

回旋性眼球運動に関する研究

第一報 視運動性回旋性眼振の存在とその特徴について (図8)

佐藤 友哉 (滋賀医科大学眼科学講座)

Cyclorotatory Optokinetic Nystagmus and its Properties

Tomoya Sato

Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science

要 約

視軸を中心に回転する視標により視運動性回旋性眼振 (cyclorotatory optokinetic nystagmus: COKN) を誘発し、その特徴について考察を行なった。3種類の視標を用い(A:縞視標, B:車輪視標, C:周辺視標)、表示は8mm 映写機を使用した。眼球運動の測定には Fundus Haploscope を用い、さらに眼球運動解析装置にて水平、垂直、回旋の各運動成分別の解析を行なった。被検者6名全員にほぼ回旋成分のみの波形よりなる COKN を誘発する事が出来た。眼振の振幅については最大8°もの高振幅を認めたが、利得について0.06-0.29と水平、垂直の OKN と比べ非常に小さく、また、個人差が大きかった。視標による差も認め、車輪視標では縞視標に比べ利得が大きく安定した COKN を認め、また、周辺のみ視標でも高利得を得る事が出来た。以上より、視覚刺激により回旋性の眼球運動を誘発でき、つまり、COKN の存在を証明する事が出来た。COKN の誘発には特に周辺網膜に対する刺激が有効であり、この運動系は中心窩を必要としない optokinetic system に類似した系が関与している事が予想された。また、COKN は眼球反対回旋と共に回旋性の代償性眼球運動において重要な役割をはたしていると思われた。(日眼 92:229-237, 1988)

キーワード: 視運動性回旋性眼振, 視運動性眼振, 代償性眼球運動, 回旋性眼球運動, ファンダスハプロスコープ

Abstract

Optokinetic nystagmus in response to rotation of the visual surroundings (cyclorotatory optokinetic nystagmus: COKN) was measured and its properties investigated. Six normal subjects were investigated. The movements of both fundi when viewing three kinds of the targets rotating around the visual axis were recorded using the Fundus Haploscope (infrared fundus T.V. camera). The induced nystagmus was analyzed and resolved into horizontal, vertical, and cyclorotational elements of eye movement. COKN with few elements of horizontal and vertical nystagmus could be induced by all targets in all subjects. Mean gains varied individually and ranged from 0.06 to 0.29. Gains were found to be larger when viewing the rotating target composed of the wheel pattern, or the peripheral pattern than when viewing the target composed of a grating pattern. In conclusion, the existence of COKN was proved. It was suggested that COKN has an eye movement system similar to the optokinetic system and has interaction with ocular counterrolling in compensatory eye movement of ocular cyclorotation. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 92:229-237, 1988)

別刷請求先: 520-21 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学眼科学講座 佐藤 友哉 (昭和62年8月24日受付)

Reprint requests to: Tomoya Sato, M.D. Dept. of Ophthalmol., Shiga Univ. of Medical Science

Tsukinowa-cho, Seta, Ohtsu 520-21, Japan

(Accepted August 24, 1987)

Key words: cyclorotatory optokinetic nystagmus, optokinetic nystagmus (OKN), compensatory eye movements, cyclorotatory (torsional) eye movements, Fundus Haploscope

I 緒 言

視運動性眼振 (optokinetic nystagmus: OKN) は網膜上を動く外界の像を安定化させるために生ずる生理的反射と言われている¹⁾。一方、前庭動眼反射 (vestibulo-ocular reflex: VOR) は、逆に頭部の運動により移動する網膜像を安定化させる生理的反射であり、日常の我々の生活における外界像の認知には OKN と VOR は互いに密接な関係を有している。また、それぞれの特性についても多くの研究がなされており、そのメカニズムが解明されている^{2)~4)}。しかしながら、これらの研究の多くは水平性あるいは垂直性の眼球運動についてであり、回旋性の眼球運動についてはあまり研究がなされていないのが現状である。一方、回旋性の眼球運動における VOR は眼球反対回旋として古くから知られており、最近の測定法の進歩によりその特性が明らかとなってきている。しかし、視軸を中心に回転する外界像に対して生ずる回旋性の眼球運動つまり視運動性回旋性眼振 (cyclorotatory optokinetic nystagmus: 以下 COKN と略す) の存在はあまり知られておらずその存在を否定する成書すらある²⁾⁵⁾。回旋性の VOR である反対回旋が存在するならば、回旋性の OKN である COKN も存在し日常生活において共同作用を行なっていると考えるのもいいように思われる。そこで、眼球の動きを眼底の動きとしてとらえ、回旋性の眼球運動も測定が出来る Fundus Haploscope⁶⁾を用いて COKN の測定を試み、その存在といくつかの特徴について調べたので報告する。

II 実験方法

被験者は軽度の屈折異常以外には眼科耳科的に異常を認めない成人 6 名であり、年齢は 25 から 37 歳である。COKN の誘発には 8mm 映写機を用いて被験者の眼前 2m の部位に置かれたスクリーン上に視標を投影した (図 1)。投影する視標は中心に視角 0.2° の固視点を有する直径が視角 25° の白色円盤であり幅が視角 0.72° の黒色の帯により格子が描かれている視標 A と、固視点より 45° 間隔で放射状に視角 0.42° の帯を配列し車輪状にした視標 B、およびこの視標 B で固視点を除く中心部の帯をなくし周辺のみ帯とした視標 C を用いた (図 2)。視標の回転速度は等速 6° 毎秒で方向は時計まわりである。眼球運動の記録には接眼部に半透鏡を取りつけた Fundus Haploscope を用いた。被験者の頭

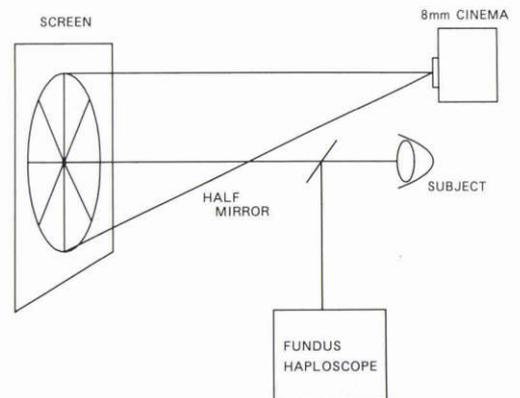


図 1 測定装置。回転視標は 8mm 映写機により被験者の眼前 2m に表示され、眼球運動は Fundus Haploscope にて測定される。

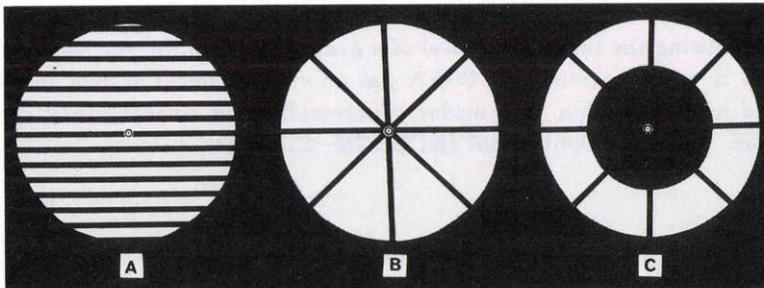


図 2 誘発に用いた視標、A: 縞視標、B: 車輪視標、C: 周辺視標、それぞれ中心に固視点を有する。

部は顎台に固定したが更に頭部の動揺を防ぐために一部には head band や bite bar による補強も行なった(図1). 眼球運動は眼底の動きとしてビデオに録画し、この毎秒60画面の眼底像を改良型の眼球運動解析装置⁷⁾にて画像処理し眼球運動を水平、垂直、回旋の3成分に分けて解析した。画像処理過程のブロックダイアグラムを図3に示す。まず、3/4inchU マチックビデオに録画された眼底像を一画面ずつの静止画像を得るためにビデオディスクレコーダに転写する。この静止画面より基準となるオリジナル画面を選び専用のフレームメモリに記憶させる。次に、任意の静止画面をディスクレコーダより選びサンプル画面として別の専用フレームメモリに記憶させる。この二画面を画像合成用モニター上に同時に写し出しジョイスティックの操作によりオリジナル画面を水平、垂直方向に平行移動あるいは任意の点を中心とした回転移動をさせてサンプル画面との重ね合わせを行なう。合成画面上ではオリジナル画面とサンプル画面の交互点滅も行なうことが可能で、重ね合わせをさらに確実なものとする事が出来る。重ね合わせが終了するとオリジナル画面の移動量つまり眼底像の移動量は実際の眼球の運動量(中心窩の移動量および回旋量)に換算されて水平、垂直、回旋の三成分別にディスプレイ上に表示される。この値をその時のサンプル画面の時間と共にマイクロコンピュータに入力し一画面の解析を終わる。さらに、新

しいサンプル画面を選び出しサンプル画面用フレームメモリに新たに記憶させて元のオリジナル画面との重ね合わせを行なうという操作を繰り返していく。このようにして必要な分の眼球運動量を得ることが出来る、すべてのデータはマイクロコンピュータのディスク上

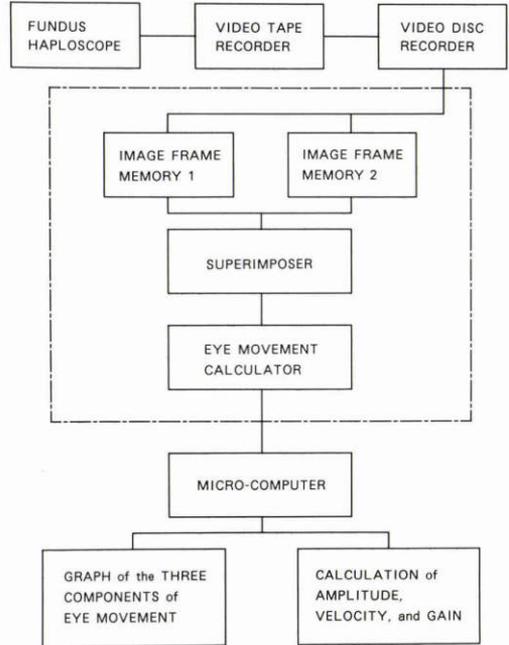


図3 眼球運動解析装置のブロックダイアグラム

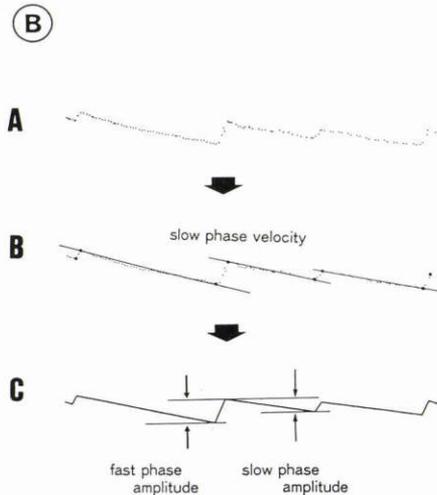
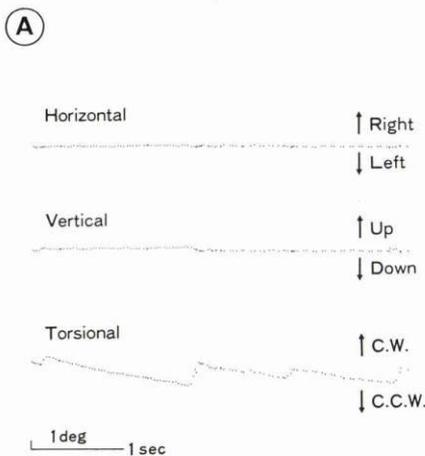


図4 左：誘発された視運動性回旋性眼振，H (horizontal), V (vertical), T (torsional; cyclorotational) はそれぞれ水平、垂直、回旋成分を示す。方向は上向きが、それぞれ右、上、時計まわりである。ほとんど回旋成分のみの眼振である事が分かる。
 右：緩徐相速度および振幅の求め方。波形は左図の回旋成分である。

に記録される。これらのデータより眼球運動の三成分別にそれぞれの波形をディスプレイ上あるいはプロッタ上に再現したり、平均振幅、平均緩徐相速度、利得等を必要に応じてプリントアウトすることが出来る。

III 結 果

全例にすべての視標に対し COKN を認めたが一例を図 4 左に示す。視標 B を用いた時の眼球運動である。上段、中段、下段はそれぞれ水平、垂直、回旋の眼球運動成分であり、向きはそれぞれ上方が右、上、時計まわりである。回旋成分をみると jerk type の眼振を認める。つまり、ほぼ等速度の緩徐相により反時計まわりで、2~3°の偏位を起し、時計まわりの急速相にて戻っており、この波形は通常の OKN と同様に等速度緩徐相を持つ眼振である。しかしながら、水平、垂直成分にはほとんどそのような動きはなく 1°以内の動揺を示すのみである。つまり眼球全体としては眼球の前後軸（視軸）を中心としたほぼ純粋な回旋性の眼振を認め、視標の回転方向に緩徐相の方向をもつ視運動性回旋性眼振（COKN）である。

（振幅、緩徐相速度、利得の算出）

平均振幅および平均緩徐相速度の求め方を図 4 右に示す。上段 A は左のグラフの回旋成分である。緩徐相速度がほぼ等速度であるので、中段 B のように緩徐相の始まった直後および次の急速相が始まる直前の画像をビデオ画面をモニターしながら選択し、解析を行ない、グラフ上にプロットしていく。この2点を結ぶ直線の傾きがすなわち緩徐相速度となる。また、下段 C のようにして緩徐相の間に生ずる眼球運動の偏位量を緩徐相振幅、急速相の間の偏位量を急速相振幅とした。回転視標による眼振の誘発中に生じた眼球運動は全てこのような方法により算出し平均した。平均利得は視標の回転速度（今回はすべて6deg/sec）に対する平均緩徐相速度とした。

$$\text{平均利得 (GAIN)} = \frac{\text{平均緩徐相速度 (deg/sec)}}{\text{視標の回転速度 (deg/sec)}}$$

誘発された眼振は図 4 に代表されるようにほとんどが回旋成分を主とした眼球運動であったが中には垂直性あるいは水平性の眼振も混入することもあったので、これらの値は眼球運動の三成分全てについて算出した。

（略式眼球運動波形）

ビデオのモニターにより眼球運動の急速相は容易に確認できるので、その直前、直後を正確に算出し図 4

右の C のようにそれぞれの点を経時的に結んでこれを略式の眼球運動波形とした。以後特別にことわらなければ描出される波形はすべてこのような方法で描かれているものとする。

図 5 上段 A は被験者 3 の縞視標により誘発された視運動性回旋性眼振である。H, V, T はそれぞれ水平、垂直、回旋成分を示す。また方向は図 4 と同じく上向きがそれぞれ右、上、時計まわりである。視標が回転を始めた直後よりの眼球運動であるが水平、垂直成分では回旋成分と同期する小さな眼球運動を認める。しかしながら、この波形の中に認める saccade や drift はすべて 1°以内であり、また方向性も一定しないことより固視微動の範囲であると思われる。またこれは固視点による固視が確実にこなわれていることを示している。これらの水平、垂直の動きに比べ回旋成分においては大きな振幅の眼振を認めている。この眼振は視標の回転が開始した直後より始まり、まず視標の回転

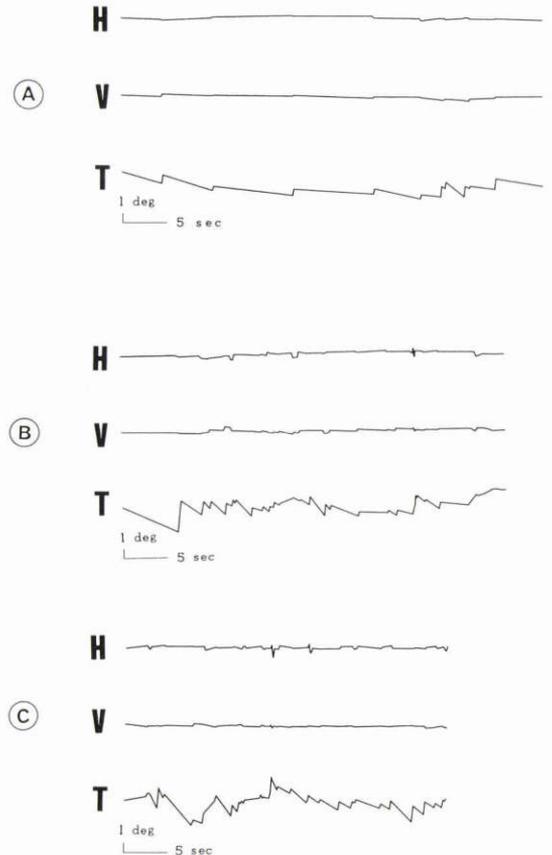


図 5 視標の差による COKN の波形の違い（同一被験者）。A：縞視標，B：車輪視標，C：周辺視標

方向へ向かう眼球運動緩徐相を認める。つづいて、小さな反対方向への saccade(急速相)を行ない、再び反時計方向への緩徐相に移っている。このようにして、間にいくつかの瞬目を認めながらも jerk nystagmus の形を呈している。また、眼振が誘発されている間に急速相によって戻る回旋眼位(ここでは刺激開始前の基準となる眼底像における回旋成分を示す。この値をゼロとして、この基準眼位よりの回旋偏位を回旋眼位とする。)は刺激前の眼位ではなく全体としては反時計まわり側、つまり視標の回転方向側に偏位している。このようにして生じていた回旋偏位は90秒間の回転刺激が終わると同時に、ゆっくりとした drift 様運動にて元の回旋眼位へ戻っている。なお、この間の平均振幅は1.07°, 利得は0.06である。図5中段Bは同一の被験者における車輪視標Bにより誘発された視運動性回施性眼振である。水平、垂直成分において認める運動は全て1°以内であり縞視標の時とほとんど変わらない。しかしながら、回旋成分においては眼振の緩徐相速度は縞視標の時よりもやや大きく、利得も大きい(平均振幅0.90°, 利得0.11)。眼振の周期も縞視標の時と比べ比較的一定しており規則正しい律動的な波形をなしていることがわかる。図5下段Cはやはり同一の被験者で周辺視標Cで刺激を行なった時の眼球運動である。この場合でもやはりCOKNは誘発されており、しかも振幅、緩徐相速度はほぼ視標Bの時と変わらない。かえって眼振の周期は規則正しく保たれており、この結果利得も向上している(平均振幅0.88°, 利得0.19)。

図6は被験者1に対して視標B(車輪視標)による眼振の誘発を行なった時の眼球運動で、左右眼の動きをそれぞれ水平、垂直、回旋で時間軸をそろえて描い

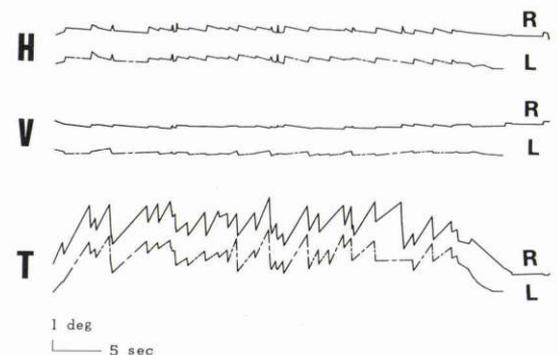


図6 左右眼の動きの比較(車輪視標)。各眼球運動成分とも非常によく同期している。

ている。各成分とも非常によく同期していることがわかる。

各被験者における平均緩徐相振幅を図7上段aに示す。平均振幅は0.4~1.7degと個人差が大きいことがわかる。また視標Bの車輪視標の時のほうが視標Aの縞視標の時よりも振幅が大きい傾向を認める。各被験者とも最大振幅は3~5°に及んだが、全例を通じての最大振幅は8°もの純回旋を認めた。各被験者における平均利得を図7下段bに示す。利得も個人差が大きく0.06~0.29という値を示した。しかしながら、全例車輪視標Bの時の方が縞視標Aの時より利得が大きいという結果を得た(6名中4名は1%危険率、1名は5%危険率で統計学的な有意差あり)。

次に、眼振緩徐相速度の経時的变化を視標別に示したのが図8である。各グラフの横軸は時間軸で、ゼロの点(グラフ左端)は視標が回転を始めた時間である。縦軸は眼振の緩徐相速度を示しており、グラフ中の丸点は個々の波形より算出された緩徐相速度をその時間ごとにプロットしたものである。上のグラフaは被験者5に対して、視標A(縞視標)を用いてCOKNを誘

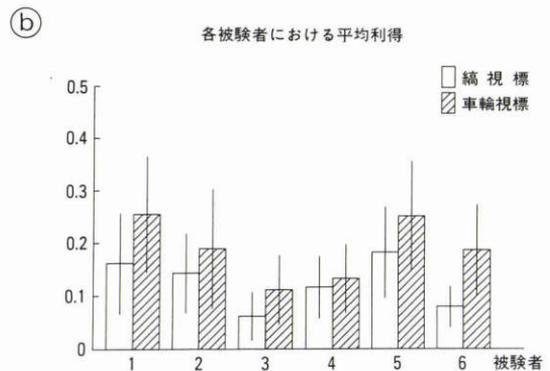
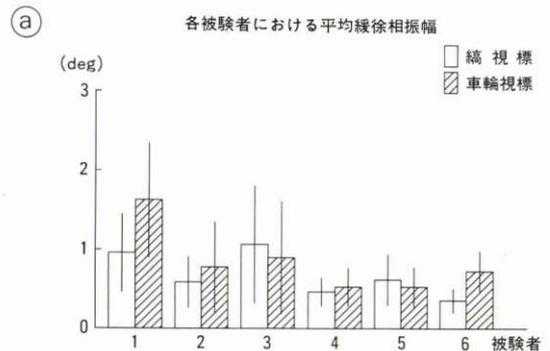


図7 各被験者における平均緩徐相振幅(a)および平均利得(b)

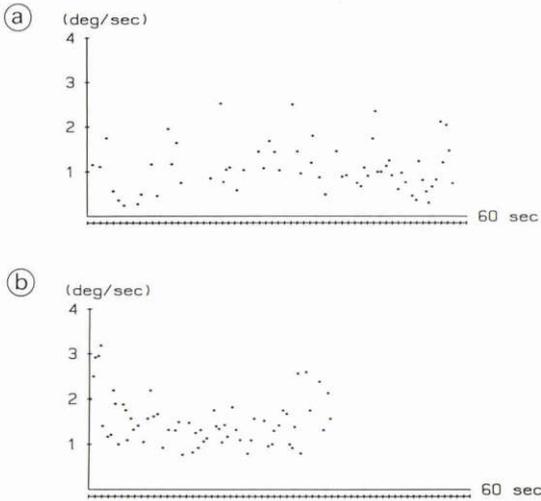


図8 視標の差による眼振緩徐相速度の変化(同一被験者)。a: 縞視標, b: 車輪視標

発した時のもので、視標の回転開始時より緩徐相速度は1deg/sec くらいの値を示し、その後全体的にはやや増加傾向を示しているが、周期的に0.4deg/sec くらいのレベルまで落ち込み、再び2deg/sec 以上の値を示すというパターンを繰り返している。下のグラフ b は同一の被験者に対して視標に視標 B (車輪視標) を用いた時のものである。縞視標 A の時と比べ視標の回転開始時の速度は非常に大きく3deg/sec 以上となっている。その後やや減少し回転開始5秒後くらいには速度はほぼ定常化してきており縞視標の時のように周期的な速度の変化は認めない。つまり、車輪視標の方が比較的安定した緩徐相速度を認めている。

IV 考 索

我々の日常生活においては動いている物でも、静止している物でも自然に注視することが出来る。当然、この際には眼球が注視物に向かって動いているわけであるが、眼球のみの動きではなく頭部の運動を伴っている。これら一連の複雑な反射運動の基礎となっているのが前庭性 (vestibular response)、視性 (optokinetic response)、頸性 (cervico-ocular reflex) 等の反射⁹⁾⁸⁾であり、これらの反射により自然な代償性眼球運動が行なわれるようになり、眼底に投影される網膜像は安定化されている。一般には頸性反射が代償性眼球運動に寄与する割合はあまり大きくなく、特に日常生活で行なわれる生理的な頭部運動の範囲である高周波域においては、利得が非常に小さいと言われてい

る^{9)~10)}。したがって、頭部運動を行なっている時の注視には、主に vestibular input および visual input が大きく作用し代償性眼球運動が行なわれていると考えられている。眼球運動に対するこの二系統の入力系についての研究は広く行なわれており、その微妙な相互作用については詳しい説明がなされてきている。しかしながら、この際に論じられている眼球運動は水平性あるいは垂直性の運動のみであった。

一方、眼球運動の基本的な法則として Listing の法則が古くから知られており、球体である眼球の運動性について「第一眼位からの眼球の偏位は二方向の自由度のみを持って決定される」とされている¹¹⁾。したがって、この法則からすると第三眼位における眼球の前後軸を中心とした回旋運動量はその時の眼球の位置により一元的に決まることとなり、この時の眼球子午線と外界の垂直とがなす角度が false torsion²⁾¹¹⁾と呼ばれるものである。しかしながら、実際にはこの false torsion とは別に true torsion とも言うべき回旋性の眼球運動が存在することはよく知られている。体位変換時の cyclovergence やあるいは両眼視にかかわる輻湊時に認められる cyclovergence などがそれであり、これらは Listing の法則に従う眼球運動に上乘せされていると考えられている¹¹⁾。このように、眼球は回転中心を持った球体と同じように三方向の自由度を持っているが、Listing 平面に垂直な軸を中心とした運動つまり眼球回旋運動については量的にあまり大きくないこともあり、測定も困難でその役割については不明な点も多いのが現状である。比較的よく知られている回旋運動としては体位変換時に認める cyclovergence であり、一般には眼球反対回旋として広く知られている²⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。この反射性眼球運動には頭部への傾斜による自覚的垂直位の変化が誘因となって、耳石よりの入力を受けると言われている静的反対回旋 (static counterrolling: SCR) と、ある程度速度をもった頭部傾斜により半規管が刺激され、頭部の加速度と反対方向への眼球運動を生ずる動的反対回旋 (dynamic counterrolling: DCR) とがある¹⁴⁾¹⁵⁾。測定も昔から多く行なわれており、SCR については頭部傾斜量の約10%の代償があると言われていた^{15)~18)}。DCR については報告によりいろいろであるが、どの報告においてもすべて量的には SCR より大きいと言われていた¹⁵⁾¹⁶⁾。Collewijn¹⁶⁾は electromagnetic scleral coil を用いて眼球運動を測定しており、DCR について、生理的な頭部傾斜周期の範囲ではかなりの利得がある (正

弦波様の頭部傾斜運動に対する眼球反対回旋の利得が40から70%以上認めたとしている。)という結果を出しており、また、この高い利得には視覚による影響が非常に大きく作用していると報告している。この様に、水平、垂直性の眼球運動と同じように、回旋性の眼球運動においてもVORによる代償性眼球運動が存在することは明らかであり、また、視覚による影響が大きいという結果から、視運動系も代償性眼球運動に大きく作用し、いわゆるVisual-Vestibular Interaction¹⁹⁾²⁰⁾が行なわれて、これにより網膜像の安定化が行なわれている事が予想される。しかしながら、回旋運動におけるOKNであるCOKNについては、あまり知られておらず、ごくわずかな報告があるのみである。

今回の実験では6人の被験者すべてに対して、視覚刺激により視軸を中心としたほぼ純粋な回旋眼振を得る事が出来、また、波形についても水平、垂直のOKNと同様にjerk nystagmusの形となっている事がわかった。Crone²¹⁾はCOKN(彼はoptokinetic cycloverisionとしている)の測定を写真撮影法にて試みている。彼の実験では4人の被験者に対して、時計回りの視標回転刺激の後の眼位(結膜血管より求めた回旋眼位)と反時計回りの刺激の後の眼位をくらべ 0° から最大 6° のcycloverisionを認めたとしている。また、Kertesz²²⁾も同様な方法で、約 2° の回旋偏位を認めるが眼振波形にはならなかったとしている。これらの実験はいずれも測定の技法上、眼球運動を動的に捉えるにはあまりにもsampling rateが低いために、COKNの波形を断片的に計測した事になっており、Crone自身も述べる様にこの事により眼振の形を得る事が出来なかったと思われる。Collewijn¹⁶⁾の実験ではelectromagnetic scleral coilを用いてCOKNの測定を行なっている。視標にはrandom dot patternを用いて種々の回転速度で誘発を行なっており、2名の被験者ともにCOKNを認めたとしている。しかしながら、その利得については約0.03と非常に小さな値であった。波形については、視標の回転方向への緩徐相と反対方向への急速相よりなるjerk typeの眼振と呈しており、Fundus Haploscopeを用いた今回の測定結果と同様な波形であった。また、波形の基線が視標の回旋方向へしだいに偏位していくという特徴も一致した。この特徴は水平のOKNでも認められており、刺激視標を意識的に見た時に特徴的²⁾と言われている。

Collewijn¹⁶⁾はCOKNについて、利得が非常に小さ

いのであまり注目していないが、これは被験者が2名に過ぎない事と、測定にコンタクトレンズを用いているので眼球とのずれが生じていた可能性も考えられ、もう少し詳しい解析が必要と思われる。今回の実験では0.06から0.29の利得を得る事が出来た。しかしながら、個人差も非常に大きい事が分かったが、これはvon Noorden¹¹⁾がcycloverisionの特徴として個人差が非常に大きいと述べているように、回旋性眼球運動のひとつの特徴と思われる。また、OKNの一般の特徴である[被験者の意志により誘発される運動量が変化する]という特徴²⁾を反映しているとも考えられる。水平性のOKNにおいては視標が低速域の場合には、ほぼ100%の利得を示すが、今回の実験では100%には程遠い値を示しており、また、同じ装置を用いて視標の回転速度を変えて利得を測定した実験でも²³⁾あまり利得に変化は認めなかった。この理由のひとつには、Robinson²⁴⁾の言うoptokinetic systemの関与が考えられる。つまり、OKNには中心窩視を必要とするdirect visual-oculomotor pathwaysと、網膜の周辺刺激より生ずるindirect visual-oculomotor pathwaysがある事²⁵⁾²⁶⁾が知られており、前者はsmooth pursuit systemが関与し、眼球が迅速に視標の速度に追い付くために作用している時定数の小さい運動系である。後者は、時定数が大きく、緩徐な速度増加を示す系であり、中心窩視を必要としない運動である。今回の実験では視標の固視点は全く動いておらずまた、実際に眼球の中心窩もほとんど動いてはいなかった事より、smooth pursuit systemは、ほとんど関与していない事が予想される。また、周辺のみ回転視標でもほぼ同様な利得を持ったCOKNを得る事が出来たことは、やはりCOKNの誘発には網膜の周辺刺激が関与しており、つまり、Robinson²⁴⁾の言うoptokinetic systemに類似した系が主要な運動系を成しているものと予想される。しかしながら、今回の実験条件では、図8のごとくCOKNの速度変化は比較的速く、数秒で定常速度に飽和しており、また、最終速度は視標の速度に比べ低速度で、利得は非常に低かった。これに対して、Robinsonのoptokinetic systemのモデルでは水平のOKNが対象であるが、時定数は比較的長く(約3秒)また、最終的にはかなりの高利得に達しており、だいぶ異なった特徴を有している様である。この理由には、次の様な事が考えられる。すなわち、水平のOKNの誘発時には、視標の投射影は網膜全域に等速度の刺激を与えているが、COKNでは視軸を中心とし

て回転する視標により投射された網膜像は、視標の回転速度が一定であっても、周辺網膜ほど投射影の速度が速くなっており、網膜上での速度情報が水平性OKNと全く異なっている事が分かる。少なくとも、視運動性眼振の緩徐相形成のための第一段階は投射像の速度の情報であるから²⁾、この速度刺激の網膜上での分布形態の相違が緩徐相速度の違いとなる事が予想される。

今回の実験では大きさは同じでも形態の異なる視標A, Bにより若干異なった運動パターンを示した(図5, 8)。車輪の視標では、ほぼ一定した緩徐相速度を得ているが、これは視標が方向性を持たない為、常に同程度の刺激が網膜上に与えられている事に起因すると思われる。一方、縞視標では方向性を持っているために、網膜上に与えられる刺激は一定とはなっていない。実際に、緩徐相速度は視標が水平、垂直となる時には比較的増加し、その間の斜方向では低下しており、約15秒の周期的な変化を示している。これにより、全体として利得も低下している様である。これは、空間周波数感度が方向により異なり、特に水平、垂直方向よりも斜方向で低下していると言う事実²⁷⁾にも関係している様に思われる。また、周辺のみ視標でも、全視野の視標とほぼ同様な利得のCOKNが得られた事(図5)と、視標の大きさを大きくするとCOKNの利得が向上するという実験結果²³⁾から、Hood²⁸⁾の言うOKNに対する周辺網膜の重要性が再確認出来た。

ネズミ、ウサギ、ネコなどの動物では、視運動系の水平運動の中継核としてNOTが知られており⁵⁾²⁹⁾、さらに前庭核への投射を示唆する報告⁵⁾²⁵⁾も多い。今回の実験では回旋運動においても、視運動性の眼球運動を認める事が明らかとなった。この視覚により誘発された回旋性眼球運動は、水平、垂直のOKNと類似した特徴を多く持っており、回旋の前庭性眼球運動である反対回旋と相互作用を行い、水平、垂直運動と同様に代償性眼球運動において重要な役割を果していると思われる。

文 献

- 1) Duke-Elder SW: System of Ophthalmology. Vol 6, London, Henry Kimpton, 808—812, 1973.
- 2) Carpenter RHS: Movements of the eyes. London, Pion Ltd, 9—35, 1977.
- 3) Raphan TH, Matsuo V, Cohen B: Velocity storage in the vestibulo-ocular reflex arc. Exp Brain Res 35: 229—248, 1979.
- 4) Buettner UW, Dichgans J: The vestibulo-

- ocular reflex and related functions, Lessell S, Dalen JTW, Neuro-ophthalmology, Vol 3, Amsterdam, Elsevier, 205—229, 1984.
- 5) 小松崎篤: 眼球運動の神経学, I. 眼球運動の生理学, 東京, 医学書院, 1—147, 1985.
- 6) Inatomi A, Takahasi F, Kani K: Fungus haploscope and measurement of cyclodeviation, Reinecke RD: Strabismus II. New York, Grune & Stratton 733—738, 1984.
- 7) 佐藤友哉, 小島ともゑ, 可児一孝: Fundus Haploscope と新しい眼球運動記録解析装置による潜伏眼振の解析. 臨眼 40(7): 768—769, 1986.
- 8) Burde RM: Control of eye movements, Moses RA: Adler's Physiology of the Eye. St Louis, Mosby, 122—165, 1981.
- 9) Fuller JH: The dynamic neck-eye reflex in mammals. Exp Brain Res 41: 29—35, 1980.
- 10) Berthoz A: Adaptive mechanisms in eye-head coordination, Berthoz A, Melvill Jones G: Adaptive Mechanisms in Gaze Control. Netherlands, Elsevier, 177—201, 1985.
- 11) Von Noorden GK: Binocular vision and ocular motility. St Louis, Mosby, 54—84, 1985.
- 12) Miller EF: Counterrolling of the human eyes by head tilt with respect to gravity. Acta Otolaryngol 54: 479—501, 1962.
- 13) Diamond SG, Markham CH, Simpson NE, et al: Binocular counterrolling in humans during dynamic rotation. Acta Otolaryngol 87: 490—498, 1979.
- 14) 森 礼子: 頭部傾斜による両眼の反対回旋に関する研究. 第1報. 正常者における両眼の動的反対回旋の協調性について. 日眼 77: 753—760, 1973.
- 15) Young LR: Adaptation to modified otolith input, Berthoz A, Melvill Jones G: Adaptive Mechanisms in Gaze Control. Netherlands, Elsevier, 155—162, 1985.
- 16) Collewijn H, van der Steen J, Ferman L, et al: Human ocular counterroll: Assessment of static and dynamic properties from electromagnetic scleral coil recordings. Exp Brain Res 59: 185—196, 1985.
- 17) 寺尾直道, 稲富昭太, 岡本清子: 眼底視標による眼のまわしの測定. 眼科 19: 575—579, 1977.
- 18) 高橋清子, 寺尾直道, 高橋総子他: 回旋(まわし)運動における視覚の影響について. 眼紀 31: 1489—1492, 1980.
- 19) Bohmer A, Pfaltz CR: On the interaction of vestibular and optokinetic nystagmus in man. ORL 41: 121—134, 1979.
- 20) Waespe W, Cohen B, Raphan T: Role of the floculus and parafoveolus in optokinetic

- nystagmus and visual-vestibular interactions: Effects of lesions. *Exp Brain Res* 50: 9—33, 1983.
- 21) **Crone RA**: Optically induced eye torsion. II. Optostatic and optokinetic cycloverision. *Albrecht v. Graefes Arch klin exp Ophthal* 196: 1—7, 1975
- 22) **Kertesz AE**: The effect of angular velocity of stimulus on human torsional eye movements. *Vision Res* 9: 995—998, 1969
- 23) **Sato T, Inatomi A**: Measurement of cyclorotatory optokinetic nystagmus using the fundus haploscope. *Neuro-ophthalmol Jpn* 3(4): 482—487, 1986
- 24) **Robinson DA**: Visual-vestibular interaction. IX. Models. *Neurosciences Res Prog Bull* 18(4): 575—617, 1980.
- 25) **Collewn H**: Integration of adaptive changes of the optokinetic reflex, pursuit and the vestibulo-ocular reflex, Berthoz A, Melvill Jones G: Adaptive mechanisms in gaze control. Netherlands, Elsevier, 51—69, 1985
- 26) **Waespe W, Henn V**: Cooperative functions of vestibular nuclei neurons and floccular Purkinje cells in the control of nystagmus slow phase velocity: Single cell recordings and lesion studies in the monkey. Berthoz A, Melvill Jones G: Adaptive mechanisms in gaze control. Netherlands, Elsevier, 233—250, 1985.
- 27) **Campbell FW, Kulikowski JJ**: The effect of orientation on the visual resolution of gratings. *J Physiol* 187: 427—436, 1966.
- 28) **Hood JD**: Observations upon the role of the peripheral retina in the execution of eye movements. *ORL* 37: 65—73, 1975.
- 29) **Cyader M**: Effects of visual deprivation on properties and modifiability of compensatory eye movement systems, Berthoz A, Melvill Jones G: Adaptive Mechanisms in Gaze Control. Netherlands, Elsevier, 95—109, 1985.
-