主成分分析による視運動性眼振の解析

旭川医科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：海野徳二教授）

白戸 勝，金谷健史，堀川博志，海野徳二

COMPUTER ANALYSIS OF OPTOKINETIC NYSTAGMUS
BY PRINCIPAL COMPONENT ANALYSISMASARU SHIRATO, M. D., TAKESHI KANAYA, M. D., HIROSHI HORIKAWA, M. D.
and TOKUJI UNNO, M. D.

Department of Otolaryngology, Asahikawa Medical College, Asahikawa

Optokinetic nystagmus was studied by means of principal component analysis with the aid of a microcomputer. In addition to basic parameters of nystagmus (duration, amplitude and eye-speed), smoothness and kurtosis of nystagmus were calculated. The purpose of this study was to analyze the evoked nystagmus in two different states, one being the condition of the following stripes (Schau, Stier and stare), and the other the strength of stimulus speed (low, medium and high). The following results were obtained.

- 1) By principal component analysis, three important features of "Schau" nystagmus were extracted.
 - a) The 1st principal component was interpreted as the general size factor of the nystagmus as a whole.
 - b) The 2nd principal component implied the shape factor of the slow phase.
 - c) The 3rd principal component implied the shape factor of the terminal point in quick phase.
- 2) Distinctive factors were not extracted either in "Stier" or "stare" nystagmus. Moreover, no remarkable differences were noticed between them.
- 3) "Schau" nystagmus in high-speed range and "Stier" nystagmus also indicated different patterns. Therefore, these types of nystagmus must be considered from different standpoints

Key words：視運動性眼振，主成分分析，コンピュータ解析A90-0687-24022

はじめに

視運動性眼振 (optokinetic nystagmus, 以下 OKN と略す) は私共が日常生活において常に観察される生理的眼振である。この眼振は網膜に相次いで移動する対象的映像がうつることが刺激となって発現し、この際、外界の対象物の移動する方向への緩徐相と、反対方向への急速相の二相からなる。その発現機構に関してはいくつかの説があり、細部では意見の一致をみ

ていないところもある。新生児、白痴、中心暗点患者でも OKN は発現され、OKN には中心窩を用いて、移動する対象物を追跡することにより発現する眼振と、中心窩で追跡しなくとも発現する眼振の2種類があることが知られている。しかし、その分類方法は報告者により異なり、Schau nystagmus と Stier nystagmus¹⁾ (以下 Schau OKN, Stier OKN と略す)、fovealer nystagmus と retinaler nystagmus²⁾, Cor-

tical nystagmus と Subcortical nystagmus⁹⁾等々の分類がなされている。

このような分類は互いに関係を有する面もあるが、被検者の注視力の差、刺激される網膜受容器の部位による差、種属による解剖学的な差など、たんに観点の違いによる命名の差のみではなく、概念の上でも混乱しており、研究者による少なからぬ差異がみられる。今回、我々はヒトの OKN の各パラメータを多変量解析の一手法である主成分分析⁴⁾することにより、OKN の本質的な特徴を抽出し、とくに被検者の注視力の差、視刺激速度の差について検討したので報告する。

方 法

(1) 刺激条件

被検者は正常成人 5 名を対象とした。投影型の視刺激装置を用い、スクリーンの半径は 80 cm、視角 2° の光線が 30° 間隔で投影される。刺激速度は 2°/sec² の等角加速度で 120°/sec までの 60 秒間刺激を行った。検査に際しての被検者への指示は、①眼前を通過する線を 1 本 1 本追跡するように (Schau OKN)、②視野全体をぼんやり見ているように (Stier OKN)、③正面をじっと見つめているように (stare nystagmus) 命じた 3 種の条件で行った。

(2) 眼振記録法

眼球運動は bitemporal 誘導により ENG 記録し (時定数 3.0)、5 msec のサンプリング時間にて A/D 変換器を通してマイコンにて自動処理して眼振の各パラメータを算出した。得られたデータをフロッピーディスクに格納し、統計プログラムにて解析した。

眼球パラメータとして従来からの

- ①緩徐相持続時間
- ②緩徐相振幅
- ③緩徐相平均速度
- ④急速相持続時間
- ⑤急速相振幅
- ⑥急速相最高速度

以上の 6 個に加えて、眼振の形を表わすパラメータとして

- ⑦緩徐相平滑度
- ⑧急速相平滑度
- ⑨緩急変換点彎曲度
- ⑩急速相終点彎曲度

の 4 個を新たに用い、計 10 個のパラメータで検討し

た。新たなパラメータの計測法およびその意義については前報⁶⁾を参照されたい。

成 績

1) 個々の眼振パラメータの分析結果

主として検討の対象とした Schau OKN と Stier OKN の振幅、緩徐相速度、平滑度、彎曲度の結果について述べる。

緩徐相振幅と急速相振幅はほぼ同様の分布を示したので、図 1 に急速相振幅のヒストグラムを示した。Schau OKN の振幅は 12~21° の間で比較的安定した値を示し、平均±標準偏差 (以下同様) は 14.15±6.43 であった。Stier OKN の振幅は 3~6° の値をピークとして小振幅群に分布するのが特徴であり、5.55±3.60 であった。

図 2 に緩徐相平均速度のヒストグラムを示した。Schau OKN は 40~50°/sec² にピークをもつ正規分布

図 1 眼振振幅ヒストグラム

図 2 緩徐相速度ヒストグラム

を示し、その平均は 44.49 ± 13.58 であった。Stier OKN は $10 \sim 20^\circ/\text{sec}^2$ の低速度にピークをもち、 16.88 ± 7.94 であった。Stier OKN は低速度から視標速度と一致しない低い値を示し、このために小振幅、低速度のところに分布すると考えられた。

図3に緩徐相平滑度ヒストグラムを示した。Schau OKN の平均は 3.063 ± 0.030 、Stier OKN は 3.117 ± 0.023 で、Schau OKN の方が低値を示し、波形が滑らかであることを表わしている。図4に急速相平滑度ヒストグラムを示したが、Schau OKN は 2.899 ± 0.061 、Stier OKN は 3.034 ± 0.046 で緩徐相平滑度と同様に Schau OKN の方が低値を示した。

図5に緩急変換点彎曲度ヒストグラムを示した。両眼振群とも正規分布を示し、Schau OKN の平均は 80.26 ± 20.43 、Stier OKN は 36.02 ± 17.95 であり、緩徐相から急速相に反転する波形のピークの部位が Schau OKN の方が急峻であることを表わしている。図6に急速相終点彎曲度ヒストグラムを示した。Schau OKN の平均は 80.07 ± 26.78 、Stier OKN は 29.92 ± 19.58 であり、Schau OKN の方が高値を示し、

波形が尖鋭であることを表わしている。

なお眼振頻度と関連したパラメータである眼振持続時間は図には示さなかったが、緩徐相持続時間が Schau OKN 358.5 ± 301.3 msec, Stier OKN 484.3 ± 346.8 msec と Stier OKN の方が若干長い傾向を示し、急速相持続時間は Schau OKN 84.9 ± 23.3 msec, Stier OKN 83.7 ± 33.8 msec と大差なかった。

このように、個々のパラメータを比較することにより両眼振群の特徴をある程度知ることができる。すなわち、Schau OKN の方が振幅が大で、緩徐相速度も高く、このことは低～中速域での視標の動きにほぼ一致した眼球運動を反映していると考えられる。また平滑度、彎曲度に注目してみると、Schau OKN の方が視標の追跡が滑らかで、かつ鋭的な波形を呈することが示された。しかし、総合的にみた場合の両眼振群の差異を検討しようとする、パラメータが多すぎて理解が難しい。そこで主成分分析することにより、両眼振群それぞれの特徴を抽出しようと試みた。

2) 主成分分析結果

表1に代表例のOKNの各パラメータ間の相関行列を示した。右上が Schau OKN、左下が Stier OKN の結果である。この相関行列から出発して主成分分析を行った。表2に Schau OKN の主成分分析結果を示し

図3 緩徐相平滑度ヒストグラム

図4 急速相平滑度ヒストグラム

図5 緩急変換点彎曲度ヒストグラム

図6 急速相終点彎曲度ヒストグラム

表1 眼振パラメータの相関行列

	S1	S2	S3	S4	S5	F1	F2	F3	F4	F5
S1: 緩徐相持続時間		0.750	-0.391	-0.445	-0.085	0.555	0.634	0.537	-0.374	0.149
S2: // 振 幅	0.407		0.122	0.068	0.287	0.716	0.811	0.779	-0.677	0.292
S3: // 平均速度	-0.318	0.491		-0.639	0.570	0.108	0.130	0.244	-0.349	0.252
S4: // 平滑度	0.208	-0.162	-0.426		-0.590	0.077	0.062	-0.067	0.192	-0.206
S5: 緩急変換点湾曲度	-0.168	0.265	0.488	-0.393		0.133	0.331	0.507	-0.676	0.513
F1: 急速相持続時間	0.037	-0.041	0.100	-0.185	-0.137		0.928	0.822	-0.724	0.039
F2: // 振 幅	-0.166	0.019	0.293	-0.315	0.483	0.532		0.942	-0.848	0.265
F3: // 最高速度	-0.160	0.055	0.303	-0.241	0.605	0.267	0.929		-0.921	0.509
F4: // 平滑度	0.157	-0.083	-0.309	0.285	-0.764	-0.140	-0.844	-0.936		-0.477
F5: // 終点湾曲度	-0.137	0.046	0.220	-0.109	0.546	-0.175	0.558	0.778	-0.754	

表2 Schau OKNの主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
固有値	5.1050	2.6268	0.9413	0.4371
累積寄与率(%)	51.0	77.3	86.7	91.1
緩徐相持続時間	0.594	0.670	0.208	0.328
// 振 幅	0.860	0.233	0.000	0.382
// 平均速度	0.279	-0.785	-0.294	0.112
// 平滑度	-0.097	0.847	0.192	-0.270
緩急変換点湾曲度	0.538	-0.707	0.160	-0.008
急速相持続時間	0.831	0.283	-0.405	-0.137
// 振 幅	0.947	0.204	-0.163	-0.112
// 最高速度	0.977	-0.001	0.033	-0.135
// 平滑度	-0.930	0.185	0.001	0.206
// 終点湾曲度	0.471	-0.364	0.745	-0.069

た。表には第4主成分までを示してあるが、固有値1以上、累積寄与率80%以上、更に因子負荷量の大きさを考慮して、第3主成分までが解釈可能であった。第1主成分は急速相の各パラメータおよび緩徐相の振幅、持続時間の因子負荷量の値が大きく、主成分分析の用語でいう“size factor”であり、眼振の大きさ、強さを意味すると考えられた。第2主成分は緩徐相の平滑度、平均速度、緩急変換点湾曲度の因子負荷量が大きく、いわゆる“shape factor”と考えられ、緩徐相の形を意味する因子である。第3主成分は急速相終点湾曲度の因子負荷量が大きく、急速相終点の形を意味する因子である。第2、第3主成分に緩徐相および急速相の形を表現する因子が別個に抽出されることは、眼

振波形が両相異なった発現機構をもっていることと関連していると思われ、とくに第3主成分に急速相終点の形を意味する因子が抽出されることが大きな特徴であった。この結果は他の被検者について分析しても同様の傾向を示し、再現性があった。

表3に Stier OKN の分析結果を示した。第4主成分までが意味のあるものと考えられた。size factorと考えられる第1主成分は急速相成分の占める割合が大きく、緩徐相各パラメータの因子負荷量は比較的小かった。第2主成分は緩徐相の振幅、平均速度の因子負荷量が大きく、第3主成分は急速相持続時間、第4主成分は緩徐相持続時間の因子負荷量が大であった。各被検者毎に分析した結果では、第1主成分は同様の

表3 Stier OKNの主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
固有値	4.3487	1.5935	1.3785	1.3124
累積寄与率(%)	43.4	59.4	73.2	86.3
緩徐相持続時間	0.262	0.245	0.145	0.862
〃 振 幅	-0.180	0.841	0.125	0.375
〃 平均速度	-0.530	0.608	0.142	-0.361
〃 平滑度	0.453	-0.340	-0.318	0.426
緩急変換点湾曲度	-0.781	0.283	-0.287	-0.051
急速相持続時間	-0.216	-0.271	0.906	0.068
〃 振 幅	-0.873	-0.284	0.309	0.123
〃 最高速度	-0.938	-0.248	0.004	0.188
〃 平滑度	0.942	0.151	0.113	-0.155
〃 終点湾曲度	-0.755	-0.137	-0.456	0.183

表4 低速度眼振の主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
固有値	4.4819	2.7077	1.2801	0.5438
累積寄与率(%)	44.8	71.8	84.6	90.1
緩徐相持続時間	0.648	-0.557	-0.300	0.345
〃 振 幅	0.787	-0.163	0.202	0.380
〃 平均速度	-0.524	0.604	0.465	0.048
〃 平滑度	0.551	0.059	-0.745	-0.208
緩急変換点湾曲度	0.271	0.802	-0.058	0.366
急速相持続時間	0.449	-0.735	0.421	-0.146
〃 振 幅	0.917	-0.110	0.309	-0.187
〃 最高速度	0.917	0.235	0.199	-0.082
〃 平滑度	-0.778	-0.497	-0.179	0.108
〃 終点湾曲度	0.543	0.708	-0.165	-0.156

結果であったが、第2主成分以降は各主成分に占めるパラメータの因子負荷量も大小さまざまで、Stier OKN 全体として統一した、意味のある解釈ができなかった。また、stare nystagmus の分析結果も被検者毎に異なったパターンを示し、再現性がなく、かつ“Stier”と“stare”の間に明確な差を見出すことはできなかった。

次に Schau OKN を速度別に分析してみた。便宜的に視刺激速度が $0 \sim 40^\circ/\text{sec}^2$ の間を低速度眼振、 $40 \sim 80^\circ/\text{sec}^2$ を中速度眼振、 $80 \sim 120^\circ/\text{sec}^2$ を高速度眼振と名づける。表4～6に被検者5人の眼振を一括して分析した結果を示した。第1主成分はやはり size fac-

tor で、緩徐相、急速相の各パラメータの大部分が大きく抽出された。第2主成分は緩急変換点湾曲度、急速相終点湾曲度の因子負荷量が大きく、眼振の変曲点の形を表わす因子を意味する。第3主成分は緩徐相平滑度、平均速度の因子負荷量が比較的大きく、緩徐相の形を表わす因子と考えられる。高速度眼振の分析結果は第1、第2主成分に関して低～中速度眼振と同様であるが、緩徐相の形を表わす因子は第4主成分に抽出された。以上の Schau OKN の速度別分析結果は各被検者毎に分析しても同様であり、再現性があった。これに対して、Stier OKN、stare nystagmus は速度別に分析しても再現性がなく、各被検者間で異なったパ

表5 中速度眼振の主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
固有値	4.9454	1.9263	1.3349	0.8696
累積寄与率(%)	49.4	68.7	82.0	90.7
緩徐相持続時間	0.735	-0.382	0.178	-0.489
〃 振 幅	0.824	-0.198	-0.062	-0.518
〃 平均速度	0.475	0.437	-0.566	-0.259
〃 平滑度	-0.258	-0.027	0.867	-0.145
緩急変換点湾曲度	0.575	0.696	-0.051	0.078
急速相持続時間	0.669	-0.652	-0.064	0.286
〃 振 幅	0.932	-0.229	0.073	0.216
〃 最高速度	0.932	0.087	0.174	0.226
〃 平滑度	-0.894	-0.167	-0.133	-0.282
〃 終点湾曲度	0.335	0.740	0.406	-0.088

表6 高速度眼振の主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
固有値	4.6466	1.7886	1.4973	1.0865
累積寄与率(%)	46.4	64.3	79.3	90.1
緩徐相持続時間	-0.364	0.244	0.725	0.449
〃 振 幅	-0.660	0.265	0.665	0.094
〃 平均速度	-0.752	-0.013	0.204	-0.326
〃 平滑度	0.401	-0.137	-0.255	0.798
緩急変換点湾曲度	-0.783	-0.409	-0.067	-0.177
急速相持続時間	-0.321	0.865	-0.342	0.004
〃 振 幅	-0.811	0.393	-0.379	0.146
〃 最高速度	-0.905	0.007	-0.310	0.168
〃 平滑度	0.911	0.197	0.241	-0.100
〃 終点湾曲度	-0.567	-0.727	0.019	0.199

ターンを示し、全体として意味のある解釈ができなかった。

考 按

OKN は視覚系から入った情報を中枢神経系で統御し、眼運動系を通じて反射される基本的な平衡反射大系に含まれるものであり⁷⁾、このことから臨床的に視性眼運動系の障害の診断に重要な意義をもっている。本検査の際には、被検者に線条を1本1本追跡するように指示することにより解発される Schau nystagmus (look nystagmus) を観察するのを基本とするが、2種類の OKN の神経機構の違いを考慮して、Stier

nystagmus, stare nystagmus あるいは subcortical nystagmus を誘発して病巣診断に役立てようという試みもある。

このような分類の歴史を顧みると、Ter Braak¹⁾は Schau nystagmus と Stier nystagmus に分類し、被検者の注視力の有無によって、解発される眼振に差のあることを示した。Honrubia⁸⁾は動く線条を目でみて追うよう指示することにより得られた OKN (look nystagmus) と、正面でドラムをみつめているよう指示することにより得られた OKN (stare nystagmus) に二分できることを示し、前者は大振幅低頻度、後者は小振幅高頻度の反応を示すとした。De Kleyn⁹⁾は

OKN を Cortical nystagmus と Subcortical nystagmus に区別し、前者は正常人が移動する対象物を注視する時に発現する眼振で、後者は動物や脳の障害された人に発現する眼振であると述べている。また、Jung²⁾ は OKN を fovealer nystagmus と retinaler nystagmus とに分類し、視性ドラム回転による刺激では両者の混合型が誘発され、注視力の集中により中心窩型眼振が増強されるという。しかし、このような分類が妥当なものかどうか、本質的な違いがあるのか疑問をもつものもあり、単に低速度眼振、高速度眼振に分けて検討すれば良いという者もいる。今回はこのような問題を整理するために Schau nystagmus と Stier nystagmus および stare nystagmus との差、そして速度別の差を分析することにより、これらの分類間に本質的な違いがあるかどうかを検討した。

Schau OKN は各被検者毎に分析しても、速度別に分析しても再現性があり、一定の傾向を示した。すなわち、 $2^\circ/\text{sec}^2$ で $120^\circ/\text{sec}$ までの 60 秒間記録を一括して分析すると、第 1 主成分は眼振の size factor として、各パラメータが大きく抽出され、第 2 主成分は緩徐相の形を表現する因子、第 3 主成分は急速相終点の形を表現する因子と解釈できた。一般に眼振波形を主成分分析すると OKN に限らず、温度眼振、自発眼振でも第 1 主成分には眼振の各パラメータが程度の差はあれ、大きく抽出されるのが通常であり、大きなあるいは活発な眼振ほど第 1 主成分のなかで、緩徐相成分の因子負荷量が大となる傾向にある⁹⁾。第 2 主成分以降は眼振の形を表わす因子が様々な形で抽出されることが多い。Schau OKN の第 2 主成分は緩徐相の形、言い換えれば foveal pursuit ともいふべき因子であり、第 3 主成分は次線条の捕捉、すなわち retinal catch の因子と考えることができる。従来から言われているように¹⁰⁾、ヒトにおける OKN の発現において、中心窩視による外界の移動対象物の固視・追跡と、周辺視による来るべき対象物の捕捉という機構が、主成分分析の結果にも表現されたことになる。これに対して Stier OKN あるいは stare nystagmus の分析結果は各被検者毎に異なる。このことは、視野全体をぼんやり見る、あるいは正面凝視するという条件が被検者により一定せず、発現する眼振が恒常性を持たないことを意味している。また、Stier OKN と stare nystagmus の間にも明確な差を認めないことは、“Stier” と “stare” という条件で発現する OKN が本質的に異なるものであるという説に疑問を抱かざるを得ない。

次に Schau OKN の高速度眼振と Stier OKN の関係について考えてみたい。一般に視刺激速度が高速になると線条の動きと眼振緩徐相とは一致せず、この点では Stier OKN と似た反応とも言える。しかし、主成分分析してみると高速度眼振といえども、再現性のある、一定のパターンを示し、Stier OKN の分析結果とは異なる。従って高速度眼振と Stier OKN は同一のものではなく、その反射機構は異なると考えられる。すなわち、Schau OKN と Stier OKN、低速度眼振と高速度眼振という分け方は、異なった概念での分類でいると言える。

結 論

視運動性眼振の各パラメータを主成分分析した結果、次のごとき結論が得られた。

1) Schau nystagmus (look nystagmus) は恒常性、再現性のある結果が得られた。その第 1 主成分は眼振の大きさ、強さを表現する因子、第 2 主成分は緩徐相の形を表現する因子、第 3 主成分は急速相終点の形を表現する因子と解釈された。

2) Stier nystagmus, stare nystagmus はともに再現性のある、特徴的な結果は得られなかった。また、Stier nystagmus と stare nystagmus の間に明確な差異は認められなかった。

3) Schau nystagmus における高速度眼振と Stier nystagmus は異なった分析結果を示し、Schau nystagmus と Stier nystagmus、および低速度眼振と高速度眼振という分類は同一レベルでは論じられないことが判明した。

文 献

- 1) Ter Braak JWG: Untersuchungen über optokinetischen Nystagmus. Arch Neerl Physiol 21: 309-376, 1936.
- 2) Jung R: Nystagmography; Zur Physiologie und Pathologie des optisch-vestibulären Systems beim Menschen. Handbuch der Inneren Medizin. 4te Auflage, 5te Band, 1 ste Teil, 1325-1379, 1953.
- 3) De Kleyn A: The connections between the optokinetic nystagmus and the vestibular system. Acta Otolaryng (Stockh) Suppl 78: 8-13, 1949.
- 4) 奥野忠一 他: 多変量解析法. 日科技連, 1971.
- 5) 芳賀敏郎 他: 回帰分析と主成分分析. 日科技連, 1980.

- 6) 白戸 勝 他：眼振の波形分析について，耳鼻臨床
79：629-636，1986.
- 7) 水越鉄理：実験的メマイ検査の実際と診断的意義。
切替一郎編：中枢神経障害へのアプローチ。金原
出版，1973，73-107頁。
- 8) Honrubia V, Downey WL, Mitchell DP et al:
Experimental studies on optokinetic nystagmus.
II. Normal humans. Acta Otolaryng (Stockh)
65：441-448, 1968.

9) 白戸 勝 他：耳鼻臨床投稿中。

- 10) 白戸 勝：視運動性眼振の発現機序。耳鼻臨床
75：73-92，1982.

本論文の一部は，第85回日本耳鼻咽喉科学会総会におい
て口演した。

(原稿受付 昭和61.5.15日)

別刷請求先 〒078 旭川市西神楽4線5号3-11

旭川医科大学耳鼻咽喉科学教室 白戸 勝