13

# การกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง

การใช้กระแสไฟตรงศักย์สูง (high voltage current) กระตุ้นเพื่อการรักษานั้นมีมากว่า 35 ปีแล้ว ซึ่งพบหลักฐานสำคัญ คือรายงานการใช้กระแสไฟตรงศักย์สูงในทศวรรษที่ 1950 คุณสมบัติเฉพาะของกระแสไฟตรงศักย์สูง คือ เป็นกระแสไฟตรงชนิดเฟสเดี่ยว (monophasic) ที่มีความต่างศักย์สูงถึง 200-500 โวลต์ มีจุดยอดของกระแส (peak current) สูงสุดถึง 2,500 มิลลิแอมแปร์ ช่วงการกระตุ้นสั้นมาก ประมาณ 5-75 ไมโครวินาที (0.005-0.075 มิลลิวินาที) ทำให้การเรียกชื่อกระแสชนิดนี้ต่างกันออกไป เช่น high voltage pulsed direct current (HVDC) หรือ high voltage monophasic pulsed current (HVPC) เป็นต้น นอกจากนี้ ในหนังสือบางเล่มอาจจัดกระแสไฟตรงศักย์สูงอยู่ในกลุ่มของ high frequency TENS เนื่องจากกระแสไฟชนิดนี้มีช่วงการกระตุ้นซึ่งสั้นมาก ถึงแม้การเรียกชื่อของกระแสไฟจะแตกต่างกัน ก็มิใช่เป็นปัจจัยสำคัญ ผู้ใช้ควรสนใจคุณสมบัติ

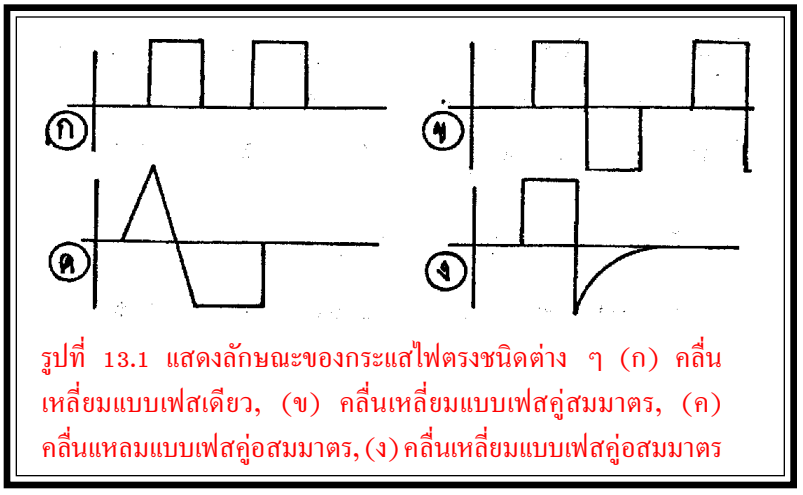
เฉพาะของกระแสไฟต่อผลทางสรีรวิทยา และผลทาง คลินิกมากกว่า

## 1. คุณสมบัติเฉพาะของกระแสไฟตรงศักย์สูง [1-3]

เนื่องจากกระแสไฟตรงศักย์สูง มีศักย์ไฟฟ้ากระตุ้นสูงมาก ดังนั้นช่วงการกระตุ้นของกระแสจึงถูกสร้างให้มีช่วงแคบมาก (ทำให้ปริมาณกระแสเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย) และมักไม่มีปุ่มสำหรับปรับช่วงการกระตุ้นเหมือนเครื่องกระตุ้นชนิดอื่น ๆ แต่ยังคงมีปุ่มปรับช่วงปล่อยไฟเป็นชุด ๆ อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติเฉพาะของกระแสชนิดนี้ที่แตกต่างจากกระแสไฟตรงชนิดอื่น ๆ พอสรุปได่ดังนี้

### 1.1 ลักษณะรูปคลื่นของกระแส

คลื่นของกระแสไฟในที่นี้จะหมายถึง ชนิดหรือลักษณะของกระแสไฟฟ้าซึ่งถูกปล่อยออกจากเครื่องกระตุ้น สามารถตรวจสอบได้โดยเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า (oscilloscope) โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ กระแสที่มีช่วงการกระตุ้นเฟสเดี่ยว (monophasic pulse) กระแสที่มีช่วงกระตุ้นเฟสคู่ (biphasic pulse) และกระแสที่มีช่วงกระตุ้นหลายเฟส (polyphasic pulses) (ดูบทที่ 2) ในทางคลินิกการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อการรักษามักใช้กระแสที่มีช่วงกระตุ้นเฟสเดี่ยว และกระแสที่มีช่วงกระตุ้นเฟสคู่ ซึ่งกระแสทั้งสองชนิดมีผลในการกระตุ้นเนื้อเยื่อประสาท และกล้ามเนื้อซึ่งไวต่อตัวกระตุ้น (excitable tissue) กระแสที่มีช่วงกระตุ้นเฟสคู่นั้นมีทั้งชนิดที่มีเฟสสมมาตร (symmetrical phase) ซึ่งผลรวมทางไฟฟ้าของเฟสจะหักล้างกันหมด (zero net charge) และกระแสเฟสคู่ชนิดเฟสอสมมาตร




รูปที่ 13.1 แสดงลักษณะของกระแสไฟตรงชนิดต่าง ๆ (ก) คลื่นเหลี่ยมแบบเฟสเดียว, (ข) คลื่นเหลี่ยมแบบเฟสคู่สมมาตร, (ค) คลื่นแหลมแบบเฟสคู่อสมมาตร, (ง) คลื่นเหลี่ยมแบบเฟสคู่อสมมาตร

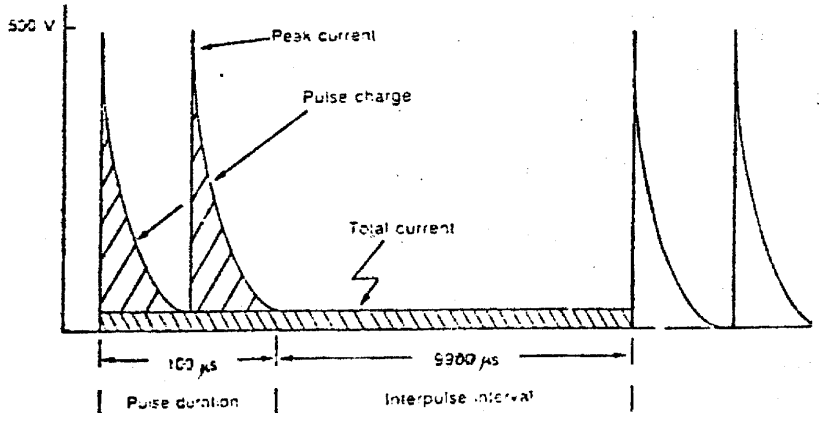
(asymmetrical phase) ซึ่งผลรวมทางไฟฟ้าจะหักล้างไม่หมด (non zero net charge) ดังรูปที่ 13.1

กระแสไฟชนิดเฟสสมมาตรนั้น ภายหลังการกระตุ้นเส้นประสาท และกล้ามเนื้อแล้ว จะไม่มีการหลงเหลือประจุไว้ในเนื้อเยื่อ ซึ่งต่างกับกระแสเฟสคู่ชนิดเฟสอสมมาตร และกระแสชนิดเฟสเดี่ยว กล่าวคือ ภายหลังการกระตุ้นแล้วจะมีประจุเหลืออยู่ในเนื้อเยื่อ ถึงแม้ว่าประจุที่อยู่ในเนื้อเยื่อนั้น จะมีปริมาณน้อย และถูกทำให้เกิดความเป็นกลาง (neutralized) โดยระบบภาวะธำรงดุล (homeostasis) ของร่างกาย แต่มีหลักฐานพอสรุปได้ว่า ปริมาณประจุที่หลงเหลือจากการกระตุ้นของกระแสในเนื้อเยื่อนี้ เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยกระตุ้นให้เกิดกระบวนการซ่อมสร้างเนื้อเยื่อ และกระดูกอีกด้วย (ดูบทที่ 15) ลักษณะเฉพาะของกระแสที่สร้างจากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้ากระแสตรงศักย์สูงนั้น จะมีช่วงกระตุ้นเป็นแบบเฟสเดี่ยว ชนิดยอดเดี่ยว หรือชนิดยอดคู่ (monophasic double peak) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะซึ่งสร้างจากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าศักย์สูงรุ่น Intelect 500$^{(R)}$ ดังนั้น กระแสตรงศักย์สูง

นอกจากจะกระตุ้นเพื่อให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อแล้ว ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมของกระดูก และเนื้อเยื่ออีกด้วย ลักษณะเฉพาะของกระแสตรงศักย์สูงทั้งยอดเดี่ยวและยอดคู่จะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ จะช่วยลดการระคายเคืองที่ผิวหนังจากผล ปฏิกิริยาเคมีใต้ขั้วกระตุ้น เนื่องจากมีช่วงการกระตุ้นสั้นมากนั่นเอง

### 1.2 จุดยอดของกระแส (peak current)

จุดยอดของกระแสจะหมายถึง ขนาดสูงสุดของความเข้ม หรือความแรงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงการกระตุ้น ซึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับความลึกที่กระแสไฟเข้าไปในเนื้อเยื่อ กล่าวคือ ถ้าเพิ่มขนาดของจุดยอดของกระแสจะสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อได้ลึกกว่า (ดูบทที่ 6) และเกิดการนำไฟฟ้าได้นานกว่า ทำให้สามารถกระตุ้นกล้ามเนื้อ และใยประสาทที่อยู่ลึก ๆ ให้เกิดการตอบสนองได้มากกว่า นอกจากนั้น ปริมาณกระแสที่เข้าไปในเนื้อเยื่อนั้น หาก




รูปที่ 13.2 แสดงลักษณะคลื่นกระแสไฟตรงศักย์สูงชนิดหนึ่ง (ดัดแปลงจาก: Alon G. Principle of electrical stimulation, chapter 3. In: Currier DP, Nelson RM. eds. Clinical electrotherapy. California; Applenton and Lange, 1987: 53.)

ถูกขวางกั้นด้วยกระดูก กระแสจะไม่สามารถทะลุผ่านได้ แต่จะวิ่งวนรอบกระดูกที่ ขวางกั้นนั้น ดังนั้น การวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าบริเวณที่มีกระดูกอยู่ตื้น ๆ กระแสจะไม่สามารถผ่านลงไปได้ลึก แม้ว่าจะใช้จุดยอดกระแสสูง ๆก็ตาม

ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟตรงศักย์สูง จะมีศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 200-500 โวลต์ และจุดยอดกระแส 2,500 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งมากกว่ากระแสความถี่ต่ำทั่วไปถึง 25 เท่า และยังสามารถใช้กระตุ้นเนื้อเยื่อของผู้ป่วยได้อย่างปลอดภัย เพราะช่วงกระตุ้นของกระแสตรงศักย์สูงนั้น สั้นมากนั่นเอง (5-75 ไมโครวินาที) ช่วงกระตุ้นของกระแสชนิดนี้ จะสั้นกว่าช่วงกระตุ้นของกระแสความถี่ต่ำทั่วไปถึง 1,000 เท่า ดังนั้นเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าศักย์สูง ที่ให้กระแสไฟศักย์สูงช่วงกระตุ้น หนึ่ง ๆนั้น ถึงแม้จะมีจุดยอดของกระแสที่สูงมาก (มากกว่า 2,500 มิลลิแอมแปร์) แต่มิได้หมายความว่าจะมีขนาดของกระแสเฉลี่ยสูงตามไปด้วย กระแสเฉลี่ยของกระแสตรงศักย์สูงจะมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 2.0 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งกระแสเฉลี่ยดังกล่าวจะไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (รูปที่ 13.2)

### 1.3 ช่วงการกระตุ้น (pulse duration)

ช่วงการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าหมายถึง ระยะเวลาของกระแสไฟฟ้าที่สามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อที่ไวต่อตัวกระตุ้น ผลของการตอบสนองของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดต่อช่วงกระตุ้นนั้นแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ threshold และชนิดของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดนั้น เช่น กล้ามเนื้อจะตอบสนองต่อกระแสไฟที่มีช่วงกระตุ้นที่ยาวกว่าเส้นประสาทยนต์ และเส้นประสาทรับความรู้สึกจะตอบสนองต่อกระแสไฟที่มีช่วงกระตุ้นสั้นกว่าเส้นประสาทยนต์ ดังได้กล่าวมาแล้ว (ดูบทที่ 10) ซึ่งช่วงกระตุ้นนั้นสามารถแบ่งได้เป็นช่วงกระตุ้นสั้น ประมาณ 2-150 ไมโครวินาที จัดเป็นกลุ่มกระแสตรงศักย์สูง และ

ส่วนช่วงกระตุ้นที่ยาว ประมาณมากกว่า 200 ไมโครวินาที จัดอยู่ในกลุ่มของกระแสตรงชนิดเป็น ช่วงๆ (IDC) ซึ่งใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อดังได้กล่าวมาแล้ว (ดูบทที่ 6) เครื่องกระตุ้น ไฟฟ้าศักย์สูงจะสร้างกระแสที่มีช่วงกระตุ้นสั้นมาก (5-75 ไมโครวินาที) และมีช่วงพักที่ยาว ดังนั้นในทางคลินิกการใช้กระแสตรงศักย์สูงมีข้อได้เปรียบในแง่ที่สามารถใช้กระตุ้นได้เป็นเวลานาน โดยไม่เกิดผลแทรกซ้อนจากปฏิกิริยาใต้ขั้ว [4] แต่อาจจะมีข้อเสียเปรียบอยู่บ้าง เนื่องจากช่วงกระตุ้นที่สั้นมาก จึงทำให้ไม่สามารถกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ขาดประสาทมาเลี้ยง

### 1.4 อัตราของช่วงกระตุ้น (pulse rate)

อัตราของช่วงกระตุ้นหมายถึง จำนวนชุดของช่วงการกระตุ้นของกระแสซึ่งสร้างจากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าต่อ 1 วินาที (ดูบทที่ 7) ในทางสรีรวิทยาอัตราการกระตุ้นมีผลต่อการหดตัวของเนื้อเยื่อ เช่น ถ้ากระตุ้นเพื่อให้กล้ามเนื้อหดตัวโดยใช้อัตราการกระตุ้น 1-15 ครั้ง/วินาที กล้ามเนื้อจะเป็นลักษณะกระตุกเป็นจังหวะ ถ้าจำนวนของช่วงการกระตุ้นมากกว่า 15 ครั้ง/วินาที กล้ามเนื้อจะเริ่มหดตัวแบบเตตานิก และกระตุ้นด้วยกระแสซึ่งมีช่วงการกระตุ้นมากกว่า 20-40 ครั้ง/วินาที กล้ามเนื้อจะตอบสนองในลักษณะเกร็งและเกิดภาวะเพลียล้าร่วมด้วย แต่ถ้าใช้กระแสซึ่งมีช่วงการกระตุ้นมากกว่า 80 ครั้ง/วินาที กล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้นจะตอบสนองแบบเกร็ง และเกิดภาวะเพลียล้าอย่างรวดเร็วเพียง 1-2 นาที ภายหลังการหดตัวค้าง

นอกจากอัตราช่วงกระตุ้นแล้ว สัดส่วนของเวลาพักและเวลากระตุ้นก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อการหดตัวไม่น้อย ถ้าปรับเวลากระตุ้นนาน 5 วินาที และเวลาพักนาน 5 วินาที ซึ่งเป็นอัตราส่วน 1:1 ที่อัตราการกระตุ้น 100 ครั้ง/

วินาที เปรียบเทียบกับกระแส IDC ที่มีช่วงกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง (continuous IDC) โดยใช้เวลากระตุ้นเท่ากัน กล้ามเนื้ออาจจะตอบสนองต่อกระแสชนิดแรก ในลักษณะที่เกิดภาวะเพลียล้าช้ากว่าแบบหลัง และถ้าปรับอัตราส่วนของชุดที่กระตุ้นเป็น 1-15 วินาที และเวลาพัก 45-60 วินาที ซึ่งเป็นอัตราส่วน 1:3-4 กล้ามเนื้อจะเกิดการหดตัวแบบเกร็ง โดยไม่มีภาวะเพลียล้า ถึงแม้จะใช้กระแส มากกว่า 100 ครั้ง/วินาที

ในทางคลินิก อัตราการกระตุ้นมีบทบาทสำคัญมากในการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย ตัวอย่างเช่น การกระตุ้นเพื่อฝึกการทำงานของกล้ามเนื้อ ควรให้กระแสซึ่งมีสัดส่วน 1:3-4 และมีอัตราของช่วงกระตุ้น 10-20 ครั้ง/วินาที ซึ่งสามารถฝึกให้กล้ามเนื้อทำงานโดยไม่เกิดภาวะเพลียล้า ในทางตรงกันข้าม ผู้ป่วยที่มีการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเนื่องจากข้อต่อได้รับบาดเจ็บ (muscle spasm) การกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อหวังผลการผ่อนคลายกล้ามเนื้อ ควรใช้อัตราการกระตุ้น ค่อนข้างมาก หรืออาจใช้กระแสชนิดช่วงการกระตุ้นเป็นจังหวะ ๆต่อเนื่อง เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการเพลียล้าโดยเร็ว ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนต่อกระแสไฟของผู้ป่วยด้วย

### 1.5 ปริมาณประจุ (phase charge)

ประจุไฟฟ้าในเฟสของกระแส หมายถึงปริมาณของกระแสไฟฟ้า (ปริมาณประจุอิเล็กตรอนใน 1 หน่วยเวลา) ซึ่งปล่อยเข้าไปในเนื้อเยื่อในแต่ละเฟส จากการศึกษาพบว่า ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ถูกปล่อยเข้าไปในเนื้อเยื่อ นอกจากจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อที่ไวต่อตัวกระตุ้นแล้ว ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการทำลายเนื้อเยื่อ และมีส่วนรบกวนระบบไฟฟ้าของหัวใจ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย ผู้กระตุ้นควรตระหนักถึงปริมาณประจุไฟฟ้าซึ่งปล่อย

ออกจากเครื่องกระตุ้นเข้าไปในผู้ป่วยด้วย ปริมาณประจุไฟฟ้านั้น สามารถคำนวณได้จากผลคูณของความต่างศักย์ กับความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บ ประจุ ดังสมการดังต่อไปนี้

$$Q = VC$$

Q คือปริมาณประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์

V คือคำความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์

C คือค่าตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นฟารัด

(1 ฟารัด หมายถึง ความสามารถของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จะเก็บประจุ 1 โวลต์)

ในทางปฏิบัตินั้น ปริมาณประจุในแต่ละเฟสที่ปล่อยออกจากเครื่องสามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าความต่างศักย์ที่ปล่อยออก กับค่าความจุของวงจรปล่อยออก (circuit output capacitance) ขนาดของปริมาณประจุปล่อยออกที่ปลอดภัยสำหรับพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร (20 ไมโครคูลอมบ์/เฟส/ชั่วโมง$^2$) กองควบคุมอาหารและยาแห่งประเทศอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานของปริมาณประจุที่ใช้ในการรักษา ซึ่งปล่อยออกจากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าไว้ว่าไม่ควรเกิน 25 ไมโครคูลอมบ์

ในใยประสาทแต่ละชนิด จะตอบสนองต่อปริมาณประจุที่กระตุ้นไม่เท่ากัน ใยประสาทขนาดใหญ่ถูกดีโพลาไรส์ (depolarized) ด้วยปริมาณประจุที่น้อย ๆได้ง่ายกว่าใยประสาทที่มีขนาดเล็ก กระแสที่มีช่วงกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวซึ่งจะให้ประจุเพียงเฟสเดียวนั้น ผลรวมประจุเชิงปริมาณ (ไม่คำนึงถึงเครื่องหมายและชนิดของประจุ) และผลรวมเชิงเวกเตอร์ (คิดเครื่องหมาย

ประจุ) จะเท่ากันและมากกว่า 0 (ศูนย์) เสมอ ซึ่งประจุเหล่านี้จะมีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ และจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการช่วยสร้างเนื้อเยื่อโดยเฉพาะกระดูก ในกระแสไฟที่มีช่วงกระตุ้นชนิดเฟสคู่ ผลรวมเชิงปริมาณในแต่ละช่วงกระตุ้น จะมีปริมาณประจุมากกว่ากระแสชนิดแรก แต่ผลรวมประจุเชิงเวกเตอร์ซึ่งคิดเครื่องหมายร่วมด้วย อาจจะเท่าหรือไม่เท่ากับ 0 ก็ได้ โดยเฉพาะกระแสที่มีช่วงกระตุ้นชนิดเฟสคู่สมมาตร จะทำให้ปริมาณประจุเป็น 2 เท่า ในแต่ละเฟส แต่มีผลรวมของประจุเป็น 0 เป็นต้น

กระแสไฟศักย์สูงซึ่งใช้ในคลินิก เป็นกระแสที่มีช่วงกระตุ้นเฟสเดียว ขณะกระตุ้นจะมีการสะสมประจุในเนื้อเยื่อ ซึ่งประจุที่สะสมนี้จะถูกทำให้เป็นกลาง โดยระบบธำรงดุลของร่างกาย (homeostasis) รอบ ๆเซลล์ที่ถูกกระตุ้น ซึ่งปริมาณประจุเหล่านี้ เป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นการซ่อมสร้างเนื้อเยื่อ (ดูบทที่ 15) ดังนั้น ในผู้ป่วยที่มีแผลเรื้อรัง, กระดูกติดช้า อาจใช้กระแสชนิดนี้ในการรักษา นอกจากนี้ การศึกษาในระยะหลังยังพบว่าผลของขั้วประจุไฟฟ้า ยังสามารถทำลายแบคทีเรียบางชนิดอีกด้วย

## 2. หลักการวางขั้วไฟฟ้า

หลักการวางขั้วไฟฟ้าของเครื่องกระตุ้นกระแสศักย์สูงนั้น ไม่แตกต่างจากการวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าความถี่ต่ำชนิดอื่น ๆ กล่าวคือ จะต้องพิจารณาจุดประสงค์ของการกระตุ้น เช่น กรณีที่ต้องการกระตุ้นกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มความแข็งแรงเพื่อลดอาการเกร็ง หรือเพื่อเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวนั้น ซึ่งอาจเลือกใช้เทคนิคการกระตุ้นแบบ bipolar หรือใช้ขั้วกระตุ้นมือถือก็ได้ โดยให้ขั้วกระตุ้นอยู่ตรงกับตำแหน่งจุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้น

ในกรณีที่ต้องการกระตุ้นเพื่อระงับอาการเจ็บปวด มักนิยมใช้เทคนิค bipolar โดยวางขั้วไฟฟ้าบริเวณจุดจำเพาะ dermatome, จุดกดเจ็บ และจุดฝังเข็ม ดังได้กล่าวมาแล้ว (ดูบทที่ 10)

## 3. การใช้กระแสไฟศักย์สูงทางคลินิก [5]

เนื่องจากกระแสไฟตรงศักย์สูงมีลักษณะเฉพาะคือ ช่วงกระตุ้นสั้นมาก จุดยอดของกระแสมีศักย์ไฟฟ้าสูง ดังนั้น จึงสามารถกระตุ้นใยประสาทรับความรู้สึก และใยประสาทยนต์ได้ดีกว่าใยประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด โดยไม่เกิดปฏิกิริยาใต้ขั้วไฟฟ้า ผู้ถูกกระตุ้นจะรู้สึกสบาย และสามารถกระตุ้นได้นานหลายชั่วโมงติดต่อกัน

### 3.1 ใช้ระงับความเจ็บปวด

ความรู้สึกเจ็บปวดนั้นเป็นความรู้สึกไม่สบาย สาเหตุของความเจ็บปวดอาจเนื่องมาจากการได้รับบาดเจ็บของเนื้อเยื่อจากอุบัติเหตุ การอักเสบ หรือจากการทำผ่าตัด กระแสไฟตรงศักย์สูง ซึ่งมีช่วงกระตุ้นสั้นมากจึงสามารถใช้กระตุ้นใยประสาทรับความรู้สึกขนาดใหญ่ เพื่อไประงับใยประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวดในการนำความรู้สึกเจ็บปวดสู่สมอง (ทฤษฎี gate control) เช่นเดียวกับกระแส TENS ดังได้กล่าวมาแล้ว (ดูบทที่ 10)

### 3.2 เพื่อเพิ่มการเคลื่อนไหวของข้อ

การจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ทั้งแบบชั่วคราวและถาวร มักเกิดจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ การหดรั้งของเนื้อเยื่อพังผืดรอบ ๆ ข้อ และความเจ็บปวดจนทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ เกิดการพอกพูนของ

หินปูนและสูญเสียการทำงานในที่สุด การใช้กระแสไฟศักย์สูงมีจุดประสงค์เพื่อกระตุ้น กล้ามเนื้อให้เกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเจ็บปวด เป็นการเพิ่มการไหลเวียนของโลหิต และเพิ่มการดูดกลับของน้ำเหลืองเข้าสู่ระบบการไหลเวียน ทำให้พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเพิ่มขึ้น

### 3.3 เพื่อลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ

ปกติการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ (muscle spasm) เป็นกลไกป้องกันตัวเองของร่างกาย มักเกิดขึ้นหลังจากได้รับบาดเจ็บ หรือได้รับอันตรายของข้อหรือของกล้ามเนื้อโดยตรง การอักเสบและการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติของข้อก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อได้เช่นกัน การหดเกร็งของกล้ามเนื้อนี้มักจะคงอยู่จนกระทั่ง สาเหตุของการบาดเจ็บถูกขจัดไป เทคนิคการกระตุ้นอาจทำได้โดยให้กล้ามเนื้อที่หดเกร็งนั้น เกิดการผ่อนคลาย ด้วยการกระตุ้นให้เกิดหดตัวจนเพลียล้า หรือกระตุ้นเพื่อระงับปวดจนกล้ามเนื้อนั้นเกิดการผ่อนคลาย หรือกระตุ้นให้กล้ามเนื้อกลุ่มทำงาน (agonist) เกิดการหดตัว เพื่อหวังผลการผ่อนคลายของกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้าม (antagonist) เป็นต้น

### 3.4 เพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อซึ่งลีบจากการไม่ได้ใช้งาน

การลีบเล็กของกล้ามเนื้อจากการไม่ได้ใช้งานนั้นหมายถึง ขนาดและแรงของกล้ามเนื้อนั้นน้อยกว่าปกติ โดยทั่วไปการลีบของกล้ามเนื้อ มักมีสาเหตุจากการไม่ได้ใช้งานของข้อเพราะถูกจำกัดเป็นเวลานาน หรือเนื่องจากระบบประสาทกลาง และระบบประสาทรอบนอกสูญเสียหน้าที่ไป ในกรณีของการลีบที่มีสาเหตุจากระบบประสาทผิดปกตินั้น กระแสไฟตรงศักย์สูงมีข้อจำกัดเนื่องจากช่วงกระตุ้นสั้นมาก การตอบสนองของใยประสาทจะเกิดได้ยาก

ส่วนการลีบของกล้ามเนื้อจากการไม่ได้ใช้งานกระแสไฟตรงศักย์สูงสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของใยกล้ามเนื้อ เนื่องจากมีส่วนช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในการเผาผลาญออกซิเจนในใยกล้ามเนื้อ และระงับความเจ็บปวด ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในรายที่ทำผ่าตัดย้ายเอ็น เป็นต้น

### 3.5 ช่วยซ่อมสร้างเนื้อเยื่อที่ได้รับอันตราย

ภาวะปกติเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บ จะได้รับการซ่อมแซมโดยกระบวนการซ่อมสร้างของร่างกาย มีหลักฐานจากการศึกษาว่า การกระตุ้นไฟฟ้ามีส่วนช่วยเร่งกระบวนการซ่อมสร้างเนื้อเยื่อในชั้นของ dermis และ subdermis (ไม่รวมถึงกล้ามเนื้อ เอ็น และเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกกว่านี้) สมมติฐานทางสรีรวิทยา ที่ใช้อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นคือ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มการไหลเวียนเลือด และผลของประจุไฟฟ้ามีส่วนทำลายแบคทีเรีย และกระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมโดยตรง (ดูบทที่ 15)

### 3.6 ใช้ลดบวม

การบวมหมายถึงการคั่งของน้ำเหลือง โปรตีน และพลาสมานอกระบบการไหลเวียนเนื่องจากการได้รับบาดเจ็บของข้อหรืออวัยวะส่วนนั้น เช่น การเคล็ด การอักเสบ การติดเชื้อและการฉีกขาดของเอ็นรอบข้อ เป็นต้น ผลการลดบวมจากการกระตุ้นไฟฟ้า อาจเนื่องมาจากการหดตัวของกล้ามเนื้อทำให้เกิดการดูดกลับของพลาสมา (pumping effect) ดังกล่าว นอกจากนั้น การศึกษาในปัจจุบันพบว่าผลการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า มีส่วนช่วยให้เกิดการเพิ่มปริมาณการดูดกลับของพลาสมานอกระบบการไหลเวียนได้โดยตรงอีกด้วย

### 3.7 เพิ่มการไหลเวียนเลือดรอบนอก

ผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องระบบการไหลเวียนรอบนอกบกพร่องหรือผิดปกติ เช่น ในรายที่เกิดการขาดเลือดในกล้ามเนื้อ (Volkman's ischemic syndrome) ซึ่งเกิดการคั่งของเลือดที่ส่วนรอบนอก เส้นเลือดขอด การกระตุ้นด้วยกระแสไฟศักย์สูงมีส่วนช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือด เร่งให้มีการฟื้นตัวให้กลับสู่สภาพปกติ กลไกทางสรีรวิทยาอธิบายได้ดังนี้ คือ กระแสไฟตรงศักย์สูงมีส่วนไปกระตุ้นระบบซิมพาเทติกในส่วนที่อยู่ลึก ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบในหลอดเลือดแดง นอกจากนั้น ยังเกิดจากผลการหดตัวเป็นจังหวะของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมดังได้กล่าวมาแล้ว

## ปฏิบัติการที่ 13 การกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง

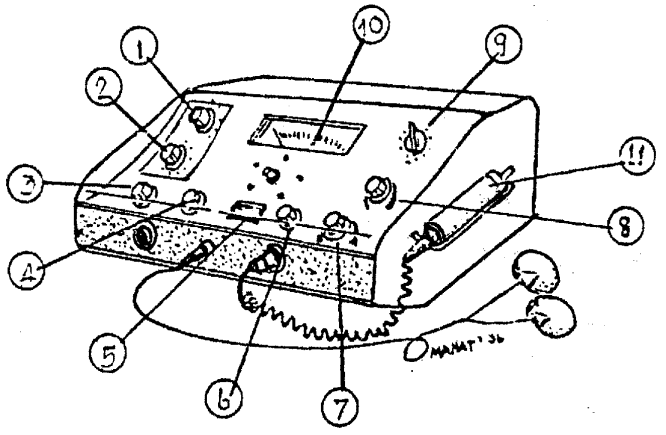
### จุดประสงค์

หลังจากปฏิบัติการครั้งนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1.อธิบายลักษณะเฉพาะของกระแสไฟตรงศักย์สูง
2.อธิบายข้อแตกต่างระหว่างกระแสไฟตรงศักย์สูง กับกระแสชนิดอื่น ๆ
3.อธิบายข้อบ่งชี้และข้อควรระวังขณะกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง
4.แสดงวิธีกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าศักย์สูง (รูปที่ 13.3)




รูปที่ 13.3 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกระตุ้นไฟตรงศักย์สูง(1,2) ปุ่มควบคุมการปล่อยสัญญาณเป็นชุด ๆ, (3)ปุ่มเลือกชนิดของกระแส, (4) ปุ่มเลือกขั้วกระตุ้น, (5) สวิตช์ปิดเปิดเครื่อง,(6) ปุ่มปรับความถี่ไฟที่กระตุ้น, (7) ปุ่มปรับความสมดุลของกระแสที่ปล่อยออกจากขั้วกระตุ้น, (8) ปุ่มปรับความเข้มกระแส, (9) ปุ่มตั้งเวลาสำหรับรักษา, (10) หน้าปัทม์แสดงความเข้มกระแส, (11) ขั้วกระตุ้นชนิดมือถือ

2. แผ่นขั้วไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์
3. สายรัดขั้วไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ
4. เจลนำไฟฟ้า
5. สำลี และ แอลกอฮอล์

## วิธีปฏิบัติการ

### ตอนที่ 1 การกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง

1. วางขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ลงบนกล้ามเนื้อต้นแขนที่ใช้ในการกระดกข้อมือ (flexion) (รูปที่ 13.4)

รูปที่ 13.4 แสดงการวางขั้วกระตุ้นเพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อกระดกข้อมือ

2. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสมาที่ ‘continuous’

3. ปรับปุ่มความแรงกระแสมาที่ reset แล้วค่อย ๆ เพิ่มความแรงจนมากที่ สุดที่ผู้ถูกกระตุ้นจะทนได้ แล้วสังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อ บันทึกผลในตารางที่ 13.1

4.เปลี่ยนความถี่การกระตุ้น (frequency) สังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อ แล้วบันทึกผล

5. ปรับปุ่มเลือกชนิดกระแสมาที่ surge และปรับจังหวะการปล่อยสัญญาณเป็นชุด ๆ

6. ค่อย ๆเพิ่มความแรงกระแส สังเกตการหดตัว แล้วบันทึกผล

7. เปลี่ยนจังหวะการปล่อยสัญญาณ สังเกตการหดตัว แล้วบันทึกผล

8. ค่อย ๆเพิ่มความแรงกระแสจนผู้ถูกกระตุ้นทนไม่ได้

9. เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งมาไว้ที่กลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่กระดกข้อมือขึ้น (extension) (รูปที่ 13.5)

10. ปรับปุ่มเลือกกระแสมาที่ reciprocate

11. ค่อย ๆเพิ่มความแรงสังเกตการหดตัว แล้วบันทึกผล

ตารางที่13.1 บันทึกผลการกระตุ้นด้วยกระแสไฟศักย์สูง

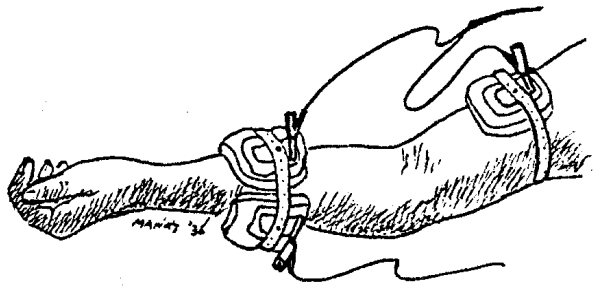
| ชนิดของกระแส | อัตราของช่วงกระตุ้น (Hz) | ความแรงกระแส | | ความรู้สึกผู้ถูกกระตุ้น | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | เริ่มรู้สึก | ทนไม่ได้ | เริ่มรู้สึก | ทนไม่ได้ |
| continuous | | | | | |
| surge | | | | | |
| reciprocate | | | | | |

## ตอนที่ 2 การหดตัวของกล้ามเนื้อในชั้นลึก

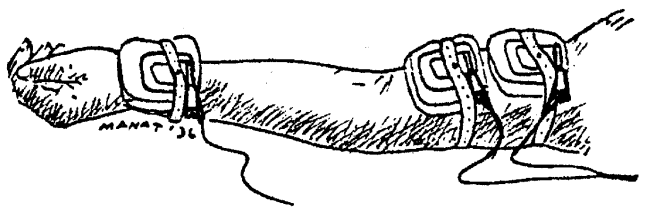
1. วางขั้ว active ขั้วหนึ่งหน้าข้อมือ อีกขั้ววางบริเวณด้านหน้าต่ำกว่าศอก (รูปที่ 13.6)

2. ปรับปุ่มเลือกกระแสมาที่ continuous

3. ปรับปุ่มอัตราช่วงกระตุ้นคงที่ ที่ค่าหนึ่งค่อย ๆ เพิ่มความแรงกระแส สังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อ แล้วบันทึกผลใน ตารางที่ 13.2



รูปที่ 13.5 แสดงการวางขั้วกระตุ้นเพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อกระดก ข้อมือแบบ reciprocate



รูปที่ 13.6 แสดงการวางขั้วกระตุ้นเพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อให้เกิดการคว่ำมือ

ตารางที่13.2 บันทึกผลการกระตุ้นกล้ามเนื้อชั้นลึก ๆ ด้วยกระแสไฟตรงศักย์สูง

| ชนิดของกระแส | อัตราของช่วงกระตุ้น (Hz) | ความแรงกระแส | | ความรู้สึกผู้ถูกกระตุ้น | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | เริ่มรู้สึก | ทนไม่ได้ | เริ่มรู้สึก | ทนไม่ได้ |
| continuous | | | | | |
| surge | | | | | |

4. ปรับค่าความแรงกระแสคงที่ ที่ค่าหนึ่งแล้วค่อย ๆ เพิ่มอัตราการกระตุ้น สังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อแล้วบันทึกผล

5. ปรับปุ่มเลือกกระแสมาที่ surge แล้วทำตามข้อ 1-4 สังเกตการหดตัว ของกล้ามเนื้อแล้วบันทึกผล

## คำถามท้ายบท

1. ท่านคิดว่าผลของกระแสไฟตรงศักย์สูงในการกระตุ้นกล้ามเนื้อมีลักษณะ แตกต่างจากกระแส IDC ทั่วไปหรือไม่อย่างไร?

2. ถ้าใช้กระแสศักย์สูงกระตุ้นต่อไปนาน ๆ ท่านคิดว่าจะเกิดปฏิกิริยา

ใต้ขั้วไฟฟ้าหรือไม่ เพราะเหตุใด?

3. ท่านคิดว่าขั้วไฟฟ้าขั้วใดเป็นขั้ว active electrode

4. เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าศักย์สูง จึงมักไม่มีปุ่มปรับช่วงการกระตุ้น เพราะเหตุใด?

5. การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสศักย์สูงจำเป็นต้องรองผ้าหนาใต้ขั้วไฟฟ้าเช่นเดียวกับกระแสความถี่ต่ำชนิดอื่นหรือไม่ เพราะเหตุใด?

6. จงอธิบายข้อแตกต่างของกระแสไฟตรงศักย์สูง กับกระแสความถี่ต่ำ ชนิดอื่น ๆในด้านความจำเพาะของกระแสและการประยุกต์ใช้ทางคลินิก

## เอกสารอ้างอิง


1.Alon G, Domenico GD. High voltage stimulation introduction, chapter 5, High voltage stimulation. Chattanooga, 1987: 59-70.

2.Alon G. Principle of electrical stimulation, chapter 3. In: Currier DP, Nelson RM. eds. Clinical electrotherapy. California; Applenton and Lange, 1987: 51-4.

3.สมชาย รัตนทองคำ. กระแสไฟตรงศักย์สูง. ใน: ประโยชน์ บุญสินสุข. บรรณาธิการ. การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ. มหาวิทยาลัยมหิดล; โรงเรียนกายภาพบำบัด คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, 2529: 203-16.

4.Newton RA, Karselis TC. Skin pH following high voltage pulse galvanic stimulation. Phys Ther 1983; 63(10): 1593-6.

5. Alon G. High voltage stimulation. Phys Ther 1985;65(6):890-5.