

กายภาพบำบัดในเด็กสมองพิการที่มีรูปแบบการเดินแบบเคราซ์

นงนุช ล่วงพั่น*, ชนนัทธ์วัลย์ วุฒินโณคนิ**

บทคัดย่อ

เด็กสมองพิการ เป็นกลุ่มอาการที่มีความผิดปกติเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว เกิดจากเนื้อสมองถูกทำลายก่อนที่จะพัฒนาเจริญเติบโตเต็มที่ กระบวนการควบคุมเคลื่อนไหวและการทรงท่า ส่งผลต่อรูปแบบการเดินที่ผิดปกติ รูปแบบการเดินแบบเคราซ์ มีลักษณะการงอข้อเข่าข้อสะโพกมากเกินไปขณะยืนหรือเดิน ทำให้ต้องใช้พลังงานในการเดินมากกว่าปกติ ปัจจุบันการรักษามีสองวิธีหลักๆ วิธีแรกการรักษาแบบอนุรักษ์นิยม อาทิ การรักษาด้วยมือ การใช้ยา การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การลดอิทธิพลของปฏิกิริยาเพื่อความอยู่รอด นักกายภาพบำบัดเป็นหนึ่งในทีมสหวิชาชีพที่มีบทบาทสำคัญ เพราะมีองค์ความรู้ในการเคลื่อนไหวตามลำดับขั้นพัฒนาการเป็นอย่างดี มีทักษะการใช้เทคนิคการรักษาด้วยมือ และมีทักษะการใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นการเคลื่อนไหว วิธีที่สองการรักษาโดยการผ่าตัด หลังการรักษาด้วยการผ่าตัดแล้วก็ยังต้องได้รับการรักษาทางกายภาพบำบัดร่วมกับการใช้กายอุปกรณ์เพื่อป้องกันการผิดรูปของข้อต่อเช่นกัน อีกทั้งการให้ความรู้และทัศนคติของผู้ปกครองเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง

คำสำคัญ : การเดินแบบเคราซ์, สมองพิการ, นักกายภาพบำบัด

* อาจารย์ประจำสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

** อาจารย์ประจำสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ วิทยาลัยนครราชสีมา

Corresponding author, email: Chananwan@nmc.ac.th, Tel. 081-1651800

Received : June 9, 2021; Revised : February 7, 2022; Accepted February 17, 2022

Physical Therapy Management in Cerebral Palsy with Crouch Gait Pattern

Nongnuch Lungpon*, Chananwan Wutthithanaphokhin**

Abstract

Cerebral palsy is a motor disorder appearing in children due to damage of the brain before it has fully developed. The damage to the brain affects strictly the motor system, poor balance, and abnormal gait pattern. Crouch gait is characterized by excessive knee flexion and hip flexion throughout the stance phase and walking, this requires more energy costs during walking. Currently, there are two main treatments; the first treatment is called conservative treatment such as handling, medication, muscle strengthening, and inhibiting primitive's reflex. Physical therapy is one of the multidisciplinary teams which plays an important role in the development of milestones, specializing in handling and electrical stimulation to facilitate movement. The second treatment is called surgery treatment. After surgery, the patient still needs to receive physical therapy together with the orthosis in order to prevent joint deformity. Furthermore, providing education and adjusting parents' attitudes are important elements to be a concern.

Keywords : Crouch gait, Cerebral palsy, Physical therapy

* Instructor, Physical Therapy Division, Faculty of Allied Health Science, Burapha University

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

Corresponding author, email: Chananwan@nmc.ac.th, Tel. 081-1651800

Received : June 9, 2021; **Revised :** February 7, 2022; **Accepted** February 17, 2022

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสมองพิการ

ภาวะสมองพิการ (cerebral palsy: CP) เป็นภาวะที่มีความผิดปกติด้านการเคลื่อนไหวที่พบได้บ่อยในเด็ก (Sadowska et al., 2020) ปัจจุบันได้มีผู้ให้คำนิยามคำว่า CP คือกลุ่มความผิดปกติอย่างถาวรของสมองส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวและท่าทางตั้งแต่ในระยะเวลาพัฒนาของตัวอ่อนในครรภ์มารดาแต่ไม่มีการลุกลามไปยังสมองบริเวณอื่น เป็นเหตุให้มีการจำกัดการทำกิจกรรมของเด็ก ซึ่งอุบัติการณ์การเกิดของภาวะ CP ในประเทศแถบยุโรปจะมีความชุกอยู่ที่ประมาณ 2.08 ต่อ 1000 ของเด็กแรกเกิดที่รอดชีวิต ซึ่งในเด็กแรกคลอดที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 1500 กรัม จะมีความเสี่ยงที่จะเป็น CP มากถึง 70 เท่าของเด็กที่มีน้ำหนักแรกคลอดมากกว่า 2500 กรัม ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีอุบัติการณ์การเกิดภาวะเด็กสมองพิการคือ 3.6 ต่อ 1000 คนและพบมากในเด็กเพศชายมากกว่าเพศหญิง (Yeargin-Allsopp et al., 2008) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาของภาวะสมองพิการในประเทศไทย พบว่าเป็นภาวะสมองพิการประเภทแข็งเกร็ง (spastic) ร้อยละ 92.70 โดยเป็นชนิดแข็งเกร็งของรยางค์ล่างมากกว่ารยางค์บน (spastic diplegia) มากที่สุด อันดับสองคือการแข็งเกร็งทั้งรยางค์บน ล่าง และลำตัว (spastic quadriplegia) ลำดับสามการแข็งเกร็งครึ่งซีก (spastic hemiplegia) และการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อขึ้น ๆ ลง ๆ (athetoid) ตามลำดับ (สุรางคนา อินทร์สุข, 2559)

ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของท่าทางแบบเคราซ์

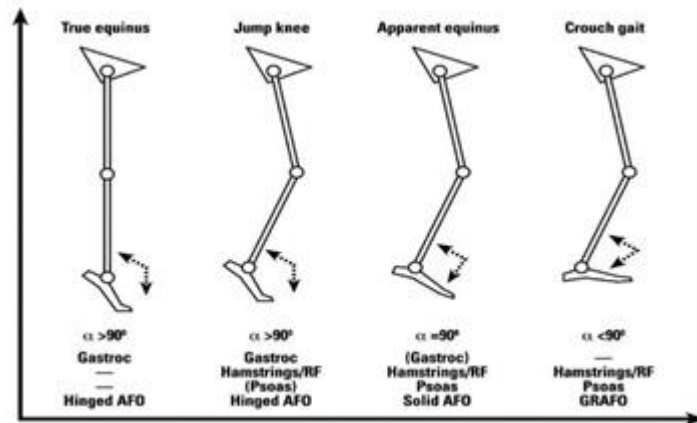
ลักษณะการเดินแบบเคราซ์คือการที่มีข้อเข่างอมากเกินไปขณะที่อยู่ในท่าลงน้ำหนัก (stance phase) ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินที่มักพบในเด็กสมองพิการชนิด spastic diplegia โดยพบรูปแบบการเดินแบบเคราซ์มากกว่าร้อยละห้าสิบของรูปแบบการเดินทั้งหมด (Wren et al., 2005) ในเด็กที่มีสภาวะสมองพิการ (Boyer & Patterson, 2018; Nieuwenhuys et al., 2017; Rethlefsen et al., 2017) การที่กระดูกสะบ้าอยู่ผิดตำแหน่งเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่มีพบในการเดินแบบเคราซ์ (Stout et al., 2008) หากไม่ได้รับการรักษาภาวะการเดินแบบเคราซ์ ในระยะยาวจะนำไปสู่ปัญหาการปวดเข่าได้ (J. M. Rodda et al., 2006) โดยมีการศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อเข่า เช่นขณะเข่าเหยียด แรงเสียดสีระหว่างกระดูกที่เข่าและกระดูกฟิเมอร์ (tibia, femur) แรงเสียดทานระหว่างกระดูกสะบ้าหรือเอ็นของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า จึงทำให้ระหว่างการเดินแบบเคราซ์มีอาการปวดเข่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการเดินปกติ (Lenhart et al., 2017; Steele et al., 2012) หรือมีอีกกลไกที่ทำให้มีอาการปวดเข่าในผู้ที่มีรูปแบบการเดินแบบเคราซ์คือ ตำแหน่งของกระดูกสะบ้าที่ผิดปกติทำให้มีการกดเบียดกับกระดูกต้นขาโดยตรง อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอุบัติการณ์การเกิดอาการปวดเข่าในรูปแบบการเดินแบบเคราซ์ค่อนข้างน้อย และส่วนมากเป็นการศึกษาที่ยังไม่มีกลุ่มเปรียบเทียบ (Sheehan et al., 2012) จึงยากที่จะสรุปว่าอาการปวดเข่าเป็นปัญหาที่มักพบร่วมกับรูปแบบการเดินแบบเคราซ์หรือไม่ เมื่อ Boyer และคณะในปี ค.ศ. 2018 พบว่าไม่มีความแตกต่างของอาการปวดเข่าระหว่างกลุ่มที่มีรูปแบบการเดินแบบเคราซ์กับกลุ่มที่มีการรูปแบบการเดินปกติ (Boyer et al., 2018)

โดยปัจจุบันการวิเคราะห์การเดินทางคลินิกของเด็กที่มีการเดินแบบเคราซ์ คือลักษณะการเดินที่มีการงอเข่า (flexed-knee gait: FKG) โดยคำนิยามของการเดินแบบเคราซ์คือมีองศาการเคลื่อนไหวของการงอข้อเข่าที่แตกต่างกัน แต่ข้อเท้าและข้อสะโพกยังคงใกล้เคียงองศาปกติ (O'Sullivan et al., 2020) โดยมีมุมของการกระดูกข้อเท้าขึ้น (dorsiflexion) ที่มากเกินไป ร่วมกับข้อเข่าและข้อสะโพกมีการงอขณะที่อยู่ในท่าลงน้ำหนัก (stance phase) ซึ่งรูปแบบการเดินแบบเคราซ์จะพัฒนาขึ้นในช่วงแรกของการเดิน (J. M. Rodda et al., 2006) ในปี ค.ศ. 2007 Peter และคณะได้ให้คำนิยามการเดินแบบเคราซ์ว่าเป็นหนึ่งในการเดินที่มีความผิดปกติมาจากพยาธิสภาพบริเวณสมองส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหว (Rosenbaum et al., 2007)

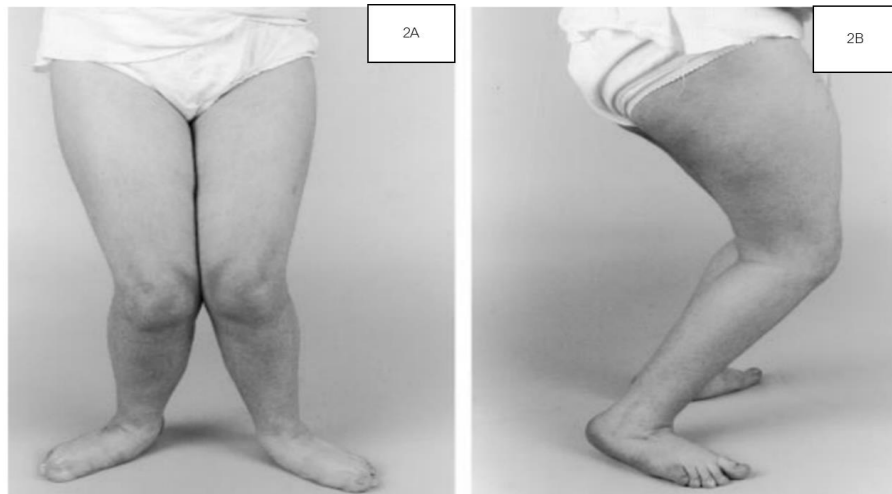
หรือเรียกอีกอย่างว่าการเดินแบบงอเข่า (Wren, Rethlefsen & Kay, 2005) ต่อมาได้มีกลุ่มผู้เชี่ยวชาญศึกษาและให้คำจำกัดความการเดินแบบเคราซว่ามีกรงอเข่าที่มากกว่าปกติในขณะที่ยืน ร่วมกับมีปัญหาการทรงท่า จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเหยียดเข่าและข้อสะโพกลดลง (Hicks et al., 2008) นำไปสู่การทำงานของกล้ามเนื้อที่มากกว่าปกติแต่ไม่มีประสิทธิภาพ (Steele et al., 2010) และมีแรงกระทำต่อข้อต่อที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน (Waters & Mulroy, 1999) จึงเกิดการปวดและมีการเสื่อมของข้อต่อก่อนวัยอันสมควร (Kerr Graham & Selber, 2003; Opheim et al., 2009; Steele, Demers, et al., 2012)

สาเหตุของการเดินแบบเคราซยังไม่ทราบแน่ชัด (Arnold et al., 2005) พบว่ามีการงอข้อเข่าข้อสะโพกมากกว่าปกติ อาจเกิดจากการยึดติดของกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหลัง หรือมีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อน่อง การผิดรูปของข้อเท้า การรับรู้ความรู้สึกบริเวณข้อต่อบกพร่อง เป็นต้น (Gage, 1990; Kedem & Scher, 2016) ทำให้ความยาวของขาสั้นลง นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดจากการหดสั้นหรือหดรั้ง (shortening หรือ contracture) ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอเข่า (hamstrings muscle) ส่งผลให้ไปจำกัดการเหยียดข้อเข่าขณะเดิน นอกจากนั้นยังมีการแข็งเกร็ง (spasticity) ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอสะโพก (psoas muscle) ส่งผลให้ไปจำกัดการเหยียดข้อสะโพกขณะเดินและมี spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ถีบปลายเท้าลง (gastrocnemius muscle) ซึ่งกล้ามเนื้อมัดนี้มีจุดเกาะต้นที่ posterior surface of the medial and lateral condyles of femur และมีจุดเกาะปลายที่ posterior surface of the calcaneus via Achilles tendon ดังนั้นกล้ามเนื้อมัดนี้ขณะหดตัวจะทำให้เข่างอและถีบปลายเท้าลง หากกล้ามเนื้อมัดนี้มี spasticity มาก จะทำให้ไปจำกัดการกระดกข้อเท้าขณะเดิน ส่งผลให้เด็กสมองพิการมีรูปแบบการเดินที่ผิดปกติตามมา นอกจากนั้นยังพบว่ากรงอเข่าที่มากกว่าปกติ ส่งผลให้ข้อสะโพกมีการงอมากกว่าปกติ และจะเพิ่มน้ำหนักลงบนบริเวณ Patellofemoral joint เป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บหรืออาการปวดบริเวณนี้ตลอดเวลา และทำให้มีการยึดติดของข้อเข่าตามมา หรือเกิดจากความบกพร่องของระบบประสาทยนต์ทำให้ไม่มีสัญญาณประสาทมาเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ถีบปลายเท้าลง กล้ามเนื้อเหยียดเข่า หรือมีการแข็งเกร็งของกล้ามเนื้องอเข่า กล้ามเนื้องอข้อสะโพกก็เป็นสาเหตุให้เกิดการเดินแบบเคราซได้ (Damiano et al., 1995; Stout et al., 2008) ในทางตรงกันข้ามกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (gluteus maximus muscle) กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (quadriceps muscle) และกลุ่มกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้า (tibialis anterior muscle) จะมีลักษณะยืดยาวตลอดเวลาส่งผลให้เกิดการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้เต็มที่ (ชนันท์วัลย์ วุฒินโกลิน, 2562) ความผิดปกติของข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพก ที่มักพบในเด็กที่มีภาวะสมองพิการแบบแข็งเกร็งอย่างค้ำกลางมากกว่าร้อยละ 50 มีรูปแบบการเดินที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้หากไม่ได้รับการรักษาจะทำให้กลไกการรักษาสมดุลระหว่างการเหยียดและงอเข่าสูญเสียไป การทรงท่าตั้งตรงของร่างกายไม่ดี ประสิทธิภาพในการเดินลดลง ดังนั้นการรักษาหรือการป้องกันที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นโดยนักกายภาพบำบัด เพื่อลดการแข็งเกร็งของกล้ามเนื้อ หรือการฟื้นฟูต่าง ๆ ก็จะช่วยให้ผู้ป่วยสามารถเดินได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ แต่หากไม่ได้รับการรักษาอาการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะพัฒนามากขึ้นทำให้การรักษาในอนาคตเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก ในที่สุดต้องพิจารณาการรักษาแบบผ่าตัด (Kedem & Scher, 2016)



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการเดินในเด็กสมองพิการชนิด spastic diplegia ที่มา: (J. Rodda & Graham, 2001)



รูปที่ 2A แสดงลักษณะของความยาวขาที่สั้นลงจากการงอเข้ามีการลงน้ำหนักทางด้านในของฝ่าเท้ามากกว่าด้านนอกปลายเท้าชี้ออกไปทางด้านข้างร่วมกับมีการบิดของกระดูกหน้าแข้งเข้าด้านใน

รูปที่ 2B แสดงลักษณะทางด้านข้างของรูปแบบการเดินแบบเคราซ์ มีการงอของข้อเข่า ข้อเท้าผิดปกติ บังชี้ถึงการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอเข่าและถีบปลายเท้าลง (gastroc-soleus) ทำให้ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของกระดูกหน้าแข้งบนกระดูกเท้าได้จึงทำให้เกิดรูปแบบการเดินแบบเคราซ์

ที่มา: (J. Rodda & Graham, 2001)

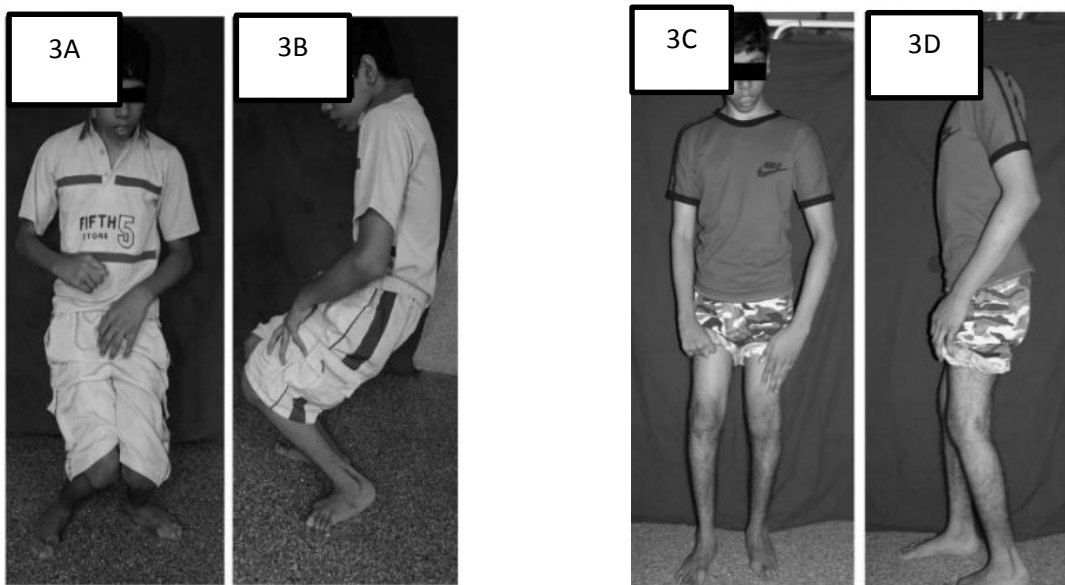
การรักษารูปแบบการเดินแบบเคราซ์ในเด็กสมองพิการ

จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่มีการรักษาใดที่จำเพาะต่อภาวะการเดินแบบเคราซ์ ในปี ค.ศ. 2017 Galey และคณะได้มีข้อเสนอแนะว่าการรักษาแบบอนุรักษ์นิยม หรือการใช้นวัตกรรมด้านการผ่าตัดมีวัตถุประสงค์เพื่อคงไว้ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ให้มีแนวกระดูกและการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม (Galey et al., 2017) ในปัจจุบันยังไม่มีการรักษาใดที่สามารถรักษาหรือแก้ไขรอยโรคในสมองได้ ดังนั้นภาวะความบกพร่องทางการเคลื่อนไหวจะยังคงปรากฏให้เห็นตลอดชีวิต การจัดการกับการเดินแบบเคราซ์จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับแก้ผลอันเกิดจากรอยโรคในสมองเพื่อให้การเคลื่อนไหวที่ดีขึ้นเป็นหลัก ดังนั้นเด็กสมองพิการควรได้รับการรักษาทางกายภาพบำบัดตั้งแต่วัยแรกเกิด โดยมีเป้าหมายการรักษาคือฟื้นฟูสมรรถภาพ กระตุ้นพัฒนาการด้านการเคลื่อนไหว ป้องกันภาวะแทรกซ้อน และสามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ (Berker, 2010)

โดยเด็กสมองพิการควรได้รับการประเมินในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการเคลื่อนไหว (Gross Motor Function Measure: FMFM) ระบบจำแนกความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (Gross Motor Function Classification System: GMFCS), การวัด 3 มิติเพื่อประเมินการทรงตัว (3-dimensional balance) แล้วนำผลที่ได้ไปวางแผนการรักษา และออกแบบการรักษาที่เหมาะสมต่อไป

การรักษาที่ได้รับการยอมรับในเด็กสมองพิการมีอยู่ 2 ทาง คือ การรักษาแบบผ่าตัด (surgical treatment) และ การรักษาแบบอนุรักษ์นิยม (conservative treatment)

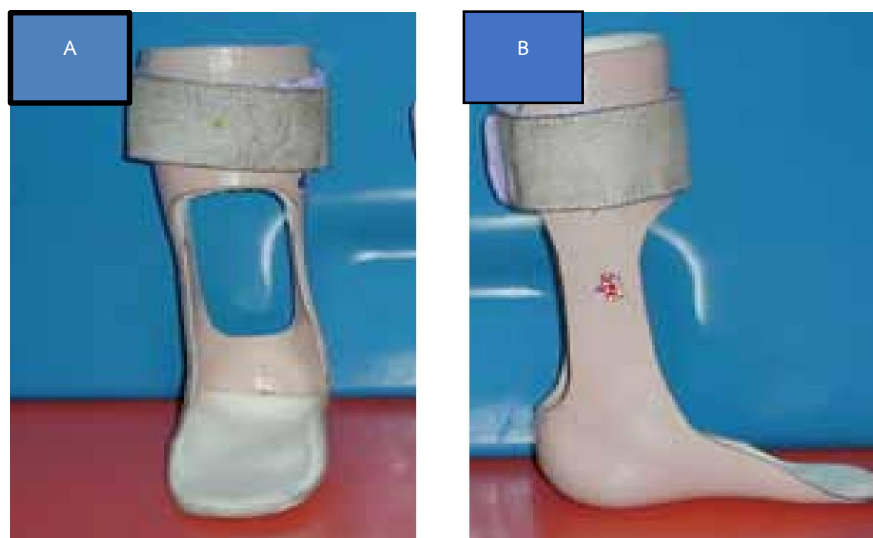
การผ่าตัด (surgical treatment) กรณีที่มีภาวะการเดินแบบเกราะรุนแรง คือมีการงอของข้อเข่ามากกว่า 30 องศา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การผ่าตัดจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเดินแบบเกราะที่มากขึ้นในระยะยาวได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 แต่การผ่าตัดก็เป็นทางเลือกสุดท้ายเพราะแม้กระทั่งผ่าตัดไปแล้วยังต้องใส่อุปกรณ์ช่วยพยุงต่อเนื่องเช่นกัน (Galey et al., 2017)



รูปที่ 3A และ 3B แสดงรูปก่อนการผ่าตัดของเด็กที่มีภาวะสมองพิการชนิดแข็งเกร็งของรยางค์ล่างมากกว่ารยางค์บนทางด้านหน้าและด้านข้างตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามุมของข้อเข่ามีการงอค่อนข้างมากทำให้เดินได้ไม่ถึง 15 เมตร รูป 3C และ 3D แสดงรูปภายหลังการผ่าตัด 4 เดือน พบว่ามีอาการดีขึ้น สามารถยืนและเดินได้โดยไม่ต้องมีการเดินแบบเกราะ และไม่พบการแอ่นที่มากเกินไปของกระดูกไขสันหลังส่วนเอวทำให้สามารถที่เดินได้ในชุมชนแบบปกติ

ที่มา: (Joseph et al., 2010)

การรักษาแบบอนุรักษ์นิยม เช่น การฉีดโบทูลินัมท็อกซินเอ (Botulinum toxin-A) เพื่อลดอาการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ การรักษาทางกายภาพบำบัดและการใส่กายอุปกรณ์เสริม อาทิ Ground reaction ankle foot orthosis: GRAFO ดังรูปที่ 4 เพื่อลดการเดินที่ผิดปกติ (Armand et al., 2016)



รูปที่ 4 แสดง A แสดงภาพทางด้านหน้า และ B แสดงภาพทางด้านหลังและด้านข้าง มีสายรัดรอบขาเพื่อป้องกันการเคลื่อนของกระดูกทibia ไปทางด้านหน้าเมื่อเริ่มที่จะมีการลงน้ำหนักขณะยืนขึ้นและตามด้วยการยืดตึงให้มีลงน้ำหนักได้ ขณะยืน ขณะเดียวกันก็จะป้องกันการงอของข้อเท้าที่มากเกินไป จึงไม่เกิดการเดินแบบแครช์
ที่มา: (Berker, 2010)

เป้าหมายของการรักษาแบบอนุรักษ์นิยม เพื่อลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อ ลดการใช้พลังงานในการเดิน และป้องกันการเกิดภาวะการเดินแบบแครช์เป็นหลัก โดยใช้การออกกำลังกายในช่วงแรกร่วมกับเทคนิคการกระตุ้นพัฒนาการจากนักกายภาพบำบัด เพื่อกระตุ้นในเด็กเรียนรู้การเคลื่อนไหวในท่านั่ง คลาน ยืน เดิน และเรียนรู้ที่จะใช้ศักยภาพที่มีเพื่อชดเชยสิ่งที่ขาดหายไป ทั้งการลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อ เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และปรับแนวของกระดูกให้อยู่ในแนวตรงเพื่อลดการเกิดกระดูกและข้อต่อผิดรูป เนื่องจากมี spasticity ของกลุ่มกล้ามเนื้อ gastrocnemius กล้ามเนื้อ psoas และกล้ามเนื้อ hamstring ในขณะเดียวกันกลุ่มกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามจะมีลักษณะยืดยาวตลอดเวลาจึงเกิดการอ่อนแรง เช่น กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (gluteus maximus muscle) กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (quadriceps muscle) และกลุ่มกล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้า (tibialis anterior muscle) ส่งผลให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้เต็มที่ หากปล่อยไว้นาน ๆ จะเกิดการจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ และส่งเสริมให้เกิด spasticity มากขึ้น การรักษาทางกายภาพบำบัดส่วนใหญ่จะเน้นการคงช่วงองศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อไว้ การรักษาความยาวของกล้ามเนื้อ เพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อ เพิ่มความสามารถในการทรงตัวและการประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ และใส่กายอุปกรณ์เสริมเพื่อลดการเดินที่ผิดปกติ สำหรับการจัดการทางกายภาพบำบัดในภาวะ spasticity ด้วยวิธีการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง เป็นวิธีการยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง ขณะยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง จะเกิดแรงตึงตัวเพิ่มมากขึ้นไปกระตุ้นให้ Golgi tendon organ (GTO) ทำงาน เพื่อป้องกันการฉีกขาดหรือเกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อ GTO จึงส่งสัญญาณประสาทผ่านทาง Type Ib afferent ไป synapse กับ alpha motor neuron จากนั้นสัญญาณประสาทจาก alpha motor neuron จะไปยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อกลุ่ม agonist ที่มีความตึงตัวสูง ทำให้กล้ามเนื้อนั้นจะคลายตัว แรงตึงตัวของกล้ามเนื้อจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ศึกษาการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค Repeated contraction (RC) ในเด็กสมองพิการที่มีรูปแบบการเดินแบบแครช์ จำนวน 10 คน ได้รับการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching (ในแต่ละกลุ่มกล้ามเนื้อยืดค้างไว้ประมาณ 20 วินาที/ครั้ง ทำ 3 ครั้ง/เซต) ตามด้วยเทคนิค RC

ความถี่ในการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบก่อนและหลังขององศาการเคลื่อนไหวการเหยียดข้อสะโพก เหยียดข้อเข่า และกระดูกข้อเท้าขึ้น ภาวะกล้ามเนื้อเกร็งของกลุ่มกล้ามเนื้อข้อสะโพก กลุ่มกล้ามเนื้อข้อเข่า กลุ่มกล้ามเนื้อถีบปลายเท้าลง และการใช้พลังงานในการเดินพบว่า พลังงานในการเดินลดลง องศาการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น และภาวะกล้ามเนื้อเกร็งลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรักษาด้วยเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง ช่วยลดภาวะกล้ามเนื้อเกร็งได้ (Herbert, 2000; ชนันทวัลย์ วุฒินโกลิน, 2562) และพบว่าการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิคการยืดค้างร่วมกับการออกกำลังกายที่กระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อผ่านการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (Proprioceptive neuromuscular facilitation) โดยใช้เทคนิคการหดตัวซ้ำ ๆ (Repeated contraction: RC) เป็นระยะเวลา 6 เดือน สามารถช่วยยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูง องศาการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และส่งเสริมให้เด็กสมองพิการใช้พลังงานในการเดินลดลงด้วย (ชนันทวัลย์ วุฒินโกลิน, 2562) ในปี ค.ศ. 2021 ได้มีการศึกษาการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างร่วมกับเทคนิคการเคลื่อนไหวของ RC สามารถยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีความตึงตัวสูงช่วยเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้จากการกระตุ้นปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการยืดโดยการหดตัว (stretch reflex) ขณะผู้ป่วยเริ่มต้นการเคลื่อนไหว เพื่อเพิ่มการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Dominiek Beckers, 2021) จากการศึกษาการยืดกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหลัง (Hamstrings) ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยการยืดกล้ามเนื้อแบบมีแรงต้าน (Progressive resistance exercise: RPE) สามารถช่วยเพิ่มการเหยียดเข่าในเด็กสมองพิการได้ (Fosdahl et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงการออกกำลังกายในน้ำพบว่าสามารถเพิ่มคะแนนการเคลื่อนไหวซึ่งประเมินด้วยแบบประเมิน GMFM และเพิ่มความสามารถในการเดินของเด็กสมองพิการได้เนื่องจากการออกกำลังกายในน้ำมีทั้งแรงต้านและแรงพุงทำให้มีแรงที่มากกระทำต่อข้อต่อน้อย สามารถเพิ่มความมั่นคงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวได้ดี มีความทนทานมากขึ้น ทำให้สามารถยืดเหยียดและเพิ่มความแข็งแรงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายบนบก ในปี ค.ศ. 2017 ได้มีการศึกษาโดยการนำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการรักษาเด็กสมองพิการด้านการประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ และลดอัตราการเกิดการเดินแบบคราซ์ โดยการใช้หุ่นยนต์เชื่อมกับสายเคเบิลที่เรียกว่า Tethered Pelvic Assist Device ร่วมกับการกระตุ้นไฟฟ้าที่กล้ามเนื้ออง พบว่าเด็กมีท่าทางในการเดินที่ดีขึ้น การประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อทำงานได้ดีขึ้น ก้าวยาวขึ้น มุมของข้อเข่า ข้อเท้า ข้อสะโพกขณะเดิน และรูปแบบการวางเท้าดีขึ้น (Kang et al., 2017)

การยืดกล้ามเนื้อ การเพิ่มช่วงองศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ และการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเด็กสมองพิการ นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางเพื่อให้เกิดการสร้างรูปแบบการเคลื่อนไหวปกติอีกด้วย การวางแผนการรักษาจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากการรักษาทางกายภาพบำบัดเพียงวันละ 1 ครั้ง อาจไม่เพียงพอ เด็กสมองพิการต้องการการออกกำลังกายที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากครอบครัวในการกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ซ้ำ ๆ ให้มากที่สุดและต้องสังเกตการเปลี่ยนแปลงในแต่ละครั้งด้วย มีการศึกษาที่พบว่าการศึกษาการทำงานของประสาทยนต์และการเรียนรู้การเคลื่อนไหว นั้นมีผลอย่างยิ่งในการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในเด็กสมองพิการ การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินและเพิ่มทักษะการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การรักษาอื่น ๆ เช่น การผ่าตัดเพื่อตัดรากประสาทบางส่วน การให้ยากดการทำงานของระบบประสาทบางส่วน, การผ่าตัดเนื้อเยื่ออ่อนต่าง ๆ การผ่าตัดกระดูก หรือแม้กระทั่งการฉีดโบทูลินัมท็อกซิน (Botulinum-toxin) เพื่อลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อ การออกกำลังกายให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในเด็กสมองพิการควรต้องคำนึงถึง 1) ขั้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ 2) มีความต่อเนื่องในการออกกำลังกาย 3) มีแรงจูงใจ และมี

ความใส่ใจในการออกกำลังกาย 4) ครอบครัวสามารถสนับสนุนได้ โปรแกรมการออกกำลังกายที่นักกายภาพบำบัดควรให้คำแนะนำกับครอบครัว เช่น การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยให้แรงต้านขณะออกกำลังกายจนกว่ากล้ามเนื้อจะล้า แต่ทำน้อยครั้ง (2-3 ครั้ง) และมีการพักระหว่างการออกกำลังกาย อีกแบบหนึ่งคือ การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความทนทาน โดยให้ออกกำลังกายแบบไม่มีแรงต้านหรือ มีแรงต้านน้อย ๆ แต่เน้นทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง (3-8 ครั้ง) และมีการพักระหว่างการออกกำลังกาย ทั้งนี้สามารถทำได้ตามความสามารถของผู้ป่วย นอกจากนี้ในเด็กสมองพิการควรคำนึงถึงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทรงท่า และรักษาสมดุลของร่างกาย เพราะฉะนั้นจึงไม่ควรออกกำลังกายซ้ำ ๆ ในกล้ามเนื้อมัดเดิมติดต่อกัน แต่ควรทำสลับกันไปเพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งด้านที่เป็นการเคลื่อนไหวหลัก (agonist) และด้านตรงข้าม (antagonist) จากการศึกษาของ Damiano และคณะ ในปี ค.ศ. 2002 พบว่าการออกกำลังกายสามารถเพิ่มคะแนน GMFM ประสิทธิภาพการเดิน ประสิทธิภาพการรับรู้และยอมรับตนเองได้ (self-perception) (Dodd et al., 2002)

การออกแบบการออกกำลังกายในทารก หรือในเด็กวัยต่าง ๆ นักกายภาพบำบัดพึงระวังรูปแบบและ ท่าทางที่ใช้ในการออกกำลังกายเนื่องจากทารกหรือเด็กที่อายุน้อย การพัฒนาและเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อยังพัฒนาไม่เต็มที่ กล้ามเนื้อมัดเล็กยังไม่แข็งแรงพอที่จะทรงท่าได้ ดังนั้นนักกายภาพบำบัดจึงมีหน้าที่จัดการท่าทางโดยใช้เทคนิคการจับต้อง (handling) ตามลำดับขั้นพัฒนาการ เพื่อช่วยกระตุ้นให้ผู้ป่วยสามารถออกแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ต้องสอนและสาธิตการปฏิบัติร่วมกับการให้ความรู้กับผู้ปกครองหรือครอบครัวเกี่ยวกับการดูแลหรือการกระตุ้นพัฒนาการ เพื่อเป็นการป้องกันการบาดเจ็บและป้องกันภาวะแทรกซ้อน เช่น การแข็งเกร็งของกล้ามเนื้อ และการผิดรูปของข้อต่อ ด้วยเช่นกัน

การใช้กายอุปกรณ์สำหรับเด็กที่มีการเดินแบบเคราซ์

ได้มีการศึกษาการเดินและการใช้พลังงานในการเดิน เปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสี่ขาทางด้านหน้า (anterior walker) ดังแสดงในรูป 5A และโครงสี่ขาทางด้านหลัง (posterior walker) ดังแสดงในรูป 5B ในเด็กสมองพิการชนิด spastic diplegia พบว่าการใช้ posterior walker ช่วยทำให้การตั้งตรงของลำตัวและใช้พลังงานในการเดินน้อยกว่า การใช้ anterior walker ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ posterior walker ในเด็กสมองพิการชนิด spastic diplegia (Greiner et al., 1993; Park et al., 2001)



รูปที่ 5 A แสดง โครงสี่ขาทางด้านหน้า (anterior walker) รูป 5B แสดงโครงสี่ขาทางด้านหลัง (posterior walker)
ที่มา: (Park et al., 2001)

การรักษาโดยใช้ไฟฟ้าและการตอบสนอง (Electrical stimulation and biofeedback)

จากการศึกษาของ Damiano และคณะในปี ค.ศ. 2003 พบว่า การกระตุ้นด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิผลที่ดีในเด็กสมองพิการที่ไม่สามารถควบคุมกล้ามเนื้อ หรือ กล้ามเนื้ออ่อนแรงรุนแรง หรือ ไม่สามารถทำตามคำสั่งได้ โดยเทคนิคที่นิยมใช้มี 2 เทคนิคคือ Neuromuscular electrical stimulation (NMES) และ Threshold electrical stimulation (TES) ซึ่งจะเน้นไปที่การทำงานของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการใช้ NMES สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อต้นขาทางด้านหน้าในการขึ้นบันไดของเด็กสมองพิการชนิด spastic diplegia อายุ 13 ปีได้ (Daichman et al., 2003) อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมยังมีการศึกษาไม่เพียงพอที่จะสรุปหรือสนับสนุนได้ว่าการกระตุ้นไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาผู้ป่วยเด็กสมองพิการได้ ส่วนการใช้ EMG biofeedback ในเด็กสมองพิการนั้นก็มีข้อมูลค่อนข้างน้อย มีการใช้เครื่องมือดังกล่าวเพื่อควบคุมการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อในเด็กสมองพิการประเภท spastic diplegia เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อลงได้ (O'Dwyer et al., 1994) และมีการใช้ bio feed-back ในข้อเท้าเด็กสมองพิการพบว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถเพิ่มองศาการเคลื่อนไหว เพิ่มความแข็งแรง และ เพิ่มการทำงานของข้อเท้าได้ O'Dwyer และคณะในปี ค.ศ. 1994 ได้ศึกษาผลของใช้ biofeedback ในเด็กสมองพิการอายุ 6-19 ปี จำนวน 15 คน เพื่อลดการเกร็งตัวและการหดสั้นของกล้ามเนื้อ พบว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการหดสั้นของกล้ามเนื้อได้ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยแนะนำให้ใช้เทคนิคดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการรักษาอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบผลของ EMG biofeedback ที่ข้อเท้าในเด็กสมองพิการ 36 คนโดยแบ่งเด็กออกเป็น 2 กลุ่ม คือได้รับ biofeedback ร่วมกับการออกกำลังกายโดยนักกายภาพบำบัด และกลุ่มที่ไม่ได้รับ biofeedback พบว่ากลุ่มที่ได้รับ biofeedback ร่วมกับการออกกำลังกายโดยนักกายภาพบำบัดมีองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าเพิ่มขึ้น มีความตึงตัวของกล้ามเนื้อก้นปลายเท้าลดลง (plantar flexors) และมีประสิทธิภาพในการเดินดีขึ้น (Dursun et al., 2004)

การนำไปใช้ประโยชน์

บทความนี้เป็นคำแนะนำการจัดการทางกายภาพบำบัดในเด็กสมองพิการที่มีรูปแบบการเดินแบบเกราะ เพื่อเป็นแนวทางให้กับนักกายภาพบำบัดมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบการเดินแบบเกราะและนำเอาวิธีการรักษาไปประยุกต์ใช้ในผู้ที่มีภาวะดังกล่าวได้ ทั้งในคลินิกกายภาพบำบัด แผนกกายภาพบำบัดในโรงพยาบาล หรือโรงเรียนศึกษาพิเศษ รวมทั้งงานกายภาพบำบัดชุมชน

จากการทบทวนวรรณกรรมร่วมกับประสบการณ์ของผู้เขียน มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการทางกายภาพบำบัดในเด็กสมองพิการที่มีรูปแบบการเดินแบบเกราะ ดังนี้ นักกายภาพบำบัดควรทบทวนความรู้เรื่องพัฒนาการการเคลื่อนไหวปกติเพื่อเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ ตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 12 เดือนดังนี้ หนึ่งเดือนเบ่งตามองจ้อง สองเดือนยิ้มยอมน่องใส สามเดือนหันหัวทั่วไป สี่เดือนมองไกลยกหัว ห้าเดือนคว้าตัวมองเหม่อ หกเดือนทรานเฟอร์มือเดียว เจ็ดเดือนนั่งเดี่ยวเรื่องจ้อย แปดเดือนหนุนน้อยคืบคลาน เก้าเดือนยืนนานต้องเหนียว สิบเดือนยืนเหยียวยังได้ สิบเอ็ดเดือนเดินไกลต้องเกาะ สิบสองเดือนย่างเยาะอาจหาญ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพัฒนาการด้านการเคลื่อนไหวที่จะง่ายต่อการสังเกต ดังนั้นหากนักกายภาพบำบัดสามารถตรวจประเมินพัฒนาการการเคลื่อนไหวได้ตั้งแต่วัยแรก ๆ และให้การกระตุ้นได้เร็วโดยนำหลักการหรือเทคนิคการกระตุ้นพัฒนาการของโบบาท มาประยุกต์ใช้กับการทำกิจวัตรประจำวันของเด็ก ทั้งในรูปแบบการเล่น และการจัดทำทางต่าง ๆ ให้กับเด็กอย่างเหมาะสมตามลำดับพัฒนาการแต่ละขั้นของเด็ก การให้การรักษาทายภาพบำบัดหากสามารถเริ่มได้เร็วเท่าใดยิ่งเพิ่มโอกาสการเรียนรู้

รูปแบบการเคลื่อนไหวที่ใกล้เคียงปกติให้เด็กได้มากเท่านั้น ส่งผลต่อรูปแบบการเดินที่ใกล้เคียงกับปกติ การใช้พลังงานในการเดินไม่มาก มีความทนทานในการเดิน กล้ามเนื้อมีความแข็งแรง ทำให้เด็กสามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้เองโดยไม่ต้องอยู่ในภาวะพึ่งพิงผู้ปกครองหรือผู้ดูแล ช่วยให้ประหยังบประมาณในการดูแลบุตรหลาน และควรให้ความรู้กับผู้ปกครองเพื่อให้มีทัศนคติในทางบวกต่อการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของเด็ก ให้โอกาสเด็กได้เข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ เสมือนเด็กปกติทั่วไป และให้ผู้ปกครองมั่นใจในศักยภาพของบุตรหลานสนับสนุนให้เข้าเรียนในโรงเรียนเรียนร่วมกับเด็กปกติ และสอนการดูแลตั้งแต่การเตรียมความพร้อมของกล้ามเนื้อ เช่น วิธีลดการหดสั้นหรือหดรั้งในกลุ่มกล้ามเนื้อ spasticity ก่อนที่จะเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพื่อเตรียมความพร้อมของกล้ามเนื้อให้ช่วยต่อการรักษาด้วยเทคนิคอื่น ๆ ส่งเสริมให้การควบคุมการเคลื่อนไหว และการทำกิจวัตรประจำวันได้ดีขึ้น จากนั้นค่อยตามด้วยเทคนิคการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อให้เหมาะสม รวมถึงการกระตุ้นพัฒนาการ เพื่อส่งเสริมการฟื้นฟูสมรรถภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยลดอุปสรรคต่อการฟื้นตัวของระบบประสาท และส่งเสริมให้เด็กสามารถช่วยเหลือตัวเองให้ได้มากที่สุด

สรุป

คำว่าพิการอยู่ไหนกายภาพบำบัดอยู่นั้น เป็นวลีที่คู่กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มเด็กสมองพิการ การรักษาจึงเน้นย้ำถึงการเคลื่อนไหวที่ไม่ต้องการ กระตุ้นการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพิ่มความสมดุลทางร่างกาย การทรงท่า ให้มีรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ถูกต้องเหมาะสม ป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้นักกายภาพบำบัดต้องให้คำแนะนำ สอนและสาธิตการออกกำลังกายหรือการกระตุ้นพัฒนาการที่ถูกต้องให้กับผู้ปกครองหรือผู้ดูแลเพื่อนำไปปฏิบัติได้จริง เป็นการส่งเสริมให้เด็กสมองพิการได้รับการฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้การศึกษาในปัจจุบันยังไม่พบแนวทางหรือเทคนิคใดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด การรักษาจึงขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของนักกายภาพบำบัดและทีมสหวิชาชีพที่จะวางแผนการรักษาและเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีความเพียงพอทั้งทางด้านปริมาณการรักษา ความถี่ และความหนักในการให้การรักษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ชนันท์วัลย์ วุฒิชโนภคิน, ป. อ., ภาวิณี บำเพ็ญ, จิตกร จันทาท, ชลิตา หลิมวานิช, และวุฒิพงษ์ แก้วมณี. . (2562). ผลการรักษาด้วยเทคนิค Prolonged passive stretching ตามด้วยเทคนิค Repeated Contractions ต่อการใช้พลังงานในการเดินในเด็กสมองพิการประเภท Spastic diplegia ที่มีรูปแบบการเดิน Crouch gait ร่วมกับ Apparent equinus. *วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน*, 25(2), 1-14.
- สุรางคณา อินทร์สุข. (2559). การศึกษาระบาดวิทยาผู้ป่วยเด็กสมองพิการในโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารโรงพยาบาลมหาสารคาม*, 13(2), 78-86.
- Armand, S., Decoulon, G., & Bonnefoy-Mazure, A. (2016). Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Reviews*, 1(12), 448-460.

- Arnold, A. S., Anderson, F. C., Pandy, M. G., & Delp, S. L. (2005). Muscular contributions to hip and knee extension during the single limb stance phase of normal gait: a framework for investigating the causes of crouch gait. *J Biomech*, 38(11), 2181-2189.
- Berker, N., & Yalcin, S. (2010). *The HELP Guide To Cerebral Palsy*. Retrieved from https://storage.googleapis.com/global-help-publications/books/help_cphelp.pdf
- Boyer, E. R., & Patterson, A. (2018). Gait pathology subtypes are not associated with self-reported fall frequency in children with cerebral palsy. *Gait Posture*, 63, 189-194.
- Boyer, E. R., Stout, J. L., Laine, J. C., Gutknecht, S. M., Araujo de Oliveira, L. H., Munger, M. E., Schwartz, M.H., & Novacheck, T. F. (2018). Long-Term Outcomes of Distal Femoral Extension Osteotomy and Patellar Tendon Advancement in Individuals with Cerebral Palsy. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 100(1), 31-41.
- Daichman, J., Johnston, T. E., Evans, K., & Tecklin, J. S. (2003). The effects of a neuromuscular electrical stimulation home program on impairments and functional skills of a child with spastic diplegic cerebral palsy: a case report. *Pediatric Physical Therapy*, 15(3), 153-158.
- Damiano, D. L., Kelly, L. E., & Vaughn, C. L. (1995). Effects of quadriceps femoris muscle strengthening on crouch gait in children with spastic diplegia. *Physical Therapy*, 75(8), 658-667; discussion 668-671.
- Dodd, K. J., Taylor, N. F., & Damiano, D. L. (2002). A systematic review of the effectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(8), 1157-1164.
- Dominiek Beckers, M. B. (2021). *PNF in practice* Berlin. Germany: Springer-Verlag.
- Dursun, E., Dursun, N., & Alican, D. (2004). Effects of biofeedback treatment on gait in children with cerebral palsy. *Disability and rehabilitation*, 26(2), 116-120.
- Fosdahl, M. A., Jahnsen, R., Kvalheim, K., & Holm, I. (2019). Stretching and Progressive Resistance Exercise in Children With Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. *Pediatric Physical Therapy*, 31(3), 264-271.
- Gage, J. R. (1990). Surgical treatment of knee dysfunction in cerebral palsy. *Clinical orthopaedics and related research*, (253), 45-54.
- Galey, S. A., Lerner, Z. F., Bulea, T. C., Zimbler, S., & Damiano, D. L. (2017). Effectiveness of surgical and non-surgical management of crouch gait in cerebral palsy: A systematic review. *Gait Posture*, 54, 93-105.
- Greiner, B. M., Czerniecki, J. M., & Deitz, J. C. (1993). Gait parameters of children with spastic diplegia: a comparison of effects of posterior and anterior walkers. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 74(4), 381-385.
- Herbert, R. D. (2000). How to estimate treatment effects from reports of clinical trials. I: Continuous outcomes. *The Australian journal of physiotherapy*, 46(3), 229-235.

- Hicks, J. L., Schwartz, M. H., Arnold, A. S., & Delp, S. L. (2008). Crouched postures reduce the capacity of muscles to extend the hip and knee during the single-limb stance phase of gait. *Journal of Biomechanics*, 41(5), 960-967.
- Joseph, B., Reddy, K., Varghese, R. A., Shah, H., & Doddabasappa, S. N. (2010). Management of severe crouch gait in children and adolescents with cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 30(8), 832-839.
- Kang, J., Martelli, D., Vashista, V., Martinez-Hernandez, I., Kim, H., & Agrawal, S. K. (2017). Robot-driven downward pelvic pull to improve crouch gait in children with cerebral palsy. *Science Robotics*, 2(8), 1-11.
- Kedem, P., & Scher, D. M. (2016). Evaluation and management of crouch gait. *Curr Opin Pediatr*, 28(1), 55-59.
- Kerr Graham, H., & Selber, P. (2003). Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 85(2), 157-166.
- Lenhart, R. L., Brandon, S. C., Smith, C. R., Novacheck, T. F., Schwartz, M. H., & Thelen, D. G. (2017). Influence of patellar position on the knee extensor mechanism in normal and crouched walking. *Journal of biomechanics*, 51, 1-7.
- Nieuwenhuys, A., Papageorgiou, E., Desloovere, K., Molenaers, G., & De Laet, T. (2017). Statistical Parametric Mapping to Identify Differences between Consensus-Based Joint Patterns during Gait in Children with Cerebral Palsy. *PLoS One*, 12(1), e0169834.
- O'Dwyer, N., Neilson, P., & Nash, J. (1994). Reduction of spasticity in cerebral palsy using feedback of the tonic stretch reflex: a controlled study. *Developmental medicine and child neurology*, 36(9), 770-786.
- O'Sullivan, R., Marron, A., & Brady, K. (2020). Crouch gait or flexed-knee gait in cerebral palsy: Is there a difference? A systematic review. *Gait Posture*, 82, 153-160.
- Opheim, A., Jahnsen, R., Olsson, E., & Stanghelle, J. K. (2009). Walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy: a 7-year follow-up study. *Developmental medicine and child neurology*, 51(5), 381-388.
- Park, E. S., Park, C. I., & Kim, J. Y. (2001). Comparison of anterior and posterior walkers with respect to gait parameters and energy expenditure of children with spastic diplegic cerebral palsy. *Yonsei medical journal*, 42(2), 180-184.
- Rethlefsen, S. A., Blumstein, G., Kay, R. M., Dorey, F., & Wren, T. A. (2017). Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy revisited: influence of age, prior surgery, and Gross Motor Function Classification System level. *Developmental medicine and child neurology*, 59(1), 79-88.
- Rodda, J., & Graham, H. K. (2001). Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *European journal of neurology*, 8(Suppl 5), 98-108.

- Rodda, J. M., Graham, H. K., Nattrass, G. R., Galea, M. P., Baker, R., & Wolfe, R. (2006). Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 88(12), 2653-2664.
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., Dan, B., & Jacobsson, B. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental medicine and child neurology. Supplement*, 109, 8-14.
- Sadowska, M., Sarecka-Hujar, B., & Kopyta, I. (2020). Cerebral Palsy: Current Opinions on Definition, Epidemiology, Risk Factors, Classification and Treatment Options. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 16, 1505-1518.
- Sheehan, F. T., Babushkina, A., & Alter, K. E. (2012). Kinematic determinants of anterior knee pain in cerebral palsy: a case-control study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 93(8), 1431-1440.
- Steele, K. M., Demers, M. S., Schwartz, M. H., & Delp, S. L. (2012). Compressive tibiofemoral force during crouch gait. *Gait Posture*, 35(4), 556-560.
- Steele, K. M., Seth, A., Hicks, J. L., Schwartz, M. S., & Delp, S. L. (2010). Muscle contributions to support and progression during single-limb stance in crouch gait. *Journal of biomechanics*, 43(11), 2099-2105.
- Steele, K. M., van der Krogt, M. M., Schwartz, M. H., & Delp, S. L. (2012). How much muscle strength is required to walk in a crouch gait? *Journal of biomechanics*, 45(15), 2564-2569.
- Stout, J. L., Gage, J. R., Schwartz, M. H., & Novacheck, T. F. (2008). Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 90(11), 2470-2484.
- Waters, R. L., & Mulroy, S. (1999). The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture*, 9(3), 207-231.
- Wren, T. A., Rethlefsen, S., & Kay, R. M. (2005). Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy: influence of cerebral palsy subtype, age, and previous surgery. *Journal of pediatric orthopedics*, 25(1), 79-83.
- YeARGIN-ALLSOPP, M., VAN NAARDEN BRAUN, K., DOERNBERG, N. S., BENEDICT, R. E., KIRBY, R. S., & DURKIN, M. S. (2008). Prevalence of cerebral palsy in 8-year-old children in three areas of the United States in 2002: a multisite collaboration. *Pediatrics*, 121(3), 547-554.

