

眼球運動準備電位の動的脳電位図法による研究

第1報 方法の検討と出現電位の再現性について (図11, 表1)
(山本覚次教授追悼論文)

大 西 徹 (川崎医科大学眼科学教室)

Studies on the Dynamic Topography of Premotor Potentials Preceding Visually Guided Saccadic Eye Movements

1. Methodological Study and the Reproducibility of Each Component of the Pre-saccadic Potentials

Tohru Ohnishi

Department of Ophthalmology, Kawasaki Medical School

要 約

動的脳電位図法を応用し視覚誘導性衝動性眼球運動に先行する準備電位の同定を行った結果、4種類の電位変化群を認めた。第1は運動前15~2msecの頭頂後頭陽性電位で、100%の再現性を示した。この電位は遠隔野電位様勾配を呈し脳幹部PPRFを中心とした神経核群の発火に由来すると考えられた。第2は運動前80~20msecの緩徐な頭頂後頭陽性変動で、頭頂葉由来と推定される。第3は運動前12~0msecの前頭部陰性電位で80%に再現するが、EMG、EOG同時記録により運動直前の皺眉筋収縮に起因することが確認できた。第4は運動前250~50msecの広範なCNV的陰性変動で、30%の再現性を認めたが発生源は同定し難かった。(日眼91:509—518, 1987)

キーワード：眼球運動準備電位，視覚誘導性衝動性眼球運動，動的脳電位図法

Abstract

The premotor potentials preceding visually guided saccadic eye movements were investigated by means of EEG dynamic topography. The evoked potentials were recorded from 12 scalp electrodes and they were triggered by differential EOG or the signal of target motion. Fifty responses were averaged using the EEG topography system (NEC-Sanei) including the signal processor 7T08. Four components of pre-saccadic potentials were found: (1) The most reliable premotor positive spike, which centered over the posterior parietal, occurred from 15 to 2 msec before saccades and had the same distribution of far field potential as the auditory brainstem response. This was considered to be the discharge of the burst cell of the PPRF in the brainstem. (2) An antecedent positive potential, which was a movement-related parietal cortical response, occurred from 80 to 20 msec before saccades, gradually increased and flowed into the brainstem. (3) A sharp frontal negative spike occurring from 12 to 0 msec before saccades was proved to be derived from the supraciliary corrugator muscle by EMG study. (4) A slow negative potential recognized about 250 to 50 msec before saccades, which distributed all over the scalp, was considered to be the contingent negative variation similar to a voluntary eye movement. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 91: 509—518, 1987)

別刷請求先：701-01 倉敷市松島577 川崎医科大学眼科学教室 大西 徹

Reprint requests to: Tohru Ohnishi, M.D. Dept. of Ophthalmol., Kawasaki Medical School
577 Matsushima, Kurashiki 701-01, Japan

(昭和61年9月19日受付) (Accepted September 19, 1986.)

Key words : pre-saccadic potential, visually guided saccade, dynamic topography

I 緒 言

衝動性眼球運動 (saccade) の発現に先行して中枢神経各部位で準備電位が発生するが、その発生源は十分に解明されていない。従来の誘発脳波記録による波形分析法を用いた研究は、鹿野と石川¹⁾、Kurtzberg & Vaughan²⁾、Kornhuber & Deecke³⁾、筒井ら⁴⁾、石^{5)~7)}をはじめ多くの報告があり、運動前約700msecから広範囲に出現する緩徐な陰性変動、運動直前に頭頂後頭部に出現する緩徐な陽性変動および急激な陽性変動という3種類の電位変化が確認された⁸⁾。しかし、この方法では時々刻々と変化する脳電位の流れや出現電位の局在を解明することは困難であった。ところが近年、脳内の興奮状態を動画として表現できる動的脳電位図法^{9)~11)}が開発され、眼球運動準備電位の研究に応用されるようになった。石¹²⁾、筒井¹¹⁾¹³⁾、Thickbroom & Mastaglia¹⁴⁾は動的脳電位図法を用いた眼球運動準備電位の局在分布に関する研究から運動前に広域に分布する緩徐な陰性変動や運動直前に頭頂後頭部中心に出現する陽性変動を確認したが、それぞれの発生源については未だ一定の見解が得られていない。

そこで今回、視覚刺激により誘導される衝動性眼球運動発現に先行して発生する準備電位の発生源を同定するため、動的脳電位図法 (dynamic topography) を応用し、最適の方法、条件設定および出現電位の再現性を検討したので報告する。なお本報では再現性のよい眼球運動直前の電位変化を中心に述べる。

II 実験方法

1. 被検者

saccade に先行する準備電位の同定において再現性の高いデータを得るには被検者の選出が重要である。本実験では Electrooculography (EOG) の微分波パルスをトリガーに利用するため、被検者は瞬目の少ない saccade を正確に反復でき、記録中 α 波、筋電図などのノイズの混入が少なく、安定した脳波が得られることが必須条件である。そこで、眼科的および神経学的に異常のない成人男女30人に対して実験前に予備テストを行い、前述の条件を満たした10人を正常被検者として採用した。

2. 記録条件

脳波記録用の関電極は、国際10—20法に準じ Fp₁、

Fp₂、F₇、F₈、Fz、C₃、C₄、T₅、T₆、Pz、O₁、O₂ の12カ所に設置し、不関電極には A₁—A₂ 短絡電極を使用した。また、EOG 微分波パルスをトリガーに利用するため、EOG 用関電極を両外眼角部に、アース電極を前額部に設置した。被検者は座位とし、視覚刺激には oculomotionstimulator (浜松テレビ HTV-C773) を用い、眼前1mに設置したスクリーン上の中心から右方向または左方向へ5°の視標跳躍に従って視覚誘導性衝動性眼球運動を行わせた。視標は視角34.4分、視標輝度9.5nt、背景輝度6.5ntで、視標跳躍頻度は0.3±0.03Hzのランダム刺激とした。加算トリガーはEOG微分波パルスの場合 (saccade trigger) と視標運動信号の場合 (target trigger) の2様式とした。saccade trigger ではEOG微分波 (時定数0.1sec) の頂点をトリガーポイントとして利用し、target trigger では oculomotionstimulator のパルスをトリガーに利用した。

脳波、EOGの増幅には16ch脳波計 (三栄則器 1A53A) を用いた。時定数および高周波フィルターについては予備実験を行い検討した結果、速波ノイズの混入が少なく徐波成分も捕らえ得る時定数0.1secと高周波フィルター100Hzを使用した。なお脳波計に入力した脳波およびEOGはすべて記録紙上でモニターし、同時にテープレコーダー (TEAC-SR70) で磁気テープに記録して保存した。

分析時間は、saccade trigger の場合トリガーポイントの前後256msec、target trigger の場合視標運動開始後512msecとした。

12カ所の関電極から同時誘導された脳波を signal processor 7T08 (日本電気三栄) にて右方向あるいは左方向 saccade の同一方向につき50回の加算平均を行った。得られた波形のうちノイズが多いものや基線の動揺が大きいものは脳電位図作成前に除外した。

動的脳電位図の作成は、筒井¹¹⁾、石¹²⁾の方法により12chの加算平均波形をもとに EEG topography system 500 (日本電気三栄) を用いて行った。カラーCRT画面上にディスプレイされる反応波は、掃引開始より16アドレスの平均を0レベルとして陽性は赤5系統、陰性は青5系統でカラー表示される。こうして得られた二次元脳電位図を0.2~5.0msecの範囲で設定した任意の間隔で次々にCRT画面上に表示し、16mmカメラで各画面のコマ撮りを行い動画を作成した。また同

時にスチル写真撮影も行い分析に利用した。

III 結 果

1. saccade trigger の場合

1) 最も多い反応形式

EOG 微分波パルスを送りトリガーにして得られる加算平均反応 5 例の grand average を右方向 saccade の場合 (図 1) と左方向 saccade の場合 (図 2) について行った。図中の中央矢印はトリガーポイントでその前後 256msec の記録が示されている。実際の眼球運動はトリガー点より 10~20msec 前に始まっている。眼球運動開始前に頭頂後部中心に出現する陽性電位には運動開始前約 80msec から 20msec の緩徐な陽性変動と、運動開始直前 20msec 以内の急激な陽性変動の二つの成分が認められた。運動前の緩徐な陽性変動は C₃, C₄, Pz で振幅が高く、右方向 saccade で 1.5~2.9

μV 、左方向 saccade では 1.5~1.9 μV であった。運動直前の急激な陽性変動は Pz, O₁, O₂, T₅, T₆, C₃, C₄ で同潜時に出現し、右方向 saccade で約 7 μV 、左方向 saccade では約 3 μV であった。また眼球運動前 20 msec 以内に出現する前頭部の陰性電位は眼球運動方向優位で、振幅は右方向 saccade の場合 7.5~11.25 μV 、左方向 saccade の場合 2.5~3.75 μV であった。

以上の加算平均反応を動的脳電位図法を用いて観察すると脳全体としての反応の流れがより明確になる。図 3 は右方向 saccade の場合で、眼球運動前 42msec から頭頂部中心にみられる緩徐な陽性変動は運動直前 13msec から頭頂後頭部の急激な陽性変動に移行し、遠隔野電位様の広域等電圧勾配を呈する。前頭部陰性電位は眼球運動前 12~0msec に出現し眼球運動電位へと移行する。図 4 は左 saccade の場合で、眼球運動前 40msec から出現する緩徐な陽性変動の焦点は左前頭部から右前頭部そして頭頂後頭部へ移動し、運動前 12msec から頭頂後頭部中心に遠隔野電位様勾配を呈する急激な陽性変動へ移行する。眼球運動直前の急激な頭頂後頭部陽性変動の平均出現時間は運動前 15~2 msec で、正確な saccade ができる被検者全例に再現性を認めた。また眼球運動前の前頭部陰性電位の平均出現時間は運動前 12~0msec で、被検者の 80% に再現した。

2) 前頭部から脳幹部へ陽性電位が流れ込む例

図 5 は右方向 saccade の場合の脳電位図であるが、運動前 9.6msec より陽性電位が左前頭部から頭頂後頭部へ移動し、運動直前に遠隔野電位様勾配を示す脳幹部陽性電位に移行する。この運動方向の対側前頭葉眼球運動野から脳幹部への電位の流れは 30% の例に再現した。しかし、陽性電位が図 4 の様に運動方向と同側前頭部→対側前頭部→脳幹部と移動する例も認められた。

3) 皺眉筋由来の電位

眼球運動前 12~0msec に出現する前頭部陰性電位の発生源を確認するため、顔面 12カ所に皮膚電極を設置し saccade に伴う電位を記録した。図 6 は右方向 saccade の脳電位図であるが、眼球運動前 9msec より右前頭部皺眉筋の位置から陰性電位が出現し、眼球運動開始まで持続している。図 1 の右方向 saccade の脳電位図における前頭部陰性電位の電位分布と照合すると、この電位は脳外の電位すなわち皺眉筋由来の電位であることが予想される。そこで右皺眉筋の針電極による electromyography (EMG) と EOG の同時記録を

VSRT Grand average N=5 Rt. saccade

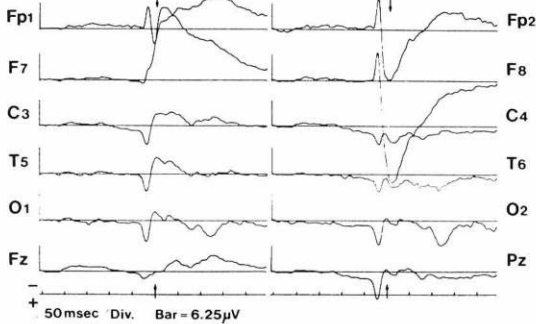


図 1 saccade trigger の場合の右方向衝動性眼球運動準備電位 5 例の grand average 原波形。矢印(↑)はトリガー点を示す。

VSRT Grand average N=5 Lt. saccade

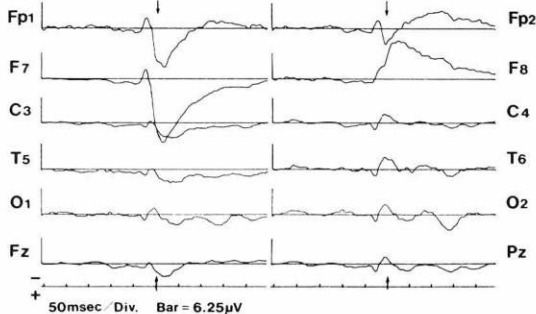


図 2 saccade trigger の場合の左方向衝動性眼球運動準備電位 5 例の grand average 原波形。矢印(↑)はトリガー点を示す。

VSRT Grand average Rt. saccade $0.8\mu\text{V}/\text{step}$

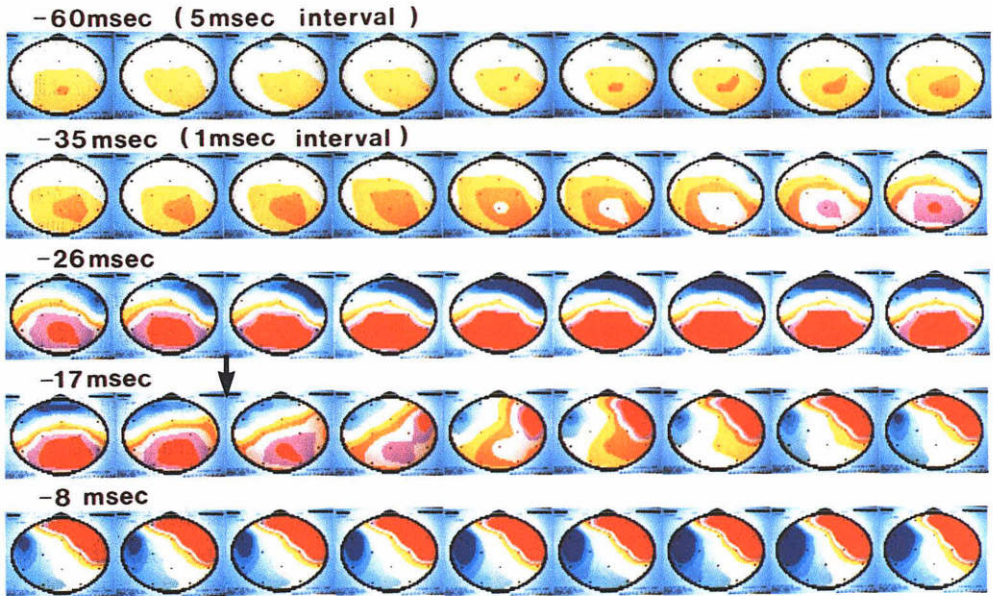


図3 右方向衝動性眼球運動準備電位の動的脳電位図。図1の原波形をもとに作成。眼球運動開始(↓)に先行して42 msec前から緩徐な頭頂部陽性帯電, 13msec前から陽性脳幹電位, また12msec前から前頭部陰性帯電がみられる。(図中各段左の数値はトリガー前の潜時を示す)

VSRT Grand average Lt. saccade $0.4\mu\text{V}/\text{step}$

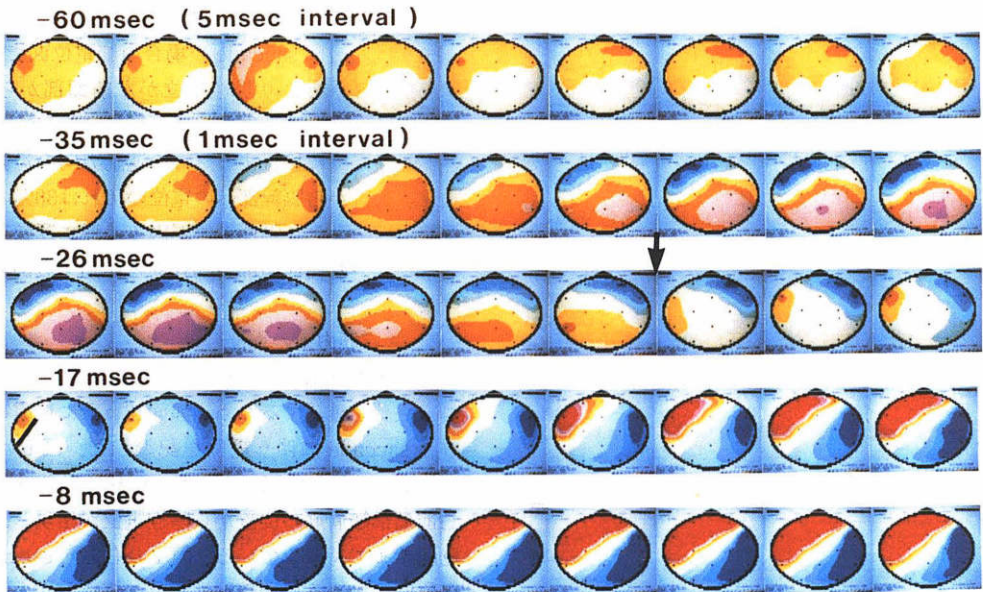


図4 左方向衝動性眼球運動準備電位の動的脳電位図。図2の原波形をもとに作成。左前頭部陽性帯電で示される眼球運動開始(↓)に先行して40msec前から右前頭より緩徐な頭頂部陽性帯電が出現し, 12msec前からは脳幹部陽性電位へ移行する。また, 13msec前から前頭部陰性帯電がみられる。(図中各段左の数値はトリガー前の潜時を示す)

TE-917-6 VSRT Rt. saccade 1.6Hz-1kHz

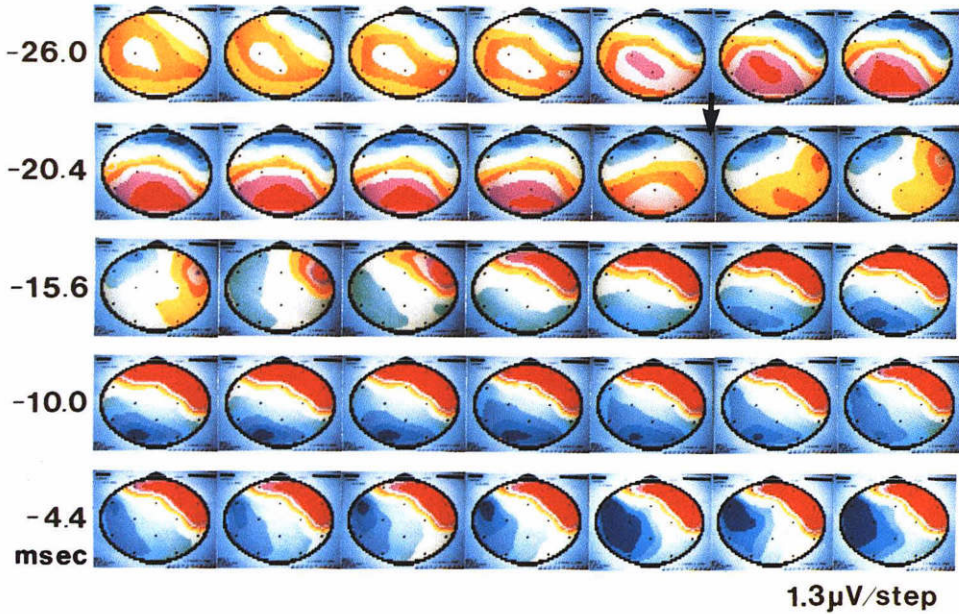


図5 前頭部から脳幹部へ陽性電位が流れ込む例。右衝動性眼球運動開始(↓)に先行して左前頭部から脳幹部へ陽性電位が流れ込みを示す。(左列数値はトリガー前の潜時を示す)

TE-939 Rt. Saccade 1.6Hz-1kHz 3µV/step

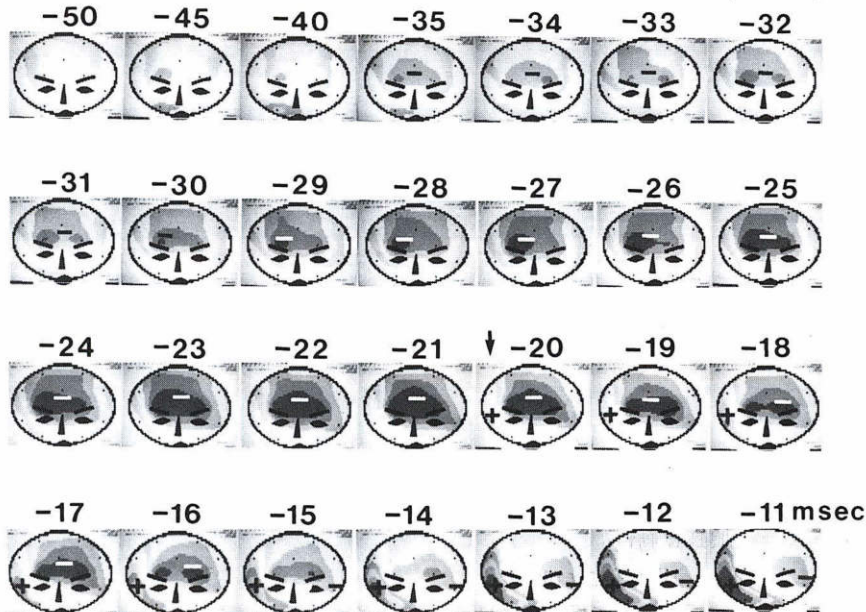


図6 顔面皮膚電極設置による右方向衝動性眼球運動準備電位の動的脳電位図。眼球運動発現(↓)に約12msec 先行して皺眉筋領域に陰性放電を認める。+：陽性電位，-：陰性電位

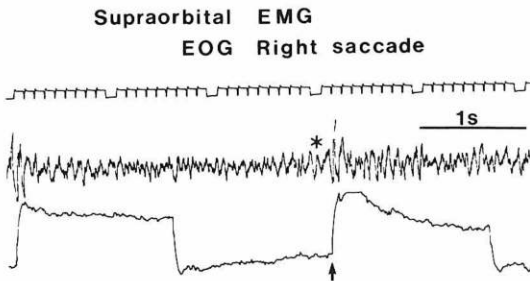


図7 針電極による皺眉筋筋電図(中段)とEOG(下段)の同時記録。EOG上の眼球運動開始時点(↑)に先行して皺眉筋の放電増強(*)を認める。

行ったところ、図7に示すように右 saccade 発現直前に右皺眉筋の放電増強が認められ、前頭部陰性電位は眼球運動直前の皺眉筋収縮に由来することが判明した。

2. target trigger の場合

ここでは視標運動信号トリガーの加算平均反応について述べる。分析に使用するデータは saccade trigger の場合に EOG 微分波パルスおよび視標運動信号と共に磁気テープに記録した脳波を再生して使用し、今度は視標運動信号トリガーで加算平均を行った。このうち saccade trigger の場合と同じ5例のデータについて右方向 saccade と左方向 saccade の grand average を行った。図8は右方向 saccade の場合の原波形である。視標跳躍後約230msec に頂点潜時を有する持続の長い電位変化が前頭部に認められ、Fp₁、F₇では陰性、Fp₂、F₈では陽性である。これは眼球運動電位による前頭部の電位変化である。また視標跳躍後約200msec に頂点潜時を有する陽性電位が頭頂後頭部中心に認められ、振幅はO₁、O₂、Pzで最も高く6.25~7.50 μ Vであった。この電位は saccade trigger の場合運動前にみられた頭頂後頭部の緩徐および急激な陽性変動に相当するが、それぞれを分離同定するのは困難である。図9は左方向 saccade の場合で、右前頭部陽性、左前頭部陰性の眼球運動電位と頭頂後頭部中心の陽性電位は右方向の場合と同様に認められた。

図8、図9のデータをもとに作成した動的脳電位図を図10および図11に示す。図10の右方向 saccade では前頭部に125~250msec まで眼球運動電位があり、脳幹部由来と考えられる頭頂後頭部陽性電位は180~230msec に眼球運動電位と融合して出現している。図11の左方向 saccade でも同様で、130~250msec の前頭部眼球運動電位と200~250msec の頭頂後頭部に分布

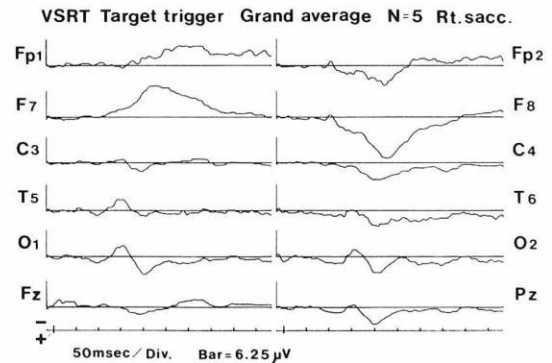


図8 target trigger の場合の右方向衝動性眼球運動準備電位。5例の grand average 原波形

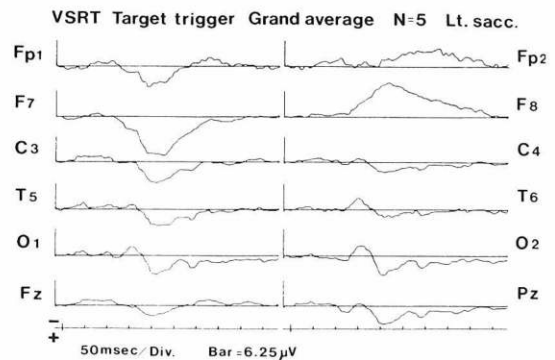


図9 target trigger の場合の左方向衝動性眼球準備電位。5例の grand average 原波形

する脳幹部電位が確認できる。なお眼球運動直前の前頭部陰性電位は弱いけれどもも出現している。

以上のように、target trigger では毎回の眼球運動発現潜時の誤差のため、加算平均された眼球運動前後の電位は平坦化、拡散し、経時的な興奮伝導を捉えるのは困難であった。また視標の跳躍による VEP に類した電位変化も確認できなかった。

一方、コントロールとして saccade を行わずに視標跳躍刺激のみを負荷し被検者はこれを無視する場合(ignore)の反応を視標運動信号トリガーで加算平均し分析したが、有意な反応は認めなかった。

IV 考 按

動的脳電位図法を応用し、視覚誘導性衝動性眼球運動に先行する準備電位の同定を行うための最適の条件および出現電位の再現性を検討した。その結果、眼球運動直前に再現性良く出現する脳幹部由来の頭頂後頭部陽性電位¹⁵⁾と皺眉筋由来の前頭部陰性電位をはじめ

VSRT Target trigger Grand average Rt.sacc. 0.4 μ V/step

5msec / inter.

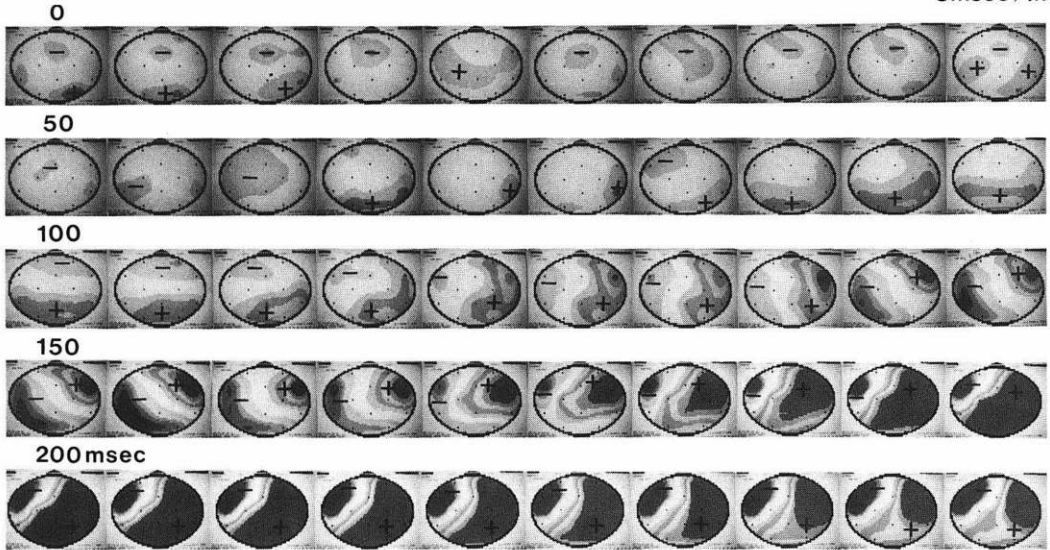


図10 target trigger による右方向衝動性眼球運動準備電位の動的脳電位図, 図8の原波形をもとに作成. 180~230msecに脳幹電位と眼球運動電位が融合してみられる. +: 陽性電位, -: 陰性電位 (図中各段左の数値は視標跳躍後の時間を示す)

VSRT Target trigger Grand average Lt.sacc. 0.4 μ V/step

5msec / inter.

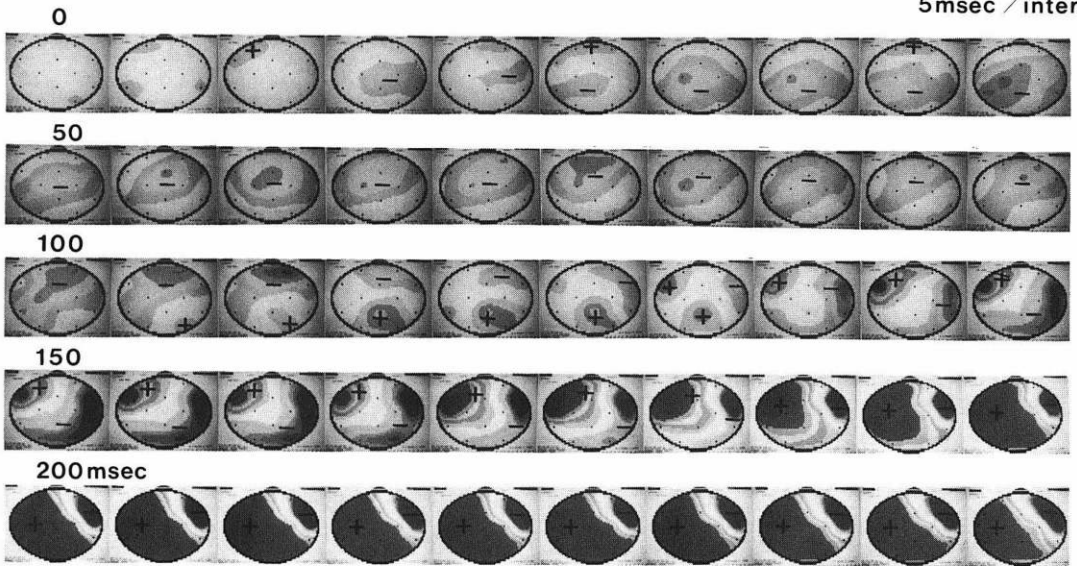


図11 target trigger による左方向衝動性眼球運動準備電位の動的脳電位図, 図9の原波形をもとに作成. 200~250msecに脳幹電位と眼球運動電位が融合してみられる. +: 陽性電位, -: 陰性電位 (図中各段左の数値は視標跳躍後の時間を示す)

表1 出現電位の分布と再現性

出現電位	眼球運動前出現時	電位分布	再現性
premotor positive spike =脳幹電位	-15 ~-2ms	頭頂後頭部 遠隔野勾配 前頭部-脳幹	100% 30%
antecedent positive potential =頭頂葉運動関連電位	-80 ~-20ms	頭頂後頭部 広範囲緩徐 皮質反応型	40~50%
premotor negative spike =皺眉筋電位	-12 ~0ms	前頭部 運動方向に 優位	80%
contingent negative variation (CNV)	-250 ~-50ms	前頭頭頂部 広範囲 緩徐な勾配	30%

4種類の電位変化群を同定することができた。

眼球運動準備電位を動的脳電位図法にて同定する際、被検者の選出は実験成功上最も重要なポイントとなる。従って、脳電位図作成、分析上障害となる α 波、瞬目、筋電図などのノイズ混入が少なく、saccade微分波で一定のトリガーパルスを得るのに軌道が安定した正確なsaccadeであることを被検者の必須条件とした。誘発脳波を加算する際、安定した刺激装置の信号はトリガーに利用し易いが、今回の実験結果が示すように加算平均した電位は衝動性眼球運動発現潜時の時間差が著しいため運動直前の電位が不明瞭になる。一方EOGトリガーの場合のトリガーポイントは、運動発現潜時の長短に拘わらず運動発現直後20~30msecの間に存在するため運動直前の電位同定に有利であった。またCNVプログラムによる加算平均ではトリガー前後256msecの反応を記録したが、磁気テープ再生時に分析時間を100msecに変更すると最高0.2msec間隔の分析が可能で、持続の短い脳幹部の発火を同定するのに有用であった。時定数、高周波フィルターも重要なパラメータであり、石¹²⁾は徐波成分と速波成分の分離同定に時定数3.0secと0.01secを使い分けたが、今回用いた時定数0.1secは両者を同時に捕え得、高周波フィルター100Hzも筋電図混入を適度に押さえ速波成分同定に有用であった。加算回数は正常人の安定したsaccadeの限界と考えられる50回を採用したが充分再現性のある反応を得ることができた。

以上の最適の条件設定で得られた反応を動的脳電位図法を用いて分析した結果、衝動性眼球運動に先行する4種類の電位変化群を同定することができた(表1)。第1は運動直前15~2msecに出現する急激な陽性変動で、正常被検者の100%に再現し、頭頂部を中心

に広域等電圧勾配を示すが、これは聴性脳幹反応にみられるfar field potentialに類似しており¹⁵⁾¹⁶⁾脳幹部由来の電位であることが示唆される。石¹²⁾が報告した随意性眼球運動に先行する脳幹部陽性電位や筒井と深井¹⁷⁾が報告した衝動性眼振に先行する脳幹部陽性電位と電位分布が酷似しており、さらにCohen & Henn¹⁸⁾の報告した覚醒サルの眼振急速相発現前12~20msceのPPRF burst neuronの発火、Brogan & Wolfe¹⁹⁾の報告した覚醒ネコの衝動性眼球運動前10~12msceのPPRF burst neuronの発火と潜時が一致することから、この電位はPPRF burst neuronを含む脳幹部由来の眼球運動起動電位と考えるのが最も妥当である。またこの陽性帯電が前頭部より出現し脳幹部へ移動するものを30%に認めたと、frontal eye field (Area 8) →内包前脚→上丘→脳幹部PPRFという衝動性眼球運動の経路²⁰⁾に沿った電位の流れであると理解される。第2に脳幹部陽性電位に先行し眼球運動前80msecから頭頂中心に出現する緩徐な陽性変動は、near field potentialで皮質電位の分布様式を示している。Kurtzberg & Vaughan²¹⁾、Weinsteinら²¹⁾は同様の電位を頭頂部に認め、Lynchら²²⁾はサル頭頂葉Area 7a neuronが視覚誘導性衝動性眼球運動発現に75msec先行して発火することを証明していることから、この電位は頭頂葉皮質由来である可能性が高い。第3の眼球運動直前12~0msecの前頭部陰性帯電は皺眉筋の収縮に由来することがEMGとEOGの同時記録で判明した。このような電位は未だ報告されていないが、皺眉筋が外眼筋と一定の協調運動を行うことを示唆しており非常に興味深い。第4は眼球運動前250~50msecに認められる前頭頭頂中心の緩徐で持続の長い陰性変動である。これは運動前700msecから認められるCNVの広域陰性帯電²³⁾²⁴⁾に相当するが、今回の実験の様なrandom saccade刺激では、随意性運動や予告信号がある場合に比べ出現頻度が低下するものと思われる。現在までに確認されている眼球運動前の電位変化は、主に加算平均波形分析によるものであり、Kurtzberg & Vauguhan⁸⁾報告に集約される。すなわち、眼球運動前650msceから出現するslow negative shift、運動前250~100msecの頭頂後頭部を中心とするramp like positivity (あるいはantecedent potential)、運動直前10~40msecの頭頂部中心のsharp positive (あるいはspike potential)の3種の電位群で、波形上では今回新たに同定した皺眉筋由来の陰性電位を除きほぼ一致する。Weinsteinら²¹⁾、Brickettら²⁵⁾のように、

従来は多チャンネル同時記録および脳電位図による分析が行なわれておらず、電位の局在解明は不充分であった。石¹²⁾、筒井¹¹⁾¹³⁾の報告は動的脳電位図を用いたものであり、今回の結果とはほぼ一致するが、皺眉筋電位は同定されていない。Thickbroom & Mastaglia¹⁴⁾は衝動性眼球運動に先行する前述の3種の電位を動的脳電位図法を用いて表現し、電位局在に関する検討を行っているが、far field potential, near field potential という電位の深さに関する概念²⁵⁾を導入しておらず、出現電位は総て皮質由来と推定している点異なる。

今回の実験で動的脳電位図法を用い頭皮上から衝動性眼球運動に先行する準備電位を同定したが、これは視覚運動中枢から外眼筋への興奮伝導を具体的に画像として捉らえた点で画期的なものであると考えられる。

今後の課題としては、脳幹部の各神経核群の発火を分離同定、CNV 的陰性変動も含めた脳幹部陽性電位以前に出現する電位の同定、さらに visual から moter へ移行する脳内電位変化の分析などが上げられる。また病的例においても検討を行い、臨床応用へ発展させる予定である。

稿を終えるにあたり、御指導御校閲を賜りました筒井純教授に深謝いたします。なお、本研究の要旨は第90回日本眼科学会総会にて発表した。

文 献

- 1) 鹿野信一, 石川 哲: 眼科と内科, 特に眼球運動異常疾患とその記録法, 分析法について, 最新医学 21: 2453—2459, 1968.
- 2) Kurtzberg D, Vaughan HG Jr: Electrocor-tical potentials associated with eye movements, in Zikmund V, (ed): The Oculomotor System and Brain Function, Publishing House of the Slovak Academy of Science, 135—145, 1973.
- 3) Kornhuber HH, Deecke L: Hirnpotentialan-derungen bei Willkurbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. Pflugers Archiv 284: 1—17, 1965.
- 4) 筒井 純, 深井小久子, 石 幸雄, 加藤美千代, 高木明美, 塩田純一郎: 随意性衝動性水平眼球運動に先行する脳波変化, 眼臨 71: 542—545, 1977.
- 5) 石 幸雄: 眼球運動に先行する脳波の研究, 第1報. 随意性衝動性垂直および斜方向眼球運動に先行する脳波変化, 日眼 81: 1168—1175, 1977.
- 6) 石 幸雄: 眼球運動に先行する脳波の研究, 第2報. 方形波運動, 正弦波運動, 三角波運動について, 眼臨 72: 560—564, 1978.

- 7) 石 幸雄: 眼球運動に先行する脳波の研究, 第3報. 衝動運動速度と陽性波, 眼臨 73: 719—722, 1979.
- 8) Kurtzberg D, Vaughan HG Jr: Topographic analysis of human cortical potentials proceeding self-initiated and visually triggered saccades. Brain Res 243: 1—9, 1982.
- 9) 筒井 純: 視覚誘発動的脳電位図法のとり方と臨床応用. 日本医事新報 3087: 15—18, 37—40, 1983.
- 10) 筒井 純, 狩野俊哉, 川島幸夫, 石 幸雄: 動的脳電位図法応用の基礎, 眼科 25: 985—991, 1983.
- 11) 筒井 純: 視覚誘発動的脳電位図法の基礎と臨床応用, 日眼 89: 86—131, 1985.
- 12) 石 幸雄: 眼球運動に先行する脳波の研究, IV., 随意性衝動性眼球運動前中後の動的脳電位図, 神眼 1: 74—79, 1984.
- 13) 筒井 純: 動的脳電位図, 眼科 28: 29—37, 1986.
- 14) Thickbroom GW, Mastaglia FL: Cerebral events proceeding self-paced and visually triggered saccades: A study of presaccadic potentials. Electroenceph Clin Neurophysiol 62: 277—289, 1985.
- 15) Jewett DL, Willston JS: Auditory evoked far fields averaged from the scalp of humans. Brain 94: 681—696, 1971.
- 16) 筒井 純, 川島幸夫, 大西 徹: 視機能に関する脳幹部電位の動的脳電位図法による研究, 日眼 90: 1462—1473, 1986.
- 17) 筒井 純, 深井小久子: 眼振発現に関する脳電位の研究, 第1報. 方法の開発, 眼臨 79: 2081—2085, 1985.
- 18) Cohen B, Henn V: The origin of quick phase of nystagmus in the horizontal plane. Biol Ophthalmol 82: 36—55, 1972.
- 19) Brogan FA, Wolfe JW: Brief communication. A method of averaging evoked potentials that precede saccadic (rapid) eye movements. Physiology and Behavior (: 557, 1972.
- 20) Bender MB: Brain control of conjugate horizontal and vertical eye movement. Brain 103: 23—69, 1980.
- 21) Weinstein JM, Williams GH, Drack AV, Stank TM, Balaban CD: Cortical evoked potentials proceeding voluntary saccadic eye movements. Neuroophthalmol 4: 169—176, 1984.
- 22) Lynch JC, Mountcastle VB, Talbot WH, Yin TCT: Parietal mechanisms for directed visual attention. J Neurophysiol 40: 362—389, 1977.
- 23) Vaughan HJ Jr, Costa LD, Ritter W: Tomography of the human motor potential.

- Electroenceph Clin Neurophysiol 25: 1—10, 1968.
- 24) **Sibasaki H, Barrett G, Halliday E, Halliday AM**: Components of the movement-related cortical potentials and their scalp tomography. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 49: 213—216, 1980.
- 25) **Brickett PA, Weinberg H, Davis CM**: Cerebral potentials proceeding and information: Event-Related Potentials. *Ann NY Acad Sciences* Vol 425, 429—433, 1984.
- 26) **Jewett D**: Volume-conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 28: 609—618, 1970.

(第90回日眼総会原著)
