第54回 日本視能矯正学会

一般講演

注意欠陥多動性障害児における読みの眼球運動と 文字配列の関係

金永 圭祐¹⁾・岡 真由美¹⁾・星原 徳子²⁾・橋本 真代²⁾
森 壽子³⁾・河原 正明²⁾

¹⁾ 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科

²⁾ 河原眼科クリニック

³⁾ 藤本耳鼻咽喉科クリニック

Relationship Between Eye Movements During Reading and Character Array in Children With Attention Deficit Hyperactivity Disorder

Keisuke Kanenaga¹⁾, Mayumi Oka¹⁾, Noriko Hoshihara²⁾,
Mayo Hashimoto²⁾, Toshiko Mori³⁾, Masaaki Kawahara²⁾

¹⁾ Graduate School of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

²⁾ Kawahara Eye Clinic

³⁾ Fujimoto Clinic of Otolaryngology

要 約

【目的】注意欠陥多動性障害（以下、ADHD）児は眼球運動異常を伴うことが報告されている。今回我々はADHD児において文字間隔と行数が読みの眼球運動に与える影響について検討した。

【対象および方法】対象はADHD児5例（平均年齢 6.4 ± 0.5 歳）（以下、ADHD群）とした。このうち間欠性外斜視が2例であった。対照は正位または斜位5例を対照群（ 6.4 ± 0.5 歳）、間欠性外斜視5例（ 7.0 ± 0.6 歳）を斜視群とした。読みの眼球運動発達検査はDevelopmental Eye Movement test (DEM)を用いた。DEMはテストA、テストBおよびテストCで構成されている。テストA、Bでは数字が縦（2行）に等間隔に、テストCでは横（16行）に不等間隔に配列されている。DEM測定中の眼球運動の記録にはEye Mark Recorder-9®を用いた。分析はテストCの1行あたりの読み時間、文字間の視角別（ $<2^\circ$ 、 $2^\circ \leq <4^\circ$ 、 $4^\circ \leq <6^\circ$ 、 $6^\circ \leq <10^\circ$ 、 $\geq 10^\circ$ ）の衝動性眼球運動（saccade）回数、saccade速度、停留時間とした。

【結果】DEM比率の平均はADHD群が 1.90 ± 0.3 、対照群が 1.47 ± 0.1 、斜視群が 1.40 ± 0.2 であっ

別冊請求先（〒700-8558）岡山県岡山市北区鹿田町2-5-1 岡山大学病院 眼科 金永 圭祐

Tel. 086 (235) 7297 Fax. 086 (222) 5059

E-mail: kanenaga@okayama-u.ac.jp

Key words: 注意欠陥多動性障害 (ADHD)、衝動性眼球運動 (saccade)、Developmental Eye Movement test (DEM)、文字配列、視覚的注意
attention deficit hyperactivity disorder (ADHD), saccadic eye movement (saccade),
Developmental Eye Movement test (DEM), character array, visual attention

た。ADHD群は対照群に比べ1行あたりの読み時間が3、4、5、6、7、13行目で延長した。saccade回数は文字間の視角が4°未満の場合、両群に差はなかった。しかし文字間の視角が4°以上ではADHD群のsaccade回数が有意に増加した。両群のsaccade速度および停留時間に差はなかった。

【結論】 ADHD児は文字間隔と行数が読みの眼球運動に影響していた。ADHD児には眼球運動の側面から視覚教材の文字配列を工夫し、学習障害の早期発見と予防を行う必要がある。

Abstract

【Purpose】 It has been reported that attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children may be accompanied by eye movement abnormalities. We investigated the influence of character space and lineage on eye movements during reading in children with ADHD.

【Subjects and Methods】 Subjects were 5 children (average age, 6.4 ± 0.5 years) with ADHD. Of 5, 2 subjects had intermittent exotropia. In addition, 5 children (average age, 6.4 ± 0.5 years) with orthophoria or phoria as the control group and 5 children (average age, 7.0 ± 0.6 years) with intermittent exotropia as the strabismus group were also included. The Developmental Eye Movement (DEM) test was used to assess eye movements during reading. The DEM test comprised test A, B, and C. Test A and B had 2 evenly spaced vertical lines with single-digit numbers in each line. In test C, single-digit numbers were arranged in 16 unevenly spaced horizontal lines. Eye movements during the DEM test were recorded by Eye Mark recorder-9®. The read-aloud time per line, number of saccades, saccadic velocity, and fixation duration in test C were analyzed. The number of saccades was measured with respect to space (visual angle) between numbers ($< 2^\circ$, $\geq 2^\circ$ and $< 4^\circ$, $\geq 4^\circ$ and $< 6^\circ$, $\geq 6^\circ$ and $< 10^\circ$, and $\geq 10^\circ$).

【Results】 The mean DEM ratios for the ADHD, control, and strabismus groups were 1.90 ± 0.3 , 1.47 ± 0.1 , and 1.40 ± 0.2 , respectively. Compared with the control group, the ADHD group showed extended read-aloud time for row 3, 4, 5, 6, 7, and 13. When the space between any two numbers was $< 4^\circ$, no difference in the number of saccades was seen between the ADHD and control groups. However, when the space was $\geq 4^\circ$, the number of saccades in the ADHD group was significantly greater than that in the control group. No difference in saccadic velocity and fixation duration was seen between the ADHD and control groups.

【Conclusion】 In children with ADHD, character space and lineage influenced eye movements during reading. Special consideration made to the character array in the visual aid will be necessary to prevent or detect learning disability.

I. 緒言

注意欠陥多動性障害（以下、attention deficit hyperactivity disorder：ADHD）は、年齢あるいは発達に不釣り合いな注意力、及び／又は衝動性、多動性を特徴とする行動の障害と定義されている^{1), 2)}。ADHDは行動障害により二次的に学業や社会的活動に支障をきたすことが多い²⁾。ADHDの症状は7歳以前に現れるが、発達段階の児童において少なからず多動性、衝動性がみられることから、見逃されやすいという問題点を持つ²⁾。また他の障害との重複が多く³⁾、ADHDの10-50%に学習障害を合併するとの報

告^{4)~6)}もある。ADHDの読字に関する報告では読字障害の主訴がないADHD児において、約20%に音読時間の延長や誤読などの問題がある⁷⁾と報告されている。したがって眼科診療においてもADHDの早期発見に努め、二次障害および学習障害を予防する必要がある。

現在、ADHDの診断および評価には米国精神医学会による精神疾患における診断・統計マニュアルIV-TR版（DSM-IV-TR⁸⁾）、世界保健機構の策定した国際疾病分類第10版（ICD-10⁹⁾）が用いられている。加えて、検者と保護者の行動観察が適用される。しかし、これらの評価は主観的評価が避けられないことから、眼球

運動を指標にして他覚的評価を試みた報告¹⁰⁾もある。ADHD児に対する衝動性眼球運動（以下、saccade）の検討では、視覚誘導性saccade課題での正確性が悪く、記憶誘導性saccadeおよびアンチsaccade課題で視覚刺激に対してsaccadeを抑制できず、反射的にエラーを起こす頻度が高率にみられたと報告^{11)~13)}されている。しかし、学習障害合併の予防と対応の観点から、ADHDにおける読みの眼球運動を検討した報告はない。

本研究ではADHD児において読みの眼球運動に着目し、文字に含まれる意味情報の少ない条件で文字間隔と行数が読みの眼球運動に与える影響について検討した。

Ⅱ. 対象及び方法

1. 対象

対象は他の医療機関において、ADHDと診断された5例（6-7歳、平均年齢 6.4 ± 0.5 歳）（以下、ADHD群）とした。このうち2例は間欠性外斜視を伴っていた。対照はK眼科を受診し、視能訓練士による行動観察および家族による問診上、問題のない10例とした。これらを眼位異常の有無により2群に分類した。正位または斜位5例（6-7歳、平均年齢 6.4 ± 0.5 歳）を対照群、間欠性外斜視5例（5-7歳、平均年齢 7.0 ± 0.6 歳）を斜視群とした。条件はいずれの群とも、字づまり視力検査表による矯正視力1.0以上、等価球面值 $\pm 0.50D$ 以内、輻湊近点8cm未

満、およびTitmus stereo testで立体視60秒以下であることとした。さらに眼科的器質疾患のないこととした。

2. 読みの眼球運動発達検査

読みの眼球運動発達検査としてDevelopmental Eye Movement test（以下、DEM¹⁴⁾）（Bernell社）を用いた。DEMは読みに必要な眼球運動の発達程度を測定する検査である。DEMの検査表はプレテスト、テストA、テストBおよびテストCから構成され、各テスト表に数字が配列されている（図1）。文字配列は、テストAとテストBが各々縦に2行40文字、テストCが横に16行80文字であった。文字間隔はテストAとテストBが 1.1° 、テストCが $1.7^\circ \sim 17.0^\circ$ であった。つまりテストA、テストBは文字間隔が狭く、等間隔に配列された数字呼称の課題である。一方、テストCは文字間隔が広く、不等間隔に並んだ数字呼称の課題である。検査距離は40cmとした。

測定に先立ち、プレテストを用いて数字の音読が可能であるかのチェックをおこなった。音読が可能であった児に対して、テストA、テストB、テストCを音読させ録音した。

DEMの評価項目は、DEM比率とテストCにおける1行あたりの読み時間とした。DEM比率は読み時間とエラー（読み加え、読み飛ばし、読み間違い）数を確認し、これらより各テスト表の調整読み時間を算出した。調整読み時間は80文字あたりの読み時間を示す。調整読み時間

3 7 5 9 8 2 5 7 4 6 1 4 7 6 3 7 9 3 9 2	4 5 2 1 7 5 3 7 4 8 7 4 6 5 2 9 3 6 4
6 3 2 9 1 7 4 6 5 2 5 3 7 4 8 4 5 2 1 7	7 9 3 9 2 1 4 7 6 3 2 5 7 4 6 3 7 5 9 8
3 2 1 7 4 5 7 9 6 7 5 4 7 1 2 3	7 5 9 4 3 2 6 5 4 9 7 5 9 4 6 8

図1 DEMのテスト表（左からテストA、テストB、テストC）

とDEM比率は次に示す通りであった。

調整読み時間 = 読み時間 $\times$ 80 / (80 - 読み飛ばし + 読み加え)

DEM比率 = テストCの調整読み時間 / テストA・Bの調整読み時間

なお、DEM比率は数値が高い程、眼球運動が不正確であることを表す。

1行あたりの読み時間は、録音データよりテストCの読み時間を1行ごとに分割し求めた。

3. 眼球運動の記録

DEM測定中の眼球運動の記録にはEye Mark Recorder-9®(以下、EMR-9)(nac Image Technology社)を用いた。EMR-9の測定原理は瞳孔中心と角膜反射像の距離から視線を計測する(図2)。サンプリングレートは60Hzとした。記録時は頭部を顎台で固定し行った。眼球運動の指標はDEMのテストCにおける文字間の視角別(<2°、2°≤<4°、4°≤<6°、6°≤<10°、≥10°)の衝動性眼球運動(saccade)回数、saccade速度および停留時間とした。視角≥10°は改行を示している。なお、停留時間は0.1秒以上のものとした。

また読み時間と眼球運動の関連について検討するため、ADHD群においてテストCの読み時間が延長した行の垂直saccade回数を対照群と比較検討した。

図2 ADHD児と対照児の眼球運動波形
縦軸は視角、横軸は時間を示す。

Ⅲ. 結果

DEM比率の平均値はADHD群が 1.90 ± 0.3 、

対照群が 1.47 ± 0.1 、斜視群が 1.40 ± 0.2 であった(図3)。エラー数の平均はADHD群が 17 ± 10 、対照群が 8 ± 3 、斜視群が 6 ± 3 個であった。6歳におけるDEM比率の平均は 1.58 ± 0.5 であり¹⁴⁾、ADHD群のDEM比率に斜視の影響は少ないと考え、以降は斜視群を除きADHD群と対照群で比較検討を行った。

テストCにおける各行の読み時間を示す(図4)。ADHD群は対照群に比べ1行あたりの読み時間が延長し、3、4、5、6、7、13行目で有意差がみられた($p < 0.05$, Mann-Whitney U test)。

文字間の視角別saccade回数を示す(図5)。文字間の視角が<2°、2°≤<4°のときのsaccade回数はいずれもADHD群が1.3回、対照群が1.2

図3 各群におけるDEM比率の平均
横軸は各群、縦軸はDEM比率を示す。DEM比率の平均は読字障害群が 1.90 ± 0.3 、対照群が 1.47 ± 0.1 、斜視群が 1.40 ± 0.2 であった。

図4 テストCにおける1行の読み時間
横軸はテストCの行、縦軸は読み時間を示す。ADHD群は対照群に比べ1行あたりの読み時間が3、4、5、6、7、13行目で有意に延長した(Mann-Whitney U test, * $p < 0.05$)。

図5 文字間の視角別 saccade 回数

横軸は文字間の視角、縦軸はsaccade回数を示す。saccade回数は文字間の視角が4°未満の場合、両群に差はなかった。文字間の視角が4°以上になるとADHD群のsaccade回数が有意に増加した。(Mann-Whitney U test、* $p < 0.05$ 、** $p < 0.01$)。

回であり、4°未満では両群のsaccade回数に相違はみられなかった。文字間の視角が4°≤<6°ではADHD群が2.2回、対照群が1.5回 ($p < 0.05$)、6°≤<10°ではADHD群が2.3回、対照群が1.4回、≥10°ではADHD群が4.6回、対照群が1.7回でありADHD群のsaccade回数が有意に増加した (それぞれ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ 、 $p < 0.01$ 、Mann-Whitney U test)。

両群のsaccade速度の結果を示す (図6)。saccade速度はADHD群が198 deg/sec、対照群が192 deg/secであり、両群に有意差はみられなかった。

両群の停留時間を示す (図7)。停留時間はADHD群が0.5 秒、対照群が0.4 秒であり、両群に有意差はみられなかった。

ADHD群において読み時間の延長がみられた行の平均垂直saccade回数を示す (図8)。3行目ではADHD群が8.2回、対照群が2.4回であった。4行目ではADHD群が9.4回、対照群が2.8回であった。5行目ではADHD群が8.8回、対照群が3.4回であった。6行目ではADHD群が9.8回、対照群が3.0回であった。7行目ではADHD群が8.0回、対照群が3.2回であった。13行目ではADHD群が8.6回、対照群が2.6回であった。ADHD群において読み時間の延長がみられたすべての行で垂直saccade回数が増加した。

図6 ADHD群と対照群のsaccade速度
横軸は各群、縦軸はsaccade速度を示す。両群に有意差はみられなかった。

図7 ADHD群と対照群の停留時間
縦軸は停留時間を示す。両群に有意差はみられなかった。

図8 テストCにおいて読み時間の延長した行の垂直saccade回数
縦軸はsaccade回数、横軸はテストCの行を示す。ADHD群は対照群に比べ垂直saccade回数が増加した (Mann-Whitney U test、* $p < 0.05$ 、** $p < 0.01$)。

IV. 考按

本研究では、ADHD児において文字間隔と行数が読みの眼球運動に与える影響について、意味情報の少ない条件で検討した。

ADHD群ではテストC、16行の中盤において1行あたりの読み時間の延長がみられた。また

ADHD群はテストCの読み時間が延長した行の垂直saccade回数が対照群よりも増加した。これら原因としてDEMのテストCにおける文字配列のcrowdingが影響した可能性が考えられる。crowding そのもののメカニズムは十分に解明されていないが、視標とそれに隣接する視対象 (flanker) の距離によって決定される¹⁵⁾。テストCの文字配列は横に16行あり、1行あたり5文字である。視標となる文字の上下左右に他の文字が配列されている。またADHD児は抑制のコントロールに欠け、衝動的に行動する¹⁶⁾とされている。ADHD群において読み時間の延長がみられたすべての行で垂直saccade回数が増加したことからも、テスト表の中盤になると、衝動的にflankerに注意が向き、読み時間が延長し、異なる位置に多く停留することで、saccade回数も増加した可能性がある。

ADHD群は、文字間の視角が4°以上になるとsaccade回数が増加した。読字障害を伴うADHD児における視覚的注意特性を検討した報告¹⁷⁾では、固視点から4.5°までの範囲で注意のおよぶ範囲が健常児と変わらないとされている。ADHD児において文字間の視角が4°以上では視覚的不注意となり、次に停留する位置を決定できず、異なる位置に停留することでsaccade回数が増加したと考えた。ADHD児において読み時間の延長とsaccade回数の増加はcrowdingと視覚的注意特性が影響していると推測した。

ADHD群と対照群のsaccade速度に差はなかった。ADHD児は視覚誘導性saccadeやアンチsaccadeにおいて眼球運動の正確性や潜時延長などの異常を報告^{11)~13)}されている。しかし、DEMは文字認識のための眼球運動が関与する検査であり、saccade速度と関連がないとの報告¹⁸⁾があり、本研究でも同様の結果が得られた。

ADHD群と対照群の停留時間に差はなかった。停留時間に差がなかった原因としてはDEMの視標が挙げられる。DEMの視標は数字であり、数字に含まれる意味情報量がひらがなやアルファベットなどより少ない。よって意味の処理に時間を要しなかったと推察した。

以上より、ADHD児に対して読みの眼球運動検査を行うことにより、視覚的注意の状態を把握することができた。これはADHD児において、学習障害の早期発見と予防につながる。また読みの眼球運動の側面から、視覚教材の文字配列の工夫、すなわち文字間隔を狭くし、行間隔を広く設定することで読みの眼球運動が改善する可能性が示唆された。

本研究は平成25年度川崎医療福祉大学医療福祉研究費の助成を受けた。

参考文献

- 1) Barkley RA: Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. Psychol Bull 121: 65-94, 1997.
- 2) X. 注意欠陥多動性障害：教育支援資料. 250-260, 文部科学省初等中等教育局特別支援教育課, 東京, 2013.
- 3) Kaplan BJ, Dewey DM, Crawford SG, Wilson BN: The term comorbidity is of questionable value in reference to developmental disorders: data and theory. J Learn Disabil 34: 555-565, 2001.
- 4) Beitchman JH, Young AR: Learning disorders with a special emphasis on reading disorders: a review of the past 10 years. J Am Acad Child Adolesc Psychiatry 36, 1020-1032, 1997.
- 5) 中島範子, 公文眞由美, 山下裕史朗: ADHD合併例の特徴と支援. 稲垣真澄 (編): 特異的発達障害 診断・治療のための実践ガイドラインーわかりやすい診断手順と支援の実際ー. 67-72, 診断と治療社, 東京, 2010.
- 6) Biederman J, Newcorn J, Sprich S: Comorbidity of attention deficit hyperactivity disorder with conduct, depressive, anxiety, and other disorders. Am J Psychiatry 148: 564-577, 1991.
- 7) 岡牧郎, 竹内章人, 諸岡輝子, 花房香, 荻野竜也, 大塚頌子: 広汎性発達障害と注意欠陥

- /多動性障害に合併する読字障害に関する研究. 脳と発達 44 : 378-386, 2012.
- 8) 高橋三郎, 大野裕, 染矢俊幸: 注意欠陥および破壊的行動障害. American Psychiatric Association (編): DSM-IV-TR 精神疾患の診断・統計マニュアル 新訂版. 59-61, 医学書院, 東京, 2003.
- 9) 融道男, 中根允文, 小見山実, 岡崎 祐士, 大久保善朗: F90 多動性障害. World Health Organization (編): ICD-10精神および行動の障害: 臨床記述と診断ガイドライン. 272-275, 医学書院, 東京, 2005.
- 10) 後藤裕介, 相原正男, 畠山和男, 北間敏弘, 佐藤悠, 中澤眞平: 注意欠陥/多動性障害児における衝動性眼球運動に関する検討. 脳と発達 37 : 10-14, 2005.
- 11) Mostofsky SH, Lasker AG, Cutting LE, Denckla MB, Zee DS: Oculomotor abnormalities in attention deficit hyperactivity disorder: a preliminary study. Neurology 57: 423-430, 2001
- 12) Munoz DP, Armstrong IT, Hampton KA, Moore KD: Altered control of visual fixation and saccadic eye movements in attention-deficit hyperactivity disorder. J Neurophysiol 90: 503-514, 2003.
- 13) 後藤裕介, 相原正男: 注意欠陥多動性障害と衝動性眼球運動. 小児科 51 : 55-62, 2010.
- 14) Garzia RP, Richman JE, Nicholson SB, Gaines CS. A new visual-verbal saccade test: the development eye movement test (DEM). J Am Optom Assoc 61: 124-135, 1990.
- 15) Whitney D, Levi DM: Visual crowding: a fundamental limit on conscious perception and object recognition. Trends Cogn Sci 15: 160-168, 2011.
- 16) Chelune GJ, Ferguson W, Koon R, Dickey TO: Frontal lobe disinhibition in attention deficit disorder. Child Psychiatry Hum Dev 16: 221-234, 1986.
- 17) 関口貴裕, 吉田有里: 読み書き障害児の視覚的注意特性 読みの有効視野および視覚的注意スパンの検討. LD研究 21 : 70-83, 2012.
- 18) Ayton LN, Abel LA, Fricke TR, McBrien NA: Developmental Eye Movement Test: What is it really measuring?. Optom Vis Sci 86: 722-730, 2007.