

ผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ Tibialis anterior และ Gastrocnemius ในเด็กสมองพิการประเภทหดรัดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตก  
Immediate Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation on Tibialis Anterior and Gastrocnemius Muscles in Spastic Hemiplegia Cerebral Palsy Children with Foot Drop

วารางคณา คองอ้วน (Warangkana Kong-uan)\* ดร.วนิดา ดรปัญญา (Dr.Wanida Donpunha)\*\*

ดร.ครุศาสตร์ คนหาญ (Dr.Kurusart Konharn)\*\* ดร.ทิวาพร ทวีวรรณกิจ (Dr.Thiwabhorn Thaweewannakij)\*\*

**บทคัดย่อ**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ในเด็กสมองพิการประเภทหดรัดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตก อาสาสมัครจำนวน 16 คน คน อายุเฉลี่ย  $13.56 \pm 2.33$  ปี ได้รับการสุ่มและแบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 8 คน ก่อนและหลังการทดลองได้รับการประเมินความเร็วการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อข้อเท้า การหดรัดเกร็งของกล้ามเนื้อ และองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้า กลุ่มทดลองได้รับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าที่กล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius เป็นเวลา 20 นาทีต่อมัด รวม 40 นาที กลุ่มควบคุมได้รับการนอนพัก ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius และมีช่วงการเคลื่อนไหวในทิศทางการงอข้อเท้าเพิ่มขึ้นแบบทำให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาบ่งชี้ได้ว่าโปรแกรมการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในการศึกษานี้จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius ในเด็กสมองพิการประเภทหดรัดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตกได้ และในอนาคตควรมีการศึกษาผลระยะยาวต่อไป

**ABSTRACT**

The aim of this study was to investigate the immediate effect of neuromuscular electrical stimulation (NMES) on tibialis anterior and gastrocnemius muscles in spastic hemiplegia cerebral palsy (CP) children with foot drop. Sixteen participants, age  $13.56 \pm 2.33$  years, were randomly assigned to the experimental group (EG) and control group (CG), eight participants per group. Before and after the experiment, walking speed, ankle muscle strength, spasticity, and ankle range of motion were assessed. The EG received NMES on tibialis anterior and gastrocnemius muscles for 20 minutes per bundle, for a total of 40 minutes, and the CG received bed rest. The results showed that there were significant improvements in gastrocnemius muscle strength and PROM of ankle dorsiflexion in the EG group when compared with baseline measurement. The findings indicated that the program of Neuromuscular electrical stimulation in this study increased gastrocnemius muscle strength in spastic hemiplegia cerebral palsy children with foot drop. In the future, the long-term effects of NMES should be studied.

**คำสำคัญ:** การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า ความเร็วการเดิน ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ

**Keyword:** Neuromuscular electrical stimulation, Walking speed, Muscle strength

\*นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทนำ

โรคสมองพิการ (Cerebral palsy) เป็นความผิดปกติของการพัฒนาในสมองแบบถาวรแต่ไม่ลุกลาม มักปรากฏในเด็กแรกเกิดหรือเด็กที่คลอดก่อนกำหนด (Miller, Bachrach, 2006) มีการรายงานความชุกของโรคที่เกิดอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 ถึงมากกว่า 4 ต่อเด็กแรกเกิด 1000 รายในโลก (Arneson et al., 2009) พบว่าเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งแบบครึ่งซีก (Spastic hemiplegia) เป็นอาการของโรคที่กระทบต่อการควบคุมความสมดุลของร่างกายอีกซีกหนึ่ง และส่งผลต่อคุณภาพของการเคลื่อนไหวและการเดิน (Janet, 1991) ความไม่สมดุลระหว่างการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อและการหดเกร็งของกล้ามเนื้อขา และพบว่ากลุ่มกล้ามเนื้อขาส่วนปลายมีความอ่อนแรงที่มากกว่ากลุ่มกล้ามเนื้อขาส่วนต้น (Jung et al., 2013) เนื่องจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการกระดกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexor) ทำให้ไม่สามารถออกแรงให้ส้นเท้าสัมผัสพื้นได้และการหดเกร็งของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเหยียดปลายเท้าลง (ankle plantar flexor) เกิดการเคลื่อนไหวที่มากเกินไปในช่วงที่ยกเท้าพ้นพื้น จึงเกิดภาวะข้อเท้าตก ซึ่งเป็นปัญหาหลักในเด็กสมองพิการประเภทนี้ และยังมีปัญหาอื่นร่วม เช่น การกระดกข้อเท้าขึ้นได้น้อยลง (ankle dorsiflexion) การเปลี่ยนแปลงมุมข้อเท้าในช่วงรับน้ำหนัก (stance phase) และช่วงก้าวขา (swing phase) ทำให้ผู้ป่วยยกเท้าไม่พ้นพื้น (Orlin et al., 2005) ความผิดปกติเหล่านี้เป็นผลให้เกิดปัญหาของการเคลื่อนไหวที่ เช่น ความไม่มั่นคงในการเดิน เดินช้าลง ระยะก้าวสั้น และยิ่งส่งผลต่อความเสี่ยงของการสะดุดและหกล้ม (Prosser et al., 2012)

เนื่องจากปัญหาหลักที่ได้กล่าวมา การรักษาทางกายภาพบำบัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเดิน โดยเพิ่มความแข็งแรงและการลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อขาจึงมีความจำเป็น ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการรักษาถึงประโยชน์ของการเพิ่มความแข็งแรงและการลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อการเดินในเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีกมากมาย โดยเฉพาะการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าที่ช่วยให้ระบบประสาทส่วนกลางรวบรวมหน่วยประสาทยนต์ (motor unit recruitment) รวมถึงระยะเวลาในการรักษาก็มีความจำเป็นต่อการกลับไปใช้ชีวิตประจำวันของเด็กสมองพิการประเภทนี้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนใหญ่มักเป็นการศึกษาผลระยะยาวของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Pool et al., 2016; Hazelwood et al., 2008) และในการศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า ที่ทำการศึกษาในกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักที่ทำให้เกิดภาวะข้อเท้าตก รวมถึงผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ายังไม่เพียงพอว่า สามารถเพิ่มความเร็วการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อและเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวในข้อเท้าได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ในเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตกต่อความเร็วการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การหดเกร็งของกล้ามเนื้อขา และช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

## วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม มีการปกปิดข้อมูลอาสาสมัครจากผู้วัดข้อมูล วัดผลการศึกษาก่อนและหลังการทดลอง โดยมีรูปแบบการทดลองดังนี้

อาสาสมัครเป็นนักเรียนที่ศึกษาในโรงเรียนศรีสังวาลย์ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยมีเกณฑ์การกำหนดคุณสมบัติการคัดเลือกอาสาสมัครให้เข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ คือ อาสาสมัครได้รับการวินิจฉัยเป็นเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีก (Spastic hemiplegia) ที่มีภาวะข้อเท้าตก จากนั้นกายภาพบำบัดชำนาญการทางเด็ก อายุระหว่าง 7-18 ปี มีสติการรับรู้ที่ดี สื่อสารเข้าใจและสามารถทำตามคำสั่งได้ มีระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (Gross Motor Function Classification System: GMFCS) ในระดับ 1 หรือ 2 คือสามารถเดินร่วมกับการใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดินก็ได้ ผู้วิจัยสามารถยืดกล้ามเนื้อ gastrocnemius แบบทำให้ (Passive stretching) ได้อย่างน้อย 5 องศา สามารถเดินได้อย่างน้อย 10 เมตร ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดินก็ได้ ในอาสาสมัครได้รับการรักษาโดยการฉีดยาเพื่อยับยั้งการทำงานของระบบประสาทเพื่อลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ หรือการผ่าตัดที่รยางค์ล่าง มีภาวะข้อเท้าติดหรือผิดรูป มีการรักษาอื่น ๆ ในการป้องกันภาวะเกร็ง เช่นการฉีดยา botulinum toxin ภายใน 3 เดือนที่ผ่านมาหรือการผ่าตัดภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา จะถูกคัดออกจากการศึกษา

การคำนวณขนาดตัวอย่างอาสาสมัครจากการศึกษาที่ผ่านมา (Mahmoud, Elnagger, 2016) อาสาสมัครผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจำนวน 16 คน หลังการคัดกรองผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์ วิธีการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นของอาสาสมัครระหว่างการวิจัย โดยมีการขอความยินยอมจากผู้ปกครองและการขอความยินยอมจากอาสาสมัครเมื่ออาสาสมัครและผู้ปกครองยินยอมเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ อาสาสมัครต้องประทับลายนิ้วมือและให้ผู้ปกครองลงชื่อยอมรับการเข้าร่วมงานวิจัย อาสาสมัครได้รับการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการสุ่มแบ่งชั้น โดยใช้การแบ่งเพศในอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง ได้รับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (NMES) และกลุ่มควบคุม ได้รับการนอนพัก โดยวิธีการวิจัยของการศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากศูนย์จริยธรรมงานวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (HE632302)

### โปรแกรมการทดลอง

ก่อนการทดลอง อาสาสมัครได้รับการยืดกล้ามเนื้อ gastrocnemius ค้างแบบทำให้ (passive stretching) เป็นเวลา 20 วินาที 4 เซต พักระหว่างเซต 30 วินาที รวมทั้งหมด 3 นาที (Trew, Everett, 2001) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ gastrocnemius

กลุ่มทดลอง ได้รับโปรแกรมการทดลอง คือ การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Neuromuscular electrical stimulation: NMES) หลังอาสาสมัครได้รับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ gastrocnemius หลังจากนั้นได้รับการรักษาโดยใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius โดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า Gymna duo 500 ทำการวางแผนอิเล็กทรอนิกส์โทรดบนผิวหนังหนึ่งระหว่าง 2/3 กล้ามเนื้อส่วนปลายของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ในข้างที่มีพยาธิสภาพ ตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้ารูปแบบคลื่น Biphasic surge symmetrical wave ความถี่ 40 Hz ช่วงเวลาการกระตุ้น 350  $\mu$ s (Pulse duration) ช่วงปล่อยไฟ:ช่วงพัก (On: Off) 4:8 ระยะเวลา 20 นาที/มัดกล้ามเนื้อ รวม 40 นาที (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ท่าทางในการกระตุ้นในกล้ามเนื้อ (ก) กล้ามเนื้อ tibialis anterior (ข) กล้ามเนื้อ gastrocnemius

กลุ่มควบคุม หลังอาสาสมัครได้รับการยืดกล้ามเนื้อแล้ว จากนั้นได้รับการนอนพัก เป็นเวลา 40 นาที (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ท่าทางในขณะนอนพักของอาสาสมัครกลุ่มควบคุม

หลังการทดลองในแต่ละกลุ่ม อาสาสมัครได้รับการยืดกล้ามเนื้อ gastrocnemius ค้างแบบทำให้ (passive stretching) อีกครั้ง เป็นเวลา 20 วินาที 4 เซต พักระหว่างเซต 30 วินาที รวมทั้งหมด 3 นาที (Trew, Everett, 2001)

#### การประเมินผลลัพธ์ของการศึกษา

**การประเมินความเร็วการเดิน โดยใช้ Ten meter walk test (10 MWT)**

ให้อาสาสมัครเดินให้เร็วที่สุดเท่าที่ทำได้ เป็นระยะทาง 14 เมตร โดยใช้นาฬิกาดิจิตอลในการจับเวลา โดยจะทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ ระยะเวลาการพัก 5 นาทีต่อรอบ (Bahrami et al., 2016)

**การประเมินการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius โดยใช้ Modified Ashworth scale (MAS)**

อาสาสมัครอยู่ในท่านอนหงาย เข่าเหยียดตรง ข้อเท้าท่าทางปกติ ผู้วัดวางมือที่อุ้งเท้าบริเวณ (metatarsal bone) มืออีกข้างจับข้อเข่าให้คงที่ จากนั้นให้แรงไปในทิศทางกระดูกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexion) (Mahmoudzadeh et al., 2020) ทำการทดสอบ 3 รอบและพักระหว่างรอบ 30 วินาที

**การประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ Tibialis anterior และ Gastrocnemius โดยใช้ hand held Dynamometer (Lafayette manual muscle testing system model 01165)**

อาสาสมัครอยู่ในท่านอนหงาย เข่าเหยียดตรง ข้อเท้าท่าทางปกติ การประเมินความแข็งแรงกล้ามเนื้อ tibialis anterior โดยผู้วัดวางเครื่องมือที่ด้านหลังเท้าบริเวณ (metatarsal bone) และออกคำสั่งให้อาสาสมัครกระดูกข้อเท้าขึ้นมากที่สุดเท่าที่ทำได้ด้านกับเครื่องมือ เกร็งค้างไว้ 5 วินาที แต่ละครั้ง ทำการทดสอบ 3 รอบและพักระหว่างรอบ 30 วินาที การประเมินความแข็งแรงกล้ามเนื้อ gastrocnemius ผู้วัดวางเครื่องมือที่บริเวณอุ้งเท้าบริเวณ (metatarsal bone) และออกคำสั่งให้อาสาสมัครเหยียดปลายเท้าลงมากที่สุดเท่าที่ทำได้ด้านกับเครื่องมือ เกร็งค้างไว้ 5 วินาที บันทึกค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจากเครื่องมือ ทำการทดสอบ 3 รอบ และพักระหว่างรอบ 30 วินาที (Crompton et al., 2007)

### การประเมินช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า โดยใช้ Plastic goniometer

โดยประเมินทั้งช่วงการเคลื่อนไหวที่อาสาสมัครสามารถทำเอง (active range of motion) และช่วงองศาการเคลื่อนไหวแบบทำให้ (passive range of motion) โดยจะวางเครื่องมือ Plastic goniometer ที่ตำแหน่งบ่งชี้ อาสาสมัครอยู่ในท่านอนหงาย หมอนวางรองใต้เข่า การประเมินช่วงการเคลื่อนไหวการกระดกข้อเท้าขึ้น (Ankle dorsiflexion) ผู้วิจัยออกคำสั่งให้อาสาสมัครกระดกข้อเท้าขึ้นให้มากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยออกแรงช่วยเพิ่มจนรู้สึกถึงแรงต้านทานแล้วผ่อนออก การประเมินช่วงการเคลื่อนไหวการเหยียดปลายเท้าลง (Ankle plantar flexion) ผู้วิจัยออกคำสั่งให้อาสาสมัครเหยียดปลายเท้าลงให้มากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยออกแรงช่วยเพิ่มจนรู้สึกถึงแรงต้านทานแล้วผ่อนออก โดยแต่ละการทดสอบทำการทดสอบ 3 รอบและพักระหว่างรอบ 30 วินาที (Trew, Everett, 2001)

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ ในกรณีที่มีการกระจายตัวปกติ โดยใช้ Shapiro-Wilk's test ใช้สถิติ Descriptive analyze ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกายของอาสาสมัคร การใช้ Paired sample t- test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดิน ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ และช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า ก่อนและหลังการทดลองทั้งสองกลุ่ม การใช้ Independent samples t-test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดิน ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ และช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าระหว่างกลุ่ม ในกรณีที่มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ใช้สถิติ Wilcoxon rank test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองภายในกลุ่ม และใช้ Mann-Whitney U test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม และใช้สถิติ Chi-Square test เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระดับการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ gastrocnemius

### ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ในเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตก อายุ 7-18 ปี จำนวน 16 เพศชาย 6 คน เพศหญิง 10 คน ถูกแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 8 คน และกลุ่มควบคุม 8 คน ด้วยการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) ด้วยเพศ เพื่อให้อาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม มีเพศหญิงและชายจำนวนใกล้เคียงกันมากที่สุด อาสาสมัครทุกคนมีระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (GMFCS) ในระดับ 1 และสามารถเดินได้ด้วยตนเองโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน สำหรับลักษณะทั่วไป ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกายของอาสาสมัครกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัคร 16 คน

คุณลักษณะ	กลุ่มทดลอง 8 คน	กลุ่มควบคุม 8 คน	p-value
เพศ: ชาย/หญิง	3/5	5/5	-
อายุ (ปี)	13.50±2.33	13.63±2.50	0.92
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	46.25±4.80	42.25±14.71	0.93
ส่วนสูง (เมตร)	1.49±0.06	1.50±0.11	0.48
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร <sup>2</sup> )	20.65±2.43	18.50±4.42	0.25

แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD)

**ตารางที่ 2** ความเร็วการเดินในอาสาสมัครในอสสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม

ตัวแปร	กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม		
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง
ความเร็วการเดิน (เมตร/วินาที)	1.34±0.44	1.41±0.47	0.07±0.16	1.52±0.20	1.60±0.26	0.08±0.17

แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD)

**ตารางที่ 3** ระดับการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ gastrocnemius ในอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม

ตัวแปร	ระดับ MAS	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม	
		ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
การหดเกร็งของกล้ามเนื้อ n (%)	ระดับ 4	3(37.5 %)	3(37.5 %)	1(12.5 %)	1(12.5 %)
	ระดับ 3	4(50 %)	4(50 %)	6 (75 %)	6 (75 %)
	ระดับ 2	1(12.5 %)	1(12.5 %)	1(12.5 %)	1(12.5 %)

MAS: Modified Ashworth scale

### ผลการประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ Tibialis anterior และ Gastrocnemius

ผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius ก่อนและหลังการทดลองในกลุ่มทดลอง พบว่ามีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.04$ ) โดยพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มควบคุม ( $p = 0.40$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius ทั้งค่าก่อนการทดลองและค่าหลังการทดลอง ( $p = 0.57$  และ  $0.83$  ตามลำดับ) สอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)/น้ำหนักตัวของอาสาสมัคร (กิโลกรัม) โดยพบว่าไม่มีเฉพาะค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius/น้ำหนักตัว ก่อนและหลังการทดลองในกลุ่มทดลองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.04$ ) โดยพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มควบคุม ( $p = 0.89$ ) ) และพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งค่าก่อนการทดลอง และค่าหลังการทดลอง ( $p = 0.10$  และ  $0.15$  ตามลำดับ) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม (ตารางที่ 4)

ผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior ระหว่างก่อนและหลังการทดลองในกลุ่มทดลองและในกลุ่มควบคุมพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.67$  และ  $0.35$  ตามลำดับ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior ทั้งค่าก่อนการทดลองและค่าหลังการทดลอง ( $p = 0.22$  และ  $0.14$  ตามลำดับ) ผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior (กิโกรัม)/น้ำหนักตัวของอาสาสมัคร (กิโกรัม) ระหว่างก่อนและหลังการทดลองในกลุ่มทดลองและในกลุ่มควบคุมพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.66$  และ  $0.88$  ตามลำดับ) และพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งค่าก่อนการทดลองและค่าหลังการทดลอง ( $p = 0.34$  และ  $0.08$  ตามลำดับ) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ Tibialis anterior และ Gastrocnemius ในอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม

ตัวแปร	กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม		
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง
<b>ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (กิโกรัม)</b>						
Tibialis anterior	1.66±1.23	1.70± 1.28	0.04±0.23	2.30±0.64	2.76±1.32	0.46±1.29
Gastrocnemius	3.47±1.30	3.77± 1.45*	0.30±0.31	3.51±0.94	4.03±2.09	0.52±1.50
<b>ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (กิโกรัม/น้ำหนักตัว)</b>						
Tibialis anterior	0.036±0.025	0.037±0.026	0.001±0.005	0.060±0.029	0.064±0.011	0.003±0.033
Gastrocnemius	0.074±0.021	0.081±0.024*	0.006±0.006	0.092±0.038	0.094±0.018	0.002±0.038

แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD)

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติระหว่างก่อนทดลองและหลังทดลอง ( $p < 0.05$ ) ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon sign rank test

#### ผลการประเมินช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

ผลการประเมินพบว่าช่วงการเคลื่อนไหวการกระดกข้อเท้าขึ้นแบบทำให้ระหว่างก่อนและหลังการทดลองในกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.02$ ) โดยไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มควบคุมและเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทั้งทั้งค่าก่อนและหลังการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของช่วงการเคลื่อนไหวในท่าเหยียดปลายเท้าลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดลองภายในกลุ่มเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ทั้งการเคลื่อนไหวเองและเคลื่อนไหวแบบทำให้ (ตารางที่ 5)



**ตารางที่ 5** ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม

ตัวแปร	กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม		
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ค่าความแตกต่าง
<b>กระดูกข้อเท้าขึ้น (องศา)</b>						
เคลื่อนไหวเอง	7.90±7.63	7.60±6.48	0.29±2.18	10.92±8.78	10.17±7.05	0.75±3.11
เคลื่อนไหวแบบทำให้	22.42±7.08	26.62±5.62*	4.21±3.96	19.88±6.48	20.92±6.48	1.04±2.58
<b>การเหยียดปลายเท้าลง (องศา)</b>						
เคลื่อนไหวเอง	9.92±5.32	10.63±5.66	0.71±1.16	11.46±8.43	12.54±9.14	1.08±1.86
เคลื่อนไหวแบบทำให้	21.33±4.89	22.79±5.54	1.46±4.57	23.25±8.37	24.86±9.50	1.63±3.04

แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD)

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติระหว่างก่อนทดลองและหลังทดลอง ( $p < 0.05$ ) ทดสอบโดยใช้สถิติ Paired sample t- test

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เพื่อศึกษาถึงผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในเด็กสมองพิการประเภทหดรัดครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตกในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เพื่อประเมินความเร็วการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การหดเกร็งของกล้ามเนื้อและช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า โดยผลการศึกษาพบว่าผลความเร็วของการเดินของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากปัจจัยมากมายที่ส่งผลต่อผลการศึกษาที่ไม่ชัดเจนนี้ เนื่องจากในเด็กสมองพิการประเภทหดรัดครึ่งซีกจะมีปัญหาในเรื่องความไม่สมดุลต่อการเคลื่อนไหวและความมั่นคงของร่างกาย ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวในรูปแบบการเดิน อย่างไรก็ตาม รูปแบบของการเดินประกอบด้วยการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างค้ำหลายมัดเพื่อให้เกิดการเดินอย่างมั่นคง ซึ่งในการศึกษานี้การกระตุ้นที่กล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius พบว่าค่าความเร็วการเดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นอาจไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นเฉพาะกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius เป็นไปได้ว่ามัดกล้ามเนื้อที่กระตุ้น และระยะเวลาไม่เพียงพอต่อการเพิ่มความแข็งแรงและลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อได้มีการศึกษาการตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกันของ Orlin et al. (2005) ที่ทำการศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นไฟฟ้า ระยะเวลา 1 สัปดาห์และพบว่าค่าเฉลี่ยของช่วงของการกระดูกข้อเท้าขึ้น และความเร็วของการเดินมีการเพิ่มขึ้น 4.84 (4.55) และ 0.03 (0.09) ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีงานของ Park and Wang (2017) ที่ทำการศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นไฟฟ้าเพียงครั้งเดียวรวมกับการออกกำลังกายเพื่อบำบัดรักษาผลการศึกษาพบว่า ความเร็วของการเดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลอง

ผลการศึกษการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ (Spasticity) พบว่าทั้งสองกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ gastrocnemius อาจเกิดจากเครื่องมือในการวัด เนื่องจากเครื่องมือที่วัดเป็นเครื่องมือมาตรฐาน ใช้โดยทั่วไป แต่มีข้อจำกัดในช่วงของระดับเกณฑ์การวัด อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่วัดนั้นขึ้นอยู่กับช่วงการเคลื่อนไหว ถ้าช่วงการเคลื่อนไหวที่แคบ ยากต่อการประเมินระดับที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ที่มีการวัดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ gastrocnemius ที่มีช่วงองศาการเคลื่อนไหวที่แคบจึงทำให้ระดับของการวัดไม่ชัดเจนนัก นอกจากนี้ยัง



การศึกษาถึงผลระยะยาวของ NMES ที่มีการตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้า คล้ายคลึงกัน ระบุว่า NMES สามารถช่วยในการลดการแข็งเกร็งของกล้ามเนื้อในเด็กสมองพิการได้ (Khalili, Hajihassanie, 2008; Daichman et al., 2003)

ผลการศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พบว่าในกลุ่มทดลองมีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้าที่กล้ามเนื้อ Gastrocnemius ที่ทำให้เกิดการกระตุ้น Passive length tension-curve เมื่อกล้ามเนื้อถูกยืดผ่านช่วง critical length จะทำให้เกิดการสร้างแรงที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อกล้ามเนื้อ Gastrocnemius ได้รับการกระตุ้น กระแสไฟฟ้าจะไปกระตุ้น Action potential ทำให้เกิดแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น (Hunter, Brown, 2010)

ในทางกลับกันความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior ไม่เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากในการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า การปรับความแรงของกระแสไฟฟ้าในระหว่างการทดลองได้ปรับตามความรู้สึกที่อาสาสมัครทนได้และไม่ทำให้รู้สึกเจ็บปวดหรือรู้สึกไม่สบาย ซึ่งในอาสาสมัครบางรายจึงไม่พบการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองอาจจะไม่ถึงระดับ Threshold ที่ทำให้เกิด action potential ได้ โดยในการศึกษาของ Low, Reed (1991) ระบุว่าความสำคัญของการกระตุ้นไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและไม่มีผลข้างเคียง จะต้องติดตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้าที่เหมาะสม ระยะเวลายาวนาน และมีการทำงานซ้ำๆ ถึงแม้ว่าผลทันทีของการศึกษาจะไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior ได้ แต่พบว่ามีการศึกษามากมายที่ศึกษาผลระยะยาวที่มีการตั้งค่าการกระตุ้นไฟฟ้า ใกล้เคียงกันที่บ่งชี้ว่า NMES สามารถช่วยเพิ่มโครงสร้างและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ ดังการศึกษาของ Karabay et al. (2015) ที่ทำการศึกษามูลระยะสั้นของ NMES ต่อโครงสร้างของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ Gastrocnemius เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ Gastrocnemius ในกลุ่มทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลองและเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม และการศึกษาของ Pool et al. (2016) ที่ทำการศึกษาเครื่องมือ NMES ต่อความแข็งแรงและความหนาแน่นของกล้ามเนื้อ tibialis anterior กล้ามเนื้อ Extensor hallucis longus กล้ามเนื้อ Extensor digitorum longus และกล้ามเนื้อ Peroneus tertius ติดเครื่องมือในช่วงการเดินเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า NMES สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความหนาแน่นของกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษานี้พบว่าช่วงการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าขึ้นแบบออกแรงเอง (Active range of motion) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลอง และการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอาจเกิดจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ tibialis anterior อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบช่วงการเคลื่อนไหวแบบทำให้ (Passive range of motion) พบว่ากลุ่มทดลองมีช่วงการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าขึ้นแบบทำให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจาก passive length-tension curve ดังที่กล่าวข้างต้น ร่วมกับช่วงการประเมินผลอาสาสมัครไม่ได้ออกแรงของตน เป็นแรงที่เกิดจากผู้วัด ในทางตรงกันข้ามผลการศึกษาช่วงการเคลื่อนไหวของการเหยียดปลายเท้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลอง และการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีความเป็นไปได้ว่าในท่าทางปกติข้อเท้าของอาสาสมัครอยู่ในท่าทางเหยียดปลายเท้าลงอยู่แล้วจึงทำให้ช่วงการเคลื่อนไหวไม่ได้เปลี่ยนแปลงชัดเจนนัก การศึกษานี้พบว่าผลของความเร็วของการเดินที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการทดลองและการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม อาจเป็นเพราะการเดินประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ มากมาย ทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การหดเกร็งของกล้ามเนื้อและช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า หากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ไม่เพียงพอและการหดเกร็งของกล้ามเนื้อที่มากเกินไป อาจทำให้รูปแบบของการเดินไม่สมบูรณ์

ผลการศึกษาค้นคว้านี้ชี้ให้เห็นว่าผลทันทีของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ต่อความเร็วการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การหดเกร็งของกล้ามเนื้อ และช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า โดยการศึกษาชี้ให้เห็นว่า Neuromuscular electrical stimulation สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ gastrocnemius และช่วงการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าขึ้นแบบทำให้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการส่งเสริมประสิทธิภาพของการเดินในเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าตก

ข้อจำกัดของการศึกษาค้นคว้านี้ คือ อาสาสมัครเป็นเด็กสมองพิการประเภทหดเกร็งครึ่งซีก ซึ่งโปรแกรมการรักษาอาจไม่สามารถอ้างอิงถึงเด็กสมองพิการประเภทอื่นได้ อาสาสมัครอยู่เกณฑ์ระดับ GMFCS ในระดับ 1 ซึ่งมีความสามารถใกล้เคียงกับเด็กปกติ ร่วมกับเครื่องมือในการวัด MAS อาจไม่เหมาะสมพอต่อการวัดระดับของการหดเกร็งของกล้ามเนื้ออย่างละเอียด

แนวทางการศึกษาต่อไปในอนาคต ควรมีการศึกษาถึงผลของ NMES ของกล้ามเนื้อ tibialis anterior และ gastrocnemius ร่วมกับโปรแกรมการรักษาอื่น ๆ ในระยะยาว ต่อการเพิ่มความเร็วของการเดิน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การหดเกร็งของกล้ามเนื้อและช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้า และควรมีการศึกษาในอาสาสมัครอยู่เกณฑ์ระดับ GMFCS ระดับอื่น ๆ ต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงเรียนศรีสังวาลย์ขอนแก่น ในการอนุเคราะห์สถานที่ในเก็บข้อมูล ขอบพระคุณนักเรียนโรงเรียนศรีสังวาลย์ขอนแก่นที่เข้าร่วมการศึกษาวินิจฉัยในครั้งนี้ และขอบพระคุณคณะเทคนิคการแพทย์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มอบทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและทุนสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

- Arneson CL, Durkin MS, Benedict RE, Kirby RS, Yeargin-Allsopp M, Van Naarden BK. Prevalence of cerebral palsy: Autism and Development Disabilities Monitoring Network, three sites, United States 2004. *Disabil Health J* 2009; 2(1): 45-8.
- Bahrami F, Dehkordi SN, Dadgoo M. Inter and intra rater reliability of the 10 meter walk test in the community dweller adults with spastic cerebral palsy. *Iran J Child Neurol* 2017; 11(1): 57-64.
- Crompton J, Galea MP, Phillips B. Hand-held dynamometry for muscle strength measurement in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2007; 49(2): 106-11.
- Daichman J, Johnston TE, Evans K, Tecklin JS. The effect of a neuromuscular electrical stimulation home program on impairments and functional skill of a child with spastic diplegic cerebral palsy: a case report. *Pediatr Phys Ther* 2003; 15(3): 153-8.
- Hunter KS, Brown DA. Muscle: The Primary stabilizer and mover of the skeletal system. In: Neumann DA, editors. *Kinesiology of the musculoskeletal system foundation for rehabilitation*. 2<sup>nd</sup> ed. United State: Mosby; 2010. p. 52-53.
- Janet M. Wilson H. Cerebral palsy. In: Suzann K. Campbell, Otto D. Payton, Louis R. Amundsen, editors. *Clinic in physical therapy Pediatric neurologic physical therapy*. 2<sup>nd</sup> ed. United State of America: Churchill Livingstone; 1991. p.301-3.

- Jung JW, Her JG, Ko J. Effect of strength training of ankle plantarflexors on selective voluntary motor control, gait parameter, and gross motor function of children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci* 2013; 25(10): 1259-1263.
- Karabay I, Ozturk GT, Malas FU, Kara M, Tiftik T, Ersoz M, Ozcakar L. Short-term effect of neuromuscular electrical stimulation on muscle architecture of the tibialis anterior and gastrocnemius in children with cerebral palsy: preliminary results of a prospective controlled study. *Am J Phys Med Rehabil* 2015; 94(9): 728-33.
- Khalili MA, Hajhassanie A. Electrical stimulation in addition to passive stretch has a small effect on spasticity and contracture in children with cerebral palsy: a randomized within participant controlled trial. *Aust J Physiother* 2008; 54(3): 185-9.
- Low J, Reed A. Therapeutic direct current. In: Mary Dyson, editors. *Electrotherapy Explained Principle and practice*. 1<sup>st</sup> ed. London: Butterworth-Heinemann; 1991. p. 12-15.
- Mahmoud WSED, Elnaggar RK. Comparison of the immediate effect between functional electrical stimulation and ankle foot orthoses on gait parameters in cerebral palsy. *MJMMR* 2016; 14(11): 1-10.
- Mahmoudzadeh A, Ansari NN, Naghdi S, Sadeghi-Demneh E, Motamedzadeh O, Shaw BS, et al. Effect of ankle plantar flexor spasticity level on balance in patients with stroke: protocol for a cross-sectional study. *JMIR Res Protoc* 2020; 9(8): 1-8
- Miller F, Bachrach SJ, Marilyn L, Dabney K, Duffy L, Meyer RC, et al. *Cerebral palsy a complete guide for caregiving*. 2<sup>nd</sup> ed. United states of America: The Johns Hopkins university press; 2006.
- Orlin MN, Pierce SR, Stackhouse CL, Smith BT, Johnston T, Shewokis PA, McCarthy JJ. Immediate effect of percutaneous intramuscular stimulation during gait in children with cerebral palsy: a feasibility study. *Dev Med Child Neurol* 2005; 47(10): 684-90.
- Park SJ, Wang JS. The immediate effect of FES and TENS on gait parameters in patients after stroke. *J Phys Ther* 2017; 29(12): 2212-2214.
- Pool D, Elliott C, Bear N, Donnelly CJ, Caroline D, Stannage K, Valentine J. Neuromuscular electrical stimulation-assisted gait increase muscle strength and volume in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2016; 58(5): 492-501.
- Prosser LA, Curatalo LA, Alter KE, Damiano DL. Acceptability and potential effectiveness of a foot drop stimulator in children and adolescent with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2012; 54(11): 1044-9.
- Reed B. The physiology of neuromuscular electrical stimulation. *Pediatr Phys Ther* 1997; 9(3): 96-102.
- Trew M, Everett T. Measuring and evaluating human movement. In: Marion Trew, Tony Everett, editors. *Human movement*. 4<sup>th</sup> ed. London: Harcourt; 2001. p. 148-1.