

ผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค Repeated Contractions ต่อการใช้พลังงานในการเดินในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดิน Crouch gait ร่วมกับ Apparent equinus

ชนันท์วัลย์ วุฒินโณคิน*, ปาริชาติ อ้นองอาจ*, ภาวิณี บำเพ็ญ**,
ฐิติกร จันทาท***, ชลิตา หลิมวานิช****, วุฒิพงษ์ แก้วมณี*****

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค Repeated contraction (RC) ในเด็กสมองพิการที่มีรูปแบบการเดิน Crouch gait ร่วมกับ Apparent equinus เด็กสมองพิการจำนวน 10 คน ได้รับการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ความถี่ในการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ousการเคลื่อนไหวของการเหยียดข้อสะโพก เหยียดข้อเข่า และกระดูกข้อเท้าขึ้น ภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งของกลุ่มกล้ามเนื้อข้อสะโพก กลุ่มกล้ามเนื้อข้อเข่า กลุ่มกล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้าลง และการใช้พลังงานในการเดิน นำมาเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลัง พบว่าหลังการรักษา 6 สัปดาห์ พลังงานในการเดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ousการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ มีประโยชน์สำหรับเด็กสมองพิการ ช่วยลดภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็ง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ส่งเสริมให้เด็กสมองพิการลดการใช้พลังงานขณะเดิน

คำสำคัญ: เด็กสมองพิการ, การยืดแบบคงค้าง, เทคนิค Repeated contractions

* อาจารย์ประจำ สาขากายภาพบำบัด คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ วิทยาลัยนครราชสีมา

** นักกายภาพบำบัด โรงพยาบาลตากสิน

*** นักกายภาพบำบัด โรงพยาบาลจุฬ

**** นักกายภาพบำบัด โรงพยาบาลธนบุรี 1

***** นักกายภาพบำบัด โรงพยาบาลสามพราน

Effect of Combination of Prolonged Passive Stretching and Repeated Contraction on Crouch Gait with Apparent Equinus in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy

Chananwan Wutthithanaphokhin*, Parichat onongarj*, Phawinee Bumpen**
Thitigon Chantaton***, Chalita Limwanich****, Wutthipong Kaewmanee*****

Abstract

The aim of this study was to investigate effect of a combination of prolonged passive stretching and repeated contraction (RC) on crouch gait with apparent equinus in children with spastic diplegic cerebral palsy. Ten children with spastic cerebral palsy were participated in this study. The subjects received prolonged passive stretching followed by RC intervention 3 days per week for 6 weeks. Three lower extremity range of motion (ROM) (hip extension, knee extension and ankle dorsiflexion), spasticity (hip flexors, knee flexors and ankle plantarflexors) and physiological cost index (PCI) were evaluated before and after the 6-week intervention. The PCI was significantly decreased after 6 week of treatment. ROM improvements were significantly observed. Moreover, spasticity (hip flexors and knee flexors) were significantly decreased. The results in this study suggested that 6-week of prolonged passive stretching combined with RC could effectively improve PCI and motor control performance and also ameliorate muscle weakness of spastic diplegic children.

Keywords : cerebral palsy, prolonged passive stretching, repeated contraction

* Instructor, Physical Therapy Branch, Faculty of Medical Science, Nakhonratchasima College

** Physical Therapist, Taksin Hospital

*** Physical Therapist, Chun Hospital

**** Physical Therapist, Thonburi Hospital 1

***** Physical Therapist, Samphran Hospital

Corresponding author, email: chananwan.w@gmail.com, Tel. 0811651800

Received : January 16, 2019; **Revised :** March 9, 2019; **Accepted :** April 30, 2019

ความสำคัญของปัญหาการวิจัย

เด็กสมองพิการ (Cerebral Palsy) คือความผิดปกติในการเจริญเติบโตของเซลล์สมองส่วนมอเตอร์ ที่ควบคุมการเคลื่อนไหวและการทรงท่า ความผิดปกติของเซลล์สมองนี้เกิดแบบถาวรไม่สามารถลุกลามต่อไปได้และไม่สามารถกลับคืนสู่ปกติได้เช่นกัน ความผิดปกตินี้อาจเกิดตั้งแต่เด็กอยู่ในครรภ์มารดา ขณะคลอด และหลังคลอดจนกระทั่งในวัยเด็กทารก และมีอายุ 2-3 ขวบ ซึ่งเป็นช่วงที่สมองกำลังเจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อมีความเสียหายที่เซลล์สมองส่วนมอเตอร์ พัฒนาการของระบบประสาทส่วนมอเตอร์บกพร่อง จึงมีผลกระทบต่อการพัฒนาการด้านการเคลื่อนไหวและการทรงท่า เป็นสาเหตุทำให้จำกัดกิจกรรมการเคลื่อนไหว เนื่องจากมีความเสียหายที่สมองบริเวณตำแหน่งที่แตกต่างกันส่งผลทำให้เด็กสมองพิการมีอาการแตกต่างกัน เช่น กล้ามเนื้อหดเกร็ง พบว่าสมองถูกทำลายที่ส่วนของ Pyramidal tract ซึ่งมีใยประสาท Pyramidal fiber ที่ผ่าน Internal capsule และส่งไปยังส่วนของขาและแขน มีผลทำให้กล้ามเนื้อหดเกร็ง (Spasticity) ทั้งแขนและขา เด็กสมองพิการประเภทนี้พบมากที่สุดประมาณร้อยละ 75-85 ความตึงตัวของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติกระจายตามส่วนต่างๆ ของร่างกายไม่เท่ากัน จึงแบ่งเด็กสมองพิการโดยเรียกชื่อตามบริเวณที่ผิดปกติ เช่น diplegia, quadriplegia, hemiplegia เป็นต้น ลักษณะของกลุ่มอาการที่แสดงถึงความผิดปกติของเนื้อสมองส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหว เด็กจะมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อที่ผิดปกติ เกิดการเกร็งส่งผลให้การทรงตัวและการเคลื่อนไหวไปได้ลำบาก เด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia เป็นกลุ่มสมองพิการที่พบมากที่สุด จะมีลักษณะอาการเกร็งของขาและแขนทั้ง 2 ข้างโดยขา 2 ข้างมีอาการเกร็งมากกว่าแขน เด็กจะยืนได้เองเมื่ออายุประมาณ 11-12 เดือน ขณะยืนและเดินฝ่าเท้าบริเวณจมูกเท้า (Ball of foot) สัมผัสพื้น เป็นลักษณะของอาการเกร็งเหยียด (Extensor spasticity) ร่วมกับอาการเกร็งหุบขาและหมุนขาเข้า เป็นอิทธิพลของปฏิกิริยาสะท้อนดั้งเดิม positive supporting เด็ก Diplegia ต้องใช้ความพยายามอย่างมากในการกระดกข้อเท้าขณะยืนและเดิน เด็กมีความยากลำบากในการทรงท่าและรักษาสสมดุล จากการที่เท้าสัมผัสพื้นเฉพาะที่ปลายฝ่าเท้าจึงมีพื้นที่รองรับน้ำหนักแคบมาก ส่วนใหญ่เด็กจะพยายามรักษาสสมดุลไว้โดยการชดเชยในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ลำตัวงอ แขนงอ เด็ก diplegia มีอาการทั้งเกร็งงอและเกร็งเหยียด (Flexor และ Extensor spasticity) จึงไม่สามารถเหยียดขาเพื่อทรงตัว ยืนได้ และเอ็นร้อยหวาย (Tendo achilles) บ่อยๆจะมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของกล้ามเนื้องอ (Flexor activity) ของข้อสะโพกและเข่าแบบถาวร จึงเป็นการยับยั้งกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดมากเกินไป ผลที่ตามมาเกิดการผิดรูปของกลุ่มกล้ามเนื้องอ (flexor deformity) ที่ข้อสะโพก เข่า และเท้า (พรณี ปิงสุวรรณ, 2556) และ (บุญรัตน์ ไ้ว์ตระกูล, 2546) รูปแบบการเดินแบบ Crouch gait เป็นรูปแบบการเดินที่ผิดปกติที่พบได้มากที่สุดของเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ลักษณะที่พบคือมีการงอข้อสะโพกและข้อเข่ามากกว่าปกติในขณะยืนและเดิน โดยเฉพาะมีการงอเข่ามากกว่า 20 องศาในช่วงแรกที่เท้าแตะพื้น (Initial contact) และงอเข่ามากกว่า 15 องศาในช่วงยืนกลาง (Stance phase) ซึ่งการงอของข้อเข่าที่มากกว่าปกตินี้ส่งผลให้ข้อสะโพกมีการงอมากกว่าปกติด้วย พบว่ารูปแบบการเดินแบบ Crouch gait จะไปเพิ่มน้ำหนักลงบนบริเวณ Patellofemoral joint เป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บหรืออาการปวดบริเวณนี้ตลอดเวลา และทำให้เกิดการเสื่อมของข้อต่อในเวลาต่อมา นอกจากนี้การเดินแบบ Crouch gait ทำให้เด็ก

ต้องใช้พลังงานขณะเดินมากกว่าปกติในขณะเดิน (Campbell & Ball, 1978) และ (Robert & Sara M., 1999) และถ้าหากเด็กมีรูปแบบการเดินที่ผิดปกติแบบ crouch gait และเด็กไม่ได้รับการรักษาหรือแก้ไข ผลกระทบตามมาคือประสิทธิภาพในการเดินลดลง และอาจจะเดินไม่ได้ในอนาคต สำหรับสาเหตุที่ทำให้เด็ก diplegia มีรูปแบบการเดินผิดปกติแบบ Crouch gait คือมี Spasticity หรือ contracture ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอเข่า (Hamstrings muscle) ส่งผลให้ไปจำกัดการเหยียดข้อเข่าขณะเดิน นอกจากนั้นยังมี Spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอสะโพก (Psoas muscle) ส่งผลให้ไปจำกัดการเหยียดข้อสะโพกขณะเดินและมี spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ถีบปลายเท้าลง (Gastrocnemius muscle) ซึ่งกล้ามเนื้อนี้มีจุดเกาะต้นที่ Posterior surface of the medial and lateral condyles of femur และมีจุดเกาะปลายที่ Posterior surface of the calcaneus via Achilles tendon ดังนั้นกล้ามเนื้อชนิดนี้ขณะหดตัวจะทำให้เข่างอและถีบปลายเท้าลง หากกล้ามเนื้อชนิดนี้มี Spasticity มากจะส่งผลให้ไปจำกัดการกระดกข้อเท้าขณะเดิน ทำให้เด็กสมองพิการขณะเดินในรูปแบบที่ผิดปกติ ส่วนรูปแบบการเดินที่ผิดปกติแบบ Apparent equinus ขณะเดินจะมีการงอเข่างอสะโพกมากกว่าปกติ ขณะยืนหรือเดินจะลงน้ำหนักที่ปลายเท้า (Walking on toe) เนื่องจากมี Spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius กล้ามเนื้อ Psoas และกล้ามเนื้อ Hamstring (Stephane et al., 2016) ในขณะเดียวกันกลุ่มกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามกลุ่ม Spasticity มีลักษณะยืดยาวตลอดเวลา ทำให้กล้ามเนื้อด้านนี้อ่อนแรง เช่น กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Gluteus maximus muscle) กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Quadriceps muscle) และกลุ่มกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า (Tibialis anterior muscle) ส่งผลให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้เต็มที่ หากปล่อยไว้นานๆส่งผลให้มีการจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ และส่งเสริมให้เกิด Spasticity มากขึ้นในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอสะโพก งอเข่า และกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ถีบปลายเท้าลง ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะไปขัดขวางการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะการเดินของเด็กสมองพิการทำให้เด็กต้องใช้พลังงานการเดินมากกว่าปกติ ส่งผลให้เดินได้ระยะทางลดลง เกิดอาการเหนื่อยง่าย ทำให้ไปจำกัดการใช้ชีวิตประจำวันของเด็กตามมา การรักษาทางกายภาพบำบัดส่วนใหญ่จะเน้นการคงช่วงขององศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ การรักษาความยาวของกล้ามเนื้อ เพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อ เพิ่มความสามารถในการทรงตัวและการประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ และใส่กายอุปกรณ์เสริมเพื่อลดการเดินที่ผิดปกติ (Stephane et al., 2016)

การยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching เป็นวิธีการยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง โดยการยืดแบบคงค้าง ขณะยืดแบบคงค้าง จะเกิดแรงตึงตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ Golgi tendon organ (GTO) ทำงาน เพื่อป้องกันการฉีกขาดหรือเกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อ GTO จึงส่งสัญญาณประสาทผ่านทาง Type Ib afferent ไป Synapse กับ alpha motor neuron จากนั้นสัญญาณประสาทจาก Alpha motor neuron ไปยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อกลุ่ม agonist (กลุ่มกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง) ผลที่ตามมาคือกล้ามเนื้อชนิดนี้จะคลายตัว ทำให้แรงตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง ส่งผลให้องศาการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นตามมา (ยิ่งลักษณ์ วิรุณรัตน์กิจ, 2550) และ (Herbert, 2000)

การออกกำลังกาย Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) เทคนิค Repeated contractions (RC) ซึ่ง PNF เป็นการเร่งรัดหรือเพิ่มพูนการตอบสนองของ Neuromuscular mechanism โดยกระตุ้นผ่าน Proprioceptor เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่ต้องการสำหรับเทคนิค RC เป็นเทคนิคที่ทำให้เกิดการหดตัวซ้ำๆ ของกล้ามเนื้อที่อ่อนแรงในแบบแผนการเคลื่อนไหวหนึ่ง โดยเน้นการเคลื่อนไหวเฉพาะทิศทางเดียวกันเท่านั้น และใช้การกระตุ้น Stretch reflex ร่วมขณะผู้ป่วยออกแรงเริ่มการเคลื่อนไหว การใช้เทคนิค RC มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเร่งรัดการเคลื่อนไหว ช่วยเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหว และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ช่วยนำการเคลื่อนไหวให้แก่ผู้ป่วยในทิศทางที่ต้องการ (น้อมจิตต์, 2550), (Susan, 2014)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าเทคนิค Prolonged passive stretching เป็นวิธีการที่สามารถยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง และเทคนิค RC เป็นเทคนิคที่สามารถช่วยเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหว และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการวิจัยเกี่ยวกับผลการรักษาด้วยเทคนิคดังกล่าวในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ต่อการใช้พลังงานในการเดินในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait
2. เพื่อศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้ออย่างครึ่งล่างทั้งสองข้างในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait
3. เพื่อศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ต่อองศาการเคลื่อนไหวของอย่างครึ่งล่างทั้งสองข้างในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ขอบเขตของเนื้อหาการวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ต่อการใช้พลังงานในการเดิน ความตึงตัวของกล้ามเนื้อ และองศาการเคลื่อนไหวของอย่างครึ่งล่างในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เป็นเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 6 สัปดาห์ สถานที่เก็บข้อมูล ณ มูลนิธิอนุเคราะห์คนพิการในพระราชูปถัมภ์ของสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี และตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ พลังงานในการเดิน ความตึงตัวของกล้ามเนื้อ และองศาการเคลื่อนไหวของรยางค์ส่วนล่าง

สมมุติฐานของการวิจัย

1. หลังการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait จะใช้พลังงานในการเดินลดลงกว่าก่อนการรักษา
2. หลังการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait จะมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างทั้งสองข้างลดลงกว่าก่อนการรักษา
3. หลังการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait จะมีองศาการเคลื่อนไหวของรยางค์ส่วนล่างทั้งสองข้างเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการรักษา

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดิน crouch gait จำนวน 16 คน ณ มูลนิธิอนุเคราะห์คนพิการในพระราชูปถัมภ์ของสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี (โรงเรียนศรีสังวาลย์) แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 10 คน และทำ Pilot study 6 คน

2. เกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มอาสาสมัคร

- 2.1 เด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia (ไม่มีความผิดปกติด้านสติปัญญา)
- 2.2 อายุระหว่าง 6-12 ปี
- 2.3 รูปแบบการเดินผิดปกติแบบ Crouch gait
- 2.4 GMFCS Level III
- 2.5 ความตึงตัวของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเดินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2
- 2.6 สื่อสารเข้าใจ และสามารถทำตามคำสั่งได้
- 2.7 สามารถทรงตัวขณะยืนและเดินได้
- 2.8 สามารถเดินได้เอง (อาจจะใช้เครื่องช่วยเดินหรือไม่ก็ได้)
- 2.9 ต้องไม่ได้รับการผ่าตัดในช่วง 6 เดือนก่อนการเก็บข้อมูลวิจัย

3. เกณฑ์การคัดออกของกลุ่มอาสาสมัคร

- 2.1 ได้รับอุบัติเหตุระหว่างการทดลอง และไม่สามารถเข้าร่วมโครงการต่อไปได้
- 2.2 ขาดการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching และ RC มากกว่าหรือเท่ากับสามครั้ง

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 4.1 แบบฟอร์มการคัดเลือกอาสาสมัคร
- 4.2 แบบฟอร์มบันทึก Physiological cost index (PCI)
- 4.3 แบบฟอร์มบันทึก Range of motion (ROM)
- 4.4 แบบฟอร์มบันทึก Muscle tone
- 4.5 แบบฟอร์ม Gross Motor Function Measurement (GMFM)
- 4.6 แบบฟอร์ม Gross Motor Function Classification System (GMFCS)
- 4.7 เอกสารยินยอมการเข้าร่วมการวิจัยของผู้ปกครองเด็กอายุไม่ถึง 10 ปี หรือผู้ดูแลอาสาสมัคร
- 4.8 เอกสารการพร้อมใจเข้าร่วมการวิจัยของเด็กอายุ 10 ปี ก่อนถึง 18 ปี บริบูรณ์
- 4.9 เอกสารชี้แจงโครงการวิจัย (สำหรับอาสาสมัคร)
- 4.10 กรวย
- 4.11 แก้ว
- 4.12 เทปขาว
- 4.13 โกนีโอมิเตอร์
- 4.14 สายวัด
- 4.15 นาฬิกาจับเวลา
- 4.16 เครื่องวัดความดัน

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 ช่วงแรก : Pilot study

5.1.1 คณะผู้วิจัยทำการสุ่มคัดเลือกอาสาสมัคร จำนวน 6 คน ตามเกณฑ์คัดเข้าเพื่อทำ Pilot study จากนั้นกลุ่มอาสาสมัครทุกคนจะได้รับการวัดพลังงานที่ใช้ในการเดิน (PCI), วัดมุมองศาการเคลื่อนไหว (ROM) ของ Hip joint, Knee joint และ Ankle joint, วัดความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle tone) ของกล้ามเนื้อกลุ่ม Hip flexor, Knee flexor และ Ankle plantarflexor

วิธีการวัดและคำนวณพลังงานที่ใช้ในการเดิน (Swati et al, 2016)

1) ติดเทปที่พื้นระยะทาง 20 เมตร จากนั้นให้อาสาสมัครนั่งพัก 5 นาที เมื่อครบเวลาวัด Heart rate ขณะพัก

2) จากนั้นให้อาสาสมัครเดินด้วยความเร็วสูงสุดตามเทปที่ติดในระยะเวลา 1 นาที

3) เมื่อครบ 1 นาทีให้อาสาสมัครหยุดเดิน ผู้วิจัยบันทึกระยะทางที่เดินได้และวัด Heart rate ทันที จากนั้นนำค่าที่บันทึกมาคำนวณพลังงานที่ใช้ในการเดินตามสูตร ดังนี้

$$\text{The Physiological cost index (PCI)} = \frac{\text{HR (walking)} - \text{HR (rest)}}{\text{Walking speed}}$$

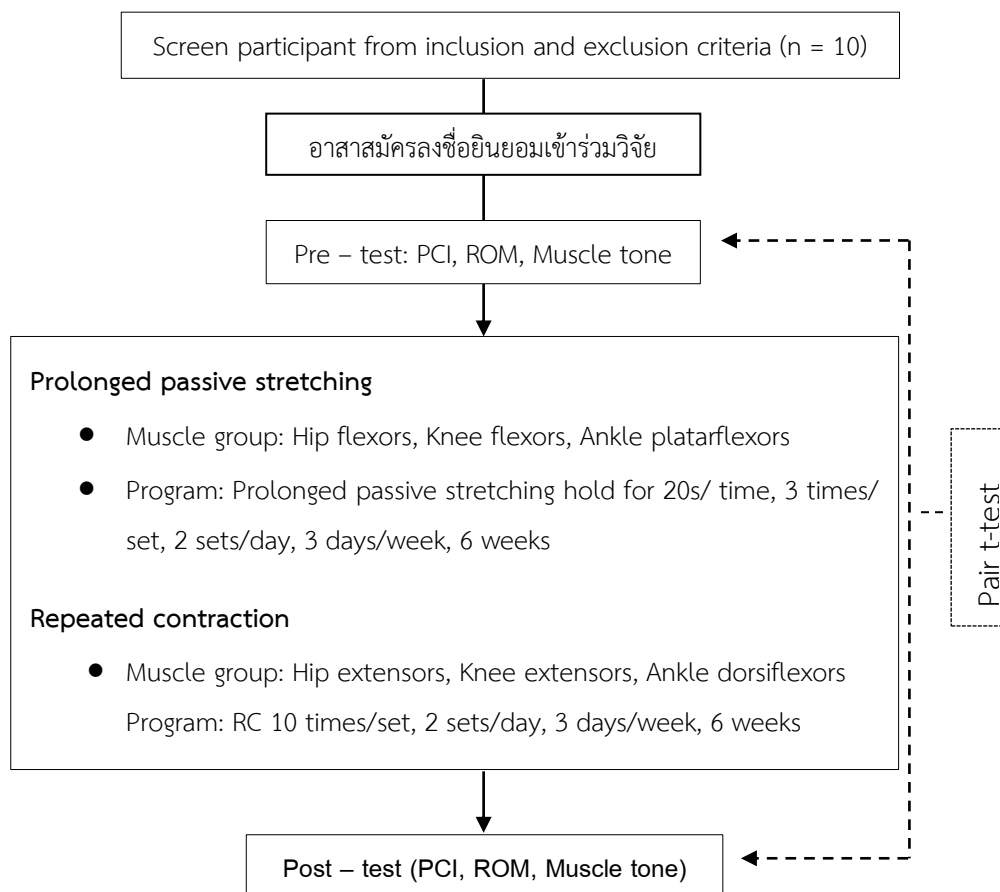
5.1.2 หลังจากนั้นอาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับโปรแกรมการรักษาประกอบด้วย 2 เทคนิค คือ เทคนิค Prolonged passive stretching สำหรับลด Spasticity (ในแต่ละกลุ่มกล้ามเนื้อยืดค้างไว้ประมาณ 20 วินาที/ครั้ง ทำ 3 ครั้ง/เซต) และเทคนิค RC สำหรับเพิ่มความแข็งแรง (เป็นเทคนิคที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อที่อ่อนแรงหดตัวซ้ำๆ โดยให้แรงต้านตลอดการเคลื่อนไหวร่วมกับเทคนิค Quick stretch)

5.2 ช่วงที่สอง : ขั้นตอนการเก็บข้อมูลจริง

5.2.1 การเตรียมอาสาสมัคร และการวัดค่าของแต่ละตัวแปร (pre – test) ขั้นตอนการวัดค่าตัวแปรต่างๆ เหมือนกับการทำใน Pilot study

5.2.2 หลังจากนั้นอาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับโปรแกรมการรักษา 2 เซต/วัน 3 วัน/สัปดาห์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ จากนั้นวัดค่าของแต่ละตัวแปรอีกครั้ง (Post – test)

ขั้นตอนการทำวิจัย



ภาพประกอบที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำค่าผลของ PCI, ROM และ Muscle tone ทั้งก่อนและหลังการรักษามาวิเคราะห์ด้วยสถิติ Paired t-test หากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) หากข้อมูลมีการกระจายตัวไม่

เป็นแบบปกติ (*Non-normal distribution*) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Wilcoxon Signed-ranks test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

ผู้เข้าร่วมโรคเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia จากมูลนิธิอนุเคราะห์คนพิการในพระราชูปถัมภ์ของสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี (โรงเรียนศรีสังวาลย์) ทั้งหมดจำนวน 10 คน แบ่งเป็นเพศชาย 8 คน เพศหญิง 2 คน อายุ 9.60 ± 1.62 ปี น้ำหนัก 25.80 ± 4.39 กิโลกรัม และส่วนสูง 127.80 ± 8.44 เซนติเมตร ได้เข้าร่วมหลังจากลงนามในแบบฟอร์มแสดงความยินยอม

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเดินระหว่างก่อนและหลัง การรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait

	Pre-test (Mean $\pm$ SD)	Post-test (Mean $\pm$ SD)	<i>p</i> - value
PCI (beats/m)	0.4086 ± 0.50188	0.1629 ± 0.35094	0.042*

*significant $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 1 พบว่าหลังการรักษามีการใช้พลังงานในการเดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.042$)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่ามัธยฐานของ Modified Ashworth Scale ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Rt. Hip flexors, Lt. Hip flexors, Rt. Knee flexors, Lt. Knee flexors, Rt. Ankle plantarflexors และ Lt. Ankle plantarflexors ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait

Muscle group	Median (Q_1 , Q_2)		<i>p</i> -value
	Pre-Test	Post-Test	
Rt. hip flexors	2(1,2)	0(0,1)	0.026*
Lt. hip flexors	1 ⁺ (1,2)	1(0,1)	0.041*
Rt. knee flexors	1 ⁺ (1,1 ⁺)	1(0,1)	0.023*
Lt. knee flexors	1(1,2)	1(0,1)	0.023*
Rt. ankle plantarflexors	1 ⁺ (1 ⁺ ,2)	1(0,1 ⁺)	0.024*
Lt.ankle plantarflexors	1 ⁺ (1 ⁺ ,2)	0(0,1 ⁺)	0.039*

*significant $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 2 พบว่าหลังการรักษา กลุ่มกล้ามเนื้อ Rt. Hip flexors กลุ่มกล้ามเนื้อ Lt. Hip flexors กลุ่มกล้ามเนื้อ Rt. knee flexors กลุ่มกล้ามเนื้อ Lt. knee flexors กลุ่มกล้ามเนื้อ Rt. ankle plantar flexors และกลุ่มกล้ามเนื้อ Lt. ankle plantarflexors มีภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็ง (Spasticity) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.026$, $p = 0.041$, $p = 0.023$, $p = 0.023$, $p = 0.024$ และ $p = 0.039$ ตามลำดับ)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของช่วงการเคลื่อนไหวของ Lt. Hip extension, Rt. Hip extension, Lt. Knee extension, Rt. Knee extension, Lt. Ankle dorsiflexion และ Rt. Ankle dorsiflexion ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait

ROM	Pre-Test (Mean $\pm$ SD)	Post-Test (Mean $\pm$ SD)	p - value
Lt. hip extension	2.14 $\pm$ 3.934	10.00 $\pm$ 7.071	0.025*
Rt. hip extension	2.14 $\pm$ 3.934	10.00 $\pm$ 7.071	0.025*
Lt. knee extension	1.43 $\pm$ 2.440	6.00 $\pm$ 2.944	0.008*
Rt. knee extension	2.86 $\pm$ 4.880	9.29 $\pm$ 4.499	0.000*
Lt. ankle dorsiflexion	4.29 $\pm$ 6.075	13.86 $\pm$ 18.28	0.148
Rt. ankle dorsiflexion	2.86 $\pm$ 7.559	10.29 $\pm$ 20.056	0.173

*significant $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 3 พบว่าหลังการรักษา องศาการเคลื่อนไหวของ Lt. hip extension, Rt. hip extension, Lt. knee extension และ Rt. knee extension เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.025$, $p = 0.025$, $p = 0.008$ และ $p = 0.000$ ตามลำดับ) และองศาการเคลื่อนไหวของ Lt. ankle dorsiflexion และ Rt. ankle dorsiflexion ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.148$, $p = 0.173$ ตามลำดับ)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบเชิงทดลอง เพื่อศึกษาผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolong passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ต่อการใช้พลังงานในการเดินในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait โดยการให้โปรแกรมการรักษาที่ความถี่ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์

หลังการเข้าร่วมโปรแกรมการรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยความตึงตัวของกล้ามเนื้อ Lt. Hip flexor, Rt. Hip flexor, Lt. Knee flexor, Rt. Knee flexor, Lt. Ankle plantar

flexor และ Rt. Ankle plantar flexor ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.026$, $p = 0.041$, $p = 0.023$, $p = 0.023$, $p = 0.024$ และ $p = 0.039$ ตามลำดับ) กล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง (Spasticity) เกิดจากการที่มีการกระตุ้น Alpha motor neuron ให้ทำงานมากขึ้น หรือเกิดจากการทำงานของ Gamma motor neuron มากขึ้น อันเกิดจากขาดการยับยั้ง (Inhibitory control) จากสมอง ทำให้ Gamma-alpha co-activation มีการทำงานที่ขาดการควบคุมการทำงานตลอดเวลา จึงทำให้เกิด Spasticity การยืดแบบคงค้าง (Prolonged passive stretching) เป็นวิธีการที่ยังยั้ง Spasticity โดยขณะยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง จะเกิดแรงตึงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ GTO ทำงาน เพื่อป้องกันการฉีกขาดหรือเกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อ GTO จึงส่งสัญญาณประสาทผ่านทาง Type Ib afferent ไป Synapse กับ Alpha motor neuron จากนั้นสัญญาณประสาทจาก Alpha motor neuron ไปยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง ผลที่ตามมาคือกล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะคลายตัว ทำให้แรงตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงตามมา (น้อมจิตต์ นวลเนตร, 2549) และ (พรนิทย์ วรรณพิสิฐกุล, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pin et al. (2006) ทำการศึกษาผลของการทำ Passive stretching ในเด็กสมองพิการที่มีกลุ่มกล้ามเนื้อ Spasticity พบว่าผลของ Passive stretching สามารถลด Spasticity และเพิ่มองศาการเคลื่อนไหว นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Tremblay et al. (1990) ทำการศึกษาผลของ Prolonged muscle stretch ในเด็กสมองพิการที่มี Spasticity โดยให้กลุ่มทดลองยืนบน Tilt table ในท่ากระดูกข้อเท้าขึ้น (Ankle dorsiflexion) 30 นาที ผลการทดลองพบว่าการลด Spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Triceps surae อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teeraporn et al. (2016) ทำการศึกษาผลของ Prolonged passive muscle stretching ร่วมกับ Whole body vibration ในเด็กสมองพิการ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ Spasticity balance และ Strength โดยให้ยืนบน Tilt table 40 นาที ตามด้วย Whole body vibration 10 นาที ความถี่ 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า spasticity ลดลง กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น และการทรงตัวดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบผลหลังการเข้าร่วมโปรแกรมการรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยขององศาการเคลื่อนไหวของ Lt. Hip extension, Rt. Hip extension, Lt. Knee extension และ Rt. Knee extension เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.025$, $p = 0.025$, $p = 0.008$ และ $p = 0.000$ ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบผลหลังการเข้าร่วมโปรแกรมการรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานในการเดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.042$) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโปรแกรมการรักษาด้วยเทคนิค Prolong passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ Crouch gait พบว่ากล้ามเนื้อกลุ่ม Hip flexors, Knee flexors และ Ankle plantar flexors มีความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง และกล้ามเนื้อกลุ่ม Hip extensors, Knee extensors และ Ankle dorsiflexors อาจจะมีแข็งแรงมากขึ้น ดูได้จากองศาการเคลื่อนไหวของ Hip extension, Knee extension และ Ankle dorsiflexion ที่เพิ่มขึ้นทั้งสองข้าง ทำให้เด็กสมองพิการเดินมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลต่อการใช้พลังงานในขณะเดินที่ลดลง โดยดูได้จากอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลง (PCI สัมพันธ์กับ HR) ระยะทางในการเดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เด็กสมองพิการ

สามารถทำกิจวัตรประจำวันได้มากขึ้น ทั้งนี้เทคนิค RC เป็นเทคนิคการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อผ่านทางกระตุ้นการรับรู้ความรู้สึกของเนื้อเยื่อผ่านการเคลื่อนไหว เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่ต้องการ เทคนิค RC ทำให้กล้ามเนื้อที่อ่อนแรงเกิดการหดตัวซ้ำๆ เน้นการเคลื่อนไหวเฉพาะทิศทางเดียวกันเท่านั้น และขณะเคลื่อนไหวใช้เทคนิค Quick stretch ในขณะที่มี Isotonic contraction เพื่อเพิ่มพูนการตอบสนอง โดยเทคนิค Quick stretch จะไปกระตุ้น Stretch reflex ทำให้มีการส่งสัญญาณประสาทจาก Muscle spindle ผ่านทาง La afferent เดินทางเข้าสู่ Spinal cord ไป synapse กับ Alpha motor neuron จากนั้นส่งสัญญาณประสาทไปกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ถูกยืด (กล้ามเนื้อที่ถูก Quick stretch) ให้เกิดการหดตัว ในขณะเดียวกันก็จะส่งสัญญาณประสาทไปยังยังกลุ่มกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามให้คลายตัว ดังนั้นตลอดการเคลื่อนไหวก็จะมีแรงเร่งการเคลื่อนไหวตลอดเวลา ส่งผลให้ระยะเวลาตลอด 6 สัปดาห์อาสาสมัครได้ออกกำลังกายอย่างเต็มที่ ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ประกอบกับความตึงตัวของกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามลดลง จึงส่งผลให้ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ข้อสะโพกสามารถเหยียดได้มากขึ้น และการศึกษาครั้งนี้ให้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยเทคนิค RC ด้วยระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ซึ่งในการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ในช่วงประมาณ 5 สัปดาห์แรก พบว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการปรับตัวของระบบประสาทมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวกล้ามเนื้อเอง การปรับตัวของระบบประสาท ได้แก่ การเพิ่มจำนวน Motor unit ที่ทำงาน เพิ่มการประสานสัมพันธ์การทำงานของ Motor unit แต่หลังจากผ่านไป 5 สัปดาห์ มีการปรับตัวของกล้ามเนื้อ โดยมีขนาดใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) ดังนั้นกล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบ Neuromuscular ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงเป็น Hypertrophy และ Recruitment การให้โปรแกรมการรักษาด้วย RC เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (พรรัชนี วีระพงศ์, 2554) และ (Susan, 2014)

ความผิดปกติของท่าทาง และการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นในเด็กสมองพิการส่งผลให้เกิดสภาวะผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ และระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เด็กไม่สามารถควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อได้ มีความลำบากในการเคลื่อนไหวร่างกาย รวมถึงการจัดท่าทางให้ตัวเองลำบาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของรูปแบบการเดินที่ผิดปกติ ส่วนใหญ่สาเหตุของการเดินที่มีรูปแบบผิดปกติ โดยเฉพาะเดินแบบ Crouch gait เกิดจากความตึงตัวของกล้ามเนื้อผิดปกติ โดยเฉพาะกลุ่มกล้ามเนื้อ Knee flexors กลุ่มกล้ามเนื้อ Hip flexors ร่วมกับการอ่อนแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อ Knee extensors กลุ่มกล้ามเนื้อ Hip extensors ส่งผลให้เด็กมีการงอเข่าข้อสะโพกมากกว่าปกติขณะเดิน นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มกล้ามเนื้อ Agonist และ Antagonist ทำงานไม่ประสานสัมพันธ์กัน การทรงตัวบกพร่อง และการทรงตัวบกพร่อง รูปแบบการเดินที่ผิดปกติมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในขณะที่เดิน และยังพบว่าหากกล้ามเนื้อเหยียดเข้าอ่อนแรง ส่งผลให้เดินช้า และใช้พลังงานขณะเดินมากกว่าปกติ และพบว่าเด็กสมองพิการมีการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption; VO_2) สูงกว่าเด็กที่มีพัฒนาการปกติ (Damiano et al., 1998) และ (นวลลออ ธวินชัย, 2551) การศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลหลังการเข้าร่วมโปรแกรมการรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานในการเดินลดลงอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.042$) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโปรแกรมการรักษาด้วยเทคนิค Prolong passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC ในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดินแบบ crouch gait พบว่ากล้ามเนื้อกลุ่ม Hip flexors, Knee flexors และ Ankle plantar flexors มีความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง และกล้ามเนื้อกลุ่ม Hip extensors, Knee extensors และ Ankle dorsiflexors มีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เด็กสมองพิการเดินมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลต่อการใช้พลังงานในขณะที่เดินที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Damiano et al. (1998) ศึกษาผลของการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia และ Spastic hemiplegia ผลการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เด็กสมองพิการเดินได้เร็วขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ Eek et al. (2008) ศึกษาผลของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต่อรูปแบบการเดินในเด็กสมองพิการ ผลการศึกษาพบว่าหลังจากการฝึกออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หลังฝึก 8 สัปดาห์พบว่ากลุ่มกล้ามเนื้อของขาแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้รูปแบบการเดินดีขึ้นตามมา

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยในครั้งต่อไป

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเปรียบเทียบการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค RC กับเทคนิคการรักษารูปแบบอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางในการรักษาเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ต่อไป
2. แนะนำให้เพิ่มตัววัดผล เช่น การวัดองศาการเคลื่อนไหวขณะทำการเดิน หรือวัดความแข็งแรงกลุ่มกล้ามเนื้อที่อ่อนแรง เพื่อให้ทราบถึงผลการรักษาชัดเจนมากยิ่งขึ้น
3. ในการศึกษาครั้งต่อไปแนะนำให้เพิ่มระยะเวลาในการรักษาเพื่อให้ทราบถึงผลการรักษาชัดเจนมากยิ่งขึ้น
4. ในการศึกษาครั้งต่อไปแนะนำให้เพิ่มการวัดผลเป็นรายสัปดาห์ เพื่อให้สามารถสังเกตผลของการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ
5. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มจำนวนอาสาสมัครให้มากขึ้น และแบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง เพื่อให้ทราบถึงผลการรักษาชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นวลลออ ธวินชัย. (2551). ตำรากายภาพบำบัดคลินิก. ใน จงจินตน์ รัตนานันทชัย (บ.ก.). *การฝึกเด็กที่มีภาวะสมองพิการเดินด้วยสายพานเลื่อนร่วมกับการพองร่างกาย*. (น. 49-54). เชียงใหม่: ดาราวรรณการพิมพ์.
- น้อมจิตต์ นวลเนตร. (2549). *หลักการทางกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยทางระบบประสาท*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). ขอนแก่น: คลังนาวิทยา.
- บุญรัตน์ โจ้วตระกูล. (2546). *กายภาพบำบัดในกุมารเวชกรรม*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). สมุทรปราการ: ศูนย์เทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

- พรนิตย์ วรรณพิสิฐกุล. (2547). การยืดกล้ามเนื้อ. ใน วิภาวรรณ ลีลาสำราญ และ วุฒิชัย เพิ่มศิริวานิชย์ (บ.ก.). *การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและในโรคต่างๆ*. (น. 47-67). สงขลา: ชาญเมืองการพิมพ์.
- พรรณี ปิงสุวรรณ. (2556). *กายภาพบำบัดในเด็กสมองพิการ*. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พรรชนี วีระพงศ์. (2554). *การออกกำลังกายเพื่อการบำบัด 1*. สมุทรปราการ: ศูนย์เทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- ยิ่งลักษณ์ วิรุณรัตน์กิจ. (2550). *ระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว*. ใน วีรยา วงษาพรหม (บ.ก.). *หลักวิธีทางกายภาพบำบัดระบบประสาท*. (น. 41-47). สมุทรปราการ: ศูนย์เทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- Campbell, J., Ball, J. (1978). Energetics of walking in cerebral palsy. *Orthop Clin North Am*, 9(2), 374-378.
- Damiano, D.L. (1998). Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 79(2), 119-125.
- Eek, M.N. (2008). Muscle strength training to improve gait function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 50(10), 759-764.
- Herbert, R.D. (2000). How to estimate treatment effects from reports of clinical trials. I: Continuous outcome. *Aust J Physiother*, 46(3), 229-235.
- Pin, T. (2006). The effectiveness of passive stretching in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(10), 855-862.
- Stephane, A., Geraldo, D. & Alice, B. (2016). Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Rev*, 1(12), 448-460.
- Susan, S.A., Dominiek, B. & Math, B. (2014). *PNF in Practice*. (4th ed.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Swati, A., BhiseJui, B., Shilpa, P. & Snehal, G. (2016). Comparison between physiological cost index in healthy normal children as against ambulatory spastic diplegic cerebral palsy (with and without orthosis) in the age group 6-18 years. *Int J Physiother*, 3(4), 395-400.
- Tremblay, F. & Malouin, F. (1990). Effects of prolonged muscle stretch on reflex and voluntary muscle activations in children with spastic cerebral palsy. *Scand J Rehabil Med*, 22(4), 171-180.

