

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：32643

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21783

研究課題名（和文）読み困難児の眼球運動評価方法の構築と訓練効果の検証

研究課題名（英文）Development of novel method for eye movements and validation of the training effect in the children with developmental dyslexia

研究代表者

池田 結佳（Ikeda, Yuka）

帝京大学・医療技術学部・教授

研究者番号：00439598

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、眼球運動の正確性と読み困難の症状、視機能、視覚認知機能の関連を検討した。NSUCO眼球運動検査（視診）で「読み」に重要な役割を果たす衝動性眼球運動は、水平・垂直とも読み困難児の60%以上に異常がみられた。滑動性追従運動の視線計測の結果はNSUCOや視覚認知機能検査WAVES、自覚症状と一定の関連を示さなかった。WAVESの結果は、眼球運動の正確性および読み困難の症状と関連することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小児科LD（学習障害）外来と眼科外来の連携を推進し、読み困難児の視機能、眼球運動の正確性、視覚認知機能の検査および自覚症状の調査を行った。その結果、眼球運動、視覚認知機能、自覚症状の関連を示唆する結果が得られた。また、読み困難児の眼科受診を推進することで、屈折異常・眼位異常・色覚異常等の視機能異常や前眼部疾患等の発見に繋がった。VOGを用いた眼球運動の計測は、有効なデータの取得が困難であったため、今後も装置の見直しや測定方法の改善を行い、症例数を増やして検討する予定である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the relationship between eye movement accuracy and symptoms of reading difficulties, visual function, and visual cognitive function. Saccadic eye movements, which play an important role in reading, were abnormal in more than 60% of children with reading difficulties in both horizontal and vertical directions in the NSUCO eye movement test. The results of gaze measurement of smooth pursuit movements did not show a consistent correlation with NSUCO, the WAVES visual cognitive function test, or subjective symptoms. It is necessary to review the equipment and improve the measurement method, and to increase the number of cases for further study. The results of the WAVES suggested a correlation between eye movement accuracy and symptoms of reading difficulties.

研究分野：眼科学

キーワード：読み書き困難 眼球運動 視覚認知機能 視線計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

読み困難は学習障害の中核をなす障害である。学習や日常の情報入手の困難から子どもの成長全般に波及する大きなハンディキャップとなる。本障害への支援は、屈折異常や眼位など視機能の管理も含めて眼科医療の場で行うことが望ましいが、積極的に取り組んでいる眼科は全国でも極めて少ない。そこで、眼球運動訓練によって読み困難の改善が為されることを明らかにし、眼科が本障害への支援に積極的に貢献することを目指した。

2. 研究の目的

眼球運動の正確性と読み困難の症状、視機能との関連を検討し、眼球運動訓練前後の眼球運動の正確性と読み困難の症状の改善を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) Northeastern State University College of Optometry 眼球運動検査(NSUCO)による評価
読み困難児 57 名(9.7±1.9 歳)を対象とした。NSUCO は注視、滑動性追従運動(眼前 40cm、直径約 20cm の円運動)、衝動性眼球運動(眼前 40cm、約 20cm 離れた 2 つの視標を左右および上下に提示し、交互に見る)を視診にて評価する。オリジナルは能力・正確性・頭や体の動きを各 5 段階で判定するが、複数の検査者間の整合性を確保するため異常ありとなしで判定した。

(2) 視線計測装置のキャリブレーション精度の検証

若年健常者 6 名(平均年齢±標準偏差、20.8±0.4 歳)を対象とした。Video-oculography (VOG)は、EMR-9, NAC Image Technology Inc. を使用した。キャリブレーションの基準点を通常の 9 点から 2 点に変更し、測定時間を短縮した際の測定精度を検証した。視距離 50 cm、基準点の配置は図 1 の 2 条件で実施した。視標を反時計回りに円運動させたときの追従性眼球運動を VOG で記録した。視標位置の検出には Hirota M らが報告した実空間における眼球運動検査が可能な VOG と物体検出人工知能(AI)を組み合わせたシステムを改編し、本研究で用いた固視目標を AI に学習させることで計算した。動く視標を追従視させたときの眼球運動を VOG で記録し、検査中における水平および垂直の平均視標速度と両眼の平均眼球運動速度を計算した。平均眼球運動速度を平均視標速度で除した値をゲインと定義した。キャリブレーションの基準点数の違いによる各眼のゲインの差について、Wilcoxon signed-rank test で統計解析した。統計解析には SPSS v26.0 (IBM Inc.) を用い、有意水準を 5% 未満とした。

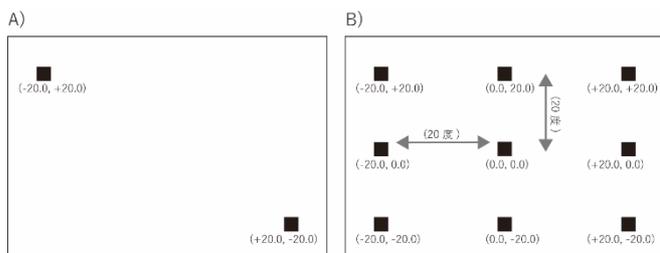


図 1. 2 点キャリブレーション (A) と 9 点キャリブレーション (B)

(3) 滑動性追従運動の計測

読み困難児 4 名(8.8±1.8 歳)を対象とした。VOG による円運動の計測を行い、眼球運動の正確性と読み困難の症状および視機能との関連を検討した。

(4) 視覚認知機能検査による評価

読み困難児 30 名(9.8±2.1 歳)を対象とした。視覚認知機能検査(Wide-range Assessment of Vision-related Essential Skills ; WAVES)にて評価した。WAVES は 10 種類の下位検査の評価点から、4 つの指数を算出する(表 1)。さらに「見る力に関するチェックリスト(チェックリスト)」および NSUCO を用いて視覚認知機能と症状との関連を検討した。

下位検査		指数			
		視覚+ 目と手の協応指数 【VPECI】	視覚指数 【VPI】	目と手の協応 全般指数 【ECGI】	目と手の協応 正確性指数 【ECAI】
線なぞり	合格点	目と手の協応	○		○
	比率	目と手の協応 (正確性)	○		○
形なぞり	合格点	目と手の協応	○		○
	比率	目と手の協応 (正確性)	○		○
数字みくらべ		視覚的注意と眼球運動	○	○	
形あわせ		視覚速度 (弁別)	○	○	
形みきわめ		視覚分析	○	○	
形おぼえ		視覚記憶	○	○	
形うつし		図形構成	○	○	

表1 WAVESの下位検査と4つの指数

4. 研究成果

(1) Northeastern State University College of Optometry 眼球運動検査(NSUCO)による評価
衝動性眼球運動は特に「読み」に重要な役割を果たしており、発達障害児の眼球運動機能不良は多く報告されている。今回の結果も同様の傾向を示した(図2)。

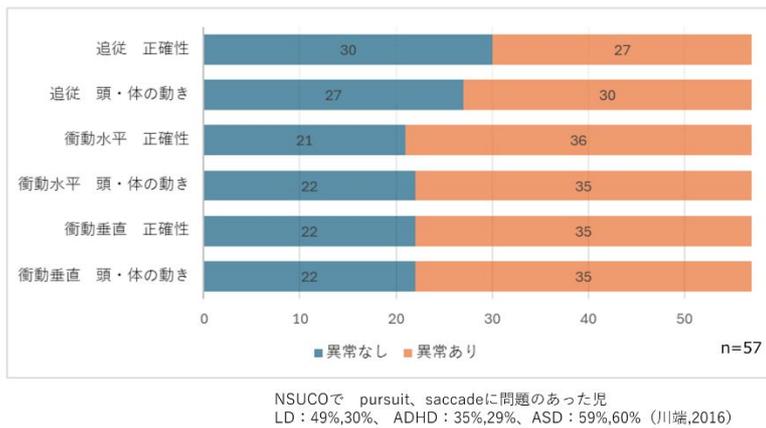


図2. NSUCO 結果

(2) 視線計測装置のキャリブレーション精度の検証

Video-oculography (VOG)のキャリブレーションの基準点を通常の9点から2点に変更したところ、水平および垂直方向のゲインにおいて、2点キャリブレーション(右眼水平, 1.052 ± 0.243 ; 右眼垂直, 0.839 ± 0.212 ; 左眼水平, 1.043 ± 0.092 ; 左眼垂直, 0.771 ± 0.065)と9点キャリブレーション(右眼水平, 0.923 ± 0.083 ; 右眼垂直, 0.797 ± 0.091 ; 左眼水平, 0.957 ± 0.078 ; 左眼垂直, 0.857 ± 0.145)の間に有意差はなかった($P > 0.075$; 図3)。2点キャリブレーションで9点キャリブレーションと同程度の測定精度が担保できることが示唆された。

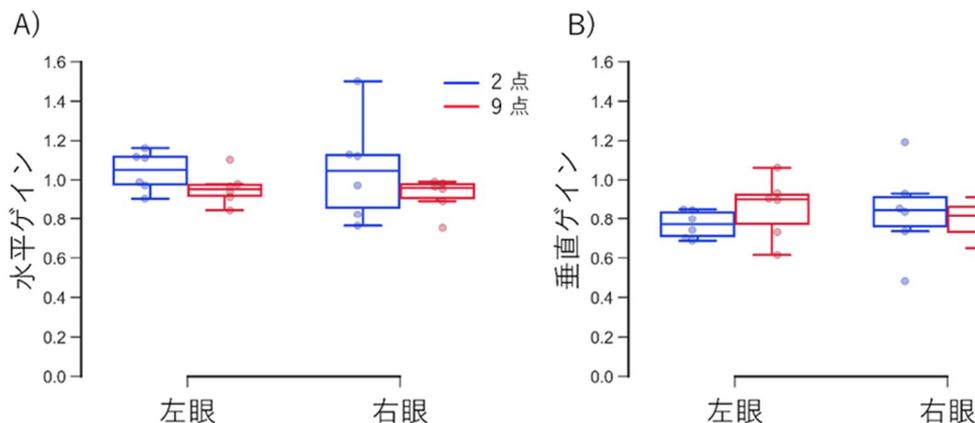


図3. キャリブレーションの基準点の違いによる水平 (A) および垂直 (B) ゲインの差

(3) 滑動性追従運動の計測

各被験者の視線の動きと視標の動きをマージした画像と、総てのデータを統合した画像を図4に示す。4名中1名はノイズが多く、データが殆ど取得できていなかったため解析不可であった。視標の動きを示す朱色の円上に青い視線位置が一致しているほど視標への追従が正確である。各被験者とも追従運動に大きな問題は見られなかったが、上方視した際に視線のぼらつきが大

きい結果となった。そのため、今回のデータでは水平方向の眼球運動よりも垂直方向の滑動性追従運動に何らかの問題があることが示唆された。また、表 2 に示した各被験者の NSUCO、視覚認知機能検査、チェックリストの結果との関連に一定の傾向はみられなかった。

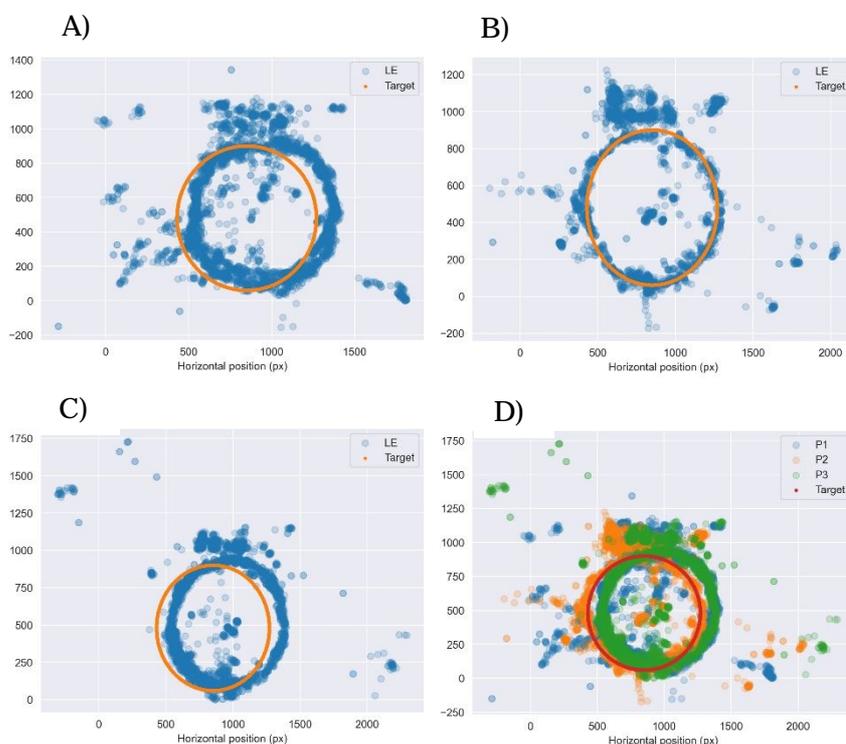


図 4 . 各被験者の視線の動きと視標の動きをマージした画像 (A~C) 、総てのデータを統合した画像 (D)

	滑動性追従運動の正確性 (NSUCO)		視覚認知機能検査 (WAVES)	チェックリスト
	視線の逸脱	頭や体の動き	視覚的注意と眼球運動	注視関連項目
A)	なし	あり	ss7	症状あり
B)	あり	なし	ss6	症状なし
C)	あり	なし	ss7	症状なし

表 2 . 各被験者の NSUCO、視覚認知機能検査、チェックリストの結果

(4) 視覚認知機能検査による評価

読み困難児の視覚認知機能は、下位検査別評価点の多くが WAVES の標準値を下回った。4 つの指数の中では視知覚の指数が最も低かった (図 5)。

チェックリストで「運動 (目と手協応・協調運動)」の症状がある児は WAVES の「目と手の協応全般指数 (ECGI)」が低かったことから、ECGI は目と手の協応の苦手さを適切に評価しており、児童の状態を把握するために有用であることが示唆された。

また、NSUCO の滑動性追従運動、衝動性眼球運動に何等かの異常がある児は異常のない児より WAVES の VPI が低い傾向があった (図 6-1~3)。眼球運動の正確性、視覚認知機能、読み困難の症状は関連することが示唆された。

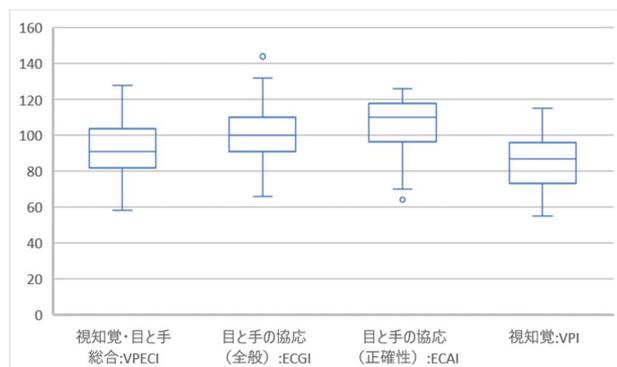


図 5 . WAVES の 4 つの指数

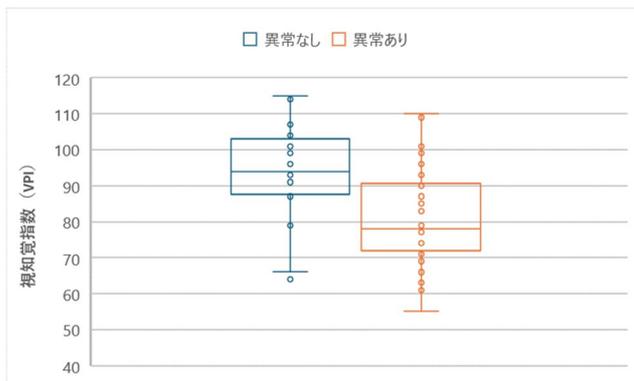


図 6-1 . 滑動性追従運動と視知覚指数

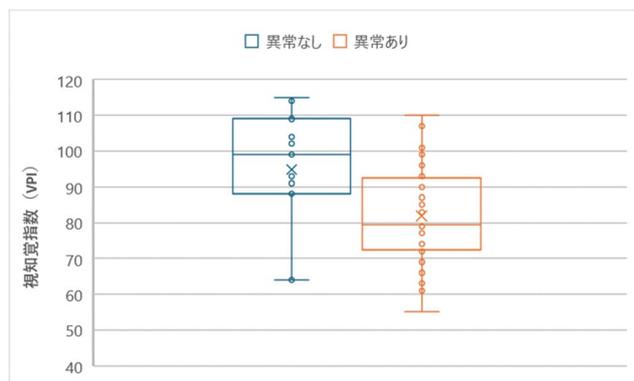


図 6-2 . 水平衝動性運動と視知覚指数

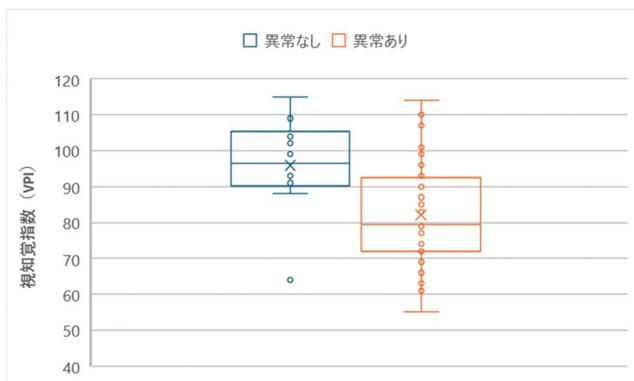


図 6-3 . 垂直衝動性運動と視知覚指数

本研究期間には、眼球運動訓練を患児に継続して実施いただくことが叶わなかった。コロナ禍の影響で継続的な訓練実施が難しかったこと、患児の興味や年齢により様々なものを提案したため効果の評価も困難であった。また、VOGを用いた眼球運動の計測は、有効なデータの取得が困難であった。今後も装置の見直しや測定方法の改善を行い、症例数を増やして検討する予定である。

読み困難児の眼科受診をルーティン化することで、屈折異常・眼位異常・色覚異常等の視機能異常や前眼部疾患等の発見に繋がったことは患児の学習環境改善の一助となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hirota Masakazu, Ueno Shinji, Inooka Taiga, Ito Yasuki, Takeyama Hideo, Inoue Yuji, Watanabe Emiko, Mizota Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Automatic Screening of the Eyes in a Deep-Learning?Based Ensemble Model Using Actual Eye Checkup Optical Coherence Tomography Images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 6872 ~ 6872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12146872	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirota Masakazu, Kato Kanako, Fukushima Megumi, Ikeda Yuka, Hayashi Takao, Mizota Atsushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Analysis of smooth pursuit eye movements in a clinical context by tracking the target and eyes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-12630-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikeda Yuka, Matsuoka Kumiko, Suda Mika, Tane Yusa, Hiramatsu Junko, Yamanouchi Madoka, Usui Satoko, Morimoto Shoko, Fujii Yasushi	4. 巻 52
2. 論文標題 Evaluation of Vision-related Skills in Children with Learning Disabilities Using the Wide-range Assessment of Vision-related Essential Skills (WAVES)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JAPANESE ORTHOPTIC JOURNAL	6. 最初と最後の頁 135 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4263/jorthoptic.52F117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田 結佳 広田 雅和 加藤 可奈子 松岡 久美子	4. 巻 15
2. 論文標題 Video-oculographyのキャリブレーション方法の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 眼科臨床紀要	6. 最初と最後の頁 194-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirota Masakazu, Hayashi Takao, Watanabe Emiko, Inoue Yuji, Mizota Atsushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Automatic Recording of the Target Location During Smooth Pursuit Eye Movement Testing Using Video-Oculography and Deep Learning-Based Object Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Translational Vision Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/tvst.10.6.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 広田 雅和	4. 巻 14
2. 論文標題 アイトラッカーを利用した間欠性外斜視の視機能評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 眼科臨床紀要	6. 最初と最後の頁 20-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirota Masakazu, Morimoto Takeshi, Miyoshi Tomomitsu, Fujikado Takashi	4. 巻 61
2. 論文標題 Simultaneous Measurement of Objective and Subjective Accommodation in Response to Step Stimulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Investigative Ophthalmology & Visual Science	6. 最初と最後の頁 38~38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/iovs.61.13.38	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 広田 雅和	4. 巻 32
2. 論文標題 融像維持能力による眼疲労の他覚的定量評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 VISION	6. 最初と最後の頁 107-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masakazu Hirota , Kozue Yada , Takeshi Morimoto , Takao Endo , Tomomitsu Miyoshi , Suguru Miyagawa , Yoko Hirohara , Tatsuo Yamaguchi , Makoto Saika , Takashi Fujikado	4. 巻 15
2. 論文標題 Objective evaluation of visual fatigue in patients with intermittent exotropia.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PloS one	6. 最初と最後の頁 e0230788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0230788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計47件(うち招待講演 5件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 池田 結佳 , 三橋 俊文 , 広田 雅和 , 齋田 真也
2. 発表標題 市販の眼球運動測定装置とパソコンを用いた制限視野下での読書速度の測定
3. 学会等名 第59回日本眼光学学会総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 広田 雅和
2. 発表標題 屈折・収差検査 [オートレフラクトメータ, 波面センサ]
3. 学会等名 視能訓練士専門教育プログラム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広田 雅和, 佐々木 翔, 加藤 可奈子, 瀧川 流星, 森本 哲郎, 米山 茂信, 林 孝雄
2. 発表標題 ライトフィールドヘッドマウントディスプレイの使用による眼疲労の評価
3. 学会等名 第58回日本眼光学学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広田 雅和, 福島 愛実, 佐々木 翔, 加藤 可奈子, 臼井 千恵, 水野 嘉信, 林 孝雄, 溝田 淳
2. 発表標題 機械学習を利用した眼底写真から他覚的回旋偏位を自動推定するソフトウェアの開発
3. 学会等名 第 78 回日本弱視斜視学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Hirota, Takao Hayashi, Emiko Watanabe, Yuji Inoue, Atsushi Mizota
2. 発表標題 Automatic Semi-Realtime Measurements of Eye Movements using Video Oculography and Artificial Intelligence
3. 学会等名 XIVth International Orthoptic Association Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Hirota, Kakeru Sasaki, Kanako Kato, Ryusei Takigawa, Tetsuro Morimoto, Shigenobu Yoneyama, Takao Hayashi, Atsushi Mizota
2. 発表標題 Evaluation of depth perception using light field head-mounted display
3. 学会等名 The Annual Meeting of The Association for Research in Vision and Ophthalmology2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広田 雅和, 佐々木 翔, 加藤 可奈子, 瀧川 流星, 森本 哲郎, 米山 茂信, 林 孝雄, 溝田 淳
2. 発表標題 ライトフィールドヘッドマウントディスプレイによる深視力の評価
3. 学会等名 第 126 回日本眼科学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Hirota, Takao Hayashi, Emiko Watanabe, Yuji Inoue, Atsushi Mizota
2. 発表標題 Automatic Measurements of Eye Movements using Video Oculography and Single Shot MultiBox Detector
3. 学会等名 Association for Research in Vision and Ophthalmology Annual Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広田 雅和, 加藤 可奈子, 池田 結佳, 林 孝雄
2. 発表標題 実空間における眼球運動検査の自動解析アプローチ
3. 学会等名 第 77 回日本弱視斜視学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 結佳, 広田 雅和, 加藤 可奈子, 山川 護, 松岡 久美子
2. 発表標題 赤外線視線追跡装置のキャリブレーション方法の検討
3. 学会等名 第 77 回日本弱視斜視学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広田 雅和, 佐々木 翔, 加藤 可奈子, 中込 亮太, 瀧川 流星, 岡部 千夏, 鎌倉 舞香, 三橋 俊文, 森野 誠治, 鈴木 誠, 林 孝雄
2. 発表標題 網膜投影ディスプレイ使用による屈折度変化
3. 学会等名 第 57 回日本眼光学学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 結佳, 松岡 久美子, 須田 美香, 太根 ゆさ, 平松 純子, 山内 まどか, 薄井 聡子, 森本 尚子, 藤井 靖史
2. 発表標題 WAVESによる学習障害児等の視覚関連スキルの評価
3. 学会等名 第 62 回 日本視能矯正学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 依田 龍之介, 広田 雅和, 西村 裕樹, 福島 愛実, 林 孝雄
2. 発表標題 近視性直乱視が読書速度に与える影響
3. 学会等名 第 62 回 日本視能矯正学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広田 雅和
2. 発表標題 眼科領域における AI
3. 学会等名 Feature of Orthoptist Night Seminar (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広田 雅和
2. 発表標題 アイトラッカーを利用した間欠性外斜視の視機能評価
3. 学会等名 第 76 回日本弱視斜視学会総会・第 45 回日本小児眼科学会総会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広田 雅和, 林 孝雄, 溝田 淳
2. 発表標題 Single shot multibox detector と eye trackerを組み合わせた 滑動性追従眼球運動の自動記録装置の開発
3. 学会等名 第 74 回 日本臨床眼科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広田 雅和
2. 発表標題 眼科領域における 深層学習を用いた研究動向
3. 学会等名 第28回 帝京弱視斜視研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 アイトラッキングと物体認識深層学習を組み合わせた現実空間において眼球運動を計測可能な測定装置	発明者 広田 雅和	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-207084	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	百瀬 桂子 (Momose Keiko) (60247210)	早稲田大学・人間科学学術院・准教授 (32689)	
研究分担者	松岡 久美子 (Matsuoka Kumiko) (90439597)	帝京大学・医療技術学部・教授 (32643)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	広田 雅和 (Hirota Masakazu) (40835435)	帝京大学・医療技術学部・准教授 (32643)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関