ไฟฟ้าบำบัด
สำหรับนักกายภาพบำบัด

พิมพ์ครั้งที่ 3

ปริญญา เลิศสินไทย

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House
www.nupress.grad.nu.ac.th

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 อาคารมหาธรรมราชา ชั้น 1 มหาวิทยาลัยนเรศวร
ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร. 0 5596 8833-8836 E-mail : nuph@nu.ac.th
www.nupress.grad.nu.ac.th **สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร** **@nupress**

สงวนลิขสิทธิ์ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ต่อสาธารณชนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร เท่านั้น

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ปริญญา เลิศสินไทย.
ไฟฟ้าบำบัดสำหรับนักกายภาพบำบัด = Electrotherapy for Physical Therapists.-- พิมพ์ครั้งที่ 3.-- พิษณุโลก : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566.
686 หน้า.
1. การรักษาด้วยไฟฟ้า 2. กายภาพบำบัด. I. ชื่อเรื่อง.

615.845
ISBN 978-616-426-296-6
ISBN (e-book) 978-616-426-148-8
สพน. 62
ราคา 780 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2562 | พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2565 | พิมพ์ครั้งที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2566

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

วางจำหน่ายที่
1. **ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0 2218 9812
2. **ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**
ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0 2579 0113
3. **ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**
ถนนพระจันทร์ แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0 2613 3899
4. **สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร**
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร อาคารมหาธรรมราชา จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร. 0 5596 8833-8836

ประธานกองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
กองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น • รองศาสตราจารย์สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา • รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดา สมกุล • รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี • รองศาสตราจารย์ ดร. พญ.สุธาทิพย์ พงษ์เจริญ • รองศาสตราจารย์ ดร. ภญ.กรกนก อิงคนินันท์ • รองศาสตราจารย์ ดร.นิทรา กิจธีระวุฒิวงษ์ • รองศาสตราจารย์ ดร.สุทิสา ถาน้อย • รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติมา ชาญวิชัย • รองศาสตราจารย์ ดร.รุจโรจน์ แก้วอุไร • รองศาสตราจารย์ นาวาโท ดร.วัฒนชัย หมั่นยิ่ง • รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพล พุทธรักษา • รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน • ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวยงค์ จันทรวิจิตร • ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรรยารักษ์ สุวพันธ์ • พัชรี ท้วมใจดี • นวิพรรณ ตันติพลาผล • สรญา แสงเย็นพันธ์
ประสานงาน ภัคคีณี เทิดสิทธิกุล
ฝ่ายขาย/การเงิน พิมพาภรณ์ ดวงสาโรจน์ • วสันต์ มาสวัสดิ์
ออกแบบปก สรญา แสงเย็นพันธ์
ออกแบบรูปเล่ม สรญา แสงเย็นพันธ์
พิมพ์ที่ บริษัท ก๊ดเฮด พริ้นท์ติ้ง แอนด์ แพคเกจจิ้ง กรุ๊ป จำกัด 6/1 นิคมอุตสาหกรรมบางชัน แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510

สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
https://pubat.or.th

พิมพ์บน กระดาษคุณภาพ เพื่อผลงานคุณภาพ กระดาษถนอมสายตากรีนรีด

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
โทร. 0 5596 8836 Email : nuph@nu.ac.th

@nupress สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

คำนิยม

ขอแสดงความชื่นชมและแสดงความยินดี ต่อรองศาสตราจารย์ ดร. กภ.ปริญญา เลิศสินไทย ที่ได้รวบรวมข้อมูลความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับไฟฟ้าบำบัด สำหรับนักกายภาพบำบัด รวมทั้งวิเคราะห์ สังเคราะห์ จากประสบการณ์ในการทำงานทางคลินิก การสอนนิสิตนักศึกษาอย่างต่อเนื่อง สามารถประมวลเนื้อหาความรู้ได้ครบถ้วนเกี่ยวกับไฟฟ้าบำบัดทั้งด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการประยุกต์ใช้ในการรักษาผู้ป่วยทางคลินิก

ในฐานะของอาจารย์กายภาพบำบัดที่สอนนักศึกษาและรักษาผู้ป่วยทางกายภาพบำบัด ขอสนับสนุนหนังสือไฟฟ้าบำบัด สำหรับนักกายภาพบำบัด ของรองศาสตราจารย์ ดร. กภ.ปริญญา เลิศสินไทย หนังสือเล่มนี้ทรงคุณค่าและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อนิสิต/นักศึกษากายภาพบำบัด นักกายภาพบำบัด ในการทบทวน ค้นคว้า ความรู้ทางไฟฟ้าบำบัด ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางกายภาพบำบัด รวมทั้งจะเพิ่มความมั่นใจในการดูแลรักษาผู้ป่วยด้วยไฟฟ้าบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพสมดังความมุ่งหมายของผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร. กภ.รุ่งทิวา วัจฉละฐิติ
คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล

คำนิยม

ไฟฟ้าบำบัด ยังคงเป็นวิธีการที่สำคัญในการประกอบวิชาชีพกายภาพบำบัด ในการใช้ไฟฟ้าบำบัดที่ถูกต้อง เหมาะสม ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ นักกายภาพบำบัดต้องมีความรู้พื้นฐานต่าง ๆ หลายด้าน เช่น ฟิสิกส์ สรีรวิทยา และกายวิภาคศาสตร์ รวมทั้งความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือไฟฟ้า และทักษะการประยุกต์ใช้กระแสไฟฟ้าหลากหลายชนิด ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การรักษา ภาวะของเนื้อเยื่อ และภาวะของผู้ป่วย

รองศาสตราจารย์ ดร. กภ.ปริญญา เลิศสินไทย ได้ใช้เวลาและประสบการณ์อันมีค่าของท่าน รวบรวมและถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการบำบัดด้วยกระแสไฟฟ้า และแบ่งปันแก่นักกายภาพบำบัดในหนังสือ “ไฟฟ้าบำบัดสำหรับนักกายภาพบำบัด” เพื่อให้นักศึกษากายภาพบำบัดและนักกายภาพบำบัดที่ได้อ่าน มีข้อมูลและองค์ความรู้ที่ทันสมัย อีกทั้งยังรวบรวมหลักฐานเชิงประจักษ์ของผลการรักษาด้วยไฟฟ้าบำบัด ซึ่งจะทำให้นักกายภาพบำบัดสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการตัดสินใจทางคลินิกในการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าบำบัดในผู้รับบริการภาวะต่าง ๆ ด้วย

ดิฉันเชื่อว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นเอกสารสำคัญอีกเล่มหนึ่งของวงการกายภาพบำบัดไทยที่นักกายภาพบำบัดควรได้อ่านและศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้และช่วยให้การทำงานในคลินิกที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดิฉันขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. กภ.ปริญญา เลิศสินไทย ที่สละเวลาและความเพียรพยายามของท่านเพื่อเขียนหนังสือเล่มสำคัญนี้ขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร. กภ.มัณฑนา วงศ์ศิรินวรัตน์

นายกสมาคมกายภาพบำบัดแห่งประเทศไทย

คำนำ

หนังสือ “ไฟฟ้าบำบัดสำหรับนักกายภาพบำบัด” (Electrotherapy for Physical Therapists) เล่มนี้ ผู้จัดทำมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการช่วยให้นิสิตกายภาพบำบัดหรือนักกายภาพบำบัดใช้ในการทบทวนความรู้ทางไฟฟ้าบำบัด เนื่องจากการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งในการรักษาทางกายภาพบำบัดที่นำมาใช้กันอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วย 17 บท โดยเนื้อหา บทที่ 1-3 กล่าวถึงประวัติการรักษาด้วยไฟฟ้า หลักการพื้นฐานการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้า สรีรวิทยาของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อเมื่อถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าและการปรับตัวต่อกระแสไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ บทที่ 4 การใช้ไฟกระแสตรงและเทคนิคไอออนโตโฟเรซีส บทที่ 5-8 กล่าวถึงกระแสไฟฟ้าพัลส์และกระแสไฟสลับที่ใช้ในการกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อและการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายเพื่อเรียนรู้และการทำงาน เนื้อหาในบทที่ 9-10 จะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีความเจ็บปวดและการลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้า ส่วนบทที่ 11-13 จะอธิบายถึงการใช้กระแสไฟฟ้าช่วยกระตุ้นเร่งการซ่อมสมานบาดแผลและกระแสไฟฟ้าที่สามารถใช้ในการกระตุ้นได้ บทที่ 14 ว่าด้วยเทคนิคการกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงเพื่อชะลอการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อ ส่วนในบทที่ 15 กล่าวถึงการใช้หลักการของการป้อนกลับชีวภาพ (ไบโอฟีดแบค) และพื้นฐานการวัดสัญญาณศักย์ไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ (อี.เอ็ม.จี) และในบทที่ 16-17 กล่าวถึงความรู้ทางการตรวจสรีรวิทยาไฟฟ้าของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทขั้นพื้นฐานสำหรับนักกายภาพบำบัด รวมถึงอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิตกายภาพบำบัด เพื่อใช้ประกอบการเรียน การทบทวนความรู้ทางไฟฟ้าบำบัด รวมถึงนักกายภาพบำบัดที่สนใจการรักษาด้วยไฟฟ้าบำบัด

ปริญญา เลิศสินไทย

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำอย่างดี และให้ข้อเสนอแนะในการเขียนหนังสือ “ไฟฟ้าบำบัดสำหรับนักกายภาพบำบัด” (Electrotherapy for Physical Therapists) เล่มนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่สั่งสอน ให้ความรู้ทางศาสตร์ด้านกายภาพบำบัด รวมถึงความรู้ทางไฟฟ้าบำบัดแก่ผู้เขียน ทำให้ผู้เขียนมีความชอบและสนใจในเครื่องมือไฟฟ้าบำบัด ตั้งแต่เรียนปริญญาตรี

ขอขอบคุณ กภ.วศิน เทียนทอง ช่วยวาดภาพต่าง ๆ ในหนังสือเล่มนี้

ขอขอบคุณผู้ป่วยทุกท่านที่เป็นครูช่วยสร้างประสบการณ์การรักษาด้วยไฟฟ้า คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน และที่สำคัญคือ บิดามารดา ผู้ให้ความรัก กำลังใจ และให้ทุกสิ่งแก่ผู้เขียนตลอดมา

ปริญญา เลิศสินไทย

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

คำอุทิศ

หากหนังสือเล่มนี้มีประโยชน์ ขอน้อมอุทิศแด่บิดามารดา
ครู อาจารย์ที่ได้สั่งสอนด้วยความรัก และความเมตตา
รวมถึงผู้ป่วยทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการสร้าง
ประสบการณ์ และเรียนรู้ทางกายภาพบำบัด

"วิชาชีพกายภาพบำบัด" หมายความว่า วิชาชีพที่กระทำต่อมนุษย์เกี่ยวกับการตรวจประเมิน การวินิจฉัย และการบำบัดความบกพร่องของร่างกายซึ่งเกิดเนื่องจากภาวะของโรคหรือการเคลื่อนไหวที่ไม่ปกติ การป้องกัน การแก้ไขและการฟื้นฟูความเสื่อมสภาพความพิการของร่างกาย รวมทั้งการส่งเสริมสุขภาพร่างกายและจิตใจด้วยวิธีการทางกายภาพบำบัด หรือการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่รัฐมนตรีประกาศโดยคำแนะนำของคณะกรรมการให้เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์กายภาพบำบัด

พระราชบัญญัติวิชาชีพกายภาพบำบัด พ.ศ. 2547

สารบัญ

บทที่ 1 ประวัติและพื้นฐานการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ-ปานกลาง 1

1. ประวัติของการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้า 1
2. การแบ่งความถี่ของกระแสไฟฟ้า 5
3. วัตถุประสงค์การรักษาด้วยการกระตุ้นไฟฟ้าทางกายภาพบำบัด 7
4. พื้นฐานทางไฟฟ้าบำบัดสำหรับนักกายภาพบำบัด 13
5. ชนิดของกระแสไฟฟ้า 20
6. หลักพื้นฐานของเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า 23
7. หลักการทำงานของเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาท 29
8. การเรียกชื่อและแบ่งชนิดของกระแสไฟฟ้า 32
9. กฎ และ สูตรทางคณิตศาสตร์ของไฟฟ้าเบื้องต้น 37
10. การตั้งค่าตัวแปรของกระแสไฟฟ้า 61
11.รูปแบบของคลื่นแต่ละชนิดในทางคลินิก 63

บทที่ 2 พื้นฐานทางสรีรวิทยาของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ **73**

1. ส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ 74
2. โมเดลทางไฟฟ้าของผนังเซลล์ 75
3. พื้นฐานทางสรีรวิทยาของเส้นประสาทส่วนปลาย 76
4. การถ่ายทอดสัญญาณประสาทที่รอยต่อเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ 102
5. การตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าของเซลล์ประสาท 104
6. พื้นฐานทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อ 105
7. การแบ่งชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ 117
8. หน่วยมอเตอร์ หรือ มอเตอร์ยูนิต 119

9. ความตึงตัวของกล้ามเนื้อลาย 122
10. คุณสมบัติของกล้ามเนื้อลาย 123
11. ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ 128
12. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อเมื่อถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 131
13. ความแตกต่างระหว่างการกระตุ้นกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และการสั่งงาน ให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบตั้งใจ 141

บทที่ 3 การปรับตัวของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อต่อการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าในภาวะเฉพาะ 147
1. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของการลีบของกล้ามเนื้อในภาวะเฉพาะ 148

บทที่ 4 การรักษาด้วยไฟกระแสตรงและเทคนิคไอออนโตโฟเรซีส 169
1. ประวัติและพื้นฐานความรู้กระแสไฟตรง 169
2. การเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย 170
3. ปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อให้กระแสไฟตรงผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 170
4. ไอออนโตโฟเรซีส 175
5. การเลือกประจุไอออนของสารละลาย 185
6. ตัวอย่างของยา และสารเคมีที่นิยมใช้ในการรักษาความผิดปกติต่าง ๆ 186
7. รูปแบบเทคนิคการรักษาด้วยวิธีไอออนโตโฟเรซีส 187
8. ข้อดี และ ข้อด้อยของการใช้ไอออนโตโฟเรซีส 191
9. ข้อบ่งชี้ ข้อควรระวัง และข้อห้าม ของการใช้ไอออนโตโฟเรซีส 192
10. ตัวอย่างการใช้ไอออนโตโฟเรซีส 193
11. สรุปหลักการของการรักษาด้วยไอออนโตโฟเรซีส 195
12. หลักฐานอ้างอิงเชิงประจักษ์ของเทคนิคไอออนโตโฟเรซีส 196

บทที่ 5 การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ 201
1. กระแสไฟหยุดเป็นช่วงแบบพัลส์ 202
2. กระแสไฟฟ้าพัลส์ชนิดฟาราดิก 220

3. ปัญหาที่มักพบขณะกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟชนิดพัลส์ 228
4. ข้อห้ามในการกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อเพิ่มการหดตัวของกล้ามเนื้อ 229
5. ข้อควรระวังในการใช้กระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ 230

บทที่ 6 การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก 235

1. ลักษณะของกระแสไฟฟ้าไดอะไดนามิก 236
2. กลไกทางสรีรวิทยาจากกระตุ้นด้วยกระแสไดอะไดนามิก 239
3. วิธีการวางขั้วกระตุ้น 241
4. การตั้งค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าในการรักษาด้วยกระแสไดอะไดนามิก 243
5. การตั้งค่าเลือกรูปแบบการรักษาด้วยไดอะไดนามิกให้เหมาะสม 244
6. ระยะเวลาในการรักษาและความถี่ของการรักษา 245
7. ข้อห้ามในการรักษาด้วยกระแสไดอะไดนามิก 246
8. ตัวอย่างการใช้การรักษาด้วยกระแสไฟไดอะไดนามิก 246
9. ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้มีการรายงานผลของกระแสไฟฟ้าไดอะไดนามิก 248

บทที่ 7 การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล และกระแสรัสเซียน 253

1. หลักการของกระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล 256
2. ชนิดของการแทรกสอดกระแสแอมปลิจูด 267
3. ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล 268
4. ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อทางสรีรวิทยาของการกระตุ้นรักษาด้วย IFC 274
5. การป้องกันผลของการปรับตัวของกระแสไฟฟ้า IFC 274
6. เทคนิคการวางขั้วกระตุ้นของกระแส IFC 275
7. ระยะเวลาในการรักษาด้วยกระแส IFC 275
8. ข้อควรระวังในการใช้กระแส IFC 275
9. ข้อห้ามในการใช้กระแส IFC 276
10. ตัวอย่างการตั้งค่ารักษาด้วย IFC ในภาวะต่าง ๆ 276
11. หลักฐานเชิงประจักษ์ของการใช้ IFC 277
12. คุณลักษณะเฉพาะของกระแสรัสเซียน 280

13. หลักการกระตุ้นเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ 10s/50s/10c 280
14. สรีรวิทยาและผลของการใช้กระแสรัสเซียน 281
15. ข้อห้ามในการใช้กระแสรัสเซียน 283
16. ข้อควรระวังในการใช้กระแสรัสเซียน 283
17. เทคนิคการวางขั้วกระตุ้นของกระแสรัสเซียน 283

บทที่ 8 การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้า 291
1. การกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยกระแสไฟฟ้า 292
2. ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า NMES ในทางคลินิก 324
3. ข้อห้ามในการกระตุ้นไฟฟ้าด้วย NMES 327
4. ข้อควรระวังในการกระตุ้นไฟฟ้าด้วย NMES 327

บทที่ 9 พื้นฐานทฤษฎีความเจ็บปวดและการควบคุมความปวด 333
1. ความหมายของคำว่าเจ็บปวด 333
2. ประสาทสรีรวิทยาของความเจ็บปวด 336
3. ทฤษฎีความเจ็บปวด 347
4. การแบ่งชนิดการรับรู้สึกความปวด 364
5. การประเมินความเจ็บปวด 372
6. การจัดการความเจ็บปวด 376

บทที่ 10 การระงับความปวดด้วยกระแสไฟฟ้าโดยการกระตุ้นเส้นประสาทผ่านผิวหนัง 383
1. กระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังเพื่อการลดและควบคุมความเจ็บปวด 384
2. การลดปวดด้วยการกระตุ้นเส้นประสาทผ่านผิวหนังด้วย TENS 390
3. การพิจารณาการรักษาด้วย TENS ในทางคลินิก 397
4. เทคนิคการวางขั้วกระตุ้นแบบวางจุดจำเพาะ 398
5. การเลือกวิธีการวางขั้วกระตุ้นของ TENS 402
6. ผลของการใช้ TENS ในผู้ป่วยทางกายภาพบำบัดระบบต่าง ๆ 406
7. ข้อควรระวังและข้อห้ามในการใช้ TENS 408
8. หลักฐานเชิงประจักษ์ของการใช้ TENS 409

บทที่ 11 การกระตุ้นกระแสไฟฟ้าเพื่อช่วยเร่งการสมานเนื้อเยื่อ **417**

1. กระบวนการอักเสบและกระบวนการสมานแผลของเนื้อเยื่อ 418
2. การดูแลจัดการของเนื้อเยื่อที่ถูกซ่อมแซม 426
3. กลไกการซ่อมแซมเนื้อเยื่อจากการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 429
4. ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่สามารถใช้กระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ 436
5. วิธีการประเมินผลก่อนรักษา และการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ 438
6. หลักฐานเชิงประจักษ์ของการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ 448

บทที่ 12 การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร **453**

1. กระแสไฟฟ้าบำบัดชนิดไมโคร (Microcurrent electrical therapy, MET) 454
2. คุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร 456
3. กลไกการทำงานของกระแสไฟฟ้าไมโคร 457
4. ผลการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าไมโคร 458
5. การตั้งค่ารักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไมโครในการเร่งการสมานรักษาบาดแผล 459
6. ข้อบ่งใช้ของกระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร 461
7. ข้อห้ามในการใช้กระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร 461
8. ตัวอย่างการกระตุ้นเร่งการหายของบาดแผลด้วยกระแสไฟไมโคร 462

บทที่ 13 การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสไฟฟ้าศักย์สูง **465**

1. กระแสไฟฟ้าศักย์สูง (High voltage pulsed current; HVPC) 465
2. คุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าชนิด HVPC 468
3. ชนิดของการปล่อยกระแสในการรักษา 470
4. ลักษณะขั้วกระตุ้น 471
5. ผลทางสรีรวิทยาของการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าศักย์สูง 472
6. ข้อห้ามใช้กระแสไฟฟ้าศักย์สูง (HVPC) 484
7. สรุปหลักฐานเชิงประจักษ์ของการใช้ HVPC 484
8. ตัวอย่างการตั้งค่าการรักษาด้วย HVPC ในกรณีต่าง ๆ 486

บทที่ 14 เทคนิคกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง **491**

1. การบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลาย 492
2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเส้นประสาทภายหลังการได้รับการบาดเจ็บ 495
3. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในใยกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง 498
4. กลไกการชะลอการลีบกล้ามเนื้อจากการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า 505
5. การหาค่าความสัมพันธ์ของความแรงของไฟ และ ความยาวของช่วงกระตุ้น หรือ เส้นโค้งเอสดี (SD curve) 507
6. ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทเพื่อรอการงอกใหม่ของเส้นประสาท 520
7. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาท 530
8. ข้อห้ามและข้อควรระวังในการกระตุ้นไฟฟ้าความถี่ต่ำในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง 535

บทที่ 15 การรักษาด้วยการป้อนกลับชีวภาพ และการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในทางกายภาพบำบัด **543**

1. หลักการควบคุมป้อนกลับ 544
2. วงจรประสาทที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนไหว 545
3. หลักการพื้นฐานของเครื่องป้อนกลับชีวภาพ 557
4. ชนิดของเครื่องป้อนกลับชีวภาพในทางกายภาพบำบัด 577
5. การเลือกรูปแบบสัญญาณป้อนกลับชีวภาพ 586
6. การตั้งค่าตัวแปรเครื่องป้อนกลับชีวภาพ 587
7. เทคนิคใช้ในการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อร่วมกับการใช้การป้อนกลับชีวภาพ 590
8. การใช้คำพูดและคำสั่ง 591
9. ความไม่แน่นอนของผลการฝึก 591
10. ความถี่ของการฝึก ระยะเวลาในการฝึก 592
11. การใช้ชีวป้อนกลับของศักย์ไฟฟ้าในกล้ามเนื้อในทางกายภาพบำบัด 592

บทที่ 16 พื้นฐานการประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้าของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อสำหรับนักกายภาพบำบัด **605**

1. ความสำคัญและข้อบ่งชี้ของการตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า 605
2. ข้อห้ามและข้อควรระวังของการตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า 607
3. พื้นฐานการประเมินทางสรีรวิทยาไฟฟ้า 607
4. พื้นฐานการตรวจทางสรีรวิทยาทางไฟฟ้าของการตรวจการนำกระแสประสาท 614
5. พื้นฐานของการตรวจศักย์ไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย 631
6. พื้นฐานการแปลผลทางพยาธิสรีรวิทยาทางไฟฟ้าของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ 640

บทที่ 17 พื้นฐานของการบาดเจ็บและอันตรายจากกระแสไฟฟ้า **649**

1. กระแสไฟฟ้า 650
2. การเกิดไฟฟ้าช็อต 650
3. การแบ่งชนิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้า 651
4. ระบาดวิทยา 654
5. พยาธิสรีรวิทยา 654
6. กลไกการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อจากกระแสไฟฟ้า 655
7. การดูแลรักษาเครื่องมือเบื้องต้น 657
8. การป้องกันอันตราย 658

ดัชนี **661**

ตัวย่อและสัญลักษณ์

คำ		คำ	
A	Ampere	mA	Milliampere
Ach	Acetylcholine	mV	Millivoltage
AC	Alternative current	NCV	Nerve conduction velocity
AP	Action potential	NF	Neurotropic factors
AMF	Amplitude modulated frequency	NMJ	Neuromuscular junction
ATP	Adenosine triphosphate	NTs	Neurotransmitters
BMAC	Burst modulated alternating current	PC	Pulsed current
BWAT	Bates-Jensen Wound Assessment	PPS	Pulses per second
C	Capacitance	R	Resistance
CNS	Central nervous system	RDT	Reaction of degeneration test
CMRR	Common-mode rejection ratio	RNS	Repetitive nerve stimulation study
CPS	Cycles per second	SD curve	Strength duration curve
DC	Direct current	SG	Substantia gelatinosa
EMS	Electrical muscle stimulation	TENS	Transcutaneous electrical nerve stimulation
EMG	Electromyography	TEP	Trans-epithelium potential of intact skin
EP	Evoke potentials	UT	Utilization time
FES	Functional electrical stimulation	V	Voltage
Hz	Hertz	α	Alpha
HVPC	High voltage pulsed current	β	Beta
Z	Impedance	δ	Delta
I	Intensity current	μ	Mu
IFC	Interferential current	ϖ	พาย
IDC	Interrupted direct current	=	เท่ากับ
IAC	Interrupted alternating current	±	บวกลบ
KP	Knowledge of performance	<	น้อยกว่า
KR	Knowledge of results	>	มากกว่า
LIDC	Low intensity direct current	≤	น้อยกว่าหรือเท่ากับ
MENS	Microcurrent electrical nerve stimulator	≥	มากกว่าหรือเท่ากับ
MET	Microcurrent electrical therapy	→	เปลี่ยนเป็น

บทที่ 1

ประวัติและพื้นฐานการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ-ปานกลาง

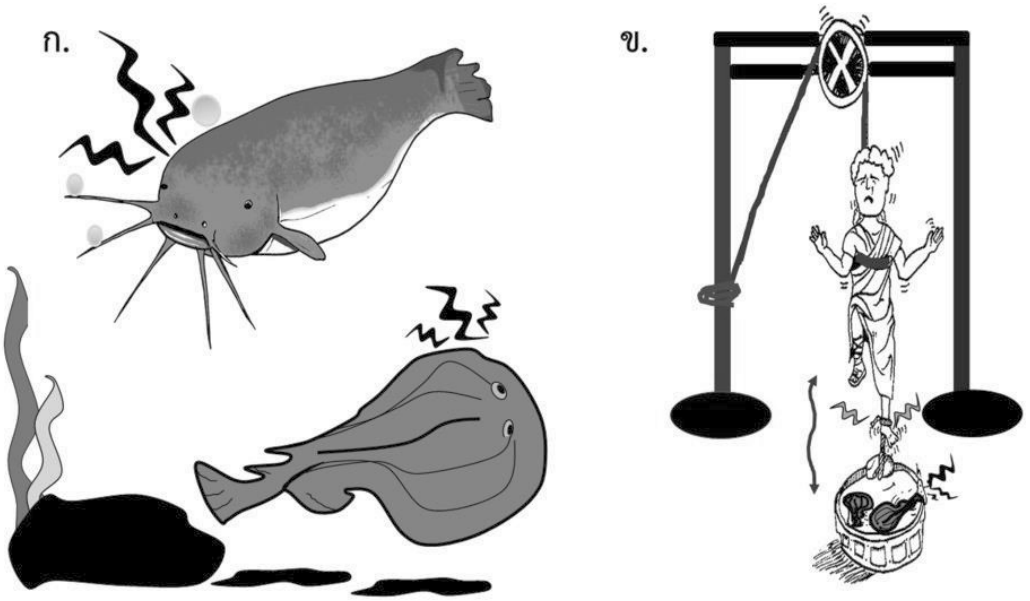
(History & Basic of Low-Medium Frequency Current Therapy)

1. ประวัติของการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้า (History of electrical therapy)

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้ามีรากฐานการรักษามานานตั้งแต่สมัยกรีก-โรมัน และอียิปต์เจริญรุ่งเรือง (ประมาณ 2,000 ปีก่อนคริสตกาล) โดยได้มีการบันทึกไว้ในหนังสือของฮิปโปเครติส (Hippocrates, ตั้งแต่ 420 ปีก่อนคริสตกาล) โดยเชื่อกันว่าการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าครั้งแรกนั้นเกิดจากการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าซึ่งสร้างขึ้นจากปลาชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ปลาตอร์ปิโด หรือ ปลาไฟฟ้า (Torpedo ray หรือ Electric rays , *Torpedo marmorata*) ซึ่งพบได้ในทะเล เมื่อปลาชนิดนี้เกิดตกใจจะสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้จากกล้ามเนื้อพิเศษในตัวที่เรียกว่า Electroplaques สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 350 โวลต์ (Volts, V) ปกติปลาชนิดนี้จะปล่อยกระแสไฟฟ้าประมาณ 40-50 โวลต์ และสามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ 2 ช่วงความถี่ คือ 200 เฮิรตซ์ (Hertz, Hz) และแบบ 1,000 Hz (kHz) ปลาตอร์ปิโดนี้มีลักษณะกลมและแบนคล้ายปลากระเบน ชาวกรีกเรียกว่า “Fish Narke” (Numbness-producing) มีรากความหมายจากคำว่า “Narcosis” (ภาวะง่วงหลับ) ซึ่งหมายถึงภาวะที่เกิดอาการชา ไม่รู้สึกตัว (Numbing effect) นอกจากนี้ยังมีปลาอีกหลายชนิดที่สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ เช่น Nile catfish (Malopterurus electricus) และ Electric eel (Gymnotus electricus) เป็นต้น การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าจากปลาเหล่านี้มีการนำมาใช้ในหลายกรณี เช่น ลดอาการปวดศีรษะ โรคลมชัก โรคเกาต์ เป็นต้น (ภาพ 1-1) ประมาณ 600 ปีก่อนคริสตกาลนักปราชญ์ชื่อ Thales of Miletus (เธลีส) ค้นพบพลังงานที่สามารถดูดเศษผมและเศษผงต่าง ๆ ให้ลอยติดกับแท่งอำพัน (Amber) ได้ อำพันคือซากดึกดำบรรพ์ของยางไม้ต่าง ๆ (Fossilized resin) มีลักษณะ

เป็นก้อนสีเหลือง-น้ำตาลโปร่งใสหรือสีขุ่น ขึ้นอยู่กับคุณภาพของยางไม้แต่ละชนิด เมื่อถูแท่งอำพันกับขนสัตว์จะพบว่ามีพลังงานบางอย่างที่สามารถดูดเศษผมและวัตถุเล็ก ๆ ให้ติดกับแท่งอำพัน เรียกพลังงานนี้ว่า “Elecktra” (Electron) (ภาพ 1.1) (กันยา ปาละวิวัธน์, 2543; Colwell, 1922; Macdonald, 1993; Rossi, 2003)

ประมาณปีคริสต์ศักราช 47 (47 A.D.) ได้มีการใช้กระแสไฟฟ้าจากปลาตอร์ปิโดมารักษาโรคเกาต์ (Gout) โดย Scibonius Largus แพทย์ชาวโรมันซึ่งได้ค้นพบการรักษาเช่นนี้โดยบังเอิญ ขณะที่ Scibonius Largus เล่นอยู่ที่ชายหาดและเกิดพลาดไปโดนปลาตอร์ปิโด มีผลทำให้สามารถลดอาการปวดข้อจากโรคเกาต์ที่เขาเป็นอยู่ จากนั้นเขาจึงสนใจที่จะลองนำปลาชนิดนี้มารักษาผู้ป่วยเกาต์ (Colwell, 1922)



ภาพ 1.1 ก. ภาพวาดสมมุติของปลา Torpedo ray ซึ่งเป็นปลาที่มีรูปร่างแบนคล้ายปลากระเบน สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ และปลา Nile electric catfish ซึ่งสามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน ข.ภาพวาดสมมุติในการใช้ปลา Torpedo ray รักษาผู้ป่วยโรคเกาต์ที่เท้า

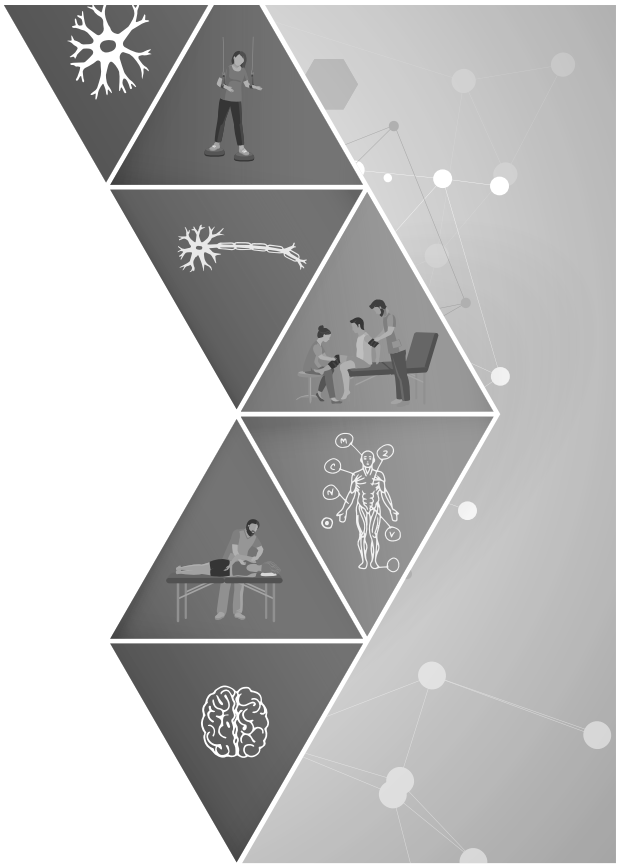
ประมาณช่วงปีคริสต์ศักราช 131-201 (131-201 AD) Claudius Galen ได้นำปลาตอร์ปิโดมาทดลองใช้รักษาโรคปวดศีรษะ (Headache) และริดสีดวง (Prolapse ani) โดยพบว่าเฉพาะปลาที่มีชีวิตเท่านั้นที่สามารถจะลดอาการปวดศีรษะ ปวดข้อต่อ และริดสีดวงได้ (ภาพ 1.1 ข.)

ในปี ค.ศ 1269 Pierre De Mericourt สร้างเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟได้เป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1544 George Bauer ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดไฟฟ้าสถิตย์จากการใช้แท่งอำพัน จนประมาณ ค.ศ. 1600-1700 ซึ่งเป็นยุคสมัยที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากทางฟิสิกส์ทำให้เริ่มมีความสนใจทางด้านไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2

พื้นฐานทางสรีรวิทยาของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ

Basic Physiology of Muscle & Nerve



พื้นฐานทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อและเส้นประสาท

ในร่างกายของมนุษย์มีประจุไฟฟ้า (ไอออน, Ion) เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน โดยการทำงานของเซลล์ในร่างกายเกิดจากมีการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สาร Electrolyte คือสารหรือธาตุ (เช่น เกลือแร่ และ แร่ธาตุต่าง ๆ) ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระเมื่อละลายในสารทำละลาย เช่น น้ำ พลาสมา และสามารถนำไฟฟ้าได้

ไอออนที่มีประจุบวก (+ ion) เรียกว่า แคทไอออน (Cation) ตัวอย่างเช่น โซเดียม (Na^{+}), โปแตสเซียม (K^{+}), แคลเซียม (Ca^{++}), แมกนิเซียม (Mg^{++}) เป็นต้น

ไอออนที่มีประจุลบ (- ion) เรียกว่า แอนไอออน (Anion) ตัวอย่างเช่น คลอรีน (Cl^{-}), คาร์บอเนต (HCO^{-}_{3}) และ โปรตีน (Proteins) เป็นต้น (ชุมพล ผลประมูล, 2552; Ganong, 2001; Robinson, 2008)

ดังนั้นการทำงานของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า ของสารละลายต่าง ๆ ระหว่างภายในเซลล์ (Intracellular ions) และภายนอกเซลล์ (Extracellular ions) ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ และทำให้ความต่างศักย์ของเซลล์ (Voltage) เกิดการเปลี่ยนแปลง นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของการนำกระแสประสาท (Nerve conduction) การรู้หลักการทางฟิสิกส์ของไฟฟ้าและสรีรวิทยาของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อจึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าในทางกายภาพบำบัด

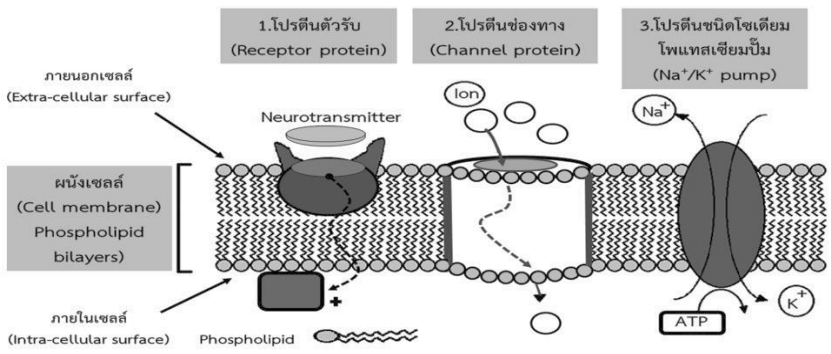
1. ส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน คือชั้นที่เป็นไขมัน (Lipid bi-layer) และส่วนที่เป็นโปรตีน (Protein) โดยโครงสร้างของเซลล์เรียกว่า โครงสร้างแบบ ฟลูอิด โมเสก โมเดล (Fluid mosaic model) ซึ่งเป็นโมเดลที่ชั้นไขมัน (Lipid layer) อยู่ตรงกลางของเยื่อหุ้มเซลล์และมีโปรตีน (Protein) แทรกตัวอยู่ภายในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นไขมันชนิด Phospholipid bimolecular layer โดยหันส่วนที่มีขั้วและมีประจุ (Charged polar end) ของทั้งสองด้านออกจากกัน ส่วนนี้จะชอบน้ำจึงทำให้สามารถรวมตัวกับน้ำ (Hydrophilic) ในขณะที่ส่วนที่ไม่มีขั้วและไม่มีประจุ (Uncharged non-polar end) จะไม่ชอบน้ำทำให้ไม่รวมตัวกับน้ำ (Hydrophobic) จึงมีผลทำให้ผนังเซลล์ด้านหนึ่งสัมผัสอยู่กับ Intracellular fluid (Inside cell) และอีกด้านสัมผัสกับ Extracellular fluid (Outside cell) นอกจากนี้ ผนังเซลล์ยังมีโปรตีน (Proteins) แทรกอยู่ระหว่างชั้นไขมัน (Phospholipids bimolecular layer) โดยโปรตีนเหล่านี้ ทำหน้าที่ 3 อย่าง (ภาพ 2.1) (ชุมพล ผลประมูล, 2552; Robinson, 2008) ได้แก่

- โปรตีนตัวรับ (Receptor protein) ทำหน้าที่เป็นที่จับกับสารต่าง ๆ ที่มีความจำเพาะ (Specific binding) เช่น สารสื่อประสาท (Neurotransmitters, NTs) หรือ สารปรับสัญญาณประสาท (Neuromodulators) เป็นต้น

- โปรตีนช่องทาง (Channel proteins) เป็นช่องทางที่ไอออน (Ions) ต่าง ๆ ผ่านเข้าหรือออกจากเซลล์ในสภาวะที่เหมาะสม

- โปรตีนส่งนำผ่าน (Transport proteins) เป็นโปรตีนที่จับกับสารหรือไอออน และส่งผ่านสาร เช่น Na^+ ion, K^+ ion ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ซึ่งมักจะเป็นการส่งสารผ่านแบบสวนทางกับระดับความเข้มข้น (Concentration gradients)



ภาพ 2.1 ส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Cell membrane) โดยแสดงถึงลักษณะของโครงสร้าง Phospholipids bimolecular layer และโปรตีนที่แทรกตัวอยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane-bound proteins) ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนตัวรับ (Receptor protein), โปรตีนช่องทาง (Channel proteins) และ โปรตีนส่งนำผ่าน (Transport proteins) ชนิดโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม (Sodium-potassium pump : Na^+/K^+ pump)

บทที่ 3

การปรับตัวของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อต่อการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าในภาวะเฉพาะ

Nerve and Skeletal Muscle Response to Electrical Stimuliin Specific Conditions

การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าผ่านทางการกระตุ้นที่เส้นประสาทและใยกล้ามเนื้อ “Electrical nerve and muscle stimulation” (ENMS) ถูกนำมาใช้รักษาในทางกายภาพบำบัดเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้แก่

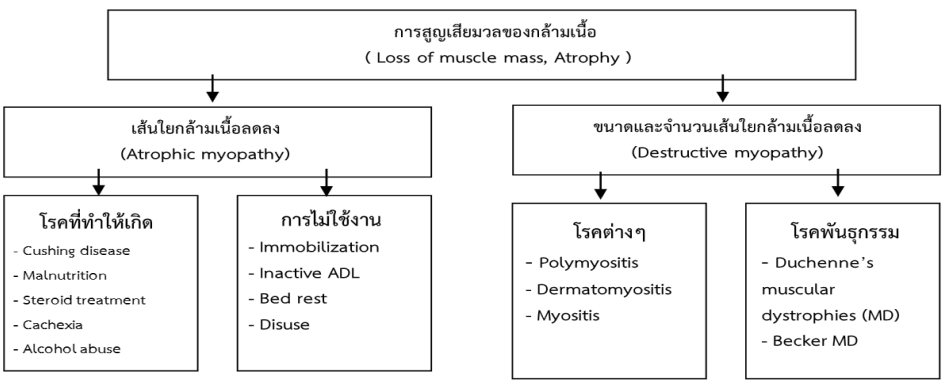
- การใช้กระแสไฟฟ้าบำบัดอาการปวด (Electrical stimulation for pain control)
- การกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อการสมานแผล (Electrical stimulation for promote healing)
- การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายเพื่อเรียนรู้หน้าที่ใหม่ (Electrical stimulation for muscle re-education)
- การกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทเลี้ยง (Innervated muscle) เพื่อเพิ่มแรงหดตัวความแข็งแรง เรียกว่า Neuromuscular electrical stimulation (NMES)
- การกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมควบคุมการเคลื่อนไหว ท่าทาง และกิจกรรม (Functional electrical stimulation, FES) ทั้งในกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทและไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (Innervated and denervated muscle)
- การกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (Denervated muscle) เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว เรียกว่า Electrical muscle stimulation (EMS)
- การใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อการนำส่งยาและสารเคมี (Iontophoresis)

- การกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อชะลอการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อ (Electrical stimulation for delayed muscle atrophy) เป็นต้น (Michlovitz, 2012; Cameron, 2013)

ผลของการกระตุ้นไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใยกล้ามเนื้อและเส้นประสาททั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยพบว่าการกระตุ้นไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อในระดับเซลล์ โครงสร้างเซลล์ รวมถึงหน้าที่ของกล้ามเนื้ออีกด้วย

1. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของการลีบของกล้ามเนื้อในภาวะเฉพาะ (Physiological response of muscle atrophy in specific conditions)

การสูญเสียมวลกล้ามเนื้อ (Loss of muscle mass) เกิดได้จากหลายสาเหตุ (ภาพ 3.1) ซึ่งเป็นผลจากการลดลงของขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fibers) และการสูญเสียโปรตีนภายในกล้ามเนื้อ โดยที่จำนวนเส้นใยของกล้ามเนื้อยังคงเท่าเดิม เรียกว่า Atrophic myopathy ซึ่งมักจะเป็นการลดลงของใยกล้ามเนื้อชนิด Type II (Fast twitch, FT) ในทางตรงข้าม ถ้ามีการลดลงทั้งขนาดและจำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อเรียกว่า Destructive myopathy (ภาพ 3.1) (Jones, 2004)



ภาพ 3.1 แสดงสาเหตุการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อ (Loss of muscle mass) ซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุทั้งจากโรคและการไม่ได้ใช้งานกล้ามเนื้อ

1.1 การลีบของกล้ามเนื้อจากภาวะนอนติดเตียงเป็นระยะเวลานาน และการจำกัดการเคลื่อนไหว (Muscle atrophy by prolonged bed rest and immobilization, innervated muscle)

ผู้ป่วยที่นอนติดเตียงเป็นระยะเวลานาน (Prolonged bed rest) หรือผู้ป่วยที่ถูกจำกัดการเคลื่อนไหว (Immobilization) จะมีผลทำให้ร่างกายเกิดการอ่อนแรงและสมรรถภาพถดถอย (De-conditioning of the body) โดยภาวะทั้งสองนี้จะนำไปสู่การเปลี่ยนของร่างกาย ได้แก่ กล้ามเนื้ออ่อนแรง (Muscle weakness), ขนาดกล้ามเนื้อ

บทที่ 4

การรักษาด้วยไฟกระแสตรงและเทคนิคไอออนโตโฟเรซีส

Direct Current Therapy and Iontophoresis Technique

1. ประวัติและพื้นฐานความรู้กระแสไฟตรง (Constant direct current; DC)

การส่งผ่านสารเคมีและยาเริ่มมีการนำมาใช้มานานแล้วโดย Pivati และ Later ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1747 ซึ่งเรียกกระบวนการนำส่งสารเคมีผ่านผิวหนังว่า “Electromotive force of an electrical current” (Belanger, 2010) ในปี ค.ศ. 1908 LeDuc & Mackenna แสดงให้เห็นว่าสามารถส่งผ่านไอออนให้เคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยใช้กระแสไฟฟ้าในการผลักดัน (Driving force) ซึ่งมีผลทำให้มีการเคลื่อนของประจุไฟฟ้า (Ion transfer) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ แต่ยังไม่ทราบกลไกในการส่งผ่านที่แน่ชัด (Bracciano, 2008)

การรักษาด้วยไฟกระแสตรง (Constant direct current; DC) หรือเรียกว่า กระแสไฟกัลวานิก (Galvanic current) มีประวัติการใช้รักษาผู้ป่วยมาตั้งแต่สมัยก่อนคริสตกาล ในช่วงแรกของการรักษาด้วยไฟฟ้ากระแสตรงใช้ต้นตอของกระแสไฟฟ้าจากปลาชนิดที่สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อผู้ป่วยได้รับกระแสไฟฟ้าจากปลาชนิดนี้จะเกิดอาการชาซึ่งทำให้สามารถลดความเจ็บปวดได้ (Prentice, 2009; Belanger, 2010; Bellew, 2012)

กระแสไฟตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีการไหลของประจุไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง (Continuous current) และไหลในทิศทางเดียวกัน (Uni-directional electrical) ต่อเนื่องนานมากกว่า 1 วินาที กระแสไฟฟ้าชนิดนี้ในสมัยก่อนเรียกว่า กระแสไฟกัลวานิก (Galvanic current) ในกรณีที่กระแสไฟตรงที่ไหลในทิศทางเดียวแต่น้อยกว่า 1 วินาที (DC, < 1 Second, sec) เรียกว่า กระแสไฟตรงหยุดเป็นช่วง (Interrupted direct current, IDC) ซึ่งจัดเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ (Pulsed current หรือ Pulsatile current, PC) (Prentice, 2009; Belanger, 2010; Bellew, 2012)

หลักการพื้นฐานของไอออนโตโพเรซีสคือ ขั้วไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าของสารละลายที่เหมือนกันจะผลักกัน (Electrical repulsion of like charges) ทำให้เกิดการดันไอออนของสารละลายเคมีผ่านเข้าผิวหนัง (Belanger, 2010; Bellew, 2012)

2. การเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย (Ion transfer or movement of ion in solution)

เมื่อผ่านกระแสไฟตรง (Continuous DC) ไปยังขั้วกระตุ้นไฟฟ้าซึ่งจุ่มลงในสารเคมีที่ละลายและแตกตัวได้ (Ionized drug and chemical solution) หรือสารละลายอิเล็กโตรไลท์ (Electrolytes solution) สารละลายนี้จะแตกตัว (Ionization) ออกเป็นประจุบวก (Positive ion, Positive charge) และประจุลบ (Negative ion, Negative charge) สารละลายที่แตกตัวเป็นประจุบวก (+ ion) จะวิ่งเข้าหาขั้วกระตุ้นขั้วลบ (Cathode) ในขณะที่สารละลายที่แตกตัวเป็นประจุลบ (- ion) จะวิ่งเข้าหาขั้วกระตุ้นขั้วบวก (Anode) การเคลื่อนที่ของประจุไอออนเหล่านี้ เรียกว่า การเคลื่อนที่ของไอออน (Ion transfer or electrophoresis) อย่างไรก็ตาม สารละลายบางชนิดนั้นไม่สามารถแตกตัวให้ประจุไอออนได้ หรือเป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ไม่ดี เช่น น้ำกลั่นบริสุทธิ์ปราศจากไอออน (Deionization water; DI water) จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออน เนื่องจากน้ำชนิดนี้จะบริสุทธิ์มาก มีเพียงโมเลกุลของน้ำ (H_2O) เท่านั้น ปราศจากสารเจือปน เกลือแร่ และไอออนของสารอื่น ๆ น้ำกลั่นปราศจากไอออนจึงไม่เหมาะจะนำมาดื่มเพราะไม่มีสารเกลือแร่ต่าง ๆ แต่น้ำกลั่นปราศจากไอออนนี้จะนิยมนำมาใช้ในทางห้องปฏิบัติการและโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม น้ำประปา (Tab water) ที่ใช้กันไม่ใช่น้ำกลั่นปราศจากไอออน ดังนั้นน้ำประปาจึงยังมีประจุไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ และเกลือแร่ต่าง ๆ อยู่ และยังมีคุณสมบัติสามารถเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Prentice, 2009; Belanger, 2010; Bellew, 2012)

3. ปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อให้กระแสไฟตรงผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (อิเล็กโทรลิซีส, Electrolysis)

องค์ประกอบของผิวหนังประกอบด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, $Na^+ + Cl^-$ ion) และน้ำ (H_2O) เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นเมื่อปล่อยกระแสไฟตรง (Direct current) ผ่านในเนื้อเยื่อร่างกายจึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) และกระบวนการอิเล็กโทรลิซีส (Electrolysis) บริเวณรอยต่อของผิวหนังและขั้วกระตุ้น ทำให้เกิดองค์ประกอบสารเคมีที่บริเวณผิวหนัง คือกรดชนิด Hydrochloric acid (HCl acid, pH ต่ำ) ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหนัง ทำให้ผิวหนังมีลักษณะแข็งและผิวด้านขึ้น (Sclerotic reaction of skin hardening) ที่บริเวณใต้ขั้วบวก (Anode) (Ciccone, 2008; Belanger, 2010) ดังสมการ

$$2\ Cl_2 + 2\ H_2O \longrightarrow 4\ HCl\ (Acid) + O_2\ (gas)$$

บทที่ 5

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์

Pulsed current; PC

กระแสไฟฟ้าในทางกายภาพบำบัดสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ กระแสไฟตรง (Direct current; DC) ซึ่งในสมัยก่อนเรียกว่า กระแสไฟฟ้ากัลวานิก (Galvanic current) ปัจจุบันไม่นิยมเรียกแล้ว, กระแสไฟสลับ (Alternating current, AC) และกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulsed current, PC) (Nelson, 1991; Robinson, 2008; Belanger, 2010)

กระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulsed current, PC) เป็นกระแสไฟที่มีช่วงกระตุ้นแคบ ๆ (น้อยกว่า 1 วินาที) และมีช่วงสลับกับช่วงหยุดปล่อยกระแสเป็นช่วงสั้น ๆ กระแสไฟฟ้าแบบ PC สามารถกำหนดรูปแบบกระแสไฟ (Waveform) ได้หลายแบบ (ดังที่เคยกล่าวไว้ในบทที่ 1)

กระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ หรือกระแสไฟฟ้าหยุดเป็นช่วง (Pulsed current หรือ Pulsatile current หรือ Interrupted current) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1 วินาที (1 Second มีค่าเท่ากับ 1,000 msec, หรือ 1,000,000 μsec) โดยปกติกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จะมีหน่วยเป็น มิลลิวินาที (Millisecond; msec) หรือ ไมโครวินาที (Microsecond; μsec) กระแสไฟฟ้าชนิด PC เป็นกระแสไฟที่นิยมใช้ในทางกายภาพบำบัด เพราะสามารถปรับรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าได้หลายแบบ (Electrical waveform) สามารถกำหนดช่วงกระตุ้นไฟฟ้า (Pulse duration), ช่วงพักของกระแสไฟฟ้า (Pause duration) และความถี่ของกระแสไฟฟ้าได้ (Frequency) (ภาพ 5-1, ตาราง 5-1) (Belanger, 2010) กระแสไฟฟ้าชนิด PC ที่มีการนำมาใช้ในทางกายภาพบำบัดมีหลายชนิดกระแสไฟฟ้า ได้แก่ กระแสไฟหยุดเป็นช่วงแบบพัลส์ (Interrupted current, PC), กระแสไฟฟ้าชนิดฟาราดิก (Faradic current) ซึ่งปัจจุบันเรียกว่ากระแสไฟฟ้า Asymmetric biphasic balance pulsed current, กระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร (Microcurrent),

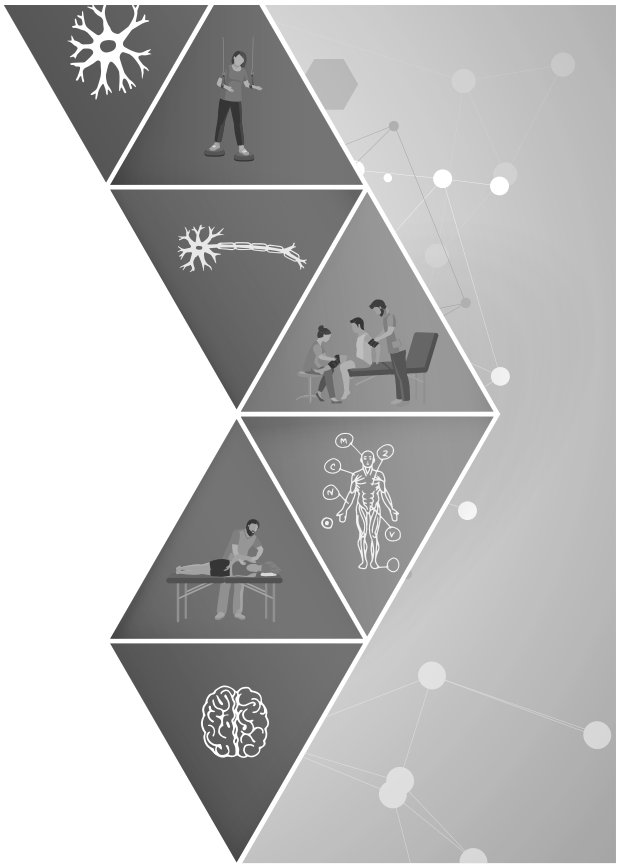
กระแสไฟฟ้าชนิดศักย์สูง (High voltage pulsed current; HVPC), กระแสไฟฟ้าชนิดกระตุ้นเส้นประสาทผ่านผิวหนัง (Transcutaneous electrical nerve stimulation; TENS) เป็นต้น ส่วนกระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (Interferential current; IFC), กระแสไฟฟ้าชนิดรัสเซียน (Russian current), กระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก (Diadynamic current) จัดเป็นกระแสไฟสลับ (AC) ที่มีการดัดแปลงรูปแบบกระแสไฟ (Nelson, 1991; Prentice, 1998 Robinson, 2008; Michlovitz, 2012) โดยจะได้กล่าวถึงกระแสไฟฟ้าแต่ละชนิดอย่างละเอียดในบทต่อไป

1. กระแสไฟหยุดเป็นช่วงแบบพัลส์ (Pulsed current, Interrupted Current)

1.1 คุณลักษณะของกระแสไฟหยุดเป็นช่วง (Pulsed current, PC)

กระแสไฟหยุดเป็นช่วงหรือกระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ เรียกได้หลายชื่อ เช่น Interrupted current, Interrupted PC, Pulsed current, Palsatile current ชื่อที่นิยมใช้ตามตำราไฟฟ้าบำบัดในปัจจุบัน คือ Pulsed current (PC) (Robinson, 2008; Michlovitz, 2012; Cameron, 2013) นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ (Pulsed current, PC) ยังเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนที่ของไฟฟ้าเป็นช่วงสั้น ๆ (< 1 วินาที) ได้ทั้งทิศทางเดียว (Unidirection) และสองทิศทาง (Bidirection) สลับกับมีช่วงพักกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่ใช่กระแสไฟตรง (Direct current, DC) (Michlovitz, 2012) เพราะมีคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างจากคำนิยามของกระแสไฟตรง คือ กระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ทิศทางเดียวและไม่มีช่วงพักของกระแสไฟฟ้า (Un-interrupted uni-directional flow of charged) โดยมีการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าอย่างน้อย 1 วินาทีขึ้นไป (ตาราง 5-2, ภาพ 5.2) (Robinson, 2008; Belanger, 2010) อย่างไรก็ตาม ในตำราไฟฟ้าบำบัดสมัยก่อน ๆ มักเข้าใจว่า กระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ (PC) หมายถึงกระแสไฟฟ้าชนิด Interrupted direct current (IDC) หรือ Interrupted alternating current (IAC) เพราะคำว่ากระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ (PC) เป็นคำที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าบำบัดในทางคลินิก และไม่ค่อยมีการอ้างในตำราทางฟิสิกส์ (Robinson, 2008) ในสมัยก่อนกระแสไฟฟ้าช่วงสั้น ๆ จะใช้วิธีการเปิด-ปิดสวิตช์ของไฟกระแสตรง (DC) ซึ่งมีผลทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัว-คลายตัวอย่างเป็นจังหวะสลับกันตามจังหวะการกระตุ้นของกระแสไฟ แต่ปัจจุบันนี้เนื่องจากมีวงจรไฟฟ้าที่ทันสมัยจึงมีการพัฒนาเครื่องและรูปแบบกระแสไฟฟ้า PC ให้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยสามารถปรับช่วงกระตุ้นไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ

วัตถุประสงค์หลักของกระแสไฟฟ้า PC หรือ Interrupted (pulsed) current คือ เพื่อใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทได้ตามระยะช่วงกระตุ้นไฟฟ้า (Pulse duration) ที่แตกต่างกัน โดยกระแสไฟฟ้า Interrupted current สามารถตั้งค่าช่วงกระตุ้น (Pulse duration) ให้มีช่วงแคบในการกระตุ้นเส้นประสาทรับรู้สึกขนาดใหญ่ (Large sensory nerve fiber, ช่วงกระตุ้นไฟฟ้าประมาณ 20-100 μsec), เส้นประสาทมอเตอร์ (Motor nerve, ช่วงกระตุ้นไฟฟ้าประมาณ 100-600 μsec), เส้นประสาทรับความเจ็บปวด (Pain nerve fiber, ช่วงกระตุ้นไฟฟ้ามากกว่า 600-1,000 μsec) หรือใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (Denervated muscle, ช่วงกระตุ้นไฟฟ้ามากกว่า 10 msec ขึ้นไป) ได้อีกด้วย (Low, 1994; Nelson, 1991; Prentice, 1998; Robinson, 2008; Michlovitz, 2012; Cameron, 2013)



บทที่ 6

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก

Diadynamic current therapy

ประวัติการรักษาด้วยไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก (Diadynamic current)

ในปี ค.ศ. 1929 Pierre Bernard ซึ่งเป็นทันตแพทย์ชาวฝรั่งเศส ได้ประดิษฐ์กระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก (Diadynamic current) ขึ้นมา กระแสไดอะไดนามิกเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เกิดจากการนำกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ชนิดรูปคลื่นไซน์ (Sinusoid) มาดัดแปลงให้มีลักษณะคล้ายกระแสไฟตรง (DC) แต่มีลักษณะเป็นคลื่น Full wave rectified หรือแบบ Half wave rectified โดยมีลักษณะพิเศษคือ มีช่วงกระตุ้น (Phase duration) 10 มิลลิวินาที (msec) นิยมรูปคลื่นแบบ Mono-phasic pulsatile current (มีลักษณะคล้ายคลื่นไซน์, Sine waveform) มีความถี่กระแสไฟฟ้า 50-100 HZ กระแสไฟฟ้าชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในการลดปวด (Pain) จากเส้นประสาทที่ถูกรบกวน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมาจึงเริ่มมีการนำมาใช้อย่างมากในการลดปวดจากเนื้อเยื่ออ่อนผิดปกติ (Soft tissue disorders) ในหลายประเทศ (Starkey, 1999; Belanger, 2010; Camargo, 2012) อย่างไรก็ตามพบว่ากระแสไฟฟ้าชนิดนี้มีงานวิจัยสนับสนุนยังไม่มาก นอกจากนี้ยังไม่ค่อยนิยมใช้หรือยังไม่ค่อยแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา (USA) แต่มีการนำมาใช้ในแคนาดาและประเทศในแถบยุโรป (Kahn, 1994; Robinson, 2008; Belanger, 2010)

กระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก (Diadynamic current) ที่มีช่วงกระตุ้นยาวนาน (Phase duration) และกระแสไฟฟ้าไหลเป็นทิศทางเดียว มีผลทำให้ผู้ป่วยรู้สึกไม่สบายขณะกระตุ้นได้ (Un-comfort) และการที่มีช่วงพัก (Inter-pulse interval) แคบหรือบางชนิดแทบไม่มีช่วงพักเลย ดังนั้นเมื่อกระตุ้นด้วยกระแสชนิดนี้แล้วจึงอาจจะทำให้เกิดรอยแดงที่ผิวหนัง (Hyperemia) และปฏิกิริยาเคมี (Electrochemical reaction) ใต้ขั้วกระตุ้น ซึ่งเกิดจาก

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระดับเนื้อเยื่อและระดับเซลล์ คล้ายกับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรงต่อเนื่อง (Continuous direct current, DC) หรือไอออนโตโพเรซีส (Iontophoresis) (Belanger, 2010) สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากกระแสไดอะไดนามิกอาจไปกระตุ้นระบบประสาทอัตโนมัติบริเวณผิวหนังที่กระตุ้น ทำให้เกิดการเพิ่มการไหลเวียนบริเวณใต้ขั้วกระตุ้นดีขึ้นชั่วคราว (Starkey, 1999)

1. ลักษณะของกระแสไฟฟ้าไดอะไดนามิก (Diadynamic current)

กระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิก (Diadynamic current) คุณสมบัติทั่วไปจะมีค่าช่วงการกระตุ้น 10 มิลลิวินาที (msec) สำหรับ 50 เฮิรตซ์ (Hz) และช่วงการกระตุ้น 8.5 มิลลิวินาที (msec) สำหรับ 60 เฮิรตซ์ (Hz) โดยนิยมใช้ที่ความถี่ 50 Hz (สมชาย รัตนทองคำ; 2537; Belanger, 2010; Camargo, 2012)

กระแสไฟฟ้าชนิดไดอะไดนามิกสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่คือ กลุ่มที่กระแสไฟฟ้าปล่อยต่อเนื่อง (Continuous current) มี 2 ชนิดย่อย และแบบกลุ่มกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยไม่ต่อเนื่องร่วมกับมีการปรับเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟ (Un-continuous current and frequency modulation) มี 3 ชนิดย่อย ดังนั้นไดอะไดนามิกจึงแบ่งได้ 5 รูปแบบคลื่นย่อย (ภาพ 6.1) (สมชาย รัตนทองคา; 2537; Belanger, 2010; Camargo, 2012; Jagmohan, 2012) ดังต่อไปนี้

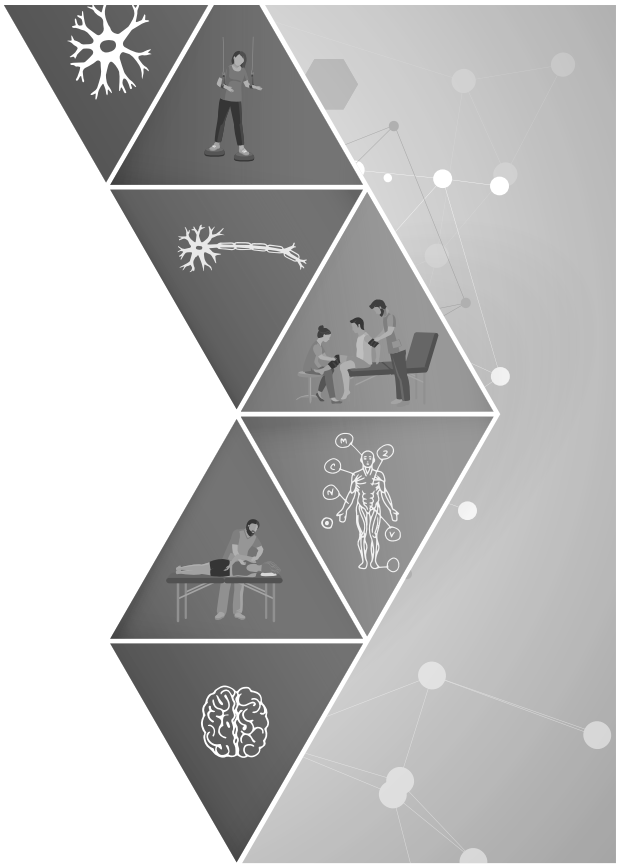
1.1 ลักษณะกระแสไฟฟ้าปล่อยต่อเนื่อง (Continuous current)

กระแสชนิดนี้จะปล่อยออกมาตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ (Continuous mode) สามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ชนิดกระแสได้แก่ Diphase Fixe (DF), Mono-phase Fixe (MF) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ถูกดัดแปลงมาจากกระแส Symmetrical biphasic sinusoidal current (ภาพ 6.1)

1.1.1 Diphase Fixe (DF)

กระแสไฟแบบ DF มีลักษณะคล้ายกระแสไฟตรง (DC) แบบเฟสคู่ที่ปล่อยต่อเนื่อง (Continuous current) ไม่มีช่วงพัก โดยกระแสไดอะไดนามิกชนิดนี้จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

กระแสไฟสลับที่ถูกปรับให้เป็นกระแสไฟตรง (AC $\rightarrow$ DC) แบบเฟสคู่ ชนิด Full wave หรือ Double phase โดยมีช่วงกระตุ้น (Phase duration) 10 มิลลิวินาที ไม่มีช่วงพักกระแส และความถี่ของกระแสเท่ากับ 100 Hz เนื่องจากกระแส DF ที่ปล่อยต่อเนื่องคล้ายกระแสไฟตรงนี้จะทำให้รู้สึกเจ็บจี๊ด ๆ (Pricking sensation) ในช่วงแรกของการกระตุ้น และหลังจากนั้นผู้ป่วยจะรู้สึกชา ซ่า ๆ แทนที่ และสามารถกระตุ้นให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว-คลายตัวได้ถ้าเพิ่มความแรงกระแสไฟฟ้า (Current intensity) ให้สูง ๆ เท่านั้น ทำให้มีความแตกต่างจากกระแสไฟตรงทั่วไป ปกติกระแส DF จะใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าระดับที่ผู้ป่วยรู้สึกชา ซ่า ๆ กลบความปวด และไม่เห็นกล้ามเนื้อหดตัว โดยเชื่อว่าสามารถใช้ในผู้ป่วยที่มีปัญหาระบบไหลเวียนเลือดที่ผิดปกติได้ (Peripheral circulation disorder) และ



บทที่ 7

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าอินเตอร์เฟอเรนท์เชียลและกระแสไฟฟ้ารัสเซียน

Interferential current and Russian Current

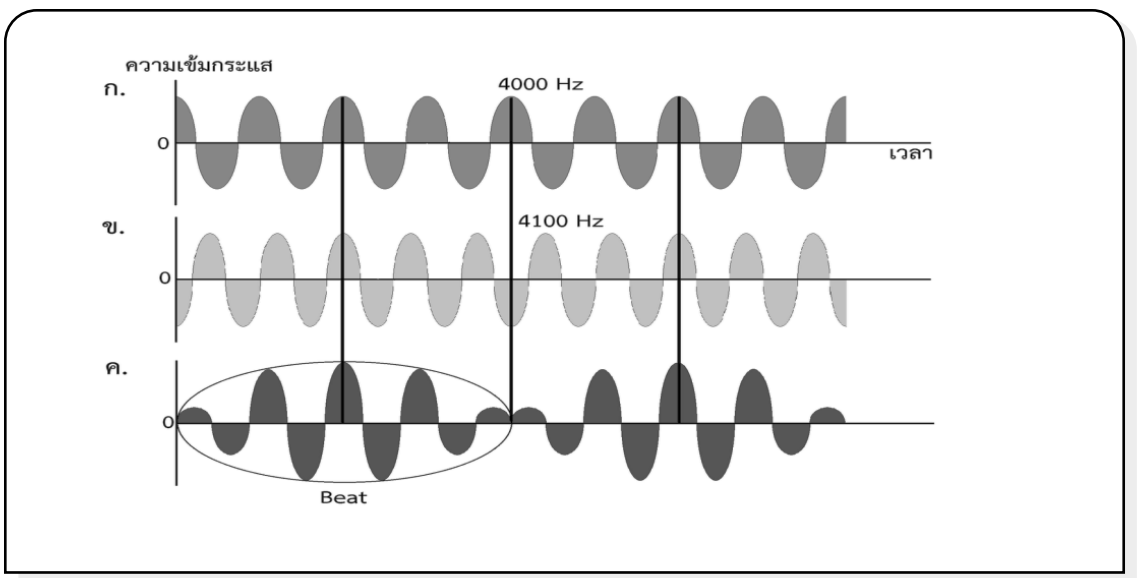
กระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (Interferential current : IFC) และกระแสไฟรัสเซียน (Russian current) จัดเป็นกระแสไฟฟ้าที่นิยมนำมาใช้กระตุ้นใน NMES (Neuromuscular electrical stimulation) โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญคือกระตุ้นกล้ามเนื้อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Muscle strength) และลดภาวะการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle weakness) จากการไม่ได้ใช้งานกล้ามเนื้อนาน ๆ เช่น การถูกจำกัดการเคลื่อนไหวขณะเข้าเฝือก (Immobilization) หรือ การไม่ได้ใช้งานของกล้ามเนื้อนานจากการนอนนิ่ง (Bed rest) หรือภายหลังจากการผ่าตัด (Post-operation) (Robinson, 2008) นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (IFC) ยังสามารถใช้ในการลดปวด (Decrease pain) ได้อีกด้วย ทั้ง 2 ชนิดกระแสไฟฟ้ามีการนำมาใช้ในทางกายภาพบำบัดตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1977-1980 เป็นต้นมา (Ward, 2002; Belanger, 2010)

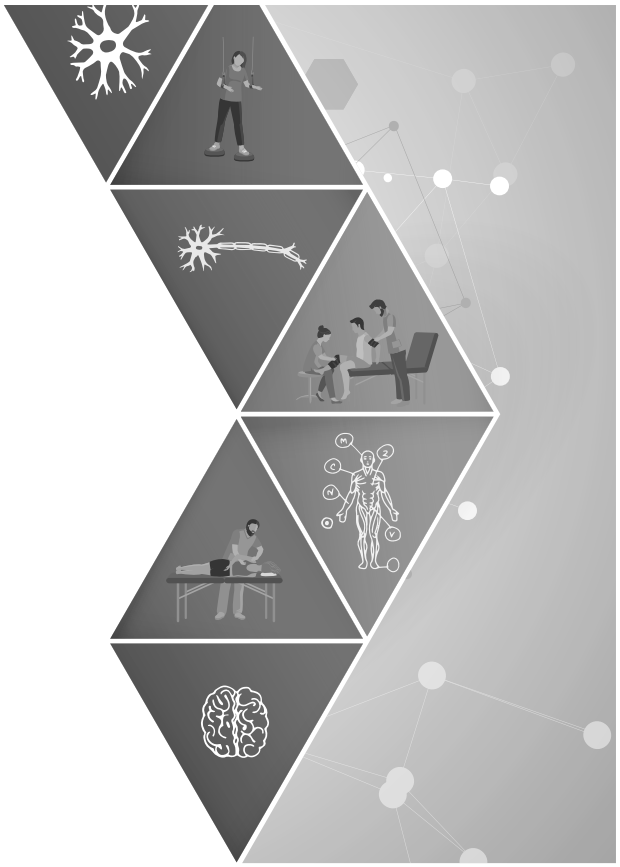
กระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (Interferential current : IFC)

กระแสไฟสลับ (Alternative current, AC) ถูกนำมาดัดแปลงเป็นกระแสไฟที่สำคัญทางคลินิก 2 กระแส ได้แก่ กระแสอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (Interferential current : IFC) และกระแสรัสเซียน (Russian current) โดยพบว่ากระแสไฟสลับ (AC) ที่มีความถี่ 2,500 Hz และ 4,000 Hz จะให้ความรู้สึกสบายมากกว่าความถี่ 500 Hz และ 20,000 Hz ขณะกระตุ้นไฟฟ้า (Robertson, 2006)

กระแสไฟฟ้าชนิดอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (IFC) เป็นกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ (AC) ที่มีลักษณะเป็นไซน์เวฟ (Sine wave, sinusoid current) มีความถี่ปานกลาง (Medium frequency ตั้งแต่ 1,001-10,000 (cycles per second, c.p.s หรือ Hz) แต่ความถี่ที่ใช้กันคือ 2,000-5,000 Hz โดยเฉพาะความถี่ในช่วง 4,000 ถึง 4,100 Hz เป็นช่วงความถี่ที่นิยมใช้กันมาก (de Domenico, 1982; Robinson, 2008) จำนวน 2-3 วงจรกระแสไฟฟ้า และมีแอมปลิจูดความเข้มกระแสไฟคงที่ (Amplitude) ที่ปล่อยผ่านไปในเนื้อเยื่อพร้อมกันทำให้เกิดการแทรกสอด (Superimpose) ของความถี่กระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารูปแบบใหม่ที่มีการปรับแอมปลิจูด (Amplitude modulation : AM หรือ envelop modulation) และการปรับความถี่ (Frequency modulation : FM) ของกระแสไฟที่ไม่คงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อส่งผ่านไปในเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ ซึ่งมักเป็นเนื้อเยื่อที่มีความแตกต่างกัน (Soft tissue; Heterogeneous tissue) แต่ตามทฤษฎีแล้วถ้ามีกระแสสลับ 2 กระแสที่ปล่อยออกมาพร้อมกันและถูกส่งเข้าไปในเนื้อเยื่อตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกัน (Homogeneous tissue) จะมีผลทำให้ได้กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแทรกสอดมีค่าแอมปลิจูดสูงสุดเป็น 2 เท่าของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดเริ่มต้น (Goats, 1990; Robinson, 2008; Belanger, 2010) (ภาพ 7.1) (Goats, 1990; Robinson, 2008; Belanger, 2010)

ความถี่ของกระแสไฟสลับ (AC) ที่นิยมใช้นั้นจะอยู่ในช่วงความถี่ปานกลาง (2,000-5,000 รอบ/วินาที; Hz โดยเฉพาะ 4,000 Hz จะนิยมมากสุด เพราะรู้สึกสบาย เจ็บน้อยขณะกระตุ้น) และกระแสไฟสลับทั้งสองคลื่นที่นิยมใช้กันมักมีแอมปลิจูดที่เท่ากัน ข้อดีของกระแสไฟ IFC คือเชื่อว่ากระแสไฟฟ้าสามารถผ่านลงไปในชั้นผิวหนังและชั้นกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกได้ (Deep layer muscle) เนื่องจากเป็นกระแสไฟที่มีช่วงกระตุ้นไฟฟ้าที่แคบและความถี่สูงจึงสามารถผ่านความต้านทานของผิวหนังได้ง่าย (Less skin resistance) และทำให้รู้สึกสบายขณะกระตุ้นมากกว่ากระแสไฟฟ้าชนิดความถี่ต่ำอื่น ๆ (Robertson, 2006; Robinson, 2008; Belanger, 2010; Bellew, 2012)





บทที่ 8

การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้า

Neuromuscular electrical stimulation : NMES

ประมาณปี ค.ศ. 1900 กระแสไฟฟ้าได้ถูกเริ่มนำใช้ในการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (Innervated muscle) เพื่อทำให้กล้ามเนื้อนั้นสามารถหดตัวแบบเตตานิก (Tetanic contraction) และสามารถออกแรงหดตัวของกล้ามเนื้อได้เพิ่มขึ้น (Muscle force) โดยหวังผลจากกระแสไฟฟ้าที่จะส่งเสริมให้กล้ามเนื้อทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กระแสไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ จึงถูกนำมาใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อที่ยังมีเส้นประสาทมาเลี้ยง (Innervated muscle) เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว เรียกวิธีการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้กล้ามเนื้อความแข็งแรง (Muscle strength) หรือความทนทาน (Muscle endurance) เพิ่มมากขึ้นว่า “Neuromuscular electrical stimulation”(NMES) ซึ่งแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Force output) จะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า เช่น ช่วงกระตุ้นกระแสไฟฟ้า (Pulse duration), ระดับความเข้มกระแสไฟฟ้า (Current intensity), ค่าความถี่กระแสไฟฟ้า (Current frequency) รวมถึงเทคนิคการวางขั้วกระตุ้น (Electrode placement technique) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การกระตุ้นไฟฟ้าแบบ NMES มักพบว่าทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้าได้ (Muscle fatigue) ดังนั้นในการตั้งค่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าจึงต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการกระตุ้นให้ชัดเจนและความเหมาะสมกับพยาธิสภาพของผู้ถูกกระตุ้นด้วย โดยในทางคลินิกนักกายภาพบำบัดจะต้องตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้าให้ได้แรงหดตัวของกล้ามเนื้อที่มากเพียงพอและทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้าได้น้อย (Gersh, 1992; Low, 1994; Starkey, 1999)

1. การกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยกระแสไฟฟ้า (Neuromuscular electrical stimulation, NMES)

Neuromuscular electrical stimulation (NMES) คือ การใช้กระแสไฟฟ้าทำการกระตุ้นภายนอกร่างกาย (External stimulation) ผ่านทางผิวหนัง และมีผลทำให้กล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (Innervated muscle) สามารถหดตัวได้ เพื่อช่วยเพิ่มแรงหดตัวและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ส่วนอีกคำหนึ่งคือ Electrical muscle stimulation (EMS) คือการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (Denervated muscle) (Robinson, 2008; Cameron, 2013; Belanger, 2015)

กระแสไฟฟ้าหลายชนิดสามารถนำมาใช้กระตุ้นใน NMES ได้ ซึ่งกระแสไฟฟ้าเหล่านี้มักจะมีคุณสมบัติ คือ (Gersh, 1992; Starkey, 1999; Selkowistz, 1999; Behrens, 2006)

- ช่วงกระตุ้นกระแสไฟฟ้า (Pulse duration) สั้น ๆ ประมาณ 50 ถึง 600 μsec (นิยมประมาณ 300 μsec หรือ 0.3 msec) เนื่องจากช่วงกระตุ้นไฟฟ้าช่วงนี้จะมีผลต่อการกระตุ้นเส้นประสาท (Nerve fiber) โดยเฉพาะเส้นประสาทมอเตอร์ (Motor nerve) มีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวได้ดี ในขณะที่ถ้าช่วงกระตุ้นไฟฟ้ามากกว่า 600-1,000 μsec จะสามารถกระตุ้นใยประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวด (Noxious level) ได้ จึงอาจทำให้เกิดความเจ็บปวดหรือความรู้สึกไม่สบายขณะกระตุ้นไฟฟ้าด้วย NMES ถ้าตั้งช่วงกระตุ้นไฟฟ้าไม่เหมาะสม

- ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Pulse frequency) ประมาณ 1-200 Hz (pps) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการกระตุ้น

- ประจุของกระแสไฟฟ้า (Pulse charge) ประมาณ ≤ 10 μQ (Micro-coulombs)

- ค่า Peak amperage จะเปิดเท่าที่ผู้ถูกกระตุ้นสามารถทนได้ (To tolerance)

- รูปแบบกระแสไฟฟ้า (Waveform) นิยมใช้แบบ Symmetrical biphasic pulses wave เนื่องจากจะรู้สึกสบายขณะกระตุ้น

- ตัวอย่างกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นแบบ NMES เช่น กระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ (Pulsed current, PC) เช่น Symmetrical biphasic pulsed current, กระแสไฟฟ้าชนิดฟาราดิก (Faradic current, PC), กระแสไฟอินเตอร์เฟอเรนท์เชียล (Interferential current : IFC), และ กระแสไฟรัสเซียน (Russian Current) เป็นต้น (Belanger, 2015)

วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นด้วย NMES มีหลายประการ (Gersh, 1992; Low, 1994; Selkowistz, 1999; Starkey, 1999; Bracciano, 2008) ได้แก่

1. กระตุ้นการเรียนรู้หน้าที่ของกล้ามเนื้อให้เกิดการเรียนรู้ใหม่ (Reeducation of muscle function)
2. เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) เช่น ในผู้ป่วยที่มีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ

บทที่ 9

พื้นฐานทฤษฎีความเจ็บปวดและการควบคุมความปวด

Basic Pain Theory and Pain control

ความเจ็บปวดเป็นอาการที่บ่งบอกถึงความผิดปกติของร่างกายอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดจากโรคหรือความผิดปกติของร่างกาย อาการเจ็บปวดอาจเกิดอย่างเฉียบพลัน (Acute pain) หรืออาจเกิดเป็นระยะเวลานานมากกว่า 3-6 เดือน (Chronic pain) ก็ได้ถ้าปล่อยทิ้งไว้และไม่ได้รับการรักษา การลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้าในทางการแพทย์เริ่มมีเมื่อปี ค.ศ. 1825 โดยกระแสไฟฟ้าถูกนำมาใช้ลดอาการเจ็บปวดจากโรคข้อต่ออักเสบ โรคเกาต์ เป็นต้น ในปี ค.ศ. 1965 Melzack และ Wall ได้เสนอทฤษฎี การควบคุมประตูความเจ็บปวด (Pain gate control theory) เพื่อใช้อธิบายถึงกลไกที่กระแสไฟฟ้าสามารถลดความเจ็บปวดได้ผ่านกลไกการควบคุมบริเวณไขสันหลัง (Spinal cord) และเริ่มมีการนำกระแสไฟฟ้ามาใช้รักษาผู้ป่วยที่ไม่ตอบสนองต่อการรักษาอื่น ๆ โดยในปี ค.ศ. 1967 Shealy ได้รายงานว่าการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่บริเวณไขสันหลังโดยตรงสามารถลดความเจ็บปวดได้ และพบว่าถ้าใช้กระแสไฟฟ้าทำการกระตุ้นผ่านผิวหนังก็สามารถลดปวดได้เช่นกัน ดังนั้นจึงมีการนำกระแสไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมถึง Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) มารักษาอาการปวดกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากการบำบัดด้วยกระแสไฟฟ้ามีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ถ้าใช้อย่างถูกต้องและเหมาะสม (Godfrey, 2005; Belanger, 2010)

1. ความหมายของคำว่าเจ็บปวด (Pain definition)

ความเจ็บปวด (Pain) มีรากศัพท์จากภาษากรีก มาจากคำว่า “Poena” (Latin) ซึ่งตรงกับความหมายว่าการลงโทษ ลงทัณฑ์ (Punishment) ความเจ็บปวดเป็นความรู้สึกที่ไม่สบาย อึดอัด ซึ่งสามารถเกิดได้กับทุกส่วนของ

ร่างกาย โดยเกิดได้จากโรค หรือการอักเสบ การบาดเจ็บต่าง ๆ ความเจ็บปวดนั้นเป็นข้อมูลแบบนามธรรม คือไม่สามารถวัดปริมาณความเจ็บปวดได้โดยตรง (Subjective data) และความเจ็บปวดมีลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลซึ่งอาจมีความรู้สึกที่แตกต่างกันได้ในความรู้สึกถึงความปวด นอกจากนี้ ความเจ็บปวดมักจะสัมพันธ์กับอารมณ์ (Emotion) และความกลัว (Fear) รวมถึงความเจ็บปวดจะสัมพันธ์กับปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติของระบบประสาทไขสันหลัง (Spinal reflex arch) ของร่างกายอีกด้วย เช่น เมื่อเดินเหยียบตะปู พบว่าเท้าจะชักหนีสิ่งกระตุ้นทันที ความปวด (Protopathic pain) เป็นอาการสำคัญอย่างหนึ่งที่พบได้บ่อยมากในทุก ๆ ส่วนของร่างกาย อาการนี้ทำให้ผู้ป่วยเกิดความทุกข์ทรมานน่าเวทนา และถ้าเป็นมาก ๆ จะมีผลต่อรีเฟล็กซ์ต่าง ๆ ของร่างกาย อาจทำให้เกิดการขยายหลอดเลือดส่วนปลาย (Peripheral vasodilation) หรือเกิดอาการหน้ามืดเป็นลม ช็อค จนถึงเกิดภาวะระบบไหลเวียนล้มเหลว (Cardiovascular collapse) และเสียชีวิตได้ ความปวดถ้ามีมากก็จะทำให้ผู้ป่วยมาพบแพทย์หรือนักกายภาพบำบัดเพื่อการรักษา ดังนั้นความปวดจึงเป็นสิ่งที่ทำให้รู้สึกไม่สบาย (Discomfort) นอกจากนี้ความเจ็บ (Epicritic pain) และความปวด (Protopathic pain) 2 คำนี้มีความหมายที่แตกต่างกันซึ่งจะได้กล่าวต่อไป (พงศ์ภารดี เจาฑะเกษตริน, 2547; Godfrey, 2005; Belanger, 2010; Jun, 2011)

ความจริงแล้วความปวดเป็นระบบรับความรู้สึก (Sensory modality) อันหนึ่งซึ่งร่างกายของมนุษย์มีอยู่ตามธรรมชาติ และเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญที่สุดในการป้องกันตัว (Protective) เพื่อใช้เป็นสัญญาณบ่งบอกให้ร่างกายรู้สึกถึงอันตราย (Injury) ที่เกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อความปวดได้อย่างเหมาะสม มนุษย์ที่เกิดมาแล้วไม่มีความรู้สึกที่ปวดเลย เช่น โรคทางพันธุกรรมบางชนิดในกลุ่มของโรคที่มีการทำลายเยื่อหุ้มไมอิลีน (Demyelinating type) ตัวอย่างคือ Hereditary motor and sensory neuropathy (HMSN) ผู้ป่วยจะมีอายุอยู่ได้ไม่นาน เพราะกล้ามเนื้อจะอ่อนแรงมาก (Muscle weakness) ไม่มีระบบรีเฟล็กซ์ (Areflexia) การรับรู้สึกของระบบประสาทรับรู้เสียไป ทำให้ไม่สามารถป้องกันตัวเองได้จากโรคติดเชื้อ บาดแผลที่เกิดขึ้น หรือแม้กระทั่งความผิดปกติในการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เพราะเมื่อเกิดความไม่ปกติของร่างกายจะไม่ทราบว่าขณะนั้นร่างกายมีความผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว (พงศ์ภารดี เจาฑะเกษตริน, 2547)

International Association for the Study of Pain (IASP) ได้ให้คำนิยามของ pain (ความปวด) ไว้ดังนี้ : *“Pain is an unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage or described in terms of such damage”* (IASP, ค.ศ. 1979) ดังนั้นความปวดจึงเป็นประสบการณ์ทางความรู้สึกและอารมณ์ที่ไม่สบาย ไม่น่าพึงพอใจ ซึ่งเกิดขึ้นร่วมกับการที่เนื้อเยื่อถูกทำลาย หรือคล้ายกับมีการทำลายเนื้อเยื่อนั้น นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาซับซ้อนทางร่างกายและจิตวิทยา เพราะคำว่าไม่น่าพึงพอใจ (Unpleasant) จะมีความเกี่ยวข้องกับอารมณ์และจิตใจ (Emotion and affective dimension) (Belanger, 2010)

บทที่ 10

การระงับความปวดด้วยกระแสไฟฟ้า โดยการกระตุ้นเส้นประสาทผ่านผิวหนัง

Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation : TENS

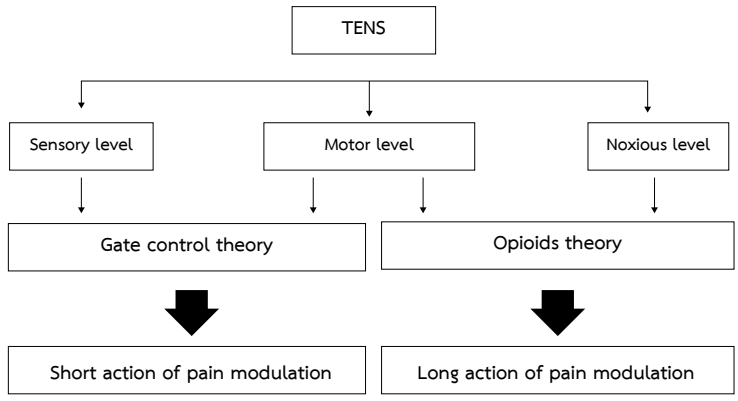
ในปี ค.ศ. 1965 Melzack และ Wall ได้เสนอทฤษฎี การควบคุมประตูความเจ็บปวด (Pain gate control theory) โดยเชื่อว่าการกระตุ้นเส้นประสาทรับความรู้สึกขนาดใหญ่ (Large sensory nerve) สามารถไปยับยั้งเส้นประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวดซึ่งนำความเจ็บปวดผ่านเส้นใยขนาดเล็ก (Small sensory nerve) ไปที่บริเวณไขสันหลัง ในปี ค.ศ. 1967 Wall และ Sweet ได้ตีพิมพ์ในวารสาร Science เรื่องกลไกการลดปวดทฤษฎีใหม่ในยุคนั้นว่า การกระตุ้นเส้นประสาทผ่านทางผิวหนังสามารถลดอาการปวดเรื้อรังได้ (Chronic pain) ในช่วงเดียวกัน Norman Shealy ซึ่งเป็นศัลยแพทย์ระบบประสาทชาวสหรัฐอเมริกาได้ใช้การกระตุ้นกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่บริเวณไขสันหลัง (Dorsal column) และพบว่าสามารถลดความเจ็บปวดได้ นอกจากนี้ยังพบว่าถ้ากระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังก็สามารถลดปวดและควบคุมระดับความปวดได้เช่นกัน โดยการลดปวดจากกระแสไฟฟ้านั้นเชื่อว่ามีความสัมพันธ์กับทฤษฎีการควบคุมประตูความเจ็บปวด (Pain gate control theory) และอาจมีผลต่อการหลั่งสารฝิ่น (Endogenous opioid substance) ในระบบประสาท ต่อมา Norman Shealy ได้สร้างกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพื่อลดความปวด ให้ชื่อกระแสไฟฟ้านี้ว่า Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) (สมชาย รัตนทองคำ, 2537; Gersh; 1992; Framptom, 1996) กระแสไฟฟ้าชนิด TENS เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีรูปร่างกระแส (Waveform) เป็นแบบสี่เหลี่ยมเฟสคู่ชนิดไม่สมมาตร (Asymmetric biphasic modified square waveform) และสามารถปรับช่วงกระตุ้น (Pulse duration), ความถี่ (Frequency), รูปแบบการปล่อย (Pattern) และระดับความแรงของกระแสไฟฟ้า (Current intensity) ได้หลายแบบ (ตาราง 10-1) (Belanger, 2010) โดยแต่ละแบบจะมีผลในการลดความเจ็บปวดที่แตกต่างกัน (ภาพ 10.1) ดังนั้นจึงมีการใช้กระแสทีอีเอ็นเอส หรือกระแสเทนส์ (TENS) เพื่อใช้รักษากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีการนำมาใช้

รักษาผู้ป่วยในทางคลินิกกายภาพบำบัดหรือโรงพยาบาลนานกว่า 40-50 ปี อีกทั้ง TENS เป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ง่าย สะดวก อย่างไรก็ตาม ก็มีข้อควรระวังและข้อห้ามใช้ในผู้ป่วยบางชนิด (Barr, 1991; Framptom, 1996; Robinson, 2008; Belanger, 2010)

ร่างกายมีกลไกการควบคุมสัญญาณความปวดตามธรรมชาติ โดยการควบคุมความปวดจากสมองลงมาควบคุมสัญญาณที่บริเวณไขสันหลัง (Descending pathway) ปกติมีทั้งแบบกระตุ้น (Descending facilitation) และแบบยับยั้ง (Descending inhibition) ในกรณีที่เป็นแบบกระตุ้นคือ ทำให้การตอบสนองต่อความปวดไวเพิ่มขึ้น เพื่อแจ้งเตือนร่างกายให้หลีกหนีจากอันตรายได้ทันที ในขณะที่การยับยั้งก็จะช่วยลดความแรงของสัญญาณปวดให้ลดลง ไม่ให้เกิดความปวดมากเกินจนรบกวนการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตาม ถ้าสัญญาณความปวดยังมีปริมาณสูงและต่อเนื่องยาวนาน จะทำให้กลไกการยับยั้งสัญญาณปวด (Descending inhibition) มีประสิทธิภาพลดลง หรือมีความไวลดลง ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะอาการปวดเรื้อรัง (Chronic pain) ได้ในที่สุด (Robinson, 2008; Belanger, 2010)

1. กระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังเพื่อการลดและควบคุมความเจ็บปวด (Electrical stimulation for pain modulation, ESPM)

การลดปวดด้วยกระแสไฟฟ้า (ESPM) (เช่น กระแสไฟฟ้าชนิด TENS, IFC) สามารถกระตุ้นได้ทั้งระดับรับความรู้สึก (Sensory level), ระดับกล้ามเนื้อหดตัว (Muscle contraction) และระดับความรู้สึกเจ็บปวดเพิ่มมากขึ้น (Noxious level) (ภาพ 10.1) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบตามความแรงของกระแสไฟฟ้า (Electrical current intensity levels) (Barr, 1999; Framptom, 1996; Johnson, 2002; Robinson, 2008; Denegar, 2016) โดยแต่ละรูปแบบของการตั้งค่ากระแสไฟฟ้าจะให้ผลการลดปวดตามกลไกที่แตกต่างกันไป (ภาพ 10.2 ถึงภาพ 10.4 และตาราง 10-1) (Horodyski, 2004; Johnson, 2007; Michlovitz , 2012; Johnson, 2014) ดังต่อไปนี้



ภาพ 10.1 กลไกการลดความเจ็บปวดของกระแสไฟ TENS ที่กระตุ้นที่ระดับความเข้มกระแสไฟที่แตกต่างกันและระดับการตอบสนองที่แตกต่างกัน จะให้ผลในการลดปวดที่แตกต่างกัน

บทที่ 11

การกระตุ้นกระแสไฟฟ้าเพื่อช่วยเร่งการสมานเนื้อเยื่อ

Electrical Stimulation for Tissue Healing Facilitation

เมื่อเนื้อเยื่อร่างกายได้รับการบาดเจ็บ (Tissue injury) จะทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายซึ่งจะมีผลให้เส้นเลือดฝอยที่นำสารอาหารมาเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นเกิดเสียหายและมีการฉีกขาดเกิดขึ้น ทำให้ของเหลวและเลือดที่อยู่ภายในหลอดเลือดนั้นเกิดการคั่งรอบ ๆ ในบริเวณที่ฉีกขาด ในภาวะที่เนื้อเยื่อผิวหนังมีการฉีกขาด และทำให้เลือดไหลออกสู่ภายนอก เรียกว่า “บาดแผลชนิดเปิด” (Open wound) เช่น แผลถลอก แผลจากของมีคมบาด เป็นต้น ถ้าเนื้อเยื่อไม่ฉีกขาด แต่มีเลือดหรือของเหลวคั่งอยู่ภายในบริเวณบาดเจ็บ เรียกว่า “บาดแผลชนิดปิด” (Close wound) เช่น ฟกช้ำ (Contusion), แผลติดเชื้อ (Infection), แผลกดทับ (Pressure soreness) เป็นต้น

การใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปีค.ศ.1688 โดย Digby ซึ่งใช้แผ่นทองคำ (Charged gold leaf) รักษาแผลที่เกิดจากโรคฝีดาษ (Smallpox lesions) ต่อมาในปี ค.ศ.1925 Robertson พบว่าการใช้แผ่นทองคำสามารถป้องกันการเกิดแผลเป็น (Prevent scarring) ที่เกิดจากโรคฝีดาษได้ ในปี ค.ศ. 1960 Kanof ได้รายงานว่าประจุไฟฟ้าจากแผ่นทองสามารถใช้รักษาแผลกดทับ โดยช่วยเร่งกระบวนการซ่อมแซมของแผลและเร่งกระบวนการสร้างเซลล์ใหม่ (Granulation tissue) ซึ่งจะมีผลทำให้แผลหายได้เร็วขึ้น (Kloth, 2005)

ในปี ค.ศ. 1850 Lente ได้รายงานการใช้การกระตุ้นไฟฟ้า (Electrical stimulation) ในการซ่อมแซมกระดูกหัก (Bone fracture repaired) เป็นครั้งแรก (Kloth, 2005) ต่อมาในปี ค.ศ. 1966 Wolf ได้พัฒนาเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ทำจากแบตเตอรี่ โดยใช้กระแสไฟตรง (DC) ขนาด 200-1,000 μA กระตุ้นที่บริเวณแผล เรียกการกระตุ้นด้วยกระแสไฟแบบนี้ว่า Constant micro-amperage direct current (CMDC) หรือ Low intensity direct current (LIDC หรือ Microcurrent) (Wolf, 1966)

ในปี ค.ศ. 1969 Wolcott ทำการรักษาแผลที่ผิวหนัง (Skin ulcers, Ischemic) ด้วยกระแสไฟตรงอ่อน ๆ โดยให้มีกระแสไฟผ่านบริเวณบาดแผล ผลการรักษาพบว่ากระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ สามารถช่วยเร่งกระบวนการหายของแผลให้เร็วขึ้น 1.5-2.5 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ใช้กระแสไฟฟ้ารักษา โดยกระตุ้นด้วยขั้วลบ (Cathode) ที่บริเวณแผลนาน 3 วัน (เพื่อหวังผลในการยับยั้งเชื้อจุลชีพบริเวณบาดแผล) กระตุ้นนาน 2 ชั่วโมง/ครั้ง ทำวันละ 2-3 ครั้ง/วัน และสลับขั้วกระตุ้นเป็นขั้วบวก (Anode) นาน 3 วัน และทำการสลับขั้วกระตุ้นไปเรื่อย ๆ ทุก ๆ 3 วันจนกว่าเนื้อเยื่อใหม่จะเกิดขึ้นทำต่อเนื่องกัน 5-7 วัน/สัปดาห์ (Wolcott, 1969)

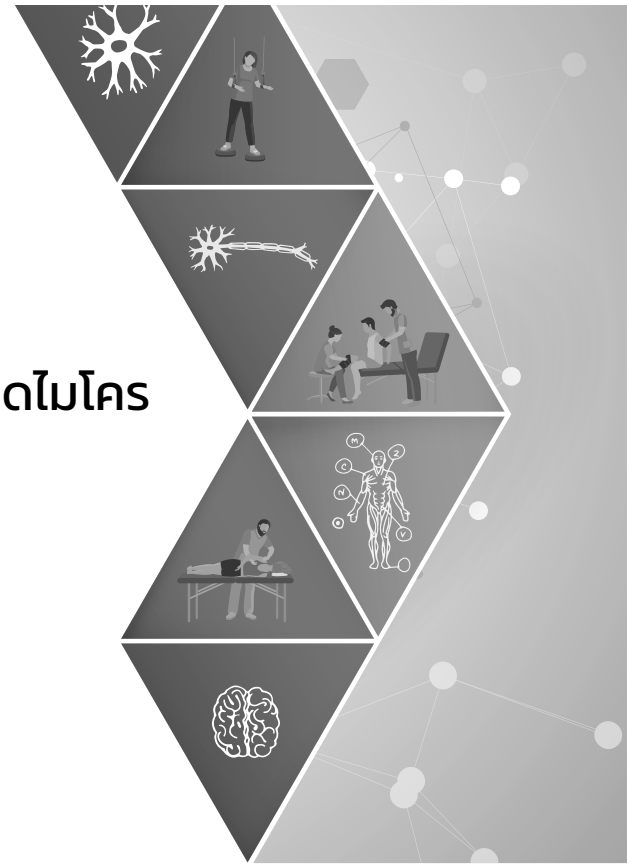
กระแสไฟฟ้าจึงถูกนำมาใช้ในการรักษาบาดแผล เพื่อช่วยกระตุ้นการซ่อมแซมของเนื้อเยื่อ การให้กระแสไฟฟ้าปริมาณอ่อน ๆ แก่เนื้อเยื่อ เชื่อว่าจะช่วยเร่งกระบวนการสมานแผลของผิวหนังภายหลังได้รับการบาดเจ็บได้ กระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ จะช่วยกระตุ้นและเร่งการเคลื่อนตัวของเซลล์ที่ช่วยในการซ่อมแซมบาดแผล เช่น เซลล์ Neutrophils, Macrophages และ Fibroblasts เป็นต้น เพื่อให้เซลล์ต่าง ๆ เหล่านี้สามารถซ่อมแซมบาดแผลได้ดีขึ้น (Gardner, 1999; Kloth, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสไฟฟ้าสามารถลดหรือยับยั้งเชื้อจุลชีพ เช่น แบคทีเรียในแผลได้อีกด้วย (Daeschlein, 2007; Belanger, 2010) ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงถูกนำมาใช้ในการกระตุ้นเพื่อเร่งสมานแผลเรื่อยมา

1. กระบวนการอักเสบและกระบวนการสมานแผลของเนื้อเยื่อ (Healing process)

1.1 กระบวนการอักเสบและการซ่อมแซมของเนื้อเยื่อ

การอักเสบ (Inflammation) หมายถึงปฏิกิริยาการตอบสนองของร่างกายที่เป็นการตอบสนองที่ซับซ้อนของเนื้อเยื่อในร่างกายต่อสิ่งที่สามารถทำให้เกิดอันตรายชนิดต่าง ๆ (Injury) ทั้งสารเคมี (Chemical agent) อุบัติเหตุแรงเชิงกล (Mechanical trauma) อุณหภูมิ (Thermal trauma) และเชื้อโรคต่าง ๆ (Biological agent) รวมถึงปฏิกิริยาไวต่อการตอบสนอง (Hyper-sensitivity reaction) ต่อเนื้อเยื่อที่เกิดความเสียหายหรือมีการตายของเซลล์ หรือมีการบาดเจ็บเนื้อเยื่อเกิดขึ้น การอักเสบเป็นกระบวนการตอบสนองตามธรรมชาติของร่างกาย (Natural process) เมื่อร่างกายได้รับการบาดเจ็บ (Injury) หรือได้รับอุบัติเหตุ (Trauma) หรือได้รับการติดเชื้อโรคต่าง ๆ (Infection) รวมถึงการขาดเลือด หรือขาดออกซิเจนของเซลล์และเนื้อเยื่อ (Ischemia)

การตอบสนองโดยกระบวนการอักเสบประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด การเข้ามาของเซลล์ที่มีส่วนในกระบวนการอักเสบ เช่น เซลล์เม็ดเลือดขาว (Leukocyte) ที่ออกจากหลอดเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ เซลล์ต้นกำเนิด และเซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเป็นผลกระทบที่เกิดกับร่างกายทั้งระบบ (Systemic effect) ประโยชน์ของกระบวนการอักเสบที่สำคัญอีกข้อได้แก่ กลไกสำคัญในการป้องกันสิ่งแปลกปลอม (Protective mechanism) หรือสิ่งที่จะทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อของร่างกายได้รับบาดเจ็บ โดยร่างกายจะกระตุ้นให้เกิดการอักเสบทันที (Acute inflammation) เพื่อทำให้ร่างกายสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือเชื้อโรคออกไปนอกร่างกายได้ทันที นอกจากนี้



บทที่ 12

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร

Microcurrent Electrical Therapy, (MET)

กระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร (Microcurrent electrical therapy) (ภาพ 12.1) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1830 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาเลียน ชื่อ Carlos Matteucci พบว่าจะมีกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ เกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อที่ได้รับการบาดเจ็บ (Tissue Injury) หรือบริเวณบาดแผลของผิวหนังมนุษย์ (Wound) โดยพบว่าบริเวณบาดแผลจะมีความเข้มกระแสไฟฟ้าน้อย ๆ เกิดขึ้นน้อยกว่า 1 มิลลิแอมแปร์ (mA) จึงเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณบาดแผลนี้ว่า “Current of injury หรือ Injury potential” ซึ่งจัดเป็นกระแสไฟฟ้าภายในร่างกายแบบหนึ่ง (Intrinsic bioelectrical current) ในภาวะปกติเซลล์จะอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งมีองค์ประกอบของประจุไอออนต่าง ๆ และมีการเคลื่อนที่ของประจุไอออนจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectrical current) โดยที่ผิวหนังจะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Skin battery, Trans-epithelium potential difference; TEP) ระหว่างชั้นอิพิเดอร์มิส (Epidermis) และชั้นเดอร์มิส (Dermis) ที่เกิดจากการไหลของประจุโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ไอออน ($Na^+/K^+/Cl^-$ ion) ทำให้เกิด TEP ประมาณ 10-60 มิลลิโวลต์ (mV) (Kloth, 2005) (*หมายเหตุ* : 1 มิลลิแอมแปร์; mA จะมีค่าเท่ากับ 1,000 ไมโครแอมแปร์; μA)

ระหว่างเซลล์ผิวหนังนั้นจะมีโปรตีนชนิด Tight junction ยึดระหว่างเซลล์ผิวหนัง ทำตัวเป็นตัวต้านทานกระแสไฟฟ้า (Impedance) ของผิวหนัง แต่เมื่อผิวหนังเกิดบาดแผลพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (TEP) ลดลงเป็น 0 mV และส่งผลทำให้ประจุโซเดียม โพแทสเซียม คลอไรด์ไอออน ($Na^+/K^+/Cl^-$ ion) เกิดการไหลไปบริเวณบาดแผลแทน เกิดสนามไฟฟ้าที่บริเวณแผลซึ่งก็คือ Current of injury (Endogenous current) นั่นเอง (Watson, 2008; Poltawski, 2009; Belanger, 2010)

ในปี ค.ศ. 1969 Wolcott และคณะพบว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าชนิดไมโครขนาด 200-800 μA มากระตุ้นการซ่อมแซมบาดแผลของผิวหนัง จะสามารถเร่งกระตุ้นบาดแผลให้หายได้ไวขึ้น 200-350% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงได้เริ่มมีการนำกระแสไฟฟ้าชนิดนี้มารักษาเพื่อซ่อมแซมบาดแผลกันมากขึ้น (Watson, 2008; Poltawski, 2009)

ในปี ค.ศ. 1980 Illingsworth and Barker พบว่าตอบาดแผลที่ถูกตัดบริเวณปลายนิ้ว (Finger amputated stump) มีค่ากระแสไฟฟ้าบาดเจ็บนี้อยู่ในช่วง 10-30 μA/cm^2 (Watson , 2008) ในปี ค.ศ. 1982 Chang และคณะได้เสนอกลไกของการรักษาด้วยกระแสไมโคร โดยพบว่ากระแสไมโครมีผลต่อกลไกระดับเซลล์ เชื่อว่าเป็นผลจากการเพิ่มการทำงานของไมโตคอนเดรีย เพิ่มการสร้าง Adenosine triphosphate (ATP) เพิ่มขึ้น 500% และมีการนำเอา Amino acid เข้าไปในเซลล์เพื่อสร้างเนื้อเยื่อใหม่เพิ่มขึ้น 30-40% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Starkey, 1993; Kirsch, 2001)

ดังนั้น จึงเชื่อกันว่าการเพิ่มขึ้นของการทำงานของเซลล์จะทำให้มีการเร่งการซ่อมแซมของบาดแผลได้ไวขึ้น (Promoted tissue healing) จึงได้มีการนำกระแสไฟชนิดนี้ไปใช้ในการรักษาเร่งการสมานแผล (Accelerating healing) ของกระดูก เอ็นกล้ามเนื้อ และกล้ามเนื้อ เป็นต้น (Belanger, 2010)

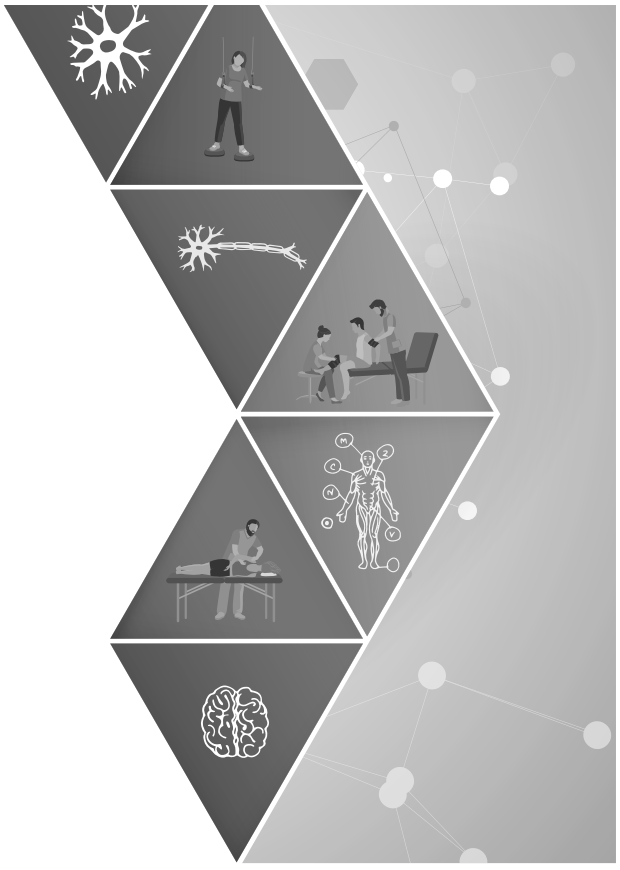
1. กระแสไฟฟ้าบำบัดชนิดไมโคร (Microcurrent electrical therapy, MET)

กระแสไฟฟ้าชนิดไมโคร (Microcurrent electrical therapy; MET) หรือ (Micro-current electrical stimulation; MES) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มกระแสไฟ (Current intensity, peak current) น้อยกว่า 1 mA (10^{-3}A) หรือน้อยกว่า 1,000 μA (นิยมใช้ 100-600 μA) ความถี่สามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0.1-990 Hz (pps) หรือ 0.1-200 Hz (pps) (ภาพ 12.1) (Belanger, 2010) ดังนั้น MET จึงจัดเป็นไฟกระแสที่มีความเข้มกระแสต่ำ (Low intensity electrical current) และมีช่วงกระตุ้น (Pulse duration) ที่แคบมากจึงทำให้ไม่สามารถกระตุ้นให้ถึงจุดกระตุ้นของเส้นประสาทรับความรู้สึกได้ (Sub-sensory level, sub-liminal stimulation) จึงทำให้เชื่อว่าไม่น่าจะมีผลต่อการลดปวด ได้คล้ายกับกระแสไฟฟ้าชนิด TENS โดยรูปแบบกระแสไฟฟ้า MET จะเป็นแบบไฟกระแสตรง (DC, จะเรียกว่า Low intensity direct current, LIDC) หรือแบบ Mono-phasic pulsed current (PC, จะเรียกว่า Microcurrent electrical stimulation, MES) ก็ได้ ถ้าเทียบกับกระแสไฟฟ้าชนิด TENS พบว่ากระแสไมโครนี้จะมีความเข้มของกระแสไฟ (Current intensity) น้อยกว่าประมาณ 1/1,000 A ของกระแสไฟฟ้าชนิด TENS จึงทำให้ไม่มีผลต่อการลดปวดเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้าชนิด TENS ดังนั้นการศึกษาส่วนใหญ่ของ MET จึงเน้นไปที่ผลของการกระตุ้นระดับเซลล์ (Cellular effect) เพื่อหวังผลในการกระตุ้นการสมานแผลของเนื้อเยื่อ และไม่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะรักษา (No muscle contraction) (Starkey, 1993; Robinson, 2008; Belanger, 2010; Bellew, 2012)

บทที่ 13

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสไฟฟ้าศักย์สูง

High Voltage Pulsed Current (HVPC)



กระแสไฟฟ้าชนิด “กระแสไฟฟ้าศักย์สูง” (High voltage pulsed current; HVPC) หรือบางตำราเรียกว่า High voltage pulsed stimulation (HVPS) หรือ High voltage monophasic pulsed current (HVMPC) ซึ่งเป็นชื่อเรียกกระแสไฟฟ้าชนิดนี้ แต่ที่นิยมใช้นั้นจะเป็น HVPC เพราะกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จัดเป็นกระแสไฟชนิดพัลส์ (Pulsed current, PC) ซึ่งมีช่วงกระตุ้นแคบมาก มักมีหน่วยเป็น ไมโครวินาที (μsec) หรือ มิลลิวินาที (msec) ดังนั้นกระแส HVPC ไม่ใช่กระแสไฟรูปแบบ Galvanic current หรือกระแสไฟฟ้าตรง (Direct current : DC) แต่เป็นกระแสไฟชนิดพัลส์ (PC) (Roberta, 1991; Starkey, 1999; Belanger, 2010; Houghton, 2011) กระแสไฟฟ้าศักย์สูงเป็นกระแสไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในทางคลินิกหลายรูปแบบการรักษา ซึ่งปรากฏหลักฐานว่ามีการนำกระแสไฟฟ้าประเภทนี้มาใช้ในช่วงปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา กระแสไฟชนิด HVPC มีลักษณะเด่นคือ ไม่ค่อยเจ็บในขณะกระตุ้น หรือรู้สึกสบายขณะกระตุ้น (Comfortable feeling) เนื่องจากช่วงกระตุ้นที่แคบมาก ๆ จึงทำให้สามารถปรับความเข้มกระแสไฟฟ้าได้มากขณะกระตุ้น โดยที่ยังรู้สึกสบาย หรือไม่ค่อยเจ็บ (Roberta, 1991; Belanger, 2010)

1. กระแสไฟฟ้าศักย์สูง (High voltage pulsed current; HVPC)

กระแสไฟฟ้าชนิด HVPC คือกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสไฟพัลส์ (Pulsed current, PC) ที่มีเฟสเดียวแต่มี 2 ยอดคลื่น (Mono-phasic pulses with twin-peak) และมีความต่างศักย์สูงมาก (Peak amplitude) คือมีศักย์ไฟฟ้า

สูงมากกว่า 150 โวลต์ (Volts) แต่ไม่เกิน 500 โวลต์ (150-500 Volts) กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์มากกว่า 100 Volts เรียกว่า กระแสไฟฟ้าศักย์สูง (High-voltages) ในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่มีศักย์น้อยกว่า 100 Volts เรียกว่า กระแสไฟฟ้าศักย์ต่ำ (Low-voltages) นอกจากนี้ HVPC จะมีจุดยอดของกระแสไฟฟ้าที่สูง (High peak current) โดยมีความสูงถึง 2,500 มิลลิแอมแปร์ (mA) จำนวน 2 ยอดสูง (Twin-peak monophasic waveform) ซึ่งจัดเป็นลักษณะพิเศษของกระแสไฟฟ้าชนิดนี้ ลักษณะที่เด่นอีกอย่างหนึ่งของกระแสไฟฟ้า HVPC คือ มีช่วงกระตุ้น (Pulse duration) ที่แคบมาก ๆ มีช่วงกระตุ้นน้อยกว่า 200 μsec (ขึ้นอยู่กับแต่ละบริษัทที่ผลิตเครื่อง) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 50-200 μsec สาเหตุที่กระแสไฟฟ้าชนิดนี้จำเป็นต้องมียอดสูงคู่ “Twin-peak หรือ Dual peak” เนื่องจากกระแส HVPC นั้นมีช่วงกระตุ้นที่แคบมาก ๆ เรียกว่า Ultra-short duration (เช่น 5-65 μsec หรือน้อยกว่า 200 μsec) ซึ่งหนึ่งช่วงกระตุ้นนี้ไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นเส้นใยประสาท (Nerve) ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าให้เป็นแบบ Twin-peak, Twin-spike หรือ Dual peak wave เพื่อให้กระแสไฟเพียงพอต่อการกระตุ้นเส้นประสาทได้ (ภาพ 13.1) (Prentice, 1998) รูปแบบกระแสไฟฟ้าจะถูกสร้างจากวงจรไฟฟ้าภายในเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่แน่นอนจึงไม่สามารถปรับรูปคลื่นและช่วงกระตุ้นได้ (Fixed wave shape) อย่างไรก็ตาม เครื่องบางรุ่นสามารถปรับให้คลื่นโมโนเฟสิคพัลส์ (Mono-phasic current) ที่มี 2 ยอดซึ่งแยกห่างจากกันหรือซ้อนทับกันได้ (ภาพ 13.2) โดยถ้ามีการซ้อนทับกันของทั้ง 2 ยอดจะทำให้ความแรงของการกระตุ้นเพิ่มขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าชนิด HVPC จะตั้งได้ระหว่าง 1 ถึง 120 Hz หรือพัลส์ต่อวินาที (Pulse per second; pps) ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การรักษาซึ่งจะกล่าวต่อไป (Roberta, 1991; Robinson, 1995; Prentice, 1998; Starkey, 1999; Belanger, 2010; Houghton, 2011)

ปัจจุบันกระแสไฟฟ้าชนิด HVPC สามารถปรับได้ทั้งกระแสโมโนเฟสิคพัลส์ (Mono-phasic current) หรือเป็นกระแสแบบไบเฟสิคพัลส์ (Bi-phasic current) ซึ่งอาจจะปรับเป็นแบบรูปคลื่นสมมาตร (Symmetrical waveform) หรือแบบรูปคลื่นที่ไม่สมมาตร (Asymmetrical waveform) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับแต่ละบริษัทที่ผลิตคลื่นไฟฟ้า แต่ที่นิยมใช้คือ Mono-phasic pulsed current โดยถ้าเป็นแบบ Asymmetrical waveform ภายหลังการกระตุ้นอาจจะมีประจุไฟฟ้าคงเหลือค้างที่เนื้อเยื่อซึ่งจะมีผลให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อได้ นอกจากนี้ กระแสไฟศักย์สูงมีลักษณะกระแสไฟที่คล้ายคลึงกับกระแสไฟชนิดที่เรียกว่า Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) ดังนั้นอาจพบว่ามีการเรียกรูปคลื่นของกระแสไฟศักย์สูงว่าเป็นแบบ Monophasic pulsed TENS แต่ปัจจุบันไม่นิยมเรียกชื่อดังกล่าว (Roberta, 1991; Belanger, 2010; Michlovitz, 2012)

บทที่ 14

เทคนิคกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง

Electrical Stimulation Technique in Denervated Muscle

กล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (Innervated muscle) คือกล้ามเนื้อปกติ (Normal muscle) ที่มีเส้นประสาทส่วนปลายมาเลี้ยง (Peripheral nerve Innervation) และใช้เป็นเส้นทางในการสั่งงานระบบมอเตอร์ (Motor pathway) ของระบบประสาทส่วนกลาง เพื่อสั่งให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว-คลายตัว และทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย แต่ถ้าเส้นประสาทส่วนปลายเกิดการบาดเจ็บหรือถูกทำลายจากอุบัติเหตุหรือโรคต่าง ๆ จนทำให้สูญเสียการทำงานของเส้นประสาทไป (เช่น Nerve injury, nerve rupture) จะทำให้ไม่สามารถส่งกระแสประสาทไปยังมัดกล้ามเนื้อได้ ทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัว-คลายตัวจากการควบคุมของระบบประสาท (Loss volitional control) เรียกกล้ามเนื้อนี้ว่า “กล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง (Denervated muscle)” มีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดภาวะอัมพาต (Paralysis) และเกิดการฝ่อลีบ (Atrophy) ตามมา การฝ่อลีบชนิดนี้เรียกว่า “ดีเนอร์เวชั่น อโทรฟี่” (Denervation atrophy) เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้อขาดการหดตัวเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดไขมัน (Adipose tissue) เนื้อเยื่อพังผืด (Scar adhesion) แทรกตัวภายในใยกล้ามเนื้อและจะทำให้ไม่สามารถใช้งานกล้ามเนื้อมัดนั้นได้อีก (Cummings, 1992; Eberstein, 1996; Spielholz, 1999)

จุดประสงค์หลักของการกระตุ้นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ Denervated muscle (Electrical muscle stimulation, EMS) คือ เพื่อหวังผลในการชะลอการฝ่อลีบของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Delayed muscle fibers atrophy) และป้องกันหรือชะลอการเกิดพังผืดที่จะแทรกตัวภายในใยกล้ามเนื้อ (Prevention and delayed formation of scar adhesion) ขณะที่รอเส้นประสาทฟื้นตัว หรือรอเส้นประสาทเจริญงอกใหม่ เพื่อให้กล้ามเนื้อกลับมามีเส้นประสาทเลี้ยงใหม่อีกครั้ง (Regenerate and re-innervate the muscle) (Cummings, 1992; Spielholz, 1999)

1. การบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลาย (Peripheral nerve injury)

เส้นประสาทส่วนปลาย (Peripheral nerve) ประกอบด้วยเส้นใยประสาทแอกซอน (Axon) ซึ่งจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเส้นประสาทจำนวน 3 ชั้น ชั้นนอกสุด เรียกว่า *อิพินิวเรียม* (Epineurium), เยื่อหุ้มชั้นกลาง เรียกว่า *เพอรินิวเรียม* (Perineurium) และเยื่อหุ้มชั้นในสุด เรียกว่า *เอนโดนิวเรียม* (Endoneurium) โดยเยื่อหุ้มแต่ละชนิดนี้มีลักษณะและหน้าที่แตกต่างกัน ปกติรอบ ๆ ใยประสาท Axon จะมีเซลล์ค้ำจุน (Supporting cell) หรือเซลล์พี่เลี้ยงที่เรียกว่า *เซลล์ชวานน์* (Schwann cell) ซึ่งจะห่อหุ้มเส้นใยประสาท Axon เอาไว้ Schwann cell มีหน้าที่สำคัญคือสร้างสารสำคัญต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเส้นประสาท เช่น สาร Neurotropic factors (NTFs) สาร NTFs ทำหน้าที่ให้สารอาหารแก่เส้นประสาทเพื่อให้เส้นประสาทเจริญเติบโต รวมถึงป้องกันและทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้ามาในใยประสาท (Axon) รวมถึงมีส่วนช่วยควบคุมกระบวนการสลายตัว (Degeneration) และกระบวนการงอกเจริญใหม่ (Regenerative tissue) ของเส้นประสาท Schwann cell จึงมีความสำคัญมากต่อการทำงานของเส้นประสาทส่วนปลาย ดังนั้นถ้าเส้นประสาทได้รับอันตรายและรุนแรงจนถึงระดับทำให้ Schwann cell เกิดความเสียหายหรือตายไป ก็จะส่งผลทำให้การทำงานของเส้นประสาทบกพร่องหรือเสียไปจนไม่อาจกลับมาใช้งานได้ (Spielholz, 1999; Robinson, 2008)

1.1 การแบ่งระดับการบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลาย (Classification of peripheral nerve injury)

การบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลายสามารถแบ่งได้หลายชนิด แต่ที่นิยมคือการแบ่งตามระดับความรุนแรง (Severity) ของ Sir Herbert Seddon ในปี ค.ศ. 1942 เรียกว่า การแบ่งระดับความรุนแรงแบบ Seddon's classification ซึ่งแบ่งการบาดเจ็บเป็น 3 ระดับ และในปี ค.ศ. 1951 Sunderland ได้แบ่งระดับความรุนแรงให้ละเอียดมากขึ้น เรียกว่า การแบ่งระดับความรุนแรงแบบ Sunderland's classification ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเส้นประสาทภายหลังการได้รับบาดเจ็บของเยื่อหุ้มประสาทและตัวแอกซอน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับ (Spielholz, 1999; Robinson, 2008) ดังนี้

การแบ่งเส้นประสาทบาดเจ็บแบบ Seddon's classification

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ (ตาราง 14-1) (Spielholz, 1999; Robinson, 2008) คือ

1. *Neurapraxia* (มาจากคำว่า Praxis หมายถึง ยังทำงานได้, To do, To perform) คือ การที่ใยประสาทได้รับอันตรายน้อยสุด มีแค่การขัดขวางการนำพลังงานประสาท (Nerve impulse) เฉพาะตรงบริเวณรอยโรคที่เกิดขึ้นชั่วคราวเท่านั้น โดยส่วนที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าบริเวณที่ได้รับอันตรายนั้น ถ้าเอากระแสไฟฟ้าไปกระตุ้นพบว่าจะยังนำกระแสประสาทได้เป็นปกติ เพราะ Axon บริเวณนั้นยังมีลักษณะปกติ การบาดเจ็บระดับนี้พบว่ามีการฟื้นตัวดี (ใช้เวลาเป็นวันหรือสัปดาห์ ถ้ากำจัดสาเหตุออกได้) จัดเป็น Physiological block และ การบาดเจ็บระดับน้อยสุด เช่น จากการขาดเลือดไปเลี้ยงชั่วคราว หรือการกดทับเส้นประสาทเพียงชั่วคราว เป็นต้น

บทที่ 15

การรักษาด้วยการป้อนกลับชีวภาพและการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในทางกายภาพบำบัด

Biofeedback Therapy and Electromyography in Physical Therapy

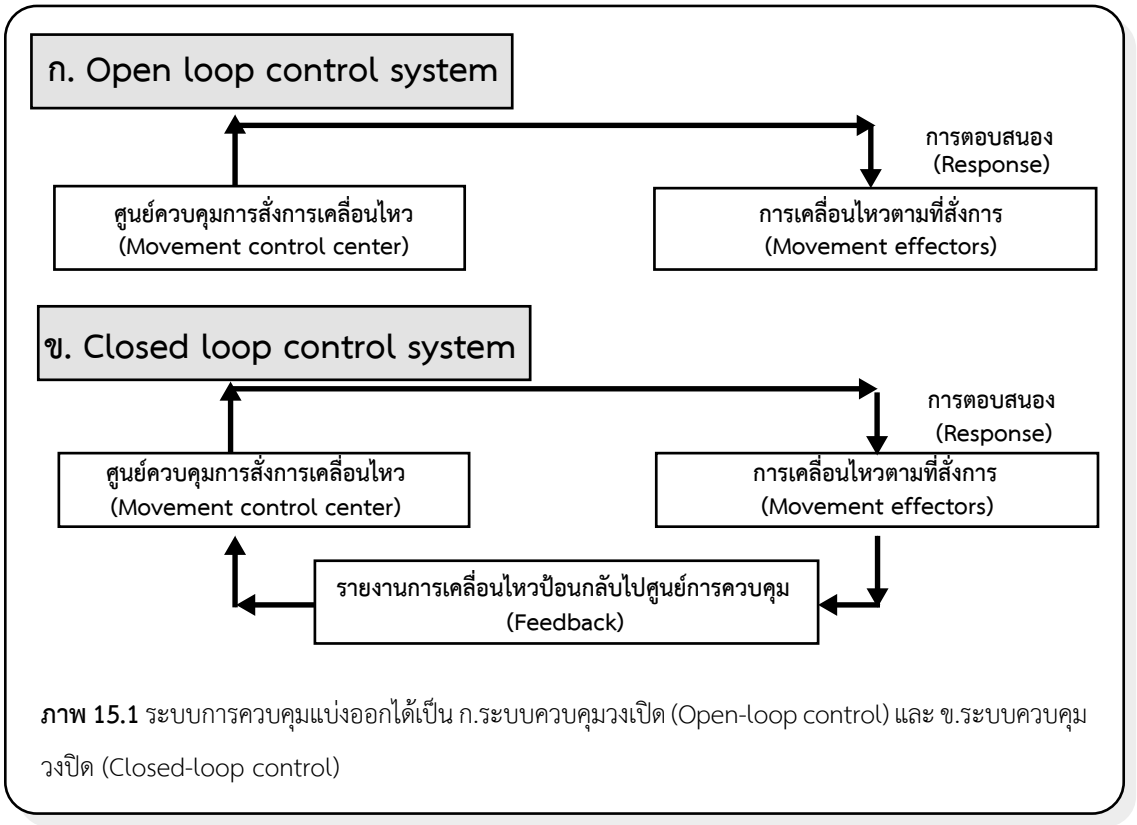
การควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Motor control of movement) จะคล้ายกับการขับเคลื่อนรถยนต์ ต่างกันตรงที่การบังคับทิศทางหรือความเร็วของรถยนต์จะถูกควบคุมโดยผู้ขับขี่ (Manual control) ซึ่งระบบควบคุมประเภทนี้ต้องมีคนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงถือว่าเป็นระบบควบคุมไม่อัตโนมัติ ขณะที่การเคลื่อนไหวของร่างกายนั้นสมองจะมีหน้าที่พิเศษในการสั่งการควบคุม รวมถึงสามารถวิเคราะห์และออกแบบการเคลื่อนไหวให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้เอง จึงเรียกระบบการควบคุมแบบนี้ว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) นอกจากนี้ระบบการควบคุมยังอาจแบ่งออกได้เป็นระบบควบคุมวงเปิด (Open-loop control) และระบบควบคุมวงปิด (Closed-loop control) (ภาพ 15.1) (Basmajian, 1979; Rose, 2006)

ระบบควบคุมวงเปิด (Open-loop control) คือระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต (Output) หรือผลลัพธ์ (Outcome) มาบ่งชี้ถึงลักษณะการควบคุม

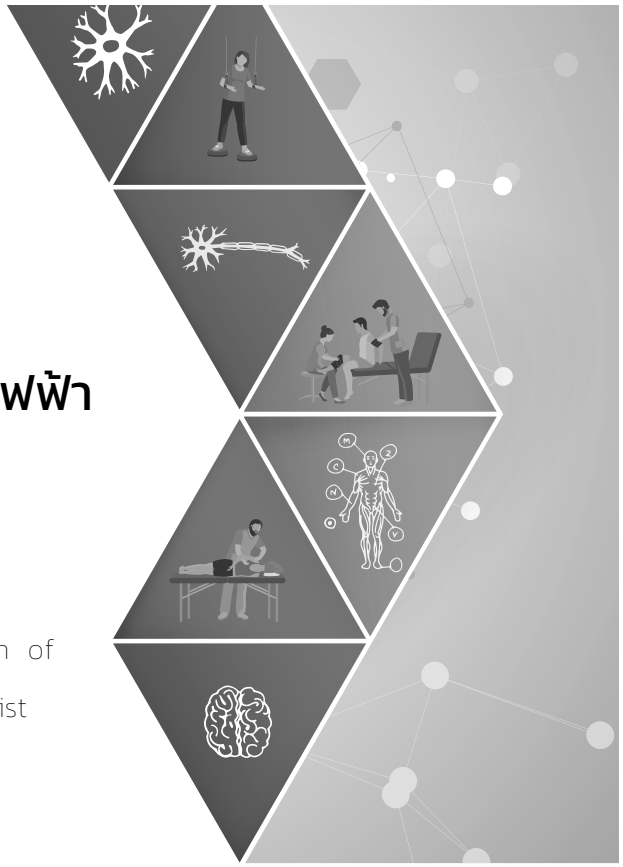
ระบบควบคุมวงปิด (Closed-loop control) หรือระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback control) คือระบบที่มีการใช้ค่าที่วัดจากเอาต์พุต (Output) หรือผลลัพธ์ (Outcome) มาคำนวณค่าการควบคุมและส่งผลป้อนกลับ (Feedback) ไปที่ตัวควบคุมหลัก เพื่อนำกลับมาบ่งชี้ถึงลักษณะการควบคุมครั้งต่อไป เช่น ระบบลูกลอยของชักโครก ซึ่งเมื่อน้ำเต็มระบบจะหยุดการไหลของน้ำเอง แต่ถ้าขาดน้ำระบบก็จะเติมน้ำเองจนเต็มและหยุดการไหลของน้ำเองโดยอัตโนมัติ เป็นต้น

1. หลักการควบคุมป้อนกลับ (Feedback control systems)

คำว่า *"การป้อนกลับชีวภาพ"* (Biofeedback) ถูกนำมาใช้โดย Wiener, 1948 ซึ่งได้นำเอาวิธีการควบคุมนี้ไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมระบบ ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมและทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "ระบบป้อนกลับ" (Feedback system) เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของระบบการควบคุมเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ โดยนิยมใช้แบบการควบคุมชนิดนี้ (Low, 1994) หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมระบบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย "การป้อนกลับ" (Feedback) คือสัญญาณจากเอาต์พุต (System output) จะถูกตรวจจับโดยระบบตัวตรวจจับเซนเซอร์ (Sensor system) และถูกนำไปเทียบเคียงหรือหักล้างจากสัญญาณอ้างอิง (Reference input) เพื่อที่จะวัดความคลาดเคลื่อน (Measured error) (ผลต่างระหว่างค่าที่ผู้ออกแบบต้องการและสัญญาณจากตัวตรวจจับ) สัญญาณที่ได้มาใหม่นั้นจะถูกนำไปป้อนกลับเข้าสู่ตัวควบคุม (Controller) และตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุม (System input หรือ Control signal) ป้อนสู่ระบบปฏิบัติการ (Dynamic systems) อีกครั้ง หลังจากนั้นจะนำสัญญาณขาออกของระบบปฏิบัติการซึ่งอาจเป็นได้ทั้งเชิงบวก (+ Signal) หรือเชิงลบ (- Signal) มาป้อนสู่ระบบป้อนกลับ (Feedback) ต่อไปเช่นนี้เรื่อย ๆ กลายเป็นวงจรย้อนกลับชนิด ระบบควบคุมวงปิด (Closed-loop control) (ภาพ 15.2) (Basmajian, 1979; Low, 1994; Krebs, 1994)



ภาพ 15.1 ระบบการควบคุมแบ่งออกได้เป็น ก.ระบบควบคุมวงเปิด (Open-loop control) และ ข.ระบบควบคุมวงปิด (Closed-loop control)



บทที่ 16

พื้นฐานการประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้าของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อสำหรับนักกายภาพบำบัด

Basic of Electrophysiological Evaluation of Neuromuscular Condition for Physical Therapist

พื้นฐานการประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า (Electrophysiological evaluation) ของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ (Electroneuro-myography) เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้นักกายภาพบำบัดเข้าใจหลักการของการตรวจสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งแพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู (Physical medicine and rehabilitation, PM&R) จะเป็นผู้ทำการตรวจ ทำการซักประวัติผู้ป่วย ตรวจร่างกาย และส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการด้วยวิธีอื่น ๆ รวมถึงการใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าช่วยตรวจวินิจฉัย เพื่อใช้ในการช่วยวินิจฉัยโรคและบ่งบอกถึงพยาธิสภาพของผู้ป่วย การใช้เครื่องมือประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้าเพื่อช่วยวินิจฉัยโรคหรือความผิดปกติของร่างกาย เรียกว่า “การตรวจวินิจฉัยด้วยไฟฟ้า” (Electrodiagnosis testing) ทั้งนี้เพื่อให้นักกายภาพบำบัดเข้าใจหลักการพื้นฐานของการตรวจ ความแปลความหมายของการตรวจเบื้องต้น และสามารถสื่อสารกับแพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟูหรือทีมเวชศาสตร์ฟื้นฟูได้ ในบทนี้จึงจะขอกล่าวถึงการตรวจวินิจฉัยด้วยกระแสไฟฟ้าที่พบได้บ่อยในทางการรักษาด้วยวิธีกายภาพบำบัด (Physical therapy techniques)

1. ความสำคัญและข้อบ่งชี้ ของการตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า

จากพื้นฐานทางสรีรวิทยาของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อพบว่า การตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้าทางประสาทสรีรวิทยาจะเห็นได้ชัดเจนประมาณ 3 – 4 สัปดาห์ หลังจากการบาดเจ็บ หรือหลังเกิดพยาธิสภาพมีรอยโรค ดังนั้นการตรวจไฟฟ้าวินิจฉัยจึงนิยมทำภายหลังบาดเจ็บประมาณ 3 ถึง 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ป่วยมีรอยโรคไม่เด่นชัดหรือยากต่อการวินิจฉัย แพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟูสามารถตรวจก่อนหรือหลังจากระยะเวลาเหล่านี้ได้เพื่อจะได้ช่วยในการตัดสินใจในการรักษา การตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์และข้อบ่งชี้การตรวจดังนี้

วัตถุประสงค์ (Objective) ของการตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า (Gersh, 1992; Nelson, 1991; Robinson, 2008) ได้แก่

- ช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับมอเตอร์ยูนิต (Motor unit)
- ช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับเส้นประสาทรับความรู้สึก (Sensory nerve)
- ช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับเส้นประสาทสั่งการ (Motor nerve)
- ช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับการตอบสนองของระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic response)
- ช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับรอยต่อระหว่างประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction, NMJ disease)
- ช่วยระบุพยาธิสภาพของระบบประสาทและหรือกล้ามเนื้อของรูปแบบโรคทางระบบประสาท (Neuropathic pattern) และโรคกล้ามเนื้อ (Myopathic pattern)
- ช่วยในการพยากรณ์โรค (Prognosis) ของกล้ามเนื้อและเส้นประสาท

ข้อบ่งชี้ (Indication) ของการส่งตรวจประเมินสรีรวิทยาไฟฟ้า (Gersh, 1992; Nelson, 1991; Robinson, 2008) ได้แก่

- พยาธิสภาพและรอยโรคของระบบประสาทส่วนปลาย เช่น เส้นประสาท (Nerve) ทั้งแบบเส้นเดียวหรือหลายเส้น
- พยาธิสภาพและรอยโรคของรากประสาท (Nerve root lesion)
- พยาธิสภาพและรอยโรคของร่างแหประสาท (Plexus nerve lesion)
- พยาธิสภาพบริเวณรอยต่อระหว่างประสาทและกล้ามเนื้อ (NMJ lesion)
- พยาธิสภาพของโรคทางมอเตอร์นิวรอน (Motor neuron disease)
- พยาธิสภาพของโรคทาง Autonomic dysfunction or small fiber neuropathy (SFN)
- พยาธิสภาพและรอยโรคของกล้ามเนื้อ เช่น Myopathy, Myositis เป็นต้น
- การระบุระดับของความรุนแรง (Severity of pathology) ของพยาธิสภาพ/รอยโรค/การบาดเจ็บ เช่น เกิดรอยโรคเฉพาะเส้นประสาทรับความรู้สึก หรือเกิดรอยโรคเฉพาะเส้นประสาทสั่งการ หรือเกิดทั้งสองส่วน เป็นต้น
- ใช้ตรวจประเมินแยกระหว่างรอยโรคของแอกซอน (Axonal lesion) หรือเฉพาะรอยโรคไมอิลีนสลายตัว (Demyelinating lesion)
- ติดตามผลของการรักษา หรือการฟื้นคืนสภาพ (Recovery stage)
- ติดตามและประเมินการเชื่อมโยงของสัญญาณจากเส้นประสาทผ่านไขสันหลังไปสู่สมอง

บทที่ 17

พื้นฐานของการบาดเจ็บและอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

Basic of Electrical Injury

แม้ว่าการบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้า (Electrical injury) พบได้ไม่บ่อยในทางคลินิก แต่อย่างไรก็ตาม นักกายภาพบำบัดควรต้องมีความรู้ถึงอันตรายและชนิดของการบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้า รวมถึงควรทราบวิธีการป้องกันและช่วยเหลือเบื้องต้นจากการได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นขณะที่กำลังรักษาผู้ป่วยด้วยกระแสไฟฟ้าบำบัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอันตรายจาก ไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit) ซึ่งเป็นภาวะที่กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร แต่กระแสไฟฟ้าไม่ผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากสายไฟมีการชำรุด ทำให้ส่วนที่ไม่มีฉนวนหุ้มเกิดการแตะกันและทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดการไหลผ่านบริเวณที่แตะกันแทน (เกิดการลัดวงจร) โดยไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งบริเวณที่เกิดการแตะกันของสายไฟจะทำให้เกิดความร้อนสูงมากและอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้ นอกจากนี้ อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่พบได้บ่อยคือ ไฟฟ้าดูด หรือ ไฟฟ้าช็อต (Electrical shock) ซึ่งเกิดจากภาวะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย โดยถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าสู่ร่างกายมีแรงดันกระแสไฟฟ้าระดับต่ำ (Low voltage, 220 โวลต์, V) จะทำให้เกิดอันตรายรุนแรงต่อเนื้อเยื่อภายในร่างกายหรืออาจทำให้เกิดเสียชีวิตได้ แต่ถ้าได้รับแรงดันกระแสไฟฟ้าระดับสูง (High voltage, มากกว่า 1,000 โวลต์) ไหลผ่านเข้าร่างกายมักจะทำให้เสียชีวิตในที่เกิดเหตุทันที เนื่องจากกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงจะไหลผ่านหัวใจ ซึ่งมีผลทำให้คลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ (Ventricular fibrillation) และทำให้หัวใจหยุดทำงาน (Asystole) รวมถึงกล้ามเนื้อหายใจเป็นอัมพาตได้ทันที (Paralysis of the respiratory muscles) อย่างไรก็ตาม ระดับความรุนแรงจากการบาดเจ็บด้วยกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระดับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะต่าง ๆ ที่เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ผิวหนัง กล้ามเนื้อ กระดูก อวัยวะภายในช่องท้อง รวมถึงระบบประสาท จึงมีผลทำให้การเกิดความรุนแรงจากการบาดเจ็บมีความแตกต่างกัน (Kouwenhoven, 1979; Browne, 1992; Koumbourlis, 2002)

1. กระแสไฟฟ้า (Electrical current)

ฟ้าผ่า (Lightning) จัดเป็นอันตรายรูปแบบหนึ่งจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดตามธรรมชาติ โดยเป็นที่ทราบกันดีถึงพลังธรรมชาติที่มีพลังงานมหาศาล ตั้งแต่สมัยกรีกโบราณซึ่งเทพเจ้าซีอุส (Zeus) ที่มีอาวุธเป็นสายฟ้าหรือฟ้าผ่าใช้ในการต่อสู้กับฝ่ายตรงข้าม หรือการลงโทษสรรพสิ่งในโลกมนุษย์ตามความเชื่อของคนยุคโบราณ หรือการพบปลาไฟฟ้าในยุคอียิปต์โบราณ หรือปลาดุกไฟฟ้า (Electrical catfish) ในสมัยกรีก-โรมัน การค้นพบกระแสไฟฟ้านั้นเริ่มตั้งแต่ประมาณช่วงกลางของยุค ค.ศ. 1800 ซึ่งเริ่มมีการใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนเป็นต้นมา ในปี พ.ศ. 2374 ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) นักเคมีและฟิสิกส์ของอังกฤษได้ประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นครั้งแรก (Kouwenhoven, 1979; Browne, 1992; Koumbourlis, 2002) สำหรับประเทศไทย เริ่มมีการนำไฟฟ้ามาใช้ในช่วงปี พ.ศ. 2427 ในสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) หลังจากที่มีเจ้านายเสด็จไปกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส และกราบทูล จึงมีพระราชดำริให้สร้างเครื่องจ่ายไฟใช้ในปีนั้น (วิภารัตน์ ดีอ่อง, 2534)

กระแสไฟฟ้า (Electrical current) คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (Electron) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (Negative charge, -) เคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้าเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า โดยมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Amperes: I) กระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current : DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative current : AC) ซึ่งมีความแตกต่างกันของรูปแบบกระแสไฟฟ้า โดยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จะมีการไหลของกระแสไฟฟ้าตลอดเวลาในทิศทางเดียว ส่วนกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) พบว่ากระแสไฟจะไหลตลอดเวลาสองทิศทาง และเกิดการสลับทิศทางของกระแสไฟฟ้าในรูปของคลื่นไซน์ (Sine wave) ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) พบได้ตามเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือแหล่งพลังงานต่าง ๆ เช่น แบตเตอรี่ ในทางตรงข้าม ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) พบได้ในอาคารบ้านพักต่าง ๆ ซึ่งเป็นกระแสไฟสลับที่มีความถี่มาตรฐาน 50-60 รอบต่อวินาที (เฮิรตซ์ : Hertz, Hz) กระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาตามสายไฟฟ้าหลักจะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) 1,000 โวลต์ และจะถูกทำให้เปลี่ยนเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำลงเหลือเป็น 220 โวลต์ (ในแถบเอเชีย) และ 120/240 โวลต์ (ในสหรัฐอเมริกา และแคนาดา) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบถึงอันตรายจากกระแสไฟฟ้าพบว่าไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ทำให้เกิดอันตรายมากกว่าไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ได้ประมาณ 3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จะทำให้เกิดกล้ามเนื้อหดเกร็งตัวค้าง (Tetanic muscle contraction) และไม่สามารถปล่อยมือออกหรือดึงส่วนของร่างกายออก เมื่อเกิดการสัมผัสกับกระแสไฟฟ้าที่มีไฟรั่ว เช่น การกำมือแน่นมากขึ้นเมื่อจับสายไฟที่มีไฟรั่ว ไฟดูด หรือไฟฟ้าช็อต (Electric shock) ทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าร่างกายได้นานขึ้น จึงทำให้ร่างกายได้รับอันตรายในระดับที่รุนแรง (กรเกียรติ วงศ์ไพศาลสิน, 2548; ชัยรัตน์ บุรุษพัฒน์, 2554)

2. การเกิดไฟฟ้าช็อต (Electric shock)

การเกิดไฟฟ้าดูด หรือ ไฟฟ้าช็อต (Electric shock) จะเกิดได้เมื่อส่วนของร่างกายเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าและครบวงจร โดยกระแสไฟฟ้านั้นจะต้องมีระดับกระแสไฟฟ้าสูงเพียงพอที่ทำให้เกิดอันตรายได้ เช่น

สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

สั่งซื้อหนังสือออนไลน์
จัดส่งถึงบ้านสะดวกรวดเร็ว

สั่งซื้อทันที

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่
ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

nuph@nu.ac.th
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
0 5596 8833-8836
nu_publishing

NUPH
online store
www.nupress.grad.nu.ac.th