閉眼下における左右頭位変換時の一過性眼球偏位の分析†

—— 軀幹全体の回転と頭部のみの捻転との比較 ——

中 島 成 人・中 田 孝 重*

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、前庭・眼反射 (VOR) としての捻転方向と逆向きの緩徐相から始まる回転眼振の他に、緩徐相を認めず始めから捻転方向へ一過性に急速に偏位する眼球偏位 (偏位) を認め、臨床データ⁷⁾ よりこれは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²⁾ と同じものであらうと推論した。そしてこの偏位は、頸部捻転を加えない軀幹ごとの回転でも回転開始時に認められる事が判ったが⁸⁾、頭位眼振記録中にみる偏位よりも小さく、偏位しにくい感があり、今回は頭部のみの捻転 (捻転) と軀幹ごとの回転 (回転) での偏位の起こり方を比較し、この偏位を起こす入力部位等を検討する。

対象および方法

1) 対象は20歳～30歳の健康成人男子16名。

2) 回転刺激は前報告⁸⁾ 同様、永島社製電動ベルト式回転椅子を用い、回転角速度を $100^\circ/\text{sec}$ から $10^\circ/\text{sec}$ づつ下げ $10^\circ/\text{sec}$ までの下降法で各回転速度につき左右各々2回づつ回転した。回転刺激に先立ち回転方向を予告した。

3) 捻転は仰臥位にて受動的に手で左右へ 90° 捻転。捻転に際しその方向を予告した。このうち6名につき捻転角度の偏位におよぼす影響をみるため、仰臥位で頭部を左右へ $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ と捻転した。 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の捻転では捻転した位置からさらに 10° きざみ、 20° きざみ、 30° きざみと $80^\circ \sim 90^\circ$ まで捻転した。

4) 全ての回転または捻転開始時の眼球運動は水平誘導で閉眼下に ENG にて記録、分析した。時定数は 3.0 秒、紙送り 0.5 cm/sec 、 10° の眼運動校正を 1.0 cm と

図1：実際の ENG 所見 (同一被験者)

a) 軀幹ごとの回転 (rotatory chair) と頭部捻転 (head rotation) 時の偏位。

図中 1st, 2nd は各々1回目回転, 2回目回転を意味する。

†Analysis of Transient Deviation of Closed Eye on Head Rotation.

—Comparison between trunkal rotation with head and only head torsion—

*Shigeto Nakajima, Takashige Nakata.

*長崎大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図 1：実際の ENG 所見 (同一被験者)

b) 頭部捻転角度による偏位への影響。

10°, 20°, 30° は捻転位から更に 10° きざみ, 20° きざみ, 30° きざみに捻転した。

した。実際の記録図を図 1 に示す。前回同様⁸⁾ 5° 以上を偏位ありとした。

結 果

1) 回転または捻転開始時の眼運動：

次の 5 つに分類できた。(図 2)。

- ① 本研究の目的である緩徐相を伴わない回転または捻転方向への偏位 (Saccade)。
- ② 偏位の後に VOR としての回転眼振を示す (Saccade + VOR)。
- ③ 回転または捻転方向と反対方向に小さい緩徐相を示し、次いで大きく回転または捻転方向へ一過性に偏位する (sVOR + Saccade)。
- ④ VOR としての回転眼振 (VOR)。
- ⑤ 何の偏位も示さない (NS)。

の 5 つのパターンである。

a) 回転での各パターンの率 (図 2)。

16 名中 15 名につき 右回り 265 回, 左回り 226 回の計 531 回 (各角速度につき左右回転合わせて 26~60 回) につき検討出来た。

- ① Saccade：右回りで 42 偏位 15.8%, 左回りでは 45 偏位 16.9%, 左右合わせて 87 偏位 16.4% であった。
- ② Saccade + VOR：右回り 6 偏位 2.3%, 左回り 11 偏位 4.1% で左右合わせて 17 偏位 3.2% であった。
- ③ sVOR + Saccade：右回りでは 21 回転にみられ 7.9%, 左回りでは 19 回転にみられ 7.1% で計 40

図 2：回転または捻転開始期の眼運動パターンの回転 (ROTATION) と捻転 (TORSION) での出現率。

回転にみられ 7.5% であった。

④ VOR : 右回りでは 118 回転にみられ 44.5%, 左回りでは 103 回転にみられ 38.7% で計 221 回転にみられ 41.6% であった。

⑤ NS : 右回りでは 78 回転にみられ 29.4%, 左回りでは 88 回転にみられ 33.1% で計 166 回転にみられ 31.3% であった。

各角速度別にみると、偏位 (Saccade と Saccade + VOR) の率は特に一定の傾向はなく低速度でも 10% 以上の偏位率を示した。回転眼振 (VOR と sVOR + Saccade) は高～中速で 50～60% と多く、低速では NS が多い傾向を示した (表 1)。

b) 捻転での各パターンの率 (図 2)。

16 名の対象で左右への捻転計 32 捻転で検討できた。

① Saccade : 右捻転では 10 偏位、左捻転では 11 偏位で計 21 偏位 65.6% であった。

② Saccade + VOR : 右捻転の 1 偏位のみにみられ、

3.1% であった。

③ sVOR + Saccade : 右捻転では 3 捻転に、左捻転では 4 捻転にみられ計 7 捻転 21.9% であった。

④ VOR : 右捻転では 2 捻転に、左捻転では 1 捻転にみられ計 3 捻転 9.4% であった。

⑤ NS : 全く認められなかった。

c) 両者の比較 (図 2)。

本研究の目的である偏位はパターンの ① と ② であり、回転では 19.6%, 捻転では 68.7% となり、高率に捻転の方が偏位しやすい事を示した (χ^2 検定, $p < 0.005$)。またパターン ③ も有意 (χ^2 検定, $p < 0.005$) に捻転に多く認められ、反対にパターン ④ ⑤ は高率に回転に多い事が判った。

2) 偏位の大きさ (偏位角)。

a) 回転 : 右回りで 48 偏位認め、各速度での平均偏位角は $7.4^\circ \sim 15.5^\circ$ で総平均 $11.5^\circ \pm 5.1^\circ$ 、左回りは 56 偏位で $10.5^\circ \sim 19.8^\circ$ 、総平均 $15.3^\circ \pm 7.5^\circ$ であった。左

表 1 : 回転における各角速度別の眼運動パターンの出現率 (%)。 (左右回転合わせて)
°/sec

	eye move,	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	total
R + L (%)	Saccade	8.6	20.3	17.3	30	11.7	16.7	10.7	25	13.6	11.5	16.4%
	S + VOR	5.2	5.1	1.7	5	1.7	0	7.1	0	4.5	0	3.2%
	sVOR + S	13.8	1.7	10	0	11.7	8.3	10.7	8.3	4.5	3.8	7.5%
	VOR	50	45.8	56.7	35	46.7	50	41.1	31.3	22.7	15.4	41.6%
	NS	32.4	27.1	18.3	30	28.3	25	30.4	35.4	54.5	69.2	31.3%

表 2 : 回転の角速度別および全体の眼球偏位角の平坪値・標準偏差と捻転時の平均偏位角・標準偏差
°/sec

回 転		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	total	捻転
R	M	13	13.7	8.9	12.0	15.5	11.4	7.4	11.5	9.8	11	11.5°	24.6°
	SD	0	5.8	2.5	5.7	6.4	5.7	3.1	5.8	4.4		5.1°	5.4°
	N	3	7	3	10	2	6	4	8	4	1	48	11
L	M	19.8	14.5	12.7	19.1	15.3	12.9	10.1	14.9	17.8	11.7	15.3°	27.5°
	SD	10.9	9.4	6.8	8.6	5.0	4.4	2.5	4.5	8.2	3.5	7.5°	8.5°
	N	5	8	6	11	6	4	6	4	4	2	56	11
R + L	M	17.3	14.1	11.4	15.4	15.3	12.0	8.9	12.6	13.8	11.4	13.5°	26.0°
	SD	9.0	7.7	5.8	8.0	4.9	5.0	2.8	5.5	7.4	2.5	6.8°	7.1°
	N	8	15	9	21	8	10	10	12	8	3	104	22

R : 右回転, L : 左回転, R + L : 右左回転合わせて
M : 平均値 (°), SD : 標準偏差 (°), N : 例数

右回転合わせると 104 偏位で、各角速度平均 $8.9^{\circ}\sim 17.3^{\circ}$ となり総平均 $13.5^{\circ}\pm 6.8^{\circ}$ であった。高速回転の方が軽度大きい偏位を示すも極端な差はなく、低速度でも 10° 以上の大きさの偏位を示した (表 2)。

b) 捻転：右捻転で 11 名に偏位あり平均 $24.6^{\circ}\pm 5.4^{\circ}$ ($17^{\circ}\sim 32^{\circ}$)、左捻転ではやはり 11 名に偏位あり平均 $27.5^{\circ}\pm 8.5^{\circ}$ ($16^{\circ}\sim 41^{\circ}$) であった。左右での有意差は認めず、計 22 捻転で $26.0^{\circ}\pm 7.1^{\circ}$ となった (表 2)。

c) 両者の比較 (表 2)。

左右合わせた回転と捻転の平均偏位角は t 検定で $P < 0.001$ と有意に捻転の方が大きく偏位する事が判った。

3) 捻転での捻転角度による偏位への影響。

a) 偏位率への影響：表 3 に示す通りで捻転角 50° と 70° で 40%、25% と低い可他は 50% $\sim$ 66.7% と捻転角度による差はあまり認めず、小さい捻転角でも 60% の偏位率を示す事が判った。

b) 偏位角への影響：左右捻転合わせた各捻転角度での平均値と標準偏差を図 3 に示す。平均値は $17.9^{\circ}\sim 30^{\circ}$ で、捻転角 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ では偏位角は 20° 前後とはぼ一定、 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ では 30° 、 28° の偏位角を示した。

c) 正面位より左右へ 10° 、 20° 、 30° きざみに捻転していくと表 4 にみる様に、その偏位角の平均値は 20° 前

表 3：頭部捻転角度による偏位率への影響

捻転角	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
偏位率	58.3%	58.3%	50%	66.7%	40%	50%	25%	50%

図 3：捻転角度による偏位角への影響
縦軸：眼球偏位角 横軸：頭部捻転角
□：平均値と標準偏差 (右捻転+左捻転)

表 4：正面位より左右へ 10° きざみ、 20° きざみ、 30° きざみに捻転した際の眼球偏位角の平均値と標準偏差

捻転角度		偏位角度	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
R + L	10°	M	21.2°	16.3°	17.5°	19.1°	20.8°	16.3°	24.7°	19°	10.4°
		S D	8.3	7.9	3.7	13.4	11.6	6.8	6.5	2.8	—
	20°	M		17.9°		21.6°		17.2°		21°	
		S D		7.1		9.4		4.6		—	
	30°	M			22.5°			20.4°			33°
		S D			7.9			6.0			—

M：平均値， S D：標準偏差， R + L：左右捻転合わせて

後と一定の偏位角を示した。

考 按

閉眼下に起こる頭部捻転時の捻転方向への反射的な一過性眼球偏位につき、その生理的意義を頭部捻転による側方注視運動の発火としてとらえ^{7,9)}、Bizzi等²⁾の猿の実験での predictive mode と同様な眼運動であろうとした。そしてこれまでの臨床データおよび実験^{7,8)}より半規管系はこの偏位を抑制こそすれ引き金とはならず、その入力部の検討が必要となった。

前回の検討⁸⁾で頸部に捻転を加えない軀幹ごとの回転(回転)でも偏位がみられる事が判ったが、頸捻転を加えた頭部のみの捻転(捻転)の方が偏位を認めやすい印象があり、今回この両者の比較検討を行った。その結果、捻転の方が高率にしかも約2倍と大きく偏位する事が判り、この偏位には頸部からの入力がかかなり大きい役割を演じている事が判った。Takemori¹⁰⁾は頭部を固定し軀幹のみを回転させ頸部に捻転を加え眼偏位を観察し、閉眼で最もよく偏位が起こり、その方向は50%が軀幹の捻れと反対方向、即ち相対的に頭部捻転方向と一致したと述べ、その偏位の大きさは約6°と非常に小さい値を示した。この実験では少なからず体部の深部受容器も関与していると思えるが、主には頸-眼反射(COR)であるとする、CORの偏位方向は頭部捻転時とはほぼ一致するが、偏位自体はより認めにくく小さいと思えた。Barlow等¹⁾もほぼ同様な実験を行い、CORは頸の動きより小さく、これは網膜上のimage stabilizationに役立っているとした。我々の研究での偏位は頭部捻転角度が10°と小さくても60%の偏位率と20°前後の偏位角を呈し、CORに比較して異常に大きく、image stabilizationとしてはかえって不都合と思え、また偏位率は少く、偏位角も小さいが回転でも10°以上の大きさを示す全く同様な偏位を認める事からも、CORとは違う眼球偏位で、前述した様に側方注視機構の発火ととらえる方がよいと考えた。藤代⁵⁾も頭部能動回転時に振巾の大きい回転方向へのSaccadeを認め、これを視線方向を急速に頭部回転方向へ変化させる中枢性機序によるとした。

Doerr等⁴⁾はCORのみよりも頭部を含んだ捻転が大きい偏位を示す事は単純にVORのsaccadeとCORのsaccadeの中枢での加算のためとした。しかし我々の検討では、①両側内耳温度反応欠除例でも正常者と同じ偏位を示す⁷⁾。②前屈30°ではかえって偏位しにくくなる⁸⁾。③回転ではVOR 44.5%もみられるのに比し捻転では9.4%と極端に少くなる。④sVOR+Saccadeが回転では7.5%のみだが、捻転では21.9%にみられる。等よりこの偏位はVORと拮抗し、捻転では頸部からの入力によりVORがおさえられ偏位もしくはsVOR

+Saccadeを示すと考えられ、半規管由来のVORのsaccadeとも全く別の偏位と考えた。

前田⁹⁾によるとCORの経路は頸椎C₂-C₈の関節靱帯より入力が入り同側脊髓を上行し脳幹で交叉、対側の前庭核に入り、ひとつは同側の外転神経核を興奮させ、他方は対側の外転神経核を抑制する支配をし、頭部を固定し軀幹を右へ回転させると右の関節靱帯の伸張で眼球は左へ偏位するとした。しかしこれでは「一過性」である事の説明がつかないし、またCORとは異なる偏位と思えるので前庭核を介するCORとは別の経路と思える。即ちこの反射的偏位はあくまでも側方に視線を移す系のものであり、側方注視の際の眼球の先行性偏位とそれに続く頭の回転と代償性眼運動のプログラムが中枢で出来あがっている事がまず第一条件で、このプログラムが閉眼下では頭部の捻転およびその方向を中枢で察知すると即座に側方注視中枢まで発火し偏位を起こすものであろう。そしてこの頭部捻転覚の受容は個人差があり、回転だけでも充分に入力刺激(主には軀幹の深部受容器や知覚からか)となる被検者も認めるが、最も強く入力するのが頸捻転を加えた頭部のみの捻転であり、Bles等³⁾も頭部運動としては頸部からのillusionが最も強いとし、gaze shiftは主に頸部より決定されるとした。

頭部の回転覚には頸部の深部受容器からの入力のみでなく、耳石系や受動的には手で支えた部分の知覚等も関与すると思え、また能動的にはもっと直接的に大脳皮質での頭部運動の命令が関与していると推測される。そしてこの頭部回転覚の中枢での察知程度で、偏位、偏位+VOR、sVOR+Saccade、VOR、NS等の違いが出て来ると考える。これはこの反射に脳幹での網様体系が関与している可能性を示唆する。さらに耳石系のみの刺激時の眼運動や頭部運動と眼偏位の潜時等の詳しい検討が必要であらう。

ま と め

頭部と軀幹を一緒に回転させた時と頭部のみを捻転させた時の眼偏位(閉眼下)の違いにつき検討し、頭部のみの捻転が最も偏位を示しやすくしかも大きい偏位角を示し、10°位の小さい頭部捻転でも20°以上の偏位を認めた。この事からこの捻転方向への一過性眼球偏位は主に頸部からの入力により側方注視中枢の発火が起こるためとし、VORとは拮抗するもので、本来のCORとも違う偏位と考えた。しかし頭部回転覚には頸部のみでなく耳石系の関与も考えられさらに検討の要がある。

文 献

- 1) Barlow D, Freedman W: Cervico-ocular reflex in the normal adult. Acta Otolaryngol 89; 487-496, 1980

- 2) Bizzi E, Kalil RE, Morasso P: Two modes of active eye-head coordination in monkey. *Brain Res* 40; 45-48, 1972
- 3) Bles W, DeJong JMBV: Cervico-vestibular and visuo-vestibular interactions: self-motion perception, nystagmus and gaze shift. *Acta Otolaryngol* 94; 61-72, 1984
- 4) Doerr M, Hong SH, Thoden U: Eye movement during active head turning with different vestibular and cervical input. *Acta Otolaryngol* 98; 14-20, 1984
- 5) 藤代武久: 受動回転と能動回転における代償眼球運動および固視機能の比較. *耳鼻* 28; 479-489, 1982
- 6) 前田 稔: The cervico-ocular reflex のニューロン機構. *神経進歩* 18; 710-720, 1974
- 7) 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
- 8) 中島成人・中田考重: 閉眼下左右頭位変換時の一過性眼球偏位の分析 一軀幹全体の回転. *Equilibrium Res* 44; 319-324, 1985
- 9) Stroud MH, Burde, RM: Eye-head coordination: an observation. *Ann Otol* 86; 94-96, 1977
- 10) Takemori S, Suzuki JI: Eye deviation from neck torsion in humans. *Ann Otol* 80; 439-444, 1973

Abstract

Transient ocular deviations with eyes closed during head turning were compared with those during rotation of head and trunk together. These deviations were more frequent(68.7%) and larger($26.7^{\circ} \pm 7.1^{\circ}$) during head turning than during trunk rotation (19.6%, $13.5^{\circ} \pm 6.8^{\circ}$). Moreover, eye shifts of more than 20° were seen during small degrees of head turning(10°). These results indicate that transient ocular deviation in the same direction as head turning is not cervico-ocular reflex but saccadic movement related to eye-head coordination which is elicited against VOR mainly by the input from neck proprioceptors and activation of the lateral gaze center while the eyes are closed.

(原稿到着: 昭和60年10月4日
別刷請求先: 中島成人
〒852 長崎市坂本町7-1
長崎大学医学部耳鼻咽喉科学教室)