緩徐相と急速相の関係からみた 線条刺激による視運動性眼振の二つの眼振パターン†

渡 辺 行 雄・大 村 明 彦・伊 東 宗 治
将 積 日出夫・水 越 鉄 理

はじめに

現在、一般臨床で使用されている定間隔線条視標による視運動性眼振 (optokinetic nystagmus: OKN) の急速相には、視標を注視する衝動性眼運動と、緩徐相で偏位した眼位を復位させる反射的な眼運動が混在していると考えられているが¹⁾、このような、眼振型を簡易にかつ定量的に評価する方法は確立されていない。今回、私達は OKN 緩徐相と急速相の相関関係に着目してこの二様の眼振型を簡易に観察、定量的に評価する方法を考案してその臨床応用の可能性を検討したので報告する。

1 方法

1) 刺激, 眼運動記録法

視刺激は半径 75 cm の半球型投影装置を使用し、視角 5° の線条を 30° 間隔に投影した。刺激方式は等加速度刺激とし、 $1^\circ/\text{sec}^2$ で 100 秒間、 $100^\circ/\text{sec}$ まで連続的に加速した。被験者は検査中頭部を固定し、眼前を通過する線条を一本づつ数えるように見るように指示した。なお、この刺激法では 100 秒間に約 175 本程度の線条が眼前を通過する。この刺激を右向き、左向きの 2 方向につき各被験者に施行した。眼運動は直流増幅の眼振計 (electronystagmograph: ENG) で記録した。ENG の高域遮断フィルタは 25 Hz とした。記録した眼運動は小型コンピュータ PDP 11/34 で、オンライン実時間処理にて周波数 100 Hz でサンプリングし磁気ディスクに格納し、自家製の分析プログラムで分析を行った^{2)~4)}。

2) 分析方法

記録された眼運動について、まず、眼振波形を自動的に認識し、眼振の緩徐相、急速相の振幅、速度を各眼振ごとに計算した。図 1 はこのように処理した OKN (右向き回転刺激) 緩徐相速度の経時的变化を示したものである。ついで、OKN 緩徐相速度と急速相の関係に着目し、緩徐相速度と急速相振幅、緩徐相速度と急速相速度

の相関図を製作した。図 2 に図 1 の相関図 (図 2 A: 緩徐相速度—急速相速度, B: 緩徐相速度—急速相振幅) を示す。相関図では緩徐相速度に関係なく高い急速相振幅、速度を示す眼振群 (矢印 A) と急速相振幅、速度が緩徐相速度に高い相関性を示す眼振群 (矢印 B) があり、前者が多数を示した。これらの 2 群の眼振を定量的に評価するために、次のような処理を行った。

まず、緩徐相速度と急速相振幅、速度について眼振全部の回帰直線を求める (図 2: 直線 T)。ついで、直線 T より低い値の急速相振幅、速度の眼振について、緩徐相速度 $5^\circ/\text{sec}$ ごとの急速相速度、振幅の平均値を求め、この平均値と緩徐相速度との回帰直線を計算した (直線 L)。また、直線 T より高い値を示した急速相振幅、速度の眼振ではこの群の眼振全部の緩徐相速度と急速相振幅、速度の回帰直線を計算した (直線 U)。この 2 つの回帰直線 ($y=ax+b$) の係数と定数により 2 群の眼振型を評価した。

3) 分析対象

以上の検査、分析を正常被験者 30 名 (年齢 19—35 才) について行い、直線 U, L の係数と定数の正常限界を設定した。また、代表的な病的症例についての分析結果を示して、この分析法の臨床応用の可能性を中心に検討を加えた。なお、この論文の目的は線条刺激 OKN の分析にあるが、他の実験的眼振の反応態度と比較するために、異なった視標形態の OKN として図 3 に示すようなランダムドットパターンによる反応⁵⁾、迷路性眼振として温度性眼振に対して同様の検討を行った。

2 結果

1) 線条刺激 OKN の正常反応

図 2 に示したように正常反応 OKN では、緩徐相速度と急速相振幅、速度の関係は直線 U で表現されるように緩徐—急速相の相関性の低い眼振と、直線 L のように緩徐—急速相の相関性の高い眼振に 2 分され、直線 U に属する眼振群が多数であった。直線 U で表現される OKN 急速相は緩徐相速度に関係なく高振幅、高速度を示し、定間隔で眼前を通過する視標を良好に注視する眼運動を、また、直線 L で表現される OKN 急速相は緩徐相による眼球偏位を補正する反射的な眼運動を眼振を

† Two Types of Optokinetic Nystagmus Analyzed by the Relationship between Slow Phase and Fast Phase

Yukio Watanabe, Akihiko Ohmura, Muneharu Itou, Hideo Shojaku and Kanemasa Mizukoshi

富山医科薬科大学耳鼻咽喉科学教室

図1 正常 OKN の眼振緩徐相速度の経時的変化（右向き回転刺激）。
図中の斜線は視標速度を示す。眼振数 174, 最大眼球速度 72°/sec

図2 図1に示した反応の緩徐相速度 (SLV) と急速相振幅 (FAA), 速度 (FAV) の相関図
(横軸: 緩徐相速度, 縦軸: 急速相振幅, 速度)。

矢印 A: 緩徐-急速相の相関性の低い眼振

矢印 B: 緩徐-急速相の相関性の高い眼振

直線 T: 眼振全体の緩徐相速度-急速相振幅, 速度の回帰直線

直線 U: 直線 T より高い値の急速相振幅, 速度を示した眼振群の回帰直線

直線 L: 直線 T より低い値の急速相振幅, 速度を示した眼振群の回帰直線

左のグラフ (緩徐相速度-急速相速度)

直線 U: $y = 0.64x + 347.5$

直線 L: $y = 4.80x + 1.1$

右のグラフ (緩徐相速度-急速相振幅)

直線 U: $y = -0.03x + 21.5$

直線 L: $y = 0.17x + 1.0$

表すものと考えられた。直線 U と L の眼振群の差は緩徐相速度が高速となるにしたがって不明確となった。なお、図2から判るように、刺激線条間隔 30° に対し、急速相振幅は最大でも 25° 以下であり、線条間隔に完全に一致していない。この点は図1に示した緩徐相速度の経時的推移でも同様で、図中の斜線で示した視標速度に緩

徐相速度は低速の内から完全には一致していない。この OKN 反応は緩徐相速度の経時的変化、総眼振数から考えると極めて良好な正常反応であるが、このような例でも視標に対する注視の正確度を表す緩徐相速度、急速相振幅は完全には視標運動に一致しないことを示した⁹⁾。

図4は別の正常被験者の OKN である。緩徐相速度の

図3 ランダムドットパターンによる視運動性眼振視標。大小不同の小円が無数に配置されている。

視標追跡性は図2の例より若干不良で総眼振数も215と眼前を通過する線条数を大きく上回っている。この例の相関図では図2の例と比較して直線UとLが接近し、両直線の何れに属するかが不明確な眼振が多数である。この分析法では正常反応における視標注視の状況を定性的、定量的に観察できることを示す結果であった。実際の反応評価では、直線Uの係数と定数により評価を行うこととし、表1に正常被験者の直線Uの係数と定数の平均値と標準偏差を示した。

2) ランダムドット刺激による OKN 正常反応の分析結果

図5にランダムドット刺激による正常OKNの分析結

図4 正常OKNの分析結果(2)。

上：緩徐相速度の経時的変化(右向き方向回転刺激)

眼振数：215，最大眼球速度 65°/sec

下：図2と同じ分析(横軸：緩徐相速度，縦軸：急速相振幅，速度)

左のグラフ(緩徐相速度-急速相速度)

直線U： $y = 1.85x + 200.0$

直線L： $y = 3.89x + 5.34$

右のグラフ(緩徐相速度-急速相振幅)

直線U： $y = 0.14x + 9.51$

直線L： $y = 0.20x - 0.74$

図2の結果と比較して直線UとLが接近している。正常被験者においても視標注視態度により種々の反応があることを示した。

表1 直線 $U(y=ax+b)$ の係数 (a) と定数 (b) の正常範囲 (平均値 $\pm 2SD$) (n=30)

緩徐相速度－急速相振幅
a : 0.07 ± 0.08
b : $17.8 \pm 8.3^\circ$
緩徐相速度－急速相速度
a : 1.57 ± 0.72
b : $275 \pm 123^\circ/\text{sec}$

果を示す。図2,4で多数みられた緩徐－急速相の相関性の低い直線Uの成分は殆どみられず、直線Lに属する眼振型のみが観察された。ランダムドット刺激による正常被験者のほぼ全例で同様の分析結果がみられた。

3) 温度性眼振 (正常反応) における分析結果

図6に温度性眼振における緩徐相速度－急速相速度の相関図を示す (相関図のみで回帰直線は表示されていない)。図から明らかなように、ランダムドット刺激と同様に緩徐－急速相の相関関係の高い直線Lに相当する成分の眼振型のみが発現していた。なお、他の正常反応でも同様の結果が得られた。

4) 病的症例の分析結果

1) 図7は椎骨脳底動脈循環不全症のOKN反応とこの分析の結果を示したもので、緩徐相速度、眼振数による判定では正常の下限の反応態度である。しかし、本分析では直線Uの係数が高値で、定数が低値を示し、良好な線条注視が行われていないことを示した。

2) 図8は小脳障害の例でOKN反応は抑制所見を示した。本分析では直線Uの係数は正常範囲ではあるが定数の低値化が確認され、直線Uに相当する成分の眼振は発現していない。

3) 図9では脳幹 (橋、延髄) 障害の例で、OKN反応は抑制所見を示した。本分析では、直線Uの低値化はみられなかった。

3 考 察

30度間隔の線条視標を数えるように注視するように指示した条件下で解発したOKNの緩徐相と急速相の相関性に関する新たな分析法を考案し、OKNの正常反応において緩徐相－急速相の相関性が低い眼振と高い眼振の二様の眼振型があることが確認された。

この現象の示す意味について考察を加えると、緩徐相と相関性の少ない眼振型の急速相は視運動刺激中に、次々に注視視標を変える眼運動であり、静止状態での2点間の視標に対する衝動性眼運動と同様の眼運動と考えられる。この場合、「眼振」とは称されるが迷路性眼振のように緩徐相による眼球偏位を反射的に補正する意味での眼運動と異なるもので、緩徐相と急速相は二元的な機

図5 ランダムドット刺激OKN (図1に示した被験者の反応) における分析結果 (緩徐相速度 (縦軸)－急速相速度 (横軸) の相関図のみを表示)。直線UとLとの差異がほとんどないことを示した。

図6 温度性眼振 (正常反応) の眼緩徐相速度と急速相速度の相関関係。ランダムドット刺激OKNと同様の結果を示した。

序で発現し、緩徐相は視標に対する追跡性眼運動、急速相は視標注視による衝動性眼運動に由来する。

その急速相振幅は視標速度に関係なく視標間隔で規定されるため両者の相関関係が少ないものと考えられた。この型の眼振が発現するためには、追跡性眼運動と衝動性眼運動の両者が正常に機能することが条件となる。

一方、緩徐－急速相が高い相関性を示す眼振は、先に呈示したように前庭性眼振と同様に緩徐相による眼球偏位を補正する反射的な眼振急速相の特徴を表すものと考えられる。今回、線条刺激と比較するために行ったランダムドット刺激OKNでは前庭性眼振と同様に緩徐－急速相の相関性の高い眼振のみが発現していた。この刺激では線条刺激と比較して中心窩に対し相対的に周辺網

図7 椎骨脳底動脈循環不全症例の分析結果。
 40才男性, 0.3 Hz の視標追跡検査は正常反応, 振幅に対する急速相速度は正常, 左 VAG で Aorta-origin 左偏像
 上: 緩徐相速度の経時的变化 (眼振数 130, 最大緩徐相速度 46°/sec)
 下: 相関図
 左のグラフ (緩徐相速度-急速相速度) 右のグラフ (緩徐相速度-急速相振幅)
 直線 U: $y = 2.90x + 111.6$ 直線 U: $y = 0.39x + 4.80$
 緩徐-急速相の相関性の低い眼振の減少がみられた。なお, 反対向き刺激は正常反応であった。

膜刺激が強いのが特徴である。また, 視標に対する追跡眼運動機能を表す緩徐相速度の経時的变化は線条刺激とランダムドット刺激で差がないことなどを考え合わせると⁵⁾, OKN における緩徐-急速相の相関性の高い眼振は中心窩による注視能力ではなく, 周辺の網膜上の刺激の相対的な優位性を表現しているものと考察された。したがって, この型の OKN は刺激視標の形態によっては追跡眼運動や衝動性眼運動の能力低下を表すものではなく日常的に人体が受ける全視野が刺激される状態での極めて生理的な現象と言える。さらに付け加えるならば, 日常的な視刺激で発現する OKN 急速相は緩徐相との相関性が高い反射的な現象ということができる。

しかし, 30° という比較的大振幅の線条刺激の OKN 急速相では視運動刺激中, 定間隔の視標を漸次注視する衝動性眼運動が主体となるので, 緩徐相と急速相の相関性の低い眼振が正確な視運動機能を表現する指標となる。そして, この型の眼振が減少して緩徐-急速相の高い相関性の眼振が増加する現象は, 視標注視の不正確性を表現し, 視標速度に対する追跡性眼運動の利得の低下, あるいは衝動性眼運動の振幅利得の障害に起因して視標注視の中心窩からのずれ (retinal slip) が増大して周辺の網膜上の刺激を増加させる結果, 線条刺激でありながら反射的な要素の高い急速相を示す眼振が多数発現することを示唆する所見と考察された。

図8 血管障害による小脳障害症例の分析結果（左向き刺激）。
 69才女性，短期方向交代性頭位眼振，0.3 Hzの視標追跡検査は正常反応，振幅に対するOKN急速相速度は正常範囲にあった。
 上：緩徐相速度の経時の変化（眼振数181，最大緩徐相速度29°/sec）
 下：相関図
 左のグラフ（緩徐相速度－急速相速度） 右のグラフ（緩徐相速度－急速相振幅）
 直線U： $y = 1.51x + 69.85$ 直線U： $y = 0.16x + 2.67$
 緩徐－急速相の低い相関関係の眼振が解発されていない（反対向き刺激も同様）。

この点から今回の定量的判定法においては，反応中の低い相関性の眼振を表現する直線Uの係数(a)の高値化と定数(b)の低値化が正常範囲を超えた時点で異常反応と判定するのが適当と考えられた。

病的症例におけるこの分析の所見をOKNの緩徐相速度，総眼振数による反応評価と対比したとき，1)正常または正常異常境界領域で相関性の低い眼振が減少する場合，2)異常反応で相関性の低い眼振が減少する場合，3)異常反応で相関性の低い眼振が減少しない場合，の3つの型があることを示したが，これらの詳細な病巣鑑別上の意義については今後の課題としたい。

従来から，OKNの分類として視標注視の方法と発現

する眼振からcortical-subcortical OKN⁷⁾，active-passive OKN⁸⁾，look-stare nystagmus⁹⁾，foveal-retinal OKN¹⁰⁾ (pattern¹¹⁾)などの種々の分類が行われている。これらの詳細な定義は視標注視法による分類，発現する眼振のパターンによる分類などと異なっているが，発現する眼振が眼前を通過する視標の間隔，速度によく対応した眼振と対応が良好でない眼振とに分類され，病的例では前者の割合が低下することが報告されている。今回の分析で緩徐－急速相の相関性の低い眼振はこれらの分類の前者に，低い型の眼振群は後者の分類に相当し，その考え方はfoveal-retinal nystagmusの分類にもっとも類似している。しかし，foveal-retinal

図9 脳幹（橋、延髄）障害症例の分析結果（左向き刺激）。

72才女性、回旋性頭位眼振、0.3 Hzの視標追跡検査は正常反応、急速相速度正常範囲、MRIにて左橋部の梗塞像。

上：緩徐相速度の経時変化（眼振数 89，最大緩徐相速度 22°/sec）

下：相関図

左のグラフ（緩徐相速度－急速相速度）

直線 U: $y = -2.01x + 171.55$

右のグラフ（緩徐相速度－急速相振幅）

直線 U: $y = -0.19x + 9.54$

緩徐相速度は低速であるが、急速相速度の高い眼振が発現しており緩徐－急速相の低い相関性の眼振が発現していることを示した。なお、反対刺激では本分析で異常反応がみられた。

nystagmus は OKN 緩徐相による視標追跡性を主体とした概念であり、今回呈示した緩徐－急速相の相関性という概念と完全に一致するものではない。とくに、retinal nystagmus は中心窩による視標注視能力の低下－中心窩周辺の刺激の増加、という概念で理解される場合が多いが、私達の分析法による緩徐－急速相の相関性の高い眼振は中心窩の注視能力の低下ではなく周辺網膜上の刺激が中心窩に対し相対的に優位となって発現すると考えられるのでこの型の OKN を全て retinal nystagmus として分類することは適当でないと考えられる。これまで述べてきた緩徐－急速相の相関性による二

様の眼振型に対する私達の考え方から、緩徐－急速相の相関性の低い眼振は注視運動型 OKN (look OKN)、相関性の高い眼振群を反射型 OKN (reflex OKN) と呼ぶことを提唱したい。

結 論

視運動性眼振の緩徐相速度と急速相振幅、相関性を分析した結果、間隔 30°の視標線条を正確に注視するよう指示した刺激条件下で相関性の低い眼振（注視運動型）と高い眼振（反射型）の二様の眼振群が存在した。病的症例における注視運動型 OKN の減少を定量的に評価することが可能となった。

文 献

- 1) Büttner U and Büttner-Ennever JA : Present concepts of oculomotor organization.
In : Büttner-Ennever JA (Eds), Neuroanatomy of the oculomotor system, pp 3-32, Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford, 1988
- 2) 渡辺行雄 : ENG 検査の自動分析システム, 日耳鼻 82 : 1553-1577, 1979
- 3) 渡辺行雄 : ENG 検査へのコンピュータの導入, 「めまい—臨床の基本」. 鈴木淳一, 時田喬編, 155-176, 現代医療社, 東京, 1983
- 4) 水越鉄理 : めまい・平衡障害の診断と治療, 現代医療社, 東京, 1988
- 5) 渡辺行雄, 大村明彦, 伊東完治, 水越鉄理 : ランダム視標による視運動性眼振, — 線条刺激との比較を中心に —. 耳鼻臨床 補 36 : 22-32, 1989
- 6) Watanabe Y, Ohashi N, Ohmura A, Ito M and Mizukoshi K : Gain of slow phase velocity of optokinetic nystagmus. *Auris Nasus Larynx* (Tokyo) 13 : 63-68, 1986
- 7) Ter Braak JWG : Untersuchungen uber Optokinetischen Nystagmus. *Arch Neerl Psychiat* 21 : 309-376, 1936
- 8) Scala NP and Spiegel EA : Subcortical (Passive) optokinetic nystagmus in lesions of the midbrain and of the vestibular nuclei. *Confin Neurol* 3 : 73, 1940
- 9) Honrubia V, Downey WL, Mitchell DP and Ward PH : Experimental studies on optokinetic nystagmus II. Normal humans. *Acta Otolaryngol* 65 : 441-448, 1968
- 10) Jung R : Nystagmographie : Zur Physiologie und Pathologie des optisch-vestibulären Systems beim Menschen. In : Bergmann Gv, Frey W, Schwiegl u H (Eds.) *Handbuch der Inneren Medizin*, 4. Aufl., Bd. v/1, pp. 1325-1379. Springer Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1953
- 11) 仲野紘介, 二木 隆, 北原正章 : 視運動性眼振における FOVEAL-PATTERN と RETINAL-PATTERN. 耳鼻臨床 65 : 1233-1242, 1972

Abstract

There are two types of optokinetic nystagmus (OKN) fast phase. One is the eye movement looking at a visual target passing in front of the

test subject (type A), and the other is a reflex which resets the eye position after deviation by the slow phase (type B). We developed a new method of quantitatively analyzing these two types of OKN. Optokinetic stimulation is given to a test subject by projecting stripes with a 5 degrees visual angle width on a screen at 30 degree intervals. The visual target is accelerated at 1 deg/sec/sec up to 100 deg/sec. The OKN is recorded by ENG and analyzed with a PDP11/34 computer. Slow phase velocities, and fast phase amplitudes and velocities of each OKN are plotted on a correlogram. There are two types of OKN fast phase on the correlogram, one with a low correlation with slow phase velocity and the other with a high correlation. It is considered that the low correlation type OKN corresponds to type A and the high to type B.

In order to quantitatively analyze these two types, approximate regression lines of each type, $\{y = ax + b \text{ (} x : \text{slow phase velocity, } y : \text{fast phase velocity or amplitude)}\}$, were computed by the minimum square method.

The normal limits of "a" and "b" were determined statistically from the responses of 30 normal subjects. In normal subjects the differences between the values of "a" and "b" in the low correlation type OKN and those in the high correlation type were quite significant. On the other hand, of those with normal responses of OKN elicited by a random dot visual target and caloric nystagmus, few had nystagmus of the low correlation type. In patients with vertebro-basilar insufficiency and cerebello-pontine angle lesions, the low correlation type of OKN was significantly reduced.

Key words : optokinetic nystagmus, look nystagmus, stare nystagmus, foveal nystagmus, retinal nystagmus

(原稿到着 : 平成 4 年 2 月 9 日
別刷請求先 : 渡辺行雄
〒930-01 富山市杉谷2630
富山医科薬科大学耳鼻咽喉科学教室)