

脊髄損傷者用歩行補助ロボット WPAL (Wearable Power-Assist Locomotor)

Robotic Device WPAL (Wearable Power-Assist Locomotor) for Gait Assistance in People with Spinal Cord Injuries

○ 田辺茂雄 (藤田保健衛生大) 平野哲 (藤田保健衛生大)
加藤正樹 (藤田保健衛生大) 才藤栄一 (藤田保健衛生大)

Shigeo TANABE, Fujita Health University
Satoshi HIRANO, Fujita Health University
Masaki KATOH, Fujita Health University
Eiichi SAITOH, Fujita Health University

Abstract: People with spinal cord injuries are forced to depend on wheelchairs for their mobility. The concept of Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) is the combined usage of robot and wheelchair. The WPAL consists of robotic and orthotic parts. For the majority of the time, users wear only the orthosis in the wheelchair. The robotic part is placed at a convenient place suitable for walking. When they want to stand and walk, the robotic part is added by themselves. Since the full-scale development began in 2005, seven complete paraplegics (1F/ 6M; age range: 30-60 years; functional level: Th6-Th12 level) participated in the development. After sufficient training, all participants achieved independently ground-level walking. Consecutive walking distance and duration were several-fold longer with WPAL compared with conventional orthosis. Recently, we focused on the development of variable shape WPAL. Latest prototype can fits from 150 to 175 cm tall.

Key Words: Spinal cord injury, gait rehabilitation, rehabilitation robotics, motorized orthosis

1. 背景

脊髄損傷による完全対麻痺者は歩行が困難となり、車いすでの生活を強いられる。多くの対麻痺者は自身の足で歩行することを望んでおり、現在までに様々な歩行補助装具が提案されている。我々も過去に、スライド式内側股継手付長下肢装具である Primewalk システムを開発した⁽¹⁾。両側の下肢装具部が大腿内側の股継手で強固に固定されるため、多くのシステムで採用されている硬性体幹部部品を必要としない (Fig. 1)。



Fig. 1 Primewalk system

これらの特徴 (股関節外側に装具部がない、体幹に硬性部品がない) によって、車いす上での自己脱着が容易となり、日常生活での車いすとの併用を可能にしている。しかし、力源のない装具での歩行はいくつかの問題を有している。すなわち、下肢を股関節外転位、膝関節最大伸展位、足関節底背屈中間位で固定して歩行するため、正常歩行と

は大きく様式が異なる。その歩行様式のまま、上肢によって前方への推進力を得るため、歩行中のエネルギー消費が非常に大きい⁽²⁾。

我々は、Primewalk システムの概念を基にした歩行補助ロボット Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) の開発を行っている⁽³⁾。本研究では、現在までに実証試験に参加した完全対麻痺者について、WPAL システムと Primewalk システムでの歩行能力について比較を行った。加えて、複数の利用者に適合する可変型 WPAL についても検討を行った。

2. WPAL システム (Fig. 2)



Fig. 2 WPAL system

WPAL は Primewalk システムと同様に車いすとの併用を想定している。装具部とロボット部から構成されており、日常生活の多くの時間は、装具部の一部のみを装着して車いす上で過ごす。歩行する際には、自身でロボット部と装

具部を結合し、立ち上がり・歩行動作を行う。歩行には専用の歩行器を用いる。

装具部は大腿カフ・下腿カフ・靴からなる。それぞれの部品は、個々の対麻痺者に適合するよう義肢装具士によって個別に作製される。ロボット部は両下肢の内側に配置されており、股関節・膝関節・足関節にはそれぞれモータを有している。すべての関節で同じ仕様のモータが使用されており、支柱の長さのみが義肢装具士によって調節される。

WPALでの歩行には、ロボットの動きに合わせた前外側への随意的な重心移動を必要とする。したがって、全ての利用者は4段階の歩行練習を行う。最初は、平行棒内で足踏み練習を行う。ロボットの動きに慣れることが目的であり、上肢を使用したリズムカルな重心移動を獲得する。次に、平行棒内での歩行練習を行う。最初の歩幅は150mm程度とし、歩行安定性の向上にあわせて250mm程度まで広げていく。3段階目としては、トレッドミルを用いた歩行練習を行う。この練習によって、長時間の安定した重心移動を獲得する。最後に、専用の歩行器を用いた歩行練習を行い、自立した歩行を獲得する。

3. 方法

3-1 WPAL と Primewalk での歩行能力の比較

対象は完全対麻痺者7名であった(男性6名/女性1名; 年齢範囲: 30-60歳; 受傷後期間: 4-20年)。機能残存レベルはTh6からTh12であった。すべての対麻痺者において、車いすでの日常生活は自立しており、研究期間以前にPrimewalkの使用経験があった。

WPALでの十分な歩行練習の後、WPALとPrimewalkでの平地歩行を行った。歩行能力の評価には、Functional Ambulation Categories Scale⁽⁴⁾、最大連続歩行時間、最大連続歩行距離を用いた。WPALとPrimewalkでの歩行はそれぞれ4施行行い、その最高値を選択した。

3-2 可変型 WPAL の検討

対象は健常成人26名であった(男性13名/女性13名; 年齢範囲: 22-49歳; 身長範囲: 150-176cm; 体重範囲: 43-82kg)。予備実験において、WPALを広範囲の対象に適合させるためには、装具部である大腿カフの周径および前後取り付け位置、下腿カフの上下・左右・前後取り付け位置、ロボット部である大腿部支柱と下腿部支柱の長さを可変させる必要であった。各部位の可変範囲を明らかにするため、4カ所の周径(会陰部30mm遠位、会陰部230mm遠位、膝蓋骨中心位、膝蓋骨中心150mm遠位)、2カ所の前額面上での横幅(両側の膝蓋骨中心位、両側の膝蓋骨中心150mm遠位)、2カ所の前額面上での縦幅(会陰部直下から膝蓋骨中心、膝蓋骨中心から足底)を測定した。

4. 結果

4-1 WPAL と Primewalk での歩行能力の比較

Primewalkでの歩行能力において、Functional Ambulation Categories Scaleは2名が2(バランスおよび調節において、介助者1名の連続的または間欠的な補助が必要)、2名が3(口頭指示もしくは身体接触なしの付き添い1名が必要)、3名が4(平地歩行自立、ただし階段、斜面、不整地は補助が必要)であった。最大連続歩行時間は平均6.7分(5-12)、最大連続歩行距離は平均34.4m(20-57)であった。

一方WPALでの歩行能力において、Functional Ambulation Categories Scaleは全例で4であった。最大連続歩行時間は平均13.5分(5-40)、最大連続歩行距離は平均162.0m(30

-640)であった。

4-2 可変型 WPAL の検討

4カ所の周径は、会陰部30mm遠位が473-568mm、会陰部230mm遠位が372-440mm、膝蓋骨中心位が270-410mm、膝蓋骨中心150mm遠位が286-427mmであった。2カ所の前額面上での横幅は、両側の膝蓋骨中心位53-176mm、両側の膝蓋骨中心150mm遠位224-325mmであった。2カ所の前額面上での縦幅は、会陰部直下から膝蓋骨中心305-378mm、膝蓋骨中心から足底344-490mmであった。これらの結果より、大腿カフの周径およびその前後取り付け位置をそれぞれ10mm、下腿カフの取り付け位置を上下40mm、左右40mm、前後10mm、ロボット部である大腿部支柱と下腿部支柱の長さをそれぞれ30mm、60mmの範囲で可変させる必要性が明らかとなった(Fig. 3)。

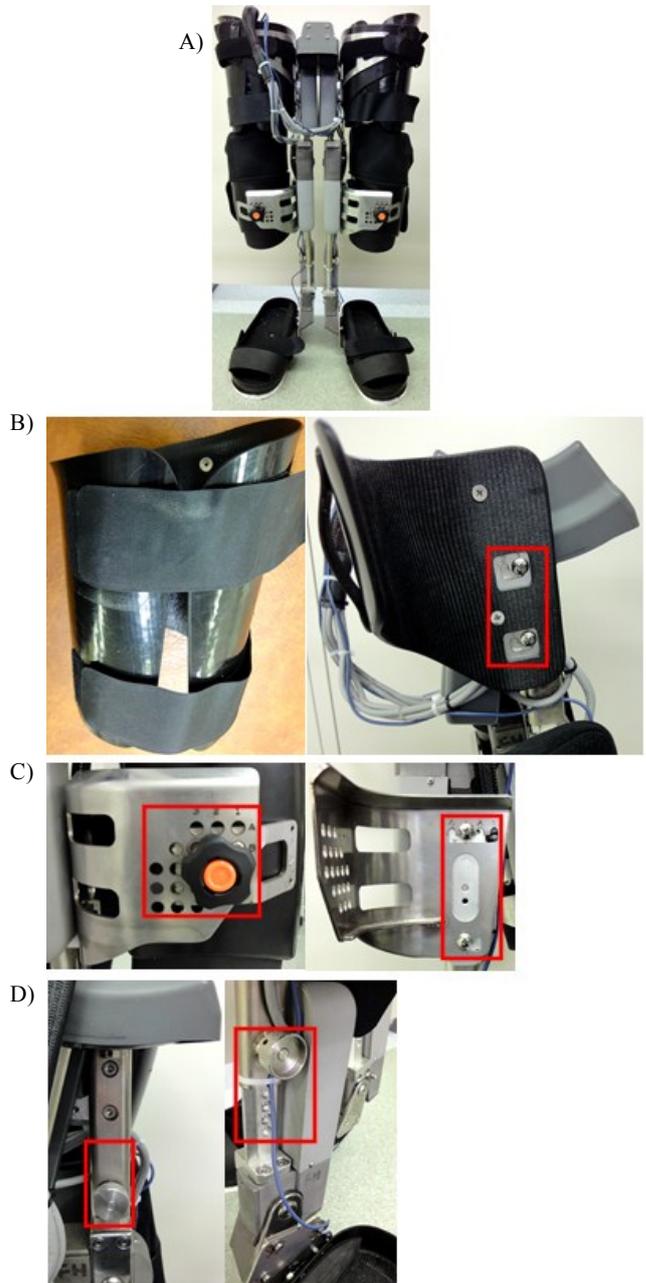


Fig. 3 Variable shape WPAL

A) Frontal view B) Variable parts of the thigh C) Variable parts of the shin D) Length tuning of the robotic struts

5. 考察

WPALでの歩行は全例で自立し、Primewalkと比較して長時間・長距離の歩行が可能であった。WPAL歩行の立脚相において、股関節は動力によって伸展し、身体は前方へ移動する。従来型装具では、この推進力を杖または歩行器を上肢で押す力によって得ていた。また遊脚相において、股関節は動力によって屈曲し、下肢が前方に振り出される。従来型装具では、重力による振り子運動で下肢を振り出すため、下肢の前方に体幹を保持する必要がある。この姿勢は、体重の多くの部分を上肢で支持する必要がある。これらの上肢負荷の軽減が歩行能力の改善に寄与したと考えられる。

可変型WPALの検討において、各部位に必要な可動範囲が明らかとなった。通常型WPALは日常生活での個人使用を目的としている。したがって前述の通り、義肢装具士が装具部およびロボット部を個々の対麻痺者に適合させているため、1台のWPALを複数の対麻痺者で使用できない。本研究で作製した可変型WPALは広範囲の対象に適合するため、病院での使用において有用であると考えられる。

参考文献

- (1) Saitoh E, Suzuki T, Sonoda S, Fujitani J, Tomita Y, Chino N, Clinical experience with a new hip-knee-ankle-foot orthotic system using a medial single hip joint for paraplegic standing and walking. Am J Phys Med Rehabil, vol. 75, no. 3, pp. 198-203, 1996.
- (2) Suzuki T, Sonoda S, Saitoh E, Onogi K, Fujino H, Teranishi T, Oyobe T, Katoh M, Ohtsuka K, Prediction of gait outcome with the knee-ankle-foot orthosis with medial hip joint in patients with spinal cord injuries: a study using recursive partitioning analysis. Spinal Cord, vol. 45, no. 1, pp. 57-63, 2007.
- (3) Tanabe S, Saitoh E, Hirano S, Katoh M, Takemitsu T, Uno A, Shimizu Y, Muraoka Y, Suzuki T, Design of the Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) for paraplegic gait reconstruction. Disabil Rehabil Assist Technol, Epub ahead of print, 2012.
- (4) Holden MK, Gill KM, Magliozzi MR, Nathan J, Piehl-Baker L, Clinical gait assessment in the neurologically impaired. Reliability and meaningfulness. Phys Ther, vol. 64, no. 1, pp. 35-40, 1984.