

ทางเลือกในการรักษาภาวะกระดูกสันหลังหักบริเวณช่วงอกและเอว (Alternative treatments of thoracic and lumbar spine fracture)

รศ. นพ. วิชาญ ยี่งักคิมงคล
ภาควิชาออร์โธปิดิกส์
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้แนวคิดเกิดความเข้าใจ และมีแนวทางในการตรวจประเมินผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บและเกิดภาวะกระดูกสันหลังหักหรือเคลื่อนบริเวณช่วงอก และเอว ซึ่งเป็นภาวะที่พบได้บ่อยในเวชปฏิบัติ
2. เพื่อให้แนวคิดได้ทราบแนวทางและมีความรู้เบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกวิธีการรักษาผู้ป่วยกระดูกสันหลังหักโดยสามารถตัดสินใจได้ว่าควรรักษาโดยการผ่าตัดหรือไม่ และมีหลักการในการรักษาอย่างไร
3. เพื่อให้แนวคิดได้ทราบถึงภาวะแทรกซ้อนและวิธีการเฝ้าระวังการบาดเจ็บต่อระบบประสาทในผู้ป่วยภาวะกระดูกสันหลังหัก

ทางเลือกในการรักษาภาวะกระดูกสันหลังหัก

แพทย์ผู้รักษาจำเป็นต้อง ตอบคำถามหลัก 3 ข้อ อันเป็นปัจจัยพื้นฐาน ในการตัดสินใจเลือกวิธีการรักษาผู้ป่วย คือ

- (1) ควรจะรักษาภาวะนี้โดยวิธีการผ่าตัดหรือไม่ผ่าตัด (operative vs. non-operative treatment)
- (2) หากเลือกวิธีการผ่าตัด จำเป็นต้องยึดตรึงกระดูกจำนวนกี่ข้อเพื่อให้เกิดความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอ (short vs. long segment fixation and fusion)
- (3) ควรจะทำการผ่าตัดผ่านทางด้านหน้า หรือ ทางด้านหลัง หรือ ทั้ง 2 ทางร่วมกัน (Anterior vs Posterior approach or combined approach)

การเลือกผู้ป่วย (Patient Selection)

แพทย์ผู้รักษาไม่ควรใช้ลักษณะกระดูกที่หักเป็นปัจจัยเพียงอย่างเดียวในการตัดสินใจเลือกวิธีการรักษา เพราะอย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วนั้น ภาวะกระดูกสันหลังหักทุกประเภทสามารถที่จะรักษาได้ทั้ง 2 วิธีหลักเสมอ คือ ผ่าตัดและไม่ผ่าตัดก็ได้ เพียงแต่ผลการรักษามีความแตกต่างกัน และมีข้อเสียที่ต้องพิจารณาร่วมด้วยเสมอ ได้แก่ รายละเอียดเกี่ยวกับอายุของผู้ป่วย (1) , สุขภาพทั่วไปและความแข็งแรงของผู้ป่วย (2) แนวโน้มในการปฏิบัติตามที่แพทย์สั่งหลังผ่าตัดไปแล้วมีมากน้อยเพียงใด (patient's compliance) ตลอดจนความชำนาญของแพทย์ผู้รักษาเองและอุปกรณ์ใน

การผ่าตัดในแต่ละโรงพยาบาลมีความพร้อมมากน้อยเพียงใดสำหรับแต่ละวิธีการที่จะเลือก ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัจจัยจำเป็นที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วยเสมอในการตัดสินใจเลือกวิธีการรักษา ทั้งแพทย์และผู้ป่วยเองควรมีข้อมูลและความเห็นตรงกันในการเลือกวิธีการรักษา, หากจะผ่าตัด ผู้ป่วยต้องรู้ข้อจำกัดของการใช้โลหะที่จะใช้ตามกระดูกด้วย โดยเฉพาะแพทย์เองต้องมีความเข้าใจในลักษณะพื้นฐานของโลหะแต่ละชนิดที่จะใช้และต้องประเมินความร่วมมือของผู้ป่วยหลังผ่าตัดด้วย ว่ามีโอกาสที่จะละเลยไม่ปฏิบัติตาม หลังการผ่าตัดมากน้อยเพียงใด มีการให้ความรู้และเตือนผู้ป่วยให้ทราบถึงผลเสีย หากไม่ปฏิบัติตาม ตามที่แพทย์แนะนำหลังผ่าตัด เช่น หากจำเป็นต้องใส่เสื้อเกราะ (Brace) ต่อไปหลังผ่าตัดแล้ว หากผู้ป่วยไม่ปฏิบัติตามอาจทำให้เกิดการหักหรือถอนของโลหะยึดตามกระดูกได้ ซึ่งจะเป็นเหตุจำเป็นให้ต้องมารับการผ่าตัดซ่อมแซมอีกในภายหลังได้ สำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาในด้านการรับรู้หรือการยอมรับข้อแนะนำ เช่น แนวนอนจะคือดี เป็นผู้พิการที่รับรู้ไม่ได้ เช่น สมองเสื่อม (dementia) หรือพวกที่แสดงอาการให้เห็นชัดเจนว่ายังไงก็จะไม่ยอมใส่เสื้อเกราะ (Brace) หลังผ่าตัดแน่ ๆ กลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัดได้สูง ควรจะเลือกวิธีที่แน่นอนกว่าและ ไม่ต้องพึ่งพาการปฏิบัติตามหลังผ่าตัด เช่น เลือกที่จะรักษาโดยวิธีการไม่ผ่าตัด หรือ หากจะผ่าตัดก็ให้เลือกที่จะทำผ่าตัดโดยยึดข้อในระดับยาว (long fusion) แทนที่จะทำเพียงระดับสั้น (Short fusion) เพื่อลดโอกาสหักหรือถอนหลังผ่าตัด

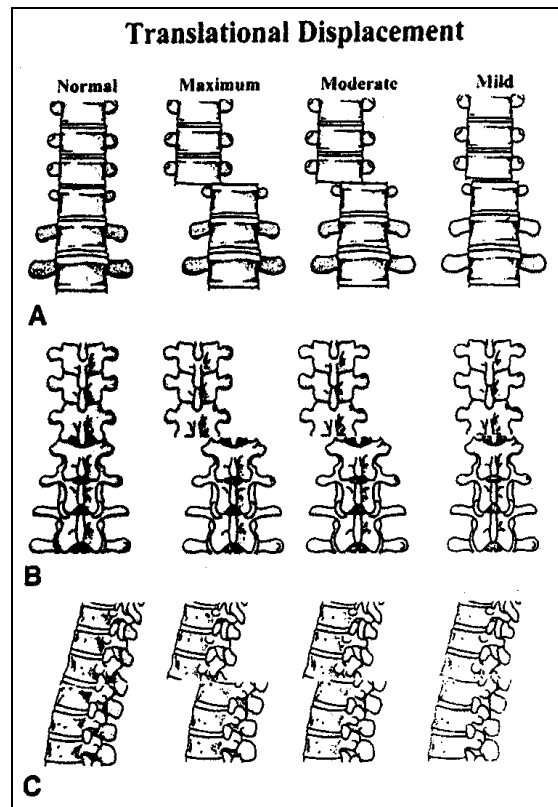
การประเมินภาวะกระดูกสันหลังหักจากภาพรังสี (Radiographic fracture assessment)

ภาวะกระดูกสันหลังเคลื่อนตัวชนิด Translation displacement

ในการประเมินทางรังสีวิทยาของภาวะกระดูกสันหลังหักชนิดใดก็ตาม ที่สำคัญที่สุดคือ ต้องดูว่ามีหรือไม่มีภาวะเคลื่อนตัวชนิด translation (ภาพที่ 1) เนื่องจากหากพบว่ามีภาวะ translation นั้นหมายความว่า การมีการบาดเจ็บหรือฉีกขาดจากกัน (disruption) ของเอ็นที่เกาะบริเวณโครงกระดูกสันหลังหลายจุดด้วยกัน ภาวะนี้บางที่เรียกว่าเป็นชนิด “กระดูกหักและข้อเคลื่อนร่วม” (Fracture-dislocation)

ในบางกรณีภาวะ translation อาจดูเหมือนเล็กน้อยเท่านั้น จากการเคลื่อนกลับเข้าที่เอง บางส่วนแล้ว อย่างไรก็ตามภาวะที่บ่งบ่งถึงความไม่มั่นคงอย่างมากของกระดูกสันหลัง และจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะรักษาด้วยวิธีการผ่าตัดเสมอ การตรวจร่างกายอย่างละเอียดและมองหาภาวะต่อไปนี้เป็นเรื่องสำคัญที่จะทำให้แพทย์ผู้รักษาไม่เกิดความผิดพลาดในการตรวจภาวะดังกล่าว ได้แก่

- (1) การบวมเฉพาะจุด
- (2) คลำได้ร่อง defect บริเวณตำแหน่งของ supra- และ inter-spinous ligament
- (3) ตำแหน่งและระยะระหว่าง pedicle ในภาพรังสีทำตรงเปลี่ยนแปลงไป
- (4) การเรียงตัวของ spinous process ผิดรูปไปจากแนวปกติ



ภาพที่ 1. แสดงภาวะกระดูกสันหลังเคลื่อนตัว ชนิด translation ในระดับที่มากที่สุด แตกต่างกันไป

อย่าลืมเสมอว่าภาพที่เห็นใน X-ray เป็น ภาพที่แสดงถึงกระดูกสันหลังในขณะที่ผู้ป่วยกำลังนอนราบอยู่บนเตียง ภาวะ fracture ที่เคลื่อนมักจะเกิดการเคลื่อนกลับเข้าที่ได้บางส่วน หรือเกือบทั้งหมดแล้วเสมอ เมื่อผู้ป่วยสามารถนอนราบได้ ดังนั้น ภาพการขยับตัวในแนวด้านข้าง (Sagittal view) ที่เห็นเป็น Kyphosis จึงมักจะน้อยกว่าขณะเกิดเหตุเสมอ การที่ยังคงเห็นลักษณะ Kyphotic angulation อยู่ในภาพ X-ray มักจะเป็นกรณีที่เป็นการหักขยับตัวชนิดรุนแรงและมีการล็อกตัวของชิ้นกระดูกที่ขยับตัวลง ดังนั้นผู้เขียนเชื่อว่า Kyphotic angulation ที่เห็นในภาพ X-ray ขณะคนไข้ นอนราบ จะน้อยกว่าในความเป็นจริงเสมอ อันนี้เป็นข้อสำคัญที่ผู้รักษาจะต้องคำนึงถึง เพราะบ่อยครั้งที่พบว่า Kyphosis น้อย ๆ แต่เมื่อติดตามการรักษาในเดือนต่อมาจะพบการขยับตัว Kyphosis เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือบางรายเกิดภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทขึ้น ตามมาภายหลังจากการรักษาแบบอนุรักษ์นิยม กฎที่ควรยึดถือคือ over-estimate severity of fracture ทำให้เกิดการ over treatment บ้างจะส่งผลดีต่อผู้ป่วยมากกว่า กรณี underestimate และ undertreatment เสมอ

การจัดแบ่งชนิดของกระดูกสันหลังหัก (Classifications of fracture)

การจัดแบ่งชนิดของ TL Spine fracture ที่มีการใช้อ้างอิงในปัจจุบันนี้นั้น (Ref.6,8-14) เป็นที่ยอมรับทั่วไปว่า เป็นการแบ่งตามภาพรังสี X-ray ซึ่งเป็นเพียง static view ของ spinal displacement กล่าวคือการแบ่งเฉพาะกระดูกที่หักหรือเคลื่อนเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงภาวะ ligamentous disruptions ซึ่งไม่อาจมองเห็นได้ในภาพ X-ray การกลับเข้าที่เองของ fracture-subluxation หรือ dislocation รวมทั้งการที่เราไม่สามารถแสดงให้เห็นหรือมีการทดสอบใด แสดงถึงการเคลื่อนที่ที่อาจเกิดขึ้นได้มากที่สุด ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ เช่น dynamic view of X-ray ได้ จึงกล่าวได้ว่ายังไม่มี Classification ใดๆ เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วไป

TL-spine fracture classification ที่สมบูรณ์ในอุดมคติ ควรจะให้รายละเอียดลักษณะแบบแผนของกระดูกหักชนิดต่าง ๆ ได้ มีความผิดพลาดจากการอ่านในผู้อ่านแตกต่างกันแต่ละรายน้อย ต้องบ่งบอกถึงภาวะการบาดเจ็บซ่อนเร้นโดยเฉพาะ ligamentous injuries ได้ รวมทั้งควรชี้แนะถึงวิธีการรักษาที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุดได้

Load-Sharing Classification (ภาพที่ 2) (3) เป็นอีก classification ที่สามารถชี้แนะถึงการรักษาโดยการผ่าตัดได้ดี โดยมีรายงานผู้ป่วยสนับสนุนผลการรักษาหากใช้ปัจจัยตาม criteria ดังกล่าว ดังต่อไปนี้

A. Comminution / Involvement

ปริมาณ comminution ของกระดูกสันหลังข้อที่บาดเจ็บมากที่สุด (โดยไม่ต้องคำนึงถึงกลไกการบาดเจ็บ) แบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่

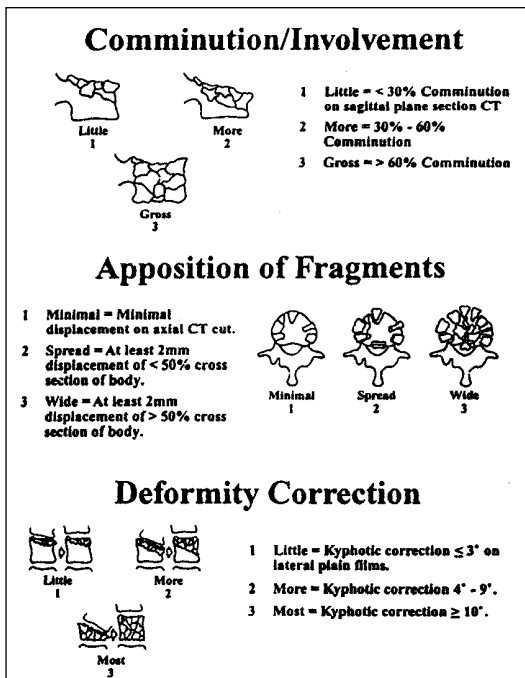
1. Little < 30% comminution on sagittal plane CT
2. More 30%-60% comminution
3. Gross > 60% comminution

B. Apposition of fragment

- คุณลักษณะการเคลื่อนตัวห่างจากกันของ fragment

ในภาพ CT scan เป็นการแสดงถึง ความสามารถในการรักษา load ผ่านบริเวณ fracture และการหาย (healing) จาก apposition แบ่งเป็น 3 grade

1. Minimal
2. Spread (> 2 mm of spread fragment < 50% of total body)
3. Wide (> 2 mm of spread fragment > 50% of total body จาก X-section)



C. Deformity Correction (angular deformity)

- ความจำเป็นจากปริมาณ degree ที่จะต้องแก้ไข

Kyphosis ให้กลับสู่ภาวะ physiologic sagittal plane

แบ่งเป็น 3 ระดับ

1. Little คือ มุม K $< 3^{\circ}$ วัดจากภาพรังสีด้านข้าง
2. More คือ มุม K อยู่ระหว่าง $4^{\circ} - 9^{\circ}$
3. Most คือ มุม K $\geq 10^{\circ}$

Load-Sharing Classification

ผู้รายงาน classification นี้ ได้จากการรวบรวม วิเคราะห์ภาพ X-ray ก่อนผ่าตัด, Sagittal และ axial CT scan ซึ่งจะให้ข้อมูลตามลักษณะของ fracture แบ่งออกได้เป็น 3 ประการ โดยหลัก ๆ คือ เป็นการประเมินปริมาณ vertebral body comminution ที่เกิดขึ้นในขณะบาดเจ็บ โดยแต่ละ factor จะแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 3 ระดับ เริ่มจาก 1, 2 และ 3 ตามความรุนแรงของการบาดเจ็บ โดยที่พบว่า fracture ทุกชนิดสามารถนำมาประเมินตามระดับทั้ง 3 factor ได้ โดยไม่ต้องคำนึงถึง mechanism of injury เลย ผู้เขียนเองพบว่าการใช้ classification นี้ทำให้สามารถตัดสินใจได้ดีขึ้นว่า ภาวะ fracture ชนิดไหนควรจะรักษาโดยการผ่าตัดโดยวิธี short segment (one-above-one-below) instrumentation and fusion หรือโดยวิธี long segment (Two above-Two below) โดยมีผลการศึกษาในผู้ป่วยสนับสนุนแนวทางการใช้ classification นี้ (4)

อย่างไรก็ตาม Load sharing classification นี้ไม่ได้ใช้เป็นข้อกำหนดในการตัดสินใจว่าจะรักษาโดยการผ่าตัดหรือไม่ แต่ช่วยให้แพทย์ผู้รักษามีแนวทางที่จะเข้าใจถึงคุณภาพของความสามารถในการช่วยรับน้ำหนัก เมื่อมีแรงผ่านบริเวณ fracture และ spinal implant เองภายหลังการทำการผ่าตัด และ classification นี้ ก็ไม่ได้กล่าวถึงการบาดเจ็บต่อ ligaments อื่น เช่นเดียวกับ classification ที่มีในปัจจุบัน

ดังนั้น การตัดสินใจว่าจะผ่าตัดหรือไม่ คงต้องอาศัยองค์ประกอบร่วมที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ligament disruption ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้พื้นฐานที่สำคัญในการตัดสินใจเลือกวิธีการรักษาโดยการผ่าตัดหากมีภาวะนี้เกิดขึ้น

เป้าหมายในการรักษาโดยการผ่าตัด (Goal of surgical reconstruction)

ได้แก่ การเสริมสร้างกระดูกสันหลังให้อยู่ในสถานะสมดุลทั้ง 3 ระนาบ โดยการใช้ spinal implant fixation และ fusion ในจำนวนข้อที่น้อยที่สุดเพื่อที่จะคงไว้ซึ่งข้อที่เหลือให้มากที่สุดเพื่อให้เกิดเคลื่อนไหวของผู้ป่วยหลังการรักษาใกล้เคียงปกติมากที่สุด

การแก้ไขการกดทับเส้นประสาท (Spinal canal decompression)

พิจารณาแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

(1) การทำ Decompression ในผู้ป่วยที่ไม่มี neurologic deficit

โดยทั่วไป ไม่มีความจำเป็นแต่อย่างใดในการทำ decompression ในผู้ป่วยที่ไม่มีอาการผิดปกติทางระบบประสาทหลังการบาดเจ็บ มีการศึกษารายงาน (5) พบว่า สามารถเกิด spontaneous resorption ของ bone fragment ที่เลยออกไปเองได้ในภายหลังและเกิดภาวะ remodeling ของ spinal canal ขึ้นในเวลาต่อมา พบว่าแม้กระทั่งในผู้ป่วยที่ไม่ได้รับการผ่าตัดตามโลหะ การ remodel และ resorption นี้ เกิดขึ้นได้ตราบเท่าที่มีภาวะ healing ของกระดูก fracture เกิดขึ้น และไม่มีภาวะ post traumatic deformity หลงเหลืออยู่

ในทางตรงกันข้าม กลับพบว่ามีภาวะทางระบบประสาทแย่ลง หรือ neurologic deterioration ในผู้ป่วยที่มี neurologically intact จากการที่มีการผิดรูปเพิ่มมากขึ้นตามหลังการรักษา spine fracture ชนิด unstable ที่ไม่ได้รับการผ่าตัดแก้ไขในช่วงแรกหลังการบาดเจ็บ (6,7)

อย่างไรก็ตาม มีรายงานยังพบมีการฟื้นตัวของระบบประสาทในผู้ป่วยเหล่านี้ว่ายังคงเกิดขึ้นได้แม้ว่าจะมีการทำ direct decompression หลายปีต่อมาหลังเกิดอาการแล้วก็ตาม (8-11)

(2) การทำ Decompression ในผู้ป่วยที่มี neurologic deficit

ในผู้ป่วยที่มีภาวะ spinal cord injury มักจะได้รับการรักษาโดยการผ่าตัด decompression ร่วมกับการยึดกระดูกด้วยโลหะทันที ชิ้นกระดูกที่เข้ามาใน spinal canal ทางด้านหน้า สามารถหยิบออกได้จากทางด้านหลังผ่านทางเพดิกเคิล ที่เรียกว่า transpedicular approach หรือ posterolateral costro-transversectomy approach ก็ได้ หากเลือกการผ่าตัดรักษา fracture นั้น โดยการผ่าตัดทางด้านหลังแล้ว หากพบว่า ยังคงมีภาวะ canal compromise อยู่จากเศษกระดูก และผู้ป่วยยังคงมีอาการของ incomplete spinal cord syndrome เราสามารถกลับไปทำผ่าตัดทางด้านหน้าต่อโดยการทำเป็น second-stage anterior decompression ได้ ก่อนเข้าไปทำการผ่าตัดแก้ไข แพทย์ผู้รักษาควรประเมินก่อนว่า อาการทางระบบประสาทที่ยังคงมีอยู่ในผู้ป่วยรายนั้น สามารถอธิบายได้จากตำแหน่งที่กดทับจากชิ้นส่วนกระดูกนั้นหรือไม่ เนื่องจากมีการศึกษาพบว่า การบาดเจ็บต่อไขสันหลัง หรือเส้นประสาทชนิดที่เกิดขึ้นไปแล้วในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ มักจะไม่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่กดทับจากชิ้นส่วนกระดูกดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่า ไม่พบความแตกต่างกันในแง่ของการดีขึ้นของระบบประสาทระหว่างผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโดยการผ่าตัดและไม่ผ่าตัด (12,13) อย่างไรก็ตามการผ่าตัดดังกล่าวนี้มักจะต้องทำแต่ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเข้าไปแก้ไข หรือป้องกันการเกิด post traumatic deformity ตามมา การทำ laminectomy โดยไม่ได้ทำการผ่าตัด stabilization ถือเป็นข้อห้าม เนื่องจากจะมีโอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อนที่เรียกว่า iatrogenic post

laminectomy kyphosis ตามมาได้ ก่อนข้างสูง ซึ่งภาวะนี้ทำยที่สุดแล้วมักจะต้องมารักษาโดยการผ่าตัดยึดตามโลหะในภายหลัง (11,14,15-18)

สาเหตุของการหลงเหลืออยู่ของอาการผิดปกติทางระบบประสาท ภายหลังการผ่าตัดแล้ว อาจเกิดได้จาก ปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่

- (1) inadequate decompression of spinal canal
- (2) archnoiditis
- (3) cystic degenerative => Syringoupelvia
- (4) late-onset vascular compromise

การผ่าตัดยึดตรึงกระดูกสันหลังนั้นควรจะทำมากน้อยเพียงใด (Length of fusion : short – vs. long-segment)

โดยทั่วไป คำถามที่แพทย์ผู้รักษาต้องถามตนเอง คือ

- (1) จะรักษาผู้ป่วยโดยวิธีการผ่าตัดหรือไม่ผ่าตัด
- (2) หากจะรักษาโดยการผ่าตัด จะเลือก Approach ทางไหน ได้แก่
 - 2.1 posterior approach
 - 2.2 anterior approach
 - 2.3 combined anterior / posterior approach
- (3) จะรักษาโดยใช้ fixation ชนิด short segment fixation (one-above / one below) หรือ long segment fusion (2 above / 2 below)

ข้อดีและข้อด้อยของการเลือกจำนวนของระดับ fusion คือ หากเลือก short segment fusion ข้อดีคือ การเคลื่อนไหวของผู้ป่วยหลังผ่าตัดจะดีกว่า , ประหยัดเวลาในการผ่าตัด, สูญเสียเลือดและเกิดการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อน้อยกว่า , ประหยัดค่าโลหะมากกว่า แต่ข้อเสียคือ มีโอกาสหักหรือหลุดตัวของระบบดังกล่าวมากกว่าเมื่อเทียบกับ long fusion (2 above / 2 below) ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของการรักษาตัว fracture เองแล้ว ให้ความแข็งแรงได้ดีกว่า แต่ในแง่ของตัวผู้ป่วยเองจะเกิดภาวะ stiffness หลังผ่าตัดมากกว่า ดังนั้นการตัดสินใจเลือกวิธีการ และ จำนวนระดับที่จะเชื่อมคงขึ้นอยู่กับ อาชีพ, น้ำหนักตัวของผู้ป่วยร่วมด้วยเสมอ นอกเหนือจากลักษณะ Configuration ของตัว fracture เอง

การเลือกจำนวนข้อที่ควรยึดตรึงและเชื่อม (Length of fusion)

ตำแหน่งของกระดูกสันหลังที่หัก (ช่วงอก Thoracic, ช่วงอกต่อกับเอว Thoracolumbar, หรือ ช่วงเอว lumbar) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเลือกความยาวของ fixation

ในบริเวณ upper หรือ middle thoracic การเลือก fixation เป็น short หรือ long ไม่ค่อยมีผลต่อการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยหลังผ่าตัดมากนัก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวโดยปกติธรรมชาติแล้วมีการเคลื่อนไหวน้อยอยู่แล้ว จากการศึกษาที่มีชี้แจงมาเกาะทั้ง 2 ข้าง แต่หากเป็นบริเวณ lower thoracic spine, thoracolumbar junction หรือ บริเวณ lumbar spine ควรทำ fixation และ fusion เท่าที่จำเป็น เนื่องจากลักษณะ long fusion จะทำให้การเคลื่อนไหวของผู้ป่วยในระยะแรกและในระยะยาวหลังผ่าตัดลดลงตามจำนวนข้อที่ถูกเชื่อม (63-66)

ในสมัยก่อน การใช้ Harrington rod fixation จำเป็นต้องทำเป็น long fusion เสมอ เนื่องจากความแข็งแรง และจุดเกาะของโลหะไม่ใช่ลักษณะของ segmental fixation ไม่เหมือนในปัจจุบันนี้ ซึ่งใช้เป็น pedicle screw system หรือการผ่าตัดยึดด้วยโลหะทางด้านหน้า (Anterior spinal fixation) มีความมั่นคงแข็งแรงกว่ามาก ทำให้ความจำเป็นในการทำ long fusion ลดลง นอกจากนี้ในบางกรณีแพทย์ผู้รักษาสามารถจะหลีกเลี่ยงการทำ long fusion ได้โดยการเลือกที่จะมาทำผ่าตัดทางด้านหน้าของกระดูกสันหลังแทน (Anterior Spinal Surgery) เพื่อที่จะพยายามคงไว้ ซึ่งการเคลื่อนไหวของข้อหลังผ่าตัดให้มากที่สุด

ผู้เขียนมีความเห็นว่าการทำ long fixation และ fusion นั้น มีความจำเป็นในกรณีผู้ป่วยรายนั้น มีลักษณะ fracture ที่เกิดจากการบาดเจ็บที่รุนแรง , มีการเคลื่อนไหวของชิ้นกระดูกเป็นจำนวนมาก และโดยเฉพาะ fracture dislocation แต่ก็มีหลายกรณีที่เราสามารถเลือกที่จะทำเป็น short segment fixation ร่วมกับการใส่เสื้อเกราะ (Brace) หลังผ่าตัดช่วงเวลาหนึ่ง พบว่า สามารถทำให้ผลการรักษายังคงได้ผลดี และยังสามารถหลีกเลี่ยงการทำ long segment fusion ได้ Long segment fusion ควรทำในผู้ป่วยทุกรายที่แพทย์ผู้รักษาคาดว่า จะไม่ยอมความร่วมมือในการปฏิบัติตนในระยะหลังผ่าตัด เช่น ไม่อยากหรือไม่เต็มใจที่จะใส่ brace หลังผ่าตัด หรือผู้ป่วยที่จำเป็นต้องรีบกลับในทำงานหนัก ผู้ป่วยที่อ้วนมาก ๆ โดยไม่สามารถทำตามข้อห้ามหลังผ่าตัดได้ ทั้งนี้ เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัด เช่น screw หัก หรือถอนจากการยึดเกาะที่ไม่เพียงพอในกรณี short segment fusion

การตัดสินใจเลือกวิธีการผ่าตัด (Surgical Approach: Posterior vs. Anterior)

หลักการขั้นพื้นฐานของการรักษา Fracture คือ ต้องป้องกันไม่ให้มีแรงผ่านบริเวณกระดูกที่หักมากเกินไประหว่างที่กระดูกกำลังจะติด กล่าวคือ แรงดังกล่าวจะต้องถูกส่งไปยังโลหะยึดตรึงกระดูกสันหลัง (spinal implant) ผลของแรงที่ผ่านบริเวณกระดูกสันหลังที่หักที่ไม่มากเกินไป จะทำให้ชิ้นส่วนของกระดูกที่หักคงอยู่นิ่ง และเกิดการเชื่อมติดเองตามธรรมชาติได้ในที่สุด หากแรงยึดเกาะของโลหะที่ถ่ายแรงออกไปจากกระดูกสันหลังไม่เพียงพออาจจะส่งผลให้เกิดการหลุดตัว, แยกตัวของตัวชิ้นกระดูกที่แตก ร่วมกับการหักหรือหลวมของโลหะยึดเกาะได้ หลักการนี้ใช้ได้ทั้งกรณีจะรักษาโดย posterior approach และ anterior approach (กล่าวคือ ต้องไม่เกิดช่องว่างมาก

เกินไป จนทำให้แรงผ่านบริเวณ spinal column ขาดหายไป ก็ต้องมีบางส่วนของกระดูกบริเวณที่แตกอยู่ยึดกันพอที่จะรับน้ำหนักได้บ้าง (load-sharing by fracture itself)

มีการศึกษายืนยันว่า หากไม่มี load-sharing เกิดขึ้น ณ บริเวณกระดูกที่หัก แม้จะยึดเกาะด้วยโลหะแล้วก็ตาม หลังผ่าตัดพบว่า มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาตามมาได้คือ implant failure หรือกระดูกไม่ติดเพิ่มขึ้น (19)

การพิจารณาปัจจัยก่อนผ่าตัด ได้แก่ ลักษณะกายวิภาคของ fracture, ลักษณะงาน, อาชีพ, กิจวัตรของผู้ป่วยแต่ละรายไป จะช่วยให้การตัดสินใจเลือกว่าควรทำผ่าตัด anterior หรือ posterior instrumentation ได้ดียิ่งขึ้น และหากเลือกทำทางด้าน posterior ยังช่วยในการเลือกอีกว่าควรทำเป็น short หรือ long segment instrumentation + fusion (3,4,20)

ในการพิจารณาการผ่าตัดรักษา fracture spine หลักการสำคัญ คือ ต้องพยายามทำเสริมสร้างให้ sagittal plane alignment กลับสู่ปกติหรือใกล้เคียงมากที่สุด ไม่จำเป็นต้องไปเน้นที่การ restore ระดับความสูงของ vertebral body ที่ยุบลงไป เนื่องจาก หากพยายามไป restore ความสูงของ vertebral body ให้กลับสู่ปกติ อาจจะทำให้ load sharing บริเวณกระดูกบริเวณที่หักลดน้อยลงจาก over-distraction อันจะทำให้โอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาเพิ่มมากขึ้น

หากพยายาม restore sagittal plane alignment จนปกติแล้วพบว่า มีช่องว่างเกิดขึ้นมากขึ้น บริเวณกระดูกที่หัก ควรจะแก้ไขด้วยการทำผ่าตัดทางด้านหน้าเพื่อไปวางแท่งกระดูก(strut graft) เพื่อเพิ่ม load-sharing function หรือให้ได้ anterior column support ที่เพียงพอ กรณีดังกล่าวนี้ มักจะจำเป็นต้องกระทำเมื่อลักษณะ Fracture เป็นชนิด comminution มาก ๆ และมี kyphotic deformity มาก หลังจากพยายามแก้ไข deformity จะพบว่าด้านหน้าของ spine กลายเป็นช่องว่างโดยมีเศษกระดูกปน ๆ ลอยอยู่ ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ แม้จะยึดตรึงด้วยโลหะแล้วก็ตาม การได้ load sharing ที่ดีหรือ มี anterior column support เพียงพอจะทำให้ผู้ป่วยสามารถกลับมาใช้ชีวิตใกล้เคียงปกติได้เร็วยิ่งขึ้น

อีกทางเลือกหนึ่งหากแพทย์ผู้รักษาไม่ต้องการจะทำการผ่าตัดแบบ posterior fixation ร่วมกับ anterior strut graft ในกรณีดังกล่าวมาแล้ว เช่น ผู้ป่วยมี co-morbidities อยู่หลายโรค, เสี่ยงต่อการผ่าตัด นั่นคือการเลือกทำผ่าตัดเฉพาะทางด้านหลังและเลือกทำเป็น long fusion แทน ร่วมกับการให้ผู้ป่วยนอนราบต่อไปหลังผ่าตัดประมาณ 4-6 สัปดาห์ เพื่อรอให้กระดูกที่หักเริ่มหายและแข็งแรงขึ้นบ้างเพื่อหวังผลให้เพิ่ม load-sharing ได้มากขึ้น จึงจะเริ่มลุกนั่งหรือเดิน

Fracture บางบริเวณ เช่น บริเวณช่วงอกตอนบน มักจะมีความยุ่งยากที่จะทำการผ่าตัดผ่านทางด้านหน้าเพื่อไปจัดกระดูกให้เข้าที่ และยึดตามด้วยโลหะ เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้ชิดกับเส้นเลือดใหญ่ Aorta มาก จึงเป็นการปลอดภัยและง่ายกว่า หากจะรักษาโดยการผ่าตัดยึดตามโลหะทางด้านหลังร่วมกับการทำ decompression ผ่านทางด้านข้างที่เรียกว่า posterolateral decompression หรือ costotransversectomy approach

ระบบการยึดเกาะกระดูกสันหลังทางด้านหลัง (Posterior spinal systems)

(1) Pedicle – Screw – based spinal constructs

pedicle screw system ทำให้การแก้ไขการผิดรูปของกระดูกสันหลัง ได้รับการพัฒนาให้ การแก้ไขทำได้ผลดีมากยิ่งขึ้น เป็นผลมาจากความแข็งแรงของการยึดเกาะของ pedicle screw ลด อัตราการเข้าไปรบกวนเส้นประสาท ภายในช่องไขสันหลัง เมื่อเทียบกับการใช้ lamina hook ที่ต้อง เกี่ยวปลายของ hook ผ่าน lamina เข้าไปภายใน spinal canal นอกจากนี้ยังช่วยให้ความจำเป็นในการ ใส่ instrument ในลักษณะขอบ long fusion ลดลง อีกทั้งโอกาสที่จะมีปัญหา loss of correction ลดลงด้วย (4,21,22-28)

(2) Hook – and/or – wire spinal constructs

ระบบนี้แม้จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะน้อยกว่า ระบบ pedicle screws (28,29) ในการ ยึดเกาะทางด้านหลังแต่ก็เป็นที่ยอมรับว่าได้ผลดีใช้ได้ โดยเฉพาะในผู้ป่วยรายที่พบว่ามี pedicle ขนาดเล็ก หรือแพทย์ผู้ผ่าตัดไม่มั่นใจหรือไม่คุ้นเคยในการใส่ pedicle screw อย่างไรก็ตาม การใช้ ระบบ Hook และ rod segmental instrumentation จำเป็นต้องยึดเกาะกระดูกสันหลังให้ยาวขึ้นคือ เป็นชนิด long segment fixation เนื่องจากความแข็งแรงของการยึดเกาะน้อยกว่า pedicle screw จึง ต้องเพิ่มจุดยึดเกาะให้มากขึ้นนั่นเอง ในระบบ rod นั้น หากใช้ transverse connector ร่วมด้วย จะ พบว่าเพิ่มความมั่นคงแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (30,31) ปัจจุบันนี้ มีการใช้ sublaminar wiring น้อยลงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะ เนื่องจากความจำเป็นที่ต้องทำ long fusion และ wire นั้น จำเป็นต้องสอดผ่านเข้าไปใน spinal canal ทำให้มีโอกาสเกิดการบาดเจ็บ ต่อไขสันหลังหรือเส้นประสาทได้

(3) Anterior Spinal Systems

ในกรณีกระดูกหัก fracture ชนิดที่กระดูก body แตกละเอียดมาก (highly comminution) บริเวณ thoraco-lumbar junction การทำผ่าตัดทางช่องด้านหน้าของกระดูกสันหลัง โดยใช้เทคนิค การวาง strut graft ร่วมกับ instrumentation ทางด้านหน้า พบว่าให้ความแข็งแรงกว่า การผ่าตัดชนิด Posterior fixation โดยใช้ pedicle screw (19,20,32,33) และยังพบว่าค่าเฉลี่ยของการ loss of correction กรณีที่ kyphosis นั้นอยู่ระหว่าง 3° - 12° รายงานการศึกษารักษาด้วย pedicle screws ในขณะที่ค่านี้อยู่ที่ระหว่าง 1° (34) ถึง 4° (4)

นอกจากนี้อัตราการล้มเหลวของ posterior instrumentation นั้น มีรายงานเฉลี่ย ตั้งแต่ 9-54% ในกรณี pedicle screw series ในขณะที่พบแค่ 6% ตามรายงานของ Kaneda anterior spinal system การผ่าตัดทางด้านหน้า (Anterior Approach) นั้นค่อนข้างจะปลอดภัย (35,36) และ ใช้ได้ผลดีในกรณีที่ต้องเลือกวิธีนี้ ภาวะแทรกซ้อนจากการผ่าตัด anterior approach เองพบ

ได้ 11.5% นอกจากนี้ยังพบว่า มี อัตราการตาย 0.3%, เป็นอัมพาต(paraplegia) 0.2% และ deep wound infection 0.6% (37)

Kaneda anterior spinal system ถือเป็น prototype ของอุปกรณ์ผ่าตัดทางด้านหน้าของกระดูกสันหลังด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้การ fixation กระทำด้วยความยาวที่สั้นที่สุด เพื่อจะคงไว้ซึ่งการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลังส่วนที่เหลือ

ความสำเร็จของการรักษาโดย anterior instrumentation ในภาวะกระดูกหักนี้ขึ้นกับปัจจัยสำคัญคือสามารถจัดเรียง vertebral body ที่หัก ได้เพียงพอที่จะรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ หากจะใช้ Allograft แทน vertebral body ก็ควรใช้ graft ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขนาดใกล้เคียงกับ vertebral body เพื่อจะได้อัดแน่นในช่องว่าง vertebrectomy gap อาจจะใช้เป็น graft ชนิด Autologous bone strut ได้แก่ Tricortical iliac crest graft หรือใช้กระดูก fibula ของผู้ป่วยเองก็มีรายงานว่าได้ผลดี (31) แต่ไม่ควรใช้ ribs มาทำหน้าที่เป็น strut graft เนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักไม่เพียงพอ (37) นอกจากนี้มีรายงานการใช้ Allograft เช่น femoral ring หรือ fibula strut ก็ได้ผลดีเช่นกัน หากจำเป็นต้องรีบทำผ่าตัดและไม่มี autograft เพื่อไว้ ข้อเสียของ allograft คือ เกิดการเชื่อมติดกับ host bone ช้ามากเมื่อเทียบกับ autograft (38)นอกจาก graft ที่กล่าวมาแล้ว ยังมี รายงานการใช้วัสดุอื่นมาแทน bone graft เพื่อมาทำหน้าที่เป็น strut graft ได้แก่ Titanium cage, Bioceramics, Carbon cage (39)

ปัจจัยที่มีผลต่อการล้มเหลวของโลหะยึดเกาะทางด้านหน้า ได้แก่ การใช้ strut graft ขนาดไม่เหมาะสม(ไม่แน่นพอดีกับ resection gap) และการยึดของ implant ไม่แน่นหนาพอ อย่างไรก็ตาม failure ของ implant ทางด้าน anterior นั้น พบว่าไม่มีความจำเป็นใด ๆ ที่จะต้องไปผ่าตัดเอาโลหะนั้นออก แต่ให้แก้ไขได้โดยการทำ Posterior instrumentation และ fusion โดยทำเป็น short fixation คือ one above one below ก็เพียงพอแล้ว (31,40)

การประเมินการหายของกระดูกหัก (Bone or fracture healing)

การประเมิน fusion mass ที่น่าเชื่อถือที่สุด คือ การผ่าตัดเข้าไปดู (Surgical exploration) แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ไม่มีความจำเป็นต้องไปทำการผ่าตัดดังกล่าว เราสามารถประเมินการหายของกระดูกหักได้โดยดูจาก การตรวจร่างกายทางคลินิก เช่น กดไม่เจ็บ , ก้มงอหรือเคลื่อนไหวได้ดี ไม่มีอาการเจ็บปวดขณะเคลื่อนไหว, ภาพรังสีวิทยา ภาพรังสี Tomograms, ภาพรังสี flexion-extension หรือ CT-scan มีการศึกษายืนยันว่าการสูบบุหรี่ทำให้ลดอัตราการหายของกระดูกหัก หรือทำให้กระดูกติดช้าลง (41)

ปัจจุบันนี้ มีการศึกษาวิจัยพบวิธีการบางอย่างที่ทำให้กระดูกติดเร็วขึ้นได้ ได้แก่ การพัฒนา design ของ instrumentation system, local gene therapy (42), กระตุ้นด้วยคลื่นรังสีแม่เหล็ก magnetic electrical stimulation, hydroxyapatite (43) หรือ calcium phosphate (54)

การเฝ้าระวังไขสันหลัง (spinal cord) ขณะทำการผ่าตัด และ ภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทที่เกิดจากการผ่าตัด

ควรหลีกเลี่ยงภาวะ inadequate reduction และการทำให้ fracture displacement ขณะทำการใส่ plate หรือ rods เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่ทำให้อาการทางระบบประสาทแย่ลง การใช้ Intra-operative X-ray ประเมินหลังจากการทำ decompression และ stabilization แล้วเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประเมินว่ากระดูกที่หักหรือเคลื่อนนั้นเข้าที่หรือไม่ และ instrument ที่ใส่เสร็จแล้วนั้น อยู่ในสภาพที่เหมาะสมหรือยัง มีรายงานการศึกษาพบว่า Intra-operative somatosensory evoked potentials (SSEPs) monitoring (44-47), wake-up test (48-50), ankle clonus test (51) มีประโยชน์ในการช่วยประเมิน spinal cord function ขณะผ่าตัดได้ อย่างไรก็ตาม ไม่มี test ใดๆที่ให้ผลน่าเชื่อถืออย่างแน่นอน ในการประเมินความผิดปกติของ spinal cord (52, 53, 55-57)

การเฝ้าระวัง spinal cord โดยใช้ intraoperative cortical และ subcortical SSEPs นั้น มีรายงานว่าพบ false-negative rate 9% ระหว่างการทำ anterior vertebrectomy เนื่องจาก SSEPs นั้น บ่งชี้ถึงการทำหน้าที่ของ spinal cord เพียงในส่วน of posterior column เท่านั้น (57) และยังขึ้นกับระดับของ Neuromuscular Blockade (58) ด้วย ส่วนการทำ wake up test นั้นเป็นการประเมิน motor function แบบคร่าว ๆ เท่านั้น

ไม่มีวิธีการ monitoring ใดๆที่จะมีความสำคัญเท่ากับความรู้ทาง spinal anatomy ของ แพทย์ผู้ผ่าตัดและ การทำผ่าตัดด้วยความระมัดระวัง ต่อ spinal cord, cauda equine และ nerve roots ประสบการณ์ของแพทย์ผู้ผ่าตัดมีส่วนสำคัญในการช่วยลดภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทอันเกิดจากแพทย์ผู้รักษามีรายงานอุบัติการณ์ของ iatrogenic injuries ที่เกิดจาก posterior spinal system ก่อนข้างต่ำ คือ รายงานหลากหลาย จาก 1% (Total of 4790 pedicle screw) จนถึง 4.7% (3949 pedicle screw) (62) และ 1% จาก hooks rod construct (59,60) ส่วนในการบาดเจ็บที่เกิดจาก anterior spinal system ประกอบด้วย การบาดเจ็บต่อ stellate ganglion ซึ่งมีผลทำให้เกิด Horner Bernard syndrome ในการผ่าตัดที่ระดับเหนือ T1-T12 (7%) (37) , genitofemoral nerve (2%) (61) , nerve root irritation จาก screw ทะลุเข้าไปใน neural foramen ในด้านตรงข้าม , Unstable construct, screw malposition เข้าไปใน spinal canal, มีชิ้น bone graft หลุดเข้าไปใน spinal canal หลังการผ่าตัด

ภาวะแทรกซ้อนจากการบาดเจ็บต่อเส้นเลือด (Vascular complications)

Vascular complication พบได้น้อยมาก และส่วนใหญ่จะพบจากการผ่าตัดทางด้านหน้า มีรายงานพบ Vena Cava rupture 0.9% (34), นอกจากนี้การบาดเจ็บอาจเกิดจาก trauma หรือมี late erosion ของผนังเส้นเลือดบริเวณที่ใกล้กันกับ instrument ในกรณีที่สูงสัยะภาวะดังกล่าว อาจตรวจเพิ่มเติม โดยใช้ arteriograms, venograms หรือ CT-scan เพื่อประเมินภาวะดังกล่าว

การเจ็บปวดหลังการผ่าตัด

จากการศึกษาพบอุบัติการณ์ pain syndrome ที่เกิดจาก thoracotomy และ thoracolumbotomy ที่เกิดนานเกินกว่า 6 เดือนได้ 9.2% พบอาการเจ็บปวดรอบ ๆ implant 1.1% การเจ็บปวดบริเวณ donor site จาก iliac crest bone graft อาจจะเป็นผลมาจากการบาดเจ็บต่อ cluneal nerve (37)

สรุป

Posterior และ Anterior Spinal instrumentation Systems นั้นมีประโยชน์และมีประสิทธิภาพเป็นอย่างยิ่ง ในการเสริมสร้างภาวะกระดูกสันหลังหักชนิดรุนแรงบริเวณ thoracic และ lumbar spine ภาวะแทรกซ้อนระหว่างการผ่าตัดอาจเกิดขึ้นได้ตามที่กล่าวมาแล้ว แม้จะพบได้น้อยมาก การวางแผนที่ดีก่อนผ่าตัด ความรู้และความชำนาญของแพทย์ผู้รักษา ตลอดจนการเฝ้าระวังภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัด มีผลทำให้ผลการรักษาดีขึ้น

สิ่งสำคัญที่สุดในการรักษา fracture spine คือ การเลือกผู้ป่วยที่เหมาะสม , การเลือกวิธีการผ่าตัดที่เหมาะสม และความรู้และประสบการณ์ของแพทย์ผู้ผ่าตัด

แพทย์ผู้รักษาไม่ควรตัดสินใจว่าจะผ่าตัด หรือไม่ผ่าตัด ผู้ป่วยรายนั้น ๆ โดยอาศัย factor ใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่ควรประเมินให้ครอบคลุมทั้งหมด ตั้งแต่ การตรวจร่างกาย, อาการทางระบบประสาท การประเมิน อาชีพ, กิจกรรมทางสังคม , การศึกษาของผู้ป่วย , การวางแผนการทำงานต่อไปในอนาคตของผู้ป่วยเอง การประเมินภาพรังสีวิทยา, CT-scan เพื่อจะได้ประเมินข้อดีข้อเสียและอัตราเสี่ยง ในการเลือกว่าควรจะใช้วิธีผ่าตัดหรือไม่ผ่าตัด และถ้าจะเลือกการผ่าตัด ผู้ป่วยรายใดเหมาะสม ที่จะให้ความร่วมมืออย่างต่อเนื่องหลังผ่าตัด และพิจารณาต่อว่า ควรจะผ่าตัดทางด้านหน้า หรือด้านหลัง หากเป็นด้านหลังควรพิจารณาให้รอบคอบว่า เมื่อใดควรทำ long หรือ short fusion ทั้งนี้ต้องไม่ลืมหลักสำคัญว่า fracture spine ทุกชนิดสามารถติดเองได้ และสามารถรักษาได้โดยไม่ต้องผ่าตัด หากแต่ว่าผลของการหายนั้นก่อให้เกิด morbidity ตามมาหรือไม่ อย่างไรเท่านั้น หากแพทย์ผู้รักษาไม่มีความรู้และประสบการณ์เพียงพอ ควรส่งต่อไปยังผู้เชี่ยวชาญ หรืออาจจะเลือกที่จะรักษาโดยวิธีการผ่าตัดอาจจะให้ผลดีกว่าและเกิดภาวะแทรกซ้อนน้อยกว่า

เอกสารอ้างอิง

1. Mosekilde L: Age-related changes in bone mass, structure, and strength effects of loading. *Zeitschrift fur Rheumatologie* 2000, 59S1:1-9.
2. Wittenberg RH, Shea M, Swartz DE , et al.: Important of bone mineral density in instrumented spine fusion. *Spine* 1991, 16:647-652.
3. McCormic T, Karaikovic EE, Gaines RW: The Load-sharing classification of spine fractures. *Spine* 1994, 19:1741-1744.
4. Parker JW, Lane Jr, Karaikovic EE, et al. : Successful short-segment instrumentation and fusion for thoracolumbar spine fractures: a consecutive 4 ½ -year series. *Spine* 2000, 25:1157-1170.
5. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, et al.: Spinal pedicle fixation reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. *Spine* 1998, 13: 1012-1018.
6. Denis F: The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spine injuries. *Spine* 1983, 1741-831.
7. Gertzbein SD: Neurologic deterioration in patients with thoracic and lumbar spine fractures after admission to the hospital. *Spine* 1994, 19:1723-1725.
8. Bohlman HH, Kirkpatrick JS, Delamater RB, et al.: Anterior decompression for late pain and paralysis after fracture of the thoracolumbar spine. *CORR* 1994, 300:24-29.
9. Maiman DJ, Larson SJ , Bonzel EC: Neurologic improvement associated with late decompression of the thoracolumbar spinal cord. *Neurosurgery* 1984,14:302.
10. McAfee PC, Bohlman HH , Yuan HA .: Anterior decompression of traumatic thoracolumbar fractures with incomplete neurologic deficit using retroperitoneal approach. *J Bone Joint Surg* 1985, 67A: 8-104.
11. Malcolm BW, Bradford DS, Winter RB, et al.: Post-traumatic kyphosis. *J Bone Joint Surg* 1981, 63(A): 891-899.
12. Boeger TO, Limb D, Dickson RA: Does canal clearance affect neurological outcome after thoracolumbar burst fracture? *J Bone Joint Surg* 2000, 82B: 629-635.
13. Kim NH, Lee HM, Chun IM: Neurologic injury and recovery in patients with burst bracture of thoracolumbar spine. *Spine* 1999, 24: 290-294.
14. Bradford DS, McBride GG: Surgical management of thoracolumbar spine fractures with incomplete neurologic deficits. *Clin Orthop* 1987, 218:201-216.

15. Burk DK, Murray DD: The management of thoracic and thoracolumbar injuries of the spine with neurological involvement. *J Bone Joint Surg* 1976, 58B;72-78.
16. Morgan TH, Wharton GW, Austin GN: The results of laminectomy in patients with incomplete spinal cord injuries. *Paraplegia* 1971, 9:14.
17. Tencer AF, Allen BL Jr., Ferguson RL: A biomechanical study of thoracolumbar spinal fractures with bone in the canal. Part I. The effect of laminectomy. *Spine* 1985, 10:580-585.
18. Tencer AF, Allen BL Jr., Ferguson RL: A biomechanical study of thoracolumbar spinal fractures with bone in the canal. Part II. The effect of flexion angulation, distraction, and shortening of the motion segment. *Spine* 1985, 10: 586-589.
19. McLain RF, Sparling E, Benson DR: Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report. *J Bone Joint Surg* 1993, 75(2)A:16-17.
20. Holt BT, McCormic T, Gaines RW: Short segment fusion anterior or posterior approach? The load-sharing classification of spine fractures. *Spine State of Art Reviews* 1993, 7: 277-285.
21. Myllynen P, Bostman O, Riska E: Recurrence of deformity after removal of Harrington's fixation of spine fracture. Seventy-six cases followed for 2 years. *Acta Orthop Scand* 1988, 59:497-502.
22. Krag MH, Beynon BD, Pope MH, et al.: Depth of insertion of transpedicular vertebral screws into human vertebrae. Effect upon screw-vertebra interface strength. *J Spinal Disord* 1989, 1: 287-294.
23. Roy Camille R, Saillant G, Berteaux D, et al.: Osteosynthesis of thoracolumbar spine fractures with metal plates screwed through the vertebral pedicles. *Reconstru Surg Traumatol* 1976, 15:2-16.
24. Sasso RC, Cotler HB: Posterior instrumentation and fusion for unstable fractures and fracture-dislocations of the thoracic and lumbar spine. A comparative study of three fixation devicee in 70 patients. *Spine* 1993, 18: 450-460.
25. Sell P, Collins M, Dove J: Pedicle screws: axial pullout strength in the lumbar spine. *Spine* 1988, 13: 1075-1076.
26. Skinner R, Maybee J, Transfelt E, et al.: Eeperimental pullout testiong and comparison of variables in transpedicular screw fixation- a biomechanical study. *Spine* 1990, 15: 195-201.
27. Steffee AD, Biscup RS, Sitkowski DJ: Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine. *Clin Orthop* 1986, 203: 45-53.
28. Van Brussel K, Vander Sloten J, Van Audekercke R, et al.: Internal fixation of spine in traumatic and scoliosis cases. The potential of pedicle screws. *Tchnology& Health Care* 1996, 4:365-384.

29. Cheung KMC, Luk KDK, Leong JCY: Radiographic Assessment of Pedicle hook placement. *Spine* 1997, 22: 2106-2111.
30. Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, et al.: Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. *Spine* 1987, 12:160-166.
31. Karaikovic EE, Kaneda K, Akbarnia BA, et al.: Kaneda instrumentation for spinal fractures. In *The Textbook of spinal surgery*(Eds: KH Bridwell and RL DeWald) Second Ed, Lippincott-Raven; 1997,1889-1924.
32. Devito DP, Tzahakis PJ: Cotrel-Dubousset instrumentation in traumatic spine injuries. *Proceeding of the Sixth international congress on CD instrumentation, Montpellier, Sauramps Medical, 1989, 41-46.*
33. Gillet P, Meyer R, Fatemi F, et al.: Short segment internal fixation using CD instrumentation with pedicle screws: biomechanical testing. *Proceeding of the Sixth international congress on CD instrumentation, Montpellier, Sauramps Medical, 1989, 19-24.*
34. Kaneda K, Taneichi H, Abumi K, et al.: Anterior decompression and stabilization with the Kaneda device thoracolumbar burst fractures associated with neurological deficits. *J Bone Joint Surg*, 1997, 79 A.
35. Mann KA, Found EM, Yuan HA, et al.: Biomechanical evaluation of the effectiveness of anterior spinal fixation systems. *Orthop Trans* 1987, 11:378.
36. McDonnell MF, Glassman SD, Dimar JR, et al: Perioperative complications of anterior procedures on the spine. *J Bone Joint Surg* 1996, 78A;839-847.
37. Faciszewski T, Winter RB, Lonstein J et al. The surgical and medical perioperative complications of anterior spinal fusion in thoracic and lumbar spine in adult. A review of 1223 procedures. *Spine* 1995, 20:1592-1599.
38. Akbarnia BA, Mardjetko SM, Kostial PN: Results of anterior spinal fusion and Kaneda instrumentation using tricorticate iliac graft, a two year follow-up. *Orthop Transactions* 1993; 17:123.
39. Kaneda K, Asano S, Hashimoto T, et al. The treatment of osteoporotic posttraumatic vertebral collapse using the Kaneda device and a bioactive ceramic vertebral prosthesis. *Spine* 1992; 17:S295-303.
40. Karasikovic EE, Holt B, Gaines RW : Clinical and radiographic follow-up of Kaneda device reconstruction of thoracolumbar burst fractures, *Orthop Transactions*, 1993-94, 17:885.

41. Glassman SD, Anagnost SC, Parker A, et al. The effect of cigarette smoking and smoking cessation on spinal fusion. *Spine* 2000, 25:2608-2615.
42. Zlotolow DA, Vaccaro AR, Salamon ML, et al. The role of human bone morphogenic proteins in spinal fusion. *J of AAOS* 2000, 8:39.
43. Wendsche P, Kocis J, Visna P, et al. : Interbody fusion using hydroxyapatite granules in thoracolumbar fractures (T11-L2), *Scirpta Medica (Brno)* 1999, 72:345-360.
44. Ben-David B: Spine cord monitoring. *Orthop Clin North America*, 1988, 19:427-448.
45. Engler GL , Spielholz NI, Bernhard WN, et al. : Somatosensory evoked potentials during Harrington instrumentation for scoliosis. *J Bone and Joint Surg* 1978; 60A:528-532.
46. Nash CL Jr, Lorig RA, Schatzinger LA, et al: Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clin Orthop* 1977, 126:100-105.
47. Papastefanos SL, Henderson LM, Smith NJ et al. : Surface electrode somatosensory-evoked potentials in spinal surgery: Implications for indications and practice. *Spine* 2000, 25:2467-2687.
48. Hall JE, Levine CR, Sudhir KG : Intraoperative awakening to monitor spinal cord function during Harrington instrumentation and spine fusion. Description of procedure and report of three cases. *J Bone Joint Surg* 1978, 60A:533-536.
49. Jones ET, Matthews LS, Hensinger RN: The wake-up technique as a dual protector of spinal cord function during spine fusion. *Clin Orthop* 1982, 168:113-118.
50. Vauzelle C, Stagnara P, Jouvinroux P : Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin Orthop* 1973, 93:173-178.
51. Hoppenfeld S, Gross A, Andrews C, et al. : The ankle clonus test for assessment of the integrity of the spinal cord during operations for scoliosis, *J Bone Joint Surg* 1997, 79(A):208-212.
52. Ben-David B, Haller G, Taylor P : Anterior spinal fusion complicated with paraplegia, A case report of a false-negative somatosensory evoked potential. *Spine* 1987, 12:536-539.
53. Ginsburg HH, Shetter AG, Raudzens PA : Postoperative paraplegia with preserved intraoperative somatosensory evoked potentials. Case report. *J Neurosurg* 1985, 63:296-300.
54. Leutenegger A: Integration and resorption of calcium phosphate ceramics in defect filling of fractures of the tibial head. Radiologic long-term results. *Helvetica Chirurgica Acta* 1994, 60:1061-1066.

55. Wiberg RG, Thompson GH, Shaffer JW, et al. : Postoperative neurological deficits in segmental spinal instrumentation. A study using spinal cord monitoring. *J Bone Joint Surg* 1984, 66A:1178-1187.
56. Machida M, Weinstein SL, Yamada T, et al. : Compound muscle action potentials and spinal evoked potentials in experimental spine maneuver. *Spine* 1989, 14:687-691.
57. Deutsch H, Argenteau M, Manhart K , et al : Somatosensory evoked potential monitoring in anterior thoracic vertebrectomy. *J Neurosurg* 2000, 92S2:155-161.
58. Minahan RE, Riley LH, Lukaczyk T, et al. : The effect of neuromuscular block ade on pedicle screw stimulation thresholds. *Spine* 200, 25:2526-2530.
59. Edwards CC, Levine AM : Complications associated with posterior instrumentation in the treatment of thoracic and lumbar injuries. In : Garfin SR(ed.): *Complication of Spine Surgery*. Baltimore. Williams & Wikins, 1989, 164-199.
60. McAfee PC, Bohlman HH : Complications following Harrington instrumentation in the treatment of thoracolumbar spine. *J Bone Joint Surg* 1985, 67A:672-686.
61. Leque ER, Cassis N, Ramirez-Wiella G: Segmental spinal instrumentation in the treatment of fractures of the thoracolumar spine. *Spine* 1982, 7:312-317.
62. Essess SI, Sachs BL, Dreyzin V: Complications associated with the technique of pedicle screw fixation : A selected survey of ABS members. *Spine* 1993, 18:2231-2239.
63. Karaikovi EE, Gaines RW,: Short segment fixation using VSP plates and pedicle screws for trauma. *Spinal instrumentation Techniques*. Edited by Brown CV. Scoliosis Research Society, 1994.
64. McNamara MJ, Stephens GC, Spengler DM: Transpedicular short-segment fusions for treatment of lumbar burst fractures. *J Spinal Disord* 1992, 5:183-187.
65. Nagata H, Schendel MJ, Transfeldt EE, et al.: The effect of immobilization of long segment of spine on the adjacent and distal facet force and lumbosacral motion. *Spine* 1993, 18:2471-2479.
66. Chen WJ, Niu CC, Chen LH, et al.: Back pain after thoracolumbar fracture treated with long instrumentation and short fusion. *J Spinal Disord* 1995,8:474-478.