閉眼下左右位変換時の一過性眼球偏位の分析 — 躯幹全体の回転†

中 島 成 人・中 田 孝 重*

はじめに

閉眼にて電気眼振計 (ENG) 下に頭位眼振記録中、頭位を右または左へ捻転する際の眼球運動は、頭部回転による前庭眼反射 (VOR) としての回転と逆方向への緩徐相と回転方向への急速相を示す回転眼振の他に、緩徐相を認めず始めから回転方向へ一過性に、急速に現われる眼球偏位 (偏位) (図 1) を認める事は誰もが経験する事である。しかしこの偏位の解釈についてはあまりなされておらず、単に頭位変換に伴う記録条件の変化として説明している成書²⁾があるのみである。われわれ³⁾はこの偏位がなぜ現われるかに興味を持ち、まず過去に記録した頭位眼振図を再検討し、98.8%の症例にこの偏位を認め、この偏位を示さない症例 (1%) が眼運動異常例か、乳幼児期よりの全盲例である事から、側方注視に関連した眼運動で、眼と頭の共同運動の分析の際にみられる先行性眼球偏位¹⁾と同じ偏位であろうと推論した。ではこの偏位を惹起する入力部はどこであろうか。この事を検討するためにまず今回は正常人を対象に、頸部に捻転を加えず躯幹全体の回転では偏位が起るかを検討した。

対象および方法

1. 回転刺激には永島社製電動ベルト式回転椅子を使用し、眼球運動は水平成分のみを閉眼下に ENG にて、時定数 3.0 秒、紙送り 0.5 cm/sec、 10° の眼運動校正を 1.0~1.5 cm とし記録した (図 2)。なお偏位は 5° 以上で有りとした。実際の記録を図 3 に示す。
2. まず 26 歳~41 歳の健康男子 12 名につき、回転方向があらかじめ判らない様に、回転方向を予告しないで無作為に左右へ約 15° 回転させ、回転開始時の眼運動を記録した。回転刺激の与え方で対象を 6 名づつ 2 群に分け、回転角速度を $10^\circ/\text{sec}$ から $10^\circ/\text{sec}$ ずつ上げ $100^\circ/\text{sec}$ まで回転する群 (上昇群) と、 $100^\circ/\text{sec}$ から $10^\circ/\text{sec}$ ずつ下げ $10^\circ/\text{sec}$ まで回転する群 (下降群) とにし、

†Analysis of transient deviation of closed eye on head rotation.—Trunk rotation without torsion.

*Shigeto Nakajima

*長崎大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図 1 : 左右頭位変換時にみられる変換方向への一過性眼球偏位

各回転角速度につき各方向 2 回づつ回転した。

次いで半規管との関係をみるために、8 名 (上昇群 5 名, 下降群 3 名) に前屈 30° の頭位で、また 5 名 (上昇群 3 名, 下降群 2 名) につき後屈 60° の頭位で回転させ比較検討した。

3. さらに他の 20 歳~30 歳の健康男子 16 名につき、回転方向をあらかじめ予告し、 $100^\circ/\text{sec}$ → $10^\circ/\text{sec}$ の下降法で同様の回転刺激を行い比較検討した。

結 果

1. 上昇群: 6 名の対象につき、右回りは各角速度につき 6~12 回で計 96 回、左回りは 6~12 回で計 94 回、総計 190 回の回転刺激を行った。

1) 偏位率 (全回転刺激中何回偏位したか)

図 2：回転刺激のブロック図

R. C. : 回転椅子, B : ベルト, E. M. : 電動モーター, S : スイッチ
E. B. : 電極板, ENG : 電気眼振計 R : 右回転, L : 左回転

図 3：回転開始時の各回転速度での眼球運動の実際

各角速度での偏位率は、右回り 0～16.7% (平均 9.4%), 左回り 0～37.5% (平均 19.1%) で、 χ^2 検定では左右回転での有意差は $P < 0.05$ と無く、左右回転を合わせてみると各角速度での偏位率は 4.2%～20.8% (平均 14.2%) で、10°/sec, 20°/sec の低速では低い偏位率だが、50°/sec 以上ではほぼ 20% 弱と一定した偏位率を示した。その他 VOR を示したのは平均 32.1%, 何等眼運動を示さなかった (NS) のは平均 53.7% であった (表 1)。

2) 偏位角 (偏位を示した時のその大きさ)

右回りでは 9 偏位でその偏位角は各角速度で平均 5°～12.5° となり、総平均は $8.5^\circ \pm 2.2^\circ$, 左回りは 17 偏位で同じく平均 5.7°～10.3° となり、総平均 $8.0^\circ \pm 2.3^\circ$ であった。t 検定で $P < 0.05$ と左右差なく、左右合わせると各角速度での平均は 5.7°～10.3° となり総平均は $8.2^\circ \pm 2.2^\circ$ となった。角速度による差は著明でなく、低速でも偏位を示す時は 10° 弱の偏位を示す事が判った (図 4)。

表1 各種回転刺激での左右回転合わせた各角速度別の平均偏位率 (%)

回転方向	方向予告	方法	EM	o/sec										total
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
右 + 左 (%)	なし	上昇群	S	4.2	9.1	20.8	8.3	20	18.8	18.8	18.8	8.3	18.8	14.2%
			VOR	25	27.3	25	37.5	55	50	25	12.5	50	18.8	32.1%
			NS	70.8	63.6	54.2	54.2	25	31.3	56.3	68.8	41.7	62.5	53.7%
		下降群	S	47.4	57.1	37.5	50	10	15.4	21.1	40	6.3	0	29.6%
			VOR	47.4	28.6	50	50	65	46.2	63.2	40	31.3	22.2	46.3%
			NS	5.3	14.3	12.5	0	25	38.5	15.8	20	62.5	77.8	24.1%
		前屈30度	S	6.3	15	10.5	7.1	16.7	5	8.3	6.3	0	14.3	9.1%
			VOR	31.3	30	10.5	28.6	33.3	10	41.7	18.8	25	28.6	24.8%
			NS	62.5	55	78.9	64.3	50	85	50	75	75	57.1	66.1%
		後屈60度	S	12.5	37.5	33.3	25	—	—	0	0	0	0	15.2%
			VOR	50	50	66.7	50	—	—	0	33.3	0	25	49.1%
			NS	37.5	12.5	0	25	—	—	100	66.7	100	75	45.7%
	あり	下降群	S	13.8	25.4	15	35	13.4	16.7	17.8	25	18.1	11.5	19.6%
			VOR	63.8	47.5	66.7	35	58.4	58.3	51.8	39.6	27.2	19.2	49.1%
			NS	22.4	27.1	18.3	30	28.3	25	30.4	35.4	54.5	69.2	31.3%

EM: 回転開始時の眼球運動 S: 偏位, VOR: 前庭眼反射, NS: 眼球偏位なし

図4: 回転方向予告なしの群の角速度別の偏位角の平均値と標準偏差
黒丸: 上昇群, 白三角: 下降群, 縦軸: 偏位角, 横軸: 回転速度
total: 総平均値と標準偏差 (t 検定で有意差あり)

図5：回転方向予告する群（下降法）の角速度別の偏位角と標準偏差
 黒丸：右回り，黒三角：左回り，白菱形：右回り+左回り，縦軸：偏位角
 横軸：回転速度，total：総平均値と標準偏差（黒丸と黒三角は有意差あり）

2. 下降群：6名の対象につき右回りは各角速度につき5～10回で計82回，左回りは4～10回で計80回，左右合わせて総計162回の回転刺激を行った。

1) 偏位率：各角速度での偏位率は右回り0%～62.5%（平均25%），左回りは0%～50%（平均25%）で左右差なく，左右合わせると各角速度での偏位率は0%～57.1%（平均29.6%）で，100°/sec～70°/secは40～50%，60°/sec～40°/secは10～20%，20°/sec～10°/secでは10%以下となり，回転速度が速い程偏位を示しやすい事が判った。その他 VOR は平均46.3%，NS は24.1%で，高，中速では VOR が，低速では NS が多くなる傾向であった（表1）。

2) 偏位角：右回りでは28偏位で，その偏位角は各角速度で平均9°～18.2°となり，総平均は12.0°±4.5°，左回りでは17偏位で平均8.3°～26.8°で総平均は11.0°±4.7°であった。t検定で $P < 0.05$ と左右の有意差は認めず，左右合わせて各角速度での平均偏位度は9°～22.5°で総平均は11.6°±4.6°となった。やはり角速度での違いは一定の傾向を示さなかった（図4）。

3. 頭位による偏位率への影響（表1）

1) 前屈 30°：8名の対象につき右回り83回，左回り82回で計165回で検討できた。各角速度での偏位率は左右回転合わせて0%～16.7%，平均9.1%であった。

2) 後屈 60°：5名の対象につき右回り20回，左回り26回で計46回について検討できた。各角速度での偏位率は0%～37.5%で，平均15.2%となった。

4. 回転方向を予告する群（下降法）：16名につき行っ

たが，1名は回転椅子の中途故障のため15名の対象となり，右回り265回，左回り266回の計531回（各角速度につき左右回転合わせて26～60回）につき検討できた。

1) 偏位率：右回りでは各角速度で7.7%～33.4%，平均18.1%，左回りでは13.3%～36.6%で平均21.0%となり， χ^2 検定で $P < 0.05$ と左右差はなく，左右合わせると各角速度で11.5%～35%で総平均は19.6%となった。70°/secで35%と一番良く偏位する事を示すも，角速度での偏位率の違いには一定の傾向を認めず，低速でも10%以上の偏位率を示した。その他 VOR は49.1%，NS は31.3%で，やはり高～中速では VOR が多く，低速では NS が多くなる傾向を示した（表1）。

2) 偏位角：右回りでは48偏位で各角速度での平均偏位角は7.4°～15.5°となり，総平均11.5°±5.1°，左回りでは56偏位で10.5°～19.8°となり総平均15.3°±7.5°であった。t検定では有意に $P < 0.05$ と左回りの時の偏位角が大きい結果であった。左右回転合わせてみると結局104偏位を認め，各角速度での平均は8.9°～17.3°となり総平均は13.5°±6.8°となった。高速度の方が少し大きい偏位を示すも一定の傾向ではなく，低速度でも10%以上の大きさの偏位を示す事が判った（図5）。

小 括

1. 頸部に捻転を加えず軀幹全体を回転させても，頭部のみの捻転時にみられる一過性の回転方向への眼球偏位が認められる事が判った。

2. その偏位率は回転の条件で少し差が認められた。すなわち回転方向をあらかじめ予告しない群での上昇群の

平均偏位率14.2%と下降群の29.6%との間には χ^2 検定で $P < 0.05$ と有意差を示し、下降群の方が有意に偏位しやすい条件である事が判った。

回転方向を予告する群での下降群での平均偏位率は19.6%で、予告しない群の下降群よりも有意 (χ^2 検定で $P < 0.01$) に少く、従って回転方向を予告しない下降群が最も偏位しやすい条件と思えた。

右回り、左回りでの偏位率には有意差はなく、回転角速度間の比較では、予告なしの下降群に高速回転偏位を示しやすい傾向をみるのみで、他は一定の傾向はなく、低速度回転でもばらつきは多いが偏位を示す事が判った。

3. 頭位の影響は、前屈 30° ではかえって平均偏位率は9.1%と有意に下がり、後屈 60° では平均15.2%と正面位、前屈 30° の平均偏位率とは χ^2 検定で $P < 0.05$ と有意差はなかった。

4. 偏位角については、回転方向予告なしの群では上昇群 $8.2^\circ \pm 2.8^\circ$ 、下降群 $11.6^\circ \pm 4.7^\circ$ と下降群が χ^2 検定で $P < 0.01$ と有意に大きい偏位を示す事が判った。回転方向を予告する群では $13.5^\circ \pm 6.8^\circ$ と予告しない下降群との間には有意差 (t 検定で $P < 0.05$) はなく、従って偏位角には回転方向予告の有無はあまり影響ない様であった。

左右回転による差は、回転方向を予告する群で右回り $11.5^\circ \pm 5.1^\circ$ 、左回り $15.3^\circ \pm 7.5^\circ$ と t 検定で $0.02 < P < 0.05$ と有意差あるも著明ではない。他群は全て左右差を示さなかった。

角速度による違いも一定の傾向はなく、偏位を示す時は低速度でも 10° 以上の大きさの偏位を示す事が判った。

5. その他の眼運動として VOR と NS が偏位よりも高率にみられ、この2つがほぼ80%以上を占めた。高速回転時ほど VOR が多く、低速回転では NS が多くなる傾向を示した。

考 按

前述した様に閉眼下での左右への頭位変換時に、VOR 以外に変換方向への急速な一過性の眼球偏位を認め、めまい外来での臨床データより、これは側方注視の際の先行性眼球偏位と類似したものであろうと推察した²⁾。同様な事を Stroud 等⁴⁾ も saccadic ocular movement として述べ、Bizzi 等¹⁾ の猿の実験での眼と頭の共同運動の際の predictive mode と同じものとした。すなわち中核での側方注視のプログラムが閉眼下での頭の回転によっても発火する事を表していると思えた。では頭の回転の入力は果してどこから主にされるのであろうか。この事を検討するために今回は頭部のみの捻転ではなく、

頸部に捻転を加えないで軀幹ごとの回転での回転開始時の眼球運動をみた。なおこの研究で偏位を 5° 以上としたのは、竹田等⁵⁾ の報告で正常人の閉眼時の眼球偏位は左右 10° 以内で、その平均値は $0.20 \pm 4.99^\circ$ としており 1° 以内だが、ばらつきが 5° 以内という事で、今回は回転開始時 5° 以上の偏位があれば偏位ありとした。

さて本研究で判った事は、頭部のみの捻転だけでなく軀幹全体の回転でも、その開始時に一過性の回転方向への眼球偏位がみられた事である。しかしめまい外来での頭位眼振記録中にみる様に高率に偏位を示す事はなく、個人差があり、結局平均で20%の偏位率であった。回転速度での影響をみると、各角速度での偏位率の差は特に著明ではないが、回転方向予告なしの下降群では高速回転ほど偏位を示しやすく、低速特に 10°/sec、20°/sec では上昇群を含め10%以下と偏位しにくい傾向を示した。この際上昇群と下降群でその平均偏位率に有意差が生じる事も判り、有意に下降群の方が偏位を示しやすい結果であった。これは 70°/sec 以上の高速回転での偏位率の差によるもので、回転（特にその方向）を感覚する鋭敏さの違いが偏位率の差として出たものと推察できる。しかしこの違いは回転方向をあらかじめ被検者に予告する事で消失する。すなわち 70°/sec 以上の速度での偏位が30%以下となり結局平均で19.6%の偏位率となり、先の回転方向予告なしの上昇群とは有意差が消失する。他方 10°/sec、20°/sec の低速部では軽度ではあるがかえって回転方向を予告する事で10%以上に偏位率が上昇し、ほぼ全体で速度による差が消失した形となった。当初回転方向予告が偏位率を上げる事を期待したが逆の結果で、この事はこの偏位が反射としておこっている事を示し、回転方向をあらかじめ意識する事で反射がおこりにくくなると考えた。言いかえると意識しない急で充分な刺激（回転）が加えられると最も反射としての偏位がおこりやすいと推察する。しかし低速部では反対に刺激量が少いのを回転を予告する事で回転覚を補足し、偏位率が少し上昇するのではと考えた。

次に回転覚（特に方向覚）に関して水平半規管がどの程度関与しているかについてみるため、頭位による偏位への影響があるかを偏位率でみると、前屈 30° ではかえって有意に低下し、後屈 60° では特に有意差を呈さなかった。この事はこの偏位が半規管由来の VOR に抗して出現しており、前屈 30° では水平半規管が回転に鋭敏になるためこの偏位を呈しにくくなる（9.1%）と思え、後屈にするとかえって出やすくなる（15.2%）と考えられた。すなわちこの偏位若起には半規管としては抑制こそすれ引き金とはなっていないと思えた。臨床データからも両側温度反応欠除例でも左右頭位変換時に充分この

偏位を呈していた³⁾。

偏位の大きさ(偏位角)については、回転方向予告の影響も、回転速度の影響もあまりみられず、閉眼下の回転刺激での偏位は低速回転でも偏位をおこすと 10° 以上の大きさを示す事が判った。この事実からも角速度を知覚する前庭器の関与はあまりないのではと考えられる。一部に左右回転でその偏位角に左右の有意差をみたが、この事についての意味付けは不明で他の方法では全て左右の有意差がない事から、元來回転方向での差はないと考える。

回転開始時の眼運動全体をみると軀幹ごとの回転ではこの一過性眼球偏位は少く、VOR と NS が80%以上を示し、前述した様に頭部捻転時にみる偏位よりも偏位をおこしにくく、おこっても小さい偏位で、やはりこの偏位をおこす入力部は頸部からの影響が大きいと思われる、さらに検討する必要がある。従って少ないながらも今回の回転での偏位の入力部は前庭系の関与は少く、主には皮膚感覚や深部受容器からの入力に関与していると思われる。頸部、耳石系を含めさらに検討を加えたい。

ま と め

頸部に捻転を加えない軀幹全体での回転でも、回転開始時に回転方向への一過性眼球偏位を認め得るも20%と少く、偏位角も 15° 弱であった。この偏位は半規管とは関連が少く、いかに被検者が回転覚(特に方向)を感覚するかによって反射的に起こるもので深部受容器からの入力によるものと考えたが、耳石系の関与も含めさらに種々の条件下での検討が必要と思えた。

文 献

- 1) Bizzi, E., Kalil, R. E., and Morasso, P.: Two modes of active eye-head coordination in monkey. *Brain Res* 40: 45-48, 1972.
- 2) 朴沢二郎, 鈴木淳一, 上村卓也: 神経耳科検査法—特に平衡機能検査について. 医学書院 東京 1968
- 3) 中島成人: 左右頭位変換時の一過性眼球偏位. *Equilibrium Res* 41: 99-104, 1982.
- 4) Stroud, M. H. and Brude, R. M.: Eye-head coordination, an observation. *Ann. Otol.* 86: 94-96, 1977.
- 5) 竹田泰三, 二木 隆, 北原正章: 正常人の眼球偏位について. *耳鼻臨床* 66: 1247-1254, 1973.

Abstract

Transient ocular deviations with eyes closed were observed electronystagmographically in 20% of normal adults on trunk rotation without neck torsion. These were in the same direction as the rotation. The average angle of deviation was less than 15° . These reflex deviations were probably not elicited by input from the vestibular system but from the proprioceptors because they decreased in 9.1% when the head was bent 30° forward but were not affected by bending 60° backward or changing the velocity of rotation. Transient ocular deviations were less frequent and smaller on trunk rotation than on head rotation with neck torsion.