

## การระงับปวดด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ

---

เมื่อร่างกายได้รับอันตราย ระบบสัญญาณเตือนภัยให้ร่างกายรับรู้คือความรู้สึกเจ็บปวด ซึ่งความรู้สึกเจ็บปวดนี้มีลักษณะเป็นนามธรรม ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของโรค และประสบการณ์ของผู้ป่วยที่เคยได้รับความเจ็บปวดนั้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับสภาวะการณและอารมณ์ของผู้ป่วยอีกด้วย ดังนั้นการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นเพื่อการลดปวดนั้น จึงเป็นเพียงการระงับอาการปวดเท่านั้น

### 1. ความรู้สึกเจ็บปวดถ่ายทอดไปสู่สมองได้อย่างไร? <sup>(1-3)</sup>

ระบบการรับความรู้สึกเจ็บปวดของร่างกาย เริ่มต้นจากตัวรับความรู้สึก (receptor) ซึ่งรับสัญญาณประสาทเข้าสู่ไขสันหลังไปยังก้านสมองเพื่อส่งต่อไปยังทาลามัส และสมองชั้นสูงต่อไป ตัวรับความรู้สึกที่ทำหน้าที่รับ

ตารางที่ 10.1 แสดงขนาดและความเร็วของใยประสาทชนิดต่าง ๆ (ดัดแปลงจาก: Robinson AJ. Physiology of muscle and nerve. In: Mackler LS, Robinson AJ eds. Clinical electrophysiology. Baltimore; Williams and Wilkins 1989:68.)

Scheme 1 <sup>a</sup>	Scheme 2 <sup>b</sup>	Diameter (μm)	CV (m/sec)	Type of Nerve Fiber
A alpha	Ia	12-20	72-120	Muscle spindle primary afferent
	Ib	12-20	72-120	Golgi tendon organ afferent
		12-20	72-120	Skeletal muscle efferent
A beta	II	6-12	36-72	Touch-pressure receptor afferent
		5-12	20-72	Muscle spindle secondary afferent
A gamma		2-8	12-48	Muscle spindle efferent
A delta	III	1-5	6-30	Pain-temperature afferent
B		<3	2-18	Preganglionic autonomic efferent
C	IV	<1	<2	Pain-temperature afferent
		<1	<2	Postganglionic autonomic efferent

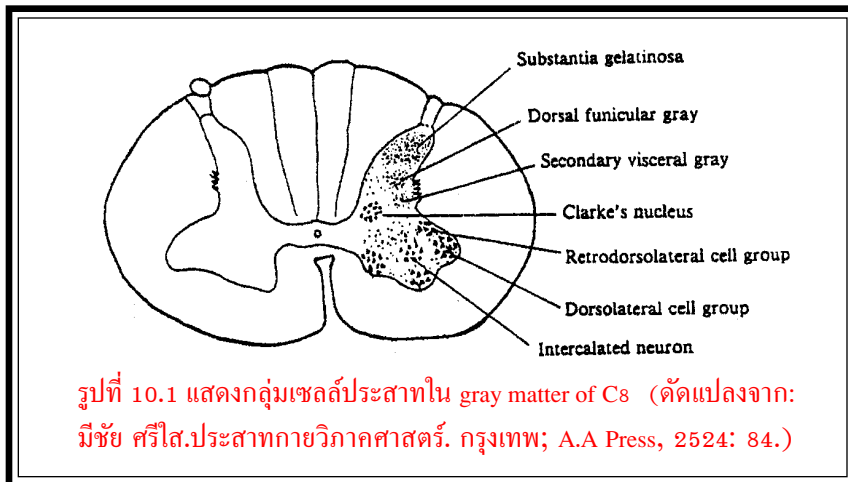
<sup>a</sup>Gasser scheme: all peripheral nerve fibers  
<sup>b</sup>Lloyd scheme: sensory fibers only

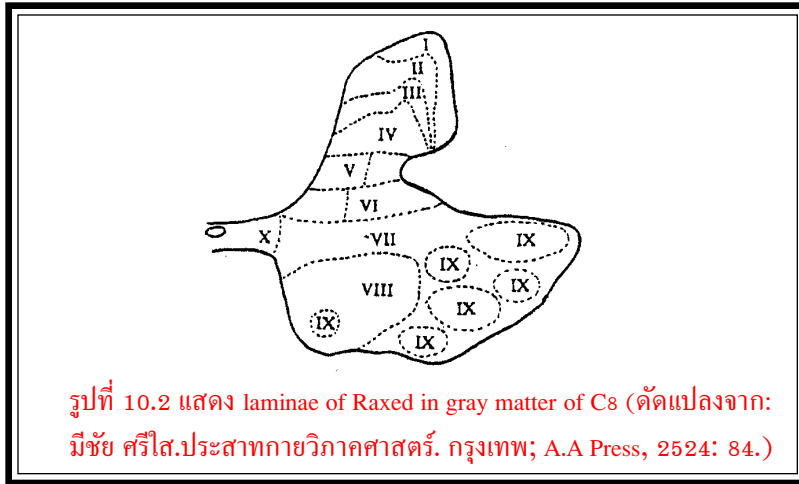
ความรู้สึกเจ็บปวดนั้น ไม่มีรูปร่างพิเศษ เป็นเพียงปลายประสาทเปล่าเปลือย (free nerve ending) แบบ nonencapsulated ซึ่งจะแตกแขนงอยู่ใต้ผิวหนังชั้น epidermis, เยื่อบุผิวกล้ามเนื้อและพังผืดบริเวณอวัยวะภายใน ตัวรับความรู้สึกเจ็บปวดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือ unimodal nociceptor ซึ่งรับความรู้สึกเจ็บปวดจากตัวกระตุ้นชนิดพลังงานกล และเคมี ส่วนอีกชนิดคือ polymodal nociceptor ซึ่งจะตอบสนองทั้งตัวกระตุ้นชนิดที่ทำให้รู้สึกเจ็บปวด และตัวกระตุ้นทั่วไป

ความรู้สึกเจ็บปวดนั้นสามารถแยกได้เป็น 2 ชนิดคือ ความรู้สึกเจ็บแปลบเหมือนเข็มทิ่ม (sharp pain) ซึ่งเป็นความรู้สึกเจ็บปวดที่เกิดขึ้นเร็ว แต่คงอยู่ได้ไม่นาน สามารถบอกตำแหน่งได้ ซึ่งจะนำโดยใยประสาทชนิดที่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (myelated fibre) จัดอยู่ในพวกแอดเดลตา (A) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-5 ไมโครเมตร ความเร็วในการนำกระแส

ประสาทประมาณ 6-30 เมตรต่อวินาที ร่างกายจะตอบสนองต่อความรู้สึกเจ็บปวดชนิดนี้ด้วยการดึง หรือชักหนีอวัยวะส่วนที่ได้รับความรู้สึกเจ็บปวดนั้น กลับทันที นอกจากนั้นใยประสาทชนิดนี้นำความรู้สึกเกี่ยวกับอุณหภูมิและการสัมผัสแบบหยาบ (gross touch) อีกด้วย ส่วนความรู้สึกเจ็บปวดอีกชนิดหนึ่งคือ ความรู้สึกปวดตื้อ ๆ (dull pain) ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าความรู้สึกเจ็บปวดชนิดแรกแต่คงอยู่ได้นานกว่า และไม่สามารถบอกตำแหน่งได้แน่นอน นำโดยใยประสาทชนิดที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (nonmyelated fibre) จัดอยู่ในกลุ่มใยประสาทชนิด ซี (C) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-1.3 ไมโครเมตร ความเร็วในการนำกระแสประสาทประมาณ 0.5-3 เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 10.1) ความเจ็บปวดชนิดนี้มักมีผลเกี่ยวข้องกับจิตใจ และอารมณ์ด้วย

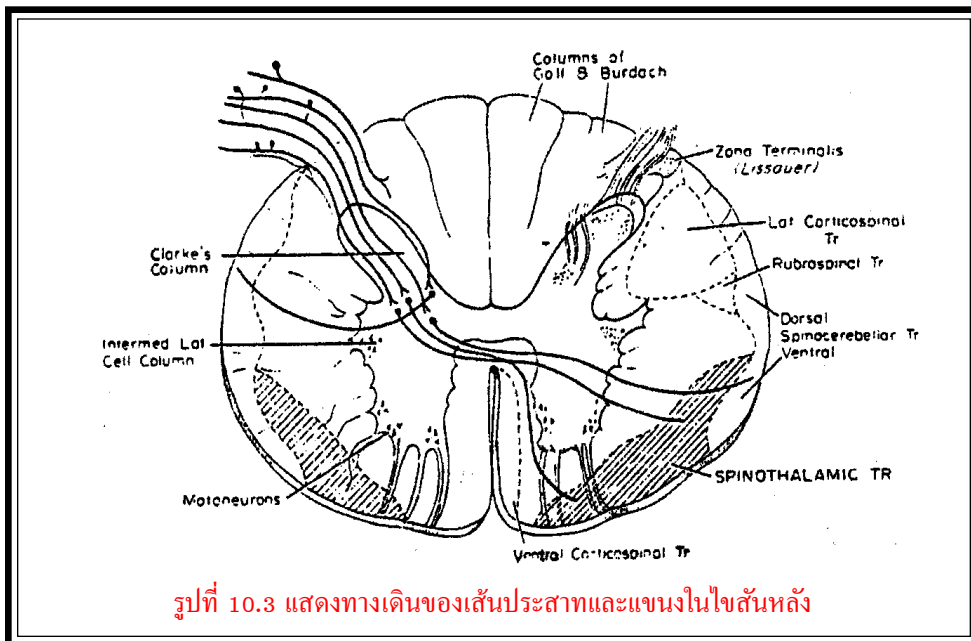
ที่ไขสันหลังบริเวณ dorsal horn cell มีการแบ่งกลุ่มเซลล์ประสาทที่เกี่ยวข้องกับการนำสัญญาณประสาทชนิดเจ็บปวด ไปสู่สมองออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกจะอยู่บริเวณ ventrallaminae ที่ 1, 5 (รูปที่ 10.1, 10.2) เซลล์ส่วนใหญ่จะทำหน้าที่รับสัญญาณของตัวกระตุ้นเกี่ยวกับการทำลายเนื้อเยื่อ





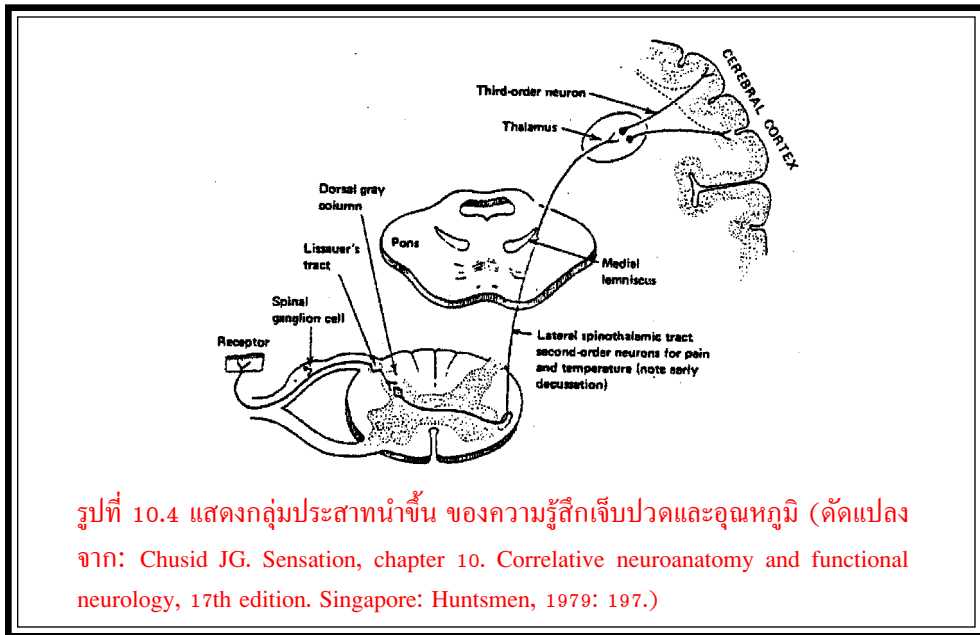
และมักจะมี threshold สูงต่อตัวกระตุ้นชนิดพลังงานกล กลุ่มเหล่านี้จะรับ สัญญาณประสาท จากใยประสาทชนิดเอเดลตาและซี เท่านั้น กลุ่มสุดท้าย อยู่บริเวณชั้นลึกของชั้นที่ 5 และชั้นที่ 4, 6 ซึ่งเซลล์ประสาทชนิดนี้ จะตอบสนองต่อตัวกระตุ้นที่แรง เช่น ตัวกระตุ้นชนิดพลังงานกล เซลล์กลุ่มนี้ ไม่เพียงแต่รับสัญญาณประสาท จากใยประสาทชนิดเอเดลตา และซี เท่านั้น ยังรับสัญญาณประสาทจากใยประสาทขนาดใหญ่ชนิดเอแอลฟาอีกด้วย เซลล์ประสาทในชั้นของ substantia gelatinosa (ชั้นที่ 2) จะตอบสนองต่อสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความเจ็บปวดชนิดพลังงานกล จากใยประสาทเอเดลตาและซี แล้วส่งต่อไปยัง ทางเดินประสาทรำขึ้นไปสู่สมอง

ดังนั้นหลังจากเซลล์ประสาทตัวที่ 1 ( $1^{\circ}$  neurone) ในระบบ ประสาทและปมประสาทไขสันหลัง (spinal ganglion) ส่งเส้นใยประสาท เข้าสู่ไขสันหลังทาง dorsal root แล้วทอดขึ้นลงหนึ่งระดับ และเกิดเป็นทาง เดินประสาท (Lissauer's tract) ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับรีเฟล็กซ์ไขสันหลัง (รูปที่



รูปที่ 10.3 แสดงทางเดินของเส้นประสาทและแขนงในไขสันหลัง

10.3 และ 10.4) โยประสาทส่วนหนึ่ง จะมีซิแนปส์กับเซลล์ประสาทใน substantia gelatinosa ในชั้นของ laminae ที่ 2 และจะทอดข้ามแนวกลางตัวเฉียงๆที่ anterior white commissure ของไขสันหลังและไปรวมเป็น lateral spinothalamic tract ในส่วนล่างของ lateral funiculus จากนั้นจะผ่านขึ้นไปยังก้านสมองระดับเมดัลลา, พอนส์ และสมองส่วนกลาง รวมกับ ventral spinothalamic tract เรียกว่า spinolemniscus ตำแหน่งที่สิ้นสุดของ spinothalamic tract นี้ ในปัจจุบัน ยังถกเถียงกันอยู่แต่เชื่อว่า spinothalamic tract สิ้นสุดที่ 3 แห่งคือ ventral posterior lateralis (VPL), posterior complex และ intralaminar thalamic nuclei (ใน nucleus centralis lateralis) โยประสาทจาก VPL รวมเป็น sensory area (brodmann's area 3,1,2) ใน parietal lobe ของสมองใหญ่ซึ่งมัก

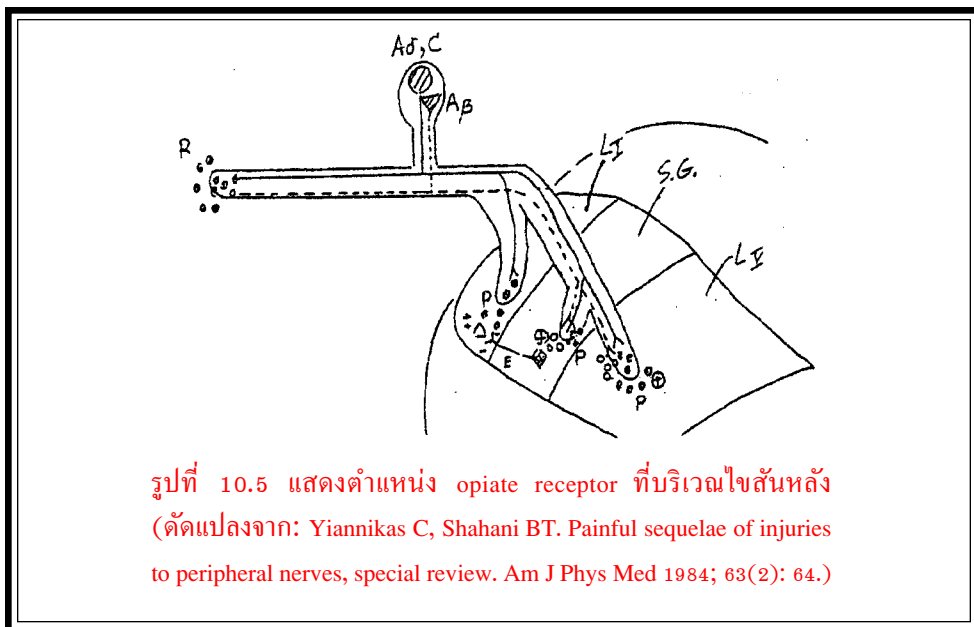


เกี่ยวข้องกับความรู้สึกเจ็บปวดที่บอกความรุนแรงและตำแหน่งได้

## 2. กลไกจากระบบประสาทกลางที่ช่วยปรับและยับยั้งความเจ็บปวด <sup>(1)</sup>

ตามธรรมชาติความรู้สึกเจ็บปวดที่ร่างกายได้รับจากการกระตุ้นตัวรับความรู้สึก (receptor) และถูกส่งขึ้นไปยังสมองนั้นสามารถยับยั้งได้ โดยสมองจะส่งสัญญาณประสาทลงมายับยั้งการนำความรู้สึกเจ็บปวด ที่บริเวณไขสันหลัง เชื่อว่ามีการหลั่งสารเคมีที่มีฤทธิ์คล้ายมอร์ฟิน จากการศึกษาทดลองในระยะหลัง ๆ พบว่ามีเซลล์ประสาทในสมองซึ่งสามารถสร้างสารคล้ายฝิ่นพวก endogenous opiated substance เช่น enkephalin และ endorphin ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การควบคุมการลดความเจ็บปวดในทางเดินประสาท paleo-spinothalamic, reticular formation และ thalamus

นอกจากนั้น ยังพบที่ amygdala, corpus striatum และ hypothalamus ซึ่งเป็นส่วนของ limbic system ทำหน้าที่ควบคุมด้านอารมณ์ สมองส่วนนี้จึงเกี่ยวข้องกับการแสดงออก (affective component) ของความเจ็บปวด ที่เกี่ยวข้องกับความโกรธเกรี้ยวกราด และอาการซึมเศร้า สมองส่วนที่ติดต่อกับ hypothalamus อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทอัตโนมัติ (ANS) เมื่อเกิดความเจ็บปวด เช่น เหงื่อออก หน้าซีด และความดันโลหิตเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ opiate receptors ยังพบที่บริเวณเซลล์ substantia gelatinosa (SG) ของ dorsal horn ของไขสันหลังโดย enkephalin จะกระตุ้น inhibitory interneurone ใน dorsal horn ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้ง 'T-cell' ที่ไขสันหลัง ความเจ็บปวดที่นำโดยใยประสาทชนิดเอเดลดตา และ ซี ถูกกระตุ้นทำให้เกิดการหลั่งสาร P (สารที่ทำให้เกิดความเจ็บปวด) บริเวณ laminae ที่ 1 และบริเวณ enkephalin receptors ซึ่งกระจายอยู่บริเวณ substantia gelatinosa (SG)



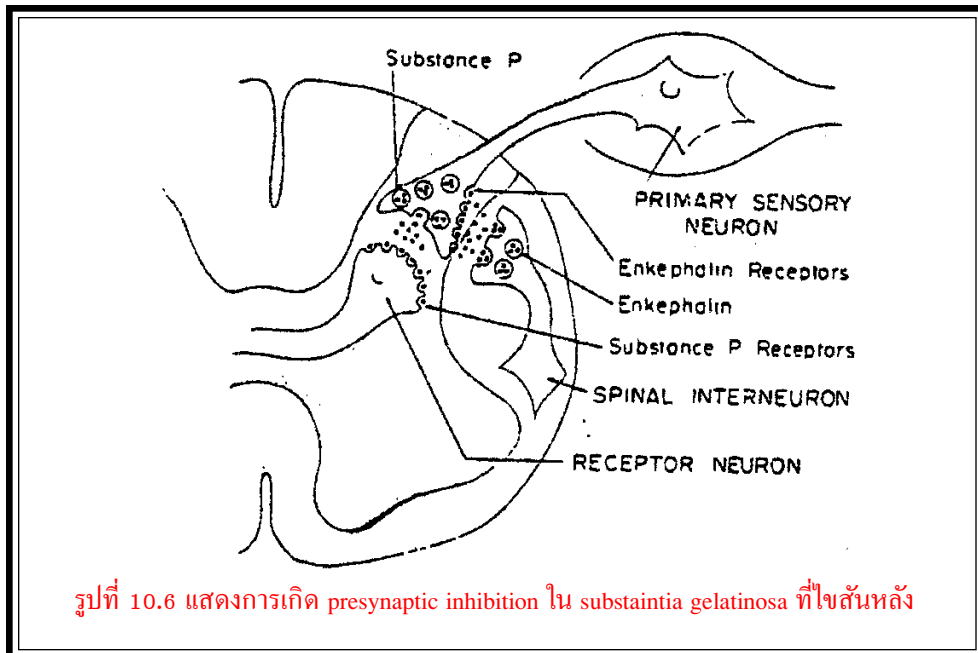
ร่างกายจะพยายามยับยั้งความเจ็บปวดนี้ โดยสมองจะสั่งให้หลังสาร จำพวก enkephalin ออกมา เพื่อยับยั้งการปล่อยสาร P จากปลายประสาทชนิด เอ เดลตา และ ซี (รูปที่ 10.5)

### 3. ทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับการลดความเจ็บปวด

ทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับการลดความเจ็บปวดในปัจจุบัน ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าทฤษฎีใดถูกต้องที่สุด อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีที่มีผู้อ้างอิงเสมอๆ พอสรุปได้ดังนี้

#### 3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสารฝิ่นในร่างกาย (Opiate control theory) <sup>(4)</sup>

ดังได้กล่าวมาแล้ว กลไกการควบคุมจากสมอง เพื่อการยับยั้งความ



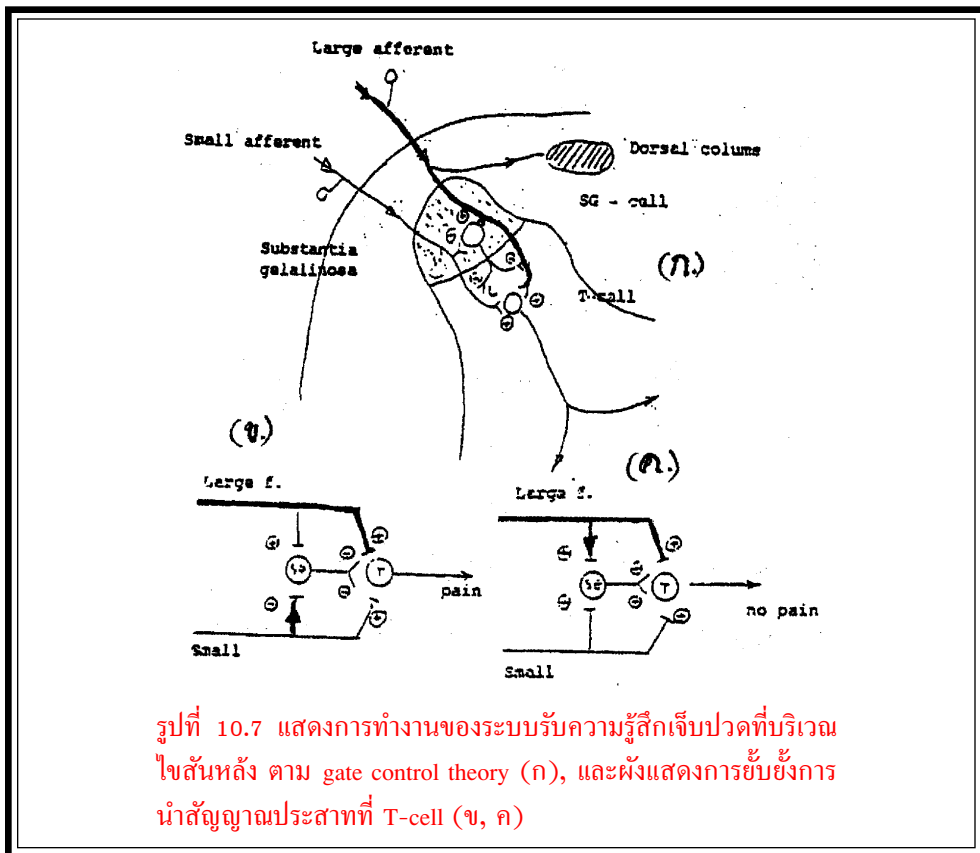


เจ็บปวดที่ระบบประสาทรอบนอกนั้นเกี่ยวข้องกับสารฝิ่นในร่างกาย จากผลการศึกษาในปัจจุบัน สามารถตรวจพบสารฝิ่นพวก enkephalin ที่บริเวณ substantia gelatinosa สารชนิดนี้ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ T-cell ซึ่งเป็นเซลล์ประสาทตัวที่ 2 (2° neurone) ในการนำสัญญาณประสาทไปยังสมอง Opiate control theory กล่าวว่า ถ้ามีการกระตุ้นที่ใยประสาทขนาดใหญ่ด้วยกระแสไฟฟ้า หรือตัวกระตุ้นอื่น เช่น การกดจุด (acupressure) การเคลื่อนไหว (mobilization) และการฝังเข็ม (acupuncture) จะมีผลไปกระตุ้นการหลั่งสารฝิ่นพวก enkephalin ที่บริเวณ substantia gelatinosa แล้วสาร enkephalin ที่ถูกปล่อยออกมา นี้ จะไปรวมตัวกับตัวรับ (opioid receptors) ที่ผิวของใยประสาทขนาดเล็ก บริเวณ presynaptic junction ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า excitatory postsynaptic potential (EPSP) ที่จุดนี้ก่อน ดังนั้น ที่จุดซินแนปส์ของใยประสาทขนาดเล็ก ซึ่งมีการหลั่งสาร P จะเกิดศักย์ไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะเกิดdepolarization ในเซลล์อื่นๆต่อไปได้ สัญญาณประสาทที่นำความรู้สึกเจ็บปวดจึงถูกห้ามไว้ไม่ถูกส่งไปยังสมองที่จุดนี้ (รูปที่ 10.6)

ปี ค.ศ. 1980 การศึกษาผลของการฝังเข็มร่วมกับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (electroacupuncture stimulation) ในกล้ามเนื้อโดย Cheng ทำให้เขาเชื่อว่า กระแสซึ่งมีความถี่ต่ำ 4 เฮิร์ตซ์ สามารถกระตุ้นให้เกิดการหลั่ง endorphin ในไขสันหลัง ในมิดเบรน ใน hypothalamus และต่อม pituitary และถ้าใช้ไฟซึ่งมีความถี่ 200 เฮิร์ตซ์ จะกระตุ้นให้เกิดการหลั่งสาร serotonin ซึ่งทำให้ร่างกายสบายคลายความเจ็บปวดได้ การศึกษาของ Cheng นี้ เป็นหลักฐานสำคัญที่สนับสนุนทฤษฎีสารฝิ่น ในการอธิบายกลไกการลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้า

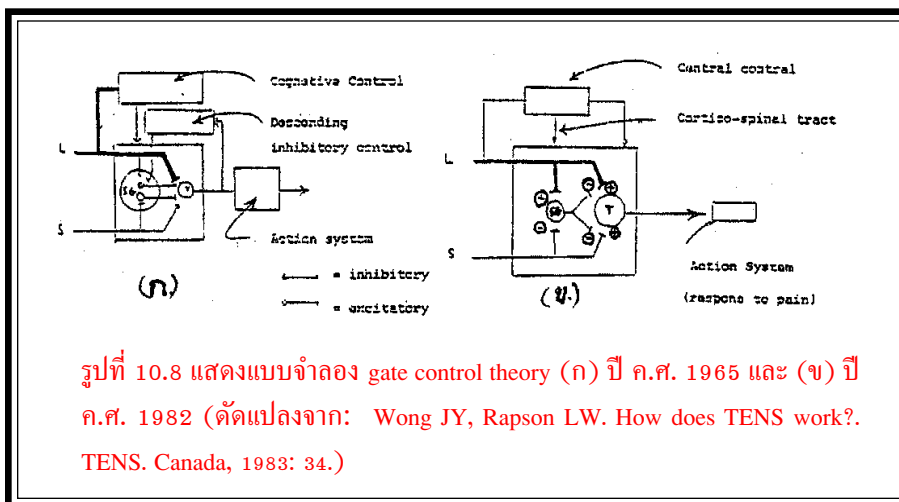
### 3.2 Gate control theory <sup>(4)</sup>

ปี ค.ศ. 1965 Melzack และ Wall ได้เสนอทฤษฎีเพื่ออธิบายกลไกของการลดปวดคือ ‘Gate control theory’ ทฤษฎีนี้กล่าวถึง การควบคุมความเจ็บปวดโดยประตู (gate) ซึ่งทำหน้าที่ปรับสัญญาณประสาทความรู้สึกเจ็บปวดที่ถูกส่งมาจากตัวรับความรู้สึก (receptor) ที่ระดับไขสันหลัง ก่อนจะส่งขึ้นไปยังสมอง ทฤษฎีนี้กล่าวว่า เซลล์ของ substantia gelatinosa (SG) บริเวณ laminae 2 และ 3 จะทำหน้าที่เหมือนกลไกควบคุมประตูในการปรับสัญญาณนำเข้ามาส่งไปยัง T-cell (2° neurone)



ซึ่ง T-cell นี้ จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาทจากไขสันหลังบริเวณ dorsal horn ไปยังสมอง โยประสาทที่นำสัญญาณจากระบบประสาทรอบนอก มีทั้ง โยประสาทขนาดใหญ่ (A ) และ โยประสาทขนาดเล็ก (A , C) ซึ่งต่างก็ส่งสัญญาณประสาทมายัง 'T-cell' และมีแขนงไปยัง SG โดยที่ โยประสาทขนาดใหญ่ทำหน้าที่กระตุ้น ส่วน โยประสาทขนาดเล็ก ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ SG ซึ่งมีผลไปยับยั้งการทำงานของ T-cell (รูปที่ 10.7ก) ดังนั้น ถ้าเกิดการกระตุ้นที่ โยประสาทใหญ่ ก็จะมีผลทำให้เซลล์บริเวณ SG ถูกกระตุ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการยับยั้ง T-cell ในการส่งสัญญาณประสาทไปยังสมอง (ประตูถูกปิด) ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากมีการกระตุ้นทาง โยประสาทขนาดเล็ก (รูปที่ 10.7ข) ทำให้เกิดการยับยั้งเซลล์ บริเวณ SG ซึ่งส่งผลให้ไปยับยั้ง การยับยั้งที่ T-cell (ประตูถูกเปิด) สัญญาณประสาทความรู้สึกเจ็บปวดสามารถผ่านไปยังสมอง จึงรู้สึกเจ็บปวด แต่เมื่อมีการกระตุ้น อาจเป็นตัวกระตุ้นไฟฟ้า หรือตัวกระตุ้นชนิดพลังงานกล เช่น การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าหรือการกดจุดที่บริเวณ โยประสาท ขนาดใหญ่ สัญญาณประสาทจะถูกส่งได้เร็วกว่า เพื่อไปยับยั้งการนำสัญญาณ ประสาทที่ T-cell ทำให้สัญญาณประสาทความรู้สึกเจ็บปวดที่ถูกส่งมาตาม โยประสาทขนาดเล็ก จะถูกยับยั้ง (ดังรูปที่ 10.7ค) ด้วยเหตุนี้ จึงมักพบว่า อาการปวดจากการถูกชนหรือกระแทก จะทุเลาลงด้วยการกดแรงๆ บริเวณดังกล่าว

แบบจำลองของ Gate control theory (รูปที่ 10.8ก) ยังไม่สามารถอธิบายกลไกของการลดปวดได้อย่างกระจ่างนัก ประกอบกับได้มีหลักฐานใหม่ๆ ทางประสาทสรีรวิทยาเพิ่มขึ้น กล่าวคือเซลล์ที่ substantia gelatinosa สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งตัวกระตุ้น และตัวยับยั้ง T-cell ได้ ส่วนเซลล์ที่ทำหน้าที่ยับยั้งนั้น อาจจะเป็นได้ทั้งการยับยั้งที่ presynaptic และ postsynaptic



หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน นอกจากนั้น การยับยั้งอาจเกิดจากการ projection ของสมองส่วนก้านสมองได้รับสัญญาณประสาทบางส่วน (ซึ่งสามารถผ่าน Gate ไปได้) แล้วส่งกลับลงมายับยั้งที่จุดดังกล่าว ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1982 Melzack และ Wall จึงได้เสนอแบบจำลองของ Gate control theory ใหม่ (ดังรูปที่ 10.8ข)

การยับยั้งความเจ็บปวด ซึ่งอธิบายตาม Gate control theory อาจกล่าวได้ดังนี้ คือ ตัวกระตุ้น เช่น กระแสไฟฟ้าจะไปกระตุ้นเส้นประสาทขนาดใหญ่ซึ่งนำสัญญาณประสาทได้เร็วกว่าในประสาทขนาดเล็ก ทำให้เกิดการปิดประตูในการนำสัญญาณความเจ็บปวดของใยประสาทขนาดเล็กสู่สมอง แต่กลไกนี้ก็ยังไม่สามารถอธิบายถึงผลของการลดปวดที่อยู่ห่างไกลจากตัวกระตุ้น และระยะเวลาของการลดปวดโดยเฉพาะในรายที่มีอาการปวดเรื้อรัง

### 3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับตัวของระบบประสาทอัตโนมัติ <sup>(4)</sup>

(Somato-Sympathetic reflex theory)

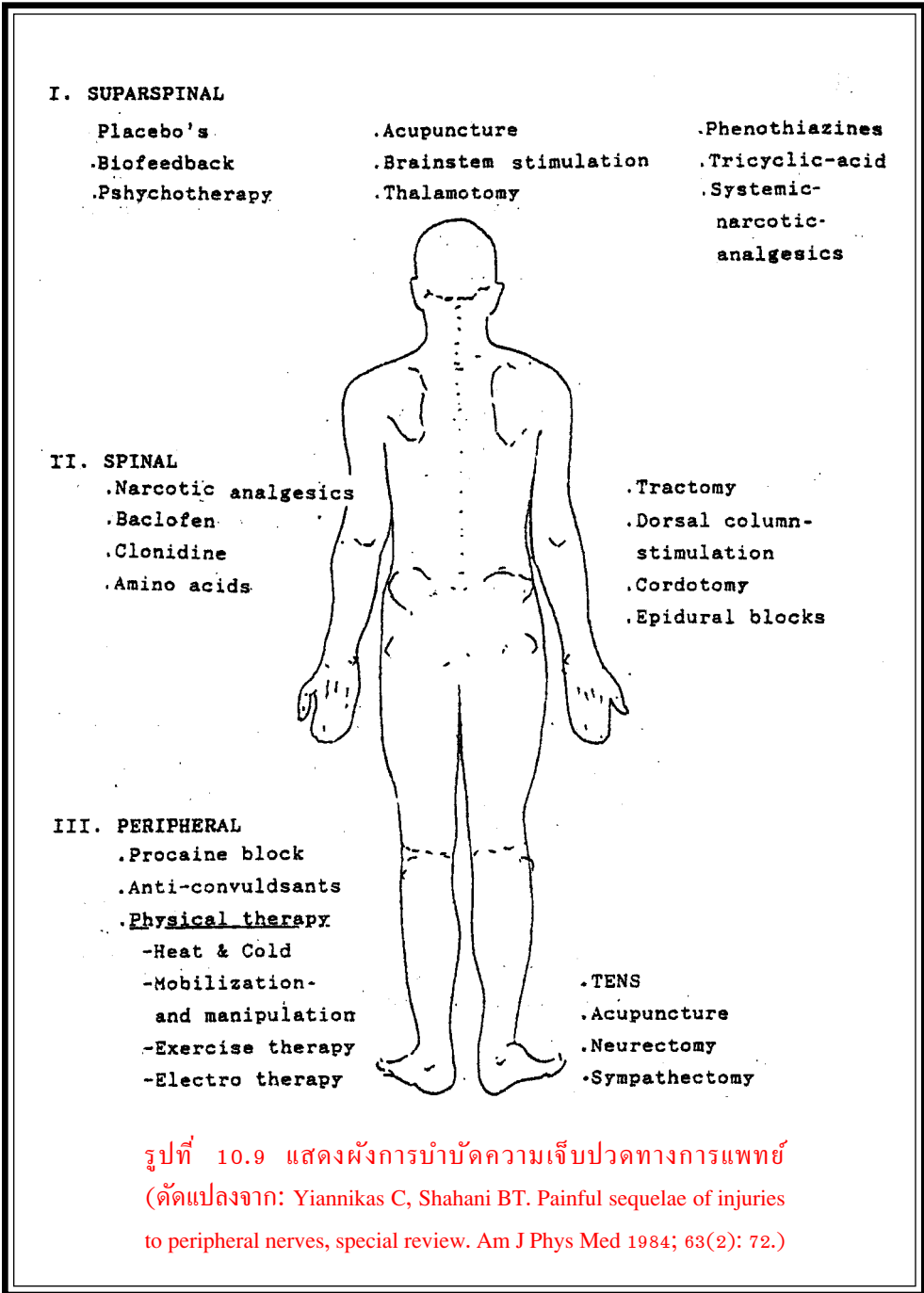
สิ่งเร้าทางฟิสิกส์ เช่น ความร้อน แสง เสียง โดยเฉพาะไฟฟ้านั้นมีส่วนทำให้เกิดการตอบสนองของระบบประสาท และกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อระบบประสาทอัตโนมัติ เช่น การขยายตัวของหลอดเลือด เป็นต้น ทฤษฎีนี้กล่าวว่า ความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อนั้น เนื่องจากการคั่งค้างของสารพวก kinnin ในกล้ามเนื้อจากการเกร็งค้าง (muscle spasm) นาน ๆ การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้ามีผลทำให้เกิดการขยายตัวของเส้นเลือดเพิ่มการไหลเวียนบริเวณนั้นมากขึ้น ของเสียบริเวณดังกล่าวจะถูกขจัดไปอย่างรวดเร็ว และเป็นการเพิ่มอัตราเมแทบอลิซึม ที่บริเวณนี้อีกด้วย ทำให้ความเจ็บปวดลดลง นอกจากนี้ ยังเชื่อว่าเกิดจากผลความพึงพอใจ เนื่องจากการได้รับการดูแล (placebo effect) อีกด้วย

#### 4. การรักษาความเจ็บปวดทางการแพทย์ <sup>(1)</sup>

การรักษาความเจ็บปวดขึ้นกับชนิดและความรุนแรงของความเจ็บปวด กล่าว คือ ในรายที่มีอาการปวดรุนแรงมากจนผู้ป่วยทนไม่ไหว หรือในกรณีที่มีอาการปวดร่วมกับความผิดปกติอื่น ๆ ควรจะต้องพิจารณารักษาตามอาการ ผู้ป่วยที่มีความเจ็บปวดซึ่งรู้สาเหตุแน่นอน เช่น รายที่มีการเจ็บปวดจาก neuroma หรือเกิดการยึดรั้งของแผลเป็นอาจต้องทำการผ่าตัดแก้ไขความผิดปกติ นั้น ๆ จึงสามารถขจัดความเจ็บปวดได้ วิธีการรักษาความเจ็บปวดในระยะหลังนี้ได้มีการพัฒนาไปมากไม่ว่าจะเป็นในด้านอายุรกรรม, ศัลยกรรม และทางกายภาพบำบัด (รูปที่ 10.9)

##### 4.1 ทางอายุรกรรม

การรักษาความเจ็บปวดทางอายุรกรรมมักจะเน้นทางด้านการให้ยาระงับ



รูปที่ 10.9 แสดงผังการบำบัดความเจ็บปวดทางการแพทย์ (ดัดแปลงจาก: Yiannikas C, Shahani BT. Painful sequelae of injuries to peripheral nerves, special review. Am J Phys Med 1984; 63(2): 72.)

ปวด ซึ่งยาระงับปวดอาจจะเป็นกลุ่มที่ไม่เกิดการเสพติด เช่น aspirin paracetamol หรือกลุ่มที่ทำให้เกิดการเสพติด เช่น morphine ก็ได้ นอกจากนั้น ยากลุ่มประสาทบางชนิดก็มีผลทำให้จิตใจผ่อนคลายสามารถลดปวดได้เช่นกัน

#### 4.2 ทางศัลยกรรม

ในกรณีที่ความเจ็บปวดนั้นมีความรุนแรงมากและคงอยู่นาน แพทย์อาจใช้วิธีการรักษาด้วยการผ่าตัด เช่น sympathectomy, tractomy, thalamotomy เพื่อตัดทางเดินของระบบความเจ็บปวดที่จะนำความรู้สึกเจ็บปวดขึ้นสู่สมอง

#### 4.3 การฝังเข็ม

การฝังเข็ม ในปัจจุบันนี้ถือเป็นเวชกรรมแขนงหนึ่งที่สำคัญและจะต้องอยู่ภายใต้การดูแลของแพทย์เท่านั้น การรักษาด้วยวิธีการฝังเข็มนั้น เชื่อว่าจะไปกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารฝิ่นเพื่อลดความเจ็บปวด

#### 4.4 วิธีการทางกายภาพบำบัด

วิธีการทางกายภาพบำบัดนั้น อาจจะทำได้โดยการนวด การตัดting การประคบด้วยความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยยุคหินหรืออาจใช้รังสีหรือคลื่นความร้อน (infrared) คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (short wave diathermy, microwave diathermy) และคลื่นแสงเลเซอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า ซึ่งให้กระแสไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ในการบำบัดรักษาความเจ็บปวด ซึ่งจะกล่าวต่อไป

## 5. การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อการลดปวด <sup>(5)</sup>

การใช้กระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำเพื่อการลดปวดนั้นได้กระทำกันมาตั้งแต่สมัยกรีกโบราณ (600 ปีก่อนคริสต์ศักราช) Scribonius Largus ได้นำเอากระแสไฟฟ้าจากปลาไหลไฟฟ้า และปลาบางชนิด (torpedo) ซึ่งสามารถให้กระแสไฟฟ้ามากระตุ้นผ่านผิวหนังในการรักษาโรคเก๊าท์ ต่อมา Galvani ได้ทดลองใช้กระแสไฟตรงกระตุ้นระบบประสาท และในทศวรรษที่ 1830 Faraday สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อทดแทนกระแสไฟฟ้าจากธรรมชาติได้สำเร็จ จึงได้มีการพัฒนากระแสไฟฟ้าเพื่อการรักษาต่อ ๆ มาตามลำดับ

ในปัจจุบันกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้ลดปวดซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีก็คือ กระแส Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งทางศัลยแพทย์ ทันตแพทย์ สูตินรีแพทย์ และวิสัญญีแพทย์ ในความเป็นจริงแล้วกระแส TENS ไม่ได้มีความแตกต่างจากกระแสความถี่ต่ำชนิดกระแสไฟตรงชนิดเป็นช่วง ๆ ที่ใช้ทางกายภาพบำบัด เพียงแต่กระแสชนิดนี้ถูกดัดแปลงให้มีช่วงการกระตุ้นสั้น (น้อยกว่า 0.5 มิลลิวินาที) เพื่อหวังผลในการลดปวด กระแสความถี่ต่ำทางกายภาพบำบัดชนิดอื่น ๆ ก็สามารถใช้ลดปวดได้ เช่น คุณสมบัติชั่วกระตุ้นบวกของกระแสแกลตวานิก (ดู บทที่ 4) หรือกระแส IDC และ กระแสไฟฟ้าราดิก ถ้าปรับช่วงการกระตุ้นและความถี่ให้เหมาะสมก็สามารถลดปวดได้เช่นกัน กระแสไดอะไดนามิกส์ ก็เป็นอีกชนิดหนึ่งซึ่งใช้ลดความเจ็บปวด นอกจากนี้ยังได้มีการนำเอากระแส สลับมาประยุกต์ใช้ในการกระตุ้นกล้ามเนื้อ และลดปวดซึ่งมีชื่อ เรียกว่า กระแส อินเตอร์เฟอเรนเชียล (interferencial current) กระแสไฟตรงศักย์สูง (high voltage current) เป็นกระแสที่พัฒนาจากกระแส TENS ใช้ลดปวด และกระตุ้นกล้ามเนื้อซึ่งอยู่ลึก ๆ ได้ กระแสชนิดนี้



ยังเป็นกระแสที่ค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศเรา จึงยังไม่ค่อยแพร่หลายนัก

### 5.1 ข้อบ่งชี้และข้อควรระวังในการใช้กระแสไฟฟ้าในการลดปวด <sup>(5)</sup>

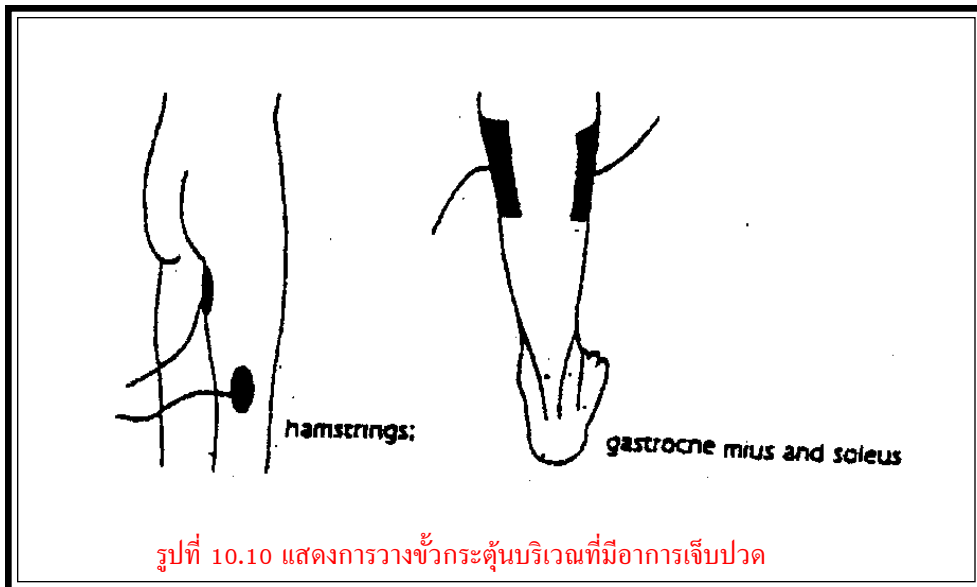
การลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้านั้นเหมาะที่จะลดปวดทั้ง ในรายที่มีอาการปวดชนิดเฉียบพลัน และปวดเรื้อรัง เช่น ในรายที่มีการบาดเจ็บ จากการเล่นกีฬา ข้อแพลง ปวดร้าวตามเส้นประสาท (neuralgia) ผู้ป่วยภายหลังผ่าตัด อาการปวดเรื้อรังซึ่งมีสาเหตุมาจากกระดูก และกล้ามเนื้อ การปวดศีรษะ เป็นต้น บัญชีที่ทำให้ผลการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าได้ผลดีนั้น มีไข้ขึ้นกับการเลือกขนาด ชนิดของกระแสไฟ และตำแหน่งการวางขั้วกระตุ้นเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับการประเมินผล การวินิจฉัย และการหาสาเหตุของโรคที่ถูกต้องอีกด้วย

ข้อควรระวังในการใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อการลดปวดนั้น ก็คล้ายกับข้อควรระวังในผู้ป่วยที่ใช้กระแสความถี่ต่ำทั่วไป เช่น ในผู้ป่วยโรคหัวใจที่ใส่เครื่องควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ (pace makers) อาจจะต้องมีการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจร่วมขณะทำการกระตุ้น นอกจากนี้ การเลือกใช้กระแสไฟ และเทคนิคกระตุ้นก็เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง เช่น กรณีที่ใช้ลดปวดด้วยกระแสไดอะไดนามิก ควรคำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีได้ขั้ว ซึ่งมักทำให้เกิดการระคายต่อผิวหนัง การใช้กระแส TENS อาจจะทำให้เกิดความดันลดลงอย่างรวดเร็วในกรณีที่ขั้วกระตุ้นไปกระตุ้นถูกบริเวณ carotid sinus หรือในกรณีของการใช้กระแสไฟตรงสัปดาห์สูงอาจจะต้องคำนึงถึงปริมาณกระแสที่ใช้กระตุ้น เป็นต้น

### 5.2 หลักการวางขั้วไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นการลดปวด

การลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้านั้น มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการลดปวด

ชนิดอื่น ๆ เนื่องจาก เป็นชนิดที่ใช้ภายนอก (noninvasive) และ กระบวนการก็ไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง การลดปวดแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง หลักการเลือกตำแหน่งของการวางขั้วไฟฟ้านั้น ควรตั้งอยู่บนรากฐานทางกายวิภาคศาสตร์และทางสรีรวิทยา นอกจากนี้ ควรจะต้อง ตระหนักถึงสาเหตุของโรค, อวัยวะที่เกิดโรค และลักษณะของความเจ็บปวด ดังที่ทราบกันแล้วว่า ความเจ็บปวดบางชนิดอาจจะรู้สึกเฉพาะบริเวณที่มีความผิดปกติ หรืออาจจะเป็นการปวดร้าว ปวดอ้าง หรือปวดตู่ (referred pain) ซึ่งมีสาเหตุมาจากอวัยวะ ภายใน หรืออาจจะเป็นผลจากอวัยวะส่วน ที่อยู่ไกลออกไปมาก ๆ ซึ่งมักจะพบได้บ่อยๆ ในผู้ป่วยที่มีการกดทับราก ประสาทบริเวณคอ หรือโรคหัวใจแล้วมีการปวดร้าวลงมาที่แขน เป็นต้น โดย ทัวไปแล้วตำแหน่งของการวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อการลดปวด ซึ่ง Mannheimer<sup>(6)</sup> ได้สรุปไว้ดังนี้

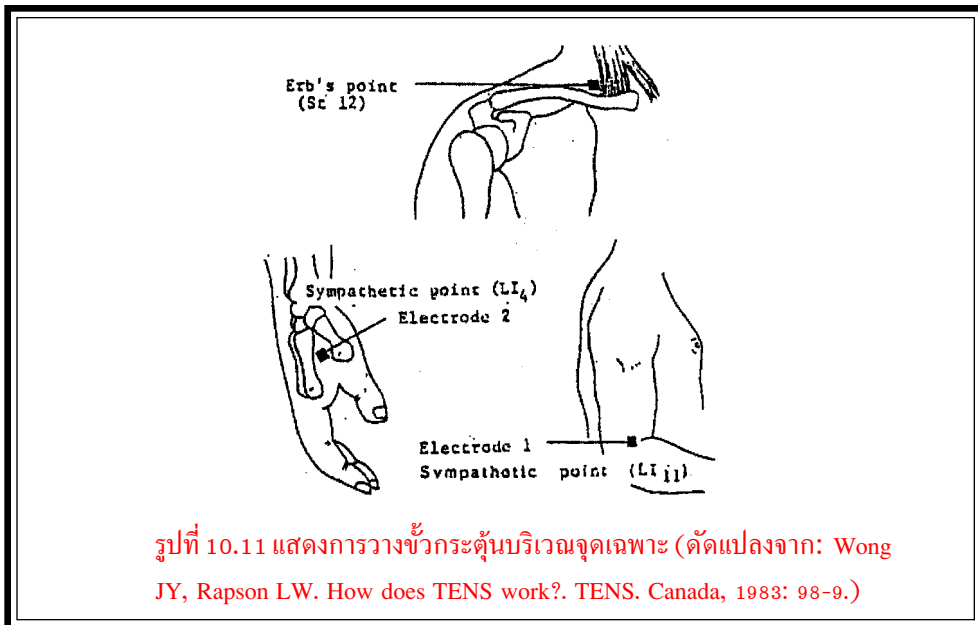


### 5.2.1 วางที่บริเวณที่มีอาการเจ็บปวด (painful region)

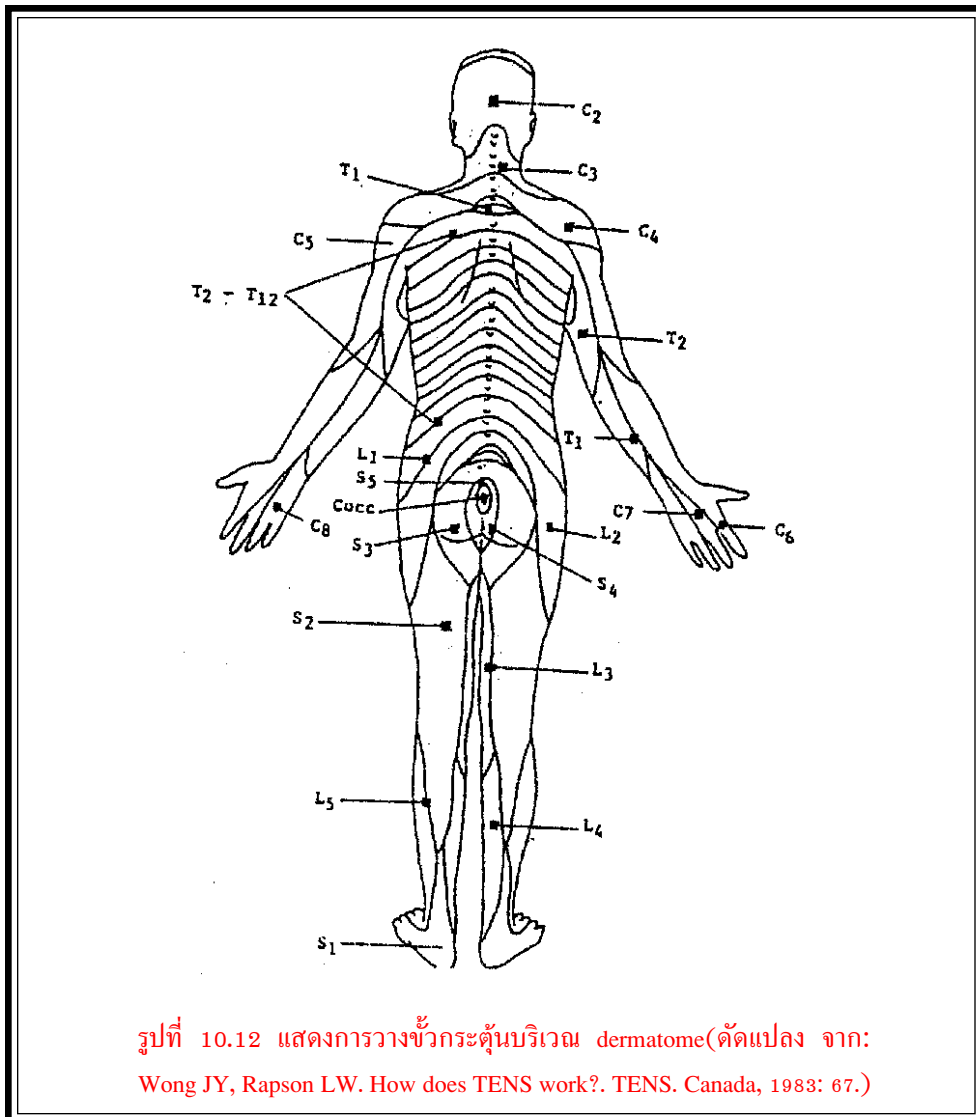
วิธีการนี้เป็นการวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าลงบริเวณที่มีจุดเจ็บ หรือบริเวณที่มีอาการเจ็บ และที่ใกล้เคียง ซึ่งบริเวณที่วางขั้วและรอบๆนั้น อาจไม่มีความสัมพันธ์กับโรคหรือลักษณะความเจ็บปวดนั้นๆเลย ตัวอย่างเช่น การลดปวดด้วยกระแส TENS ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดจะกระทำโดยการวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้า (sterile electrode) รอบๆแผลผ่าตัด เป็นต้น (รูปที่ 10.10)

### 5.2.2 วางที่จุดเฉพาะ (specific points)

จุดเฉพาะของการวางขั้วนี้อาจจะเป็นจุดที่ใช้ฝังเข็ม จุดมอเตอร์หรือจุดกดเจ็บ จากการศึกษาในปัจจุบัน อาจกล่าวได้ว่าจุดต่างๆ เหล่านี้มักเป็นจุดเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน เช่น จุดมอเตอร์ อาจจะเป็นจุดเดียวกันกับจุด



กอดเจ็บของ myotome ของหลังส่วนล่าง ซึ่งก็มักจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดฝังเข็ม และจุดฝังเข็มหลายจุดก็มักจะเป็นจุดแยกสาขาของเส้นประสาทรอบนอกที่อยู่ต้นๆ ซึ่งก็คือจุดมอเตอร์ของเส้นประสาทนั่นเอง อย่างไรก็ตาม พบว่า ถ้าวางขั้วไฟฟ้าบนบริเวณจุดซึ่งอยู่ต้นเหล่านี้ จะมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า



รูปที่ 10.12 แสดงการวางขั้วกระตุ้นบริเวณ dermatome (ดัดแปลง จาก: Wong JY, Rapson LW. How does TENS work?. TENS. Canada, 1983: 67.)

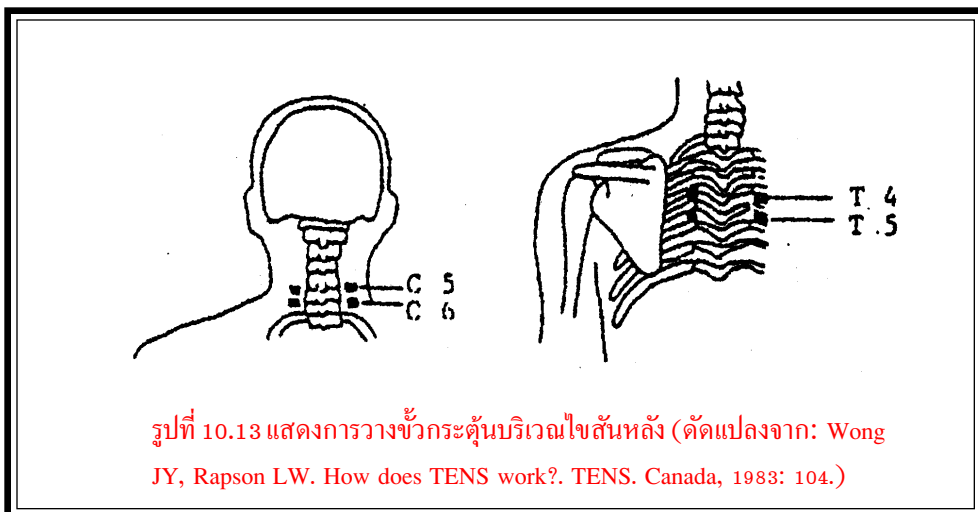
ทำให้ได้ผลการลดปวดดีกว่า (รูปที่ 10.11)

### 5.2.3 วางที่ dermatome

dermatome คือ บริเวณผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลัง ที่มาจากระดับเดียวกัน การกระตุ้นเพื่อลดความเจ็บปวดบริเวณใด อาจทำได้โดยวางขั้วไฟฟ้าที่บริเวณ dermatome เดียวกับที่เจ็บปวด (รูปที่ 10.12)

### 5.2.4 วางที่ระดับไขสันหลัง (spinal segmental approach)

ที่ไขสันหลังระดับต่าง ๆ มีเส้นประสาทที่นำสัญญาณความเจ็บปวดเข้าสู่ระบบประสาทกลาง ดังนั้น จึงเป็นจุดสำคัญที่ใช้วางขั้วกระตุ้น เช่น ที่บริเวณสองข้างของ spinous process ของกระดูกสันหลัง ในรายที่มีการปวด และสามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้ ขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งอาจจะวางที่ระดับไขสันหลัง และอีกขั้วหนึ่งอาจจะวางบน dermatome เดียวกัน หรือวางลงบน จุดฝังเข็ม จุดกดเจ็บ หรือวางบนจุดจำเพาะ ซึ่งพบว่ามักจะลดปวดได้ดี (รูปที่





10.13) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมักใช้เทคนิคการวางขั้วกระตุ้นหลาย ๆ ชุด อาจวางในลักษณะรูปที่ 10.14

### 5.3 ขั้วกระตุ้นไฟฟ้าสำหรับกระตุ้นเพื่อระงับปวด <sup>(7)</sup>

การกระตุ้นเพื่อระงับปวด มักใช้กระแสที่มีช่วงกระตุ้นแคบ และมักต้องใช้เวลากระตุ้นนาน (30 นาที - 5 วัน) ดังนั้น ขั้วกระตุ้นที่ใช้จึงมักใช้แบบชนิดใช้ครั้งเดียว (ดูบทที่ 3) หรือชนิด sterile ตัวอย่างเช่น กรณีที่ต้องการกระตุ้นเพื่อระงับปวดในผู้ป่วยหลังผ่าตัด เป็นต้น แต่ในกรณีที่ใช้เวลากระตุ้นไม่นานนัก ก็อาจใช้ชนิดแผ่นยางสังเคราะห์ผสมผงโลหะ อย่างไรก็ตาม การเลือกชนิดขั้วกระตุ้นเพื่อลดปวดควรคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. บริเวณที่กระตุ้น หากบริเวณที่กระตุ้นเป็นแผลผ่าตัดก็ควรใช้ขั้วกระตุ้นชนิด sterile และมีขนาดค่อนข้างใหญ่ หรือถ้าใช้กระตุ้นที่บริเวณจุดฝังเข็มก็อาจใช้ขั้วกระตุ้นที่มีขนาดเล็ก

2. ความพอใจของผู้ป่วย ซึ่งควรพิจารณาถึงเรื่องราคา, การสามารถนำมาใช้ใหม่ ซึ่งผู้ป่วยสามารถจัดหาได้

3. ผิวหนังของผู้ป่วย ในผู้ป่วยบางรายมีอาการแพ้ข้ออย่างมากมักเกิดผื่น หรือคัน โดยเฉพาะถ้าใช้แบบแถวทาวที่ขีดยึดติด ซึ่งในกรณีนี้ อาจใช้เป็นแบบแผ่นยางสังเคราะห์แทน เป็นต้น

4. ระยะเวลาที่ใช้ หากผู้ป่วยนั้นต้องใช้ระยะเวลากระตุ้นเป็นเวลานานติดต่อกันเป็นวัน ๆ ควรคำนึงถึงการนำไฟฟ้า และการยึดติดของขั้วที่ใช้ว่า จะมีคุณสมบัติเหมือนเดิมหรือไม่

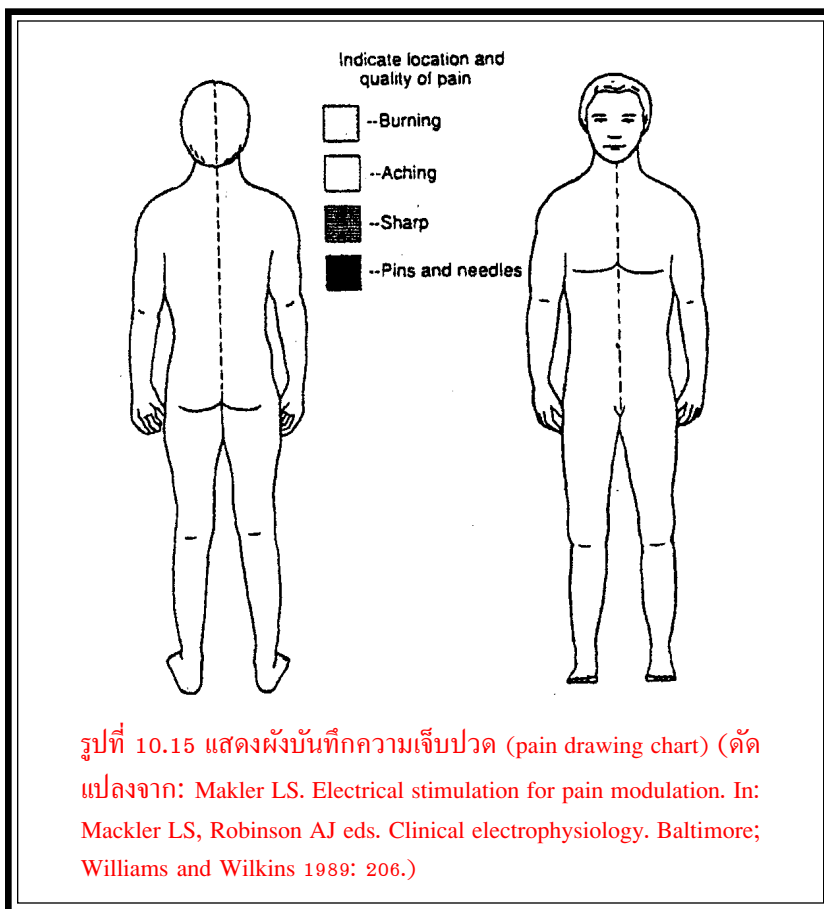
## 6. การประเมินผลความเจ็บปวด<sup>(8)</sup>

ความรู้สึกเจ็บปวดเป็นนามธรรม ขึ้นกับประสบการณ์ของการรับรู้ อารมณ์ และพยาธิสภาพของ ร่างกายที่ได้รับบาดเจ็บนั้น ซึ่งการประเมินผลและบันทึกผลความเจ็บปวดทางคลินิกเป็นปัญหาหนึ่ง ในปัจจุบันมักใช้ pain questionnaires, pain drawings, verbal ration scales, visual analog scales และ การวัดโดยตรง เช่น การให้ทำ activity ต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การประเมินผลความเจ็บปวดทางคลินิกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ดังนี้

### 6.1. การประเมินแบบนามธรรม (subjective method)

#### 6.1.1 pain drawing

การใช้ pain drawing จะให้ผู้ป่วยเขียนรูปเครื่องหมาย (ดังรูปที่ 10.15) ต่าง ๆ เพื่อ แสดงลักษณะความเจ็บปวดลงไปบนแผนภาพที่กำหนดให้ ซึ่งอาจให้ผู้รักษาเป็นผู้บันทึกก็ได้ หรือบันทึกร่วมกัน ซึ่งมุมมองความเจ็บปวด

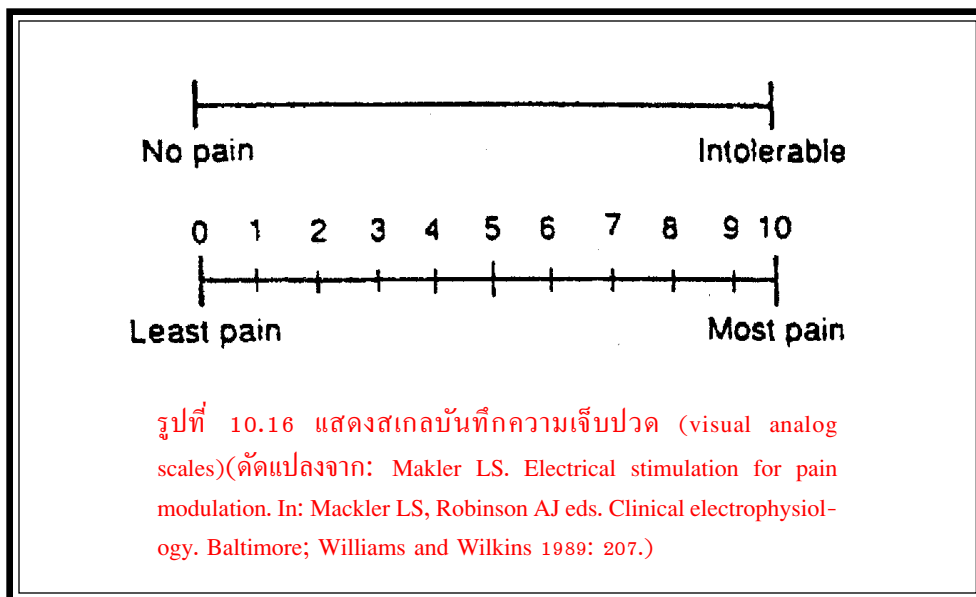


ของผู้รักษาและผู้ให้การรักษาอาจแตกต่างกันได้

### 6.1.2 visual analog scales (VAS)

visual analog scales เป็นลักษณะสเกลแบ่งระดับความเจ็บปวดเป็นช่อง ๆ (ดังรูปที่ 10.16) แต่ละช่องจะเป็น ระดับคะแนนที่ให้กับความรู้สึกเจ็บปวด เช่น เลข 0 (ศูนย์) หมายถึง ไม่มีความรู้สึกเจ็บปวด ส่วนเลข 10 หมายถึงเจ็บมากที่สุด เป็นต้น ซึ่งการบันทึกนี้อาจให้ผู้ป่วยเป็นผู้บันทึก





เปรียบเทียบกับกรรการรักษาครั้งก่อน ๆ หรือผู้รักษาเป็นผู้บันทึกโดยการสอบถามความรู้สึกเป็นระยะ ๆ ซึ่งหากเป็นกรณีหลังแล้วแผ่นบันทึกนี้อาจเรียก verbal rating scales (VRS)

แบบสอบถามชนิด visual analog scales ที่รู้จักกันดีคือ Mc Gill pain questionnaire ซึ่งสามารถใช้ประเมินชนิดของความรู้สึกเจ็บปวด ระดับความเจ็บปวดโดยการรวม pain drawing และ pain visual analog scals ร่วมกัน

## 6.2.การประเมินแบบรูปธรรม (objective methods)

การประเมินความรู้สึกเจ็บปวดนี้เป็นรูปธรรม ในปัจจุบันมักประเมินจากความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้ป่วย โดยจากสมมติฐานที่ว่า

หากผู้ป่วยไม่มีความรู้สึกเจ็บปวด จะสามารถเคลื่อนไหว หรือทำกิจวัตรประจำวันได้ปกติโดยไม่มีความรู้สึกเจ็บปวด ซึ่งการประเมินลักษณะนี้ก็คือ การประเมินความเจ็บปวด จากการทำ activity นั้นเอง เช่น ผู้ป่วยเดินได้ไกลเท่าไร แล้วจึงปวดหลัง หรือขับรถนานเท่าไร แล้วจึงปวดคอ เป็นต้น

การประเมินความเจ็บปวดในผู้ป่วยนั้นมีความสำคัญมาก ควรจะมีการตรวจประเมินและบันทึกผล อย่างสม่ำเสมอ ทั้งก่อนให้การรักษ ขณะทำการรักษา และหลังการรักษา เพื่อการปรับปรุงวิธีการรักษา ประเมินและพยากรณ์อาการของโรค เป็นต้น

## ปฏิบัติการที่ 10 การระงับปวดด้วยกระแสความถี่ต่ำ

### วัตถุประสงค์

หลังจากปฏิบัติการครั้งนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

- 1.อธิบายหลักการระงับปวดด้วยกระแสความถี่ต่ำชนิดต่าง ๆ
- 2.แสดงวิธีการระงับปวดด้วยกระแสความถี่ต่ำชนิดต่าง ๆ
- 3.อธิบายกลไกการระงับปวดด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ
- 4.อธิบายข้อบ่งชี้และข้อควรระวังขณะใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อระงับปวด

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าความถี่ต่ำ
2. แผ่นขั้วกระตุ้นไฟฟ้า, แผ่นโลหะนำไฟฟ้า, และสายไฟ พร้อมอุปกรณ์
3. สำลี ฟองน้ำ ผ้า และแอลกอฮอล์
4. วาสลีน

5. แก้วน้ำ

6. ยางรัด

## วิธีปฏิบัติการ

### ตอนที่ 1 การกระตุ้นเพื่อระงับปวดด้วยกระแสความถี่ต่ำ

1. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดบริเวณที่จะวางขั้วกระตุ้น
2. วางขั้วกระตุ้นแผ่นโลหะบนแผ่นฟองน้ำหนา ที่มีขนาดเท่ากัน ซึ่งชุบน้ำจนเปียก
3. วางขั้วกระตุ้นทั้งสองบนต้นแขนห่างกันพอควร (ถ้าผิวหนังบริเวณนั้นมีรอยถลอกหรือเป็นตุ่มควรทาด้วยวาสลีน) แล้วรัดด้วยสายยางให้แน่นพอดี

### ตารางที่ 10.1 บันทึกผลการระงับปวดด้วยกระแสไฟฟ้า

ชนิดกระแส	ความเข้มกระแส (mA)	เวลาอย่างต่อเนื่อง (นาที)	ความรู้สึกของผู้ถูกกระตุ้น
แกลแวนิก		5	
		10	
		15	
		20	
ฟาราดีก ช่วงมีไฟ S ช่วงพัก S		5	
		10	
		15	
		20	
กระแส IDC สามเหลี่ยม/สี่เหลี่ยม ช่วงกระตุ้น ms ช่วงพัก ms		5	
		10	
		15	
		20	

4. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสไฟที่จะกระตุ้นไว้ที่กระแสแกลแวนิก
5. ค่อยๆเพิ่มความเข้มกระแสจนกระทั่งผู้ถูกกระตุ้นเริ่มรู้สึกโดยไม่มี การหดตัวของกล้ามเนื้อ แล้วคงที่ไว้ประมาณ 20 นาที สังเกตอาการแล้ว บันทึกผล ในตารางที่ 10.1 เป็นระยะ ๆ
6. ค่อยๆลดความเข้มกระแสมาที่ตำแหน่งศูนย์
7. เปลี่ยนขั้วกระตุ้นเป็นบริเวณอื่น
8. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสเป็นไฟฟ้าฟาราดีก โดยปรับช่วงปล่อยไฟและ ช่วงพัก ช่วงละ 5 วินาที แล้วทำตามข้อ 5-6
9. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสเป็นไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ (แบบสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม) โดยมีช่วงพัก 200 ms และช่วงกระตุ้น 0.5 ms แล้วทำตามข้อ 5-6

## ตอนที่ 2 การระงับปวดด้วยกระแสความถี่ต่ำ

1. จัดทำให้ผู้ถูกกระตุ้นอยู่ในท่าที่ผ่อนคลาย
2. วางขั้วกระตุ้นทั้งสองที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นคอด้านหลัง
3. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสเป็นไฟ IDC สี่เหลี่ยม โดยมีช่วงกระตุ้น

ตารางที่ 10.2 บันทึกผลการระงับปวดด้วยกระแส IDC

ชนิดกระแส	ความเข้มกระแส (mA)	เวลาอย่างต่อเนื่อง (นาที)	ความรู้สึกของผู้ถูกกระตุ้น
กระแส IDC สี่เหลี่ยม		5	
		10	
ช่วงกระตุ้น ms		15	
ช่วงพัก ms		20	
		25	
		30	

น้อยที่สุด และช่วงพักประมาณ 100 ms

4. ค่อย ๆ เพิ่มความเข้มกระแสจนผู้ถูกกระตุ้นรู้สึกสบาย

5. สอบถามอาการ และบันทึกผล ในตารางที่ 10.2 เป็นระยะ ๆ เป็นเวลา 30 นาที

6. ค่อย ๆ ลดความเข้มกระแส มาที่ตำแหน่งศูนย์

### คำถามท้ายบท

1. กระแสความถี่ต่ำชนิดใดบ้างที่สามารถใช้ระงับปวด และกลไกที่อธิบายผลการลดปวดของกระแสแต่ละชนิด เหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร ?

2. ความเข้มกระแสที่ใช้ระงับปวดควรมีลักษณะเป็นเช่นไร ?

3. ระยะเวลาที่ใช้กระตุ้นเพื่อการระงับปวดควรเป็นเท่าไร ?

### เอกสารอ้างอิง

1. Yiannikas C, Shahani BT. Painful sequelae of injuries to peripheral nerves, special review. Am J Phys Med 1984; 63(2): 53-83.

2. Chusid JG. Sensation, chapter 10. Correlative neuroanatomy and functional neurology, 17th edition. Singapore: Huntsmen, 1979: 65-71.

3. มีชัย ศรีใส. ประสาทกายวิภาคศาสตร์. กรุงเทพฯ; A.A Press, 2524: 79-94.

4. Wong JY, Rapson LW. How does TENS work?. TENS. Canada, 1983: 32-44.
5. Pariser D, Klien J. Transcutaneous electrical nerve stimulation, chapter 10. In: Nelson RM, Currier DP. eds. Clinical electrotherapy. California: Appleton and Lange, 1987: 209-27.
6. Mannheimer JS. Electrode placements for transcutaneous electrical nerve stimulation. Phys Ther 1978; 58: 1455-62.
7. Nelson HE, Smith MB, Bowman BR, Waters RL. Electrode effectiveness during transcutaneous motor stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1980; 61: 73-7.
8. Makler LS. Electrical stimulation for pain modulation. In: Mackler LS, Robinson AJ eds. Clinical electrophysiology. Baltimore; Williams and Wilkins 1989: 205-7.