

〔短報〕

## 肢体不自由児の車いす歩・走行時の頭部運動と視線

齋藤 健治<sup>1</sup>, 松浦 孝明<sup>2</sup>

### 要 旨

癩直型脳性まひによる肢体不自由児（CP）一名の車いす歩・走行時の頭部運動と視線を、上肢運動と眼球運動に問題がない二分脊椎による肢体不自由児（SB）一名を比較対象として調べた。頭部運動は三軸まわりの角速度を計測できるモーションセンサを用いて、視線はゴーグル型のアイマークレコーダーを用いて計測した。二人の実験参加者には、車いす歩行、車いす走行、ゴール地点に置いた視標を見ながらの走行、2.5 m間隔で置いたコーンをくぐるスラローム走行を行ってもらった。車いす歩行、走行時のCPの頭部運動と視線の散らばりは、SBのそれらより倍以上大きかったが、視標を見ながらの走行とスラローム走行では、CPとSBは同程度の大きさであった。つまり、視覚情報を与えることで、CPの頭部運動と視線運動はSBのそれと同程度に好転した。

キーワード：脳性まひ、二分脊椎症、アイカメラ、角速度、視線

### はじめに

脳性まひによる肢体不自由児は運動・姿勢障害を有するだけでなく、嚙下、呼吸、聴覚、さらに視覚・視知覚障害などの合併症を抱えていることが多いといわれる [11]。つまり、立位でバランスをとる、歩く、走るなどの基本的な運動をはじめとした多くの運動・姿勢保持に障害を有する上に、斜視、視力、視野、滑動性眼球運動、視空間無視、眼振などの視覚に障害を持つことが少なくない [1]。癩直型脳性まひの

場合は、大脳皮質運動野だけでなく視覚野にも損傷が及んでいることから、図地知覚障害 [10] や、形態・空間知覚の障害といった視知覚障害も併発していることが多い [4]。このような脳性まひ児の視知覚障害は、視力には問題がなくても「見えにくさ」が原因で、学習内容の習得に時間がかかるといわれている [9]。

一方、肢体不自由をとまなう脳性まひ児は移動のためには車いすを必要とするが、頸部、体幹、四肢のまひ、癩性、不随意運動の程度は千差万別であるため、それらの度合いに応じて車

1 名古屋学院大学スポーツ健康学部

2 筑波大学附属桐が丘特別支援学校

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 18 January, 2018

Accepted 25 January, 2018

いすを利用することになる [13, 15]。ただし、比較的姿勢保持能力のある場合は、ヘッドレストやリクライニングを必要としないため、マニュアルでの車いす駆動にもなって頭部の運動も生じやすくなる。脳性まひ児は、静止座位においても頭部運動の安定性に欠けるという報告があり [14]、車いす移動時にはさらに頭部の安定性が悪化し、移動の障害になることが予想される。

本研究では、脳性まひによる肢体不自由児の車いす歩行、走行時の頭部動揺と視線について計測することを目的とした。

## 方法

### 1. 実験参加者

対象は、筑波大学附属桐が丘特別支援学校(肢体不自由)に在学する痙直型脳性まひ児1名(男性, 17歳, 以下CP)と, Maples et al. [6], Maples [7] によるNSUCO (Northeastern State University, College of Optometry) 眼球運動検査の年齢別標準化得点を基準に, 眼球運動が正常であると判断された二分脊椎児1名(男性, 17歳, 以下SB)であった。2名とも知的障害をとまわず (WISC-III 知能検査の全検査IQが75以上かつ言語性IQが85以上), 教科学習を進める教育課程クラスに所属していた(表1)。実験に際して, 参加者および保護者に, 検査結果を含む個人情報の保護を保障すること, 得られた結果は研究以外に使用しない

ことを口頭および書面にて説明し, 同意を得た。また事前に, 筑波大学附属桐が丘特別支援学校の管理職教員を中心とした委員会, さらに, 名古屋学院大学医学研究倫理委員会の承認も得た(承認番号2014-001)。

### 2. 眼球運動計測および頭部の運動計測

眼球運動計測には, nac社製アイマークレコーダー (EMR-9, 以下アイカメラ) を用いた。アイカメラはキャップ付きゴーグル型で実験参加者にキャップをかぶってもらい, 試技を実施した。アイカメラの撮影速度は60 fps, 視野カメラの測定範囲は水平±40 deg, 垂直±20 deg, 分解能は約0.1 deg, 眼球カメラの測定範囲は水平±22 deg, 垂直±16 deg, 分解能は約0.1 degであった。

頭部の運動(角速度)計測は, モーションセンサ(ロジカルプロダクト社製, 小型9軸ワイヤレスモーションセンサ16 G, 1500 dps)を, アイカメラ用キャップのつばの部分に, 左右方向がx軸, 前後方向がy軸, 上下方向がz軸になるように装着して行った(図1)。

表1 対象の脳性まひ児と二分脊椎児の障害部位等

脳性まひ児 (CP)	17歳, 男性, 痙直型四肢体幹機能障害(1500 g未満, PVL所見あり) 右外斜視, WISC-III VIQ: 121, PIQ: 54, TIQ: 88
二分脊椎児 (SB)	17歳, 男性, 対まひ(腰椎上部の脊髓損傷) 右間欠性外斜視, WISC-III VIQ: 106, PIQ: 82, TIQ: 98

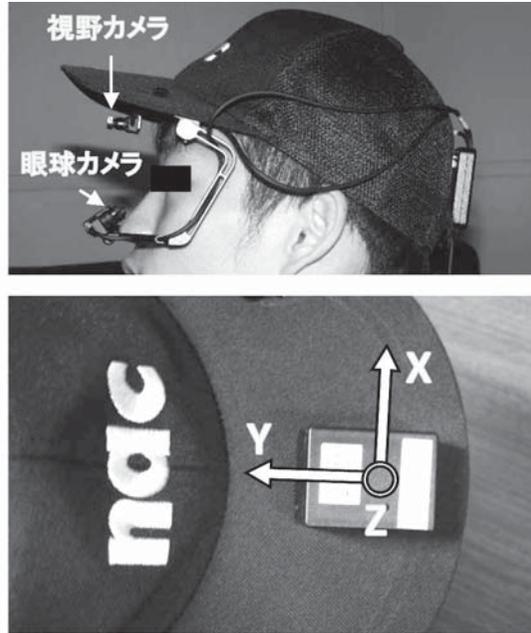


図1 アイカメラ装着図（上）とアイカメラ用キャップのつばに装着したモーションセンサ（下）。

### 3. 実験試技

実験参加者には、次の4種の試技、

- a. 10 mの直線コースを通常のスピードで車いす歩行、
  - b. 同じコースをできるだけ速く車いす走行、
  - c. 同じコースの目標地点に視標を設置し、この視標を見ながらbと同じ条件で走行、
  - d. 2.5 m間隔で並べた4個のコーンをくぐるスラローム歩行、
- を行ってもらった。

### 4. 分析

モーションセンサにより計測したそれぞれ  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸まわりの角速度（それぞれ  $AV_x$ ,  $AV_y$ ,  $AV_z$ ）と、それらから合成した角速度（合成  $AV$ ）およびその平均値を求めた。

アイカメラ（眼球カメラ）により計測したアイマーク座標（画素数  $640 \times 480$ ）から、視角

を算出した。算出される眼球カメラの測定範囲は水平  $\pm 22 \text{ deg}$ 、垂直  $\pm 16 \text{ deg}$ 、分解能は約  $0.1 \text{ deg}$  であった。

### 結果

#### 1. 歩・走行時の頭部の運動について

車いす歩行の場合のスピードはCPが約  $0.6 \text{ m/s}$ 、SBが約  $1.0 \text{ m/s}$ 、走行の場合のスピードはCP、SBともに約  $1.7 \text{ m/s}$  であった。スラローム走行ではその走行時間がCPは約  $19 \text{ s}$ 、SBは約  $10 \text{ s}$  であった。

以下では、頭部の各軸まわりの角速度を  $AV_x$ — $AV_y$  平面、 $AV_x$ — $AV_z$  平面、 $AV_y$ — $AV_z$  平面で、合成角速度を時系列波形で示す。

図2にCPとSBが車いす歩行したときの頭部角速度を示す。SBに比してCPの方がすべての方向で角速度が大きかった。両者ともに  $AV_x$

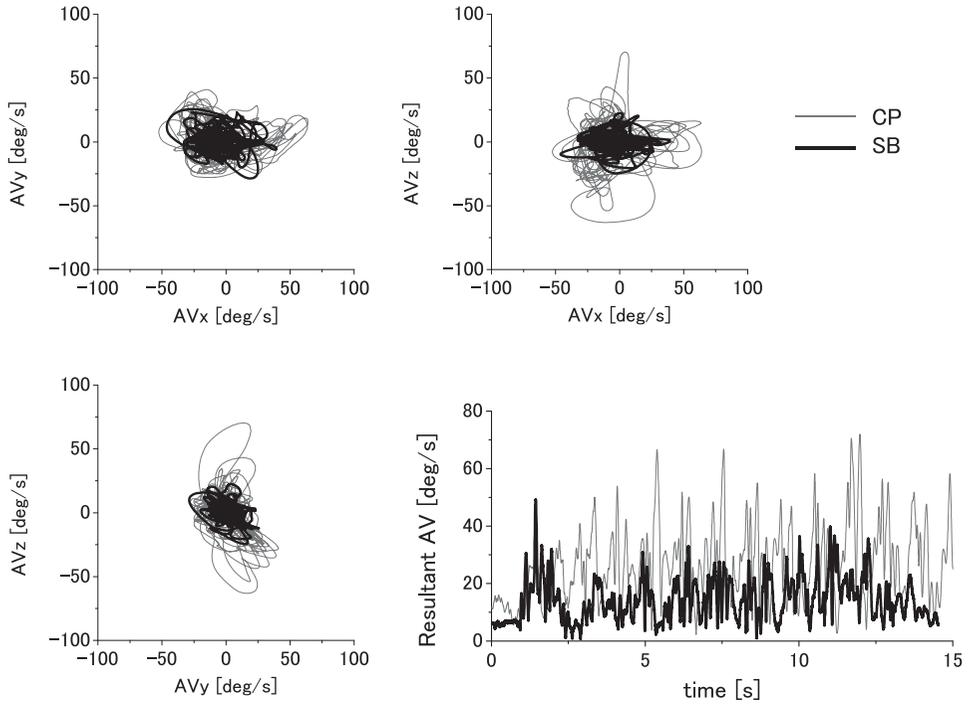


図2 参加者CPおよびSBが車いす歩行したときの頭部運動の角速度。

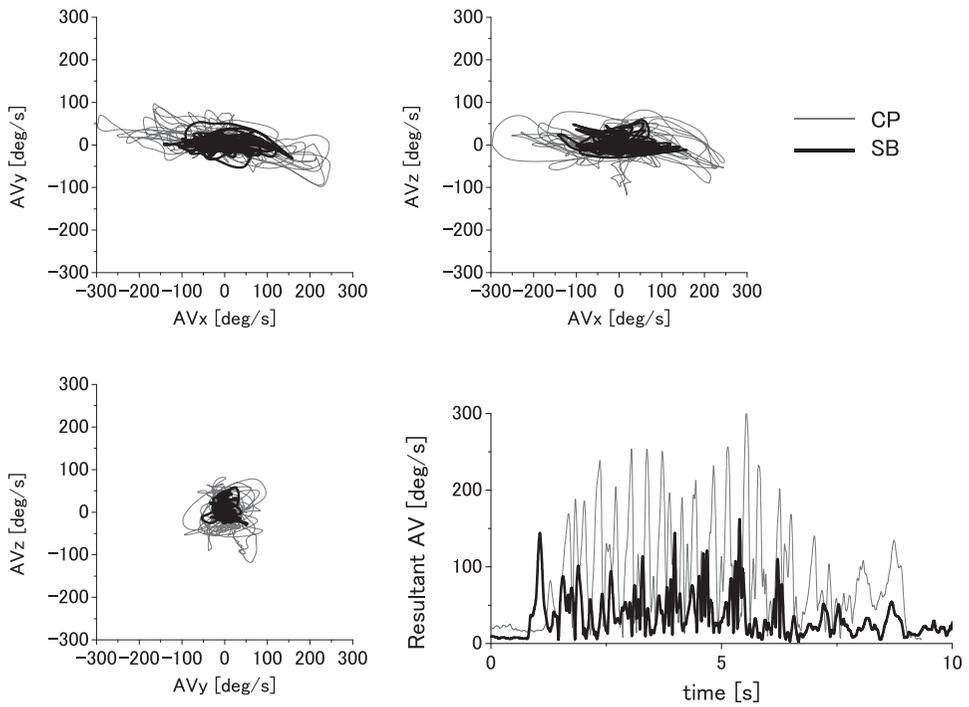


図3 参加者CPおよびSBが車いす走行したときの頭部運動の角速度。

肢体不自由児の車いす歩・走行時の頭部運動と視線

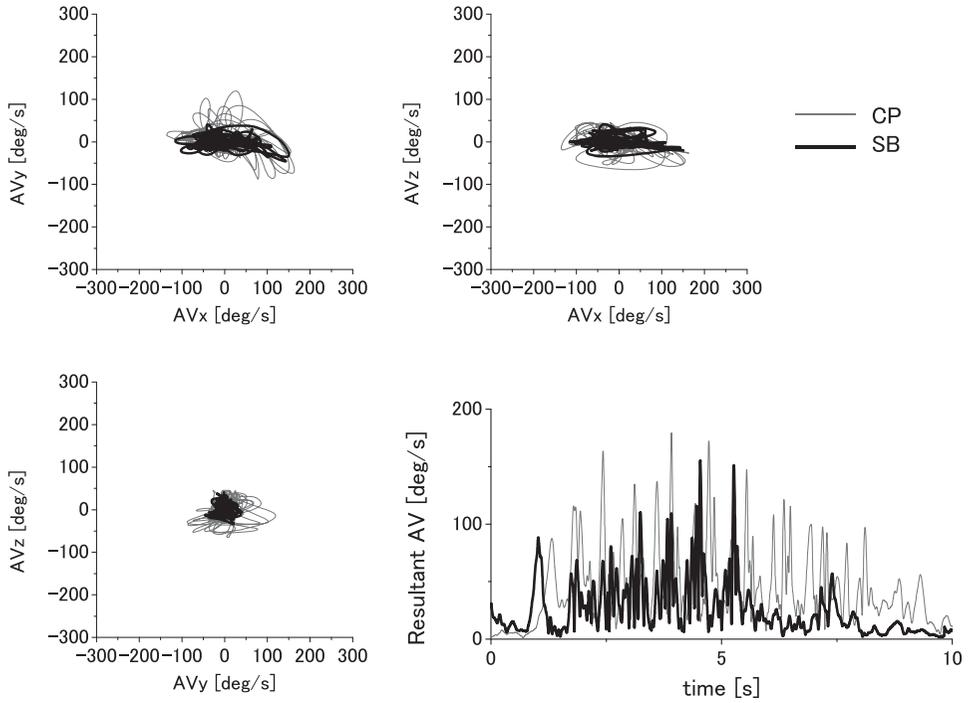


図4 参加者CPおよびSBが視標を見ながら車いす歩行したときの頭部運動の角速度.

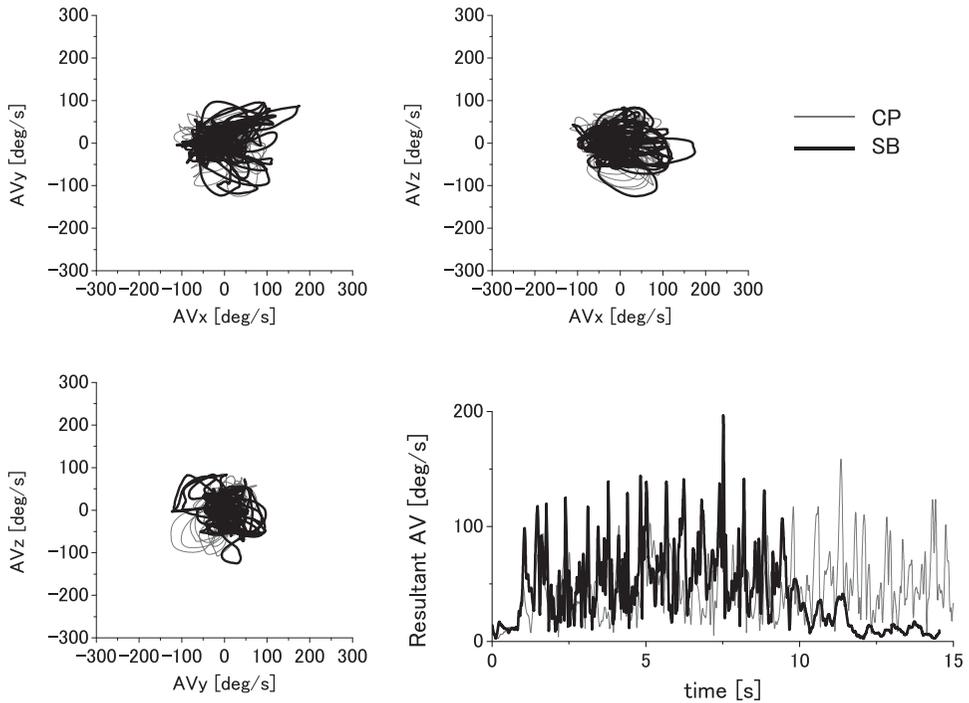


図5 参加者CPおよびSBがスラローム走行したときの頭部運動の角速度.

表2 車いす各歩走行時の頭部運動角速度 [deg/s] の平均

実験参加者	CP				SB			
角速度	AVx	AVy	AVz	Resultant AV	AVx	AVy	AVz	Resultant AV
歩行	16.4	9.5	11.0	25.1	10.4	5.3	4.9	14.5
走行	60.9	23.2	22.6	85.9	27.8	8.0	11.7	34.8
走行(視標あり)	25.0	11.1	11.0	29.9	19.9	7.0	6.2	26.0
スラローム	29.1	20.6	22.5	47.3	23.9	17.7	20.2	46.5

が大きい、CPのAVzがSBのそれよりも倍以上大きいのが特徴的であった。合成角速度の平均値はSBが14.5 deg/sであるのに対し、CPが25.1 deg/sでCPが約1.7倍であった(表2)

図3にCPとSBが車いす走行したときの頭部角速度を示す。車いすのスピードを上げるために駆動動作が強くなる影響で、とくに上下方向に頭を振る運動(AVx)が顕著になった。合成角速度は、CPは歩行時の3.4倍、SBは約2.4倍、CPはSBの2.5倍となった。しかし、このような頭部の運動は、視標を設置することでCPは約35%に、SBは約75%に抑えられ、結果として両者の差はかなり小さくなった(図4,表2)。

図5にCPとSBがスラローム走行したときの頭部角速度を示す。走行時間はCPの方が倍近くかかっているが、頭部の運動だけで見ると両者にほとんど差はなくなった(表2)。

## 2. 歩・走行時の視線について

図6に、CPとSBが車いす(a)歩行、(b)走行、(c)視標を見ながらの走行、および(d)スラローム走行したときの左眼の視線の時系列を、図7に左眼のアイマーク座標を示す。歩行、走行では、SBの視線が比較的一定の範囲内(水平・垂直約10度)に収まっているのに対し、CPの視線は不規則に散らばった(水平15度以上、垂直30度以上)。ここでは、視線が眼球カメラ

の測定範囲から外れることも多かった。しかしながら、視標あり走行とスラローム走行では、CPもSBと同程度の範囲(水平約10度、垂直約20度、および水平約40度、垂直約20度)に視線が近づいた。

## 考察

本研究では、知的障害も視覚障害もともなわれない、脳性まひによる肢体不自由児(CP)と二分脊椎(SB)による肢体不自由児を実験参加者とした。表1に示すように、SBは脊髄損傷レベルが腰椎上部(Hoffer分類でnon-functional ambulator) [2] の対まひであるために、上肢駆動による車いすの歩・走行にはほとんど困難をともなわない実験参加者であった。さらにCPと同様の学習環境下に身を置いて、車いす生活を送っているという点で、四肢まひであるCPの車いす歩・走行時の頭部動揺および視線との比較対象とすることに問題はなかったといえる。

CPの車いす歩・走行時の頭部運動角速度は、SBと比べて歩行で概ね倍近く、走行で倍以上の大きさであった。静的座位状態でも脳性まひ児は頭部の安定性が欠如するといわれることから [14]、スピードの遅い車いす歩行でも、頭部の運動(動揺)が起こることは想定される。

肢体不自由児の車いす歩・走行時の頭部運動と視線

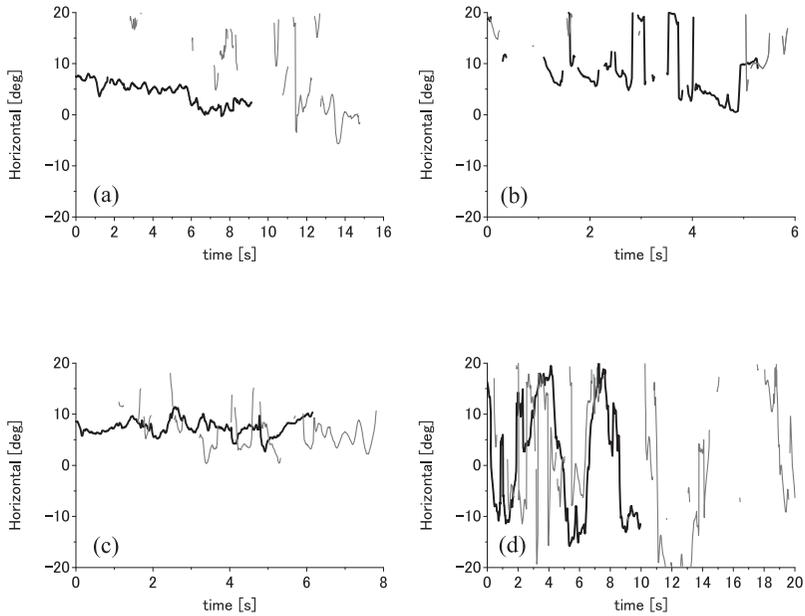


図6 参加者CPおよびSBが車いすによる (a) 歩行, (b) 走行, (c) 視標を見ながらの走行および (d) スラローム走行した時の左眼視線の水平成分. 淡い線はCP, 濃い線はSB.

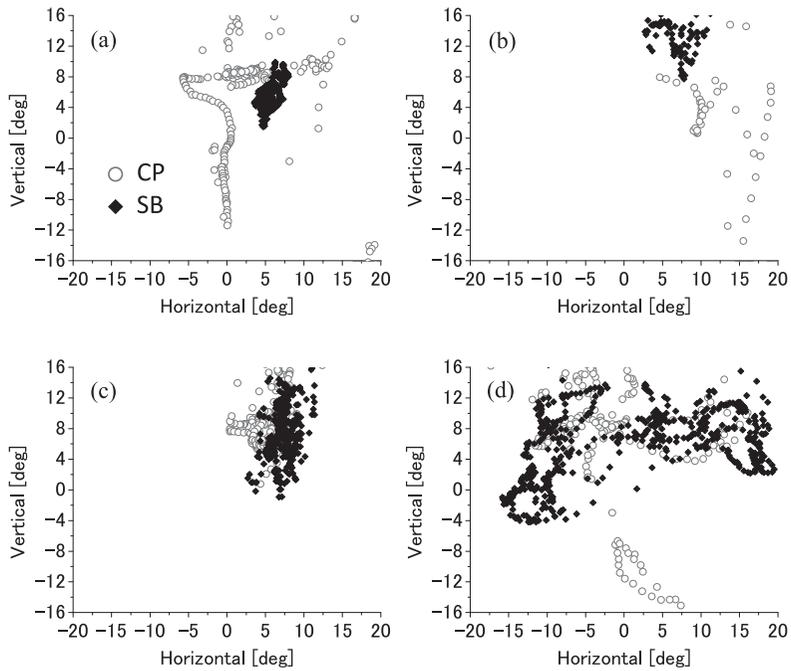


図7 参加者CPおよびSBが車いすによる (a) 歩行, (b) 走行, (c) 視標を見ながらの走行および (d) スラローム走行した時の左眼視線. ○はCP, ◆はSB.

また、同程度の走行スピードであっても、車いす駆動運動にともなう、頭部の運動はCPの方がかなり大きく、車いす走行に余裕がないことがうかがえる。視線のデータを見ても、CPの視線の方が散らばる範囲が広く、これは、単純に頭部の運動の影響が視線に出ていると考えられる。また、視線の測定範囲は水平±22度、垂直±16度であるため、図6、7には反映されていないが、CPの視線はこの範囲を逸脱することが多かった。それに比して、SBの視線の散らばりの範囲は明らかにCPより小さく、頭部および視線の安定性が顕著である。ただし、視線からそのまま視覚認知を判定することは困難であること、頭部の回転運動による前庭動眼反射（代償性眼球運動）が生じていると考えられるが[12]、今回の計測ではそれを確認識別することができなかったことなど、今後、実験条件や計測法の工夫は必要である。

石濱[3]は、車いす駆動より負荷強度が小さく、巧緻性を要求される運動において、脳性まひ児では固有感覚情報のみに依存するより、視覚情報を利用して巧緻運動を行った方が課題成績が低下したと報告している。本研究では目標（視標）を設定することにより、つまり視覚情報を与えることによりCPの頭部運動角速度と視線の散らばりが、SBと同程度まで小さくなった。スラローム走行でも同様に、視標となるコーンを見ながら、つまり視覚情報がある中での車いす走行となり[5]、頭部運動の角速度と視線の散らばりはCPとSBで同程度となった。本研究では、車いす走行を評価する何らかの成績を求めているわけではないため、車いす走行パフォーマンスの低下・向上については言及できない。しかしながら、CPの計測値が、上肢による車いす駆動と眼球運動に優れているSBのそれに近づいたという結果から、視覚情

報がCPの車いす駆動運動を好転させたと考えられることもできる。これは、条件は異なるとはいえ、視覚情報を与えることにより課題成績が低下したとする石濱の報告とは逆の結果ではあるが、視覚情報の提示が姿勢の安定を引き起こしたことで、手指の運動ほど巧緻性が求められないことなどが、この違いの原因の一端になったと考えられる。これらは、異種感覚統合の問題[3]、あるいはより困難度が高い課題が与えられたときの眼と手の協調性の問題ととらえることもでき[8]、今後の研究課題としたい。

## 謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（基盤研究C）の助成（JSPS科研費JP25350711）を受けて行われた研究の一部である。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] Ferziger, N. B., Nemet, P., Brezner, A., Feldman, R., Galili, G. and Zivotofsky, A. Z. (2011) Visual assessment in children with cerebral palsy: implementation of a functional questionnaire, *Develop. Med. Child Neurol.*, 53: 422-428.
- [2] 芳賀信彦 (2009) 二分脊椎児に対するリハビリテーションの現況, *Jpn. J. Rehabil. Med.*, 46: 711-720.
- [3] 石濱裕規 (1999) 脳性まひ者の運動制御における視覚情報と固有感覚情報の役割, *理学療法科学*, 14(2): 47-53.
- [4] 小枝達也 (1995) 未熟児脳性麻痺における認知障害, *リハビリテーション医学*, 32(9): 594-598.
- [5] Land, M. F. and Lee, D. N. (1994) Where we look when we steer, *Nature*, 369: 742-743.

- [6] Maples, W. C., Atchley, J. and Ficklin, T. (1992) Northeastern state university college of optometry's oculomotor norms, *J. Behav. Optomet.*, 3: 143-150.
- [7] Maples, W. C. (1995) NSUCO Oculomotor Test, Northeastern state university college of optometry.
- [8] 宮代信夫・横溝克巳(1989) 眼球運動の時間構造からみた両手動作の眼と手の協調性について, *人間工学*, 25(2): 101-107.
- [9] 永山悦子(2012) 肢体不自由児の「見る力」を高める指導の工夫—自立活動における視知覚機能の向上を目指した取り組みを通して—, *沖縄県立総合教育センター前期長期研修員第52集研究集録*: 1-10.
- [10] 中司利一・小川義博・藤田和弘(1971) 脳性まひ幼児の図地知覚障害に関する研究, *特殊教育研究*, 9: 35-45.
- [11] 日本リハビリテーション医学会(2014) 脳性麻痺リハビリテーションガイドライン(第2版), 金原出版.
- [12] 大野健彦(2002) 視線から何がわかるか—視線測定に基づく高次認知処理の解明, *Cognitive Studies*, 9(4): 565-579.
- [13] Rodby-Bousquet, E., Paleg, G., Casey, J., Wizert, A. and Livingstone, R. (2016) Physical risk factors influencing wheeled mobility in children with cerebral palsy: a cross-sectional study, *BMC Pediatrics*, 16: 165-172.
- [14] Saavedra, S., Woollacott, M. and van Donkelaar, P. (2010) Head stability during quiet sitting in children with cerebral palsy: effect of vision and trunk support, *Exp. Brain Res.*, 201: 13-23.
- [15] 繁成 剛・有菌秀昭(1993) 脳性麻痺児・者に対する車椅子処方の現状と問題点, *日本義肢装具学会誌*, 9(2): 135-141.

[Short Report]

## Head and eye movement of physically challenged children while moving with wheelchairs

Kenji Saitou<sup>1</sup>, Takaaki Matsuura<sup>2</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to clarify the characteristics of head and eye movement of a physically challenged child with spastic cerebral palsy (CP) during walking and running using with wheelchair, by comparing with that of a physically challenged child with spina bifida (SB). The head movements of participants were measured with a motion sensor for measuring angular velocities about tri-axes, and the eye movements of them were measured with eye-tracking systems. Two participants of this study tried four types of trials with wheelchair, such as walking, running, running with gazing at target, and the slalom through the cones placed at 2.5 m interval. The magnitude of head and eye movement of CP during walking and running with wheelchair were more than twice those of SB, while those of CP and SB during running with target and slalom were about the same magnitude. From these results, it is considered that the head and eye movement of CP were improved to the same extent as those of SB by visually information.

**Keywords:** cerebral palsy, spina bifida, eye tracking system, angular velocity, eye movement

---

1 Faculty of Health and Sports, Nagoya Gakuin University

2 Special Needs for Education School for the Physically Challenged, University of Tsukuba