

角膜網膜電位を用いた眼球運動測定

佐々木 弘*

Eye Movement Measurement Using Corneo-retinal Potential

Hiroshi Sasaki

In the eyeball, electrical potential exists between the cornea and the retina. The cornea side has positive charge and the retina side has negative charge. This potential is called corneo-retinal potential. Since the potential changes by the eye movement, the potential variation can be amplified by the electronystagmography and it can be kept on the record as an electronystagmograph. Generally the eye movement system can be classified into two types. One is the system of the fast eye movement (saccadic eye movement) and the other is the slow eye movement (smooth pursuit eye movement). Saccadic eye movement happens when the point of gazing is changed to look at the object optionally. Smooth pursuit eye movement happens when the slow moving object is followed by the eye. In this study, the investigation about saccadic eye movement at the time of mutual gazing is described.

1. はじめに

人間は興味をひく物体が視野内に現れると、その物体を注視するためにすばやい眼球運動を起こす。また、物体が目の前をゆっくり動く場合には、物体と同じ速度の眼球運動を起こす。前者を衝動性眼球運動、後者を滑動性眼球運動と言う。このように人間が物体を正確に見るためには、網膜の中心窩で対象をとらえることが必要であり、眼球運動系がこの機能を担っている。

眼球の運動は6個の外眼筋によって行われる。この外眼筋の動きは筋電図を用いて見ることができるが、眼球の微細な動きを分析することは筋電図でも難しい。そこで、眼球運動の変化を眼振計(electronystagmography)によって記録する。眼球には、その前面である角膜と後面である網膜の間に一定の電位差があり、角膜側が+(正)に網膜側が-(負)になっている。また、この電位差は眼球の偏位角に比例し変動することが確認されている。眼振計は、開眼時の眼振や異常眼球運動の記録を行うのみならず、閉眼や暗所開眼時の眼球運動において眼振の持ついくつかの因子である振幅、頻度、緩徐相速度、単位時間内での総振幅値の測定などを定量的に分析すること

* 電気工学科

ができる。

本研究では、眼球運動の中でも交互注視時における衝動性眼球運動のメカニズムについて、眼球の角膜網膜電位を測定することによって調べている。そして、この興味のある性質を持つ眼球運動について理解をさらに深めて行きたい。

2. 測定方法

- ① 被検者（22才の男性3名：S I, S K, N M）に、両眼の目尻の外側の部位と両眼間の中心の部位の3カ所に水平誘導分析用電極を、顎にアース電極を図1のようにそれぞれ取り付ける。使用する電極は銀・塩化銀電極であり、図2に示す。なお、ノイズが極力入らないようにするために、各電極間の抵抗が $10k\Omega$ 以下になるようにする。
- ② 被検者を壁から1 mの位置で椅子に座らせる。頭部が動かないようにするために、顎を顎当て台で固定する。この時、壁が正面になるようにする。
- ③ 視線の中心から左へ 10deg 、右へ 10deg となる壁の位置に、視標となる赤色発光ダイオードをそれぞれ取り付ける。
- ④ 視標を左右交互に一定間隔で点灯させる。点灯間隔の周波数は 0.5Hz （1秒間に1回視標が左から右へ、あるいは右から左へ切り替わる）、 1.0Hz （1秒間に2回視標が切り替わる）、 1.5Hz （1秒間に3回視標が切り替わる）の3種類とする。
- ⑤ 被検者に開眼条件下で、左右交互に点灯する視標を両眼で10秒間追わせ、その時の角膜網膜電位を眼振計（日本電気株式会社製 type EN1104）で測定し、眼振計からの出力信号を多チャンネル生体信号処理装置（日本電気株式会社製 type DP1100）に取り込み、データ処理をする。（図3）

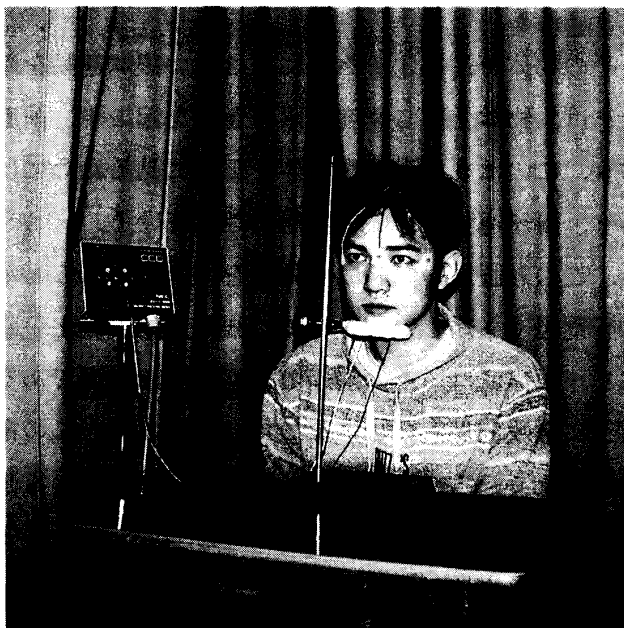


図1 電極の取り付け部位

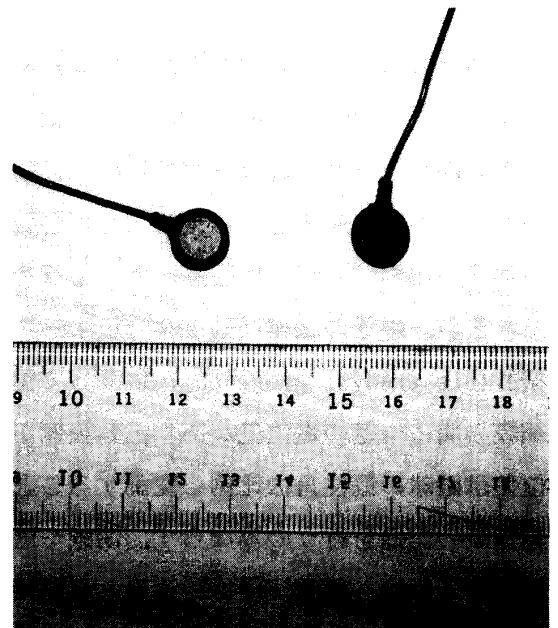


図2 銀・塩化銀電極

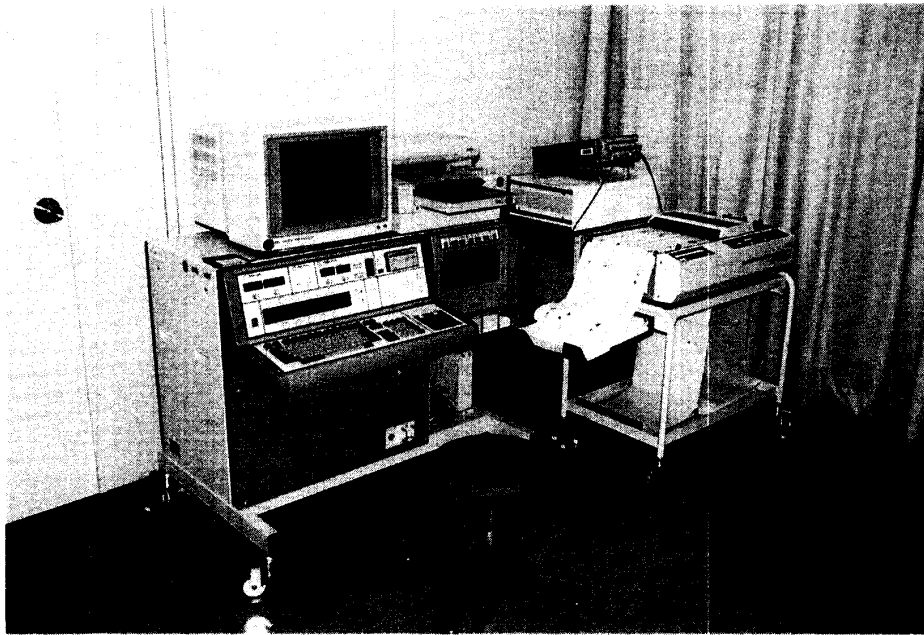


図3 測定装置

3. 結果・考察

測定結果の例として、図4～図6に被検者S Kの 0.5Hz, 1.0Hz, 1.5Hzの場合を示す。各図の上半分は視標の変化を表す波形と左の眼球運動の原波形、下半分は視標の変化を表す波形と右の

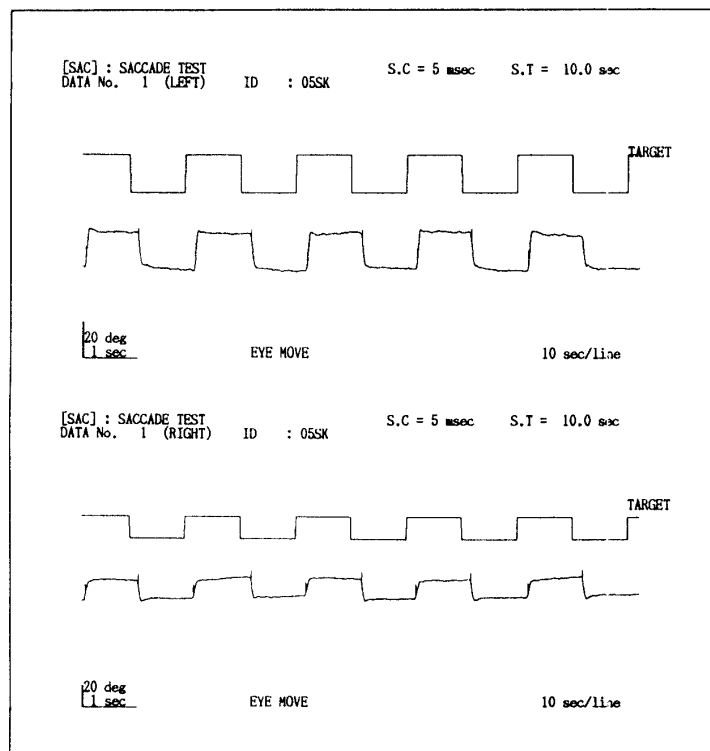


図4 視標の変化に対する眼球運動の原波形 (0.5Hz)

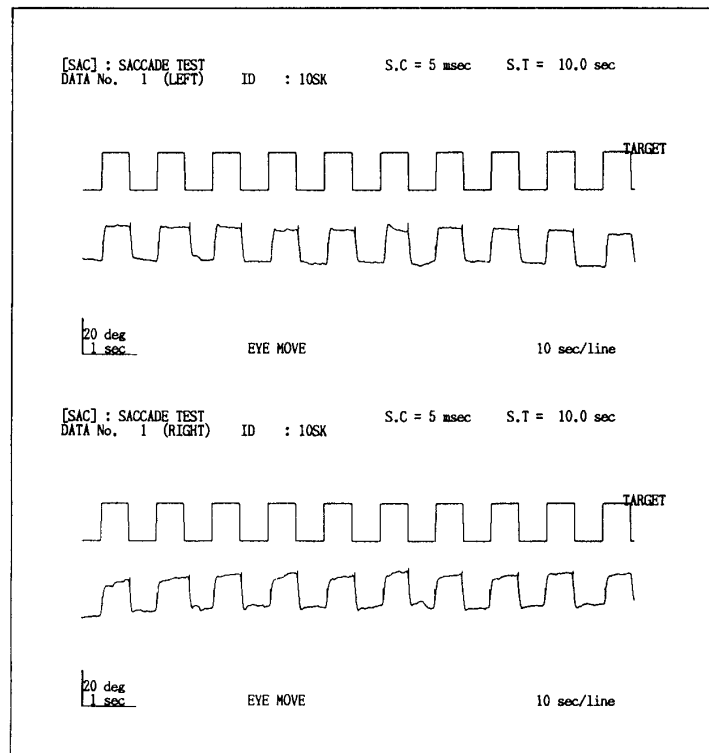


図5 視標の変化に対する眼球運動の原波形 (1.0Hz)

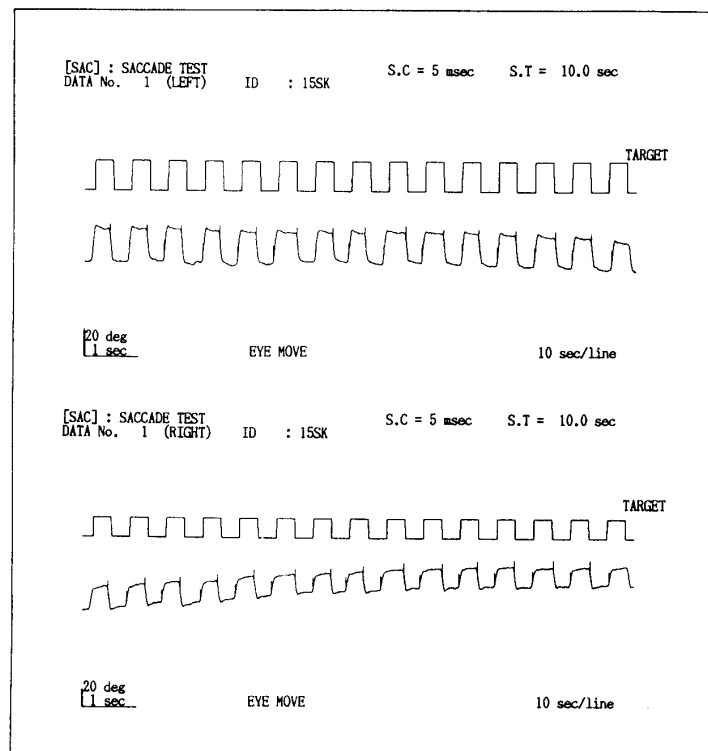


図6 視標の変化に対する眼球運動の原波形 (1.5Hz)

眼球運動の原波形を示す。なお、視標の波形が上側にある時は右視標点灯，下側にある時は左視標点灯を示す。また，図4～図6に対応する数値データとして，左右の視標点灯時間，左右の眼球の反応時間，潜時（視標が点灯してから眼球が反応するまでの時間），速度を表1～表3にそれぞれ示す。そして，それらをグラフで表したものが図7～図9である。グラフの横軸は時間を，縦軸は眼球運動の速度を示している。縦軸の正の部分は右視標を注視した時，負の部分は左視標を注視した時を表している。

被検者 S K の潜時について詳しく調べてみる。図4より 0.5Hz の場合は，左右の眼球運動の原波形が視標の波形よりも右へ少しずれていることが確認できる。また，表1の潜時の平均も正の値になっており，眼球が視標の点灯後に反応していることがわかる。次に，図6より 1.5Hz の場

表1 視標の切り替わり時間と眼球運動 (0.5Hz)

視標点灯時間 △右視標 ▽左視標 [msec]	左眼球			右眼球		
	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]
△ 75	75	0	388.0	75	0	261.5
▽ 990	1020	30	-325.1	1025	35	-375.2
△ 1855	2030	175	420.8	2015	160	241.6
▽ 2845	3035	190	-289.5	3040	195	-332.0
△ 3840	4035	195	379.3	4025	185	233.0
▽ 4830	5030	200	-326.0	5030	200	-354.7
△ 5825	6010	185	385.3	6000	175	228.9
▽ 6815	6980	165	-285.5	6985	170	-329.3
△ 7805	8005	200	382.7	8000	195	218.0

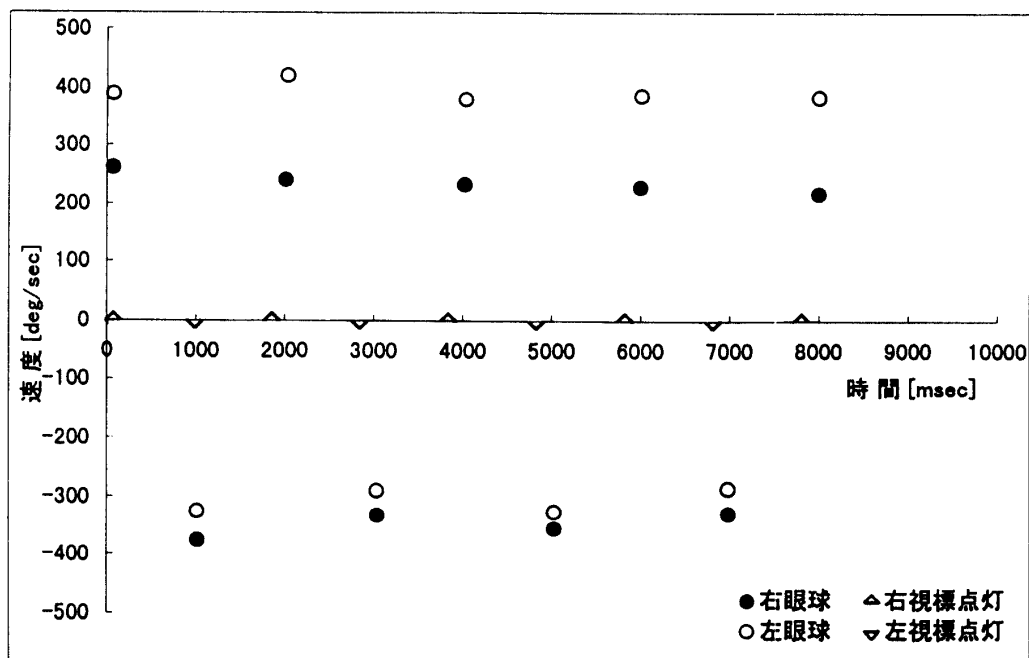


図7 眼球運動の潜時と速度 (0.5Hz)

合は、左右の眼球運動の原波形が視標の波形よりも左へ少しずれていることが確認できる。また、表3の潜時の平均も負の値になっており、眼球が視標の点灯前に反応していることがわかる。

表4は被検者SKを含めた3名の被検者の各周波数における潜時の平均をまとめたものである。また、それらをグラフに表したものが図10である。0.5Hzでは視標が点灯してから150～190msec

表2 視標の切り替わり時間と眼球運動 (1.0Hz)

視標点灯時間 △右視標 ▽左視標 [msec]	左眼球			右眼球		
	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]
△ 355	375	20	354.7	370	15	212.8
▽ 855	875	20	-314.7	880	25	-340.8
△ 1365	1380	15	366.7	1375	10	263.5
▽ 1865	1960	95	-282.9	1965	100	-353.6
△ 2370	2405	35	384.0	2400	30	302.0
▽ 2870	2890	20	-321.3	2900	30	-364.8
△ 3380	3435	55	357.6	3425	45	224.0
▽ 3880	3910	30	-304.0	3915	35	-351.3
△ 4385	4445	60	360.0	4440	55	216.0
▽ 4885	4935	50	-296.7	4940	55	-364.0
△ 5395	5470	75	374.4	5455	60	262.5
▽ 5895	5890	-5	-292.0	5905	10	-317.7
△ 6400	6385	-15	324.0	6390	-10	240.5
▽ 6900	6880	-20	-302.0	6885	-15	-344.7
△ 7410	7395	-15	330.7	7390	-20	246.3
▽ 7910	7900	-10	-290.3	7905	-5	-334.4
△ 8415	8390	-25	373.6	8380	-35	254.0
▽ 8915	8885	-30	-310.0	8890	-25	-324.7
△ 9505	9480	-25	360.8	9470	-35	265.1

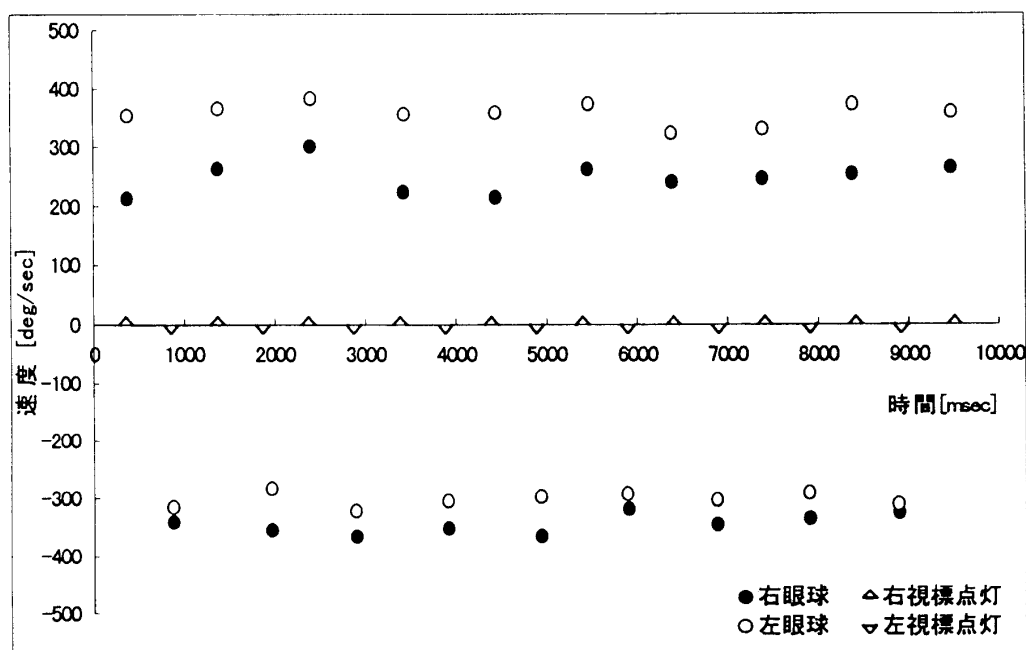


図8 眼球運動の潜時と速度 (1.0Hz)

表 3 視標の切り替わり時間と眼球運動 (1.5Hz)

視標点灯時間 △右視標 ▽左視標 [msec]	左眼球			右眼球		
	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]	反応時間 [msec]	潜時 [msec]	速度 [deg/sec]
▽ 530	470	-60	-402.7	475	-55	-471.2
△ 865	815	-50	503.2	805	-60	370.3
▽ 1195	1150	-45	-381.3	1150	-45	-439.3
△ 1530	1465	-65	478.4	1450	-80	351.0
▽ 1860	1775	-85	-393.7	1780	-80	-478.4
△ 2195	2165	-30	468.0	2150	-45	343.6
▽ 2525	2465	-60	-401.1	2470	-55	-469.6
△ 2860	2790	-70	446.0	2780	-80	342.5
▽ 3190	3120	-70	-392.0	3125	-65	-455.3
△ 3525	3440	-85	442.0	3435	-90	323.0
▽ 3855	3860	5	-362.7	3865	10	-469.0
△ 4185	4190	5	428.7	4185	0	321.1
▽ 4520	4505	-15	-347.3	4510	-10	-447.2
△ 4850	4795	-55	429.3	4785	-65	342.9
▽ 5185	5085	-100	-343.5	5095	-90	-458.4
△ 5515	5420	-95	458.0	5410	-105	320.0
▽ 5845	5820	-25	-393.3	5825	-20	-480.8
△ 6180	6120	-60	426.7	6110	-70	318.0
▽ 6510	6510	0	-397.3	6515	5	-476.8
△ 6845	6840	-5	444.0	6825	-20	347.4
▽ 7175	7150	-25	-382.7	7155	-20	-452.0
△ 7510	7485	-25	479.2	7475	-35	346.9
▽ 7840	7820	-20	-380.0	7825	-15	-480.0
△ 8175	8160	-15	460.8	8155	-20	334.7
▽ 8505	8535	30	-372.7	8540	35	-452.8
△ 8840	8840	0	452.8	8835	-5	333.1
▽ 9170	9190	20	-353.1	9195	25	-430.4
△ 9560	9560	0	416.8	9545	-15	343.4

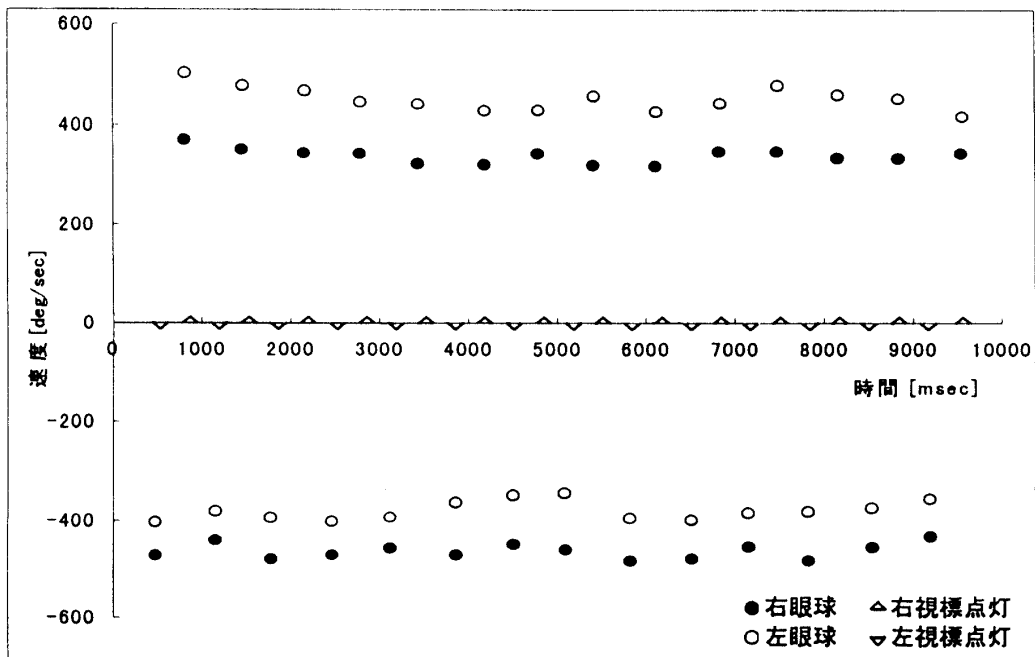


図 9 眼球運動の潜時と速度 (1.5Hz)

表4 各周波数における潜時の平均

周波数 [Hz]	被検者 SK [msec]	被検者 SI [msec]	被検者 NM [msec]
0.5	147.50	163.33	185.28
1.0	17.24	31.71	81.32
1.5	-36.96	-57.56	-85.86

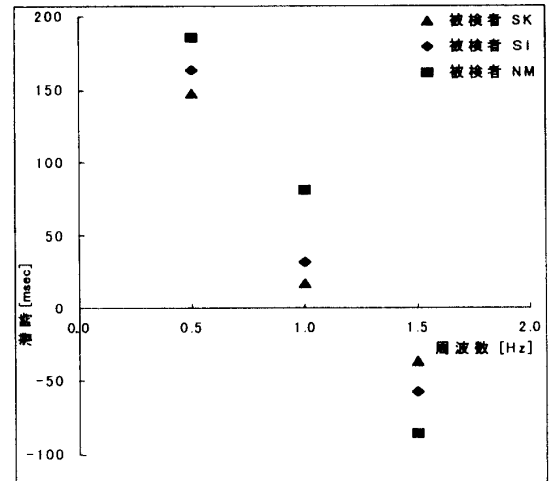


図10 各周波数における潜時の平均

ぐらいの潜時で、1.0Hzでは20～80msecぐらいの潜時で眼球が遅れて反応しているが、1.5Hzでは視標の点灯より40～90msecぐらい早く眼球が反応している。このことより、周波数が増加するにつれて被検者は視標の動きを次第に追従できなくなり、結果として1.5Hzでは視標の動きをある程度予測し、先に眼球運動を起こしてしまうのではないかと考えられる。

表1～表3、あるいは図7～図9より、いずれの周波数の場合においても、左から右へ視標が切り替わる時は、右眼球の方が潜時は短く、速度は遅く、一方、右から左へ視標が切り替わる時は、左眼球の方が潜時は短く、速度は遅いことがわかる。これは、左右それぞれの視標に対する左眼球からの角度と、右眼球からの角度にわずかの差があるためと考えられる。

4. まとめ

本研究を通して、次の2つの結論が導き出される。

- ① 視標の点灯間隔が速くなるにつれて潜時が短くなって行き、1.5Hzでは被検者が視標の動きをある程度予測してしまうので、視標の点灯前に眼球が反応する。
- ② 視標の点灯間隔に関わらず、左から右へ視標が切り替わる時は、右眼球の方が潜時は短く、速度は遅い。右から左へ視標が切り替わる時は、左眼球の方が潜時は短く、速度は遅い。

参考文献

H.Sasaki, T.Katsuki and N.Ishii: "Eye Movement Measurement by Use of Corneo-retinal Potential in the Motion", Proceedings of the IASTED International Conference Modelling and Simulation, 492-494 (1995)

小松崎 篤, 篠田 義一, 丸尾 敏夫: "眼球運動の神経学", 医学書院(1985)

小松崎 篤, 竹森 節子: "眼振図 とり方・よみ方", 篠原出版株式会社(1983)

(平成10年12月7日受理)