

IV-5.

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

高橋 あおい 仲泊 聡 古田 歩 堀口 浩史 久保 寛之 小田 浩一

【目的】

視覚の起点である錐体・神経節細胞レベルからの視覚情報処理経路を分類するためには、視覚情報処理系路に対応した刺激特性の統制が必要である。サッケード潜時を用いることでヒトにおける視覚情報処理経路の推定が可能であり、刺激特性が異なればサッケード潜時が異なることが知られている(Gish,1986)。しかしながら、錐体分離刺激を用いたLMS錐体応答レベルを統制することで、各神経節細胞レベル(Luminance系・L-M系・S系)を限定して、同一の実験系でサッケード潜時を比較した研究は知られていない。また、サッケード潜時の研究は固視点を設けて偏心度を統制する実験系であることが多い。そこでわれわれは、実験系として固視点は設けず、視線からリアルタイムに計算した偏心10度の周辺のいずれかの位置に刺激を提示するプログラムを開発した。本研究の目的は、固視点を設けないリアルタイムな視線計測による実験系を用いて、厳密に輝度・色度を統制したLuminance系, L-M系, S系の刺激強度とサッケード潜時の関係を各系で比較することである。先行研究に基づく(Satgunam, & Fogt, 2005; Andersonら, 2008 ; McKeefryら, 2003; Smithsonら, 2004)、サッケード潜時はLuminance系が最も短く、L-M系、S系の順に長くなると考えられた。

【方法】

被験者は視覚健常な男女4名であった。課題は固視点を設けない自由視条件下でのガボールパッチの探索であった。直径10°のガボールパッチはリアルタイムで計測される視線から10°の位置に自動的に提示された。実験系列はLuminance刺激、等輝度L-M刺激、S刺激の3つであった。これら3刺激系列は、空間周波数5段階およびコントラスト5段階からなる25条件で構成された。L、M、S錐体だけを刺激するようcone-isolate法にて調整して、L-MとS刺激を作成した。非接触型視線計測器で刺激提示から視線がガボールパッチに向かうまでの潜時を計測した。また、刺激ごとの検出閾を上下法で求めた。各条件のサッケード潜時と刺激強度の関係を比較した。

【結果】

すべての条件で、刺激強度が検出閾よりもある程度大きくなると、サッケード潜時は一定に漸近する結果となった。二要因分散分析の結果この漸近する値は、刺激系列ごとに異なり($F(2,22)=135.685, p<.00$)、すべての実験参加者において、L-M刺激とS刺激のサッケード潜時は輝度コントラスト刺激よりも長かった($t(27)=-15.623, p<.000; t(15)=-12.743, p<.000$)。

【考察】

L-M刺激とS刺激に対するサッケード潜時は、輝度コントラスト刺激よりも長くなった。これは、L-M系及びS系の情報処理系路とLuminance系の情報処理系路の違いを表していると考えられる。しかし、今回の実験系では、L-M系とS系のサッケード潜時には明確な差はなく、先行研究でS系が遅いとするものに対する確証は得られなかった。むしろ、L-M系よりもS系が早く反応している傾向がみられた。これは、我々が用いたS系が神経節細胞レベルではなく錐体細胞レベルでの選択性を有するものであったことと、刺激提示場所が全く予測不能であったことがその理由かもしれない。

1. はじめに

サッケード潜時は、刺激特性によって異なる¹⁾ため、刺激特性とサッケード潜時の関係を検討する研究が数多くなされている。サッケード潜時は、刺激の空間周波数^{1, 2)}と輝度コントラスト^{3, 4)}によって決定され、無彩色の刺激に対するサッケード潜時は有彩色の等輝度刺激に対するものよりも速く⁵⁻⁷⁾、青黄刺激に対するサッケード潜時は無彩色刺激・他の有彩色刺激よりも遅くなる⁸⁾と言われている。

心理物理実験によって明らかになったこれらの結果は、視覚情報処理においてどのようなことを表しているのだろうか。視覚刺激を受容した網膜の信号が、サッケードを生起させる上丘⁹⁾に到達するまでの処理経路は、明所視では網膜に存在する分光感度の異なる3種の錐体(L錐体、M錐体、S錐体)の応答パターンによって主に3種に分類できる¹⁰⁾。1つ目は、輝度コントラストの変調に対して感受性が高く、L錐体とM錐体の反応和に端を発する大細胞経路(The magnocellular pathway, 以下Luminance系)¹¹⁾である。2つ目は、赤と緑の色対立細胞によって形成され¹⁰⁾、L錐体とM錐体の反応差に端を発する¹⁰⁾小細胞経路(The parvocellular pathway, 以下L-M系)¹¹⁾である。そして3つ目は、青と黄の色対立細胞によって形成され¹⁰⁾、S錐体とL+Mの反応の差に端を発する¹¹⁾、顆粒細胞経路(The koniosellular pathway)であり、一般的にS-(L+M)によってそのメカニズムは推定されるが¹¹⁾、2S-(L+M)とも言われており¹²⁾、本研究ではS錐体対立信号(S-opponent signal)系¹³⁾(以下S系)をこの情報処理系の代替として使用した。よって、無彩色の刺激に対するサッケード潜時は

Luminance系の反応、等輝度赤緑系の刺激に対するサッケード潜時はL-M系の反応、等輝度青黄系の刺激に対するサッケード潜時はS系の反応を示していると考えられる。これは神経生理学的な研究による裏付けもされている¹¹⁾¹⁴⁾。

このように、心理物理実験の結果を上記視覚情報処理経路に対応させるためには、錐体応答を限定する厳密な刺激特性の統制が必要である。しかしこれまで、輝度コントラスト変調刺激(以下、Luminance刺激)と等輝度赤緑刺激・等輝度青黄刺激を同時に、厳密に統制し、それぞれのサッケード潜時を比較した研究は知られていない。そこで、本研究では、刺激の分光特性と錐体応答の関係式¹⁵⁾をもとに、cone-isolate法¹⁶⁾を用いて錐体・神経節細胞レベルにおけるLuminance系、L-M系、S系の選択的な反応をとる刺激を作成し、各系における刺激強度とサッケード潜時の関係を比較した。

また、刺激の偏心度を統制したサッケードの研究では、固視点を設けたものばかりである。Ludwigら¹⁷⁾は、無彩色のガボール刺激の空間周波数とコントラストがサッケード潜時に与える影響を検討し、サッケード潜時は検出閾から求めた刺激強度の関数で表せることを明らかにしたが、そのときの刺激提示位置は固視点から常に決まった水平方向の4定点であり、実験参加者が提示位置を予測し得るものであった。一方、本研究では固視点を設けず、視線から提示位置をリアルタイムに計算することで、刺激提示偏心度を統制した。そしてその上で、刺激提示の方向をランダムに決定する実験システムを開発し、これを使用した。これにおいては、刺激提示位置が予想しにくくなるだけでなく、固視点を設けないことによって、自然な眼球運動により近い実験で

あるため、実験参加者のストレスを軽減できるだけでなく、固視点統制に伴うアーティファクトを取り除ける可能性がある。

本研究の目的は、固視点を設けないリアルタイムな視線計測を用いた実験系を用いて、厳密に統制したLuminance系、L-M系、S系の刺激強度と反応潜時の関係を比較することである。仮説としては、先行研究にならい、反応潜時はLuminance系が最も短く^{5, 6)}、手動反応の結果から¹⁸⁾¹⁹⁾ L-M系、S系の順に長くなると考えた。そして、固視点を設けないリアルタイムな視線計測を用いた実験系においても、固視点を設けた実験¹⁷⁾と同様の傾向が得られるかについて検討する。

2. 方法

2.1 実験参加者

実験参加者は、視力・視野ともに正常な男女4名であった。実験参加者ごとの年齢と視力関係を表1に記載した。

表1 実験参加者の年齢と視力

	年齢(歳)	小数視力
subN	56	1.0
subT	26	1.0
subS	38	1.2
subK	40	1.2

2.2 装置

刺激は、暗室内でIIYAMA社製27inchモニター(iiyama ProLite XB2776QS)に提示した。モニターの解像度は1024x768pixelsであり、最大輝度は209cd/m²、最小輝度は1.21cd/m²であった。

眼球運動の測定には、非接触型の眼球運動測定装置SMI社製RED(120Hz)を用い、実験制御プログラムにはカスタムソフトウェアのsmi_trialを使用した。被験者の視距離を固定するために顎台を用いた。実験環境については図1に示した。

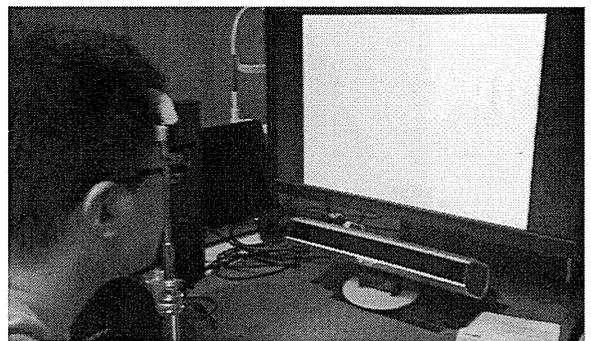


図1 実験環境

2.3 刺激・実験条件・実験系列

刺激は直径10°の垂直縞のガボールパッチであり、ガボールパッチの最大コントラストは64%で、最大輝度・最小輝度はそれぞれ119.6cd/m²・26.0cd/m²に、背景輝度は76.6cd/m²に設定した。1つの実験系列のガボールパッチは、空間周波数5条件、コントラスト5条件の計25種類を使用した。

実験系列は、Luminance系、L-M系、S系の3種類であった。Luminance系は無彩色で輝度コントラストが変調する系列であった。また、L-M系とS系はそれぞれ人間の視覚におけるL-M系とS系のみを刺激する条件¹⁵⁾であり、等輝度で色コントラストが変調する系列であった。これらは、

cone-isolate法を用いて調整された(詳細は付録1を参照)。すべての系列で空間周波数は0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2cpdであったが、コントラストは、Luminance系は輝度コントラスト4%, 8%, 16%, 32%, 64%(図2)、L-M系

は0.218%, 0.488%, 0.759%, 1.571%, 3.141%, 6.556%、S系は1.155%, 2.31%, 4.04%, 8.08%, 16.967%, 32.31%であった。

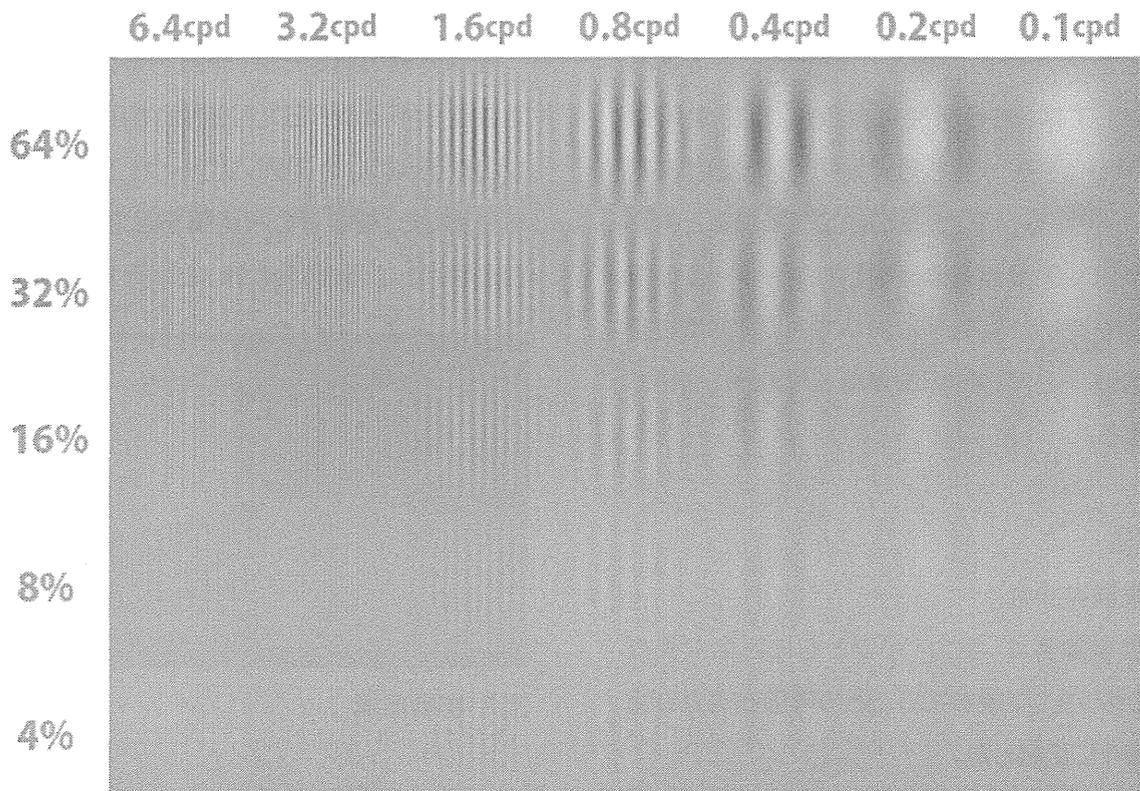


図2 Luminance条件刺激一覧

2.4 手続き

実験参加者は、顎台で視距離を60cmに固定され、画面に提示される刺激のガボールパッチを探索するように教示された。実験参加者の視線方向からランダムな方向で偏心10°の位置をリアルタイムに計算し、刺激は、700ms～900msのゆらぎのある提示時間で提示された。また、実験の前後に実験に使用する空間周波数ごとの検出コントラスト閾を測定した(詳細は付録2を参照)。

3. 結果

実験参加者・実験条件別に提示された刺激が検出閾の何倍になっているかという刺激強度を横軸に、そのときのサッケード潜時を縦軸にプロットした。どの実験参加者・実験条件においてもサッケード潜時は刺激強度が十分強くなるときには一定の値に漸近し、刺激強度が極端に低いときには潜時が大きくのびるという傾向が見られたため、実測値に双曲線($y=a/x+b$)をFittingしたところ非常によく当てはまった(図3, 図4, 図5)。実験参加者・実験系列ごとにFittingをした双曲線の係数を表2に示した。

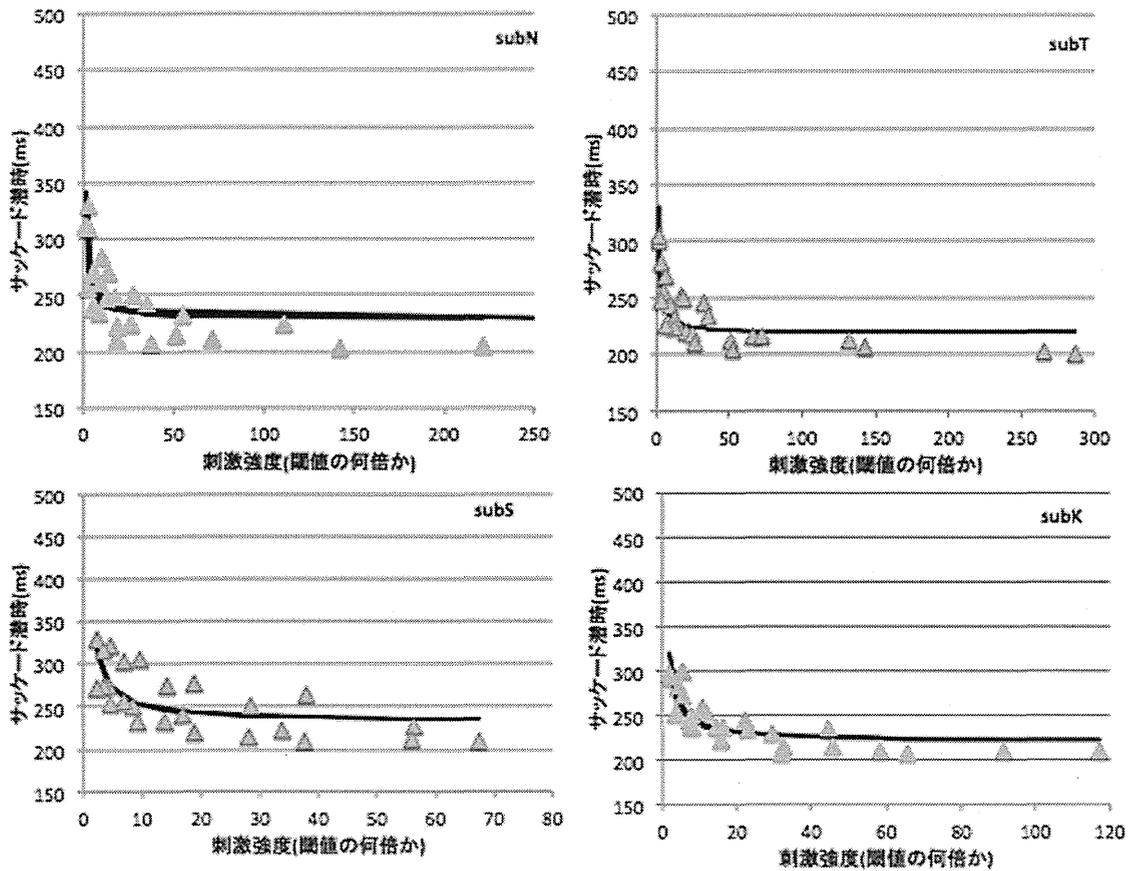


図3 Luminance系のサッケード潜時と刺激強度の関係

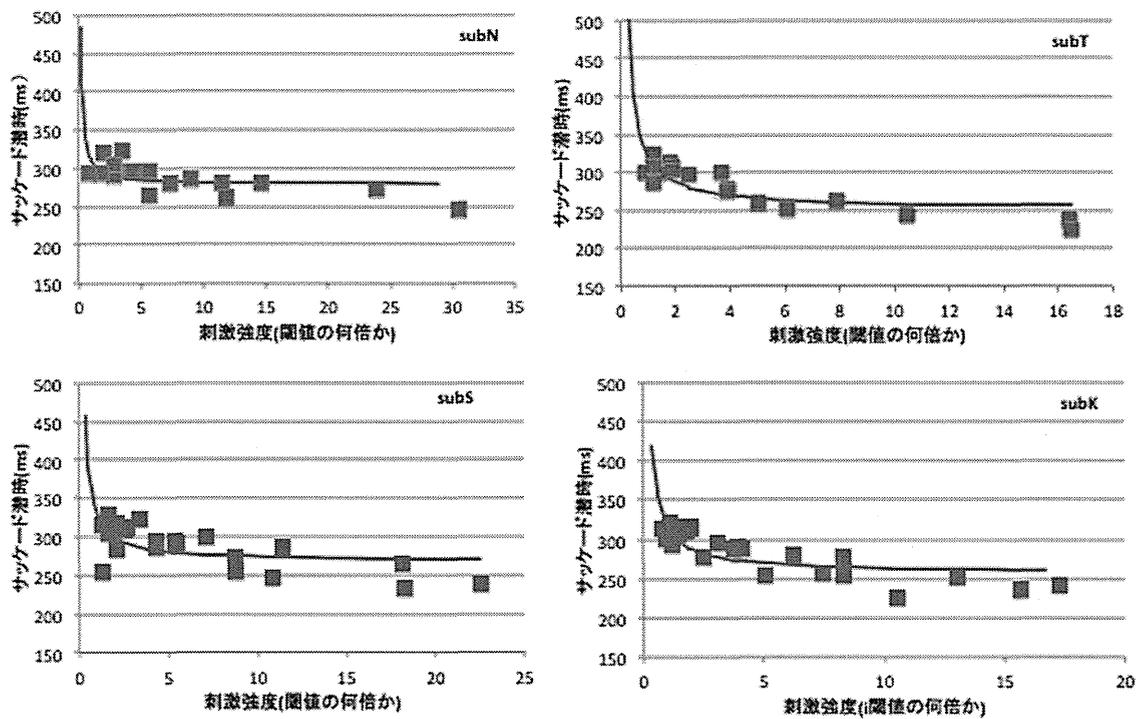


図4 L-M系のサッケード潜時と刺激強度の関係

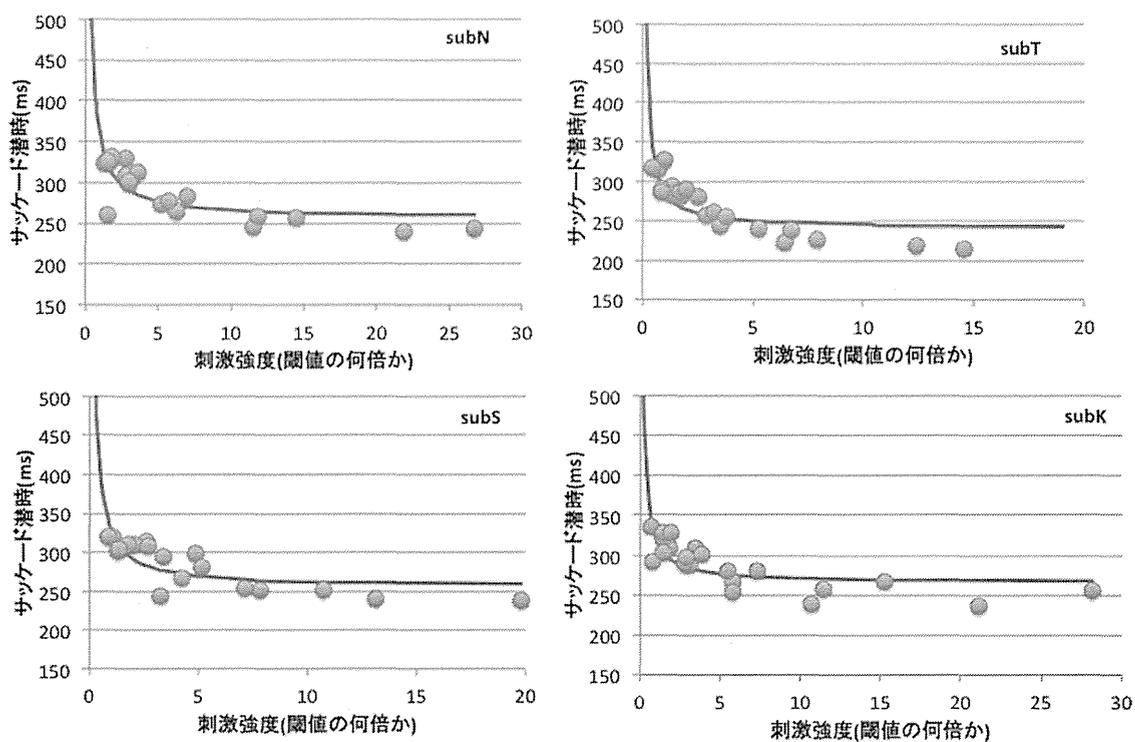


図5 S系のサッケード潜時と刺激強度の関係

表2 被験者・実験条件ごとにFittingした双曲線($y=a/x+b$)の係数一覧

$$y=a/x+b$$

条件	sub	a	b	R ²	p
Luminance	subN	135	229	0.54	<.000
	subT	135	219	0.69	<.000
	subS	202	232	0.46	<.000
	subK	199	221	0.70	<.000
	AVE	167.9	225.3	-	-

条件	sub	a	b	R ²	p
L-M	subN	33	279	0.25	<.05
	subT	71	251	0.62	<.000
	subS	66	267	0.30	<.05
	subK	63	257	0.61	<.000
	AVE	58.3	263.7	-	-

条件	sub	a	b	R ²	p
S	subN	101	256	0.58	<.000
	subT	50	238	0.69	<.000
	subS	73	255	0.58	<.000
	subK	60	264	0.51	<.000
	AVE	71.1	253.2	-	-

4. 考察

刺激強度とサッケード潜時の関係は、双曲線関数を用いて理想曲線を表せたことから、固視点を設けないリアルタイムな視線計測を用いた実験系においても、固視点を設けた実験¹⁷⁾と同様の傾向が得られたと考えられる。

図6は、実験参加者ごとに実験系列別の理想的サッケード潜時をまとめたものである。図6と表2の各双曲線の係数から、Luminance系で閾値の約17倍以上のとき、L-M系で閾値の約6倍以上のとき、S系で閾値の約8倍以上のときに、サッケード潜時は最短値付近(双曲線の漸近線を示すbの値から10ms以内)に落ち着くと読み取ることができ、この潜時の最短値は、その実験系列における最速の潜時を意味していると考えられる。

そこで、実験参加者と実験系列によって最短サッケード潜時が異なるかを確かめるために、系列ごとにサッケード潜時が最短に近くなる値(Luminance系で閾値の約17倍以上、L-M系で閾値の約6倍以上、S系で閾値の約8倍以上)の実測サッケード潜時を用いて、実験参加者と実験系列を要因とする二要因分散分析を行った。その結果、実験参加者の主効果はみられず($F(3,11)=2.517$, n.s., $\eta p^2=0.407$)、実験系

列の主効果と交互作用がみられた(実験系列: $F(2,22)=135.685$, $p<.00$, $\eta p^2=0.925$; 交互作用: $F(6,22)=5.902$, $p<.01$, $\eta p^2=0.617$)。単純主効果の検定により、すべての実験参加者のLuminance系のサッケード潜時が他の系列よりも有意に短いことがわかり、subNとsubTはL-M系よりもS系の潜時が有意に短く、subSとsubTはL-M系とS系の潜時に差が見られないことがわかった。

Luminance系のサッケード潜時が短いことは、先行研究に一致し、L-M系及びS系の情報処理系路とLuminance系の情報処理系路の違いを表していると考えられる。その一方で、L-M系とS系のサッケード潜時には明確な差はなく、むしろ実験参加者4名中2名は、L-M系よりもS系が速くなり、S系が遅いとする確証は得られなかった。神経応答レベルではS系の反応はL-Mよりも遅いという研究¹¹⁾があることから、今回我々が用いたS系が神経節細胞レベルではなく錐体細胞レベルでの選択性を有するものであったことに由来する可能性が考えられる。また、今回の新しい実験系によって刺激提示場所が全く予測不能であったことが影響した可能性も考えられる。

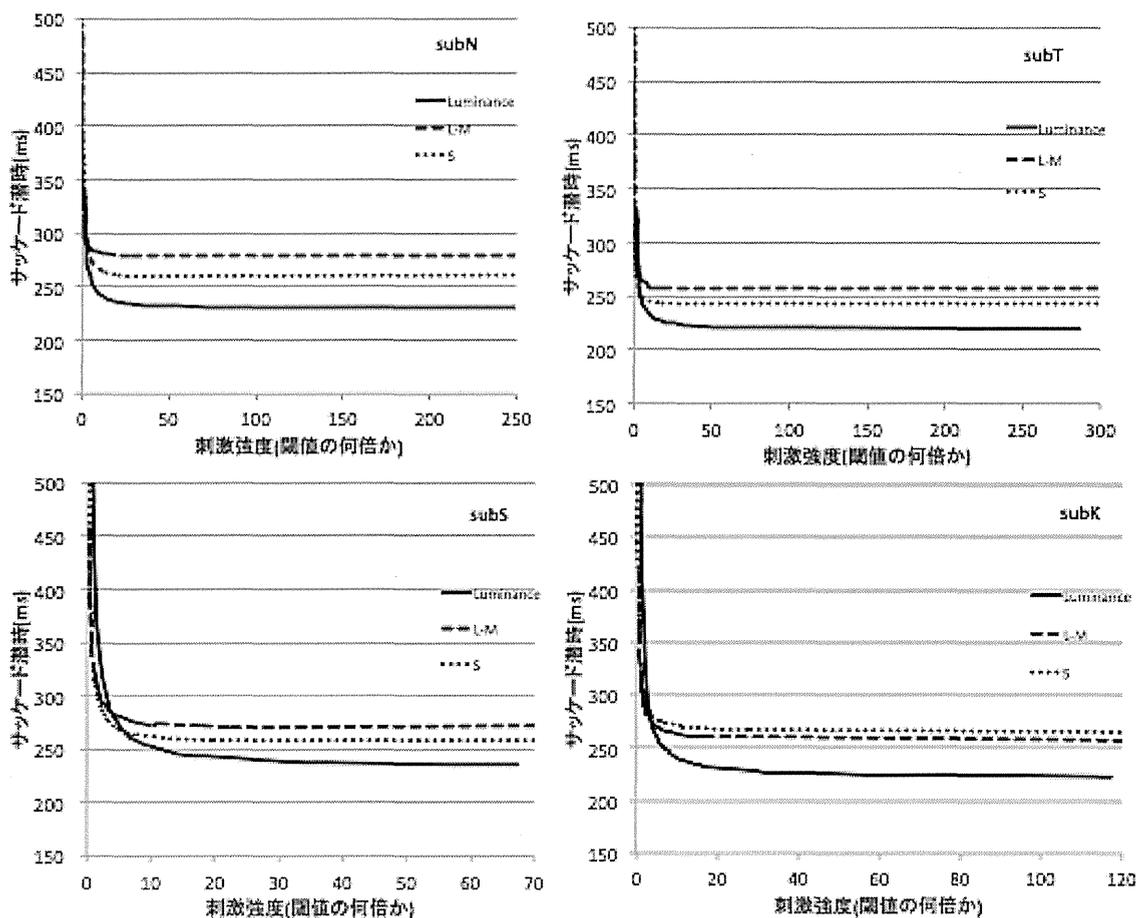


図6 各実験参加者の実験系列別の理想的サッケード潜時

参考文献

- 1) Gish, K., Shulman, G. L., Sheehy, J. B., & Leibowitz, H. W. (1986). Reaction times to different spatial frequencies as a function of detectability. *Vision Research*, 26(5), 745-747.
- 2) Felipe, A., & Buades, M. J. (1993). Influence of the contrast sensitivity function on the reaction time. *Vision Research*, 33(17), 2461-2466.
- 3) Felipe, A., & Buades, M. J. (1993). Influence of the contrast sensitivity function on the reaction time. *Vision Research*, 33(17), 2461-2466.
- 4) Doma, H., & Hallett, P. E. (1988). Rod-cone dependence of saccadic eye-movement latency in a foveating task. *Vision research*, 28(8), 899-913.
- 5) Satgunam, P., & Fogt, N. (2005). Saccadic latencies for achromatic and chromatic targets. *Vision research*, 45 (27), 3356-3364.
- 6) Anderson, E. J., Husain, M., & Sumner, P. (2008). Human intraparietal sulcus (IPS) and competition between exogenous and endogenous saccade plans. *Neuroimage*, 40(2), 838-851.
- 7) Van Asten, W. N. J. C., Gielen, C. C.

- A. M., & de Winkel, M. E. M. (1988). The effect of isoluminant and isochromatic stimuli on latency and amplitude of saccades. *Vision research*, 28(7), 827-840.
- 8) Perron, C., & Hallett, P. E. (1995). Saccades to large coloured targets stepping in open fields. *Vision research*, 35(2), 263-274.
- 9) Schiller, P. H., Stryker, M., Cynader, M., & Berman, N. (1974). Response characteristics of single cells in the monkey superior colliculus following ablation or cooling of visual cortex. *J neurophysiol*, 37(1), 181-194.
- 10) Komatsu, H. (1998). The physiological substrates of color constancy. *Perceptual constancy*. Cambridge University Press, Cambridge, 352-372.
- 11) Cottaris, N. P., & De Valois, R. L. (1998). Temporal dynamics of chromatic tuning in macaque primary visual cortex. *Nature*, 395(6705), 896-900.
- 12) Stockman, A. (2009). Color vision mechanisms (Doctoral dissertation, University of Pennsylvania). pp.82
- 13) Bompas, A., & Sumner, P. (2008). Sensory sluggishness dissociates saccadic, manual, and perceptual responses: An S-cone study. *Journal of Vision*, 8(8), 10.
- 14) Maunsell, J. H., & Gibson, J. R. (1992). Visual response latencies in striate cortex of the macaque monkey. *Journal of neurophysiology*, 68(4), 1332-1344.
- 15) Stockman, A., MacLeod, D. I., & Johnson, N. E. (1993). Spectral sensitivities of the human cones. *JOSA A*, 10(12), 2491-2521.
- 16) Donner, K. O., & Rushton, W. A. H. (1959). Retinal stimulation by light substitution. *The Journal of physiology*, 149(2), 288-302.
- 17) Ludwig, Casimir JH, Iain D. Gilchrist, and Eugene McSorley (2004). The influence of spatial frequency and contrast on saccade latencies. *Vision research* 44. (22) : 2597-2604.
- 18) McKeefry, D. J., Parry, N. R., & Murray, I. J. (2003). Simple reaction times in color space: the influence of chromaticity, contrast, and cone opponency. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 44 (5), 2267-2276.
- 19) Smithson, H. E., & Mollon, J. D. (2004). Is the S-opponent chromatic sub-system sluggish?. *Vision research*, 44(25), 2919-2929.

付録1. L-M系・S系刺激作成方法

視覚情報処理経路に対応した刺激特性の統制をするためには、刺激提示ディスプレイの分光特性データと人間の錐体応答の特性を示すデータが必要である。

そこで、本研究では、刺激提示ディスプレイの分光特性をSpectra Scan PR-655(図A)を用いて測定した。人間の錐体応答の特性は、Stockmanら(1993)による、刺激の分光特性と人間の錐体応答パターンの関係式を利用した。

そして、ディスプレイのRGB値が1/256変化したときのL錐体・M錐体・S錐体の反応の変化率を得た(表A)。これを利用し、有彩色のL-M刺激、S刺激は、それぞれ背景のgrayと常に等輝度で色コントラストのみが変化する範囲で、L-Mのみの反応が得られるRGB値、Sのみの反応が得られるRGB値を計算し、刺激を作成した。

表A ディスプレイのRGB値が1/256変化したときの各錐体応答の変化

L錐体	R値	0.0522
	G値	-0.0065
	B値	0
M錐体	R値	-0.0443
	G値	0.0185
	B値	-0.0007
S錐体	R値	0.0021
	G値	-0.0019
	B値	0.0107



図A 分光特性測定器Spectra Scan PR-655

付録2. コントラスト閾の測定

【目的】

本研究における3つの刺激系のコントラスト閾を測定すること。

【方法】

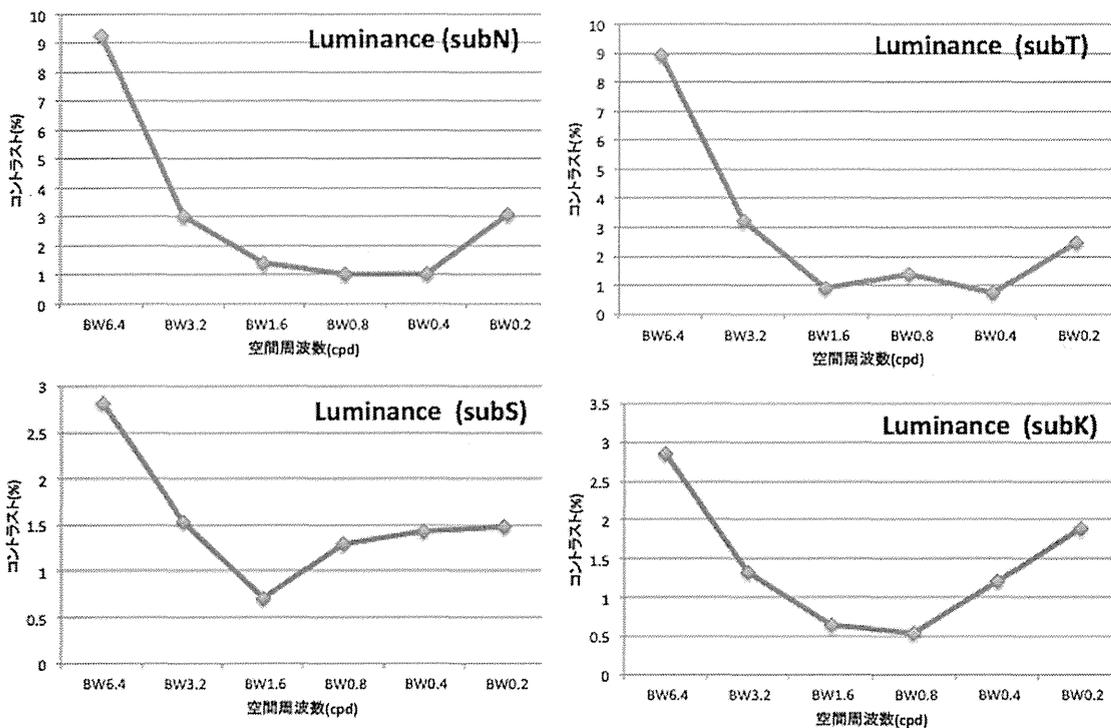
実験参加者・装置は本実験と同様であった。刺激は、各系列ともに本実験で用いた5段階の周波数を持つGaborパッチであった。刺激は上下法で固視点から左右10度の位置にランダムに提示され、実験参加者は刺激が提示された位置を右か左かで答えた。実験参加者の回答が誤答であれば刺激コントラストを1段階ずつ高くし、回答が正答であれば、刺激コントラストを1段階ずつ低くした。正答と誤答の境目が10回になるまで試行を繰り返した。提示した刺激コントラストとRGB値のステップを表Bに示した。

【結果】

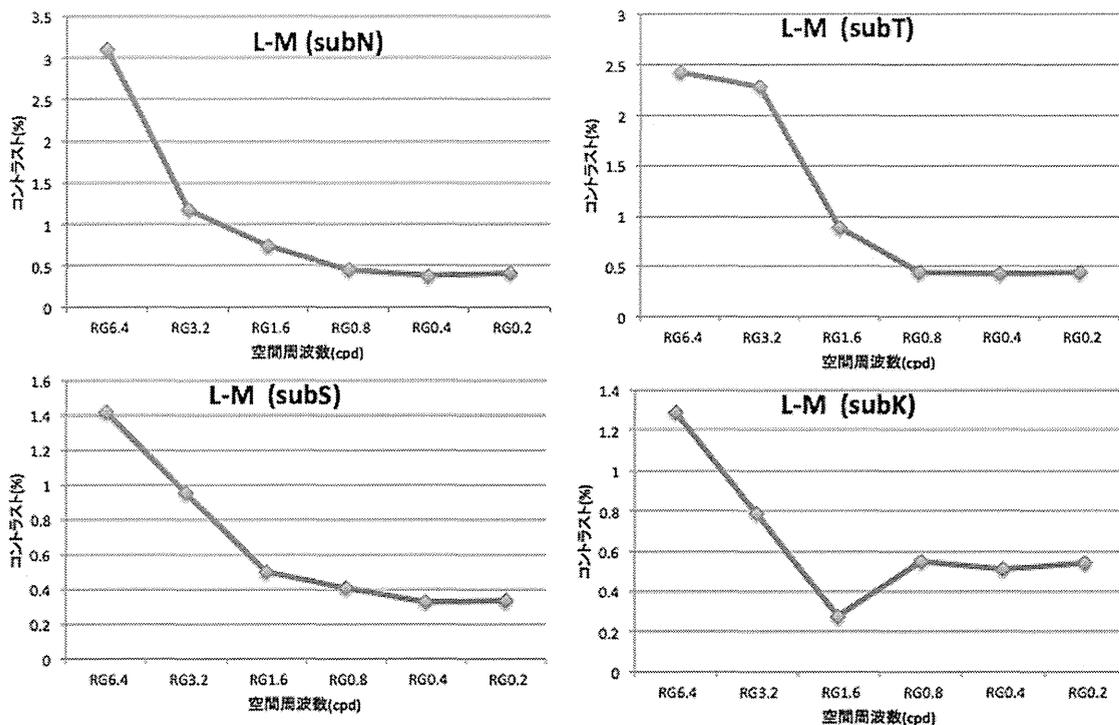
実験協力者・実験系列ごとの結果を以下に示した(図B,C,D)。

表B 刺激コントラストとRGB値のステップ

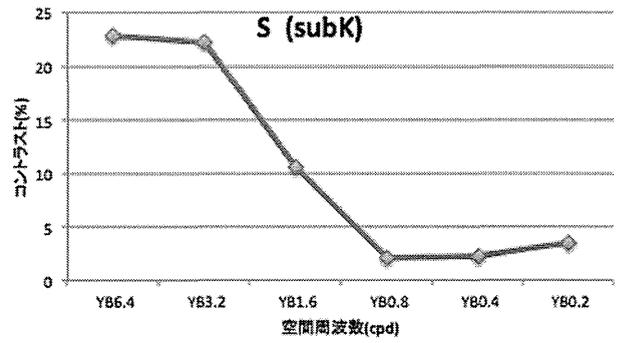
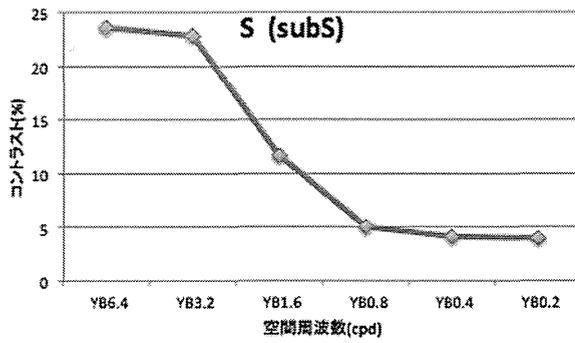
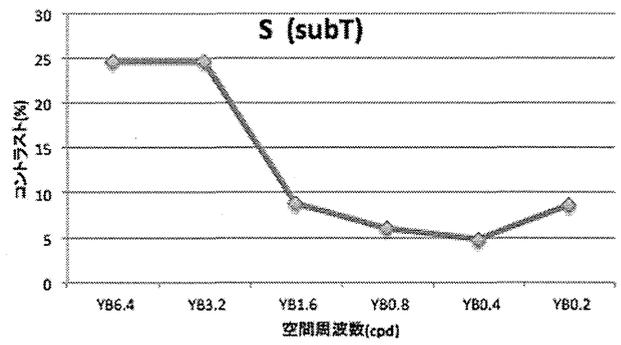
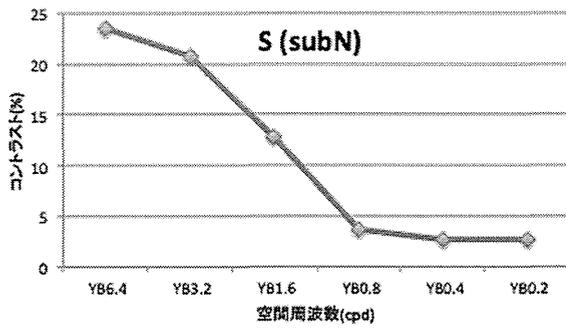
L-M		contrast(%)	6.556	3.141	1.571	0.759	0.488	0.218	0			
赤	R値	243	194	173	158	154	153	152				
	G値	130	142	147	151	152	152	152				
	B値	152	152	152	152	152	152	152				
緑	R値	150	110	147	143	1447	151	152				
	G値	152	161	154	153	152	151	152				
	B値	152	151	151	152	151	151	152				
S		contrast(%)	32.31	16.97	8.08	4.04	2.31	1.155	0			
青	R値	142	147	150	151	151	152	152				
	G値	161	156	154	153	153	152	152				
	B値	104	131	143	150	151	153	152				
黄	R値	160	155	153	152	152	152	152				
	G値	143	148	150	151	151	152	152				
	B値	199	171	159	153	153	151	152				
Luminance		contrast(%)	11.84	10.53	9.221	7.908	6.594	5.277	3.959	2.64	1.32	0
白	R値	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	
	G値	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	
	B値	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	
黒	R値	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	
	G値	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	
	B値	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	



図B Luminance条件の空間周波数ごとの閾値コントラストの関数(CSF)



図C L-M条件の空間周波数ごとの閾値コントラストの関数(CSF)



図D S条件の空間周波数ごとの閾値コントラストの関数(CSF)

IV-6.

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

引地 伽織 仲泊 聡 高橋 あおい 小田 浩一 小林 章

【目次】

1. 目的	3. 結果
2. 方法	3-1 訓練結果
2-1 対象	3-2 評価結果
2-2 装置	3-3 内省報告
2-3 実験デザイン	4. 考察
2-4 評価	5. 結論
2-5 訓練	6. 謝辞
2-6 分析	7. 文献

【目的】

緑内障、網膜色素変性などを原因疾患とする求心性視野狭窄は、歩行などの日常生活動作において様々な問題を引き起こす。しかし、現在の視覚リハビリテーションには、視機能自体にアプローチするような視野狭窄に対する訓練の実施例は非常に少ない。そこで眼球運動訓練による求心性視野狭窄の視機能代償改善についての効果を検証する。

【方法】

晴眼者20名を対象に、3種の訓練(おんせんココア+・くまモンを探せ・眼球運動トレーニング)を10日間にわたって実施し、3種の方法(アクティブ視野測定・信号機の発見・路線図における駅名の発見)で評価し、その訓練効果を分析した。

【結果】

最も効果のあった訓練は「おんせんココア+」であり、訓練後「信号機の発見」の成績向上と視標をとらえたサッケードの数およびサッケードの振幅が増加した。

【考察】

本研究の最大の特徴は、訓練の効果を数値化できることである。アクティブ視野検査によって、視野狭窄における「見え方」の変化とその原因をより客観的に評価することができた。今後の視野狭窄リハビリテーションへの本検査システムの適用が期待できる。

視野狭窄10度以内の求心性視野狭窄や中心暗点を有する10人にこの訓練を行った¹⁾。「牛乳パックを用いたeye movement訓練」は一日に一回、3～5分間の自宅訓練を3ヶ月実施している。この結果、closed circuit television (拡大読書器、以下、CCTV)において、訓練前の読み速度50～100文字/分程度が250～600文字/分の読み速度に向上し($p \leq 0.05$)、また聞き取り調査からも日常生活上での不自由さを改善し、健常者のレベルに近くなり、継続就労可能なことが示されたという。しかし、この研究ではCCTVへの慣れの効果の有無や、サッカーのいずれの要素が変化したのか(潜時、振幅、最高速度など)は明らかにされていない。

2. 方法

2-1 対象

参加者は、視野に問題のない晴眼者20名(男性9名、女性11名、年齢22～61歳)であった。20名を10名ずつに分け、1群を前訓練群(男性2名、女性8名)とし、2群目を後訓練群(男性7名、女性3名)とした。

2-2 装置

非接触型視線計測器SMI社製RED(120Hz)を使用した。画面全体にマスクをかけ、視線計測器によって検出された視線に基づき、リアルタイムに視線の中心から、指定された範囲内(視野半径5度)のみが見えるように表示を行い、擬似的に視野狭窄状態とした。視距離は顎台で60cmに固定した。部屋の照明は通常の昼光色蛍光灯のもとで行った(500～700lux)。また、訓練用にパソコンとマウス、40インチのテレビモニター、顎台を使用した。

2-3 実験デザイン

評価を事前評価、中間評価、事後評価と3つの時点で行い、前訓練群が事前評価と中間評価の間に、後訓練群が中間評価と事後の間に訓練を10日間施行した。訓練前後における訓練効果と、評価で行った実験自体への慣れの効果を検討した。評価は3種類行い、また訓練は3種のうち各人2種類を実験者が選択し実施した。

2-4 評価

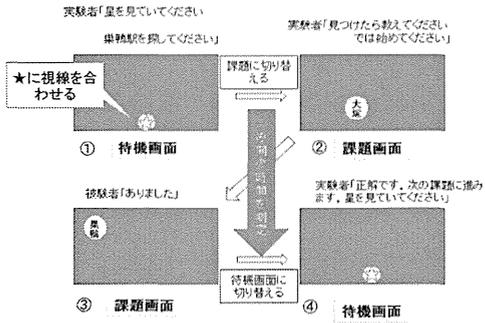
事前評価、中間評価、事後評価では、いずれも以下の3種の同じ実験を行った。

① 路線図における駅名の発見

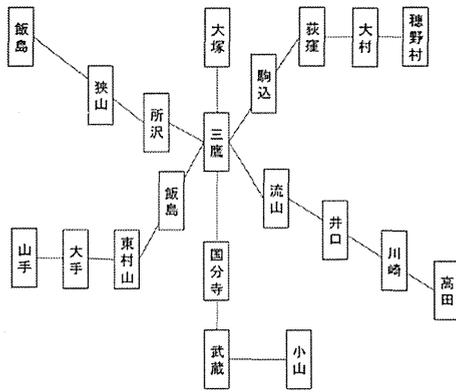
視野半径5度に設定し、参加者には実験者が指示した駅名を架空の路線図から発見する。発見した場合、見つけた旨を発言し、探索開始から、参加者が駅名を読み上げるまでの時間を測定した(図1)。課題は全部で12問出題し以下の手順で施行した。

- 1) 星印を見る(この地点からスタートする)。
- 2) 発見する駅名を告げる。この際に漢字も説明する(「巣鴨駅を見つけてください。鳥の巣に、鴨で巣鴨です」)。
- 3) 発見したら合図をするように説明する(「駅名を見つけたら、『はい』や『あった』と教えてください」)。
- 4) 参加者が理解できたらスタートの合図とともに、路線図を提示する。
- 5) 参加者から合図があり、正解であったら提示を終了する。誤りの場合は課題の駅名をもう一度告げ、探索を再開してもらう。
- 6) 1から5を繰り返す

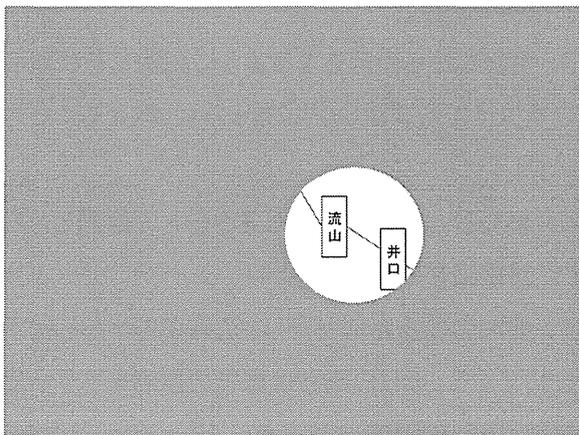
路線図における駅名の発見



実験の流れ

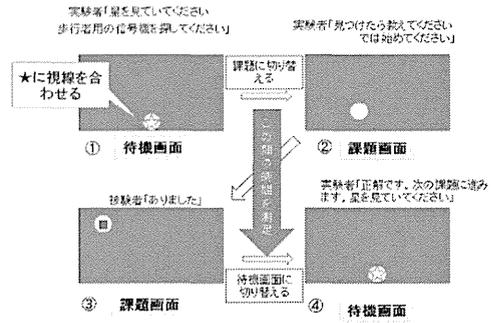


狭窄なし



狭窄有

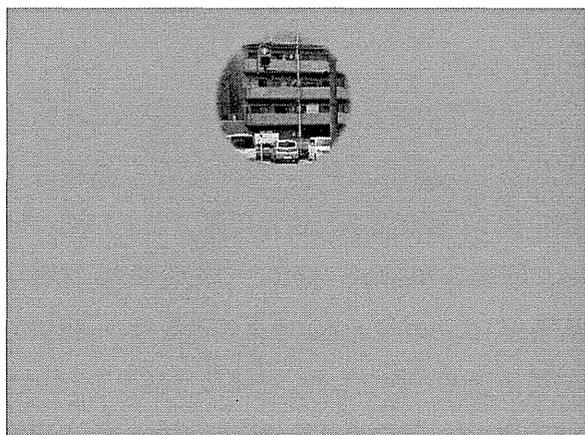
信号機の発見



実験の流れ



狭窄なし



狭窄あり

図 1 路線図における駅名の発見

図 2 信号機の発見

② 信号機の発見

視野を半径5度に設定した(理由は上記の「路線図における駅名の発見」と同様である)。「信号機の発見」では、横断歩道の写真を提示し、信号を発見するというものであった(図2)。実験者は、探索開始から、参加者が信号機の色を言うまでの時間を測定した。課題の種類は10問で、以下の手順で施行した。

- 1) 星印を見る(この地点からスタートする)。
- 2) これから見せるのは横断歩道の写真であることを説明し。信号機を見つけ、信号の色を教えてほしいと説明する。
- 3) スタートの合図とともに、課題を提示する。
- 4) 参加者が信号機を発見し、「赤」または「青」と回答したら課題の提示を終了する。
- 5) 1から5を繰り返す。

③ アクティブ視野測定

連続して出現する76個前後の点を捜し、その正確度などを測定する。今回の実験では、視野半径5度を各参加者の測定に用い、視標をとらえたサッケードの数(Active Saccade Number)、連続サッケード数(Chain Saccade Number)、平均視標捕獲誤差(Average Measurement Error)、視標が出たときにすぐ動いて視標を捕らえたサッケード潜時の平均(Latency_TMPSin)、視標が出たときにすぐ動いて視標を捕らえたサッケードの振幅の平均(MvDist_TMPSin)および視標の出現・捕獲とは無関係にすべてのサッケードの振幅の平均(MvDist_all)を測定した。

この実験は以下の3つの教示を行ってから開始した。

- 1) なるべく多くの点を見ること
- 2) 視野狭窄条件では、視野外に点が表示されると一見モニター上から点が消えたような感

覚になるが、常に点はいずれかの地点に表示されているため、目を動かして発見すること

- 3) 実験の途中に放射状に延びる白線が提示される場合があるが、その時は線の結合点を見ること

2-5 訓練

訓練は後述の3種類を用意し、各参加者にそのうちの2種類の訓練を実施した。各訓練の時間はすべて5分間程度にし、合計10分間毎日8～10日間実施した。

実験者がパソコンで課題を出題し、参加者はモニターを見ながら操作を行う。表示した画像のサイズは、幅25.4cm、高さが19.05cmであった。また、なるべく視野狭窄を再現するために、顎台で固定してモニターと視距離を50cmとし、モニター上の表示が擬似的に視野狭窄半径5度になるように画像にマスクをかけ、この5度の”穴”をカーソルと連動するようにした。

課題は全部で10問あり、これを毎日5分間繰り返し行った(図3)。課題中にくまモンが出現し、それを見ると「よし」と音声が出る。正しく、線を追うことができていると、くまモンが一定の距離で出現するため、参加者はそれを目印にする。

- 1) 指定の場所にマウスを移動する。
- 2) スタートの合図とともに、課題を表示(視野狭窄半径5度)。
- 3) 線をマウスでたどりながら、目で追う。
- 4) 課題が終わり次第、次の5題を提示する。
- 5) 10問が終了した時点で5分未満だった場合、繰り返し課題を行う。

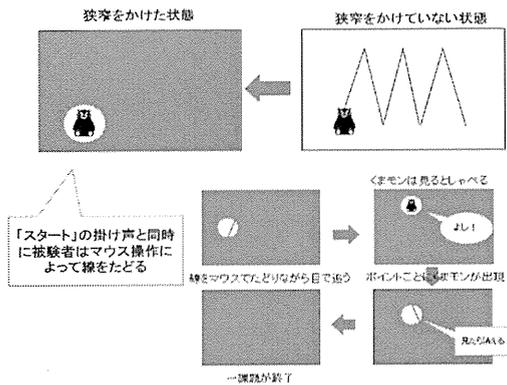


図3 くまモンを探せ

②「おんせんココア+」(スキヤニング課題)

「おんせんココア+」は、ネット上に公開されているFlashゲームである(図4、<http://pokedebe.com/game/cocoflash/onsencocoa+.html>)。画面上に1~25の数字が点在しており(すべてが画面に出ているわけではなく、順序良く消すことによって次々と数字が後ろから現れる)、それを1から消していくものである。「おんせんココア+」を40インチのモニターに拡大表示した(刺激サイズは、高さ34cm、幅55cm)。視距離等の環境は「くまモンを探せ」と同様で、これも5分間実施した。この訓練では、視野狭窄をかけることが技術的に不可能であったため、狭窄なしの状態で行った。



図4 おんせんココア+

③「眼球運動トレーニング」

ペンなどの視標を持ち、視標を頼りに上下左右視野の限界まで視線を動かすというトレーニングである。上下左右の眼球運動範囲の限界を3秒程度維持するように指示をした。

自宅でも可能なため、場所や時間は規定せず、必ず一日一回5分間上下左右を3セット以上実施するように説明した。

2-6 分析

「路線図における駅名の発見」・「信号機の発見」は、一つの課題提示から終了までの時間(探索時間)をそれぞれ測定し、訓練の前後で探索時間の総和を対のあるt検定によって分析した。

さらに、訓練別(「くまモンを探せ」「おんせんココア+」「眼球運動トレーニング」)でも同様に、訓練前後の探索時間の総和を対のあるt検定で分析した。

一方、アクティブ視野測定では、サッケードの終点と視標との距離が6.71度以内になった場合「視標をとらえた」と判断し、Active Saccade Number、Chain Saccade Number、Average Measurement Error、Latency_TMPSin、MvDist_TMPSinおよびMVDist_allを算出し、訓練の前と後でのこれらの比較を対のあるt検定により分析した。

3. 結果

3-1 訓練結果

参加者20名が8~10日間の訓練を中断することなく行うことができた。

「眼球運動トレーニング」は、自省では「訓練を行わない日があった」「簡単でいいが、目が疲れた」との意見があった。

「おんせんココア+」は、1日目には「日帰りおんせん」(イージーモード)ですらクリアできなかった被験者が、10日目においては「本格おんせん」(ノーマルモード)、また人によっては「地獄おんせん」(ハードモード)をクリアするに至った。内省では「非常に楽しかった」「苦ではなかった」「(一日に5分だけでなく)もっとやってもいい」「成果が目に見えてわかって楽しい」と好印象であった。

「くまモンを探せ」では、いずれの被験者においても課題に対する時間は日ごとに減少し、1日目以降は最短の時間に到達していた(図5)。内省では「画面上の目の動かし方のヒントになった」「単純で楽しくはなかった」などの意見があった。

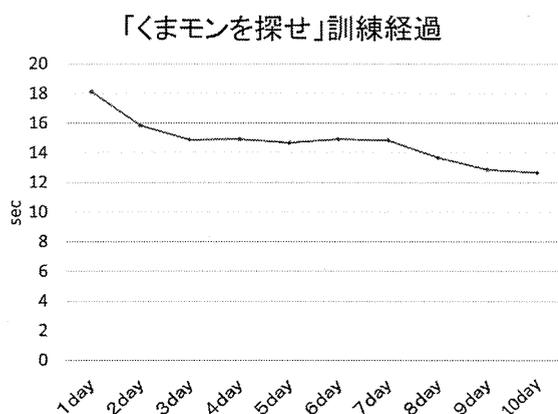


図5 「くまモンを探せ」訓練経過

3-2 評価結果

「信号機の発見」では、訓練効果において有意差がみられたが($t(20) = 3.96, p < .05$)、慣れの効果はみられなかった。訓練別で分析してみると、「信号機の発見」においては、どの訓練においても有意差がみられた(くまモンを探せ: $t(13) = 2.23, p < .05$ 、おんせんココア+: $t(14) = 2.68, p < .05$ 、眼球運動トレーニング: $t(13) = 2.83,$

$p < .05$)。また、訓練別の慣れの効果に有意差はみられなかった。

「路線図における駅名の発見」では、訓練効果がみられなかったが、慣れの効果がみられた($t(18) = 1.82, p < .05$)。「路線図における駅名の発見」は、訓練効果内の訓練別を対のあるt検定で分析したところ「おんせんココア+」のみ有意差がみられ($t(11) = 2.10, p < .05$)、訓練別での慣れの効果に有意差はみられなかった。

以下に、アクティブ視野検査の各種指数における訓練効果について列記する。

① Active Saccade Number

視野狭窄半径5度ではActive Saccade Numberが減少する傾向があった。

② Average Measurement Error

訓練後この数値は減少する傾向があり、Period For Saccade Chainを80msでは有意差がみられなかったものの、180msでは有意差がみられた(図6、 $t(19) = 3.12, p < .05$)。

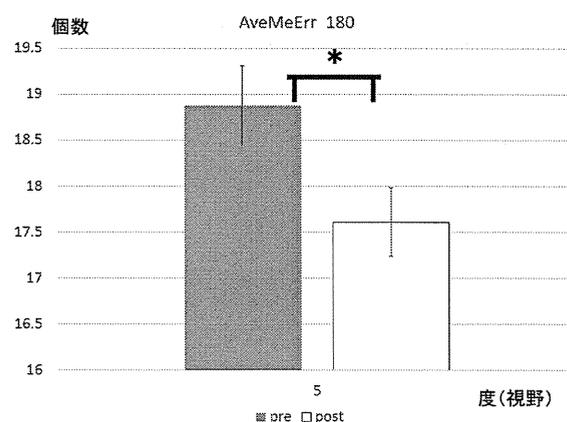


図6 Average Measurement Error 180

③ MvDist_all

有意差はみられなかったものの、狭窄状態においてはやや増加傾向があった。