

ผลทันทีจากการกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้าต่อการเดิน ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรัง

กนกทิพย์ สว่างใจธรรม, ณัฐชยาน์ โครงกาบ, อรณิชา วิมลรัตน์, เบญจมาภรณ์ หาญเจริญกุล และ กิตติญา จำพริก

สาขาวิชากายภาพบำบัด สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

The Immediate Effects of Ankle Dorsiflexor Electrical Stimulation on Gait in Patients with Chronic Hemiplegia

Sawangjaithum K, Khrongkab N, Hancharoenkul B, Vimolratana O and Champrug K

Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Mae Fah Luang University, Chiang Rai

ABSTRACT

Objectives: To determine the immediate effects of ankle dorsiflexor electrical stimulation (ADES) on gait speed, step length, physiological cost index (PCI) and degree of ankle dorsiflexion at heel strike (DADH) in stroke patient with chronic hemiplegia and foot drop.

Study design: Quasi-experimental research cross over design

Setting: Mae Fah Luang University, Chaing Rai, Thailand

Subjects: Fourteen stroke patients with chronic hemiplegia and foot drop were recruited.

Methods: Participants were randomly assigned into two groups. Condition A firstly received ADES followed by non-ADES with two days interval whereas condition B was tested vis versa. During the ADES, an active electrode was placed on skin over common peroneal nerve and a dispersive electrode on vastus medialis muscle of an affected leg. During the 10 meter walk test (10 MWT), gait parameters and heart rate was measured for calculation of PCI. Gait was video-recorded and DADH was measured with the Kinovia program. All measurements were recorded during ADES and non-ADES. For statistical analysis and comparison between the two conditions, paired t-test and Wilcoxon signed rank were used.

Results: Comparison between the ADES and the non-ADES, median (IQR) of gait speed was 0.43 (0.89) and 0.39 (0.78) m/s, mean (SD) of step length was 50.28 (2.13) and 45.00 (2.00) cm, of PCI was 0.94 (0.86) and 3.51 (2.34) beat/m and of DADH was 122.57 (12.79) and 130.14 (12.02) degrees, respectively. These showed significant difference ($p < 0.05$) in gait speed, step length, DADH and PCI between these conditions.

Conclusion: In chronic hemiplegic patients, ankle dorsiflexor electrical stimulation could immediately increase gait speed, step length, degree of ankle dorsiflexion at heel strike and decrease physiological cost index.

Keywords: ankle dorsiflexor electrical stimulation, gait speed, step length, chronic hemiplegia, stroke

J Thai Rehabil Med 2018; 28(3): 94-100.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลทันทีของการกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้า (ankle dorsiflexor electrical stimulation, ADES) ต่ออัตราเร็วการเดิน ระยะก้าว ดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (physiological cost index, PCI) และองศาการกระดกข้อเท้าในช่วงสิ้นเท้าสัมผัสพื้น (degree of ankle dorsiflexion at heel strike, DADH) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีอัมพาตครึ่งซีกและภาวะเท้าตกระยะเรื้อรัง

รูปแบบการวิจัย: การวิจัยกึ่งทดลองแบบศึกษาไขว้กลุ่ม

สถานที่ทำการวิจัย: มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

กลุ่มประชากร: อาสาสมัครโรคหลอดเลือดสมองที่มีอัมพาตครึ่งซีกและภาวะเท้าตกระยะเรื้อรังจำนวน 14 คน

วิธีการศึกษา: สุ่มอาสาสมัครเป็นสองกลุ่ม กลุ่ม A ได้รับ ADES ก่อนวัน 2 วัน แล้วจึงทดสอบโดยไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (non-ADES) ส่วนกลุ่ม B เริ่มจาก non-ADES แล้วตามด้วย ADES กรณี ADES ติดข้อกระดูกบนผิวหนังบริเวณเหนือต่อเส้นประสาท common peroneal และติดขั้วอ้างอิงที่กล้ามเนื้อ vastus medialis ทั้งสองกรณีถูกทดสอบด้วยการเดินระยะทาง 10 เมตร วัดตัวแปรการเดิน วัดอัตราหัวใจเต้นเพื่อคำนวณค่า PCI บันทึกวิดีโอทัศนการเดินและวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Kinovia เพื่อวัด DADH วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง ADES และ non-ADES ด้วย paired t-test และ Wilcoxon signed ranks test

ผลการศึกษา: เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ADES และ non-ADES อัตราเร็วการเดิน มีค่ามัธยฐาน (พิสัยควอไทล์) เท่ากับ 0.43 (0.89)

Correspondence to: Kanokthip Sawangjaithum, M.Sc., Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Mae Fah Luang University, Chaing Rai 57100, Thailand, E-mail: kanokthip.saw@mfu.ac.th

และ 0.39 (0.78) เมตรต่อวินาที, ส่วนค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของระยะก้าวเท่ากับ 50.28 (2.13) และ 45.00 (2.00) ซม., ค่าดัชนีการใช้พลังงานทางกาย เท่ากับ 0.94 (0.86) และ 3.51 (2.34) ครั้งต่อเมตร และองศาการกระดกข้อเท้าช่วงสั้นเท้าสัมผัสพื้นเท่ากับ 122.57 (12.79) และ 130.14 (12.02) องศา ตามลำดับ โดยตัวแปรทุกตัวมีความแตกต่างกันระหว่าง ADES กับ non-ADES อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุป: การกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้าให้กับผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกและเท้ากระดกเร็วทำให้เกิดผลทันทีโดยเพิ่มอัตราเร็วการเดิน เพิ่มระยะก้าว เพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าในช่วงสั้นเท้าสัมผัสพื้นและลดดัชนีการใช้พลังงานทางกาย

คำสำคัญ: การกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้า, อัตราเร็วการเดิน, ระยะก้าว, อัมพาตครึ่งซีก, โรคหลอดเลือดสมอง

เวชศาสตร์ฟื้นฟู 2561; 28(3): 94-100.

บทนำ

อัมพาตครึ่งซีกเป็นภาวะบกพร่องทางกายที่เกิดจากปัญหาของหลอดเลือดสมองทำให้สมองบางส่วนเสียหายจึงสูญเสียการสั่งงานในการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย⁽¹⁾ ภาวะโรคหลอดเลือดสมองเป็นสาเหตุการสูญเสียปีสุขภาวะของประชากรไทยเป็นอันดับสองรองจากอุบัติเหตุทางถนนในเพศชายและโรคเบาหวานในเพศหญิง⁽²⁾ อาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อครึ่งซีกของร่างกายทำให้เกิดความบกพร่องและมีความยากลำบากในการทำกิจวัตรประจำวันจนนำไปสู่ความพิการในที่สุด จากสถิติความรุนแรงของความลำบากและปัญหาสุขภาพในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก พบว่า 3 อันดับแรก ได้แก่ การขึ้นบันได 1 ชั้น (ร้อยละ 48.9) การนั่งยอง (ร้อยละ 47.2) การเดินทางราบระยะทาง 50 เมตร (ร้อยละ 46.9)⁽³⁾ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความบกพร่องในการเดินเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดความยากลำบากในการใช้ชีวิตประจำวัน อาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าและกล้ามเนื้อถีบปลายเท้าหดเกร็ง (spasticity) ทำให้ปลายเท้าตกไม่พ้นพื้นในขณะที่เดินเป็นสาเหตุให้การเดินผิดปกติ เช่น เดินยักสะโพก (hip hiking) การเดินเหวี่ยงขา (circumduction gait) อัตราเร็วการเดินลดลง เสียสมดุลการสะดุดหนักและใช้พลังงานในการเดินเพิ่มขึ้น⁽⁴⁾ ดังนั้นเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพในการเดิน ผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกที่มีภาวะเท้าตกจึงควรได้รับการรักษาฟื้นฟูทางกายภาพบำบัด เช่น การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นประสาทกล้ามเนื้อ⁽⁵⁾ การฝึกเดิน⁽⁶⁾ และการปรับท่าทาง⁽⁷⁾

การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นประสาทกล้ามเนื้อแบบ functional electrical stimulation (FES) นั้นสัมพันธ์กับวงจรการเดิน (gait cycle) โดยเครื่องกระตุ้นปล่อยกระแสไฟฟ้ากระตุ้นกล้ามเนื้อขณะยกส้นเท้าขึ้น (heel off) ตอนเริ่มของช่วงก้าว (swing phase) ทำให้กล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า (tibialis anterior) หดตัว และการกระตุ้นหยุดลงเมื่อส้นเท้าสัมผัสพื้น (heel strike) อีกครั้งหนึ่ง⁽⁸⁾ การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า FES สามารถเพิ่มอัตราเร็วการเดิน (gait speed)⁽⁹⁾ เพิ่มระยะทางที่เดินได้ใน 6 นาที⁽¹⁰⁾ เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า⁽¹¹⁾ เพิ่มการเคลื่อนไหวข้อเท้า เข่า และข้อสะโพก⁽¹²⁾ ดังนั้นการใช้ FES จึงส่งผลให้ผู้ที่มีการปลายเท้าตกเดินได้ดีขึ้นทันทีคือ ปลายเท้าไม่ตก

ในช่วง terminal stance และ swing phase ผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องเดินด้วยท่าทางผิดปกติเพื่อชดเชย (compensatory mechanism) เช่น การเอียงตัว ยักสะโพก เดินเหวี่ยงขาออกเพื่อให้ปลายเท้าพ้นพื้น เป็นต้น นอกจากนั้น FES ยังทำให้เกิดการกระตุ้นสัญญาณประสาทนำเข้า (afferent) ผ่านผิวหนัง กล้ามเนื้อและการรับรู้ตำแหน่งข้อ (proprioceptive sense) ซึ่งมีผลเร็ว (facilitation) ระบบประสาทส่วนกลางที่ควบคุมกล้ามเนื้อ⁽¹³⁾ เพื่อใช้ก้าวขาเดินอย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ที่ทำการกระตุ้น ตามทฤษฎี sensory-motor integration⁽¹⁴⁾

แม้ว่ามีข้อมูลสนับสนุนว่า FES มีผลดีต่อการเดินของผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก แต่ทว่า FES ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากอุปกรณ์หายากและมีราคาสูง จนเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการผลิตและแจกเครื่องกระตุ้นไฟฟ้ายี่ห้อเดินดีโดยไม่มีค่าใช้จ่ายจึงมีผู้ให้ความสนใจอย่างกว้างขวาง ที่ผ่านมามีการศึกษาการใช้เครื่องเดินดีกับผู้ป่วยในระยะกึ่งเฉียบพลัน แต่ยังไม่พบการศึกษาผลทันทีในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังในคนไทย การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลทันทีจากการกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้าด้วยเครื่องยี่ห้อเดินดี ผ่านผิวหนังบริเวณจุดประสาทสั่งการของเส้นประสาท common peroneal เพื่อกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า (ankle dorsiflexor electrical stimulation, ADES) ซึ่งส่งผลต่ออัตราเร็วการเดินระยะก้าว (step length) องศาการกระดกข้อเท้าช่วงสั้นเท้าสัมผัสพื้น (degree of ankle dorsiflexion at heel strike, DADH) และดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (physiological cost index, PCI) อันบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการเดินของผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังได้

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองแบบไขว้กลุ่ม (experimental cross over design) ที่ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการทำวิจัยในมนุษย์จากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเลขที่ REH-60007

กลุ่มประชากร

อาสาสมัครอัมพาตครึ่งซีก อายุ 40-65 ปี และยินยอมเข้าร่วมการวิจัย หรือผู้ดูแลของอาสาสมัครให้คำยินยอม

เกณฑ์คัดเข้า เป็นอัมพาตครึ่งซีกเป็นครั้งแรกจากโรคหลอดเลือดสมอง นานมากกว่า 6 เดือน มีภาวะปลายเท้าตก (foot drop) มีผลการประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า (manual muscle testing, MMT) ระดับต่ำกว่า 2 เดินได้ด้วยตัวเองในระยะทาง 10 เมตร สื่อสารและทำตามกระบวนการวิจัยได้ ไม่มีการบาดเจ็บและ/หรือเจ็บปวดที่ขาและ/หรือกระดูกสันหลังในระยะเวลา 6 เดือน มีระดับการเคลื่อนไหวตาม Brunnstrom stage ในระดับ III-V

เกณฑ์คัดออก มีโรคประจำตัวที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทดลอง เช่น Parkinson's disease, hydrocephalus และ dementia เป็นต้น โรคหัวใจและได้รับยาควบคุมอัตราหัวใจเต้น เช่น β -blocker, Digoxin และ Amiodarone เป็นต้น เคยได้รับการผ่าตัดกระดูกและกล้ามเนื้อที่บริเวณกระดูกสันหลังและขา กล้ามเนื้ออ่อน (gastrosoleous) มีการดึงตัวเพิ่มขึ้น (hypertonia)

หมายเหตุ คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยการใช้สูตรคำนวณ

$$n = \frac{[Z\alpha + Z\beta]^2 \sigma^2}{d^2}$$

อ้างอิงจากการศึกษาของ Sabut และคณะในปี (ค.ศ. 2010)⁽¹⁵⁾ ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 14 คน

วัสดุอุปกรณ์/เครื่องมือ

- เครื่องกระตุ้นประสาทกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า ยี่ห้อเดนดี
- กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวยี่ห้อ Canon รุ่น 6D เลนส์ 25-105 มม. พร้อมขาตั้งกล้อง
- เครื่องวัดความดันเลือด ยี่ห้อ OMRON รุ่น HGM-7130
- เครื่องวัดอัตราการหัวใจเต้น ยี่ห้อ POLAR รุ่น T31
- นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ FBT รุ่น JS-519
- กรวยจราจร ตลับเมตรยาว 30 เมตร และเชือกยาว 10 เมตร

ขั้นตอนการวิจัย

1. รับสมัครและคัดเลือกประชากรที่มีภาวะอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังในจังหวัดเชียงใหม่ ตามเกณฑ์การคัดเลือกและคัดออก อาสาสมัครได้รับการชี้แจงเกี่ยวกับการวิจัย ขั้นตอนการทดสอบและทดลอง วัตถุประสงค์และสิทธิประโยชน์ตลอดจนสิทธิในการขอยกเลิกการวิจัย

2. หลังจากได้ลงลายมือชื่อแสดงความยินยอมเข้าร่วมการศึกษาในครั้งแล้ว อาสาสมัครได้รับการสัมภาษณ์ข้อมูลพื้นฐานด้านสุขภาพและประเมินระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหวและการทำกิจวัตรประจำวัน

3. ก่อนทำการทดสอบ อาสาสมัครได้รับการสุ่มเงื่อนไขด้วยการจับสลาก ผู้ที่จับสลากได้ A ได้รับการกระตุ้นการกระดกข้อเท้าด้วยไฟฟ้า (ADES) ก่อน ส่วนอาสาสมัครที่จับได้ B จะได้รับเงื่อนไขไม่ได้รับการติดเครื่องกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (non-ADES) (ดูแผนภูมิที่ 1)

4. อาสาสมัครที่ได้รับเงื่อนไข ADES ได้รับการกระตุ้นด้วยการใส่เครื่องกระตุ้นยี่ห้อเดนดีให้กระดกข้อเท้าในขณะยกเท้าเดิน โดยใช้เทคนิคการกระตุ้นแบบ monopolar ชั่ว active แบบกลมขนาด 1 ซม. บนผิวหนังที่ตำแหน่งประสาทสังการของเส้นประสาท common peroneal และชั่ว dispersive ที่บริเวณกล้ามเนื้อ vastus medialis ที่บริเวณเหนือเข่า ทั้งนี้ระบบการทำงานของเครื่องควบคุมด้วยสวิตช์ที่ใส่ไว้ได้สันเท้า เมื่ออาสาสมัครยกเท้าขึ้นสวิตช์เปิดจะมีกระแสไฟฟ้ามากระตุ้นและเมื่อวางเท้าสัมผัสพื้นสวิตช์ปิดกระแสจะหยุด

การกระตุ้นด้วยเทคนิค monopolar นี้เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ชั่ว active จะทำให้เส้นประสาทมีการตอบสนองที่มีความไวกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้ชั่ว dispersive ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าภายในเพิ่มขึ้นจนถึง threshold เกิด depolarization เป็นเสมือนการจำลองคำสั่งจาก motor cortex กลุ่มกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าที่เลี้ยงด้วยเส้นประสาท common peroneal จะมีการหดตัวพอดีกับช่วง swing phase ส่วนภายใต้ชั่ว dispersive นั้นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งมี motor threshold สูงกว่าเส้นประสาทและชั่ว dispersive มีความหนาแน่นของกระแส (current density) ต่ำกว่าทำให้เกิด depolarization ได้ยากและต้องใช้ความแรงของกระแส

ไฟฟ้าสูงกว่าความแรงที่กระตุ้นที่ชั่ว active อีกทั้งยังเป็นการติดชั่วกระตุ้นครอบคลุมเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อเพื่อการตอบสนองที่อาจเกิดจึงมีเพียง motor unit ที่กระแสไฟฟ้าผ่านการหดตัวจึงไม่เพียงพอให้เกิดการเคลื่อนไหวในการเหยียดเข้าหรือไม่เกิดการเคลื่อนไหว จึงไม่ขัดขวางการเดินใน swing phase ของอาสาสมัคร

5. ในกรณีที่เห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อ vastus medialis ซึ่งทำงานในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข้า จะมีการปรับตำแหน่งวางชั่วกระตุ้นจนไม่เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ขัดขวางการเดิน

6. ตัวแปรทางกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีดังนี้ กระแส biphasic waveform ความถี่ 40 Hz ช่วงกระตุ้น (pulse duration) 400 μ s ความแรงกระแสไฟฟ้าที่ปรับจนเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าขึ้นให้แรงเพียงพอสำหรับการเดินแต่ไม่ทำให้มีอาการเจ็บและฝึกเดินจนคุ้นชินแล้วจึงให้อาสาสมัครนั่งพักจนกระทั่งอัตราการหัวใจเต้นและความดันเลือดกลับสู่ค่าขณะพัก

7. ผู้วิจัยติดเครื่องหมาย (marker) ที่หัวกระดูกหน้าแข้ง, ตาตุ่มด้านนอก (lateral malleolus) และหัวกระดูกนิ้วก้อย (5th metatarsal bone) ของอาสาสมัคร

8. สวมใส่เครื่องบันทึกอัตราการหัวใจเต้น

9. ทำการทดสอบการเดินระยะทาง 10 เมตร (10 meter walk test, 10MWT) เพื่อประเมินอัตราเร็วการเดิน⁽¹⁶⁾ ผู้ทำการทดสอบบอกอาสาสมัครให้เตรียมพร้อมและเมื่อบอกให้เดินไป ให้อาสาสมัครเดินด้วยความเร็วปกติจนกระทั่งผู้ทดสอบบอกหยุด ทำการทดสอบ 3 ครั้งบันทึกค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างระยะทางเมตรที่ 2-8 นำค่าไปคำนวณอัตราเร็วการเดิน

10. บันทึกภาพเคลื่อนไหวขณะเดินโดยตั้งกล้องด้านเดียวกับขาข้างอ่อนแรง มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางทางเดิน 3 เมตร บันทึกภาพในช่วงกลางทางเดินระยะ 2 เมตร ถ่ายด้วยขนาดเลนส์ 24 มม. ระยะชুমเป็น 0

11. นำภาพเคลื่อนไหวมาวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของขาข้างอ่อนแรงด้วยโปรแกรม Kinovea

12. ประเมินระยะก้าวของก้าวที่ตั้งฉากกับกล้อง วัดระยะระหว่างเครื่องหมายที่ตาตุ่มด้านนอกตำแหน่งเดียวกันของรอบการเดินถัดกัน

13. ประเมิน DADH ด้วยการวัดมุมระหว่างแนวที่ลากจากตาตุ่มด้านนอกไปยังหัวกระดูกหน้าแข้งและหัวกระดูกนิ้วก้อยเท้า

14. ประเมิน PCI โดยบันทึกอัตราการหัวใจเต้นก่อนและเมื่อสิ้นสุดการเดิน 10 เมตร นำค่ามาคำนวณตามสมการ $PCI = [\text{walking pulse} - \text{resting pulse}] / \text{gait speed}$ มีหน่วยเป็นครั้งต่อเมตร

15. อาสาสมัครที่ได้รับเงื่อนไข non-ADES ได้รับการประเมินเช่นเดียวกัน

16. หลังจากนั้นพักเป็นเวลา 2 วันแล้วจึงสลับเงื่อนไขการทดลองระหว่างกลุ่ม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

หมายเหตุ ในระหว่างการทดสอบไม่ได้ปิดบังผู้ประเมินและผู้ประเมินได้ผ่านการทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน (intra-tester reliability) (intraclass correlation coefficient) ในการวัดอัตราการเดิน มีค่า Cronbach's Alpha เท่ากับ 0.707-0.724

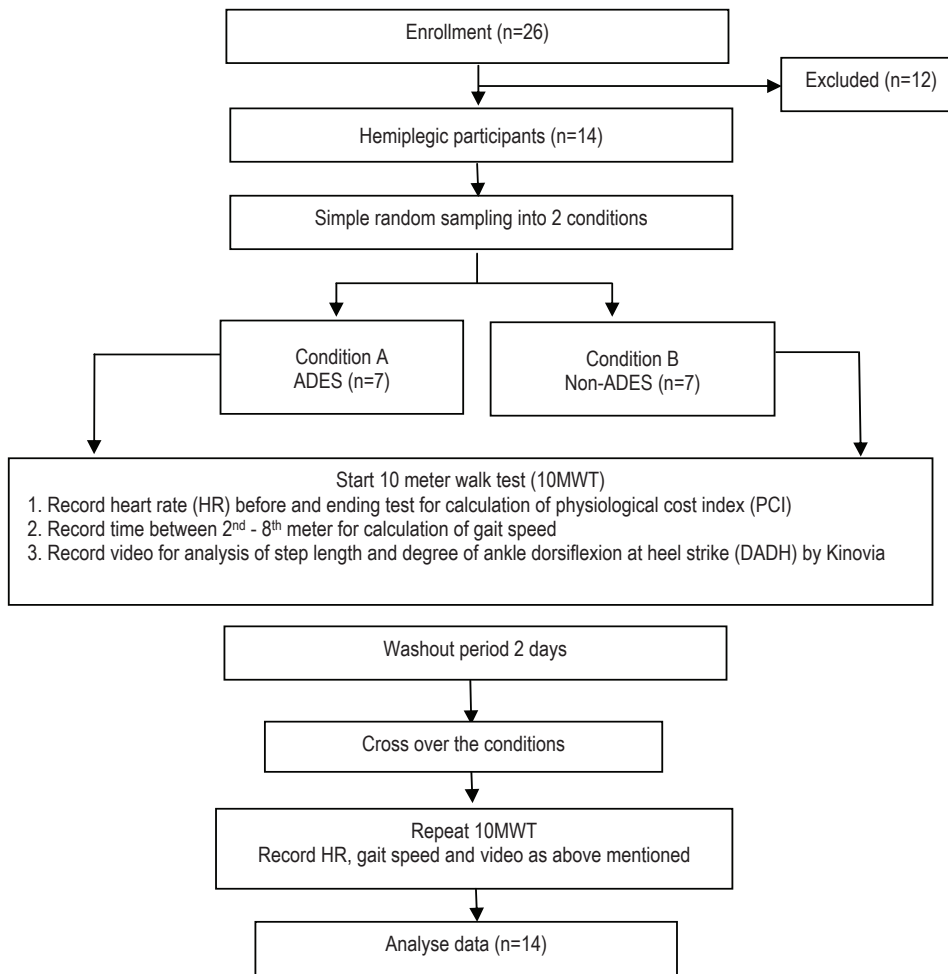


Figure 1. Flow of the study

Table 1. Demographic data of participants (n=14)

Variables		Min	Max
Age (years) ¹	56.29 (12.70)	42	65
Duration of hemiplegia (years) ¹	3.71 (3.79)	1	12
Sex, male ²	12 (85.71)		
Body mass index (kg/m ²) ¹	23.72 (2.37)	18.59	26.56
Systolic blood pressure (mmHg) ¹	136.29 (13.69)	102	157
Diastolic blood pressure (mmHg) ¹	81.29 (11.55)	56	99
Resting heart rate (beat/min) ¹	81.64 (11.69)	64	101
Respiratory rate (breath/min) ¹	17.86 (1.35)	14	20

¹Mean (SD); ²number (%)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้สถิติพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test วิเคราะห์ความแตกต่างสำหรับตัวแปรแบบต่อเนื่องสำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติด้วยสถิติ Paired t-test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติใช้สถิติ Wilcoxon signed rank test กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

อาสาสมัคร จำนวน 14 คน มีข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาดังตารางที่ 1 เมื่อทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลทันทีขณะได้รับ AEDES พบ

ว่าอัตราเร็วการเดินมีค่ามัธยฐาน (พิสัยควอไทล์) เท่ากับ 0.43 (0.89) เมตรต่อวินาที ส่วน non-AEDES เท่ากับ 0.39 (0.78) เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่า AEDES มีผลทำให้อัตราเร็วการเดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

แผนภูมิที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการเดินพบว่าระยะก้าว ขณะได้รับ AEDES มีค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เท่ากับ 50.28 (2.13) ซม. ส่วน non-AEDES เท่ากับ 45.00 (2.00) ซม. จะเห็นได้ว่า AEDES มีผลทำให้ระยะก้าวยาวกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.000

สำหรับค่า DADH พบว่าขณะที่ได้รับ AEDES มีค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เท่ากับ 122.57 (12.79) องศา ส่วน non-AEDES เท่ากับ

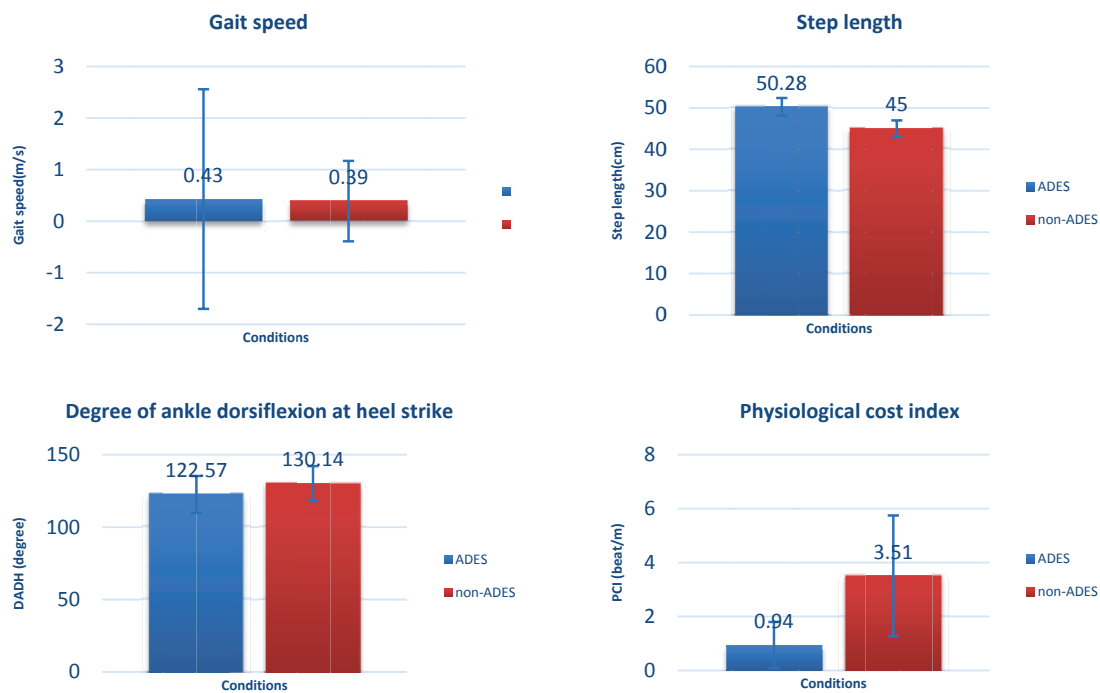


Figure 2. Effects of ankle dorsiflexorelectrical stimulation (ADES) and non-ADES on gait parameters and physiological cost index in subjects with chronic hemiplegia.

130.14 (12.02) องศา นั่นคือ ADES มีผลทำให้กระดูกเท้าได้มากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.000

นอกจากนั้น ยังพบว่า PCI ขณะได้รับ ADES มีค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เท่ากับ 0.94 (0.86) ครั้งต่อนาที ส่วน non-ADES เท่ากับ 3.51 (2.34) ครั้งต่อนาที จะเห็นได้ว่า ADES มีผลทำให้ PCI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

บทวิจารณ์

การกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าขณะเดิน (ADES) ที่อาศัยหลักการเดียวกับ FES มีผลทันทีต่อการเพิ่มอัตราเร็วการเดิน ระยะก้าว และองศาการกระดูกข้อเท้าช่วงสั้นเท้าสัมผัสพื้น (DADH) และลดค่าดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (PCI) ซึ่งส่งผลดีต่อการเดินของอาสาสมัครอัมพาตครึ่งซีกที่มีภาวะเท้าตก

เมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วการเดิน ขณะ non-ADES พบว่ามีค่าน้อยกว่า ADES และน้อยกว่าคนปกติ เนื่องมาจากการเดินบกพร่องเป็นผลมาจากภาวะเท้าตกที่จำกัดการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในช่วง mid-swing ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ McCrimmon และคณะ (ค.ศ. 2015) ที่พบว่าค่าองศาการเคลื่อนไหว (AROM) ของข้อเท้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ dorsiflexor ที่ใช้การเดินมีค่าองศาที่น้อยกว่าคนปกติ จากการจำกัดการเคลื่อนไหวข้อเท้าเนื่องจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อtibialis anterior, extensor hallucis longus, extensor digitorumlongus, และ peroneus มีผลทำให้วงจรการเดินผิดปกติ เมื่อใช้ FES ทำให้ข้อเท้ากระดูกขณะยกขาก้าวได้ ทำให้ระยะก้าวจึงยาวขึ้น⁽¹⁷⁾

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ van der Linder และคณะ (ค.ศ. 2014) ที่พบว่าอาสาสมัครอัมพาตครึ่งซีกที่ได้รับการ

กระตุ้นการกระดูกข้อเท้าเป็นเวลา 4 สัปดาห์มีอัตราเร็วการเดินเพิ่มขึ้น และมีผลเพิ่ม ankle kinematics ขณะเดินได้⁽¹⁸⁾ ทั้งนี้ ลักษณะกระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบ symmetrical biphasic waveform ช่วงกระตุ้น (pulse/cycle duration) ที่ 400 μ s ความถี่ 40 Hz แต่การศึกษาในครั้งนี้ใช้เทคนิคการกระตุ้นแบบ monopolar ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับกระตุ้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (innervated muscle) เหมาะสำหรับพยาธิสภาพชนิด upper motor neuron lesion เพื่อฟื้นฟูการทำงานของประสาทกล้ามเนื้อเลียนแบบการส่งกระแสประสาทตามปกติโดยวางขั้ว active กระตุ้นที่ประสาทสั่งการของเส้นประสาท common peroneal และขั้ว dispersive บนกล้ามเนื้อ vastus medialis ซึ่งในขณะทดสอบใช้ความแรงระดับที่มองเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อและอาสาสมัครทนต่อความแรงของกระแสได้โดยไม่เจ็บ ซึ่งความกว้างของช่วงกระตุ้นมีค่ามากกว่าค่า chronaxy ของเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) จึงทำให้เกิด depolarization ของใยประสาทสั่งการ (motor axon)⁽¹⁹⁾ ภายได้ขั้วกระตุ้นและกล้ามเนื้อหดตัวทำให้ข้อเท้ากระดูกขึ้น นอกจากนี้ความถี่ที่ใช้กระตุ้นทำให้เกิดการหดตัวแบบ tetanic จึงทำให้กล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้าหดตัวมากขึ้น กลไกนี้ทำให้อาสาสมัครสามารถกระดูกข้อเท้าได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ non-ADES และเชื่อว่าการเดินด้วย ADES นี้ส่งเสริมการตอบสนองของระบบประสาทกล้ามเนื้อผ่านทั้งประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ จึงอาจส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ในประสาทสั่งการ (motor re-learning) ดีขึ้นได้⁽²⁰⁾

จากการศึกษาที่ผ่านมายังพบว่าการใช้ FES กระตุ้นการกระดูกข้อเท้าสามารถลดภาวะหดเกร็งของกล้ามเนื้อของข้อเท้า (plantar flexor spasticity) เพิ่มพิสัยและกำลังการกระดูกข้อเท้าขึ้น และการฟื้นฟูของกำลังกล้ามเนื้อขาได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽²¹⁾ ทั้งนี้การหดตัวของ

กล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้าสามารถยับยั้งการหดเกร็งของกล้ามเนื้อน่อง เพราะการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดึงและการเปลี่ยนแปลง ความยาวของกล้ามเนื้อและเอ็นจึงกระตุ้นตัวรับประสาทรับรู้ตำแหน่ง ข้อที่เอ็นกล้ามเนื้อ (musculotendinous proprioceptors, Golgi tendon organ) และเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle spindles) ส่งผลให้มีการตอบสนองแบบ reciprocal inhibition ยับยั้งการหดเกร็งของกล้ามเนื้อน่องได้การเดินจึงดีขึ้น อัตราเร็วการเดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและลดการใช้พลังงานทางกายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน⁽²²⁾

ดัชนีการใช้พลังงานทางกายเป็นเครื่องมือทางคลินิกสำหรับบ่งชี้การใช้พลังงานทางกาย⁽²³⁾ หรือความพยายามในการเดินซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนที่ร่างกายนำมาใช้ (VO_2) ในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ($r=0.831, p=0.001$)⁽²⁴⁾ ข้อดีของวิธีการประเมินนี้คือ ใช้วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะเดินได้ด้วยการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจ ผู้ทำการทดสอบไม่จำเป็นต้องฝึกวิธีการทดสอบแบบพิเศษ ไม่ต้องใช้เครื่องมือวัดและการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน ผู้ถูกทดสอบสามารถทำตามขั้นตอนได้สะดวก ไม่ต้องใส่หน้ากากวัดก๊าซและใส่อุปกรณ์ต่างๆเหมือนการวัดวิธีอื่น ผู้ป่วยที่มีการรับรู้ความเข้าใจบกพร่องในโรคหลอดเลือดสมองสามารถทำการทดสอบได้⁽²⁴⁾ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการประเมิน PCI ด้วยค่าที่ได้จากการทดสอบ 10MWT ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังที่ได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นการกระตุ้นข้อเท้าด้วยไฟฟ้า⁽²⁵⁻²⁸⁾ ซึ่งมีความบกพร่องในการเดินและการทรงตัว PCI ไม่มีความสัมพันธ์กับอายุและความเร็วในการเดินขณะทดสอบ⁽²⁴⁾ การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกทดสอบด้วยการเดินความเร็วปกติ ความพยายามในการควบคุมสมดุลร่างกายในการเดิน⁽²⁹⁻³¹⁾ ทำให้อาสาสมัครต้องใช้พลังงานทางกายเพิ่มมากขึ้นขณะเดินสมองจึงสั่งการให้กล้ามเนื้อหลายมัดหดตัวทำให้อัตราการใช้พลังงานของร่างกายสูงขึ้นมีความต้องการออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราหัวใจเต้นสูงขึ้นตามมา สิ่งเหล่านี้แสดงถึงความพยายามใช้พลังงานทางกายมากขึ้นมีดัชนีการใช้พลังงานทางกายสูงกว่าคนปกติ ซึ่ง PCI ในการเดินของคนปกติด้วยผู้ใหญ่อายุที่มีค่า 0.23-0.42 ครั้งต่อเมตร⁽³²⁻³⁵⁾ ผลการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับสุชาและคณะ (พ.ศ. 2558) ที่ศึกษาในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน พบว่า PCI ขณะเดินโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ห้อยติดมีค่าเฉลี่ย 0.84 (1.51) ครั้งต่อเมตร ซึ่งน้อยกว่าไม่ใช่⁽³⁶⁾ แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นการกระตุ้นข้อเท้าช่วยลดการใช้พลังงานทางกายในการเดินได้

จุดเด่นของการศึกษาในครั้งนี้คือ การทดสอบ ADES และ non-ADES ในอาสาสมัครคนเดียวกัน ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานจึงเหมือนกันเพื่อควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่อาจส่งผลต่อการศึกษา การกระตุ้นเพียงครั้งเดียวขณะทำการทดสอบเพื่อศึกษาผลทันทีและเว้นระยะ 2 วันก่อนสลับเงื่อนไขเพื่อให้ไม่มีผลคงค้างจากการทดลอง และการบันทึกข้อมูลทำโดยนักกายภาพบำบัดที่ผ่านการฝึกฝนในวิธีการและทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้วัดมาก่อน แต่การศึกษาครั้งนี้ก็มีข้อจำกัดโดยศึกษาเฉพาะผลทันทีจากการกระตุ้นการกระตุ้นข้อเท้าด้วยเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ห้อยติด อย่างไรก็ตามผลที่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลง

ทางสถิติอาจต้องมีการประเมินผลทางคลินิกต่อไป หากต้องการทราบถึงผลระยะยาวต้องมีการศึกษาต่อ และหากต้องการทราบว่า การใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้านี้ดีกว่าการใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าหรือไม่ ต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์พยุงข้อเท้าต่อไป

สรุปได้ว่า การกระตุ้นการทำงานของประสาทกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยี่ห้อเดินติดกับผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังมีผลทันที โดยเพิ่มอัตราเร็วการเดินระยะก้าว องศาการกระตุ้นข้อเท้าในช่วงสั้นเท่าสัมพันธ์ และลดการใช้พลังงานทางกายในอาสาสมัครอัมพาตครึ่งซีกระยะเรื้อรังได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับการบริจาคเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ห้อยติดจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชง เลิศมนโรรัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และขอขอบคุณหน่วยงานกายภาพบำบัดโรงพยาบาลแม่ลาวและโรงพยาบาลพญาเม็งรายในการอนุเคราะห์และให้ความร่วมมือตลอดการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Bowen P. Early identification, rapid response and effective treatment of acute stroke: utilizing teleneurology to ensure optimal clinical outcomes. *MEDSURG Nursing*. 25;4:241-3.
2. Strategy and Planning Division Ministry of Public Health. Statistical Thailand 2017. [Internet]. [cited 2018 May 18]. Available from: http://bps.moph.go.th/new_bps/sites/default/files/health%20stratistic%202560.pdf.
3. National statistical office ministry of international and communication technology. The 2012 disability survey. [Internet]. [cited 2018 May 18]. Available from: https://www.m-society.go.th/article_attach/11453/15770.pdf.
4. Demaille-Wlodyka S, Donze C, Givron P, Gallien P. Self care programs and multiple sclerosis: physical therapeutics treatment. *Ann Phys Rehabil Med*. 54:109-28.
5. Tan Z, Liu H, Yan T, Jin D, He X, Zheng X, et al. The effectiveness of functional electrical stimulation based on a normal gait pattern on subjects with early stroke: a randomized controlled trial. *Biomed Res Int*. 2014;2014:545408. doi: 10.1155/2014/545408. Epub 2014 Jul 10.
6. Chung Y, Kim J, Cha Y, Hwang S. Therapeutic effect of functional electrical stimulation triggered gait training corresponding gait cycle for stroke. *Gait Posture*. 2014;40:471-5.
7. Cho M, Kim J, Chung Y, Hwang S. Treadmill gait training combined with functional electrical stimulation on hip abductor and ankle dorsiflexor muscles for chronic hemiparesis. *Gait Posture*. 2015;42:73-8.
8. Chayaratanasin P, Vongpipatana S, Chira-Adisai W. Comparison of gait pattern during walking with and without functional electrical stimulation "DeardeeTM" in stroke patients with foot drop: a pilot study. *J Thai Rehabil Med*. 2015;25:53-9.
9. Bosch P, Harris J, Wing K. Clinical management review: review of therapeutic electrical stimulation for dorsiflexion assist and orthotic substitution from the American congress of rehabilitation medicine stroke movement interventions subcommittee. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95:390-6.
10. Embrey D, Holtz S, Alon G, Brandsma B, McCoy S. Functional

- electrical stimulation to dorsiflexors and plantar flexors during gait to improve walking in adults with chronic hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91:687-96.
11. Springer S, Vatine J, Wolf A, Laufer Y. The effects of dual-channel functional electrical stimulation on stance phase sagittal kinematics in patients with hemiparesis. *J Electromyogr Kinesiol.* 2012;23:476-82.
 12. Beyaert C, Vasa R, Frykberg G. Gait post-stroke: pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiol Clin.* 2015;45:335-55.
 13. Roby-Brami A, Fuchs S, Mokhtari M. Reaching and grasping strategies in hemiparetic patients. *Motor Control.* 1997;1:72-91.
 14. Stein DG. Brain injury and theories of recovery. In: Goldstein LB, editor. *Restorative neurology: advances in pharmacotherapy for recovery after stroke.* Amonk, NY: Futura Publishing; 1988.
 15. Sabut SK, Lenka P, Kumar R, Mahadevappa M. Effect of functional electrical stimulation on the effort and walking speed, surface electromyography activity, and metabolic responses in stroke subjects. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20:1170-7.
 16. Dobkin BH. Short-distance walking speed and timed walking distance: redundant measures for clinical trials. *Neurology.* 2006;66:584-6.
 17. McCrimmon CM, King CE, Wang PT, Cramer SC, Nenadic Z, Do AH. Brain-controlled functional electrical stimulation therapy for gait rehabilitation after stroke: a safety study. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12:57.
 18. van der Linden ML, Hooper JE, Cowan P, Weller BB, Mercer TH. Habitual functional electrical stimulation therapy improves gait kinematics and walking performance, but not patient-reported functional outcomes of people with multiple sclerosis who present with foot drop. *PLoS One.* 2014;9(8): e103368. doi: 10.1371/journal.pone.0103368.
 19. Collins DF. Central contributions to contractions evoked by tetanic neuromuscular electrical stimulation. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007;35:102-9.
 20. Chae J. Neuromuscular electrical stimulation for motor relearning in hemiparesis. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2003;S93-109.
 21. Sabut S, Sikdar C, Kumar R, Mahadevappa M. Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle: effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients. *NeuroRehabilitation.* 2011;29:393-400.
 22. Burridge JH, McLellen DL. Relation between abnormal patterns of muscle activation and response to common peroneal nerve stimulation in hemiplegia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;63:353-61.
 23. Thomas SS, Moore C, Kelp-Lenane C, Norris C. Simulated gait patterns: the resulting effects on gait parameters, dynamic electromyography, joint moments and physiological cost index. *Gait Posture.* 1996;4:100-7.
 24. Fredrickson E, Ruff RL, Daly JJ. Physiological Cost Index as a Proxy Measure for the Oxygen Cost of Gait in Stroke Patients. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007; 21:429-34.
 25. Burridge J, Taylor P, Hagan S, Swain I. Experience of clinical use of the Odstock dropped foot stimulator. *Artif Organs.* 1997;21:254-60.
 26. Burridge JH, Taylor PN, Hagan SA, Wood DE, Swain ID. The effects of common peroneal stimulation on the effort and speed of walking: a randomized controlled trial with chronic hemiplegic patients. *Clin Rehabil.* 1997;11:201-210.
 27. Taylor PN, Burridge JH, Dunkerley AL, Wood DE, Norton JA, Singleton C. et al. Clinical use of the Odstock dropped foot stimulator: its effect on the speed and effort of walking. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:1577-83.
 28. Sabut SK, Sikda C, Mondal R, Kumar R, Mahadevappa M. Restoration of gait and motor recovery by functional electrical stimulation therapy in persons with stroke. *Disabil Rehabil.* 2010;32:1594-603.
 29. Mosely A, Wales A, Herbert R, Schurr K, Moore S. Observation and analysis of hemiplegic gait: stance phase. *Aust J Physiother.* 1993;39:259-67.
 30. Moore S, Schurr K, Wales A, Moseley A, Herbert R. Observation and analysis of hemiplegic gait: swing phase. *Aust J Physiother.* 1993;39:271-8.
 31. Kerrigan DC, Karvosky ME, Riley PO. Spastic paretic stiff legged gait: joint kinetics. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001;80:244-9.
 32. Potempa K, Lopez M, Braun LT, Szidon JP, Fogg L, Tincknell T. Physiological outcomes of aerobic exercise training in hemiparetic stroke patients. *Stroke.* 1995;26:101-5.
 33. Winchester P, Carollo JJ, Habasevich R. Physiologic costs of reciprocal gait in FES assisted walking. *Paraplegia.* 1994;32:680-6.
 34. Nene AV. Physiological cost index of walking in able-bodied adolescents and adults. *Clin Rehabil.* 1993;7:319-26.
 35. Mossberg KA. Reliability of a timed walk test in persons with acquired brain injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82:385-90.
 36. Kumnoonsup S, Buntragulpoontawee M, Kovindha A. Effectiveness of functional electrical stimulator (FES-Dearddee™) on physiological cost index in subacute stroke patients with foot drop: a pilot study. *J Thai Rehabil Med.* 2015;25:87-94.