

健康若年成人における垂直方向の 滑動性眼球運動の定量的評価

鳥取大学医学部耳鼻咽喉科学教室 (主任 生駒尚秋教授)

河 本 勝 之

Quantitative Evaluation of Vertical Smooth Pursuit Eye Movement In Healthy Young Subjects

Katsuyuki KAWAMOTO

*Department of Otorhinolaryngology, Faculty of Medicine,
Tottori University, Yonago 683, Japan*

ABSTRACT

Vertical smooth pursuit eye movements were recorded using a direct current electronystagmograph and evaluated quantitatively with the aim of contradistinction between upward and downward smooth pursuit. In pursuing the triangle movement target which moved in the amplitude of 20, 30 and 60 degrees and at the frequency of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 Hz vertically, the mean velocity gain, which was defined as the ratio of the eye velocity to the target velocity, was evaluated in 9 young normal subjects (20 to 27 years of age). To avoid the influence of prediction, the target frequency was changed in 2-3 periods randomly. When the target amplitude was 30 degrees and the frequency was 0.1 Hz, there was a significant difference between the mean of upward pursuit and downward pursuit. In the other condition, there was no significant difference. (Accepted on October 21, 1997)

Key words : Vertical, Smooth
pursuit, Upward, Downward

はじめに

物体を正確にみるためには眼球の網膜中心窩でその物体をとらえることが必要であり、眼球運動系がこの機能を担っている。物体が眼前をゆっくりと移動する場合には、その細部を正確にみるために対象物と同じ速度で眼球を動かす。この眼球運動は滑動性眼球運動と呼ばれている。一般に下等な動物では眼球を動かすかわりに頭や体幹を動

かすことによって物体を追視し、動物が高等になるほど中心窩視が発達し眼球運動のほうが頭部や体幹の運動よりも優位になり、頭を動かさず滑動性眼球運動で物体を追視するとされる¹⁾。この神経経路の詳細はまだ検討中であるが、中枢神経障害がある場合に円滑な眼球運動の障害がしばしばみられ、滑動性眼球運動を記録し、評価することは、高次の中枢神経機構を鋭敏に評価していることになる。

従来、滑動性眼球運動の波形の判定は定性的に行われている²⁾。典型的な異常波形に対しては簡便で有用な方法であるが、検査結果の判定に客観性を欠き、日常の検査で判定に苦慮する場合もしばしばみられる。検査結果を定量的に把握できないために、異常の程度の評価も行えないという欠点もある⁸⁾。視標の条件としての振幅と周波数をどう設定するのがよいのかということもまだ結論がでていない。1975年Mizukoshi¹⁰⁾が定量化の試みを行い、振幅や周波数を変化させて滑動性眼球運動を定量的に解析している。眼球運動の中枢性機構は、水平方向と垂直方向の2つの系から成り、両系は異なった中枢機構を有している¹⁴⁾にも関わらず、定量的な検討のほとんどが水平方向の滑動性眼球運動に対してであり、垂直方向に関する報告は少数である¹⁷⁾⁸⁾。その報告のなかで、上方視と下方視との非対称性が検討されている。玉田ら¹⁵⁾は、上方視は下方視と比べて良好であるとしているが、長谷川⁷⁾は上方視と下方視とでは、明らかな非対称性を認めていない。Darlot³⁾やEvinger⁴⁾は、ネコにおいては、上方視は下方視と比べて良好であるとしており、いまだ結論が得られていないのが現状である。垂直方向の滑動性眼球運動を定量的に評価するためには、上方視と下方視との非対称性の有無を確認する必要がある。今回の研究では、健康な若年成人を対象に、視標の周波数を0.1, 0.2, 0.3, 0.4および0.5 Hzの5段階とし、振幅を視覚で20, 30, 60度として滑動性眼球運動を記録した。予測を除外するために、振幅を一定とし、2から3周期で周波数を0.1 Hzから0.5 Hzまでランダムに変えた。この方法で定量的な解析を行い、上下方向での追視の比較を行ったので報告する。

対象および方法

1. 対象

めまいの既往がなく、視診上、両側鼓膜に著変を認めず、神経耳科学的に異常のない、20-27歳、平均24.6歳の健康な若年成人9名(男性3名、女性6名)とした。

2. 方法

眼球運動の誘発には、眼球運動誘発装置を用い、この装置で、被検者の頭部固定台から1メートル前方にある半円筒状のスクリーン上に、直径2 cm

(1.15deg)、光度400ルクスの白色円形視標を投影した。被検者は座位とし、頭部を眼球運動誘発装置の頭部固定台にバンドで固定し、前方のスクリーン上で、垂直方向に往復運動する視標を注視させた。視覚刺激は、垂直方向に移動する三角波を用い、振幅は視角で20度、30度、60度、周波数は0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 Hzとした。実験手順として、振幅を一定とし、2から3周期で周波数を0.1 Hzから0.5 Hzまでランダムに変えることで、予測の影響を受けないようにした。眼球運動の記録には電気眼振計(electronystagmograph, 以下ENGと略記、日本電気三栄、EN1104)を用い、ENG上の雑音の混入を防止するために1000 Hz(-3dB)を遮断周波数とする高周波除去装置を用いた。電極は亜鉛電極を使用し、導出電極は、被検者の瞳孔を中心とし、上下に等間隔に装着し、アース電極を前額部中央に装着した。

ENG記録の際には、瞬目によるアーチファクトが常に指摘されているため、数周期で検査を中断し、疲れによる瞬目を生じないようにした。各条件下で得られた眼球運動記録のうち、アーチファクトの少ない10波形を解析の対象とした。瞬目の混入は、実際に眼球を観察して除外した。

眼球運動の解析は、上方へと、下方への追視の平均眼球速度を視標速度で除してmean velocity gain(図1)を算出した。有意差検定は、Wilcoxonの符号順位検定を用いた。

結 果

振幅20度、周波数0.2 Hzの際の実測例を図2に示した。Aが視標の動きで、Bが眼球運動記録である。上方への追視は記録用紙の上向きに、下方への追視は記録用紙の下向きに相当する。視角の偏位角10度を10mmに校正し、記録用紙の紙送り速度を10mm/sとした。この実測例のmean velocity gainは上方視が1.00、下方視が1.06であった。

各振幅と周波数での結果を表1に示した。振幅が20度で、周波数が0.1 Hzのときの上方視のmean velocity gainは、 0.94 ± 0.11 (平均値±標準偏差)であった。下方視のmean velocity gainは、 0.97 ± 0.10 であった。同様に、0.2 Hzの上方視は 1.01 ± 0.08 、下方視は 0.98 ± 0.08 、0.3 Hzの上方視は 0.98 ± 0.03 、下方視は 0.98 ± 0.05 、0.4 Hzの上方視は 1.01 ± 0.04 、下方視は 1.01 ± 0.05 、0.5 Hzの上方視は 1.05 ± 0.07 、下方視は

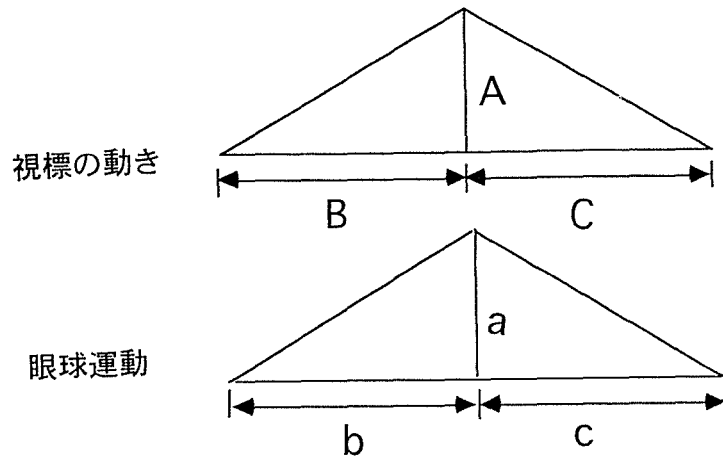


図1 Mean velocity gainの計算法

上向き： $a/b \times B/A$

下向き： $a/c \times C/A$

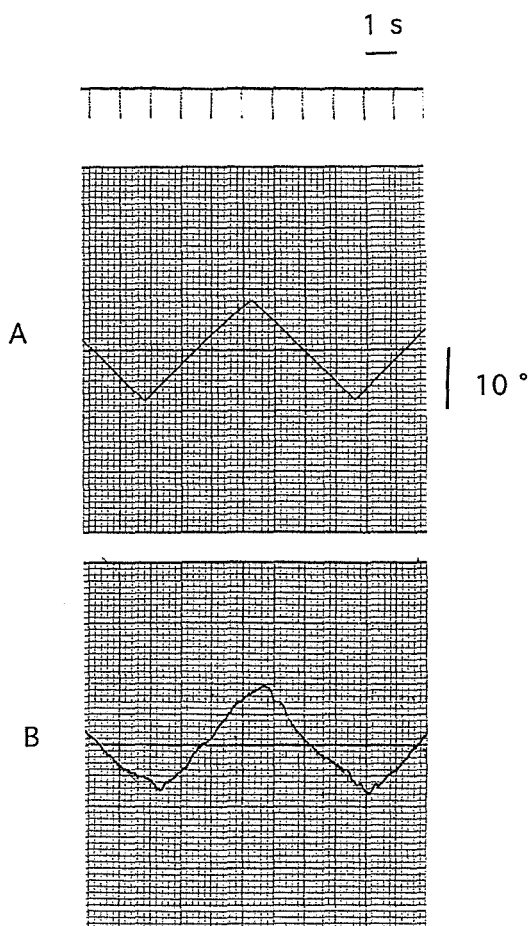


図2 実測例
視標の動き (A)
滑動性眼球運動 (B)
の同時記録

1.00±0.09であった。20度では、各条件下において有意差は認めなかった。

30度では、0.1 Hzの上方視は0.87±0.09, 下方視は0.99±0.12, 0.2 Hzの上方視は0.97±0.05, 下方視は0.96±0.06, 0.3 Hzの上方視は0.93±0.06, 下方視は0.94±0.06, 0.4 Hzの上方視は0.97±0.05, 下方視は0.96±0.02, 0.5 Hzの上方視は0.95±0.07, 下方視は0.94±0.05であった。30度では、0.1 Hzの上方視と下方視とに有意差を認めた。その他の条件下では有意差を認めなかった。

60度では、0.1 Hzの上方視は0.98±0.07, 下方視は1.05±0.08, 0.2 Hzの上方視は0.96±0.10, 下方視は0.96±0.06, 0.3 Hzの上方視は1.06±0.07, 下方視は1.04±0.04, 0.4 Hzの上方視は1.00±0.05, 下方視は0.99±0.04, 0.5 Hzの上方視は0.98±0.04, 下方視は1.00±0.06であった。60度では、各条件下では有意差を認めなかった。

考 察

滑動性眼球運動の神経経路の詳細はまだ検討中であるが、河野ら⁵⁾は、視覚刺激が視覚野から、頭頂後頭連合野、小脳腹側傍片葉を介し、脳幹に出力するとし、そのうち大脳皮質MST野 (medial superior temporal area)とMT野 (middle temporal area)が重要であるとしている。中枢神経障害がある場合には、円滑な眼球運動の障害がし

表1. 各振幅, 周波数におけるmean velocity gain

振幅 (deg)	周波数 (Hz)	上方眼球運動	下方眼球運動
20	0.1	0.94±0.11	0.97±0.10
	0.2	1.01±0.08	0.98±0.08
	0.3	0.98±0.03	0.98±0.05
	0.4	1.01±0.04	1.01±0.05
	0.5	1.05±0.07	1.00±0.09
30	0.1	0.87±0.09*	0.99±0.12*
	0.2	0.97±0.05	0.96±0.06
	0.3	0.93±0.06	0.94±0.06
	0.4	0.97±0.05	0.96±0.02
	0.5	0.95±0.07	0.94±0.05
60	0.1	0.98±0.07	1.05±0.08
	0.2	0.96±0.10	0.96±0.06
	0.3	1.06±0.07	1.04±0.04
	0.4	1.00±0.05	0.99±0.04
	0.5	0.98±0.04	1.00±0.06

※: 上方視と下方視で有意差を認めた ($p < 0.05$).

ばしばみられ, 滑動性眼球運動を記録し, 評価することは, 高次の中脳神経機構を鋭敏に評価していることになるとされる.

垂直眼球運動に関与する神経機構は, 中脳にほとんどが存在するとされており, 前庭神経核からMLF (medial longitudinal fasciculus) を介して滑車神経核, 動眼神経核, カハール間質核, riMLF (rostral interstitial nucleus of MLF) に投射するトニック線維系が重要な役割を果たしているとされている¹³⁾.

今回の研究では, 滑動性眼球運動の評価のために三角波を用いた. 従来, 滑動性眼球運動の分析は, 主として波形のパターンで定性的に判定されている. Benitezは図3に示されるように滑動性眼球運動を4つのパターンに分類している²⁾. I型は円滑な正弦波を示し, II型は正弦波に重なる数秒毎の断続的な非眼振性眼球運動が特徴とされ, III型は階段状波形を示し, IV型は眼球運動不均衡により正弦波の失調が特徴とされる. 一般的にI, II型は, 末梢性疾患に認められ, III, IV型は中枢性疾患に認められるとされている. この定性的なパターン分類は, 典型的な異常波形に対しては簡便で有用な方法であるが, 検査結果の判定に客観性を欠き, 日常の検査で判定に苦慮する場合もしばしばみられる. 検査結果を定量的に把握

できないために, 異常の程度の評価も行えないという欠点もある⁸⁾.

そのため, Mizukoshi¹⁰⁾の定量化の試みが行われているが, そのほとんどが水平方向の滑動性眼球運動に対してであり, 垂直方向に関する報告は少数である¹⁷⁾⁹⁾. その原因としては, 1) 滑動性眼球運動の視標刺激として, 従来から正弦波が使用されているが, 正弦波は時々刻々と速度が変化するため, 一定の速度における定量的な評価が困難であること¹⁵⁾, 2) 視標刺激に三角波を使用したときには, 眼球運動の方向が上下両端部において急激に変わり, 衝動性眼球運動が混入しやすい欠点があること, 3) 垂直方向は瞬目の影響を受けやすく記録へのノイズの介入が多いということ, 4) 垂直方向は水平方向と比較して追視自体が不良であること⁷⁾である. これらの欠点を考慮して, 視標刺激として一定速度の三角波を用い, 正面を通過する際のmean velocity gainを解析の対象とした. 2から3周期で周波数を変えるときに検査を中断し, 疲れによる瞬目を生じないようにした.

Noordenら¹¹⁾は, 水平方向の正弦波を用いて滑動性眼球運動に衝動性眼球運動が混入しはじめる視標の周波数は0.5 Hzから0.8 Hzの間であるとしている. 玉田ら¹⁵⁾も水平方向では, 0.5 Hzぐら

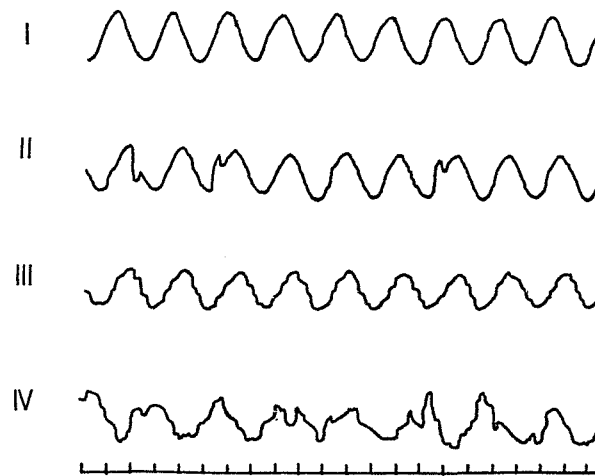


図3 滑動性眼球運動検査のパターン分類²⁾

- I型：円滑な正弦波
- II型：断続的な非眼振性眼球運動の混入
- III型：階段状
- IV型：失調性

いまでは滑動性眼球運動が大部分であって衝動性眼球運動はほとんど行われなしている。従って、滑動性眼球運動を評価するためには、0.5 Hz以下の周波数で測定することが好ましいと思われる。そこで今回は、周波数は0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 Hzとした。長谷川⁷⁾は、垂直方向で周波数を0.1から0.5 Hzまで0.1 Hzずつ増加させ、振幅は20度に固定して上方視と下方視との解析を行った。しかし、予測可能な視標であったため、予測を除外した上での追試が望まれるとしている。そこで、今回の研究では、視標の周波数をランダムに変え、予測を除外する試みを行った。

今回、振幅30度では、0.1 Hzでのみ上方視は下方視と比べて有意にmean velocity gainが低く、追視が不良であった。また、20度、60度の0.1 Hzでは有意差こそ認めなかったが、他の周波数より、上方視が下方視に比べてmean velocity gainが小さく、その差が大きかった。玉田¹⁵⁾は、垂直方向の視標の周波数を0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1 Hzとし、振幅を10, 20, 30, 60, 90度としている。その結果、同じ周波数でも上方はスムーズに追いやすが、下方は少し難しいとしており、今回の結果とは相違がみられた。今回、上方視が下方視と比べて有意に追視が不良であった理由のひとつは、垂直方向の視運動性眼振で、被検者が

真っ直ぐに座っているとき、1Gの重力が内耳に影響を与えることが上下方向の非対称性の原因になるとされている¹²⁾が、これと同様のことが、滑動性眼球運動においても生じている可能性があることが考えられた。Baloh¹¹⁾は周波数を0.2 Hzから2倍ずつ1.6 Hzまで増加させ、振幅は5, 10, 20度とした。その結果、上下間では有意な差は認めなかったとしている。長谷川⁷⁾も振幅を20度に固定し、周波数を0.1 Hzから0.5 Hzまで0.1 Hzずつ増加させているが、上方視と下方視とでは有為な差を認めなかったとしている。今回、Baloh¹¹⁾や長谷川⁷⁾と同じ条件である振幅20度の結果に関しては彼らの意見と一致し、上下間では有意な差を認めなかった。このことから、垂直方向の滑動性眼球運動においては、周波数が0.2から0.5 Hzでは上方視と下方視との間で非対称性を認めないが、周波数が0.1 Hzでは上方視は下方視と比べて追視が不良になると考えられた。

今回、筆者はENGを用いて記録を行ったが、松島⁹⁾は、ENGでは基線のdriftがあることや容易にその利得が変化しやすいという欠点があり、mean velocity gainを求めるのはまだしも、波形そのものの検討には不十分であるとしている。今後、記録方法を変え、その他のパラメーターで評価することが必要であると思われる。また、今回

は健康な若年成人を対象としたが、水平方向においては加齢に伴って滑動性眼球運動時における square wave jerks の頻度が増加しているとの報告がある⁷⁾。今回は解析していないが、今後、垂直方向における追従性の加齢変化の検討も必要と思われた。

結 語

健康な若年成人(20-27歳)9名を対象として、垂直方向の滑動性眼球運動の定量的な解析を行った。視標は三角波を用いて、振幅を20, 30, 60度とし、予測機構の影響を考慮し、2から3周期で、周波数を0.1から0.5 Hzまで0.1 Hzごとにランダムに変化させ、mean velocity gainを解析した。その結果、0.1 Hzの上方視のmean velocity gainが下方視と比べて小さく、30度で上方視と下方視との間に有意差を認め、上方視が下方視に比べて追視が不良であった。0.2 Hzから0.5 Hzでは有意差を認めなかった。

稿を終えるにあたり、懇切なる御指導と御校閲を賜りました鳥取大学耳鼻咽喉科学教室主任生駒尚秋教授、眼科学教室主任玉井嗣彦教授ならびに公衆衛生学教室主任能勢隆之教授に深謝いたします。

本論文の要旨は第22回日本耳鼻咽喉科学会中国地方部会、第22回日本耳鼻咽喉科学会中国四国連合部会および第98回日本耳鼻咽喉科学会総会で講演した。

文 献

- 1) Baloh, R.W., Yee, R. D., Honrubia, V. and Jacobson, K. (1988). A comparison of the dynamics of horizontal and vertical smooth pursuit in normal human subjects. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 59, 2, 121-124.
- 2) Benitez, J. T. (1970). Eye-tracking and optokinetic tests: Diagnostic significance in peripheral and central vestibular disorder. *Laryngoscope* 80, 834-848.
- 3) Darlot, C., Lopez-Barnes J. and Tracey D. (1981). Asymmetries of vertical vestibular nystagmus in the cat. *Exp Brain Res* 41, 420-426.
- 4) Evinger, C. and Fuchs, A. F. (1978). Saccadic, smooth pursuit and optokinetic eye movements of the trained cat. *J Physiol* 285, 209-229.
- 5) 河野 憲二, 竹村 文, 井上 由香, 北間 敏弘, 小林 康 (1996). 追従眼球運動の神経機構. *神経進歩* 40, 398-408.
- 6) 河野 憲二 (1997). 追従眼球運動. *Equilibrium Research* 56, 197-207.
- 7) 長谷川 賢作 (1989). 三角波による滑動性眼球運動の年齢変化について. *米子医誌* 40, 484-491.
- 8) 堀江 貴 (1987). 聴神経腫瘍の滑動性眼球運動記録の定量化の試み. *米子医誌* 38, 79-89.
- 9) 松島 純一, 熊谷 雅彦, 酒井 昇, 菅沼 俊哉, 伊福 部達, 高橋 誠 (1992). 水平, 垂直滑動性眼球運動の周波数分析. *Equilibrium Research* 51, 485-490.
- 10) Mizukoshi, K. (1975). Computer analysis of eye-tracking test. *Int J Equilibrium Research* 34, 158-162.
- 11) Noorden, G. K. and Preziosi, T. Z. (1966). Eye movement recordings in neurological disorders. *Arch Ophthalmol* 76, 162-171.
- 12) Ogino, S., Kato, I., Sakuma, A., Takahashi, K. and Takeyama, I. (1996). Vertical optokinetic nystagmus in normal individuals. *Acta laryngol(Stockh.)* 522, 38-42.
- 13) Pola, J. and Robinson, D.A. (1978). Oculomotor signals in medial longitudinal fasciculus of the monkey. *J Neurophysiol* 41, 245-259
- 14) 篠田 義一 (1985). 眼球運動の生理学. 小松崎 篤, 篠田 義一, 丸尾 敏夫編, 眼球運動の神経学, pp. 1-145. 医学書院. 東京.
- 15) 玉田 彰, 三好 豊二 (1983). 上下方向の滑動性眼球運動について. *耳鼻咽喉科臨床* 76, 255.