

Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science (2010)

Original Article**対麻痺歩行におけるスライド式内側股継手付長下肢装具の効果**小野木啓子,¹ 近藤和泉,² 才藤栄一,¹ 加藤正樹,³ 及部珠紀³¹ 藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学I講座² 藤田保健衛生大学藤田記念七栗研究所³ 藤田保健衛生大学病院リハビリテーション部**要旨**

Onogi K, Kondo I, Saitoh E, Kato M, Oyobe T. Comparison of the effects of sliding-type and hinge-type joints of knee-ankle-foot orthoses on temporal gait parameters in patients with paraplegia. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2010; 1: 1-6.

【目的】スライド式内側股継手付長下肢装具(Primewalk system)をヒンジ式股継手付長下肢装具(Walkabout system)と比較し、その効果を検討した。

【方法】Walkabout systemによる歩行に熟練し、かつPrimewalk systemによる歩行訓練を1ヶ月以上施行している7名の対麻痺者（男性6名、女性1名、年齢20-45歳）を対象とした。各装具を用いた歩行の平均歩行速度、歩調、歩幅を計測し、1名の患者で骨盤の回旋角度を測定した。

【結果】Primewalk systemの方がWalkabout systemよりも歩幅は長く、歩調は速く、歩行速度は速かった。歩幅を骨盤回旋角度に除した値はPrimewalk systemの方が大きかった。

【結論】Primewalk systemは股継手上方に仮想軸を置くことにより、対麻痺者の歩行効率を高める効果を有していた。

キーワード：対麻痺、歩行、装具、内側股継手

はじめに

長下肢装具(Knee-ankle-foot orthoses ; KAFOs)や骨盤帶付長下肢装具(hip-knee-ankle-foot orthoses; HKAOFs)は胸腰髄損傷による対麻痺者の歩行訓練に従来から使用されている[1]。これらの装具は立位安定性に優れているが、重量、大きさ、外観、簡便性の面から日常生活において実用的ではなく、そのため、装具が継続して使用される頻度は低く、自主訓練を行

著者連絡先：小野木啓子
藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学I講座
〒470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪1-98
E-mail: keionogi@fujita-hu.ac.jp
2010年9月15日受理

本研究において一切の利益相反や研究資金の提供はありません。

うときのみに使用される傾向にある[2]。一方、ほとんどの対麻痺者は車いすで移動しており、使用者の要望に応え、種々の優れた機能を備えた車いすが開発されている。加えて、車いす対応の施設建設や環境整備も徐々に進められている。従って、対麻痺者のリハビリテーションでは、家庭や社会生活における車いす自立が主目標となっている[3-7]。

近年、対麻痺者の活動範囲を拡大させるために、対麻痺者用の立位・歩行用装具が開発されている。1992年に開発されたヒンジ式内側股継手(Walkabout; Polymedic Co., Goldcoast, Queensland, Australia)は両側の長下肢装具を単軸股継手で接続したものである(図1)。以下、本文ではヒンジ式内側股継手付長下肢装具装具をWalkabout systemと呼ぶことにする。股継手は会陰下部、両側大腿内側に取り付けられ、脱着可能である。Walkabout systemは立位・歩行の安定性に優れ、車いすとの併用も可能である[8]。しかし、股継手の位置が解剖学的股関節の位置より低い。Middletonらはこの乖離が下肢の運動を妨げていると考え、弓状のスライド式股継手(Moorong Medial Linkage Orthosis; Moorong MLO)を開発し、1症例にて、様々な路面(整地、舗装されていない道、スロープ)での歩行をWalkabout systemと比較し、MLOの歩行効率が優れていたと報告した[9]。

同様に我々も股継手位置と解剖学的股関節位置の乖離により、Walkabout systemでは歩調が遅く、歩幅が

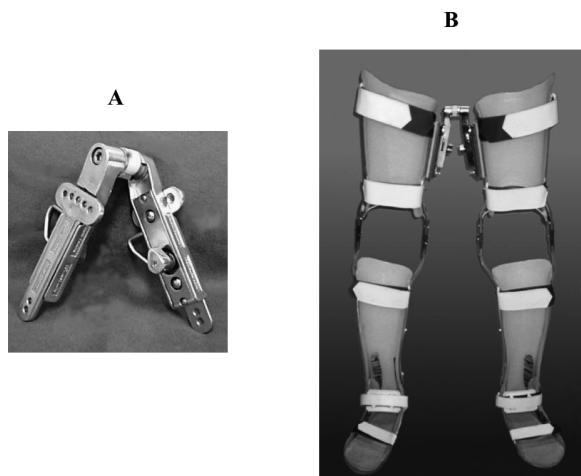


図1. Walkabout (A) と Walkabout システム (B)。

短くなり、その結果、歩行速度が遅くなると考えた[10,11]。この問題を解決するため、我々は仮想軸を有するスライド式内側単股継手（Primewalk; TIMS Co., Fukamiiwahana, Fujiko-cho, Nishikamo, Aichi, Japan）を開発した（図2）。Primewalkの主な材質はジュラルミンで、重量は688gである。円滑な動きを得るためにペアリングを12個内蔵し、屈曲・伸展方向に最大40度の可動域を持ち、可動角度の調整が可能である。先行研究により、仮想軸の高さは股継手上縁から80mmで初期設定されている。Walkaboutと同様に脱着可能であり、車いすに座った状態で装着が可能である。なお、Primewalkは工学的試験評価（強度テスト、耐久テスト）、臨床試験評価を行い、身体障害者福祉法、児童福祉法に定める「補装具の種目、受託報酬の額等に関する基準に係る完成用部品等の指定基準」に採択されており、工業的に量産化されている。以下、本文ではスライド式内側股継手付長下肢装具装置をPrimewalk systemと呼ぶことにする。

我々は股継手位置と解剖学的股関節位置との乖離が少ない股継手を使用した方が対麻痺者の歩行効率を高めるとの仮説をたて、Walkabout systemとPrimewalk

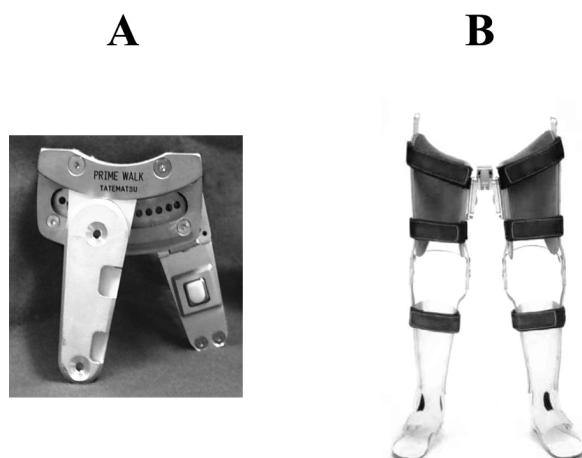


図2. Primewalk (A) と Primewalk システム (B).

表1. Walkabout と Primewalk の比較

case	age (yo)	sex	ASIA	TAO (month)	velocity (m/min)*		cadence (steps/min)*		stride length (m)*	
					Walkabout	Primewalk	Walkabout	Primewalk	Walkabout	Primewalk
1	21	M	T4A	41	10.0	14.6	57.0	65.9	0.35	0.44
2	20	M	T4C	32	5.0	11.1	20.0	40.0	0.50	0.56
3	38	M	T6A	21	2.6	3.6	26.1	29.1	0.20	0.25
6	37	M	T6A	12	6.2	11.3	28.4	39.6	0.43	0.57
7	43	M	T9A	5	13.9	17.5	55.7	59.6	0.50	0.58
4	35	M	T10A	98	8.5	9.5	58.3	61.0	0.29	0.31
5	45	F	T10A	29	5.3	5.7	39.8	41.1	0.27	0.28
Average					7.4 ± 3.8	10.5. ± 4.8	40.8 ± 16.3	48.0 ± 13.9	0.36 ± 0.12	0.43 ± 0.15

ASIA; American Spinal Injury Association Impairment Scale

TAO; time after on set

NOTE. Values are mean or mean ± SD.

systemを用いて、Middletonらとは異なり複数症例を対象として、それぞれを装着した場合の歩行因子を比較検討した。

方法

対象

大学病院で治療を継続している対麻痺者7名（男性6名、女性1名）、年齢は20-45歳（平均及び標準偏差 34.1 ± 9.94 歳）を対象とした。損傷高位は第4胸髄から第10胸髄で、American Spinal Injury Association (ASIA)ではGrade A 6名、Grade C 1名であった。受傷期間を表1に示す。研究開始にあたって、全例ともWalkabout systemによる歩行を2ヶ月以上行い（平均及び標準偏差 14.3 ± 7.8 ヶ月），その歩行に熟練していた。また、Primewalk systemによる歩行は研究方法実施の1ヶ月前から導入した。

対象者全例に口頭及び文書にて研究の目的、方法、予測される効果・危険性等の説明を十分行い、研究参加の同意を得た。

計測方法

両側長下肢装具は本人用に採型されたものを使用し、股継手はWalkabout、Primewalkの両方を脱着できるように股継手取り付け部分を作製した。

対象者には、まずWalkabout systemで平行棒内歩行を2,3回往復してもらい、次にロフストランド杖を用いて各自の快適な速度で訓練室内歩行を行ってもらつた。その後、ロフストランド杖にて各自の快適な速度で直線距離10m歩行を行い、10m歩行に要した時間と歩数を計測し、歩行速度、歩調、歩幅を算出した。10m歩行は合計3回行い、各試行の間には数分間の休憩をとった。Primewalk systemの歩行については、Walkabout systemでの計測施行後1週間後に、同様の方法で計測を行つた。統計学的解析にはWilcoxon符号付順位検定を用い、有意水準を0.05以下に設定して検定した。

*(p<0.05)

骨盤回旋角度

Optotrack 3020 (Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario, Canada) を用いて Walkabout system, Primewalk system での歩行中の骨盤の回旋角度を計測した。最初に対象者に Walkabout system で 5 m の直線歩行を 3 回実行してもらい、歩行中の骨盤の軌跡を測定した。休憩後に Primewalk system にて同様の測定を行った。

結果

歩調は Primewalk system で平均 48.0 steps/min, Walkabout system では 40.8 steps/min, 歩幅は Primewalk system で 0.43 ± 0.15 m (平均 \pm 標準偏差), Walkabout system で 0.36 ± 0.12 m, 平均歩行速度は Primewalk system では 10.5 ± 4.8 m/min, Walkabout system では 7.4 ± 3.8 m/min であった。いずれも有意差を認めた。

骨盤回旋角度の測定は、1 症例のみで実行した。Primewalk system では 45.1 ± 8.6 度, Walkabout system では 45.8 ± 9.2 度で、有意差を認めなかつた。歩幅は Primewalk system で平均 0.69 m, Walkabout system で平均 0.61 m であった。骨盤回旋角あたりの下肢の振り出しやすさの指標として、歩幅を骨盤回旋角度で除した値を算出してみた結果、Primewalk system で 1.55 ± 0.14 cm/degree, Walkabout system で 1.36 ± 0.16 cm/degree で、Primewalk system の方が有意に高かった。

なお、Walkabout system, Primewalk system 使用中の転倒はなく、両者とも立位・歩行の安定性に問題はなかつた。

考察

対麻痺者は治療の過程の中で立位・歩行用の下肢装具を使用することはあっても、日常生活の中で使用することは稀である。その理由として、装具のかさばりが車いすとの併用に適さないことが挙げられる。さらに、車いすに比べて、装具での立位・歩行は上肢への負担が大きく、エネルギー消費量が大きい [12,13]。しかし、立位をとることによる心理的効果や、対麻痺者の下肢関節拘縮、骨萎縮、心肺機能の低下などの予防に対して、立位・歩行が有益であると考えられる [14-16]。

近年、対麻痺者の立位・歩行再建目的に様々な装具が開発されている。その中で、内側股継手である Walkabout は従来の装具に比べてかさばりが少なく、脱着も容易で、車いすとの併用に優れている [17]。Middleton らは Walkabout の最大の利点は関節可動性の維持と心理的利得であると報告している [18]。その一方で、彼らは Walkabout の構造的な問題点も指摘しており、それを補う新しいスライド式内側股継手 (Moorong MLO) を開発し、その効果を 1 症例で報告した。しかし、それでは、個人差の影響や損傷高位の異なる複数症例における有効性が言及できないと我々は考えた。さらに、彼らは股継手の仮想軸位置の検討を行っていない。

我々は複数の対麻痺者において Primewalk system の方が Walkabout system よりも、歩行因子を改善させるという結果を得た。Primewalk は仮想軸を持つことで、

実際の股継手設置位置よりも高い位置での回転軸を得ることができ、その結果、歩行速度、歩調、歩幅が改善されたと考えられた。Harvey らは、平面および斜面の歩行において Walkabout system と isocentric reciprocal gait orthosis (IRGO) を比較し、IRGO の方が有意に速かったと報告した [19]。IRGO は胸腰椎装具と両側長下肢装具装具を股関節外側の股継手で連結した装具であり、股継手の位置は解剖学的な股関節位置とほぼ一致している。この結果から、IRGO のように重量が大きい装具でも、股継手の位置が解剖学的股関節位置に近ければ歩行効率が高まると推測される。

Walkabout system での歩行は、下肢を振り出すときに骨盤の後傾と股関節前面の軟部組織の弾性が利用されていると推測される。骨盤後傾により股関節前面の軟部組織は関節包、靭帯も含め伸張し、その応力により下肢が振り出されるが、股継手の位置と解剖学的股関節位置の乖離により、その力が減弱してしまうと考えられる。よって、股継手の回転軸を股継手設置位置よりも高くすることにより下肢が振り出しやすくなる (図 3)。

実際に、1 例において Walkabout system と Primewalk system の骨盤回旋角度を計測したところ、両者の骨盤回旋角度は有意差がなかつたが、歩幅を回旋角度で除した値は、Primewalk system の方が有意に高かつた。すなわち、仮想軸を有する Primewalk system の方が下肢を振り出しやすいと考えられた。

さらに、股継手位置と解剖学的股関節位置の乖離が機能的な下肢長を短縮させるため、歩行速度が遅くなると推測される。これを補うために骨盤回旋角度を増加させると、体幹、肩甲帶も協同して働き、上肢への

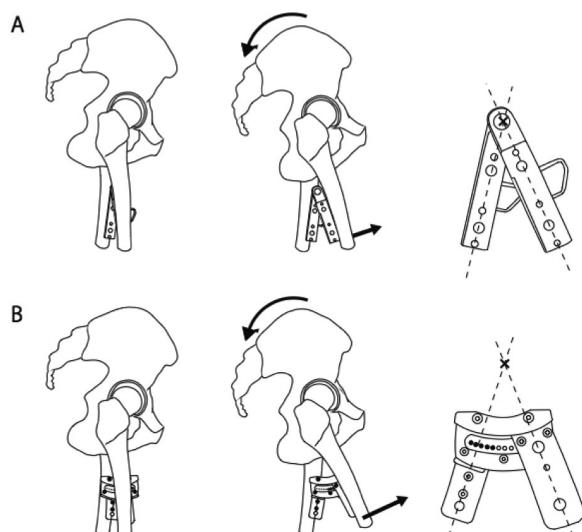


図 3. Walkabout (A) と Primewalk (B) の股継手軸位置の比較

内側股継手付長下肢装具における歩行では、骨盤後傾により股関節前面の軟部組織は伸張し、その応力により下肢が振り出されるが、Walkabout では股継手の位置と解剖学的股関節位置の乖離によって応力が減弱してしまう (A)。Primewalk では股継手位置が解剖学的股関節位置に近く、Walkabout に比べて応力の減弱が少ないため、下肢が振り出しやすくなると考えられる (B)。

負担が大きくなり、効率の悪い歩行となってしまう。歩行効率について、Middleton らは Moorong MLO と Walkabout system での歩行を比較し、Moorong MLO の方がエネルギー消費量は少なかったと述べている⁹⁾。また、Harvey らは、Walkabout system と IRGO での歩行を比較し、physiological cost index と酸素消費量は Walkabout system の方が大きかったと報告している^[20]。股継手位置が解剖学的股関節位置と近いほど歩行効率が高まることを示唆していると考えられる。

今回の習熟期間については、約 1 ヶ月で行えた訓練の頻度が週 1-2 回であり、Primewalk system による歩行において、学習効果としては Walkabout system に比べて十分なものでは無かったかもしれない、短期的な効果かもしれない。この点は今回の研究の限界であり、今後、十分な習熟が成された状態での計測を試みるべきであると考える。さらに、今回の研究において、Primewalk system による歩行訓練が終了したあとに再度 Walkabout system による歩行訓練を行って計測する実験を追加すべきであったかもしれないが、被験者の都合等により Walkabout system での計測を行うのは困難であった。実際、今回の対象者は全例 Primewalk system の方が歩行しやすいと回答し、Walkabout system の継続使用を選択しなかった。

研究実施の上での限界点はあるが、Primewalk は軽量であり、装着によるかさばりが少なく車いすとの併用が可能であり、仮想軸を持つことで股継手位置と解剖学的股関節位置の乖離を減らすなど、従来の対麻痺用下肢装具に比べて優れた点を有するが、装具での歩行は正常歩行に比べれば実用的ではない。実用化に向けて、機能的電気刺激 (functional electrical stimulation; FES) との組み合わせや装具への力源付加^[21] が有用と考えられる。島田らは内側股継手付長下肢装具に FES を組み合わせた hybrid FES system を報告している^[22]。彼らは Walkabout と Primewalk それぞれに FES を組み合わせ、その結果、Primewalk の方が歩行速度は速かったと述べている。

力源を付加するために装具にモーターを取り付ける場合は軽量で操作しやすいものでなければならない。我々は、スライド式内側股継手付長下肢装具の股関節と膝関節を制動するロボットシステムを開発中である。スライド式内側股継手の利点をいかした対麻痺歩行用のロボットが実用化すれば、対麻痺者は医療施設内だけでなく、家庭や社会でも歩行して移動することが可能になり、今後の臨床応用が期待される。

まとめ

Primewalk system は、股継手設置位置上方に仮想軸を設定することにより、Walkabout system と比較して対麻痺患者の立位・歩行効率を高める効果を有していた。

謝辞

本研究に多大なご協力をいただきました株式会社 TIMS の林正康様、東名ブレースの織田幸男様、藤田保健衛生大医療科学部リハビリテーション学科都築晃先生に深謝申し上げます。

文献

- Stefania F. A review of the literature pertaining to KAFOs and HKAFOs for ambulation. *J Prosthet Orthot* 2006; 18: 137-62.
- Mikelberg R, Reid S. Spinal cord lesions and lower extremity bracing: an overview and follow-up study. *Paraplegia* 1981; 19: 379-85.
- Douglas R, Larson PF, D'Ambrosia R, McCall RE. The LSU reciprocation gait orthosis. *Orthopedics* 1983; 6: 834-9.
- Major RE, Stallard J, Rose GK. The dynamics of walking using the hip guidance orthosis (HGO) with crutches. *Prosthet Orthot Int* 1981; 5: 19-22.
- Lotta S, Fiocchi A, Giovannini R, Silvestrin R, Tesio L, Raschi A, et al. Restoration of gait with orthoses in thoracic paraplegia: a multicentric investigation. *Paraplegia*. 1994; 32: 608-15.
- Jefferson RJ, Whittle MW. Performance of three walking orthoses for the paralyzed: a case study using gait analysis. *Prosthet Orthot Int* 1990; 14: 103-10.
- Genda E, Oota K, Suzuki Y, Koyama K, Kasahara T. A new walking orthosis for paraplegics: hip and ankle linkage system. *Prosthet Orthot Int* 2004; 28: 69-74.
- Middleton JW, Sinclair PJ, Smith RM, Davis GM. Postural control during stance in paraplegia: Effects of medially linked versus unlinked knee-ankle-foot orthosis. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 1558-65.
- Middleton JW, Fisher W, Davis GM, Smith RM. A medial linkage orthosis to assist ambulation after spinal cord injury. *Prosthet Orthot Int*. 1998; 22: 258-64.
- 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* 1996; 75: 198- 203.
- Saitoh E, Baba M, Sonoda S, Tomita Y, Suzuki M, Hayashi M. A New Medial Single Hip Joint for Paraplegic Walkers. In: Ueda S, Nakamura R, Ishigami N, editors. 8th World Congress of International Rehabilitation Medicine Association, Bologna: Monduzzi Editore; 1997. p. 1299-1305.
- Thoumie P, Claire G Le, Beillot J, Dassonville J, Chevalier T, Perrouin-Verbe B, et al. Restoration of functional gait in paraplegic patients with the RGO-II hybrid orthosis. A multicenter controlled study. II: Physiological evaluation. *Paraplegia* 1995; 33: 654-9.
- Massucci M, Brunetti G, Piperno R, Betti L, Franceschini M. Walking with the Advanced Reciprocating Gait Orthosis (ARGO) in thoracic paraplegic patients: energy expenditure and cardiorespiratory performance. *Spinal Cord* 1998; 36: 223-7.
- Kunkel CF, Scremin AME, Eisenberg B, Garcia JF, Roberts S, Martinez S. Effect of standing on spasticity, contracture, and osteoporosis in paralyzed males. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 73-8.
- Kaplan P, Gandhabadi B, Goldschmidt J. Calcium balance in paraplegic patients: influence of injury duration

- and ambulation. *Arch Phys Med Rehabil* 1978; 59: 447-50.
16. Messenger N, Rithalia SVS, Bowker P, Ogilvie C. Effects of ambulation on the blood flow in paralysed limbs. *J Biomed Eng* 1989; 27: 70-5.
17. Harvey LA, Smith MB, Davis GM, Engel S. Functional outcomes attained by T9-12 paraplegic patients with the Walkabout and the isocentric reciprocal gait orthoses. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78: 706-11.
18. Middleton JW, Yen JD, Blanch L, Vare, V, Peterson K, Brigden K. Clinical evaluation of a new orthosis, the 'Walkabout', for restoration of functional standing and short distance mobility in spinal paralysed individuals. *Spinal Cord* 1997; 35: 574-9.
19. Harvey LA, Newton-John T, Davis GM, Smith MB, Engel S. A comparison of the attitude of paraplegic individuals to the Walkabout orthosis and the isocentric reciprocal gait orthosis. *Spinal Cord* 1997; 35: 580-94.
20. Harvey LA, Davis GM, Smith MB, Engel S. Energy expenditure during gait using the Walkabout and isocentric reciprocal gait orthosis in persons with paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; 79: 945-9.
21. Sonoda S, Imahori R, Saitoh E, Tomita Y, Domen K, Chino N. Clinical application of the modified medially-mounted motor-driven hip gear joint for paraplegics. *Disabil Rehabil* 2000; 6: 294-7.
22. Shimada Y, Hatakeyama K, Minato T, Matsunaga T, Sato M, Chida S, et al. Hybrid functional electrical stimulation with medial linkage knee-ankle-foot orthosis in complete paraplegics. *Tohoku J Exp Med* 2006; 209: 117-23.