

基準電極の違いが事象関連電位に及ぼす影響

宮谷真人・中尾美月・山本文枝・岩木信喜¹・藤本里奈²

(2001年9月28日受理)

Differences of event-related potentials with use of different reference sites

Makoto Miyatani, Mizuki Nakao, Fumie Yamamoto
Nobuyoshi Iwaki, and Rina Fujimoto

In this article, the influence of different reference electrodes on the scalp distribution of event-related potentials (ERPs) was evaluated. The search-related negativity (SN) is one of negative ERP component which varies with memory and display load in a visual search task. The amplitude and topography of SN were sensitive to the selection of reference site. The effects of memory and display load at frontal and temporal sites were larger when ERPs were referred to tip of nose compared with linked-ear reference. In contrast, the attenuation of N400 due to semantic relation between word pairs was almost invariable with use of different reference sites. These results suggest that optimal reference electrode selection depends on what component of ERPs is a research target, and has to be evaluated not only theoretically but also empirically.

Key words : Event-related potentials, Reference electrode, Scalp distribution, Search negativity, N400

キーワード: 事象関連電位, 基準電極, 頭皮上分布, 探索陰性電位, N400

ヒトの認知過程を調べる手段の一つに、事象関連電位 (event-related potentials, ERP) がある。ERP とは、感覚・知覚・認知などの脳の情報処理にかかわる神経集団の同期的活動で生じる電場電位であり (Hillyard & Kutas, 1983; 沖田, 1989)、極性、潜時、振幅、頭皮上分布といった特徴で記述される複数の成分で構成されている。情報処理論的アプローチをとる ERP 研究 (Gaillard, 1988) では、反応時間などの行動測度を併用しながら、ERP の各成分と心理学的過程との対応づけを行い、ERP の振る舞いからヒトの認知過程を探る試みが続けられてきた。

ところで、脳波は、導出法によって異なる波形、分布を示す (大熊, 1983)。特に、基準電極の場所としてどこが最適であるかは、脳波測定上の問題として議論されてきた (Gencer, Williamson, Guezic, & Hummel, 1996)。刺激や反応と同期させた加算平均処理によって背景脳波から抽出される事象関連電位も、

基準電極の選び方によって、極性や頭皮上分布が変化する。ERP 成分の頭皮上分布の違いやその時間経過は、課題遂行にかかわる神経ネットワークの機能的パターンの違いを推測する手がかりとなる (Gevins & Cutillo, 1993) ので、適切な基準電極を選択することが大切である。

基準電極として用いられることの多い耳朶は、電位が0とはならず、側頭部の脳波が波及しやすいという欠点がある (大熊, 1983)。また、基準電極を頭部外におく平衡型頭部外基準電極導出法は、脳波がほとんど波及しないという点では優れているが、心電図や筋電図・体動の影響を完全には除去できないという欠点がある (塚原・山寺・上埜・加藤・大熊, 1990)。ERP 導出の基準電極として両耳朶連結を推奨する報告 (日本脳波・筋電図学会誘発電位検査法委員会, 1985) がある一方で、両耳朶の連結によりERPのトポグラフィが変化するという問題 (Beamont, 1983; Rugg, 1983) が指摘されている。また、塚原他 (1990) は、脳波トポグラフィが基準電極の位置によって受ける影響の程

¹九州ルーテル学院大学

²長崎市立南小学校

度は、分析する周波数帯域によって異なることを報告している。さらに、Regan (1989) によれば、基準電極としてどの位置が適切かは、刺激モダリティや脳波の種類（例えば、自発脳波か誘発電位か）によって異なり、“最適”の基準位置は存在しない。

これらを考慮すると、適切な基準電極の選定のためには、分析の対象とするERP成分ごとに、基準電極の違いによる影響を評価するための経験的データを収集する必要がある。例えば、Faux, Shenton, McCarley, Nestor, & Marcy (1990) は、両耳朶連結を基準としたデータと、鼻尖を基準としたデータを比較し、分裂病患者のP300減衰に関する半球差が、不適切な基準電極によるアーチファクトでないことを示している。本研究では、視覚探索課題や記憶探索課題の負荷（記憶セットの大きさや、テスト刺激の性質によって決まる難易度）の大小によって変動する探索陰性電位（宮谷・前堂・赤井, 1994; Okita, Wijers, Mulder, & Mulder, 1985）と、意味的プライミング・パラダイム

において観察されるN400成分の減衰（Bentin, McCarthy, & Wood, 1985）について、異なる基準電極条件間（鼻尖 vs. 両耳朶連結）で、条件差の出現のしかたや頭皮上分布を比較した。

研究 I

研究 I では、探索陰性電位について検討した。

方法

被験者 視力（矯正を含む）の正常な健常成人16名（うち男性7名、21-40歳）を被験者とした。

刺激 CRT画面中央に凝視点（+）を、それを中心とする正方形の四隅にアルファベット（白色、視角で縦横0.7度、凝視点からの距離2.0度）または文字と大きさのほぼ等しい灰色の四角形を呈示した。各刺激の呈示時間は300ms、刺激間隔（SOA）を2000msとして、1実験系列に120刺激を連続して呈示した。

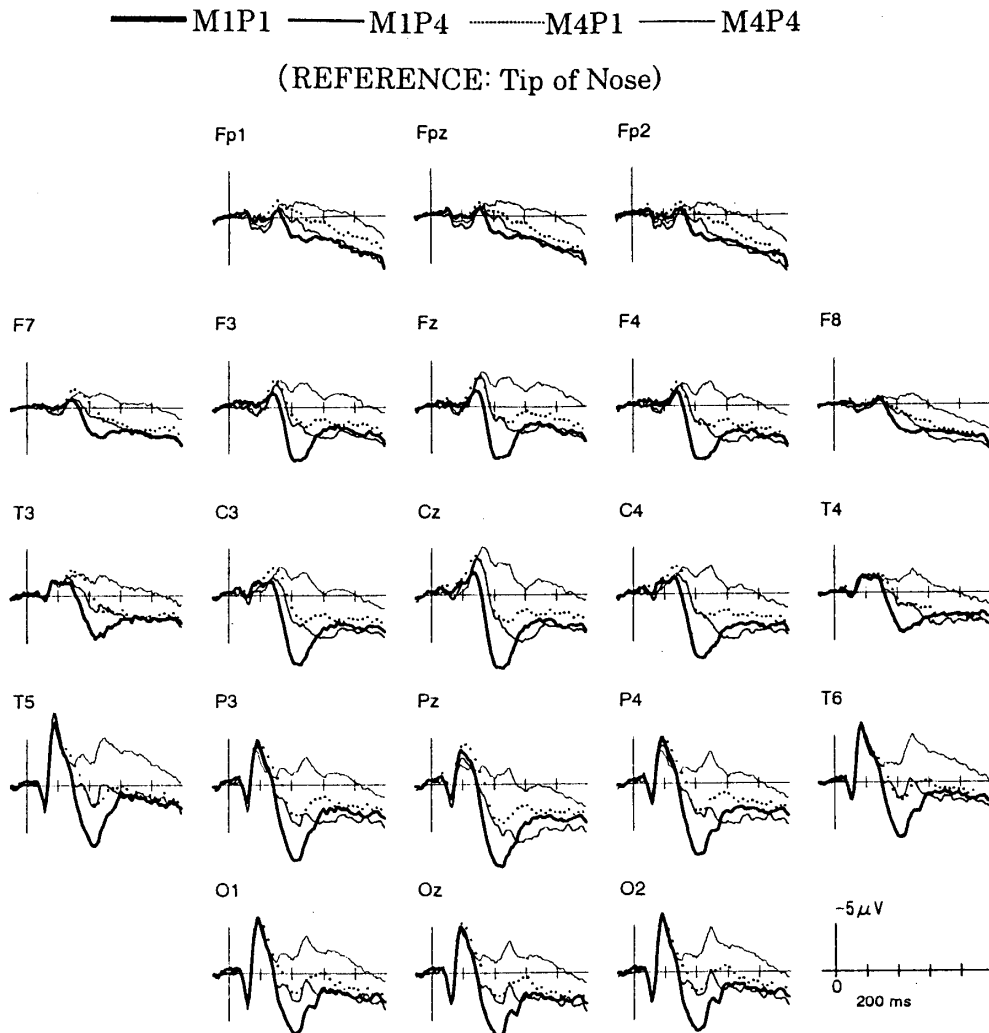


Figure 1. The non-target ERPs referred to a tip of nose in a visual letter search task. Waveforms for different memory and display load conditions are superimposed.

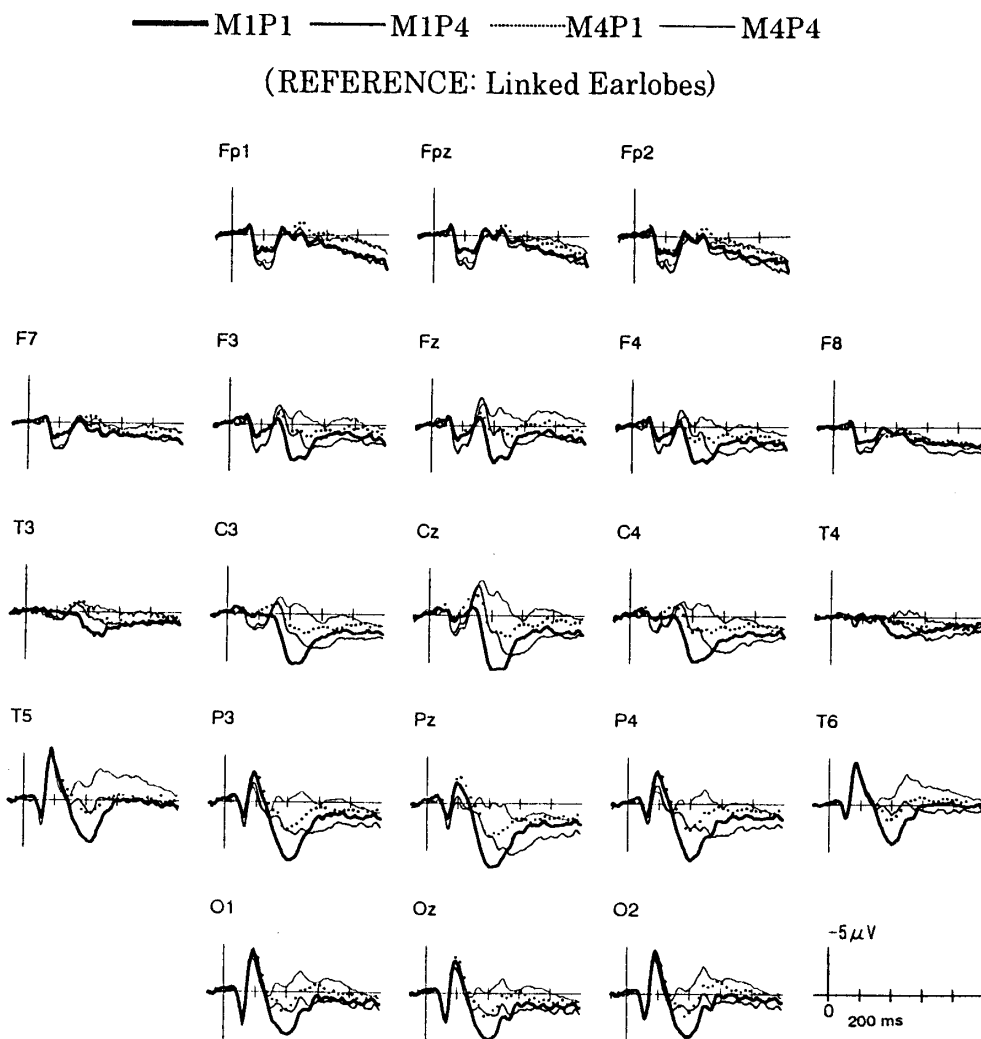


Figure 2. The non-target ERPs referred to linked earlobes in a visual letter search task. Waveforms for different memory and display load conditions are superimposed.

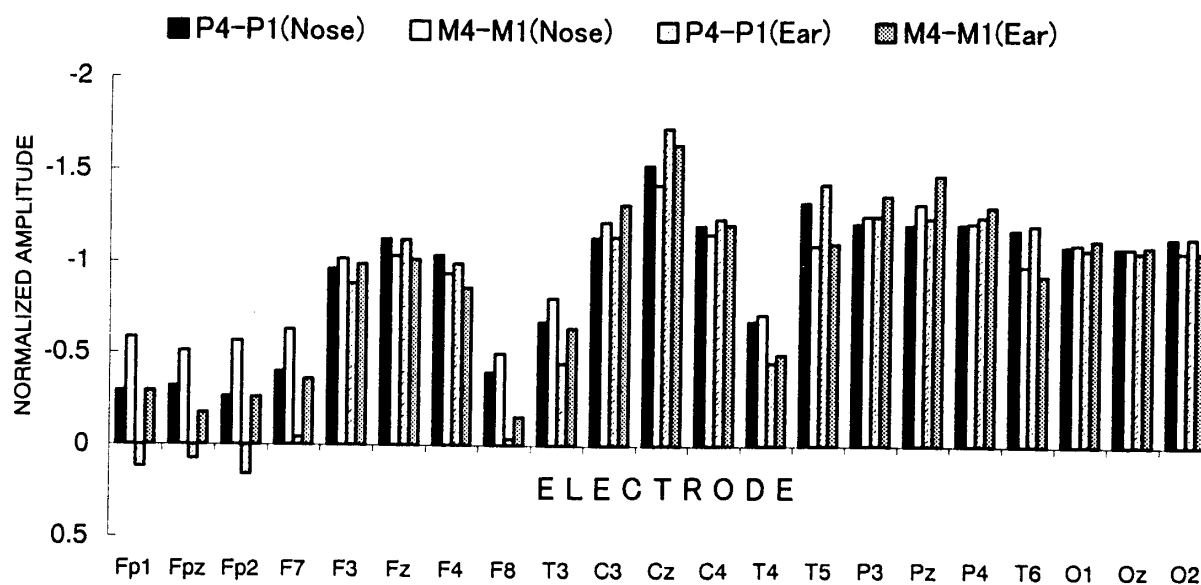


Figure 3. The normalized difference amplitudes of P4-P1 (pooled across memory load, 300-500 ms) and M4-M1 (pooled across display load, 350-450 ms) waves referred to a tip of nose or linked earlobes.

課題と条件 各実験系列のはじめに、アルファベットの1文字（記憶負荷：M1条件）または4文字（M4条件）をランダムに選び、標的とした。被験者は、その後呈示される刺激に標的が含まれている場合、手もとのキーを押した。刺激は、4文字で構成されるもの（視覚負荷：P4条件）と、1文字と3つの四角形からなるもの（P1条件）を、等確率かつランダムな順序で呈示した。標的刺激の確率は、20%とした。

手続き 各記憶負荷条件を2系列ずつ、計4系列を実施した。

脳波の記録と分析 銀・塩化銀電極を用い、鼻尖を基準として頭皮上21部位（Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz）から脳波を導出した。同時に、左右耳朶に電極を装着した。導出した脳波は、帯域通過周波数0.05-30 Hzで増幅し、サンプリング周波数100 HzでAD変換した。誤反応とアーチファクト混入試行を除いて、刺激前100 ms～刺激後1000 msの区間を、4負荷条件別に加算平均した。両耳朶連結を基準とする電位を再計算し、鼻尖を基準とする波形と同様の処理を行った。

結果

鼻尖を基準として記録した非標的ERPをFigure 1に、両耳朶連結を基準としたERPをFigure 2に示す。それぞれ4つの負荷条件の波形を重ね書きしてある。2つの基準電極条件を比較すると、ERP波形そのものに少し違いがある。例えば、T6の波形を見ると、Figure 1では視覚性N1の下降脚途中から小さな陰性電位が観察できるが、Figure 2ではそれが全く認められなかった。また、負荷効果の出現の仕方を比較すると、刺激後300 ms前後から負荷が大きくなるほどERPが陰性方向にシフトしている点は同じであるが、両耳朶連結を基準にしたFigure 2に比べ、鼻尖を基準としたFigure 1では、側頭部（T3, T4）や前頭部（F3, Fz, F4）、および前頭極部（Fp1, Fpz, Fp2）における負荷効果が、大きく現れているように見える。Figure 3は、負荷の種類別に負荷の大きい条件（P4, M4）から小さい条件（P1, M1）の波形を引き算して差波形を算出し、その区間平均電位をベクトル長で規準化（McCarthy & Wood, 1985）して部位別に示したものである。鼻尖を基準にした場合に観察される前頭極領域の負荷効果が、耳朶を基準とすると非常に小さくなった。

研究 II

研究IIでは、N400について検討した。N400の頭皮

上分布は、課題の性質によって多少異なることが報告されている（藤本里奈・宮谷真人・岡直樹・桐木建始, 2000）ので、研究II aにおいては、関連比率（意味的に関連するプライムターゲット対の出現率, Neely, Keefe, & Ross, 1989）の異なる2条件でN400を比較した。また、実験II bでは、実験II aで1000 msであったプライムターゲット間の時間間隔（SOA）を200 msに変更した。さらに、実験II cでは、プライムとの意味的関連性に基づくN400減衰と、被験者の期待との関連性で生じるN400減衰を比較した。

方法（研究II a）

被験者 視力（矯正を含む）の正常な健常成人12名（うち男性6名、21-40歳）を被験者とした。

刺激と条件 ひらかな、カタカナ、漢字表記の単語と非単語を用いた。プライムターゲット対に関して、意味的関連性のある関連条件、意味的関連性のない非関連条件、プライムがアスタリスクの中立条件、ターゲットが非単語の非単語条件を設けた。関連条件が67%（非単語試行を除いて計算）の割合で呈示される高関連比率条件と、17%の低関連比率条件があった。

手続き 凝視点（+印）を画面中央に1000 ms呈示した後、凝視点の上方にプライムを500 ms呈示した。さらに凝視点のみを500 ms呈示した後、凝視点の下方にターゲットを500 ms呈示した。被験者には、プライムに対しては黙読を、ターゲットに対しては語彙判断を求めた。被験者は、ターゲットが有意味語か無意味語かを判断し、手元のキーを右手または左手で押して答えた。2つの関連比率条件のそれぞれで、48試行からなる試行ブロックを18系列実施した。

脳波の記録と分析 以下の点を除いて、研究Iと同じであった。分析区間は、プライム前100 ms～ターゲット後1000 msとした。関連比率とプライムターゲットの関連性を組み合わせた6条件別に加算平均処理を行ったが、関連条件と非関連条件のERP波形のみを分析の対象とした。

方法（研究II b）

被験者 視力（矯正を含む）の正常な健常成人12名（うち男性6名、20-23歳）を被験者とした。すべての被験者が、研究II aには不参加であった。1名は、左手利きであった。

刺激・条件・手続き プライムターゲットの時間間隔を300 ms、両者間のSOAを200 msとした。プライム呈示開始後300 ms間は、プライムとターゲットの両方が呈示されていた。それ以外は、研究II aと同じであった。

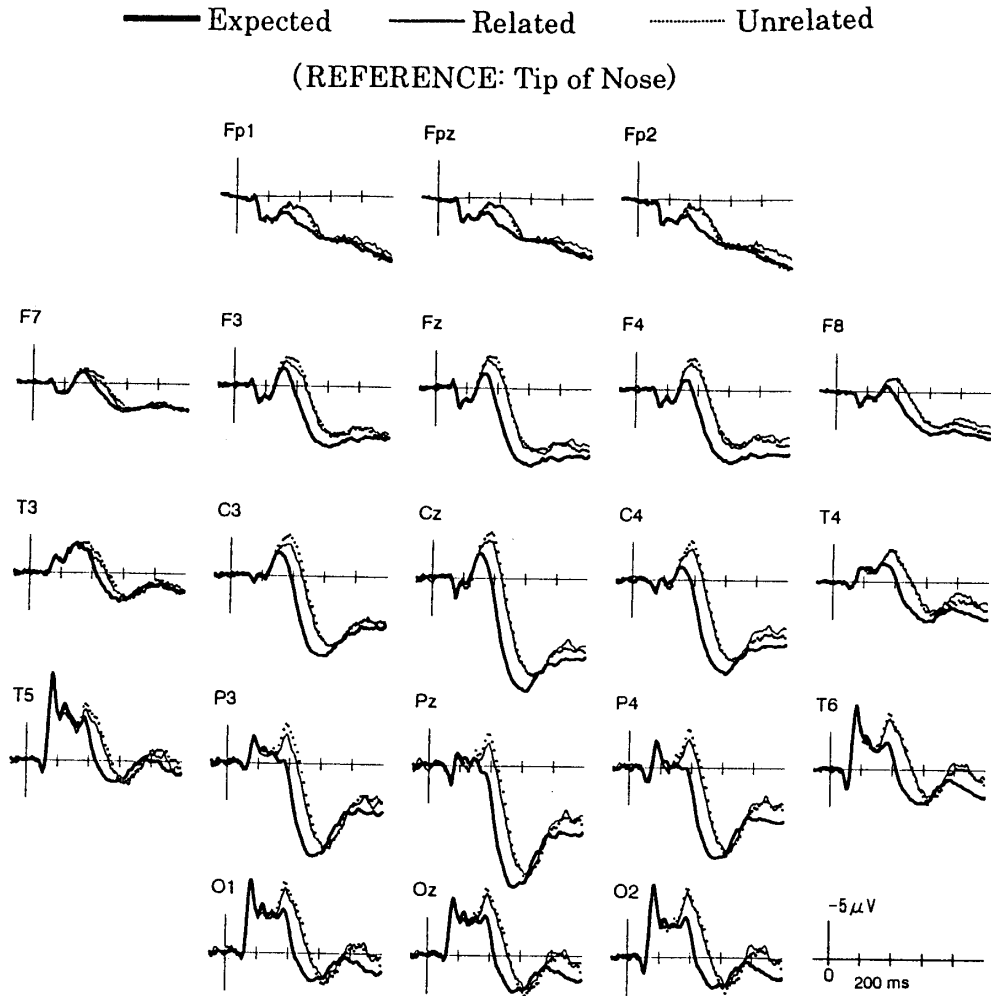


Figure 4.

The ERPs to targets referred to a tip of nose in a prime-target lexical decision task. Waveforms for three different semantic conditions are superimposed.

脳波の記録と分析 研究Ⅱ aと同じであった。

方法 (研究Ⅱ c)

被験者 視力(矯正を含む)の正常な健康成人18名(うち男性8名, 19-31歳)を被験者とした。

課題と条件 被験者の課題は, ターゲットに関する語彙判断とした。被験者には, あらかじめ, プライムとして“リンゴ”が呈示されたらターゲットには乗り物(同様に“アタマ”→建物の一部, “イヌ”→色の名前)を表す単語が高確率で出現することを告げ, それぞれのプライムに対し, ターゲットを意図的に期待するよう教示した。プライムとターゲットの関連性に関する条件として, 期待条件(ターゲットの意味がプライムとは関連せず, 被験者の期待と関連する条件, Figures 4, 5ではExpectedと表記), 関連条件(ターゲットの意味がプライムと関連し, 被験者の期待とは関連しない条件, Related), 非関連条件(ターゲットの意味がプライムとも被験者の期待とも関連しない条件,

Unrelated), ターゲットとして非単語が呈示される条件の4つがあった。さらに, プライムとターゲットの時間間隔が250 msの短SOA条件と, 2000 msの長SOA条件を設定した。プライムとターゲットは, カタカナ表記で2-6文字の単語および非単語とした。

手続き 各試行は, 凝視枠の呈示によって始まった。プライムはその2000 ms後に150 ms間, プローブは被験者の反応があるまで, 凝視枠の中に呈示した。36試行からなる実験系列を12系列実施した。各系列では, 関連性とSOAを組み合わせた8条件をランダムな順序で試行した。期待条件の試行数は, 他の各条件の3倍であった。

脳波の記録と分析 分析区間は, プライム前100 ms~ターゲット後1000 msとした。プライム-ターゲットの関連性とSOAを組み合わせた8条件別に加算平均処理を行った。分析の対象としたのは, 期待条件, 関連条件, 非関連条件の3条件であった。

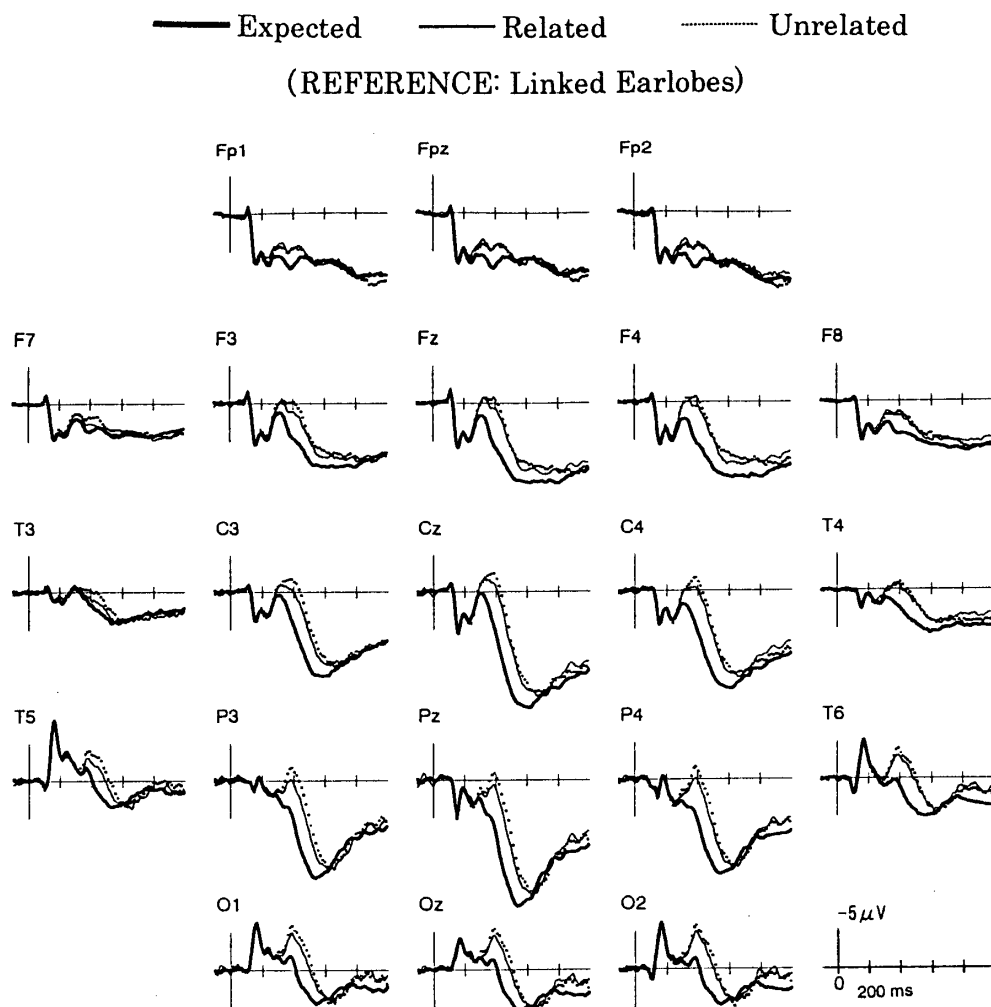


Figure 5. The ERPs to targets referred to linked earlobes in a prime-target lexical decision task. Waveforms for three different semantic conditions are superimposed.

結果

基準電極の違いがN400減衰に及ぼす影響については、研究Ⅱa～Ⅱcでほぼ同様の結果が得られたので、結果は、研究Ⅱcの長SOA条件についてのみ報告する。

Figure 4に鼻尖を基準として記録したターゲットに対するERPを、Figure 5に両耳朶連結を基準とした波形を示す。Figures 4, 5両方で、ターゲット呈示後300 msあたりから、期待条件 (Expected) の波形が非関連条件 (Unrelated) の波形に比べて陽性方向にシフトし、その差は約800 msまで持続している。関連条件 (Related) と非関連条件の差は非常に小さいが、中心部 (C3, Cz, C4) から頭頂部 (P3, Pz, P4) にかけて、潜時300-500 ms区間で、関連条件波形が非関連波形に比べてやや陽性であった。

研究Ⅰとは異なり、鼻尖基準による波形と両耳朶基準による波形は大変よく似ていた。非関連条件-関連条件、非関連条件-期待条件の差波形を描いてみても、基準電極による相違は観察されなかった。ターゲット

呈示から1 000 msの区間を50 msごとに区切って各区間の平均振幅を算出し、関連性条件 (3) × 部位 (21) の分散分析を行ったが、関連性効果の現れ方に、基準電極による違いはなかった。

考 察

探索陰性電位の出現の仕方は、基準電極の影響を受けた。視覚探索課題の記憶負荷・視覚負荷が側頭部や前頭部・前頭極部のERPに及ぼす影響は、両耳朶を基準電極とするよりも、鼻尖を基準とするほうが大きく現れた。研究ⅠのFigures 1, 2では明瞭ではないが、視覚探索課題におけるERP上の記憶負荷効果がCzを中心として頭皮上全体で観察されるのに対し、視覚負荷効果は、頭頂・側頭後部・後頭部に大きく出現するという報告がある (宮谷, 2000)。

人間の視覚系のうち、網膜から脳へ至る経路は、外側膝状体を経由して大脳の一次視覚野にいたる膝状体

視覚系路と、上丘・視床枕を経て一次視覚野以外の視覚野に向かう膝状体外視覚系路に大別される(藤田, 1994)。膝状体視覚系路によって大脳後頭部の一次視覚野に伝達された情報は、そこでさらに2つの経路に分かれる(Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983)。一つは側頭後部から側頭葉下部皮質に向かう腹側経路、もう一つが頭頂葉に向かう背側経路である。藤田(1994)によれば、サルにおける脳の局所破壊実験の結果やヒトの臨床例から、腹側経路は“見ているものは何か”を知るための情報処理に関連し、背側経路は“見ているものの位置や動き”を知るのに重要な情報が処理されていると考えられている。上述した視覚負荷効果の出現部位は、この膝状体視覚系の脳内経路とよく一致する。視覚探索課題においては、この視覚系が大切な役割を果たしていると考えられるので、視覚探索課題を遂行中のERPを記録する際には、側頭部の脳波変化が十分にとらえられるよう、耳朵を基準電極とすることは避けるべきであろう。

また、視覚探索課題を遂行中には、ワーキングメモリ(Baddeley, 1986)が機能していると考えられる。ワーキングメモリとは、理解、思考、推理といった複雑な認知活動を支える、情報の一時的貯蔵と操作のための脳システム(Baddeley, 1992)であり、神経心理学的研究や、サルを対象とする神経生理学的研究の結果から、大脳の前頭連合野との関連が指摘されている(船橋, 1993)。したがって、ワーキングメモリが関与すると想定される課題では、前頭領域の活動に敏感な測度が要求される。この点からも、探索陰性電位の記録には、鼻尖基準電極を用いるのが望ましいといえる。

一方、関連比率やプライム-ターゲット間のSOAが異なるいくつかの条件で記録したN400成分は、基準電極の影響をほとんど受けなかった。この結果は、N400の発生源が、海馬や下側頭葉など、脳の比較的深部に推定されている(小山・柿木, 1997)ことと一致する。N400に関しては、基準電極が鼻尖であっても、両耳朵連結であっても、分析結果に影響はなさそうである。

Faux et al. (1990)は、精神分裂病者のP300成分の特徴を調べるには、波形の安定性の点で、鼻尖基準よりも両耳朵連結のほうが望ましいと主張している。本研究の結果と合わせて考えると、どの基準電極を選択するのが適切かは、その研究で分析の対象となるERP成分によって異なるようである。基準電極の決め方としては、本研究で取り上げたもののほかに、基準となる部位で生じた電位の影響を取り除き脳局所で生じた固有の活動を取り出すことを目指したsource derivationやLaplacian operator、すべての観測点の

電位に等しくバイアスを置くことによって特定の基準電極でのバイアスを除こうとする平均基準導出法などがある(尾崎・鈴木・鈴木, 1990)。

各ERP成分にとっての最適な基準電極の選定には、電気生理学的な、あるいは発生源に関する知見に基づく理論的な根拠と同時に、実際に異なる基準条件間での条件差の現れ方を比較するという経験的な根拠も必要であると思われる。ERPの測定にあたっては、ほとんどの実験で複数のERP成分が同時に記録されることを考えると、いくつかの異なる基準電極がオフラインで選択できるような記録方法を採用することが有効であろう。

引用文献

- Baddeley, A. 1986 *Working memory*. Oxford: Oxford Press.
- Baddeley, A. 1992 Working memory. *Science*, **255**, 556-559.
- Beaumont, J. G. 1983 The EEG and task performance: A tutorial review. In A. W. K. Gaillard, & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event related potential research: Endogenous components*. Amsterdam: North Holland. Pp.385-406.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. 1985 Event-related potentials, lexical decision, and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **60**, 343-355.
- Faux, S. F., Shenton, M. E., McCarley, R. W., Nestor, P. G., Marcy, B., & Ludwig, A. 1990 Preservation of P300 event-related potential topographic asymmetries in schizophrenia with use of either linked-ear or nose reference sites. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **75**, 378-391.
- 藤本里奈・宮谷真人・岡直樹・桐木建始 2000 意味的プライミング効果に及ぼす関連比率の効果：事象関連電位による検討 基礎心理学研究, **18**, 139-148.
- 藤田一郎 1994 大脳視覚野の生理学 岩波講座 認知科学 3 視覚と聴覚 岩波書店 Pp.41-88.
- 船橋新太郎 1993 ワーキング・メモリー 神経研究の進歩, **37**, 44-55.
- Gaillard, A. W. K. 1988 Problems and paradigms in ERP research. *Biological Psychology*, **26**, 91-109.
- Gencer, N. G., Williamson, S. J., Guezic, A., & Hummel, R. 1996 Optimal reference electrode selection for electric source imaging.

- Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **99**, 163-173.
- Gevins, A., & Cutillo, B. 1993 Spatiotemporal dynamics of component processes in human working memory. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **87**, 128-143.
- Hillyard, S. A., & Kutas, M. 1983 Electrophysiology of cognitive processes. *Annual Review of Psychology*, **34**, 33-61.
- 小山紗智子・柿木隆介 1997 単語認知と事象関連電位 丹羽真一・鶴 紀子 (編) 事象関連電位—事象関連電位と神経情報科学の発展 新興医学出版社 Pp.82-95.
- McCarthy, G., & Wood, C. C. 1985 Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **62**, 203-208.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. 1983 Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience*, **6**, 414-417.
- 宮谷真人 2000 色情報に基づく初期選択が文字探索に関連する事象関連電位に及ぼす影響 広島大学教育学部紀要 第三部 (教育人間科学関連領域), **49**, 191-198.
- 宮谷真人・前堂志乃・赤井俊幸 1994 視覚的探索課題における空間負荷と記憶負荷が事象関連電位に及ぼす影響 心理学研究, **65**, 303-311.
- Neely, J. H., Keefe, D. E., & Ross, K. L. 1989 Semantic priming in the lexical decision task: Roles of prospective prime-generated expectancies and retrospective semantic matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 1003-1019.
- 日本脳波・筋電図学会 誘発電位検査法委員会 1985 誘発電位検査法委員会報告—誘発電位測定指針—脳波と筋電図, **13**, 1-7.
- 大熊輝雄 1983 臨床脳波学 第3版 医学書院
- 沖田庸嵩 1989 事象関連電位と認知情報処理—選択的注意を中心として— 心理学研究, **60**, 320-335.
- Okita, T., Wijers, A. A., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. 1985 Memory search and visual spatial attention: An event-related potential analysis. *Acta Psychologica*, **60**, 263-292.
- 尾崎久記・鈴木宏哉・鈴木啓之 1990 α 波の微細電場構造の評価 脳波と筋電図, **18**, 409-417.
- Regan, D. 1989 Human brain electrophysiology: Evoked potentials and magnetic fields in science and medicine. New York: Elsevier.
- Rugg, M. D. 1983 The relationship between evoked potentials and lateral asymmetries of processing. In A. W. K. Gaillard, & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event related potential research: Endogenous components*. Amsterdam: North Holland. Pp.369-383.
- 塚原靖二・山寺博史・上埜高志・加藤昌明・大熊輝雄 1990 各種基準電極導出法による脳波トポグラフィの特徴 脳波と筋電図, **18**, 233-24.