脳性麻痺児における歩行時の効率に対する 空間時間的変数の影響

Influences of Spatio-Temporal Gait Parameters on Walking Efficiency of Children with Cerebral Palsy

木元 稔^{1,2)} 野呂 康子³⁾ 加藤 千鶴¹⁾ 近藤 堅仁¹⁾
中野 博明¹⁾ 松嶋 明子¹⁾ 坂本 仁¹⁾ 佐々木 誠⁴⁾

MINORU KIMOTO^{1,2)}, YASUKO NORO³⁾, CHIZURU KATOU¹⁾, TAKANORI KONDO¹⁾, HIROAKI NAKANO¹⁾,
AKIKO MATSUSHIMA¹⁾, HITOSHI SAKAMOTO¹⁾, MAKOTO SASAKI⁴⁾

¹⁾ Department of Medicine, Akitaken Taiheiryokuen Hospital for Disabled Children: 2-1 Arayashitakawara-machi, Akita 010-1602, Japan. TEL +81 18-863-3451 FAX +81 18-863-2045

²⁾ Health Science, Graduate School of Medicine, Akita University

³⁾ Akita Prefectural Center of Rehabilitation and Psychiatric Medicine

⁴⁾ Course of Physical Therapy, School of Health Sciences, Akita University

Rigakuryoho Kagaku 24(2): 155-159, 2009. Submitted Aug. 25, 2008. Accepted Oct. 21, 2008.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to determine influences of spatio-temporal gait parameters on walking efficiency of children with cerebral palsy. [Subjects] Subjects were 9 children with spastic diplegia who could walk. Mean $\pm$ SD of age was 12.8 ± 3.5 years (range: 7 yrs 5 mo-18 yrs 9 mo). [Methods] We measured gait speed, step length and cadence in 10-m gait as spatio-temporal gait parameters, and pulse rate, walking speed and calculated the Physiological Cost Index (PCI) during 4 min walking as parameters of walking efficiency. Pearson's correlation coefficients were obtained for the spatio-temporal gait parameters and walking efficiency parameters. [Results] No significant correlation was found between the pulse rate during 4 min walking and the spatio-temporal parameters. There were significant positive correlations between walking speed during 4 min walking and 10-m walking speed ($p < 0.05$), and step length in 10-m gait ($p < 0.01$), but no significant correlation was found between walking speed during 4 min walking and cadence in 10-m gait. There were significant negative correlations between PCI and walking speed ($p < 0.01$), and step length in 10-m gait ($p < 0.05$), but no significant correlation was found between PCI and cadence in 10-m gait. [Conclusion] Because walking efficiency was high when walking speed was fast and/or step length was wide, we consider that the factors for high walking efficiency in children with cerebral palsy are fast walking speed and wide step length.

Key words: children with cerebral palsy, walking efficiency, spatio-temporal gait parameters

要旨: [目的] 本研究の目的は、脳性麻痺児における歩行時の効率に対する空間時間的変数の影響を明らかにすることである。[対象] 対象は実用歩行が可能な痙直型両麻痺児（以下、CP児）9名であり、年齢の平均値 $\pm$ 標準偏差は 12.8 ± 3.5 歳（範囲：7歳5ヶ月から18歳9ヶ月）であった。[方法] 空間時間的変数として、10 m歩行時の歩行速度、歩幅、及び歩行率を、歩行時の効率の指標として、4分間歩行中の脈拍数、歩行速度、及びPhysiological Cost Index（以下、PCI）を測定し、Pearsonの相関係数を求めた。[結果] 4分間歩行時脈拍数と空間時間的変数との間には有意な相関が認められなかった。4分間歩行速度と10 m歩行速度（ $p < 0.05$ ）ならびに10 m歩行時歩幅（ $p < 0.01$ ）との間に有意な正の相関があったが、4分間歩行速度と10 m歩行時歩行率との間には有意な相関がなかった。PCIと10 m歩行速度（ $p < 0.01$ ）ならびに10 m歩行時歩幅（ $p < 0.05$ ）との間に有意な負の相関があったが、PCIと10 m歩行時歩行率との間には有意な相関がなかった。[結語] 歩行速度が速いほど、また歩幅が大きいほど、歩行時の効率が高かったため、CP児において歩行時の効率が高くなる条件は、歩行速度が速く歩幅が大きいことであると考えられた。

キーワード: 脳性麻痺児、歩行時の効率、空間時間的変数

I. はじめに

脳性麻痺児（以下、CP児）の社会参加を促す条件の1つとして、歩行能力が高いことが挙げられる。歩行能力の高さは、歩行時に最大運動能力を発揮できるなどの呼吸循環機能が高いこと、脈拍数の増加が少ないまま歩ける、速く歩ける、少ないエネルギー消費で歩けるなどの歩行時の効率が高いこと等が指標となる。CP児の最大酸素摂取量は健常児と比較しても、有意差は認められない¹⁾とされている。そのため、CP児の呼吸循環機能は健常児と同等であると考えられている^{1,2)}。しかし、CP児が健常児と同じ速度で歩いた場合、エネルギー消費は健常児よりも大きい¹⁾ことが示されている。このことからCP児では、歩行時の効率が低下していると考えられる¹⁾。健常児において歩行時の効率は快適速度で最も高く、遅い速度や速い速度では低い³⁾とされている。CP児の場合、トレッドミルを用いて段階的に速度を増加させ歩かせると、酸素摂取量や心拍数の上昇が最も少ない効率的な歩行速度に至ることができず、また多段階に漸増した歩行速度の各々の同一速度で、健常児よりもエネルギー消費が大きい⁴⁾ことが示されている。

歩行速度が遅いCP児⁵⁾が健常児と同等の歩行速度で歩けるようになるには、歩幅の増大や歩行率の増加を図ることが必要である。健常児と同等の速度で比較的長時間歩く場合、過剰なエネルギー消費を伴わないように歩行時の効率を改善することが大切である。しかし、Abelらの報告⁶⁾によると、CP児は歩幅を増大させることが困難であるため、より速い速度で歩行するために歩行率を優位に増加させる。CP児での歩幅が小さく歩行率が高い歩行は、過剰にエネルギーを消費させる可能性がある。我々は、大きい歩幅で歩くことが可能なCP児の場合、任意の歩行速度での歩行を効率的にすることが可能であると予想した。

そこで今回CP児を対象に、空間時間的変数を得るために、快適速度での10 m歩行における歩行時間と歩数を測定し歩行速度、歩幅、及び歩行率を算出した。さらに、歩行時の効率をみるために、快適速度で4分間歩行したときの歩行前・中の脈拍数、歩行距離を測定し、歩行時脈拍数、歩行速度、Physiological Cost Index^{7,8)} (以

下、PCI) を求めた。これにより、CP児の歩行時の効率に対する空間時間的変数の影響について検討し、歩行時の効率を改善させる空間時間的変数を明らかにしたので報告する。

II. 対象及び方法

対象は、平成17年10月～平成18年3月の間に当園で理学療法を実施した実用歩行が可能なCP児で、痙直型両麻痺9名（男7名、女2名）とした。年齢の平均値±標準偏差は12.8±3.5歳（範囲：7歳5ヶ月から18歳9ヶ月）であった。なお、研究に先立ち、全対象者ならびに家族に対し本研究について説明し、同意を得た。

空間時間的変数を得るための10 m歩行における歩行時間と歩数の測定は、16 mの平坦な直線路で行った。直線路の両端に助走区間と追走区間をそれぞれ3 mずつ設け、中間10 mを測定区間とした。歩行速度は快適速度とし、「最も快適な歩行速度で歩いてください」と指示した。歩行は3回練習させ、その後測定を3回行った。歩行時間の測定にはストップウォッチを使用し、同時に歩数を測定した。歩行時間は、測定開始線を越えた1回目の接地でストップウォッチのスタートボタンを押し、測定終了線を越えた1回目の接地でストップボタンを押した。歩数の測定は、測定開始線を越えるときに遊脚相である足が接地してから、測定終了線を越えるときに遊脚相である足が接地するまでの接地回数を数えた。得られた歩行時間と歩数をそれぞれ平均した上で、以下の式に従い歩行速度、歩幅、及び歩行率を算出し、それぞれ10 m歩行速度、10 m歩行時歩幅、及び10 m歩行時歩行率とした。

$$10 \text{ m歩行速度 (m/min)} = 10 \text{ (m)} \div \text{歩行時間 (sec)} \times 60$$

$$10 \text{ m歩行時歩幅 (m)} = 10 \text{ (m)} \div \text{歩数 (steps)}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ m歩行時歩行率 (steps/min)} \\ = \text{歩数 (steps)} \div \text{歩行時間 (sec)} \times 60 \end{aligned}$$

歩行時の効率を求めるための4分間の歩行に先立ち、安静座位での脈拍数を測定した。測定機器として、フィ

¹⁾ 秋田県太平療育園 医療科：秋田県秋田市新屋下川原町2-1（〒010-1602）TEL 018-863-3451 FAX 018-863-2045

²⁾ 秋田大学大学院 医学系研究科保健学専攻

³⁾ 秋田県リハビリテーション・精神医療センター

⁴⁾ 秋田大学 医学部保健学科理学療法学専攻

表1 各パラメータの平均値±標準偏差 (n=9)

空間時間的変数	
10 m 歩行速度	74.9 ± 13.3 m/min
10 m 歩行時歩幅	0.542 ± 0.087 m
10 m 歩行時歩行率	138.9 ± 16.4 steps/min
歩行時の効率	
安静時脈拍数	88.4 ± 10.0 beats/min
4 分間歩行時脈拍数	120.7 ± 13.4 beats/min
4 分間歩行速度	56.7 ± 10.0 m/min
PCI	0.59 ± 0.18 beats/m

PCI: Physiological Cost Index

表2 空間時間的変数と歩行時の効率との相関係数 (r) (n=9)

	空間時間的変数		
	10 m 歩行速度	10 m 歩行時歩幅	10 m 歩行時歩行率
歩行時の効率			
4 分間歩行時脈拍数	-0.231	-0.315	0.110
4 分間歩行速度	0.762*	0.817**	0.010
PCI	-0.804**	-0.729*	-0.196

PCI: Physiological Cost Index

*p<0.05, **p<0.01

ンガークリッププローブ(KONICA MINORUTA, SR-5C)を接続した、メモリ内蔵型のパルスオキシメータ(KONICA MINORUTA, PULSOX®-300i)を使用した。このパルスオキシメータでは測定データが自動的に記録される。データの測定時間を記録するために、パルスオキシメータの内蔵時計とストップウォッチの時計を同期させた。安静座位の開始5分後から7分後まで計2分間の脈拍数を測定し、測定開始時間を記録した。

快適速度で4分間歩行させるために、歩行路として幅1 m, 1周34 mの四辺路(縦10 m, 横7 m)を用い、それに1 m間隔で目盛りをつけた。対象者には、「最も快適な歩行速度で歩いてください」と指示し、裸足で歩行させた。歩行距離の測定は、検者が周回数を数え、また歩行開始から4分後に接地している前方の下肢へ最も近い目盛りを読み取った。歩行開始から4分後までの歩行速度(以下、4分間歩行速度)を算出するために、周回数÷目盛りの値を4分で除した。

歩行時の脈拍数測定は4分間歩行速度の測定と同時にに行った。フィンガークリッププローブを付けた上肢は、原則的に肩関節屈曲0度、肘関節90度の肢位に保持させ、歩行に伴う過剰な揺れを生じさせないようにした。これは、脈拍数が厳密に測定されるようにするためである。

パルスオキシメータの内蔵メモリに記録された脈拍数データをパーソナルコンピュータへ読み込んだ上で、安静座位時に測定した2分間の脈拍数を平均し、安静時脈拍数とした。また、歩行中に測定した歩行開始3分後から4分後までの脈拍数を平均し、4分間歩行時脈拍数とした。PCIは以下の式に従い求めた。

$$\text{PCI (beats/m)} = \frac{\text{4分間歩行時脈拍数} - \text{安静時脈拍数 (beats/min)}}{\text{4分間歩行速度 (m/min)}}$$

統計処理は、空間時間的変数の指標である10 m歩行速度、10 m歩行時歩幅、及び10 m歩行時歩行率と、歩行時の効率の指標である4分間歩行時脈拍数、4分間歩行速度、及びPCIとのPearsonの相関係数を求めた。有意水準は0.05未満とした。

III. 結 果

空間時間的変数と歩行時の効率の各パラメータの平均値と標準偏差を表1、空間時間的変数と歩行時の効率との相関係数を表2に示した。

4分間歩行時脈拍数とそれぞれの空間時間的変数との関連をみてみると、有意な相関は認められなかった。

表3 健常児の空間時間的変数と歩行時の効率

Abel ら ⁶⁾		
n	10 名	
年齢	10.5 ± 2.5 （5 から 14） 歳	
空間時間的変数		
歩行速度	66.6 m/min	
歩幅	0.540 m	
歩行率	123 steps/min	
Nene ら ⁹⁾		
	男児	女児
n	30 名	24 名
年齢	11 歳 3ヶ月から 15 歳 8ヶ月	
歩行時の効率		
安静時脈拍数	80.5 beats/min	87.0 beats/min
歩行時脈拍数	105.5 beats/min	115.9 beats/min
歩行速度	75.6 m/min	
PCI	0.35 beats/m	

PCI: Physiological Cost Index

4分間歩行速度については、10 m歩行速度 ($p<0.05$) ならびに 10 m歩行時歩幅 ($p<0.01$) との間に有意な正の相関が認められたが、10 m歩行時歩行率との間には有意な相関が認められなかった。PCIについては、10 m歩行速度 ($p<0.01$) ならびに 10 m歩行時歩幅 ($p<0.05$) との間に有意な負の相関が認められたが、10 m歩行時歩行率との間には有意な相関が認められなかった。

IV. 考 察

今回の研究ではCP児を対象に、空間時間的変数として、10 m歩行時の歩行速度、歩幅、及び歩行率を測定した。さらに、歩行時の効率の指標として、比較的長時間の歩行における脈拍数、歩行速度、及びPCIを測定した。これにより、CP児の歩行時の効率に対する空間時間的変数の影響について明らかにしようと試みた。

Abelらの報告⁶⁾によると、健常児の歩行速度、歩幅、及び歩行率はそれぞれ66.6 m/min, 0.540 m, 及び123 steps/minである(表3)。これらのデータと比較すると、今回のCP児では歩幅がほぼ同等であったが、歩行率が多く、歩行速度が速い歩行であった。また、健常児のPCIを研究したNeneの報告⁹⁾によると、男児と女児の安静時脈拍数はそれぞれ80.5 beats/min, 87.0 beats/min, 歩行時脈拍数はそれぞれ105.5 beats/min, 115.9 beats/minであり、歩行速度が75.6 m/min, PCIが0.35 beats/mである(表3)。これらのデータと比較すると今回のCP児は、安静時脈

拍数がほぼ同等であったが、4分間歩行速度が遅く、一方、エネルギー消費を反映する4分間歩行時脈拍数やPCIは高値であった。このことから、CP児は比較的長時間での歩行速度が遅く、また過剰にエネルギーを消費するため、歩行時の効率が低いと考えられた。

今回の結果では、直線路での10 mの歩行速度と四辺路での4分間歩行速度が異なるため、歩行路の違いや歩行の持続時間がそれぞれの歩行速度に影響を与えた可能性がある。しかし、直線路での歩行から算出した歩行速度と四辺路での歩行から算出した4分間歩行速度との関係をみてみると、有意な正の相関を示した。この結果は、直線路での歩行速度が速いCP児は、四辺路で行った比較的長時間の歩行においても歩行速度が速いことを示す。したがって、歩行速度の相違は、直線路と異なり四辺路で必要となる角を曲がる応用的歩行能力の個人差による影響が少なく、歩行の持続時間による対象者全員の歩行持久性の影響が大きいと考えられた。

4分間歩行時脈拍数とそれぞれの空間時間的変数との関連をみてみると、有意な相関は認められなかった。健常成人や健常児では、歩行速度が増大するとともに歩行時のエネルギー消費は増大する³⁾とされている。また、健常成人を一定の速度で強制的に歩行率を変えて、つまり歩幅を変化させて歩かせると、自然歩行時と比べ歩行率が多くなっても、少なくなっても酸素消費量は増加する¹⁰⁾と報告されている。しかし、CP児は、よ

り速い速度で歩行するために歩幅を増大させることが困難であり⁹⁾、さらに、健常児と比較して一定の歩行速度におけるエネルギー消費に、かなりの変動がある⁴⁾ことが示されている。今回のCP児は10 m歩行速度が速いほど、また10 m歩行時歩幅が大きいほど4分間歩行速度が速かった。しかし、歩行時のエネルギー消費を反映する4分間歩行時脈拍数と10 m歩行速度や10 m歩行時歩幅との間にはそれぞれ有意な相関が認められなかった。これらのことから、より大きい歩幅で歩くことが可能なCP児は、運動強度が高いとされる歩行速度が速い歩行でも、過剰にエネルギーを消費せずに歩行できる可能性があると考えられた。

この可能性は、PCIの結果からも示唆されるものである。PCIとそれぞれの空間時間的変数との相関関係をみてみると、PCIは10 m歩行速度や10 m歩行時歩幅と有意な負の相関を示した。これは、歩行速度や歩幅が増大するとともに、歩行時の効率を示すPCIが低くなることを示す。今回のように4分間歩行時脈拍数が10 m歩行速度、10 m歩行時歩幅、及び10 m歩行時歩行率に影響されない場合、PCIの算出式から考えて、4分間歩行速度が速いCP児ほどPCIは低くなる。つまり、歩幅が大きく歩行速度が速いCP児は、歩行時の効率が高いと考えられた。

以上から、今回のCP児は比較的長時間での歩行において歩行速度が遅く、また過剰にエネルギーを消費するため歩行時の効率が低かった。しかし、快適速度での歩行において歩幅がより大きいCP児は、比較的長時間の歩行において、過剰なエネルギー消費を伴わず歩行速度が速くなり、歩行時の効率が高いと考えられた。

したがって、CP児では歩幅を大きくすることにより、歩行速度を速くし、歩行時の効率の改善に役立つと推察された。

引用文献

- 1) 石田千佳子：脳性麻痺児の有酸素運動能に関する研究。日児誌, 1993, **97**(5): 1203-1210.
- 2) Tobimatsu Y, Nakamura R, Kusano S, et al.: Cardiorespiratory endurance in people with cerebral palsy measured using an arm ergometer. Arch Phys Med Rehabil, 1998, **79**(8): 991-993.
- 3) Rose J, Gamble JG, Lee J, et al.: The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. J Pediatr Orthop, 1991, **11**(5): 571-578.
- 4) Rose J, Gamble JG, Burgos A, et al.: Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 1990, **32**(4): 333-340.
- 5) Norlin R, Odenrick P: Development of gait in spastic children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 1986, **6**(6): 674-680.
- 6) Abel MF, Damiano DL: Strategies for increasing walking speed in diplegic cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 1996, **16**(6): 753-758.
- 7) Macgregor J: The objective measurement of physical performance with long-term ambulatory physiological surveillance equipment (L.A.P.S.E.). Proceedings of 3rd International Symposium on Ambulatory Monitoring. Academic Press, London, 1979, pp29-39.
- 8) Bailey MJ, Ratcliffe CM: Reliability of physiological cost index measurements in walking normal subjects using steady-state, non-steady-state and post-exercise heart rate recording. Physiotherapy, 1995, **81**(10): 618-623.
- 9) Nene AV: Physiological cost index of walking in able-bodied adolescents and adults. Clin Rehabil, 1993, **7**(4): 319-326.
- 10) 大道 等: 歩行の運動分析. J J Sports Sci, 1984, **3**(8): 573-588.