

視覚障害を考える場合には、視力と視野と双方で検討していかなければならないが、等級基準を変えるということは、そこに伴う福祉サービスの財源等まで考慮しなければならない。そして、視覚障害の当事者にある程度は納得してもらえるような案であることも必要である。大幅な改正というのは各現場の混乱を大きくする可能性が大であり、できるだけ避けたいところだが、課題は残るものの今回検討した各案の中ではⅡ案が現行基準にもっとも近い基準であることがわかった。

5. まとめ

障害基準を改変するには、基準のみではなく公的財源やサービスの内容も必ず検討し、各現場の混乱を最小に止められるように進めていくことが理想的だと思われる。

倫理審査および利益相反

本調査の内容は、国立障害者リハビリテーションセンターの倫理審査委員会で承認され、また、同センターにおける利益相反管理委員会において利益相反基準に該当せずと認められた。

参考文献

- 1) Nishida T, Ando N, Sado K, Nakadomari S. Reconsideration of the most appropriate criterion in the lowest classification of vision disability in Japan. *Jpn J Ophthalmol.* 2011; 55(6), 651-659.
- 2) 日本眼科医会研究班. 日本における視覚障害の社会的コスト. *日本の眼科.* 2009; 80(6) 付録 1-52

IV. 資料

- IV-1. 仲泊 聡 他. _____ 037
アクティブ視野計測システムの開発
- IV-2. 仲泊 聡 他. _____ 053
連鎖サッケード間潜時の設定によるアクティブ視野表現の変化
- IV-3. 仲泊 聡 他. _____ 061
視野障害者の手段的日常生活動作に関連する
アクティブ視野指標
- IV-4. 西脇 友紀 _____ 071
わが国における視覚障害関連施設の概要
- IV-5. 高橋 あおい 他. _____ 079
リアルタイム視線計測による刺激提示プログラムを用いた
錐体分離視覚刺激に対するサッケード潜時の比較
- IV-6. 引地 伽織 他. _____ 093
眼球運動訓練による求心性視野狭窄の視野代償機能改善

IV-1.

アクティブ視野計測システムの開発

仲泊 聡 西田 朋美 岩波 将輝 林 知茂 古田 歩 宮内 哲
小川 景子 高橋 あおい 久保 寛之 堀口 浩史 小田 浩一

【目的】

視線の変換は、周辺視野における誘目性の高い対象に向かって生じる。言い換えれば、視線の移動先にあたる視野はよく見えているはずである。したがって、視線計測を精密に行うことができれば、この情報から視野を推定することが可能である。我々は、この原理に基づいて、固視点を使用しない、より自然視に近い光点探索課題によって得た視線変換データから視野表を描く、新しい方式(アクティブ視野計測システム)を独自に開発し、求心性視野狭窄患者に適用した。

【対象と方法】

対象は、20名の健常者と5名の矯正視力良好(良い方が0.7以上)で視野障害のある網膜色素変性症患者であった。視覚刺激には、Goldmann視野計のV/4e視標での測定と同等の背景光と刺激光を用い、Humphrey視野計の30-2プログラムと同等の視野位置に相当する半径30度内の76点への視線変換を計測した。視線計測器はSMI社のREDで、サンプリングレートは120Hzであった。自作のソフトウェアを使用して視覚刺激と視線計測の制御を行った。時系列のテキストデータとして出力される視線位置データから視線変換を抽出し、その起点と終点を結ぶベクトルを算出した。また、視標と視線の位置関係から視線変換がそのとき視標を捕らえたかどうかを判定し、視標の提示時刻と視線の移動開始時刻との関係から視標が視線変換を誘発したかどうかを判定した。そして、これらに基づいて視野表を描画した。解析は、自作のソフトウェアを使用し、各種パラメーターを健常者データの分布を勘案して視野表描画ができる条件を検討した。

【結果】

平均視標捕獲誤差は、今回の被験者においては、健常者では 3.10 ± 1.15 度であったが、求心性視野狭窄患者では 15.60 ± 4.42 度であった。平均潜時は、健常者では 179.75 ± 10.38 msecであったが、視野狭窄患者では 200.88 ± 8.71 msecであった。ピーク速度は、視線変換の振幅に応じて変化した。健常者における0.5%タイルと99.5%タイルの値を基準に潜時の範囲、ピーク速度の範囲を決定したところ、それぞれ51~337msec、81~1103度/秒であった。また、視標を捕らえた視線変換には、複数の視線変換が連鎖して生じる場合があった。これは、健常者にも生じたが視野障害患者では頻繁に観測された。

【考察】

本検査法は、従来視野検査に準じた計測装置として使用することができ、視線を固定していないことから、日常生活での見え方に近い視機能を測定できるものと考えられる。

1. はじめに

視線の変換は周辺視野における誘目性の高い対象に向かって生じる。言い換えれば、視線の移動先にあたる視野は、よく見えているはずである。したがって、視線計測を精密に行うことができれば、この情報から視野を推定することが可能である。これまで、このようなアイデアから、視線変換の観測から視野を判定しようとするいくつかの試みがあった。

乳幼児や知的障害者、重度・重複障害者のように、言語的なコミュニケーションが困難な患者の視野検査は、これまで施行不能であることが多かった¹⁾。それゆえ、視線の観測から視野を評価することが、このような患者の視野測定において必要性が高く、さまざまな工夫が行われてきた²⁻⁵⁾。その中で、視線計測の方法として眼電図が古くから使用されてきた。しかし、そのデータが表す眼球位置情報は、ノイズ除去用のローカットフィルターのため変動が大きく、運動は測定できても精密な眼位測定は困難であった。したがって、かつて厳密な測定を行う場合には、コイルを内蔵したコンタクトレンズを使用したり、実験動物の場合は眼球にコイルを縫い付けて、電磁的にその空間情報を計測する方法がとられていた。しかし、1990年頃より眼球のビデオ映像を解析するタイプの非侵襲および非接触の視線計測法が開発されるようになり、比較的正確な視線計測装置として使用することが可能となった。

中野らは、2007年に非接触型視線計測装置を用いて、標準的な視野検査のできない患者にも、視野検査のエビデンスに基づいた障害理解や環境整備が行えるようにすることを目的に、眼球運動を指標とした視野計測について検討した⁶⁾。しかし、これに用いた視線計測システムでは、6名の健常被験者において、視線到達率、視線移動率、方向一致率、視線移動・方向一致率ともに大きな変動があった。彼らは、この結果から眼球運動を視野検査に利用できるものと判断したが、健常者

データでこれだけのばらつきが生じることから推察すると、その判断を受け入れることはできない。ただ、その着眼点は間違っではおらず、使用された計測システムの精度に問題があったと推察する。また、小谷らは、2010年に非接触型視線計測装置を用いた視野検査法として『視野検査システム』の特許を出願した。彼らの着眼点は、従来の視野検査の検査時間が長いことであり、視線計測を使用してその課題を解決することにあつた⁷⁾。しかし、実際に開発された視野計では、わずか16点の測定に4分を要し、たとえば、従来検査のHumphrey視野検査の標準的なプログラムである30-2シータファーストが、76点を5分程度で測定するのに比べ、決して検査時間が短縮されたとは言えない。その理由は、刺激提示において、固視点の提示、固視の判定、刺激の提示、刺激への視線変換の判定、視線変換が生じなかった場合の警告音の発生、刺激の探索の繰り返しという複雑な行程を経る必要があつたためと考えられる。さらに、MurrayらもSaccadic vector optokinetic perimetry (SVOP) と命名した非接触型視線計測装置を用いた視野検査法を開発し、Humphrey視野検査24-2プログラムとの高い相関があつたと報告した⁸⁾。これは、既報の中で我々が求めるものに最も近いと考えられるが、固視点をその都度設定し直すという点で非日常的な要素が強く、視野計測範囲が半径24度とやや狭い点で我々の研究にそのまま活用するには不十分であつた。また、Warrenらも同様の装置を使用して、水平方向、左右に4、12、20、28度へのサッケードの潜時、正確度、閾値を厳密に測定し、加齢変化がこれらには存在することを示した⁹⁾。

我々は、SVOP等と類似の原理と非接触型視線計測装置を使用して、特別な固視点を使用しない、より自然視に近い光点探索課題によって得た視線変換データから視野表を描く新しい方式(アクティブ視野計測システム)を独自に開発し、求心性視野狭窄患者に適用したので報告する。

2. 対象と方法

1) 対象

対象は、20名の健常者(男性9名、女性11名、年齢22-61歳)と5名の矯正視力良好(良い方が0.7以上)な網膜色素変性症患者(男性2名、女性3名、年齢36-65歳)であった。患者5名のうち4名は顕著な求心性視野狭窄を有し、1名は複雑な形状の輪状暗点を有していた。

2) 視覚刺激と提示方法

視覚刺激は、Visual Basicでプログラムされた自作ソフトウェア(smi_trial39)により生成され、27インチの汎用液晶モニター(iiyama ProLite XB2776QS)によって、輝度31.5asbの白色背景に、視角にして半径0.86度の輝度1031.5asbの白色円形視標を視距離60cmで、600～800msecの間でランダムに変動する持続時間で提示された。これは、Goldmann視野計のV/4e視標での測定と同等の背景光と刺激光であった。そして、Humphrey視野計の30-2プログラムと同等の視野位置に相当する視野半径30度内の76点への視線変換を計測した。視線計測器はSMI社のRED(サンプリングレート120Hz)で、smi_trial39を使用して刺激提示とともに視線計測器の制御を行った。測定に先立って、被験者視線位置のキャリブレーションを規定の方法(5点マッチング)で行い、さらにsmi_trial39による追加の補正を行った。測定結果は、随時、時系列の視線位置を示すデータとして出力され、これをリアルタイムで計算し、その都度、視線位置データに基づいて刺激の提示位置およびタイミングを決定した。

3) 解析

視野表の描画は別の自作ソフトウェア(GazeReader039)を使用し、オフラインで視線位置データから以下の手順で視野表を描画した。

(1) 視線変換候補の検出と起点と終点を結ぶベクトルの算出

視線データは毎秒最大で120個産生される。その時系列の隣り合った数値の差分は速度を意味する。理想的な視線変換では、速度は徐々に上昇して一つのピークをもって徐々に低下する。このピークを検出することで視線変換の候補を検出することができる。この視線変換の候補の速度が30度/秒になる時点をもその起点とし、視線変換が終わる手前の30度/秒となる時点を終点とした。そして、これらの二つの時点での視線位置をつなぐベクトルが、その視線変換の振幅と方向を表す。

(2) 視線変換の決定

まず、視標提示から視線変換の起点までの時間を50～500msecと仮に規定した。この間に発生した視線変換候補のうち、ピーク速度が30～2000deg/secのものに仮に限定して抽出した。さらに、今回の視野測定を前提とした視線変換検出の効率を考え、急速眼球運動の持続時間(起点から終点までの時間)の割に振幅が低いものを除外するため、

$$d(\text{度}) = 10 \times \text{持続時間(秒)} + 2$$

として、d(度)が振幅(度)よりも小さいとき、その視線変換候補を解析から除外することとした。これは、視線変換の振幅は、小さいものほど多数記録されるが、その中にはノイズが多く混入すると考えたためである。これにより、振幅2度以内の視線変換は、本解析から除外されるが、視野計測に使用する視覚刺激の最小移動距離が4.24度であるため大きな問題にはならない。20名の健常者を被験者として行った実験結果の各種データの分布から、我々のシステムにおける視線変換同定のためのパラメーター(最大速度および潜時の範囲等)を決定した。

3) 視標捕獲判定

視標位置と視線変換の終点における視線位置の距離が6.71度以内であったとき、視線がそのとき視標を捕らえたと判定した。この視標視線間距離は、半径30度の円形視野の5%の面積を有する円形視野部分の半径である。これにより視標を捕らえたと判定された視線変換をアクティブサッケードと呼んだ。

(4) 視標視線変換誘発判定

視標の提示時刻後の一定時間内に視線変換が開始されたとき、その視標が視線変換を誘発したと判定した。この一定時間は、健常被験者の視線変換データの潜時の分布より規定した。これにより、視線変換を誘発したと判定された視標の提示位置を変換前の視線位置を基準としてサッケード誘発視標位置(Saccade-Provoking Target-Position、以下、SPTP)として算出し、SPTPの刺激によって誘発された視線変換を視標移動誘発サッケード(Target Motion Provoked Saccade、以下、TMPS)とした。なお、SPTPを計算するために使用された視線変換は、視標提示後の一定時間内に起点をもつもののうち、最初に生じたものに限定した。

(5) 任意の視線変換の終点とそれと連鎖的に続く視線変換の起点との間隔

一般的にサッケードは、1回ではなく複数のサッケードが連鎖的に生じて目標に到達するものも少なくない。本システムでは、視線変換のピーク速度で視線を検出することから、このような複合的なサッケードがあっても、分割されて処理されることになる。しかし、視野表を描画するという目的を果たすためには、このような複合サッケードをまとめて一つの視線変換と決定する必要がある。そこで、我々は、この連鎖する視線変換の間隔に注目して、これを制御することでより正確な視野測定が可能になるのではないかと考えた。パラメーター

(PeriodForSaccadeChain)を設け、任意の視線変換の終点とそれに続く視線変換の起点との間隔がこれよりも短い場合は、これらの連鎖する視線変換を一連のものとして判定するようにした。当初はこの値を80msecとして解析し、他のパラメーターを決定したのち、その分布から最適値を検討する。

(6) 視野表の描画

a) アクティブサッケードマップ

まず、前述の方法で視線変換を検出し、それがアクティブサッケードであるかを判定したのち、TMPSであるかどうかにより、白と黒に色分けを行い、視線変換の起点をグラフの原点として終点にあたる位置に反応点を白色または黒色の円盤でプロットした。ここで、白色点は、TMPSであるアクティブサッケード(視標に誘発され視標を捕らえた視線変換)で、黒色点は、TMPSではないアクティブサッケード(視標が出現してすぐには向かわなかったものの結果的に視標を捕らえた視線変換)である。なお、アクティブサッケードはTMPSであろうとなかろうと視標を捕らえたことに変わりなく、その視野が使えたのであるから、ともに「見える範囲」として直観的に理解しやすいようなイメージ図の作成を試みた。

b) SPTP正確度マップ

新しい視標が出現して一定時間内に視線変換が生じた場合、視線変換前の視線位置を原点とした視野座標上の周辺部分、すなわちSPTPに出現した新しい視標を知覚できたと解釈できる。したがって、SPTPをマップとして示せば、従来の視野検査に類似した知覚に基づいた視野表を作成できる。視標提示直後に視線変換を生じさせたSPTPのうち、アクティブサッケードを誘発したものをSPTP_in、アクティブサッケードではない視標から離れたところに終点を持つ視線変換を誘発したものをSPTP_outとした。SPTP_inは、ほぼ

確実に見えている視野部分であるといえるのに対し、SPTP_outは、もう少しでSPTP_inにもなりうるものと、全くいい加減な方向に向かって、タイミングだけが合って動いたものが混在する。すなわち、何となく見えた部分と全く見えなかった部分を含む。これは、従来の視野計で示される暗点の部分に相当する。一方、視標提示後に視線変換を誘発しなかった視標の位置をSPTP陰性と命名した。SPTP陰性の意味するところは、

- ① 視標が提示されても規定時間内に明確な視線移動がなかった場合
 - ② 視標が提示された後、視線変換の定義を満たさない極めて緩徐な眼球運動または極端に高速の眼球運動が生じた場合
 - ③ 瞬目などの原因で測定器が眼球を認識せずデータが欠損した場合
- のいずれかであると考えられる。

SPTP正確度マップでは、視標提示時点での視線から視標への相対位置における、視線変換の正確度を白から黒へのグレースケールの丸で表示した。これはSPTPで、半径30度視野内の1%に相当する半径3度内なら白、5%相当の半径6.71度内に入らなければ黒とし、その間を程度に応じてグレースケールで表した。また、SPTP陰性を小丸で表示し、赤と青で色分けを行った。ここで、赤は視線位置エラー(計測器が視線を見失うと0座標付近の数値が連続して記録される)または瞳孔径エラー(瞳孔径が0のときは、瞬目か何かのアーティファクトと考えられる)があったもの、青は無かったものである。なお、二重丸は連続サッケードの合成で一回の視線変換として処理したものを意味した。

c) SPTP潜時マップ

SPTP正確度マップと同様に視線変換の潜時をグレースケールで表示したものをSPTP潜時マップとした。ここでは、健常者データの75-95%タイルを上下限の基準としてグレースケールで表示した。

d) SPTP速度マップ

同様に視線変換の最大速度をグレースケールで表示したものをSPTP速度マップとして表示した。ここでは、健常者データの10-50%タイルを上下限の基準としてグレースケールで表示した。

(7) 視野狭窄患者特性の検討

以上の方法で、決定した各種パラメーターにより、健常者と求心性狭窄患者のデータを解析し、アクティブ視野表を作成するとともにアクティブ視野における視野狭窄患者の特性について検討した。

3. 結果

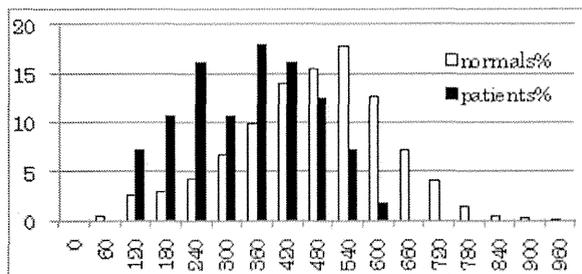
1) アクティブ視野計測中の健常者・視野狭窄患者の視線変換

20名の健常被験者のデータから計2409回分の視線変換データが得られ、そのうちの1371回がTMPSであった。5名の視野狭窄患者のデータでは、計1696回分の視線変換データが得られたが、そのうちのTMPSは316回に過ぎなかった。

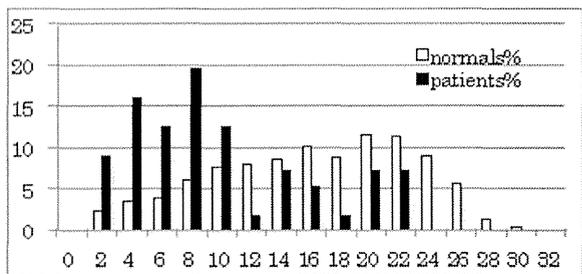
(1) ピーク速度・振幅の分布

全視線変換データにおいて、平均ピーク速度は、健常者では 408.7 ± 191.8 度/秒で、視野狭窄患者では 529.0 ± 472.4 度/秒であった。TMPSにおける平均ピーク速度は、健常者では 490.5 ± 155.6 度/秒で、視野狭窄患者では 412.5 ± 297.5 度/秒であった。それに対して、TMPSではなかった視線変換でのそれは、健常者では 300.7 ± 181.4 度/秒で、視野狭窄患者では 555.7 ± 500.2 度/秒であった。一方、全視線変換データにおける平均振幅は、健常者では 13.2 ± 7.5 度で、視野狭窄患者では 11.3 ± 8.4 度であった。

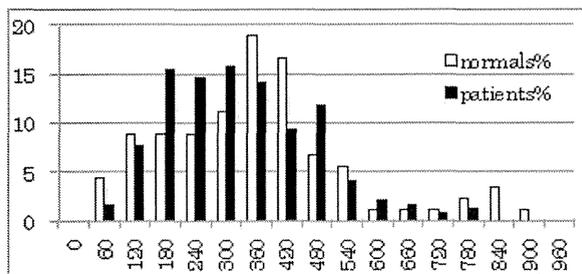
TMPSであるかどうかとアクティブサッケードであったかどうかにより、4つのグループに分け、そのそれぞれでの健常者と視野狭窄患者のピーク速度と振幅の分布を図1および図2に示す。



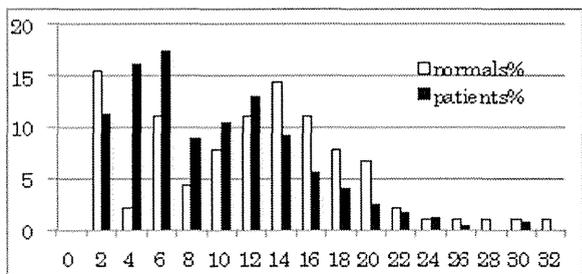
A. アクティブサッケードであるTMPS



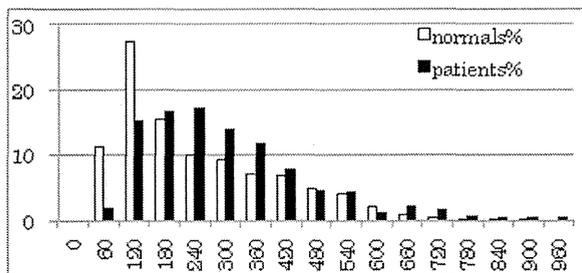
A. アクティブサッケードであるTMPS



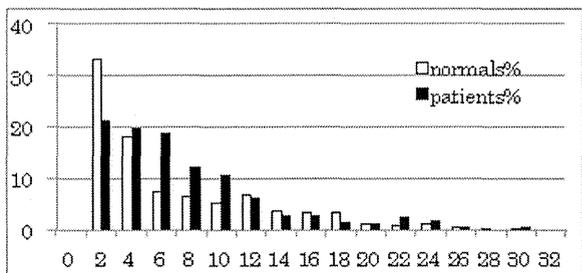
B. アクティブサッケードではないTMPS



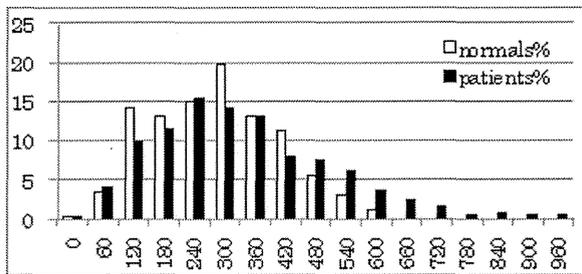
B. アクティブサッケードではないTMPS



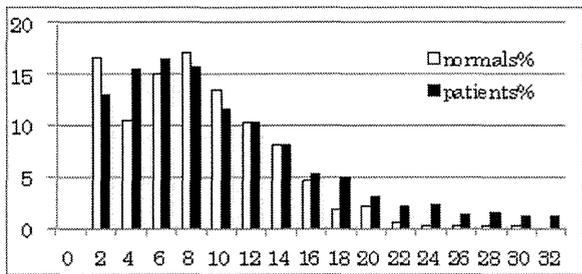
C. TMPSではないアクティブサッケード



C. TMPSではないアクティブサッケード



D. TMPSでもアクティブサッケードでもないもの



D. TMPSでもアクティブサッケードでもないもの

図1. ピーク速度の分布
(健常者と視野狭窄患者での比較)

横軸はピーク速度(度/秒)、縦軸は%

図2. 振幅の分布
(健常者と視野狭窄患者での比較)

横軸は振幅(度)、縦軸は%

なお、アクティブサッケードであるTMPSは健常者で1259回、視野狭窄患者で56回、アクティブサッケードではないTMPSは健常者で112回、視野狭窄患者で260回、TMPSではないアクティブサッケードは健常者で637回、視野狭窄患者で349回、TMPSでもアクティブサッケードでもないものは健常者で401回、視野狭窄患者で1031回であった。

図3に健常者におけるピーク速度と振幅の関係を示す。これが示すように、本研究で観測した範囲におけるピーク速度と振幅には、ほぼ線形関係が存在することが明らかである。視野狭窄患者においてもノイズは多いがほぼ同様の関係がみられる。

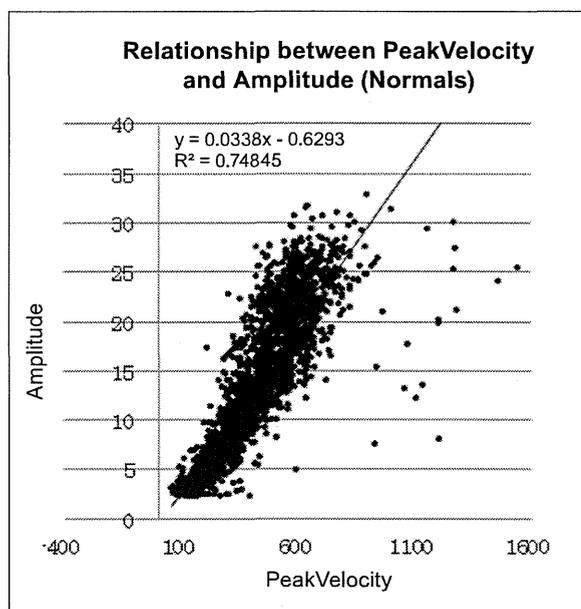
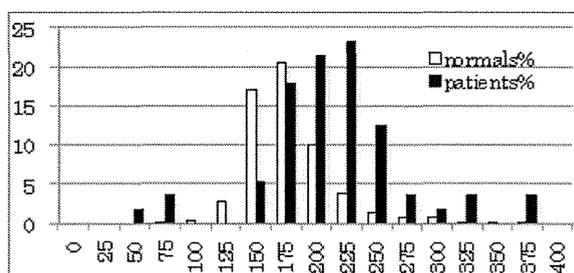


図3. 健常者におけるピーク速度と振幅の関係
横軸がピーク速度(度/秒)で縦軸が振幅(度)。
強い正の相関を示す(R²=0.74845)。

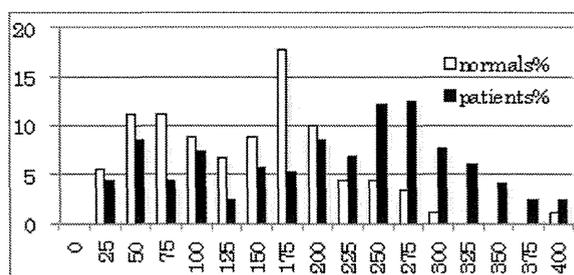
なお、健常者の全視線変換におけるピーク速度の0.5%タイルは81度/秒で99.5%タイルは1103度/秒であった。また、健常者のTMPSにおけるピーク速度の1%タイルは126度/秒で、10%タイルは283度/秒、50%タイルは500度/秒、99%タイルは848度/秒であった。

(2) 潜時の分布

潜時は、視標が提示されてから視線変換の起点までの時間であり、視標提示とは無関係に生じる視線変換では記録できない。したがって、TMPSについてのみ検討する。平均潜時は、健常者では180.5±37.2msecであったが、視野狭窄患者では219.8±96.2msecであった。両者の分布をアクティブサッケードであったか否かに分けて図4に示す。ここで、健常者の0.5%タイルは50.1msecで、75%タイルは191.9msec、95%タイルは241.8msec、99.5%タイルは337.1msecであった。



A. アクティブサッケードであるTMPS



B. アクティブサッケードではないTMPS

図4. 潜時の分布 (健常者と視野狭窄患者での比較)

横軸は潜時(msec)、縦軸は%

2) 視野表描画における最適パラメータの決定

(1) RangeForLocalMaxVelocity

局所での最大速度を求めるための範囲のことで、速度データのピークの前後で比較すべき他のピークを探す時間のことである。健常者実験で得られた潜時のほぼ99.5%タイルの340msecを採用した。

(2) StandardVelocity

視線変換のピーク速度の下限を表す設定値である。健常者データのおよそ0.5%タイルである80度/秒を採用した。

(3) UpperLimitVelocity

視線変換のピーク速度の上限を規定する数値である。健常者データのTMPSでのおよそ99%タイルである850度/秒を採用した。本システムでは、視線計測器が被験者の目を見失ったとき、異常に速い視線移動が記録されてしまうというアーティファクトがあるため、ピーク速度の上限値を限定することによってこれらを除外することができる。

(4) Range1MeasurementErrとRange2MeasurementErr

これらの値の間に視線変換の起点が含まれる場合、TMPSとする値である。健常者の潜時データのほぼ0.5%タイルと99.5%タイルの50msecと340msecを採用した。

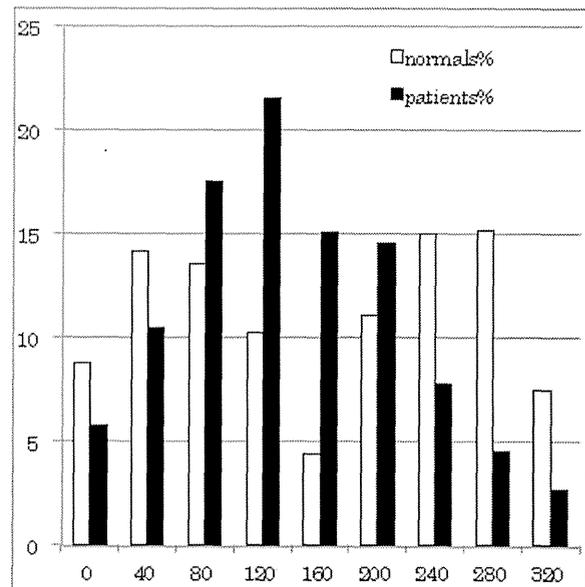


図5. 連鎖サッケード間潜時の分布
(健常者と視野狭窄患者での比較)

横軸は潜時(msec)、縦軸は%。ピークは健常者では二つであり、視野狭窄患者では一つである。

(5) PeriodForSaccadeChain

任意の視線変換の終点とそれに連鎖する視線変換の起点との間隔の臨界値である。実際のデータがこれよりも短い場合は、当該の連鎖する視線変換を一連の一個の視線変換と決定した。当初はこの値を80msecとして解析し、他のパラメーターを決定した。そして、次にこれらのパラメーターのうちPeriodForSaccadeChainだけをRangeForLocalMaxVelocityと同値としてその分布を検討したところ、図5に示すように連鎖サッケード間潜時の分布には、健常者では50msec近辺と250msec近辺の二つのピークが、視野障害者では120msec近辺一つのピークが明確にあることがわかった。健常者の第一の山と視野障害患者の山の境界は80msec近辺であることから、PeriodForSaccadeChainを80msecで規定することで、健常者の短い連鎖サッケード間潜時をもつ視線変換をその直前の視線変換の一部として統合するようになることが望ましいと考えた。

3) 健常者と求心性視野狭窄患者のアクティブ視野
前項で決定した各種パラメータを使用して、各種指数について再評価するとともに、アクティブ視野における各種マップを作成した。

(1) 平均視標捕獲誤差と他のアクティブ視野指数

平均視標捕獲誤差は、視標位置と視線変換の終点における視線位置の距離(視標捕獲誤差)の全視線変換の平均である。今回の被験者においては、健常者では1.6～5.3度(平均 3.1 ± 1.2 度)で、求心性視野狭窄患者では9.5～21.5度(平均 15.6 ± 4.4 度)であった。また、平均ピーク速度は、健常者では352.3～523.6度/秒(平均 422.8 ± 49.2 度/秒)、求心性視野狭窄患者では268.4～363.8度/秒(平均 332.7 ± 37.3 度/秒)であった。平均振幅は、健常者では11.3～17.7度(平均 14.0 ± 1.7 度)、求心性視野狭窄患者では7.2～9.6度(平均 8.5 ± 1.1 度)であった。また、平均潜時は、健常者では164.2～209.4msec(平均 179.8 ± 10.4 msec)、求心性視野狭窄患者では193～215msec(平均 200.9 ± 8.7 msec)であった。さらに、アクティブサックード数は、健常者では66～131回(平均 93.9 ± 16.8 回)、求心性視野狭窄患者では28～112回(平均 76.4 ± 31.3 回)であった。連鎖サックード数は、健常者では2～20回(平均 6.5 ± 4.5 回)、求心性視野狭窄患者では17～35回(平均 25.8 ± 7.8 回)であった。

(2) アクティブサックードマップ

代表的な健常者と網膜色素変性症患者5名のGoldmann視野検査のV/4eの範囲を左右眼で重ねたものとアクティブサックードマップおよびそのイメージ図を図6A、BおよびCに示す。

(3) SPTP正確度マップ・SPTP潜時マップ・SPTP速度マップ

代表的な健常者と網膜色素変性症患者5名のSPTP正確度マップ・SPTP潜時マップ・SPTP速度マップを図6のDEFに示す。正確度マップでは、視標捕獲誤差が3度以内のときを白、6.71以上のときを黒とし、その中間をグレースケールとして表した。潜時マップでは、健常者の75%タイルの192msec以下のとき白、95%タイルの242msec以上のとき黒とし、その中間をグレースケールとして表した。また、速度マップでは、健常者のTMPSにおける平均ピーク速度の50%タイルの500deg/sec以上のとき白、10%タイルの283deg/sec以下のとき黒とし、その中間をグレースケールとして表した。

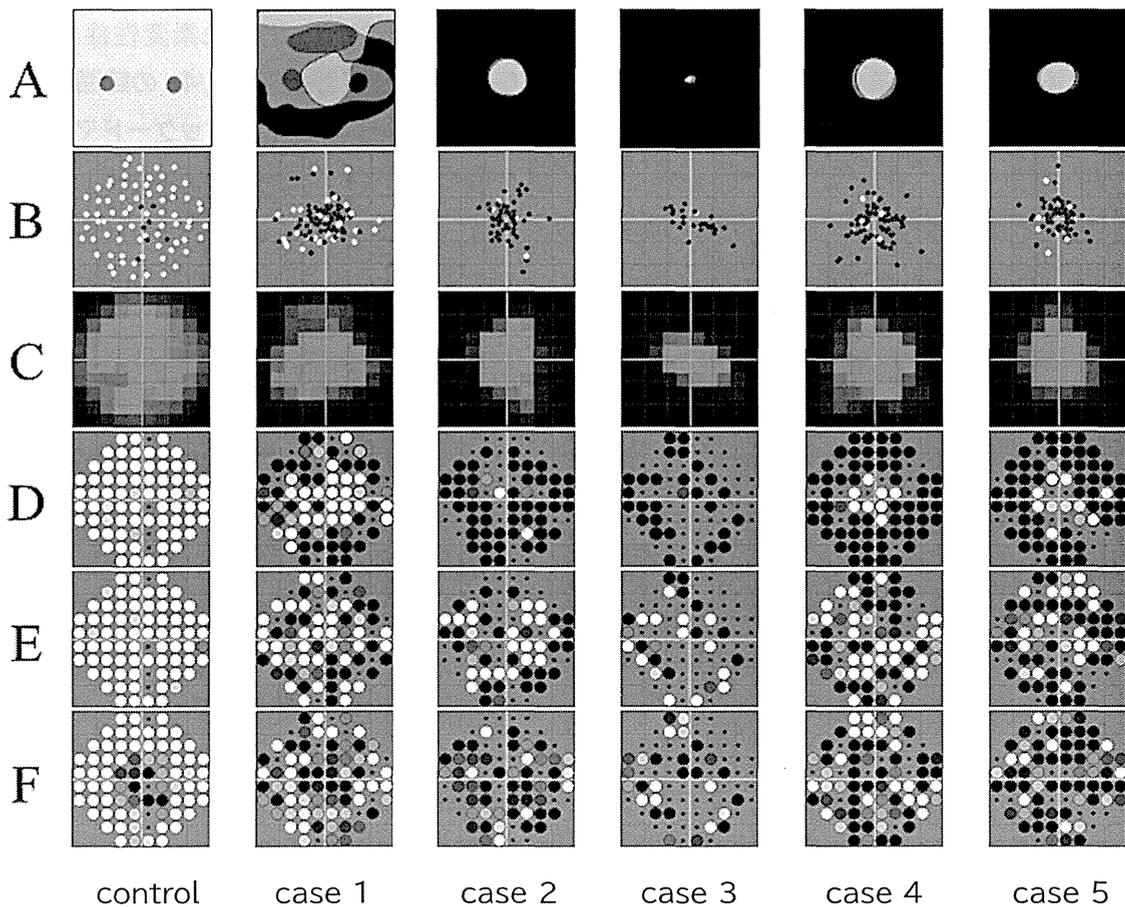


図6. アクティブ視野

最左列は健常者の代表例である。他の5列は視野狭窄患者各種視野表現である。すべての図において上下左右とも視角30度の範囲を表す。

A: Goldmann 視野検査V/4e 視標で反応した範囲

白は両眼とも見えたところ、黒は両眼とも見えなかったところ、灰色は片眼のみ見えなかったところを意味する。

B: アクティブサッケードマップ

白色点は、TMPSであるアクティブサッケード(視標に誘発され視標を捕らえた視線変換)で、黒色点は、TMPSではないアクティブサッケード(視標が出現してすぐには向かわなかったものの結果的に視標を捕らえた視線変換)を表す。

C: アクティブサッケードマップ(イメージ図)

D: SPTP正確度マップ

大丸は、視標提示時点での視線から視標への相対位置における視線変換の正確度を半径3度内なら白、半径6.71度内に入らなければ黒とし、その間を程度に応じてグレースケールで表した。小丸は、SPTP陰性を意味し、赤は視線位置エラーまたは瞳孔径エラーがあったもので、青は無かったものである。二重丸は連続サッケードの合成で一回の視線変換として処理したものを意味する。

E: SPTP潜時マップ

視線変換の潜時をグレースケールで表示した。健常者の75%タイルの192msec以下のとき白、95%タイルの242msec以上のとき黒とし、その中間をグレースケールとして表した。

F: SPTP速度マップ

視線変換の最大速度をグレースケールで表示したものをSPTP速度マップとして表示した。健常者のTMPSにおける平均ピーク速度の50%タイルの500deg/sec以上のとき白、10%タイルの283deg/sec以下のとき黒とし、その中間をグレースケールとして表した。

4. 考察

1) アクティブ視野計測中の健常者・視野狭窄患者の視線変換特性

健常被験者のデータでは、計2409回中1371回がTMPSであったが、視野狭窄患者のデータでは、計1696回中のTMPSは316回に過ぎなかった。一回の実験で理想的には76回の視線変換があるため、20名では1520回、5名では380回がデータ数になるはずであるが、実際にはTMPSではない、すなわち、視標の出現とは異なるタイミングで生じる視線変換があるため、合計数はこれらを上回る。そして、TMPSは、なんらかの原因で計測できない場合や視標の出現に気がつかない場合もあるため、これらの理想値に満たないのが通常と考えられる。今回のデータは、視野狭窄患者ではとくにこの傾向が大きく、見失った視標を多数の視線変換で探し出そうとする行為と視標が出て気づかなかったことが、これらの数字となっていることがわかる。

また、アクティブサッケードに注目するとTMPSは健常者で1259回、視野狭窄患者で56回であり、明らかに視野狭窄患者で視標を見つけることができていなかったことがわかる。しかし、TMPSではないアクティブサッケードは健常者で637回、視野狭窄患者で349回であり、視野狭窄があっても視線変換により、視標を見つけることができていることがわかる。一方、アクティブサッケードではないTMPSは健常者で112回、視野狭窄患者で260回、TMPSでもアクティブサッケードでもないものは健常者で401回、視野狭窄患者で1031回であった。これらにも視野狭窄患者がいかに視覚探索のための視線変換を頻繁に行っているかがわかる。

(1) ピーク速度と振幅

視線変換の主成分である急速眼球運動は、一般に30～800度/秒のピーク速度を有し、その振幅は0.5～40度と言われている¹⁰⁾。今回

の実験では、視線に対してあらかじめ規定した位置に視標が提示された。その範囲は、4.24度～28.5度の間であった。しかし、実際の検査では、微調整のために小振幅の視線変換が生じることも、視標を見失って視覚探索のため大振幅の視線変換が生じることもあった。これらの自覚的状況をリアルタイムに客観計測することはできないため、微調整の小振幅なものは、その直前のサッケード間潜時が短いことに注目し一連のものとして統合し、また、視標を見失った場合も想定して、視標を見つけて視標を見たことの根拠として視線位置と視標位置の距離に注目し、これを判定した。視標を固視していて次の視標が提示された時、健常者はすぐにそれを見つけ視線を変換することができる。一方、視野狭窄があり、視標が暗点内に提示された場合は、これを見失い、どこにも視標がないと思える状況になる。しかし、常に視標が提示されていることはわかっているため、視標が消えた時はすぐに何らかの視線変換を行うことになる。そして、視線を変換して見えるところに視標が入ってくるととたんに視線をそちらへ向ける。すなわち、TMPSであるかどうか、アクティブサッケードであるかどうかで全ての視線変換を4つに分類することができる。

図1と図2によると、健常者では視野狭窄患者に比べ、圧倒的にTMPSかつアクティブサッケードである視線変換が多い。そして、そのピーク速度は速く、振幅は長かった。TMPSではあるが、アクティブサッケードではないという場合、視標を見失ったときの初動の視線変換が記録されていると考えられる。これについては、健常者と視野狭窄患者との大きな差はみられなかった。一方、TMPSでないものは、それがアクティブサッケードであるならば、見失って探索しているときに視標を見つけ、視線を向けたという場合の視線変換がほとんどであると考えられる。このピーク速度は、TMPSかつアクティブサッケードのときに比べ、ピーク速度は遅く、振幅は小さかった。また、

TMPSでもアクティブサッケードでもない場合は、それ以外ということになる。健常者ではこのようなデータが生じないことが望ましく、今回見られた16.7%の視線変換は、システムの改良の余地を意味している。一方、患者の場合は、視野狭窄が重篤になる程、このタイプの視線変換の割合が上昇することが予想できる。しかし、このタイプの視線変換のピーク速度と振幅に健常者と視野狭窄患者との差はみられなかった。

(2) 潜時

今回の測定では、視線変換の潜時は、健常者では 180.5 ± 37.2 msecで、視野狭窄患者では 219.8 ± 96.2 msecであり、患者でのばらつきは大きかったが、平均値で約40 msecの延長がみられた。一般的なサッケード潜時は、約200 msecと言われている¹⁰⁾。これに比べ、今回の健常者の結果はやや短縮しているかもしれない。これまでの視線変換に関するほとんどの研究は、固視点を設定して周辺視野に視標を提示して視線を向けさせるというプロトコルを使用している。それに対し、今回の結果は、特別な固視点を設定しないで、視標自体が固視点になるような手法をとっている。この違いが、潜時の短縮を生んでいるのかもしれない。また、サッケード潜時は、視覚刺激の輝度やコントラストによって変化すると言われている¹¹⁻¹²⁾。弱い刺激では、視細胞の反応が加算されて神経節細胞の活動電位が生じるまでに時間がかかるため、潜時に延長が生じると考えられている。よって、視力が良好でも周辺網膜の視細胞に障害のある網膜色素変性の患者で、視線変換の潜時が延長したことは当然といえる。

2) 健常者と求心性視野狭窄患者のアクティブ視野

(1) 平均視標捕獲誤差と他のアクティブ視野指数

平均視標捕獲誤差は、視線変換の全体的な正確度を意味する。しかし、キャリブレーションの時

点で誤差が生じると、それがそのまま数値に表れる。実験が長引くと姿勢の変化に伴ったずれが生じ、これも影響する。今回のデータでは、健常者でも $1.6 \sim 5.3$ 度(平均 3.1 ± 1.2 度)の変動がみられた。しかし、視野狭窄患者では、 $9.5 \sim 21.5$ 度(平均 15.6 ± 4.4 度)とその変動は明らかに大きい。このことから、平均視標捕獲誤差が視野障害の程度を表す総合的指標としての意義をもつものと考えられる。今後、システムの精度が上がることで、この値をもって視野障害の程度を規定できるようになるかもしれない。

また、アクティブサッケード数は、視標を見つけた数であるので、視野障害が重篤なほど減少すると考えられる。しかし、実際に今回の結果では、健常者で66~131回(平均 93.9 ± 16.8 回)、求心性視野狭窄患者で28~112回(平均 76.4 ± 31.3 回)と大差はなかった。この点については、さらなる検討が必要である。たとえば、健常者においてアクティブサッケード数が76を超えている場合が少なくない。これは、データの詳細を確認すると、一度見つけた視標から視線が逸れて、再び視線を向けるという事態が起きた場合に生じることがわかっている。視標の提示時間が長いとこれが増える。その一方で、提示時間が短すぎると今度は課題が困難になり、患者や高齢者などに施行困難となる。本システムでは、その点で視標の提示時間が非常に重要なポイントとなる¹³⁾。

連鎖サッケード数は、今回の結果では、健常者では2~20回(平均 6.5 ± 4.5 回)、求心性視野狭窄患者では17~35回(平均 25.8 ± 7.8 回)であった。すなわち、健常者でも生じるが、視野狭窄患者で比較的多く生じていることがわかった。これは、視標を見失ったときの視覚探索によると考えれば当然の結果と言える。したがって、この数値も視覚障害の程度を示す指数になりうるものと考えられる。

(2) アクティブサッケードマップ

図6のAおよびBに見られるように、視野狭窄患者のアクティブサッケードマップは、Goldmann視野検査のV/4eと同等の条件で記録しているにもかかわらず、この範囲を明らかに越えて反応しているのがわかる。この視野の範囲が広がる理由は、視標の提示条件を考える限り、思い当たるものがない。光点に対する視線変換を担う神経系は、視覚のメインルートである外側膝状体系のみならず、網膜から上丘への直接投射があることがわかっているが、その系に属する神経節細胞の詳細については明らかになっていることが少ない。もし、大きな受容野を有する神経節細胞がこの系に存在していたら、メインルートへの神経節細胞を脱分極できない程度の刺激が、上丘へ投射する神経節細胞を脱分極させることができるのかもしれない。今後、視覚刺激の特性を厳密に調整した心理物理実験を企画し、この可能性について検討する必要がある。

(3) SPTP正確度マップ・SPTP潜時マップ・SPTP速度マップ

図6のC、DおよびEの3つのSPTPマップは、視線に対して76のHumphrey視野計の測定点に視標を提示した際のTMPSの状態をグレースケールでそれぞれ表示している。この中で、正確度マップは、よく見えているほど正確度が改善するというコンセプトで作った。その点で、アクティブサッケードマップとは異なる、網膜感度を測定する従来の視野検査に比較的近いものであると考えられる。また、正確度というスケールを使った、通常視野検査が閾値をスケールとしているのとはまた異なる量的な視野評価ができるのではないかと考えた。また、潜時マップもコントラストや輝度が低いと潜時が延長するという先行研究の結果から、これもまた別のスケールでの量的視野を表現できるのではないだろうか。Warrenらも、非接触型の視線計測機を使用して視線変換を詳細に

検討し、正確度と潜時は、視野特性として利用できる」と述べている⁹⁾。しかし、今回の例では、SPTP陰性が健常者ですらあり、視野狭窄が著しい例では非常に多かった。赤い小丸は、瞳孔エラーと計測エラーを意味しているため、測定を繰り返せば情報が得られる可能性がある。今後、SPTP陰性を繰り返し検査する手法を取り入れて視野描画の改善を試みたい。一方、速度マップは、これらとは異なる評価をせざるを得ない。それは、ピーク速度は振幅によって変化するため、視野位置で単一の表示基準を設けたのでは、適切な表示ができない。健常者においても中心視野において速度の低下が明らかであるため、今後、視野座標に応じた塗り分け基準を設けることを検討すべきである。

3) 連鎖サッケード

連鎖サッケード間の停留時間である連鎖サッケード間潜時において、今回非常に興味深い健常者と視野狭窄患者の違いがみられた。図5が示すように、健常者では50msec近辺と250msec近辺の二つのピークが、視野障害者では120msec近辺一つのピークが明確にあることがわかった。視線変換に伴う修正サッケードは非常に早い潜時で生じることがわかっている¹⁴⁾。また、これまでのサッケード研究では、100-130msecの早い潜時をもつエキスプレスサッケードというものがあると報告されている¹⁵⁾。すなわち、この連鎖サッケード間潜時から推定すると、これらに続く視線変換が、健常者では通常サッケードと修正サッケードが主な構成成分であり、視野狭窄患者ではエキスプレスサッケードが主な構成成分であるということが推定できる。

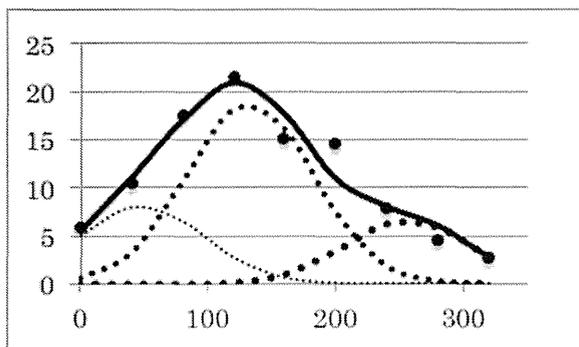
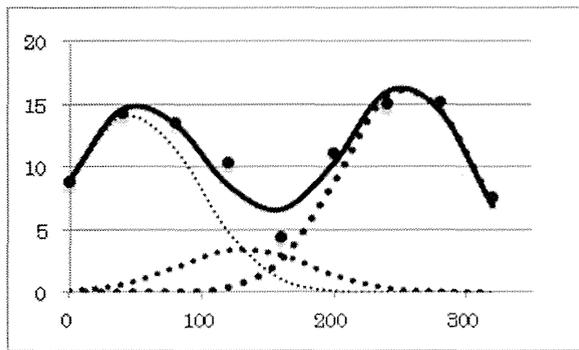


図7. 連鎖サッケード間潜時をつくる3つの成分

上図の点は健常者、下図の点は視野狭窄者のサッケード間潜時の度数の割合(%)を表す(図5と同様)。3つの点線は上下図とも同じ偏差をもつガウス分布で、実線で表した三者の和がデータに近づくように各ゲインを調整した。

図7は、「修正サッケードとエキスプレッサッケードと通常のサッケードの潜時のそれぞれの偏差は等しいが、その構成する割合が健常者と視野狭窄患者で異なっている」と仮定し、3つのガウス分布でフィッティングした結果である。各分布の偏差は49msecで、平均は、48、133、255msecであり、3つの構成割合は、健常者ではおよそ4対1対5であるのに対し、視野狭窄患者では1対3対1であった。また、この3つのガウス分布を区分するための境界値としては、平均の midpoint である90.5msecと194msecを採用すべきかもしれない。今後この点に注目してデータの解析を進めていきたい。

5. 結論

本検査法は、従来視野検査に準じた計測装置として使用することができ、視線を固定していないことから、日常生活での見え方に近い視機能を測定できるものと考えられる。

6. 謝辞

本研究は、厚生労働科学研究費補助金、障害者対策総合研究事業、感覚器障害分野(H25-感覚-一般-005)により行われ、その要旨については日本視覚学会2014冬季大会および第118回日本眼科学会総会で報告した。利益相反なし。

7. 文献

- 1) 中野泰志. 障害を併せもつロービジョン児のケア. 樋田哲夫(編)眼科プラクティス 14ロービジョンケアガイド 文光堂 pp.129-131.2007.
- 2) 普天間稔. 心身障害児の視野検査の試み. 日眼会誌81: 1539-1548, 1977.
- 3) 片桐和雄. 小児及び障害児の視野計測. 金沢大学教育学部紀要, 25: 29-38, 1976.
- 4) 中島和夫, 片桐和雄, 松野豊. 知能障害児の反射的眼球運動と他覚的視野測定を試み. 特殊教育学研究, 15: 14-21, 1977.
- 5) 久田育子, 仲泊聡, 斎藤雅広, 内川恵二, 北原健二. 知的障害者に対する視野検査. 神奈川リハ紀要 1999; 26: 79-81.
- 6) 中野泰志, 新井哲也, 永井伸幸, 井手口範男(2007). 眼球運動を指標とした視野測定方法の検討 ヒューマンインタフェースシンポジウム2007論文集: 709-714, 2007.
- 7) 小谷賢太郎, 田村俊樹. 視野検査システム. 特許第5421146号. 特許公報(B2)日本国特許庁, 2014.2.19.発行
- 8) Murray IC, Fleck BW, Brash HM, Macrae ME, Tan LL, Minns RA. Feasibility of saccadic vector optokinetic perimetry: a method of

automated static perimetry for children using eye tracking. *Ophthalmology* 116: 2017-2026, 2009.

9) Warren DE, Thurtell MJ, Carroll JN, Wall M. Perimetric evaluation of saccadic latency, saccadic accuracy, and visual threshold for peripheral visual stimuli in young compared with older adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013 Aug 27;54(8):5778-87.

10) Dell'Osso LF, Daloff RB. FAST EYE MOVEMENTS (SACCADES). In: Graser JS (ed.). Chapter 9. Eye Movement Characteristics and Recording Techniques. *Neuro-ophthalmology* third edition, Lippincott Williams & Wilkins. U. S. A. : 329-332, 1999.

11) Ludwig CJ, Gilchrist ID, McSorley E. The influence of spatial frequency and contrast on saccade latencies. *Vision Res.* 2004;44(22):2597-604.

12) Wheelles LL, Cohen GH, Boynton RM. Luminance as a Parameter of the Eye-Movement Control System. *J. Opt. Soc. Am.* 57, 394-396, 1967

13) 仲泊聡, 西田朋美, 岩波将輝, 宮内哲, 小川景子. 次世代視覚障害者支援システムの実践的検証(H25-感覚-一般-005). 平成25年度厚生労働科学研究費補助金事業総括研究報告書. 2014

14) Haller S, Fasler D, Ohlendorf S, Radue EW, Greenlee MW. Neural activation associated with corrective saccades during tasks with fixation, pursuit and saccades. *Exp Brain Res.* 2008 Jan;184(1):83-94.

15) Fischer B, Weber H. Express saccades and visual attention.

Behavioral and Brain Sciences 16, 553-567, 1993.

IV-2.

連鎖サッケード間潜時の設定によるアクティブ視野表現の変化

仲泊 聡 西田 朋美 岩波 将輝 林 知茂 古田 歩 宮内 哲
小川 景子 高橋 あおい 久保 寛之 堀口 浩史 小田 浩一

【目的】

光点探索課題によって得た視線変換データから視野表を描くシステム(アクティブ視野計測システム)で、求心性視野障害患者の視野計測を行ったところ、視標を捕らえた視線変換の中には、複数の視線変換が連鎖して生じる場合が頻繁にみられた。そして、この連鎖する視線変換の間の停留時間(連鎖サッケード間潜時)を視野表描画のパラメータとし、この時間を挟む二つの視線変換を一連とするか個別とするかによって、視野表現がどのように変化するかについて検討する。

【対象と方法】

対象は、16名の矯正視力の良好(良い方が0.7以上)な視野障害患者(求心性視野狭窄5名、左同名半盲6名、右同名半盲5名)であった。視覚刺激には、Goldmann視野計のV/4e視標での測定と同等の背景光と刺激光を用い、Humphrey視野計の30-2プログラムと同等の視野位置に相当する半径30度内の76点への視線変換を計測した。視線計測器はSMI社のREDで、サンプリングレートは120Hzであった。自作のソフトウェアを使用して視覚刺激と視線計測の制御を行った。連鎖サッケード間潜時が90.5msec以下のとき、その前後の視線変換を一連のものと判定した場合と、連鎖サッケード間潜時が194msecまで一連とした場合で、視野表を描画して比較した。

【結果】

視野狭窄患者における連鎖サッケード間潜時は、通常のサッケード潜時200msecをはるかに下回る100msec前後のものが多く検出された。この短い連鎖サッケード間潜時は、求心性視野狭窄患者のみならず、同名半盲の患者にもみられた。そして、連鎖サッケード間潜時が90.5msec以下のとき、その前後の視線変換を一連のものと判定して視野を描画すると、Goldmann視野検査の結果に近い視野表現となった。一方、連鎖サッケード間時間が194msecまで一連とした場合では、それよりも広い範囲の視野として表現された。

【考察】

本検査法は、連鎖サッケード間潜時の設定によって、従来視野検査に準じた計測装置として使用することができるとともに、従来検査よりもむしろ日常の行動制限を予測可能なものとして使用できる可能性が示された。視野障害患者の中には、視野検査の結果からは推定できない、優れた生活行動を示す場合があり、この原因が何であるかはこれまで不明であった。今回の結果は、その矛盾を説明する手がかりになるものと思われた。

1. はじめに

我々が開発した光点探索課題によって得た視線変換データから視野表を描くシステム「アクティブ視野計測システム」で、求心性視野狭窄患者の視野計測を行ったところ、視標を捕らえた視線変換の中には、1回ではなく複数の視線変換が連鎖して生じる場合が頻繁にみられた¹⁾。そして、この連鎖して生じる視線変換の間の停留時間(連鎖サッケード間潜時)を視野表描画のパラメーターとして活用し、この時間を挟む二つの視線変換を一連とするか個別とするかによって、視野表現がどのように変化するかについて検討する。

サッケードの最高速度は振幅にほぼ依存しており、日常生活における視線変換の振幅は、0.5～40度と言われている²⁾。今回使用する視野計測用の光点探索課題では、視線変換を誘発する視覚刺激の振幅は4.24度から28.5度に設定しているため、おおむね日常生活で使用される視線変換の範囲を網羅している。サッケードを高精度に記録した研究によると、目標に到達しそなったサッケードが目標近くで瞬時に軌道を折り返すような場合、折り返し点での停留時間(連鎖サッケード間潜時)は非常に短く100msec以下であり、この短い潜時に続いて生じる小振幅のサッケードを修正サッケードと呼んでいる³⁾。一方Fischerらは、サッケードの潜時が、固視点が消えないで目標が出現する条件および固視点が消えたと同時に目標が出現する条件では200msec内外であるのに対して、固視点が消えてわずかにギャップがあった後に目標が出る(ギャップ条件)と潜時が100msec程度に短縮することを見出し、これをエキスプレスサッケードと呼んだ⁴⁾。エキスプレスサッケードの生起メカニズムについては、緒論あるが、固視を解除する神経機構の行程が省略されるためではないかというものが有力である⁵⁾。視野内に暗点のある視野障害者は、光点探索課題を行っている間に、視標をしばしば見失う。つまり、固視点が消えてしばらくギャップが生じると

同様の状態が生じる。そして、視線を動かすうちに周辺視野に視標を見出だす。このときちょうどギャップ条件が満たされるため、エキスプレスサッケードが生じる条件が整う。

以上より、視線変換から視野を推定する場合、視覚探索課題中に視標を捕獲した視線変換(以下、アクティブサッケード)が、どのくらいの潜時をもっていたかに注目した場合、通常のサッケードの潜時、エキスプレスサッケードの潜時および修正サッケードの潜時のいずれもが生じうる。我々は、複数の連鎖した視線変換が記録された場合、「連鎖サッケード間潜時が何msec以下であれば一連の視線変換とみなす」というパラメーター(PeriodForSaccadeChain)を解析ソフトウェアに設定した。これを変化させて解析をすることで、修正サッケードをその直前の視線変換と一連とみなすことができる。そして、エキスプレスサッケードをその直前のものとは個別のものともできるし、また設定値を変えればこれを一連とみなすこともできる。我々は、この閾値を健常者と求心性視野狭窄患者の視線計測データから、修正サッケードをエキスプレスサッケードと分けし、エキスプレスサッケードを個別のサッケードとする境界を90.5msec、また、エキスプレスサッケードをその直前の視線変換と統合して評価する境界を194msecと推定した¹⁾。

視野障害患者がある点を凝視していた場合に、それまで見ていた視標が消えて、暗点内に視標が提示されると、患者には視標がどこにもなくなったと感じる。そして、いずれかの方向に視線を変換し、視野の見える範囲に新しい視標を見つけるとエキスプレスサッケードで瞬時にその視標を捉える。もし、この直前の視線変換とこのエキスプレスサッケードを一連とみなすことで、視標を発見できたと判定する場合、その連鎖サッケード間潜時とエキスプレスサッケードの持続時間の和である200msec程度の遅れはあるものの、明らかにより多くの視標を発見できたことになる。つまり、

これは視野が広がったということに近い状況と言える。視線変換データから視野を描画する場合、このような観点からの判定基準の転換の影響が、少なからず生じるに違いない。本研究では、この影響がいかなるものであるか実際の視野障害患者のデータから検討する。

2. 対象と方法

1) 対象

16名の矯正視力の良好(良い方が0.7以上)な視野障害患者(求心性視野狭窄5名、左同名半盲6名、右同名半盲5名)であった(表)。

表. 対象者のプロフィール

case#	VF type	age	BCVA on better eye
1	tunnel vision	55	0.7
2	tunnel vision	36	1.2
3	tunnel vision	65	1.0
4	tunnel vision	49	0.9
5	tunnel vision	36	1.2
6	LHA	41	1.2
7	LHA	23	1.2
8	LHA	61	1.2
9	LHA	45	1.2
10	LHA	41	1.2
11	LlowerQA	44	1.2
12	RHA	32	1.2
13	RHA	65	1.2
14	RHA	43	1.2
15	RHA	58	1.2
16	RlowerQA	38	1.2
	normal	55	1.5

2) 視覚刺激と提示方法

視覚刺激は、Visual Basicでプログラムされた自作ソフトウェア(smi_trial39)により生成され、27インチの汎用液晶モニター(iiyama ProLite XB2776QS)によって、輝度31.5asbの白色背景に、視角にして半径0.86度の輝度1031.5asbの白色円形視標を視距離60cmで、600～800msecの間でランダムに変動する持続時間で提示された。これは、Goldmann視野計のV/4e視標での測定と同等の背景光と刺激光であった。そして、Humphrey視野計の30-2プログラムと同等の視野位置に相当する視野半径30度内の76点への視線変換を計測した。視線計測器はSMI社のRED(サンプリングレート120Hz)で、smi_trial39を使用して視覚刺激とともに視線計測器の制御を行った。測定に先立って、被験者視線位置のキャリブレーションを規定の方法(5点マッチング)で行い、さらにsmi_trial39による追加の補正を行った。測定結果は、随時、時系列の視線位置を示すテキストデータとして出力され、これをリアルタイムで計算し、その都度、視線位置データに基づいて刺激の提示位置を決定した。

3) 解析方法

視野表の描画は別の自作ソフトウェア(GazeReader039)を使用し、オフラインで視線位置データから以下の手順で視野表を描画した(詳細は文献1参照)。まず、患者の連鎖サッカード間潜時を個人ごとに抽出し分布を調べる。次に求心性視野狭窄群、左同名半盲群、右同名半盲群で、その分布に差が見られないかを検討する。次に、連鎖サッカード間潜時が90.5msec以下のとき、その前後の視線変換を一連のものとして判定した場合と連鎖サッカード間潜時が194msecまで一連とした場合で、SPTP正確度マップを描画してこれらをGoldmann視野検査のV/4eの範囲と比較した。