原 著

滑動性追従眼球運動および視運動性眼反射の受動的反応の比較

羽柴 基之¹⁾・服部 輝昭¹⁾・渡邊 暢浩¹⁾・馬場 駿吉¹⁾
渡部 啓孝²⁾・松岡 徹³⁾・前川 広美⁴⁾

Comparison between Passively Evoked Smooth Pursuit Eye Movements and Optokinetic Ocular Reflex

Motoyuki Hashiba¹⁾, Teruaki Hattori¹⁾, Nobuhiro Watanabe¹⁾, Shunkichi Baba¹⁾,
Hirotaka Watabe²⁾, Tohru Matsuoka³⁾, Hiromi Maekawa⁴⁾

¹⁾ *Department of Otorhinolaryngology, Nagoya City University Medical School*

²⁾ *ENT Clinic, NTT Tokai General Hospital*

³⁾ *ENT Clinic, Johsai Municipal Hospital of Nagoya City*

⁴⁾ *ENT Clinic, Higashi Municipal Hospital of Nagoya City*

In 7 healthy subjects, horizontal smooth pursuit eye movements (SPEM) and horizontal optokinetic ocular reflex (OKR) were measured in the dark under the passive attitude which subjects tried to fixate at the center of a screen (passive SPEM and passive OKR). A sinusoidal spot target oscillation and a sinusoidal narrow-band (7 deg bandwidth in vertically) pattern oscillation were employed to elicit passive SPEM and passive OKR, respectively. The pattern consisted of randomly arranged fine dots. For the control, SPEM was elicited by following the spot target actively (active SPEM). Nine sinusoidal oscillations with frequencies ranging from 0.2 to 1.6 Hz and peak velocities ranging from 19 to 150 deg/s were employed. Passive OKR was clearly demonstrated, and the velocity gain of passive OKR was slightly lower than that of active SPEM under frequencies less than 0.8 Hz and was similar at 1.6 Hz. Common frequency-phase profiles were observed between passive OKR and active SPEM. However, the velocity gain of passive SPEM was much lower than that of passive OKR and depended on the amplitude of target oscillation i.e. the lower amplitude provided a higher gain. We concluded that poor response of the passive SPEM and amplitude dependency of the passive SPEM response was caused by the absence of assistance from the voluntary saccade in the passive attitude. The SPEM response for a small moving target may depend on the voluntary saccade function which maintains a target at the fovea while supplementing SPEM.

Key words: passive optokinetic ocular reflex, passive smooth pursuit eye movements, random-dot pattern, sinusoidal wave

¹⁾ 名古屋市立大学医学部耳鼻咽喉科学教室

²⁾ NTT 東海総合病院耳鼻咽喉科

³⁾ 名古屋市立城西病院耳鼻咽喉科

⁴⁾ 名古屋市立東市民病院耳鼻咽喉科

はじめに

一般に眼前をゆっくりと移動する視覚対象物を追視する際に見られる滑らかな眼球運動を滑動性追従眼球運動 (smooth pursuit eye movement: SPEM) と呼んでいる。一方、眼前を次々に横切る視覚刺激 (視運動刺激, optokinetic stimulus: OKS) によって誘発される眼球運動は視運動性眼振としてよく知られている。しかし、パターンによる視覚刺激を小さい振幅で左右に動かすと、急速相の欠如した眼球運動が誘発されるので、眼球運動は必ずしも眼振の形態をとるとは限らない。そこでここではより一般的な用語として、OKS により誘発される眼球運動のうち急速相を除いた遅い眼球運動成分を表す言葉として視運動性眼反射 (optokinetic ocular reflex: OKR) を用いる。この両者は同じ視覚誘発性の眼球運動であるが多くの点で相違がみられる。

まず両者は大きな種差があり、OKR が動く目を持つすべての動物に存在するといわれているのに対して、SPEM は哺乳類の中でもヒトやサルなどのような中心窩視の発達した動物にのみ備わった機能である¹⁾。この意味から、OKR の方が起源の古い眼球運動であるといえる。

また、OKS は視野全体に加えられる状態が眼球運動の解発に最も有効である。実験的にあるいは臨床検査では OKR を解発する手段として、大きなスクリーンに等間隔に配置した線条を投影し回転させる手法が用いられている。しかし、自然な状態では周囲の物体が一様に回転するような事態は極めて希であるので、視野全体に対する OKS が生じる状況は、自分の動きに伴って周囲の相対的な運動が生じた場合に限られる。この意味において、OKR は自己の運動時に VOR と同時に働き、視線の保持に役立つのが本来の機能であるといえる。一方、SPEM は小さな視標の動きに対しても起こるので、自己の運動時だけでなく頭が静止している状況でも機能し、視標の移動速度に眼球運動速度を近づけることにより網膜における視標の像の移動速度を最小に保ち、良好な視覚を確保するのに役立っている。

一般に SPEM はその解発に意志の力を要すると言われているが、OKR は意志に関わらず受動的にも解発される。また OKR は、空間に固定した視標が存在する条件では、これを注視すること

により著明に抑制することができる。しかし、空間固定の視標が存在しない条件では、仮想の点を注視しようとしても、ごく部分的にしか抑制することができない²⁾。この意味で、OKR は SPEM より反射的な性格を持ち、また SPEM は OKR に比較して随意的な運動であるといえる。

以上のような OKR と SPEM の違いを説明する有力な知見として、OKR が眼球運動の解発の時間経過から2つの成分からなることが知られるようになった。ここでは両者を表す言葉として rapid-rise OKR と slow-rise OKR³⁾ を用いることにする。前者は OKS の開始とともに急速に立ち上がる反応であり、中心窩視が発達した動物で優位にみられ、一般には OKR の内の SPEM 成分と理解されている⁴⁾。後者は、OKS の開始に遅れて反応が立ち上がり、OKS の終了後も反応が持続する (optokinetic after-nystagmus: OKAN として知られている)。さらに後者は、中枢の velocity storage mechanism (VSM) を介する反応であり、VOR システムと slow-rise OKR システムは同じ VSM を共有していると考えられている⁵⁾⁶⁾。中心窩視の発達していない家兎等の哺乳類では、slow-rise OKR のみがみられることから、前に述べた OKR と SPEM の差異は OKR の slow-rise 成分の働きで説明されてきた。

しかしながら、OKR と SPEM の関係について上述のような理解では説明できない部分も多い。例えば、一般に SPEM は解発に意志の力を要すると言われているが、完全暗所下で点視標を動かすと、被験者に視標を追視しないように指示しても、眼球運動が誘発される⁷⁾。すなわち、SPEM もある程度は受動的に誘発されるので slow-rise OKR だけが受動的反応を引き起こしているのではない。また、誘発される眼球運動の最大速度が、点視標による刺激よりパターン刺激では速いことが報告されている⁸⁾。ヒトでは OKR は極めて短時間で最大速度に達するので、この最大速度の違いをゆっくり立ち上がる slow-rise OKR の関与で説明することはできない。また、SPEM でも後眼振が誘発されるとの報告もあり⁹⁾、ヒトでは SPEM の中枢経路と slow-rise OKR の系につながりがある可能性がある。さらに、SPEM の潜時と rapid-rise OKR の潜時が異なるとの報告もある¹⁰⁾。また、臨床例で SPEM

と OKR の障害の程度が異なる症例が報告されている。すなわち、SPEM の障害が著明であっても OKR が正常な症例や、逆に OKR の障害が著明であるにも関わらず SPEM が正常な症例が報告されている¹¹⁾。これらの報告は SPEM と rapid-rise OKR は異なるシステムで駆動されている可能性を示している。

本研究の目的は、被験者が視標を追視する意志を持たないとき、受動的に誘発される OKR および SPEM の特性と被験者が能動的に点視標を追視した場合の SPEM の特性を比較し、SPEM の解発における意志の関与の詳細と、OKR と SPEM の本質的な違いを明らかにすることにある。

方 法

被験者は、視力に問題なく、めまいや難聴の既往のない健康成人 7 名（男性 5 名、女性 2 名、年齢 27 歳から 43 歳）である。半径 50 cm の白色半球ドームスクリーンに赤色の点視標（直径約 3 mm）およびランダムドットパターンを投影する視覚刺激装置を用いた（第一医科製）。これをパーソナルコンピュータ（NEC PC9821）で制御し、点視標およびパターンを水平方向に動かした。視覚刺激には赤色レーザーで投影した点視標（spot）と上下方向に幅の狭い（上下 7°, 水平方向 180°）ランダムドットパターン（pattern-band）の 2 種類を用いた。ランダムドットパターンは直径 2～7 mm の白色の点をランダムに投影したもので、点の密度は 220/100 cm² である。すべての実験は暗所下で行った。被験者の頭部は顎受けを使用して固定した。被験者に対する指示は、受動的（passive）な状態では正面視を保ちできるだけ目を動かさないように指示した。しかし、故意に眼

の焦点をスクリーンの手前や後方に合わせ、点視標やパターンをぼかすことは禁じた。また比較のために点視標を能動的（active）に追視した場合についても記録した。視覚刺激時間は 30 秒とし、その内の前半の 20 秒を解析した。表 1 に示す、4 周波数（0.2, 0.4, 0.8, 1.6 Hz）と 3 振幅（15, 7.5, 3.75°）を組み合わせた 9 種類の正弦波を使用した。刺激波の最高速度は 19, 38, 75, 150°/sec の 4 種類であり、視覚刺激により誘発される眼球運動が速度入出力系であると考えられるので、それぞれの最高速度毎に周波数特性を求めた。

眼球運動の記録には、頭部に固定した CCD ビデオカメラで近赤外光の照明下に眼球を撮影し、その画像を高速画像処理により瞳孔の重心点を計算することで、眼球位置を求める装置（ISCAN system）を使用し、両眼視の状態での左眼の眼球運動を記録した。サンプリング周波数は 120 Hz で眼球運動データは DA（digital-analog）変換され一旦アナログデータとして出力される。眼球運動記録の校正は周波数 0.2 Hz、振幅 15° の spot 視標の正弦波を追従させて行った。眼球運動の信号と視標の運動は一旦アナログデータレコーダ（TEAC MR30）に収録した後、200 Hz でアナログデジタル変換を行いコンピュータに取り込んだ。

眼球運動の解析には独自に開発した saccade（眼振急速相を含む）除去プログラムを用い¹²⁾、パーソナルコンピュータ（PC9801 BA3）による自動解析を行った。saccade 除去の後、前後の滑らかな眼球運動成分の速度を平均化した直線で saccade 除去部分を補完し、滑らかな眼球運動成分のみをつなぎあわせた波形（slow cumulative

表 1 視覚刺激に用いた正弦波の一覧

Amplitude (deg.)	Maximum velocity (deg./sec)			
	0.2 Hz	0.4 Hz	0.8 Hz	1.6 Hz
3.75	-	-	19	38
7.5	-	19	38	75
15	19	38	75	150

4 つの周波数（0.2, 0.4, 0.8, 1.6 Hz）と 3 つの振幅（15, 7.5, 3.75°）を組み合わせた 9 種類の正弦波を使用した。刺激波の最高速度は 19, 38, 75, 150°/sec の 4 種類となる。

図1 受動的反応の一例 (0.4 Hz, 振幅 15°)

A: 視覚刺激 (位置), B: 眼球運動 (位置), C: SCEP を示す。左側は spot, 右側は pattern-band 刺激の結果を示す。

eye position curve: SCEP) を作成した。20秒間の刺激波の速度波形および SCEP の速度波形を高速フーリエ変換することにより, それぞれの周波数における刺激波の速度に対する滑らかな眼球運動速度の利得 (gain) と位相差 (phase) を求めた。

結 果

図1に示すように, spot (passive) の条件では誘発される眼球運動は小さい。しかし, 眼球運動を積極的に止めようとしているにも関わらず, pattern-band (passive) の条件では, 非常に大きな眼球運動が誘発されている。saccade を除去して再構築した SCEP では刺激波形と同期した波形が再現されている。

同じ刺激周波数で比較すると, pattern-band (passive) の条件では振幅の大きさに関わらず良好な反応が観察されるが, spot (passive) の条件では振幅が小さくなるにつれて反応が良好になる現象が認められている (図2)。

さらに, 図3に示すように, spot (passive) で反応性が良好な被験者では, 振幅が大きい刺激に対して, 視標が中心付近を通過するときのみに良

好な眼球運動が誘発された。そのために, SCEP の波形の正弦波の頭の部分がつぶれて歪むのが観察された。同じ振幅・周波数の pattern (passive) の条件ではこの様な現象は見られていない。

以上のことから, spot (passive) の条件では, 振幅が小さく被験者の仮想の注視点 (スクリーンのセンター) から視標があまり離れない刺激条件で, 眼球運動が比較的良好に誘発される傾向が見られた。

定量解析の結果, 利得は 0.8 Hz までの周波数 (0.2, 0.4, 0.8 Hz) では, pattern-band (passive) は spot (active) を下回るが, 1.6 Hz においては差が見られない。spot (passive) の条件は他の条件に比較して利得が低く, すべての条件で 0.5 以下であり, 特に刺激速度の速い条件下では 0.1 以下であった。また, spot (active) と pattern-band (passive) の条件では同じ最高速度の条件で比較すると周波数が高くなるに従って利得が低下する傾向が見られたが, spot (passive) の条件では周波数の上昇に従って逆に利得が上昇している (図4 A, B, C)。同一周波数で比較した場合に spot (active) と pattern-band (passive) の条件では刺

図2 各振幅での原波形の一例 (0.8 Hz)

上段から振幅 15, 7.5, 3.75° の記録。T: 視覚刺激 (位置), E: 眼球運動 (位置) を表す。左側は spot, 右側は pattern-band 刺激の結果を示す。

図3 spot 刺激で反応のよい被験者の記録例 (0.2 Hz, 振幅 15°)

A: 視覚刺激 (位置), B: 眼球運動 (位置), C: SCEP を示す。左側は spot, 右側は pattern-band 刺激の結果を示す。斜線部分は中心から $\pm 5^\circ$ の範囲を示す。

図4 利得・位相特性
(ボード線図)

刺激の最高速度毎に、A: 19°/sec, B: 38°/sec, C: 75°/sec, D: 150°/sec を示す。白丸：spot 刺激を能動的に追視したとき（暗所下の通常の視標追跡）、黒四角：pattern-band 刺激（受動的）、黒丸：spot 刺激（受動的）を示す。各上段は利得、下段は位相のグラフで、各点は平均値、エラーバーは標準偏差を示す。spot 刺激（受動的）のデータについては、利得が著しく低く SCEP の振幅が小さいので位相のデータは削除した。また、縦軸が対数目盛で負の値が表示できないため、利得のエラーバーはプラス側のみを表示した。

図5 SCEP 振幅

0.4, 0.8, 1.6 Hz の各周波数毎に、刺激振幅別の SCEP の振幅とその標準偏差を示す。

激波の振幅が大きくなり最高速度が大きくなるにつれて、SCEP の振幅の絶対値が増加するのに対して spot (passive) の条件では逆に減少した (図 5)。

位相の解析では、pattern-band (passive) の位相特性は spot (active) と極めて類似しており差を認めなかった。また、速度を一定にして比較した場合、高い周波数になるほど位相の遅れが著明となった。その値は 0.8 Hz で約 20°, 1.6 Hz で約 50° であり、今回実験した速度範囲では最高速度に依存せず周波数にのみ依存した。

考 察

被験者に対してできるだけ眼を動かさずに正面視を保つように指示しても、spot 刺激でも幅の狭い (7°) pattern 刺激でも眼球運動が誘発されることが今回の実験で示された。しかし、両者の反応はいくつかの点で異なっていた。

7° という幅の狭い pattern-band 刺激を用いても良好な反応が見られたことから、周辺視野への視運動刺激が受動的反応を引き起こすために必ずしも必要でないことがわかる。視運動性刺激による眼球運動解発において最も感度の高い部位は視野の中心部であることが知られており¹³⁾¹⁴⁾、受動的反応においてもおそらく中心窩とその近傍が重要であると考えられる。さらに、ヒトではもともと slow-rise OKR の成分が小さい上に、今回用いた刺激が正弦波刺激であることから、右向きと左向きの速度入力が交互に VSM に入力され蓄積されるので、左右の速度成分がキャンセルされ slow-rise OKR はほとんど現れてこない。別の表現をすれば、VSM は一種の積分回路 (一次遅れ系) であるから交流信号に対しては low-pass filter とみなせるので、正弦波信号が VSM を通過したときの利得は次の式で表される。時定数を T とすると周波数 f の信号に対する積分回路 (一次遅れ系) の利得 A は

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f T)^2}}$$

で表される。

ここで、ヒトの VSM の時定数 T は約 20 秒程度と報告されているので¹⁵⁾、利得は 0.2 Hz で 0.04, 0.4 Hz で 0.02, 0.8 Hz で 0.01, 1.6 Hz で 0.005 となり、本実験に用いた周波数の範囲では slow-rise OKR は極めて小さく、得られた眼球運動はほとんど rapid-rise OKR のみであると考えられる。従って、VSM は受動反応に対して必ずしも関与するものでないことがわかる。

ヒトの OKR がその眼球運動の解発の時間経過から 2 つの成分に分けられることはすでに述べた ('rapid-rise' and 'slow-rise'³⁾, 'early' and 'late'¹¹⁾)。しかしこの他にも OKR を 2 つの成分に分類する試みは数多く行われてきた。'look' and 'stare', 'active' and 'passive', 'foveal' and 'retinal', 'cortical' and 'subcortical' 等であり、これらの分類はしばしば上記の時間経過による分類と同義的に解釈されてきたが、そのコンセプトは必ずしも同一ではないので注意が必要である。例えば、'look' and 'stare' あるいは 'active' and 'passive' の分類は視刺激に対する被験者の態度に基づく分類であり、本実験の結果でも明らかのように、

‘stare’あるいは‘passive’の条件でも rapid-rise OKR が解発されるのである。

pattern-band の条件では spot (active) の条件 (通常の smooth pursuit) の場合と同様に、周波数が高くなるに従って利得が低下する傾向が見られた。しかし、spot (passive) では周波数の上昇に従って逆に利得が上昇している (図 4 A, B, C)。これは同じ最高速度では周波数が高くなると刺激波の振幅が小さくなることによると考えられる。例えば、 $19^\circ/\text{sec}$ の最高速度では、刺激波の振幅はそれぞれ 0.2 Hz で 15° 、 0.4 Hz で 7.5° 、 0.8 Hz では 3.75° と周波数の上昇に従って減少している。同一周波数での比較では、spot (active) と pattern-band (passive) の条件では刺激波の振幅が大きくなるに従って (最高速度が大きくなるに従って)、SCEP の絶対値の増加が見られるが、spot (passive) の条件では逆に SCEP の減少が見られ、刺激波の振幅が小さいほど SCEP の振幅が大きい (図 5)。さらに、spot (passive) で反応性が良好な被験者の例では、振幅が大きい刺激に対して、視標が中心付近を通過するときのみに良好な眼球運動が誘発される現象が見られたことから (図 3)、spot (passive) では刺激波の振幅が小さく、視標が視野の中心部で動くときに利得が大きくなることがわかる。すなわち、この意味で点視標による受動的反応は振幅依存性であるといえる。

視覚刺激に対する受動的反応と能動的反応では smooth な眼球運動成分の方向と saccade の方向の関係が異なる。能動的反応、すなわち通常の視標追跡眼運動では saccade は smooth な眼球運動が足りない部分を補うように働くので、smooth な成分と saccade は同じ方向に向かう。一方、受動的反応では、saccade は smooth な眼球運動で偏位した眼位を中心方向に引き戻すように起こるので、smooth な成分と saccade は逆方向に向かう。速度の遅い点視標を追視する場合でも、SPEM の gain は 1 より小さいことが報告されている¹⁶⁾。つまり、SPEM のみの追従では視標の像は徐々に中心窩から離れてしまうことになる。Barnes と Hill⁷⁾ は、中心から等間隔で離れた一対の点視標に対する能動的な反応と受動的な反応について調べ、いずれの場合も点視標が中心部から離れるに従って pursuit gain が低下することを

報告している。従って、良好な SPEM を維持するためには常に saccade の補助により、視標を中心窩の近傍に捉えておく必要がある。受動的反応では saccade の補助が行われないので、視標がスクリーンのセンター付近に存在するときのみ、中心窩付近に視標の像が投影されるので SPEM が誘発されたものと考えられる。このため、刺激の振幅が小さい場合に良好な反応が得られるという振幅依存性の特性となる。一方、pattern 刺激の場合には pattern が十分に細かければ、saccade のアシストがなくても中心窩には継続的な視覚的速度入力が存在することになり、振幅依存性とはならない。Collewijn と Tamminga¹⁷⁾ は上下に 10° 離れた視標の中心に視標をイメージさせこれを追視させた場合、バックグラウンドに模様があると、模様のない場合に比較して著しく SPEM の利得が低下することを報告している。すなわち、中心窩に視標を捉えていない状態の SPEM は、眼球運動に伴い逆方向に動くバックグラウンドの模様が中心窩の受動的視覚入力となり著しく妨げられると考えられる。この様に考えると、点視標に対する SPEM は、視標を中心窩に捉える役割を担っている随意性の saccade system の機能に依存していることが理解される。このことは、SPEM が中心窩視の発達に伴って備わってきた機能であると同時に、随意性の saccade system もまた中心窩に視覚対象を捉える機能として、中心窩視の発達とともに現れてきた機能である¹⁸⁾ ことから理解し得る。従来 SPEM と saccade はその中枢経路の違いなどから全く独立したものとして考えられてきたが、点視標に対する SPEM に関してはその機能に saccade が関与していると考えなければならない。すなわち、被験者なるべく眼を動かさないように努力すると、視標が中心窩付近を通過するときに一過性に受動的な SPEM が起こっても、被験者は逆方向への saccade で視線を元の位置に戻してしまうので、視標は中心窩から外れ SPEM の利得は低下し SPEM は継続しなくなる。反対に被験者が視標を眼で追おうとしているときには、視標が中心窩から外れると直ちに saccade によって再び視標を中心窩に捉えるので、視標は中心窩に捕捉され続け SPEM が継続する。このように saccade が意志により制御されているこ

とから、少なくとも SPEM における意志の関与の一部は随意性の saccade の関与に置き換えることができる。

pattern-band 刺激は全視野刺激でないにも関わらず、しかも被験者になるべく眼を動かさないように指示した passive な条件にも関わらず、極めて良好な眼球運動が解発された。これは今回用いたパターンが細かいランダムドットパターンであり、細かいパターン刺激を用いたことが良好な受動反応が得られた原因と考えられる。その利得は active SPEM よりもやや低いと全体の周波数特性は極めて類似している。さらに、位相の周波数特性はほとんど active SPEM と同じであった。刺激波形に正弦波を使用しているため VSM を介する反応である slow-rise OKR はキャンセルされ、ほとんど rapid-rise OKR と考えられる。このような利得と位相の周波数特性から rapid-rise OKR は SPEM の系と中枢経路が共通である可能性が示唆される。我々はすでに SPEM に対するバックグラウンドの影響を検討し、SPEM の利得はバックグラウンドによって影響を受けるが、位相特性は変わらないので SPEM と rapid-rise OKR は共通の中枢機構を利用している可能性が高いことを報告しており¹⁹⁾、今回の結果も同じ結論となった。さらに、spot (active) と pattern-band (passive) の条件で位相特性が同じであったことから、視覚刺激に対する被験者の態度の違い (active と passive) は位相特性に影響を及ぼさないと考えられる。

以上のことから、今回明らかになった SPEM と rapid-rise OKR の違いを要約すれば、両者は基本的な情報処理や中枢経路が共通であるが、それぞれが対応する視覚刺激の性質、すなわち単独の点視標であるか連続的に連なる複数の視標 (パターン) であるか、によって saccade system の役割が異なる点にある。点視標においては随意性の saccade により SPEM を補い視標を常に中心窩で捉えることが SPEM の維持に不可欠であり、被験者が視標を追視しようとしなければ随意性の saccade は起こらないので視標が中心窩から外れてしまい SPEM は維持できない。一方パターン視標では追従が不十分で視線がずれてもパターンが十分に細かければ中心窩への視覚入力維持される。また被験者が視標を追視する意志が

無く正面視を維持しようとする saccade (あるいは OKN 急速相) は視線を正面付近に引き戻すように働くが、パターンが十分に細かければ視線が戻った部位にも同じパターンが存在することになるので、中心窩に対する速度入力はやはり継続的となり、従って受動反応が維持される。

以上の点以外に考慮すべき要素として、パターン視標を用いる場合には中心窩およびその近傍以外の網膜部位からの入力が存在し、網膜に対する刺激量が異なることが考えられる。さらに細かいパターン視標を用いても被験者が能動的な場合と受動的な場合では反応性が異なることから、随意性の saccade の関与以外にも意志の働く機構が存在することも事実である。

まとめ

1. 点視標と上下方向の幅の狭いランダムドットパターン視標を正弦波で駆動し、受動的に誘発される眼球運動を定量的に解析した。

2. 点視標刺激とパターン視標刺激はともに受動的な眼球運動を誘発したが、その程度はパターン刺激で常に優位であった。

3. 点視標で誘発される眼球運動は刺激波の振幅に依存性であり、振幅が小さいほど大きな眼球運動が誘発された。

4. 点視標とパターン視標により誘発される眼球運動の比較から、点視標により誘発される滑動性追従眼球運動の維持には、随意性衝動性眼球運動の補助が必要であると考えられた。

5. パターン視標の正弦波刺激で誘発される眼球運動は、中枢の速度蓄積機構 (velocity storage mechanism) が関与せず視運動性眼反射の急速に立ち上がる成分 (rapid-rise OKR) と考えられるので、rapid-rise OKR は受動的にも誘発されることが示された。

6. 位相特性の解析から視運動性眼反射の急速に立ち上がる成分 (rapid-rise OKR) と滑動性追従眼球運動は共通の中枢機構を持つと推定された。

7. 被験者の視標運動に対する態度 (能動的か受動的か) は得られる眼球運動の位相特性に影響を及ぼさなかった。

謝 辞

本研究は名古屋大学・環境医学研究所・宇宙実

験センターの研究設備を使用して行った。施設利用に当たり便宜を図っていただいた、宇宙医学実験センターの森 滋夫教授に深謝いたします。

本研究の一部は第55回日本平衡神経科学会総会および第42回日本宇宙航空環境医学会総会にて講演した。

本研究の一部は文部省宇宙科学研究所、宇宙基地利用基礎実験費：「直線加速度負荷実験装置による視・前庭感覚統御機構の解析」（課題番号 U-39）を使用して行った。

文 献

- 1) Carpenter R: Optokinesis and smooth pursuit. In *Movements of the eyes*. pp 39-68, Pion Limited, London, 1988
- 2) Murphy BJ, Kowler E, Steinman RM: Slow oculomotor control in the presence of moving backgrounds. *Vision Res* 15: 1263-1268, 1975
- 3) Morrow MJ, Sharpe JA: Smooth pursuit eye movements. In eds Sharpe JA, Barber HO. *The vestibulo-ocular reflex and vertigo*. pp 141-162, Raven Press, New York, 1993
- 4) Howard IP: The optokinetic system. In eds Sharpe JA, Barber HO. *The vestibulo-ocular reflex and vertigo*. pp 163-184, Raven Press, New York, 1993
- 5) Raphan T, Matsuo V, Cohen B: Velocity storage in the vestibulo-ocular reflex arc (VOR). *Exp Brain Res* 35: 229-248, 1979
- 6) Demer JL, Robinson DA: Different time constants for optokinetic and vestibular nystagmus with a single velocity-storage element. *Brain Res* 276: 173-177, 1983
- 7) Barnes GR, Hill T: The influence of display characteristics on active pursuit and passively induced eye movements. *Exp Brain Res* 56: 438-447, 1984
- 8) van den Berg AV, Collewijn H: Human smooth pursuit: effects of stimulus extent and of spatial and temporal constraints of the pursuit trajectory. *Vision Res* 26: 1209-1222, 1986
- 9) Muratore R, Zee DS: Pursuit after-nystagmus. *Vision Res* 19: 1057-1059, 1979
- 10) Gellman RS, Carl JR, Miles FA: Short latency ocular-following responses in man. *Vis Neurosci* 5: 107-122, 1990
- 11) Barratt H, Gresty MA, Page NG: Neurological evidence for dissociation of pursuit and optokinetic systems. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 100: 89-97, 1985
- 12) 羽柴基之, 安井桂子, 渡部啓孝, 他: 滑動性追従眼球運動の定量的評価法. *日耳鼻* 98: 681-696, 1995
- 13) van Die G, Collewijn H: Control of human optokinetic nystagmus by the central and peripheral retina: effects of partial visual field masking, scotopic vision and central retinal scotomata. *Brain Res* 383: 185-194, 1986
- 14) Howard IP, Ohmi M: The efficiency of the central and peripheral retina in driving human optokinetic nystagmus. *Vision Res* 24: 969-976, 1984
- 15) Cohen B, Henn V, Raphan T, et al: Velocity storage, nystagmus and visual-vestibular interactions in humans. *Ann NY Acad Sci* 374: 421-433, 1981
- 16) Collewijn H, Tamminga EP: Human smooth and saccadic eye movements during voluntary pursuit of different target motions on different backgrounds. *J Physiol (Lond)* 351: 217-250, 1984
- 17) Collewijn H, Tamminga EP: Human fixation and pursuit in normal and open-loop conditions: effects of central and peripheral retinal targets. *J Physiol (Lond)* 379: 109-129, 1986
- 18) Leigh RJ, Zee DS: *The neurology of eye movements* (edition 2), pp 79-138, FA Davis, Philadelphia, 1991
- 19) Hashiba M, Hattori T, Watabe H, et al: Influence of superimposed optokinetic stimulus on smooth pursuit eye movements elicited by sinusoidal spot target oscillation. *Acta Otolaryngol Suppl (Stockh)* 525: 167-171, 1996

(原稿到着: 平成9年3月19日)

別刷請求先: 羽柴基之

〒467 愛知県名古屋市中瑞穂区瑞穂町川澄1
名古屋市立大学医学部耳鼻咽喉科学教室