

เวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร 2558; 25(3): 87-94
J Thai Rehabil Med 2015; 25(3): 87-94
DOI: 10.14456/jtm.2015.19

ประสิทธิผลจากการใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า (ยี่ห้อเด็นดี) ต่อการใช้พลังงานในการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะกึ่งเฉียบพลันที่มีปัญหาเท้าตก: การวิจัยนำร่อง

สุชา คำณนทรัพย์ พ.บ., มณฑนา บุญตระกูลพูนทวี พ.บ., ว.ว. เวชศาสตร์ฟื้นฟู,
อภิชนา ไชวินทะ พ.บ., อ.ว. เวชศาสตร์ฟื้นฟู
ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ABSTRACT

Effectiveness of Functional Electrical Stimulator (FES-Dearndee™) on Physiological Cost Index in Subacute Stroke Patients with Foot Drop: a Pilot Study

Kumnoonsup S, Buntragulpoontawee M, Kovindha A
Department of Rehabilitation Medicine, Faculty of Medicine,
Chiang Mai University

Objectives: To evaluate the energy-reducing effect of functional electrical stimulation (FES) -Dearndee™ in subacute stroke patients with foot drop.

Study design: Single-blinded (assessor), a pilot study (cross-over trial)

Setting: Department of Rehabilitation Medicine, Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital.

Subjects: Patients with subacute stroke (2 weeks – 6 months) who had foot drop during walking.

Methods: Demographic data, Brunnstrom of leg and modified Ashworth scale (MAS) of quadriceps and gastrocnemius of the subjects were collected. The subjects walked 20 meters twice, with and without FES. Heart rate and walking speed were recorded to calculate the physiological cost index (PCI, beats/m). The data were compared and analyzed with paired t-test. The relations between PCI and other factors (such as Brunnstrom of leg and MAS) were analyzed by using Spearman correlation. We also evaluated the patient's reasons for choosing or not choosing to use FES.

Results: Ten subjects, mean age of 58.2 years old (SD 14.8), mean duration of stroke of 38.8 days (SD 38.2), were recruited. The energy cost estimated by using PCI was lower during walking with FES than without FES (mean = 0.84, 1.51 beats/min respectively; $p = 0.011$). There were no significant differences in heart rate and walking speed between walking with and without FES

($p = 0.741$ and 0.768 respectively). The MAS of gastrocnemius had significantly positive correlation with the PCI in only walking without FES ($r^2 = 0.642$, $p = 0.046$). In addition, 77.8% of all would like to continue using FES as it made them walk better.

Conclusion: The function electrical stimulation-Dearndee™ has a tendency to decrease the energy cost during walking in subacute stroke patients with foot drop.

Keywords: stroke, hemiplegia, foot drop, functional electrical stimulation, physiological cost index

J Thai Rehabil Med 2015; 25(3): 87-94

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อวัดประสิทธิผลจากการใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า (ยี่ห้อเด็นดี) ต่อการใช้พลังงานในการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะกึ่งเฉียบพลันที่มีปัญหาเท้าตก

รูปแบบการวิจัย: การวิจัยนำร่องแบบสองระยะไขว้กันและปิดบังผู้ประเมิน

สถานที่ทำการวิจัย: ห้องตรวจผู้ป่วยนอกเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่

กลุ่มประชากร: ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะกึ่งเฉียบพลัน (2 สัปดาห์ – 6 เดือน) ที่มีปัญหาปลายเท้าตกขณะเดิน

วิธีการศึกษา: เก็บข้อมูลพื้นฐานและระดับการฟื้นกำลังกล้ามเนื้อขาของ Brunnstrom motor recovery และภาวะกล้ามเนื้อเกร็งโดยใช้ modified Ashworth scale (MAS) ของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าและกล้ามเนื้อน่องผู้เข้าร่วมการวิจัยเดินระยะทาง 20 เมตรสองครั้ง โดยใช้และไม่ใช้เครื่องเด็นดี และวัดอัตราหัวใจเต้นและอัตราเร็วการเดินเพื่อนำมาคำนวณหาดัชนีการใช้พลังงานทางกายด้วย (physiological cost index, PCI) หน่วยเป็นครั้งต่อเมตร และเปรียบเทียบข้อมูลโดยใช้ paired t-test, หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PCI กับตัวแปรเช่น ระดับ Brunnstrom,

Correspondence to: Dr. Sucha Kumnoonsup, Department of Rehabilitation Medicine, Faculty of Medicine, Chiang Mai University; E-mail: sucha_k@hotmail.com

MAS) ด้วย Spearman correlation รวมทั้งหาเหตุผลที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเลือกหรือไม่เลือกใช้เครื่องเดินดี

ผลการศึกษา: ผู้เข้าร่วมการศึกษา 10 คน มีอายุเฉลี่ย 58.2 ปี (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 14.8) และเป็นมานานเฉลี่ย 38.8 วัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 38.2) ขณะเดินโดยใช้เครื่องเดินดีพบค่า PCI ต่ำกว่าขณะเดินโดยไม่ใช้เครื่องเดินดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย = 0.84, 1.51 ครั้งต่อเมตร; $p = 0.011$) ทั้งนี้ อัตราหัวใจเต้นและอัตราเร็วการเดินของทั้งสองกลุ่ม ไม่แตกต่างกัน ($p = 0.741$ และ 0.768 ตามลำดับ) ส่วนระดับการเกร็งของกล้ามเนื้อองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพลังงานในการเดินเฉพาะเมื่อไม่ใช้เครื่องเดินดี ($r^2 = 0.642$, $p = 0.046$) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยร้อยละ 77.8 เลือกที่ใช้เครื่องเดินดีในการฝึกต่อไปโดยทุกคนในกลุ่มนี้เลือกใช้เพราะรู้สึกการเดินดีขึ้น

สรุป: เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้าที่ห่อเดินดีมีแนวโน้มสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการเดินสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลันที่มีปัญหาเท้าตกได้

คำสำคัญ: ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง, อ่อนแรงครึ่งซีก, ปลายเท้าตก, เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า, ดัชนีการใช้พลังงานทางกาย

เวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร 2558; 25(3): 87-94

บทนำ

จากรายงานการศึกษาของสมาคมโรคหลอดเลือดสมองไทย⁽¹⁾ ในปัจจุบันผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ร่วมกับการแพทย์ที่เจริญก้าวหน้า การใช้ยาเทคนิคการผ่าตัดและประสิทธิภาพของยาฆ่าเชื้อมากขึ้น ทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองมีอัตราการรอดชีวิตที่สูงขึ้นแต่สิ่งที่ตามมาคือสภาพความพิการในด้านต่าง ๆ โดยปัญหาด้านการเคลื่อนไหวที่พบได้บ่อยคือ ปลายเท้าตกขณะเดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลสำรวจของประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยประมาณร้อยละ 20 ของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการฟื้นตัวบางส่วน⁽²⁾ มีปัญหาปลายเท้าตกเนื่องจากกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าอ่อนแรงและเกร็ง ทำให้ไม่สามารถยกปลายเท้าพ้นพื้นขณะเดิน จึงมีลักษณะการเดินที่ผิดปกติ เช่น เดินยกสะโพก (hip hiking), การเดินเหี่ยงขาออก (circumduction), อัตราเร็วการเดินลดลง, เสี่ยงต่อการสะดุดหกล้ม⁽³⁾ และใช้พลังงานในการเดินเพิ่มขึ้น⁽⁴⁾

ในปีค.ศ. 1961 ได้มีการคิดค้นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาลายเท้าตกด้วยการใช้ไฟฟ้ากระตุ้นเส้นประสาท (functional electrical stimulation, FES) โดย Liberson⁽⁵⁾ โดยกระตุ้นผ่านขั้วไฟฟ้าบนผิวหนัง (surface electrode) ซึ่งทำงานสอดคล้องกับวงจรการเดิน (gait cycle) ที่ควบคุมด้วยสวิตช์ที่ส้นเท้า (heel-switch) โดยการกระตุ้นจะเริ่มเมื่อส้นเท้ามีการยกขึ้นเท้าขึ้นที่จุดเริ่มของการก้าวเท้า (swing phase) ส่งผลให้เกิดกระดกข้อเท้าและ

บิดออก การกระตุ้นจะหยุดลงเมื่อส้นเท้าวางถึงพื้นอีกครั้งหนึ่ง ตามทฤษฎีการใช้ FES มีข้อดีหลายประเด็น เช่น เพิ่มการไหลเวียนโลหิต, มีข้อมูลสะท้อนกลับด้านประสาทรับรู้ (afferent feedback), เพิ่มระยะทางการเดินได้ไกลมากขึ้น, เครื่อง FES มีรูปลักษณะเป็นที่ยอมรับได้มากกว่าอุปกรณ์พยุงข้อเท้า-เท้า (ankle foot orthosis, AFO)⁽⁶⁾ และทำให้ใช้พลังงานในการเดินน้อยกว่าเพราะช่วยแก้ไขรูปแบบการเดินที่ผิดปกติได้⁽⁷⁾ รวมถึงช่วยส่งเสริมการฟื้นและเพิ่มกำลังกล้ามเนื้ออีกด้วย⁽⁸⁾

จากการติดตามผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่เข้ารับการบำบัดฟื้นฟู ณ ห้องตรวจผู้ป่วยนอกเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบผู้ป่วยมีปัญหาปลายเท้าตกจำนวนไม่น้อย และส่วนหนึ่งเดินได้เพียงระยะทางสั้นเพราะรู้สึกเหนื่อยที่อาจเกิดจากสภาพร่างกายถดถอย ร่วมกับรูปแบบการเดินผิดปกติ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นขณะเดิน ส่วนแนวทางการบำบัดและฟื้นฟูสภาพเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาลายเท้าตก ณ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้แก่ กายภาพบำบัด (physical therapy) รวมทั้งการใช้สายคล้องกันเท้าตน (Y-strap) และการใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้า-เท้า (AFO) แต่หลังจากมีการผลิต FES ยี่ห้อเดินดีโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงได้ซื้ออุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อใช้ประกอบการฝึกเดินผู้ป่วยกลุ่มนี้

อนึ่ง จากผลงานวิจัยของ นพ.ประเมษฐ์ ฉายรัตน์ศิลป์ และคณะ⁽⁹⁾ พบว่าเครื่องเดินดีทำให้ขาข้างที่มีปลายเท้าตกระยะย่างก้าว (swing phase) ได้เร็วขึ้น และระยะขารับน้ำหนัก (stance phase) นานขึ้น แต่ไม่มีผลต่อมุมการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกและข้อเข่ารวมทั้งอัตราเร็วการเดินทั้งนี้ คาดว่าเกิดจากเครื่องเดินดีช่วยแก้ไขรูปแบบการเดินซึ่งน่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่ลดลงด้วย เพราะผู้ป่วยเดินได้สะดวกขึ้นและใกล้เคียงปกติมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักคือ ประสิทธิภาพของเครื่องเดินดีต่อดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (physiological cost index, PCI) ส่วนวัตถุประสงค์รองคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PCI กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องเช่น ระดับการฟื้นตัวของขา (Brunnstrom motor recovery stage) และระหว่างลำดับการเข้าร่วมงานวิจัยกับตัวแปร เช่นระดับความยากและระยะเวลาในการติดตั้งเครื่อง รวมถึงหาเหตุผลการเลือกใช้เครื่องเดินดีในอนาคต

วิธีการศึกษา

กลุ่มประชากร

ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะกึ่งเฉียบพลัน (2 สัปดาห์ – 6 เดือน) เมื่อเย็นเดินแล้วมีปัญหาปลายเท้าตกที่มารับการบำบัดฟื้นฟูสภาพหน่วยกายภาพบำบัด ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งผู้ป่วยนอก และหอฟื้นฟู

สภาพ ตั้งแต่ ต.ค. 2556 – ก.ค. 2557

เกณฑ์การคัดเข้า^(10,11)

ได้แก่ Brunnstrom motor recovery stage - leg น้อยกว่าระดับ 5, ทำตามคำสั่งได้ติดต่อกัน 2 ขั้นตอน, เดินได้ติดต่อกันโดยใช้/ไม่ใช้ ผู้ช่วย 1 คนเฝ้าระวัง นานอย่างน้อย 5 นาที (อาจหยุดเดินได้แต่ไม่นั่ง) และอายุอย่างน้อย 20 ปี

เกณฑ์การคัดออก^(10,11)

ได้แก่ ประวัติเจ็บแน่นหน้าอก, โรคหัวใจรั่วหรือตีบระดับปานกลางถึงรุนแรง, คลื่นหัวใจแสดงการขาดเลือดหรือการนำไฟฟ้าจากหัวใจห้องบนสู่ห้องล่างผิดปกติ (AV block), มีโรคประจำตัวเช่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ, รับประทานยา เช่น beta blocker หรือชาและกาแฟมาก่อนรับการทดสอบภายใน 2 ชั่วโมง, ความดันโลหิตขณะพักสูงกว่า 140/90, ข้อเข่าเสื่อม ขาพิการผิดปกติ, ไม่สามารถให้ส้นเท้าติดกับพื้นได้ เช่น จากอาการเกร็งของกล้ามเนื้อขาหรือข้อยึดติด (ankylosis), ผู้ตรวจกระดูกข้อเท้าให้ผู้ป่วย (passive ROM) ได้น้อยกว่า 20 องศาในท่าเข่าเหยียด, ไม่สามารถติดตั้งเครื่องเดินได้ เช่น มีการติดข้อ ขาขนาดใหญ่ไม่สามารถใช้สายรัดได้, ใช้เครื่องช่วยพยุงเดินสี่ขา(walker) หรือราวคู่ (parallel bar), ใช้อุปกรณ์พยุงขาที่ขัดขวางการติดตั้งเครื่องเดินได้เช่นอุปกรณ์พยุงเข่า (knee orthosis)

เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย

ได้แก่ ผู้เข้าร่วมวิจัยขอยกเลิกการเข้าร่วมวิจัย, มีผลข้างเคียงจากการใช้เครื่องเดินระหว่างการทดลอง เช่น แผลไหม้จากไฟฟ้า (electrical burn), เจ็บมากจากการถูกกระตุ้นไฟฟ้า เป็นต้น

อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

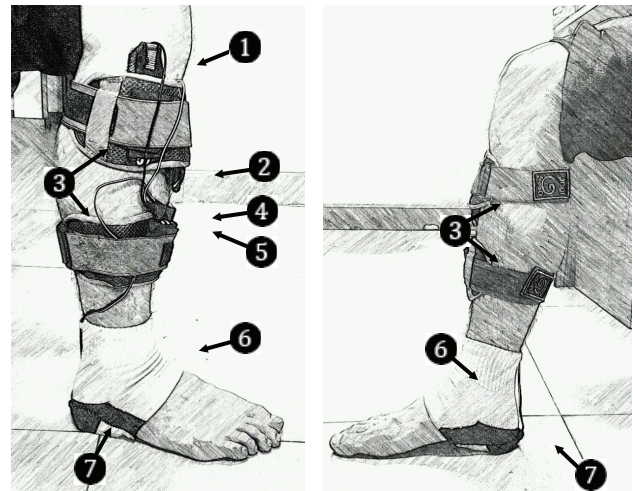
- เครื่อง FES ยี่ห้อเดินดี (ดูรูปที่ 1), ปากกา ไม่บรรทัด นาฬิกาจับเวลา

- แบบบันทึกลักษณะผู้ป่วยและข้อมูลทั่วไป เช่น อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูงระยะเวลาหลังเกิดโรคหลอดเลือดสมอง ระดับการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อขาของ Brunnstrom motor recovery stage และระดับระดับความเหนื่อยของบอร์ก (Borg's rating of perceived exertion, RPE) ภาษาไทย⁽¹²⁾

- แบบบันทึกการติดตั้งเครื่องเดินดีโดยนักกายภาพบำบัด

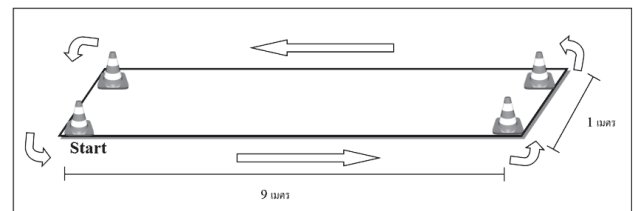
- แบบสอบถามความรู้สึกและเหตุผลในการเลือกหรือไม่เลือกใช้ FES

- เส้นทางเดินรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าระยะ 20 เมตร (ดูรูปที่ 2) ทั้งนี้ สืบเนื่องจากงานวิจัยของ Justine และคณะ⁽¹³⁾ ที่พบว่า การเดินเส้นตรงที่ต้องกลับตัว 180 องศา (sharp turning) ใช้พลังงาน (energy expenditure) มากกว่าการเดินเป็นสี่เหลี่ยมที่กลับตัว 90 องศา (corner turning) เพราะการเดินกลับตัว 180 องศา มีหลายขั้นตอน (pivot-turn และ step-turn ตามลำดับ)



รูปที่ 1 เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า (functional electrical stimulation, FES) ยี่ห้อเดินดี

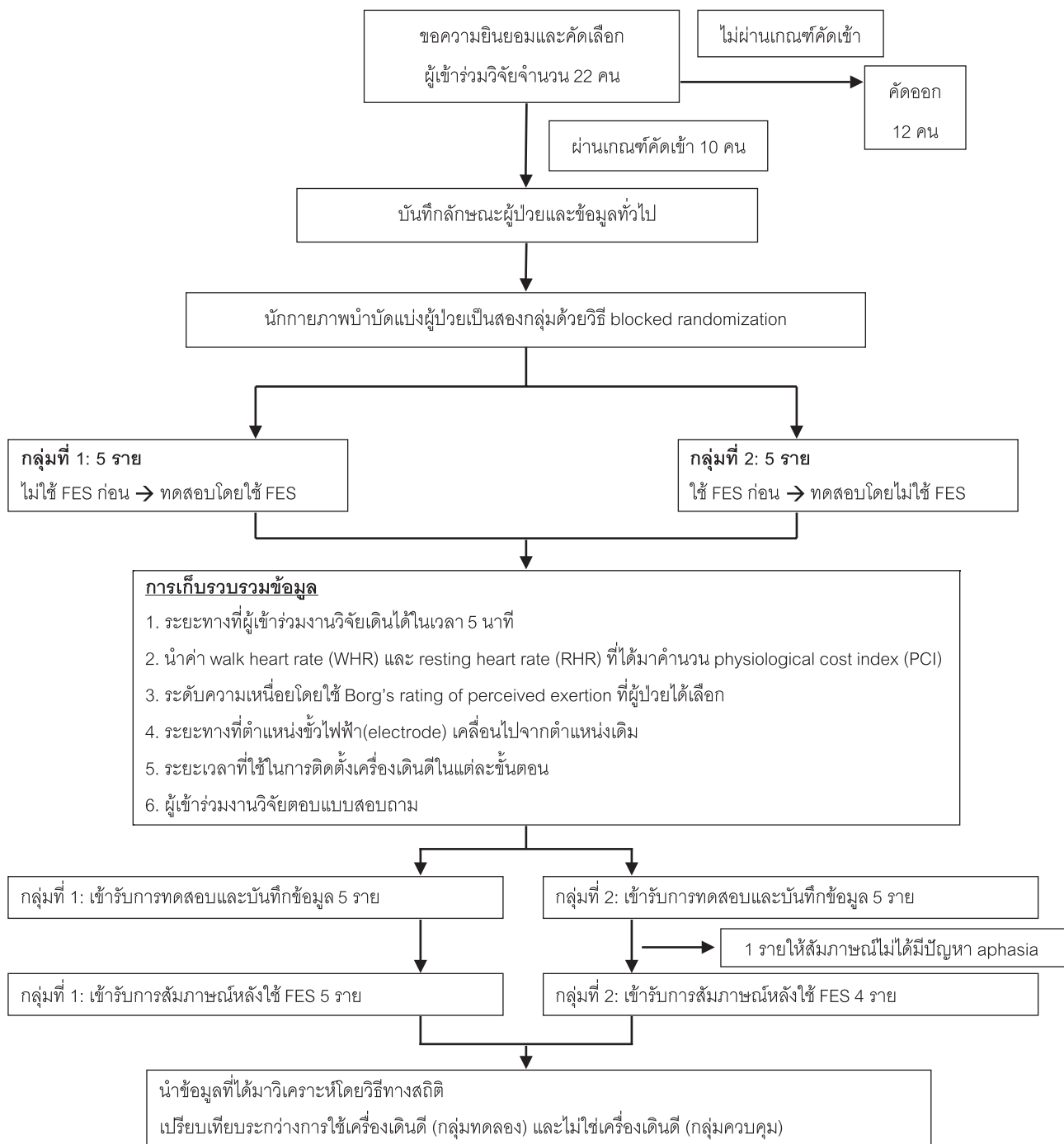
1. ขั้วไฟฟ้าแดง, 2. ขั้วไฟฟ้าดำ, 3. สายรัด, 4. เครื่อง FES ยี่ห้อเดินดี, 5. ช่องทียบแสง, 6. ถุงหุ้มข้อเท้า, 7. สวิตช์ที่ส้นเท้า (heel-switch)



รูปที่ 2 ตัวอย่างเส้นทางเดินระยะ 20 เมตร

ขั้นตอนการวิจัย (ดูแผนภูมิที่ 1)

1. ใช้คอมพิวเตอร์แบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมงานวิจัยด้วยวิธี blocked randomization และปกปิดไม่ให้ผู้ประเมินและผู้ป่วยที่เข้าร่วมวิจัยทราบ ทั้งนี้ กลุ่มที่ 1 เริ่มจากปิดเครื่องเดินดีแล้วจึงเปิดเครื่อง ส่วนกลุ่มที่ 2 เริ่มจากเปิดเครื่องเดินดีแล้วจึงปิดเครื่อง
2. นักกายภาพบำบัดติดตั้งเครื่องเดินดีและใส่เครื่องในช่องทียบแสงเพื่อปกปิดผู้ประเมินและผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่ให้เห็นว่าเครื่องเปิดใช้งานหรือไม่, ทำเครื่องหมายระบุตำแหน่งขั้วไฟฟ้า (active electrode) ในท่อน้ำ และจับระยะเวลาที่ใช้ติดตั้งเครื่องเดินดีหน่วยเป็นวินาที เริ่มตั้งแต่เตรียมอุปกรณ์, ใส่อุปกรณ์กับขาของผู้เข้าร่วมวิจัย, ปรับอุปกรณ์และตำแหน่งขั้วไฟฟ้าเสร็จ
3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแพทย์วัดอัตราหัวใจเต้นขณะพัก (resting heart rate, RHR) โดยใช้ stethoscope ฟังที่หน้าอกเป็นเวลา 30 วินาทีแล้วคูณสองหน่วยเป็นครั้ง/นาที
4. นักกายภาพบำบัดพาผู้เข้าร่วมงานวิจัยเดินสบาย ๆ ด้วยจังหวะของตนเอง ทั้งนี้ นักกายภาพแจ้งให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่เร่งให้เดินเร็วขึ้นและไม่ชวนคุยระหว่างการเดิน ยกเว้นมีเหตุจำเป็น



แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

5. เมื่อเดินครบ 5 นาที แล้วแพทย์วัดค่าอัตราการหัวใจเต้นหลังเดินทันที (walk heart rate, WHR), วัดระยะทางที่เดินได้⁽¹⁴⁾ หน่วยเป็นเมตรและมีทศนิยม 2 หลัก และคำนวณอัตราเร็วการเดิน (walking speed, WS) หน่วยเป็นเมตร/นาทีและ PCI โดยสูตร $PCI = \frac{WHR - RHR}{WS}$ (ครั้ง/เมตร)⁽¹⁵⁾
6. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยระบุระดับความเหนื่อย Borg's RPE
7. นิ่งพักเป็นเวลา 5 นาที แพทย์วัด RHR หรือนิ่งพักจนกว่าอัตราการหัวใจเต้นต่างจากครั้งแรกไม่เกิน 5 ครั้ง/นาที⁽¹⁶⁾
8. นักกายภาพบำบัดวัดระยะทางที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าเคลื่อนจากตำแหน่งเริ่มต้น โดยวัดจากขอบบนและขอบด้านข้างขั้วไฟฟ้าที่มีระยะห่างมากที่สุดในแนวตั้งและแนวนอน หน่วยเป็นมิลลิเมตร
9. จากนั้นปรับตำแหน่งและสวิตช์เครื่อง แล้วจึงพาผู้เข้าร่วมงานวิจัยเดินจนครบ 5 นาที (ตามขั้นตอนที่ 5-8)
10. สอบถามความรู้สึกและเหตุผลในการเลือกหรือไม่เลือกใช้อุปกรณ์
11. นักกายภาพบำบัดวัดระยะทางที่ขั้วไฟฟ้าเคลื่อนอีกครั้งหนึ่ง และระบุระดับความยากในการติดตั้งเครื่องเดินดีโดยใช้ visual analog scale (VAS)

หมายเหตุ ในทางปฏิบัติการวัดค่าการใช้พลังงานและ oxygen consumption (VO₂) นั้นทำได้ยาก และไม่เหมาะสมกับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ค่า PCI เพื่อวัดการใช้พลังงานขณะเดิน ซึ่งจากงานวิจัยของ Fredrickson และคณะ⁽¹⁵⁾ ค่า PCI มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ VO₂ ระดับดี ($r = .83, P < .001$) และ PCI สามารถวัดความแตกต่างระหว่างกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและคนปกติได้เช่นเดียวกับ VO₂ และจากงานวิจัยของ Jaiyesimi และคณะ⁽¹⁰⁾ PCI เป็นวิธีจับวัดที่มีความเที่ยงตรง (validity) และความน่าเชื่อถือ (reliability) สำหรับ energy expenditure

การวิเคราะห์ทางสถิติ

- ตั้งสมมุติฐานดังนี้
 - PCI และอัตราหัวใจเต้นหลังเดินครบ 5 นาที (WHR) ขณะใช้เครื่องเดินดีกว่าไม่ใช้เครื่อง
 - อัตราเร็วการเดินขณะใช้เครื่องเดินดีกว่าไม่ใช้เครื่อง
 - ผู้ป่วยเลือกใช้เครื่องเดินมากกว่าไม่ใช้เครื่อง
 - ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องเดินน้อยลง เมื่อผู้ติดตั้งได้ใช้บ่อยครั้งและมีความชำนาญมากขึ้น
- ใช้โปรแกรม SPSS (Statistic Package for Social Sciences) version 22.0 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนี้
 - ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัย เช่น เพศ, ชนิด/ระยะเวลา/ข้างที่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง รวมทั้งการเลือกใช้, การตัดสินใจซื้อและเหตุผลในการเลือกใช้/ซื้อเครื่องเดินดีใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ความถี่, ร้อยละ, ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ใช้ Kolmogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk วิเคราะห์การกระจายแบบปกติ (normal distribution)
 - ใช้ paired t-test เปรียบเทียบค่า PCI, WS และ WHR ระหว่างใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี
 - ใช้ Spearman Correlation หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่เป็น ordinal เช่น ระดับ Brunnstrom, MAS (กล้ามเนื้อเหยียดเข้าและกล้ามเนื้ออ่อน) กับ PCI, WS ระหว่างใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี และระหว่างลำดับของผู้ป่วยที่เข้าร่วมงานวิจัยกับระดับความยากในการติดตั้งเครื่องเดินดี

หมายเหตุ การวิจัยนี้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หมายเลข REC-25560815-01713 เลขที่ ศธ. 6393(8).18/369, Study code: REH-2556-01823

ผลการศึกษา

ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลันมีปัญหาเดินแล้วเท้าตก ทั้งหมด 22 ราย ถูกคัดออก 12 ราย เนื่องจากไม่ผ่าน

ตารางที่ 1 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 10 คน

		จำนวน (คน)
อายุ*	58.20 (14.85) ปี	
ระยะเวลาหลังเป็นโรค*	38.80 (38.28) วัน	
เพศ	- ชาย:หญิง	6:4
ชนิดโรคหลอดเลือดสมอง	- ขาดเลือด:เลือดออก	4:6
ซีกสมองที่มีพยาธิสภาพ	- ซ้าย:ขวา	5:5
ระดับ MAS กล้ามเนื้อเหยียดเข้า	- 1	6
	- 1+	4
ระดับ MAS กล้ามเนื้ออ่อน	- 1	6
	- 1+	4
การใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้า	- เคย	1
	- ไม่เคย	9
Aphasia [#]	- มี	3
	- ไม่มี	7

MAS = modified Ashworth scale; * = ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน); [#]มี motor aphasia 3 คน (2 คนอาการดีขึ้นสามารถพูดได้)

เกณฑ์คัดเข้าหรือมีเกณฑ์คัดออกคงเหลือเพียง 10 ราย ที่เข้าโครงการวิจัยและถูกสุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ราย (ดูแผนภูมิที่ 1) และตารางที่ 1 และ 2 แสดงข้อมูลทางประชากรศาสตร์และภาวะทางการแพทย์

ในขณะที่เดินใช้เครื่องเดินดี ค่าเฉลี่ย PCI เท่ากับ 0.84 ครั้ง/เมตร ต่ำกว่าขณะเดินไม่ใช้ที่ค่าเฉลี่ย PCI เท่ากับ 1.51 ครั้ง/เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.011$) แต่อัตราหัวใจเต้นหลังเดินครบ (WHR), อัตราเร็วการเดิน (walking speed) ไม่แตกต่างกัน ($p = 0.741, p = 0.768$ ตามลำดับ) อายุ, ระยะเวลาหลังจากเป็นโรค, เพศ ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยทางสถิติ (ดูตารางที่ 2 และ 3), ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนทั้งขณะเดินโดยใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี ให้ระดับความเหนื่อย (Borg's RPE) เท่ากัน และเมื่อนำตัวแปรทางคลินิกมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานพบว่าระดับการเกร็งของกล้ามเนื้ออ่อนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพลังงานที่ใช้ในการเดินเมื่อไม่ใช้เครื่องเดินดี ($r^2 = 0.642, p = 0.046$) แต่กลับไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ขณะใช้เครื่องเดินดี ($r^2 = 0.426, p = 0.219$)

จากการสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมงานวิจัย 9 คนที่พูดได้ พบว่าร้อยละ 7 คนเลือกใช้เครื่องเดินดีในการฝึกเดินต่อไปโดยทั้ง 7 คน ระบุว่าใช้แล้วรู้สึกการเดินดีขึ้น (ท่าทาง ความมั่นใจ รู้สึกปลอดภัย), 5 คน รู้สึกว่ากระดกข้อเท้าได้ และเหตุผลอื่น ๆ เช่น “เดินแล้วไม่เซไปมา”, “เดินแล้วรู้สึกเหนื่อยน้อยกว่าไม่ต้องหอบหายใจทางปาก”, “รู้สึกเวลาเดินเบาว่าเดินง่ายกว่า ไม่พะวงเรื่องรู้สึกเกร็ง” และมีรายหนึ่งที่นักกายภาพบำบัดบันทึกว่า “รอบที่ใช้เครื่องช่วยประคองขณะเดินน้อยลง ไม่ค่อยเซไปมา” ส่วนผู้เข้าร่วมงานวิจัยอีก 2 เลือกที่จะไม่ใช้เครื่องเดินดี

ตารางที่ 2 ข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้ง 10 คน และค่าดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (PCI) ในขณะที่ใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี

ลำดับ ผู้เข้าร่วมงานวิจัย	อายุ (ปี)	ระยะเวลาหลัง เป็นโรคหลอดเลือด สมอง (วัน)	การใช้อุปกรณ์ พยุงข้อเท้า-เท้า	PCI		ค่าความแตกต่าง (ใช้- ไม่ใช้)	การเลือกใช้ เครื่องเดินดีหลัง การทดสอบ
				ใช้ เครื่อง	ไม่ใช้ เครื่อง		
1	72	28	ไม่เคย	0.19	1.05	- 0.86	ใช้
2	53	40	เคย	1.04	2.72	- 1.68	ใช้
3	77	135	ไม่เคย	1.12	1.82	- 0.70	ไม่ใช้
4	58	21	ไม่เคย	0.54	1.05	- 0.51	ใช้
5	71	15	ไม่เคย	1.83	1.03	0.80	ใช้
6	72	73	ไม่เคย	1.24	2.35	- 1.11	ใช้
7	54	15	ไม่เคย	0.22	0.47	- 0.25	ใช้
8	42	31	ไม่เคย	0.37	1.57	- 1.20	- [#]
9	31	16	ไม่เคย	1.06	1.86	- 0.80	ใช้
10	52	14	ไม่เคย	0.76	1.18	- 0.42	ไม่ใช้
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	58.2 (14.8)	38.8 (38.2)		0.84 (0.52)	1.51 (0.68)	- 0.67	

PCI = physiological cost index(หน่วยเป็นครั้ง/เมตร); FES = functional electrical stimulation; [#]มีปัญหามอเตอร์ motor aphasia

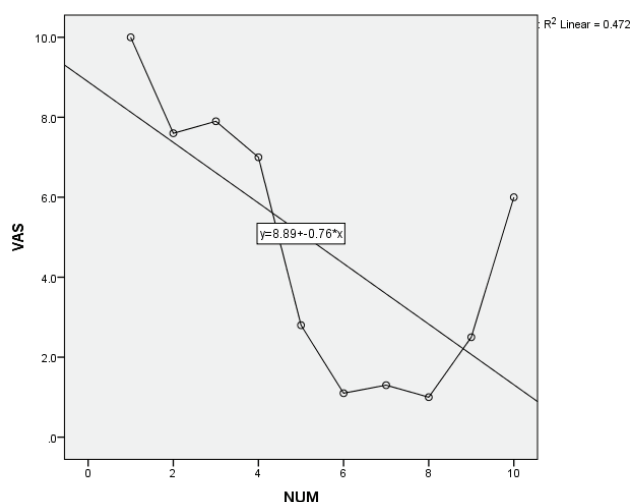
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (PCI), อัตราเร็วการเดิน (WS) และอัตราหัวใจเต้นหลังเดินครบ 5 นาที (WHR)

เปรียบเทียบระหว่างการเปิดใช้ และไม่เปิดใช้เครื่องเดินดี	Paired Differences						Sig. (2-tailed)
	Mean	Standard deviation	Standard Error Mean	95% CI		t	
PCI	-.67390	.66453	.21014	-1.14928	-.19852	-3.207	.011*
WS	.11600	1.20493	.38103	-.74595	.97795	.304	.768
WHR	2.444	22.702	7.179	-13.796	18.684	.340	.741

ใช้ paired t-test,* = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$; PCI, physiological cost index; WS, Walking speed, WHR, walking heart rate

โดยให้เหตุผลว่า “ไม่คุ้นเคย รู้สึกเดินยากขึ้น”, “รู้สึกพะวงเนื่องจากเท้าเกร็งกระดกขึ้น” ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมงานวิจัย 4 คน จาก 9 คน ระบุว่าหาซื้อเครื่องเดินดีไปใช้ในอนาคต ที่เหลืออีก 5 คน จะไม่ซื้อโดยในกลุ่มหลังนี้มี 2 คน ไม่เลือกฝึกโดยใช้เครื่องเดินดีดังที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ส่วนอีก 3 คนที่เลือกฝึกโดยใช้เครื่องเดินดีแต่จะไม่ไปหาซื้อ โดย 2 คน ระบุ “ราคาแพง” อีก 1 คน ระบุ “ไม่อยากมีเครื่องติดตัว”

ส่วนลำดับการเข้าร่วมงานวิจัยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับความยากในการติดตั้งเครื่องเดินดี ที่ระบุโดยนักกายภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = -0.721$, $p = 0.019$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการติดตั้งเครื่องเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = -0.486$, $p = 0.153$) อนึ่ง ระดับความยากมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = 0.821$, $p = 0.004$) (ดูแผนภูมิที่ 2)



แผนภูมิที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับการเข้าร่วมการวิจัยกับระดับความยากที่ให้นิยามโดยนักกายภาพบำบัด

VAS คือระดับความยากที่ให้นิยามโดยนักกายภาพบำบัด และ NUM คือลำดับการเข้าร่วมงานวิจัย

บทวิจารณ์

ผลงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้เครื่องเดินดีค่าดัชนีการใช้พลังงานทางกาย (PCI) น้อยกว่าเมื่อไม่ใช้เครื่องและเป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อกล้ามเนื้อเกร็งมากและไม่ใช้เครื่องเดินดีค่า PCI สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะกล้ามเนื้อหดเกร็งทำให้ขาข้างที่มีพยาธิสภาพยาวกว่าข้างปกติ ดังนั้นขณะก้าวขาไปข้างหน้าจำเป็นต้องมีกระบวนการชดเชยเพื่อยกเท้าให้พ้นพื้น เช่น ยกสะโพก, เขย่งขาออกด้านนอก หรือ เขย่งเท้าข้างที่ตี ผู้ป่วยจึงต้องใช้พลังงานในการเดินมากขึ้นแม้ว่าในทางสถิติพบว่าการใช้เครื่องเดินดีทำให้ผู้ป่วยใช้พลังงานในการเดินน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้เครื่องแต่ในทางคลินิกระดับความเหนื่อยของผู้ป่วยไม่มีความแตกต่างกันระหว่างช่วงที่ใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี อาจเป็นเพราะผู้เข้าร่วมงานวิจัยเดินด้วยอัตราเร็วที่รู้สึกสบาย ๆ , ระยะเวลาเดินสั้นและ รูปแบบทางเดินที่เรียบง่าย⁽¹³⁾ ดังนั้น ในอนาคตหากเปรียบเทียบระยะทางเดินที่ผู้ป่วยเดินได้ไกลที่สุดอาจเห็นความแตกต่างระหว่างการใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี

เป็นที่น่าสนใจที่พบว่า ทั้งอัตราหัวใจเต้นหลังหยุดเดิน (WHR) และอัตราเร็วการเดิน (WS) ขณะใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดีไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อนำมาคำนวณค่า PCI กลับพบว่ามี ความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องมาจากค่า PCI เป็นอัตราส่วน ทำให้เมื่อ WHRเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลที่ได้คือค่า PCI จึงแตกต่างเด่นชัดมากขึ้นกว่าหลายเท่า อย่างไรก็ตามการที่อัตราหัวใจเต้นไม่ต่างกันมากขณะใช้และไม่ใช้เครื่องเดินดี อาจเกิดจากขณะใช้เครื่องเดินดีมีไฟฟ้ากระตุ้นทำให้ผู้ป่วยตกใจหรือรู้สึกกระคายเคือง จึงส่งผลต่ออัตราหัวใจเต้นที่ควรต่ำลงมากกว่านี้กลับสูงขึ้น

อนึ่ง ผลงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับของ Ignat และคณะ⁽¹⁷⁾ ที่ใช้ FES ชนิด single channel stimulator ซึ่งมีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกันกับเครื่องเดินดี โดยศึกษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเรื้อรัง 15 คน ที่รับการฝึกเดินโดยใช้ FES วันละ 30-45 นาที ร่วมกับกายภาพบำบัด 30 นาที – 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 วันพบว่า ในกลุ่ม FES ค่าเฉลี่ย PCI รวมทั้ง 6 วัน เท่ากับ 0.128 ครั้ง/เมตร ต่ำกว่ากลุ่มไม่ใช้ FES ที่เท่ากับ 0.261 ครั้ง/เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.0001$) นั่นคือ ขณะใช้ค่า PCI ลดลงมาประมาณครึ่งหนึ่งใกล้เคียงกันแต่สูงกว่าการศึกษาที่ใช้เครื่องเดินดี ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะกลุ่มประชากรเป็นผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะเรื้อรังมีการปรับตัวให้ลักษณะการเดินใช้พลังงานลดลงอยู่แล้ว ค่า PCI ขณะไม่ใช้ FES จึงต่ำกว่า และค่า PCI เป็นค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้ง 6 วันติดต่อกัน

นอกจากประสิทธิผลของการใช้เครื่องเดินดีต่อการใช้พลังงานขณะเดินดังกล่าวข้างต้นแล้ว งานวิจัยครั้งนี้ไม่พบผลข้างเคียง

หรืออันตรายจากการใช้เครื่องเดินดี เช่น แผลไหม้หรืออาการปวดจากกระแสไฟฟ้า, ข้อเท้าพลิกขณะเดิน, หกล้ม ทั้งนี้คงเป็นเพราะงานวิจัยใช้เวลาเดินเพียง 5 นาที ประกอบทางเดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ผู้ป่วยเดินกลับตัวเพียง 90 องศา จึงไม่เสี่ยงต่อการเสียการทรงตัว เช่นเดียวกับการเดินทางตรงและต้องหมุนตัวกลับ 180 องศา⁽¹³⁾ อนึ่ง การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้สัมภาษณ์ความรู้สึกของผู้ป่วยว่าการใช้เครื่องเดินดีมีผลต่อการเดินกลับตัว 90 องศา หรือไม่ และหากต้องเดินกลับตัว 180 องศา การใช้เครื่องเดินดีจะช่วยทำให้เดินกลับตัวสะดวกขึ้นหรือไม่ ข้อสงสัยนี้อาจเป็นประเด็นสำหรับการทำงานวิจัยต่อไปในอนาคต

นอกจากนี้ ความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างลำดับเข้าร่วมงานวิจัยกับระดับความยากในการติดตั้งเครื่องเดินดีโดยนักกายภาพ และมีแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการติดตั้งเครื่องบ่งชี้ว่าการทำซ้ำ ๆ หลายครั้งทำให้นักกายภาพบำบัดมีทักษะจึงติดตั้งเครื่องได้เร็วและง่ายขึ้น ทั้งนี้ แผนภูมิที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนักกายภาพบำบัดติดตั้งเกิน 10 ครั้ง ระดับความยากมีแนวโน้มลดลงต่ำมากเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น หากผู้ป่วยนำเครื่องเดินดีไปใช้งานที่บ้าน ผู้ดูแลจึงจำเป็นต้องได้รับการฝึกติดตั้งเครื่องไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง จึงจะมีทักษะและรู้สึกรู้ว่าการใช้เครื่องไม่ใช่เรื่องยาก

อนึ่ง ผู้วิจัยได้พยายามออกแบบงานวิจัยเป็นแบบปิดบังสองฝ่าย (double-blind) คือทั้งผู้เข้าร่วมงานวิจัยและผู้ประเมินไม่ทราบว่าช่วงใดมีการใช้เครื่องเดินดี แต่จากการสอบถามผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้ง 9 คน (ที่พูดได้) สามารถบอกได้ถูกต้องว่ารอบการเดินใดที่มีการเปิดใช้เครื่องดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นแบบปิดบังฝ่ายเดียว (single-blind) คือผู้ประเมินเท่านั้น ส่วนข้อด้อยอื่นคือการศึกษานี้เป็นเพียงงานวิจัยนำร่อง (pilot study) นอกจากนี้ การใช้เครื่องเดินดีในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้าเพื่อทำให้กล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าทำงานขณะเดินดี (FES) โดยทดสอบหลังการฝึกใช้เพียงครั้งเดียว ซึ่งมีใช้การกระตุ้นที่ต้องการเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อ (therapeutic ES) ที่ต้องอาศัยการฝึกระยะยาว ดังนั้น หากต้องการยืนยันสมมุติฐานต้องเพิ่มจำนวนผู้เข้าร่วมงานวิจัย และหากต้องการพิสูจน์ว่าเครื่องเดินดีมีผลต่อการเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อคงต้องเพิ่มระยะเวลาใช้งาน

สรุปได้ว่า เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้ายี่ห้อเดินดีที่ผลิตในประเทศไทยมีแนวโน้มทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลันที่มีปัญหาเท้าตกจากกล้ามเนื้อหดเกร็งไม่มาก เดินนาน 5 นาทีโดยใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อไม่เปิดใช้เครื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ผศ.ดร.เซ่ง เลิศมนิรัตน์, นายจิรวัดน์ จิตประสูติวิทย์ และ
นายรติกร ชัยวัฒนธรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
มหิดล ที่กรุณาเปลี่ยนเครื่องเดินดีจากรุ่นเก่าเป็นรุ่นใหม่ล่าสุด;
อาจารย์ พญ.ปรัชญพร คำเมืองลือ และอาจารย์ นพ.ปกรณ
วิวัฒน์วงศ์วรา ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู และคุณรจนา เพื่อก-
จันทิก นักสถิติ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้
ให้คำปรึกษาเรื่องออกแบบงานวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติ และ
คุณนันทวัน ดาวเลิศ และคุณเวรกา กิริติบำรุงพงศ์ นักกายภาพ
บำบัด เป็นผู้ช่วยดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. สถานการณ์โรคหลอดเลือดสมอง [Internet]. Thai Stroke Society. [cited 2013 Mar 27]. Available from: <http://thaistrokesociety.org/purpose/สถานการณ์โรคหลอดเลือดสมอง/>
2. 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;11:201–10.
3. Kottink AIR, Oostendorp LJM, Buurke JH, Nene AV, Hermens HJ, IJzerman MJ. The orthotic effect of functional electrical stimulation on the improvement of walking in stroke patients with a dropped foot: a systematic review. Artif Organs. 2004; 28:577–86.
4. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. Gait Posture 1999; 9: 207–31.
5. Liberson WT, Holmquest ME, Scot D, Dow M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Arch Phys Med Rehabil 1961;42:101-5.
6. Ring H, Treger I, Gruendlinger L, Hausdorff JM. Neuroprosthesis for footdrop compared with an ankle-foot orthosis: effects on postural control during walking. J Stroke Cerebrovasc Dis 2009;18:41-7.
7. Merletti R, Andina A, Galante M, Furlan I. Clinical experience of electronic peroneal stimulators in 50 hemiparetic patients. Scand J Rehabil Med 1979;11:111–21.
8. Burridge JH, Swain ID, Taylor PN. Functional electrical stimulation: a review of the literature published on common peroneal nerve stimulation for the correction of dropped foot. Rev Clin Gerontol 1998;8:155–61.
9. ประเมษฐ์ ฉายารัตนศิลป์, ศิวพร วงศ์พิพัฒน์, วาริ จิรดิษฐ์. การศึกษานำร่องเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเดินเมื่อใส่และไม่ใส่เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าขณะเดิน “เครื่องเดินดีTM” ในผู้ป่วยที่มีปลายเท้าตก. นำเสนอที่: งานประชุมราชวิทยาลัยแพทยเวชศาสตร์ฟื้นฟู; 2556; กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
10. Jaiyesimi AO, Fashakin OG. Reliability of physiological cost index measurements. Afr J Med Med Sci 2007;36:229–34.
11. Sabut SK, Sikdar 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.
12. สมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ The Heart Association of Thailand under the Royal Patronage [Internet]. thaiheart.org. [cited 2013 Jul 25]. Available from: www.thaiheart.org/images/column_1291454908/RehabGuideline.pdf
13. Justine M, Manaf H, Sulaiman A, Razi S, Alias HA. Sharp turning and corner turning: comparison of energy expenditure, gait parameters, and level of fatigue among community-dwelling elderly. Biomed Res Int 2014;640321.
14. Danielsson A, Willén C, Sunnerhagen KS. Measurement of energy cost by the physiological cost index in walking after stroke. Arch Phys Med Rehabil 2007; 88: 1298–303.
15. 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; 2: 429–34.
16. Kim MO, Burns AS, Ditunno JF Jr, Marino RJ. The assessment of walking capacity using the walking index for spinal cord injury: self-selected versus maximal levels. Arch Phys Med Rehabil 2007;88:762–7.
17. Ignat B, Duca A, Bohotin V, et al. The effect of a short functional electrical stimulation training programme on gait parameters in chronic stroke survivors. Ro J of Neurol 2009; 9:21–7.