ประสิทธิผลของการฝึกด้วยลู่เดินรบกวนการทรงตัวต่อการควบคุมการทรงตัวในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว: การทบทวนอย่างเป็นระบบ

ภคอร สายพันธ์ วท.ม., มณฑิชา ม่วงเงิน วท.ม., พิพัฒน์ กล่ำรื่น วท.ม.
สถาบันสิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

Effectiveness of Perturbation Treadmill Training on Postural Control in Older Adults with Balance Problems: A Systematic Review

Pakaon Saipan, M.Sc, Monticha Muangngoen, M.Sc., Pipat Klamruen, M.Sc.
Sirindhorn National Medical Rehabilitation Institute, Talat Kwan, Mueang Nonthaburi, Nonthaburi, 11000, Thailand
Corresponding Author: Pakaon Saipan (E-mail: phakhaon.sai@gmail.com)
(Received: 18 October, 2024; Revised: 18 February, 2025; Accepted: 2 April, 2025)

Abstract

Background: Technologies for gait training in individuals with balance control problems have been continuously developed, focusing on specific and repetitive training activities such as treadmill training, body weight-supported treadmill training, and robotic-assisted gait training. Based on these principles, along with the concept of adapting balance to external perturbations, the "Perturbation Treadmill" was developed. This involves walking on a treadmill with controlled perturbations applied during walking. However, as this is a novel technology, further studies are needed to assess its effectiveness. **Objective:** To evaluate the effectiveness of perturbation treadmill training compared to traditional training methods in older adults with balance problems. **Methods:** Data were retrieved from CENTRAL and MEDLINE databases (14/02/2022), focusing on randomized controlled trials (RCTs). The search yielded 40 studies from CENTRAL and 15 studies from MEDLINE. After removing duplicates and irrelevant studies, 37 studies remained, 21 were excluded after abstract screening, and 9 were excluded after full-text review, leaving 7 studies for analysis. All seven included studies were assessed for quality. Bias risks were identified, for example, some studies lacked detailed reporting on randomization methods. **Results:** The studies included three groups of participants. These included 4 studies on individuals with Parkinson's disease, 2 studies on older adults, and 1 study on stroke survivors. The outcomes on gait and balance varied across studies. Due to the small sample sizes and heterogeneous outcome measures, meta-analysis could not be conducted. **Conclusions:** This systematic review indicates that perturbation treadmill training may improve gait and balance in older adults with balance impairments. However, the differences compared to other training methods are unclear. This method may have an advantage in enhancing dynamic balance during movement. Given the small sample sizes and the variability in outcome measures, further RCTs are recommended to establish its clinical applicability.

Keywords: Perturbation treadmill, Postural control, Balance problems

บทคัดย่อ

ภูมิหลัง: เทคโนโลยีที่ใช้ในการฝึกเดินสำหรับผู้ที่มีปัญหาการควบคุมการทรงตัวได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการฝึกเดินที่จำเพาะและทำซ้ำ เช่น การฝึกเดินบนสายพาน การฝึกเดินด้วยสายพานแบบมีเครื่องพยุงน้ำหนักตัว และการฝึกเดินด้วยหุ่นยนต์ ภายใต้แนวคิดการฝึกดังกล่าวร่วมกับแนวคิดการปรับการทรงตัวต่อแรงรบกวนภายนอก จึงได้มีการพัฒนาการฝึกเดินบนลู่เดินรบกวนการทรงตัว (perturbation treadmill) ซึ่งควบคุมแรงรบกวนในขณะเดิน แม้ว่าเทคโนโลยีนี้จะมีศักยภาพ แต่ยังขาดการศึกษาที่เพียงพอเพื่อประเมินประสิทธิผล **วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการฝึกเดินด้วย perturbation treadmill เปรียบเทียบกับการฝึกแบบดั้งเดิมในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว **วิธีการ:** สืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล CENTRAL และ MEDLINE (14 กุมภาพันธ์ 2565) โดยใช้การศึกษาแบบ randomized controlled trials (RCTs) ได้เอกสารจาก CENTRAL 40 รายการ และ MEDLINE 15 รายการ หลังคัดกรองเอกสารที่ไม่ซ้ำซ้อนเหลือจำนวน 37 การศึกษา และคัดเอกสารที่ไม่ตรงตามเกณฑ์ออกจากบทคัดย่อจำนวน 21 การศึกษา จากเนื้อหาฉบับเต็มจำนวน 9 การศึกษา เหลือ 7 การศึกษาที่ผ่านการประเมิน การศึกษาที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด 7 ฉบับ ถูกประเมินคุณภาพ พบว่ามีอคติในบางด้าน เช่น บางการศึกษาไม่มีรายงานรายละเอียดการสุ่ม **ผล:** การศึกษาพบกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มโรคพาร์กินสัน (4 การศึกษา) ผู้สูงอายุ (2 การศึกษา) กลุ่มโรคหลอดเลือดสมอง (1 การศึกษา) ประสิทธิผลของการฝึกเดินและการทรงตัวแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ไม่สามารถสังเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี meta-analysis ได้ เนื่องจากตัวอย่างมีขนาดเล็กและมีความหลากหลายในการวัดผล **สรุป:** ผลการฝึกด้วย perturbation treadmill มีศักยภาพในการส่งเสริมการเดินและการทรงตัวในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว แต่ยังไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการฝึกด้วยวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การฝึกแบบนี้อาจมีข้อได้เปรียบในด้านการส่งเสริมความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในลักษณะการทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุม เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกอย่างเหมาะสมในอนาคต

คำสำคัญ: ลู่เดินรบกวนการทรงตัว, การควบคุมการทรงตัว, ปัญหาการทรงตัว

บทนำ

การทรงตัวเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการเคลื่อนไหวและการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากสามารถช่วยให้เราทำการเคลื่อนไหวต่าง ๆ ได้โดยไม่ล้ม ทั้งการนั่ง การยืน หรือการเดิน ผู้ที่สามารถทำการเคลื่อนไหวได้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่าง ความสามารถในการเคลื่อนไหวระยางค์ ศีรษะและลำตัว ร่วมกับความสามารถในการทรงตัว[1] การควบคุมการทรงตัวและการควบคุมการเคลื่อนไหวมีศูนย์กลางการควบคุมการทำงาน เส้นทางรับข้อมูลและเส้นทางการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน แต่วงจรควบคุมการทรงตัวและการเคลื่อนไหวมีการส่งข้อมูลเชื่อมต่อกัน โดยทุกครั้งที่มีการสั่งการให้เกิดการเคลื่อนไหว ศูนย์ควบคุมการเคลื่อนไหว (movement control center) จะส่งคำสั่งไปยังศูนย์ควบคุมการทรงตัว (postural control center) ด้วย เพื่อให้มีการประสานงานในการสั่งการให้กล้ามเนื้อหดตัว จึงสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ทั้งการเคลื่อนไหวของร่างกายและการทรงตัวศูนย์ควบคุมการเคลื่อนไหวเชื่อมโยงกับศูนย์ควบคุมการทรงตัว ผ่านวงจรควบคุมแบบสั่งการไปล่วงหน้า (feed forward control) และการสั่งการผ่านวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control)[2] ความสามารถในการทรงตัวเป็นผลรวมที่ได้จากการทำงานที่ประสานกัน เมื่อมีความบกพร่องไปด้านใดด้านหนึ่ง ความสามารถในการทรงตัวย่อมลดลง ดังที่พบในผู้สูงอายุ ผู้ที่มีปัญหาพยาธิสภาพทางระบบประสาท หรือผู้ที่มีความบกพร่องหรือได้รับบาดเจ็บทางโครงสร้างร่างกาย ความสามารถในการทรงตัวที่ลดลง นำไปสู่การจำกัดการทำกิจกรรม

การฝึกการทรงตัวเป็นกลไกสำคัญกลไกหนึ่งในการป้องกันการล้ม และเพิ่มความสามารถในการทำกิจกรรม เพื่อส่งเสริมการช่วยเหลือตัวเองและการเข้าสังคม การวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการฝึกความสามารถในการทรงตัวมีหลากหลายรูปแบบ การออกแบบวิธีการฝึกการทรงตัวที่เฉพาะเจาะจงกับปัญหาความบกพร่องในการทรงตัว นำมาสู่การแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด การออกแบบวิธีการฝึกความสามารถในการทรงตัวที่ได้รับนิยมในปัจจุบัน เรียกว่า วิธีการฝึกด้วยการทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง (task-oriented approach) ซึ่งประกอบด้วยวิธีการฝึกความสามารถในการทรงตัวหลาย ๆ แบบและหลาย ๆ กิจกรรมรวมกัน นำมาสู่การพัฒนารูปแบบการฝึกการทรงตัวที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การประสานงานของระบบการรับความรู้สึก ระบบการเคลื่อนไหว

และการประมวลความคิด รวมถึงฝึกกิจกรรมในสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป[3]

เทคนิคทางกายภาพบำบัดในเรื่องของการฝึกการเดินและการทรงตัวมีหลากหลายวิธีเช่น การออกกำลังกายและการฝึกเดินด้วยวิธีกายภาพบำบัดแบบดั้งเดิม หรือเดินข้ามสิ่งกีดขวาง เป็นต้น ต่อมามีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการฝึกเดินของผู้ที่มีปัญหาการควบคุมการทรงตัวมากขึ้น ภายใต้แนวคิดการฝึกกิจกรรมที่จำเพาะและทำซ้ำอย่างต่อเนื่อง (repetition task - specific practice) เช่น การฝึกเดินบนสายพาน การฝึกเดินบนสายพานแบบมีเครื่องพยุงน้ำหนักตัวและการฝึกเดินด้วยหุ่นยนต์ฝึกเดิน เป็นต้น ภายใต้แนวคิดดังกล่าวร่วมกับแนวคิดการปรับการทรงตัวต่อแรงรบกวนภายนอก[4] จึงได้มีการพัฒนาการฝึกเดินบนลู่เดินรบกวนการทรงตัว (perturbation treadmill) โดยเป็นการฝึกเดินบนลู่เดินที่มีระบบควบคุมแรงรบกวนในขณะเดินบนลู่ ซึ่งช่วยส่งผลในเรื่องการปรับปรุงเรื่องความเร็วและความสามารถในการเดินและเป็นการเพิ่มการทรงตัวเมื่อเกิดการเคลื่อนไหว แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่เครื่องแรกในประเทศไทยเริ่มเปิดบริการช่วงปี 2560 จึงยังต้องการการศึกษารวบรวมข้อมูลถึงประสิทธิผลของเครื่องมือดังกล่าว ซึ่งไม่พบเผยแพร่การศึกษาทบทวนอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิผลของการฝึกเดินด้วยเครื่องฝึกการทรงตัวบนลู่เดิน (perturbation treadmill) ในรูปแบบการทบทวนอย่างเป็นระบบ (systematic review) เพื่อศึกษาหลักการ รูปแบบการฝึก เพื่อนำผลจากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาการฟื้นฟูสมรรถภาพการทรงตัวและการเดินในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัวมีความมั่นใจในการดำเนินชีวิตใกล้เคียงปกติ

วัตถุและวิธีการ

การศึกษาวิจัยเป็นการทบทวนอย่างเป็นระบบ (systematic review) จากเอกสารที่เป็นงานวิจัยและได้รับการเผยแพร่ผ่านฐานข้อมูลระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีเกณฑ์การคัดเข้าของเอกสาร คือ เป็นการศึกษาวิจัยที่เป็น randomized controlled trials (RCT) หรือ quasi-randomized controlled trials (quasi-RCT) ที่มีการเปรียบเทียบผลการฝึกเดินด้วยเครื่องฝึกการทรงตัวบนลู่เดิน (perturbation treadmill) กับการฝึกแบบดั้งเดิมหรือรูปแบบอื่น ๆ ในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว เช่น ผู้สูงอายุที่มีโรคทางระบบประสาท กระดูกและกล้ามเนื้อที่มีปัญหาการทรงตัวและการเดิน และมีเกณฑ์การคัดออก คือ 1) เป็นการศึกษาที่กลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยมีปัญหาการทรงตัวจนไม่สามารถประเมินเข้าร่วมการศึกษาได้ 2) เป็นรายงานศึกษาที่ไม่ใช่รายงานฉบับเต็ม (full text) หรือ 3) รายงานการศึกษาที่ไม่ใช่ภาษาอังกฤษหรือภาษาไทย ผลลัพธ์หลัก (primary outcomes) ของการศึกษานี้[5] คือ ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน ได้แก่ ความเร็ว ความทนทานในการเดิน และคุณภาพของการเดินและการทรงตัว ที่วัดได้จากแบบวัดต่าง ๆ เช่น meter walk test timed up and go test (TUG) และ gait parameters: velocity, cadence, step length เป็นต้น และผลลัพธ์รอง (secondary outcome) ของการศึกษานี้[6] ได้แก่ 1) การควบคุมการทรงตัวโดยแบบวัดหรือการทดสอบต่าง ๆ เช่น Berg Balance Scale (BBS), Balance Evaluation System test (BEST Test), Force plate analysis เป็นต้น, 2) ระดับความมั่นใจในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น แบบประเมิน Activities - specific Balance Confidence (ABC) Scale หรือ Fall Efficacy Scale (FES) เป็นต้น และ 3) การล้ม

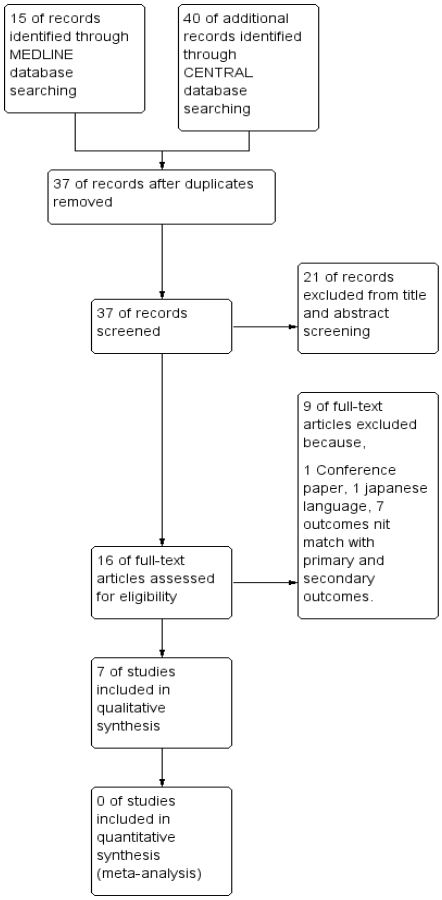
การศึกษานี้สืบค้นเอกสารในฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์จาก MEDLINE และ CENTRAL (14 กุมภาพันธ์ 2565) โดยดำเนินการตามกลยุทธ์การสืบค้น (Search strategy) อิงตาม PICO model โดยกำหนดให้ I คือ “Perturbation treadmill” O คือ “Postural control” OR Balance OR “dynamic standing balance” โดยมิได้ระบุ P และ C ในการสืบค้นเนื่องจากต้องการผู้เข้าร่วมการศึกษาที่เป็นผู้สูงอายุทุกกลุ่มที่มีปัญหาการทรงตัวและมิได้กำหนดชนิดของ comparison อีกทั้งใช้สัญลักษณ์ truncation คำคล้าย (thesaurus) หรือคำเหมือน ร่วมกับคำสั่งเชื่อม (operator) ให้สอดคล้องกับระบบสืบค้นที่ฐานข้อมูลกำหนด คัดเลือกการศึกษา (study selection) โดยคัดเลือกการศึกษาที่ซ้ำจากการสืบค้นออก (duplicated studies) โดยใช้ software Mendeley จากนั้นผู้วิจัย 2 คนดำเนินการคัดเลือกการศึกษาครั้งที่ 1 จากชื่อเรื่องและบทคัดย่อ และครั้งที่ 2 จากการพิจารณารายงานฉบับเต็ม อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยพิจารณาจากเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก หากมีข้อขัดแย้ง ผู้วิจัยทั้งสองดำเนินการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาข้อยุติ สกัดข้อมูลการศึกษา (data extraction) โดยผู้วิจัยสกัดข้อมูลจากรายงานวิจัยที่ผ่านการคัดเลือกประกอบด้วยข้อมูล ลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษา วิธีการฝึกในแต่ละกลุ่มทดลอง การวัดผลลัพธ์ และผลลัพธ์

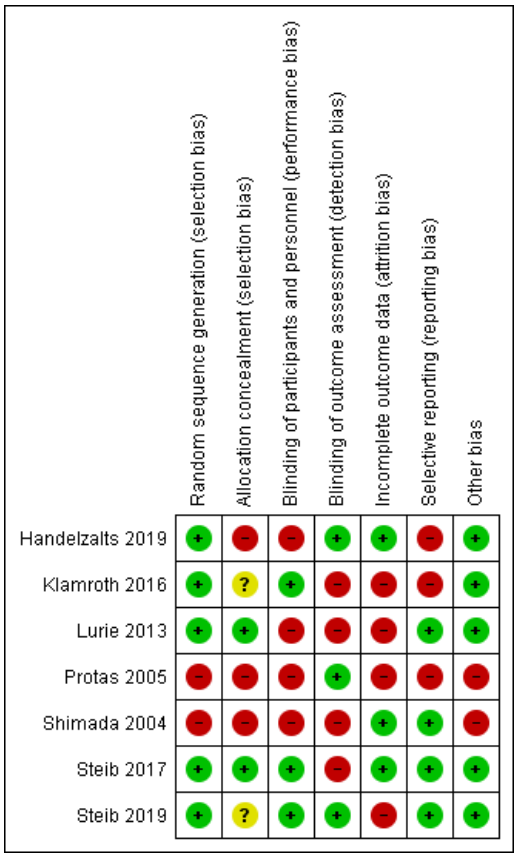
การศึกษา โดยใช้แบบสกัดข้อมูล (data collection table) แต่เนื่องจากมีความหลากหลายของผลลัพธ์ จึงไม่สามารถสังเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี meta-analysis ได้ ผู้วิจัยจึงสังเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบพรรณนา ตามผลลัพธ์หลักของการศึกษา

ประเมินความเสี่ยงอคติของการศึกษา (risk of bias assessment) โดยผู้วิจัย 2 คน อ้างอิงเครื่องมือการประเมินคุณภาพเอกสารตามหลักเกณฑ์ของ Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 4.2.6[7] โดยประเมินคุณภาพของเอกสารการศึกษาเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ความเสี่ยงระดับต่ำ (low risk of bias) 2) ความเสี่ยงสูง (high risk) และ 3) ไม่สามารถระบุได้ (unclear risk of bias) ประเมินอคติ 6 ด้าน ได้แก่ 1) อคติในการเลือกผู้เข้าร่วมการศึกษา (selection bias) จากการประเมินขั้นตอนการสุ่มและการคัดกลุ่มตัวอย่าง 2) อคติในการปฏิบัติต่อผู้เข้าร่วมการศึกษา (performance bias) จากการปกปิดข้อมูลเพื่อลดอคติผู้เข้าร่วมการศึกษา 3) อคติในการประเมินผล (detection bias) จากการปกปิดข้อมูลจากผู้ประเมิน 4) อคติในการติดตามผลผู้เข้าร่วม (attrition bias) จากผลการศึกษาที่ไม่สมบูรณ์ 5) ความคาดเคลื่อนในการรายงานผล (reporting bias) จากการเลือกรายงานผล และ 6) other bias อคติอื่น

ผล

ผลการสืบค้นจากฐานข้อมูล MEDLINE จำนวน 15 การศึกษา และ ฐานข้อมูล CENTRAL จำนวน 40 การศึกษา คัดเลือกการศึกษาที่ซ้ำกันออก คงเหลือการศึกษาไม่ซ้ำซ้อนกันจำนวน 37 การศึกษา การศึกษาจำนวน 21 ถูกคัดออกจากการพิจารณาชื่อเรื่องและบทคัดย่อ คงเหลือจำนวน 16 การศึกษา เมื่อพิจารณาเอกสารการศึกษาฉบับเต็ม (full text) มีการศึกษาจำนวน 9 ถูกคัดออกเนื่องจาก เป็นการนำเสนอรูปแบบ conference paper[8] จำนวน 1 การศึกษา การศึกษาฉบับเต็มเป็นภาษาญี่ปุ่น[9] จำนวน 1 การศึกษา และเป็นการศึกษาที่รายงานผลลัพธ์ไม่ตรงกับผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา[10-16] จำนวน 7 กา รศึกษา คงเหลือ 7 การศึกษาที่นำมาทบทวน[17-23] (ภาพที่ 1)





ภาพที่ 1 แผนภูมิการคัดเลือกการศึกษา

การประเมินคุณภาพรายงานการศึกษาแบ่งเป็นประเด็น 7 ด้าน ครอบคลุม 6 อคติ โดยประเมินเป็นความเสี่ยงระดับต่ำ (low risk) ไม่สามารถระบุได้ (unclear risk) และสูง (high risk) ได้ผลการประเมินดังภาพที่ 2 โดยด้านอคติจากขั้นตอนการสุ่ม (random sequence generation) จำนวน 2 การศึกษา[20-21] มีความเสี่ยงสูงเนื่องจาก ไม่ระบุวิธีการสุ่ม ด้านการคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการศึกษา (allocation concealment) จำนวน 3 การศึกษา[20-21, 23] มีความเสี่ยงสูงเนื่องจากไม่ระบุว่ามีการปกปิดการจำแนกกลุ่มและมีจำนวน 2 การศึกษา[17, 19] ประเมินให้อยู่ในระดับ unclear หรือไม่สามารถระบุคุณภาพได้ เนื่องจากระบุว่าปกปิดการจำแนกกลุ่มแต่ไม่อธิบายรายละเอียดการปกปิด ด้านการปกปิดข้อมูลเพื่อลดอคติผู้เข้าร่วมการศึกษา (blinding of participants) จำนวน 3 การศึกษา[17-19] ที่เปรียบเทียบการฝึกบนลู่เดินสอบแบบเป็นไปได้ยากในการปกปิดรูปแบบการฝึกกับผู้เข้าร่วมวิจัย และผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ทราบวัตถุประสงค์ของการศึกษา จึงเป็นไปได้ว่าไม่มีผลต่ออคติ ผู้วิจัยจึงประเมินให้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ แต่การศึกษาอื่น ๆ ที่เปรียบเทียบกับการฝึกด้วยวิธีอื่นเป็นไปได้ว่าความรู้สึกของผู้เข้าร่วมวิจัยมีผลต่อการประเมิน ผู้วิจัยจึงประเมินให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง ด้านการปกปิดข้อมูลจากผู้ประเมิน (blinding of outcome assessment) พบว่ามีจำนวน 4 การศึกษา[17-18, 21-22] อยู่ในระดับความเสี่ยงสูงเนื่องจากไม่สามารถปกปิดผู้ประเมินได้ ด้านผลการศึกษาที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete outcome data) จำนวน 4 การศึกษา[17,19-20,22] ระดับความเสี่ยงสูง เนื่องจากมีผู้เข้าร่วมการศึกษาหายไปแต่ไม่มีรายงาน ด้านการเลือกรายงานผล (selective reporting) พบ 3 การศึกษา[17, 20, 23] ระดับความเสี่ยงสูงเนื่องจากมีข้อมูลที่รายงานไม่สอดคล้องกัน ด้านความเสี่ยงอื่น ๆ (other bias) มี 2 การศึกษา[20-21] ระดับความเสี่ยงสูง เนื่องจากไม่มีการชี้แจงการสนับสนุนงบประมาณการทำโครงการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสกัดข้อมูล

การศึกษา	ผู้เข้าร่วมการศึกษา การฝึกและระยะเวลาฝึก	ผลการศึกษา
Klamroth 2016[17]	กลุ่มโรคพาร์กินสัน (H&Y)* 1–3 39 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=19) อายุเฉลี่ย 64.8±10.3** ปี, H&Y เฉลี่ย 2.4±0.6, UPDRS-III** =16.7±5.5 ฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation treadmill **กลุ่มควบคุม** (n=20) อายุเฉลี่ย 64.2±8.5 ปี, H&Yเฉลี่ย 2.2±0.9, และ UPDRS-III 17.7±8.7 ฝึกเดินทรงตัวแบบ treadmill without perturbation (30 นาที)	**ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** เฉพาะกลุ่มทดลองมี walking speed เพิ่มขึ้นภายในกลุ่ม effect size = 0.34, p = .049 และมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม มากกว่ากลุ่มควบคุม between-group effect size = 0.41, p = .014 **การควบคุมการทรงตัว** เฉพาะกลุ่มควบคุมที่มี postural sway area พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม within-group effect size = 0.49, p = .009 แต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม
Steib 2017[18]	กลุ่มโรคพาร์กินสัน (H&Y) 1–3.5 38 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=18) อายุเฉลี่ย 67.6±8.2 ปี, H&Y เฉลี่ย 2.6±0.5, และ UPDRS-III = 17.7±6.1 ได้รับการฝึกเดินทรงตัวแบบperturbation treadmill	**ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** - TUG พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ 8 สัปดาห์ p = .48 โดยกลุ่มทดลองมี TUG ลดลง -0.8 (1.6) sec ขณะที่กลุ่มควบคุมมี TUG เพิ่ม 0.3 (1.2) sec และแต่ไม่พบที่ 12 สัปดาห์ และพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะภายในกลุ่มที่ 8 สัปดาห์ p = 0.009, within-group

การศึกษา	ผู้เข้าร่วมการศึกษา การฝึกและระยะเวลาฝึก	ผลการศึกษา
	กลุ่มควบคุม (n=20) อายุเฉลี่ย 62.5±7.9 ปี, H&Y เฉลี่ย 2.5±0.5, และ UPDRS-III 20.4±8.2 ได้รับการฝึกเดินทรงตัวแบบ treadmill without perturbation (30 นาที, 2 ครั้ง/สัปดาห์)	effect size กลุ่มทดลอง= 0.28 กลุ่มควบคุม = 0.23 -2-minute walk test (2MWT) พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปร 2-MWT, TUG, Mini-BES Test, postural sway and ABC ทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม **การควบคุมการทรงตัว** พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปร Mini-BES Test, postural sway and ABC ทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม
Steib 2019[19]	กลุ่มโรคพาร์กินสัน (H&Y) 1–3.5 38 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=18) อายุเฉลี่ย 67.6±8.2 ปี, H&Y เฉลี่ย 2.6±0.5, UPDRS-III =17.7±6.1 ได้รับการฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation treadmill **กลุ่มควบคุม** (n=20) อายุเฉลี่ย 62.5±7.9 ปี, H&Y เฉลี่ย 2.5±0.5, และ UPDRS-III =20.4±8.2 ได้รับการฝึกเดินทรงตัวแบบ treadmill without perturbation (16 ครั้ง 30 นาที 2 ครั้ง/สัปดาห์ 8 สัปดาห์)	**ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** ผล treadmill gait variability **ที่ 8 สัปดาห์** พบเฉพาะ stride time ดีขึ้นภายในกลุ่มทดลอง p = .02 และพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม p = .05 effect size เท่ากับ 0.33 และผล overground gait parameter พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม เฉพาะตัวแปร % swing time variability p = .02 effect size = 0.82 **ที่ 8 -12 สัปดาห์** ผล treadmill gait variability พบเฉพาะ % stance time variability และ %swing time variability เพิ่มขึ้นเฉพาะในกลุ่มควบคุม p = .01 ทั้ง 2 ตัวแปร และพบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม p = .02 และ .03 โดยมี effect size = 0.85 และ 0.82 ตามลำดับ และ**ที่ 12 สัปดาห์**พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกผลลัพธ์
Protas 2005[20]	กลุ่มโรคพาร์กินสันเพศชาย (H&Y) 1-3 18 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=9) อายุเฉลี่ย 71.3±7.4 ปี, H&Y เฉลี่ย 7.1 ±5.1, UPDRS 28.3±13.6 ได้รับการฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation treadmill **กลุ่มควบคุม** (n=9) อายุเฉลี่ย 73.7±4.4 ปี, H&Y เฉลี่ย 8.1±4.4, UPDRS 30.4±8.0 ไม่ได้รับการฝึก (1 ชม./วัน 3 ครั้ง/สัปดาห์)	**ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** ที่ 8 สัปดาห์ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะ walking speed ระหว่างกลุ่ม กลุ่มทดลองมี walking speed เพิ่มขึ้นจาก 1.28 (0.33) m/s เป็น 1.45 (0.37) m/s ขณะที่กลุ่มควบคุมมี walking speed เพิ่มขึ้นจาก 1.26 (0.19) m/s เป็น 1.27 (0.25) m/s และ **การล้ม** ความถี่ในการล้มในกลุ่มทดลองลดลงกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่ได้รายงานข้อมูลความถี่ที่ชัดเจน
Shimada 2004[21]	ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหวและเสี่ยงล้มสูง 32 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=18) อายุเฉลี่ย 81.8±5.9 ปี ฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation bilateral treadmill **กลุ่มควบคุม** (n=14) อายุเฉลี่ย 83.1±6.4 ปี ออกกำลังกายด้วยวิธีดั้งเดิม (1-3 ครั้ง/สัปดาห์ (600 นาที))	**การควบคุมการทรงตัว** - Functional Reach Test (FRT) (cm) พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม p = .015 โดยกลุ่มทดลองมี FRT ที่ดีเพิ่มขึ้น mean (95%CI) จาก 17.0 (13.9, 20.0) cm เป็น 24.1 (20.7–27.5) cm ขณะที่กลุ่มควบคุมมี FRT แย่ลงโดยลดลงจาก 14.5 (9.0, 19.9) cm เป็น 13.2 (7.5, 18.9) cm

การศึกษา	ผู้เข้าร่วมการศึกษา การฝึกและระยะเวลาฝึก	ผลการศึกษา
		- Reaction time (RT) ขณะเดิน (msecs) พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม p = .035 โดยกลุ่มทดลองมี RT ขณะเดินที่เร็วขึ้น mean (95%CI) จาก 404 (282, 526) msecs เป็น 276 (244, 308) msecs ขณะที่กลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้น 431 (372, 489) msecs เป็น 440 (354, 527) msecs - One-leg standing time: OLS (sec) พบความแตกต่างภายในกลุ่มเฉพาะกลุ่มทดลอง โดยมี OLS ที่ดีเพิ่มขึ้นmean (95%CI) จาก 2.5 (1.4, 3.5) sec เป็น 4.0 (2.1, 5.9) sec ขณะที่กลุ่มควบคุมมี OLS แย่ลงโดยลดลงจาก 3.1 (0.3, 5.9) sec เป็น 1.9 (0.2, 3.7) sec **การล้ม ที่ 6 เดือน** กลุ่มทดลองมี number of falls 8 ครั้ง ขณะที่กลุ่มควบคุมมี 11 ครั้ง และ กลุ่มทดลองที่ fall rate 33.3 % ขณะที่กลุ่มควบคุมมี 54.5 % แต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
Lurie 2013[22]	ผู้สูงอายุที่อายุ 65 ปีขึ้นไป มีภาวะเสี่ยงล้มสูง 59 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=26) อายุเฉลี่ย 81.1±6.53 ปี ฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation treadmill **กลุ่มควบคุม** (n=33) อายุเฉลี่ย 79.2±7.65 ปี ได้รับการกายภาพบำบัดด้วยวิธีดั้งเดิม (ระยะเวลาไม่ได้กำหนดขึ้นกับความเหมาะสมของผู้เข้าร่วมตามความเห็นของผู้ฝึก)	พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตัวแปร **ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** TUG พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม (p = .001) **การควบคุมการทรงตัว** - Dynamic gait index (DGI) score พบความแตกต่างอย่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม (p = .001) Iและ BBS (p = .024) **ระดับความมั่นใจในการทำกิจกรรม** ABC scale พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม (p = .001) **การล้ม** กลุ่มทดลองมี number of falls 19.2% ขณะที่กลุ่มควบคุมมี 33.3 % กลุ่มทดลองมี injury of falls 7.2 % ขณะที่กลุ่มควบคุมมี 18.2 %
Handelzalts 2019[23]	กลุ่มโรคหลอดเลือดสมองระยะกึ่งเฉียบพลัน 34 ราย **กลุ่มทดลอง** (n=18) อายุเฉลี่ย 62.5 ± 8.4 ปี จำนวนวันเฉลี่ยหลังเป็นstroke 40.3±18.1 วัน ฝึกเดินทรงตัวแบบ perturbation treadmill **กลุ่มควบคุม**(n=14) อายุเฉลี่ย 60.4±10.1 ปี จำนวนวันเฉลี่ยหลังเป็น stroke 43.7±19.7 วัน ฝึกถ่ายน้ำหนักและ treadmill without perturbation (12 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที โดยรวม 2.5 สัปดาห์)	**หลังการฝึก ความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน** 10-meter walk test (10MWT) m/s และ 6-minute walk test (6MWT) (M) พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม - **การควบคุมการทรงตัว** ได้แก่ BBS score พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม และ multiple-step threshold (MST) พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มของ MST in response to forward (p = .013)

การศึกษา	ผู้เข้าร่วมการศึกษา การฝึกและระยะเวลาฝึก	ผลการศึกษา
		between - group effect size = 1.07 และ MST in response to backward (p = .011) between group effect size = 1.10 - **การล้ม** fall threshold ลดลงทั้ง 2 กลุ่ม แต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม - **ระดับความมั่นใจในการทำกิจกรรม** ABC scale พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม (p = .049) ของ ABC scale effect size = 0.74 **ติดตาม 4-6 สัปดาห์** เฉพาะ MST in response to backward พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม (p = .004) between - group effect size เท่ากับ 1.48

หมายเหตุ: *Hoehn & Yahr stage (H&Y), **Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS)-III, **(Mean±SD)

จากตารางที่ 1 รายงานการศึกษาจำนวน 7 การศึกษาที่ได้รับการฝึกด้วย perturbation treadmill เปรียบเทียบกับการฝึกรูปแบบอื่น ๆ รายละเอียดผลการศึกษาความสามารถในการเดินและการทรงตัวตาม

จากผลการศึกษาพบว่า การวัดผลลัพธ์หลัก ด้านความสามารถในการเดินและทรงตัวขณะเดิน ได้แก่ ผลของความเร็วในการเดิน (walking speed) ยังแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา ในกลุ่มโรคหลอดเลือดสมองหลังจากได้รับการฝึกด้วย perturbation treadmill เทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาไม่พบความเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการเดิน (10MWT) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[23] การศึกษาในกลุ่มผู้สูงอายุ เมื่อได้รับการฝึกด้วย perturbation treadmill ความสามารถในการเดินและทรงตัวประเมินโดย TUG เปลี่ยนแปลงดีขึ้น แต่ไม่ต่างกับการได้รับการฝึกด้วยการกายภาพบำบัดด้วยวิธีดั้งเดิม[22] การศึกษาในกลุ่มโรคพาร์กินสันหลังจากได้รับการฝึกด้วย Perturbation treadmill ผลของความเร็วในการเดิน (walking speed) มีการศึกษาที่พบว่าผลเปลี่ยนแปลงดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหลังฝึกและระหว่างกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกแบบ treadmill without perturbation[17] มีการศึกษาที่ฝึก 8 สัปดาห์ต่อเนื่อง พบความเปลี่ยนแปลงดีขึ้นหลังการฝึกทั้ง 2 กลุ่ม แต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[18] แต่ถ้าเปรียบเทียบกับการไม่ได้รับการฝึกจะพบความเปลี่ยนแปลงดีขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[20] และมีการศึกษาที่ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการเดิน (walking speed) ทั้งก่อนและหลังฝึกและระหว่างกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกแบบ treadmill without perturbation ในส่วนความสามารถในการเดินและทรงตัวที่ประเมินโดย TUG, gait variation และ gait parameters พบเปลี่ยนแปลงดีขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม[18-20] การศึกษาในกลุ่มผู้สูงอายุ ความสามารถในการทรงตัวที่ประเมินโดย DGI และ BBS เปลี่ยนแปลงดีขึ้นแต่ไม่ต่างกับการได้รับการฝึกด้วยวิธีอื่น ๆ[21-22] แต่มีการประเมินด้วย Functional Reach Test ที่พบความเปลี่ยนแปลงดีขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[21] ในกลุ่มโรคหลอดเลือดสมองความสามารถในการทรงตัวBBSพบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม พบเพียงคะแนน ABC scale เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[23] รายงานการล้มในการศึกษาทั้งกลุ่มโรคพาร์กินสันและการศึกษากลุ่มผู้สูงอายุพบความถี่ในการล้ม จำนวนการล้ม อัตราการล้มในกลุ่มทดลองลดลงกว่าในกลุ่มควบคุมแต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[20-22] ในกลุ่มโรคหลอดเลือดสมอง fall threshold ลดลงทั้ง 2 กลุ่ม

แต่พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม[23] พบรายงานเหตุไม่พึงประสงค์ จำนวน 1 การศึกษา[23] พบผู้เข้าร่วมการศึกษาในกลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วย perturbation treadmill เจ็บเท้า (foot pain) ระหว่างฝึก 1 คนทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการฝึกจนจบโปรแกรมได้

วิจารณ์

จากผลการศึกษาเป็นไปได้ว่าการฝึกด้วย perturbation treadmill ส่งให้ความแปรปรวนในการเดินลดลง ส่งเสริมให้ความสามารถในการทรงตัวดีขึ้น เนื่องจากรูปแบบการฝึกเป็นการรบกวนการเดินแบบทันทีทันใด กระตุ้นกลไกการควบคุมการเคลื่อนไหว (motor control mechanisms) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (dynamic postural control) และ เกิดการปรับตัวของการเดิน (gait adaptations) อีกทั้งเป็นรูปแบบที่ท้าทาย (increased task challenge) จากการถูกรบกวนขณะเดิน ทำให้ส่งเสริมการเรียนรู้การควบคุมเคลื่อนไหว (motor learning) ใหม่ ๆ ที่เพิ่มขึ้น[4, 18-20] แต่ถ้าประเมินด้วยรูปแบบการประเมินที่ไม่ได้ชี้เฉพาะที่การทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (dynamic postural control) หรือ การปรับตัวของการเดิน (gait adaptations) จะไม่พบความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการฝึกด้วยวิธี treadmill without perturbation ในส่วนผลคงค้างหลังการฝึกเมื่อเวลาผ่านไปก็ยังไม่พบความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ส่วนของการวัดผลลัพธ์รอง พบดังนี้ การศึกษาในกลุ่มโรคพาร์กินสันพบ Mini-BESTest และ ABC พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม[18]

การนำไปใช้ในทางคลินิก ถึงแม้จะมีข้อจำกัดเรื่องจำนวนการศึกษาที่น้อย แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่สนับสนุนว่าการฝึกด้วย perturbation treadmill ช่วยส่งเสริมความสามารถในการเดินและการทรงตัวในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว ได้ไม่ต่างกับการฝึกรูปแบบอื่น ๆ และมีข้อได้เปรียบในการช่วยส่งเสริมความสามารถในการทรงตัวแบบเคลื่อนที่ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกผู้สูงอายุที่มีปัญหาในการทรงได้เบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามยังต้องพิจารณาศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเนื่องจากมีรายละเอียดในส่วนของความเข้มข้นของโปรแกรม และความสามารถในการเดินของผู้ที่มีปัญหาการทรงตัวจากพยาธิสภาพที่มีความรุนแรงแตกต่างกัน

การศึกษาที่นำมาทบทวนพบมีความเสี่ยงต่ออคติในด้านของการปกปิดผู้ประเมิน มีทั้งการศึกษาที่ไม่รายงานว่าไม่สามารถปกปิดผู้ประเมินได้ และการศึกษาที่ปกปิดผู้ประเมินได้เพียงบางส่วนไม่สามารถทำได้กับผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคน ซึ่งอาจส่งผลลัพธ์ต่อผลการศึกษาได้ อีกทั้งในบริบทของการทบทวนบทความครั้งนี้ มุ่งเน้นที่จะรวบรวมหลักฐานเกี่ยวกับการควบคุมการทรงตัวขณะเดิน การควบคุมทรงตัว และการล้ม จึงมีการคัดบทความออกเป็นไปตามความจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าบทความที่รวมไว้สอดคล้องกับคำถามวิจัยที่กำหนดไว้ล่วงหน้าแต่อาจมีผลต่อการรายงานผลการศึกษาเนื่องจากการรวมบทความอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ไม่ชัดเจน

สรุป

การทบทวนอย่างเป็นระบบในครั้งนี้ พบการรายงานผลเบื้องต้นในบางการศึกษาว่า การฝึกด้วย perturbation treadmill ช่วยส่งเสริมความสามารถในการเดินและการทรงตัวได้ดีขึ้นในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัวแต่ไม่ต่างกับการฝึกรูปแบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามมีข้อได้เปรียบในการช่วยส่งเสริมความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวในผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว แต่เนื่องจากมีจำนวนการศึกษาค่อนข้างน้อย กลุ่มตัวอย่างในแต่ละการศึกษามีขนาดเล็ก มีความหลากหลายในการวัดผลลัพธ์ อีกทั้งผู้วิจัยยอมรับว่าการสืบค้นครั้งนี้มากกว่า 1 ปี จึงอาจมีการศึกษาวิจัยเผยแพร่มากขึ้น ผู้วิจัยเสนอแนะให้ทำการทบทวนอย่างเป็นระบบในอนาคตหรือทำการศึกษาในลักษณะของการวิจัยทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุมต่อไป โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการทรงตัว เพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่สามารถตอบคำถามงานวิจัยและนำมาประยุกต์ใช้ในทางคลินิกได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันสิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ ที่สนับสนุนให้ดำเนินโครงการวิจัยในครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. Prog Neurobiol 1992;38(1):35-56.
2. Massion J. Postural control system in development perspective. Neurosci Biobehav Rev 1998;22(4):465-72.
3. Boonsinsuk R. Balance control: From basics to physical examination and rehabilitation approaches. 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House; 2012.
4. Shumway-Cook A, Wollacott M. Motor control: theory and practical applications. 4th ed. Pennsylvania: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
5. Bennie S, Bruner K, Dizon A, Friyz H, Goodman B, Peterson S. Measurements of balance: comparison of the timed “up and go” test and the functional reach test with the berg balance scale. J Phys Ther Sci 2003;15(2):93-7.
6. Padgett PK, Jacobs JV, Kasser SL. Is the BESTest at its best? A suggested brief version based on interrater reliability, validity, internal consistency, and theoretical construct. Phys Ther 2012;92(9):1197-207.
7. Higgins JPT, Green S, editors. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions 4.2.6 [updated September 2006]. In: The Cochrane Library. Issue 4. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd; 2006.
8. Gassner H, Steib S, Klamroth S, Pasluosta CF, Adler W, Eskofier BM, et al. Perturbation treadmill training improves clinical rating of the motor symptoms gait and postural stability, and sensor-based gait parameters in Parkinson’s disease. Gait Posture 2017;57(1):7-8.
9. Obuchi S, Kojima M, Shiba Y, Shimada H, Suzuki T. A randomized controlled trial of a treadmill training with the perturbation to improve the balance performance in the community dwelling elderly subjects. Nihon Ronen Igakkai Zasshi 2004;41(3):321-7.
10. Pasluosta CF, Steib S, Klamroth S, Gaßner H, Goßler J, Hannink J, et al. Acute neuromuscular adaptations in the postural control of patients with parkinson’s disease after perturbed walking. Front Aging Neurosci 2017;9:316.
11. Lee A, Bhatt T, Liu X, Wang Y, Pai YC. Can higher training practice dosage with treadmill slip-perturbation necessarily reduce risk of falls following overground slip? Gait Posture 2018;61:387-92.
12. Pater ML, Rosenblatt NJ, Grabiner MD. Expectation of an upcoming large postural perturbation influences the recovery stepping response and outcome. Gait Posture 2015;41(1):335-7.
13. Richards JT, Selgrade BP, Qiao M, Plummer P, Wikstrom EA, Franz JR. Time-dependent tuning of balance control and aftereffects following optical flow perturbation training in older adults. J Neuroeng Rehabil 2019;16(1):81.
14. Gimmon Y, Riemer R, Kurz I, Shapiro A, Debbi R, Melzer I. Perturbation exercises during treadmill walking improve pelvic and trunk motion in older adults-A randomized control trial. Arch Gerontol Geriatr 2018;75:132-8.
15. Kurz I, Gimmon Y, Shapiro A, Debi R, Snir Y, Melzer I. Unexpected perturbations training improves balance control and voluntary stepping times in older adults - a double blind randomized control trial. BMC Geriatr 2016;16:58.
16. Wang Y, Bhatt T, Liu X, Wang S, Lee A, Wang E, et al. Can treadmill-slip perturbation training reduce immediate risk of over-ground-slip induced fall among community-dwelling older adults? J Biomech 2019;14:58-66.
17. Klamroth S, Steib S, Gaßner H, Goßler J, Winkler J, Eskofier B, et al. Immediate effects of perturbation treadmill training on gait and postural control in patients with Parkinson’s disease. Gait Posture 2016;50:102-8.

เอกสารอ้างอิง (References)

18. Steib S, Klamroth S, Gaßner H, Pasluosta C, Eskofier B, Winkler J, et al. Perturbation during treadmill training improves dynamic balance and gait in Parkinson's disease: A single-blind randomized controlled pilot trial. Neurorehabil Neural Repair 2017;31(8):758-68.
19. Steib S, Klamroth S, Gaßner H, Pasluosta C, Eskofier B, Winkler J, et al. Exploring gait adaptations to perturbed and conventional treadmill training in Parkinson's disease: Time-course, sustainability, and transfer. Hum Mov Sci 2019;64:123-32.
20. Protas EJ, Mitchell K, Williams A, Qureshy H, Caroline K, Lai EC. Gait and step training to reduce falls in Parkinson's disease. NeuroRehabilitation 2005;20(3):183-90.
21. Shimada H, Obuchi S, Furuna T, Suzuki T. New intervention program for preventing falls among frail elderly people: The effects of perturbed walking exercise using a bilateral separated treadmill. Am J Phys Med Rehabil 2004;83(7):493-9.
22. Lurie JD, Zagaria AB, Pidgeon DM, Forman JL, Spratt KF. Pilot comparative effectiveness study of surface perturbation treadmill training to prevent falls in older adults. BMC Geriatr 2013;13:49.
23. Handelzalts H, Kenner-Furman M, Gray G, Soroker N, Shani G, Melzer I. Effects of perturbation-based balance training in subacute persons with stroke: a randomized Neural Repair 2019;33(3):213-2.