

พื้นนุ่มส่งผลต่อลักษณะการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังที่เดินได้

Soft Surfaces Affecting Walking Characteristics of Ambulatory Patients with Spinal Cord Injury

ดลยา พรหมแก้ว (DonlayaPromkeaw)* อนัญญา แยมอุบล (Ananya Yam-ubon)**

ดร.ทิวาพร ทวีวรรณกิจ (Dr.ThiwabhornThaweewannakij)*** วิไลรัตน์ แสนสุข (Wilairat Saensook)****

ปริดา อารยาวิชานนท์ (PreedaArrayawichanon)***** ดร.พิพัฒน์ อมตฉา (Dr.PipatanaAmatachaya)*****

ดร.สุกัลยา อมตฉา (Dr.SugalyaAmatachaya)*****

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เปรียบเทียบลักษณะการเดินของอาสาสมัครบาดเจ็บไขสันหลังที่สามารถเดินได้ขณะเดินบนพื้นเรียบแข็ง พื้นนุ่มความหนา 1 นิ้ว และความหนา 3 นิ้ว อาสาสมัครได้รับการประเมินความสามารถด้านการเดินเกี่ยวกับระยะทางและระยะเวลาขณะเดินบนพื้นแต่ละแบบ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเดินบนพื้นแข็ง อาสาสมัครมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.67 เมตร/วินาที และอาสาสมัครเดินช้าลงเมื่อเดินบนพื้นนุ่ม โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วในการเดินและความถี่ในการก้าวขา ระหว่างพื้นเรียบแข็งและพื้นนุ่มหนา 3 นิ้ว ($p < 0.005$) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความยาวรอบการเดินและความสมมาตรในการก้าวขา ผลการศึกษานี้ช่วยให้ทราบผลของพื้นนุ่มต่อการท้าทายความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง ผลการศึกษจะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้พื้นนุ่มต่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยกลุ่มนี้

ABSTRACT

The study compared walking characteristics of ambulatory subjects with spinal cord injury (SCI) during walking on hard and soft surface with 1 and 3 inches thickness. The subjects were assessed for spatiotemporal gait parameters while walking on each surface. The findings demonstrated that, when walked on hard surface, the walking speed of subjects was 0.67m/s and it decreased while walked on soft surfaces. There were significant differences of walking speed and cadence when compared between walking on hard and 3 inches thickness soft surfaces ($p < 0.005$). However, there were no significant differences of stride length and step symmetry. The findings suggested effects of soft surface to challenge walking ability of patients with SCI. They would benefit the application of soft surfaces to promote effectiveness of rehabilitation practice for these patients.

คำสำคัญ: ผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง พื้น การเดิน การฟื้นฟูความสามารถ การประเมิน กายภาพบำบัด

Keywords: Spinal cord injury, Surface, Walking, Rehabilitation, Assessment, Physical therapy

* นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักกายภาพบำบัดโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสระโคก พิบูลย์โลก

*** อาจารย์ สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**** นักกายภาพบำบัด หน่วยกายภาพบำบัด ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสาน

***** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ภาวะบาดเจ็บไขสันหลัง (spinal cord injury) มักส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องด้านการเดินเนื่องจากความบกพร่องของระบบประสาทรับความรู้สึกและระบบประสาทสั่งการ (sensorimotor impairments) (Kirshblum et al., 2011) โดยหลังการฟื้นฟูความสามารถพบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่สามารถกลับมาเดินได้อีกครั้ง แต่ผู้ป่วยมักจะไม่สามารถใช้การเดินในการประกอบกิจวัตรประจำวัน (non-functional walking) ได้ เนื่องจากผู้ป่วยมักเดินช้า ใช้พลังงานในการเดินสูง และมีความไม่มั่นคงในการเคลื่อนไหวที่ส่งผลต่อความเสี่ยงในการล้มและการเข้าร่วมกับกิจกรรมในชุมชน (community participation) (Amatachaya et al., 2015; Brotherton et al., 2007) โดยระยะเวลาการฟื้นฟูความสามารถที่ลดลงมาก คือจาก 98 วัน ในปี ค.ศ. 1970 เป็น 36 วันในปี ค.ศ.2010 (NSCISC, 2014; Cardenas et al., 2004) อาจส่งผลต่อความสามารถของผู้ป่วยในวันที่ออกจากโรงพยาบาล ดังนั้น การหาแนวทางการส่งเสริมประสิทธิภาพของการฟื้นฟูความสามารถจึงมีความสำคัญในการพัฒนาความสามารถของผู้ป่วยในเวลาอันสั้น

มีรายงานว่าพื้นนุ่ม เช่น พื้นทรายหรือพื้นโฟม ทำให้เกิดความท้าทายต่อความสามารถด้านการเดินทั้งทางด้านการทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงตัว การใช้พลังงาน รวมถึงรูปแบบการเดินของอาสาสมัครกลุ่มต่างๆ เช่น คนปกติ ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยเบาหวาน รวมถึงผู้ป่วยที่ตัดขา (Lejeune et al., 1998; Morrison et al., 2009; Pinnington et al., 2001) ซึ่งการประยุกต์ใช้พื้นดังกล่าวมาใช้ในการฟื้นฟูความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังอาจช่วยส่งเสริมความสามารถของผู้ป่วยกลุ่มนี้ได้ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับการเดินบนพื้นนุ่มต่อลักษณะการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง ผลการศึกษาที่ได้นี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแนวทางการฟื้นฟูความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยกลุ่มนี้ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะการเดินของอาสาสมัครบาดเจ็บไขสันหลังที่สามารถเดินได้ขณะเดินบนพื้นเรียบแข็ง พื้นนุ่มความหนา 1 นิ้ว และความหนา 3 นิ้ว

วิธีการวิจัย

อาสาสมัคร

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง ผลการฝึกเดินบนพื้นผิวต่างๆ ต่อความสามารถด้านการเดิน การทรงตัว กำลังกล้ามเนื้อ และการล้มในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังที่เดิน โดยทำการการวิจัยแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ในอาสาสมัครบาดเจ็บไขสันหลังแบบไม่สมบูรณ์ ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 15 คน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกคือมีความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ประเมินโดย American SpinalCord Injury Association (ASIA) Impairment Scale หรือ AIS ระดับ C และ D (Kirshblum et al., 2011) สามารถเดินได้โดยใช้หรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดินเป็นระยะทางอย่างน้อย 15 เมตรหรือมีระดับ Functional Independent Measure Locomotion (FIM-L) เท่ากับ 5-7 (Hamilton et al., 1994) อาสาสมัครได้รับการคัดออกจากงานวิจัยหากมีความผิดปกติต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถด้านการเดิน เช่น มีอาการปวดหรือการอักเสบของขามากกว่า 5 คะแนน มีความยาวขาแตกต่างกันอย่างชัดเจน หรือมีการผิดปกติของข้อต่อต่างๆ เป็นต้น (Amatachaya et al., 2009; Pramodhyakul et al., 2004)

วิธีศึกษา

การศึกษานี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกรับฟังคำอธิบายวิธีการวิจัยได้รับการสัมภาษณ์และการประเมินข้อมูลส่วนบุคคลข้อมูลเกี่ยวกับการบาดเจ็บของไขสันหลัง ประกอบด้วยสาเหตุ ระดับความรุนแรง และระยะเวลาหลังการบาดเจ็บของไขสันหลัง หลังจากนั้นอาสาสมัครได้รับการประเมินลักษณะการเดินขณะเดินบนพื้นต่างๆ ประกอบด้วยพื้นเรียบแข็ง พื้นนุ่มหนา 1 นิ้ว และพื้นนุ่มหนา 3 นิ้ว โดยแต่ละพื้นมีความยาว 10 เมตร ด้วยความเร็วปกติ (preferred walking speed) จำนวน 3 รอบ โดยใช้หรือไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดินตามลักษณะการเดินปกติของอาสาสมัครแต่ละคน ผู้ประเมินจับภาพการเคลื่อนไหวในช่วง 4 เมตร ตรงกลางของทางเดินทั้งหมด โดยใช้กล้องดิจิทัลที่มีความเร็วในการจับภาพ 60 ภาพ/วินาที (frames/second) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะการเดินเกี่ยวกับระยะทางและเวลา (spatiotemporal gait parameters) ประกอบด้วยความเร็วในการเดิน (walking speed) ความถี่ในการก้าวขา (cadence) ความยาวรอบการเดิน (stride length) และความสมมาตรในการก้าวขา (step symmetry) ด้วยวิธี manual digitization ด้วยโปรแกรม Kinovea (version 0.8.24) (Pramodhyakul et al., 2016; Kumprou et al., 2016; 2017) และนำผลที่ได้หาลักษณะการเดินโดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วในการเดิน} &= \frac{\text{ความยาวรอบการเดิน} \times \text{ความถี่ของการก้าว}}{120} \\ \text{ความถี่ในการก้าวขา} &= \text{จำนวนก้าวใน 1 นาที} \\ \text{ความยาวรอบการเดิน} &= \text{ระยะก้าวเฉลี่ยของขาข้างขวา} + \text{ระยะก้าวเฉลี่ยของขาข้างซ้าย (เมตร)} \\ \text{ความสมมาตรในการก้าวขา} &= \frac{\text{ระยะก้าวของข้างที่ก้าวสั้นกว่า (shorter step length)}}{\text{ระยะก้าวของข้างที่ก้าวยาวกว่า (longer step length)}} \times 100 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Version 17 (SPSS Statistics version 17.0, IBM Corporation, 1 New Orchard Road Armonk, NY, USA, serial number: 5068054) โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะของอาสาสมัครและผลการศึกษา ใช้สถิติ ANOVA with repeated measures เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลลักษณะอาสาสมัครเดินบนพื้นแต่ละแบบและใช้สถิติ post-hoc (Bonferroni's) tests ในการระบุความแตกต่างระหว่างคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ผลการวิจัย

การศึกษานี้มีอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยทั้งหมด 15 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ยประมาณ 53 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ ส่วนใหญ่มีความผิดปกติของไขสันหลังค่อนข้างน้อย (AIS D) มีการบาดเจ็บของไขสันหลังในระยะเรื้อรัง (ระยะเวลาหลังการบาดเจ็บเฉลี่ย 48 เดือน) และส่วนใหญ่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน (ตารางที่ 1)

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเดินบนแข็ง อาสาสมัครมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.67 เมตร/วินาที และอาสาสมัครเดินช้าลงเมื่อเดินบนพื้นนุ่ม โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วในการเดินระหว่างพื้นเรียบแข็งและพื้นนุ่มหนา 3 นิ้ว ($p < 0.005$ ภาพที่ 1) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วในการเดินระหว่างการเดินบนพื้นเรียบแข็งและพื้นนุ่มหนา 1 นิ้วและระหว่างพื้นนุ่มหนา 1 นิ้วกับพื้นนุ่มหนา 3 นิ้ว ($p > 0.05$ ภาพที่ 1)

ผลการศึกษาเกี่ยวกับความถี่ในการก้าวขาของอาสาสมัครสอดคล้องกับความเร็วในการเดิน (ภาพที่ 2) แต่ผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความยาวรอบการเดินและความสมมาตรในการก้าวขาระหว่างการเดินบนพื้นทั้งสามแบบ ($p > 0.05$ ภาพที่ 3)

ตารางที่ 1 ลักษณะอาสาสมัคร (จำนวน 15 คน)

ตัวแปร	ผลการศึกษา
อายุ (ปี) [†]	53.4 ± 14.07
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร) [†]	22.64 ± 3.31
ระยะเวลาหลังการบาดเจ็บ (เดือน) [†]	47.93 ± 32.80
เพศ: ชาย/หญิง (คน)	14/2
สาเหตุการบาดเจ็บ: อุบัติเหตุ/สาเหตุอื่นๆ (คน)	10/5
ระดับการบาดเจ็บของไขสันหลัง: incomplete tetraplegia/incomplete paraplegia (คน)	5/10
ระยะเวลาการบาดเจ็บ: กึ่งเฉียบพลัน/เรื้อรัง (คน)	1/14
ระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บ: AIS C/AIS D (คน)	1/14
ชนิดของอุปกรณ์ช่วย: ใช้/ไม่ใช้ (คน)	8/7

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การเดินบนพื้นนุ่มทำให้มีแรงปฏิกิริยาจากพื้น (ground reaction force) ลดลง โดยเฉพาะการเดินในระยะ push off ของช่วงที่ขาข้างนั้นรับน้ำหนักร่างกาย (stance phase) (Lejeune et al., 1998; Morrison et al., 2009) รวมถึงทำให้เกิดความไม่มั่นคงในการเคลื่อนไหวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ (Lejeune et al., 1998; Pinnington et al., 2001) และความมั่นคงในการเคลื่อนไหวขณะเดินโดยเฉพาะในช่วงที่ขาข้างหนึ่งรับน้ำหนักเพียงข้างเดียว (single leg support period) (Lejeune et al., 1998; Morrison et al., 2009) ทำให้การเดินบนพื้นนุ่มต้องใช้กล้ามเนื้อทำงานร่วมกัน (co-contraction) มากขึ้นเพื่อให้ร่างกายมีความมั่นคง ขยับเคลื่อนร่างกายไปทางด้านหน้า รวมถึงยกขาขึ้นจากพื้นในช่วงท้ายของ stance phase (Kirtley, 2006; Balasubramanian et al., 2007) ด้วยเหตุนี้ การเดินบนพื้นนุ่มจึงทำให้อาสาสมัครเดินช้าลง โดยผลดังกล่าวพบอย่างชัดเจนขณะที่อาสาสมัครเดินบนพื้นนุ่มหนา 3 นิ้ว แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเดินบนพื้นนุ่มหนา 1 นิ้ว อาจเป็นเพราะพื้นนุ่มหนา 1 นิ้วรบกวนความมั่นคงของอาสาสมัครไม่ชัดเจนมากนัก เนื่องจากอาสาสมัครในการศึกษานี้ส่วนใหญ่มีความรุนแรงของการบาดเจ็บค่อนข้างน้อย (AIS D) และส่วนใหญ่เดินได้โดยใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน (ร้อยละ 53 ตารางที่ 1) ลักษณะดังกล่าวอาจทำให้อาสาสมัครสามารถใช้แขนช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวขณะที่เผชิญกับสถานการณ์ที่มีความท้าทายต่อความสามารถด้านเดินได้ ซึ่งความช่วยเหลือจากแขนดังกล่าวช่วยรักษาสถูลของอาสาสมัครขณะเคลื่อนไหว ทำให้อาสาสมัครสามารถก้าวขาไปด้านหน้าได้ในระยะใกล้เคียงกันขณะเดินบนพื้นทั้ง 3 แบบ ในทางตรงข้าม ความถี่ในการก้าวขาต้องอาศัยความสามารถของกล้ามเนื้อขาเพื่อยกขาขึ้นจากพื้น โดยเฉพาะกล้ามเนื้อกลุ่มองสะโพก (hip flexor muscles) (Kirtley, 2006; Balasubramanian et al., 2007) ทำให้การลดแรงการเคลื่อนไหวจากแขนไม่ส่งผลต่อความถี่ในการก้าวขา ผลการศึกษาจึงพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ของความถี่ในการก้าวขาและความเร็วในการเดินเมื่ออาสาสมัครเดินบนพื้นนุ่มหนา 3 นิ้วเมื่อเปรียบเทียบกับเดินบนพื้นแข็ง

ผลการศึกษาช่วยให้ทราบผลของการเดินบนพื้นนุ่มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเดินของอาสาสมัครบาดเจ็บไขสันหลังที่สามารถเดินได้ รวมถึงแนวทางการประยุกต์ใช้พื้นนุ่มต่อการทำท่ายความสามารถเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการฟื้นฟูความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังที่เดินได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดบางประการคืออาสาสมัครในการศึกษานี้ส่วนใหญ่มีความรุนแรงของการบาดเจ็บค่อนข้างน้อย (AIS D) และส่วนใหญ่เดินได้โดยใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน (ร้อยละ 53 ตารางที่ 1) โดยผลการศึกษาที่พบเป็นการคาดการณ์การชดเชยการเคลื่อนไหวจากแขนโดยไม่ได้มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงดังนั้น การศึกษาในอนาคตจึงควรศึกษาในอาสาสมัครบาดเจ็บไขสันหลังที่มีระดับความรุนแรงมากขึ้นและวิเคราะห์ข้อมูลในอาสาสมัครที่เดินโดยใช้และไม่ใช้ อุปกรณ์ช่วยเดินแยกกัน รวมถึงมีการวัดปริมาณการลงน้ำหนักของแขนขณะเดินบนพื้นลักษณะต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

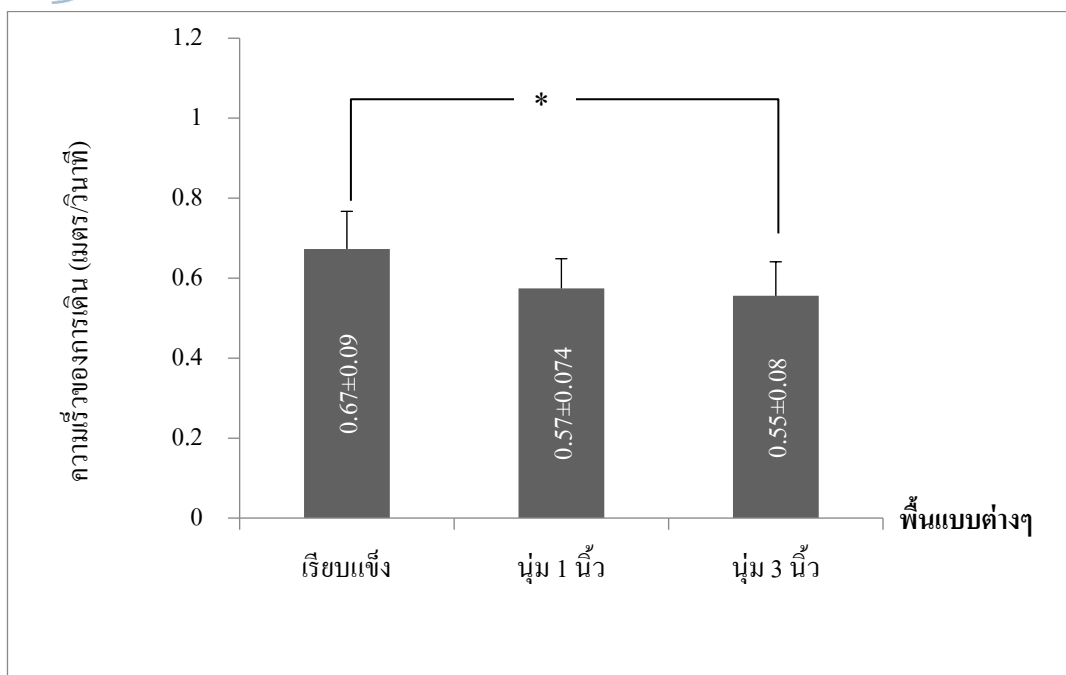
กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) และทุนอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น

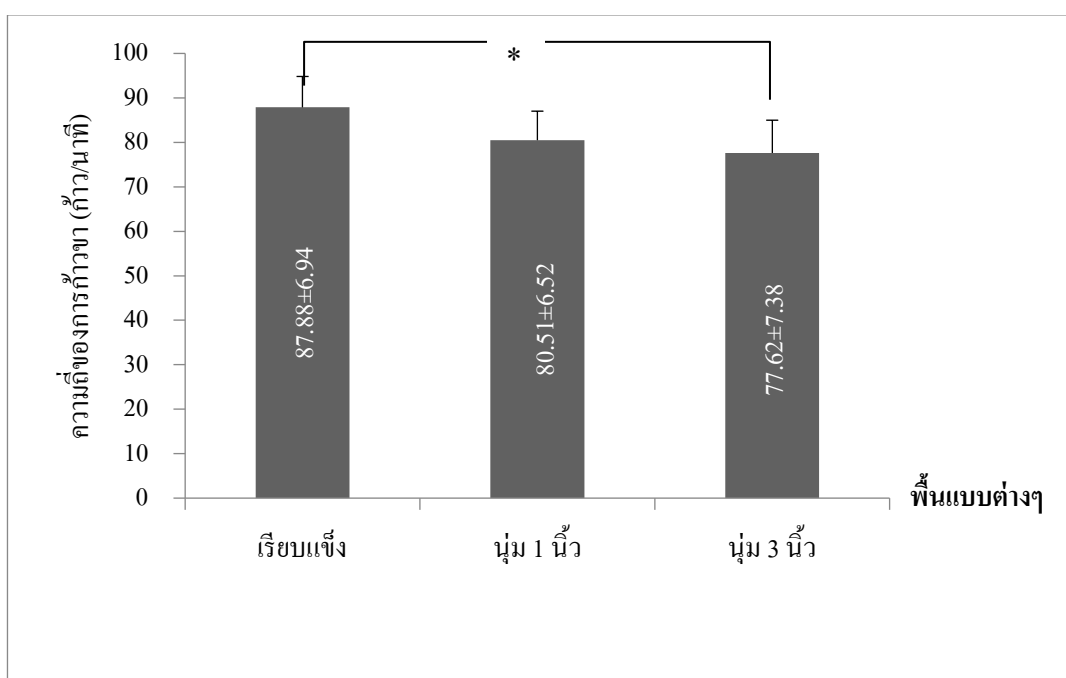
เอกสารอ้างอิง

- Amatachaya S, Amatachaya P, Keawsutthi M, Siritaratiwat W. External cues benefit walking ability of ambulatory patients with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2013; 36: 638-44.
- Amatachaya S, Keawsutthi M, Amatachaya P, Manimmanakorn N. Effects of external cues on gait performance in independent ambulatory incomplete spinal cord injury patients. *Spinal Cord* 2009; 47: 668-73.
- Amatachaya S, Pramodhyakul W, Srisim K. Failures on obstacle crossing task in independent ambulatory patients with spinal cord injury and associated factors. *Arch Phys Med Rehabil* 2015; 96: 43-8.
- Balasubramanian CK, Bowden MG, Neptune RR, Kautz SA. Relationship between step length asymmetry and walking performance in subjects with chronic hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88: 43-9.
- Brotherton SS, Krause JS, Nietert PJ. Falls in individuals with incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord* 2007; 45: 37-40.
- Cardenas DD, Hoffman JM, Kirshblum S, McKinley W. Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 1757-63.
- Hamilton BB, Laughlin JA, Fiedler RC, Granger CV. Interrater reliability of the 7-level functional independence measure (FIM). *Scand J Rehabil Med* 1994; 26(3): 115-9.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (Revised 2011). *J Spinal Cord Med* 2011; 34(6): 535-46.
- Kirtley C. Clinical gait analysis: theory and practice. Edinburgh: Livingstone; 2006.

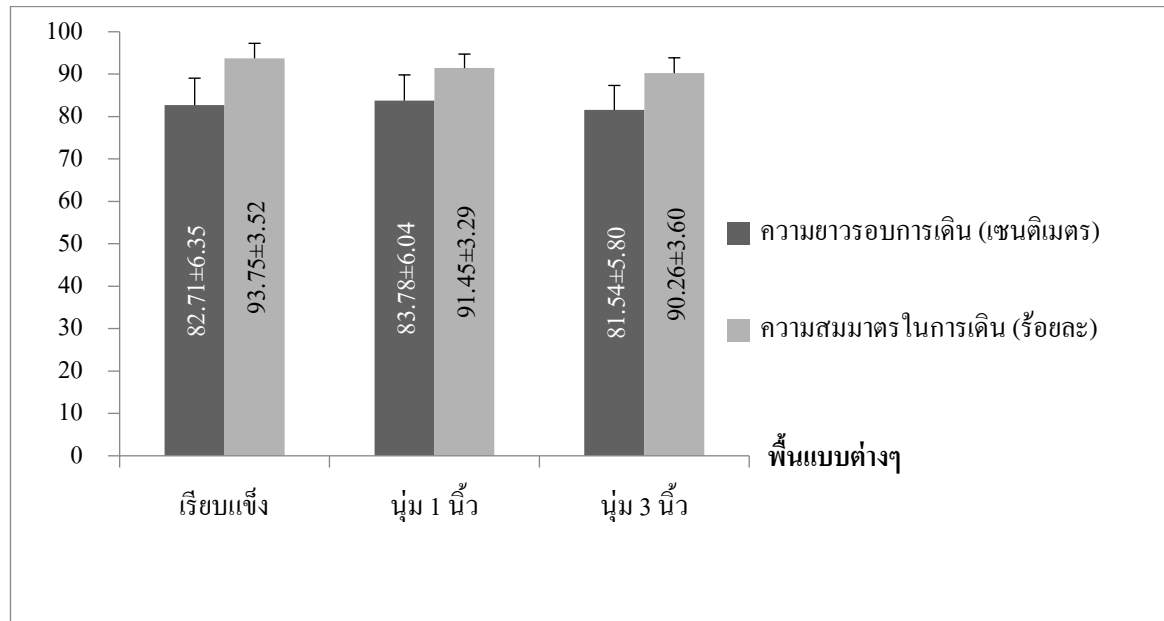
- Kumprou M, Amatachaya P, Sooknuan T, Thaweewannakij T, Mato L, Amatachaya S. Do ambulatory patients with spinal cord injury walk symmetrically? *Spinal Cord* 2016; 8. doi: 10.1038/sc.2016.149. [Epub ahead of print]
- Kumprou M, Amatachaya P, Sooknuan T, Thaweewannakij T, Amatachaya S. Is walking symmetry important for ambulatory patients with spinal cord injury? *Disabil Rehabil* 2017 Jan 17: 1-9. doi: 10.1080/09638288.2016.1277398. [Epub ahead of print]
- Lejeune TM, Willems PA, Heglund NC. Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *J Exp Biol* 1998; 201(Pt 13):2071-80.
- Lighthall HL, Gutierrez DD, Newsam CJ, Gronley JK, Mulroy SJ, Perry J. A comparison of shoulder joint forces during ambulation with crutches versus a walker in persons with incomplete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87:63-70.
- Morrison K, Braham RA, Dawson B, Guelfi K. Effect of a sand or firm-surface walking program on health, strength, and fitness in women 60-75 years old. *J Aging Phys Act* 2009; 17(2):196-209.
- National Spinal Cord Injury Statistical Center. Spinal cord injury facts and figures at a glance. *J Spinal Cord Med* 2013; 36: 568-9.
- Pramodhyakul N, Amatachaya P, Sooknuan T, Arayawichanon P, Amatachaya S. Effects of a visuotemporal cue on walking ability of independent ambulatory subjects with spinal cord injury as compared with healthy subjects. *Spinal Cord* 2014; 52: 220-4.
- Pramodhyakul N, Amatachaya P, Sooknuan T, Arayawichanon P, Amatachaya S. Visuotemporal cues clinically improved walking ability of ambulatory patients with spinal cord injury within 5 days. *J Spinal Cord Med* 2016; 39: 405-11.



ภาพที่ 1 ความเร็วในการเดินของอาสาสมัครขณะเดินบนพื้นแต่ละแบบ (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$)



ภาพที่ 2 ความถี่ในการก้าวขาของอาสาสมัครขณะเดินบนพื้นแบบต่างๆ (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$)



ภาพที่ 3 ความยาวรอบการเดินและร้อยละความสามารถในการเดินของอาสาสมัครขณะเดินบนพื้นแบบต่างๆ