

## การผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลังร่วมกับเครื่องกระตุ้น ตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย: บทความปริทัศน์

ณัฐวุฒิ นิลเจียรสกุล, พ.บ., ว.ว. ประสาทศัลยศาสตร์

หน่วยประสาทศัลยศาสตร์, ภาควิชาศัลยศาสตร์, คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล,  
มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช, ดุสิต, กรุงเทพมหานคร 10300

### บทคัดย่อ

การผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลังถูกใช้เพื่อการผ่าตัดภาวะความผิดปกติของกระดูกสันหลังอันเกิดจากอุบัติเหตุ, ความเสื่อมของกระดูกสันหลัง, กระดูกสันหลังคด, และเนื้องอกบริเวณกระดูกสันหลังและไขสันหลัง ความแม่นยำในการใส่สกรูมีความสำคัญมากเพราะหากมีการแตกทะลุของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังแล้ว อาจเกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงไม่ว่าจะเป็นภาวะอันตรายต่อรากประสาท, ไขสันหลัง, หลอดเลือด, เยื่อหุ้มสมอง, อวัยวะภายใน, เกิดข้อต่อลง, และอุปกรณ์ที่ใส่เกิดความล้มเหลว ซึ่งปัญหาภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดใส่สกรูที่ ศัลยแพทย์ต้องเผชิญมากที่สุดคือการที่สกรูไปทำอันตรายต่อรากประสาท ถึงแม้ว่าจะมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วย มากขึ้นในทศวรรษที่ผ่านมาแต่การใส่สกรูก็ยังคงทำให้เกิดความเสี่ยงดังกล่าวได้ จากการศึกษามากมายในปัจจุบันพบว่า การใช้เครื่องกระตุ้นตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในระหว่างการผ่าตัดช่วยในการใส่สกรูให้มีความแม่นยำ และลดอันตรายต่อรากประสาทได้ โดยมีค่าความไวปานกลางและค่าความจำเพาะสูงในการตรวจจับการแตกทะลุ ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง อีกทั้งพบว่าโอกาสที่จะมีการแตกทะลุผนังของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลัง และเกิดอันตรายต่อเส้นประสาทหลังการผ่าตัดมีความสัมพันธ์กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเส้นประสาทที่ต่ำ

**คำสำคัญ:** การแตกทะลุผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง, การผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลัง, เครื่อง  
กระตุ้นตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย, อันตรายต่อรากประสาท

### Abstract

#### Pedicle Screw Insertion with Intraoperative Triggered Electromyography Monitoring: A Review Article

Nattawut Niljianskul, M.D.

Division of Neurosurgery, Department of Surgery, Faculty of Medicine Vajira Hospital, Navamindradhiraj  
University, Dusit, Bangkok 10300, Thailand

The placement of pedicle screws (PS) has commonly used to treatment spinal pathologies including trauma, degenerative disease, scoliosis, and tumors. Accuracy for PS placement is very important and challenge due to malposition of PS and breached pedicle walls could lead to serious complication such as nerve root injury, spinal cord injury, vascular injury, dural laceration, visceral injury, pseudarthrosis, and instrument failure. Especially the nerve injury was the most common complication that confronted with spine surgeon. Despite technical advances over the last decades, PS placement is still associated with risk of complications. Intraoperative triggered electromyography (tEMG) is another intervention used to precisely place PS and avoiding nerve root injury. Intraoperative tEMG had the ability to detect pedicle breaches with fair sensitivity and high specificity. The probability of medial breach pedicle screw and post-operative neural integrity injury were correlated with low stimulation threshold.

**Keywords:** nerve root injury, pedicle breach, pedicle screw fixation, triggered electromyography

## บทนำ

การผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลัง (pedicle screw) มีการใช้มากขึ้นในปัจจุบันเพื่อรักษาความผิดปกติของกระดูกสันหลังไม่ว่าจะเกิดจากอุบัติเหตุ, เนื้องอกบริเวณกระดูกสันหลังและไขสันหลัง, กระดูกสันหลังผิดรูปร่าง (deformity) หรือ กระดูกสันหลังคด (scoliosis) ซึ่งมีข้อได้เปรียบในเรื่องของความมั่นคงของกระดูกสันหลัง, การจัดแนวกระดูกสันหลังและอัตราการเชื่อมข้อ (fusion rate) กระดูกสันหลังที่ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะกระดูกสันหลังคด การรักษาโดยการทำการแก้ไขการผิดรูปร่างและการจัดแนวกระดูกสันหลังด้วยการผ่าตัดใส่สกรู (screw) ได้รับการยอมรับในปัจจุบันอย่างกว้างขวาง แต่การใส่สกรูอย่างปลอดภัยถือเป็นความท้าทายของศัลยแพทย์อย่างสูงเนื่องจากขนาดของก้านกระดูกสันหลังส่วนอก (thoracic pedicle) มีขนาดเล็กและมีโอกาสเกิดอันตรายต่อไขสันหลัง, เส้นประสาทและหลอดเลือดสำคัญบริเวณข้างเคียง การใส่สกรูเข้าไปในบริเวณกระดูกสันหลังมีโอกาสที่จะเกิดภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ที่จะเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท โดยการใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลังกับภัยอันตรายต่อเส้นประสาทอย่างถาวรถึง 2.3%<sup>1</sup> และตำแหน่งการใส่สกรูที่ผิดพลาด 1.7-20%<sup>2</sup> ทำให้ต้องทำการผ่าตัดแก้ไขและเพิ่มวันนอนโรงพยาบาล

โดยทั่วไปในทางคลินิกศัลยแพทย์จะใช้จุดสังเกตทางกายวิภาค (bony landmark) ร่วมกับเครื่องกำเนิดภาพรังสีระหว่างที่ผ่าตัด ในการกำหนดจุดเข้า (entry point) ที่ปลอดภัยของการใส่สกรูแต่บ่อยครั้งพบว่าวิธีการเหล่านี้ไม่มีความแม่นยำเพียงพอ มีรายงานการเกิดภาวะที่สกรูทำอันตรายต่อผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง (pedicle wall) มากกว่า 8%<sup>3</sup> และระหว่างผ่าตัดมีการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง (pedicle probe) เพื่อตรวจผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังว่ามีการแตกหรือไม่ แต่บางครั้งผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังที่ทำการแทงเข้าไปบางมากแล้วทำให้ตรวจไม่พบว่ามีกระดูก และเมื่อทำการใส่สกรูที่มีขนาดใหญ่กว่าอุปกรณ์ตรวจ

สอบก้านกระดูกสันหลังดังกล่าวอาจทำให้เกิดการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังได้เช่นกัน<sup>4</sup>

ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้เครื่องมือเสริมอื่นๆ เพื่อให้การใส่สกรูมีความแม่นยำมากขึ้น เช่นการใช้เครื่องกำเนิดภาพรังสีระหว่างผ่าตัดช่วยบอกตำแหน่งจุดเข้าของสกรู แต่ก็พบว่าไม่สามารถที่จะบอกจุดปลายของสกรูได้แม่นยำพอ หรือการใช้เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความไว (sensitivity) และ ความจำเพาะ (specificity) ค่อนข้างสูงกว่าการใช้เครื่องกำเนิดภาพรังสี แต่การใช้เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไม่สามารถที่จะทำได้ทันทีในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลส่วนใหญ่สำหรับการใช้ระบบศัลยกรรมการนำร่องโดยอาศัยภาพสามมิติ สามารถช่วยให้การใส่สกรูมีความแม่นยำมากขึ้น และลดโอกาสการแตกทะลุ (breach) ของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังได้ แต่มีข้อเสียคือ เครื่องมือมีราคาค่อนข้างสูง, ต้องใช้เวลาในการติดตั้งก่อนการผ่าตัด, จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในห้องผ่าตัดค่อนข้างมาก, และไม่ได้บอกข้อมูลการทำงานของเส้นประสาทที่อาจได้รับการกระทบกระเทือนจากการใส่สกรู

ด้วยปัญหาเหล่านี้ทำให้ Calancie และคณะ<sup>5</sup> ทำการศึกษาทดลองกับหมู และนำเสนอวิธีการใหม่ที่เรียกว่า triggered electromyography (tEMG) ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากกฎของโอห์ม ( $I=E/R$ ) โดยที่ I คือ กระแสไฟฟ้าของวงจรมีหน่วยเป็นแอมแปร์, E คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์, R คือความต้านทานของวงจร มีหน่วยเป็นโอห์ม tEMG เป็นการปล่อยกระแสไฟฟ้ากระตุ้นไปที่อุปกรณ์หรือสกรู และวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดด้วยการบินที่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (compound muscle action potential) จากกลุ่มของกล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์หรือสกรูที่ใส่เข้าไป โดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดด้วยการบินที่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ระดับการกระตุ้นไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในทางทฤษฎีไปถึงภาวะที่มีการแตกของผนังกระดูกสันหลังหรืออุปกรณ์ที่ทำการใส่เข้าไปอยู่ใกล้กับเส้นประสาททำให้การต้านทานของวงจรไฟฟ้าลดลงซึ่งเป็นการยอมให้กระแส

ไฟฟ้าผ่านเข้าไปผ่านจุดบกพร่องที่กระดูกสันหลังเข้าไปสู่เนื้อเยื่อของระบบประสาทได้

### วิธีการใช้งานเครื่องกระตุ้นตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย (tEMG) ร่วมกับการผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลัง

การใส่สกรูผิดตำแหน่งสามารถนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ได้ เช่น การแตกทะลุผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังทำให้สกรูกดเบียดเส้นประสาทและเกิดอันตรายต่อระบบประสาท (neurological injury) ตามมา ซึ่งศัลยแพทย์สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดภาวะแทรกซ้อนเหล่านี้ได้หากทำการผ่าตัดอย่างประณีตและใช้เครื่องมือต่างๆ ช่วยระหว่างการผ่าตัด ปัจจุบันได้มีการใช้ tEMG ร่วมกับการใส่สกรูที่ระดับต่างๆ เช่น กระดูกสันหลังส่วนคอ, กระดูกสันหลังส่วนอก, กระดูกสันหลังระดับเอว (lumbosacral spine) และ หนามกระดูกเชิงกราน (iliac spine) อย่างแพร่หลาย ซึ่งการใช้ tEMG เพื่อหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อระบบประสาททำให้ศัลยแพทย์กระดูกสันหลังมีความมั่นใจในการผ่าตัดใส่สกรูมากขึ้น และเนื่องจากการใช้ tEMG ในระหว่างการผ่าตัดสามารถติดตามการทำงานของเส้นประสาทตามเวลาจริงได้ สาเหตุที่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อเส้นประสาท เช่น การยืดหรือกดทับมันจะส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อที่เส้นประสาทเหล่านั้นไปเลี้ยง ดังนั้นการใช้สารระงับความรู้สึกที่จุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular

blockade agents) จึงเป็นข้อห้าม

เมื่อได้ทำการติดเข็มเพื่อตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในระดับที่เกี่ยวข้องกับการผ่าตัดแล้ว ขั้นตอนต่อมาจะตรวจสอบการทำงานของเส้นประสาท common peroneal เพื่อดูผลข้างเคียงของยาตมสลบที่อาจมีส่งผลต่อการตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายได้ เรียกการตรวจนี้ว่า twitch test ซึ่งหากมีค่ามากกว่า 75% แสดงว่าสามารถเริ่มติดตามสัญญาณ tEMG ได้ หลังจากนั้นจะทำการใส่สกรูร่วมกับการใช้ tEMG (รูปที่ 1) โดยมีขั้นตอนคือกำหนดจุดเข้าของการใส่สกรูก่อนและทำการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง ในการทำทางเข้าไปสู่กระดูกสันหลังผ่านทางก้านกระดูกสันหลัง ในระหว่างนี้จะมีการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านทางอุปกรณ์ตรวจสอบผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังเพื่อดูค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้มากน้อยเพียงใดในการกระตุ้นเส้นประสาทที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์นั้น หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นการใส่สกรูโดยใช้ไขควง (screw driver) ที่ต่อกับตัวส่งสัญญาณไฟฟ้าชนิดเดิม หากมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้มากกว่า 20mA บ่งชี้ว่าตัวอุปกรณ์นั้นอยู่ห่างจากเส้นประสาทในระดับที่ปลอดภัย โอกาสที่จะมีการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังน้อยมาก หรือมีโอกาสน้อยที่สกรูจะผิดตำแหน่ง ซึ่งกรณีที่ตรวจพบว่ามีสัญญาณไฟฟ้าในระดับที่ต่ำกว่า 7mA ควรที่จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการใส่สกรูใหม่ เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเส้นประสาทต่ำกว่าค่าปกติ เพราะฉนวนป้องกัน สัญญาณไฟฟ้าคือผนังโดยรอบก้าน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการใส่สกรูร่วมกับการใช้เครื่องกระตุ้นตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย A, กำหนดจุดเข้าของการใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลังและส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านทางอุปกรณ์ตรวจสอบผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง B, การส่งสัญญาณไฟฟ้าระหว่างการใส่สกรูด้วยไขควง C, การตรวจสอบสัญญาณไฟฟ้าที่หัวสกรูก่อนทำการใส่โลหะแท่งยาว

กระดูกสันหลังเกิดปัญหาในระหว่างการใส่อุปกรณ์ มีโอกาสสูงที่จะเกิดการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง และขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจสอบสัญญาณไฟฟ้าที่หัวของสกรูก่อนทำการใส่โลหะแท่งยาว (rod)

### ผลการศึกษาการใช้เครื่องกระตุ้นตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย (tEMG) ร่วมกับการผ่าตัดใส่สกรูที่ก้านกระดูกสันหลัง

หลังจากที่ได้ทำการทดลองในหมูแล้ว ในเวลาต่อมา Calancie และคณะ<sup>6</sup> ได้นำวิธีการตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมาใช้ร่วมกับการผ่าตัดใส่สกรูที่กระดูกสันหลังบริเวณเอวและกระเบนเหน็บจำนวน 102 ตัว ศึกษาในผู้ป่วยจำนวน 18 ราย พบว่าการใช้เครื่องมือชนิดนี้ช่วยการผ่าตัดมีความน่าเชื่อถือในการตรวจจับการแตกทะลุของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง โดยที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นที่ต่ำกว่า 5.5 mA มีความสัมพันธ์กับการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง ซึ่งทำให้ต่อมาได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางมากขึ้น ในปี 1995 McGuire และคณะ<sup>7</sup> ได้ข้อสรุปว่าการใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 6 mA มีความสัมพันธ์กับการที่สกรูผิดตำแหน่ง (ตารางที่ 1)

Clement และคณะ<sup>8</sup> ได้ทำการใช้ tEMG เพื่อประเมินความสมบูรณ์ (intact) ของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง และได้ข้อสรุปว่าที่กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าหรือเท่ากับ

**ตารางที่ 1** โอกาสแตกทะลุของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น

| ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น การแปลผล |                                                        |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| มากกว่า 10 mA ขึ้นไป                | มีโอกาสที่ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังจะแตกทะลุอย่างมาก |
| 7-10 mA                             | มีโอกาสที่ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังจะแตกทะลุ         |
| น้อยกว่า 7 mA                       | มีโอกาสที่ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังจะแตกทะลุสูงมาก   |

ตัวย่อ: mA=มิลลิแอมแปร์ (milliampere)

11 mA บ่งบอกว่าผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังยังคงสมบูรณ์อยู่และไม่มีพยาธิสภาพของเส้นประสาทหลังการผ่าตัด (postoperative radiculopathy) และงานวิจัยที่ตามมาภายหลังจากนี้ส่วนมากเพื่อยืนยันผลลัพธ์และความแม่นยำตามวิธีของ Calancie

ในเวลาต่อมาเริ่มมีการใช้เทคนิคนี้กับการผ่าตัดที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนอก โดย Raynor และคณะ<sup>9</sup> ได้ทำการศึกษาการใช้ tEMG สำหรับการตรวจจับการแตกของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลัง (medial pedicle wall) ที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนอก พบว่าที่กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 6 mA ร่วมกับการลดลงของค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น 60-65% มีโอกาสที่จะเกิดการแตกของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลัง ส่วนการใช้ tEMG ร่วมกับการผ่าตัดภาวะกระดูกสันหลังคดในวัยรุ่นโดยไม่ทราบสาเหตุ (adolescent idiopathic scoliosis) ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใส่สกรูเป็นจำนวนมากที่ก้านกระดูกสันหลังหลายระดับนั้นมีความยากลำบากมากกว่าปกติเนื่องจากผู้ป่วยอายุน้อยจะมีขนาดของก้านกระดูกสันหลังส่วนอกค่อนข้างเล็กทำให้โอกาสการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังมีสูงกว่าระดับกระดูกสันหลังบริเวณเอว

การศึกษาโดย Samdani และคณะในปี ค.ศ. 2011<sup>10</sup> พบว่า tEMG สามารถที่จะตรวจจับการแตกของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลังที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนอกได้เพียง 28% เท่านั้น แต่ที่ระดับ T10-T12 สามารถบอกค่าจำเพาะได้แม่นยำมากขึ้น 86% เพราะที่ระดับ T2-T9 กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง (intercostal muscle) มีขนาดค่อนข้างเล็กทำให้การตอบสนองต่อการกระตุ้นมีความน่าเชื่อถือน้อยกว่า จึงแนะนำศัลยแพทย์ใช้เครื่องมือตรวจสอบผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังผ่านรูที่เกิดจากการขยายช่องทางออกของรากประสาทจากทางด้านหลัง (laminotomy) ขนาดเล็ก ร่วมกับการใช้เครื่องกำเนิดภาพรังสีระหว่างที่ผ่าตัดแทนการใช้ tEMG เพียงอย่างเดียวที่ระดับ T2-9

ในปี ค.ศ. 2011 Parker และคณะ<sup>11</sup> ได้รายงานการผ่าตัดใส่สกรูที่กระดูกสันหลังระดับเอว 2,450 ตัวจาก

จำนวนผู้ป่วย 418 ราย พบว่าค่าผลบวกจริง (true positive) ของการยอมให้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นที่ค่าน้อยกว่า 5 mA มีค่าความจำเพาะการแตกของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลังที่สูงถึง 99.9% แต่ค่าความไวการแตกของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลังมีเพียง 43.4% เท่านั้น การทดสอบ EMG สกรูสามารถทำได้โดยการกระตุ้นสกรูที่ทำจากโลหะไททาเนียมและการตอบสนองจากกลุ่มของกล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันกระแสไฟฟ้าที่จะส่งผ่านไปที่เส้นประสาท การที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเส้นประสาทลดลงทำให้ศัลยแพทย์ต้องระวังการที่สกรูทะลุผ่านผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลัง โดยการศึกษาพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 5-7 mA บ่งชี้ว่ามีการแตกทะลุผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลัง

และในปี ค.ศ. 2016 ได้มีการทำการวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) เกี่ยวกับการใช้ tEMG ในการตรวจจับการใส่สกรูผิดตำแหน่ง<sup>12</sup> พบว่าการใช้ tEMG มีค่าความจำเพาะสูงมาก แต่ค่าความไวปานกลางในการตรวจจับการใส่สกรูผิดตำแหน่ง หากศัลยแพทย์ที่ใช้ tEMG ร่วมกับการผ่าตัดใส่สกรูจำเป็นต้องรู้ถึงข้อจำกัดและควรที่จะตรวจสอบความแม่นยำการใส่สกรูโดยอาศัยวิธีอื่นร่วมด้วย เช่น การคลำหาผนังก้านกระดูกสันหลังโดยตรงหรือการใช้เครื่องมือกำเนิดภาพรังสีช่วยระหว่างที่ผ่าตัด เมื่อพิจารณาในส่วน of ค่าความจำเพาะที่สูงมากจะมีประโยชน์ในการบ่งชี้ว่าสกรูอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมและควรทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสกรูทันทีที่ตรวจได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นมีค่าต่ำกว่าปกติดังตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในประเทศไทยของนิลเจียรสกุลและคณะในปี 2022 พบว่าค่าความไวและความจำเพาะในการตรวจจับการแตกทะลุผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังอยู่ที่ 83.0% และ 91.0% ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ อีกทั้งยังพบปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกทะลุผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง คือ โรคที่เกิดจากการเสื่อมของกระดูกสันหลัง (degenerative disease) และเนื้องอกบริเวณกระดูกสันหลัง (odds ratio (OR) 3.05,

95%CI 1.11-8.41,  $p$ -value=0.030) และกระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 7-10 mA (OR 0.02, 95%CI 0.00-0.19,  $p$ -value < 0.001) อันเนื่องมาจากรว่าตำแหน่งจุดสังเกตทางกายวิภาคของการใส่สกรูในกลุ่มดังกล่าวมีรูปร่างที่ผิดปกติไปจากเดิมทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการแตกทะลุผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังได้ในช่วงการใส่สกรู<sup>13</sup>

นอกจากการใช้ tEMG กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติจะสามารถบอกได้ว่าการแตกตัวของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังได้แล้ว แต่สิ่งสำคัญมากกว่านั้นคืออาการทางคลินิกของระบบประสาทผู้ป่วยที่เกิดหลังการผ่าตัด ในกรณีที่ตรวจพบว่ามีการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นต่ำกว่าปกติ ทำให้มีการศึกษาการใช้ tEMG เพื่อทำนายโอกาสเกิดภาวะอันตรายต่อระบบประสาทหลังการผ่าตัด โดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในผู้ป่วยที่ทำการผ่าตัดใส่สกรูที่บริเวณกระดูกสันหลังบริเวณเอวร่วมกับการใช้ tEMG พบว่าการที่กระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเส้นประสาทขนาดต่ำกว่าค่าปกติมีโอกาสสูงถึง 10 เท่าที่จะเกิดอันตรายต่อเส้นประสาทหลังการผ่าตัด นอกจากนี้ยังพบว่าโอกาสความเป็นไปได้ที่จะพบภาวะที่แยกลงทางระบบประสาทหลังการผ่าตัดหากพบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติสูงขึ้นจาก 3.04% เป็น 11% ซึ่งการศึกษานี้บ่งชี้ถึงประโยชน์ของการใช้ tEMG ร่วมกับการผ่าตัดได้เป็นอย่างดี<sup>14</sup> อย่างไรก็ตาม การใช้ tEMG ในการตรวจจับการใส่สกรูที่ผิดตำแหน่งได้ผลดีกับการตรวจจับการผิดตำแหน่งที่ผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลังและตำแหน่งล่าง (inferior) หรือรู (foramen) ที่เส้นประสาทออกมาเพราะจะมีผลโดยตรงต่อตำแหน่งที่เส้นประสาทระดับนั้นวางตัวอยู่สัมพันธ์กับก้านกระดูกสันหลัง แต่การแตกที่ผนังฝั่งด้านข้างก้านกระดูกสันหลัง (lateral pedicle wall) และตำแหน่งบน (superior) จะมีโอกาสที่จะเกิดอันตรายต่อเส้นประสาทน้อยกว่า

จะเห็นได้ว่าจุดมุ่งหมายของการใช้ tEMG ระหว่างการผ่าตัดเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายต่อระบบประสาทวิธีที่ดีที่สุดที่จะพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องมือนี้คือการทดลองแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (randomized

controlled trial) และวัดผลลัพธ์ปฐมภูมิ (primary outcome) ที่การเกิดหรือไม่เกิดอันตรายต่อระบบประสาท แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะทำได้เนื่องจากการที่ tEMG มีสัญญาณเตือนเกิดขึ้น ศัลยแพทย์ไม่สามารถที่จะเพิกเฉยได้ จึงเป็นความท้าทายว่าเมื่อใดที่จะบอกได้ว่าสัญญาณที่เตือนมาเป็นผลบวกจริงหรือผลบวกลวง (false positive) ดังนั้นในงานวิจัยส่วนใหญ่จึงนำค่าสัญญาณเหล่านี้มาแปลผลในแง่ของผลลัพธ์ต่อระบบประสาทหลังการผ่าตัด (postoperative neurological outcomes) ที่ดีขึ้นเพื่อสนับสนุนการใช้เครื่องมือนี้ บางการศึกษาจึงกล่าวถึงการที่เนื้อเยื่อของระบบประสาทถูกป้องกันผ่านการใช้เครื่องมือนี้ หรือ การใส่สกรูมีความแม่นยำมากขึ้นแต่ไม่ได้ช่วยป้องกันอันตรายต่อระบบประสาทได้เพราะว่าไม่ใช่สกรูที่ใส่ผิดตำแหน่งทุกตัวจะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาท<sup>15</sup>

ดังนั้นจึงมีการศึกษาของ Perumal และคณะ<sup>16</sup> ในผู้ป่วยจำนวน 518 รายทำการผ่าตัดใส่สกรูทั้งหมด 3,112 ตัว ที่กระดูกสันหลังระดับเอว โดยเปรียบเทียบระหว่างการผ่าตัดด้วยการใช้กับไม่ใช้ tEMG ระหว่างผ่าตัดและวัดผลลัพธ์การเกิดอันตรายต่อระบบประสาทจากการที่สกรูผิดตำแหน่งพบว่าผู้ป่วยที่ใช้ tEMG ระหว่างผ่าตัดมีการลดลงของจำนวนสกรูผิดตำแหน่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สิ่งที่กังวลต่อมาเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือนี้คือการที่เส้นประสาทถูกกดมาเป็นเวลานานๆ หรือมีพยาธิสภาพเกิดขึ้นมานานแล้วอาจทำให้การตอบสนองต่อ tEMG เมื่อเทียบกับเส้นประสาทที่ปกติแล้วถูกกดทับโดยสกรูที่ใส่เข้าไปใหม่นั้นมีความแตกต่างกัน โดยเส้นประสาทที่ได้รับการบาดเจ็บหรือถูกกดทับจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นที่มากขึ้นกว่าเส้นประสาททั่วไป

ผลบวกลวง หมายถึง ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังยังไม่มีแตกแต่มีสัญญาณเตือนเกิดขึ้น อาจเกิดภาวะนี้ได้หากผู้ป่วยมีภาวะกระดูกพรุน (osteoporosis) หรือทำการผ่าตัดบริเวณกระดูกสันหลังกระเบนเหน็บ (sacrum) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นของ

กระดูก (bone density) ที่ค่อนข้างต่ำ หากศัลยแพทย์ตรวจสอบอย่างละเอียดจนแน่ใจว่าไม่มีการแตกของผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังแล้วก็สามารถยอมรับค่าสัญญาณเตือนที่เกิดขึ้นได้ ส่วนผลลบลวง (false negative) หมายถึง ผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลังแตกแล้วแต่ไม่มีสัญญาณเตือนใดๆ เกิดขึ้น อาจเกิดจากผลของยาหย่อนกล้ามเนื้อออกฤทธิ์ที่ส่วนกลาง, จากการที่เส้นประสาทถูกกดทับมานานหรือมีภาวะประสาทเสื่อมจากเบาหวาน (diabetic neuropathy), หรืออาจเกิดจากมีการแตกของผนังฝั่งด้านข้างก้านกระดูกสันหลัง ศัลยแพทย์ควรทำการดูเลือดออกจากบริเวณที่ผ่าตัดเพื่อลดผลของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนเส้นทาง (current shunting) และพิจารณาทำการกระตุ้นที่เส้นประสาทโดยตรง (direct nerve stimulation) เพื่อทดสอบเส้นประสาทและอาจเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นอีกครั้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการใช้ tEMG ให้ค่าความไวปานกลางในการตรวจจับความผิดปกติ ซึ่งมีสมมติฐานจากการที่กลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณนั้นถูกเลี้ยงโดยเส้นประสาทมากกว่า 1 เส้น ดังนั้นการที่เกิดอันตรายต่อเส้นประสาทที่ระดับนั้นเพียง 1 เส้นอาจไม่เกิดผลลัพธ์ทางระบบประสาทที่แย่งจนกระทั่งมีอาการแสดงได้ หรืออาจเป็นจากคุณภาพของกระดูกสันหลังของผู้ป่วยที่แย่อยู่แต่เดิมทำให้การนำกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงอาจพิจารณาการใช้การตรวจวัดการทำงานของเส้นประสาทที่ละเอียดมากขึ้นเพื่อลดความผิดพลาดจากการใช้ tEMG ลง แต่ก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาต่อไปถึงประโยชน์ต่อผู้ป่วยและความคุ้มค่าในการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวร่วมในการผ่าตัด

นอกจากนี้การใช้ tEMG ยังมีประโยชน์กับการผ่าตัดใส่สกรูผ่านกล้องแผลเล็ก (minimally invasive surgery) ที่ไม่สามารถบอกจุดสังเกตทางกายวิภาคของการใส่สกรูด้วยตาเปล่าเหมือนการผ่าตัดด้วยวิธีปกติ ทำให้ลดการใช้เครื่องมือกำเนิดภาพรังสีระหว่างที่ผ่าตัดได้ และมีการใช้แพร่หลายมากขึ้นในกลุ่มผู้ป่วยที่ทำการผ่าตัดด้วยวิธีผ่าตัดเชื่อมข้อกระดูกสันหลังจากทางด้านข้างผ่านกล้ามเนื้อสันใน (transposas approach for interbody fusion) รวมถึง

มีการใช้ควบคู่กับการผ่าตัดขยายรูรากประสาท (foraminotomy), การผ่าตัดหมอนกระดูกสันหลังออกผ่านกล้อง (endoscopic discectomy), และการผ่าตัดในกลุ่มโรคไขสันหลังถูกดึงรั้ง (tethered spinal cord release) เช่นกัน

## สรุป

การใช้ tEMG ในระหว่างผ่าตัดร่วมกับการคลำหาผนังโดยรอบก้านกระดูกสันหลัง และการใช้เครื่องกำเนิดภาพรังสีระหว่างที่ผ่าตัด ทำให้การผ่าตัดใส่สกรูมีความปลอดภัยและลดภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจากใส่สกรูผิดตำแหน่งได้ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเส้นประสาทที่ต่ำกว่า 7 mA มีโอกาสสูงที่จะมีการแตกทะลุผนังของผนังฝั่งด้านในก้านกระดูกสันหลังและเกิดอันตรายต่อเส้นประสาทหลังการผ่าตัด

## เอกสารอ้างอิง

- Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members. *Spine*. 1993;18:2231-8.
- Nevzati E, Marbacher S, Soleman J, Perrig WN, Diepers M, Khamis A, et al. Accuracy of pedicle screw placement in the thoracic and lumbosacral spine using a conventional intraoperative fluoroscopy-guided technique: a national neurosurgical education and training center analysis of 1236 consecutive screws. *World Neurosurg*. 2014;82:866-71.e1-2.
- Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine* 1997; 22: 2239-45.
- Min WK, Lee HJ, Jeong WJ, Oh CW, Bae JS, Cho HS, et al. Reliability of triggered EMG for prediction of safety during pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Asian Spine J*. 2011;5:51-8.
- Calancie B, Lebowhl N, Madsen P, Klose KJ. Intraoperative evoked EMG monitoring in an animal model: A new technique for evaluating pedicle screw placement. *Spine*. 1992;17:1229-35.
- Calancie B, Madsen P, Lebowhl N. Stimulus-evoked EMG monitoring during transpedicular lumbosacral spine instrumentation. Initial clinical results. *Spine*. 1994;27:80-86.
- Maguire J, Wallace S, Madiga R, Leppanen R, Draper V. Evaluation of intrapedicular screw position using intraoperative evoked electromyography. *Spine*. 1995;20:1068-74.
- Clements DH, Morledge DE, Martin WH, Betz RR. Evoked and spontaneous electromyography to evaluate lumbosacral pedicle screw placement. *Spine*. 1996;21:600-4.
- Raynor BL, Lenke LG, Kim Y, Hanson DS, Wilson-Holden TJ, Bridwell KH, et al. Can triggered electromyograph thresholds predict safe thoracic pedicle screw placement? *Spine*. 2002;27:2030-5.
- Samdani AF, Tantsori M, Cahill PJ, Ranade A, Koch S, Clements DH, et al. Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? *Eur Spine J*. 2011;20:869-74.
- Parker SL, Amin AG, Farber SH, McGirt MJ, Sciubba DM, Wolinsky JP, et al. Ability of electromyographic monitoring to determine the presence of malpositioned pedicle screws in the lumbosacral spine: Analysis of 2450 consecutively placed screws. *J Neurosurg Spine*. 2011;15:130-5.
- Mikula AL, Williams SK, Anderson PA. The use of intraoperative triggered electromyography to detect misplaced pedicle screws: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Spine*. 2016;24:624-38.
- Niljianskul N, Phoominaonin IS. Retrospective Study of Nerve Injury and Pedicle Screw Breach after Pedicle Screw Fixation with Intraoperative Triggered Electromyography Monitoring. *J Health Sci Med Res*. 2022;40(3):251-9.
- Reddy RP, Chang R, Coutinho DV, Meinert JW, Anetakis KM, Crammond DJ, et al. Triggered elec-

- tromyography is a useful intraoperative adjunct to predict postoperative neuro-logical deficit following lumbar pedicle screw instrumentation. *Global Spine J.* 2021;21925682211018472.
15. de Blas G, Barrios C, Regidor I, Montes E, Burgos J, Pizá-Vallespir G, et al. Safe pedicle screw placement in thoracic scoliotic curves using t-EMG: stimulation threshold variability at concavity and convexity in apex segments. *Spine.* 2021;37:E387–95.
16. Kaliya-Perumal AK, Charng JR, Niu CC, Tsai TT, Lai PL, Chen LH, Chen WJ. Intraoperative electromyographic monitoring to optimize safe lumbar pedicle screw placement: a retrospective analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):229.