อิทธิพลของปัจจัยภายใน และรูปแบบของการรักษาต่อระดับความสามารถด้านการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง

ธีรวัฒน์ นิธิอรรถวานนท์
สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Received: October 2, 2024
Revised: April 10, 2025
Accepted: April 12, 2025

บทคัดย่อ

การบาดเจ็บไขสันหลัง (Spinal cord injury) เป็นภาวะที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างภายในช่องระหว่างกระดูกสันหลังซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุ หรือเหตุการณ์อื่นที่ไม่ใช่การบาดเจ็บ โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดความบกพร่องของระบบประสาทรับความรู้สึกและระบบประสาทยนต์ ซึ่งทำให้ความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนไหวลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานที่ซับซ้อน เช่น การเดิน ดังนั้น การฟื้นตัวของการเดินจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในหลายประการ รวมถึงรูปแบบการฟื้นฟูที่ได้รับด้วย โดยบทความนี้ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยภายในบางชนิดส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการฟื้นฟูความสามารถในการเดิน โดยบทความนี้ได้บ่งชี้ให้เห็นว่าอายุ ระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บไขสันหลัง อาการทางคลินิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การฟื้นตัวของปฏิกิริยาการตอบสนองอัตโนมัติ (deep plantar reflex) การฟื้นตัวของระบบประสาทรับความรู้สึก และการกลัวการล้ม นั้นมีอิทธิผลต่อการฟื้นตัวของการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง ในทางตรงกันข้าม เพศ และความตึงตัวของกล้ามเนื้อสูงยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่ามีผลเชิงบวกหรือไม่ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ แต่สาเหตุของการเกิดภาวะบาดเจ็บของไขสันหลังนั้นไม่ส่งผลการฟื้นตัวของความสามารถด้านการเดินในผู้ป่วยกลุ่มนี้ นอกจากนี้รูปแบบของการรักษาและฟื้นฟูยังมีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นตัวของการเดินอีกด้วย โดยในบทความฉบับนี้แนะนำให้แพทย์ และนักกายภาพบำบัดปรับแต่งรูปแบบของการฝึกตามความสามารถของผู้ป่วย โดยควรเน้นให้การฝึกนั้นจำเพาะต่อการเดิน หากการฝึกเดินกระทำได้ยาก ควรแบ่งรูปแบบการฝึกออกเป็นส่วนย่อยๆ และฝึกสิ่งนั้นให้ผู้ป่วยเชี่ยวชาญ (part-task practice) หลังจากนั้นจึงนำมาประกอบเป็นการเคลื่อนไหวเต็มรูปแบบที่ต้องการ (whole-task practice) และรูปแบบของการฝึกควรที่จะหลากหลายและใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมที่ผู้ป่วยจะต้องกลับไปใช้ชีวิต ดังนั้น บทความฉบับนี้น่าจะเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบเป็นแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับระยะเวลาในการพักรักษาตัว การพยากรณ์โรค และการเลือกรูปแบบการฟื้นฟูที่เหมาะสมแก่นักวิชาชีพทางสุขภาพที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: การฟื้นตัวของการเดิน; ปัจจัยพยากรณ์โรค; การฝึกฟื้นฟู; กายภาพบำบัด

ผู้นิพนธ์ประสานงาน:
ธีรวัฒน์ นิธิอรรถวานนท์
สาขากายภาพบำบัด คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
อีเมล: Teerawatn@g.swu.ac.th

Influence of intrinsic factors and rehabilitation strategies on walking ability in patients with spinal cord injury

Teerawat Nithiatthawanon
Department of Physical Therapy, Faculty of Physical Therapy, Srinakharinwirot University

Abstract

Spinal cord injury (SCI) is a devastating condition that results in damage to the contents in vertebral foramen, which can be caused by traumatic causes or other non-traumatic events. The resulting injury affects sensory and motor function after SCI which minimize the ability of patients to control movement, especially for complex tasks such as walking. Therefore, walking recovery depends on various internal factors and the rehabilitation approaches obtained. This review highlights that critical intrinsic factors that influence walking recovery after SCI. These include age, severity of injury, clinical syndrome, muscle strength, reflex recovery, sensory restoration, and fear of falling, all of which are associated with walking recovery in individuals with SCI. Conversely, sex and spasticity have shown inconsistent results, and their impact remains unclear. Moreover, the etiology of the injury does not appear to significantly influence gait recovery. Additionally, rehabilitation strategies play a crucial role in enhancing functional outcomes. This article recommends that physicians and physical therapists should individually plan rehabilitation programs according to the patient's ability, emphasizing task-specific gait training. However, if whole-gait training is too difficult for patients, this review recommends decomposing the task into smaller sub-tasks (part-task practice). Each component should be practiced until the patients achieve mastery in those sub-tasks before being progressively integrated into the full movement sequence through whole-task practice, thereby facilitating the acquisition of complex motor skills. In addition, rehabilitation gait training should be variability and closely related to real-life situations at home and in their communities. Therefore, this review article provides evidence-based information for healthcare professionals, particularly physicians and physical therapists, in making clinical decisions regarding prognosis, length of stay, and the selection of appropriate rehabilitation techniques for relevant health profession.

Keywords: gait recovery; prognostic factors; rehabilitation training; physiotherapy

Corresponding Author:
Teerawat Nithiatthawanon
Department of Physical Therapy, Faculty of Physical Therapy, Srinakharinwirot University
63 Village No.7, Rangsit-Nakhon Nayok Road, Ongkharak District, Nakhon Nayok 26120, Thailand
E-mail: Teerawatn@g.swu.ac.th

บทนำ

ภาวะไขสันหลังบาดเจ็บ (spinal cord injury; SCI) เป็นภาวะที่เกิดการบาดเจ็บต่อไขสันหลัง ส่งผลทำให้เกิดความบกพร่องต่อการส่งสัญญาณประสาทต่างๆ ภายในร่างกาย ก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบต่างๆ เช่น ระบบประสาทสั่งการ (motor system) ระบบประสาทรับความรู้สึก (sensory system) และระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system)[1] โดยในปี 2021 มีผู้ป่วยรายใหม่เกิดขึ้นประมาณ 574,502 คนทั่วโลก รวมผู้ที่ได้รับผลกระทบทั้งสิ้นประมาณ 15.4 ล้านคน[2] อย่างไรก็ตาม ด้วยความก้าวหน้าทางเครื่องมือ และวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์พบว่าผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังแบบไม่สมบูรณ์มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในปัจจุบัน[2] และมีรายงานว่าภาวะบาดเจ็บนี้มักเกิดขึ้นกับกลุ่มวัยรุ่น และวัยทำงาน รวมไปถึงสาเหตุหลักของการบาดเจ็บคือ การประสบอุบัติเหตุ เช่น อุบัติเหตุทางรถยนต์ การตกจากที่สูง อุบัติเหตุทางการกีฬา และอาชญกรรมต่างๆ อย่างไรก็ตาม การบาดเจ็บของไขสันหลังยังสามารถเกิดจากโรค ความเสื่อมของโครงสร้าง หรือการติดเชื้อต่างๆ ได้เช่นเดียวกัน[3] โดยเมื่อเกิดการบาดเจ็บผู้ป่วยจำเป็นต้องอยู่กับภาวะทุพพลภาพยาวนานกว่ากลุ่มผู้ป่วยทางระบบประสาทอื่นๆ ที่มักจะเกิดความผิดปกติขึ้นหลังจากชราภาพ ดังนั้น ด้วยความผิดปกติดังกล่าวจึงอาจจะส่งผลกระทบให้จำนวนของประชากรที่ต้องการการดูแล และพึ่งพาผู้อื่นเพิ่มสูงขึ้นทั้งในระดับประเทศ และระดับโลกตามลำดับ ดังนั้น การฟื้นฟูให้ผู้ป่วยกลับมาใช้ชีวิตได้ดีมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิชาชีพทางสุขภาพมุ่งเน้นให้เกิดการฟื้นฟูมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีปัญหาในระบบต่างๆ มากมาย[1] แต่กลับพบว่าร้อยละ 60 ของผู้ป่วยกลุ่มนี้สามารถกลับมาเดินได้อีกครั้งในรูปแบบ non-functional walking[1] กล่าวคือ ผู้ป่วยสามารถเดินได้ไม่สมมาตร (asymmetrical walking) ระยะก้าวสั้น (short step length) ใช้พลังงานสูงในการเดิน (high energy expenditure) และต้องการความช่วยเหลือจากภายนอก (required external assistance)[1-3] โดยระดับความสามารถในการเดินภายหลังจากการฟื้นฟูมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละบุคคล[4] ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยภายในต่างๆ ภายหลังการได้รับการรักษาทางยาและการกายภาพบำบัด โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการฟื้นฟูความสามารถของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง แต่การศึกษาที่เกี่ยวข้องนี้ยังคงกระจายอยู่ในฐานข้อมูลต่างๆ และยังไม่มีการสรุปรวบยอดให้เห็นภาพรวมขององค์ความรู้เหล่านี้ ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดจึงทำให้ความรู้ในบางประเด็นยังคงเป็นที่ถกเถียง แม้ว่าความรู้ในปัจจุบันจะบ่งชี้ออกมาอย่างชัดเจนแล้ว ดังนั้น ในบทความฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมองค์ความรู้เหล่านั้นจากหลากหลายฐานข้อมูลเพื่อให้เห็นแนวโน้ม และความเป็นไปได้ของปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการฟื้นตัวด้านการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง รวมไปถึงรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมในผู้ป่วยกลุ่มนี้ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการแพทย์ เช่น แพทย์ และนักกายภาพบำบัด หรือนักวิจัยที่จะทำการศึกษาในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง นอกจากนั้น ปัจจัยเหล่านี้ยังสามารถช่วยในการทำนายความสามารถของผู้ป่วยในอนาคต ซึ่งทำให้ผู้รักษาเกิดความตระหนัก และให้ความสำคัญกับระยะเวลาในการพักฟื้นของผู้ป่วย และสามารถออกแบบรูปแบบ และวิธีการรักษาในผู้ป่วยกลุ่มนี้ให้มีความเหมาะสมต่อความสามารถที่น่าจะกลับมาในอนาคต

เนื้อหา

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับการฟื้นตัวของความสามารถในการเดินของผู้ป่วย (Influencing factors to recovering level of patient's walking function)

จากการรวบรวมองค์ความรู้ในฐานข้อมูลทางวิชาการต่างๆ ดังนี้ PubMed, SCOPUS, ScienceDirect

และ Web of Sciences โดยใช้คำสำคัญในการค้นหา เช่น walking, factor, spinal cord injury เป็นต้น โดยพบองค์ความรู้ต่างๆ ที่น่าสนใจ และเกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูระดับความสามารถด้านการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังภายหลังการเข้าร่วมการรักษาต่างๆ แต่องค์ความรู้เหล่านั้นยังกระจัดกระจายอยู่ในแต่ละบทความ ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้รวบรวม และพบว่าความสามารถในการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งแยกออกได้เป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการฟื้นฟู[5] โดยในบทความนี้จะขอมุ่งเน้นสรุปองค์ความรู้ และให้จุดสนใจไปที่ *ปัจจัยภายใน (intrinsic factor)* โดยมีการให้คำนิยามคือ ปัจจัยที่เกิดขึ้นเฉพาะภายในบุคคลนั้นๆ ทั้งในลักษณะโครงสร้างทางกายภาพหรือจิตใจ นอกจากนั้นยังพบว่ารูปแบบของการฝึกที่เปรียบเสมือนปัจจัยภายนอกที่ผู้ป่วยได้รับจากผู้รักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญที่น่าจะส่งผลต่อความสามารถด้านการเดินได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น ในบทความฉบับนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ลักษณะและรูปแบบของการฝึกเช่นเดียวกัน โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

ปัจจัยภายใน (intrinsic or internal factors)

ปัจจัยภายในที่มีผลกระทบต่อการฟื้นฟูความสามารถของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีหลากหลายปัจจัยด้วยกัน โดยบทความฉบับนี้ได้สรุปและรวบรวมปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญ และมีการทำการศึกษาไว้อย่างน้อย 3-4 บทความต่อปัจจัย เพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอและสามารถบ่งชี้แนวโน้มของปัจจัยนั้นในบทความฉบับนี้ได้ โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Intrinsic factors influencing gait recovery in patients with spinal cord injury

Intrinsic factors	Influence on functional recovery		
	Yes	No	Controversial
Age	✓		
Gender			✓
Severity of spinal cord injury	✓		
Clinical syndromes of spinal cord injury	✓		
Etiology of the lesion		✓	
Muscle strength	✓		
Reflexes	✓		
Spasticity			✓
Sensation	✓		
Fear of fall	✓		

อายุ (age)

ผลกระทบของอายุต่อระดับการฟื้นตัวของความสามารถของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังได้มีการรายงานไว้ในหลากหลายการศึกษา และสอดคล้องกันว่าอายุที่เพิ่มมากขึ้นมีผลกระทบเชิงลบต่อความสามารถในการฟื้นตัวของความสามารถด้านการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเดิน โดย Burns และคณะในปี ค.ศ. 2001 ได้พบว่าผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่มีอายุน้อยมีโอกาสในการฟื้นตัวของความสามารถในการเดินมากกว่ากลุ่มที่อายุเยอะ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Scivoletto และคณะ ในปี 2003[8] ได้ทำการศึกษาเพื่อหาจุดตัดของช่วงอายุที่จะเกิดการฟื้นตัวของ

ความสามารถในการเดิน โดนพบว่าหากผู้ป่วยมีอายุน้อยกว่า 50 ปี จะมีความสามารถในการเดินภายหลังจากการฟื้นฟูความสามารถที่ดีกว่า และมีโอกาสกลับมาเดินได้มากกว่าอีกกลุ่มหนึ่งประมาณ 2 เท่า โดยการศึกษาต่อมาในปี ค.ศ. 2008 พบว่าอายุมี nagative correlation กับ walking Index for spinal cord injury หรือ WISCI ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังที่มีอายุน้อยจะมีความสามารถในการเดินภายหลังจากการฟื้นตัวที่มากกว่าผู้ป่วยที่มีอายุสูง[6]

เพศ (gender)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าผลกระทบของเพศต่อการฟื้นตัวของความสามารถด้านการเดินนั้นยังมีข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกัน และยังหาข้อสรุปไม่ได้อย่างแน่ชัด[7-10] โดยการศึกษาบางส่วนพบว่าความสามารถในการใช้ชีวิตประจำวัน (activity daily living) และ motor efficiency รวมถึงความสามารถในการเดินภายหลังจากกระบวนการฟื้นฟูในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศชาย และเพศหญิง[9-10] แต่จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าการฟื้นตัวของความสามารถภายหลังจากการฝึกนั้นมีความสัมพันธ์และพบมากกว่าในเพศเมีย[7] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sipski ในปี ค.ศ. 2004[8] พบความสัมพันธ์ของความสามารถของผู้ป่วยภายหลังจากกระบวนการฟื้นฟูฯ และเพศของผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง โดยรายงานว่าผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังเพศหญิงมักมีการฟื้นตัวของระบบประสาทต่างๆ ได้ดีกว่าเพศชายในช่วงต้นของการรักษา แต่เมื่อผ่านเวลาไปเพศชายมักจะมีการทำกิจกรรมต่างๆ ได้ดีกว่า ณ วันที่ออกจากโรงพยาบาล เหตุที่เป็นเช่นนี้ ผู้เขียนมีความคิดเห็นว่า อาจเกิดจากผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังเพศชายมักจะมีความกล้าในการทำกิจกรรมต่างๆ มากกว่าเพศหญิง ไม่กลัวการล้มหรือการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น รวมไปถึงผู้ป่วยที่เกิดภาวะบาดเจ็บของไขสันหลังมักจะมีอายุน้อย ดังนั้นด้วยค่านิยมทางสังคม เพศชายจึงมักมีแรงผลักดันภายในจิตใจที่อยากจะกลับไปใช้ชีวิตได้เหมือนคนปกติหรืออยากกลับไปเป็นผู้นำครอบครัวอีกครั้ง จึงส่งผลทำให้ความสามารถหรือทักษะต่างๆ ฟื้นตัวได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเพศหญิง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเพศนั้นส่งผลอย่างไรต่อการฟื้นตัวของความสามารถในผู้ป่วยกลุ่มนี้

ความรุนแรงภายหลังการบาดเจ็บ (severity of injury)

ความรุนแรงของการบาดเจ็บของไขสันหลังมักแบ่งโดยการใช้ American Spinal Injury Association Impairment Scale หรือ ASIA impairment scale (AIS) ดังแสดงในรูปที่ 1 (Figure 1) โดยแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับ คือ AIS A, B, C, D และ E ตามลำดับ หรืออาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มคือ AIS A คือผู้ป่วยแบบ motor and sensory complete cord lesion ในขณะที่ AIS B คือ ผู้ป่วยแบบ motor complete cord lesion โดย AIS C และ D คือผู้ป่วย motor incomplete cord lesion และ AIS E คือ normal และด้วยวิทยาการทางการแพทย์ในปัจจุบันพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นที่ผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังจะอยู่ในกลุ่มที่ 2 และ 3 เพิ่มมากขึ้น[1-2] โดยมีรายงานต่างๆ ที่ได้ศึกษาโอกาสในการฟื้นความสามารถในการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่มีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันดังนี้

1. Motor and sensory complete cord lesion (AIS A)

จากการศึกษาที่ผ่านมา[11] พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการประเมินภายใน 72 ชั่วโมงภายหลังการบาดเจ็บไขสันหลังว่ามีระดับความรุนแรง AIS A นั้นมักจะมีโอกาสกลับมาเคลื่อนไหวได้ค่อนข้างน้อย โดยมีเพียงร้อยละ 20 ที่มีการฟื้นตัวทางระบบประสาทด้วยตนเองและเปลี่ยนแปลงไปสู่ AIS B และ C อย่างไรก็ตามการพิจารณาระดับความรุนแรงในผู้ป่วยกลุ่มนี้ยังคงต้องพิจารณาระดับของการบาดเจ็บ (level of injury) โดยพบว่าผู้ป่วย AIS A ส่วนใหญ่ที่สามารถกลับไปเดินได้ต้องมีการบาดเจ็บในระดับต่ำกว่า L3 อย่างไรก็ตาม

หากมีการบาดเจ็บในช่วง T12 - L3 ผู้ป่วยยังคงสามารถกลับไปเดินได้ แต่อาจจำเป็นต้องใส่อุปกรณ์ช่วยจากภายนอกต่างๆ[11]

2. Motor complete cord lesion (AIS B)

ในขณะที่ผู้ป่วยที่ได้รับการประเมินภายหลังการบาดเจ็บในช่วง 72 ชั่วโมงว่ามีระดับความรุนแรงคือ AIS B (มีความบกพร่องทางประสาทยนต์อย่างสมบูรณ์) โดยผู้ป่วยกลุ่มนี้พบว่ามีร้อยละ 33 ที่สามารถกลับมาเคลื่อนไหว หรือเดินได้ภายหลังจากการฟื้นฟูความสามารถ[12]

3. Motor incomplete cord lesion (AIS C & D)

ทางด้านผู้ป่วยที่ได้รับการประเมินภายหลังการบาดเจ็บในช่วง 72 ชั่วโมงว่ามีระดับความรุนแรงคือ AIS C ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีการฟื้นตัวของระบบประสาทยนต์บางส่วน โดยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ใต้ข้อต่อระดับที่เกิดการบาดเจ็บมีกำลังกล้ามเนื้อน้อยกว่าเกรด 3 แต่จากรายงานพบว่าผู้ป่วยกลุ่มนี้มีโอกาสในการฟื้นตัวจาก AIS C ไป AIS D ที่สูงและพบโอกาสในการฟื้นความสามารถด้านการเดินมากถึงร้อยละ 75[12] และผู้ป่วยที่ได้รับการประเมินภายหลังการบาดเจ็บในช่วง 72 ชั่วโมงว่ามีระดับความรุนแรงคือ AIS D จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเป็นกลุ่มที่มีการพยากรณ์โรคที่ดีที่สุด (best prognosis) และผู้ป่วยร้อยละ 100 หรือผู้ป่วยทุกรายสามารถกลับมาเดินได้อีกครั้งก่อนที่จะกลับไปใช้ชีวิตที่บ้านของตนเอง[12]

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าระดับความรุนแรงภายหลังการบาดเจ็บเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สามารถประเมินได้ภายใน 72 ชั่วโมงภายหลังจากการผ่าตัด หรือการรักษาทางการแพทย์อื่นๆ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับไขสันหลัง ซึ่งการประเมินนี้สามารถบ่งชี้โอกาสในการฟื้นตัวของความสามารถในการเดินของผู้ป่วย รวมถึงการได้ข้อมูลนี้จะช่วยแพทย์ในการตัดสินใจในการส่งปรึกษานักกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูความสามารถในการเดินของผู้ป่วย

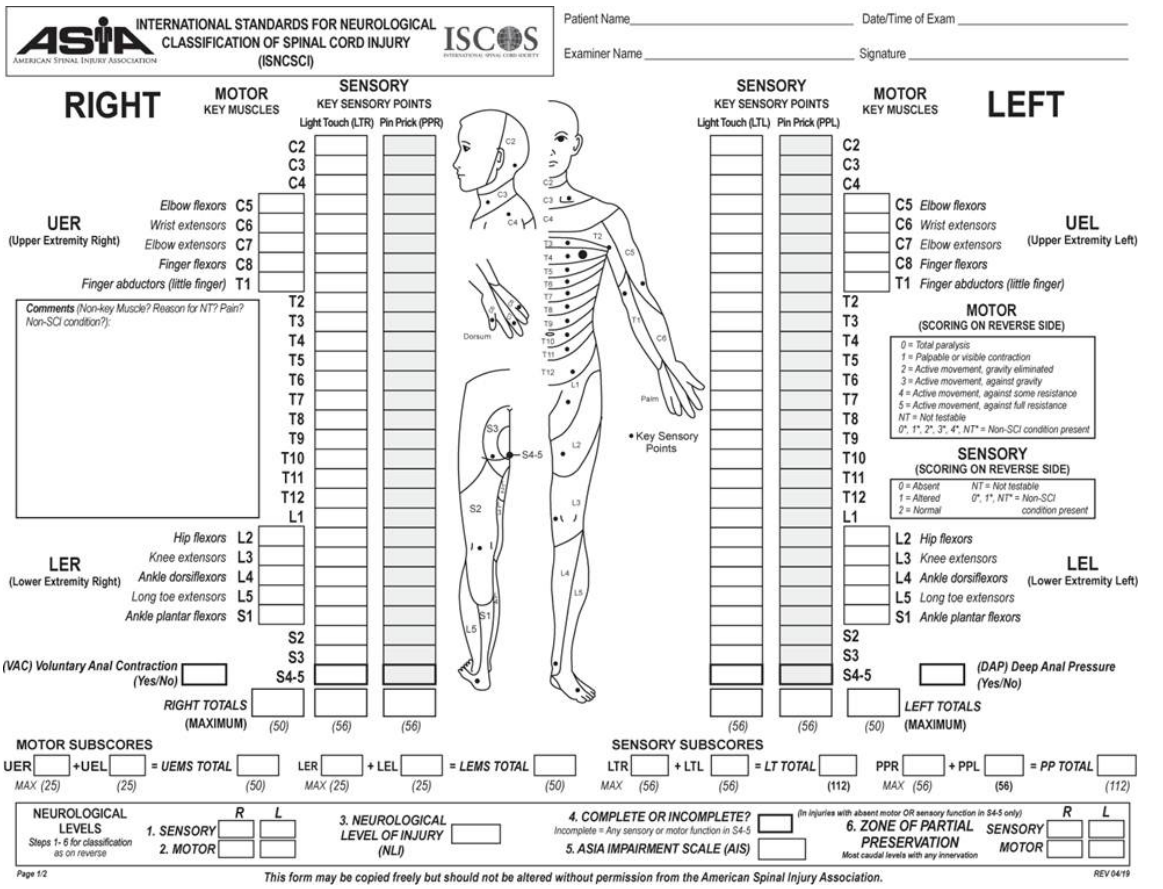

Figure 1 American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (created by Rupp R. et al[13])

กลุ่มอาการของภาวะบาดเจ็บของไขสันหลัง (syndromes)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของพยาธิสภาพที่มักจะเกิดขึ้นพบว่า การเกิดพยาธิสภาพสามารถเกิดขึ้นได้ 4 ประเภท ประกอบด้วย anterior cord syndrome, brown-sequard syndrome, central cord syndrome และ posterior cord syndrome[13] โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มอาการต่างๆ กับความสามารถที่ฟื้นตัวดังนี้

- ลักษณะของการกระทบต่อไขสันหลังแบบ central cord syndrome ดังแสดงในรูปที่ 2(a) (Figure 2(a)): เป็นกลุ่มอาการที่มักกระทบต่อไขสันหลังระดับคอ โดยพบได้ประมาณ ร้อยละ 9 จากผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังทั้งหมด และเป็นภาวะที่พบได้มากที่สุดในกลุ่มอาการต่างๆ ประมาณ ร้อยละ 44[14] โดยกลุ่มอาการนี้ส่วนใหญ่จะเกิดผลกระทบต่อ รยางค์แขนมากกว่า รยางค์ขา รวมถึงมักจะเกิดการฟื้นฟูของการควบคุมปัสสาวะ และอุจจาระ จึงส่งผลทำให้ผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังมีกลุ่มอาการแบบนี้ มีโอกาสในการกลับมาเดินได้อีกครั้งมากถึงร้อยละ 40 ถึง 97[15-18] โดยร้อยละที่มีช่วงกว้างนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยอื่นๆ ที่ผู้รักษาจำเป็นต้องพิจารณาร่วมด้วย เช่น ความรุนแรงของการบาดเจ็บ และอายุ เป็นต้น

- ลักษณะการบาดเจ็บของไขสันหลังแบบ posterior cord syndrome ดังแสดงในรูปที่ 2(b) (Figure 2(b)): เป็นกลุ่มอาการที่มีการบาดเจ็บไขสันหลังบริเวณ fasciculus gracilis และ fasciculus cuneatus หรือ dorsal column–medial lemniscus

pathway (DCML) ซึ่งเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกต่างๆ เช่น fine touch, vibration, pressure, two-point discrimination และ proprioception (joint position sense) อย่างไรก็ตาม การศึกษารายงานว่ากลุ่มอาการนี้พบได้น้อย แต่ผู้ป่วยกลุ่มนี้มักจะสามารถกลับมาเดินได้ หรือมีการฟื้นตัวในช่วงระหว่างการทำกายภาพบำบัดที่โรงพยาบาลค่อนข้างดีอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงการควบคุมระบบขับถ่ายของผู้ป่วยก็ฟื้นตัวได้ดีเช่นเดียวกัน ดังนั้น ผู้ป่วยในกลุ่มอาการนี้จึงมีความสามารถในการกลับไปใช้ชีวิตได้ใกล้เคียงปกติ แต่มักจะมีลักษณะการเดินที่ก้มหน้าตลอดเวลา เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของข้อต่อของตนเอง[18,19]

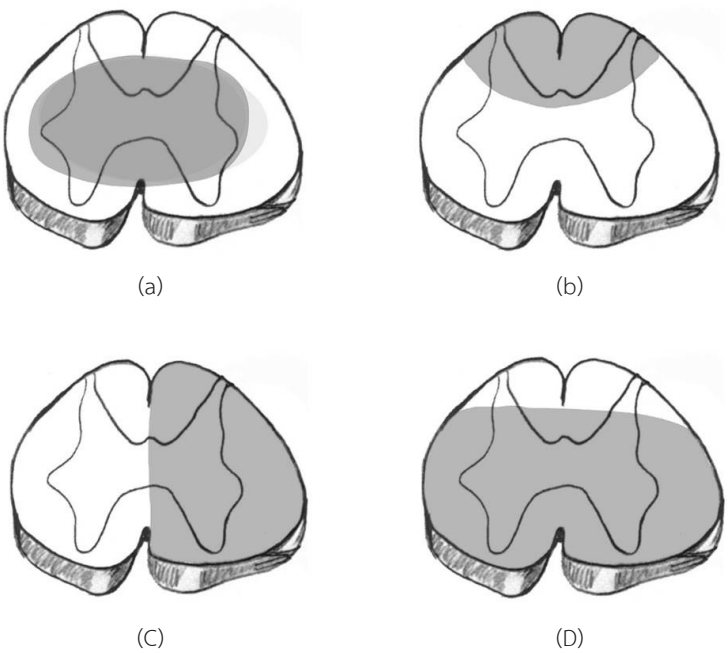

Figure 2 Clinical syndromes of spinal cord injury (created by author)
(a) Central Cord Syndromes (b) Posterior Cord Syndromes
(c) Brown-Sequard Syndromes (d) Anterior Cord Syndromes

- ลักษณะการบาดเจ็บของไขสันหลังแบบ Brown-Sequard syndrome ดังแสดงในรูปที่ 2(c) (Figure 2(c)): เป็นกลุ่มอาการที่เกิดการบาดเจ็บที่บริเวณด้านข้าง ครึ่งหนึ่งของไขสันหลังระดับนั้นๆ ซึ่งส่งผลทำให้มีลักษณะของอาการอ่อนแรง และรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อบกพร่องในข้างเดียวกับโรค และสูญเสียการรับรู้ความรู้สึกในด้านตรงกันข้าม รายงานพบว่ากลุ่มอาการนี้พบได้ร้อยละ 2-4 ของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง และพบได้ประมาณร้อยละ 17 ในผู้ป่วยทั้งหมดที่มีกลุ่มอาการทั้ง 4 ชนิด[14] โดยลักษณะการบาดเจ็บแบบนี้จะมีการพยากรณ์ของโรคที่ค่อนข้างดี เนื่องจากผู้ป่วยมีร่างกายข้างที่แข็งแรงช่วยพยุง หรือรองรับน้ำหนักจากร่างกายได้[20] โดยผู้ป่วยในกลุ่มนี้มีโอกาสกลับไปเดินได้ร้อยละ 75 จากผู้ป่วยในลักษณะเดียวกันทั้งหมด[21]

- สำหรับการบาดเจ็บของไขสันหลังแบบ anterior cord syndromes ดังแสดงในรูปที่ 2(d) (Figure 2(d)): เป็นลักษณะของการกระทบที่ส่งผลทำให้เกิดการทำลายเนื้อไขสันหลังประมาณ 2 ใน 3 จากทางด้านหน้า ส่งผลให้ผู้ป่วยมีความบกพร่องต่อระบบประสาทสั่งการ (motor function) และประสาทสัมผัสชนิดแหลม (pinprick sensation) โดยอาจจะยังหลงเหลือประสาทสัมผัสชนิดเบา (light touch sensation) และการรับรู้ความรู้สึกของข้อต่อ โดยพบได้ประมาณร้อยละ 1 ของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังทั้งหมด และประมาณร้อยละ 5 ของผู้ป่วยที่มีลักษณะตามกลุ่มอาการทั้ง 4 ชนิด และเนื่องจากการกระทบต่อเนื้อเยื่อของไขสันหลังที่ค่อนข้างรุนแรง จึงส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนไหวในลักษณะต่างๆ ของผู้ป่วย จึงทำให้ผู้ป่วยที่มีกลุ่มอาการแบบนี้มีการฟื้นตัวของระบบประสาทสั่งการเพียงร้อยละ 10-20 ส่งผลทำให้กล้ามเนื้อยังคงอ่อนแรงอยู่ ดังนั้น ผู้ป่วยในกลุ่มอาการนี้จึงมักมีโอกาสต่ำมากในการฟื้นฟูความสามารถภายหลังจากการรักษาทางการแพทย์ และการฟื้นฟูทางกายภาพบำบัดต่างๆ

สาเหตุของการเกิดภาวะบาดเจ็บ (etiology of the lesion)

การศึกษาต่างๆ ในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสาเหตุของการเกิดโรคกับความสามารถในการฟื้นตัวของผู้ป่วยกลุ่มนี้ พบว่าการเปรียบเทียบระหว่างผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ และผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บจากโรคอื่นๆ (non-traumatic SCI) นั้นทำได้ยาก อันเนื่องมาจากผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่เกิดจากโรคอื่นๆ นั้นมักมีอายุที่มากกว่า การกระจายตัวของเพศที่เป็นเท่ากัน และมีการบาดเจ็บแบบไม่สมบูรณ์มากกว่าเมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บขากอุบัติเหตุ รวมไปถึงการบาดเจ็บของไขสันหลังจากภาวะของโรคนั้น มักจะมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการฟื้นฟูความสามารถด้วย[16] แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาต่างๆ เริ่มมีการรายงานว่าผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังในทั้งสองกลุ่มมีความสามารถที่จะกลับมาเดินได้ในสัดส่วนที่เท่ากัน คือร้อยละ 35-49[22,23] ภายหลังจากการควบคุมปัจจัยกวนต่างๆ เช่น อายุ เพศ และความรุนแรงของการบาดเจ็บของไขสันหลังด้วยวิธีการทางสถิติ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscle strength)

ความแข็งแรงกล้ามเนื้อรยางค์ขาเป็นปัจจัยที่ได้รับการศึกษามากที่สุดในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง โดยพบว่าหากมีกำลังกล้ามเนื้อรยางค์ขาฟื้นฟูกลับมาภายใน 1 เดือนภายหลังการบาดเจ็บ จะเป็นสิ่งบ่งชี้หรือปัจจัยเชิงบวกที่ช่วยในการทำนายความสามารถของผู้ป่วยรายนั้นว่ามีโอกาสจะสามารถกลับไปเดินได้ในชุมชนภายใน 1 ปี[6]

นอกจากนั้นพบว่าหากผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังมีกำลังของกล้ามเนื้อ quadriceps มากกว่าเกรด 3 (วัดด้วยการทดสอบ manual muscle test) ภายใน 2 เดือนภายหลังจากการบาดเจ็บเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีต่อการกลับมาเดินได้อีกครั้ง[6] และยังมีอีกหลายการศึกษาที่บ่งชี้ว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรยางค์ขามีความสัมพันธ์กับความเร็วและความทนทานในการเดิน ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้สามารถบ่งชี้ความสามารถในการกลับเข้าสู่ชุมชน (community participation) อีกด้วย[24] ในขณะที่กล้ามเนื้อรยางค์แขนเองก็มีความสำคัญเช่นกันในกลุ่มผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลังแบบทั้งตัว (quadriplegia) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ป่วยที่ต้องการใช้อุปกรณ์ช่วยเดินต่างๆ เช่น โครงเหล็กช่วยเดิน หรือไม้ค้ำยัน นอกจากนั้น Khuna และคณะในปี ค.ศ. 2022[25] พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรยางค์ขามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงมาก ($r = 0.38$ ถึง 0.71) กับการลุกนั่ง (sit-to-stand) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Saensook และคณะในปี ค.ศ. 2018 ที่พบว่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อรยางค์ขามีความสัมพันธ์กับการลุกขึ้นยืนในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง ซึ่งการลุกขึ้นยืนนั้นก็มีการทำงานของกล้ามเนื้อที่สัมพันธ์กับการเดินเช่นกัน[26]

ปฏิกิริยาการตอบสนอง (reflexes)

หนึ่งในการตรวจร่างกายช่วงต้นภายหลังจากการบาดเจ็บของไขสันหลังคือ การตรวจปฏิกิริยาตอบสนอง โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปฏิกิริยาตอบสนองหนึ่งที่สำคัญ คือ ปฏิกิริยาการตอบสนองของฝ่าเท้า (Deep plantar response; DPR) ซึ่งสามารถเป็นตัวบ่งชี้และทำนายความสามารถในการกลับมาเดินได้ หรือการฟื้นตัวของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง โดยพบว่าหากผู้ป่วยมีปฏิกิริยานี้คงอยู่ หรือมีการปรากฏของปฏิกิริยาการตอบสนอง DPR มากกว่า 1 วัน ข้อมูลนี้จะเป็นตัวบ่งชี้เชิงลบต่อความสามารถในการฟื้นตัวของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง เนื่องจากปฏิกิริยานี้มักเกิดขึ้น และคงอยู่มากกว่าหนึ่งวันในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่ไม่สามารถฟื้นฟูความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนไหวต่างๆ ได้ด้วยตนเอง เนื่องจาก DPR มีความสัมพันธ์กับสัญญาณของ Babinski ซึ่งเป็นการตอบสนองทางระบบประสาท และมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพยากรณ์ระยะของการบาดเจ็บในช่วง spinal shock ดังนั้น หากพบ DPR มากกว่า 1 วัน อาจระบุได้ถึงความช้าของการฟื้นตัวจากการบาดเจ็บของไขสันหลัง[21,24]

ภาวะความตึงตัวของกล้ามเนื้อสูง (Spasticity)

ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะความตึงตัวของกล้ามเนื้อและความสามารถในการเดิน ได้มีการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง โดยจากการรายงานพบว่า ภาวะความตึงตัวของกล้ามเนื้อที่สูงจะส่งผลกระทบต่อความสามารถการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง[27-35] โดยบางการศึกษากล่าวว่า ความตึงตัวของกล้ามเนื้อเป็นผลดีต่อการเดินของผู้ป่วย เนื่องจากอาการเกร็งจะช่วยพยุง และทำให้ผู้ป่วยสามารถเดินได้[5] แต่ในบางการศึกษากล่าวว่าอาการเกร็งจะส่งผลทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นอิสระ ซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนไหวต้องใช้พลังงานที่มากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบเชิงลบต่อผู้ป่วย โดย Scivoletto และคณะในปี ค.ศ. 2008 ได้กล่าวว่าอาการเกร็งตัวโดยวัดจาก composite Modified Ashworth Scale ที่คะแนนมากกว่า 1 ส่งผลทางด้านลบต่อการฟื้นตัวต่อความสามารถในการเดิน[6]

การรับความรู้สึก (tactile sensation)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การรับความรู้สึกแบบแหลม (pinprick sensation) และการรับความรู้สึกสัมผัสเบา (light touch sensation) สามารถบ่งชี้ หรือพยากรณ์ความสามารถในการเดินของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังได้ โดยการศึกษาของ Saensook และคณะในปี ค.ศ. 2018[26] ที่พบว่าระดับการบกพร่องของความรู้สึกมีความสัมพันธ์กับความสามารถ และปริมาณการลงน้ำหนักในการลุกขึ้นยืนในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นที่พบว่าในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่เหลือการรับความรู้สึกสัมผัสแบบแหลมนั้นจะมีการฟื้นตัวของความสามารถด้านการเดินที่ดีกว่าผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังที่เหลือการรับความรู้สึกสัมผัสแบบเบาเท่านั้น[21] ในขณะที่หากเหลือความรู้สึกแบบสัมผัสเบาเพียงชนิดเดียวมีโอกาสที่จะสามารถกลับมาเดินได้ในชุมชนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่มีการรับความรู้สึกคงเหลือครบทั้งสองชนิดมีโอกาสที่จะสามารถกลับมาเดินได้ภายในชุมชนภายหลังเกิดการบาดเจ็บ 1 ปี[21] เหตุผลนั้นเป็นเพราะหากเหลือความรู้สึกสัมผัสทั้งสองชนิดอาจบ่งชี้ได้ว่าการบาดเจ็บของไขสันหลังที่เกิดขึ้นนั้นไม่รุนแรง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการกระทบต่อ corticospinal tract และ dorsal column–medial lemniscus pathway น้อยตามไปด้วยจึงทำให้มีโอกาสในการฟื้นคืนความสามารถที่สูง ในขณะที่หากเหลือความรู้สึกสัมผัสแบบแหลมเพียงอย่างเดียวนั้นเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีกว่าเป็นเพราะตำแหน่งของ lateral spinothalamic tract อยู่ใกล้กับ corticospinal tract ดังนั้น หากการรับความรู้สึกแหลมยังคงหลงเหลืออยู่ อาจจะบ่งชี้ได้ว่า corticospinal tract ก็จะเกิดการบาดเจ็บน้อยเช่นเดียวกัน[21]

การกลัวการล้ม (fear of fall)

นอกจากภาวะทางกาย สภาพจิตใจของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังก็มีผลต่อความสามารถในการกลับมาเดินได้ในชุมชน โดยจากการศึกษาพบว่าการกลัวการล้มมีผลต่อความเร็วในการเดิน ความทนทาน

ในการเดิน และการทรงตัวในขณะเดิน[36] ซึ่งหากผู้ป่วยมีการกลัวการล้มที่ค่อนข้างมากจะทำให้ลดโอกาสในการกลับไปเดินได้ในชุมชนของผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง โดย Chan และคณะ ในปี ค.ศ. 2022[37] ตั้งข้อสังเกตว่าความมั่นใจที่ลดลงเนื่องจากการกลัวการล้ม มีความเกี่ยวข้องกับการฟื้นตัวของการเดินและการเข้าร่วมสังคมในผู้ป่วย SCI ที่ไม่สมบูรณ์ ในขณะที่ Perez และคณะ ในปี ค.ศ. 2024[38] พบว่าโปรแกรมฟื้นฟูที่ครอบคลุมและมุ่งเน้นทั้งด้านร่างกายและจิตใจอย่างเป็นองค์รวม รวมถึงมีการจัดการการกลัวการล้มร่วมด้วยนั้น เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง

รูปแบบการฝึกต่อการฟื้นตัวด้านการเคลื่อนไหวของการเดินในผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลัง (Rehabilitation approaches on gait recovery in patients with spinal cord injury)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการฟื้นฟูความสามารถของการเคลื่อนไหวนอกจากผลการขับเคลื่อนจากปัจจัยภายใน หรือ individual constraints แล้วนั้น ความสามารถที่ฟื้นตัวได้ยังเกี่ยวข้องและเป็นผลจากการทำงานร่วมกับองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนไหวอื่นๆ[1,39] ดังแสดงในรูปที่ 3 (Figure 3) เช่น กิจกรรมการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่ได้รับการฝึกฝน (task constraints) หรือสิ่งแวดล้อมรอบตัวในขณะนั้น (context constraints) รวมไปถึงข้อมูลป้อนกลับต่างๆ ขณะเคลื่อนไหว (information or feedback) ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้สรุป และรวบรวมข้อมูลต่างๆ โดยปัจจัยสำคัญของรูปแบบ หรือลักษณะการฝึกที่สำคัญและมีผลต่อการพัฒนาทักษะในการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยมีดังนี้

ความหลากหลายในการฝึก และสิ่งแวดล้อม (variability of practice and context)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสภาพแวดล้อมรอบตัวขณะฝึก (environmental constrain) ส่งผลต่อรูปแบบของการเดิน[40] ยกตัวอย่างเช่น พื้นผิวที่แตกต่างกันในขณะเดินในชุมชน การเดินในชุมชนแออัดหรือเดินในช่วงเวลาเร่งรีบ จะส่งผลต่อตัวแปรของการเดินทั้ง spatial และ temporal[41] ดังนั้น เมื่อต้องการฝึกความสามารถในการเดินในผู้ป่วยกลุ่มนี้ในช่วงแรกผู้ป่วยอาจจะยังไม่สามารถควบคุมความสามารถได้ดี ดังนั้น ผู้ฝึกควรจะฝึกในสถานที่เรียบโล่ง สภาพแวดล้อมเงียบสงบ ต่อมาเมื่อผู้ป่วยสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้เพิ่มมากขึ้นแล้ว จึงนำผู้ป่วยไปเผชิญหน้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ๆ ที่อาจจะท้าทายความสามารถของผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้น หรือมีสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกับสถานที่จริงในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยที่บ้าน หรือในชุมชนต่างๆ ดังนั้น ความหลากหลายของการฝึกสามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งในแง่ของลักษณะของงานหรือสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการฝึกให้ผู้ป่วยเดิน หรือทำกิจกรรมในลักษณะต่างๆ จะทำให้ผู้ป่วยเกิดการเรียนรู้ และกระตุ้นการเกิด neuroplasticity ภายในระบบประสาทส่วนกลาง[42] ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Promkaew และคณะในปี ค.ศ. 2019 และ 2021[43,44] ซึ่งนำผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังมาทดสอบ และทำการฝึกเดินในพื้นผิวที่มีความหลากหลาย เช่น พื้นหญ้า พื้นหิน และหินนุ่ม โดยภายหลังจากการฝึกพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการฝึกการเดินในลักษณะที่ต่างๆ กัน มีศักยภาพความเร็วในการเดินที่พัฒนาขึ้น รวมไปถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความสามารถในการทรงตัวขณะเดิน นอกจากนั้นความสามารถด้านการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยอื่นๆ ก็พัฒนาด้วยเช่นเดียวกัน เช่น การลุกนั่ง อีกทั้งเมื่อติดตามประวัติการล้มต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 เดือนยังพบว่าการฝึกที่หลากหลายช่วยป้องกันการล้มได้อีกด้วย[43]

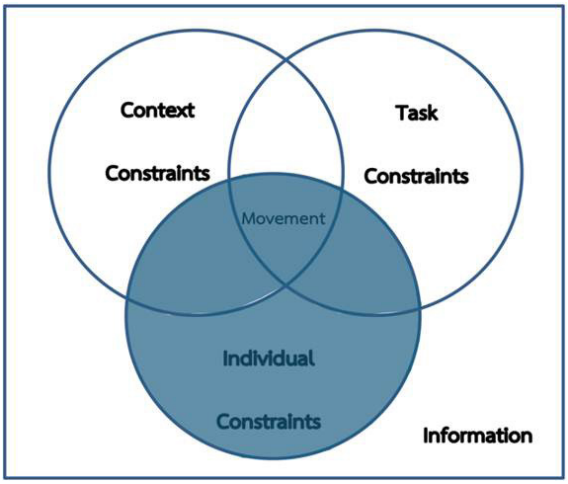

Figure 3 Factors influencing functional recovery (created by author)
= Internal factor = External factors

ลักษณะของการฝึก (conditions of practice)

ลักษณะของการฝึกนั้นสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้ distributed practice หมายถึง ลักษณะของการฝึกที่แบ่งออกเป็นช่วงๆ มีระยะพักระหว่างการฝึก โดยระยะเวลาพักอาจจะเท่ากับหรือมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก หรืออาจจะนานจนกว่าผู้ป่วยจะหายเหนื่อย ในขณะที่ mass practice หมายถึง ลักษณะของการฝึกที่ให้ทำกิจกรรมนั้นๆ อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีช่วงพักในระหว่างการฝึก หรือหากมีการพักจะต้องพักเพียงเล็กน้อยเท่านั้น[5,39]

การศึกษาที่ผ่านมาได้เสนอว่า การฝึกแบบ mass practice นั้น เหมาะสมกับการฝึกในกิจกรรมที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดชัดเจน (discrete task) เช่น การยกน้ำหนักเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่ในขณะที่ distributed practice จะเหมาะสมกับงานหรือกิจกรรมที่มีลักษณะต่อเนื่อง หรือ continuous task เช่น การเดิน การวิ่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ทราบจุดตั้งต้น และจุดสิ้นสุดของงานที่แน่นอน[5,36] นอกจากนั้นการฝึกแบบ distributed practice ที่มีช่วงพักนั้นจะส่งผลทำให้ในระหว่างการฝึกผู้ป่วยสามารถทบทวนสิ่งที่ตนเองทำ รวมไปถึงช่วยทำให้ผู้ป่วยสามารถหาวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมกับตนเองได้และสามารถแก้ไขจุดที่บกพร่องในการฝึกได้ทันที ในขณะที่การฝึกแบบ mass practice ส่งผลทำให้ภายหลังการฝึกผู้ป่วยมักจะเกิดอาการเมื่อยล้า (fatigue) ระหว่างการฝึกได้มากกว่าการฝึกแบบ distributed practice[42]

ความจำเพาะเจาะจงของการฝึก (specificity of practice)

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า รูปแบบของการฝึกสามารถช่วยกระตุ้นและมีอิทธิพลต่อการฟื้นตัวของความสามารถในการทำกิจกรรมนั้นๆ โดยการศึกษานี้ได้กล่าวถึงหลักการที่ชื่อว่า activity-dependent manner โดยเชื่อว่าการกระตุ้นการทำงานของรยางค์ต่างๆ นั้น สามารถกระตุ้นได้โดยการใช้กิจกรรมนั้นๆ เช่น หากต้องการเดิน ก็ให้ฝึกผู้ป่วยโดยใช้วิธีการเดิน หรือหากต้องการให้ผู้ป่วยสามารถที่จะลุก-นั่งได้ ก็จะต้องฝึกโดยใช้กิจกรรมนั้นๆ หรือเราสามารถเรียกได้อีกอย่างว่า specificity of practice[39,42] ซึ่งเชื่อว่า ทักษะการเคลื่อนไหวแต่ละอย่างจะมีลักษณะในการทำงานของกล้ามเนื้อ และระบบอื่นๆ ในรูปแบบ

ที่จำเพาะต่อการเคลื่อนไหวนั้น ถึงแม้ในแต่ละทักษะการเคลื่อนไหวจะมีบางส่วนที่เกี่ยวข้องกัน และสัมพันธ์กัน แต่การฝึกให้จำเพาะต่อการเคลื่อนไหวนั้นๆ น่าจะช่วยทำให้ผู้ป่วยสามารถพัฒนาความสามารถนั้นได้ดีมากกว่า เนื่องจากผู้ป่วยมีโอกาสที่จะได้ควบคุม และใช้องค์ประกอบต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเคลื่อนไหวนั้น จึงทำให้องค์ประกอบเหล่านั้นได้รับการฝึกในการเคลื่อนไหวนั้นจริงๆ ทำให้สามารถพัฒนาองค์ประกอบได้อย่างเหมาะสมต่อการเคลื่อนไหว และเมื่อผู้ป่วยสามารถฝึกกิจกรรมต่างๆ ที่สมควรได้รับการฝึก และฝึกอย่างเหมาะสม ประกอบกับจำนวนครั้งในการฝึกซ้ำ จะช่วยให้เกิดการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของการเชื่อมโยงของเซลล์ประสาท (synaptic modification) ตามข้อมูลที่รับเข้าไป ทำให้การเคลื่อนไหวมีเสถียรภาพ และช่วยให้ผู้ป่วยสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวนั้นๆ ได้เองในที่สุด โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Nithiatthawanon และคณะในปี ค.ศ. 2020 และ Amatachaya และคณะในปี ค.ศ. 2023 [45,46] ที่นำการฝึกก้าวขา (stepping training) ซึ่งมีลักษณะของงานจำเพาะกับการเดิน โดยผลการศึกษาพบว่าผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังสามารถเดินได้ดีเพิ่มมากขึ้น มีความสามารถในการทรงตัวขณะเดินดีขึ้น ความแข็งแรงและการควบคุมกล้ามเนื้อรยางค์ขาดีขึ้นภายหลังจากการฝึก รวมถึงช่วยป้องกันการล้มที่อาจจะเกิดในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การฝึกทั้งหมด และบางส่วนของกิจกรรม (whole- and part-task practice)

การฝึกผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังนั้น ควรจะนำผู้ป่วยมาฝึกในลักษณะของกิจกรรมนั้นอย่างเต็มรูปแบบ (whole-task practice) ดีกว่าการฝึกเฉพาะความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในท่านอน[47] ถึงแม้ว่าจะเป็นการฝึกกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเดินก็ตาม เนื่องจากในระหว่างการเดินของมนุษย์ มีองค์ประกอบหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการเดินนั้นเป็นกิจกรรมที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง หรือเคลื่อนที่ไปในลักษณะเป็นวงจร ไม่มีจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนไหวอย่างชัดเจน และไม่ทราบว่าจะหยุดการเคลื่อนไหวในช่วงไหนของการเดิน นอกจากนั้นในระหว่างการเดินผู้ป่วยจะได้รับข้อมูลต่างๆ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ และเกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในสมอง โดยการปรับเปลี่ยนนั้นขึ้นอยู่กับ somatosensory information ที่ถูกต้อง ยกตัวอย่างเช่น ในเรื่องของการเดิน ในขณะเดินไม่เพียงแต่องค์ประกอบของรยางค์ขาเท่านั้นที่จะต้องทำงาน แต่ยังรวมไปถึงลำตัว แขน สายตา ระบบประสาทรับความรู้สึก และระบบอื่นๆ ที่ต้องทำงานเพื่อสอดประสานการทำงานอีกด้วย[48] นอกจากนี้ การฝึกเป็นกิจกรรมยังช่วยให้ผู้ป่วยได้ใช้ประโยชน์จากการทำงานซ้ำซ้อน (redundant property) ของระบบประสาท และกล้ามเนื้อได้ ถึงแม้ว่าจะเกิดความบกพร่องในการส่งสัญญาณประสาทก็ตาม แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีบางส่วนที่สามารถใช้งานได้เป็นปกติ ดังนั้น ในการทำกิจกรรมใดๆ ก็ตามกล้ามเนื้อที่ยังสามารถทำงานได้ดีจะถูกระดมสัญญาณประสาท (motor recruitment) ให้ช่วยกลุ่มกล้ามเนื้อที่อ่อนแรงทำงาน จึงเป็นโอกาสที่จะช่วยพัฒนาความสามารถให้ควบคุมการเคลื่อนไหวที่ต้องการได้[42,47]

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าความสามารถในการเคลื่อนไหวต่างๆ จะพัฒนาได้ การฝึกนั้นควรนำลักษณะของกิจกรรมนั้นมาฝึกทั้งหมด (whole-task practice) ซึ่งจะส่งผลต่อการฟื้นตัวได้ดีกว่าในหลายๆ ด้าน อย่างไรก็ตาม เมื่อให้ผู้ป่วยบาดเจ็บของไขสันหลังทำกิจกรรมนั้นๆ เต็มรูปแบบ พบว่ากิจกรรมบางอย่างอาจจะยากเกินกว่าที่ผู้ป่วยจะสามารถทำได้ในระยะแรกๆ ของการฟื้นตัวจากการบาดเจ็บ ดังนั้น จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แพทย์หรือนักกายภาพบำบัดอาจจะสามารถแบ่งกิจกรรมดังกล่าวเป็นส่วนย่อยๆ (sub-task) และฝึกความสามารถแต่ละส่วนแยกกันก่อน (part-task practice) หลังจากนั้นเมื่อผู้ป่วยมีความสามารถมากขึ้น หรือสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น จึงให้ผู้ป่วยนำการฝึกส่วนย่อยๆ เหล่านั้นทั้งหมดมาประกอบรวมกันเป็นการฝึกทั้งหมดอีกครั้ง

สรุปผล

การฟื้นตัวของความสามารถด้านการเดินภายหลังการบาดเจ็บของไขสันหลังนั้น พบว่ามีปัจจัยภายในที่สำคัญดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งที่ส่งผลและไม่ส่งผลกระทบ รวมถึงบางปัจจัยก็ยังไม่สามารถสรุปความสำคัญต่อกระบวนการฟื้นฟูได้ นอกจากนั้น รูปแบบ และลักษณะของกิจกรรมที่ใช้ฝึกในผู้ป่วยก็มีผลต่อการฟื้นฟูความสามารถของผู้ป่วยด้วย ดังนั้น แพทย์ นักกายภาพบำบัด และบุคลากรทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องควรจะตระหนักถึงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ก่อนที่จะวางแผนการรักษาผู้ป่วยต่อไป เช่น การตัดสินใจให้ผู้ป่วยกลับไปพักรักษาตัวอยู่ที่บ้าน ในขณะที่ผู้ป่วยมีปัจจัยเชิงบวกที่จะสามารถฟื้นความสามารถด้านการเดินได้ แต่เมื่อขาดโอกาสในการได้รับการรักษาที่ถูกต้อง ผู้ป่วยรายนั้นอาจจะกลับไปเดินในรูปแบบที่ไม่ถูกต้อง หรือ non-functional walking ดังที่ได้อธิบายไปในช่วงต้นของบทความ นอกจากนั้นปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะสามารถนำมาใช้เพื่อทำนายความสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปอนาคตของผู้ป่วยได้อีกด้วย โดยแพทย์อาจใช้เพื่อวางแผนส่งปรึกษาเพื่อพัฒนาทักษะการเดินในผู้ป่วยรายนั้นๆ กับนักกายภาพบำบัด

โดยลักษณะ และรูปแบบของการฝึกเป็นสิ่งที่บุคลากรทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักกายภาพบำบัด สามารถจัดการได้ง่าย โดยการออกแบบวิธีการฟื้นฟูให้สอดคล้องกับแนวโน้มความสามารถของผู้ป่วยที่จะสามารถพัฒนาได้ในอนาคตและมีความสอดคล้องกับองค์ความรู้ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่น การฝึกควรที่จะหลากหลาย และสอดคล้องกับสิ่งแวดล้อมในอนาคตของผู้ป่วย โดยกิจกรรมที่หลากหลายนั้นก็ควรจะจำเพาะต่อความสามารถที่ต้องการพัฒนา โดยรูปแบบของงาน หรือการฝึกควรจะสอดคล้องกับความสามารถของผู้ป่วยที่ทำได้เพื่อทำให้เกิดผลที่ดีที่สุดสำหรับการฝึก หากกิจกรรมนั้นยากเกินไปอาจจะทำการแบ่งกิจกรรม หรืองานนั้นออกเป็นหลายๆ ส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการฝึกก่อน หลังจากฝึกกิจกรรมเหล่านั้นจนผู้ป่วยเชี่ยวชาญจึงนำมาร่วมเป็นกิจกรรมหลักที่ผู้รักษาต้องการ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการฝึกควรมีการให้ feedback ที่เหมาะสมแก่ผู้ป่วย นอกจากนี้ ปัจจัยต่างๆ ในบทความนี้น่าจะสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเพื่อตั้งเป้าหมายของการฟื้นฟูให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ป่วย และสะท้อนความสามารถสูงสุดของผู้ป่วยคนนั้นๆ ในอนาคตได้

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมองค์ความรู้ในบทความนี้ ผู้เขียนพบว่ายังมีปัจจัยภายในอยู่หลายชนิดที่ยังมีการศึกษาอยู่น้อย เช่น ดัชนีมวลกาย การสูบบุหรี่ หรือภาวะโภชนาการต่อความสามารถในการฟื้นตัวของการเดิน ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจ นอกจากนั้น บทความฉบับนี้ได้ให้ความสำคัญเพียงแค่ปัจจัยภายในเพียงอย่างเดียว แต่จากรูปที่ 3 (Figure 3) จะเห็นได้ว่าปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น สิ่งแวดล้อมที่บ้าน เศรษฐานะ การเข้าถึงการรักษาพยาบาล ก็อาจจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการฟื้นตัวได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น การศึกษา หรือบทความในอนาคตอาจจะศึกษา หรือรวบรวมประเด็นเหล่านี้เพิ่มเติมเพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่ครบถ้วน และรอบด้านมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Sisto S, Druin E, Sliwinski M. Spinal cord injuries: Management and rehabilitation. 1st ed. St. Louis: Mosby, 2009.
2. Lu Y, Shang Z, Zhang W, et al. Global, regional, and national burden of spinal cord injury from 1990 to 2021 and projections for 2050: A systematic analysis for the Global Burden of Disease 2021 study. Ageing Res Rev 2025;103:102598. doi:10.1016/j.arr.2024.102598.
3. James M, Wade C, Poole J, et al. Spinal cord injury: Epidemiology and clinical features. J Spinal Cord Med 2019;42(1):1-14.

4. van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Standardized assessment of walking capacity after spinal cord injury: The European network approach. Neurol Res 2008;30(1):61-73. doi:10.1179/016164107X230775.
5. Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor Control: Translating Research Into Clinical Practice. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
6. Scivoletto G, Romanelli A, Mariotti A, et al. Clinical factors that affect walking level and performance in chronic spinal cord lesion patients. Spine (Phila Pa 1976) 2008;33(3):259-64. doi:10.1097/BRS.0b013e3181626ab0.
7. Farooque M, Suo Z, Arnold PM, et al. Gender-related differences in recovery of locomotor function after spinal cord injury in mice. Spinal Cord 2006;44(3):182-7. doi:10.1038/sj.sc.3101816.
8. Sipski ML, Jackson AB, Gomez-Marin O, et al. Effects of gender on neurologic and functional recovery after spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 2004;85(11):1826-36. doi:10.1016/j.apmr.2004.04.031.
9. New PW, Epi MC. Influence of age and gender on rehabilitation outcomes in nontraumatic spinal cord injury. J Spinal Cord Med 2007;30(3):225-37. doi:10.1080/10790268.2007.11753930.
10. Greenwald BD, Seel RT, Cifu DX, et al. Gender-related differences in acute rehabilitation lengths of stay, charges, and functional outcomes for a matched sample with spinal cord injury: A multicenter investigation. Arch Phys Med Rehabil 2001;82(9):1181-7. doi:10.1053/apmr.2001.24891.
11. Burns AS, Marino RJ, Flanders AE, et al. Clinical diagnosis and prognosis following spinal cord injury. Handb Clin Neurol 2012;109:47-62. doi:10.1016/B978-0-444-52137-8.00003-6.
12. van Middendorp JJ, Hosman AJ, Pouw MH, et al. ASIA impairment scale conversion in traumatic SCI: Is it related with the ability to walk? A descriptive comparison with functional ambulation outcome measures in 273 patients. Spinal Cord 2009;47(7):555-60. doi:10.1038/sc.2008.162.
13. Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: Revised 2019. Top Spinal Cord Inj Rehabil 2021;27(2):1-22. doi:10.46292/sci2702-1.
14. McKinley W, Santos K, Meade M, et al. Incidence and outcomes of spinal cord injury clinical syndromes. J Spinal Cord Med 2007;30(3):215-24. doi:10.1080/10790268.2007.11753929.
15. Aito S, D'Andrea M, Werhagen L, et al. Neurological and functional outcome in traumatic central cord syndrome. Spinal Cord 2007;45(4):292-7. doi:10.1038/sj.sc.3101944.

16. Dvorak MF, Fisher CG, Hoekema J, et al. Factors predicting motor recovery and functional outcome after traumatic central cord syndrome: A long-term follow-up. Spine (Phila Pa 1976) 2005;30(20):2303-11. doi:10.1097/01.brs.0000182304.35949.11.
17. Newey ML, Sen PK, Fraser RD. The long-term outcome after central cord syndrome: A study of the natural history. J Bone Joint Surg Br 2000;82(6):851-5. doi:10.1302/0301-620x.82b6.9866.
18. Engel-Haber E, Botticello A, Snider B, et al. Incomplete spinal cord syndromes: Current incidence and quantifiable criteria for classification. J Neurotrauma 2022;39(23-24):1687-96. doi:10.1089/neu.2022.0196.
19. McKinley W, Hills A, Sima A. Posterior cord syndrome: Demographics and rehabilitation outcomes. J Spinal Cord Med 2021;44(2):241-6. doi:10.1080/10790268.2019.1585135.
20. Rush D, Goins K, Doe K, et al. Functional recovery in Brown-Séquard plus syndrome: A case report. J Case Rep Images Surg 2022;8(2):15-20. doi:10.5348/100107Z12DR2022CR.
21. Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L, et al. Who is going to walk? A review of the factors influencing walking recovery after spinal cord injury. Front Hum Neurosci 2014;8:141. doi:10.3389/fnhum.2014.00141.
22. Marinho AR, Flett HM, Craven C, et al. Walking-related outcomes for individuals with traumatic and non-traumatic spinal cord injury inform physical therapy practice. J Spinal Cord Med 2012;35(5):371-81. doi:10.1179/2045772312Y.0000000038.
23. Scivoletto G, Farchi S, Laurenza L, et al. Traumatic and non-traumatic spinal cord lesions: An Italian comparison of neurological and functional outcomes. Spinal Cord 2011;49(3):391-6. doi:10.1038/sc.2010.85.
24. Kim CM, Eng JJ, Whittaker MW. Level walking and ambulatory capacity in persons with incomplete spinal cord injury: Relationship with muscle strength. Spinal Cord 2004;42(3):156-62. doi:10.1038/sj.sc.3101569.
25. Khuna L, Phadungkit S, Thaweewannakij T, et al. Outcomes of the five times sit-to-stand test could determine lower limb functions of ambulatory people with spinal cord injury only when assessed without hands. J Spinal Cord Med 2022;45(3):402-9. doi:10.1080/10790268.2020.1803658.
26. Saensook W, Mato L, Manimmanakorn N, et al. Amatachaya S. Ability of sit-to-stand with hands reflects neurological and functional impairments in ambulatory individuals with spinal cord injury. Spinal Cord 2018;56(3):232-8. doi:10.1038/s41393-017-0012-8.
27. Frigon A, Rossignol S. Functional plasticity following spinal cord lesions. Prog Brain Res 2006;157:231-60. doi:10.1016/s0079-6123(06)57016-5.
28. Michel J, van Hedel HJ, Dietz V. Facilitation of spinal reflexes assists performing but not learning an obstacle-avoidance locomotor task. Eur J Neurosci 2007;26(5):1299-306. doi:10.1111/j.1460-9568.2007.05759.x.

29. Dietz V. G. Heiner Sell memorial lecture: neuronal plasticity after spinal cord injury: significance for present and future treatments. J Spinal Cord Med 2006;29(5):481-8. doi:10.1080/10790268.2006.11753897.
30. Lünenburger L, Bolliger M, Czell D, et al. Modulation of locomotor activity in complete spinal cord injury. Exp Brain Res 2006;174(4):638-46. doi:10.1007/s00221-006-0509-4.
31. Barbeau H, Nadeau S, Garneau C. Physical determinants, emerging concepts, and training approaches in gait of individuals with spinal cord injury. J Neurotrauma 2006;23(3-4):571-85. doi:10.1089/neu.2006.23.571.
32. Pepin A, Ladouceur M, Barbeau H. Treadmill walking in incomplete spinal-cord-injured subjects: 2. Factors limiting the maximal speed. Spinal Cord 2003;41(5):271-9. doi:10.1038/sj.sc.3101453.
33. Barbeau H, Norman KE. The effect of noradrenergic drugs on the recovery of walking after spinal cord injury. Spinal Cord 2003;41(3):137-43. doi:10.1038/sj.sc.3101374.
34. Barbeau H, Ladouceur M, Mirbagheri MM, et al. The effect of locomotor training combined with functional electrical stimulation in chronic spinal cord injured subjects: Walking and reflex studies. Brain Res Brain Res Rev 2002;40(1-3):274-91. doi:10.1016/s0165-0173(02)00210-2.
35. Mirbagheri MM, Ladouceur M, Barbeau H, et al. The effects of long-term FES-assisted walking on intrinsic and reflex dynamic stiffness in spastic spinal-cord-injured subjects. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2002;10(4):280-9. doi:10.1109/TNSRE.2002.806838.
36. John LT, Cherian B, Babu A. Ostural control and fear of falling in persons with low-level paraplegia. J Rehabil Res Dev 2010;47(5):497-502. doi:10.1682/jrrd.2009.09.0150.
37. Chan K, Habib Perez O, Singh H, et al. Impact of falls and fear of falling on participation, autonomy and life satisfaction in the first year after spinal cord injury. Front Rehabil Sci 2022;3:903097. doi:10.3389/fresc.2022.903097.
38. Perez OH, Chan K, Martin S, et al. The experience of falls and fall risk during the subacute phase of spinal cord injury: A mixed methods study. Disabil Rehabil 2024;46(17):3937-45. doi:10.1080/09638288.2023.2259311.
39. Schmidt R, Lee T. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 5th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2011.
40. Davids K, Glazier P, Araujo D, et al. Bartlett R. Movement systems as dynamical systems: The functional role of variability and its implications for sports medicine. Sports Med 2003;33(4):245-60. doi:10.2165/00007256-200333040-00001.

41. Patterson MR, Whelan D, Reginatto B, et al. Does external walking environment affect gait patterns? Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc 2014;2014:2981-4. doi:10.1109/EMBC.2014.6944249.
42. Haibach R, Collier D. Motor Learning and Motor Development. 1st ed. Champaign Illinois: Human Kinetics, 2011.
43. Amatachaya S, Promkeaw D, Arayawichanon P, et al. Various surfaces benefited functional outcomes and fall incidence in individuals with spinal cord injury: A randomized controlled trial with prospective data follow-up. Arch Phys Med Rehabil 2021;102(1):19-26. doi:10.1016/j.apmr.2020.08.009.
44. Promkeaw D, Arrayawichanon P, Thaweewannakij T, et al. Various surfaces challenge gait characteristics of ambulatory patients with spinal cord injury. Spinal Cord 2019;57(9):805-13. doi:10.1038/s41393-019-0282-4.
45. Amatachaya S, Nithiatthawanon T, Amatachaya P, et al. Effects of four-week lower limb loading training with and without augmented feedback on mobility, walking device use, and falls among ambulatory individuals with spinal cord injury: A randomized controlled trial. Disabil Rehabil 2023;45(26):4431-9. doi:10.1080/09638288.2022.2152502.
46. Nithiatthawanon T, Amatachaya P, Thaweewannakij T, et al. Immediate effects of lower limb loading exercise during stepping with and without augmented loading feedback on mobility of ambulatory individuals with spinal cord injury: A single-blinded, randomized, cross-over trial. Spinal Cord 2020;58(12):1301-9. doi:10.1038/s41393-020-0498-3.
47. Harkema SJ. Neural plasticity after human spinal cord injury: Application of locomotor training to the rehabilitation of walking. Neuroscientist 2001;7(5):455-68. doi:10.1177/107385840100700514.
48. Cincotta M, Price R. Difficulty walking. In: Cucchiara B, Price R, editors. Decision-making in adult neurology: Elsevier Health Sciences; 2021 p. 66-7.