

眼球運動準備電位の動的脳電図法による研究

第2報 水平, 垂直, 斜方向衝動性運動における

出現電位の特性について (図10, 表1)

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

2. Topographical Characteristics of the Pre-saccadic Spike
Potential in Horizontal, Vertical and Oblique Saccades

Tohru Ohnishi

Department of Ophthalmology, Kawasaki Medical School

要 約

動的脳電図法を用い衝動性眼球運動直前の spike potential (SP) を発生源の異なる水平, 垂直, 斜方向運動において検出し再現性, 潜時, 脳電図の分布様式を比較検出した。SP の再現性は水平100%, 垂直88%, 斜方向82%, 潜時は運動前約7msec で方向差はなく脳幹運動ニューロンの発火潜時と一致した。水平性 SP は頭頂中心に焦点移動の少ない広域等電圧勾配を呈することより paramedian pontine reticular formation (PPRF) を含む下位脳幹神経核群の発火, 垂直性 SP は中央線寄りの中勾配電位で頭頂後頭間で焦点移動することより中脳垂直運動中枢を含む上位脳幹部神経核群の発火と推定した。斜方向性 SP は両者の特徴を共に示すことから上位下位脳幹部神経核群の同時発火によると考えられた。このような脳電図における分布, 波動様式 directional specificity は脳内電源の位置や深度に関連があると推察された。(日眼 92: 731—740, 1988)

キーワード: 眼球運動準備電位, 衝動性眼球運動, 脳幹電位, 運動方向, 動的脳電図法

Abstract

The presaccadic spike potentials (SPs) associated with visually guided saccadic eye movements for horizontal, vertical and oblique meridians were investigated by means of moving electroencephalographic (EEG) topography. The EEG activities were recorded from 16 scalp electrodes and they were triggered by differential EOG. To detect the SPs in each of the three directions, 50 EEG responses were averaged and moving topographies were made using the EEG topography system 711A (NEC San-ei) including a 7T18sp signal processor. In all direction, the SPs were recognized about 7 msec before the onset of the saccade. The horizontal SPs, which were detected in all trials, centered over the mid-parieto-occipital region on the scalp and had far field potential distribution. This was considered to indicate the activation of the lower part of the brainstem, including the PPRF and abducens nuclei. The vertical SPs, which were detected in 88% of the trials, showed a tendency to localize towards the midline and had near-far field potential distribution. This was considered to indicate the activation of the upper part of the brainstem including the vertical gaze center in the midbrain. The oblique SPs, which were detected in 82% of the trials and had both characteristics of

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 (昭和63年1月12日受付)

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

(Accepted January 12, 1988)

the horizontal and vertical SPs, were considered to indicate the activation of both upper and lower brainstem. It was considered that these directional characteristics on topography were related to the location and the depth of the intracranial generator. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 92 : 731—740, 1988)

Key words : presaccadic spike potential, saccadic eye movement, moving topography, direction, generator

I 緒 言

衝動性眼球運動 (saccade) は下位中枢である脳幹群神経核群の発火により惹起され、水平、垂直、斜方向ではそれぞれ興奮する運動中枢の位置が異なる¹⁾²⁾。しかしこのような興奮部位の違いを脳電図で具体的に画像表示したものは少ないと思われる。

水平衝動性眼球運動の準備電位としては眼球運動開始前700msecから広範囲に出現する slow negative shift (SNS)、運動前250msecから頭頂部に出現する antecedent potential (AP)、運動直前40~10msecに頭頂後頭出現する spike potential (SP) があり、波形分析では Kurtzberg & Vaughan³⁾をはじめとして多くの報告^{4)~9)}がある。また最近では動的脳電図法^{10)~13)}が導入され電位発生源の検索が行なわれている¹⁰⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。前報¹⁶⁾ではこれらの電位変化を動的脳電図で画像表示し、出現様式から SP は脳幹部電位¹⁷⁾¹⁸⁾、AP は頭頂葉電位、SNS は広範囲大脳皮質由来の contingent negative variation (CNV) 的電位であると推定した。方向差による頭皮上電位分布を検討したものとしては筒井⁴⁾、石¹⁴⁾、Balaban & Weinstein¹⁹⁾、Ignochek et al²⁰⁾、Thickbroom & Mastaglia²¹⁾の報告があるがいずれも波形分析によるもので脳内電源の興奮状態を類推するのは困難である。脳内神経興奮を頭皮上から推察するには動的脳電図法が有用であり、Thickbroom & Mastaglia²²⁾も脳電図を用いて左右方向の SP を比較しているが垂直や斜方向については検討しておらず、既報にて示唆したような電位の発生源との関係²³⁾については言及していない。

そこで今回は、動的脳電図法を用いてそれぞれ発生源の異なる水平、垂直、斜方向において最も再現性の良い SP を検出し、運動方向差による出現様式の相異を比較検討したところ magnetic resonance imaging (MRI) を参考にした脳内発生源の位置と頭皮上電位の分布、出現様式の間に関連性が認められたので報告する。

II 実験方法

1. 被検者

再現性の高いデータが得られる被検者を選出するため、神経学的、眼科学的に異常のない成人男女20人に対して予備実験を行なった。被検者の条件としては正確な saccade を反復でき瞬目が少ないこととしたが、今回の実験では脳波の増幅周波数帯域を速波用に設定したため特に筋電図の混入の少ないことも条件に加えた。こうして条件を満たした者10人を被検者として採用した。

2. 視標跳躍刺激

被検者には眼前1mのスクリーン上に5°間隔で設置した赤色発光ダイオードの交互点滅刺激に従って、①中心から水平右方向、②中心から垂直上方向、③中心から斜め45°上方向の3種類の視覚誘導性眼球運動を行なわせた。視標跳躍は頻度0.27~0.33Hzのランダム刺激とした。

3. 装置および記録条件

装置には誘発脳波の記録、自動動画作成を目的に開発された Moving topography system 711 A (日本電気三栄)²⁴⁾²⁵⁾を使用した。動画作成の原理は前報と同様である。

脳波記録は A₁-A₂短絡電極を基準電極とし、国際10-20法に準じ Fp₁、Fp₂、F₇、F₈、C₃、C₄、Cz、T₅、T₆、P₃、P₄、Pz、O₁、O₂、Oz に設置した16箇所の活性電極から単極導出した。また本実験では electrooculography (EOG) の微分波パルスを送りトリガーに使用するため、銀塩化銀皿電極を右眼内外眼角部、眉毛上および下眼瞼下部に、アース電極を前額部に設置した。

増幅器には多用途18ch脳波計(1A97)を使用した。脳波は時定数0.003秒、高周波フィルター1.5KHzで速波中心に増幅し、EOG用には時定数0.1秒、高周波フィルター120Hzに設定して加算のトリガーパルスを得た。

16箇所の活性電極から導出した脳波を signal proc-

essor 7T18spにて加算平均するが、トリガーがEOGの立ち上がりから70~80%のところにかかるようにレベルを設定した。また signal processor 7T18spはノイズ除去機構を有しており、100 μ Vを越える大きなノイズが加算から除外されるようにCRT上でレベルを設定した。

分析時間はサンプルクロック(0.1msec)×ポイント数(1024)=102.4msecで、trigger delayを512ポイントにおきトリガー前後51.2msecの加算平均を行なった。加算回数は各運動方向につき50回とした。

加算平均が終了すると原波形が signal processor 7T18spのCRT上に表示され、これを全てサーマルプリンターでコピーを取った後フロッピーディスクに格納し保存した。なお脳波およびEOGは後に加算条件を変更して詳細な分析を行なうためにテープレコーダ(TEAC SR-70)で磁気テープに同時記録して保存した。

4. 分析方法

(1) ムービングトポグラフィーによる分析²⁵⁾

得られた加算原波形をもとに signal processor 7T18spを用いて0.5~1.0msec間隔毎に各潜時の二次元脳電図64画面を作製、コンピュータのメモリに記憶させ、つぎに各画面を一定の速度でカラーCRTに連続表示することにより動画(ムービングトポグラフィー)として観察した。これは signal processor 7T18spに内蔵された dynamic topography functionにて全て自動的に行なえる。また動画は on-line でビデオに収録でき、各運動方向における出現電位、特にSPの再現性、分布、波動様式の違いをビデオを反復再生して比較検討した。ここでは実際の動画をビデオで展開でき

ないので0.5~1.0msec毎の二次元脳電図を経時的に配列して呈示する。なおカラーCRT上の各脳電図の反応は掃引開始後16ポイントの平均電位を0として陽性反応は赤系統5段階、陰性反応は青系統5段階でカラー表示される。

(2) 出現電位の潜時に関する分析(図1)

CRT上に表示される潜時はトリガーポイントを0としてトリガー前がマイナス、トリガー後はプラスの符号をつけて表わされる。しかし実際にはトリガーポイントは眼球運動中にあり、眼球運動開始からトリガーポイントまでの時間にも個人差や運動方向差がある。したがってCRT上の潜時でSPの眼球運動前出現時の比較を行なうことはできない。そこで図1のごとく被検者別に各運動方向におけるEOG 10回分のデータを同時記録した磁気テープより再生し、saccade 発現潜時がトリガーポイント前何 msec であるかを求めた。さらにこの潜時を0としてトポグラフィ上に出現するSPの saccade 前潜時を算出した。

III 結 果

各運動方向の場合の反応を加算原波形および経時的に配列した二次元脳電図で示すが、10例全ての結果を呈示することはできないので、代表例の結果について説明を加える。なお各被検者間における反応の再現性、また各運動方向における反応の特性についてもまとめて示す。

1. 水平衝動性眼球運動の場合

右方向 saccade の場合の加算原波形を図2に示す。図中の中央線はトリガーポイントで、前後51.2msecの反応が示されている。トリガー前約30msecから Fp₁, Fp₂に皺鼻筋収縮による陰性電位¹⁶⁾が認められ、F₇, F₈にはトリガー前20msecから眼球運動による電位が位相が丁度逆になって出現している。トリガー前約35msecから P₃, P₄, Pz, O₁, O₂, Oz, C₃, C₄, T₅, T₆に認められる陽性電位(図2中の▲印)が presaccadic spike potential (SP) で、電圧5~7 μ Vの遠隔電場電位の特徴を呈している。SPは波形上単一反応のように見えるが図3のごとくムービングトポグラフィ(ここでは各潜時の二次元脳電図を経時的に配列して示す)にして観察すると一様ではないことが分かる。SPはトリガー前32msecから頭頂後頭を中心に出現し、反応のピークで広域等電圧勾配を示す陽性帯電として10msec持続している。陽性帯電の焦点は反

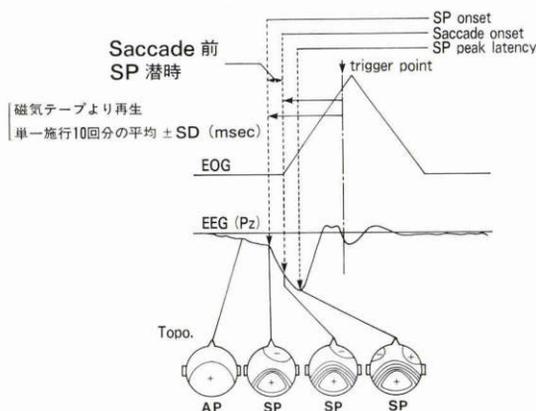


図1 Saccade前SP潜時の分析方法

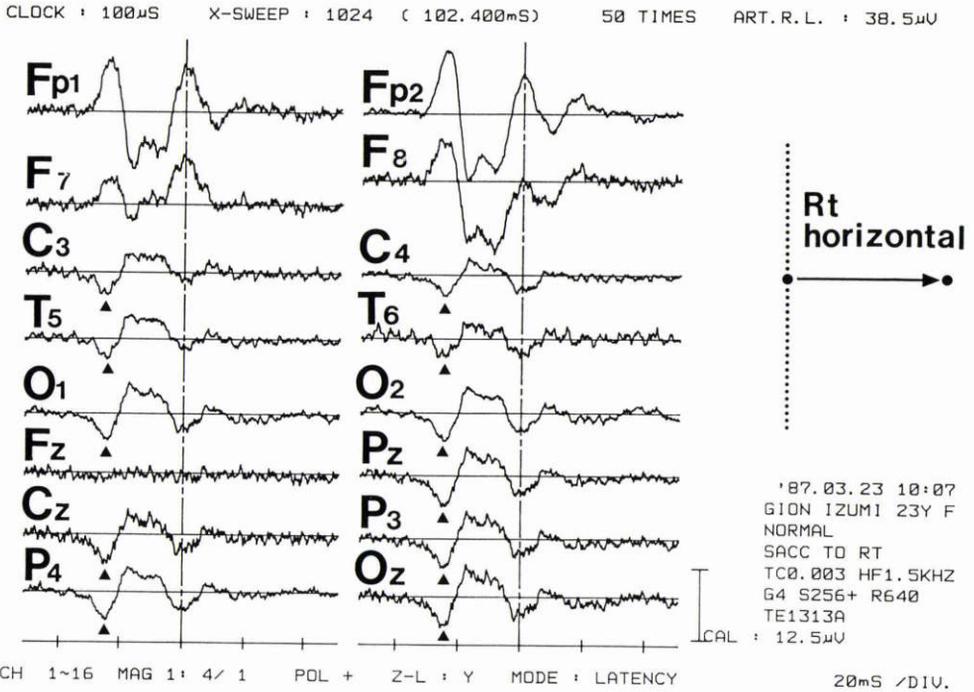


図2 水平方向 Saccade の場合の加算平均原波形. 图中各中央線はトリガー点, ▲印は SP を示す.

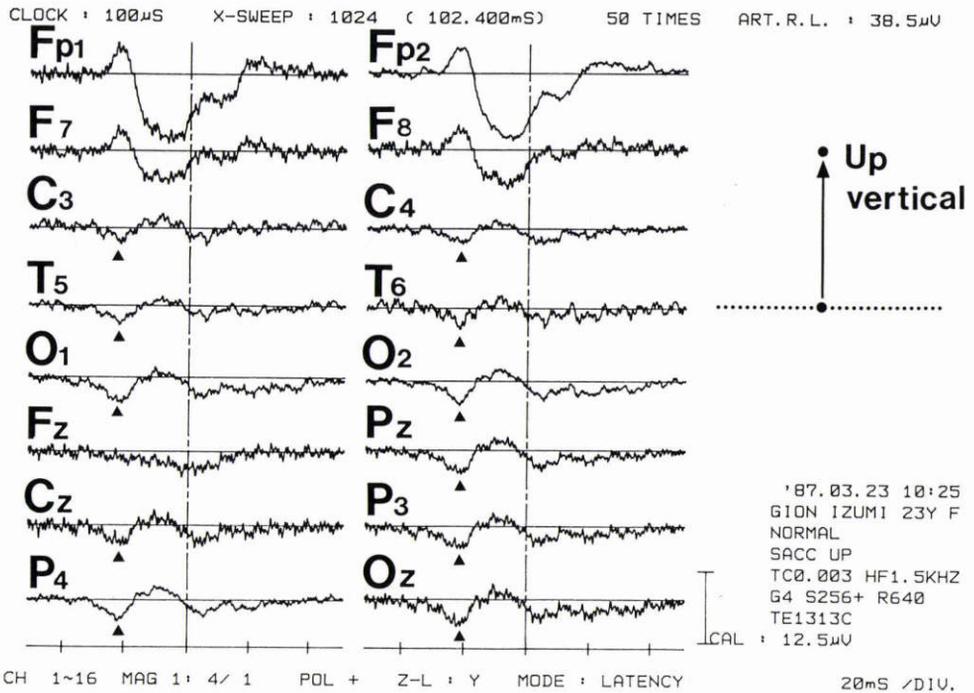


図4 垂直方向 Saccade の場合の加算平均原波形. 图中各中央線はトリガー点, ▲印は SP を示す.

応の初めと終りを除きあまり移動が見られないが、電位分布と勾配は時間の経過とともに変化している。これは脳幹付近の異なる部位で次々に興奮が起っていることを示唆している。またトリガー前31.5msec から前頭部に認められる陰性帯電は皺眉筋電位でトリガー前20.5msec の前頭部眼球運動電位出現まで持続している。

2. 垂直衝動性眼球運動の場合

垂直上方 saccade の場合の加算原波形を図 4 に示す。水平運動の場合と同様に、トリガー前約30msec より頭頂後頭(電極 P₃, P₄, P_z, C₃, C₄, Cz, O₁, O₂, Oz)に SP (図 4 中の▲印) が認められるが最大振幅は水平性 SP より小さく 3~5 μ V である。また皺眉筋電位も同様に低振幅である。眼球運動電位は運動方向に対して F₇, F₈ と同じ方向にあるため位相の逆転はみられない。振幅の大小を除いては波形上から垂直性 SP と水平性 SP の相違を見出すのは困難であるが、ムービングトポグラフィを用いると両者の相違を明確に示すことができる。図 5 に示すように、SP はトリガー前30msec から17.5msec まで頭頂後頭の陽性帯電として出現しているが、水平 saccade の場合と異なり、分布は中央寄りに限局する傾向にあり、電位勾配は皮

質反応に似たやや密な中勾配で、焦点が後頭と中心の間で移動している。このことから垂直性 SP は、水平 SP とは異なり、より頭皮に近い脳内運動中枢から発生していると推定される。なおトリガー前27msec から19.5msec まで前頭部に見られる陰性帯電が皺眉筋電位で、これに続き17.5msec から出現する前頭部陽性帯電が眼球運動電位であるが、水平運動の場合のような左右の偏位は認められない。

3. 斜方向衝動性眼球運動の場合

右斜め上45°方向 Saccade の場合の結果を示す。図 6 を加算原波形で、水平、垂直 saccade の場合と同じくトリガー前30msec から頭頂後頭に SP (図 6 中の▲印) が出現し、ほぼ同潜時に前頭部の皺眉筋電位が認められる。眼球運動電位は水平の場合と同様に F₇ と F₈ で位相が逆転している。SP の振幅は、水平、垂直よりさらに小さく、2~4 μ V である。図 7 のトポグラフィでは斜方向性 SP は水平性 SP と垂直性 SP の両者の特徴が認められる。すなわち、頭頂後頭に広く分布し遠隔電場電位勾配を呈する水平性 SP 様反応と中央線寄りに分布し中勾配を呈する垂直性 SP 様反応の両者が混在して出現する。また皺眉筋電位や眼球運動電位の分布も水平性の垂直性の中間の分布様式をとつ

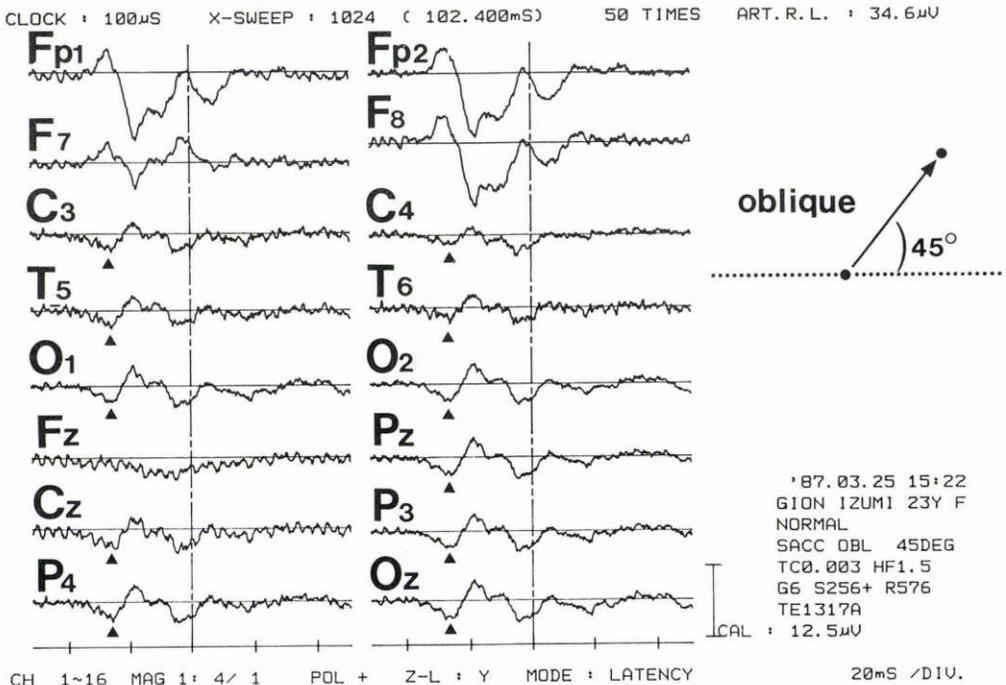


図 6 斜方向 Saccade の加算平均原波形。図中各中央線はトリガー点、▶印は SP を示す。

TE1313A Rt saccade SP N=50 53-1500Hz

0.7 μ V/step 0.5msec interval

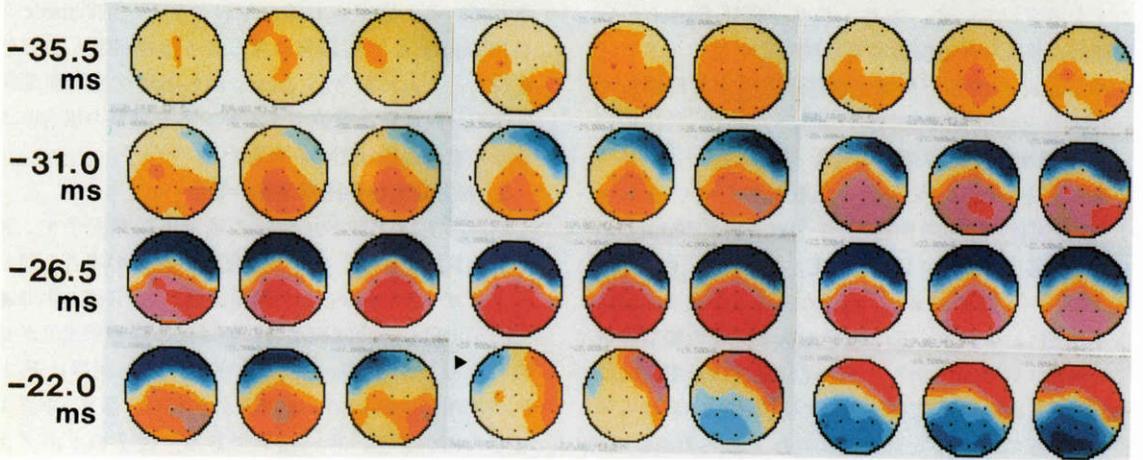


図3 水平方向 Saccade の場合の動的脳電位図, SP はトリガー前32msec から頭頂後頭部広域等電圧勾配の陽性帯電として約10msec 出現するが焦点移動は少ない, トリガー前31.5msec より前頭部にみられる陰性帯電は皺眉筋収縮による EMG である, 図中左列はトリガー前の潜時を示す, ▶印は眼球運動開始点,

TE1313C Upward saccade SP N=50 53-1500Hz

0.7 μ V/step 0.5msec interval

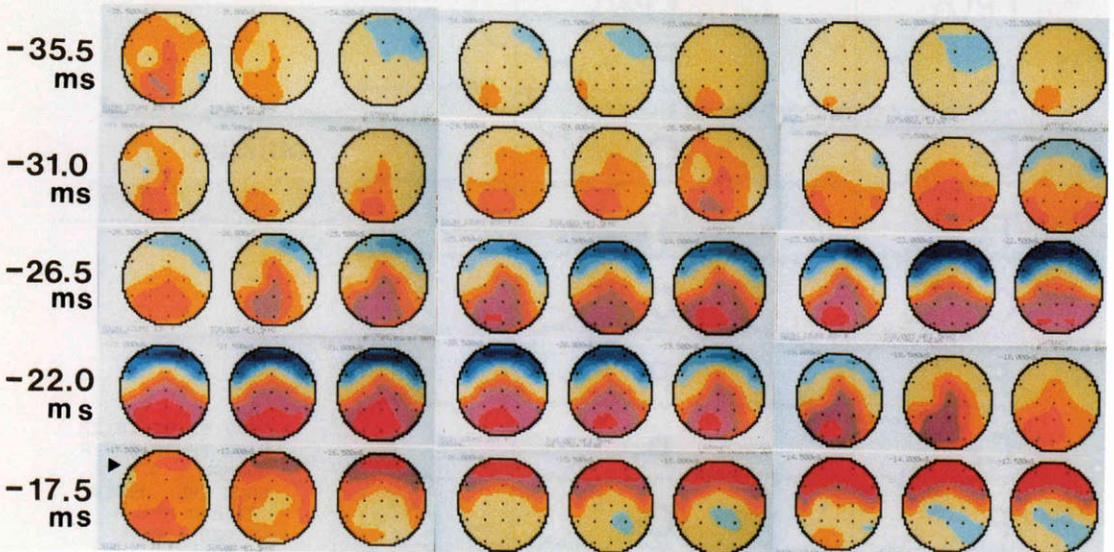


図5 垂直方向 Saccade の場合の動的脳電位図, SP はトリガー前30~17.5msec に中央線寄りの緩勾配陽性帯電として認められ前後に焦点を移動する, トリガー前27~19.5msec の前頭部陰性帯電は皺眉筋電位, 図中左列はトリガー前潜時を示す, ▶印は眼球運動開始点,

TE1317A Oblique 45° up saccade SP N=50 53-1500Hz
0.7uV/step 0.5msec interval

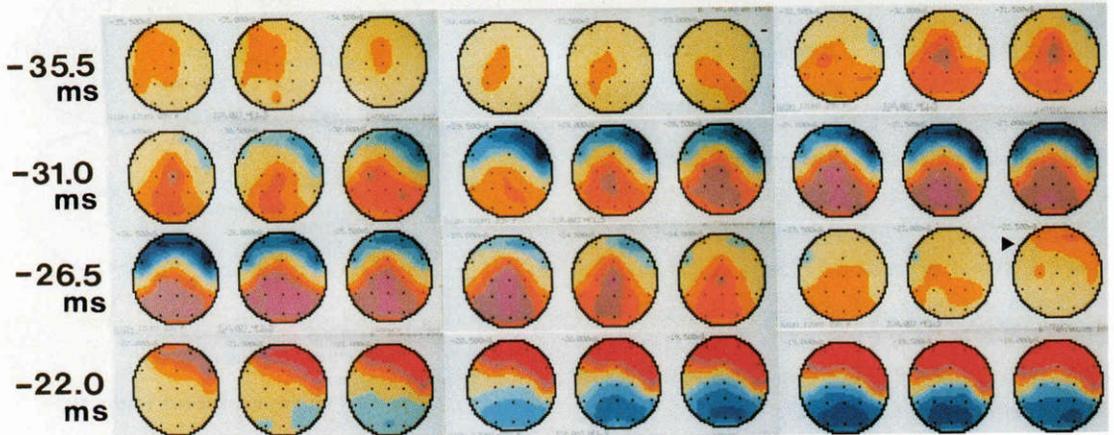


図7 斜方向 Saccade の場合の動的脳電位図. SP はトリガー前30msec から頭頂後頭に認められる陽性帯電で水平, 垂直両方の特徴を備えている. 図中左列はトリガー前潜時を示す. ▶印は眼球運動開始点.

表1 各運動方向における Spike potential の再現性と出現様式

運動方向	眼球運動前潜時*	再現性	分布様式	波動様式
1) 水平方向	6.2±2.0 msec	100% (17/17)	広域等電圧勾配	頭頂部中心 焦点移動少ない
2) 垂直方向	6.4±3.0 msec	88% (15/17)	中央寄り限局中勾配	後頭~中心部 で焦点移動有り
3) 斜方向	8.9±3.8 msec	82% (27/33)	混合型 水平+垂直	後頭~中心部 で焦点移動有り

*: 1) 2) n.s., 2)3) n.s., 1) 3) n.s.,

ている。したがって、斜方向では水平性 SP と垂直性 SP の発火がほぼ同時間帯に起こっていると推察される。

4. Presaccadic spike potential の運動前出現潜時, 再現性, 出現様式の比較 (表1)

前述の手順 (表1) で SP が実際の眼球運動開始何 msec 前から出現するかを各運動方向について算出し比較した。その結果、SP の眼球運動前出現潜時は、1) 水平方向の場合 6.2±2.0msec, 2) 垂直方向の場合 6.4±3.0msec, 3) 斜方向では 8.9±3.8msec であった。そして1)と2), 2)と3), 1)と3)で t 検定を行なったところいずれも有意差は認められなかった。したがって SP は運動方向に関係なく、運動開始前約7msec より出現していることになる。各運動方向における SP

は、水平方向では17施行中17 (100%), 垂直方向では17施行中15 (88%), 斜方向では33施行中27 (82%) と高い再現性をもって出現した。分布様式および波動様式を比較すると、水平性 SP は広域等電圧勾配の陽性帯電で頭頂中心に焦点をあまり移動しないのに対し、垂直性 SP は中央線寄りに限局する中勾配の陽性帯電で焦点が後頭と中心を移動する。また、斜方向 SP は丁度水平性と垂直性 SP が混合した分布波動様式をとっている。このように SP の分布および波動様式には方向依存性が認められ、同一被検者で再度行なった実験でも同様の結果が得られた。

IV 考 按

動的脳電図法を応用しそれぞれ発生源の異なる水平, 垂直, 斜方向 saccade に先行する spike potential (SP) を検出し、出現潜時, 再現性, 分布および波動様式を比較した。その結果、SP の眼球運動前出現潜時は一定であったが、再現性は水平, 垂直, 斜方向の順で低下し、動的脳電図上 SP の分布, 波動様式に方向差による相異が認められた。

眼球運動準備電位を記録する際、saccade の速度や振幅が不安定であるとトリガーポイントに誤差が生じ、筋電図などのノイズが混入すると S/N 比が低下する。したがって信頼性の高いデータを得るには予備実験による被検者の選出を必要とした。

誘発脳波の記録, 分析に用いた Moving topography system 711 A (日本電気三栄)²⁴⁾²⁵⁾は, 原理的には前報で用いた EEG topography system 500 (日本電気三栄)と同様であるが, 分析能力は格段に向上し, 自動動画作成機能をはじめとする機能の殆どが自動化されている. 装置の中枢を担う signal processor 7T18sp は最小0.036msec の clock time で1024ポイントの反応を記録できるので本実験の如く短時間反応の分析に有利であった. 眼球運動直前の反応検出には先に報告した EOG トリガーが有用であるが, 今回は EOG 微分波パルスを signal processor 7T18sp の CRT 上でモニターしながらトリガーレベル設定を行なっているのでより正確である. また CRT 上でノイズ除去レベルを設定できるため瞬目や筋電図によるノイズの監視が容易となり良質のデータが得られた. 時定数を0.003sec (53Hz), 高周波フィルターを1.5KHz に設定したことで誘発脳波に混入する α 波などの徐波成分が減衰し, 今回目的の速波成分すなわち持続 1~2msec, 0.5~1 KHz の脳幹部神経核群の発火検出に有利であった. また今回の実験では一度に3方向のデータを記録するため被検者の負担, 疲労を考慮して加算回数は1方向につき50回とした.

分析には system 711A の dynamic topography function (自動動画作成機能)²⁵⁾を使用し, ビデオ収録した動画を反復再生して反応の頭皮上分布, 波動様式の経時変化を観察した. この機能は今回のような多くのデータを比較検討するのに時間と労力を節減でき, 非常に有用であった. また, 同時記録した磁気テープ再生により算出した EOG のトリガー前潜時を基準として SP の saccade 前出現潜時を算出する方法は, トリガーポイントのばらつきを補正でき正確な潜時を求めるのに有用であった.

以上の条件で実験を行なった結果, 水平, 垂直, 斜方向眼球運動に先行する SP を検出, 比較検討することができた. Saccade 前 SP 潜時は何れの運動方向の場合も約7msec で, 持続は約10msec であった. これは Cohen & Henn²⁶⁾, Fuchs et al²⁷⁾, 最近では下奥ら²⁸⁾が報告した動物実験での衝動性眼球運動に関連する脳幹ニューロンの発火時期とほぼ一致し, SP が眼球運動を惹起させるための電位である可能性が示唆される. 動的脳電図上, 水平性 SP は頭頂中心の広域等電圧勾配で焦点移動が少ないが, 電位勾配は ABR の前庭神経核電位 (第II波) に類似しており下位脳幹部神経核群の発火である可能性が高い. 垂直性 SP は中央線

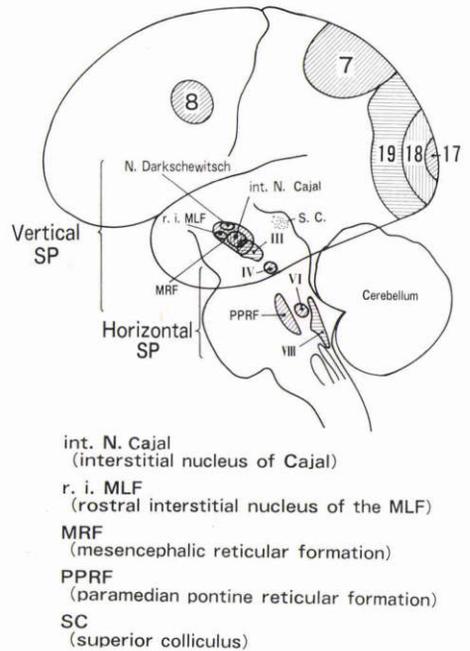


図8 衝動性眼球運動にかかわる中枢の脳内位置関係

よりの中勾配電位で中心と頭頂の間で焦点移動する. この電位勾配は ABR の下丘電位 (第V波) に類似しており中脳垂直眼球運動中枢の興奮を反映していると思われる. 斜方向性 SP は水平, 垂直両者の特徴を兼ね備えていることから水平, 垂直運動中枢が同時期に興奮していることが推察される. ABR の I~IV 波は far field potential で一般に広域等電圧勾配を示すが²⁹⁾, それぞれの発生深度が異なるため実際の頭皮上電位分布には相異がみられる³⁰⁾. SP の場合も各運動方向で発生源の位置が異なるために同様の相異を生じるものと考えられる. 図8に示した眼球運動に拘る脳内中枢の位置関係では, 水平眼球運動を惹起させる PPRF, 外転神経核, 動眼神経核は脳幹部下方に, 垂直眼球運動中枢は中脳上方で脳幹部上端に位置する. MRI 矢状断面撮影で計測を行なうと, PPRF-垂直眼球運動中枢間は30.1mm, またそれぞれの頭頂部までの距離の差は26.1mmである(図9, 図10). したがって, 方向差による SP の頭皮上電位分布の相異には, 発生源から頭皮上までの距離の差が関与していると思われる.

SP の再現性は水平性100%に対して垂直性88%, 斜方向性82%と垂直運動成分が加わると低下する. これはノイズ除去機構にかからない眼瞼運動が脳波に混入したためか, EOG に混入した眼瞼運動によりトリガー

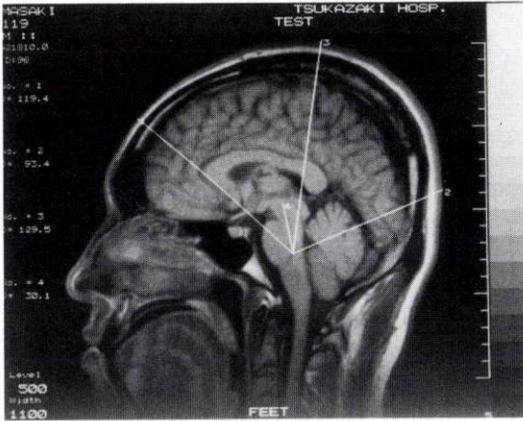


図9 正常例の超電導MRI脳矢状断像, short spin echo法, PPRF—頭皮間, PPRF—垂直眼球運動中枢間の距離を測定. 1:Fz, 2:Oz, 3:Cz, 4:垂直運動中枢.

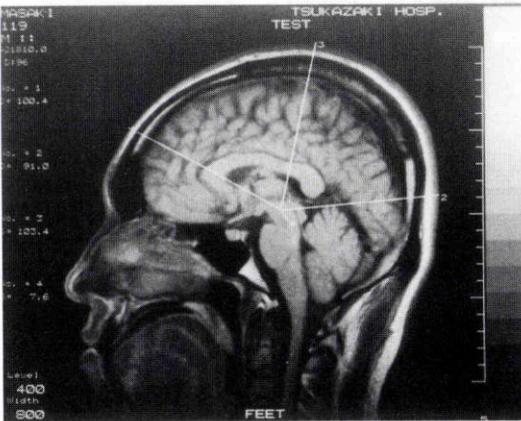


図10 正常例の超電導MRI脳矢状断像, short spin echo法, 垂直運動中枢—頭皮間, 垂直運動中枢—動眼神経核間の距離を測定. 1:Fz, 2:Oz, 3:Cz, 4:動眼神経核.

レベルに誤差を生じたためと考えられる。しかし同時記録した磁気テープを再生しノイズのない部分を再計算すればSPはほぼ100%再現されるので実際の再現性に有意差はないと思われる。

Saccade直前の spike potential に関しては Kurtzberg & Vaughan³⁾の波形分析時代から注目されており、眼球運動前40~10msecに出現する頭頂陽性電位として報告されている。その後の Weinstein⁸⁾, Brickett⁹⁾の報告も同様に頭頂起源説を支持している。しかし、サル頭頂葉 Area 7a ニューロンの興奮は運動

開始前75msecからであり³⁾、今回求めたSPの潜時とはかけ離れており頭頂起源説は否定的である。Thickbroom²¹⁾は脳電図による分析でSPは外眼筋収縮に由来するとしているが、SPは眼球運動前から出現するのでこれも否定的である。また眼球運動方向によるSPの相異について石⁵⁾は水平では運動方向優位であり垂直方向に近くなるほど半球差がなくなると報告している。Balaban¹⁹⁾, Thickbroom²¹⁾Ignoccheck²⁰⁾の報告もほぼ同様である。このことは脳電図上では水平方向の場合の瞬時に見られる方向優位性や垂直方向の場合の対称性という分布様式となって現われており今回の実験結果とほぼ一致する。

今回の実験では衝動性眼球運動直前に出現するSPをとらえ、発生源の異なる運動方向では頭皮上分布に相異のあることを具体的に脳電図として表現できたことは意義深い。これは頭皮上電位の出現様式から発生源を推定する際の手掛かりとなるものであり、他の脳電図を用いた研究においても応用可能である。

今後の研究方針としては、SP発生源の解剖学的位置と脳電図のパターンを数量化して一定の法則を導き出し、さらに病的例での検討を行ない、臨床応用を試みる予定である。

(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。尚、本研究の要旨は第91回日本眼科学会総会にて発表した。)

文 献

- 1) 島津 浩, 井草幸夫: 眼球運動のメカニズム, 脳の制御機能4, 伊藤正男 編, p81-100, 医歯薬出版, 東京, 1980.
- 2) 後藤文雄, 天野隆弘: 眼球運動 (2), Clinical Neurosciences 4: 356-357, 1985.
- 3) Kurtzberg D, Vaughan HG Jr: Topographic analysis of human cortical potentials preceding self initiated and visually triggered saccades. Brain Res 243: 1-9, 1982.
- 4) 筒井 純, 深井小久子, 石 幸雄 他: 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. 随意性衝動性水平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) **Weinstein JM, Williams GH, Drack AV, et al:** Cortical evoked potentials preceding voluntary saccadic eye movements. *Neuroophthalmol* 4: 169—176, 1984.
- 9) **Brickett PA, Weinberg H, Davis CM:** Cerebral potentials preceding visually triggered saccades. *Ann NY Acad Sci* 425: 433, 1984.
- 10) 筒井 純: 視覚誘発動的脳電位図のとり方と臨床応用. *日本医事新報* 3087: 15—18, 37—40, 1983.
- 11) 筒井 純, 狩野俊哉, 川島幸雄 他: 動的脳電位図応用の基礎. *眼科* 25: 985—991, 1983.
- 12) 筒井 純: 視覚誘発脳電位図の基礎と臨床応用. *日眼* 89: 86—131, 1985.
- 13) 筒井 純: 動的脳電位図. *眼科* 28: 29—37, 1986.
- 14) 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.
- 15) **Thickbroom GW, Mastaglia FL:** Cerebral events preceding self paced and visually triggered saccades: A study of presaccadic potentials. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 62: 277—289, 1985.
- 16) 大西 徹: 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. *日眼* 91: 509—518, 1987.
- 17) 筒井 純, 川島幸夫, 大西 徹: 視機能に関する脳幹電位の動的脳電位図法による研究. *日眼* 90: 1462—1473, 1986.
- 18) **Tsutsui J, Ohnishi T, Fukai S, et al:** Moving topography of human presaccadic spike potential in visually triggered and optokinetic nystagmus. *JJO* 31: 489—500, 1987.
- 19) **Balaban CD, Weinstein JM:** The human presaccadic spike potential: Influences of a visual target, saccadic direction and instructions to perform saccades. *Brain Res* 347: 49—57, 1985.
- 20) **Ignoczek A, Weinstein JM, Balaban CD:** Human spike potentials prior to saccades and optokinetic nystagmus fast phases: Effect of instructions, eye movement direction and electrode laterality. *Brain Res* 384: 94—100, 1986.
- 21) **Thickbroom GW, Mastaglia FL:** Presaccadic spike potential: Relation to the eye movement direction. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 64: 211—214, 1986.
- 22) **Thickbroom GW, Mastaglia FL:** Presaccadic spike potential: Investigation of topography and source. *Brain Res* 339: 271—281, 1985.
- 23) 筒井 純, 大西 徹, 千羽 一: 衝動性眼球運動に先行する spike potential の研究. 水平衝動性と垂直衝動性の比較. *神眼* 投稿中.
- 24) 筒井 純, 大西 徹, 深井小久子 他: ムービングトポグラフィーの開発と臨床応用. 第2世代の動的脳電位図法. *臨眼* 41: 1018—1019, 1987.
- 25) 筒井 純, 大西 徹: ムービングトポグラフィー. 装置と機能. *神眼* 4: 264—270, 1987.
- 26) **Cohen B, Henn V:** The origin of quick phase of nystagmus in the horizontal plane. *Biol Ophthalmol* 82: 36—55, 1972.
- 27) **Fuchs AF, Kaneko CRS:** A brain stem generator for saccadic eye movements. *Trends Neurosciences* p283—286, 1981.
- 28) 下奥 仁, 山懸祥隆: 眼球運動障害のトピックス. 近年の脳生理学的知見をもとにして. *あたらしい眼科* 4: 475—481, 1987.
- 29) **Jewett DL, Willston JS:** Auditory evoked far fields averaged from the scalp of humans. *Brain* 94: 681—696, 1971.
- 30) 橋本 勲: 聴性脳幹反応(III). *臨床脳波* 26: 475—483, 1984.
- 31) **Lynch JC, Mountcastle VB, Talbot WH, et al:** Parietal mechanisms for directed visual attention. *J Neurophysiol* 40: 362—389, 1977.

(第91回日眼総会原著)