第56回 日本視能矯正学会

一般講演

注意欠如多動性障害 (ADHD) 児における眼球運動が
読字に及ぼす影響

丸久友理子¹⁾・岡 真由美^{1), 2)}・星原 徳子³⁾・金永 圭祐⁴⁾・
森 壽子⁵⁾・河原 正明³⁾

¹⁾ 川崎医療福祉大学 大学院 感覚矯正学専攻

²⁾ 川崎医療福祉大学 感覚矯正学科

³⁾ 河原眼科クリニック

⁴⁾ 岡山大学病院 眼科

⁵⁾ 藤本耳鼻咽喉科クリニック

Influence of Eye Movement on Reading in Children with Attention
Deficit Hyperactivity Disorder

Yuriko Maruhisa¹⁾, Mayumi Oka^{1) 2)}, Noriko Hoshihara-Fukuda³⁾,
Keisuke Kanenaga⁴⁾, Toshiko Mori⁵⁾, Masaaki Kawahara³⁾

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

²⁾ Department of Sensory Science, Kawasaki University of Medical Welfare

³⁾ Kawahara Eye Clinic

⁴⁾ Department of Ophthalmology, Okayama University Hospital

⁵⁾ Fujimoto Clinic of Otolaryngology

要 約

【目的】注意欠如多動性障害 (ADHD) 児において、眼球運動および眼球運動発達検査 (DEM) を測定し、読字に与える視覚的注意の影響を検討した。

【方法】対象はADHD児6例 (6-7歳)、対照は健常児10名 (6-7歳) であった。眼球運動の記録はEye Mark Recorder-9® (nac社) を用い、眼球運動のパターン、視標提示時の最大固視時間、saccade回数を求めた。読字に用いたDEMの数字配列は、テストAとBが等間隔、テストCが不等間隔であった。評価は、読字時間とエラー (読み飛ばし、読み加え) 数を記録した後、各テスト表の80字あたりの読字時間 (調整読字時間) を算出しDEM比率を求めた。

【結果】saccadeのパターンは両群にundershootをみとめた。最大固視時間はADHD群で短縮し、

別冊請求先 (〒700-8511) 岡山市北区伊福町1丁目17番18号

岡山済生会総合病院附属外来センター 眼科 丸久友理子

Tel. 086 (252) 2211 Fax. 086 (255) 2224

E-mail : yrk224@yahoo.co.jp

Key words : 注意欠如多動性障害 (ADHD)、読字、固視、衝動性眼球運動、視覚的注意
attention deficit hyperactivity disorder, reading, fixation, saccade, visual attention

saccade回数はADHD群で有意に多かった ($p < 0.01$)。テストCの調整読字時間はADHD群で有意に延長した ($p < 0.05$)。エラーは、ADHD群で行の途中に起こす場合が有意に多かった ($p < 0.05$)。DEM比率は両群に有意差がなかった。

【結論】 ADHD児はsaccadeの抑制に必要な固視時間が短く、視覚的注意の持続が困難となり、DEMテストCで調整読字時間が延長した。saccadeにおける固視時間とDEMテストCの調整読字時間を測定することはADHDのスクリーニングに有用と考えた。

Abstract

【Purpose】 To investigate the influence of visual attention on reading, eye movement was assessed by the Developmental Eye Movement Test (DEM) in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD).

【Subjects and Methods】 The subjects were 6 children (age, 6-7 years) with ADHD and 10 age-matched normal controls. Eye movements were recorded using the Eye Mark Recorder-9® (NAC Image Technology Inc.) to obtain the eye movement pattern, maximal fixation duration, and number of saccades. For reading, the DEM test included tests A and B with evenly-spaced numbers and test C with unevenly-spaced numbers. Reading time and number of errors (omissions and additions) were recorded, and the adjusted reading time, which was the reading time per 80 numbers for each test, was calculated to obtain the DEM ratio.

【Results】 Saccadic undershoot was observed in both groups. The ADHD group had a shorter maximal fixation duration and a significantly larger number of saccades than the controls ($p < 0.01$). The ADHD group also had significantly longer adjusted reading time for test C ($p < 0.05$) and more errors that occurred within the line ($p < 0.05$). No significant difference in the DEM ratio was seen between the groups.

【Conclusion】 Children with ADHD had a shorter fixation duration, which is necessary for suppressing saccades. Therefore, it was difficult for them to maintain visual attention, and this resulted in longer adjusted reading time for test C. Measurement of fixation duration and the adjusted reading time for test C can be useful for ADHD screening.

I. 緒言

注意欠如多動性障害 (attention deficit hyperactivity disorder: 以下ADHD) は、多様な共存障害^{1)~6)}があることが知られており、10-50%に学習障害を合併するとの報告^{7)~9)}がある。ADHDに学習障害が合併した場合、根気よく学習をすることが出来ず学業不振はよりいっそう顕著になる¹⁰⁾。さらに、学習障害の8割が読字障害を合併^{5), 11)}している。ADHD児の読字に関する報告では、読字障害の主訴がない場合でも約20%に音読時間の延長や誤読などの問題がある⁴⁾とされている。

読字は衝動性眼球運動 (以下saccade) と固視の繰り返して成り立つ。saccadeの発現は、頭頂葉の上頭頂小葉や頭頂間溝、前頭葉の前頭

眼野や補足眼野など多くの脳領域が関与している^{12), 13)}。頭頂葉はADHDの中核症状である不注意、視空間認知に関連する部位であり^{14), 15)}、前頭葉は、注意、行動制御、実行機能、ワーキングメモリーなどの高次認知機能を担う領域である¹⁵⁾。そのためADHDに対して眼球運動を測定することは、視覚的注意の把握につながる。

先行研究で金永らは、ADHD児の読字において文字配列が影響し、文字間の視角が4°以上では視覚的不注意となり、saccade回数が増加したと報告した¹⁶⁾。しかし、眼球運動自体の測定をしておらず、視覚的注意との関連について明らかでない。本研究では、ADHD児において眼球運動および読字の眼球運動発達検査であるDevelopmental Eye Movement test¹⁷⁾ (以下DEM) を測定し、読字に与える視覚的注意

の影響を検討した。さらに、DEMを用いてADHDをスクリーニングするための評価方法を検討した。

Ⅱ．対象および方法

1. 対象

対象は、医療機関においてADHDと診断された6例で、年齢は6-7歳（中央値 6.3 ± 0.5 歳）（以下ADHD群）とした。知能検査はWIPPSIまたはWISCⅢ・Ⅳを用い、全例、合成得点の範囲で平均であった。

対照は健常児10例で、年齢は6-7歳（中央値 6.3 ± 0.5 歳）（以下 健常群）であった。健常群は、視能訓練士による行動観察および家族による問診上で、集中力、衝動性、多動性などに問題がないこととした。行動観察および問診内容は、精神疾患の分類と診断の手引（DSM-5）における診断基準¹⁸⁾を参照した。条件は両群ともにフロスティック視知覚発達検査で視知覚正常、字づまり視力検査表により矯正視力1.0以上、等価球面值 $\pm 0.50D$ 以内、輻湊近点8cm未満、Titmus stereo testによる立体視が60秒以下、眼科的器質疾患のないこととした。本研究は川崎医療福祉大学倫理委員会による審査（14-034）を受け実施した。

2. 眼球運動の記録

眼球運動はEye Mark Recorder-9[®]（以下

EMR-9）（nac Image Technology社）を用い、saccadeおよび固視を記録した。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ことである。サンプリングレートは60Hzとし、記録時は頭部を顎台で固定した。視標提示は視標追跡装置3G31[®]（NEC日本電気三栄社）を用いた。視標は直径8mm（視角 1.1° ）の正円であり、検査距離は40cmであった。saccadeは水平2点間を反復させた。2点間の幅は 30° 、提示時間は2秒とした。分析は眼球運動のパターン、視標提示時の最大固視時間、saccade回数を求めた。固視は測定時間を20秒とした。波形分析は安定した波形の20秒間を対象とした。なお、固視時間は0.1秒以上に設定した。

3. 読字の眼球運動発達検査

読字の眼球運動発達検査はDEM（Bernell社）を用いた。DEMは、読字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Bが各々縦に2行40字（以下テストA+B）、テストCが横に16行80字であった（以下テストC）。文字間隔はテストAとテストBが 1.1° 、テストCが 1.7° - 17.0° であった。つまり、テストAとテスト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

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 2 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 3 5 9 8	3 2 1 7 4 5 7 9 6 3 7 5 4 7 1 2 3	7 5 9 4 3 6 5 2 9 7 3 4 5 7 9 5	9 4 6 2 7 4 6 5 4 2 9 7 4 9	8 6 3 2 7 8 2 4 1 2 8 7 2 3 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）
テストAとBは縦読み、テストCは横読みの課題である。

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確認した。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。

評価は、読字時間とエラー（読み飛ばし、読み加え、読み間違い）数を記録した後、各テスト表の調整読字時間を算出しDEM比率を求めた。調整読字時間は80字あたりの読字時間を示す。調整読字時間とDEM比率の算出方法は次に示す通りであった。

調整読字時間 = 読字時間 × 80

／ (80 - 読み飛ばし + 読み加え)

DEM比率 = テストCの調整読字時間

／ テストA+Bの調整読字時間

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。

Ⅲ. 結果

ADHD群の症状は、6例中3例が不注意優勢であった。残りの3例は詳細不明だが、行動上では落ち着きがなく、注意散漫、よく聞く、よく見ることが困難という問題点があった。

saccadeのパターンは両群にundershootをみると、注視点と視標との誤差幅の平均はADHD群6.3°、健常群3.9°で有意差がなかった（図2）。最大固視時間の平均はADHD群0.66秒、健常群1.09秒で有意差があった（Mann-Whitney U test, $p < 0.01$ ）（図3）。健常群の平均最大固視時間-1×標準偏差は0.92秒であった。これを下回るADHD児は全例であった。saccade回数の平均はADHD群44回、健常群31回で有意差があった（Mann-Whitney U test, $p < 0.01$ ）（図4）。固視時に生じるsaccadeはADHD群が多かった（図5）。

調整読字時間の平均はテストA+BでADHD群 57.3 ± 10.2 秒、健常群 46.7 ± 7.3 秒で有意差がなかった（図6）。調整読字時間の平均はテストCでADHD群 110.2 ± 31.9 秒、健常群 70.2 ± 9.0 秒で有意差がみられた（Mann-Whitney U test, $p < 0.05$ ）（図7）。健常群のテストCで

の平均調整読字時間+1×標準偏差は79.2秒であった。これを上回るADHD児は6例中5例であった。残りの1例は、症状の詳細不明な軽度ADHDであった。

エラー数の平均はADHD群で読み飛ばし14.7個、読み加え4.0個、読み間違い0.7個、健常群で読み飛ばし5.9個、読み加え3.4個であり、両群のエラー数に有意差はみられなかった（図8）。

図2 saccadeにおける注視点と視標との誤差幅
両群に有意差はなかった。

図3 saccadeにおける視標提示時の最大固視時間
最大固視時間は、ADHD群で有意に短縮した
(Mann-Whitney U test, $p < 0.01$)。

図4 saccadeにおける視標提示時のsaccade回数
saccade回数は、ADHD群で有意に多かった
(Mann-Whitney U test, $p < 0.01$)。

図5 固視時のEMRによる眼球運動波形
a: ADHD児 (7歳男児)、b: 健常児 (7歳男児) を示す。
各々の上段は固視時の波形、下段は固視時間 (saccade回数) を示す。
ADHD群は固視時のsaccadeが多かった。

図6 DEMにおけるテストA+Bの調整読字時間
両群に有意差はなかった。

図8 DEMにおけるエラー数
両群に有意差はなかった。

図7 DEMにおけるテストCの調整読字時間
テストCの調整読字時間は、ADHD群で有意
に延長した (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)。

エラーの種類をエラーの生じる箇所 (1行飛ばし、1行加え、行の初め、行の途中、次の行) ごとに分析した。ADHD群における読み飛ばしエラーの平均は1行飛ばしが10.8個、行の途中が3.8個あり、読み加えエラーの平均は1行加え1.7個、行の初めが0.7個、行の途中が1.8個であった。健常群の読み飛ばしエラーの平均は1行飛ばしが5.8個、行の途中が0.3個、読み加えエラーの平均は1行加えが0.5個、行の初めが2.0個、行の途中が0.6個、次の行が0.3個であった。ADHD群で行の途中にみられる読み飛ばしエラー、読み加えエラーで有意差がみられた

図9 DEMにおいて生じるエラー箇所
ADHD群で行の途中にみられる読み飛ばしエラー、読み加えエラーが有意に多かった (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)。

図10 DEM比率
両群に有意差はなかった。

(Mann-Whitney U test, $p < 0.05$) (図9)。

DEM比率の平均はADHD群1.90、健常群1.50で有意差がなかった (図10)。

IV. 考按

本研究では、ADHD児の眼球運動が読字に与える影響を検討するため、saccade、固視およびDEMを記録した。

眼球運動のパターンは、両群とも undershoot を示した。saccadeは頭頂眼野で視覚情報から運動情報へと変換され、続いて前頭眼野へと投射される。頭頂葉は、視空間覚および視覚的注意を司る¹⁴⁾。saccadeの発達は10歳までに成熟する³⁾と報告されていることから、健常な6から7歳児でも視空間覚が未発達であると考えられた。

一方、ADHD群はsaccade時に最大固視時間

が短縮し、saccade回数が増加した。また、固視時にsaccadeが多かった。固視は中心窩で視対象を捉え、その視覚情報が前頭眼野、上丘を經由して眼球運動を補正し、saccadeを抑制する機能である。ADHDはこれらの頭頂葉から前頭葉⁹⁾、上丘にかけての発達が遅延している^{19), 20)}。そのため、ADHD群は固視のコントロールが出来ず不必要なsaccadeをきたし、固視時のsaccadeが増加したと考える。健常群の平均最大固視時間 $-1 \times$ 標準偏差は0.92秒であり、ADHD群の全例がこれを下回った。このことから、眼球運動検査により6から7歳児に対してADHDをスクリーニングするためには、saccadeのみでは不十分であり、視標固視時の時間を目安にすることが重要であった。

DEM比率は両群に有意差がなかった。DEM比率は、テストCの調整読字時間をテストA+Bの調整読字時間で除して求める。DEMのテストAとBは文字が等間隔に配列されており、眼球運動の負担が少ない。一方、テストCでは文字が不等間隔に配列されているため、眼球運動の負担が多い。つまり、DEMは文字配列の相違による視空間覚とそれに伴う眼球運動を反映しており、両群の視空間覚の未発達が原因であったと推察した。

saccadeでは両群ともに undershoot を示し、視空間覚の未発達の存在を確認したが、DEMテストCにおいてはADHD群で調整読字時間の延長をみとめた。エラー総数では、ADHD群と健常群に有意差がみられなかったが、行の途中で起こすエラーではADHD群で有意に多かった。これは、テストCの文字配列における crowding の影響が考えられた。crowdingとは、混み合った視対象を認識することが出来ない状態であり、意識下の視覚を制限する²¹⁾。また、crowdingは周辺の視対象の知覚を混乱させ、読書を障害させる²¹⁾。テストCの文字配列は横に16行80字であり、視標となる文字の周囲に他の文字が配列されている。視対象に対して注意を向けることでcrowdingが抑制されるとの報告²¹⁾があるが、ADHDは抑制のコントロールに欠け、注意を持続させることが困難である。これは、ADHDでは有効視野が狭く、視

野内の注意の及ぶ範囲が狭いことが要因と考えた。読字の有効視野とは中心視野の周辺にあり、明瞭には見えないが読字に有用な情報が引き出される範囲のこと^{22) 23)}をいう。これは、読字の有効視野の広さが網膜の解剖学的制約を反映したものではなく、読字において視覚的注意の視対象周囲への分配を反映したもの²⁴⁾と報告がある。ADHD群は読み間違いエラーが少なく、中心視における形態認識の処理は可能であったが、読み飛ばしや読み加えエラーは多くみられた。中心視での読字の処理に注意が多く消費されることで、周辺視での視空間覚の処理が困難となり注意の及ぶ範囲が狭くなる²⁴⁾。このことから、ADHD群は周辺視における空間認識へ向ける注意の量が狭くなっており、注意の持続困難による周辺視からの視覚入力制限があると推測した。

DEMテストCの調整読字時間によってADHDをスクリーニングすることは可能か。健常児のテストCでの平均調整読字時間+1×標準偏差は79.2秒であった。これを上回るADHD児は6例中5例であった。このことから、6から7歳児で眼科受診時に行動の異常がみられた場合、DEMテストCの調整読字時間を測定することによりADHDの早期発見につながる可能性がある。

以上より、6から7歳のADHD児は健常児と同様に視空間覚が未発達であったが、健常児よりもsaccadeを抑制するための固視時間が短かった。この影響により、DEMテストCにおいて視覚的注意の持続が困難となり、行の途中でエラーを起こし、調整読字時間が延長した。saccadeにおける固視時間とDEMテストCの調整読字時間を合わせて測定することがADHDのスクリーニングに有用と考えた。

参考文献

- 1) 宮尾益知：学習障害および近縁疾患の認知障害－読字障害と注意欠陥/多動性障害を中心に－. 小児科 41：65-77, 2000.
- 2) 石崎朝世：注意欠陥/多動性障害 (ADHD). 小児内科 35：808-812, 2003.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 脇口明子：Dyslexia 発達性読み書き障害児の検討. 小児科 52：345-350, 2011.
- 6) 齊藤万比古：思春期・青年期の発達障害者支援 二次障害への対応. 公衆衛生 78：392-395, 2014.
- 7) 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.
- 8) 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－わかりやすい診断手順と支援の実践－. 67-72, 診断と治療社, 東京, 2010.
- 9) 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.
- 10) 小枝達也：学習障害. 小児内科 35：813-816, 2003.
- 11) Shaywitz SE, Gruen JR, Shaywitz BA: Management of dyslexia, its rationale, and underlying neurobiology. Pediatr Clin North Am 54: 609-623, 2007.
- 12) Leigh R, Zee D: The neurology of eye movements Third edition. 90-150, Oxford University Press, New York, 1999
- 13) 松田哲也, 小島卓也：ニューロサイエンス的側面 前頭眼野と眼球運動. Clin Neurosci 23：656-657, 2005.
- 14) 横山絵里子, 中野明子：頭頂葉に関連する高次脳機能. 高次脳機能研究 28：184-191, 2008.
- 15) 平田祐子, 大原文裕, 松井晶子：AD/HDの神経生理学および画像研究に関する検討－

- Atomoxetineの脳機能への影響－. *Ther Res* 33: 1361-1369, 2012.
- 16) 金永圭祐, 岡 真由美, 星原徳子, 橋本真代, 森 壽子, 河原正明: 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. *日視会誌* 43: 249-255, 2014.
 - 17) 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.
 - 18) American Psychiatric Association: Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Fifth ed, DSM-5, 59-61, American Psychiatric Association. Washington D.C. 2013
 - 19) Clements KM, Devonshire IM, Reynolds JN, Overton PG: Enhanced visual responses in the superior colliculus in an animal model of attention-deficit hyperactivity disorder and their suppression by D-amphetamine. *Neuroscience* 274: 289-299, 2014.
 - 20) Brace LR, Kraev I, Rostron CL, Stewart MG, Overton PG, Dommett EJ: Altered visual processing in a rodent model of Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Neuroscience* 303: 364-377, 2015.
 - 21) Whitney D, Levi DM: Visual crowding a fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends Cogn Sci* 15: 160-168, 2011.
 - 22) McConkie GW, Rayner K: The span of effective stimulus during a fixation in reading. *Percept Psychophys* 17: 578-586, 1975.
 - 23) 芋坂直行: 移動窓による読みの実験的検討－周辺視と読みの関係－. 芋坂直行 (編): 読み－脳と心の情報処理－. 17-41, 朝倉書店, 東京, 1998
 - 24) Henderson JM, Ferreira F: Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: implications for attention and eye movement control. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 16: 417-429, 1990.