบโตระยะเริ่มต้นได้ดีมากขึ้น

1.2 **ลักษณะโดยอ้อม (indirect findings)** คือ การพบลักษณะของการรบกวนการเจริญเติบโต (growth disturbance) ที่แสดงออกมาแล้วโดยอาจจะพบหรือไม่พบการเชื่อมกระดูก physeal bridge ร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้ โดยจะพบลักษณะดังนี้

- พบลักษณะของการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ (deformity) จากการที่ถูก physeal bridge หนี้ยวนำ เช่น พบความยาวแขนขาไม่เท่ากัน (limb length discrepancy) หรือมีความผิดปกติเชิงมุม (angular deformity)

- **เส้นการฟื้นฟูการเจริญเติบโต (growth recovery line หรือ Park-Harris line)** คือ การเกิดรอยที่กระดูกภายหลังที่เกิดการบาดเจ็บของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต คาดว่าเกิดจากการชะลอของการเจริญเติบโตชั่วคราวในช่วงบาดเจ็บ (Figure 7) โดยเส้นนี้จะวางตัวขนานกับ physis เดิม ดังนั้นหากเกิด complete physeal arrest อาจทำให้เราไม่พบ Park-Harris line หลังจากตรวจติดตามไปแล้วได้ นอกจากนี้ หากเกิดความผิดปกติเชิงมุม (angular deformity) จะทำให้แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่โดนหนี้ยวนำด้วย physeal bridge เจริญเติบโตผิดไปจากแนวเดิม ทำให้จะพบลักษณะ Park-Harris line ที่ไม่ขนานกับ physis นั่นเอง

2. **ภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computed tomography - CT scan)** ใช้ในการช่วยวินิจฉัยการเชื่อมกระดูกที่มีขนาดเล็กไม่สามารถเห็นได้ชัดในภาพถ่ายรังสีพื้นฐาน โดยจะเห็นเป็นลักษณะจุดของกระดูกที่มีการหนาตัวขึ้น (focal sclerotic area) อาจเห็นลักษณะของร่างแหกระดูก (trabecular bone pattern) อย่างไรก็ตามการส่งตรวจวิธีนี้ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากความกังวลของรังสี (ionized radiation) และไม่สามารถเห็นลักษณะของเนื้อเยื่ออ่อนโดยรอบของ physis ได้ เช่น พังผืด (fibrous tethering)

3. **ภาพถ่ายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic resonance imaging - MRI)** เป็นเทคนิคการถ่ายภาพที่เหมาะสมในการประเมินการเชื่อมกระดูก เนื่องจากสามารถหาตำแหน่งของ physeal bridge ได้อย่างแม่นยำเหมือน CT scan แล้ว ยังมีข้อได้เปรียบที่สามารถประเมินเนื้อเยื่ออ่อนโดยรอบได้และยังไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับรังสี (ionized radiation) แต่ข้อเสียของ MRI คือต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพในเครื่องเป็นเวลานาน ดังนั้นผู้ป่วยที่มีอายุน้อยอาจไม่สามารถให้ความร่วมมือในการทำ MRI ได้ หรืออาจต้องมีการให้ยาสลบระหว่างการถ่ายภาพ ปัจจุบันใช้ MRI สำหรับการประเมินขนาดของการเชื่อมกระดูก (physeal bridge mapping)

มีการศึกษาการทำ MRI ในระยะแรกเริ่มหลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต Smith BG. และคณะ <sup>(24)</sup> ได้ทำ MRI ให้ผู้ป่วย physeal injury ในระยะแรก 3 - 17 สัปดาห์หลังบาดเจ็บ ซึ่งตรวจพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงต่อตัวแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตไปเป็นการเชื่อมกระดูกตั้งแต่วัยแรกแต่ทางผู้เขียนตั้งข้อสังเกตว่าการแปลผลนี้ไม่สามารถแนะนำแนวทางการรักษาได้ เนื่องจากทราบกันดีว่าการเกิดการเชื่อมกระดูกไม่อาจทำให้เกิดการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัยในผู้ป่วยทุกรายจากหลักฐานนี้จึงยังไม่แนะนำให้ใช้ MRI ในช่วงแรกเริ่มหลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต

4. **การตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (bone scintigraphy)** การส่งตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (nuclear medicine) จะเป็นการตรวจวัดการทำงานของ Physis (Physeal activity) แทนที่การตรวจทางรังสีวิทยาอื่น ๆ เช่น CT scan หรือ MRI ที่จะตรวจวินิจฉัยจากโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomical structure) อย่างไรก็ตามในการตรวจแบบดั้งเดิมจะใช้สารเภสัชรังสีชนิดสารประกอบฟอสเฟต (Technetium-99m - Methylidiphosphonate หรือ 99mTc-MDP) ได้ภาพออกมาเป็น 2 มิติ เท่านั้น ทำให้

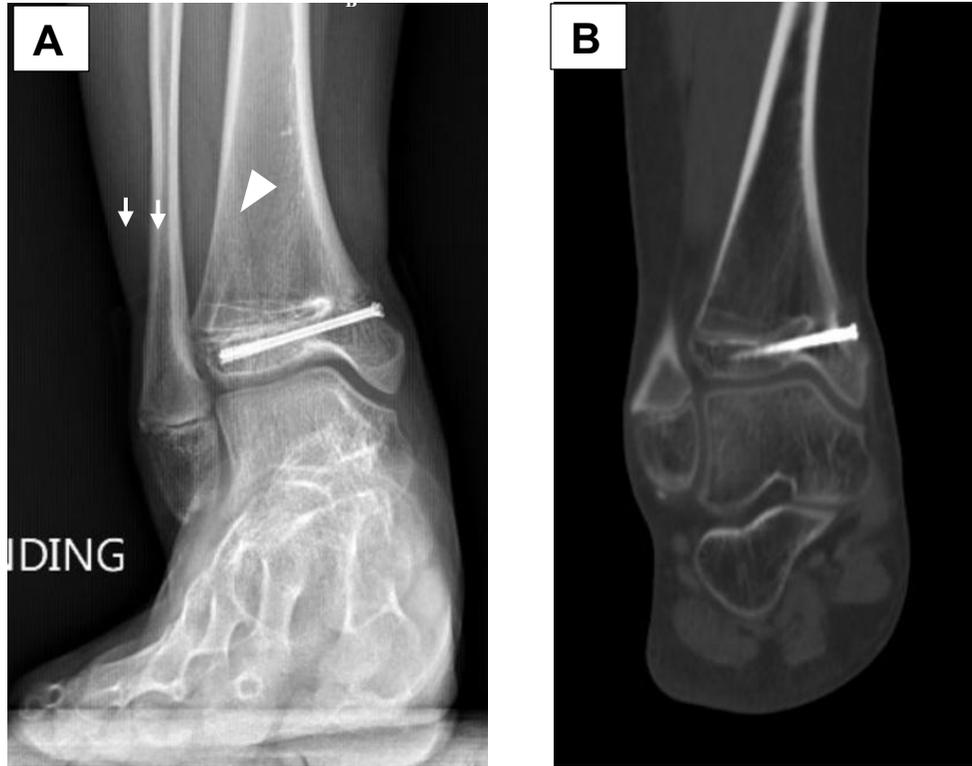


Figure 7. (A) ภาพถ่ายทางรังสีหลังผ่าตัด หลังจากได้รับการรักษาภาวะ physeal injury (Salter Harris type IV) พบลักษณะ varus deformity ร่วมกับลักษณะของข้อเท้า และ physis ที่มีการเบี่ยงเบนออกจาก Park-Harris line (ลูกศร) นอกจากนี้ยังพบลักษณะ trabecular bone density บริเวณ medial side ของ ankle (หัวลูกศร) เข้าได้กับภาวะ Physeal bridge; (B) ภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT-scan) ในผู้ป่วยรายเดียวกัน พบ Physeal bridge ในบริเวณดังกล่าว ช่วยยืนยันการวินิจฉัย

การใช้ประโยชน์จากการตรวจชนิดนี้ มีอย่างจำกัดเมื่อเทียบกับ CT scan หรือ MRI ต่อมามีการใช้ Single-photon emission computed tomography (SPECT) ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการในการวินิจฉัยลักษณะของ physeal activity ออกมาเป็นภาพตัดขวาง และเมื่อใช้เทคนิคดังกล่าวร่วมกับ conventional CT scan ได้เป็นเทคนิค SPECT/CT ที่สามารถรวมข้อดีของการวัดการทำงาน physeal activity ร่วมกับข้อดีของการศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาคของ CT scan ออกมาเป็นภาพตัดขวางทำให้สามารถระบุตำแหน่ง physeal bridge ได้<sup>(25)</sup>

#### การประเมินอายุกระดูก (skeletal age assessment)

การประเมินอายุกระดูกมีความสำคัญในการใช้พยากรณ์และประเมินความสามารถในการเจริญเติบโตที่ยังเหลืออยู่ (growth remaining) ของผู้ป่วยรายนั้นเพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกการรักษา โดยนิยมใช้ภาพถ่ายรังสีของมือและข้อมือซ้าย เพื่อเทียบกับประมวลภาพตามอายุของ Greulich-Pyle ในการเทียบอายุของกระดูก (skeletal age)

#### การรักษาการหยุดของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตก่อนวัย

##### เป้าหมายของการรักษาและเทคนิคการรักษา

##### 1. การฟื้นฟูการเจริญเติบโต (growth restoration)

โดยวิธีเหล่านี้เป็นการพยายามทำให้บริเวณแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่เกิด physeal bridge ขึ้นแล้วสามารถกลับมาเจริญเติบโตได้ให้ใกล้เคียงปกติให้ได้มากที่สุด ซึ่งการรักษาเหล่านี้นิยมทำในผู้ป่วยที่ยังเหลือศักยภาพการเติบโตที่มาก โดยส่วนใหญ่ควรจะมีมากกว่า 2 ปี<sup>(20, 26, 27)</sup> ในปัจจุบันมีวิธีการในการฟื้นฟูการเจริญเติบโตที่นิยมใช้ดังนี้

- a. การตัดการเชื่อมกระดูกออกพร้อมกับใส่วัสดุแทนที่ (physeal bridge resection with Material interposition)
- b. การปลูกถ่ายกระดูกอ่อน (transplantation of physeal cartilage)

## 2. การจัดการความผิดปกติ (deformity correction)

เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว หรือ คาดว่าจะมีความผิดปกติเกิดขึ้น โดยเฉพาะในผู้ป่วยอายุน้อยที่ยังมีศักยภาพในการเติบโตของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่เหลืออยู่ จะถูก physeal bridge หนึ่งหรือทั้งแบบ complete physeal arrest ก็จะมี limb length discrepancy และ partial physeal arrest ก็จะมี angular deformity โดยหากผู้ป่วยยังเหลือศักยภาพการเติบโตที่มากก็มักจะเกิดขนาดของความผิดปกติได้มากกว่าหากตรวจติดตามไปโดยไม่ได้รับการรักษา ดังนั้นการรักษาโดยการจัดการความผิดปกติตั้งแต่แรกมักจะได้ดี หรือในผู้ป่วยบางกลุ่มที่รักษาโดยวิธีการฟื้นฟูการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียวเมื่อติดตามไปเกิดความผิดปกติขึ้นก็สามารถทำการรักษาด้วยวิธีการจัดการความผิดปกติอีกครั้ง ซึ่งการรักษาภาวะความผิดปกติเหล่านี้สามารถทำได้ตั้งแต่วิธีที่ไม่ต้องผ่าตัดไปจนถึงการใช้การผ่าตัดโดยมีวิธีดังนี้

### a. วิธีแบบไม่ผ่าตัด (non-operative treatment)

เช่น การเสริมสั้นรองเท้า หรือใช้กายอุปกรณ์ (orthosis) ชนิดพิเศษ มักใช้กับผู้ป่วยที่มี LLD มากกว่า 2 เซนติเมตร ในแขนขาส่วนล่าง ส่วนในแขนขาส่วนบน มีการรายงานว่า LLD น้อยกว่า 6 เซนติเมตร<sup>(11)</sup> ไม่มีผลกับการใช้งาน

### b. วิธีแบบผ่าตัด (operative treatment)

- การยืดแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (physeal distraction)
- การเชื่อมแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (epiphysiodesis)
- การตัดและจัดกระดูก (corrective osteotomy)
- การยืดแขนขา (limb lengthening)
- การหดแขนขา (shortening)

## ปัจจัยในการพิจารณาเลือกวิธีการรักษา (factor influencing choice of treatment)

ปัจจุบันยังไม่มีข้อบ่งชี้ ของแต่ละวิธีการรักษาอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในการเลือกการรักษา เช่น อายุ, ตำแหน่งของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต ขนาดของ Physeal bridge หรือ ลักษณะความผิดปกติ ทำให้ผู้ป่วยแต่ละรายมีเป้าหมายในการรักษาที่แตกต่างกัน ดังนั้น แพทย์ที่รักษาผู้ป่วยกลุ่มนี้ต้องตั้งเป้าหมายในการรักษาและเลือกการรักษาที่เหมาะสมที่จะทำให้บรรลุเป้าหมายที่แพทย์และผู้ป่วยต้องการ เช่น ผู้ป่วยอายุน้อยก็ควรจะต้องมีการรักษาที่ช่วยฟื้นฟูการเจริญเติบโต เช่นการตัดการเชื่อมกระดูก (physeal bridge resection) แต่ถ้าผู้ป่วยคนดังกล่าวมี physeal bridge ที่มีขนาดใหญ่โอกาสสำเร็จหลังการทำ physeal bridge resection มีน้อยทั้งยังคาดว่าจะมีความผิดปกติต่อแขนขาในอนาคตที่ส่งผลต่อการใช้งานก็อาจจะตั้งเป้าหมายการรักษาโดยการจัดการความผิดปกติเพียงอย่างเดียวเช่น corrective osteotomy หรือ epiphysiodesis หรือในผู้ป่วยที่มีการเจริญเติบโตที่เหลือมากพอ (growth remaining) ร่วมกับเริ่มมีหรือคาดว่าจะมีความผิดปกติ (deformity) แล้วนั้นก็อาจจะต้องรักษาด้วยวิธีการฟื้นฟูการเจริญเติบโต ร่วมกับการจัดการความผิดปกติ (combine approach)

ดังตัวอย่างที่กล่าวมาการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการพิจารณาการรักษาภาวะการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย เพื่อช่วยในการตั้งเป้าหมายและเลือกวิธีการรักษาในผู้ป่วยกลุ่มนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมีดังนี้ (Table 1)

Table 1. สรุปปัจจัยในการตัดสินใจเลือกการรักษาของผู้ป่วย physeal arrest แบบผ่าตัด.

### ปัจจัยในการตัดสินใจเลือกการรักษาของผู้ป่วย physeal arrest แบบผ่าตัด

1. การเจริญเติบโตเหลือมากกว่า 2 ปี หรือ มากกว่า 2 เซนติเมตร
2. ขนาดของ Physeal bridge น้อยกว่าร้อยละ 30 - 50
3. ขนาดของความผิดปกติมากกว่า 20 องศา หรือ 10 องศาในบริเวณเข่า
4. มีความยาวแขนขาไม่สมดุล (ทั้งในปัจจุบันและพยากรณ์) มากกว่า 2 เซนติเมตร
5. Physeal bridge เกิดในบริเวณที่มีขีดจำกัดต่อความผิดปกติต่ำ เช่น Distal femur

**1. อายุ และ การเจริญเติบโตที่เหลืออยู่** ปัจจุบันหลายการศึกษาแนะนำให้เริ่มทำการรักษาในผู้ป่วยที่มีศักยภาพการเจริญเติบโตเหลือมากกว่า 2 ปี หรือ 2 เซนติเมตร<sup>(20, 26, 28)</sup> เนื่องจากผู้ป่วยควรจะมีศักยภาพในการเติบโตที่เหลืออยู่มากกว่าก่อนที่จะทำการรักษาเนื่องจากในทางตรงกันข้ามนั้นผู้ป่วยที่เหลือการเจริญเติบโตอีกเพียงเล็กน้อยก่อนการเจริญเติบโตเต็มวัยจะได้รับผลกระทบต่อการเกิด Premature Physal arrest เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจไม่มีผลกับการใช้งาน และหากเกิด LLD หรือ angular deformity ก็อาจมีความรุนแรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตามในกระดูกแขนส่วนปลาย เช่น กระดูก radius หรือ ulna ที่หากมีความยาวที่ไม่สมดุลเกิดขึ้นเพียง 1 เซนติเมตร ก็อาจทำให้เกิดความผิดปกติต่อการใช้งานได้ก็อาจพิจารณาให้การรักษาแม้ การเจริญเติบโตที่เหลือจะน้อยกว่า 1 ปี<sup>(29)</sup>

**2. ขนาดของ (physal bridge size)** โดยทั่วไปแนะนำให้ทำการรักษาในกลุ่มที่ physal bridge มีขนาดเล็กกว่าร้อยละ 50 ของขนาดแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตทั้งหมด<sup>(11, 20)</sup> โดยการรักษาชนิด physal bridge resection ที่มีการนำ physal bridge ขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 50 ออกนั้นแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่เหลืออยู่จะไม่สามารถเจริญเติบโตต่อได้อย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตามในผู้ป่วยที่มีอายุน้อยที่มี physal injury ในบริเวณที่มีศักยภาพการเติบโตสูง เช่น แผ่นศูนย์การเจริญเติบโตของกระดูกต้นขาส่วนปลาย หรือกระดูกหน้าแข้งส่วนต้น (distal femur และ proximal tibia) และมี physal bridge ชนิด central type หากทำ physal bridge resection ถึงแม้จะมี physal bridge ขนาดใหญ่ก็ยังมีประโยชน์<sup>(11)</sup> ในบางการศึกษามีการพิจารณารักษาใน physal bridge ขนาดมากกว่าร้อยละ 25 - 30 แทน<sup>(28, 29)</sup> นอกจากนี้ในกลุ่มผู้ป่วยที่มี Physal bridge ที่มีขนาดเล็กกว่าร้อยละ 10 และอายุน้อยก็อาจพบลักษณะ physal bridge ที่กลับสู่การเจริญเติบโตปกติได้เอง (spontaneous resolution)<sup>(11)</sup>

**3. ความผิดปกติ (deformity)** โดยทั่วไปแล้วการผ่าตัด physal bridge resection เพียงอย่างเดียวหลังการเจริญเติบโตที่ฟื้นกลับมาแล้วอาจทำให้ความผิดปกติที่ไม่รุนแรงกลับมาใกล้เคียงเดิมได้ แต่ในผู้ป่วยบางรายที่มีขนาดความผิดปกติตั้งต้นที่มากโดยเฉพาะชนิด angular deformity แนะนำให้ทำการรักษาโดยการจัดรูป เช่น corrective osteotomy ตั้งแต่ต้นพร้อมกับการทำ physal bridge

resection ในบางการศึกษาแนะนำให้ทำ corrective osteotomy ร่วมด้วยเมื่อมี angular deformity มากกว่า 20 องศา หรือ 10 องศาในบริเวณเข่า<sup>(30)</sup> นอกจากนี้มีการศึกษาแนะนำให้ทำ epiphysiodesis เพียงอย่างเดียวหรือทำร่วมกับ physal bridge resection ในการช่วย correct angular deformity ร่วมด้วยเช่นกัน

**4. ความยาวแขนขาไม่เท่ากัน (limb length discrepancy หรือ LLD)** เป็นที่ทราบกันดีว่า LLD มากกว่า 2 เซนติเมตร จะก่อให้เกิดปัญหาต่อการเดิน, ความผิดปกติต่อข้อสะโพกและกระดูกสันหลัง ดังนั้นถ้ามี LLD ขณะรักษาหรือคาดว่า LLD ในอนาคตจะมากกว่า 2 เซนติเมตรก็แนะนำให้เริ่มทำการรักษา โดยวิธีที่นิยมใช้คือ epiphysiodesis ของขาตรงข้าม ถ้าผู้ป่วยยังมีการเจริญเติบโตเหลืออยู่เพื่อชะลอให้ขาข้างที่มีพยาธิสภาพเจริญเพิ่มความยาวมาใกล้เคียงกัน หรือถ้าผู้ป่วยใกล้เจริญเติบโตเต็มวัยแล้วก็อาจทำการยืดหรือหดกระดูกแทน

**5. ตำแหน่งของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต** ตำแหน่งของ physal arrest เช่น ในกระดูกส่วนปลายของกระดูก radius หรือ femur ที่มีขีดจำกัดต่อความผิดปกติที่ต่ำ อาจต้องได้รับการรักษาตั้งแต่แรกเริ่มมากกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการรักษาผู้ป่วยที่มี physal bridge ควรร่วมตัดสินใจกับผู้ป่วยเพื่อร่วมกันเลือกชนิดของการรักษาให้เข้ากับผู้ป่วยรายนั้น

## การรักษา

### การฟื้นฟูการเจริญเติบโต (growth restoration)

#### 1. การเลาะการเชื่อมกระดูกออกพร้อมกับใส่วัสดุแทนที่ (physal bridge resection with Material interposition)

เรียกอีกชื่อว่า Langenskiöld procedure การรักษาโดยการนำตัวเชื่อมกระดูกออก (physal bridge resection) มีข้อบ่งชี้คือ มีการเจริญเติบโตที่ยังเหลือ (growth remaining) มากกว่า 2 ปี หรือ 2 เซนติเมตร และมี physal bridge ขนาดน้อยกว่าร้อยละ 50 แต่ผู้ป่วยที่มีอายุน้อยมีศักยภาพการเติบโตเหลือมากอาจทำ physal bridge resection ได้ ถึงแม้ว่า physal bridge จะมีขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 50<sup>(20)</sup> แรกเริ่มการผ่าตัดชนิดดังกล่าวจะทำเพียงแค่ผ่าตัดนำ physal bridge ออกเท่านั้น ในภายหลังพบว่าเกิดการเชื่อมกระดูกกลับมาเป็นซ้ำ จึงริเริ่มการนำวัสดุอื่นมาใส่เข้าไปแทนที่บริเวณ physal bridge ที่ถูกนำออก (material interposition) โดย Langenskiöld A. ในปี พ.ศ. 2510<sup>(31)</sup>

ได้ริเริ่มใช้เนื้อเยื่อไขมันจากบริเวณสะโพกของผู้ป่วย (autologous buttock fat graft) เข้าไปแทนที่ ภายหลังจากการใช้วัสดุชนิดอื่นมาแทนที่ (Figure 8)

ในการผ่าตัด physeal bridge resection นั้นต้องมีการผ่าตัดเข้าไปถึง physeal bridge และทำการเลาะออกโดยนิยมใช้ หัวกรอชนิดความเร็วสูง (high speed burr) เพื่อนำ physeal bridge ออกไป โดยหากเป็น peripheral type นั้นสามารถเข้าถึงตัว physeal bridge ด้วยเทคนิคการผ่าตัดมาตรฐาน แต่ถ้าเป็น central หรือ linear type นั้นจะมีความซับซ้อนในการรักษามากขึ้น เนื่องจากการเข้าถึง physeal bridge บริเวณ central area นั้นต้องมีการเปิดช่องจากบริเวณกระดูกส่วน metaphysis หรือการทำ metaphyseal window และใช้เครื่องมือเช่น dental mirror, loupe หรือ microscope ในการตรวจบริเวณ physeal bridge นอกจากนี้อาจต้องมีการใช้วิธีตัดกระดูกบริเวณ metaphysis ออก (Wedge metaphyseal osteotomy) เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำงานแต่มีความกังวลที่ทำให้มีการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อมากขึ้น ดังนั้นในปัจจุบันมีการคิดค้นเทคนิคการผ่าตัดชนิดใหม่ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึง physeal bridge ได้มากขึ้นแต่ต้องลดการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงลง เช่น

การใช้กล้อง arthroscopic/endoscopic assisted<sup>(32)</sup> ส่องกล้องผ่านเข้าไปใน Metaphyseal window หรือการใช้ computer navigated และ computed-tomography guided (CT-guided) ในการระบุตำแหน่งของ physeal bridge<sup>(33, 34)</sup> และช่วยในการเลือกตำแหน่งในการผ่านกล้อง (endoscope entry point)<sup>(35)</sup> ซึ่งพบว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีและลดความซับซ้อนของผ่าตัดลงได้

การเลือกวัสดุแทนที่ (material interposition) ยังเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่มีการศึกษาในการผ่าตัดชนิดนี้ นอกจากวิธีในการเข้าถึง physeal bridge ในการศึกษาตั้งต้นของ Langenskiöld A. ใช้ autologous buttock fat graft ที่มีข้อดีคือค่าใช้จ่ายน้อย ไม่มีการใส่วัสดุภายนอกเข้าไปในร่างกาย แต่ข้อเสียคือมีการเก็บเกี่ยว fat graft ดังกล่าวมาจากบริเวณสะโพกของผู้ป่วย นอกจากนี้ fat graft เองไม่มีคุณสมบัติด้านการหยุดเลือด (hemostasis) ทำให้ไม่สามารถหยุดเลือดที่ออกมาจากพื้นที่ผ่าตัดได้ และมีแนวโน้มที่จะหลุดออกจากบริเวณที่ปลูกถ่ายได้ โดยอาจแก้ไขโดยการใส่สารเช่น fibrin glue หรือ bone wax ลงไปร่วมด้วยก่อนการใส่ fat graft<sup>(11)</sup> นอกจากนี้ไขมันยังไม่สามารถให้ความแข็งแรงด้านโครงสร้างกับกระดูกได้ จำเป็นต้องลด

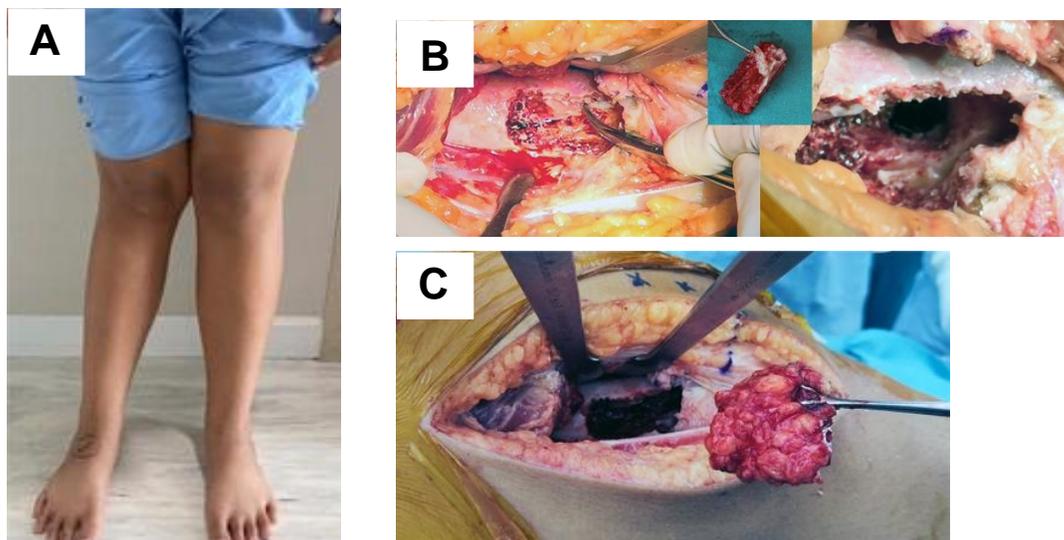


Figure 8. เด็กผู้ชาย อายุ 12 ปี พบ physeal bridge ชนิด central type ที่บริเวณ distal femur ด้านขวา ได้รับการรักษาโดยวิธี physeal bridge resection with autologous fat graft (A) แสดงลักษณะเข้าที่ผิดปกติ (valgus deformity); (B) บริเวณ physeal bridge ก่อนและหลัง resection และ physeal bridge ที่นำออก; (C) autologous fat graft จาก buttock ถูกนำมาแทนที่บริเวณ physeal bridge เดิม

การเคลื่อนไหว (immobilize) หลังการผ่าตัดด้วยเฝือก<sup>(29)</sup> จากข้อเสียต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้มีการคิดค้นวัสดุอื่นมาแทนที่การใช้ไขมัน เช่น การใช้ polymethylmethacrylate (PMMA) เนื่องจากมีข้อดีที่ทดแทนไขมันในเรื่องของ hemostasis และ structural support<sup>(11)</sup> ทำให้ตัว PMMA ยึดตรึงกับบริเวณ cavity ได้ดี ลดเลือดออกและไม่ต้องยึดตรึงแขนขาหลังผ่าตัด นอกจากนี้วัสดุอื่นที่ใช้อาจเป็น กั๊วเนื้อ หรือ silicone เป็นต้น เมื่อใส่ material interposition แล้ว บริเวณ metaphyseal window ก็จะถูกปิดด้วย cancellous bone ที่นำออกมาในตอนแรก

อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของการรักษาชนิด physal bridge resection with material interposition นี้ก็ไม่สามารถคาดเดาได้อย่างแม่นยำ การรักษานี้ดังกล่าวนี้เป้าหมายเพื่อการลดความรุนแรงของ angular deformity และ limb length discrepancy<sup>(11, 21)</sup> อย่างไรก็ตามผู้ป่วยบางรายอาจพบความผิดปกติที่ยังคงเหลืออยู่บ้างซึ่งอาจทำการรักษาด้วยวิธีจัดรูปความผิดปกติอื่น ๆ เพิ่มเติมตั้งแต่การเสริมเส้นรอบเท่าหรือการใช้กายอุปกรณ์ หรือต้องได้รับการผ่าตัด corrective osteotomy อีก 1 - 2 ครั้ง ซึ่งจำเป็นต้องปรึกษาร่วมกันกับผู้ป่วยไว้ตั้งแต่ต้นเพื่อกำหนดเป้าหมายและโอกาสในการทำผ่าตัดซ้ำ

ภาวะแทรกซ้อนของวิธี physal bridge resection with material interposition ได้แก่ การเชื่อมกระดูกกลับมาเป็นซ้ำ (bridge reformation) โดยมักจะพบในผู้ป่วยที่มี physal bridge ขนาดใหญ่ โดยสามารถพบได้ตั้งแต่ระยะแรกหลังผ่าตัดไปจนถึง 5 ปี<sup>(11)</sup> หลังผ่าตัดซึ่งการรักษานั้นอาจทำการนำการเชื่อมกระดูกออกอีกครั้ง (re-excision) ในกลุ่มผู้ป่วยที่ยังมีการเจริญเติบโตเหลืออยู่ได้ หรือถ้ามี deformity หรือ LLD ที่คาดว่าจะเกิดไม่มากอาจทำวิธี correct deformity อื่น ๆ ทดแทน นอกจากนี้ยังอาจพบภาวะแทรกซ้อนติดเชื้อ (infection) ถึงแม้ว่าจะพบได้น้อยมาก<sup>(11)</sup> แต่ต้องรักษาเร็วจริงในการ debridement หลายครั้ง และอาจต้องใช้วิธีอื่น ๆ ในการรักษา physal arrest นี้

## 2. การปลูกถ่ายกระดูกอ่อน (physal cartilage transplantation)

นอกจากการใช้วัสดุมาแทนที่หลังการทำ physal bridge resection ที่ได้กล่าวไปแล้ว มีการใช้เนื้อเยื่อกระดูกอ่อนมาปลูกถ่ายหลังการทำ physal bridge

resection เนื่องด้วยสาเหตุของการเกิด physal arrest เกิดจากการมี physal bridge แทนที่เซลล์กระดูกอ่อนของ physis จึงมีการริเริ่มที่จะใช้ physal cartilage ปลูกถ่ายเข้าไปในบริเวณ physis โดยมักจะทำการปลูกถ่ายลงไปหลังการทำ physal bridge resection ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง autograft และ allograft โดยชนิด autograft ก็สามารถใช้ได้ทั้งแบบ มีหลอดเลือดมาเลี้ยง (vascularized) หรือ แบบไม่มีหลอดเลือด (non-vascularized) ซึ่งมีรายงานการใช้ autologous apophyseal cartilage จากบริเวณ iliac crest หรือ scapular tip และ epiphyseal autologous graft จากบริเวณ proximal fibula<sup>(11, 29)</sup> แต่ก็ยังไม่ได้รับความนิยมในการรักษาเนื่องจากไม่สามารถทำนายผลการรักษาได้และยังมีความกังวลในอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันของกระดูกอ่อนบริเวณที่บริจาค (donor site) และ บริเวณที่ปลูกถ่าย (recipient cartilage) รวมถึงถ้าความหนาของ physis ที่นำมาปลูกถ่ายมีขนาดไม่เท่ากันก็อาจทำให้เกิดการเรียงตัวของชั้นเซลล์กระดูกอ่อนที่ไม่สมดุลอาจกระตุ้นให้เกิด physal bridge ขึ้นมาแทน ในส่วนของ allograft มีการศึกษาในสัตว์ทดลองเท่านั้น การใช้ allograft ในมนุษย์นั้นยังไม่มีรายงาน และนอกจากนี้ยังมีการใช้เซลล์กระดูกอ่อนที่ปลูกถ่ายในห้องทดลองในสัตว์ทดลอง แต่ในมนุษย์ก็ยังไม่มีการนำมาใช้อีกเช่นกัน<sup>(11)</sup>

## การจัดรูปความผิดปกติ (correction of deformity)

### 1. การเชื่อมแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (epiphysiodesis )

วิธีนี้ใช้ในการลดความผิดปกติ (deformity) โดยข้อบ่งชี้คือ 1) ผู้ป่วยต้องมี growth remaining เหลืออยู่มากกว่า 2 ปี หรือ 2 เซนติเมตร; 2) physal bridge มีขนาดใหญ่มากกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากการรักษาด้วย วิธี physal bridge resection แล้วมีโอกาสไม่ได้ผล; 3) มี LLD หรือคาดว่าจะมี LLD มากกว่า 2 เซนติเมตร โดยการผ่าตัดนี้จะทำให้เกิด physal arrest ในตำแหน่งที่ผ่าตัด

ในกลุ่มผู้ป่วยที่เกิด partial physal arrest แนะนำให้ทำการเชื่อมแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตเพียงครั้งเดียว (hemi-epiphysiodesis) บน physis ด้านตรงข้ามในแขนขาข้างเดียวกันที่ยังไม่เกิดการหยุดการเจริญเติบโตเพื่อไม่ให้ physis ที่ยังเหลือยึดออกจนเกิด angular deformity แต่ในกลุ่มผู้ป่วย complete physal arrest แนะนำให้ทำ epiphysiodesis ในแขนขาข้างตรงข้ามข้ามที่ยังมี physis ปกติเพื่อลดความไม่สมดุลของความยาวแขนขาที่จะเกิดจากขาข้างที่ปกติ

ในด้านเทคนิคการผ่าตัด epiphysiodesis แรกเริ่มจะเป็นการตัด physal cartilage ออก และทำการแทนที่ด้วย bone block เพื่อให้เกิดการ fusion และ physal arrest หรือ Phemister technique (Figure 9) ต่อมาในภายหลังมีการใช้อุปกรณ์ในการช่วยทำให้เกิด physal arrest เช่น สกรูเกลียวที่ผ่านแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต (transphysal screw) หมุด (staple) หรือ แผ่นโลหะ (plate) โดยวิธีใช้อุปกรณ์เหล่านี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องทำลาย Physal growth plate เดิมแต่จะหยุดการเจริญเติบโตแบบชั่วคราวโดยใช้ลักษณะการเหนี่ยวรั้ง (tethering effect) จากอุปกรณ์เหล่านี้เท่านั้น ดังนั้นการนำอุปกรณ์เหล่านี้ออกก็สามารถหวนคืนสู่การเจริญเติบโตได้ต่อไป

นอกจากการใช้วิธี epiphysiodesis ยังมีวิธีการกระตุ้นขาโดยการกระตุ้นเยื่อหุ้มกระดูก (periosteal stripping and periosteal division procedure) เป็นอีกหนึ่ง

วิธีที่ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตได้เช่นกัน โดยสามารถใช้กระตุ้นความยาวที่แตกต่างกันได้ ประมาณ 4 เซนติเมตร หรือหากต้องการแก้ไขมุมก็สามารถทำการผ่าตัดกระตุ้นเยื่อหุ้มกระดูกเพียงครั้งเดียว ในกรณีของ Peripheral physal arrest ที่มี Angular deformity โดยเลือกด้านของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโตที่ยังปกติอยู่ (hemiperiosteal stripping and periosteal division)<sup>(36)</sup>

ในการศึกษาที่ผ่านมา มีการทำการผ่าตัด hemi-epiphysiodesis ร่วมกับการทำ physal bridge resection ซึ่งพบว่า deformity และ LLD ลดลงกว่ากลุ่มที่ทำ bridge resection เพียงอย่างเดียว<sup>(37, 38)</sup> โดยในการศึกษาชนิดย้อนกลับ (retrospective) ของ Xiao H. และคณะ<sup>(38)</sup> จะแนะนำให้ทำ Hemi-epiphysiodesis ร่วมกับการ bridge resection ในผู้ป่วยที่มี angular deformity ที่ขนาดมากกว่า  $10^{\circ}$

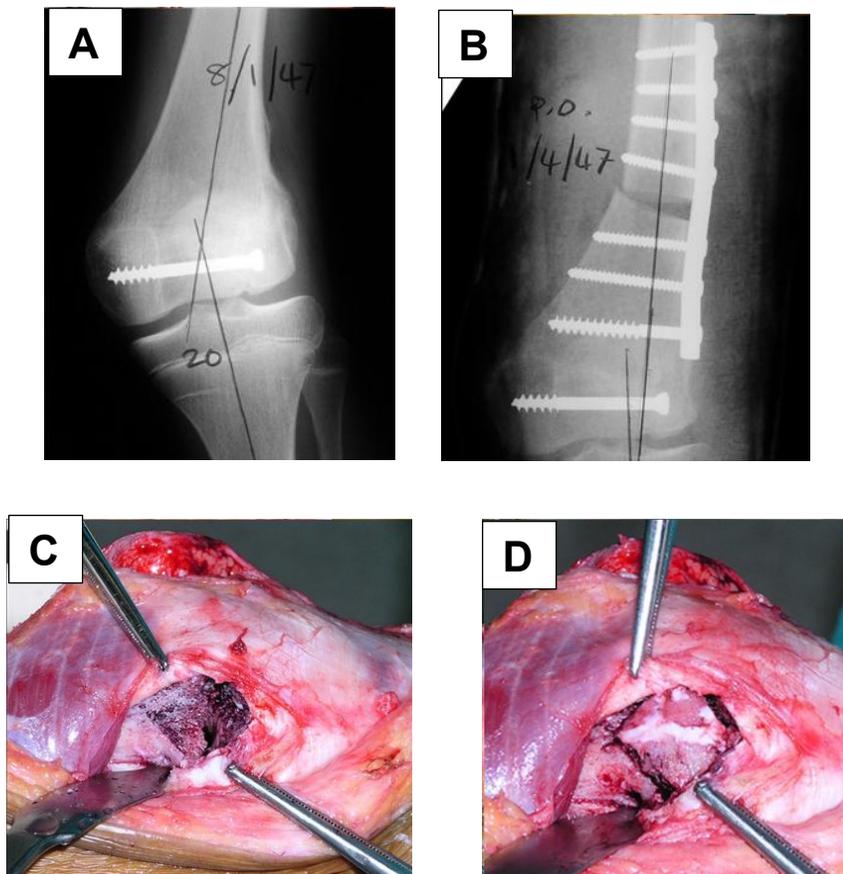


Figure 9. เด็กชายอายุ 14 ปี พบภาวะเข่าผิดรูปเข้าด้านใน (genu valgus) หลังจากการบาดเจ็บบริเวณ distal femur ชนิด Salter & Harris type IV รักษาโดยวิธีการตัดและจัดกระดูก (acute corrective osteotomy) ร่วมกับการ hemi - epiphysiodesis (phemister technique) เนื่องจากมีการเจริญเติบโตคงเหลือไม่มากนักในผู้ป่วยรายนี้ (A) ภาพถ่ายรังสีก่อนผ่าตัดแก้ไข; (B) ภาพถ่ายรังสีหลังการผ่าตัดแก้ไข แสดงให้เห็นรอยตัดกระดูก acute corrective osteotomy และตามด้วยโลหะ (plate) จะเห็นได้ว่าลักษณะของ genu valgus ลดลง; (C - D) การทำ epiphysiodesis ด้วย bone block (phemister technique) ที่บริเวณ medial distal femur.

## 2. การยืดแผ่นศูนย์กลางการเจริญเติบโต (physal distraction)<sup>(27)</sup>

ทำในผู้ป่วยที่ยังมี growth remaining และ physal bridge มีขนาดเล็ก โดยการยืดแผ่นศูนย์กลางการเจริญเติบโต จะเป็นการใช้โลหะยึดตรึงกระดูกชนิดภายนอก (external fixator) ในการยืดขยายแขนขาตามยาวผ่าน physis โดยไม่มีการตัดกระดูก (osteotomy) เนื่องจากบริเวณ physal cartilage เป็นบริเวณที่อ่อนนุ่มกว่ากระดูกข้างเคียงทำให้สามารถจัดรูปความผิดปกติได้ แต่ถ้าผู้ป่วยมี physal bridge ขนาดใหญ่อาจทำ physal bridge resection ร่วมด้วย ก่อนที่จะทำการ distraction โดยนิยมทำในกลุ่มผู้ป่วยที่ใกล้เข้าสู่การเจริญเติบโตเต็มวัย เนื่องจากการ distraction อาจทำให้เกิด premature physal arrest ได้เช่นกัน และวิธีดังกล่าวต้องใส่โลหะเข้าไปบริเวณใกล้ข้อต่อ ดังนั้นมีโอกาสเกิดการติดเชื้อเข้าไปสู่บริเวณข้อได้ (septic arthritis) นอกจากนี้การทำ distraction นั้นมีข้อจำกัดด้านการทำหัตถการอื่นร่วมด้วย เช่น ถ้าต้องการทำ epiphysiodesis, osteotomy หรือ bone lengthening ร่วมด้วยนั้น ถ้ามีการ distraction ไว้ก่อนแล้วอาจขัดขวางหัตถการในอนาคตจาก distraction instrument ได้ นอกจากนี้วิธีดังกล่าวถ้าผู้ป่วยมี growth remaining เหลือมากก็ยากที่จะคาดการณ์ผลลัพธ์ที่ต้องการแก้ไข ทำให้วิธีนี้ไม่ได้รับความนิยม

## 3. การตัดและจัดรูปกระดูก (corrective osteotomy)

การทำการตัดและจัดรูปกระดูกในทันที (acute corrective osteotomy) คือทำการจัดรูปกระดูกในครั้งเดียว มักทำร่วมกับ physal bridge resection โดยมีข้อบ่งชี้คือ angular deformity ที่มากกว่า 20° (หรือ มากกว่า 10° ในบริเวณเข่า)<sup>(30)</sup> โดยสามารถแก้ไขความพิการได้ทันทีในการผ่าตัดครั้งเดียว เนื่องจากสามารถกำหนดมุมที่ต้องการแก้ไขได้ตั้งแต่แรกหลังการตัดกระดูก osteotomy โดยหลังผ่าตัดจัดรูปแล้วต้องมีการตามกระดูกโดยสามารถทำได้ทั้งชนิดตามไว้ภายใน (internal fixation) หรือ ภายนอก (external fixation) ก็ได้ โดยการใช้ internal fixation มีข้อเสียคือหลังผ่าตัดแล้วไม่สามารถปรับความพิการได้อีก แต่การใช้ external fixation ยังสามารถจัดการความพิการได้อีก หลังผ่าตัด โดยการปรับโครงสร้างภายนอก และสุดท้ายข้อเสียที่สำคัญที่สุดของการทำ acute corrective osteotomy นั้นคือความเสี่ยงของการบาดเจ็บต่อหลอดเลือด

และเส้นประสาทจากการเปลี่ยนแนวกระดูก โดยเฉพาะการผ่าตัดที่เปลี่ยนแนวกระดูกอย่างมากก็จะมีความเสี่ยงสูงขึ้น นอกจาก acute corrective osteotomy ผู้ป่วยที่มี physal bridge ที่ได้รับการรักษาวิธีอื่นมาแล้วก็สามารถมาทำ corrective osteotomy ได้เพื่อจัดการภาวะผิดรูปที่ยังหลงเหลืออยู่

## 4. การยืดหรือหดกระดูก (bone lengthening/shortening)

วัตถุประสงค์ของการรักษานี้ เพื่อลดความไม่สมดุลของแขนขาโดยการทำให้ bone lengthening มีความนิยมมากกว่า bone shortening โดยมักจะทำในผู้ป่วยที่คาดว่าจะมีความไม่สมดุลของแขนขา (LLD) มากกว่า 5 เซนติเมตร ซึ่งเทคนิคการผ่าตัดนิยมใช้ external fixator อาจเป็นชนิดโครงสร้างแบบเดี่ยว (mono-lateral) หรือ โครงสร้างแบบวงแหวน (ring external fixator) นอกจากนี้ในด้านความยาววิธีนี้ยังสามารถแก้ไขการผิดรูปอื่นๆเช่น angular deformity ที่มีความซับซ้อนได้โดยการปรับเปลี่ยนแนวกระดูกผ่าน external fixation ให้ไปในทางที่ต้องการ

## เวชศาสตร์ฟื้นฟูสภาพและวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (regenerative medicine and tissue engineering)<sup>(14-16)</sup>

การรักษาด้วย physal bridge resection with material interposition ยังคงเป็นการรักษาหลักในการฟื้นฟูการเจริญเติบโตในขณะนี้ ทั้งนี้การศึกษาหลายชิ้นในปัจจุบันทำให้มีความเข้าใจกลไกการเกิด premature physal arrest มากขึ้น และลึกซึ้งไปจนถึงระดับเซลล์ อย่างที่กล่าวไปในส่วนของกลไกการเกิดโรค และนอกจากเทคนิคการผ่าตัดที่ช่วยเพิ่มผลลัพธ์ที่ดีแล้วนั้น ความพยายามในการศึกษาด้านวัสดุชนิดใหม่ เนื้อเยื่อชนิดพิเศษจากองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ หรือ การใช้เซลล์ชนิดพิเศษจากองค์ความรู้ระดับเซลล์นี้เพื่อให้เนื้อเยื่อ Physis ที่หายไปสามารถฟื้นฟูกลับมาทำงานได้ดังเดิม หรือ การลดโอกาสเกิด physal bridge การรักษาดังกล่าวสรุปได้ดังนี้

1. การรักษาด้วยเซลล์ (cell therapy) เช่น การปลูกถ่ายกระดูกอ่อน (cartilage transplant) หรือการปลูกถ่ายเซลล์กระดูกอ่อนที่เลี้ยงในห้องทดลอง (cultured chondrocyte) รวมไปถึงการใช้เซลล์ต้นกำเนิดชนิดต่างๆเช่น mesenchymal stem cells (MSCs) จากไขกระดูก หรือ ชั้นใต้เยื่อหุ้มกระดูกเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้าง physis ส่วนที่หายไป

2. การใช้สารชีววัตถุ (biologic substance) มีการศึกษาโดยใช้ TGF- $\beta$  ในการรักษาสมดุการฟื้นตัวของกระดูกอ่อน (chondrogenesis) ในบริเวณที่มีการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต รวมถึงการใช้ BMP inhibitor เพื่อลดการเกิดกระดูก (osteogenesis) ที่เป็นตัวการก่อให้เกิด physeal bridge นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงการใช้ anti-inflammatory เช่น non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) ในการช่วยลดโอกาสเกิด physeal bridge โดยเชื่อว่าการเกิดการอักเสบที่มากเกินไป (over-inflammation) หลังการบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโตอาจกระตุ้นให้เกิด abnormal physis healing ได้

3. Bioengineering มีการสังเคราะห์โครงร่างเหนี่ยวนำ (scaffolds) จากสารชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุแทนที่ เช่น Poly-Lacti-co-Glycolic-acid (PLGA), agarose หรือ chitin เป็นต้น

ในที่สุดท้ายนี้เนื่องจากความหลากหลายของวิธีการรักษาและปัจจัยที่ใช้พิจารณาเลือกการรักษาทางผู้เขียนจึงทำแผนภาพ (Figure 10) เพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกการรักษาผู้ป่วยกลุ่มนี้ อย่างไรก็ตามแผนภาพนี้ถูกทำให้ลดความซ้ำซ้อนลงอย่างมาก การเลือกการรักษากับผู้ป่วยยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ และการตัดสินใจร่วมกับผู้ป่วยเป็นรายบุคคล

**สรุป**

การบาดเจ็บต่อแผ่นศูนย์กลางเจริญเติบโต (physeal injury) เป็นการบาดเจ็บของกระดูกในเด็กที่พบได้บ่อย ถึงแม้ว่าภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญคือ premature physeal arrest จะพบน้อยมาก แต่สร้างปัญหาต่อตัวผู้ป่วยและมีความซับซ้อนในการรักษาภาวะดังกล่าว ถึงแม้ว่ากลไกการเกิดโรคยังเป็นที่ถกเถียงแต่ทฤษฎีเรื่องของการบาดเจ็บต่อหลอดเลือด (disruption of blood supply) ยังเป็นที่ยอมรับกันเป็นอย่างดีในด้านการดูแลรักษาเนื่องจากพบน้อย การเฝ้าระวังและให้การรักษาดังแต่ระยะแรกเริ่มจะสามารถลดความรุนแรงของโรคได้ โดยจะอาศัยการใช้ภาพถ่ายรังสีในการตรวจติดตามและเฝ้าระวัง โดยใช้การสังเกตลักษณะของการรบกวนการเจริญเติบโตทั้งทางตรงและทางอ้อม ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยงหลายประการ อาจต้องมีการตรวจติดตามที่ถี่มากขึ้นและหากเกิดภาวะ physeal arrest แล้วการพิจารณาการส่งตรวจเพิ่มเติมที่สำคัญเช่น MRI หรือ CT-scan รวมถึงการแปลผลของการส่งตรวจเพื่อทำการเลือกการรักษาที่เหมาะสมในผู้ป่วยแต่ละราย และในด้านของการรักษา ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยในการเลือกการรักษาเช่น อายุ, การเจริญเติบโตที่เหลืออยู่, ขนาดของ physeal bridge และ

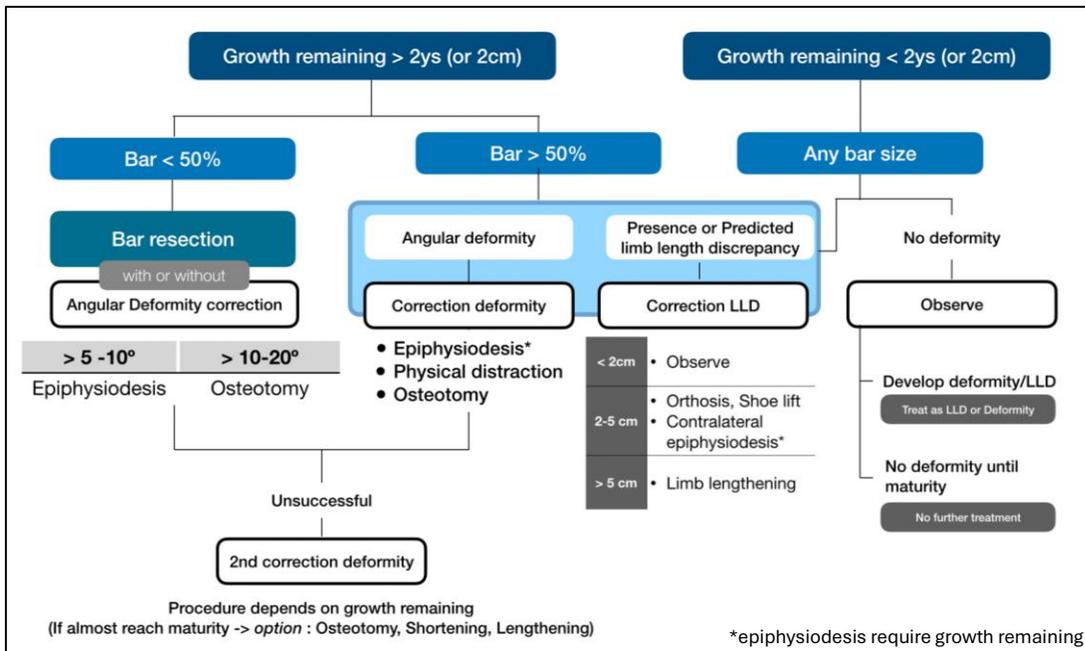


Figure 10. ลำดับขั้นตอนโดยสังเขปของการพิจารณาการรักษาการเกิดการหยุดเจริญเติบโตก่อนวัย.

ตำแหน่งของแผ่นศูนย์การเจริญเติบโต และการเชื่อมกระดูก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการรักษาในปัจจุบันยังไม่สามารถทำให้ผู้ป่วยกลับมาได้มีการเจริญเติบโตได้เหมือนปกติ เพียงแต่ฟื้นฟูการเจริญเติบโตเพื่อให้ความรุนแรงของการผิดรูปหรือความไม่สมดุลของแขนขาที่ลดลง และหากการฟื้นฟูการเจริญเติบโตไม่สามารถทำได้หรือมีความผิดรูปที่รุนแรงก็สามารถทำเป็นการจัดรูปความผิดปกติสุดท้ายแล้วการรักษาภาวะดังกล่าวยังไม่มียุทธศาสตร์ในการเลือกการรักษาแบบใดแบบหนึ่ง การรักษาภาวะหยุดการเจริญเติบโตก่อนวัยจำเป็นต้องปรึกษากับผู้ช่วยและวางแผนการรักษาร่วมกันน่าจะทำให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

#### เอกสารอ้างอิง

- Mizuta T, Benson WM, Foster BK, Morris LL. Statistical analysis of the incidence of physal injuries. J Pediatr Orthop 1987;7:518-23.
- Kaewpornasawan K, Sukvanich P, Tujinda H, Eamsobhana P. Prevalence and patterns of fractures in children. J Med Assoc Thai. 2014;97:116-S120.
- Peterson HA, Madhok R, Benson JT, Ilstrup DM, Melton III LJ. Physal fractures: Part 1. Epidemiology in olmsted county, Minnesota, 1979-1988. J Pediatr Orthop 1994;14:423-30.
- Yamamura MK, Carry PM, Gibly RF, Holmes K, Ogilvie B, Phillips A, Georgopoulos G, Miller NH, Payne KA. Epidemiology of physal fractures and clinically significant growth disturbances affecting the distal tibia, proximal tibia, and distal femur: a retrospective cohort study. JAAOS-J Am Academy Orthopaedic Surg 2023;31:e507-15.
- Ao 1rdil Y. The growth plate: a physiologic overview. EFORT open reviews 2020;5:498-507
- Voller T, Cameron P, Watson J, Phadnis J. The growth plate: anatomy and disorders. Trauma 2020;34:135-40.
- Baker CE, Schoenecker JG. Fracture repair in children. In: Waters PM, Flynn JM, Skaggs DL, Andras LM, Bae DS, Baldwin KD, Schoenecker JG, editors. Rockwood and Wilkins' Fractures in Children. 10th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2025
- Salter RB, Harris WR. Injuries involving the epiphyseal plate. JBJS 1963;45:587-622.
- Wattenbarger JM, Gruber HE, Phieffer LS. Physal fractures, part I: histologic features of bone, cartilage, and bar formation in a small animal model. J Pediatr Orthop 2002;22:703-9.
- Shapiro F. Epiphyseal growth plate fracture-separations. In Pediatric Orthopedic Deformities, Volume 1: Pathobiology and Treatment of Dysplasias, Physal Fractures, Length Discrepancies, and Epiphyseal and Joint Disorders 2015. Cham: Springer International Publishing. p. 505-612.
- Peterson HA. Assessment. Epiphyseal Growth Plate Fractures. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. p. 825-47.12.
- Gruber HE, Phieffer LS, Wattenbarger JM. Physal fractures, part II: fate of interposed periosteum in a physal fracture. J Pediatr Orthop 2002;22:710-6.
- Barmada A, Gaynor T, Mubarak SJ. Premature physal closure following distal tibia physal fractures: a new radiographic predictor. J Pediatr Orthop 2003;23:733-9.
- Chung R, Xian CJ. Recent research on the growth plate: mechanisms for growth plate injury repair and potential cell-based therapies for regeneration. J Molecular Endocrinol 2014;53:T45-61.
- Shaw N, Erickson C, Bryant SJ, Ferguson VL, Krebs MD, Hadley-Miller N, Payne KA. Regenerative medicine approaches for the treatment of pediatric physal injuries. Tissue Eng Part B Rev. 2018;24:85-97.
- Guo R, Zhuang H, Chen X, Ben Y, Fan M, Wang Y, Zheng P. Tissue engineering in growth plate cartilage regeneration: Mechanisms to therapeutic strategies. Journal of Tissue Engineering. 2023;14.
- Jung HS, Park MS, Lee KM, Choi KJ, Choi WY, Sung KH. Growth arrest and its risk factors after physal fracture of the distal tibia in children and adolescents. Injury 2021;52:844-8.

18. Podeszwa DA, Wilson PL, Holland AR, Copley LA. Comparison of bioabsorbable versus metallic implant fixation for physeal and epiphyseal fractures of the distal tibia. *J Pediatr Orthop* 2008;28:859-63.
19. Waris E, Ashammakhi N, Kelly CP, Andrus L, Waris T, Jackson IT. Transphyseal bioabsorbable screws cause temporary growth retardation in rabbit femur. *J Pediatr Orthop* 2005;25:342-5.
20. Khoshhal KI, Kiefer GN. Physeal bridge resection. *JAAOS-J Am Acad Orthop Surg* 2005;13:47-58.
21. Yuan BJ, Stans AA, Larson DR, Peterson HA. Excision of physeal bars of the distal femur, proximal and distal tibia followed to maturity. *J Pediatr Orthop* 2019;39:e422-9.
22. Wang DC, Deeney V, Roach JW, Shah AJ. Imaging of physeal bars in children. *Pediatr radiol* 2015;45:1403-12.
23. Meyers AB. Physeal bridges: causes, diagnosis, characterization and post-treatment imaging. *Pediatric Radiol* 2019;49:1595-609.
24. Smith BG, Rand F, Jaramillo D, Shapiro F. Early MR imaging of lower-extremity physeal fracture-separations: a preliminary report. *J Pediatr Orthop* 1994;14:526-33.
25. Shin CH, Whi W, Cho YJ, Yoo WJ, Choi IH, Cheon GJ, Cho TJ. The role of 99mTc-DPD bone SPECT/CT in the management of growth disturbance of the long bones in pediatric patients: a retrospective observational study. *BMC musculoskeletal Disord* 2023;24:668.
26. Langenskiöld A. Surgical treatment of partial closure of the growth plate. *J Pediatr Orthop* 1981;1:3-11.
27. de Pablos J, Arenas-Miquelez A, Arbeloa-Gutierrez L. Update on premature physeal closure. Diagnosis and treatment. *Current Opinion in Pediatrics* 2021;33:79-89.
28. Dabash S, Prabhakar G, Potter E, Thabet AM, Abdelgawad A, Heinrich S. Management of growth arrest: current practice and future directions. *J Clin Orthop and trauma*. 2018;9:S58-66.
29. Singh V, Garg V, Parikh SN. Management of physeal fractures: a review article. *Indian J Orthop* 2021;55:525-38.
30. Williamson RV, Staheli LT. Partial physeal growth arrest: treatment by bridge resection and fat interposition. *J Pediatr Orthop* 1990;10:769-76.
31. Langenskiöld A. The possibilities of eliminating premature partial closure of an epiphyseal plate caused by trauma or disease. *Acta Orthop Scand*. 1967;38:267-79.
32. Marsh JS, Polzhofer GK. Arthroscopically assisted central physeal bar resection. *J Pediatr Orthop* 2006;26:255-9.
33. Kang HG, Yoon SJ, Kim JR. Resection of a physeal bar under computer-assisted guidance. *J Bone Joint Surg Br Vol*. 2010;92:1452-5.
34. Richard B, Abbas M, Odeneye O, TQrker T. Intraoperative O-arm Use for Physeal Bar Excision. *Tech Orthop* 2024;39:111-8.
35. Takemura Y, Kodama N, Ueba H, Ando K, Kuga K, Imai S. Physeal bar resection under guidance with a navigation system and endoscopy for correction of distal radial deformities after partial growth plate arrest. *J Hand Surg* 2018;43:953-e1.
36. Limpaphayom N, Prasongchin P. Surgical technique: Lower limb-length equalization by periosteal stripping and periosteal division. *Clin Orthop Relat Res*®. 2011;469:3181-9.
37. Alhassan MS, Park KB, Kim HW, Park H, Park KH. The efficacy of physeal bar resection with guided growth in the treatment of physeal arrest with angular limb deformity. *Sci Rep* 2024;14:14052.
38. Xiao H, Li M, Zhu G, Tan Q, Ye W, Wu J, Mei H, Yan A. The effectiveness of physeal bar resection with or without Hemi-Epiphyseodesis to treat partial growth arrest. *BMC Musculoskeletal Disord* 2023;24:77.