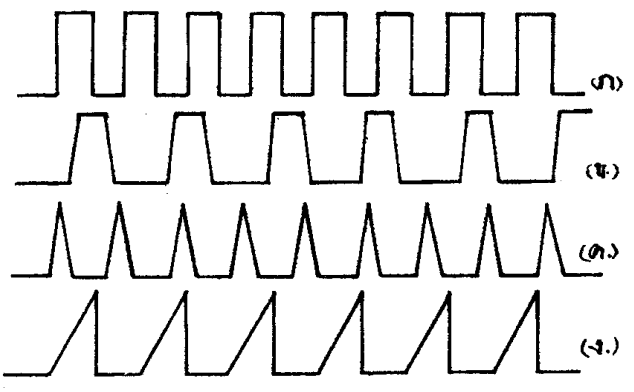
6

การกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ

การกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วงๆ (IDC) จะไม่แตกต่างจากการกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงอย่างต่อเนื่อง หรือแกลแวนิกมากนัก กล่าวคือ ขณะ กระตุ้นกระแสไฟฟ้าไม่ได้ถูกปล่อยออกตลอดเวลา (ไม่มีช่วงพัก) แต่จะถูกปล่อย ออกเป็นจังหวะ (มีช่วงพักสลับ) ในสมัยก่อน หากต้องการใช้ไฟ IDC กระตุ้นอาจทำได้ โดยใช้ไฟกระแสตรงอย่างต่อเนื่อง แล้วยกสวิตช์ขั้วกระตุ้นขึ้นเป็นจังหวะ หรือใช้วิธีสลับปุ่มไฟฟ้าเพื่อกลับทิศทางการไหล ทำให้เห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นจังหวะสลับกัน แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ มีความ ก้าวหน้าขึ้นมาก ผู้ใช้เครื่องกระตุ้นเพียงแต่ปรับเวลา หรือตั้งช่วงเวลาของการกระตุ้น และช่วงพักเท่านั้นก็จะได้กระแส IDC เพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทตามต้องการ

กระแส IDC ในที่นี้จะหมายถึงกระแสไฟตรงที่ปล่อยออกเป็นช่วง ๆ (interrupted direct current) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีรูปคลื่นหลายชนิด (รูปที่



รูปที่ 6.1 แสดงกระแสไฟตรงที่ปล่อยเป็นช่วง ๆ (ก) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ข) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (ค) รูปสามเหลี่ยม(ง) รูปฟันเลื่อย (ดัดแปลงจาก: .Ward AR. Electrical stimulator of nerve and muscle: Electricity, fields and waves in therapy. Marrickville 2204: Science Press, 1976: 63-88.

6.1) ส่วนกระแส IDC ที่ปล่อยออกเป็นชุด ๆ ได้จัดไว้ในกลุ่มของกระแสไฟฟาราดิก (ดูบทที่ 7)

1.การใช้กระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ ทางคลินิก

การใช้กระแสไฟ IDC ทางคลินิกมักนิยมใช้ ชนิดที่ปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง เพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อและประสาท ดังต่อไปนี้

1.1 การหาจุดมอเตอร์ [1]

จุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ และเส้นประสาทเป็นจุดที่เนื้อเยื่อนั้นมี threshold การตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าต่ำที่สุด กล่าวคือ สามารถใช้ความเข้มของกระแสไฟน้อยที่สุด และทำให้เนื้อเยื่อเกิดการตอบสนองสูงสุด เนื่องจาก

เครื่องกระตุ้นที่ให้กระแสไฟ IDC มักมีปุ่มที่สามารถปรับช่วงกระตุ้น (pulse duration) และช่วงพัก (pause duration) แยกเป็นอิสระต่อกัน จึงมักใช้หาจุดมอเตอร์ วิธีการหาจุดมอเตอร์ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 8

1.2 ใช้ทำเส้นโค้งเอสดี [2]

เส้นโค้งเอสดี (SD curve หรือ strength duration curve) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มกระแสไฟฟ้าและช่วงเวลากระตุ้นของกระแสไฟฟ้า ที่ทำให้กล้ามเนื้อและเส้นประสาทเกิดการตอบสนอง มีประโยชน์ ในการใช้พยากรณ์ และวินิจฉัยโรค (ดูบทที่ 9) กระแสไฟ IDC รูปสี่เหลี่ยม มักใช้หาเส้นโค้งเอสดีในกล้ามเนื้อปกติ ส่วนกระแสไฟ IDC รูปสามเหลี่ยม มักใช้หาเส้นโค้งเอสดีในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงบางส่วน (partial denervate)

1.3 ชะลอการลีบเล็กของกล้ามเนื้อ [3,4]

การกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง มีจุดประสงค์เพื่อพยายามรักษาสภาพของกล้ามเนื้อนั้นให้ดีที่สุด เพื่อคอยเวลาฟื้นตัวของเส้นประสาทที่ได้รับบาดเจ็บ เป็นที่ทราบกันแล้วว่า กล้ามเนื้อปกติถ้าเกิดการอ่อนแรง การออกกำลังโดยมีแรงต้านจะสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทาน แต่ในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง หรือเส้นประสาทที่เลี้ยงกล้ามเนื้อได้รับบาดเจ็บ จะไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานด้วยการออกกำลัง เนื่องจากอวัยวะส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อไม่สามารถสั่งการให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว จึงเกิดการอ่อนแรง และลีบเล็กลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม กล้ามเนื้อที่ขาดการควบคุมจากระบบ

ประสาท ก็สามารถถูกกระตุ้นให้เกิดการหดตัวได้ ด้วยกระแสไฟฟ้า IDC ที่ปรับช่วงการกระตุ้นและความแรงของไฟที่เหมาะสม การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อเกิดการหดตัวในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงนั้น จะให้ผลคล้ายกับการสั่งการของระบบประสาทเพื่อให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ เพื่อชะลอการลีบเล็กลงของกล้ามเนื้อ

1.3.1 วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นไฟฟ้าต่อกล้ามเนื้อที่ขาดประสาทมาเลี้ยง [4]

การลีบเล็กของกล้ามเนื้อเนื่องจากขาดการใช้งานนั้น สามารถที่จะฝึกให้แข็งแรงขึ้นเหมือนปกติด้วยการออกกำลังกาย และการลีบเล็กเนื่องจากขาดการใช้งานนั้นยังคงมีความตึง (tone) ของกล้ามเนื้ออยู่ กระบวนการเมแทบอลิซึมของกล้ามเนื้อก็ยังอยู่ในสภาพปกติถึงแม้จะเกิดการอ่อนแรงในตัวกล้ามเนื้อก็ตาม แต่ในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงจะเกิดภาวะเสื่อมและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่แย่ลงเรื่อย ๆ ถึงแม้เส้นประสาทหรือแอกซอนที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นสามารถเกิดกระบวนการซ่อมสร้างหรืองอกใหม่จนกระทั่งมาถึงตัวกล้ามเนื้อก็ตาม แต่ต้องใช้เวลาพอสมควร ช่วงเวลาที่เส้นประสาทงอกมาถึงกล้ามเนื้อนั้นอาจกินเวลาเป็นเดือน ๆ ถ้ากล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทนั้น ไม่ได้ถูกเตรียมสภาพให้พร้อมที่จะทำงานเมื่อเส้นประสาทนั้นงอกมาถึงก็ไม่สามารถเกิดการหดตัว ดังนั้น จึงควรเตรียมการให้กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงนั้นพร้อมที่จะทำงาน โดยการกระตุ้น ด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อหวังผลดังต่อไปนี้

1 ชะลอการลีบเล็กของกล้ามเนื้อ (delay muscle atrophy)

จากการศึกษาพบว่า การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเลื่อน

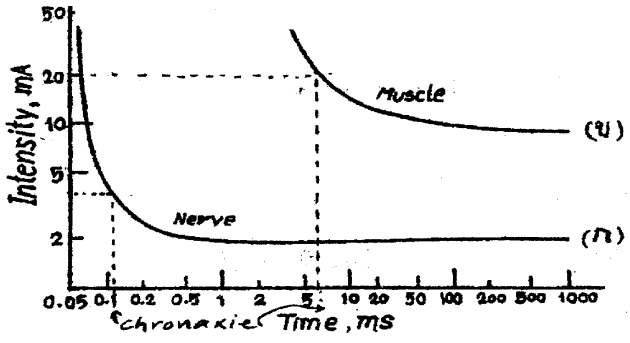
เข้าออกของ actin และ myosin ส่งผลให้อัตราการทำลายของ myofibril ลดน้อยลง นอกจากนั้นยังเชื่อว่าผลจากการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นด้วยกระแส ไฟฟ้า มีส่วนเพิ่มการสังเคราะห์กลัยโคเจน (glycogen) อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ผลของไฟฟ้าก็ไม่สามารถที่จะป้องกันการลีบเล็กและการเสื่อมของกล้ามเนื้อเนื่องจากการขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงแต่เป็นเพียงการชะลอกระบวนการเหล่านี้ให้เกิดช้าลงเท่านั้น

2 ช่วยเพิ่มการไหลเวียนในกล้ามเนื้อ (improved venous and lymphatic return)

จากการศึกษาของ Sunderland พบว่ากล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงมีผลทำให้กล้ามเนื้อไม่หดตัว ส่งผลให้มีการคั่งค้างของโลหิตและของเสียต่าง ๆในกล้ามเนื้อเกิดการอุดตัน ขาดการลำเลียงอาหาร ทำให้ใยกล้ามเนื้อเกิดภาวะเสื่อมลีบเร็วขึ้น โดยเฉพาะกล้ามเนื้อแขนและขาที่ส่วนปลาย (distal) จะมีอัตราเสื่อมสูงกว่ากล้ามเนื้อที่อยู่ในส่วนต้น ๆ (proximal) การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อหดตัวเกิด pumping action เพิ่มการไหลเวียนในกล้ามเนื้อ ลดบวม เกิดการซ่อมแซมตัวกล้ามเนื้อเองให้ใกล้เคียงปกติมากขึ้น และเสื่อมช้าลง

3 ชะลอการเกิดการยึดติดหรือพังผืดของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทสั่งงานจะไม่สามารถหดตัวได้เอง ใยกล้ามเนื้อจะเกิดการยึดติด ขาดความยืดหยุ่น และจะเปลี่ยนสภาพเป็นพังผืด (fibrosis) ไปในที่สุด การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดการหดตัวสามารถช่วยชะลอการยึดติดของใยกล้ามเนื้อ



รูปที่ 6.2 แสดงค่า chronaxie ของกล้ามเนื้อปกติ (ก) และ กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (ข)

1.3.2 วิธีการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทด้วยกระแสไฟฟ้า [4]

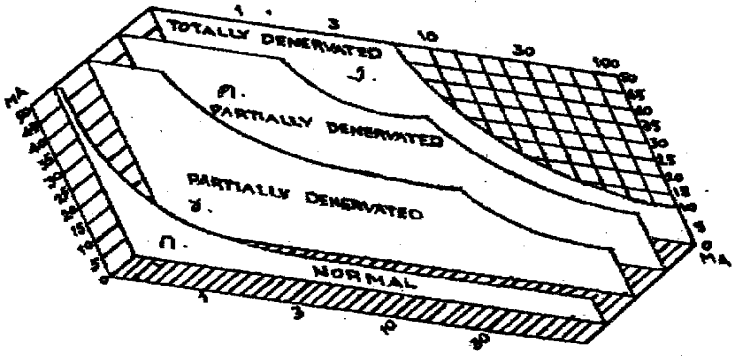
ความแตกต่างระหว่างกล้ามเนื้อที่มีและไม่มีเส้นประสาทต่อตัวกระตุ้นไฟฟ้าก็คือ ความไวของการตอบสนอง ในกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงจะมีความไวของการตอบสนองต่อกระแสไฟมากกว่ากล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากเส้นโค้งเอสดี ดังรูปที่ 6.2

ในกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง ลักษณะเส้นโค้งเอสดีจะค่อนข้างมาทางด้านซ้าย (ชิดมาทางแกนตั้ง) โดยใช้ช่วงการกระตุ้นสั้น และใช้ความแรงของไฟน้อยกว่า ส่วนในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงบางส่วน (partial denervated) ลักษณะเส้นโค้งเอสดีจะเป็นรูปผสมระหว่างกล้ามเนื้อที่มีและไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง กล่าวคือ จะมีรอยหัก (kink) ระหว่างกลาง ซึ่งรอยหักนี้เกิดจากการรวมเส้นโค้งของกล้ามเนื้อทั้งสองชนิด (รูปที่ 6.3) กรณีที่กล้ามเนื้อมัดนั้นมีส่วนใยกล้ามเนื้อที่ปกติอยู่มาก เส้นโค้งก็จะเบี่ยงเบนมาทางซ้าย แต่ถ้ามีใยกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงอยู่มากกว่าเส้นโค้งนี้ก็จะเบี่ยงเบนค่อนมาทางขวามือ เป็นต้น

ในกรณีของกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาททั้งหมด (complete denervated) เส้นโค้งเอสดีจะเบี่ยงเบนไปทางขวามือมาก และมักจะมีค่า rheobase และช่วงการกระตุ้นค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 6.3

1.3.3 กระแสไฟที่ใช้กระตุ้น [3]

กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง ไม่ว่าจะเป็นแบบ complete หรือ partial denervated ย่อมทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ค่าความไวต่อตัวกระตุ้น (excitability) ลดลง ช่วงระยะดื้อ (refractory period) ยาวขึ้น ค่า accommodation ลดลง จากคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้กระแสไฟที่ใช้กระตุ้นมักจะถูกพิจารณาให้มีความแรง และช่วงการกระตุ้นที่มากกว่าใช้ กระตุ้นกล้ามเนื้อปกติ โดยเพิ่มช่วงพักระหว่างการกระตุ้นให้มากขึ้น มักจะเป็น 2-3 เท่าของช่วงการกระตุ้น เพื่อลดปฏิกิริยา



รูปที่ 6.3 แสดงเส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อปกติ (ก) กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงบางส่วน (ข, ค) และกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงทั้งหมด (ง) (ดัดแปลงจาก: .Wadsworth H, Chanmugam APP. Low frequency currents, chapter 8. Electrophysical agents in physical therapy, 2nd edition. Sydney; Science Press, 1985: 312.).

เคมีใต้ขั้วกระตุ้นจากการใช้ช่วง กระตุ้นที่ยาว และควรใช้ไฟชนิดสามเหลี่ยมเพื่อทำให้ใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาท มาเลี้ยงบริเวณใกล้เคียง เกิด accommodation ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติควรจะทำเส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อก่อนเสมอ เพื่อพิจารณาค่า utilization time ของกล้ามเนื้อเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาปรับกระแสในการกระตุ้น (รูปที่ 6.2)

ในกรณีที่เส้นประสาทที่เลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นเริ่มฟื้นตัว การตอบสนองของกระแสจะเปลี่ยนไป กล่าวคือ กล้ามเนื้อนั้นจะตอบสนองต่อกระแสที่มีช่วงการกระตุ้นและความแรงน้อยลง ในบางรายสามารถตอบสนองต่อไฟฟาราดิก ดังนั้นกระแสไฟที่ใช้ควรจะมีการปรับให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงใยกล้ามเนื้อส่วนที่ยังขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงเป็นหลัก อาจให้การออกกำลังร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วย

1.3.4 เทคนิคการกระตุ้น [3,4].

ควรจัดท่าให้กล้ามเนื้อที่ต้องการกระตุ้นอยู่ในท่าที่ถูกยืดเล็กน้อย ผู้ถูกกระตุ้นควรอยู่ในท่าที่สบายผ่อนคลาย การกระตุ้นครั้งแรกควรอธิบายให้ผู้ถูกกระตุ้นทราบ เพื่อเตรียมรับความรู้สึกที่จะเกิดขึ้น

การวางขั้วกระตุ้นมักจะใช้เทคนิค bipolar อาจใช้ขั้วกระตุ้นที่มีขนาดใหญ่ วางบริเวณกลุ่มของกล้ามเนื้อโดยตรง หรือจะใช้ขั้วกระตุ้นมือถือ (point electrode) กระตุ้นบริเวณกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม

ระยะเวลาที่กระตุ้นควรจะกระตุ้นในช่วงแรก ๆ ของการได้รับบาดเจ็บเพื่อชะลอการลีบเล็กของกล้ามเนื้อ และป้องกันผลแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นแต่เนิ่น ๆ ควรทำอย่างน้อย 2 ครั้งใน 1 วัน แต่ละครั้งของการกระตุ้นกล้ามเนื้อควรหด

ตัวไม่น้อยกว่า 90 ครั้ง ควรกระตุ้นสลับที่กันเพื่อป้องกันการเพลียล้าของกล้ามเนื้อ อาจจะกระตุ้น 30 ครั้ง ของการหดตัวแล้วพัก 1-2 นาที เป็นต้น ควรกระตุ้นต่อไปจนกว่าผู้ป่วยสามารถจะควบคุมการทำงานได้ หรืออย่างน้อย 2 ปี

1.3.5 ข้อควรระวัง

การกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง มักจะใช้กระแสไฟตรงอย่างเป็นช่วงๆ ที่มีช่วงการกระตุ้นค่อนข้างยาว ฉะนั้นผลแทรกซ้อนที่มักจะเกิดขึ้นก็จะคล้ายกับผลแทรกซ้อนที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยไฟกระแส ตรงอย่างต่อเนื่องดังได้กล่าวมาแล้ว (ดูบทที่ 4)

1.4 การกระตุ้นกล้ามเนื้อให้ทำงาน (functional electrical stimulation, FES)

ค.ศ. 1961 Liberson และคณะ[5] ได้เสนอแนวคิดการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าให้เกิดการทำงานขณะเดิน ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก โดยใช้หลักการที่ผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกนั้น พยาธิสภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่สมอง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทรอบนอกที่ต่ำกว่าพยาธิสภาพยังปกติ ซึ่งสามารถถูกกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองด้วยกระแสไฟตรงชนิดเป็นช่วงๆ หรือ IDC (ช่วงกระตุ้น 20-300 ms, ความถี่ 24-100 Hz, ความแรงกระแส 90-200 mA และ ศักย์ไฟฟ้า 50-120 V) [6]

วิธีการกระตุ้นกล้ามเนื้อให้ทำงาน (functional electrical stimulation) หรือ FES นั้น อาจแบ่งตามลักษณะการวางขั้วกระตุ้นได้เป็น 2 วิธีดังนี้

1.4.1. การวางขั้วกระตุ้นที่ผิวหนัง

เป็นวิธีการกระตุ้นกล้ามเนื้อจากภายนอก ตัวอย่าง เช่น การกระตุ้นกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า ให้ทำงานขณะเดินในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก มักวางขั้วลบที่ผิวหนังตรงจุดมอเตอร์ของเส้นประสาท common peroneal (ใต้ head of fibular) ส่วนขั้วบวกวางบริเวณที่ต่ำลงไป ต่อสายมาที่ตัวเครื่องกระตุ้น ซึ่งมีขนาดเล็กและมักยึดติดกับตัวผู้ป่วยที่บริเวณเข็มขัด หรือขอบกางเกง ส่วนควบคุมจังหวะการปล่อยกระแส หรือสวิตช์ของเครื่อง มักยึดติดกับส้นรองเท้า ขณะผู้ป่วย ยกเท้าขึ้นจากพื้นจะเป็นช่วง switch on ให้เกิดการกระตุ้นกล้ามเนื้อให้ทำงานกระดกข้อเท้า

1.4.2.การฝังขั้วกระตุ้นในร่างกาย

วิธีนี้มักใช้ขั้วกระตุ้นฝังเข้าไปในกล้ามเนื้อ ซึ่งจำเป็นต้องทำการผ่าตัดเพื่อฝังขั้วกระตุ้นที่มีลักษณะเป็นลวดนำไฟฟ้าเข้าไปในเส้นประสาท แล้วต่อสายนำสัญญาณมายังบริเวณผิวหนังชั้น subcutaneous เพื่อรับสัญญาณกระแสไฟฟ้า ตัวเครื่องกระตุ้นและส่วนควบคุมจะเหมือนกับแบบแรก

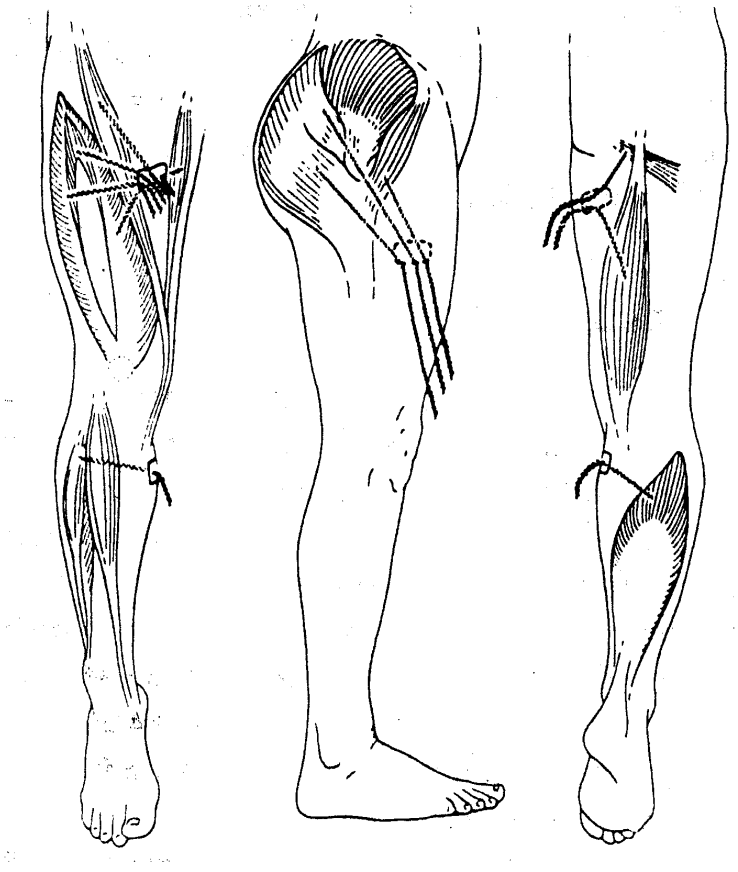
การกระตุ้นกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกทั้งชนิดที่ฝังและชนิดวางขั้วที่ผิวหนัง ต่างก็สามารถทำให้ผู้ป่วยเดินได้ดีขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องใช้กายอุปกรณ์เสริม ผู้ป่วยที่เหมาะจะใช้วิธีดังกล่าว ควรมีลักษณะ:- (ก). สามารถทรงตัวได้ดี (ข). proprioceptive sense ปกติ [7] และ (ค). สามารถ ช่วยเหลือตัวเองได้พอสมควร โดยเฉพาะในกรณีที่จำเป็นต้องติดขั้วกระตุ้นเอง [8] นอกจากนั้น การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้า ยังช่วยฝึกการทำงาน กล้ามเนื้อ (re-education) [5] ผู้ป่วยบางรายฝึกจน

สามารถเดินได้เหมือนปกติ [9] Water [7] พบว่าการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นเส้นประสาท common peroneal ในลักษณะดังกล่าวเป็นเวลานานไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการนำสัญญาณประสาท และ Fuhrer [10] ยังพบว่า การกระตุ้นเส้นประสาทบ่อย ๆ มีส่วนทำให้ความต้านทานของผิวหนังต่อกระแสไฟฟ้าลดลง

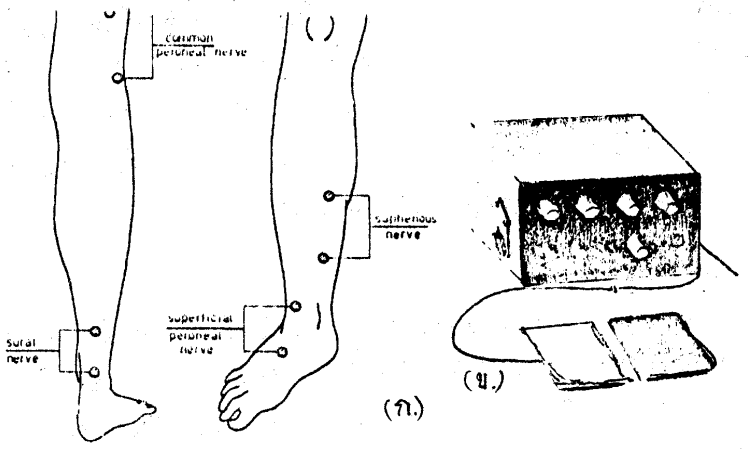
ในปี ค.ศ. 1978 Kralj และคณะ [11] ได้นำวิธีการกระตุ้น เพื่อแก้ไขปัญหา ข้อเท้าตกดังกล่าว มาประยุกต์ใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อกลุ่มใหญ่ ๆที่ทำงานขณะยืน เช่น กล้ามเนื้อ quadriceps, gluteus maximus, gluteus medius ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งท่อนอย่างถาวร (complete cord lesion) พบว่าการใช้ FES สามารถ เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ [12-14] ผู้ป่วยสามารถยืนได้ดี [15] และสามารถเดินได้โดยใช้เครื่องช่วยเดินซึ่งเริ่มจาก pararell bars, walker, และ crutches ตามลำดับ [16-18]

1.4.3 ลักษณะกระแสไฟที่ใช้

Marsolais และคณะ [18] ได้ใช้ FES ในผู้ป่วย โดยการฝังขั้วกระตุ้น:- แรกเริ่มจะใช้เข็มหาตำแหน่งจุดมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้น จากนั้นจะใช้ขั้วกระตุ้นซึ่งเป็นลวดตัวนำเคลือบด้วย teflon ขนาด 76 mm แทงเข้าไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการ (รูปที่ 6.4) ประเมินแผลและตรวจวัดค่าความ ต้านทานอย่างสม่ำเสมอทุก ๆสัปดาห์ หากความต้านทานบริเวณ ดังกล่าวเพิ่มขึ้นก็จะหยุด และหาตำแหน่งใหม่ ส่วนขั้วบวกจะวางบนผิวหนัง กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะเป็น IDC ชนิด biphasic (ช่วงกระตุ้น 0-150 ms, ความถี่ 25 Hz ความแรงน้อยกว่า 20 mA)ขนาดของเครื่องประมาณ 10.5x4.5x12.5 cm น้ำหนัก 775 g ซึ่งสามารถ ต่อขั้วกระตุ้นได้ 32 ชุด ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 6.4 แสดงตำแหน่งการฝังขั้วกระตุ้นที่จุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ (ดัดแปลงจาก: Marsolais EB, Kobetic R. Functional electrical stimulation for walking in paraplegia. J Bone Joint Surg (A) 1987; 69: 728-33).



รูปที่ 6.5 แสดงตำแหน่งการวางขั้วกระตุ้น (ก), และ (ข) เครื่องกระตุ้นที่ใช้ (ดัดแปลงจาก: Bajd T, Kralj A, Turk R, Benko H, Sega J. The use of a four channel electrical stimulator as an ambulatory aid for paraplegic patients. Phys Ther 1983; 63: 1116-20.)

ด้วยไมโครโปรเซสเตอร์ และระบบ คอมพิวเตอร์

Kralj และคณะ [16] ได้ใช้ FES กระตุ้นผู้ป่วยอัมพาตครึ่งท่อนโดยวิธีการวางขั้วที่ผิวหนัง (อย่างน้อย 4 ชุด) ที่ตำแหน่งจุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ (รูป ที่ 6.5) ขั้วกระตุ้นดังกล่าว มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะปลอดสนิมขนาด 6x4 cm ขณะใช้งานจะวางลงแผ่นผ้าหรือฟองน้ำที่อุ้มน้ำได้ดี กระแสที่ใช้จะเป็นไฟ IDC rectangular monophasic, (ความถี่ 20 Hz ช่วงการกระตุ้น 0.3 ms, surge on 4 s, surge off 8 s) ขนาดความแรงของไฟมากพอ ที่จะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวจนสามารถยืนได้

1.4.4 โปรแกรมการฝึก [16]

1 การเตรียมกล้ามเนื้อ

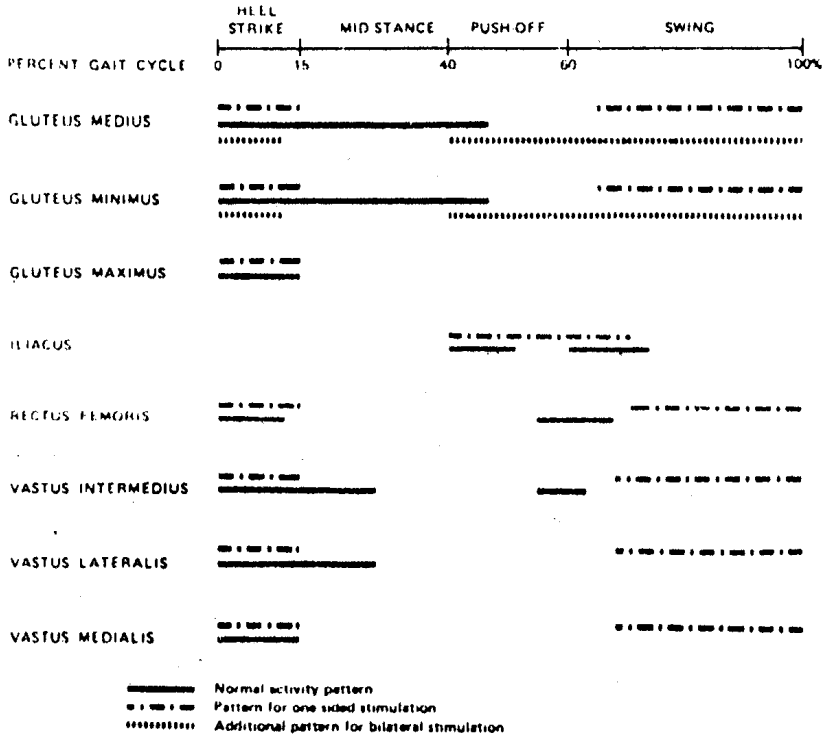
วิธีการกระตุ้นจะจัดท่าให้ผู้ป่วยนอนหงาย หนุนหมอนใต้เข่าให้งอประมาณ 30 องศา ให้ FES กระตุ้นนานอย่างน้อยครึ่งชั่วโมง ต่อวัน, (5 วันต่อสัปดาห์) ความแรงกระแสจะปรับให้เกิดการหดตัวสูงสุด แต่ไม่มากจนกระทั่งกล้ามเนื้อเกิดการเพลียล้า โดยจะเพิ่มเวลาขึ้น 0.5 ชั่วโมงทุก ๆ สัปดาห์การกระตุ้น อาจแบ่งเป็นหลายช่วงใน 1 วัน เช่น หากต้องการกระตุ้น 1-5 ชั่วโมง/วัน ก็ควรกระตุ้น 3 ครั้ง ครั้งละ 0.5 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งการกระตุ้นครั้งหนึ่ง ๆ ไม่ควรเกิน 3 ชั่วโมง ทำการประเมินผลการฝึกโดยการตรวจกำลังกล้ามเนื้อขณะเกิดหดตัวค้างจากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ

2.การฝึกยืน

เมื่อความแรงของการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อจากการกระตุ้นด้วย FES ประมาณ 30-50 Nm (ขึ้นกับน้ำหนักของผู้ป่วย) ก็จะเริ่มฝึกให้ผู้ป่วยยืน โดย ปรับกระแสไฟให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่าเกิดการหดตัวต่อเนื่องขณะยืน ซึ่งมักใช้ขั้วกระตุ้น 2 ชุด วางบริเวณจุดมอเตอร์ของ กล้ามเนื้อquadricepsและให้ผู้ป่วยใช้แขนทั้งสองจับยึดกับราวคู่ขนาน ควรฝึกยืนประมาณ 1 ชั่วโมง/วัน ความแรงของกระแส ควรปรับให้แรงพอที่ผู้ป่วยสามารถยืนได้ (อาจถึง 100 V) จากนั้นค่อย ๆ ปรับลดลงให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น

3.การฝึกเดิน

เมื่อผู้ป่วยสามารถยืนได้อย่างปลอดภัย เป็นเวลานานอย่างน้อย 20 นาที ก็จะเริ่มใช้ FES กระตุ้นขณะฝึกเดิน โดยให้ผู้ป่วยฝึกใน walking frame ก่อนและเพื่อความปลอดภัยจะยึดลำตัวผู้ป่วยห้อยไว้กับ walking frame ด้วย



รูปที่ 6.6 แสดงแผนภูมิการกระตุ้นกล้ามเนื้อซึ่งสัมพันธ์กับวงจรการเดิน (ดัดแปลงจาก: .Marsolais EB, Kobetic R. Functional walking in paralyzed patient by means of electrical stimulation. Clin Orthop 1983; 175: 30-6.)

เมื่อผู้ป่วยคุ้นเคยกับการลง น้ำหนัก ก็จะเริ่มฝึกเดิน โดยปรับกระแสไฟให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวสัมพันธ์กับวงจรของการเดิน (รูปที่ 6.6)

4.ผลจากการกระตุ้น FES

จากการศึกษาของ Marsolais และ Kobetic [17-18] โดยการใช้ FES ในผู้ป่วยอัมพาต (complete cord ระดับ T4-11) จำนวน 11 ราย เป็นเวลา

ประมาณ 22-44 เดือน (เฉลี่ย 32 เดือน) ซึ่งผู้ป่วยทุกคนสามารถเดินได้ด้วยตนเอง โดยใช้ walker ผู้ป่วย2คนในจำนวนนี้สามารถเดินได้โดยใช้ axillary crutches และผู้ป่วย 3 คนสามารถเดินขึ้นบันไดได้ (ความเร็วเฉลี่ย ของการเดินประมาณ 12-48 m/min) Isakov และคณะ [19] แนะนำว่าพลังงานของผู้ป่วยที่ใช้ขณะเดินด้วย FES ค่อนข้างมาก จนทำให้ผู้ป่วยเหนื่อย ดังนั้น FES จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีอายุน้อย จากการศึกษาพบว่า ผู้ป่วย 2 รายที่ใช้ FES ขณะเดินด้วยความเร็ว 8.31 และ 11.15 m/min ตามลำดับ [20] หากนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับระยะทางที่เดินและน้ำหนักตัวของผู้ป่วยแล้วพบว่า ค่า O_2 uptake ของผู้ป่วยที่ใช้ FES ขณะเดิน จะมีค่าประมาณ 8 kcal/kg/m ซึ่งมากกว่าค่า O_2 uptake ในคนปกติถึง 10 เท่า [21] Hendershort และคณะ [22] ได้รายงานว่าภายหลังการ กระตุ้น FES ในผู้ป่วยอัมพาตเป็นเวลา 1 เดือน ประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดของผู้ป่วยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และการที่ผู้ป่วยอัมพาตได้มีโอกาสฝึกยืน ฝึกเดิน ทำให้สุขภาพจิตของผู้ป่วยดีขึ้นอีกด้วย [23]

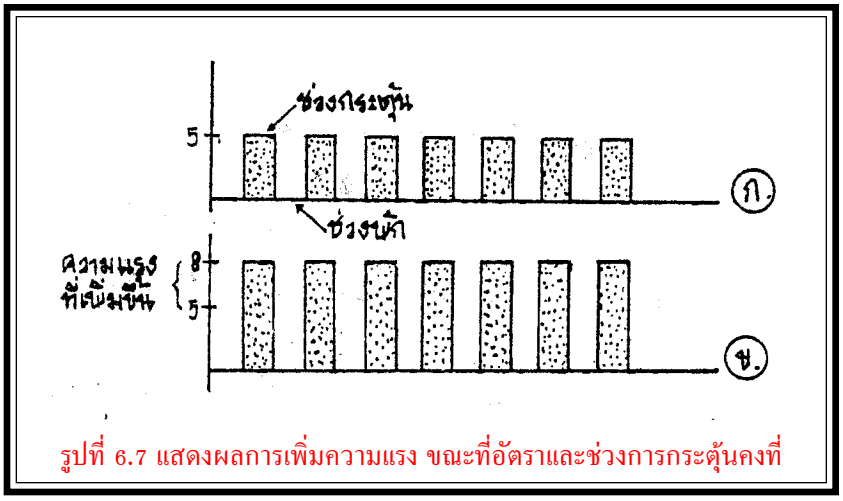
การใช้กระแส IDC กระตุ้นเพื่อจุดประสงค์ดังได้กล่าวมาแล้วส่วนใหญ่จะเป็นกระแส IDC ที่เป็นรูปคลื่นเป็นสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม ชนิดกระแสมักเป็นชนิดปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันได้มีการสร้างกระแส IDC ให้มีรูปคลื่นจำเพาะ และเรียกชื่อต่างออกไป หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆอีก เช่น กระแส IDC ที่มีรูปคลื่นสามเหลี่ยมแบบเฟสคู่ที่มีช่วงกระตุ้นสั้นมาก (0.005-0.075 มิลลิวินาที) เรียก กระแสไฟตรงศักย์สูง (ดูบทที่ 13) กระแส IDC ที่มีช่วงกระตุ้นสั้น (น้อยกว่า 0.5 มิลลิวินาที) เรียก กระแสทีอีเอ็นเอส มักใช้ระงับปวด (ดูบทที่ 11) เป็นต้น ส่วนกระแส IDC ชนิดที่ปล่อยออกเป็นชุด ได้จัดไว้ในกลุ่มกระแสไฟฟาราดิก (ดูบทที่ 7)

2.ความสัมพันธ์ระหว่าง ความแรง อัตรา และช่วงการกระตุ้น ของกระแส IDC (24)

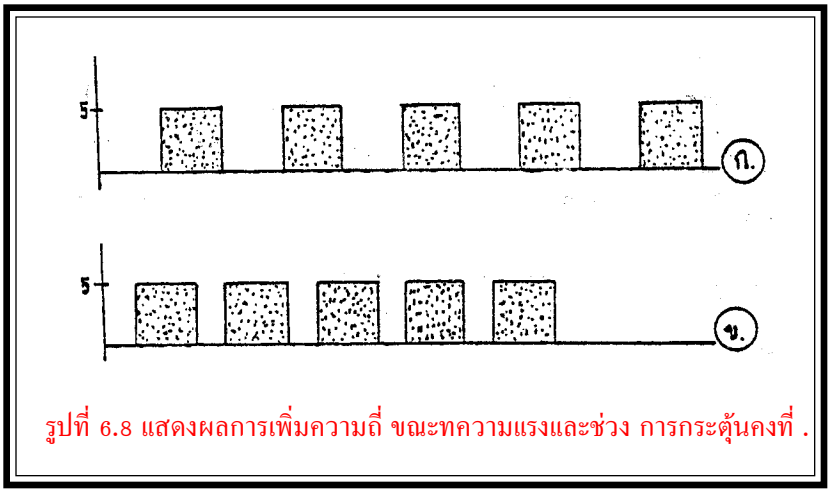
เฟสและช่วงการกระตุ้นที่ได้กล่าวมาแล้วมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรง ต่อการรักษาหรือขณะกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของตัวกระตุ้น เช่น ความแรงของการกระตุ้น ความถี่และช่วงการกระตุ้นก็จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองทางสรีรวิทยาในผู้ป่วย บางครั้งผลการเปลี่ยนแปลงก็เกิดประโยชน์แต่บางครั้งก็เกิดโทษ ถ้าทราบผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของตัวแปรต่าง ๆ ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการรักษา

2.1 กำหนดอัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่

ถ้าปรับค่าอัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะความแรงของการกระตุ้น เมื่อมีการเพิ่มความแรงของกระแส จะเป็นการเพิ่มกระแสสูงสุดในแต่ละเฟส และเป็นการเพิ่มปริมาณกระแสเฉลี่ยทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณประจุในแต่ละเฟส ซึ่งมีผลทำให้กระแสที่ใช้กระตุ้น สามารถกระตุ้น



รูปที่ 6.7 แสดงผลการเพิ่มความแรง ขณะที่อัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่

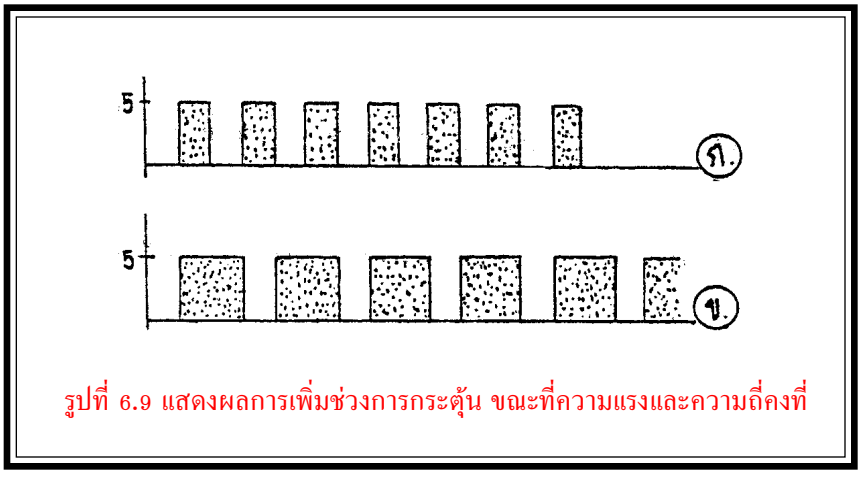


รูปที่ 6.8 แสดงผลการเพิ่มความถี่ ขณะทความแรงและช่วง การกระตุ้นคงที่ .

เส้นประสาทและกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกมากขึ้น แต่ผลเสียที่อาจเกิดขึ้นก็คือผู้ถูกกระตุ้นจะรู้สึกไม่สบาย มีความรู้สึกเจ็บปวดมากขึ้น โดยเฉพาะถ้าความแรงของกระแสนั้นลงลึก จนสามารถกระตุ้นใยประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด ดังรูปที่ 6.7

2.2 กำหนดความแรงและช่วงการกระตุ้นคงที่

ถ้ามีการเพิ่มอัตราหรือความถี่ของการกระตุ้น โดยปรับค่าความแรงและช่วงการกระตุ้นให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งก็คล้ายกับการเพิ่มปริมาณกระแส เฉลี่ยด้วยเช่นกัน เนื่องจาก ช่วงการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้นในเวลาที่เท่ากัน มีผล ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวถี่ขึ้นจนเกิดการหดตัวแบบเตตะนิก นอกจากนั้น ยังเป็นการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อแรงขึ้น ผู้ถูกกระตุ้นจึงรู้สึกไม่สบาย ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.9 แสดงผลการเพิ่มช่วงการกระตุ้น ขณะที่ความแรงและความถี่คงที่

2.3 กำหนดความแรงและอัตราการกระตุ้นคงที่

ถ้าปรับค่าความแรงและอัตราการกระตุ้นให้คงที่โดยเพิ่มช่วงการกระตุ้น จะส่งผลให้ปริมาณประจุในแต่ละเฟสและปริมาณกระแสเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ทำให้การตอบสนองของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นถ้าปรับช่วงการกระตุ้นกว้างมาก อาจมีผลให้เกิดปฏิกิริยาใต้ขั้วมากขึ้นอีกดังรูปที่ 6.9

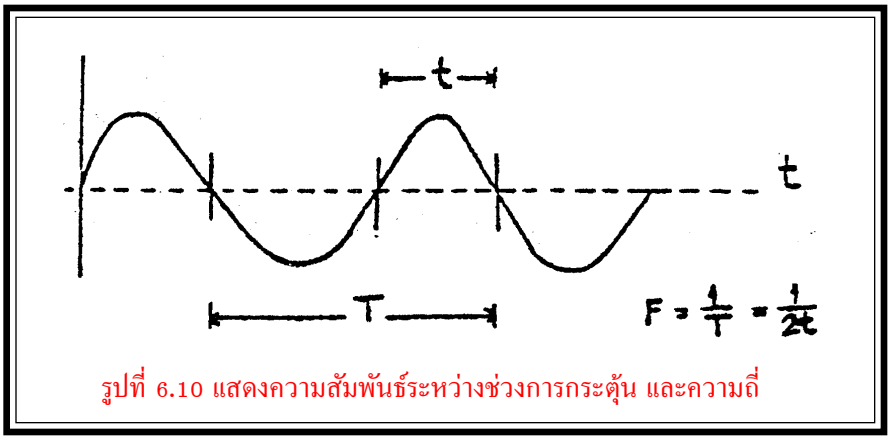
3 ช่วงการกระตุ้น เฟสและความถี่ของการกระตุ้น [24] (phase/pulse/frequency)

ความถี่ของการกระตุ้นวัดเป็นหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งคำนวณได้จากส่วนกลับของอัตราส่วนของช่วงการกระตุ้น ค่าความถี่นี้จะสัมพันธ์กับความยาวช่วงการกระตุ้น โดยเฉพาะกระแสไฟที่กระตุ้นแบบต่อเนื่อง เช่น กระแสสลับ ดังนั้น ถ้าค่าความถี่ของการกระตุ้นเพิ่มขึ้นช่วงการกระตุ้นและเฟสของการกระตุ้น ก็จะลดลง ในทางกลับกันถ้าค่าความถี่ของการกระตุ้นลด

ลงค่าเฟสของการกระตุ้น ก็จะเพิ่มขึ้น เครื่องกระตุ้นไฟฟ้ารุ่นใหม่ ๆ มักจะออกแบบให้ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีช่วงการกระตุ้นสั้น และช่วงพักระหว่างการกระตุ้นค่อนข้างยาว ในบางเครื่องออกแบบให้ค่าความยาวช่วงการกระตุ้นและความถี่ไม่ขึ้นต่อกันสามารถ ปรับค่าใดค่าหนึ่งได้อย่างเป็นอิสระ ดังนั้นการปรับค่าใดค่าหนึ่งก็ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอีกค่าหนึ่ง ซึ่งเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าดังกล่าว มักจะใช้คำว่า 'pulse rate' แทน

กระแสไฟเฟสเดียวประกอบด้วย 1 เฟสใน 1 ช่วงการกระตุ้น ดังนั้นคำว่า phase rate และ pulse rate จึงมีความหมายเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในกระแสไฟเฟสคู่มักประกอบด้วย 2 เฟสใน 1 ช่วงการกระตุ้น ดังนั้นความถี่หรืออัตราของการกระตุ้นจึงขึ้นกับจำนวนของช่วงการกระตุ้น (biphasic pulse) ไม่ใช่ขึ้นกับจำนวนของ เฟส (biphasic phase) ในทำนองเดียวกันกระแสไฟหลายเฟสในหนึ่งช่วงการกระตุ้นจะประกอบด้วยหลายเฟสเช่นกัน ค่าของ pulse rate จึงไม่เท่ากับ phase rate ซึ่งมักจะสับสนเสมอ ผลทางสรีรวิทยาของการกระตุ้นมักจะสัมพันธ์กับอัตราการกระตุ้น (pulse rate) ไม่ใช่อัตราเฟส (phase rate)

ความถี่ของการกระตุ้นถ้าน้อยกว่า 1000 ครั้ง/วินาที จัดเป็นกระแส



รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงการกระตุ้น และความถี่

ความ ถี่ต่ำ (low frequency current) ซึ่งมักจะมีค่าประมาณ 0.1-300 ครั้ง/วินาที ถ้า เป็นกระแสไฟหลายเฟสลักษณะคลื่นมักเป็น sine wave มีความถี่ประมาณ 2,500-10,000 ครั้ง/วินาที เช่น กระแส อินเตอร์เฟอเรนเชียล จัดอยู่ในกลุ่มกระแสไฟความถี่ขนาดกลาง (medium frequency current) ซึ่งถ้าเป็นกรณีหลังความถี่และช่วงการกระตุ้นจะมีความสัมพันธ์กัน (รูปที่ 6.10) สามารถ คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$F = 1/T$ หรือ $F = 1/2\ t$

T คือ ช่วงเวลากระตุ้น มีหน่วยเป็นวินาที
t คือ ช่วงเวลาของเฟส มีหน่วยเป็นวินาที
F คือ ความถี่ของการกระตุ้น มีหน่วยเป็น รอบ/วินาที (Hz)

ดังนั้น ถ้าคลื่นไฟฟ้ามีความถี่ 2,500-10,000 Hz จะมีช่วงการกระตุ้นประมาณ 0.2-0.05 มิลลิวินาที เป็นต้น

ปฏิบัติการที่ 6 กรแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ

วัตถุประสงค์

หลังจากปฏิบัติการนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ
2. แสดงวิธีกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ ได้อย่างถูกต้อง
3. ปรับค่าและอธิบายผลของช่วงกระตุ้น (pulse duration) ช่วงพัก (pause duration) และความแรงกระแส (intensity) ขณะกระตุ้น ได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อชนิดที่สามารถปรับค่าช่วงกระตุ้น และช่วงพักได้
2. ขั้วกระตุ้นและอุปกรณ์ต่าง ๆ
3. ผ้าสำลีหรือแผ่นฟองน้ำ
4. แก้วน้ำ
5. ยางรัดขั้วกระตุ้น
6. ปากกาเขียนแก้ว

วิธีปฏิบัติการ

ตอนที่ 1 การเพิ่มความแรงกระแสโดยปรับช่วงกระตุ้นและช่วงพักคงที่ [4] (รูปที่ 6.7)

1. จัดทำให้ผู้ถูกกระตุ้นนอนหงาย กล้ามเนื้อต้นขาอยู่ในท่าผ่อนคลาย
2. วางขั้วกระตุ้นกล้ามเนื้อทั้งสองลงบนกล้ามเนื้อต้นขา (quadriceps)

ตารางที่6.1 บันทึกผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟ IDC ที่มีช่วงกระตุ้น 10 ms และช่วงพัก 200 ms ซึ่งคงที่

ปริมาณกระแส (mA)	สิ่งที่สังเกตเห็น	ความรู้สึกผู้ถูกกระตุ้น
5 10 15 20 25 30		

แบบเทคนิค bipolar พร้อมทั้งทำเครื่องหมายบนผิวหนังให้ตรงกับ ตำแหน่งที่วางขั้วด้วยปากกาเขียนแก้ว

3. ปรับชนิดของกระแสที่กระตุ้นเป็นกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ (IDC) รูปสี่เหลี่ยม

4. ปรับค่าช่วงกระตุ้นประมาณ 10 มิลลิวินาที ช่วงพักประมาณ 200 มิลลิวินาที ซึ่งคงที่ไว้

5. ค่อย ๆเพิ่มความแรงกระแสจากน้อยไปมาก สังเกตผลบริเวณที่วางขั้วกระตุ้น สอบถามความรู้สึกของผู้ถูกกระตุ้นเป็นระยะ ๆ พร้อมทั้งบันทึกผลปริมาณกระแสที่เพิ่มขึ้น ปรับจนกระทั่งกระแสสูงสุดจนผู้ถูกกระตุ้นทนไม่ได้

ตอนที่ 2 การเพิ่มช่วงกระตุ้นโดยปรับช่วงพักและความแรงกระแสคงที่ [4] (รูปที่ 6.9)

1. วางขั้วกระตุ้นที่ทำความสะอาดแล้วลงบนกล้ามเนื้อให้ตรงกับตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

2. ปรับชนิดของกระแสที่กระตุ้นเป็นกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ

ตารางที่6.1 บันทึกผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟ IDC ที่มีค่าความแรง ..... mA และช่วงพัก 200 ms ซึ่งคงที่

ช่วงกระตุ้น (mS)	สิ่งที่สังเกตเห็น	ความรู้สึกผู้ถูกกระตุ้น
0.1		
0.2		
0.3		
0.4		
...		
...		

(IDC) รูปสี่เหลี่ยม

3. ปรับช่วงพักประมาณ 200 มิลลิวินาที ช่วงกระตุ้นให้น้อยที่สุด (0.1 มิลลิวินาที) แล้วค่อย ๆเพิ่มความแรงของกระแสจนเริ่มเห็นการหดตัว บันทึกค่าความแรงของกระแสไฟไว้ (ให้คงที่)

4. ค่อย ๆ เพิ่มช่วงกระตุ้นจากน้อยไปมากจาก 0.1, 0.2, 0.3, 0.4,... มิลลิวินาที ตามลำดับ จนกระทั่งช่วงกระตุ้นสูงสุด หรือจนผู้ถูกกระตุ้นทนไม่ได้ ขณะเพิ่มช่วงกระตุ้น สังเกตผลบริเวณที่วางขั้วกระตุ้นสอบถามความรู้สึกของผู้ถูกกระตุ้นเป็นระยะ ๆพร้อมทั้งบันทึกผล

ตอนที่ 3 การลดช่วงพัก โดยปรับช่วงกระตุ้นและความแรงกระแสคงที่ [4] (รูปที่ 6.8)

1. วางขั้วกระตุ้นที่ทำความสะอาดแล้ว ลงบนกล้ามเนื้อให้ตรงกับตำแหน่งเดิม

2. ปรับชนิดของกระแสที่กระตุ้น เป็นกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ

ตารางที่6.3 บันทึกผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟ IDC ที่มีความแรงกระแส ..... mA และช่วงกระตุ้น 50 ms หรือน้อยกว่า ซึ่งคงที่

ช่วงพัก (mS)	สิ่งที่สังเกตเห็น	ความรู้สึกผู้ถูกกระตุ้น
5000 2000 1000 500 200 100		

(IDC) รูปสี่เหลี่ยม

3. ปรับช่วงกระตุ้นประมาณ 50 มิลลิวินาที (หรือน้อยกว่าถ้าเจ็บ) ปรับช่วง พักให้มีค่ามากที่สุด (ประมาณ 500 หรือ 1000 มิลลิวินาที) แล้วค่อย ๆ เพิ่มความแรงของกระแสให้มีค่าเท่ากับข้อ 3 ตอนที่ 2 แล้วคงที่ไว้ บันทึกผล

4. ค่อย ๆลดช่วงพักจากมากมาน้อยจาก 5000, 2000, 1000, 500, 200, 100 มิลลิวินาที ตามลำดับ จนกระทั่งช่วงพักน้อยที่สุด หรือจนเห็นกล้ามเนื้อหดตัวค้างขณะลดช่วงกระตุ้น สังเกตผลที่เกิดขึ้นบริเวณที่วางขั้ว สอบถามความรู้สึกของผู้ถูกกระตุ้นเป็นระยะ ๆ พร้อมทั้งบันทึกผล

คำถามท้ายบท

1. อธิบายผลของการกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงแบบเป็นช่วง ๆ ในกรณีต่อไปนี้

1.1 การเพิ่มความแรงการกระตุ้นโดยช่วงพักและช่วงกระตุ้นคงที่

1.2 เพิ่มช่วงกระตุ้นโดยความแรงกระแสและช่วงพักคงที่

1.3 ลดช่วงพักโดยความแรงกระแสและช่วงกระตุ้นคงที่

2. ถ้าต้องการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง 1 มัด ให้หดตัวอย่างสม่ำเสมอโดยไม่เจ็บ, แสบ ท่านจะมีวิธีปรับค่าช่วงพัก ช่วงการกระตุ้นและความแรงของกระแสได้อย่างไร?

เอกสารอ้างอิง

1.Forster A, Palastanga N. electrical stimulation of nerve and muscle.

Clayton's electrotherapy: theory and practice, 9th edition. London; Bailliere Tindall, 1985: 69-70.

2.Wadsworth H, Chanmugam APP. Electrodiagnosis, chapter 10.Electrophysical agents in physical therapy, 2 nd edition. Sydney; Science Press, 1985: 293-326.

3.Wadsworth H, Chanmugam APP. Low frequency currents, chapter8. Electrophysical agents in physicaltherapy, 2nd edition. Sydney; Science Press, 1985: 245-64.

4.Speilholtz N. Electrical stimulation of denervated muscle. In: Nelson RM, Currier DP, eds. Clinical electrotherapy. California: Appleton and Lange, 1987: 97-110.

5.Liberson WT, Holmquest HF, Scott D, Dow M. Functional electrotherapy. Arch Phys Med Rehabil 1961; 42: 101-5.

6.Braun Z, Mizrahi J, Najenson T, Graupe D. Activation of paraplegic patients by functional electrical stimu- lation. Scand J Rehabil Med (supp 1.) 1985; 12: 93-101.

7.Waters RL, McNeal DR, Tasto J. Peroneal nerve conduction velocity after chronic electrical stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1975; 46: 240-1.

8.Takebe K, Kukulka C, Narayan MG, Milner M, Basmajian JV. Peroneal nerve stimulator in rehabilitation of hemiple- gic patients. Arch Phys Med Rehabil 1975; 56: 237-40.

9.Van Griethuysen CM, Panl JP, Andrewa BJ, Nicol AC. Biomechanics of functional electrical stimulation. Prosthet Orthot Int 1982; 6: 152-6.

10.Fuhrer MJ, Yegge B. Effect of skin impedance changes accompanying electrical stimulation of peroneal nerve. Arch Phys Med Rehabil 1972; 53: 276-81.

11.Kralj A, Bajd T, Turk R. Enhancement of gait restoration in spinal injur ed patient by functional electrical stimulation. Clin Orthop 1988;233: 34-43.

12.Kralj A, Bajd T, Turk R. Electrical stimulation providing functional use of paraplegic patient muscles. Med Prog Technol 1980; 7: 3-9.

13.Arnold PB, McVey P, Farrell W, Deurloo T. Functional electrical (Abst.) Stimulation at Newington children's hospital. Arch Phys Med Rehabil 1987; 68: 662.

14.Spielholz NI, Axen K, Pollack S, Haas F, Ragnarsson K. (Abst.) Effect of an FES bicycle exercise program on velocity of shortening of quadriceps muscle in spinal cord injuried people. Arch Phys Med Rehabil 1987; 68: 662.

15.Bajd T, Kralj A, Turk R. Standing up of a healthy subject and a paraplegic patient. J Biomech 1982; 15: 1-10.

16.Bajd T, Kralj A, Turk R, Benko H, Sega J. The use of a four channel electrical stimulator as an ambulatory aid for paraplegic patients. Phys Ther 1983; 63: 1116-20.

17.Marsolais EB, Kobetic R. Functional electrical stimulation for

walking in paraplegia. J Bone Joint Surg (A) 1987; 69: 728-33.

18.Marsolais EB, Kobetic R. Functional walking in paralyzed patient by means of electrical stimulation. Clin Orthop 1983; 175: 30-6.

19.Isakov E, Mizrahi J, Graupe D, Becker E, Najenson T. Energy cost and physiological reaction to effort during activation of paraplegics by functional electrical stimulation. Scand J Rehabil(Suppl.)1985; 12: 102-7.

20.Marsolais EB, Edwards BG. Energy cost of walking and standing with functional neuromuscular stimulation and long leg braces. Arch Phys Med Rehabil 1988; 12: 102-7.

21.Fisher SD, Gullickson G. Energy cost of ambulation in health and diabili ty. Arch Phys Med Rehabil 1978;59:124-33.

22.Hendershort DM, Moore ML, Phillips CA. Cardiopulmonary conditioning when walking with and without FES in paralyzed. Fed Proc 1987; 46: 680.

23.Bell R, Kopf EH, Toadvine J. A study of personality changes in quadriplegics engaged in a functional electrical stimulation (FES) program. J Neurol Orthop Med Surg 1987; 8: 353.

24.Along G. Therapeutic current, chapter 4. High voltage stimulation. Tennessee; Chattanooga, 1987: 33-54.