視運動性平衡反射に対する前庭迷路系の modulation

— 視運動眼振発現に対する回転性前庭刺激の影響 —

玉 田 彰

Modulation of the Optokinetic Equilibrium Reflex
by Vestibular Labyrinthine Reflex

Akira Tamada

(Kyoto University)

The mutual interrelationships between the visual-ocular reflex (ViOR) and the vestibulo-ocular reflex (VeOR) are not completely understood yet. Optokinetic nystagmus (OKN) during ViOR was produced by rotating light stripes (Jung type). The whole visual field OKN, peripheral OKN, foveal OKN and hemianopsic OKN were produced with a Miyoshi-Shirato device.

Rotating nystagmus (RN) during VeOR was induced by a rotating chair.

OKN and RN were applied simultaneously to the same subject in the same direction and then in the opposite direction and vice versa.

- 1) The combined velocity of OKN and RN in the whole visual field was always constant, regardless of the phase of rotation.
- 2) When the peripheral OKN and RN were combined in the same direction, the velocity of the peripheral OKN was increased about 10-20%, compared to that in peripheral OKN only.

In contrast, when the peripheral OKN and RN were combined in the opposite direction, the velocity of the peripheral OKN was decreased about 10-20%.

- 3) In most of the subjects it was difficult to produce foveal OKN, and when RN was added to this OKN, the foveal OKN was not changed at all or suppressed in all four phases of rotation.
- 4) When the hemianopsic OKN and RN were combined in the same direction, the velocity of the former was increased and when they were in the opposite direction, the velocity of the former was decreased, regardless of whether hemianopsic OKN was temporal or nasal, foveopetal or foveofugal.

諸 言

人や動物の平衡機能の維持に、視器、迷路、深部並びに表在受容器の密接な相互の協力が必要であることについては多くの支持がある。とくに視器、迷路の平衡機能上の関連に関して、福田、桧、時田¹⁾らはウサギの眼振を観察して次の成績を得ている。すなわち域値下回転刺激とよばれる

微弱な角加速度刺激 ($1.0^\circ/\text{sec}^2$) でも、視運動眼振の発現を促進し、視器の外界の変化に対する適応能力を著しく向上することを明らかにした。この成績は、視器と迷路の平衡機能の関連を眼振を指標として明らかにした点で貴重である。それとともに、上記の成績は中心窩をもたず、周辺視野視のみで外界の運動に対応するウサギの場合には、視器、迷路の平衡機能上の関連は、迷路（三半規管）と網膜（周辺視野）の組合わせで成立することを意味し、系統発生的にみて、この組合わせが視器—迷路協応の原型となることが示唆され、注目される。

さて人の場合はウサギの場合と異なり、中心窩が発育し、中心窩視が人の平衡維持で重要な意味をもつこととなる。従って、視器—迷路の平衡機能上の関連を眼振を指標として採る場合にもウサギの場合とは異なった成績が得られる可能性がある。北原、佐藤²⁾によると、正常成人では、微弱な角加速度 ($1.0^\circ/\text{sec}^2$) を視運動刺激と組合わせる条件で実験を行うと、次の成績が得られるという。すなわち右又は左へのスクリーン上に投影された縦の光の線条の右又は左への移動の速度が遅い場合 ($12^\circ/\text{sec}$) には、上記の角加速度刺激を加えても既存の視運動眼振には有為の変化はおこらない。またこの際、この視運動刺激に対して回転刺激が加わらなくても、被検者は一本、一本の線条を明視しようと述べている。これに対し、 $120^\circ/\text{sec}$ の様な高速の線条刺激が加わる際には、被検者はこの線条の動きを明視し得ず、視運動眼振の出現も活発ではない。この際 $1.0^\circ/\text{sec}^2$ の角加速度刺激が適時に加えられると、主観的に線条の移動の明視化がおこり、客観的には視運動眼振の促進化が現われる。このことより視器のみでは適応が困難な条件下では、迷路は視器の平衡機能を促進、援助して、視器の外界への適応能力を増大する役割を果たすと考えてよい。

以上2つの実験より、中心窩の発達により視器、迷路の平衡機能上の関連にはある一定度の改変を見るが、視器のみでは適応困難な外界の変化に対して、前庭迷路は視器の平衡機能を促進するよう作用するという点では共通している。但し、人の場合もウサギの場合と同じく、両者の機能上の関連が、半規管—周辺視野の組合わせで起こるのか、それとも半規管—中心窩のそれで起こるのか、その点に関してなお検討の余地が多い。この研究はその解明を目的の1つとしている。

さて、三好ら³⁾によると、人の周辺視野は視運動刺激の方向に特異的に反応して視運動眼振の成立に関与するという。すなわち彼等は彼等の考案した視野分離装置や鼻側、耳側半盲フィルムを組合わせて、中心窩を欠く人工的半盲を作製して実験し、次の結果を得ている。その成績を要約すると、**foveopetal** に視運動刺激が加わる際には視運動眼振は明瞭に出現する、これに比べ、**foveofugal** の視運動刺激に対しては眼振の発現は十分でない。

それでは人の場合、前庭迷路の視器への協応が起こる場合、**foveopetal** な視運動刺激と迷路刺激が組合わされる場合にそれが成立しやすいのか、それとも、**foveofugal** な視運動刺激に迷路刺激が組合わされてもそれが成立しうるのか、この問題の解明はまだ十分になされていない。

すでに福田⁴⁾ は、中心窩をもつニワトリを用いた実験で、視器のもつ視運動刺激に対する **unidirectional** は反応は、前庭迷路のもつ回転刺激に対する **unidirectional** な反応により相補され、動物の外界への適応能力が向上する事実を見出している。但しウサギを対象とした同じ様な実験ではこの様な相補は十分でない（小池、1971⁵⁾）。

一般的に言って、人が自動的に、または他動的に運動する場合、自己の動的平衡を円滑に保つためには、自己の運動とその運動によって生じた外界の假性運動との相対的位置のズレを的確に補正する必要がある。そして、このための有力な、最初の働き手は各種平衡器官の中でも視器であろう。そして視器のみでは上記のズレの補正を十分に行えない場合には、個体は他の平衡器を動員して視器を援助しその目的を達しようと努力するはずである。この際各平衡器の中でも前庭迷路は動

員されるにふさわしい平衡器と考えられる。

以上の様な事情をふまえて、私は以下述べる様な実験を試みた。すなわち与えられる右及び左への視運動刺激は一定速度とし、それを受ける視器（網膜）の側に人工的に種々の制約（周辺視野視、中心窩視、鼻側並びに耳側半盲視野視など）を与えた。そしてそれぞれの条件下での視器の外界への変化への対応状態を視運動眼振で観察し、それが同時に加えられる前庭迷路への回転刺激（加速、等速、減速）でどのように変貌するかを究明した。以下、それぞれの成績について申し述べ、人の回転運動中の視器と迷路の平衡機能上の関連についての私見を加えてみたい。

対 象

神経学的に異常所見を認めない正常成人10名（男：女＝9：1）を対象とした。年齢の分布は25才から34才までである。眼鏡をかけている

ものはそれを取りはずして裸眼で眼振記録が行われている。

実 験 方 法

①刺激方法

Nagashima 製の総合眼球運動検査装置（NK-I）を用いた。この装置には回転イス上に Jung 型の視運動刺激装置を設置してある。従って、三半規管への刺激と視運動刺激をそれぞれ単独に、又は両者を組み合わせて刺激を加えることが可能である。またこの視運動刺激装置の投影器の下部には三好式視野分離装置（図1）を装着してある。この装置を用いて中心窩 OKN と周辺視野型 OKN を両眼誘導した。さらに片眼を遮蔽し、開眼側の眼に耳側半盲と鼻側半盲を人工的につくり、この条件下に foveopetal 及び foveofugal は視運動刺激を加え、その際その眼から視運動眼振を誘導した。なお記録は DC 記録である。

三半規管への角加速度刺激は次のように行った。すなわち、検者の頭部を前屈 30° の位置におき、 $0.5^\circ/\text{sec}^2$ で 60 秒間持続して刺激を加え、最高速度 $30^\circ/\text{sec}$ に到らしめる。その後イスの回転を 60 秒間 $30^\circ/\text{sec}$ の一定速とする。次いで $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の割合で減速を 60 秒間行い、イスを停止する。以下私達が行った実験条件をのべる。

② a：予備実験

実験 1（回転眼振 Rotatory nystagmus-RN）

被検者を暗室で開眼の状態におき、回転イス上に 30° 頭位を前屈させて坐らせる。この条件下に上述した角加速度刺激を加える。すなわち $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の加速、減速刺激を各々 60 秒間行い、両者の間に 60 秒間の $30^\circ/\text{sec}$ の定速刺激を挿入する回転方法を行う。

実験 2（視運動性眼振 Optokinetic nystagmus-OKN）被検者の頭部をイス上に設けた顎台に固定し、60cm 前方のスクリーン上を $30^\circ/\text{sec}$ の定速で回転する 30° 間隔の線条を 60 秒間追跡させる。左及び右へ移動する線条刺激で誘発される視運動性眼振をそれぞれ観察する。

b：実験

実験 I；全視野視運動性刺激と回転イス刺激を組み合わせる実験

$30^\circ/\text{sec}$ の定速の線条をスクリーン上に投影し、被検者にそれを 60 秒間追跡させる。

次いでこの視運動刺激を加えたままイスを $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の割合いで 60 秒間加速回転し、迷路刺激を加える。ひきつづいて $30^\circ/\text{sec}$ の定速で 60 秒間回転イス刺激を加える。その後、 $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の割合でイスを減速回転（60 秒間）する。イスの回転停止後さらに 60 秒間線条を追跡させた。全検査時間は 5 分である。なおこの際視運動刺激の方向と回転イスの回転方向は以下のべ

る4種ある．なおこの実験での眼振の誘導は両眼誘導である．

組み合わせ	視運動刺激	回転刺激
1	右	右
2	右	左
3	左	左
4	左	右

実験Ⅱ；周辺視野視運動刺激と回転イス刺激を組み合わせる実験

視野径 20° の中心暗点を前方のスクリーン上に投影する．この条件下に視運動眼振を誘発し，これに実験Ⅰと同様の回転イス刺激を加える．この実験でも上述した4種の組み合わせで眼振が観察されている．

実験Ⅲ；中心窩視運動刺激と回転イス刺激を組み合わせる実験

視野径 20° の視野狭窄を前方のスクリーン上に投影する．この条件下に視運動眼振を誘発し，これに実験Ⅰと同様の回転イス刺激を加えた．また視運動刺激と回転イス刺激の組み合わせは実験上で述べた組み合わせに準じた．

実験Ⅳ；人工的半盲での視運動刺激と回転イス刺激を組み合わせる実験

白戸⁶⁾の方法に準拠して人工的半盲を作った．すなわち，中心窩を視野径 20° で遮蔽できるように工夫された耳側半盲フィルムを用いて人工的耳側半盲を作った．この条件下に視運動刺激を加えた．なおこの実験では左眼は遮蔽し，半盲を作製した右眼で眼振が記録されている．なおこの実験でも同様の回転イス刺激を上記の条件の視運動刺激と組み合わせている．

実験Ⅴ；鼻側半盲用のフィルムを用いて鼻側半盲を人工的に作製する．この条件下に視運動性刺激を加えた．またこの実験では実験Ⅳで述べたと同じ回転イス刺激が加えられ，眼振は右眼のみで記録されている．

実験結果

A：予備実験の成績

実験Ⅰの成績；回転眼振：RN

$0.5^\circ/\text{sec}^2$ の割合いで加速的にまた減速的にイスを用いて迷路刺激を加えると大多数の被検者（10名中7名）では回転眼振は誘発されなかった．誘発されたものについて調査すると，回転イスの右回転では急速相が加速時右向き、減速時左向きの眼振が現われた．左回転では逆の結果が得られた．しかしこれらの眼振はその振幅が小で，打数も少なく，実験Ⅰ及びⅡ，Ⅲ，Ⅳの成績を決定的に左右するものではなかった．

実験2の成績；視運動性眼振：OKN

大部分の被検者は右方向への視運動刺激では左方向に急速相をもつ左OKNを，左方向へのそれでは右方向に急速相をもつ右OKNを良好に誘発した．

B：実験成績

1) スクリーン上の線条の移動方向とイスの回転方向が逆方向の場合

(i) 回転イスが加速的に回転されている相での成績

全視野に視運動刺激が加わっている条件下では，イスが回され上記の加速度刺激が加わっても既存の視運動性眼振の発現には有為の影響があらわれ難い．例えば図2であげた代表例では誘発される眼振の緩徐相速度は何れの条件下でも平均 $30^\circ/\text{sec}$ で両者に有為の差をみない（図2—a参照）．これに対し，周辺視野刺激で解発されるOKNの緩徐相速度は約 $25^\circ/\text{sec}$ であり，全視野で誘発されるOKNのそれより遅い．この条件下で上記の $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の加速度刺激が加わる場合は眼振の発現は促進的影響をうける．すなわちその緩徐相速度は約 $28^\circ/\text{sec}$ となる（図4）．この例の中心窩OKNを検すると，眼振とみなされるものは明瞭でない．この例で

上記の加速度刺激を加えても有為の影響は現われない (図5-a). 人工的耳側半盲, 鼻側半盲の条件下では, ここにあげた代表例では視運動性眼振の緩徐相速度はそれぞれ平均 $20^{\circ}/\text{sec}$, $20^{\circ}/\text{sec}$ である. この両者に上記の角加速度刺激を加えると, 眼振の発現は明らかに促進的影響をうける. すなわちそれぞれその緩徐相速度は増大し, $22-24^{\circ}/\text{sec}$, $24-26^{\circ}/\text{sec}$ となる (図6, 図9).

(ii) 回転イスが等速に回転されている相での成績

全視野に視運動刺激が加わっている条件下では, 上記のイス回転が新たに加わっても既存の視運動性眼振の発現には有為の影響をうけない. すなわち眼振の緩徐相速度はそれぞれ $30^{\circ}/\text{sec}$ である (図2-a). 周辺視野刺激で誘発されている視運動性眼振はイスが定速回転に移行して一定の時間 (10~20秒) たつと視運動刺激のみで誘発されていた際の眼振の発現に相似した眼振を示し, その緩徐相速度は約 $25^{\circ}/\text{sec}$ である (図4). 中心窩OKNでは上述したように発現が極めて悪い. 等速回転イス刺激が加えられる条件下にもこの事情は変化しない (図5-a). 耳側半盲, 鼻側半盲の条件下に視運動眼振が誘発されている場合, これにイスの等速刺激が加えられると, ある一定時間 (10~20秒) は加速時の眼振発現状況が続くが, それ以後は加速前の状態のOKNに復起する (図6, 図9).

(ii) 回転イスが減速的に回転されている相での成績

全視野に視運動刺激が加わっている条件下では, イスが $0.5^{\circ}/\text{sec}^2$ の割合で減速回転される場合に既存の眼振には有為の影響が現われない. すなわちその緩徐相速度は約 $30^{\circ}/\text{sec}$ である (図2-a). これに対し周辺視野OKNが誘発されている場合, 上記のイス回転刺激が加えられると眼振は明らかに抑制される. すなわちその緩徐相速度は約10%減少する (図4). 中心窩OKNの発現はこの例では極めて不活発

である. この条件下に回転イスで減速回転が加えられても眼振発現に関して有為の変動はない (図5-a). 耳側半盲, 鼻側半盲の条件下の視運動眼振に上記のイスの減速回転が加えられると, 既存の眼振には有為の抑制が現われる. すなわち, その眼振緩徐相速度は $15-18^{\circ}/\text{sec}$ となり, 平均約10~20%の減少を示す (図6, 図9).

2) スクリーン上の線条の移動方向とイスの回転方向が同方向の場合

(i) 回転イスが加速的に回転されている相での成績

全視野に視運動刺激が加わっている条件下ではイスが回され, 上記の角加速度刺激が加わっても既存の視運動眼振の発現には有為の影響が現われない. すなわち, 何れの条件下でも眼振緩徐相速度は $30^{\circ}/\text{sec}$ である (図2-b). これに対し, 周辺視野OKNが発現している場合, 上記の回転イス刺激が加わると既存の眼振は抑制をうける. すなわちその緩徐相速度は約10%の減少をみる (図3). 中心窩OKNはこの被検者ではほとんど出現していない. これに上記の回転イス刺激をあたえても明瞭な変化はみられない (図5-b). 耳側半盲, 鼻側半盲の条件下に出現している視運動眼振の場合でも, 上記のイス回転刺激時, 共に強い抑制作用を示す. すなわち, 回転イス刺激が加わると眼振緩徐相速度は約10%の速度減少がみられるようになる (図7, 図8).

(ii) 回転イスが等速に回転されている相での成績

全視野で視運動刺激が加わっている条件下では, 上記のイス回転が新たに加わっても既存の眼振に有為の影響が現われない. すなわち, その眼振緩徐相速度は $30^{\circ}/\text{sec}$ である (図2-b). 周辺視野OKNが誘発されている場合には, イス回転が等速に移行して一定時間 (約10~20秒) は眼振の抑制をみる. それをすぎると波形は大きくなりイス回転負荷前の状態に回復する (図3). 中心窩OKNはこの例ではほと

んど発現をみていない。等速回転イス刺激が加えられてもこの状況に有為の変化はみられない(図5-b)。耳側半盲、鼻側半盲の条件下の視運動眼振に等速回転刺激が加わると、ある一定時間後眼振の波形は大となり、眼振の出現状況は回転イス刺激前の状態に復起する(図7、図8)。

(ii)回転イスが減速的に回転している相での成績

全視野OKNが発現している際に上記の回転イス刺激が加えられても視運動眼振と比べて有為の変化を示す眼振は出現しない。すなわち眼振緩徐相速度は $30^{\circ}/\text{sec}$ である(図2-b)。これに対し、周辺視野OKNが発現している条件下に上記のイス回転刺激が加わると眼振の振幅は増大し、かつ規則的に発現するようになる。その緩徐相速度は約10~20%の増加がみられる(図3)。中心窩OKNの発現は極めて悪い。この条件下に上記の回転イス刺激が加えられても有為の変化はない(図5-b)。耳側半盲、

鼻側半盲の条件下に出現している視運動眼振に上記の回転イス刺激が加わると、眼振の振幅は大となり、その緩徐相速度は約10%の増加を示している(図7、図8)。

因みに、上記の周辺視野OKNと回転刺激の結果は被検者10名中7名に見られた。残りの3名の成績は上記の成績に必ずしも合致しなかった。例えばイスの回転が加速されても減速されても共に眼振の発現が促進されたり、あるいはその逆に共に抑制をうけたり、上記とは全く反対の結果を示した。また中心窩OKNに対する角加速度刺激の影響について付言すると、上記の代表例ではこのOKNの出現が悪く、この条件下に加速度刺激が加えられても有為の変化はなかった。

しかし中心窩OKNが出現していた場合(10例中4例)では回転イス刺激は加速、等速、減速に関わらず既存の眼振を抑制する傾向を示した。

実験成績の総括

1) 全視野OKNが発現している場合は $0.5^{\circ}/\text{sec}^2$ の加、減速刺激が加わっても前者の眼振はほとんど影響をうけない。

2) 周辺視野OKNが発現している場合は、回転刺激の方向により、また加速、減速の相の違いにより対照する影響をうける。すなわち視運動眼振と回転眼振が同方向に発現するような組み合わせでは、前者の眼振はイスの加速回転では促進され、減速回転では抑制される。加速回転より等速回転に移る場合ある一定時間は加速回転の影響が残存する。

視運動眼振と回転眼振が逆方向に発現するような組み合わせでは、上記の組み合わせと対照的な成績が見られる。

3) 一般的に中心窩OKNはその発現が著しく悪い。これに上記の角加速度刺激が加わってもほとんどが有為の影響をうけないことが少な

くない。しかし回転イス刺激でこの眼振に影響が現われるものもある。この際には加速、等速、減速を問わず、抑制をうける傾向がみられた。

4) 人工的に耳側及び鼻側半盲を作製し、それぞれに foveopetal 及び foveofugal な視運動刺激を加えて眼振を誘発した。この眼振が $0.5^{\circ}/\text{sec}^2$ の角加速度刺激でどのような影響をうけるかを観察した。その結果、視運動刺激の foveopetal 又は foveofugal の方向性と無関係に2)で述べた傾向が見られた。なお人工的半盲条件下では、ある方向の刺激に視運動眼振が誘発されない場合がある。この際に回転刺激を加えても眼振の誘発をみないことが多い。しかし中には回転刺激の負荷で眼振が誘発されるものがある。この時の誘発は上記の原則に従った。

考 按

今回得られた成績を次の2点についてそれぞれ考察を加えてみたい。第1は、視器と迷路の協応を、角加速度負荷時の全視野OKN、周辺視野OKN並びに中心窩OKNの変動を指標として得た成績について考察することである。第2は、人工的半盲における視運動刺激の方向と回転刺激の相関を眼振の変動を指標として得た成績について考察することである。

さて上述したように、個体が自動的に又は他動的に運動する場合、外界はその運動とは逆方向に運動し、假性運動と呼ばれる現象が起こることがよく知られている。人や動物が円滑にその動的平衡機能を保つためには、個体の運動に伴って起こる外界の変化と自己のその対応関係が的確に実現され、網膜上の像のブレを来たさないように補正する機序が働く必要がある。そのような観点から以上の2つの点について考察を加えてみたい。

まず第1の問題について考察したい。

(1)角加速度刺激による全視野OKN、周辺視野OKN、中心窩OKNの変動

1) 全視野視運動刺激と回転イス刺激が組み合わされる場合の成績：私達の正常成人を対象とした成績では、回転イスが $0.5^\circ/\text{sec}^2$ で加速されても、減速されても、またこの間に等速回転運動が挿入されても、既存の視運動眼振(全視野OKN)の発現は有為の影響を蒙らない。すなわち何れの回転刺激の相においてもその眼振緩徐相速度は $30^\circ/\text{sec}$ である。回転刺激(角加速度刺激)が加わっているのに、既存の視運動眼振に有為の変化がみられないことについての解釈は種々あろうが、次のように考えられてもよい。すなわち、この条件下には、視器系に foveo-retinal coordination が十分に成立し、角加速度刺激が加わってもその状態が変化せず、網膜上に像のブレが生じ難い故と考えられる。この際、これまでの電気生理学的研究報告を参照すると次のようにも理解される。すなわち、視運動刺激と前庭迷路刺激による求心性イ

ンパルスが統合される有力な脳分野の1つは前庭神経核であるとの報告(Waespe et al.; 1977)を参照すると、前庭神経核の活動性は上記の視運動刺激により十分に駆動され、前庭迷路よりの求心性刺激の流入が妨げられるか、あるいは mask された状態にある。かくして既存の視運動性眼振の発現には有為の変化が現われない。因みに、視運動眼振の発現に前庭神経核が主要な神経要素になり得るか否かについては、従来賛否両論があった。しかし最近の電気生理学的研究報告をみると、迷路刺激(角加速度刺激)は言うまでもなく、視運動刺激によってもこの神経核の活動が変化することが明らかとなっている(Waespe et al.; 1977, 1979)。

2) 周辺視野視運動刺激と回転イス刺激が組み合わされる場合の成績：従来の報告では人における optic-vestibular coordination の仕組みは、全視野視運動刺激で誘発される視運動眼振が角加速度刺激でどのように変化するかを観察して検討されている。しかし人における視器と迷路の平衡機能上の関連をさらに立入って考察する場合には、周辺視野刺激で誘発される眼振が迷路刺激(角加速度)でどのような変化を遂げるのか、また中心窩視運動刺激で誘発される眼振が迷路刺激でどのように変化するか、それぞれを系統的に観察してみる必要がある。またこれまでの報告(例えば上記の北原らの報告²⁾)では、回転イスが加速回転され、それが既存の視運動眼振にどのような影響を持つかが検討され、イスが減速回転された場合の視運動眼振の変化について問う処が少なかった。今回私達の得た成績よりすると、(A)視運動眼振の出現する方向と回転眼振(迷路眼振)が出現する方向が一致するように組み合わせられる場合、すなわち④スクリーン上の縦の線条の移動する方向(視運動刺激)と $0.5^\circ/\text{sec}^2$ で加速回転されるイスの回転方向が逆方向の場合、⑤スクリーン上の線条の移動する方向と $0.5^\circ/\text{sec}^2$ で減速されるイスの回転方向が同方向の場合には既

存の視運動眼振の出現は促進される。例えば代表例でのべたように、この条件下では周辺視野OKNの眼振緩徐相速度は $25^{\circ}/\text{sec}$ より $28^{\circ}/\text{sec}$ へと増強され、全視野OKNのそれに近づく。

これに対し、(B)視運動眼振の出現する方向と回転眼振の出現する方向が互いに反対方向であるように組み合わせられる場合、すなわち、④スクリーン上の線條の移動方向と $0.5^{\circ}/\text{sec}^2$ で減速されるイス回転方向が反対方向の場合、⑤スクリーン上の線條の移動方向と $0.5^{\circ}/\text{sec}^2$ で加速されるイスの回転方向が同方向の場合、には既存の視運動眼振の発現は抑制される。上記の代表例での成績では緩徐相速度に約10~20%の減少を見ている。

従来多くの報告では(A)―④の条件下に見る視器と迷路の協応の状態が観察の対象とはなっている。従って、視器に対して前庭迷路は常に促進的効果をもつと理解されている。

さて、人の日常生活での運動で組み合わせられる視器と迷路の活動状況も多くの場合この条件下である。しかし、人の回転運動は常に加速回転ではなく、減速回転もある。従って、その際の視器に対して前庭迷路がどのような態度を示すかを検討しておく必要がある。その意味で今回、回転運動中の視運動反射に対する迷路反射の抑制相の存在することを、人の視運動眼振を指標として認め得た事は貴重と考える。

それでは中枢神経系においてはこの際どのような状況がもたらされているのであろうか？人の成績ではないが赤毛ザルなどの高等哺乳動物を用いて行った Waespe⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾らの一連の実験成績は示唆に富む。彼らは視運動刺激が $60^{\circ}/\text{sec}$ 以内の場合にはその刺激に対して前庭神経核は応答し、それ以上の高度の視運動刺激の場合には小脳片葉も加わり、小脳片葉と前庭神経核の相互交渉のもとに視運動刺激に対する応答が行なわれると言う。さらに、彼らは視運動刺激と回転刺激の相互作用には方向特異性があると述べている。すなわち両刺激が同方向に作用する場合（上述の人の実験にあてはめると

(A)の条件)には視運動刺激は迷路刺激で促進される。これに対し、両刺激が互いに反対方向に作用する場合（上述の人の実験では(B)の条件)には視運動眼振は迷路刺激の関与によりその発現が抑制を受けると言う。そして、この両者の刺激が統合される部位の1つに前庭神経核をあげている。また、この神経核では、眼振発現促進時には神経細胞に活動性亢進の像（発火の増大）が現われ、眼振抑制の相ではその神経細胞に活動性抑制の像（発火の減少又は消失）が見られるという。因みに、Waespeらは、眼振発現促進時には純粋な視運動眼振又は回転眼振の何れか優勢な方に一致した発火が前庭神経核に出現するという（Switch theory）。これに対して Robinson¹²⁾は前庭神経核の視運動刺激と回転刺激の統合は正確に加算的（Summation theory）であるという。何れにせよ、両器官よりの求心性インパルスが前庭神経核で統合されることは人においてもあてはまるものであろう。しかし、その統合が前庭神経核でのみ行なわれるのか、それともそれと関連する他の脳分野もそれに関与するかなどについては今後の検討を要する。この問題については後の項でさらにとりあげてみたい。

さて、中心窩を欠くウサギの段階においてもすでに optic-vestibular coordination が成立することを眼振を指標として福田ら¹⁾は明らかにしている。そして、今回の実験で、周辺視野視で誘発される眼振が角加速度刺激で特徴的な影響（促進又は抑制）をうける事実を知った。このことは、人においても回転運動中の視器と前庭迷路の平衡機能上の関連の1つの形式は、周辺視野一半規管の組み合わせであることを示し、貴重である。

3) 中心窩視運動刺激と回転イス刺激が組み合わせられる場合の成績：中心窩の発達により、視器系平衡機能が向上することについては、時田¹³⁾がハトとウサギの視運動眼振を比較して検討している。言うまでもなく、前者は形態的にも明瞭な中心窩を有し、後者ではそれを欠いて

いる。時田はハトで視運動性平衡機能が発達している理由の1つにこの点をあげている。従って、視器と迷路の平衡機能上の関連を人の眼振を指標として論ずる場合にも、中心窩視運動刺激で誘発される眼振に対する角加速度刺激の影響を観察する必要がある。この際、中心窩OKNの定義が問題となろう。今回私達が行った実験条件では視野径20°の視野狭窄をスクリーン上に投影している。従って文字通りの中心窩視ではなく、周辺視野視を含んでいる。眼振がこのような条件下で成立していることを前提として上述の成績が論ぜられている。

今回私達が得た成績を再度要約すると次のようになる。

㊦ 一般的に言って中心窩OKNは周辺視野OKNのように明瞭に発現するものは少なく、眼振の出現が明瞭でない場合には、 $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の角加速度刺激でイスが加速的に又は減速的に回されても、あるいは等速イス回転が行なわれても、有為の変動はない。

㊧ 角加速度刺激が与えられ、中心窩OKNに変化が見られた場合には、回転の何れの相（加速、等速、減速）においても眼振はむしろ抑制をうける傾向を示し、周辺視野OKNでみられる様な方向特異的な変化を示さなかった。

さて仲野¹⁴⁾によると、外傷により中心暗点が形成された患者のOKN緩徐相速度は視運動刺激として用いた線條の運動速度が低速の場合にはそれより速いこと（従って **Hyper active optokinetic nystagmus** の出現）を見出している。彼はこの成績と類似する現象をイヌの網膜中心領を損傷した場合にも一定期間（約1週間）認めたという。これらの成績より、視運動眼振発現における人や動物の中心窩の周辺視野への作用が、対象物の運動が低速の場合は抑制的であると結論している。もし仲野の考えが成立するとすると、中心窩視は角加速度刺激をうけて、過剰に出現する周辺視野OKNに抑制的に作用することになる。ところで、上述した㊧の項目で、私達は角加速度刺激が加えられる場

合、中心窩OKNには抑制傾向がみられることを述べた。この現象は仲野の考えと一定の関係をもつのかも知れない。しかし、回転イスが加速、等速、減速的に回転される場合、等しく眼振に抑制傾向が見られることや、イス回転が加わっても中心窩OKNに有為の変化を見ない場合が少なくないことは、上記の仲野の考えを決定的に支持し得ない。従って以上の成績を統合すると次のようになる。すなわち、回転運動中の人における中心窩と半規管の機能上の関連を全面的に否定する資料を持合わせている訳ではないが、その関連の度は周辺視野と半規管のそれに比べて小であると考えられる。それではこの考えを支持するような報告がこれまでにないか。以下紹介して見たい。

Buettner¹⁵⁾ らは、前庭神経核における **visual suppression** が暗室内で一点光を固視させる場合と、明室で全視野視運動刺激が同方向に与えられる場合とでは著しく異なり、後者において有為にそれが起こることを述べている。そしてこの成績より中心窩よりも周辺視野への刺激がより強力に前庭神経核への影響（この場合は抑制）を与えるものと考えている。また **Waespe**⁸⁾ は視運動後眼振が一点光の注視と全視野視運動刺激でどのような影響を受けるかを観察している。

その結果、前者の場合は一時的に視運動後眼振を抑制するが、後者の場合はそれを完全に抑制することをあげ、周辺視野と前庭神経核のより強力な結びつきを肯定している。これらの報告は、只今私達が述べた考えと矛盾しない。以上述べた成績を要約すると次のようになる。すなわち、人の場合でも、回転運動中の視器と迷路の平衡機能上の関連は、周辺視野-半規管の組み合わせで起こることを本筋としている。この場合中枢神経系での前庭神経核（場合によってはこの神経核と小脳片葉）が重要な役割を果たし、またおそらく、脳幹網様体もこれに関与するものと考えられる。ここに脳幹網様体の関与を考えるのは次の報告に依っている。すなわ

ち、Moruzzi, Magoun ら¹⁷⁾によると、すべての somato-sensory な刺激は脳幹網様体上行性賦活系に影響を与え、この脳の活動のレベルを左右する。そして、その活動レベルにより人や動物の意識のレベルや反射の度合が決定される。また Teng¹⁸⁾ らによると脳幹網様体中 paramedian zone of the pontine reticular formation (PPRF) は視運動眼振速期の形成に重要な関連をもつという。そして沢田¹⁹⁾、桧ら²⁰⁾によると、ウサギでの視運動眼振の発現が活発である際には脳波に明瞭な覚醒反応が出現し、この眼振の出現が不活発の場合には覚醒反応は明瞭でない。

以上の報告を参照すると、視器（周辺視野）と迷路（半規管）の活動性の相互交流の場を前庭神経核と小脳片葉に限らず、脳幹網様体をもこれに加えて考察することは妥当と考える。

先に私達は実験成績を報告するにあたって、回転刺激により周辺視野OKNが促進される場合は線条の運動が明視しやすくなり、上記の眼振が回転刺激で抑制される場合は線条の運動の明視が困難になるとのべた。この成績は眼振（反射）の消長の背景に意識のレベルの変化があることを肯定している。そして、そのレベルの変化には上述したように脳幹網様体上行性賦活系の関与は看過できない。また、この際脳幹網様体の関与を考えることの妥当性は、前庭神経核と脳幹網様体の結びつきが脳神経系の線維連絡の面からみても極めて密接であるという事実よりも支持されよう。

(2)人工的半盲（中心窩を欠く）における視運動刺激の方向と角加速度刺激の眼振発現における関連

この問題を論ずる前に、視運動刺激の方向と眼振発現の相関についてこれまでに報告された論文の概略を紹介しておきたい。

福田、時田²¹⁾はウサギ、モルモット、イヌ、ネコ、人を対象とし、その片眼を遮蔽し、視性円筒 (Ohm 型) を回し、円周内面に付された線条が開眼側より遮眼側に運動する場合と遮眼

側より開眼側にそれが運動する場合の視運動眼振の発現状況を観察している。その結果、視神経全交叉動物であるウサギ、モルモットでは後者の視動物刺激に対して動物の反応は明瞭でなく、眼振も脊椎反射も現われ難い。これに対し、視神経不完全交叉のイヌやネコでは何れの方法からの視運動刺激にも反応するが、その反応の状況はやはり、遮眼側より開眼側に向って線条が移動する際には、その反対側に線条が移動する場合に比べ眼振も脊椎反射もその発現の度が低い。そして視神経半交叉の人においては何れの方法からの視運動刺激に対しても良好に反応し、眼振と脊椎反射を出現する。すなわちウサギ、モルモットでは視運動刺激に対し、unidirectional response があり、イヌ、ネコでは incomplete bidirectional response が出現し、人に致ってはじめて complete bidirectional な反応が視運動性にもたらされると言ってもよい。人の半盲症例についてこの種の報告を述べると次の通りである。すなわち、三好ら³⁾ は半盲側より視界側への視運動刺激 (foveofugal な刺激) では視運動眼振は成立し難く、その逆に視界側より半盲側への視運動刺激 (foveopetal な刺激) に対しては十分に誘発されると述べている。

さて今回の私達の成績では10例中5例が上述の三好の成績と相似する成績を示した。

しかしのこりの5例ではその成績は必ずしも三好の述べた成績と一致しなかった。例えば2例では foveofugal な視運動刺激がより効果的に視運動眼振を出現するという成績をえている。また今回の実験では鼻側半盲の場合、鼻側より耳側に向う視運動刺激での眼振誘発の度合は、耳側半盲で耳側より鼻側に向う視運動刺激で眼振が誘発される度合より高かった。この際視運動刺激の方向と fovea の関係からのみいえば、何れの場合も foveofugal な視運動刺激となる。従って以上の様な差が生じたのは、鼻側と耳側の網膜の視運動刺激受容性の差を示唆するものであり、身体平衡機能の点から考えて

も興味がある事例といえよう。

以上の様な報告を念頭におきながら、今回私達が得た人工的半盲（中心窩を欠く）での視運動眼振に対して回転刺激（加速，等速，減速）の影響がどのように現われるかを説明してみたい。その成績を要約すると次のようになる。

(イ) 中心窩を欠く人工的半盲の場合でも、眼振が視運動刺激で誘発されている場合は、中心窩を欠く周辺視野OKNの場合と同じく、回転刺激の負荷により特徴的な影響をうける。すなわち視運動眼振の方向と回転眼振の方向が同方向に組み合わせられる場合（上述の実験(A)で述べた条件と類似する条件）では眼振は促進される。これに対し、視運動眼振の方向と回転眼振の方向が互いに反対方向に組み合わせられる場合（上述の実験(B)で述べた条件と相似する条件）では既存の視運動眼振は抑制される。従って中心窩に対する視運動性刺激の方向（foveopetalあるいは foveofugal）と回転刺激が直接的関連をもって半盲時の視運動眼振の出現を支配することにはならない。

(ロ) 上述の人工的半盲の場合、視運動刺激を加えても眼振が誘発されがたいものがある（10例中3例）。このような例で回転イス刺激が加えられると、眼振を誘発するようになるものがある（2例）。このような例での眼振の消長は④で述べた原則が適用できる。

(ハ) 耳側半盲では foveopetal な視運動刺激条件下では89%に上記の原則に従った眼振の誘発をみるが、鼻側半盲のそれでは67~78%にすぎなかった。これに対して foveofugal な視運動刺激条件下では耳側半盲が33%の誘発しか示さないのに、鼻側半盲のそれは55%の誘発を示した（表1）。この結果は、耳側網膜と鼻側網膜に差があるためなのか。視運動刺激が鼻側より耳側へ移動する方が、耳側より鼻側へ移動する場合に比べて、網膜の感受性が高いためなのか今後の検討を要しよう（表1の対象数は14名である）。

さて、今回の実験に関連した論文を紹介する

と次のようなものがある。すなわち福田は視神経全交叉動物であるニワトリを用いて、その片眼を覆って、イスを加速的に回転（ $1.0^{\circ}/\text{sec}^2$ ）する際、視運動頭振がどのように変化を示すかを検討している。この際、 $1.0^{\circ}/\text{sec}^2$ の角加速度刺激は回転中頭振を起こさない微弱な角加速度刺激である。その結果次のことが判った。すなわちニワトリの場合は遮眼側より開眼側に視運動刺激が加えられても視性頭振は起こり難い。しかしこの条件の視運動刺激（外界の假性運動）が加わるように回転イスを遮眼側向きに回した場合は、頭振が活発におこることを見出している⁴⁾。福田はこの現象を全交叉動物のもつ視運動刺激に対する unidirectional な反応が、前庭迷路のもつ角加速度刺激に対する unidirectional な反応に相補された結果と考え、新しい角度から回転中の視器と迷路の平衡機能上の関連を示した。しかし視神経半交叉動物を対象として福田が述べたような成績が必ずしも得られるものではない。例えば、小池⁵⁾はウサギを用いて同じような実験を行っているがニワト

表1 半盲におけるOKNの方向特異性（右眼）
Temporal hemianopsia

OKN (刺激 方向)	RN (回転 方向)	% of induced nystagmus
R	R	89
R	L	89
L	L	33
L	R	33

Nasal hemianopsia

OKN	RN	% of induced nystagmus
R	R	55
R	L	55
L	L	67
L	R	78

R=right

L=left

りにみられるような十分な相補性を視器と迷路の反射の間に認めていない。この差を中心窩の存否に求めて良いか否かはなお不明であり、今後の検討が必要であろう。

人の場合、周辺視野に半盲を人工的に作製しても中心窩視が妨げられていない場合は、foveopetal はもちろん foveofugal な視運動刺激にも眼振が等しく良好に発現している³⁾。従って、この条件下では人における視運動刺激の方向と視運動眼振の発現の相関を明らかにし得ない。それ故、人においてこの問題を論ずるためには、中心窩視を妨げた半盲を人工的に作製し、視運動刺激を foveopetal 又は foveofugal に加えて出現する眼振を比較し観察する以外になかった。また上記の視運動刺激の方向と回転刺激が直接的関連を有した眼振の発現に係るのか否かの検討も、中心窩を欠く半盲を人工的に作製し、これに回転イス刺激を各種に変化（加速、等速、減速）させて加え、その際出現する眼振の変動を観察する方法を採らざるを得

なかった。そして、その実験結果は、上述した通り、foveopetal, foveofugal な視運動刺激と回転刺激が直接的に結びついて眼振の発現を左右するのではなく、視運動眼振と回転眼振が同方向に出現するように両刺激が組み合わせられているのか、両刺激が互いに反対方向に向くように刺激が組み合わせられているのかが、眼振発現を左右する重要な因子であることが判明した。この成果は、上述したニワトリやウサギで得た回転中の視器と迷路反射の相補性という条件のみでは律しきれない問題を含んでいるように思う。

ヒトとニワトリ（視神経交叉の問題）、ニワトリとウサギ（中心窩視の問題）の成績の相違を表出する因子は何であるか？それを究明するような各種の条件を工夫して、この問題を今後明らかにして行く必要がある。そして、そのような過程を経て得た成績の蓄積により、視器、迷路の平衡機能上の関連の仕組みはより精緻な解明を受けるものと考ええる。

結 語

人の回転中の視器と迷路の平衡機能上の関連の仕組みを明らかにするため、次の実験を行った。すなわち与えられる右及び左への視運動刺激は一定速度とし、それをうける視器（網膜）の側に人工的に種々の条件（周辺視野視、中心窩を欠く鼻側並びに耳側半盲視）を作製した。そしてそれぞれの条件下での視器の外界への適応状況を、その際出現する視運動眼振を観察して明らかにした。ついで、それぞれの視運動眼振が同時に加えられる回転イス刺激（加速、等速、減速）でどのように変化を遂げるかを観察し、人の回転運動中の視器と迷路の平衡機能の関連を究明した。

得られた成績は以下の通りである。

(1) 全視野視運動刺激で誘発される視運動眼振は、 $0.5^\circ/\text{sec}^2$ の角加速度刺激で加速及び減速する回転イス刺激を加えても有為の変化を認めなかった。

(2) 周辺視野視運動刺激で誘発される視運動眼振に上記の回転イス刺激が加えられると次の成績が得られる。①視運動眼振と回転眼振の方向が一致するよう両刺激が組み合わせられる場合は、眼振は促進される。②両眼振の方向が互いに反対方向に出現するよう両刺激が組み合わせられる場合は、眼振は抑制される。

(3) 中窩OKNの場合は、①この眼振の発現が明瞭でない場合は、回転イス刺激を（上述）を加えても有意の変化はなかった。②この眼振が出現している場合、回転イス刺激が加えられると、回転の相（加速、等速、減速）の如何にかかわらず、眼振の抑制傾向が見られた。

(4) 中心窩を欠く人工的半盲で鼻側並びに耳側を作製し、その条件下に foveopetal, foveofugal の視運動刺激を加え、その際出現する眼振が上記の回転イス刺激でどのように変化するかを観察し

た。その結果、中心窩に対する視運動刺激の方向 (foveopetal 又は foveofugal) と回転イス刺激が直接関連して眼振の発現を左右するというより、出現している視運動眼振の方向と回転眼振の方向の組み合わせで眼振の発現が左右されることが判った。すなわちこの場合も(2)の原則が適用されることを知った。

以上の成績より次の考えを述べた。

(1) 回転中の人の視器と迷路の平衡機能上の関連は、主として、周辺視野と半規管の相互交渉により実現される。

(2) 中心窩に対する視運動刺激の方向 (foveopetal, foveofugal) と角加速度刺激が直接関連して、眼振の発現を左右するものではなく、視運動眼振と回転眼振の方向の組み合わせで出現が左右される。

実験に際して、御指導頂いた松学島根医大学長、並びに三好豊二元京大助教授に深謝致します。

文 献

- 1) Fukuda, T., Hinoki, M., Tokita, T.: Provocation of labyrinthine reflex by visual stimuli. *Acta Otolaryng* 48: 425~432, 1957.
- 2) 北原正章, 佐藤利子: 視運動刺激介在下における人の迷路反射, 耳鼻臨床 56: 574~578, 1967.
- 3) Miyoshi, T., Shirato, M., Hiwatashi, S.: Optokinetic nystagmus in artificial hemianopsy. *Advance in O.R.L.* 25: 202~207, 1979.
- 4) Fukuda, T.: The unidirectionality of the labyrinthine reflex in relation to the unidirectionality of the optokinetic reflex. *Acta Otolaryng* 50: 507~516, 1959.
- 5) 小池 聰: 回転刺激に対応する optic-vestibular coordination の発現と頸部深部受容器. 日耳鼻 74: 1363~1382, 1971.
- 6) 白戸 勝: 視運動眼振の発現機序. 耳鼻臨床 75: 73~92, 1982.
- 7) Waespe, W., Henn, V.: Neuronal activity in the vestibular nuclei of the alert monkey during vestibular and optokinetic stimulation. *Exp Brain Res* 27: 523~538, 1977.
- 8) Waespe, W., Henn, V.: The velocity response of vestibular nucleus neurons during vestibular, visual and combined angular acceleration. *Exp Brain Res* 37: 337~347, 1979.
- 9) Waespe, W., Henn, V.: Conflicting visual vestibular stimulation and vestibular nucleus activity in alert monkeys. *Exp Brain Res* 33: 203~211, 1978.
- 10) Waespe, W., Büttner, U., Henn, V.: Visual-vestibular interaction in the flocculus of the alert monkey. I. Input activity. *Exp Brain Res* 43: 337~348, 1981.
- 11) Waespe, W., Henn, V.: Visual-vestibular interaction in the flocculus of the alert monkey. II. Purkinje cell activity. *Exp Brain Res* 43: 349~360, 1981.
- 12) Robinson, D.A.: Linear addition of optokinetic and vestibular signals in the vestibular nucleus. *Exp Brain Res* 30: 447~450, 1977.
- 13) 時田 喬: 視機刺激の方向と眼筋骨格筋の反射形式. 耳鼻臨床 49: 752~774, 1957.
- 14) 仲野紘介: 固視パターンにより視運動眼振の研究. 耳鼻臨床 70: 147~176, 1977.
- 15) Büttner, U.W., Büttner, U.: Vestibular nuclei activity in the alert monkey during suppression of vestibular and optokinetic nystagmus. *Exp Brain Res* 37: 581~593, 1979.
- 16) Lisberger, S.G., Miles, F. A., Optican, L. M., Eighmy, B.B.: Optokinetic response in monkey: underlying mechanism and their sensitivity to long-term adaptive changes in vestibuloocular reflex. *J. Neurophysiol* 45

- : 869~890, 1981.
- 17) Moruzzi, G., Magoun, H.W.: Brain stem reticular formation and activation of the EEG. EEG Clin Neurophysiol 1: 455~473, 1949.
- 18) Teng, P., Schanzer, S., Bender, M.B.: Effects of brainstem lesions on optokinetic nystagmus in monkeys. Neurology (Minneapolis) 8: 22~26, 1958.
- 19) 沢田克郎: 神運動性刺激適応性獲得過程の脳波的検討—家兎の頭位上脳波と視性眼振を指標とする観察—. 日耳鼻 71: 1~19, 1968.
- 20) 松 学, 沢田克郎, 近藤正彦: 頸性「めまい」発現に関する実験的研究—頸筋プロカイン注射のウサギ大脳皮質脳波と視性眼振に及ぼす影響—耳鼻臨床 60: 27~37, 1967.
- 21) Fukuda, T., Tokita, T.: Über die Beziehung der Richtung der optischen Reize zu den Reflextypen der Augen und Skelettmuskeln. Acta Otolaryng 48: 415~424, 1957.

（ 原稿到着：昭和59年1月7日
別刷請求先：玉田 彰
〒553 大阪市福島区福島2丁目1-7
関西電力病院耳鼻咽喉科 ）

図1 視野分離装置投影器の直下、同軸上に置かれたガルバノメータ改造の駆動装置の上に透明円筒（図では内部が見えるようにその一部のみを描いてある）を、投影器の周りを包むようにして置く。透明円筒の正面中央に適当な形、大きさの不透明黒色フィルムを貼付する。このフィルムは図で見るように、スクリーン上に投影される光線の一部を遮蔽して、眼球に対する同部からの刺激を消去する。駆動装置は直流眼振計の出力で、眼球と同じ方向、同じ角度に動かされる。このようにすると、上記の刺激消去部分が、視野の中でつねに一定の箇所となるので、恒常的な視野欠損を作り得る。蔽光フィルムの形、大きさを適当に選ぶと、任意の形の視野を作ることができる。本図の場合は中心暗点となる。また、投影器の前にフォトトランジスタを設置して光線条の通過した瞬間を眼振計上に記録し、重ね合わせ法を行なえるようにした。

図2 全視野OKNに対する回転眼振の影響

a) 左向き全視野OKN（上段）は左向き回転眼振（下段）の加、減速時にもほとんど変化を示さず、きわめて規則的に正確に追跡がおこなわれている（緩徐相速度約 $30^{\circ}/\text{sec}$ ）

上より全視野OKNの両眼、右眼、左眼、両眼の速度波形視運動刺激、回転イースの軌跡を示す。上方が右向きで下方が左向きである。二段目の右眼の gain は両眼、左眼より小さくしてある。

b) 左向き全視野OKNは右向き回転眼振の影響を同様に全経過中ほとんど受けない。

図3 周辺視野性OKNに（緩徐相速度 $25^{\circ}/\text{sec}$ ）に対する回転眼振の影響（急速相が逆方向の時）左向きOKN（上段）に対して右向き回転眼振（下段）は加速時振幅の減少と、波形の乱れを示すが、減速時には振幅の増大と、波形の整えを示す。緩徐相速度では約10～20%の減少及び増大として現われる。
上段より下段のグラフは図2に準ずる。

図4 周辺視野性OKNに（緩徐相度 $25^{\circ}/\text{sec}$ ）に対する回転眼振の影響（急速相が同方向の時）
右向きOKN（上段）に対して右向き回転眼振（下段）は加速時，OKNの振幅の増大と波形の三角化を，減速時には振幅の減少と波形の乱れを示す．緩徐相速度では約10～20%の増大又は抑制として現われる．上段より下段へのグラフは図に準ずる．

図5 中心窩OKN（緩徐相速度 $20^{\circ}/\text{sec}$ ）に対する回転眼振の影響
a) 右向きOKNは上手に追えていないが右向きの加速の開始と共に一層抑制され，定速回転中，及び減速時にも抑制が同じように見られるが，回転中止で再び同様の中心窩OKNが現われる．

b) 右向きOKNの出現はかなり不良であるが，左向き回転の加速が加わるにつれてOKNは強く抑制され，定速回転中OKNはほとんど現われない．減速時も強く抑制されたままで，減速刺激が消失すると共に，回転刺激負荷前の中心窩OKNが現われてくる．

図6 耳側半盲の左向き OKN (foveopetal) (緩徐相速度約 $20^{\circ}/\text{sec}$) に対する左向き回転眼振の影響

回転刺激の加速時にはOKNの振幅は増大し，波形は整うが，減速時にはOKNの振幅は減少し，波形は乱れる．緩徐相速度では約10～20%の増大又は減少を示す．

図7 耳側半盲の右向き OKN (foveofugal) に対する左向き回転眼振の影響
foveofugal にもかかわらず OKN は良好に誘発されている。回転刺激の加速時には OKN の振幅は減少し、波形は乱れるが、減速時には増大し、波形は整う。

図8 鼻側半盲の右向き OKN (foveopetal) (緩徐相速度 $20^{\circ}/\text{sec}$) に対する左向き回転眼振の影響
回転刺激の加速時には OKN の振幅は減少し、波形は乱れるが、減速時には増大し、波形は整う。緩徐相速度では約10~20%の減少又は増大を示す。

図9 鼻側半盲の左向き OKN (foveofugal) に対する左向き回転眼振の影響
foveofugal にもかかわらず OKN は良好に誘発されている。回転刺激の加速時には OKN の増大が、減速時には減少がみられる。