

ผลของการฝึกการทรงตัวด้วยการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตาโดยใช้โทรศัพท์มือถือ แบบ สมาร์ทโฟนที่มีผลต่อความสามารถในการยืนทรงตัวของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง:

การศึกษานำร่อง

Effect of balance training by smartphone visual feedback on standing balance in patients with
stroke: pilot study

นพพล ประโมทยกุล*, อรณิชา ยางงาม, ณัฐธยาน์ สัจจาภิบาลธรรม, ปุณทริก แก้วเทพ

Noppol Pramodhyakul*, Onnicha Yangngam, Natthayar Satjapibantham, Puntarik Keawtep

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: การฝึกการทรงตัวร่วมกับการป้อนข้อมูลกลับทางสายตาช่วยให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองสามารถฟื้นฟูความสามารถการทรงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนได้ถูกเริ่มนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการให้ผลป้อนกลับทางสายตามากขึ้น ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสนใจที่จะสร้างแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนเพื่อฟื้นฟูความสามารถการทรงตัวสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

วัตถุประสงค์: ศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของการฝึกการทรงตัวด้วยการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตาจากแอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนที่มีต่อความสามารถการยืนทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

วิธีการ: ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเรื้อรัง จำนวน 17 คน ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่วิจัยการศึกษา โดยผู้เข้าร่วมการศึกษานี้ได้รับการฝึกการทรงตัวขณะอยู่หนึ่งและการฝึกถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆขณะยืนด้วยการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตาจาก แอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้น เป็นระยะเวลา 32 นาที ผู้เข้าร่วมการศึกษานี้ได้รับการประเมินความสามารถการทรงตัวที่ประกอบด้วยการทดสอบสัดส่วนความสมมาตรในการลงน้ำหนัก การลงน้ำหนักผ่านขาข้าง อ่อนแรง การทดสอบ timed up and go test (TUGT) และการทดสอบ multi-directional reach test (MDRT) ก่อนและหลังการฝึก การศึกษานี้ใช้สถิติ Dependent samples t-test และ Wilcoxon

signed rank test ในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการฝึก

ผลการศึกษา: ภายหลังการฝึกพบว่าผู้เข้าร่วมการศึกษามีการถ่ายน้ำหนักไปยังขาข้างอ่อนแรง ค่าการทดสอบ timed up and go test และ ค่าการทดสอบ multi-directional reach test ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัดส่วนความสมมาตรของการลงน้ำหนัก ($p > 0.05$)

สรุปการศึกษา: ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลของการฝึกการทรงตัวโดยการใช้แอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนในการฟื้นฟูความสามารถการยืนทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองแบบเรื้อรัง อย่างไรก็ตาม ผลของการฝึกเพียง 1 ครั้งไม่น่าจะยืนยันประโยชน์ของการใช้แอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนได้ ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปในอนาคตควรศึกษาด้วยวิธีการศึกษาแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุมและควรมีช่วงระยะเวลาในการฝึกที่นานขึ้น

ABSTRACT

Background: Standing balance training with visual feedback improved ability to control balance in patients with stroke. Nowadays, smartphone is begun to use as a part of standing balance training with visual feedback. Therefore, this study was interesting to construct application of smartphone in order to improve balance in patients with stroke.

*corresponding author: Noppol Pramodhyakul. Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University, Thailand. Email: noppol.P@allied.tu.ac.th

Objectives: To investigate the preliminary efficiency effects of balance training by smartphone visual feedback for improving standing balance in patients with stroke.

Methods: 17 patients with chronic stroke were recruited in this study. The subjects received static and dynamic standing balance training by using a developed smartphone application for 32 minutes. Prior to and after the training periods, subjects were assessed their functional balance that consisted of symmetry ratio, weight shifting through the affected leg, timed up and go test (TUGT) and multi-directional reach test (MDRT). Dependent samples t-test and Wilcoxon signed rank test were used to detect change after training.

Results: After training, subjects demonstrated significantly improved their ability to shift body weight through the affected leg, timed up and go test and multi-directional reach test ($p < 0.05$). However, there was no significant improvement of weight distribution ratio ($p > 0.05$).

Conclusion: The finding demonstrated effect of balance training by using a smartphone application to improve standing balance in patients with chronic stroke. Nevertheless, one session of training may not confirm benefit of standing balance training program using the developed smartphone application, a further study with a randomized control trials and long period of training are needed.

Keywords: stroke, balance, feedback, smartphone, accelerometer

บทนำ

ความบกพร่องของการควบคุมการทรงตัวในขณะยืนเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง เช่น การลงน้ำหนักผ่านขาทั้งสองข้างที่ไม่สมมาตรกัน และประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักผ่านขาข้างอ่อนแรงที่ลดลง¹⁻² ส่งผลให้ผู้ป่วยมีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวเพื่อทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การลุกขึ้นยืนและการเดิน รวมทั้งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการล้มเพิ่มมากขึ้น³⁻⁶

ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการควบคุมการเคลื่อนไหวในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง คือ ความบกพร่องในการจัดการข้อมูลภายในตัวเอง (intrinsic information) ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถปรับรูปแบบการเคลื่อนไหวหรือการทรงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁷ ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีการนำอุปกรณ์ที่สามารถให้ข้อมูลจากภายนอก (extrinsic information) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการฝึกการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองโดย เช่น Smart Balance Master, force platform และ Nintendo Wii Fit⁸⁻¹⁰ จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ฝึกการทรงตัวร่วมกับการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตา (visual feedback) มีความสามารถการทรงตัวและการเคลื่อนไหวที่ดีขึ้น⁸⁻¹⁰ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่สามารถให้ข้อมูลจากภายนอกมักมีราคาแพง ต้องการความชำนาญในการใช้ รวมทั้งอุปกรณ์บางชนิด เช่น Nintendo Wii Fit มีลักษณะของโปรแกรมและลักษณะของอุปกรณ์ที่เหมาะสมแก่การทำกิจกรรมนันทนาการมากกว่าการนำไปใช้สำหรับฟื้นฟู เช่น ลักษณะของตัวควบคุมที่ผู้ป่วยมีความยากลำบากในการจับ หรือเกมส์ที่มีความซับซ้อนมากเกินไปจึงไม่เหมาะที่ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่จะนำไปใช้ฝึกด้วยตนเองที่บ้าน¹¹⁻¹²

ปัจจุบันโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน (smartphone) เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีระบบปฏิบัติการที่สามารถรองรับการใช้แอปพลิเคชัน (application) ต่างๆ ที่เป็น

ประโยชน์ต่อการใช้ชีวิตประจำวัน นอกจากนี้
โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน ยังมีอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน
เรียกว่า ตัวตรวจจับความเร่ง (accelerometer sensor)
ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงมุมของ
โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนทั้ง 3 ทิศทางในแนวแกน
นอน (X-axis) แกนตั้ง (Y-axis) และแกนขวาง (Z-
axis)¹³⁻¹⁴ Amick และคณะในปี ค.ศ. 2015 พบว่า
accelerometer sensor ที่อยู่ในโทรศัพท์มือถือแบบ
สมาร์ทโฟนมีความน่าเชื่อถือในระดับปานกลาง (ICC=
0.76) สำหรับการประเมินการทรงตัว¹³ ดังนั้น ในปัจจุบัน
จึงเริ่มมีการนำโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนมาใช้เป็น
ส่วนหนึ่งสำหรับการฝึกการทรงตัว^{12, 15-16} โดย
โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์
ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้น และ
สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับทั้งแบบ vibrotactile
feedback และ visual feedback เพื่อใช้ในการปรับ
ท่าทางหากมีการเซของลำตัวหรือใช้ในการให้ผล
ป้อนกลับสำหรับฝึกการทรงตัว¹²⁻¹⁴ Afzal และคณะในปี
ค.ศ. 2016 ได้พัฒนาระบบการฝึกการทรงตัวที่ให้ผล
ป้อนกลับโดยใช้โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนติดตั้งที่
เอวของอาสาสมัครสุขภาพดีเพื่อทำหน้าที่วัดการเอียง
ของลำตัวและส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล
และแสดงผลป้อนกลับในโปรแกรมการฝึกทรงตัวใน
ท่าทางต่างๆ เช่น ยืนขาเดียว (one leg stance) และ
ยืนปลายเท้าต่อส้นเท้า (tandem Romberg stance)
ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอาสาสมัครสุขภาพดีมีการ
เซของลำตัวที่ลดลงเมื่อได้รับผลป้อนกลับ นอกจากนี้
Shin และคณะในปี ค.ศ. 2016 ได้พัฒนา smartphone-
based visual feedback trunk control training เพื่อ
นำมาใช้ฝึกการควบคุมลำตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือด
สมอง ผลการศึกษพบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่
ได้รับการฝึกจะสามารถควบคุมลำตัวได้มีประสิทธิภาพ
มากขึ้น ซึ่งแสดงจากการประเมินด้วยแบบทดสอบ
static balance assessment, modified functional

reach test, timed up and go test และ trunk
impairment scale¹²

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประโยชน์
ของการนำโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนมาใช้ในการ
ฝึกการทรงตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแอป
พลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนที่สามารถ
ให้ผลป้อนกลับสำหรับฝึกการทรงตัวขึ้น โดยโปรแกรม
การฝึกที่อยู่ในแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นนี้มีพื้นฐาน
มาจากหลักการของ limit of stability ที่หมายถึง
ความสามารถที่สามารถเอนร่างกายไปในทิศทางต่างๆ
ได้มากที่สุดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของ
ฐานรองรับ¹⁷ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรม
การฝึก โดยนำค่าขอบเขตสูงสุดที่จะเอนร่างกายไปใน
ทิศทางต่างๆ ประกอบด้วยขอบเขตด้านหน้า 8 องศา
ขอบเขตด้านซ้ายและขวาข้างละ 8 องศาและด้านหลัง
4.5 องศา มากำหนดเป็นเป้าหมายของการฝึก เพื่อ
กระตุ้นให้ผู้รับการฝึกพยายามที่จะถ่วงน้ำหนัก ให้
ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากนี้ระบบการฝึก
ดังกล่าวต้องการอุปกรณ์เพียง 2 อย่าง คือ
โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนที่ทำหน้าที่วัดการ
เคลื่อนไหวของร่างกายและจอภาพแสดงโปรแกรมการ
ฝึกและผลป้อนกลับ ทำให้ผู้ป่วยหรือนักกายภาพบำบัด
เข้าถึงโปรแกรมการฝึกได้ง่ายและมีความสะดวกในการ
ใช้งานทั้งที่แผนกกายภาพบำบัดหรือที่บ้านของผู้ป่วย
อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการทดสอบผลของการใช้แอป
พลิเคชันดังกล่าวในการฝึกการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือด
สมอง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ
ศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของการฝึกการทรงตัวในท่า
ยืนในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองด้วยวิธีการป้อนข้อมูล
กลับผ่านทางสายตาจากแอปพลิเคชันของโทรศัพท์ มือ
ถือแบบสมาร์ทโฟน

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้มีรูปแบบ quasi-experimental study design และผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชุดที่ 3 เลขที่ 067/2559

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเพศชายและเพศหญิง ช่วงอายุตั้งแต่ 40-70 ปี ที่ถูกวินิจฉัยทางการแพทย์ว่าเป็นโรคหลอดเลือดสมองครั้งแรกโดยมีสาเหตุจากเส้นเลือดสมองตีบหรือเส้นเลือดสมองแตกที่มีอาการมากกว่า 6 เดือน ขึ้นไป สามารถยืนได้ด้วยตนเองโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือน้อยกว่า 30 วินาที สามารถเดินได้ด้วยตนเองโดยใช้หรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดินเป็นระยะทางอย่างน้อย 10 เมตร และสามารถมองเห็นจอภาพได้ในระยะทางอย่างน้อย 60 เซนติเมตร สำหรับเกณฑ์การคัดออกประกอบด้วย อาสาสมัครที่มีสัญญาณชีพไม่คงที่ มีผลการประเมิน mini-mental state examination น้อยกว่า 23 คะแนน มีความผิดปกติของความตึงตัวของกล้ามเนื้ออย่างชัดเจน ส่วนล่างเกินเกรด 2 ของแบบประเมิน modified Ashworth scale มีความผิดปกติของระบบประสาทอื่นๆ และระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการทรงตัว ขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้คำนวณโดยโปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.0.10 ซึ่งได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 28 คน

ขั้นตอนการวิจัย

อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าและออกจะได้รับการสุ่มลำดับเพื่อประเมินความสามารถการทรงตัวก่อนและหลังการฝึก ประกอบด้วย การประเมินความสามารถของการลงน้ำหนักขณะยืน การถ่ายน้ำหนักระหว่างขาทั้งสองข้าง การทดสอบ timed up and go test และการทดสอบ multi-directional reach test อาสาสมัครจะได้รับการคาดเข็มขัดทุกครั้งในระหว่าง

การประเมินความสามารถและพักภายหลังการทดสอบแต่ละครั้งของทุกการทดสอบ 5 นาที หรือจนกว่าอาสาสมัครจะพร้อมรับการประเมินต่อ ขั้นตอนของการประเมินความสามารถการทรงตัวมีดังต่อไปนี้

ความสมมาตรของการลงน้ำหนักขณะยืน

อาสาสมัครยืนตรงวางเท้าแต่ละข้างบนเครื่องชั่งน้ำหนัก ระยะห่างระหว่างเท้าทั้งสองข้างเท่ากับ 11% ของความสูง¹⁸ เมื่อเริ่มทดสอบอาสาสมัครยืนในหนึ่งที่สุดเท่าที่จะทำได้เป็นระยะเวลา 30 วินาที โดยไม่เสียการทรงตัว ผู้วิจัยบันทึกค่าน้ำหนักที่ผ่านขาทั้งสองข้างในช่วงวินาทีที่ 25¹ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นผู้วิจัยนำค่าการลงน้ำหนักของขาทั้งสองข้างไปคำนวณค่าสัดส่วนความสมมาตรของการลงน้ำหนัก (symmetry ratios) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Symmetry ratios} = \frac{\text{Average weight bearing through the affected leg}^{19}}{\text{Average weight bearing through non-affected leg}}$$

การถ่ายน้ำหนักระหว่างขาทั้งสองข้าง

ก่อนการประเมินอาสาสมัครจะได้รับการจับสลากเพื่อสุ่มเลือกขาข้างที่ทดสอบ จากนั้นอาสาสมัครขึ้นยืนบนเครื่องชั่งน้ำหนัก วางเท้าแต่ละข้างอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก ระยะห่างระหว่างเท้าทั้งสองข้างเท่ากับ 11% ของความสูง¹⁸ เมื่อเริ่มทดสอบอาสาสมัครถ่ายน้ำหนักไปยังขาข้างหนึ่งให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เป็นระยะเวลา 30 วินาที ผู้วิจัยบันทึกค่าน้ำหนักในช่วงวินาทีที่ 25¹ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทดสอบการลงน้ำหนักของขาอีกข้างหนึ่งด้วยวิธีการเดียวกัน

การทดสอบ Multi-directional reach test (MDRT)

การทดสอบในทิศทางหน้า-หลัง: อาสาสมัครยืนหันข้างให้ส่วนของแขนข้างปกติ อยู่ใกล้กำแพงที่มีสายวัดติดอยู่ ยกแขนข้างที่แข็งแรงขึ้น 90 องศา แขนเหยียดตรง คว่ำมือ กำหมัด เมื่อเริ่มทดสอบ อาสาสมัคร

โน้มตัวไปทางด้านหน้าให้ไกลที่สุดเท่าที่ทำได้ โดยไม่มีการเสียการทรงตัวหรือการก้าวเท้า ผู้วิจัยบันทึกระยะโดยอ้างอิงที่นิ้วกลาง บริเวณข้อต่อ metacarpophalangeal joint ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นเป็นการทดสอบการเอนตัวไปทางด้านหลัง มีท่าเริ่มต้นเหมือนกับ การทดสอบเอนตัวไปทางด้านหน้า อาสาสมัครเอนตัวไปทางด้านหลัง ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยไม่เสียการทรงตัวหรือการก้าวเท้าผู้วิจัยบันทึกระยะโดยอ้างอิงที่นิ้วกลางบริเวณข้อต่อ metacarpophalangeal joint²⁰ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง

การทดสอบในทิศทางด้านข้าง: อาสาสมัครยืนหันหลังให้กำแพงที่ติดสายวัด แขนแนบลำตัว เมื่อเริ่มทดสอบ อาสาสมัครเอนตัวไปทางด้านอ่อนแรงมากที่สุดเท่าที่ทำได้โดยไม่มีการเสียการทรงตัวหรือการก้าวเท้าผู้วิจัยวัดระยะที่เอนตัวโดยใช้ acromion process ของกระดูกสะบัก เป็นจุดอ้างอิงในการวัด²⁰ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง

การทดสอบ Timed Up and Go test (TUGT)

อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้เท้าวางราบกับพื้น เมื่อเริ่มทดสอบ อาสาสมัครลุกขึ้นยืนจากเก้าอี้ที่มีพนักพิงแล้วเดินตรงไปด้านหน้าระยะทาง 3 เมตร ด้วยความเร็วปกติ จากนั้นเดินย้อนกลับไปยังที่เก้าอี้ตัวเดิม ผู้วิจัยจับเวลา ตั้งแต่อาสาสมัครลุกขึ้นจากเก้าอี้และหยุดเวลาเมื่อกลับมาถึงเก้าอี้หลังพนักพิงอีกครั้ง²¹ ระหว่างการทดสอบอาสาสมัครสามารถใช้หรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง

แอปพลิเคชันสำหรับการฝึกการทรงตัว

ทีมผู้วิจัยได้สร้างแอปพลิเคชันสำหรับฝึกการทรงตัวที่ให้ข้อมูลป้อนกลับทางสายตา ซึ่งสามารถติดตั้งให้กับโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟทุกชนิดที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ตั้งแต่ เวอร์ชัน 4.0.3 ขึ้นไป โดยแอปพลิเคชันนี้มีความเชื่อมโยงกับตัววัดความเร่ง (accelerometer) ในโทรศัพท์มือถือแบบ

สมาร์ทโฟที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเอียง ของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟแล้วแปลงหน่วยเป็นองศา โดยโปรแกรมสำหรับการฝึกการทรงตัวในแอปพลิเคชันนี้ประกอบด้วย การฝึกควบคุมการทรงตัวให้อยู่เนิ่งกับการฝึกถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆ โดยอุปกรณ์สำหรับการฝึกการทรงตัวสามารถได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวส่งสัญญาณ (sender) และ ตัวรับสัญญาณ (receiver) โดยตัวส่งสัญญาณ คือ โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟซึ่งมีแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้น และตัวรับสัญญาณ คือ จอภาพที่สามารถรับสัญญาณผ่านระบบสื่อสารของอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้นหรือ bluetooth จากตัวส่งเพื่อแสดงโปรแกรมการฝึก โดย sensor ภายในตัวส่งจะตรวจจับการเคลื่อนไหวของลำตัว จากนั้น ข้อมูลที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นองศาการเคลื่อนไหวและส่งสัญญาณผ่านระบบ bluetooth ไปที่จอภาพที่มีแอปพลิเคชันชนิดเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ (receiver) แสดงโปรแกรมการฝึกการทรงตัวและให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านทางสายตาระหว่างการฝึก

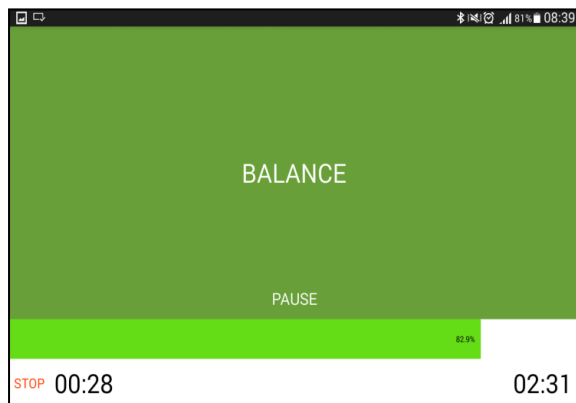


รูปที่ 1. การติดตั้งโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟกับอาสาสมัคร

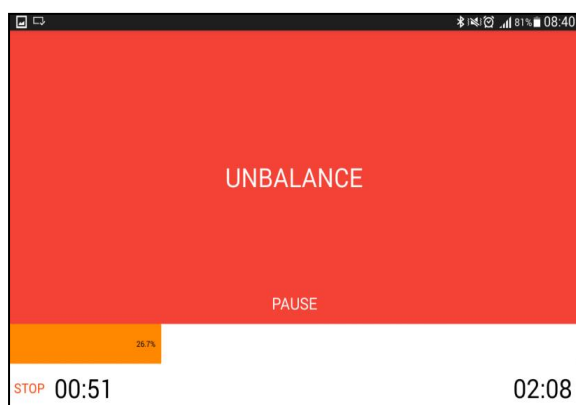
ขั้นตอนการฝึกการทรงตัว

การศึกษานี้ใช้โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟยี่ห้อ Samsung รุ่น J7 เป็นตัวส่งสัญญาณ ซึ่งติดตั้งโดยการคาดด้วยสายรัดไว้กับลำตัวของอาสาสมัครในระดับเดียวกับกระดูกสันหลังระดับเอวชั้นที่ 3 (L3)²² ดังรูปที่ 1

และใช้ Samsung Galaxy Tab 10.1 ขนาดหน้าจอ 10.1 นิ้วเป็นตัวรับสัญญาณเพื่อทำหน้าที่จอแสดงผล โดยอาสาสมัครทุกคนจะได้รับการฝึกด้วยโปรแกรมดังต่อไปนี้



ก



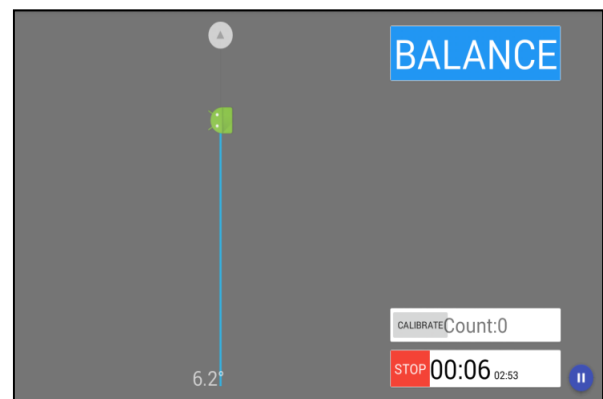
ข

รูปที่ 2 การให้ข้อมูลป้อนกลับทางสายตาในการฝึกการควบคุมการทรงตัวให้อยู่นิ่ง (ก: เมื่อผู้รับการฝึกสามารถทรงตัวให้อยู่นิ่ง หน้าจอแสดงเป็นสีเขียว, ข: ผู้รับการฝึกไม่สามารถทรงตัวให้อยู่นิ่ง หน้าจอแสดงเป็นสีแดง)

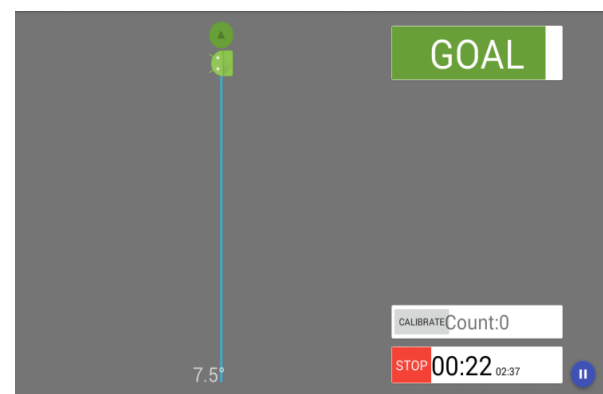
1. การฝึกควบคุมการทรงตัวให้อยู่นิ่ง

โปรแกรมการฝึกควบคุมการทรงตัวให้อยู่นิ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อาสาสมัครฝึกควบคุมการทรงตัวลดการเซของลำตัว ก่อนการฝึกผู้วิจัยบอกให้อาสาสมัครพยายามยืนลงน้ำหนักผ่านขาทั้งสองข้างให้เท่ากันและยืนในท่าทางที่ถูกต้องมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนการ

ฝึก จากนั้นผู้วิจัยบอกให้อาสาสมัครมองที่จอภาพ เมื่อเริ่มการฝึกอาสาสมัครต้องพยายามทรงตัวให้หนึ่งที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากสามารถปฏิบัติได้ จอภาพแสดงผลป้อนกลับเป็นสีเขียวและขึ้นคำว่า balance (รูปที่ 2ก) หากอาสาสมัครไม่สามารถควบคุมการทรงตัวให้อยู่นิ่งได้มีการเซของลำตัว จอภาพจะแสดงผลเป็น สีแดงและขึ้นคำว่า unbalance (รูปที่ 2ข) การฝึกใช้เวลาทั้งหมด 4 นาที



ก



ข

รูปที่ 3 การให้ข้อมูลป้อนกลับทางสายตาในการฝึกการถ่ายน้ำหนัก (ก: เมื่อผู้รับการฝึกถ่ายน้ำหนักได้ถึงเป้าหมาย , ข: ผู้รับการฝึกสามารถคงค้ำน้ำหนักเมื่อถึงเป้าหมายได้ 3 วินาที)

2. การฝึกถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆ

โปรแกรมการฝึกถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อาสาสมัครฝึกควบคุมการทรงตัวในขณะที่ถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆ ประกอบด้วย

ทิศทางด้านหน้า, ด้านหลัง, ด้านซ้าย, ด้านขวา, การถ่ายน้ำหนักสลับทิศซ้าย-ขวา, การถ่ายน้ำหนักสลับทิศหน้า-หลัง และ การถ่ายน้ำหนักสลับทิศทาง หน้า – หลัง – ซ้าย – ขวา รวมทั้งสิ้น 7 โปรแกรม ผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายของการฝึกของการถ่ายน้ำหนักในแต่ละทิศทางลงในโปรแกรมการฝึก โดยกำหนดขอบเขตด้านหน้า 8 องศา ขอบเขตด้านซ้ายและขวาข้างละ 8 องศาและด้านหลัง 4.5 องศา ตามหลักการของ limit of stability¹⁷ อาสาสมัครพยายามเคลื่อนไหวมาร์กเกอร์ในจอภาพไปในทิศทางต่างๆ ตามเป้าหมายของโปรแกรมเมื่ออาสาสมัครสามารถถ่ายน้ำหนักเคลื่อนไหวมาร์กเกอร์ไปยังเป้าหมายได้แล้ว หน้าจอจะแสดงคำว่า balance (รูปที่ 3ก) หากอาสาสมัครสามารถลงน้ำหนักค้างได้ในระยะเวลา 3 วินาที หน้าจอจะแสดงคำว่า goal (รูปที่ 3ข) อาสาสมัครจะได้รับการฝึกทั้งหมด 7 โปรแกรม โปรแกรมละ 4 นาที รวมทั้งสิ้น 28 นาที ดังนั้นในการศึกษานี้อาสาสมัครจะได้รับการฝึกการทรงตัวติดต่อกันรวมระยะเวลาทั้งสิ้น 32 นาที ในระหว่างการฝึกผู้วิจัยจะยืนอยู่ทางด้านหลังเพื่อป้องกันการล้มให้แก่อาสาสมัครตลอดการฝึก อย่างไรก็ตาม หากอาสาสมัครเกิดการล้มระหว่างการฝึกสามารถพักได้ 5 นาทีหรือจนกว่าจะหายแล้ว

ภายหลังการฝึกอาสาสมัครจะได้รับการพักจนหายเหนื่อยและการล้าจึงจะได้รับการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถการทรงตัว

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการอธิบายข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครและใช้สถิติ Shapiro-Wilk test เพื่อตรวจสอบการกระจายของข้อมูลที่ประกอบด้วยสัดส่วนความสมมาตรในการลงน้ำหนักการลงน้ำหนักผ่านขาข้างอ่อนแรงและข้างปกติ การทดสอบ timed up and go test และการทดสอบ multi-directional reach test หากข้อมูลของตัวแปรใดที่มีการกระจายตัวปกติ ใช้สถิติ Dependent sample t-test

และใช้สถิติ Wilcoxon signed rank test สำหรับตัวแปรที่มีการกระจายของข้อมูลไม่ปกติ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครวิจัย

ตัวแปร	
อายุ (ปี) ^a	58.94 ± 8.39 (44.00 – 70.00)
เพศ: ชาย/หญิง	12/5
สาเหตุ: หลอดเลือดสมองตีบ/ หลอดเลือดสมองแตก	10/7
ด้านอ่อนแรง: ซ้าย/ขวา	8/9
ระยะเวลาการดำเนินโรค (เดือน) ^a	35.94 ± 40.89 (7.00 – 168.00)
ส่วนสูง (เซนติเมตร) ^a	164.94 ± 7.13 (155.00 – 180.00)
น้ำหนัก (กิโลกรัม) ^a	65.71 ± 7.31 (52.00 – 79.00)
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร ²) ^a	24.14 ± 2.03 (20.88. – 27.34)
การเดินโดยใช้อุปกรณ์: ใช่/ไม่ใช่ ^b	10/7

หมายเหตุ:

^a ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)

^b ผู้เข้าร่วมการศึกษาใช้ไม้เท้าสามขา (tripods cane) จำนวน 10 คน และเดินโดยไม่ใช้อุปกรณ์ จำนวน 7 คน

ผลการวิจัย

อาสาสมัครจำนวน 19 คนยินยอมเข้าร่วมการศึกษา อย่างไรก็ตามมีอาสาสมัครจำนวน 2 คนต้องออกจากการศึกษาเนื่องจากพบอาการปวดที่ข้อเข่าจำนวน 1 คนและปวดบริเวณเท้าจำนวน 1 คน ก่อนเข้าร่วมการศึกษา ดังนั้น การศึกษาค้างครั้งนี้มีอาสาสมัครทั้งหมด 17 คน ข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครแสดงดังตารางที่ 1 ผลการศึกษาพบว่าภายหลังการฝึก 1 ครั้งอาสาสมัครมีการถ่ายน้ำหนักไปยังขาข้างอ่อนแรง ค่าการทดสอบ timed up and go test และ ค่าการทดสอบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลของความสามารถในการทรงตัวระหว่างก่อนและหลังการฝึก

ตัวแปร	ก่อนการฝึก ^a	หลังการฝึก ^a	ค่านัยสำคัญทางสถิติ
ค่าสัดส่วนความสมมาตรของการลงน้ำหนัก (ข้างอ่อนแรง/ข้างปกติ)	1.13 ± 0.43 (0.45 – 2.17)	0.91 ± 0.21 (0.46 – 1.33)	0.079 ^b
ความสามารถในการลงน้ำหนักผ่านขาข้างอ่อนแรง (กิโลกรัม)	46.82 ± 12.46 (17.33 – 65.67)	48.27 ± 11.75 (23.67 – 67.33)	0.046 ^{b*}
ความสามารถในการลงน้ำหนักผ่านขาข้างปกติ (กิโลกรัม)	52.06 ± 8.22 (39.33 – 70.00)	53.27 ± 9.23 (39.00 – 73.00)	0.160 ^b
การทดสอบ timed up and go test (วินาที)	26.99 ± 14.34 (13.33 – 59.53)	23.75 ± 12.96 (10.97 – 49.93)	0.000 ^{c*}
การทดสอบ multi-directional reach test (เซนติเมตร)			
- ด้านหน้า	17.55 ± 4.20 (10.00 – 23.67)	21.37 ± 5.31 (14.67 – 35.67)	0.001 ^{b*}
- ด้านหลัง	12.66 ± 4.52 (3.30 – 20.00)	15.73 ± 4.05 (4.00 – 20.70)	0.001 ^{c*}
- ด้านอ่อนแรง	12.63 ± 3.09 (7.70 – 19.00)	15.66 ± 3.09 (10.70 – 21.70)	0.000 ^{b*}

หมายเหตุ:

^a ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุด)

^b วิเคราะห์ด้วยสถิติ Dependent samples t-test โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่น้อยกว่า 0.05

^c วิเคราะห์ด้วยสถิติ Wilcoxon signed rank test โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่น้อยกว่า 0.05

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

multi-directional reach test ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภายหลังจากการฝึก อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัดส่วนการลงน้ำหนักของขาทั้งสองข้าง ($p > 0.05$) รายละเอียดดังตารางที่ 2

บทวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงความสามารถการทรงตัวที่ดีขึ้นภายหลังจากการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สามารถอธิบายได้จากลักษณะของรูปแบบของ

โปรแกรมการฝึกและการรับข้อมูลจากภายนอก (external information) ผ่านทางสายตา รูปแบบการฝึกของการศึกษานี้ได้ถูกพัฒนาภายใต้หลักการของ limit of stability ซึ่งหมายถึงระยะที่มากที่สุดที่สามารถเอนลำตัวหรือถ้าน้ำหนักโดยที่ไม่ล้ม ดังนั้น เป้าหมายของโปรแกรมการฝึกการทรงตัวโดยเฉพาะการถ้าน้ำหนักในทิศทางต่างๆ จะถูกตั้งไว้ที่ระยะที่มากที่สุด คือ 8°, 4.5°, 8°, 8° ในทิศทางหน้า, หลัง, ซ้าย และ ขวา ตามลำดับ¹⁷ ส่งผลให้อาสาสมัครผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีข้อจำกัดในการลงน้ำหนักผ่านขาข้างอ่อนแรง

หรือการถ่ายน้ำหนักในขณะยืนจะถูกระงับและทำท่ายให้พยายามถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆ ให้มากที่สุดตลอดเวลาในขณะฝึก นอกจากนี้ รูปแบบการฝึกยังมีลักษณะจำเพาะเจาะจง (specificity) ต่อการฝึกการทรงตัวในขณะเคลื่อนไหว (dynamic balance) และมีลักษณะการฝึกซ้ำๆ (repetitive) ซึ่งการฝึกในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้การเคลื่อนไหว²³ จึงส่งผลให้ภายหลังการฝึกพบว่าค่าการทดสอบ timed up and go test, multi-directional reach test และ weight shifting to affected side มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

Van Wieringen ในปี ค.ศ. 1996 รายงานว่า สิ่งที่มีมนุษย์รับรู้ไม่ใช่เพื่อเก็บไว้แต่เป็นการรับรู้เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตอบสนองให้เหมาะสมกับงานและสถานการณ์ขณะนั้น²⁴ ซึ่งการเคลื่อนไหวและข้อมูลที่ได้รับระหว่างเคลื่อนไหว (perceptual information) มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดจนเกิดเป็นวงจรที่เรียกว่า perception – action coupling โดยการเคลื่อนไหวเป็นผลจากข้อมูลที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมรอบตัว โดยข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญในการกำหนดแรงและรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมกับงานและสถานการณ์ขณะนั้น ดังนั้นอาสาสมัครผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองสามารถนำข้อมูลป้อนกลับผ่านทางสายตาที่ได้รับมาช่วยให้ผู้ป่วยสร้างแหล่งข้อมูลอ้างอิงภายใน (internal representation) ขึ้นใหม่เพื่อใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนไหวเพื่อรักษาการทรงตัวในขณะฝึกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น²⁵⁻²⁶ นอกจากนี้ลักษณะของข้อมูลที่อาสาสมัครได้รับในระหว่างการฝึกเป็นข้อมูลป้อนกลับจากภายนอก (extrinsic feedback) แบบ knowledge of result ซึ่งเป็นการให้ข้อมูลผลการฝึกในเชิงผลลัพธ์ของการเคลื่อนไหวว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการฝึกหรือไม่ ซึ่งลักษณะของข้อมูลชนิดนี้จะช่วยกระตุ้นการเรียนรู้เพิ่มแรงจูงใจ (motivation) และความตั้งใจในระหว่าง

การฝึกให้ผู้ป่วย⁹ ส่งผลให้อาสาสมัครมีความสามารถด้านการทรงตัวที่ดีขึ้นภายหลังการฝึก

ผลการศึกษานี้พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าการทดสอบ timed up and go test ที่ดีขึ้น ซึ่งการทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบความสามารถการทรงตัวในขณะเคลื่อนไหวที่ประกอบด้วย การลุกยืน เดิน และนั่ง²¹ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถอธิบายได้จากลักษณะของโปรแกรมการฝึกการทรงตัวที่เน้นฟื้นฟูความสามารถในการถ่ายน้ำหนักซึ่งเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งของการเคลื่อนไหว นอกจากนี้การฝึกถ่ายน้ำหนักในทิศทางต่างๆ กระตุ้นให้อาสาสมัครต้องพยายามฝึกควบคุมการทำงานของลำตัว (trunk control) เพื่อให้ถ่ายน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการควบคุมลำตัวเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย²⁷ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ และ Karthikbabu และคณะ ในปี ค.ศ. 2011 ที่พบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีความสามารถในการควบคุมลำตัวที่ดีขึ้นจะมีผลต่อความเร็วและความสมมาตรของการเดิน²⁸ ในกรณีดังกล่าวนี้ การที่ค่า timed up and go test ดีขึ้นภายหลังการฝึกจึงน่าจะอธิบายได้จากความสามารถในการควบคุมลำตัวดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า weight distribution ratio มีค่าที่ดีขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ภายหลังการฝึก สามารถอธิบายได้จากจากการศึกษานี้ใช้ระยะเวลาการฝึกการทรงตัวขณะอยู่นิ่ง เพียงแค่ 4 นาที ซึ่งระยะเวลาในการฝึกอาจไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ของ Winstein และคณะ ในปี ค.ศ. 1989 พบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่ได้รับการฝึกโดยการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตามีการกระจายตัวการลงน้ำหนักบนขาทั้งสองข้างได้ดีกว่าผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางกายภาพบำบัดแบบทั่วไปซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฝึกการ

ทรงตัวขณะอยู่หนึ่งร่วมกับการป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตานั้นยังคงสามารถเพิ่มความสมมาตรในการลงน้ำหนักระหว่างขาทั้งสองขาในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองได้²⁹

แม้ว่าผลการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความสามารถการทรงตัวภายหลังการฝึก อย่างไรก็ตาม แอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นนี้ยังมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถคำนวณขนาดของค่าของ limit of stability ที่ขึ้นกับความสูงของแต่ละบุคคลได้เนื่องจากความสูงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขอบเขตของค่าสูงสุดของการเอนร่างกายในทิศทางต่างๆ³⁰ ทำให้ผู้รับการฝึกด้วยแอปพลิเคชันนี้อาจไม่ได้รับการตั้งเป้าหมายความสามารถสูงสุดของการเอนร่างกายในขณะฝึกอย่างเหมาะสม ซึ่งข้อจำกัดนี้จะต้องได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ผลการเปลี่ยนแปลงความสามารถการทรงตัวที่เกิดขึ้นเป็นการประเมินผลทันทีภายหลังการฝึกและเป็นการศึกษาเพียงกลุ่มเดียวทำให้ไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพที่ชัดเจนและยืนยันผลคงค้างภายหลังการฝึกของการใช้การป้อนข้อมูลกลับผ่านทางสายตาโดยใช้โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุมและมีช่วงระยะเวลาในการฝึกที่นานขึ้น เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการฝึกการทรงตัวด้วยการให้ข้อมูลป้อนกลับผ่านทางสายตา

การศึกษานี้มีจำนวนอาสาสมัครจำนวนที่น้อยกว่าการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูล อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณ ค่า power จากจำนวนอาสาสมัครที่เก็บข้อมูลได้จะมีค่าเท่ากับ 0.6 ซึ่งถือว่าเป็นค่า power ระดับปานกลาง นอกจากนี้อาสาสมัครส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยในระยะเรื้อรัง ผลการศึกษาจึงยังไม่สามารถยืนยันได้เมื่อนำไปใช้กับผู้ป่วยในระยะอื่นๆ เช่น เฉียบพลันหรือกึ่งเฉียบพลัน ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่

เพิ่มขึ้น และทำในลักษณะผู้ป่วยที่หลากหลาย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น

สรุปผลงานวิจัย

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเบื้องต้นของการใช้แอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนที่สร้างขึ้นสำหรับการฝึกการทรงตัวในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณอาสาสมัครผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองทุกคน คุณกัณณภาส แดงเรือน นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้สร้างแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนสำหรับการฝึกการทรงตัว ขอขอบพระคุณศูนย์กายภาพบำบัด กลุ่มงานสหเวชศาสตร์ โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ, งานกายภาพบำบัด ศูนย์เวชศาสตร์ฟื้นฟูสุขภาพชาวไทย และศูนย์กายภาพบำบัดและธาราบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่เก็บวิจัยและอาสาสมัคร

เอกสารอ้างอิง

1. Bohannon RW, Larkin PA. Lower extremity weight bearing under various standing conditions in independently ambulatory patients with hemiparesis. Phys Ther 1985;65:1323-5.
2. de Haart M, Geurts AC, Dault MC, Nienhuis B, Duysens J. Restoration of weight-shifting capacity in patients with postacute stroke: a rehabilitation cohort study. Arch Phys Med Rehabil 2005;86:755-62.

3. Cheng PT, Liaw MY, Wong MK, Tang FT, Lee MY, Lin PS. The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:1043-6.
4. Geurts AC, de Haart M, van Nes IJ, Duysens J. A review of standing balance recovery from stroke. *Gait Posture* 2005;22:267-81.
5. Hendrickson J, Patterson KK, Inness EL, McIlroy WE, Mansfield A. Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. *Gait Posture* 2014;39:177-81.
6. Marigold DS, Eng JJ. The relationship of asymmetric weight-bearing with postural sway and visual reliance in stroke. *Gait Posture* 2006;23:249-55.
7. Winstein CJ. Knowledge of results and motor learning--implications for physical therapy. *Phys Ther* 1991;71:140-9.
8. Srivastava A, Taly AB, Gupta A, Kumar S, Murali T. Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique. *J Neurol Sci* 2009;287:89-93.
9. Walker C, Brouwer BJ, Culham EG. Use of visual feedback in retraining balance following acute stroke. *Phys Ther* 2000;80: 886-95.
10. Yatar GI, Yildirim SA. Wii Fit balance training or progressive balance training in patients with chronic stroke: a randomised controlled trial. *J Phys Ther Sci* 2015;27:1145-51.
11. Deutsch JE, Brettler A, Smith C, Welsh J, John R, Guarrera-Bowlby P, et al. Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil* 2011;18:701-19.
12. Shin DC, Song CH. Smartphone-Based Visual Feedback Trunk Control Training Using a Gyroscope and Mirroring Technology for Stroke Patients: Single-blinded, Randomized Clinical Trial of Efficacy and Feasibility. *Am J Phys Med Rehabil* 2016;95:319-29.
13. Amick R, Chaparro A, Patterson J, Jorgensen M. Test-retest reliability of the SWAY Balance Mobile Application. *JMTM* 2015;4:40-7.
14. Lee BC, Kim J, Chen S, Sienko KH. Cell phone based balance trainer. *J Neuroeng Rehabil* 2012;9:10.
15. Afzal MR, Oh MK, Choi HY, Yoon J. A novel balance training system using multimodal biofeedback. *Biomed Eng Online* 2016;15:42.
16. Wai AA, Duc PD, Syin C, Zhang H. iBEST: intelligent Balance assessment and Stability Training system using smartphone. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2014;2014:3683-6.
17. Nashner L, McCollum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 1985;8:135-50.
18. McIlroy WE, Maki BE. Preferred placement of the feet during quiet stance: development of a standardized foot placement for balance testing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1997;12:66-70.
19. Pereira L, Botelho A, Martins E. Relationships between body symmetry during weight-bearing and functional reach among chronic

-
- hemiparetic patients. *Rev Bras Fisioter* 2010;14:259-6.
20. Katz-Leurer M, Fisher I, Neeb M, Schwartz I, Carmeli E. Reliability and validity of the modified functional reach test at the sub-acute stage post-stroke. *Disabil Rehabil* 2009; 31: 243-8.
 21. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991;39: 142-8.
 22. Nishiguchi S, Yamada M, Nagai K, Mori S, Kajiwara Y, Sonoda T, et al. Reliability and validity of gait analysis by android-based smartphone. *Telemed J E Health* 2012;18: 292-6.
 23. Murphy TH, Corbett D. Plasticity during stroke recovery: from synapse to behaviour. *Nat Rev Neurosci* 2009;10:861-72.
 24. Van Wieringen P. Ecological and dynamical approaches to rehabilitation: an epilogue. *Hum Mov Sci* 1996;15:315-23.
 25. van Vliet PM, Wulf G. Extrinsic feedback for motor learning after stroke: what is the evidence? *Disabil Rehabil* 2006;28:831-40.
 26. Yoo EY, Chung BI. The effect of visual feedback plus mental practice on symmetrical weight-bearing training in people with hemiparesis. *Clin Rehabil* 2006; 20: 388-97.
 27. Verheyden G, Vereeck L, Truijen S, Troch M, Herregodts I, Lafosse C, et al. Trunk performance after stroke and the relationship with balance, gait and functional ability. *Clin Rehabil* 2006;20: 451-8.
 28. Karthikbabu S, Rao B, Manikandan N, Solomon J, Chakrapani M, Nayak A. Role of trunk rehabilitation on trunk control, balance and gait in patients with chronic stroke: a pre-post design. *Neurosci Med* 2011;2:61-7.
 29. Winstein CJ, Gardner ER, McNeal DR, Barto PS, Nicholson DE. Standing balance training: effect on balance and locomotion in hemiparetic adults. *Arch Phys Med Rehabil* 1989;70:755-62.
 30. Pickerill ML, Harter RA. Validity and reliability of limits-of-stability testing: a comparison of 2 postural stability evaluation devices. *J Athl Train* 2011;46:600-6.