

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：33912

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350711

研究課題名(和文) 肢体不自由児の生活・学習活動の改善に資する視線活動分析

研究課題名(英文) Analysis of eye movement for contributing to improvement of learning and daily living of physically challenged children

研究代表者

齋藤 健治 (SAITOU, Kenji)

名古屋学院大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：70336105

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：脳性麻痺による肢体不自由児は、眼を動かすことも不得手であることから日常生活や学習に支障を来しているといわれる。そこで、アイカメラを用いて肢体不自由児(15～18歳)の眼の動きを計測した。物を見つめる・追視する時に、眼の動きすなわち視線に次の様な特徴が観察された。それは、視線が無意識のうちに見つめている点からずれたり無関係な位置に跳んだりする、滑らかな眼の動きが必要なときに視線が跳ぶ、見るべき点に到達しない、適切な視線の跳びができないなどであった。

研究成果の概要(英文)：Physically challenged children due to the cerebral palsy are interfered with learning and daily living because it is hard for them to regulate not only movement of their body and limbs but also eye movement. Then, the eye-movement or the visual line of physically challenged children during reading and tracing objects were measured with eye camera. As the results, the following characteristics were observed when the children stared at the objects or chased the moving objects with eyes. First, their visual line deviated unconsciously from the point at where they stared. Second, when they should move their eye smoothly to chase an object, their visual line often jumped to the point which they didn't need to look at. On the contrary, there were the cases that their visual line couldn't move to the point which they should look at. Third, they couldn't jump their visual line to the point which they should look at.

研究分野：バイオメカニクス、機能解剖学

キーワード：眼球運動 肢体不自由児 アイカメラ 見る力 サッカード パースト 固視 手と眼の協調

1. 研究開始当初の背景

脳性麻痺による肢体不自由児は、視力が劣っていないくても、それ以外の視機能が劣ることが原因で、学習・運動活動にさまざまな支障をきたしていることが指摘されている¹⁻³⁾。とくに、痙直型脳性麻痺の場合は視覚系にも障害が及ぶ場合が少なくなく、視覚を十分活用できないことや視覚認知の発達の異常が原因で、文字の弁別や認知が難しい場合がある²⁾。奥村・若宮³⁾は、そのようなケースを「見る力が弱い」と定義し、視力以外に、視野、調節、両眼視、眼球運動などの視機能全般から支援の方策を見つけていくことの重要性を指摘している。

2. 研究の目的

本研究は、上記の方策の開発も視野に入れながら、脳性麻痺による肢体不自由児の眼球運動の特徴を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験参加者

実験参加者は、知的障害をともしない脳性麻痺による痙直型肢体不自由児(15~18歳)6名(うち右外斜視4名)、二分脊椎症(脊椎疾患)による肢体不自由児(17歳男児)1名であった。実験参加者には、あらかじめ実験内容について説明し、承諾を得た。なお、本研究は名古屋学院大学医学研究倫理委員会の承認を得た(承認番号2014-001)。

(2) 眼球運動計測

アイカメラ

眼球運動計測には、nac社製アイマークレコーダー(帽子型EMR-9、以下アイカメラ)を用いた。アイカメラの撮影周波数は60Hz、測定範囲の解像度は水平640×垂直480、測定範囲の角度は水平±62deg、垂直±20deg、分解能は0.1degであった。

実験試技

NSUCO(Nova Southeastern University, College of Optometry)⁴⁾の眼球運動テストをベースにした、コンピュータモニタ上の視標を追視するテストを行った。コンピュータモニタ(53×30cm)上に提示される視標は直径1cmの円形で、その視標を追視することで目標とする眼球運動を誘発できるようにプログラムした。実験参加者は車いすに座ったままあご台にあごを載せ、眼前60cmに設置されたコンピュータモニタに正対した。この状態でキャリブレーションを行い、次いで上記プログラムを用いて、以下に示すような試技を参加者に実施してもらった。

a. 固視：モニタ中央で停止したままの円形視標を約20秒間注視する。

b. サッカード：3秒間隔で、左右30cm間隔をジャンプする円形視標を追視する。

c. パースト：直径27cmの円周を50deg/sで移動する視標を追視する。

d. 指さしサッカード：と同じ視標を、利き側の指で指さしながら追視する。

e. 指さしパースト：と同じ視標を、利き側の指で指さしながら追視する。

4. 研究成果

以下では、二分脊椎症児1名(以下の図のa)、痙直型肢体不自由児3名(うち右外斜視2名、以下の図のc、d)の左眼についての計測結果を示す。

固視

図1に、約20s間(aのみ約14秒間)の固視時に視野カメラ内で記録されたアイマークの座標[pixel]を示す。水平方向の眼球運動の標準偏差は(a)0.38deg、(b)0.37deg、(c)0.49deg、(d)2.49deg、垂直方向のそれは(a)0.38deg、(b)0.83deg、(c)0.25deg、(d)1.99degであった。

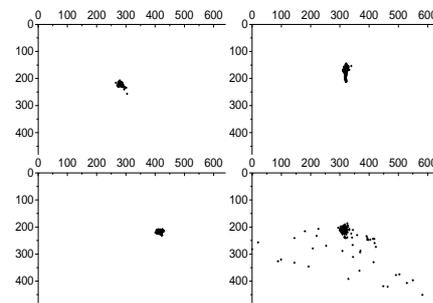


図1 実験参加者4名の固視時の視野カメラ内(640×480pix)における左眼アイマーク分布。上段左から(a)、(b)、下段左から(c)、(d)。

図2に、固視中の水平方向の左眼球運動角度[deg]の時系列を示す。cでは、振幅0.5~1.5deg、緩徐相1~2deg/s、急速相30~80deg/sの眼振が見られた。

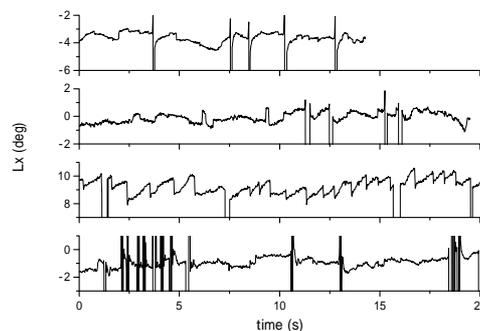


図2 実験参加者4名の固視時の左眼アイマーク水平方向角度の時系列。縦軸Lxは、左眼のx軸方向(水平方向)を意味する。上段から(a)、(b)、(c)、(d)。

サッカード

モニタ上で水平方向に左右約20cm離れた位置に、3秒間隔でジャンプする視標を追視することで、サッカード眼球運動を誘発した結果を図3に示す。a、bは、視標を追視できているが、cは左視標の位置に視線が残った

ままで、右方向の視標を追視できていないことがあった。d は、右方向にジャンプした視標に対して、十分に追視できない hypometric なサッカードが認められた。

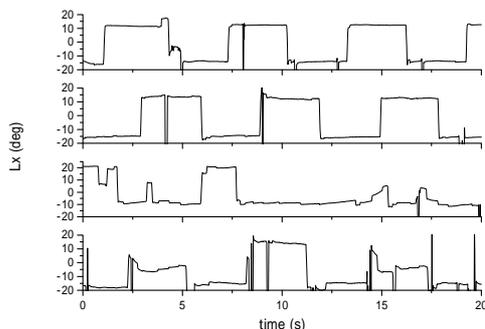


図3 実験参加者4名のサッカード時の左眼アイマーク水平方向角度の時系列。上段から(a), (b), (c), (d)。

表1にサッカード時の、視標の移動に追隨する時間(潜時), 追隨する眼球運動のピーク速度, 眼球運動の速度が生じている時間(持続時間)を示す。潜時はa, bにおいて短く, 右外斜視のc, dにおいて, 右方向へのサッカード時に潜時が長くなる傾向があった。とくに, cでは, 右方向のサッカード運動が認められない中, サッカード運動が生じた時の潜時は, 左方向へのサッカード運動, および他の参加者に比してかなり長かった。ピーク速度と持続時間の間には, 概ね反比例の関係が認められた。

表1 サッカード時, 視標の移動に視線が追隨する時間, ピーク速度および速度の持続時間

	方向	潜時 [s]	速度 [deg/s]	持続時間 [s]
a	R -> L	0.282	557.4	0.096
	L -> R	0.270	521.7	0.130
b	R -> L	0.267	577.4	0.133
	L -> R	0.331	493.3	0.136
c	R -> L	0.484	626.9	0.092
	L -> R	1.226	379.9	0.167
d	R -> L	0.295	444.5	0.117
	L -> R	0.451	369.9	0.111

パースト

直径27 cmの円周上を50 deg/s, 7.2 sで一周する視標を追視したときの左眼球運動の時系列を図4に示す。

a, bは比較的滑らかな眼球運動ができていますが, cは, とくに図の上方(水平右方向)への滑らかな眼球運動ができず, 100~300 deg/sのサッカードによるパーストの補足(catch-up saccade)が起こっていた。dは固視, サッカード以上に滑らかな眼球運動を苦手としているためか, アイマークに瞬きを含めたアーチファクトが多数混在した。

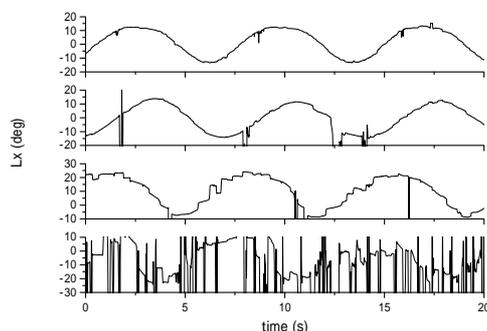


図4 実験参加者4名の円形パースト時の左眼アイマーク水平方向角度の時系列。上段から(a), (b), (c), (d)。

指さしサッカード

と同様のサッカードを, 利き手人差し指で視標を指しながら行った結果を図5に示す。図3と比較すると, 指さしという運動がともなうことで, サッカード運動に影響が認められた。図3からわかるように, cは右方向へのサッカードができないことがあったが, 指さし運動を行うことで右方向へのサッカードが誘発された。

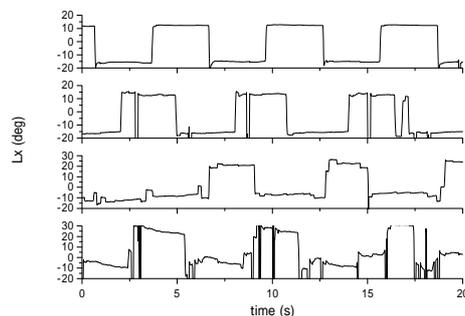


図5 実験参加者4名の図3と同様の条件で視標を指さしながらサッカードしたときの左眼アイマーク水平方向角度の時系列。上段から(a), (b), (c), (d)。

表2 指さしサッカード時, 視標の移動に視線が追隨する時間, ピーク速度および速度の持続時間

	方向	潜時 [s]	速度 [deg/s]	持続時間 [s]
a	R -> L	0.370	621.8	0.108
	L -> R	0.312	548.7	0.156
b	R -> L	0.309	537.4	0.142
	L -> R	0.277	529.6	0.123
c	R -> L	0.248	667.8	0.090
	L -> R	0.905	508.1	0.117
d	R -> L	0.334	557.5	0.167
	L -> R	0.417	340.0	0.100

表2に, 指さしサッカード時の潜時, サッカードのピーク速度, 速度持続時間を示す。4名の平均では, 指さしにより潜時は短くなり, ピーク速度は大きくなった。とくに, 右方向へのサッカードにおいて潜時が大きかったcは75%まで短縮され, ピーク速度は約34%増加した。一方, 比較的スムーズにサッカード運動ができていたaでは, 指さし運動

をともなうことでピーク速度は 5~10%増加したが、潜時も増大した。

指さしパースト

指さししながら図 4 と同様のパーストを行った結果を図 6 に示す。図 4 と比較して、a, b とやや滑らかなパーストに、d はやや滑らかに追視できる時間が長くなった。c は、右方向の catch-up saccade の傾向は変わらなかった。

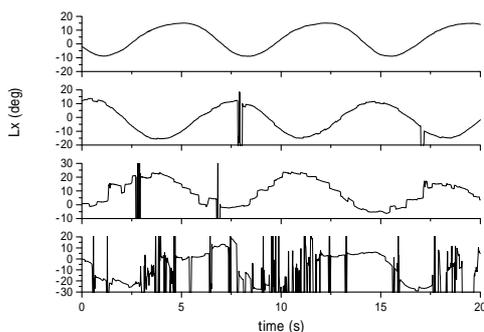


図 6 実験参加者 4 名の図 4 と同様の条件で視標を指さしながらパーストした時の左眼アイマーク水平方向角度の時系列。上段から (a), (b), (c), (d)。

二分脊椎症 1 名、痙直型脳性麻痺 6 名（うち右外斜視 4 名）に実験参加してもらい、固視、サッカードおよびパースト時の眼球運動を計測した。

二分脊椎症は下肢の運動障害を有するが、水頭症を合併していなければ、眼球運動を含めて上半身の障害は少ない。これに対し、脳性麻痺は片麻痺、斜視を有し、かつ視機能障害を有すると考えられることから、近藤¹⁾、一木²⁾、奥村・若宮³⁾が報告したように、運動障害に劣らず重視されるべき問題である。二分脊椎症の実験参加者 a の眼球運動は健常であるといえ、本研究におけるテストにおいてコントロールとして比較対象となり得る。この実験参加者 a と比較することにより、痙直型脳性麻痺の実験参加者は、何らかの眼球運動障害を有することが、アイカメラを用いた計測により明らかとなった。

固視において眼振が認められた c は、サッカードにおいて左から右への眼球運動が不全であった。サルを用いたサッカードの実験によると⁵⁾、斜視の場合、例えば左から右にジャンプした視標を追視するとき、左眼から右眼にスイッチして視標を追視する現象が確認されている。本研究ではそのようなスイッチは確認できないが、左眼と右眼の追視の仕方に差異が生じている（例えば同調していない）可能性はある。今後、より詳細な計測で確認する必要がある。

一方、実験参加者 c では、指さしを実行することで、サッカードが生じやすくなることが確認された。Gauthier et al.⁶⁾は、指さしながらパーストを行わせると、追視速度が大きくなるなど、眼球の追跡能力が高まることを報告している。実験参加者 c, d のよう

に、潜時が短くなり、ピーク速度が増大したことから、サッカードにおいても指さしの効果はあると考えられる。ただし、実験参加者 a のように潜時が低下する例もあることから、指さしの運動能力が不十分であれば、眼球運動にマイナスの影響も起こりうると思われる。

また、Huang and Hwang⁷⁾は、0.5 Hz と 1.5 Hz のサイン波を、指の力発揮と視線により追従させたとき、対象がより遅く変化する (0.5 Hz) ときのほうが、パースト (pursuit gain)、サッカード (saccade amplitude) の両眼球運動、および手と眼の動きの同調性 (eye-hand coupling) の度合いが強くなると報告している。本研究における円形パーストは 0.14 Hz でさらに遅い変化である上に、比較対象としての速い変化の課題がなかったため、推察の域を出ないが、肢体不自由児にとっても手と眼の同調性が強くなる課題であったと考えられる。一方、Saavedra et al.⁸⁾は、脳性麻痺児は健常時と比較して眼球運動には差がないが、手の動きが有意に遅いこと、手と眼の互いの影響が強くなることを指摘している。

これらの知見は、肢体不自由児の眼球運動トレーニングにおいて、トレーニング条件の一つとして重要なパラメータになることを示唆している。眼球運動のトレーニングが肢体不自由児等の「読み」の能力を向上させる報告もあり⁹⁾、したがって、手と眼の協調運動を誘発することで、眼球運動を向上させるトレーニングも、学習能力の向上に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 近藤文里：片麻痺児における視知覚の特性 視知覚障害と眼球運動，日本福祉大学研究紀要，49，116-93，(1981)。
- 2) 一木 薫：肢体不自由児が示す認知面の困難，肢体不自由教育，188，44-47，(2009)。
- 3) 奥村智人，若宮英司（編著）：学習につまずく子どもの見る力，9-75，明治図書，(2010)。
- 4) Maples, W.C. : NSUCO Oculomotor Test, Northeastern state University College of Optometry, (1995)。
- 5) Agaoglu, M.N., LeSage, S.K., Joshi, A.C., and Das, V.E. : Spatial patterns of fixation-switch behavior in strabismic monkeys, Investigative Ophthalmology & Visual Science, 55(3), 1259-1268, (2014)。
- 6) Gauthier, G., Vercher, J., Mussa Ivaldi, F., and Marchetti, E. : Oculo-manual tracking of visual targets: control learning, coordination control and coordination model. Experimental Brain Research, 73(1), 127-137, (1988)。
- 7) Huang, C.-T., and Hwang, I.-S. : Kinematic property of target motion conditions gaze behavior and eye-hand

synergy during manual tracking. Human Movement Science, 32, 1253-1269, (2013).

8) Saavedra, S., Joshi, A., Woollacott, M., and van Donkelaar, P. : Eye hand coordination in children with cerebral palsy, Experimental Brain Research, 192, 155-165, (2009).

9) Okumura, T., Laukkanen, H. and Tamai, H. : Computerized saccadic eye movement therapy to improve oculomotor control during reading and reading rate in adult Japanese readers, Optometry & Vision Development, 39(4), 191-197, (2008).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

齋藤健治, 松浦孝明 (2015) 肢体不自由児の眼球運動の特徴, 第36回バイオメカニズム学術講演会予稿集, 101-104. (査読無)

齋藤健治, 松浦孝明 (2014) 肢体不自由児の学習・運動時の視線分析, ヒューマンインターフェース学会研究報告集, 16(7), 1-4. (査読無)

[学会発表](計 6件)

齋藤健治, 松浦孝明: 肢体不自由児の眼球運動の特徴, 第36回バイオメカニズム学術講演会, 信州大学(長野県上田市), 2015.11.29

松浦孝明, 齋藤健治: 脳性まひ児の眼球運動の特徴, 第19回日本アダプテッド体育・スポーツ学会, 神奈川工科大学(神奈川県厚木市), 2015.11.29

松浦孝明, 齋藤健治: 肢体不自由児の生活・運動活動中の視線分析(2), 日本体育学会第66回大会, 国士舘大学(東京都世田谷区), 2015. 8.26

松浦孝明, 齋藤健治: 肢体不自由児の運動時の視線分析, 日本アダプテッド体育・スポーツ学会第16回合同大会, 神戸女学院大学(兵庫県西宮市), 2014.12.7

齋藤健治, 松浦孝明: 肢体不自由児の学習・運動時の視線分析, ヒューマンインターフェース学会研究会「障害者支援および一般(SIG-ACI-13)」, 東京大学先端科学技術研究センター(東京都目黒区), 2014.10.18

松浦孝明, 齋藤健治: 肢体不自由児の生活・運動活動中の視線分析, 日本体育学会第65回大会, 岩手大学(岩手県盛岡市), 2014. 8.26

6. 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 健治 (SAITOU, Kenji)

名古屋学院大学・スポーツ健康学部・教授
研究者番号: 70336105

(4)研究協力者

松浦 孝明 (MATSUURA, Takaaki)