迷路性固視機能検査法に関する研究 —迷路障害例の検討—

大野 通敏¹⁾・時田 喬²⁾・柴田 康成²⁾・大川 剛²⁾・宮田 英雄³⁾

Active Head Oscillation Vestibular Testing in Patients with Vestibular Disorders

Michitoshi Ohno¹⁾, Takashi Tokita²⁾, Yasunari Shibata²⁾
Tsuyoshi Ohkawa²⁾, Hideo Miyata³⁾

¹⁾ *Department of Otorhinolaryngology, Hashima Municipal Hospital*

²⁾ *Department of Otorhinolaryngology, Gifu Municipal Hospital*

³⁾ *Department of Otorhinolaryngology, Gifu University School of Medicine*

This study investigated the visual-vestibuloocular reflex in patients with vestibular disorders.

Head and eye movements during active horizontal head oscillations were recorded using apparatus for examining the vestibuloocular system. Transfer function of the oculomotor system was calculated using head movement as the input and eye movement as the output.

The examination was performed under the following 2 conditions: a) visual fixation on a fixed target in a lighted room (test for visual-vestibuloocular reflex, VVOR), and b) image fixation on a fixed target in the dark (test for vestibuloocular reflex, VOR).

The data obtained were compared with previously reported reference intervals.

Two patients with bilateral vestibular disorders and fifteen patients with unilateral vestibular disorders were examined.

Results

1) bilateral vestibular disorders:

On VVOR test, the breakpoint frequencies of the gain were lower than the reference intervals.

On VOR test, the gains at 0.1 Hz were lower than the reference intervals, the slopes of the gain enhancement were not linear.

2) unilateral vestibular disorders:

On VVOR test, the breakpoint frequencies of the gain were lower than the reference intervals in 75% of patients that were examined within two months after onset, 55% of patients that were examined two or more months after onset.

On VOR test, the gains at 0.1 Hz were lower than the reference intervals in 75% of patients examined within two months, and in 64% of those examined after two or more months, the slopes of the gain enhancement were not linear in 100% of patients examined within two months, and in 73% of those examined after two or more months.

Key words: visual-vestibuloocular reflex, vestibuloocular reflex, vestibular disorders, transfer function

¹⁾ 羽島市民病院耳鼻咽喉科 ²⁾ 岐阜市民病院耳鼻咽喉科 ³⁾ 岐阜大学医学部耳鼻咽喉科学教室

緒 言

迷路性眼反射を検査する目的で、振子様回転迷路刺激を加え、頭部・眼球運動を記録し、伝達関数を計算する方法は、外国では Meiry¹⁾, Wall²⁾, Tomlinson³⁾, Hydén⁴⁾, Istl⁵⁾, Larsby⁶⁾ などの、本邦では時田^{7)~9)}, 正木¹⁰⁾, 野上¹¹⁾, 浅井¹²⁾, 柴田¹³⁾ などの報告がある。しかし、装置が高価であったり、検査が煩雑であったりして、臨床に広く用いられることはなかった。我々は日常臨床で簡易に行うことを目的として、地磁気センサを用いた迷路性固視機能検査を開発¹⁴⁾ し、臨床例と比較するための基準範囲を報告¹⁵⁾ した。本報告では、同じ方法を用いて迷路障害例を検査した結果を述べる。

検査方法

1. 検査装置とその使用条件

時田¹⁴⁾ が報告した固視機能検査装置を用いた。頭部運動を地磁気センサ、眼球運動を眼振電図の手法で捉え、パソコンに入力し、頭部運動と眼球運動と両者の加算波形を表示するとともに、頭部運動を入力、眼球運動を出力とした伝達関数を計算し、ボード線図として表示した。サンプリング周波数は 20 Hz (間隔 50 msec), サンプリング時間は 60 秒であり、ボード線図の表示は周波数範囲が 0.1-10 Hz, ステップが 0.1 Hz である。時定数は頭部運動と眼球運動は同じで、1 秒または 3 秒を用いた。

2. 検査事項

1) 観察事項

a) 視標固視頭振り検査 (視性迷路性眼運動系の検査)

被験者に眼前 1 m の視標を固視して自動的に水平頭振りを行わせた。頭振りは徐々に速く振り、出来るだけ速く振った後、徐々に遅く振り、0.3 Hz まで振った。測定の前に振幅が $\pm 10^\circ$ 以下となるように被験者に練習させた。ただし $\pm 20^\circ$ 以内であれば、 $\pm 10^\circ$ を越えても、記録には支障ない。

この検査により得られたボード線図より、次の項目を求めた。

① 利得の折点周波数¹⁶⁾ (Hz)

利得が平坦なところから連続的に ± 3 dB 変化する周波数である。

② 位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲 (Hz)

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査 (迷路性眼運動系の検査)

被験者に暗所開眼で視標をイメージして水平頭振りを行わせた。この検査より得られたボード線図より、次の項目を求めた。

① 0.1 Hz における利得 (dB)

② 周波数の増加に伴う利得の増加が直線的かどうか。直線の場合は次の項目も求めた。

- ・利得が直線的に増加する周波数範囲 (Hz)
- ・利得増加の傾斜 (dB/decade)
- ・直線的に増加する最大周波数の利得 (dB)

③ 位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲 (Hz)

但し、一度 $180^\circ \pm 10^\circ$ からはずれたら、それより高い周波数で $180^\circ \pm 10^\circ$ に戻っても、それは含めない。

2) 評価方法

前述の項目を測定し、以前報告¹⁵⁾ した基準範囲 (平均 ± 2 SD) と比較した。基準範囲は次のとおりである。

a) 視標固視頭振り検査

① 利得の折点周波数: 2.3~4.3 Hz

② 位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲: 下限の値が 0.1~0.4 Hz, 上限の値が 0.5~1.3 Hz。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

① 0.1 Hz における利得: -9~-1 dB

② 周波数の増加に伴う利得の増加が直線的。

・利得が直線的に増加する周波数範囲: 下限の値が 0.1~0.4 Hz, 上限の値が 2.0~3.6 Hz。

・利得増加の傾斜: 2~10 dB/decade

・直線的に増加する最大周波数の利得: 0~4 dB

③ 位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲: 下限の値が 0.1~0.3 Hz, 上限の値が 0.4~1.2 Hz。

被 験 者

1. 両側迷路障害例

表 1 に示した 2 名である。

2. 一側迷路障害例

表 2 に示した 15 名である。年齢, 診断名, 検査時期, 温度刺激検査は表の如くである。

成 績

1. 両側迷路障害例

表 1 の症例 1, 2 である。

1) 検査成績

症例 1 のボード線図 (図 1), 及び測定結果 (表

表1 被験者（両側迷路障害例）

症 例	略 名	年 齢	性 別	診 断 名	発症より記録 までの期間	検 査 の 年・月・日	jumbling の有無	30℃ 熱				44℃ 熱				刺 激 検 査				判 定
								右	左	右	左	右	左	右	左					
1	S.T	62	男	ストマイ 中毒	3 5 年	H5. 1. 26	無	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	両側CP 100%(喪失)		
2	S.I	43	男	慢性腎不全による 内耳障害の疑い	不明	H5. 7. 6	無	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	反応 なし	両側CP 100%(喪失)		

表2 被験者（一側迷路障害例）

症 例	略 名	年 齢	性 別	診断名	聴覚障害 までの期間	検査の 年・月・日	jumbling の有無	30℃ 温度刺激検査				判定		
								右	左	右	左			
3	I.E	54	女	左前庭神経炎	①5ヵ月 ②1年	H5.2.17 H5.9.10	無	70	聴 こ え	45	聴 こ え	／	聴 こ え	左CP 100%(喪失) 左DP 7%
4	K.I	37	女	左突発性難聴	①3ヵ月 ②10ヵ月	H5.2.10 H5.9.28	無	35	聴 こ え	55	聴 こ え	／	聴 こ え	左CP 100%(喪失) 左DP 22%
5	M.N	30	女	右メニール病の疑い	10年	H5.2.16	無	聴 こ え	35	聴 こ え	40	／	／	右CP 100%(喪失) 左DP 25%
6	I.K	13	女	右進行性難聴(全聾)	9ヵ月以上	H5.4.13	無	／	30	／	50	／	／	右CP 100%(喪失) 右DP 22%
7	K.H	39	女	右前庭神経炎	10ヵ月	H5.2.9	無	／	55	／	／	40	／	右CP 100%
8	K.A	33	女	右メニール病	7年	H5.4.16	無	／	20	／	／	35	／	右CP 100%
9	N.S	24	女	左進行性感音難聴	1年6ヵ月	H5.2.10	無	45	／	45	／	／	10	左CP 100% DP 0%
10	T.I	28	女	左前庭神経炎	20日	H5.6.3	無	45	／	35	／	／	75	左CP 100% 左DP 13%
11	S.S	43	男	左突発性難聴	2ヵ月	H5.10.5	無	55	／	80	／	／	40	左CP 100% 右DP 19%
12	M.O	24	女	右前庭神経炎	24日	H5.5.10	有	25	85	／	70	／	／	右CP 72% 左DP 6%
13	S.O	55	女	左前庭型メニール病	2年	H5.6.17	無	80	55	55	35	／	／	左CP 20% 左DP 2%
14	K.B	69	男	左メニール病	1年10ヵ月	H5.7.6	無	60	／	／	40	／	／	左CP 20% 左DP 100%
15	T.N	52	女	左内耳循環不全	12年	H5.6.4	無	／	85	165	／	／	／	左CP 32% 右DP 100%
16	T.O	49	女	左内耳性めまい	1年6ヵ月	H5.6.3	無	175	55	90	175	／	／	左CP 9% 左DP 40%
17	M.I	64	男	左内耳循環不全	20日	H5.7.22	無	70	30	15	45	／	／	左CP 6% 左DP 44%

3) について述べる。

a) 視標固視頭振り検査（視性迷路性眼運動系の検査）

図1の上図において、利得の折点周波数は1.9 Hz であり、基準範囲に比べ、低下している。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は0.1~2.1 Hz である。基準範囲と比べ、下限の値は範囲内で、上限の値は高い。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査（迷路性眼運動系の検査）

図1の下図において、0.1 Hz における利得は -20 dB であり、基準範囲に比べ、小さい。0.1 Hz から 0.6 Hz にかけて利得増加の傾斜は 3 dB/dec であり、0.6 Hz での利得は -18 dB である。利得増加の傾斜は基準範囲の範囲内であるが、その下限に近い。0.6 Hz を越えると、2 Hz まで

図 1 症例 1 のボード線図
上図において、利得の折点周波数は 1.9 Hz (矢印) である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.1~2.1 Hz (矢印) である。
下図において、0.1 Hz における利得は -20 dB であり、0.1 Hz から 0.6 Hz にかけて利得増加の傾斜は 3 dB/dec であり、0.6 Hz を越えると、2 Hz まで利得増加の傾斜は 29 dB/dec であり、周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.7 (矢印)~1.8 Hz (矢印) である。

表 3 成績 (両側迷路障害例)

被 験 者	年 齢	視標固視頭振り (視性迷路性眼運動系)		暗所閉眼視標イメージ頭振り (迷路性眼運動系)					
		利得	位相	利 得					位相
		折点周波数 Hz	$180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲 Hz	0.1Hz の利得 dB	周波数増加に伴う直線的利得増加の有無	直線的に増加する 周波数範囲※ Hz	増加の傾斜 ※ dB/dec	直線的に増加する 最大周波数の利得 dB ※	$180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲 Hz
1	S.T	62	0.1~2.1	-20	無	(0.1~0.6	3	-18)	0.7~1.8
2	S.I	43	2.7	0.4~2.0	-5	無	(0.1~0.7	-1 -7)	0.1~1.7

利得の項目の■がある数値は基準範囲より低いことを示す。

※健常者のような周波数増加に伴う直線的な利得の増加が認められない場合にも、利得の値の変化を示すため、0.1Hzから直線的な部分を記載した。

利得増加の傾斜は 29 dB/dec であり、2 Hz での利得は -5 dB である。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相は 0.1~0.6 Hz の間では $120^{\circ} \sim 155^{\circ}$ 、0.7~1.8 Hz の間では $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ である。位相は基準範囲に比べ、下限と上限の値が高い。

症例 2 の測定結果は表 3 に示した。

- 2) 両側迷路障害例の 2 名のまとめ
- a) 視標固視頭振り検査
- ①利得の折点周波数は基準範囲に比べ、1 名が低下し、1 名が範囲内であった。
- ②位相は基準範囲と比べ、下限の値が範囲内、上限の値が高かった。
- b) 暗所閉眼視標イメージ頭振り検査

図2 症例12のボード線図

上図において、利得の折点周波数は0.7 Hz (矢印)である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は0.1~0.9 Hz (矢印)である。

下図において、0.1 Hzにおける利得は-15 dBである。0.1 Hzから0.5 Hzにかけて利得は-14~-15 dBであり、0.5 Hzを越える周波数では、増加や減少を繰り返し、周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は0.6 (矢印)~0.7 Hz (矢印)である。

① 0.1 Hzにおける利得は基準範囲に比べ、1名が低下し、1名が範囲内であった。

② 周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でなかった。

③ 位相は基準範囲と比べ、下限の値が1名が範囲内、1名が高く、上限の値が高かった。

2. 一側迷路障害例

1) 発症2カ月以内の症例

表2の症例10, 11, 12, 17の4名である。

(1) 検査成績

症例12のボード線図(図2), 及び測定結果(表4)について述べる。

a) 視標固視頭振り検査

図2の上図において、利得の折点周波数は0.7 Hzで、基準範囲に比べ、低下している。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は0.1~0.9 Hzであり、下限の値、上限の値とも基準範囲の範囲内である。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

図2の下図において、0.1 Hzにおける利得は-15 dBであり、基準範囲に比べ小さい。0.1 Hzから0.5 Hzにかけて利得は-14~-15 dBである。0.5 Hzを越える周波数では、増加や減少を

繰り返している。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相は0.1 Hzから0.5 Hzにかけて $68^{\circ} \sim 158^{\circ}$ であり、0.5 Hzを越えると、0.6~0.7 Hzの範囲で $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ である。位相は基準範囲に比べ、下限の値は高く、上限の値は範囲内である。

症例10, 11, 17の測定結果は表4に示した。

(2) 発症2カ月以内の症例のまとめ

a) 視標固視頭振り検査

① 利得の折点周波数は基準範囲に比べ、4名中3名(75%)が低下していた。

② 位相は基準範囲に比べ、下限の値は4名中4名(100%)が範囲内であり、上限の値は1名(25%)が範囲内、3名(75%)が高かった。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

① 0.1 Hzにおける利得は基準範囲に比べ、4名中3名(75%)が低かった。

② 周波数の増加に伴う利得の増加は4名中4名(100%)が直線的でなかった。

③ 位相は基準範囲に比べ、下限の値は4名中4名(100%)が高く、上限の値は1名(25%)が範囲内、3名(75%)が高かった。

表 4 成績 (一側迷路障害例)

被 験 者	年 齢	視標固視頭振り (視性遊性眼運動系)		暗所開眼視標イメージ頭振り (迷路性眼運動系)					
		利得	位相	利得				位相	
		折点周波数 Hz	180°±10° の周波数範囲 Hz	0.1Hz の利得 dB	周波数増加に 伴う直線的利得 増加の有無	直線的に増加する 周波数範囲※ Hz	増加の傾斜 ※ dB/dec	直線的に増加する 最大周波数の利得 dB ※	180°±10° の周波数範囲 Hz
3	I.E	54	① 2.2 ② 3.2	0.3~1.1 0.5~2.3	-8 有	0.1~3.3 0.1~2.6	4 7	4 1	0.1~0.7 0.4~1.3
4	K.I	37	① 1.4 ② 2.8	0.3~2.5 0.5~2.4	有 有	0.1~5.0 0.3~3.2	8 15	0 2	0.1~0.6 0.1~0.7
5	M.N	30	3.4	0.3~1.6	-6 無	(0.1~0.7	11	2)	0.1~0.4
6	I.K	13	1.3	0.1~0.6	有 無	(0.1~0.3	11	-9)	1.3~1.6
7	K.H	39	1.2	0.1~0.6	+2 無	(0.1~0.2	0	2)	0.7~1.3
8	K.A	33	1.3	0.2~1.0	有 無	(0.1~1.2	-1	-12)	0.7~0.9
9	N.S	24	3.1	0.1~1.1	有 無	(0.1~0.3	-1	-11)	0.6~0.7
10	T.I	28	2.1	0.3~2.3	有 無	(0.1~0.5	11	-2)	0.5~2.6
11	S.S	43	2.1	0.3~2.0	-1 無	(0.1~0.5	-4	-4)	0.5~1.7
12	M.O	24	0.7	0.1~0.9	有 無	(0.1~0.5	0	-15)	0.6~0.7
13	S.O	55	3.8	0.2~1.4	有 無	(0.1~0.5	9	-3)	2.6~2.8
14	K.B	69	2.8	0.4~1.8	有 無	(0.1~0.5	15	-2)	0.7~1.8
15	T.N	52	1.3	0.3~1.6	-7 無	(0.1~0.5	-9	-13)	0.9~1.4
16	T.O	49	3.2	0.3~0.9	有 有	0.1~2.5	17	3	1.3~3.9
17	M.I	64	3.6	0.1~2.2	有 無	(0.1~0.4	19	-17)	1.4~1.6

利得の項目の■がある数値は基準範囲より低いことを示す。

※健康者のような周波数増加に伴う直線的な利得の増加が認められない場合にも、利得の値の変化を示すため、0.1Hzから直線的な部分を記載した。

2) 発症2カ月以降の症例

表2の症例3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16の11名である。

(1) 検査成績

症例3の発症5カ月目のボード線図(図3)及び測定結果(表4)について述べる。

a) 視標固視頭振り検査

図3の上図において、利得の折点周波数は2.2 Hzで、基準範囲に比べ、低下している。位相が180°±10°の周波数範囲は0.3~1.1 Hzであり、上限の値、下限の値とも基準範囲の範囲内である。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

図3の下図において、0.1 Hzにおける利得は-8 dBで、基準範囲の範囲内である。周波数の増加に伴う直線的な利得の増加を示す周波数範囲

は0.1~3.3 Hzで、下限の値、上限の値とも基準範囲の範囲内である。利得増加の傾斜は4 dB/decであり、基準範囲の範囲内である。直線的に増加する最大周波数である3.3 Hzの利得は-1 dBであり、基準範囲に比べ、小さい。位相が180°±10°の周波数範囲は0.1~0.7 Hzであり、上限の値、下限の値とも基準範囲の範囲内である。

症例3以外の10名の測定結果は表4に示した。

(2) 発症2カ月以降の症例のまとめ

a) 視標固視頭振り検査

①利得の折点周波数は基準範囲に比べ、11名中6名(55%)が低下していた。

②位相は基準範囲に比べ、下限の値は11名中11名(100%)が範囲内であり、上限の値は4名

図3 症例3のボード線図

上図において、利得の折点周波数は 2.2 Hz (矢印) である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.3 (矢印) ~ 1.1 Hz (矢印) である。

下図において、0.1 Hz における利得は -8 dB である。周波数の増加に伴う直線的な利得の増加を示す周波数範囲は 0.1 ~ 3.3 Hz で、利得増加の傾斜は 4 dB/dec であり、直線的に増加する最大周波数である 3.3 Hz の利得は -1 dB である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.1 ~ 0.7 Hz (矢印) である。

図4 症例4の発症3カ月目のボード線図

上図において、利得の折点周波数は 1.6 Hz (矢印) である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.3 (矢印) ~ 2.5 Hz (矢印) である。

下図において、0.1 Hz における利得は -12 dB である。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的で、その周波数範囲は 0.1 ~ 5.0 Hz で、利得増加の傾斜は 8 dB/dec であり、直線的に増加する最大周波数である 5.0 Hz の利得は 0 dB である。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.1 ~ 0.6 Hz (矢印) である。

(36%) が範囲内で、7名(64%)が高かった。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

① 0.1 Hz における利得は基準範囲に比べ、11名中7名(64%)が低かった。

② 周波数の増加に伴う利得の増加は11名中8名(73%)が直線的でなかった。

③ 位相は基準範囲に比べ、下限の値は11名中3名(27%)が範囲内で、11名中8名(73%)が高く、上限の値は5名(45%)が範囲内で、6名(55%)が高かった。

3) 同一症例の経過観察

表2の症例3, 4の2名である。

(1) 検査成績

症例4のボード線図(図4, 5), 及び測定結果(表4)について述べる。

i) 発症3カ月目の検査

a) 視標固視頭振り検査

図4の上図において、利得の折点周波数は 1.6 Hz で、基準範囲に比べ、低下している。位相が $180^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の周波数範囲は 0.3 ~ 2.5 Hz であり、基準範囲に比べ、下限の値は範囲内で、上限の値は高い。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

図4の下図において、0.1 Hz における利得は -12 dB で、基準範囲に比べ低い。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的で、その周波数範囲は 0.1 ~ 5.0 Hz で、基準範囲に比べ、下限の値は範囲内で、上限の値は高い。利得増加の傾斜は 8 dB/dec であり、基準範囲の範囲内である。直線的に増加する最大周波数である 5.0 Hz の利得は 0

図5 症例4の発症10カ月目のボード線図

上図において、利得の折点周波数は 2.8 Hz (矢印) である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.5 (矢印) ~ 2.4 Hz (矢印) である。

下図において、0.1 Hz における利得は -15 dB である。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的であり、その周波数範囲は 0.3 ~ 3.2 Hz で、利得増加の傾斜は 15 dB/dec であり、直線的に増加する最大周波数である 3.2 Hz の利得は 2 dB である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.1 ~ 0.7 Hz (矢印) である。

dB であり、基準範囲の範囲内である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.1 ~ 0.6 Hz であり、下限の値、上限の値とも基準範囲の範囲内である。

ii) 発症10カ月目の検査

a) 視標固視頭振り検査

図5の上図において、利得の折点周波数は 2.8 Hz で、基準範囲の範囲である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.5 ~ 2.4 Hz であり、基準範囲に比べ、下限の値、上限の値とも高い。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

図5の下図において、0.1 Hz における利得は -15 dB で、基準範囲に比べ低い。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的であり、その周波数範囲は 0.3 ~ 3.2 Hz で、下限の値、上限の値とも基準範囲の範囲内である。利得増加の傾斜は 15

dB/dec であり、基準範囲に比べ高い。直線的に増加する最大周波数である 3.2 Hz の利得は 2 dB であり、基準範囲の範囲内である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.1 ~ 0.7 Hz であり、下限の値、上限の値とも基準範囲の範囲内である。

症例3の測定結果は表4に示した。

(2) 同一症例の経過観察のまとめ

a) 視標固視頭振り検査

①利得の折点周波数は基準範囲に比べ、初回には2名とも低下していたが、2回目には2名とも範囲内であった。

②位相は基準範囲に比べ、下限の値は初回には2名とも範囲内、2回目には高かった。上限の値は初回には1名が範囲内、1名が高く、2回目には2名とも高かった。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

①0.1 Hz における利得は基準範囲に比べ、初回には1名が低下し、1名が範囲内であり、2回目には2名とも低下していた。

②周波数の増加に伴う利得の増加は初回、2回目とも、2名が直線的であった。

③位相は基準範囲に比べ、下限の値は初回には2名とも範囲内、2回目には1名が範囲内、1名が高く、上限の値は初回には2名とも範囲内、2回目には1名が範囲内、1名が高かった。

4) 眼振方向優位性 (DP) 症例

表2の症例14~17の4名である。

(1) 検査成績

症例17のボード線図(図6)、及び測定結果(表4)について述べる。

a) 視標固視頭振り検査

図6の上図において、利得の折点周波数は 3.6 Hz で、基準範囲の範囲内である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.1 ~ 2.2 Hz であり、基準範囲に比べ、下限の値は範囲内、上限の値は高い。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

図6の下図において、0.1 Hz における利得は -26 dB であり、基準範囲に比べ小さい。0.1 Hz から 0.4 Hz にかけて、利得は周波数の増加に伴い直線的に増加し、その利得増加の傾斜は 19 dB/dec である。0.4 Hz を越える周波数では、増加と減少を繰り返している。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相は 0.1 ~ 0.4 Hz の範囲で、 $85^\circ \sim 115^\circ$ であり、0.4 Hz を越える

図6 症例17のボード線図

上図において、利得の折点周波数は 3.6 Hz (矢印) である。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 0.1~2.2 Hz (矢印) である。下図において、0.1 Hz における利得は -26 dB である。0.1 Hz から 0.4 Hz にかけて、利得増加の傾斜は 19 dB/dec であり、0.4 Hz を越える周波数では、増加と減少を繰り返す。周波数の増加に伴う利得の増加は直線的でない。位相が $180^\circ \pm 10^\circ$ の周波数範囲は 1.4 (矢印)~1.6 Hz (矢印) である。

周波数では、1.4~1.6 Hz の範囲で $180^\circ \pm 10^\circ$ である。位相は基準範囲に比べ、下限の値、上限の値とも高い。

症例14, 15, 16の測定結果は表4に示した。

(2) DP 症例のまとめ

a) 視標固視頭振り検査

①利得の折点周波数は基準範囲に比べ、4名中1名(25%)が低下していた。

②位相は基準範囲に比べ、下限の値は4名中4名(100%)が範囲内で、上限の値は1名(25%)が範囲内で、3名(75%)が高かった。

b) 暗所開眼視標イメージ頭振り検査

①0.1 Hz における利得は基準範囲に比べ、4名中3名(75%)が低かった。

②周波数の増加に伴う利得の増加は4名中3名(75%)が直線的でなかった。

③位相は基準範囲に比べ、下限の値は4名中4名(100%)が高く、上限の値は4名中4名(100%)が高かった。

考 察

1. 歴史的背景

迷路性眼運動系を周波数応答や伝達関数で検査する試みとして1960年代に Young ら¹⁷⁾, 1970年代に Meiry ら¹⁾, Niven ら¹⁸⁾, Wolfe ら¹⁹⁾ の報告がある。

最近では大きく2つの流れに分けられる。1つは sinusoidal harmonic acceleration (SHA) test, もう1つは active head rotation (AHR) test である。SHA test は回転椅子を用いて、一点固視ができないような大きな振幅で振り様回転を行う検査である。Wolfe ら¹⁹⁾ が報告し、Wall and Black ら²⁾ もランダムな周波数刺激を用いて報告した。装置として Contraves 製の回転椅子が市販された。AHR test は一点固視ができる振幅で、自動的に頭を振る検査である。O'leary ら²⁰⁾, Pulec ら²¹⁾, Henry ら²²⁾ などの報告がある。装置として Western Systems Research 製装置 VAT と Micromedical Technologies 製装置 VORTEQ が市販されている。

我々は正木¹⁰⁾, 浅井¹²⁾, 柴田¹³⁾ の報告にみるように、以前から迷路性眼運動系の伝達関数検査を行ってきたが、検査が煩雑で日常臨床向きでなかった。しかし、時田ら¹⁴⁾ が報告した固視機能検査装置の開発により日常臨床の検査となり、今回の報告が可能となった。この装置の長所は日常生活で受ける周波数範囲を検査できること、高価で大がかりな装置を必要としないことである。

2. 両側迷路障害例の成績

表5に振り様回転 (SHA test と AHR test の両者を含む) を行い、入出力の周波数応答(3つ以上の周波数)または伝達関数を計算して、迷路障害例を検査した報告例を示した。

1) 視標固視振り様回転検査

一点固視、回転椅子で伝達関数を求めたのでは、正木¹⁰⁾, 浅井¹²⁾, 柴田¹³⁾ が 1 Hz 以下の低い周波数で、利得と位相は健常者と同じであるが、1 Hz を越える周波数で、利得が低下したり、位相のずれが大きくなると報告し、Hydén ら²³⁾ が 1 Hz 前後 (0.8~1.2 Hz) を越える周波数で利得が低下すると報告した。一点固視、回転椅子で周波

表5 振子様回転を行い、周波数応答や伝達関数を求めて迷路障害例を検査した報告例

報告者 報告年	回転 方法	検査の 周波数範囲	振幅 または 最大速度	評価方法	互文		余震	
					両側迷路障害例		一側迷路障害例	
					視線固視振子様回転	暗所開眼振子様回転	視線固視振子様回転	暗所開眼振子様回転
Wallら 1978年	回転 椅子	0.02～ 1.67Hz	80°/sec	伝達関数		利得は0.02～0.5Hz で健常者より低下。 位相は一定の応答な し。		利得は0.02Hzで健常 者より低下。位相は 0.02～0.2Hzで健常 者よりずれが小さい
正木 1980年	回転 椅子	0.1～5Hz	±30° 以内	伝達関数	1Hzまで比例制御動 作。(健常者は1.7Hzまで)	利得と位相は一定の 応答なし。	健常者より周波数範 囲が狭いが、1Hz以 上まで比例制御動作。 (健常者は1.7Hzまで)	1.5Hz以下で利得は 周波数の増加に伴い 増加。
藤代 1982年	回転 椅子	0.2, 0.33, 0.67, 0.85 Hz	±20°	周波数 応答	利得は0.33～0.85Hz で健常者より低下。	利得は0.2～0.85Hz で健常者より低下。	利得は健側回転で健 常者と同じ、患側回 転で0.2～0.85Hzで 健常者より低下。	利得は健側回転で0.33～0.85 Hzで健常者より低く、患側回転で 0.2～0.85Hzで健常者より 低く。
高橋ら 1983年	頭振り	0.33, 0.67, 1.0Hz	±20°	周波数 応答	利得は0.67, 1.0Hzで 健常者より低下。	利得は0.33～1.0Hz で健常者より低下。	利得は健側回転で健常者より低下なし。 患側回転で0.67, 1.0Hzで健常 者より低下し、位相は0.33Hzで 健常者より低下。	利得は健側回転で健 常者と同じ、患側回 転で0.33～1.0Hzで健 常者より低下。
Hydénら 1983年	回転 椅子	0.8～3.3Hz (斜位差)	±7.5° 以内	伝達関数	利得は1.2～3.3Hzで健常者より 低下。			
		0.8～3.3Hz (斜位差)	±5° 以内	伝達関数	利得は0.8～3.3Hzで健常者より 低下。			
Istlら 1983年	回転 椅子	0.5, 1.0, 2.0, 3.0Hz	±2.5°	周波数 応答			利得は2.0, 3.0Hzで 健常者より低下。	
		0.3～3.8Hz	±5° 以内	伝達関数			利得は0.3～3.8Hzで 健常者より低下。	
浅井 1984年	回転 椅子	0.1～5Hz	±10° 以内	伝達関数	1Hzまで比例制御動 作。(健常者は3.0Hzまで)	利得と位相は一定の応答なし。	1.8～2.1Hzまで比例 制御動作。(健常者は 3.0Hzまで)	利得は高い周波数で増加傾向。 位相は一定の応答なし。
	頭振り	0.1～5Hz	±10° 以内	伝達関数	1Hzまで比例制御動 作。(健常者は4.0Hzまで)	利得と位相は一定の応答なし。	1.5～1.7Hzまで比例 制御動作。(健常者は 4.0Hzまで)	利得は高い周波数で増加傾向。 位相は一定の応答なし。
Balohら 1984年	回転 椅子	0.0125, 0.05, 0.2, 0.4, 1.5, 2.0Hz	100°/sec (0.0125Hz) 12～20°/sec (2.0Hz)	周波数 応答		利得は0.0125～2.0Hzで健常 者より低下し、周波数の増加に伴い増加 する。位相は0.0125～0.2Hz で健常者よりずれが大き。		利得は0.0125～2.0Hzで周波 数の増加に伴い増加し、0.0125～ 0.05Hzで健常者より低下。位相は 0.0125～0.05Hzで健常者よ りずれが大き。
柴田 1988年	回転 椅子	0.01～3Hz	±10° 以内	伝達関数	約1Hzまで比例制御 動作。(健常者は 2.3Hzまで)	利得は0.01～2Hzで健常者より低 く、利得は高い周波数で増加傾向。 位相は一定の応答なし。	約2Hzまで比例制御 動作。(健常者は 2.3Hzまで)	利得と位相は一定の応答なし。
野上ら 1989年	頭振り	0.33, 0.67, 1.0Hz	±20°	周波数 応答	利得は0.67, 1.0Hzで健常者より 低下。位相は健常者と同じ。	利得は0.33～1.0Hzで健常者より 低下。位相は0.67, 1.0Hz で健常者よりずれが大き。	利得は健側回転で健常者と同じ、患側回 転で0.67, 1.0Hzで健常者より 低下。位相は健常者と同じ。	利得は健側回転で健常者と同じ、患側回 転で0.33～1.0Hzで利得は健常 者より低下し、位相はずれが大き。
Pulecら 1990年	頭振り	2～5.9Hz	±10° 以内	伝達関数	利得は2.0～5.9Hzで、健常者より 低下。位相は2.0～5.9Hzで、 健常者と異なる。			
本報告 1995年	頭振り	0.1～5Hz	±10° 以内	伝達関数	利得の折点周波数が 基準範囲より低下し その周波数は1.9Hz。	0.1Hzにおける利得 が基準範囲より低い。 周波数の増加に伴う 利得の増加が直線的 でない。	利得の折点周波数が 基準範囲より低下。 発症2ヵ月以内で75 %、発症2ヵ月以降 で55%が基準範囲 より低下。	0.1Hzにおける利得が発症2ヵ月以 内で75%、発症2ヵ月以降で64%が 基準範囲より低下。周波数の増加に伴う 利得の増加が発症2ヵ月以内で100% 発症2ヵ月以降で73%が基準範囲より 低下。

数応答を求めたのでは、藤代²⁴⁾ が 0.33～0.85 Hz で利得が健常者より低下すると報告した。一点固視、頭振りで伝達関数を求めたのでは、浅井¹²⁾ が 1 Hz を越える周波数で、利得が低下したり、位相のずれが大きくなると報告し、Pulec²¹⁾ が 2.0～5.9 Hz を検査して、この周波数範囲で利得は健常者より低下し、位相は健常者と異

なると報告した。一点固視、頭振りで周波数応答を求めたのでは、高橋²⁵⁾、野上ら²⁶⁾ が 0.67, 1.0 Hz で、利得が健常者より低下すると報告した。

以上のように 1 Hz までは利得が健常者と同じという報告（正木¹⁰⁾、浅井¹²⁾、柴田¹³⁾、Hydén²³⁾）と、1 Hz 以下の低い周波数で利得が健常者より低下するという報告（藤代²⁴⁾、高橋²⁵⁾、野

上ら²⁶⁾, Hydén ら²³⁾ があった。

我々の一点固視, 頭振りで伝達関数を求めた結果は利得の折点周波数が基準範囲より低下したが, その値は 1.9 Hz であり, 一連の正木¹⁰⁾, 浅井¹²⁾, 柴田¹³⁾ らの成績に比べ利得が低下する周波数が高かった。この理由として我々は頭振りをを用いたので頸性眼運動系の入力に加わっているためと思われる。浅井¹²⁾ は頸捻転のみでは眼球運動を顕現的には示さない頸部自己受容器刺激でも視性・迷路性眼運動系と協同して働く時は速い周波数の頭部運動中の固視機能を向上させると述べている。

2) 暗所開眼振子様回転検査

回転椅子で伝達関数を求めたのでは, 正木¹⁰⁾ (ぼんやり), 浅井¹²⁾ (暗算負荷) が利得と位相は一定の応答なしと報告し, 柴田¹³⁾ (暗算負荷) が 0.01~3 Hz の周波数範囲を検査し, 0.01~2 Hz で利得が低いこと, 高い周波数では低い周波数より利得が増加傾向にあることを報告した。Wall ら²⁾ が回転椅子のランダム刺激にて 0.02~0.5 Hz で利得が健常者より低いことを報告した。回転椅子で周波数応答を求めたのでは, 藤代²⁴⁾ (暗算負荷) が 0.2~0.85 Hz で利得が健常者より低いことを報告し, Baloh ら²⁷⁾ (暗所開眼) が 0.0125~2.0 Hz で利得が健常者より低下し, この周波数範囲において高い周波数では低い周波数より利得が増加すると報告した。頭振りで伝達関数を求めたのでは, 浅井¹²⁾ (暗算負荷) が利得と位相は一定の応答なしと報告した。頭振りで周波数応答を求めたのでは, 高橋²⁵⁾ (暗算負荷) と野上ら²⁶⁾ (暗算負荷) が利得が 0.33~1.0 Hz で健常者より低いことを報告した。

以上のように利得が 1 Hz 以下の低い周波数で健常者より低下する報告が多かった。

我々の結果 (視標イメージ) は 0.1 Hz における利得が基準範囲より低く, 周波数の増加に伴う利得の増加が 0.6 Hz までわずかで, それより高い周波数では利得が増加した。高い周波数での利得増加の理由は眼球の慣性, 温度刺激検査で検出できない迷路機能の遺残による vestibular recruitment などが考えられる。

3. 一側迷路障害例の成績

1) 視標固視振子様回転検査

一点固視, 回転椅子で伝達関数を求めたのでは,

正木¹⁰⁾ が 1 Hz 以上 (1.7 Hz 未満) まで, 浅井¹²⁾ が 1.8~2.1 Hz まで, 柴田¹³⁾ が約 2 Hz まで利得と位相が健常者と同じであると報告した。いずれも両側迷路障害例より高く, 健常者より低い周波数であった。Istl ら⁵⁾ が 0.3~3.8 Hz で利得が健常者より低いことを報告した。一点固視, 回転椅子で周波数応答を求めたのでは, 藤代²⁴⁾ が利得が健側回転では健常者と同じであるが, 患側回転では 0.2~0.85 Hz で健常者より低いことを報告し, Istl ら⁵⁾ が 2.0, 3.0 Hz で利得が健常者より低いことを報告した。一点固視, 頭振りで伝達関数を求めたのでは, 浅井¹²⁾ が 1.5~1.7 Hz まで, 利得と位相が健常者と同じであると報告した。一点固視, 頭振りで周波数応答を求めたのでは, 高橋²⁵⁾ が利得が健側回転では健常者より低下しないが, 患側回転では 0.67, 1.0 Hz と急性期の 0.33 Hz で健常者より低いことを報告し, 野上ら²⁶⁾ が利得が健側回転では健常者と同じであるが, 患側回転では 0.67, 1.0 Hz で健常者より低いことを報告した。

以上のように 1 Hz 以上まで利得が健常者と同じという報告 (正木¹⁰⁾, 浅井¹²⁾, 柴田¹³⁾, Istl ら⁵⁾) と 1 Hz 以下の低い周波数でも利得が健常者より低下する報告 (藤代²⁴⁾, 高橋²⁵⁾, 野上ら²⁶⁾, Istl ら⁵⁾) があった。

我々の結果は利得の折点周波数が基準範囲に比べ, 発症 2 カ月以内で 75%, 発症 2 カ月以降で 55% が低下した。

2) 暗所開眼振子様回転検査

回転椅子で伝達関数を求めたのでは, 正木¹⁰⁾ (ぼんやり), 浅井¹²⁾ (暗算負荷) が高い周波数では低い周波数より利得が増加すると報告し, 柴田¹³⁾ (暗算負荷) が利得と位相は一定の応答なしと報告し, Wall ら²⁾ が回転椅子のランダム刺激にて 0.02 Hz で利得が健常者より低下すると報告した。回転椅子で周波数応答を求めたのでは, 藤代²⁴⁾ (暗算負荷) が利得が患側回転では 0.2~0.85 Hz で健常者より低下し, 健側回転では 0.33~0.85 Hz で健常者より大きいと報告し, Baloh ら²⁷⁾ (暗所開眼) が 0.0125~0.05 Hz で利得が健常者より低下すると報告した。頭振りで伝達関数を求めたのでは, 浅井¹²⁾ (暗算負荷) が高い周波数では低い周波数より利得が増加すると報告した。頭振りで周波数応答を求めたのでは, 高

橋²⁵⁾(暗算負荷), 野上ら²⁶⁾(暗算負荷)が利得が患側回転で0.33~1.0 Hzで健常者より低下し, 健側回転で健常者と同じであると報告した。

以上のように1 Hz以下の低い周波数で利得が健常者より低下するという報告が多かった。

我々の結果(視標イメージ)は0.1 Hzにおける利得が基準範囲に比べ, 発症2カ月以内で75%, 発症2カ月以降で64%が低く, 周波数の増加に伴う利得の増加が発症2カ月以内で100%, 発症2カ月以降で73%が直線的でなかった。

4. 一側迷路障害例の前庭代償について

高橋²⁵⁾は一側迷路障害例の前庭代償を前述の周波数応答検査(0.33, 0.67, 1.0 Hz)で検討し, 視標固視において利得は健側回転では低下なく, 患側回転では発症4日後で各周波数とも著明に低下し, その後徐々に増加するが, 6カ月後でも0.67 Hz, 1.0 Hzでは健常者より低下していること, 及び暗所開眼暗算負荷において利得は健側回転では健常者の範囲内であるが, 患側回転では発症4日後で各周波数とも著明に低下し, その後徐々に増加するが, 6カ月後でも健常者より低下していることを報告している。肥塚ら²⁸⁾はメニエール病例において前庭神経切断術後の前庭代償過程を前述のWestern Systems Research製装置VATを用いて検討し, 利得が手術1週後に各周波数において低下し, 2週後には改善傾向があり, 4週後には術前とほぼ同様になったことを報告している。

我々の結果は発症後2カ月以内と2カ月以降で比較すると, 視標固視の条件では利得の折点周波数の低下が75%と55%, 暗所開眼視標イメージの条件では0.1 Hzにおける利得の低下が75%と64%, 周波数の増加に伴う利得の増加が直線的でないことが100%と73%であり, 2カ月以内に比べ, 2カ月以降では少なかった。そして経過観察した2名では, 視標固視の条件では利得の折点周波数が初回には基準範囲より低下していたが, 2回目には基準範囲の範囲内となった。従って, 発症後初期には視標固視の条件で利得の折点周波数の低下や, 暗所開眼視標イメージの条件で0.1 Hzにおける利得の低下や周波数の増加に伴う利得の増加が直線的でないことがあっても時間が経つにつれ, 前庭代償によりこれらが減少していくものと思われた。

5. DP症例について

一側迷路障害例で自発眼振や温度刺激検査でDPがある場合, 迷路性眼反射がどのように変化するか知る意図で検討した。しかし検査時には自発眼振のある症例はなく, 全例がtonicなim-balanceな状態を過ぎた時期であった。DP症例の4例の内, 暗所開眼視標イメージの条件で, 0.1 Hzにおける利得の低下が3例であったが, そのDP%は100%, 40%, 44%であり, 低下しない1例のDP%は100%であった。以上より本検査においてDPの存在が迷路性眼反射に直ちに影響するとは考えにくかった。温度刺激検査でのDPではないが, Wolfeら¹⁹⁾はContraves製の回転椅子を用いて, 左右方向別の眼球緩徐相速度を測定してDP(これをrotatory DPと仮称する)を求めている。我々の方法では迷路性眼反射を方向別にみていないので, rotatory DPを求めることはできず, 今後の課題と考えている。しかし本研究は迷路性眼反射のdisabilityをみることが目的である。

まとめ

1. 迷路障害例の水平視性・迷路性眼運動系の伝達関数検査を行った。

2. 視標固視頭振り検査と暗所開眼視標イメージ頭振り検査を行った。

3. 固視機能検査装置を用い, 頭部運動を入力, 眼球運動を出力とした伝達関数を計算し, ボード線図として表示した。

4. 被験者は両側迷路障害例2名, 一側迷路障害例15名である。

5. 両側迷路障害例では, 基準範囲に比べて視標固視頭振り検査で, 利得の折点周波数が低下し, 暗所開眼視標イメージ頭振り検査で, 0.1 Hzにおける利得が低く, 周波数の増加に伴う利得の増加が直線的でなかった。一側迷路障害例では, 基準範囲に比べて視標固視頭振り検査で, 利得の折点周波数が発症2カ月以内で75%, 発症2カ月以降で55%が低下した。暗所開眼視標イメージ頭振り検査で, 0.1 Hzにおける利得が発症2カ月以内で75%, 発症2カ月以降で64%が低く, 周波数の増加に伴う利得の増加が発症2カ月以内で100%, 発症2カ月以降で73%が直線的でなかった。

尚, 本論文の要旨は第73回日耳鼻東海地方部会

連合会, 第52回日本平衡神経科学会総会において発表した。

文 献

- 1) Meiry JL: Vestibular and proprioceptive stabilization of eye movement. In the control of eye movement. Academic press: 483-496, 1971
- 2) Wall IIIC, Black FO, O'Leary DP: Clinical use of pseudorandom binary sequence white noise in assessment of the human vestibulo-ocular system. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 87: 845-852, 1978
- 3) Tomlinson RD, Saunders GE, Schwarz DWF: Analysis of human vestibulo-ocular reflex during active head movements. *Acta Otolaryngol* 90: 184-190, 1980
- 4) Hydén D, Istl YE, Schwarz DWF: Human visuo-vestibular interaction as a basis quantitative clinical diagnostics. *Acta Otolaryngol* 94: 53-60, 1982
- 5) Istl YE, Hydén D, Schwarz DWF: Quantification and localization of vestibular loss in unilaterally labyrinthectomized patients using a precise rotatory test. *Acta Otolaryngol* 96: 437-445, 1983
- 6) Larsby B, Hydén D, Ödkvist LM: Gain and phase characteristics of compensatory eye movements in light and darkness. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 97: 223-232, 1984
- 7) 時田 喬, 宮田英雄, 田口拓雄, 他: ヒトの迷路性眼反射の生理—伝達関数の検討を中心に—. *日耳鼻* 79: 59-73, 1976
- 8) 時田 喬, 宮田英雄, 正木道熹, 他: 迷路性眼反射の生理—半規管系・耳石系の伝達関数—. *耳鼻臨床* 69: 1250-1259, 1976
- 9) 時田 喬, 浅井栄司, 柴田康成: 眼運動系の動特性検査, 小池吉郎監修, めまい—臨床の基本—. 247-261頁, 現代医療社, 東京, 1983
- 10) 正木道熹: ヒトの半規管性眼運動系の動特性. *耳鼻臨床* 73: 1513-1541, 1980
- 11) 野上兼一郎, 戸村義則, 藤原宏寿, 他: 小脳障害例の迷路性眼運動系の動特性. *Equilibrium Res* 40: 15-22, 1981
- 12) 浅井栄司: 視性・迷路性・頸性眼運動系の動特性. *耳鼻臨床* 77: 347-371, 1984
- 13) 柴田康成: 視性・迷路性眼球運動系の動特性. *Equilibrium Res Suppl* 3: 149-166, 1988
- 14) 時田 喬, 柴田康成, 大川 剛, 他: 迷路性固視機能検査装置の開発とその臨床的利用. *Equilibrium Res* 52: 602-610, 1993
- 15) 大野通敏, 時田 喬, 柴田康成, 他: 迷路性固視機能検査法に関する研究—地磁気センサによる基準範囲—. *Equilibrium Res* 54: 225-235, 1995
- 16) 深海登世司: 周波数ベクトル軌跡とボード線図. 自動制御の基礎. 61-67頁, 東京電気大学出版社, 東京, 1986
- 17) Young LR, Meiry JL, Li YT: Control engineering approaches to human dynamic space orientation. *US Sch Av Med NASA NSG-577* 2: 217-227, 1966
- 18) Niven JL, Hixon WC: Frequency response of the human semicircular canals: I. Steady-state ocular nystagmus response to high-level sinusoidal angular rotations. *NAV-SAM-57*, US Naval Sch Aviat Med, Pensacola, 1961
- 19) Wolfe JW, Engelken EJ, Kos CM: Low-frequency harmonic acceleration as a test of labyrinthine function: Basic methods and illustrative cases. *Trans Am Acad Ophtal Otolar* 86: 130-142, 1978
- 20) O'Leary DP, Davis LL: High-frequency autorotational testing of the vestibulo-ocular reflex. *Neurologic Clinics* 8: 297-312, 1990
- 21) Pulec JL, O'Leary DP: Vestibular autorotation testing—It's value in clinical otology—. Abstracts of the 16th Bárány society meeting 69, 1990
- 22) Henry DF, Miles R, DiBartolomeo JR: Active head rotation testing with SHA and ENG test comparisons. In ed Arenberg IK. *Dizziness and Balance Disorders*. pp 323-329, Kugler Publications, Amsterdam/New York, 1993
- 23) Hydén D, Larsby B, Schwarz DWF, et al: Quantification of slow compensatory eye movements in patients with bilateral

- vestibular loss—A study with a broad frequency-band rotatory test—. *Acta Otolaryngol* 96: 199–206, 1983
- 24) 藤代武久：受動回転と能動回転における代償性眼球運動および固視機能の比較．耳鼻 28: 479–489, 1982
- 25) 高橋正紘：迷路障害例における眼と頭の協同運動障害—代償性眼球運動と固視の異常について—．神経進歩 27: 900–905, 1983
- 26) Nogami K, Uemura T, Iwamoto M: VOR gain and phase in active head rotation tests of normal subjects and patients with peripheral labyrinthine lesions. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 107: 333–337, 1989
- 27) Baloh RW, Hess K, Honrubia V, et al: Low and frequency sinusoidal rotational testing in patients with peripheral vestibular lesions. *Acta Otolaryngol (Stockh) Suppl* 406: 189–193, 1984
- 28) 肥塚 泉, 久保 武, 櫛村裕美, 他：メニエール病手術例の回転検査による評価．*Equilibrium Res Suppl* 9: 90–97, 1993
- （原稿到着：平成 7 年 3 月 13 日
別刷請求先：大野通敏
〒501-62 岐阜県羽島市新生町3-246
羽島市民病院耳鼻咽喉科）