

## 自動視野計による静的動的視野乖離の検討

萱澤朋泰 奥山幸子 松本長太 下村嘉一

近畿大学医学部眼科学教室

### 抄 録

視野検査には、静的と動的視野検査がある。近年、自動視野計を用いて、両視野測定の結果を中心0°で重ね合わせるにより、中心視野と周辺視野を同時に評価する試みがある。しかし、動的視標は、静的視標よりも刺激強度が強く、静的動的視野乖離 (statokinetic dissociation ; SKD) という現象が存在すると報告されている。このSKDの影響により、静的視野と動的視野の測定結果が異なる場合があるため、単純に両視野検査の結果を重ね合わせることは出来ない。今回我々は、正常者5例5眼を対象に、Octopus 900を用いて、III/4e, I/4e, I/3e, I/2e, I/1e, 視標速度1~10°/sec, の測定条件(50種)で鼻側経線(135°, 225°)上の通常の動的閾値(kinetic threshold ; KT)と反応時間を考慮した動的閾値 (corrected KT ; cKT)を検出した。そして、同部位で静的視野測定を行い(サイズIII), 各KTと静的閾値 (static threshold ; ST)の対応について検討した。さらに、緑内障症例25例25眼を対象に、Goldmann 視野計とHumphrey Field Analyzerの結果を比較し、I/4e, I/3e, I/2e, I/1eに対応するSTの評価を行った。正常者において、視標速度4°/secの場合、KTにおける生理的SKDは、III/4eは-1.27 dB, I/4eは1.29 dB, I/3eは1.70 dB, I/2eは2.09 dB, I/1eは3.01 dBであり、視野の中心に近づくにつれて、生理的SKDは増大する傾向にあり、網膜偏心度依存性を認めた。しかし、cKTにおけるSKDは、III/4eは2.63 dB, I/4eは4.32 dB, I/3eは3.72 dB, I/2eは3.19 dB, I/1eは3.63 dBであり、網膜偏心度依存性は認めなかった。緑内障症例において、I/4eは4.2 dB, I/3eは4.3 dB, I/2eは4.9 dB, I/1eは4.9 dBのSKDを認めた。動的視野と静的視野結果を重ね合わせる場合、視野の中心に近づくにつれて、生理的SKDを考慮する必要がある。cKTの場合、全視野において、SKDを考慮する必要がある。

**Key words :** 静的動的視野乖離, 自動動的視野計, 正常者, 緑内障, Octopus 900

### 緒 言

近年、視野検査の主体は、Goldmann 視野計(GP)による動的視野測定から、自動視野計による静的視野測定へ変わってきている。静的視野測定は、動的視野測定よりも中心30°内の視野変化を詳細に捉えることが出来るため、緑内障初期や黄斑疾患による視野変化の診断や経過観察に有用とされている<sup>1,2</sup>。動的視野測定は、視野の形状やパターン、残存視野を把握しやすく、緑内障末期や網膜疾患、神経眼科疾患に対して有用とされている<sup>3</sup>。両視野検査の欠点として、静的視野測定は、周辺視野を把握しようとする検査時間が非常に長くなる。動的視野測定は、手動で行うため、検者により結果が左右されることがある。そこで自動動的視野計が開発され、両視野検査の利点を活用するために、動的視野と静的視野検査の結果を重ね合わせ、中心視野は静的視野計により詳細に測定し、周辺視野は動的視野計により形状や残存視野の把握する試みが始まっている<sup>4</sup>。動的

視標は、主に視標サイズ I, Vが用いられているが、静的視標は、主に視標サイズIIIが用いられている。異なる視標サイズの視標を対応させる場合、空間和に基づく視野の調和現象という関係が用いられる。GPでは、「面積4倍の変化は輝度5 dBに相当する」とされているが、これは、空間加重効果として、動的視標は、 $\text{輝度} \times \text{視標面積}^{0.84} = \text{一定}$ の関係が成り立つと仮定したことが背景にある<sup>5</sup>。この関係が静的、動的視標間でも成立すると仮定した場合、動的視標に対応する静的閾値は、表1に示す通り(例: I/4eに対応する、視標サイズIIIの静的閾値は、20 dBとなる)である。しかし、動的視標は、静的視標よりも刺激強度が強く、静的動的視野乖離 (statokinetic dissociation ; SKD) を認めることが知られている<sup>6-17</sup>。これは、後頭葉の障害により静的視野で完全な同名半盲が検出された症例において、その半盲部位が動的視標に対しては認知したことをRiddoch現象として報告された<sup>6</sup>。その後、様々な視路疾患を有する症例や、正常者を対象とした場合でも、SKD

**表 1** 空間和に基づく視野の調和現象  
最高視標輝度1274 cd/m<sup>2</sup>、背景輝度10 cd/m<sup>2</sup>  
の場合斜線の視標が同等の刺激強度となる。

cd/m <sup>2</sup>	1274	1000	320	100	32	10	3	1	0.3
dB	0	1	6	11	16	21	26	31	36
GP filter			4e	3e	2e	1e			
視標サイズ	0								
	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								

が認められたと報告されている<sup>7-15</sup>。そのため、静的視野と動的視野の測定結果が異なる場合があり、単純に静的と動的視野を組み合わせることは困難と考えられている。動的閾値と静的閾値の感度差を考慮することにより、静的視野と動的視野を、厳密に組み合わせることが出来ると考えられるが、過去の報告では、動的閾値と静的閾値の視角距離を用いて、SKDを評価したものが多く、感度で評価したものは少ない。また、鼻側視野と耳側視野のSKDに、差を認めると報告されているが<sup>18</sup>、鼻側、耳側視野に分けて、SKDを感度で評価した報告はない。さらに、通常の動的閾値 (kinetic threshold ; KT) は、被検者が視標を視認してから応答するまでの反応時間 (reaction time ; RT) の影響のため、本来よりも、視野の中心側に位置するが、過去の報告のKTは、RTが考慮されていない。

今回我々は、自動視野計を用いて、正常者を対象に、各視標サイズ、輝度のKTと補正したKT (corrected KT : cKT) を検出し、KT、cKTと静的感度の差を用いて、鼻側視野における生理的SKDを評価した。さらに、緑内障症例を対象としたSKDを算出し、正常者の生理的SKDと比較検討した。

### 対象および方法

#### 実験1. 各動的閾値の生理的SKD

対象は、正常者5例5眼 (男性2例、女性3例、年齢31.6±5.2 (平均±標準偏差) 歳) である。正常者の採用基準は、矯正視力1.0以上、屈折は球面レンズ度数±6.0 diopters (D) 以内、円柱レンズ度数±1.5 D以内、瞳孔径3.0 mm以上、眼圧10~21 mmHg以内であり、中間透光体、眼底に異常を認めず、視野に影響を及ぼすと考えられる全身疾患を認めない

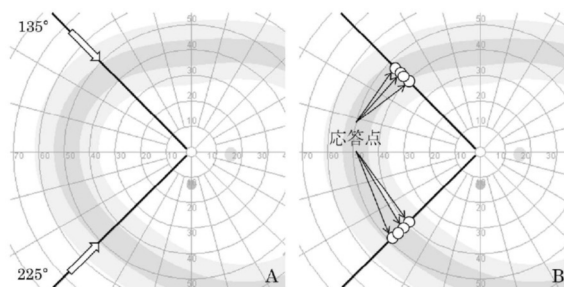
者とした。

動的視野測定は、Octopus 900 (Haag-Streit International, Koniz, Switzerland) EyeSuit Perimetry ver.4.1.0の動的視野測定プログラムである Goldmann kinetic perimetry (GKP) にて測定した。Octopus 900のGKPは、視角0.11°, 0.22°, 0.43°, 0.86°, 1.73° (Goldmann視標サイズI, II, III, IV, V)、輝度4~320 cd/m<sup>2</sup> (Goldmann視標輝度1a~4e)、視標速度1~25°/secを組み合わせて、始点座標(x, y)と終点座標を設定することで視標を呈示することが出来る。固視監視は、ビデオカメラ法が用いられている。本研究における視標サイズ、輝度は、III/4e, I/4e, I/3e, I/2e, I/1eの5つのゴールドマン等価視標を用いて、各視標の視標速度は、1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10°/secの10段階、背景輝度は、10 cd/m<sup>2</sup>、測定経線は、マリオット盲点の影響を避けるために、135°経線(鼻上側)、225°経線(鼻下側)に設定した。

測定方法は、計50種 (視標サイズ、輝度: 5種、視標速度: 10種) の視標条件を用いて、135°, 225°の経線上を求心方向に4回ずつ (計8回)、ランダムに視標を呈示した (図1-A)。そして、2経線上の4回の応答点座標を検出し、平均KT (図1-B) を算出した。

静的視野測定は、Octopus 900のCustom testを用いた。測定条件は、最高視標輝度1274 cd/m<sup>2</sup>、背景輝度10 cd/m<sup>2</sup>、視標呈示時間100 msec、Normal strategy (4-2-1 dB法)、視標サイズIIIに設定した。動的視野測定で得られたKT座標に、静的視標を呈示するように設定し、各症例につき2回ずつ測定した (図2)。そして、得られた2経線上の静的感度を抽出し、各KTに対応する静的閾値 (static threshold ; ST) を算出した。

視標速度によるKTの変化について、Spearman's rank correlation coefficientを用いて検討した。さらに静的と動的視野間で、空間和に基づく調和現象



**図 1** A) 鼻上側135°、鼻下側225°の経線上で、求心方向に4回ずつ (計8回) 視標を呈示した。 B) 得られた応答点座標を検出し、平均KTを算出した。

が成立すると仮定した場合の動的視標に対応する静的閾値(サイズIII) (hypothetical static threshold ; hST) (表2)と、実測したSTの差について、Dunnett testを用いて検討し、 $p < 0.05$ を統計学的有意と判定した。

実験2. 反応時間を考慮した各動的閾値の生理的SKD

対象は実験1と同様である。動的視野検査の測定条件も実験1と同様であるが、視標呈示方法が異なる。実験1で得られたKTは、反応時間の影響により視標を視認した部位よりも、わずかに中心側に位置する。反応時間を考慮したKTを得るために、Octopus 900のGKPは、RTを測定し、KTを補正する機能が搭載されている。自動視野計を用いたRTの報告はいくつか存在するが<sup>19-21</sup>, RTを考慮したKTを検出する方法は確立していない。過去の報告では、KTの内側でRTが測定されているが、それでは視標を視認した部位よりも、中心側で測定したことになる。RTは、視標を呈示する場所により、変化することが知られていることから<sup>19,21</sup>, この方法では、RTを考慮したKTを検出することが困難である。そのため、RTを測定することなく、より精度の高いKTを検出する方法を試みた。まず、実験1で得られた平均KTから、周辺1°外側に視標を配置

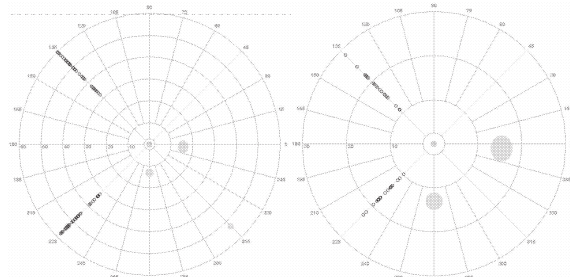


図2 実験1, 2ともに動的視野測定で得られた平均KT, またはcKT座標に静的視標(サイズIII)を配置した(左図は偏心30~60°, 右図は偏心0~30°の測定画面)。

表2 動的, 静的視野間でも空間和に基づく調和現象が成立すると仮定した場合のIII/4e, I/4e, I/3e, I/2e, I/1eに対応する静的閾値(hST)

動的視標	静的視標
III/4e	6 dB
I/4e	16 dB
I/3e	21 dB
I/2e	26 dB
I/1e	31 dB

最高視標輝度1274 cd/m<sup>2</sup>, 背景輝度10 cd/m<sup>2</sup>, 視標サイズIIIの場合

し、測定経線から垂直方向に視標を呈示した。応答した場合は、さらに1°外側に視標を呈示した(図3-A)。そして、最周辺の応答点をcKT(図3-B)とした。

静的視野検査の測定条件は、実験1と同様である。測定方法は、動的視野測定で得られたcKT座標に、静的視標を呈示するように設定し、各症例につき2回ずつ測定を行った(図2)。そして、得られた2経線上の静的閾値を抽出し、各KTに対応するSTを算出した。

そして、視標速度によるcKTの変化について、Spearman's rank correlation coefficientを用いて検討した。各視標に対応するhST(サイズIII)とSTの差について、Dunnett testを用いて検討した。さらに、視標速度と動的閾値差(cKT-KT)の関係について、Spearman's rank correlation coefficientを用いて検討し、 $p < 0.05$ を統計学的有意と判定した。

実験1, 2を含めて、学習効果の影響を最小限にするため<sup>22,23</sup>, 各症例で予備試験として116回の視野検査を行い、その後、本試験として116回の視野検査を施行した。動的視野検査において、視標条件は50種あり、KT, cKTを検出するため、合計100回の動的視野測定を施行した。1回の動的視野測定につき、測定時間は1~5分であったため、疲労の影響を考慮し、1日につき10回以内とした。静的視野検査において、視標間隔が0.431°以内の場合、視標が重なってしまう。そのため、視標が重ならないように、各症例につき、最大8通りのカスタムプログラムを作成した。各2回ずつ測定したため、合計16回の静的視野測定を施行した。1通りのカスタムプログラムにつき、測定時間は約10分であったため、疲労の影響を考慮し、1日につき最大2通りの静的視野測定を施行した。

実験3. 緑内障症例のSKD

近畿大学医学部附属病院(当院)に通院中で、6

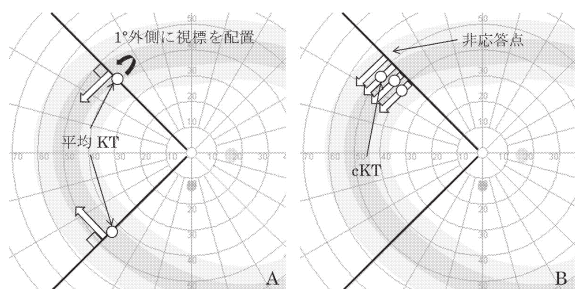


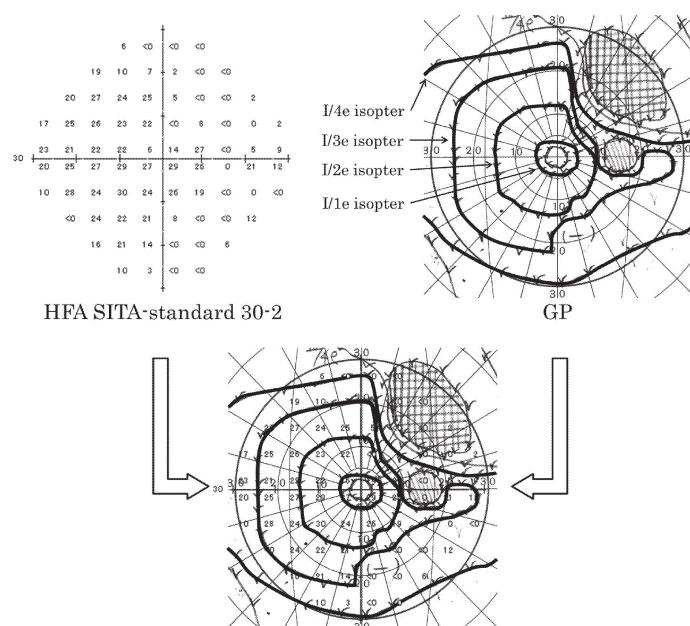
図3 A) 平均KTから外側1°外側に視標を配置し、測定経線から垂直方向に視標を呈示した。 B) 最終応答点を検出し、cKTとした。

ヶ月以内に、GPによる動的視野測定と Humphrey Field Analyzer (HFA) SITA-standard 30-2, 10-2 (サイズIII) による静的視野測定を施行した緑内障症例25例25眼 (男性:12例, 女性:13例, 年齢:  $56.9 \pm 11.7$ 歳) を対象とした。GPによる動的視野測定は、当院に在籍する8人の視能訓練士が施行した。HFAの測定結果は、偽陽性率15%以下, 偽陰性率33%以下, 固視不良20%未満を採用した。また, I/4e, I/3e, I/2e, I/1e イソプタと中心30°以内の静的閾値との比較を行うため, 緑内障病期は, 中期~後期の症例を中心に選択した (表3)。そして, GPの I/4e, I/3e, I/2e, I/1e イソプタと HFAの結果を重ね合わせ (図4), 各イソプタの $\pm 3^\circ$ 以内 (30-2と比較する場合),  $\pm 1^\circ$ 以内 (10-2と比較する場合) に存在する静的閾値を, 鼻側視野, 全視野に分けて抽出し, I/4e, I/3e, I/2e, I/1e に対応するSTを算出した。

表3 緑内障病期分類

Anderson 分類 (HFA)		湖崎分類 (GP)	
Early	0 (例)	I	0 (例)
		II a	3
Moderate	6	II b	3
		III a	15
Severe	19	III b	3
		IV	1
		V	0
		VI	0

I/4e, I/3e, I/2e, I/1e イソプタと中心30°内の静的閾値との比較を行うため, 緑内障病期は中期~後期の症例を中心に選択した。



I/4e, I/3e, I/2e, I/1e に対応する hST (表4) と ST の差について, Tukey-Kramer test with one factor ANOVA を用いて検討し,  $p < 0.05$  を統計学的有意とした。

この研究はヘルシンキ宣言に基づき, 全症例から書面によるインフォームドコンセントを得て, 近畿大学医学部附属病院倫理委員会で承認された研究である。

## 成績

### 実験1.

#### <視標速度とKTの関係>

視標速度とKT (平均 $\pm$ 標準偏差) の関係を図5に示す。III/4e, I/4e のKTは, 視標速度1~10°/sec間で, 視標速度と有意な負の相関を認めた ( $r_s = -0.24 \sim -0.23$ ,  $p < 0.05$ , Spearman's rank correlation coefficient)。I/3e, I/2e, I/1e の視標速度によるGKTの変化は, 視標速度3~4°/sec間で最少残差平方和 (least residual sum of square; LRSS) を認め, 視標速度1~3°/sec間では, 視標速度と有意な相関を認めなかったが, 4~10°/sec間では, 視標速度と有意な負の相関を認めた ( $r_s = -0.71 \sim -0.29$ ,  $p < 0.05$ )。各視標の最大KTは, III/4eは視標速度3°/sec, I/4eは視標速度1°/sec, I/3eは視標速度5°/sec, I/2eは視標速度4°/sec, I/1eは視標速度1°/secの時であった。

#### <各視標のKTにおける生理的SKD>

各視標条件のKTに対応するST (平均値 $\pm$ 標準偏差) を図6に示す。III/4eのST (サイズIII) は, すべての視標速度において, hSTよりも高く, 視標

図4 GPのI/4e, I/3e, I/2e, I/1e イソプタとHFAの結果を重ね合わせ, 30-2と比較する場合は $\pm 3^\circ$ 以内, 10-2と比較する場合は $\pm 1^\circ$ 以内に存在する静的閾値を鼻側視野, 全視野に分けて抽出した。

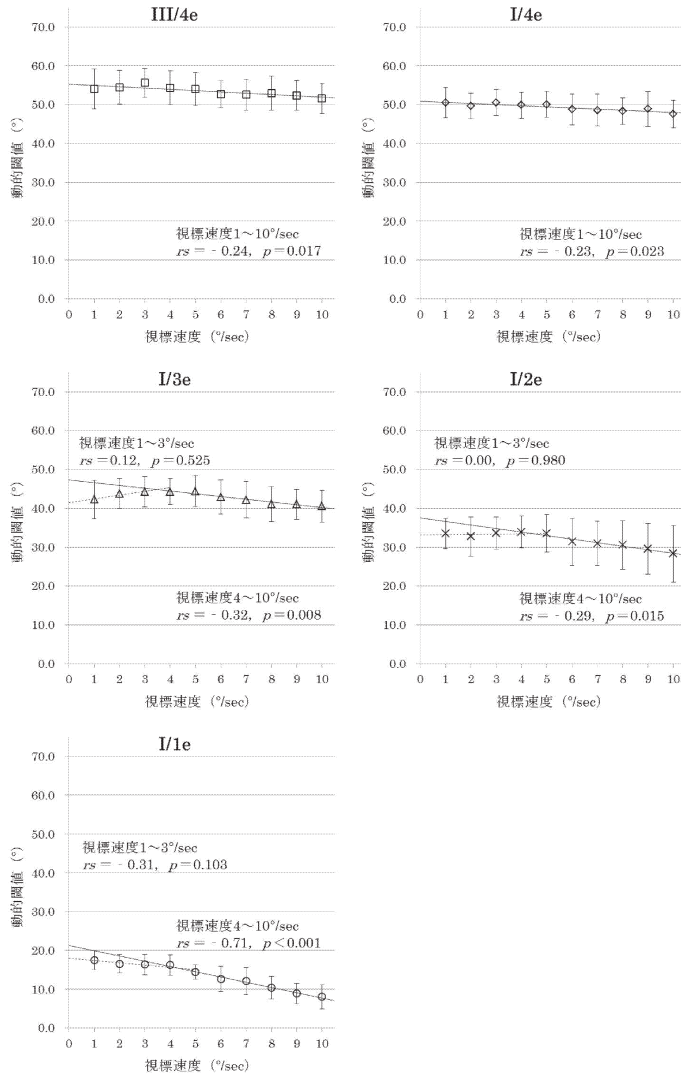


図5 視標速度とKT(平均値±標準偏差)の関係  
 -  $p < 0.05$ , ---  $p > 0.05$ , Spearman's rank correlation coefficient

速度 6, 9, 10°/sec では有意に高かった ( $p < 0.05$ , Dunnett test). I/4e において, 視標速度 6°/sec 以下で hST よりも ST が低かったが有意差は認めなかった ( $p > 0.05$ ). I//3e, I/2e, I/1e では, すべての視標速度で hST よりも ST が低かった. I/3e, I/2e では, hST と ST に有意差を認めなかったが, I/1e では, すべての視標速度で有意差を認めた ( $p < 0.01$ ).

実験 2 .

<視標速度と cKT の関係>

視標速度と cKT (平均±標準偏差) の関係を図 7 に示す. III/4e, I/4e, I/3e の cKT は, 視標速度 1~10°/sec 間で, 視標速度と有意な相関を認めなかった. I/2e, I/1e の視標速度による cKT の変化は, 視標速度 3~4°/sec 間で LRSS を認め, 視標速度 1~3°/sec 間では, 有意な相関を認めなかったが, 視標速度 4~10°/sec 間で, 視標速度と cKT は, 有意な負の相関を認めた ( $rs = -0.57 \sim -0.36, p < 0.01$ ,

Spearman's rank correlation coefficient). 各視標の最大 cKT は, III/4e, I/4e, I/3e は視標速度 3°/sec, I/2e は視標速度 4°/sec, I/1e は視標速度 1°/sec の時であった.

<各視標の cKT における生理的 SKD>

各視標条件の cKT に対応する ST (平均値±標準偏差) を図 8 に示す. III/4e, I/4e, I/3e, I/2e, I/1e の ST (サイズ III) は, すべての視標速度において, hST よりも低かった. III/4e では, 視標速度 3, 4, 5°/sec ( $p < 0.05$ , Dunnett test) で, I/4e, I/2e, I/1e では, すべての視標速度 ( $p < 0.05$ ) で, I/3e では, 視標速度 2~8°/sec で hST と ST に有意差を認めた ( $p < 0.05$ ).

<視標速度と動的閾値差 (cKT-KT) の関係>

実験 1, 2 で得られた KT と cKT の動的閾値の差を図 9 に示す. 視標速度の増加とともに動的閾値差は増加し, 有意な強い正の相関を認めた ( $rs = 0.66, p < 0.001$ , Spearman's rank correlation

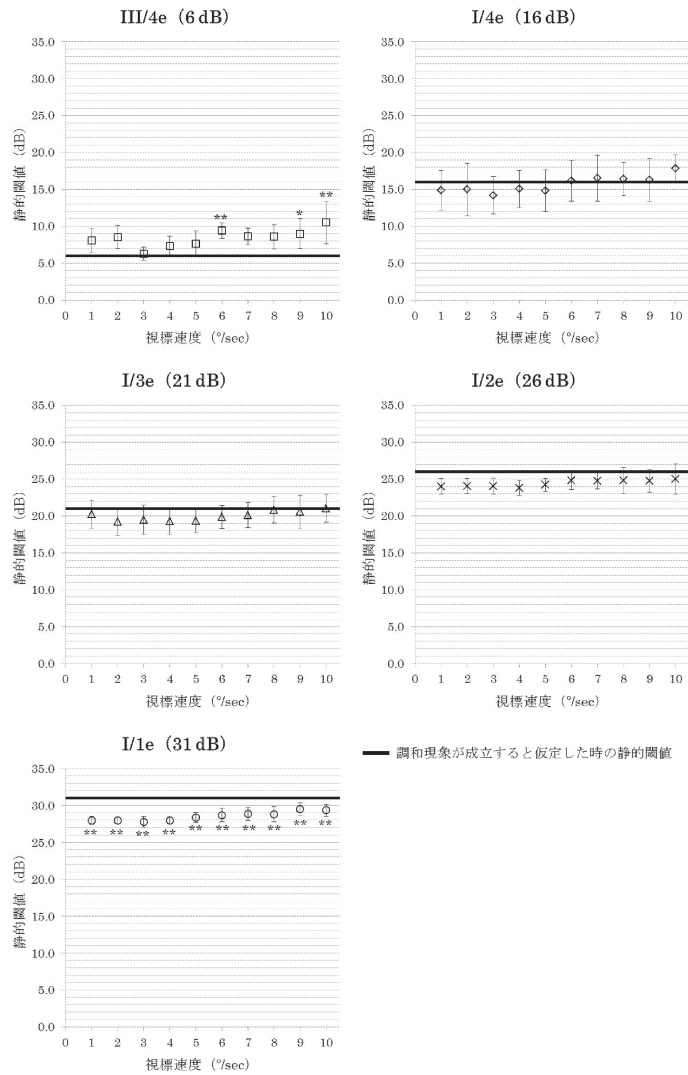


図6 各視標のKTに対応するST(平均値±標準偏差)  
\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , Dunnett test

coefficient).

実験3.

全視野, 鼻側視野における緑内障症例のSKDを図10に示す。全視野において, I/4eに対応するST(サイズIII)は,  $15.8 \pm 5.7$  (平均値±標準偏差) dB, I/3eは $20.7 \pm 3.3$  dB, I/2eは $25.1 \pm 3.1$  dB, I/1eは $30.1 \pm 2.2$  dBであった。各視標に対応するhST(表4)と比較して, I/4eは4.2 dB ( $p < 0.01$ , Tukey-Kramer test with one factor ANOVA), I/3eは4.3 dB ( $p < 0.01$ ), I/2eは4.9 dB ( $p < 0.01$ ), I/1eは4.9 dB ( $p < 0.01$ )の有意な乖離を認めた。鼻側視野において, I/4eに対応するSTは,  $16.1 \pm 4.9$  dB, I/3eは $20.9 \pm 3.9$  dB, I/2eは $25.1 \pm 3.3$  dB, I/1eは $29.4 \pm 2.8$  dBであった。各視標に対応するhST(表4)と比較して, I/4eは3.9 dB ( $p < 0.01$ ), I/3eは4.1 dB ( $p < 0.01$ ), I/2eは4.9 dB ( $p < 0.01$ ), I/1eは5.6 dB ( $p < 0.01$ )の有意な乖離を認めた。全視野と鼻側視野のSTに,

表4 動的, 静的視野間でも空間和に基づく調和現象が成立すると仮定した場合のI/4e, I/3e, I/2e, I/1eに対応する静的閾値(hST)

動的視標	静的視標
I/4e	20 dB
I/3e	25 dB
I/2e	30 dB
I/1e	35 dB

最高視標輝度 $3185 \text{ cd/m}^2$ , 背景輝度 $10 \text{ cd/m}^2$ , 視標サイズIIIの場合

有意差を認めなかった。

考 察

JohnsonとKeltner<sup>24</sup>は, 自動動的視野計を用いて, 視標速度(1, 2, 4, 6, 8°/sec)によるKTの変化について報告し, 視標速度4°/sec以下でKTは最大となり, 6°/sec以上で減少する。そして, 測定時間

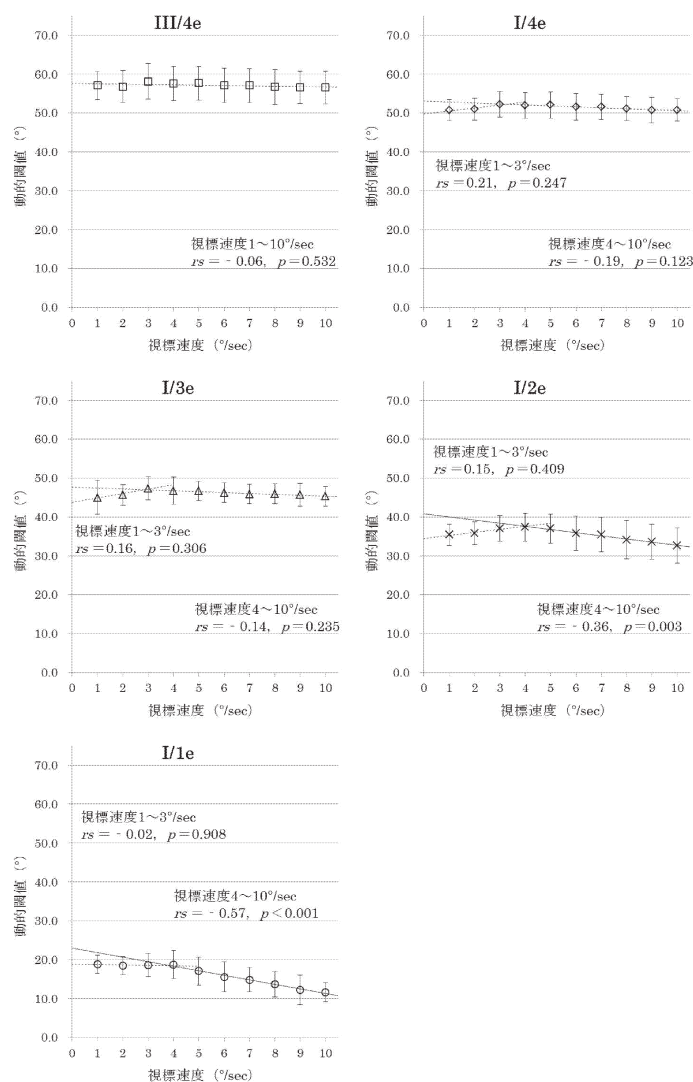


図7 視標速度とcKT(平均値±標準偏差)の関係  
 -  $p < 0.05$ , ---  $p > 0.05$ , Spearman's rank correlation coefficient

の関係から、視標速度 4°/sec での動的視野測定を推奨している。本研究での視標速度 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10°/sec) による各視標の KT は、視標速度 5°/sec 以下で最大となった(図5)。そして、I/3e, I/2e, I/1e では視標速度 3~4°/sec を境界に、KT の変化に差が生じた。III/4e, I/4e の視標速度 1~4°/sec 間の KT 偏心率の変動幅は、それぞれ 1.08°, 1.51° であり、その差は非常にわずかである。既報では視標速度 3, 5°/sec の測定条件がないため単純に比較することは出来ないが、本研究の結果からも、視標速度 4°/sec による動的視野測定が効率的であると考えられた。次に、RT の影響を考慮し、cKT を検出した。Johnson と Keltner は、視標速度 6°/sec 以上の網膜偏心率の減少は RT が影響していると報告している。しかし、本研究では、周辺視野で検出される III/4e, I/4e, I/3e の cKT の網膜偏心率は、視標速度による変化を認めず、中心視野で検出される I/2e と I/1e の cKT の網膜偏心率

は、視標速度による有意な変化を認めた(図7)。視覚は周辺視野で動きを捉え、中心視野で対象の詳細な情報を得る働きがある。この働きの違いは、周辺視野は、Magnocellular pathway による運動視、中心視野は、Parvocellular pathway による色覚、形態覚の情報が、収束されるからである<sup>25</sup>。この周辺視野と中心視野の動きを検出する働きの違いが、I/2e と I/1e において、視標速度による網膜偏心率の変化の差を認めた原因の1つと考えられた。また、視標速度の増加とともに、KT と cKT の網膜偏心率の差は増加した(図9)。我々は、視標速度と RT の関係について検討し、視標速度の増加とともに RT は減少するが、RT によって、移動した網膜偏心率は有意に増加することを報告している<sup>26</sup>。本研究では、実際に RT を用いて cKT を検出したわけではないが、視標速度による KT と cKT の動的閾値の差の変化は、既報と類似する結果であった。

SKD の機序については諸説あり、動きの検出能の

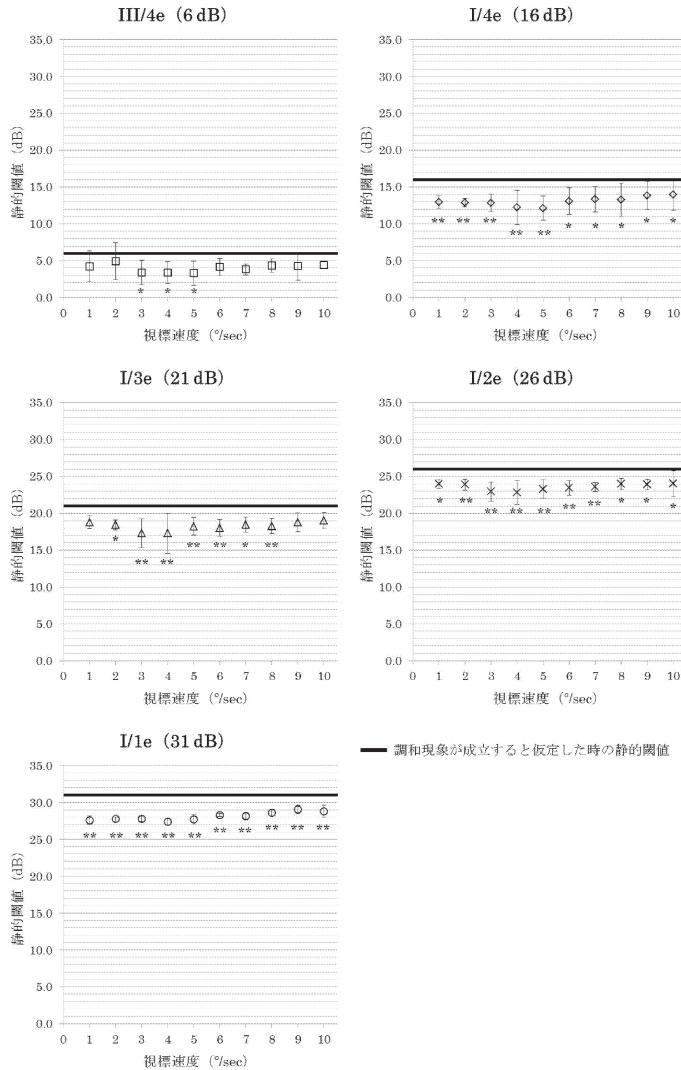


図8 各視標のcKTに対応するST(平均値±標準偏差)  
\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , Dunnett test

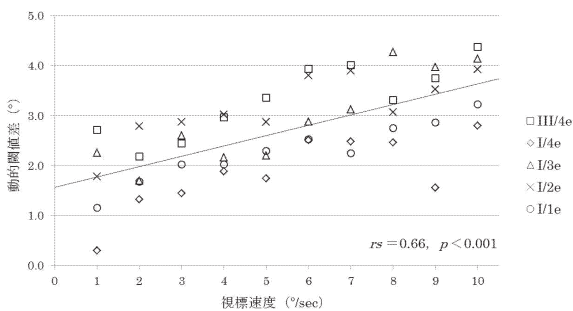


図9 視標速度と動的閾値差(cKT-KT)の関係  
視標速度と動的閾値差は有意な強い正の相関を認めた( $r_s = 0.66$ ,  $p < 0.001$ , Spearman's rank correlation coefficient).

方が疾患進行の影響を受けにくいこと<sup>6,7</sup>, 静的刺激の反復呈示による疲労の影響<sup>7</sup>, 視標が動くことにより, 空間的加重効果が生じること<sup>8,10,12,18</sup>が原因と報告されている。HudsonとWild<sup>17</sup>は自動視野計を用いて視標速度4°/secに設定し, 視標サイズI, IIIの

生理的SKDについて検討し, 網膜偏心率依存性は認めなかったと報告している。本研究の視標速度4°/sec時のKTにおける生理的SKDは, III/4eの場合-1.27 dB, I/4eは1.29 dB, I/3eは1.70 dB, I/2eは2.09 dB, I/1eは3.01 dBであり, 中心に近づくにつれて生理的SKDは増大する傾向にあり, 網膜偏心率依存性を認めた。cKTにおける生理的SKDは, III/4eは2.63 dB, I/4eは4.32 dB, I/3eは3.72 dB, I/2eは3.19 dB, I/1eは3.63 dBであり, 網膜偏心率依存性は認めなかった。Greve<sup>18</sup>は, 動的視標の successive lateral spatial summation (SLSS)が, 生理的SKDに関与すると報告している。SLSSとは, 閾下の連続刺激が多数のレセプターを刺激することにより, 閾下でも知覚する現象のことであるが, 周辺視野に近づくほど網膜感度曲線の勾配は急峻となるためSLSSは起こりにくく, 中心視野に近づくとき感度曲線の勾配が緩やかになるため, SLSSが起こりやすい。このSLSSの有無が, 周



辺視野と中心視野の生理的SKDに差が生じた原因の1つと考えられた。また、HudsonとWildの生理的SKDは、4.02~4.41 dB(サイズI)、4.64~4.82 dB(サイズIII)であり、Gandolfo<sup>15</sup>は0.90~2.85 dB(サイズI)と報告しているが、本研究のKTによる生理的SKDは、-0.28~3.20 dB(サイズIII)であった。HudsonとWildの静的視野測定方法は、測定経線15°、195°上に、中心30°内は1°間隔、周辺は2°間隔に視標を配置して測定した。Gandolfoは測定経線45°、135°、225°、315°上に、偏心3~60°までを3°間隔に視標を配置し、動的視野で得られた応答点に近い静的感度を抽出している。本研究の場合、測定経線45°、135°上の動的視野測定で得られた応答点と同座標の静的感度を抽出した。このように、報告によってSKDは一定ではない。SafranとGleaser<sup>8</sup>は、鼻側よりも耳側視野の方が生理的SKDを認めやすい事を報告している。鼻側と耳側視野は、網膜感度曲線の勾配が異なることから、SLSSの有無が影響していると考えられるが、既報の測定経線には、鼻側、耳側経線が含まれて生理的SKDが評価されている<sup>15,17</sup>。本研究では、鼻側視野のみで測定を行ったが、耳側視野も含めて検討することにより、生理的SKDが大きくなると思われるが、厳密に静的視野測定と対応させるのであれば、鼻側と耳側視野を分けて生理的SKDを評価する必要もある。

緑内障症例のSKDを感度で評価した報告は少なく、Gandolfoは中心視野において、正常者における生理的SKDよりも緑内障症例のSKDは小さかったと報告している。そして、尾塔ら<sup>15</sup>は、緑内障と視神経炎症例の空間和を比較し、緑内障症例において、病的空間和を示すものは多くなく、視神経炎症例に多くの病的空間和を認めたと報告している。全視野における本研究での緑内障症例のSKDは、I/4eは4.2 dB、I/3eは4.3 dB、I/2e、I/1eは4.9 dBであり(図10)、この結果は、HudsonとWildの結果と類似しているが、実験1、2の正常者を対象とした生理的SKDよりも網膜偏心性依存性は認めなかった。鼻側視野における緑内障症例のSKDもI/4eは3.9 dB、I/3eは4.1 dB、I/2eは4.9 dB、I/1eは5.6 dBであり(図10)、実験1、2で得られた生理的SKDよりも、網膜偏心性依存性を認めなかった。緑内障症例を対象とした場合、特に実験3のように緑内障中期~後期を対象とした場合の視野は、びまん性に障害されており、全体的に感度が低下している。そのため、網膜感度曲線の勾配が緩やかになり、SLSSが生じやすくなり、正常者の鼻側視野における生理的SKDよりも、大きくなったと考えられた。GPによる動的視野測定は手動であるため、視標速

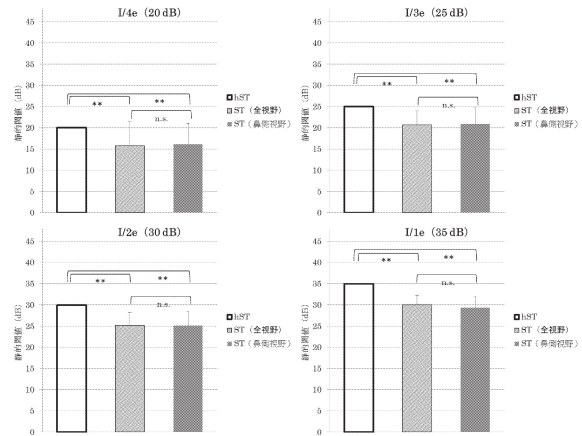


図10 全視野、鼻側視野における緑内障症例のSKD  
全視野において、各視標に対応するST(サイズIII)とhSTは4~5 dBの有意な乖離を認めた。

\*\* $p < 0.01$ , Tukey-Kramer test with one factor ANOVA

鼻側視野において、各視標に対応するST(サイズIII)とhSTは4~6 dBの有意な乖離を認めた。

\*\* $p < 0.01$ , Tukey-Kramer test with one factor ANOVA

全視野と鼻側視野のSTに有意差は認めなかった。

n.s. = no significant

度を一定に保つことは困難であり、検者間でばらつきを生じる。さらにRTを用いたcKTの検出は出来ない。そのため、実験1、2や過去の自動動的視野計を用いた報告と単純に比較することは出来ないが、緑内障症例の動的と静的視野を組み合わせる際は、正常者より大きいSKDを考慮する必要がある。

以上から、鼻側視野において、KTにおける生理的SKDの場合、III/4e、I/4eは約1 dBであり、I/3e、I/2e、I/1eは約2~3 dBであったことから、中心視野に近づくにつれて、厳密に生理的SKDを考慮して、動的と静的視野を対応させる必要がある。さらに、cKTにおける生理的SKDの場合、III/4e、I/4e、I/3e、I/2e、I/1eは約3~4 dBであったことから、全視野で厳密に生理的SKDを考慮して、動的と静的視野を対応させる必要がある。今回、若年正常者を対象とし、鼻側視野における生理的SKDについて検討したが、臨床現場の視野検査の多くは、高齢者が対象である。今後、高齢者を対象に視野検査内容を簡略化し、生理的SKDの加齢変化について検討していく予定である。

本論文の一部は、第115回日本眼科学会総会(東京、2011年5月)、4<sup>th</sup> World Glaucoma Conference (Paris, July, 2011)第65回臨床眼科学会(東京、2011年10月)、20<sup>th</sup> International Visual Field & Imag-

ing Symposium (Melbourne, January, 2012) において発表した。

### 文 献

1. Seamone C, LeBlanc R, Rubillowicz M, Orr A (1988) The value of indices in the central and peripheral visual fields for the detection of glaucoma. *Am J Ophthalmol* 106 : 180-185
2. Miller KN, Shields MB, Ollie AR (1989) Automated kinetic perimetry with two peripheral isopters in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 107 : 1316-1320
3. 浅野喜美江, 川瀬和秀, 山田敬子, 杉山和久 (2002) 緑内障におけるロービジョンケア 視野による評価. *あたらしい眼科* 19 : 771-774
4. Pineles SL, et al. (2006) Automated combined kinetic and static perimetry : an alternative to standard perimetry in patients with neuro-ophthalmic disease and glaucoma. *Arch Ophthalmol* 124 : 363-369
5. Goldmann H (1945) Ein selbstregistrierendes Projektionskugelperimeters samt theoretischen und klinischen Bemerkungen uber Perimetrie. *Ophthalmologica* 109 : 71-79
6. Riddoch G (1917) Dissociation of visual perception due to occipital injuries, with reference to appreciation of movement. *Brain* 40 : 15-58
7. Zappia R, Enoch J, Stamper R, Winkelmann J (1971) The Riddoch phenomenon revealed in non-occipital lobe lesion. *Br J Ophthalmol* 55 : 416-420
8. Safran AB, Glaser JS (1980) Statokinetic dissociation in lesions of the anterior visual pathways. A reappraisal of the Riddoch phenomenon. *Arch Ophthalmol* 98 : 219-298
9. Matsuo H, Endo N, Furuno F, Hara T (1971) The Riddoch-Zappia phenomenon revealed in non-occipital lobe lesions. *Br J Ophthalmol* 55 : 416-420
10. Yabuki K, Sakai M, Suzumura H, Endo N, Matsuo H (1989) A comparison of kinetic and static perimetry for lesion in the visual pathway. In: Heijl A (ed) *Perimetry Update 1988/89*, pp 15-19. Amsterdam/Berkeley/Milan : Kugler & Ghedini
11. Wedemeyer L, Johnson CA, Keltner JL (1989) Stato-kinetic dissociation in optic nerve disease. In: Heijl A (ed) *Perimetry Update 1988/89*, pp 9-14. Amsterdam/Berkeley/Milan : Kugler & Ghedini
12. Osako M, Johnson CA, Casson EJ, Huang P, Keltner JL (1991) Statokinetic dissociation : analysis of spatial and temporal characteristics by perimetry. In: Mills RP, Heijl A (eds) *Perimetry Update 1990/91*, pp 129-134. Amsterdam/New York/Milan : Kugler & Ghedini
13. Katsumori N, Bun J, Shirabe H, Mizokami K (1991) Statokinetic dissociation in glaucomatous peripheral visual field damage. In: Mills RP, Heijl A (eds) *Perimetry Update 1990/91*, pp 503-507. Amsterdam/New York/Milan : Kugler & Ghedini
14. 尾埜雅博, 羽磨隆士, Casson EJ, Johnson CA (1992) 静的動的視野乖離 Statokinetic dissociation (SKD) を伴う視神経炎と緑内障の視野における空間和の比較 *臨眼* 46 : 837-841
15. Gandolfo E (1995) Stato-kinetic dissociation in subjects with normal and abnormal visual fields. *Eur Soc Ophthalmol* 6 : 408-414
16. Fankhauser F, Schmidt TH (1960) Die optimalen Bedingungen für die Untersuchung der räumlichen Summation mit stehender Reizmarke nach der Methode der quantitativen Lichtsinperimetrie. *Ophthalmologica* 139 : 409-423
17. Hudson C, Wild JM (1992) Assessment of physiological stato kinetic dissociation by automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 33 : 3162-3168
18. Greve EL (1973) Single and multiple stimulus static perimetry in glaucoma ; the two phases of perimetry. Thesis. *Doc Ophthalmol* 36 : 1-355
19. Schiefer U, et al. (2001) Reaction time in automated kinetic perimetry : effects of stimulus luminance, eccentricity and movement direction. *Vision Res* 41 : 2157-2164
20. Nowomiejska K, et al. (2010) Reaction time during semi-automated kinetic perimetry (SKP) in patients with advanced visual field loss. *Acta Ophthalmol* 88 : 65-69
21. Wakayama A, Matsumoto C, Ohmure K, Inase M, Shimomura Y (2011) Influence of target size and eccentricity on binocular summation of reaction time in kinetic perimetry. *Vision Res* 51 : 174-178
22. Heijl A, Lindgren G, Olsson J (1989) The effect of perimetric experience in normal subjects. *Arch Ophthalmol* 107 : 81
23. Searle AET, Wild JM, Shaw DE, O'Neill EC (1991) Time-related variation in normal automated static perimetry. *Ophthalmology* 98 : 701
24. Johnson CA, Keltner JL (1987) Optimal rate of movement for kinetic perimetry. *Arch Ophthalmol* 105 : 73-75
25. Xiangmin Xu, et al. (2001) A comparison of koniocellular, magnocellular and parvocellular receptive field properties in the lateral geniculate nucleus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *J Physiol* 531 : 203-218
26. Kayazawa T, et al. (2013) Relationship between target speed and simple visual reaction time measured at the location of kinetic threshold using automated kinetic perimetry. *ARVO Meeting June 16* : 3946