9

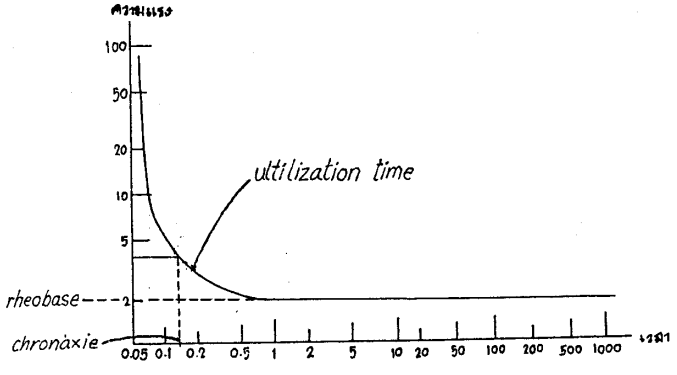
การทำเส้นโค้งเอสดี

ในปี ค.ศ.1868 Erb [1] ได้สังเกตเห็นการตอบสนองของกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงจากการได้รับบาดเจ็บที่เส้นประสาทประมาณ 2-3 วัน พบว่ากล้ามเนื้อนั้น ไม่สามารถตอบสนองต่อกระแสไฟฟาราดิก แต่ยังสามารถตอบสนองต่อกระแสไฟ IDC อย่างต่อเนื่องที่มีช่วงการกระตุ้นยาว ต่อมา Duchenne (ค.ศ.1872) ได้กล่าวถึงการกระตุ้นผู้ป่วย Bell's palsy ด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีช่วงการกระตุ้นต่างกัน ทำให้เกิดการตอบสนองของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทซึ่งแตกต่างกัน และในปี ค.ศ.1917 Addrian ได้ใช้กระแสไฟ IDC แบบสี่เหลี่ยมกระตุ้นกล้ามเนื้อที่เส้นประสาทได้รับบาดเจ็บ โดยมีการปรับเปลี่ยนช่วงการกระตุ้นที่ค่าต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟพบว่าในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทและกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง เส้น กราฟจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (ต่อมาเรียกเส้นโค้งเอสดี) ในปี ค.ศ.1936

Hill, Katz และ Solandt เป็นกลุ่มแรกที่เสนอความคิดในการใช้ strength duration (SD) curve ในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับระบบประสาทรอบนอก โดยการใช้ไฟกระตุ้นแล้วปรับความแรงจนเห็นการหดตัว จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1944 Bauwens และ Ritchie จึงได้สร้างเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อ ที่สามารถให้ไฟสี่เหลี่ยมชนิดปรับค่าช่วงพัก และช่วงการกระตุ้นได้อย่างสมบูรณ์ ในการทำเส้นโค้งเอสดี เพื่อใช้ในการพยากรณ์โรคทางด้านระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

1 เส้นโค้งเอสดี [1,2]

กล้ามเนื้อและเส้นประสาทจัดเป็นเนื้อเยื่อที่ไวต่อตัวกระตุ้นโดยเฉพาะตัวกระตุ้นไฟฟ้า เมื่อกระตุ้นที่กล้ามเนื้อหรือเส้นประสาท จนกระทั่งเกิดมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปจนถึง threshold ก็จะเกิดการหดตัว ความแรงของการหดตัวของกล้ามเนื้อขึ้นกับปริมาณของกระแสที่กระตุ้น (intensity) และช่วง เวลาของการกระตุ้น (pulse/phase) ถ้ากระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยช่วงการกระตุ้นที่ยาวประมาณ 1000 มิลลิวินาที (หรือยาวที่สุด ที่เครื่องกระตุ้นนั้นสามารถ สร้างได้) และปรับความแรงของไฟที่ใช้กระตุ้นให้มากพอที่จะเห็น การหดตัวของกล้ามเนื้อ บันทึกค่าความแรงของกระแสไฟ จากนั้นค่อย ๆ ลดช่วงการกระตุ้น ลง 300, 100, 30, 10, 3, 1, 0.3, 0.1 มิลลิวินาที ตามลำดับ ขณะที่ลดช่วงการกระตุ้น จะต้องพยายามเพิ่มความแรงของไฟให้มากพอที่จะเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เท่ากันตลอด บันทึกค่าความแรงของไฟที่ใช้กระตุ้น นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าความแรงของไฟมีหน่วยเป็นโวลต์ ส่วนแกนนอนเป็นช่วงเวลาที่ใช้



รูปที่ 9.1 แสดงเส้นโค้งเอสดีของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อปกติ

กระตุ้นมี หน่วยเป็นมิลลิวินาที จะได้กราฟเป็นรูปโค้งเรียกกราฟนี้ว่าเส้นโค้งเอสดี (รูปที่ 9.1)

จากกราฟโค้งเอสดีสามารถหาค่า rheobase ซึ่งเป็นความแรง (ความเข้ม) ของไฟที่น้อยที่สุดที่ยังสามารถเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อ ค่า chronaxie ซึ่งเป็นเวลา (ช่วงการกระตุ้น) ที่ใช้กระแสเป็น 2 เท่าของ rheobase และค่า utilization time เป็นเวลาที่ใช้ความแรงของการกระตุ้นและช่วงเวลากระตุ้นน้อยที่สุด ที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ ค่านี้มักจะอยู่บริเวณจุดยอดของเส้นโค้งค่า utilization time นี้เป็นค่าความแรงและช่วงการกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุด ในการนำมาใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาททางคลินิก เพราะจะเป็นช่วงที่ใช้ความแรงของไฟและช่วงเวลาการกระตุ้นน้อยที่สุด ทำให้ผู้ถูกกระตุ้นเจ็บน้อยที่สุด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะหาค่า

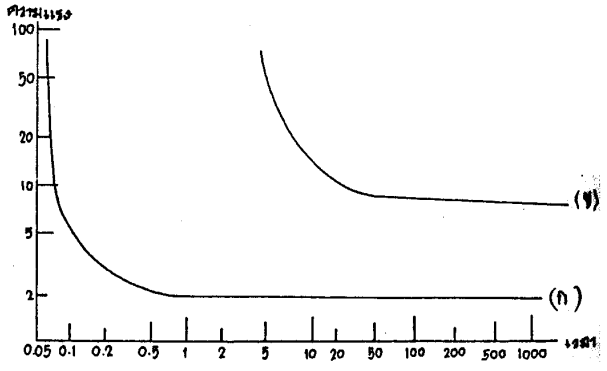
utilization time ในกล้ามเนื้อที่จะกระตุ้นก่อนทุกครั้ง เพื่อนำมาปรับค่าต่าง ๆของกระแสไฟในการรักษา

2 ประโยชน์ของเส้นโค้งเอสดี [1]

ดังได้กล่าวมาแล้วเส้นโค้งเอสดี คือกราฟแสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อ (ซึ่งตอบสนองต่อกระแสไฟที่กระตุ้น) ขณะมีการเปลี่ยนแปลงความแรงและช่วงเวลากระตุ้น เส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อปกติ และกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงจะแตกต่างกัน ทางคลินิกได้นำเส้นโค้งเอสดีมาใช้ประโยชน์ดังนี้

2.1 ใช้ในการวินิจฉัยโรคทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อ [1]

พบว่าในโรคทางระบบประสาทชนิด เช่น upper motor neurone lesion



รูปที่ 9.2 แสดงเส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อปกติ(ก) และกล้ามเนื้อที่.ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง(ข) (ดัดแปลงจาก: Wadsworth H, Chanmugam APP. Electrodiagnosis, chapter 10. Electrophysical agents in physical therapy, 2nd edition. Sydney; Science Press, 1989: 312.).

เส้นโค้งเอสดีจะเหมือนกับกล้ามเนื้อปกติ เนื่องจากระบบประสาทรอบนอกตั้งแต่ระดับต่ำกว่า anterior horn cell ลงมาปกติ ส่วนในโรคทางระบบประสาทชนิด lower motor neurone lesion เส้นโค้งเอสดีจะเลื่อนค่อนมาทางขวา โดยมีค่า chronaxie และ rheobase สูงกว่าปกติ นอกจากนั้นโรคทางระบบกล้ามเนื้อ (myopathy) ก็มักจะได้เส้นโค้งเอสดีรูปผิดปกติและมีค่า rheobase และ chronaxie สูงเช่นกัน

2.2 ใช้บอกระดับการบาดเจ็บของเส้นประสาท

ในกรณีที่เส้นประสาทถูกตัดขาดทั้งหมด (complete denervated) เส้นโค้งเอสดีจะเบี่ยงเบนไปทางขวามือโดยมีค่า chronaxie ค่อนข้างมาก แต่ก็ยังไม่สามารถบอกระดับความรุนแรงของเส้นประสาทได้ (รูปที่ 9.2)

ในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงใหม่ๆ ค่า chronaxie จะสูงขึ้น หากเป็นกล้ามเนื้อทั้งมัด ค่า chronaxie อาจสูงกว่าค่าปกติถึง 50-200 เท่า (มี ค่ามากกว่า 25 ms) จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเหลือประมาณ 15 ms ในวันที่ 30 หรือ 40 หลังบาดเจ็บ

2.3 ใช้พยากรณ์โรค

การหาเส้นโค้งเอสดีอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะๆ สามารถพยากรณ์ภาวะการฟื้นตัวของเส้นประสาทที่ได้รับบาดเจ็บนั้นได้ ถ้าเส้นประสาทฟื้นตัวดีขึ้นเส้นโค้งเอสดีจะเบี่ยงเบนค่อนมาทางซ้ายชิดแกนตั้ง

2.4 ใช้เป็นตัวพิจารณาความแรงของไฟที่กระตุ้น

เส้นโค้งเอสดีใช้เป็นตัวกำหนดขนาดความแรงและช่วงเวลากระตุ้นที่

เหมาะสม (utilization time) ในการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าหรือกระตุ้นกล้ามเนื้อแต่ละครั้ง

2.5 ใช้บอกระดับของรากประสาทที่บาดเจ็บ [1,2]

มีหลักฐานแสดงว่าค่า chronaxie ของกล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยรากประสาทที่เกิด lesion มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น การเกิด lesion ที่กระดูกสันหลังระดับ L5 ทำให้เกิดการบาดเจ็บของรากประสาท S1 ส่งผลให้ค่า chronaxie ของกล้ามเนื้อ gastrocnemius สูงขึ้น ดังนั้นอาจใช้ค่า chronaxie เป็นตัวบอกระดับการบาดเจ็บของรากประสาทได้

3. rheobase

ค่า rheobase คือค่าความแรงของกระแสไฟที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเห็นหรือคลำได้โดยใช้ช่วงการกระตุ้น (pulse/phase duration) ไม่จำกัด โดยทั่วไปใช้ประมาณ 100-300 มิลลิวินาที ในการหาค่า rheobase ถ้าใช้ไฟที่มีช่วงการกระตุ้นยาวจะทำให้แสบผิวเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาใต้ขั้วกระตุ้น จึงควรระวัง ลักษณะของคลื่นไฟฟ้าที่กระตุ้นมักจะเป็นไฟสี่เหลี่ยม ค่าของ rheobase อาจวัดเป็นหน่วยมิลลิแอมแปร์ หรือโวลต์ ขึ้นกับชนิดของเครื่องกระตุ้น ถ้าใช้เครื่องกระตุ้นที่มีค่ากระแสคงที่ (constant current) จะวัดเป็นมิลลิแอมแปร์ แต่ถ้าใช้เครื่องกระตุ้นที่มีศักย์ไฟฟ้าคงที่ (constant voltage) จะวัดเป็นโวลต์ ค่าปกติของ rheobase ประมาณ 2-18 มิลลิแอมแปร์ หรือ 5-35 โวลต์ ในกล้ามเนื้อมัดหนึ่งๆ

ค่า rheobase อาจมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับตำแหน่งของการวางขั้วกระตุ้น

อาจมีการเลื่อนไปจากจุดมอเตอร์ หรือจุดที่กระตุ้นเดิม ทำให้การบันทึกค่าความแรงของไฟที่ใช้กระตุ้นผิดพลาด นอกจากนี้ ยังอาจเกิดจากการบวมผิวหนังที่แห้ง และการขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงกล้ามเนื้อ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

3.1 ความต้านทานผิวหนัง

ผิวหนังที่หยาบกร้าน เช่น ฝ่ามือ หรือฝ่าเท้าซึ่งสัมผัสกับวัตถุหรือสิ่งของเสมอ ๆ มักมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสูง ค่า rheobase มักมีค่าสูงกว่าปกติ

3.2.เนื้อเยื่อที่บวม/อักเสบ

อวัยวะ หรือผิวหนังที่บวมมักทำให้การนำกระแสไฟฟ้าไปยังกล้ามเนื้อส่วนที่ต้องการกระตุ้นลดลงหรือยากขึ้น จึงทำให้ต้องใช้ความเข้มของกระแสที่กระตุ้นสูงขึ้น ค่า rheobase จึงมีค่าสูง

3.3.ผู้ป่วยที่มีความรู้สึกปวดมาก

ในผู้ป่วยที่มีความรู่สึกปวด เช่น เกิด ischemia หรือ underlying pain มักไม่ทนต่อกระแสไฟฟ้า ทำให้หาค่า rheobase ไม่ได้

3.4. อุณหภูมิของเนื้อเยื่อ

หากเนื้อเยื่อที่ถูกกระตุ้นมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ จะทำให้ค่า rheobase ที่หาได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง

3.5.ความหนาของชั้นผิวหนัง

เนื้อเยื่อใต้ผิวหนังหากมีความหนามาก ค่า rheobase ที่หาได้จะมีค่าสูง

3.6.ตำแหน่งการวางขั้วกระตุ้น

การวางขั้วกระตุ้นเพื่อหาค่า rheobase หากวางในตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ ค่า rheobase ที่หาได้จะมีค่าสูงกว่าวางที่ตำแหน่งจุดมอเตอร์

3.7. กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง

เส้นประสาทที่เลี้ยงกล้ามเนื้อได้รับบาดเจ็บ หากน้อยกว่า 10-15 วัน ค่า rheobase มักมีค่าสูงกว่าค่าปกติ

4 chronaxie [1]

ค่า chronaxie เป็นดัชนีความไวของเนื้อเยื่อที่ไวต่อตัวกระตุ้น มีหน่วยเป็นเวลา (มิลลิวินาที) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ความแรงของไฟเป็น 2 เท่าของ rheobase ดังนั้นการวัดหรือหาค่าของ chronaxie จำเป็นต้องรู้ค่า rheobase ก่อนเสมอ ค่าปกติของ chronaxie โดยทั่วๆไปจะมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิวินาที (0.05-0.5 มิลลิวินาที)

ในทารกแรกเกิดค่า chronaxie จะมีค่าประมาณ 10 เท่าของค่าปกติ หลังจากนั้น 3 เดือนค่า chronaxie จะค่อยๆลดลงจนกระทั่งปกติเมื่อทารกมีอายุ 18-20 เดือน กล้ามเนื้อมัดใหญ่จะมีค่า chronaxie มากกว่ากล้ามเนื้อมัดเล็ก และกล้ามเนื้อที่อยู่ proximal กว่าจะมีค่า chronaxie มากกว่ากล้ามเนื้อที่อยู่ distal ทางคลินิกสามารถใช้ค่า chronaxie เป็นตัวพยากรณ์ การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทได้ แต่ไม่สามารถบอกถึงระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บของเส้นประสาท

ค่า chronaxie อาจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากสาเหตุ

ผิวหนังแห้ง กล้ามเนื้อเกิดการขาดเลือด เนื้อเยื่อเกิดบวมหรือเกิดการอ่อนเพลียของกล้ามเนื้อ และตำแหน่งของการวางขั้วกระตุ้นเปลี่ยนไป ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

4.1.สักษณะของผิวหนัง

ผิวหนังที่แห้งมักมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสูง ค่า rheobase มีค่ามาก ทำให้ค่า chronaxie มีค่าสูงด้วย

4.2.เนื้อเยื่อที่ขาดเลือดมาเลี้ยง

เนื้อเยื่อที่ขาดเลือดมาเลี้ยงทำให้ threshold ต่อการกระตุ้นสูงขึ้น เนื้อเยื่อมีความไวต่อตัวกระตุ้นลดลง ค่า chronaxie มักมีค่าสูงขึ้น

4.3. เนื้อเยื่อที่บวม/อักเสบ

เนื้อเยื่อที่บวม หรืออักเสบทำให้ค่า rheobase มีค่าสูง ส่งผลให้ chronaxie มีค่ามากด้วย

4.4 กล้ามเนื้อเพลียล้า (fatigue)

กล้ามเนื้อที่อยู่ในภาวะเพลียล้า มักทำให้ chronaxie สูงมากกว่ากล้ามเนื้อปกติถึง 2 เท่า

4.5.ตำแหน่งการวางขั้วกระตุ้น

การหาค่า chronaxie ขณะที่ขั้วกระตุ้นไม่ได้วางอยู่ที่จุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อหรือเส้นประสาท จะทำให้ chronaxie มีค่าสูงกว่าค่าปกติถึง 10 เท่า

ในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง ค่า chronaxie จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งในบางรายอาจมีค่าถึง 50-200 เท่าของค่าปกติและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อมีการฟื้นตัวของเส้นประสาท ซึ่งจากเหตุผลนี้ทำให้เราสามารถใช้ค่า chronaxie เป็นตัวช่วยพยากรณ์การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อและเส้นประสาท เป็นต้น

5 accommodation [1]

ค่า accommodation คือ คุณสมบัติจำเพาะของเนื้อเยื่อที่ไวต่อตัวกระตุ้นในการปรับตัวต่อกระแสไฟฟ้าหรือตัวกระตุ้นอื่น ในกรณีของตัวกระตุ้นไฟฟ้า การหาค่า accommodation สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความแรงกระแสที่ใช้กระตุ้นของไฟสามเหลี่ยมและไฟสี่เหลี่ยมที่ช่วงการกระตุ้น 1000 มิลลิวินาที

$$\text{accommodation} = \frac{\text{trianglular impulse threshold}}{\text{rectangular impulse threshold}}$$

ค่าปกติจะประมาณ 3-6 ซึ่งหมายความว่า อัตราความแรงของไฟรูปสามเหลี่ยมต้องใช้เพิ่มขึ้นเป็น 3-6 เท่า เมื่อเทียบกับใช้ไฟสี่เหลี่ยม ถ้าค่า accommodation ratio น้อยกว่า 3 (1.5-1) แสดงว่าเส้นประสาทนั้นขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (denervated) ความไวต่อตัวกระตุ้นลดลง ถ้ามีค่าประมาณ 1 หรือน้อยกว่า แสดงว่าไม่เกิดการปรับตัว (accommodation) ดังนั้นค่า accommodation จึงเป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพการปรับตัวของเส้นประสาท และกล้ามเนื้อ

6.utilization time

ค่า utilization time เป็นจุดที่ใช้กระแสไฟ และช่วงการกระตุ้นไฟฟ้าน้อยที่สุด ที่สามารถทำให้เกิดการตอบสนองของกล้ามเนื้อและเส้นประสาท มักจะอยู่ที่บริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง (จุดยอดของส่วนโค้ง) ของเส้นโค้งเอสดี ทางคลินิกมักใช้จุดutilization time เป็นลักในการพิจารณา การปรับความแรงและช่วงการกระตุ้น สำหรับกระคุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทในครั้งแรก ๆ

7 ข้อจำกัดของเส้นโค้งเอสดี

ถึงแม้เส้นโค้งเอสดีจะเป็นวิธีการที่ง่ายในการใช้พยากรณ์ การฟื้นต้วของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทแต่ก็ยังมีข้อจำกัด พอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. ไม่สามารถบอกระดับความรุนแรงของเส้นประสาทที่ได้รับบาดเจ็บ
2. หลังการบาดเจ็บของเส้นประสาท 2 สัปดาห์ เส้นโค้งเอสดีจะให้ผลไม่แน่นอน เนื่องจากยังคงมีการย่อยสลายของเนื้อเยื่อ
3. เส้นโค้งเอสดี เป็นดัชนีแสดงความไวของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทที่ อยู่ตื้น ๆเท่านั้น ไม่สามารถแสดงถึงความไวของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทที่อยู่ลึก ๆ

ปฏิบัติการที่ 9 การทำเส้นโค้งเอสดี

วัตถุประสงค์

หลังจากปฏิบัติการแล้วนักศึกษาสามารถ

1.สร้างเส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงได้ถูกต้อง

2. หาค่า rheobase, chronaxic, ultilization และ accommodability จากเส้นโค้งเอสดีได้ถูกต้อง

3. เปรียบเทียบเส้นโค้งเอสดีของใยประสาทรับความรู้สึก ใยประสาทยนต์ และใยประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อชนิดสามารถช่วงกระตุ้นและช่วงพัก

2. กระดาษกราฟ (semilog)

3. แผ่นขั้วไฟฟ้าและ ขั้วกระตุ้นมือถือ

4. ปากกาเขียนแก้ว

วิธีปฏิบัติการ

ตอนที่ 1 หาเส้นโค้งเอสดีของกล้ามเนื้อ biceps brachii [1]

1. หาจุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ biceps โดยใช้กระแส IDC รูปสามเหลี่ยมด้วยเทคนิค monopolar โดยขั้วกระตุ้นมือถือเป็นขั้ว active แล้วทำ

ตารางที่9.1 บันทึกผลค่าความแรง, ช่วงกระตุ้น, ของกระแสชนิดต่าง ๆ

ช่วงพัก: .....ms

ชนิดกระแสไฟ IDC	ความแรงของไฟ (mA, V)										
	1000	300	100	30	10	3	1	0.3	0.1	0.03	0.01
สามเหลี่ยม											
สี่เหลี่ยม											

เครื่องหมายไว้ด้วยปากกาเขียนแก้ว

2. ปรับกระแสไฟ IDC ให้มีช่วงพัก 500 มิลลิวินาที ช่วงกระตุ้น 1000 มิลลิ วินาที หรือ มากที่สุดเท่าที่ผู้ถูกกระตุ้นสามารถทนเจ็บได้ ค่อย ๆเพิ่มความแรงของกระแสจนเห็นการหดตัว ของกล้ามเนื้อที่น้อยที่สุด บันทึกค่าความแรงของกระแส

3. ปรับช่วงการกระตุ้นเป็น 300, 100, 30, 10, 3, 1, 0.3, 0.1 0.03, 0.01 มิลลิวินาที ตามลำดับ โดยค่อย ๆเพิ่มค่าความแรงของกระแสให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวให้น้อยที่สุด หรือหดตัวคงที่ บันทึกค่าความแรงของกระแส ในตารางที่ 9.1

4.เปลี่ยนชนิดของกระแสเป็นสี่เหลี่ยม แล้วทำตามขั้นตอน 1-3

5. นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของกระแสไฟ และช่วงการกระตุ้น โดยแกนนอนเป็นช่วงการกระตุ้น แกนตั้งเป็นค่าความแรงของไฟที่กระตุ้น

6. เปรียบเทียบเส้นโค้งเอสดีที่ได้จากกระแสไฟชนิดสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม

7. คำนวณหาค่า rheobase, chronaxie, ultilization time, accommodability จากเส้นโค้งเอสดีทั้งสอง

8. ท่านสามารถหาค่า rheobase, chronaxie และ ultilization time โดยไม่ต้องเขียนเส้นโค้งเอสดีหรือไม่? ทดลองทำแล้วเปรียบเทียบ ค่าที่ได้กับเส้นโค้งเอสดีที่เขียนขึ้น

ตอนที่ 2 เส้นโค้งเอสดีของใยประสาทรับความรู้สึก ใยประสาทยนต์และใยประสาทรับ ความรู้สึกเจ็บปวด

1. หาจุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อ tibialis anterior แล้วทำเครื่องหมายไว้

ตารางที่9.2 บันทึกผลค่าความแรงของไฟที่ช่วงกระตุ้นค่าต่าง ๆ
ชื่อกล้ามเนื้อ: .....
ชนิดของกระแส: .....
ช่วงพัก: .....ms

เส้นประสาท	ความแรงของไฟ (mA, V)									
	300	100	300	10	3	1	0.3	0.1	0.03	0.01
sensory										
moter										
pain										

2. ปรับกระแสไฟเป็น IDC รูปสี่เหลี่ยมช่วงการกระตุ้น 20 และช่วงพัก 500 มิลลิวินาที

3. ค่อย ๆ เพิ่มความแรงของกระแสจนผู้ถูกกระตุ้นรู้สึกเหมือนมีไฟเข้า บันทึกค่าความแรงของกระแสไวในตารางที่ 9.2

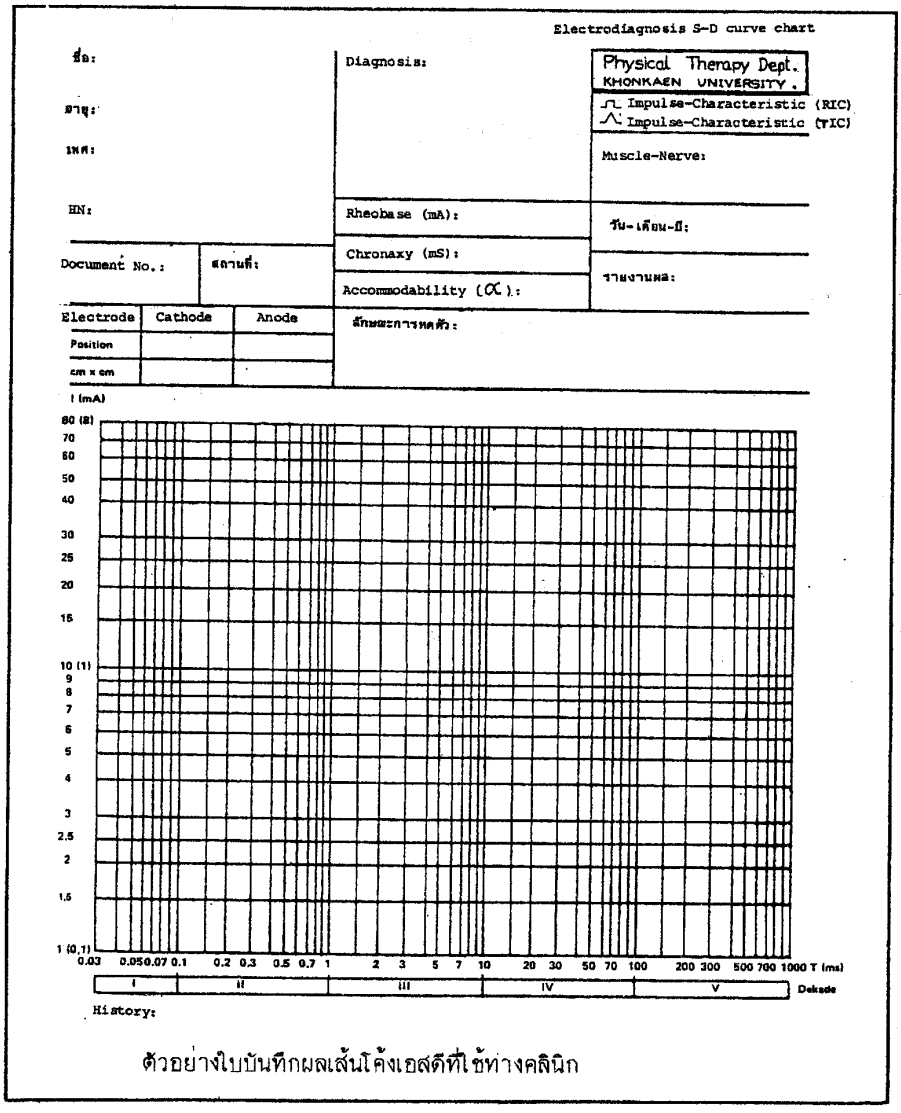
4.ปรับค่าช่วงการกระตุ้นเป็น 100, 30, 10, 3, 1, 0.3, 0.1, 0.03, 0.01 มิลลิวินาที ตามลำดับ แล้วค่อย ๆ เพิ่มความแรงของไฟจนผู้ถูกกระตุ้นมีความรู้สึกเท่าเดิม บันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 9.2

5. นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของกระแสไฟ และช่วงการกระตุ้น

6. เพิ่มความแรงของกระแสจนเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อน้อยที่สุด และทำ การทดลองเหมือน 1-5

7. เพิ่มความแรงจนผู้ถูกกระตุ้นรู้สึกเจ็บ และทำการทดลองเหมือน 1-5

8. เปรียบเทียบเส้นโค้งเอสดีที่ได้จากการกระตุ้นทั้งสามชนิด



ตัวอย่างใบบันทึกผลเส้นโค้งเอสดีที่ใช้ทางคลินิก

ตัวอย่างใบบันทึกผลเส้นโค้งเอสดีที่ใช้ทางคลินิก

คำถามท้ายบท

1.จงอธิบายวิธีการหาเส้นโค้งเอสดีอย่างเป็นข้อ ๆโดยละเอียด

2.จงอธิบายประโยชน์ของค่า rheobase, chronaxie, ultilization และ accommodation ทางคลินิก

3.จงอธิบายวิธีการหาค่า ultilization time ของกล้ามเนื้อโดยไม่ต้องทำ เส้นโค้งเอสดี

4.ท่านคิดว่าข้อจำกัดของการนำเส้นโค้งเอสดีไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกมีอะไรบ้าง ?

เอกสารอ้างอิง

1.Wadsworth H, Chanmugam APP. Electrodiagnosis, chapter 10. Electrophysical agents in physical therapy, 2nd edition. Sydney; Science Press, 1989: 294-325.

2.Foster A, Palastanga N. Electrical stimulation of nerve and muscle. Clayton's electrotherapy: theory and practice, 9th edition. London; Bailliere Tindall, 1985: 90-4.