

①

体性感覚モダリティーにおける自動的情報処理過程について

Somatosensory automatic responses to novel stimuli

篠崎 直子

弘前大学医学部神経精神医学教室

[〒036 青森県弘前市在府町 5]

Naoko Shinozaki : Department of Neuropsychiatry, Hirosaki University School
of Medicine, 5 Zaifu-cho, 036 Japan

はじめに

・脳内には統御的処理 (controlled processing) と自動的処理 (automatic processing) の2つの感覚入力処理過程が存在する¹⁾。P300やMismatch negativity (MMN) に代表されるような事象関連電位 (event-related potential:ERP) により精神疾患におけるこれらの感覚入力処理過程の障害が研究されてきた。例えば、精神分裂病においては、それぞれP300およびMMNに反映される統御的処理と自動的処理の障害が存在すると言われている^{2) 3)}。MMNはNäätänenらにより報告された成分で¹⁾、均一の連続刺激中に稀に発生する聴覚逸脱刺激により抽出されるERPである。均一の聴覚刺激が反復して与えられれば、脳内には刺激に対する記憶痕跡 (memory trace) が貯蔵されるが、MMNはこの記憶痕跡と新たな聴覚入力の自動的照合過程を反映するとされている¹⁾。

ところで、聴覚MMNに関しては多くの研究がなされているが、体性感覚刺激における同様の感知機構に対する検討は現在までほとんどなされていない。Hämäläinenらは予備的な実験において、刺激対側の大脳半球記録で、刺激後約110msにピークを持つ体性感覚MMNを報告したが¹⁾、その後同様の結果を得たという系統立った報告は全くない。体性感覚モダリティーにおいては、おもに能動的注意課題を用いてのN140、N250、P300などのERP成分が検討されてきた^{4) 5) 6) 7) 8)}。

今回の研究では体性感覚ERPのミスマッチ成分を同定するため、非注意条件における体性感覚逸脱刺激に対するERPを測定し、さらには刺激間隔 (stimulus onset asynchrony : SOA) や刺激条件を変え、その動態をみることで、得られたERPが体性感覚入力の自動的情報処理過程を反映する成分か否かを検討した。

対象と方法

性差による要因を削除するためすべての被験者を右ききの女性とし、また、被験者には研究目的に関し説明をし、協力に同意を得た。

(実験1)

被験者

健常者20名 (平均年齢 20.2 ± 0.9 歳) を対象とした。中枢および末梢神経疾患を持つ者、聴覚および視覚障害者、中枢神経作用薬物の使用者、精神障害者そして重篤な慢性疾患を持つものは除外した。

刺激

刺激部位は右第2指または右第3指とし、陽性電極が手指の遠位部に、陰性電極が近

位部に置かれたリング電極を通して0.2ms持続の単相性矩形波を与えた。刺激強度は感覚閾値の約2～3倍とし、不快感のないものとした。実験1では標準刺激を右第3指、逸脱刺激を右第2指に与えた条件と、標準刺激を右第2指、逸脱刺激を右第3指に与えた条件の2つの条件の下で実験がなされた。各実験の順序はランダムで、また、被験者の疲労を考慮して実験日を変えて行った。

手順

体性感覚刺激での無視条件はDesmedtらの方法を参考にした。つまり電氣的シールドルームに被験者を座らせ、眼球運動を最小限に抑えるために57cm前方に表示されたA4版に書かれた7cm幅4段の文章を読み、電気刺激を無視するように教示した⁶⁾。約240施行に相当する2分間を1ブロックとし、実験毎に15ブロックを行い、ブロック間の休憩は2分とした。SOAは一定の500msであったが、その出現はランダムであり、90%（標準刺激）と10%（逸脱刺激）の呈示確率であった。

記録と分析

誘導は国際電極配置法（10-20法）に従い、Fz (midline frontal)、Cz (midline central)、Pz (midline parietal)、C3 (left central)、C4 (right central) とし両耳朶電極を基準に取り、銀塩化銀電極を用いた。また右垂直EOG

(Electrooculogram) を記録するため、右眼窩の上下2カ所に電極を配置した。得られたデータは脳波形を介して磁気テープに記録した。この際時定数1.0、高周波遮断120Hz、電極間抵抗5K Ω 以下とした。刺激前60ms～刺激後360msの区間について512点のサンプリング後、平均加算処理を行った。 $\pm 75 \mu V$ を越える眼球運動や瞬きを含む脳波は自動的に平均加算から除外された。加算回数は逸脱刺激が約100回、標準刺激が約600回とした。

(実験2)

被験者

健常者20名（平均年齢 20.6 ± 2.0 歳）を対象とした。

刺激と分析

標準刺激を右第3指に、逸脱刺激を右第2指にそれぞれ与えた。約120施行に相当する2分間を1ブロックとし、実験毎に20ブロック施行し、ブロック間の休憩は2分とした。SOAは一定の1000msとした。加算回数は逸脱刺激が約70回、標準刺激が約300回でありSOA以外は実験1と同一の条件下で、脳波を測定した。

(実験3)

被験者

健常者10名（平均年齢 19.8 ± 1.1 歳）を対象とした。

刺激と分析

一定の500msのSOAで逸脱と標準刺激をそれぞれ右第2指と右第3指に与える条件（*standard-deviant condition*）と逸脱刺激のみを同一の刺激配列で与える条件（*deviant alone condition*）の2つの条件でERPを測定した（Fig.1）。約240施行に相当する2分間を1ブロックとし、実験毎に20ブロック（*standard-deviant condition*、*deviant alone condition*それぞれの条件下で10ブロックずつ）を行った。加算回数は標準刺激が約70回、逸脱刺激が約300回とし、他の条件は実験1と同一であった。

なお補足実験として5名の被験者を対象に各条件それぞれ15ブロックずつの実験を施行日をかえて行い、Fp1（left frontal pole）、Fp2（right frontal pole）、F3（left frontal）、F4（right frontal）、C3（left central）、C4（right central）、P3（left parietal）、P4（right parietal）、O1（left occipital）、O2（right occipital）、Fz（midline frontal）、Cz（midline central）、Pz（midline parietal）、T3（left middle temporal）、T4（right middle temporal）の15部位で記録を行った。この15部位に加え、直線補間法によってF7（left anterior temporal）、F8（right anterior temporal）、T5（left posterior temporal）、T6（right posterior temporal）の電位を算出しpotential mapを求めた。

（実験4）

被験者

健常者8名（平均年齢 20.5 ± 1.0 歳）を対象とした。

刺激と分析

刺激部位は右第3指とし、刺激強度が異なる刺激（逸脱>標準刺激）を用いた。標準刺激は被験者の閾値の2～3倍の強度で不快感の無いものとし、4名に標準刺激の刺激強度の2倍以上の強さの逸脱刺激を、別の4名に標準刺激の2倍未満の強さの逸脱刺激を与えた。SOAは一定の500msとした。加算回数は逸脱刺激が約100回、標準刺激が約600回とし、上記以外は実験1と同一の条件下で脳波を測定した。

波形計測及び統計処理

各ERP成分の頂点振幅としてそれぞれ各実験ごとの総平均波形の頂点潜時 ± 5 msの平均電位を用いた。統計処理には t 検定、2要因分散分析を用いた。また、得られたERP成分の半球優位性を評価するために、C3、Cz、C4の頂点振幅を使用し、各被験者ごとの振幅データの重み付けを一定にするため、それぞれのデータをCzの頂点振幅に対

する百分率として標準化した^{9) 10)}。

結 果

(実験1)

SOAが500msの場合、刺激部位を交換した2つの条件のいずれにおいても逸脱刺激に対し、C3優位の60～80msにおけるnegativity (N60; Desmedt et al. 1983)²⁾と、主にC3およびCz優位の100～200msにおけるpositivityが生じた (Fig. 2とFig. 3)。C3におけるN60振幅およびCz、Pz、C3、C4の記録部位における100～200msでの平均電位は標準刺激よりも逸脱刺激に対する方が有意に大きかった (Table. 1と2)。

(実験2)

SOAを1000msに延長させた場合、C3でのN60振幅およびC3を除く全ての記録部位での100～200msのpositivityの平均電位に関し、SOA=500msの時に認められたような逸脱刺激と標準刺激の間の有意差は消失した (Fig. 4とTable. 1と2)。

(実験3)

standard-deviant conditionにおける逸脱刺激に対するERPと*deviant alone* conditionにおけるERPは異なっていた (Fig. 5)。*Deviant alone* conditionのN140振幅はFzとC3で有意に、*standard-deviant* conditionの逸脱刺激に対するN140振幅より大きかった。標準刺激が介在する場合の逸脱刺激に対するpositivityと同様、*deviant alone* conditionでも標準刺激の介在しない稀な刺激に対し、約100msで始まるCz優位のpositivityが認められた。しかし、この2つのpositivityの振幅、分布、潜時は異なっていた。Cz、PzとC4において、*standard-deviant* conditionのpositivityよりも*deviant alone* conditionのpositivityの方が有意に大きかった (Table. 3)。また、positivityの頂点潜時は*deviant alone* conditionでは 187 ± 24 ms、*standard-deviant* conditionでは 166 ± 20 msであり有意差が認められた ($t(9)=2.44$, two-tailed $p<0.05$)。標準化したデータで逸脱刺激に対するC3とC4のpositivityの頂点振幅を比較すると、*standard-deviant* conditionでは実験1の結果と同様、刺激側と反対のC3の頂点振幅のほうが無意に大きく、左右非対称な分布を示していた。これに対し*deviant alone* conditionではC3とC4のpositivityの頂点振幅の有意差は消失し、Cz優位の左右対称な分布を示していた (vertex potential) (Table. 4とFig. 6)。これらのpositivityに関して、刺激条件 (*deviant alone* condition・*standard-deviant* condition) × 電極部位 (C3・Cz・C4) の分散分析を行った。その結果、電極部位の主効果と刺激条件と電極部位の交互作用が認められた (Table. 5)。したがって*deviant alone* conditionではN140および*standard-deviant* conditionとは分布、振幅、潜時の異なる陽性波成分が認められたことになる。

15部位での記録を行った5名の被験者のうち、代表的症例のpotential mapをFig. 7とFig. 8に示した。*Standard-deviant* conditionの100~200msにおけるpositivityはCzおよびC3優位で、またシルビウス裂を挟むC3とT3間でpolarity reversalが認められた。このpolarity reversalは5名の被験者全例に認められた。一方、*deviant alone* conditionのpositivityはCzを中心として広範に分布しており、シルビウス裂を挟んでのpolarity reversalは存在しなかった。しかし、これらのpositivityの動態とは異なり、N60は刺激条件で振幅、分布に差異は認められなかった (Table. 3)。

(実験4)

標準刺激の刺激強度の2倍以上の強さの逸脱刺激を与えた4名の総平均波形 (Fig. 9) では、300ms前後にピークを持つCz優位の陽性波が出現し、また100~200msのpositivityが増大していた。個人波形に関しても、4例全例にこのような傾向が認められた。これに対し、標準刺激の刺激強度の2倍未満の強さの逸脱刺激を与えた別の4名の総平均波形 (Fig. 10) では300ms前後の陽性波は出現せず、100~200msのpositivityはCzでわずかに存在するのみであった。

考 察

聴覚MMNは脳内の自動的な聴覚入力の情報処理によって発生するERPであるが、聴覚刺激に対する注意の有無とは無関係に、聴覚刺激の物理的特性はすべて脳内で情報処理を受けることを示している^{11) 12)}。視覚や体性感覚刺激においても同様の情報処理システムが存在する可能性があると考えられるが、現在までに聴覚以外のモダリティにおいてMMNに相当するERPが存在するかということに関し一貫した見解は得られていない¹⁾。

本研究では、無視された連続する一様な体性感覚入力の物理的特性の逸脱により、N60振幅の増大、および100~200ms帯域の陽性電位 (N140に重畳する陽性成分と考えられる) 増大という2つの反応を抽出することが出来た。実験では逸脱の物理的特性として、主に刺激部位を用いた。標準刺激と逸脱刺激の刺激部位を交換しても一貫してN60増大および100~200msの陽性電位増大を認め、これは刺激そのものではなく、連続した一様な刺激の中の変化に対する反応であることを示していると考えられた。

ところで、聴覚刺激の場合、刺激系列の中の標準刺激を欠落させた、つまり、低頻度の同一刺激に対してはMMNは出現せず、このことは聴覚MMNが強度に特異的に反応するニューロン群 (new afferent elements) の活性化によるものではないということを示唆するとされている¹⁾。同様に体性感覚モダリティにおいても、*deviant alone* conditionではN140成分および左右非対称に分布する*standard-deviant* conditionとは性質の異なるpositivityが認められたが、これは標準刺激の欠落により非特異的成分 (標準刺激、逸脱刺激にかかわらず、すべての刺激に反応する成分) の相対的回復時

間が長くなるためN140成分が顕在化し¹³⁾、また *standard-deviant* conditionで見られたようなN140に重畳する広範な陽性電位が消失したためであると考えられる。したがって *standard-deviant* conditionで得られた広範な陽性成分は刺激部位に特異的に反応するニューロン群¹⁴⁾の活性化によるものではないと考える。また、統計的処理は行っていないが100~200msにおけるpositivityのpotential mapにおいて、*deviant alone* conditionとは異なり *standard-deviant* conditionでは、C3-T3間にpolarity reversalが存在すると推定され、これは両条件での2つのpositivityの質的な違いを示唆している可能性がある。なお、*deviant alone* conditionのpositivityは左右対象に広範に分布しており、Allisonらの報告したP190成分に似ている¹⁵⁾。一方、N60増大は両条件に一貫して認められ、*standard-deviant* conditionで認められたpositivityとは動態が異なる成分と考えられた。

MäntysaloとNäätänen¹⁶⁾は聴覚モダリティーにおいてSOAが延長すればMMNは小さくなり、それは反復する標準刺激によって形成された記憶痕跡の減衰を示唆するものであると述べている。SOAを500msから1000msに延長させたとき、体性感覚N140に重畳する陽性成分は消失し、体性感覚刺激に対しても記憶痕跡が形成されるとも解釈できる。

今までのERPと脳磁図(magnetoencephalography; MEG)研究によってMMNの発生源は一次聴覚皮質に存在することが示唆されている^{17) 18)}。体性感覚モダリティーでの陽性電位もCz優位で体性感覚皮質と関連している可能性がある。また、聴覚MMNでは無視条件においてもattention leakingによって刺激に注意が向けられると、P300成分の中でも受動的注意を反映するとされるP3a成分が後に続いて出現する¹⁾。体性感覚モダリティーにおいてもattention leakingがおこると潜時約300msに刺激対側優位のP3a成分が出現するとされている⁸⁾。刺激強度を逸脱させた実験では、逸脱の度合いが大きい場合、300ms前後に陽性波が出現したが、これはattention leakingによりP3a成分が出現したためと考えられる。刺激部位を逸脱させた実験では、強度実験で見られたようなP3a成分は認められず、逸脱の度合いが小さいために被験者はすべての刺激を無視することが出来たと考えられた。なお強度条件では、部位条件で認められたような明瞭な陽性波が認められなかったが、強度条件ではattention leakingを生じさせないような逸脱刺激の強度の設定が難しく、一貫した結果が得られないためと考えられた。以上の理由で、この陽性電位は無視条件下での体性感覚のミスマッチ反応に何らかの関連を持った成分である可能性があると推定される。

まとめ

無視条件下で、連続した一様な体性感覚刺激の中に生じる逸脱刺激に対する事象関連電位について調べた。体性感覚逸脱刺激に対し100~200msにわたる陽性波が抽出されたが、この陽性波は、逸脱と標準刺激を交換しても同様に抽出され、刺激そのものではなく一連の刺激の中の変化に対応する成分と考えられた。この陽性波は刺激間隔

の延長により消失し、また標準刺激を介在させないで逸脱刺激と同一の刺激が与えられた場合には認められなかった。これらの所見は、体性感覚逸脱刺激により抽出された陽性波が刺激特異的に反応するニューロン群の活性化によるものではなく、標準刺激の連続により形成された記憶痕跡と逸脱刺激との脳内での比較過程を反映する可能性があることを示唆している。

文 献

- 1) Näätänen, R. : Attention and Brain function. 136-200, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992.
- 2) Brecher, M., Porjesz, B., Begleiter, H. : Late positive component amplitude in schizophrenics and alcoholics in two different paradigms. Biol Psychiat, 22: 848-856, 1987.
- 3) Stanley, V.C., Anne-Marie, S., Philip, B.W. et al. : Brain Potential Evidence for an Auditory Sensory Memory Deficit in Schizophrenia. Am J Psychiatry., 152: 213-219, 1995.
- 4) Desmedt, J.E., Huy, N.T., Bourget, M. : The cognitive P40, N60 and P100 components of somatosensory evoked potentials and the earliest electrical signs of sensory processing in man. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 56: 272-282, 1983.
- 5) García-Larrea, L., Bastuji, H., Mauguière, F. : Mapping study of somatosensory evoked potentials during selective spatial attention. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 80: 201-214, 1991.
- 6) Desmedt, J.E., Tomberg, C. : Mapping early somatosensory evoked potentials in selective attention: critical evaluation of control conditions used for titrating by difference the cognitive P30, P40, P100 and N140. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 74: 321-346, 1989.
- 7) Yamaguchi, S., Knight, R.T. : P300 generation by novel somatosensory stimuli. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 78: 50-55, 1991.
- 8) Kekoni, J., Hämäläinen, H., McCloud, V. et al. : Is the somatosensory N250 related to deviance discrimination or conscious target detection? Electroenceph. clin. Neurophysiol., 100: 115-125, 1996.
- 9) McCarthy, G., Wood, C.C. : Scalp distributions of event-related potentials : an ambiguity associated with analysis of variance models. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 62: 203-208, 1985.

- 10) Bruyant, P., García-Larrea, L., Mauguière, F.: Target side and scalp topography of the somatosensory P300. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 88: 468-477, 1993.
- 11) Näätänen, R.: The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences.*, 13: 201-288, 1990.
- 12) Näätänen, R.: Mismatch negativity outside strong attentional focus: A commentary on Woldorff et al. *Psychophysiology.*, 28: 478-484, 1991.
- 13) Tomberg, C., Desmedt, J.E., Ozaki, I. et al.: Mapping somatosensory evoked potentials to finger stimulation at intervals of 450 to 4000msec and the issue of habituation when assessing early cognitive components. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 74: 347-358, 1989.
- 14) Suk, J., Ribary, V., Cappell, J., Yamamoto, T. et al.: Anatomical localization revealed by MEG recording of the human somatosensory system. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 78: 185-196, 1991.
- 15) Allison, T., McCarthy, G., Wood, C.C.: The relationship between human long-latency somatosensory evoked potentials recorded from the cortical surface and from the scalp. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 84: 301-314, 1992.
- 16) Mäntysalo, S., Näätänen, R.: The duration of a neuronal trace of an auditory stimulus as indicated by event-related potentials. *Biological Psychology.*, 24: 183-195, 1987.
- 17) Sams, M., Hämäläinen, M., Antervo, A. et al.: Cerebral neuromagnetic responses evoked by short auditory stimuli. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 62: 437-448, 1985.
- 18) Hari, R., Hämäläinen, M., Ilmoniemi, R. et al.: Responses of the primary auditory cortex to pitch changes in a sequence of tone pips: neuromagnetic recordings in man. *Neuroscience Letters.*, 50: 127-132, 1981.

Figure Legends

- Fig. 1. Stimulus condition. *Standard-deviant* condition: Somatosensory standard and deviant stimuli were presented (in Experiment 1 and 2). *Deviant-alone* condition: Only deviant stimuli were delivered to the right index finger at the same intervals of deviant stimuli as in *standard-deviant* condition.
- Fig. 2. Grand-average ERPs (twenty subjects) in Experiment 1 (SOA=500ms). Standard stimuli ($p=0.9$) were delivered to the right medius finger (thin lines) and deviant stimuli ($p=0.1$) were delivered to the right index finger (thick lines).
- Fig. 3. Grand-average ERPs (twenty subjects) in Experiment 1 (SOA=500ms). Standard stimuli ($p=0.9$) were delivered to the right index finger (thin lines) and deviant stimuli ($p=0.1$) were delivered to the right medius finger (thick lines).
- Fig. 4. Grand-average ERPs (twenty subjects) in Experiment 2 (SOA=1000ms). There is little difference between standards and deviants in this condition.
- Fig. 5. Grand-average ERPs (ten subjects) in Experiment 3. The dotted lines show the responses to deviant stimuli (index finger) when the standards were omitted (*deviant alone* condition). The thin and thick lines represent the responses to standard stimuli (medius finger) and deviant stimuli (index finger) respectively in ordinary condition (*standard-deviant* condition).
- Fig. 6. Mean normalized peak amplitudes (+S.E.) of the two positivities across the central axis. Values are expressed in percentage of the amplitude at Cz. Note that the somatosensory change-related positivity showed asymmetrical distribution.
- Fig. 7. Topographic SEP mapping of K.T. in *standard-deviant* condition.
- Fig. 8. Topographic SEP mapping of K.T. in *deviant alone* condition.

Fig. 9. Grand-average ERPs (four subjects) in Experiment 4. Deviant stimuli (thick lines) were very stronger than standard stimuli (thin lines).

Fig. 10. Grand-average ERPs (four subjects) in Experiment 4. Deviant stimuli (thick lines) were a littele stronger than standard stimuli (thin lines).

Table 1

N60 peak amplitudes(\pm S.D.) at C3 of the SEP deflections (in μ V) of 20 subjects to deviant and standard stimuli.

condition	deviant	standard	$t(19^{b)})^{a)}$
index SOA=500	-0.62 ± 1.55	0.09 ± 1.19	3.45**
medius SOA=500	-1.01 ± 2.22	0.28 ± 1.00	3.26*
index SOA=1000	-0.81 ± 1.66	-0.43 ± 1.99	1.07

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

SEP: somatosensory evoked potential, SOA: stimulus onset asynchrony

a) and b) show t values of 2-tailed paired t tests and degrees of freedom, respectively. The condition of "index SOA=500" means that deviant stimuli are delivered to right index finger and SOA is 500 ms.

Table 2

Mean amplitudes (\pm S.D.) during 100–200 ms of the positive deflections (in μ V) of 20 subjects to deviant and standard stimuli.

condition and electrode	deviant	standard	$t(19^b)^{a)}$
index SOA=500			
Fz	1.18 \pm 1.61	0.60 \pm 0.77	2.04
Cz	2.21 \pm 1.68	1.00 \pm 0.79	3.98**
Pz	1.76 \pm 1.18	0.62 \pm 0.58	4.82**
C3	2.05 \pm 1.70	0.94 \pm 0.95	4.04**
C4	1.04 \pm 1.28	0.47 \pm 0.61	2.42*
medius SOA=500ms			
Fz	1.27 \pm 1.22	0.34 \pm 0.94	5.42**
Cz	2.18 \pm 1.38	0.57 \pm 0.96	7.37**
Pz	1.69 \pm 1.23	0.29 \pm 0.82	5.92**
C3	1.87 \pm 1.56	0.66 \pm 1.03	4.66**
C4	1.24 \pm 1.03	0.23 \pm 0.66	5.14**
index SOA=1000ms			
Fz	0.69 \pm 1.73	0.38 \pm 1.05	1.03
Cz	1.84 \pm 1.87	1.49 \pm 1.22	1.10
Pz	1.88 \pm 1.55	1.52 \pm 0.83	1.26
C3	1.91 \pm 1.69	1.32 \pm 1.10	2.32*
C4	0.71 \pm 1.65	0.57 \pm 0.82	0.42

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

SOA: stimulus onset asynchrony

a) and b) show t values of 2-tailed paired t tests and degrees of freedom, respectively. The condition of "index SOA=500" means that deviant stimuli are delivered to right index finger and SOA is 500 ms.

Table 3

Peak amplitudes (\pm S.D.) of the SEP deflections (in μ V) of 10 subjects to deviant stimuli and deviant stimuli alone. *

component and electrode		deviant	deviant alone	$t(9^b)^a$
N60	C3	-0.37 ± 1.32	-0.79 ± 1.70	1.67
N140	Fz	1.78 ± 1.56	0.44 ± 1.86	3.60**
	Cz	1.98 ± 2.75	2.13 ± 2.19	0.18
	Pz	1.67 ± 2.42	3.23 ± 2.12	2.69*
	C3	1.74 ± 1.78	0.12 ± 1.61	2.36*
	C4	1.64 ± 1.60	0.72 ± 2.33	1.53
the	Fz	2.27 ± 2.09	4.09 ± 4.77	1.57
100-200ms	Cz	3.98 ± 2.94	7.25 ± 5.88	2.88*
positivity	Pz	2.73 ± 2.02	5.12 ± 4.30	2.74*
	C3	3.65 ± 1.98	3.91 ± 4.26	0.26
	C4	2.09 ± 2.12	3.98 ± 3.80	2.32*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

SEP: somatosensory evoked potential

a) and b) show t values of 2-tailed paired t tests and degrees of freedom, respectively.

Table 4

Mean normalized peak amplitudes(\pm S.D.) of the positivity of 10 subjects to deviant stimuli and deviant stimuli alone.

	C3	Cz	C4
deviant	114 \pm 63	100 \pm 0	43 \pm 22
deviant alone	61 \pm 46	100 \pm 0	60 \pm 46

C3: left central, Cz: midline central, C4: right central (10-20 electrode system)

Values are expressed in percentage of amplitude at Cz.

Table 5

Two-factor analysis of variance (condition \times electrode location) on normalized peak amplitude of the positivity.

	<i>df</i>	<i>F</i> test	<i>p</i> value
condition	1	1.34	<i>p</i> =n. s.
electrode location	2	7.84	<i>p</i> <0.01
condition*electrode location	2	4.03	<i>p</i> <0.05

condition: *standard-deviant* condition and *deviant alone* condition

electrode location: C3 (left central) ,Cz (midline central) and C4 (right central)

df: degrees of freedom



Fig. 1

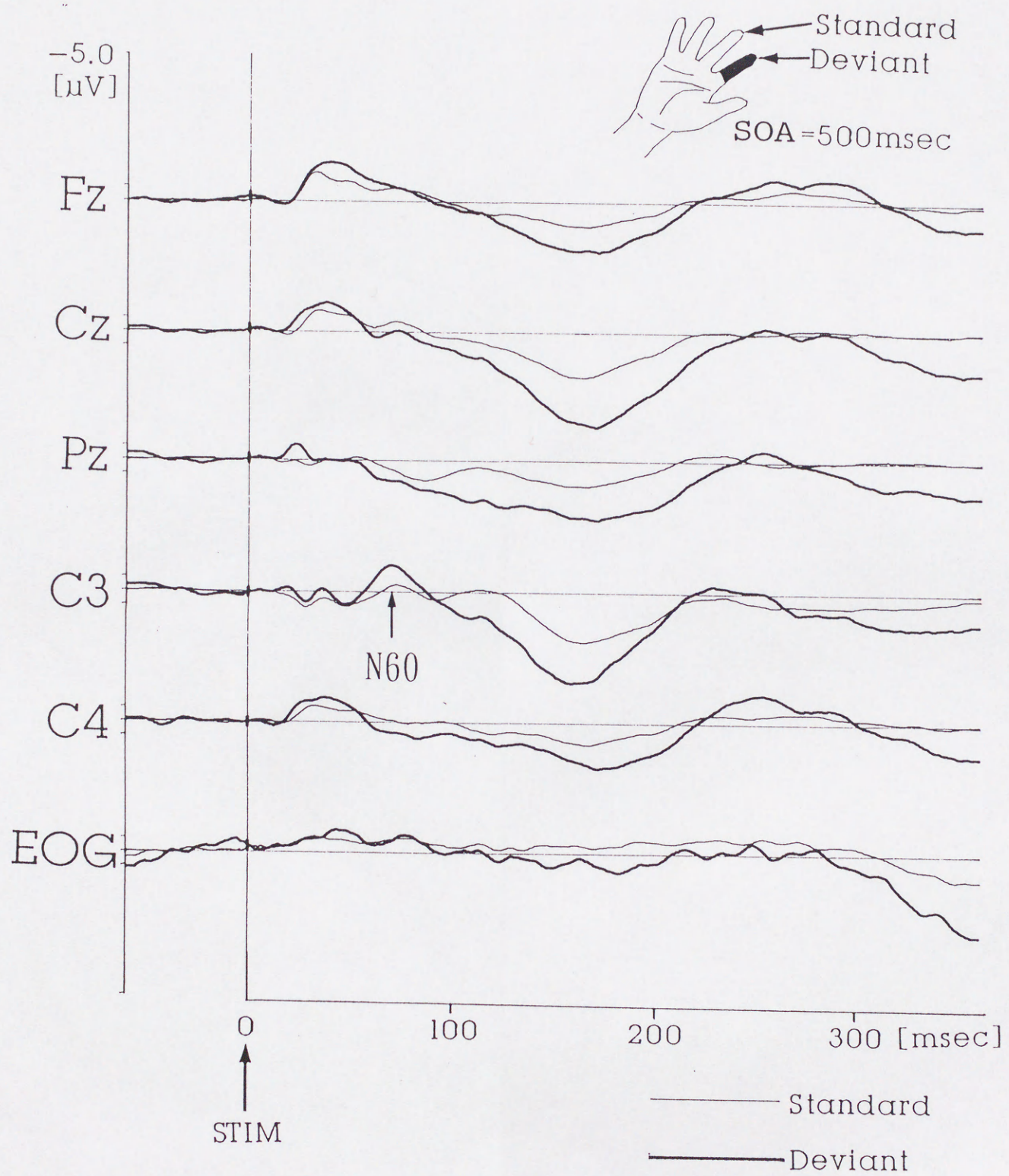


Fig. 2

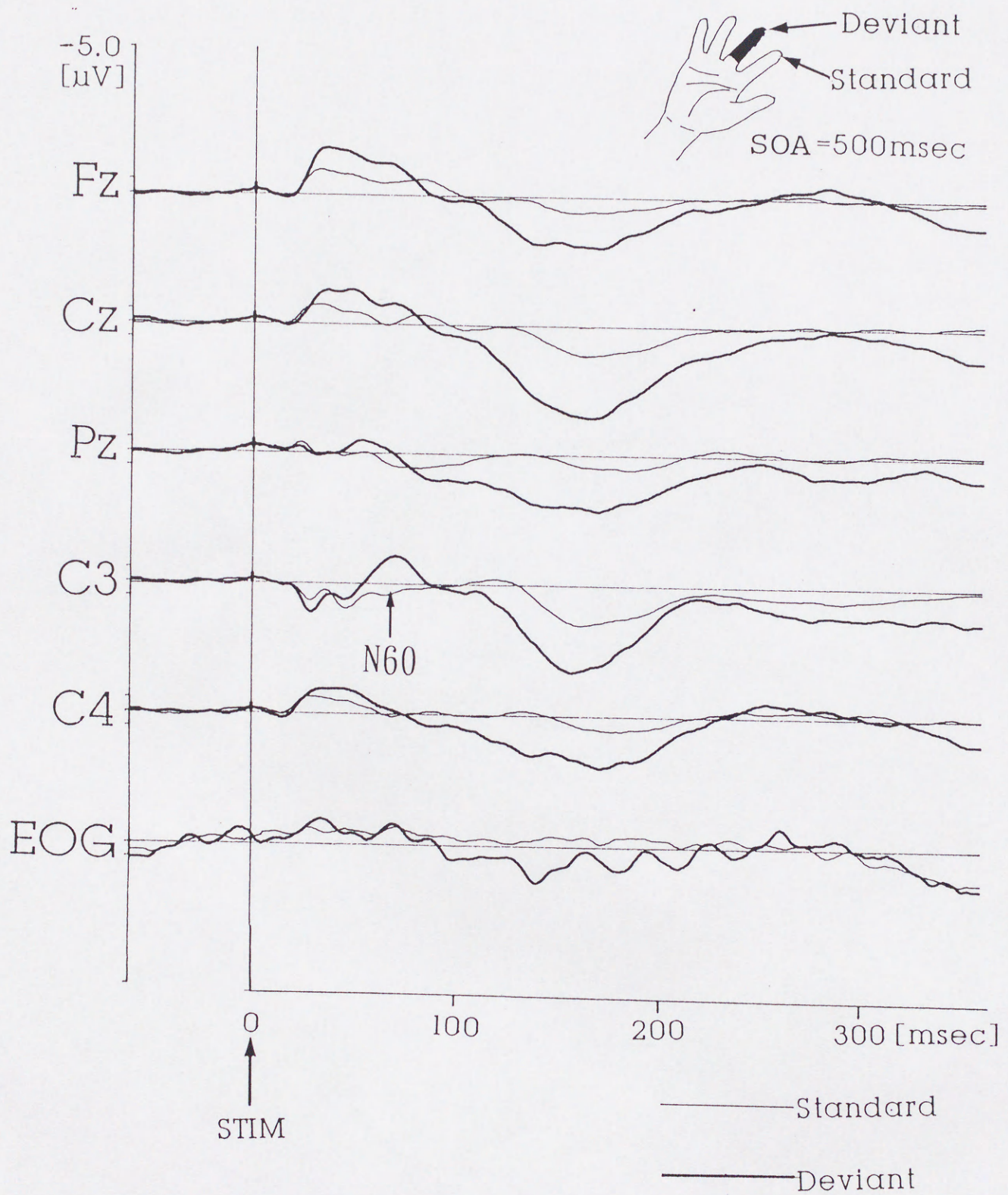


Fig. 3

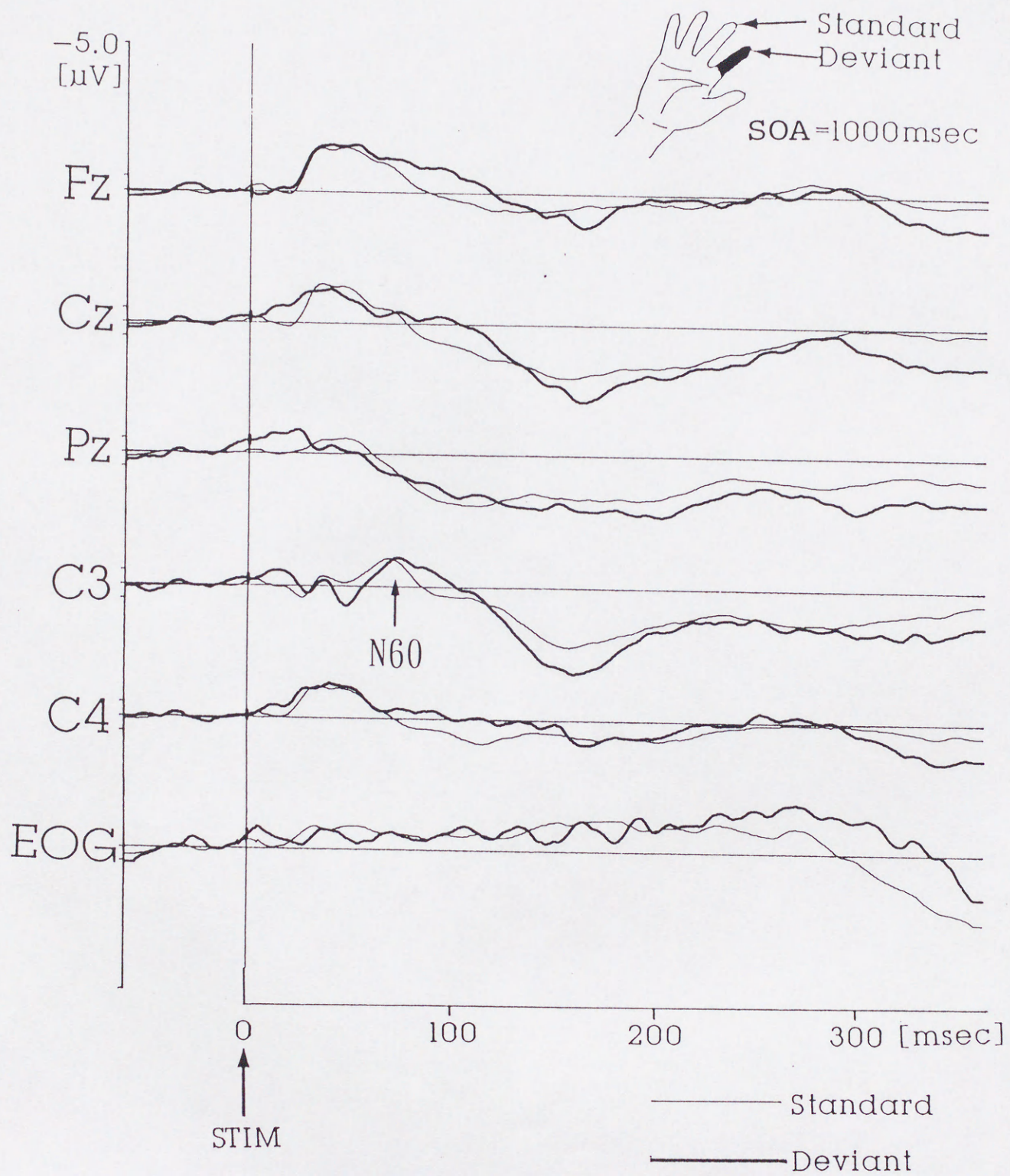


Fig. 4

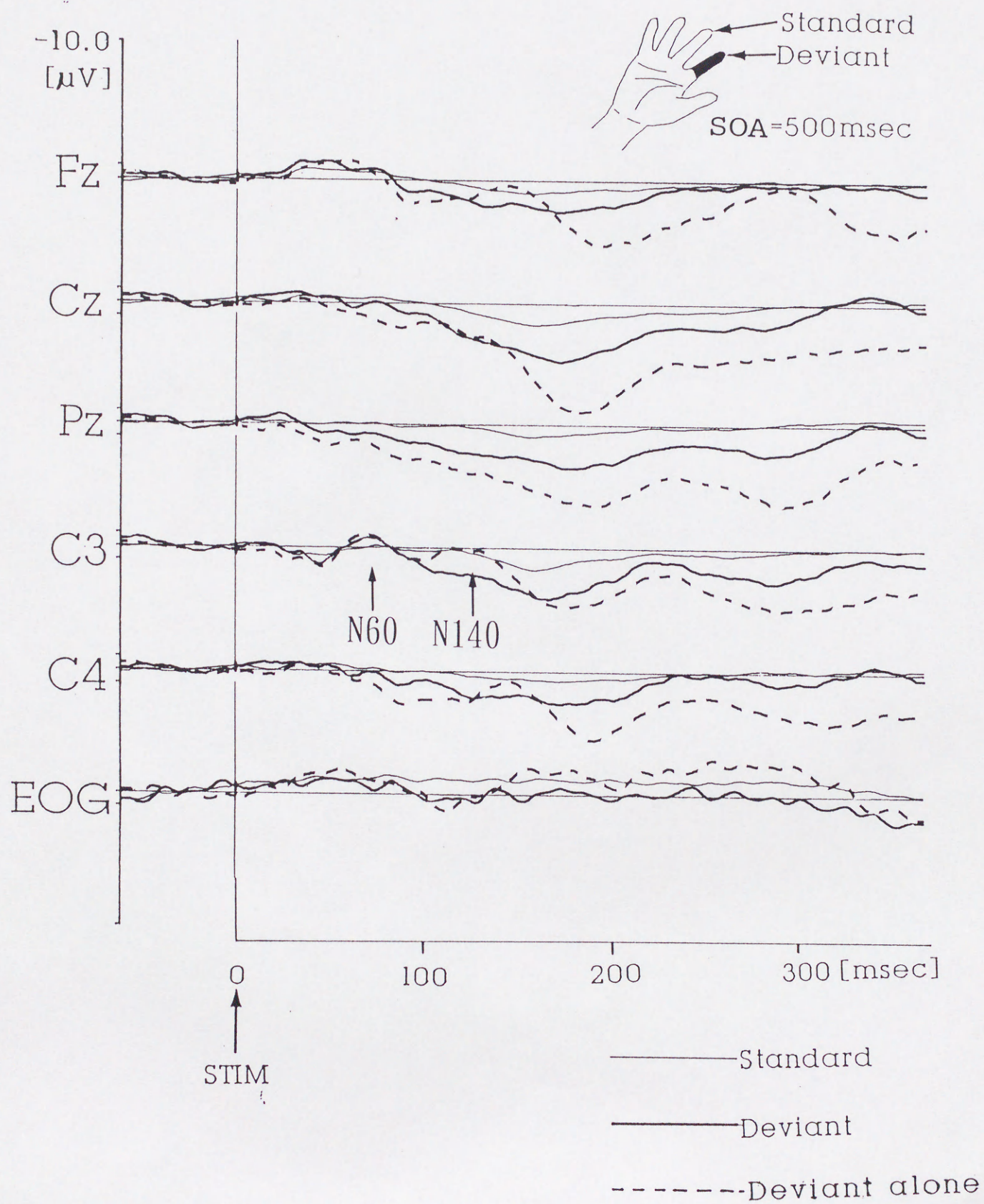


Fig. 5

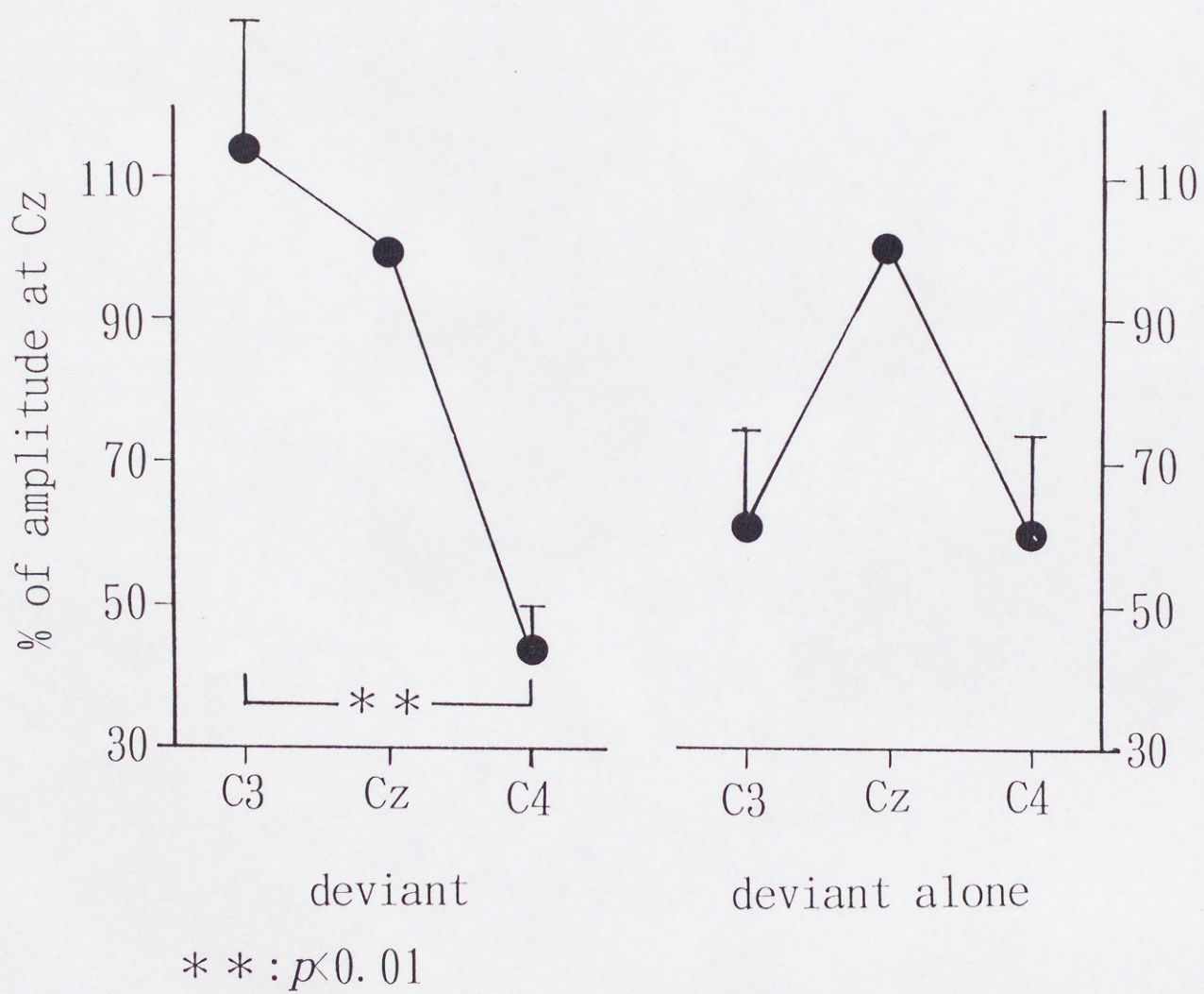
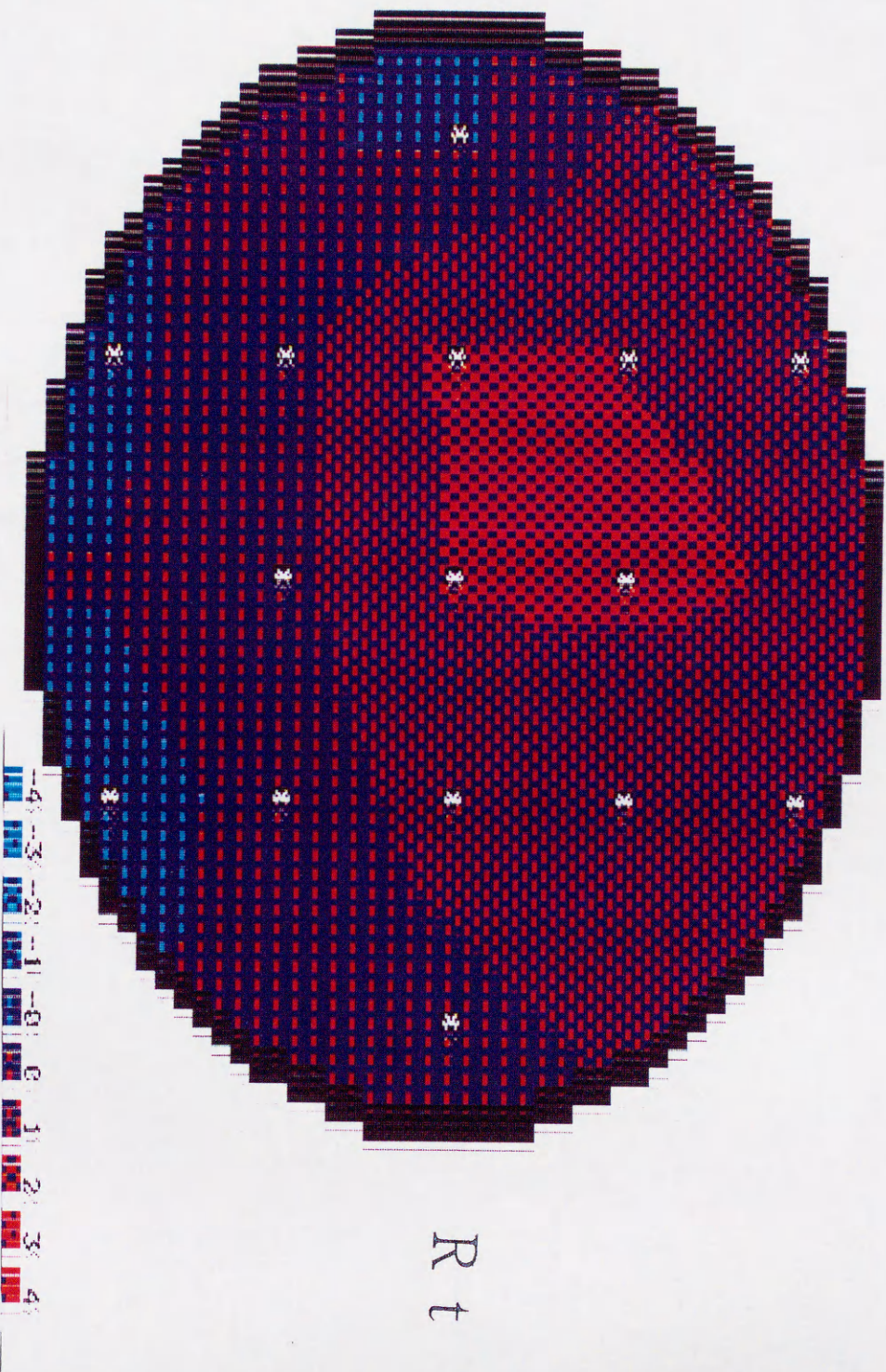


Fig. 6

L t



R t

Fig. 7

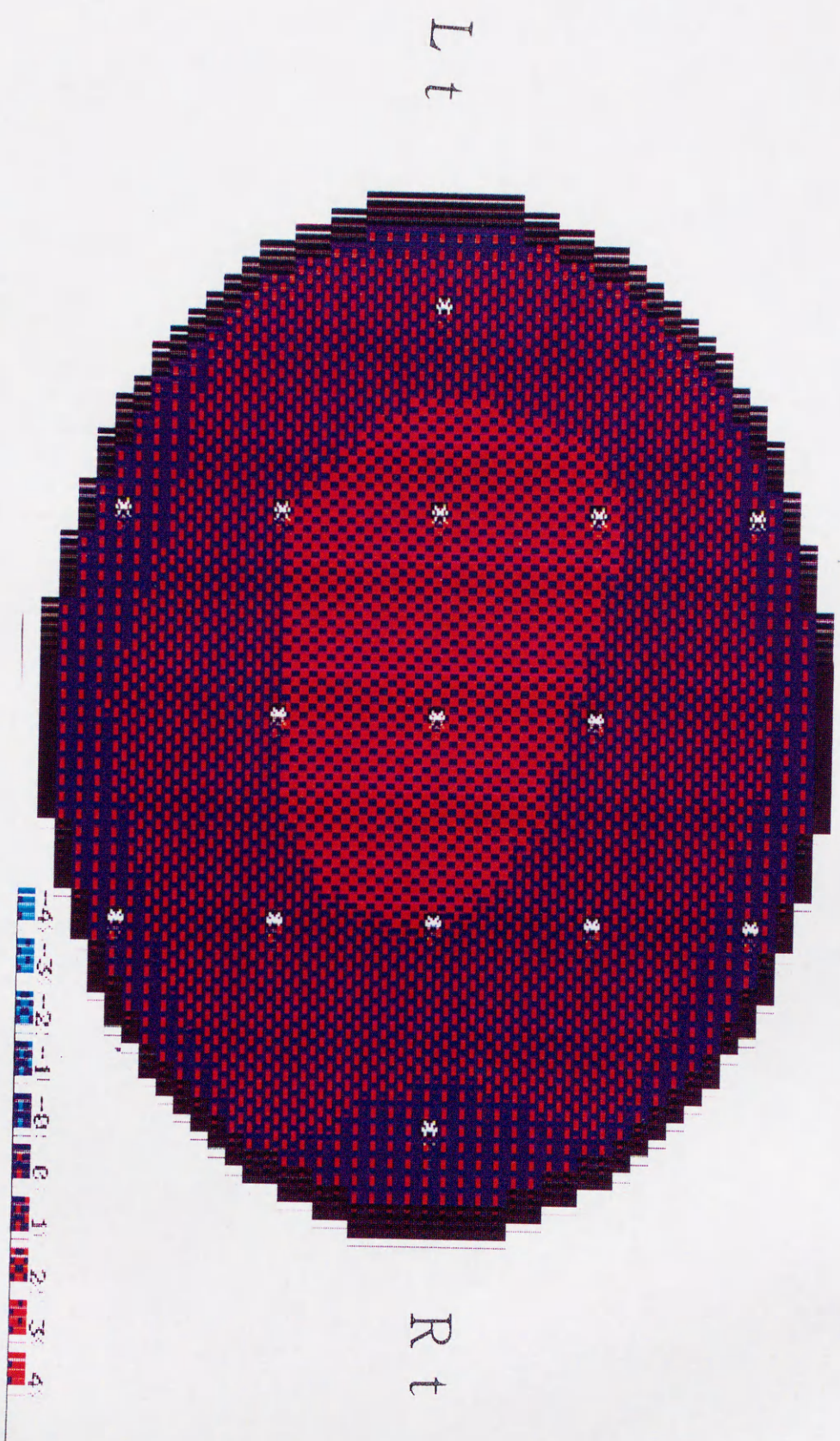


Fig. 8

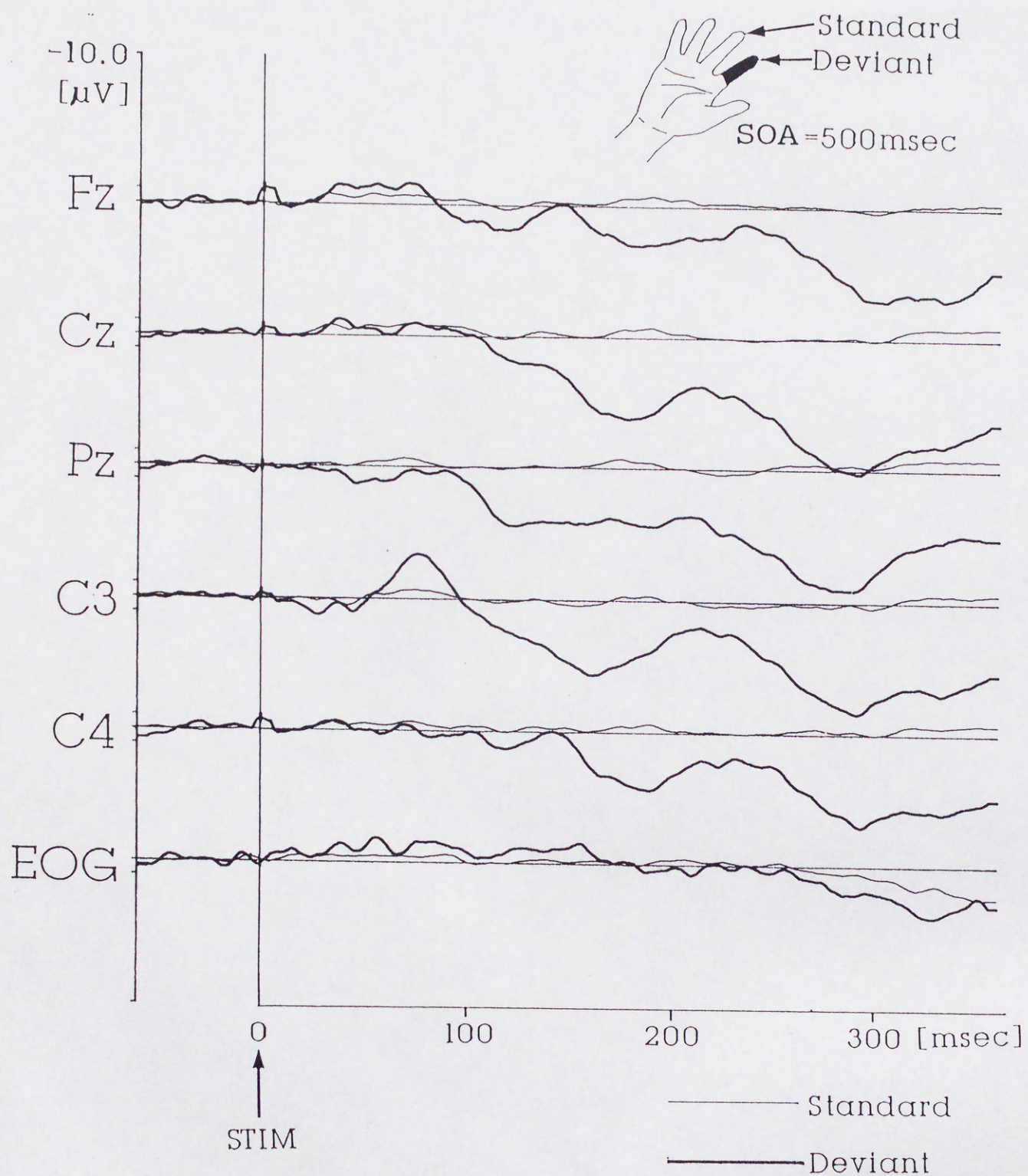


Fig. 9

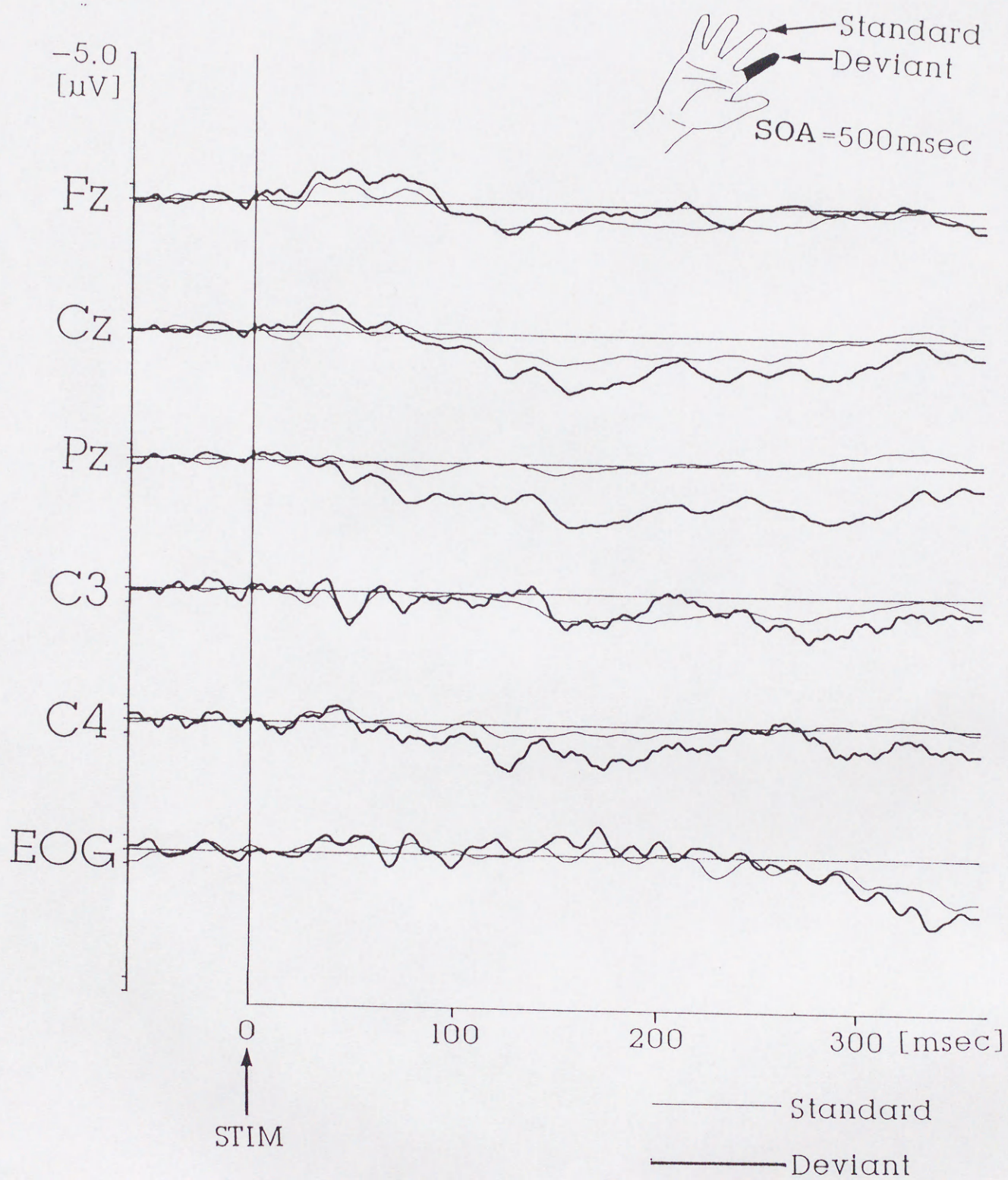


Fig. 10