

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：33303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700552

研究課題名（和文）

中高齢者の両眼視線解析手法を用いた見え方の質に対する新指標

研究課題名（英文）

A new index for QOV of the middle aged using a binocular eye tracking analysis

研究代表者

初坂 奈津子 (HATSUSAKA NATSUKO)

金沢医科大学・医学部・助教

研究者番号：50505352

研究成果の概要（和文）：

日本語文章を用いた縦読みと横読みに対する読書速度の低下と眼球運動の関係を、若年者と中高齢者の比較を行い検討した。加齢による読書速度の低下が確認され、その眼球運動では縦読み・横読みとも saccade 幅の有意な減少が大きく起因している事が明らかとなり、読書時に必要とされる文字認識範囲(有効視野)が大きく起因している可能性が示唆された。若年者では横読みに比べ縦読みの saccade 幅が有意に減少し、これは文字認識閾値の範囲が横長の楕円であるという報告とも一致するが、中高齢者では saccade 幅の差は示されず、加齢に伴い有効視野が狭くなり、それが眼球運動に影響しているものと示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Eye movements during reading consist of repetitions of saccade and fixation, and function effectively. It is known that reading speed decreases in healthy middle aged due to effects such as presbyopia. The present study investigated the relationships between decrease of reading speed and eye movements during reading vertical and horizontal Japanese text with comparison between the middle aged and young adults. Eye movements of 11 middle aged and young adults were measured using eye tracking system. As a result, reading speed decreased with age both for vertical and horizontal texts, attributed to significant decrease of saccade length, not to the delay of fixation time. In addition, the saccade length of middle aged decreased irrespective of influence of presbyopia and the size of letters, and it has been reported that aging has no significant effect on saccade length in general. The decrease of reading speed might be largely attributed to the decrease of letter recognition range during reading.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：老年学・視機能・眼球運動・読書・Quality of Vision

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 研究の背景

近年人口の高齢化が進み、病的ではないが視機能が低下している高齢者の割合はさらに増加することが見込まれる。視機能は日常生活において重要な役割をはたすが、中高齢者の加齢に伴う水晶体の透明度低下、形態変化は視機能低下の最大の原因になっている。視機能低下は運動機能低下にもつながり、車の運転あるいは読書など日常生活に多大な影響をきたすことが考えられる。

読書に関しては、今後中高齢者が生活の中で新聞、本の他に携帯電話あるいはパーソナルコンピュータの文字を認識する機会が多くなることが予想され、屋内での読書支援が必要になってくることが挙げられる。また、読書能力の向上が認知症予防につながる可能性がある。しかしながら視力が正常な中高齢者でも読書速度の低下がみられる。読書速度が視力にかかわらず年齢とともに低下し、文脈になっていない pepper reading test ではより顕著に読書速度が遅くなる事が報告されている。臨床での読書能力の評価としては MNREAD、日本では MNREAD-J(読書チャート)が用いられることが多く、読書能力(最大読書速度・臨界文字サイズ・読書視力)を測定し、文字サイズが最適な場合に読める最大速度(1 分間に読むことのできる文字数)等の評価を行っている。この MNREAD を用いることにより高齢者の読書能力の評価、視覚障害者の評価、ロービジョン患者の評価、白内障術後である眼内レンズ挿入眼の読書能力の評価などが行われている。白内障手術は飛躍的に進歩しており、最近では付加価値眼内レンズ(非球面・多焦点)が普及し、術後の視機能も以前に比べ向上している。白内障手術により QOL (Quality of Life)、特に QOV (Quality of Vision)での日常生活の質の向上を期待する患者が増加している。しかし、QOV に対する評価は未だに十分とはいえず、確立しているものは少ないのが現状である。

### (2) 本研究の経緯

日常臨床において眼球検査はほとんどが片眼での検査となっている。しかし日常の視機能は両眼で行っており、QOV の評価も両眼であることが望ましい。自動視線追従システムであるアイマークレコーダーは、両眼球の動きをリアルタイムで評価できる手法である。読書能力とアイマークレコーダーでの眼球運動の検討は、両眼での視機能(QOV)を

客観的に評価できる可能性がある。

我々が眼球運動を行う必要がある理由は、眼球の情報処理能力は網膜の中心窩を中心とするごく狭い部分に集中してすぐれていることから、必要な場所に視線を向けなければならないからである。このように我々の眼は眼球運動を行うことで正確にものを見ることができ、読書を行う際にも正常な眼球運動をすることが必要である。

読書時の眼球運動の実験的研究は古く、正常人や視覚障害者における眼球運動についてはさまざまな研究が行われている。一般に読書時の眼球運動は、文字群を網膜の中心窩でとらえるためのすばやい視線移動である(saccade)と、文字の読み取りに相当する停留(fixation)の繰り返しであり、これらが効率よく繰り返すことでスムーズな読書を行うことができる。読書時に起こる saccade 幅の大きさは視角ではなく文字数に依存し、日本語の通常の記事を読む場合では平均 3 文字(2~5 文字)程度であることが報告されている。また、停留時間はおよそ 100~500ms の範囲にあることが言われているが、これらは文字の大きさや内容の理解度にも影響される。訓練を受けた速読者は normal reader に比べて停留回数の減少と saccade 幅の増加があることが言われている。

読書時の研究において英語などの外国語を基準とする横書き文章のものが一般的であったが、日本においては縦書きの文章も日常的に用いられており新聞あるいは本など縦書きのものを読む機会が多い。横読みと縦読みの眼球運動を比較した研究では、横書きの文章に比べ縦書きの文章の停留回数が増加し読みにくさを伴っていることが報告されているが、若者を対象とした結果が中心であり、個人差の大きい高齢者実験においては被験者の選定が難しく、正常な高齢者の報告は数少ない。日本語文書を用いた縦読み・横読みに対しての、加齢による読書能力の低下と眼球運動の関係についても明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

アイマークレコーダーによる両眼球運動の測定を行い QOV の評価を行う。若年者と中高齢者の MNREAD-J を用いた読書時における眼球運動の比較を行い、加齢に伴う読書速度の低下と眼球運動の関係について検討する。また、加齢による視機能低下との関係も考慮し、総合的に両眼での QOV の評価と確立を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象

21歳～63歳までの屈折矯正以外に眼科的異常の無い健康成人23名で行った。中高齢者群11名(平均年齢:57.7±5.3歳、男性5名、女性6名)と若年者群12名(平均年齢23.6±3.4歳、男性9名、女性3名)とした。裸眼もしくは眼鏡・ソフトコンタクトレンズで屈折矯正し、測定を行った。測定前にはインフォームドコンセントを行い、測定内容等の同意を受けた上で測定を開始した。(表1)

表1 被験者情報

	中高齢者	若年者
人数(男性/女性)	11 (5/6)	12 (9/3)
年齢	57.7±5.3	23.6±3.4
矯正視力(遠方)		
右眼	-0.12±0.05	-0.18±0.06
左眼	-0.13±0.05	-0.19±0.04
矯正視力(近方)		
右眼	0.10±0.08	-0.06±0.10
左眼	0.10±0.08	-0.06±0.11

ランドルト環による矯正視力(log MAR)

#### (2) 眼球運動測定

両眼の眼球運動は、NAC社製のEyemark Recorder-9を用いて測定した。本装置における評価は、眼球運動計測により得られた注視点を抽出することで解析される。眼球に近赤外線を当てることによって得られる角膜反射像と瞳孔中心の位置を検出し、それぞれの動きから眼球の水平方向・垂直方向を求める。同時にアイカメラの視野映像と注視点をキャリブレーションデータによって関連付けを行い、注視点を座標系で表現する。今回の計測は、視野角44°、時間分解能は60Hz(約16.7ms)のサンプリングで行った。また、焦点距離解析から、各被験者の眼の位置とディスプレイとの距離を同時に解析した。(図1)



図1 眼球運動測定装置

#### (3) 視標

視標はMNREAD-Jを改良した20文字×3行の文章とし、パーソナルコンピュータ(sony製, vaio PCG-31118N)ディスプレイ中央に

提示した。この文章は誰でも一様に理解できる内容で作成されており、文章中の漢字は小学3年生までに習うものを使用している。文字サイズは30cmの距離から見て0.1のランドルト環視標に相当する大きさとし、近距離視力が低下した中高齢者群でも問題なく可読できる。1文字あたり視角に換算すると1.91°となる。背景画面は白色、文字は黒色とコントラスト100%で行った。

30文章をランダムに提示し、被験者は提示される文章を朗読した。次の文章が提示されるまでの間はディスプレイ中央に表示される+字を固視した。縦読みと横読みをそれぞれ30文章測定した。(図2)

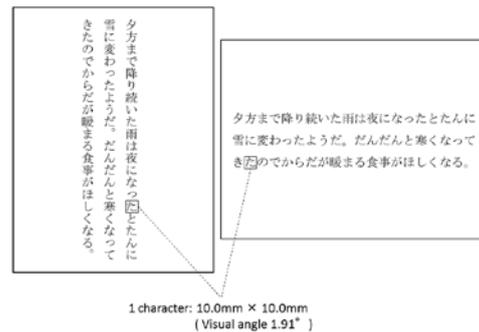


図2 MNREAD-Jを改良した視標  
(1文字:10mm×10mm, 輝度:80cd/m<sup>2</sup>)

### 4. 研究成果

#### (1) 朗読時の眼球運動波形

各被験者において朗読時に読み間違え、読み直しを行った文章は解析から除外した。統計解析にはSPSS(Ver. 19)を用い、中高齢者群と若年者群の比較を行った。

縦読みの朗読時間は中高齢者群 10.49±1.48秒、若年者群 8.87±0.73秒であった。横読みの朗読時間は中高齢者群 10.17±0.71秒、若年者群 8.47±0.61秒であった。縦読み、横読みとも若年者群に対して中高齢者群の有意な遅延が確認された(縦読み:p<0.05、横読み:p<0.01)。焦点距離解析による被験者眼部とディスプレイの距離は、中高齢者群が29±6cm、若年者群が32±5cmで両群に有意差はなかった。(図3)

眼球運動波形では横軸が時間、縦軸が視角となる。各横棒が停留、各縦棒がsaccadeを表し、停留とsaccadeが繰り返し行われ階段状の波形を示す。左から文章1行目、2行目、3行目の眼球運動となる。横棒幅が停留時間、縦棒幅がsaccade幅となりこれらを解析した。22歳男性の眼球運動波形では、1行あたりの停留回数は7から9回、平均停留時間は0.31秒、平均saccade幅は5.20°となり文字数に換算すると2.7文字であった。(図4-a)

58歳女性右眼の縦読み時の眼球運動では、22歳男性と同様に停留とsaccadeが繰り返し

行われる階段状の波形となる。1 行あたりの停留回数は 10 から 12 回と増加し、平均停留時間は 0.33 秒、平均 saccade 幅は 3.95° となり文字数に換算すると 2.1 文字であった。(図 4-b)

眼球運動軌跡では、若年者では所々で戻り saccade が確認された。解析時において読み詰まり、読み直し等を行った文章は除外しているため、この戻り saccade はそれらとは関係のないものであることが考えられる。スムーズな朗読時の中でも、戻り saccade が出現することが明らかとなった。中高齢者で戻り saccade が頻繁に確認されたのが特徴的であった。(図 4-b)

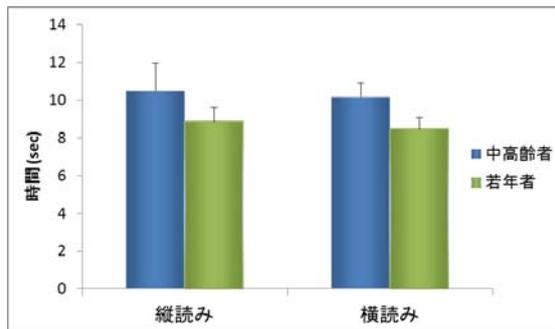


図 3 朗読時間の比較(中高齢者 vs 若年者)  
(縦読み:p<0.05, 横読み:p<0.01)

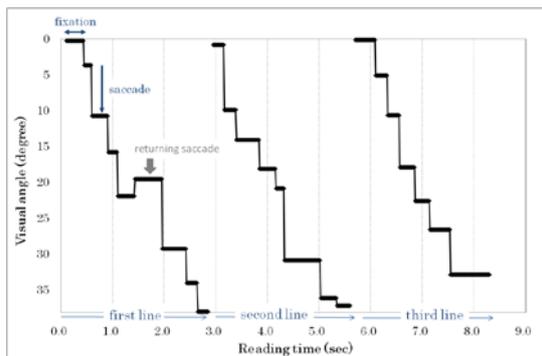


図 4-a 22 歳男性の眼球運動波形  
(縦軸:視角, 横軸:時間)

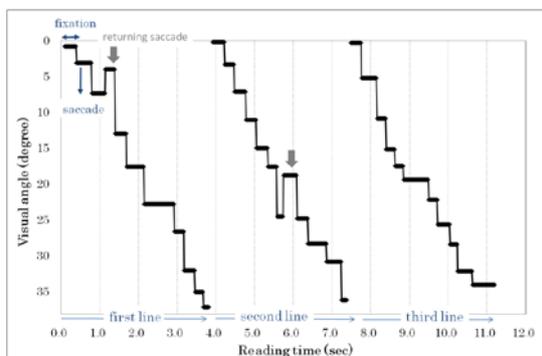


図 4-b 58 歳女性の眼球運動波形  
(縦軸:視角, 横軸:時間)

縦読み文章と横読み文章それぞれの眼球運動波形より停留回数、停留時間、saccade 幅および戻り saccade 出現頻度を解析し、中高齢者群と若年者群で比較した。縦読み文章の 1 行あたりの停留回数は、若年者群の 8.5 ± 0.6 回に対し中高齢者群は 10.8 ± 1.3 回と有意な増加が示された(p<0.01)。横読み文章でも同様に若年者群 7.5 ± 0.6 回に対し中高齢者群 11.3 ± 0.6 回と有意な増加が示された(p<0.01)。停留時間は両群とも平均 0.32 から 0.34 秒と有意差はなかった。若年者群における縦読み文章の平均 saccade 幅は 5.23 ± 0.29° (2.7 文字)であった。対する中高齢者群の平均 saccade 幅は 3.99 ± 0.36° (2.1 文字)であり、saccade 幅の有意な減少が確認された(p<0.01)。横読み文章の平均 saccade 幅も若年者群 5.54 ± 0.38° (2.9 文字)に対し中高齢者群 3.91 ± 0.20° (2.0 文字)と有意な saccade 幅の減少が確認された(p<0.01)。戻り saccade 出現頻度は若年者群で 1 行あたり縦読み:0.3 回、横読み:0.2 回に比べ中高齢者群は縦読み:0.7 回、横読み:0.7 回と出現頻度が加齢により増加することが確認された。(表 2-a, 表 2-b)

加齢による読書速度の低下は、縦読み、横読みとも停留時間の遅延ではなく停留回数の増加、つまり saccade 幅の有意な減少が大きく起因していることが明らかとなった。

表 2-a 縦読みの比較(中高齢者 vs 若年者)

縦読み		
	中高齢者	若年者
停留回数 (回)	10.8 ± 1.3	8.5 ± 0.6
停留時間 (秒)	0.32 ± 0.02	0.34 ± 0.02
saccade 幅 (度)	3.99 ± 0.36	5.23 ± 0.29
戻り頻度 (回)	0.6 ± 0.2	0.3 ± 0.2

※停留時間以外は全て有意差あり(p<0.01)

表 2-b 横読みの比較(中高齢者 vs 若年者)

縦読み		
	中高齢者	若年者
停留回数 (回)	11.2 ± 0.6	8.4 ± 0.6
停留時間 (秒)	0.31 ± 0.02	0.34 ± 0.03
saccade 幅 (度)	3.91 ± 0.20	5.54 ± 0.38
戻り頻度 (回)	0.7 ± 0.3	0.2 ± 0.2

※停留時間以外は全て有意差あり(p<0.01)

## (2) saccade の加齢変化

Saccade の発生プロセスは非常に複雑であることが挙げられる。一連の視覚情報処理過程の中で眼の動きが成立するには、周辺視野における視対象の知覚、空間位置情報の処理、位置情報から saccade 運動への変換、記憶・随意的運動・修正 saccade 等の諸機序が正常

に働くことが前提である。また saccade は多くの部位と関連しており、光刺激を用いた pre-saccade では、網膜からの視標位置情報、後頭葉の有線野ニューロン、後部頭頂葉ニューロン、前頭眼窩野ニューロン、眼球運動命令へとつながることが言われている。読書時に起こる saccade のプロセスもこれらの機序が関与していることが考えられるが、詳しいプロセスについてはわかっていない。

Saccade の加齢変化を検討した報告はいくつかあり、pre-saccade の研究では、視標が提示されて saccade が起こるまでの時間、EOG での潜時、EEG での Visual evoked response が加齢に伴い遅れる事が報告されている。しかし pre-saccade はシンプルなプロセスであるため加齢による影響は少なく、それを抑制するプロセスである anti-saccade の方が加齢に伴い反応時間の増加とエラーの増加が起こることが報告されている。今回の我々の結果では、加齢による停留時間の遅延はなく saccade 幅の減少のみ確認された。通常の saccade では加齢に伴い saccade 幅が短くなるという報告はなく、読書時に起こる saccade のプロセスが視覚誘導性 saccade とは異なり、より複雑であることが予想される。

Saccade 速度も、加齢による変化はないとされている。一般的に saccade 速度は約 100~500°/sec と言われている。今回我々が使用した計測器は 60Hz (約 16.7ms) のサンプリングとなっており、もし 5° の saccade 幅を 100°/sec で動いたと仮定すれば saccade 時間は 50ms となり 60Hz のサンプリングでも十分測定可能であるが、500°/sec で動いたと仮定すると saccade 時間は 10ms となり測定は難しくなる。そこで、時間分解能の高い眼球運動測定装置 (Arrington Research 社製、ViewPoint Eye Tracker<sup>®</sup>) を用いて追加実験を行った。この装置は 220Hz (約 4.5ms) のサンプリングとなっており十分測定可能である。中高齢者群 3 名と若年者群 3 名の実験を行い検証した。その結果、Eyemark Recorder-9 に比べ僅かに増加する傾向が見られたが、縦読み・横読みとも中高齢者群の有意な saccade 幅減少が確認された。(図 5)

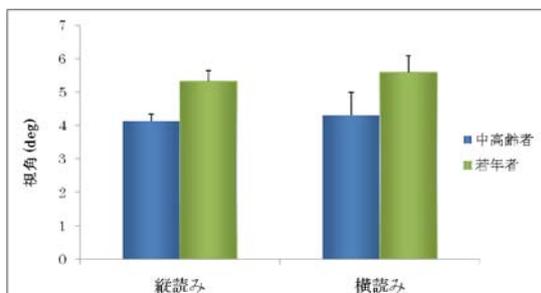


図 5 saccade 幅の比較(中高齢者 vs 若年者)  
(縦読み:  $p < 0.01$ , 横読み:  $p < 0.01$ )

### (3) 老視と saccade 幅の関係

中高齢者の saccade 幅が若年者に比べて減少したことに對して、中高齢者の老視による視機能低下の影響が考えられる。加齢に伴う近距離視力の低下は知られているが、水晶体加齢変化による網膜像コントラストの低下の報告もあり、中高齢者の網膜像が若年者に比べてボケが強い可能性が考えられる。像のボケと MNREAD の関係では、像のボケが大きいほど読書速度が低下するとの報告がある。

そこで、若年者 5 名の近距離視力 (logMAR) を凸レンズ付加により 0.7 まで低下させ検証を行なった。その結果、平均 saccade 幅は縦読みで  $4.56 \pm 0.33^\circ$ 、横読みで  $5.01 \pm 0.36^\circ$  と凸レンズなしの場合に比べ若干減少するが、中高齢者の saccade 幅と比較すると有意な差が得られた。よって、加齢に伴う saccade 幅の減少は中高齢者の網膜像のボケの影響は少ない事が明らかとなった。(図 6)

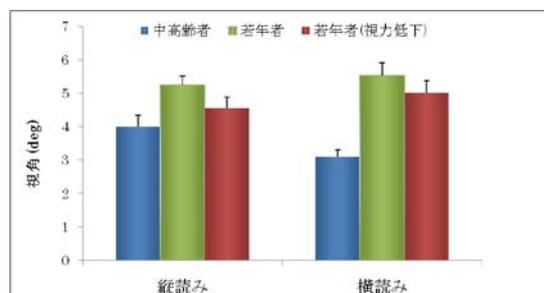


図 6 saccade 幅の比較  
(若年者は視力低下にもかかわらず中高齢者より saccade 幅が大きい,  $p < 0.05$ )

### (4) 有効視野と saccade 幅の関係

中高齢者の saccade 幅減少について、視野の影響が挙げられる。視野と saccade 幅の関係は以前より検討されており、視野を制限した状態で読書時の眼球運動を調べ、視野が  $20^\circ$  以下になると停留回数が増加することや、視野が小さくなるほど読み速度が遅くなり、 $10^\circ$  以下で saccade 幅の減少が起こることが報告されている。日本語を読む場合の saccade 幅は平均  $2^\circ$  から  $3^\circ$  であるが、必要な視野の広さはもっと広いとも言われている。よって加齢により読書に必要な視野の広さが狭くなっている可能性が考えられる。

静的量的視野検査(ハンフリー)から  $30^\circ$  の閾値測定プログラムを用いて視野の加齢変化を測定した結果、40 歳前後より各点の感度が急激に低下することが報告されている。我々も同様にハンフリーの  $10^\circ$  閾値プログラムを用いて、今回の対象である中高齢者と若年者各 5 名ずつの感度を比較したが、 $10^\circ$  以内の明らかな差は確認できなかった。動的量的視野検査(ゴールドマン)の結果では、若年者に比べ高齢者は垂直方向に約  $1^\circ$ 、水平方向に約  $3^\circ$  視野が狭くなるがほとんど差は

ないことが報告されている。読書に必要な視野は網膜の黄斑部(中心窩から 10° 程度)が重要であることが考えられ、加齢に伴う中心窩付近の視野の変化はないと言える。

視野の変化は見られないが、有効視野では変化がある可能性が考えられる。読書時の saccade 幅は視覚ではなく文字数に依存する。そこで小さい文字(文字サイズ 0.5logMAR に相当)を使用し、比較的近距离視力が良好な中高齢者 5 名と若年者 5 名で縦読みの saccade 幅を比較した。その結果、文字が小さくなると saccade 幅もその分小さくなり、若年者約 1.55° (2.7 文字)に対して中高齢者が約 1.12° (2.0 文字)と有意な減少が確認された。これらのことより文字の大きさに関係なく中高齢者の知覚する文字数が若年者に比べて少ない可能性が示唆される。つまり日本語に対する文字認識範囲である有効視野の低下が考えられる。視覚情報の種類や課題、問題解決の困難さに応じて注意をうまく分配しながら情報処理を行うために重要な役割をはたすのが有効視野であり、加齢の視野に与える影響を検討するには有効視野を計測することが必要であることが示唆されている。加齢に伴う読書時の saccade 幅の低下は、有効視野との関係が大きく起因していることが考えられる。

縦読みと横読みの saccade 幅の違いからも、有効視野との関係が考えられる。若年者群は縦読みに比べ横読みの平均 saccade 幅の有意な増加 ( $p=0.034$ ,  $t$ -test) が見られた。ひらがなの周辺視力を測定した結果から、文字認識閾値の範囲は横長の楕円になることが報告されており、1.0logMAR 視標に対応する認識範囲は水平方向に半径 15° の楕円になることを示している。このことから文字に対する有効視野も横長の楕円である可能性が高く、saccade 幅に影響していることを示すものとする。一方、中高齢者群では縦読み・横読みに対する saccade 幅の差は示されず、逆に縦読み時の saccade 幅が増加するケースもあった。このことから、加齢に伴いこの有効視野が狭くなり、特に水平方向の有効視野が減少する可能性が考えられ、それが saccade 幅に影響したことが予想される。

以上より、加齢による読書速度の低下は、縦読み、横読みとも saccade 幅が減少する事による停留回数が増加が大きく起因していることが明らかとなり、これが QOV 評価の指標とする事ができる可能性を確認できた。また中高齢者の saccade 幅の減少については、文字に対する有効視野の加齢に伴う減少が起因している可能性が示唆され、今後の課題となるが、新しい QOV の評価としては、今回の目的を達成できたと考える。

## 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 5 件)

1. N. Mita, N. Hatsusaka, H. Sasaki et al.: Change in retinal image contrast with age in eyes with transparent lenses. J Cataract Refract Surg. 38:1782-1787, 2012 査読有
2. 初坂奈津子, H M. Cheng, 佐々木洋 他: 台湾人小児および中高齢者の眼軸長と眼屈折. 眼鏡学ジャーナル, 14:23-25, 2011 査読無
3. 初坂奈津子, 佐々木洋: 核白内障と水晶体屈折力. あたらしい眼科, 28:77-78, 2011 査読有
4. 初坂奈津子, 三田哲大, 佐々木洋 他: 皮質白内障眼と Water clefts の遠視化への影響. 日眼会誌, 115:848-849, 2011 査読有
5. 初坂奈津子, 鈴屋雄輔, 河原哲夫, 佐々木洋: 中高齢者の読書速度の低下と眼球運動の関係. ITE Technical Report, 35(51):75-79, 2011 査読無

[学会発表] (計 6 件)

1. 初坂奈津子, 河原哲夫, 佐々木洋: 読書時の縦読みと横読みにおける眼球運動の中高齢者と若年者の違い. 第 48 回日本眼光学学会総会, 東京, 2012/9/2
2. N. Hatsusaka, Y. Suzuya, T. Kawahara, H. Sasaki: Relationship between reading performance of the elderly and eye movements. The Association for Research in Vision and Ophthalmology 2012, Florida, 2012/5/9
3. 初坂奈津子, 鈴屋雄輔, 河原哲夫, 佐々木洋: 読書時における中高齢者と若年者の眼球運動の比較. 第 116 回日本眼科学会総会, 東京, 2012/4/7
4. 初坂奈津子, 鈴屋雄輔, 河原哲夫, 佐々木洋: 中高齢者の読書速度の低下と眼球運動の関係. ヒューマンインフォメーション研究会, 沖縄, 2011/12/10
5. 初坂奈津子, 鈴屋雄輔, 河原哲夫, 佐々木洋: 加齢による読書速度の低下と眼球運動. 第 47 回日本眼光学学会総会, 東京, 2011/9/4
6. 初坂奈津子, H M. Cheng, 佐々木洋 他: 台湾人小児および中高齢者の眼軸長と眼屈折. 第 14 回日本眼鏡学会, 金沢 2010/5/12

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

初坂 奈津子 (HATSUSAKA NATSUKO)

金沢医科大学・医学部・助教

研究者番号: 50505352