

複数の標的刺激または複数の標準刺激によるP300について : P300の心理的意味に関する基礎的検討

著者	小嶋 知幸, 加我 君孝, 蔵内 隆秀
著者(英)	Kojima Tomoyuki, Kaga Kimitaka, Kurauchi Takahide
雑誌名	Audiology Japan
巻	45
号	3
ページ	234-240
発行年	2002
URL	http://id.nii.ac.jp/1419/00000665/

複数の標的刺激または複数の標準刺激による P300 について

—— P300の心理的意味に関する基礎的検討 ——

小嶋 知幸¹⁾, 加我 君孝²⁾, 蔵内 隆秀³⁾

¹⁾江戸川病院リハビリテーション科

²⁾東京大学耳鼻咽喉科

³⁾東芝病院耳鼻咽喉科

要旨：P300が反映する心理過程を明らかにする研究の一環として、標的刺激または標準刺激が複数になった場合のP300の潜時および振幅の変化について検討した。対象は健康な成人10名、平均年齢30.4歳(25歳~39歳)。言語音を用いてオドボール課題を4条件設定した。すなわち、(1)標的刺激を/a/、標準刺激を/ka/とする1対1条件、(2)標的刺激を/a/、標準刺激をカ行5音とする1対多条件、(3)標的刺激を5母音、標準刺激を/ka/とする多対1条件、(4)標的刺激を5母音、標準刺激をカ行5音とする多対多条件である。結果、条件1、3、2、4の順に、潜時は延長し、また振幅は減少した。以上より、図と地という観点からP300の成立機序を捉えた場合、標的刺激や標準刺激が複数になることによって図と地の対比が弱まること、P300の加算波形において潜時の延長および振幅の減少として反映されることが明らかとなった。さらに、ワーキングメモリー上に図と地の対比が形成される際、図が際立つことよりもむしろ地が安定的であることが重要であると考えられた。

—キーワード—

P300, 言語音, 複数の標的刺激, 複数の標準刺激, ワーキングメモリー

はじめに

P300を誘発する代表的課題であるオドボール課題(以下OB課題)では、聴覚刺激として純音によるトーンバーストが用いられることが多いが、言語音を用いてもP300が誘発されることは知られている。いずれのOB課題でも誘発された加算波形は類似しているが、言語音によるOB課題は、純音によるOB課題とは異なるいくつかの特徴を持っていると考えられる。先ず第1に、純音によるOB課題の場合には、絶対音感を有している特殊な被験者を除いて刺激に対応するテンプレートが脳内に存在しないのに対して、言語音によるOB課題では刺激に対するテンプレートが脳内に存在する点、第2に刺激に対するテンプレートのない純音によるOB課題に比べ、テン

プレートのある言語音によるOB課題では、刺激に対する評価が絶対的なものであり、前後の刺激との比較は必要ないため、実験中に呈示される個々の刺激をワーキングメモリー上に音響のまま把持する必要がないという点、そして第3に純音によるOB課題ではワーキングメモリーの容量を越えて刺激の数を増やすことは困難であるのに対して、個々の刺激を短期記憶として把持する必要のない言語音によるOB課題では、複数の刺激を用いた課題が比較的容易であるという点である。以上の言語音OB課題における特性のうち、複数の刺激の使用が可能である点を利用して、本研究では、(1)複数の刺激をグループ化して標的刺激または標準刺激とした場合にP300が出現するか、(2)P300が出現するとしたら、単一の標的および標準刺激によるOB課題に比べてどのよう

な違いがあるのか、(3)変化が得られたとしたらその事から P 300の心理的意味として何が言えるか、以上3点について検討したので報告する。

方 法

1. 刺激：日本語の音韻から5母音およびカ行の5音を選択し、成人男性の音声で録音した。持続時間は、/a/ (280ms), /i/ (310ms), /u/ (350ms), /e/ (300ms), /o/ (380ms), /ka/ (360ms), /ki/ (350ms), /ku/ (370ms), /ke/ (380ms), /ko/ (400ms) である。

2. 実験条件(表1)：複数の刺激をグループ化して標的刺激あるいは標準刺激とする変則的なOB課題を4条件設定した。すなわち、(1)標的刺激を/a/、標準刺激を/ka/とする1対1条件(通常のOB課題)、(2)標的刺激を/a/、標準刺激をカ行5音とする1対多条件、(3)標的刺激を5母音、標準刺激を/ka/とする多対1条件、(4)標的刺激を5母音、標準刺激をカ行5音とする多対多条件である。4条件とも刺激呈示頻度は、標的刺激全体で20%、標準刺激全体で80%とした。音圧を80dBHLに設定し、被験者から約2m離れた位置に設置されたスピーカを通じてこれらの刺激をランダムな順序で被験者に対して呈示した。被験者への課題は、すべての標的刺激に対するボタン押しによる反応である。

3. 対象：本研究の概要に関する説明を受けた上で、実験への協力を承諾した健常成人10名(男性2名、女性8名)、平均年齢30.4歳(25歳~39歳)。

4. 記録条件：電気的に遮蔽された部屋で、被験者は安楽な椅子にて開眼し、一点を注視した状態で課題を遂行した。記録電極は10/20法に則り頭皮上Fz, Cz, Pzに設置し、基準電極は両耳朶連結とした。日本光電製MEB4208を用い、フィルターを0.5Hz~50Hz、刺激間隔を2秒に設定した。刺激呈示前100msから刺激提示後900msの1秒間の脳波を、標準刺激-標的刺激のペアで30回加算した。

5. データ解析：得られた加算波形におけるP300の潜時および振幅、N1の潜時、ボタン押しの反応潜時をそれぞれ実験条件別、電極別に比較した。なお振幅は、刺激提示前100msにおける平均電位を基準として測定した。統計手法は繰り返し測定法による分散分析を用いた。タイプIエラーを統制するため

表1 実験条件

	標的刺激	標準刺激
• 条件1(1対1)	a	ka
• 条件2(1対多)	a	ka,ki,ku,ke,ko
• 条件3(多対1)	a,i,u,e,o	ka
• 条件4(多対多)	a,i,u,e,o	ka,ki,ku,ke,ko
呈示頻度	20%	80%

* 課題は標的刺激に対してボタン押し

に、Greenhouse-Geisserの修正法(Greenhouse and Geisser 1959)を用いた)。有意水準は5%に設定した。

結 果

課題条件別の10人の被験者による誘発反応の総加算波形を図1に示す。

脳波視察上、4条件すべてにおいてP300を認めた。

1. P300潜時：図2上段に課題条件別のP300の潜時を示す。P300の潜時は、3電極とも条件1がもっとも短く(Fz=339.4±27.4ms, Cz=339.2±27.5ms, Pz=343.0±29.6ms)、条件3(Fz=343.2±32.0ms, Cz=343.2±32.6ms, Pz=349.0±31.2ms)、条件2(Fz=353.6±27.5ms, Cz=353.6±28.4ms, Pz=358.8±37.7ms)、条件4(Fz=399.8±50.1ms, Cz=407.1±49.1ms, Pz=421.3±48.6ms)という順に延長していた。潜時について課題条件×電極位置の2要因の分散分析を行った結果、条件の主効果が優位であった(F(3, 2)=11.12, p<0.001)。また、電極位置の主効果も認め(F(3, 2)=9.64, ε=0.54, p=0.012)、前方の電極ほど潜時が短い傾向が認められた。2要因間に交互作用は認められなかった(F=1.88)。課題条件間での潜時の多重比較の結果、条件4と他の3条件との潜時の差が、3電極とも優位であった(p<0.01)。

2. P300振幅：図3上段に、課題条件別のP300振幅を示す。P300の振幅は、3電極とも条件1がもっとも大きく(Fz=13.1±6.5μv, Cz=15.7±8.6μv, Pz=16.6±6.8μv)、続いて条件3(Fz=11.2±4.2μv, Cz=13.2±5.2μv, Pz=14.8±4.1μv)、条件2(Fz=10.6±3.9μv, Cz=12.5±5.2μv, Pz=14.7±4.2μv)、条件4(Fz=6.8±4.9μv, Cz=9.6±4.0μv, Pz=14.2±4.4μv)の順に減少していた。振幅

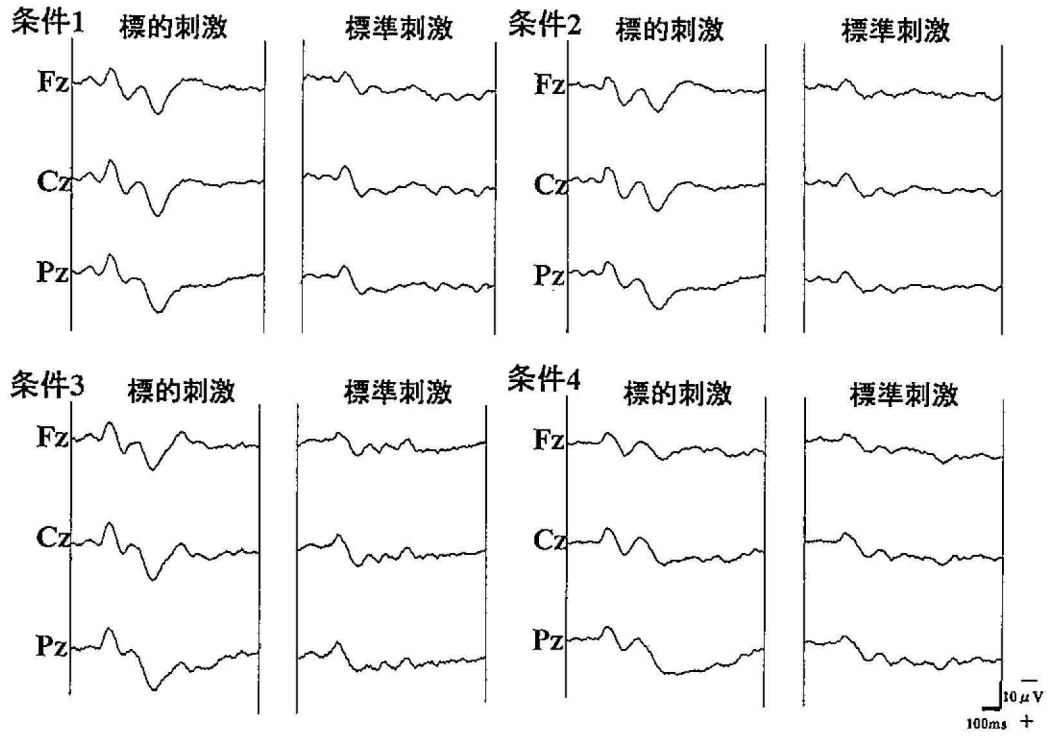


図1 条件別のP300総加算波形

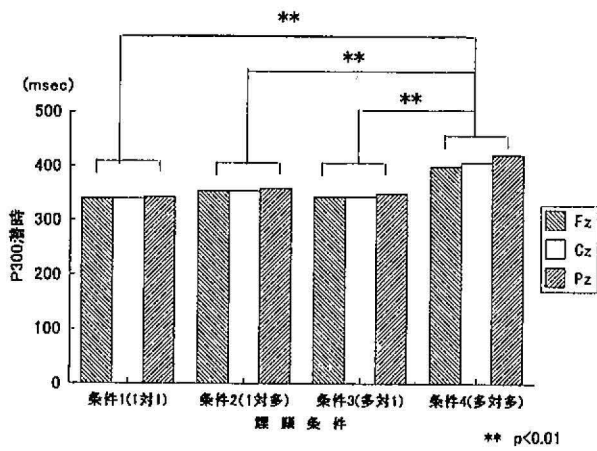
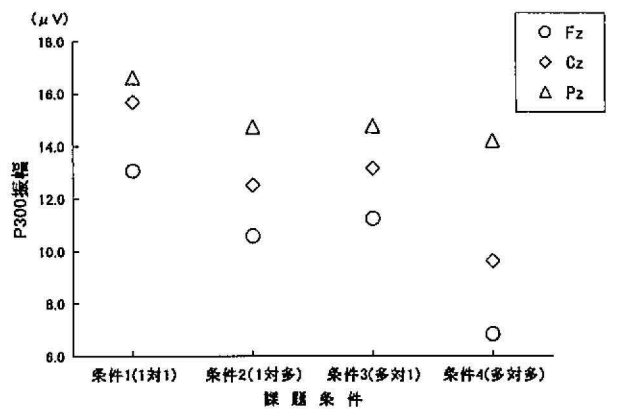
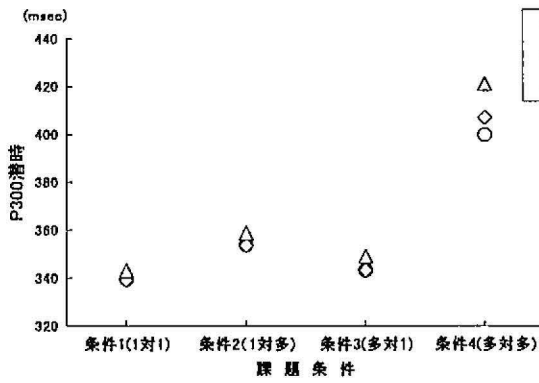


図2 条件別のP300 (潜時)

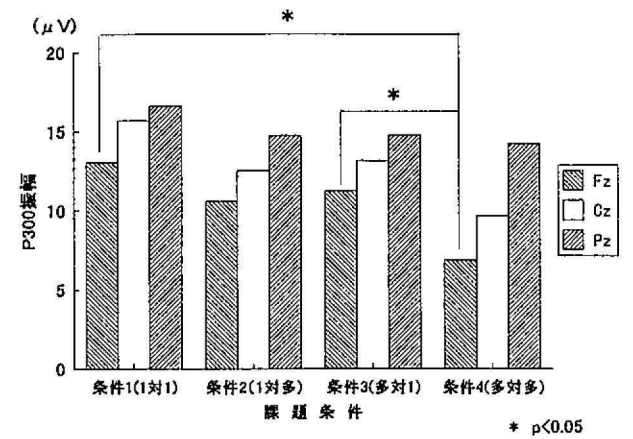


図3 条件別のP300 (振幅)

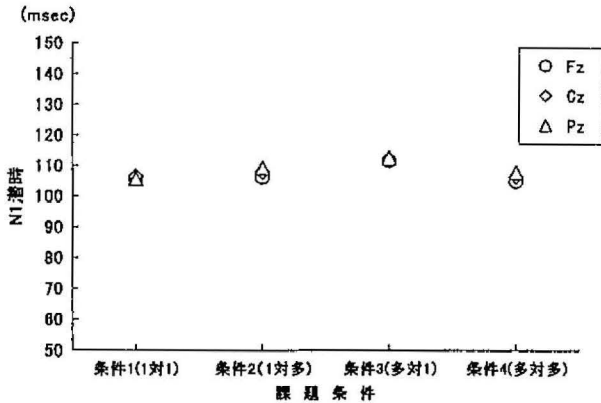


図4 (上段) 条件別の N1 潜時

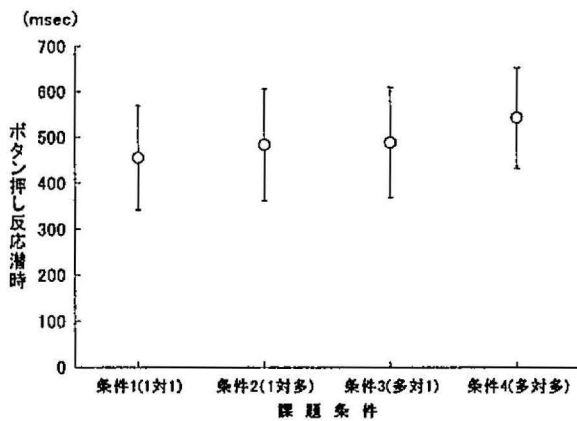


図4 (下段) 条件別のボタン押し反応潜時

について課題条件×電極位置の2要因の分散分析を行った結果、条件の主効果が優位であった ($F(3, 2) = 4.18, p = 0.016$)。また、電極位置の主効果も認め ($F(3, 2) = 19.34, p < 0.016$)、振幅は後方電極優位であった。これは、Squires は (1975) が Pz 優位として報告した P3b の特徴と一致するものである²⁾。また2要因間に交互作用が認められ ($F = 2.98, p = 0.016$)、条件による振幅の影響は Fz でもっとも顕著であった。

各課題条件間での振幅の多重比較の結果では、条件4に対する条件1および3の振幅差が、Fzにおいて有意であった ($p < 0.05$)。

3. N1 潜時：図4上段に課題条件別の N100 潜時を示す。P300 同様、課題条件×電極位置の2要因の分散分析を行った結果、N1 潜時に関しては、課題条件の主効果も、電極位置の主効果も認められなかった。また、2要因間における交互作用も認められなかった (それぞれ $F = 0.065, 3.37, 0.48$)。

4. ボタン押し反応：図4下段に、課題条件別のボタン押し反応潜時を示す。ボタン押し反応の潜時に関しては、標的刺激が複数である条件3および4に比べ標的刺激が1つである条件1および2の方が短く、課題条件の要因による分散分析の結果で、課題条件の主効果を認めた ($F = 0.89, p = 0.46$)。しかし、多重比較の結果、条件間で優位差を認める組み合わせは検出されなかった。

考 察

1. 複数刺激による P300

本実験において設定した4条件すべてにおいて P300 が誘発された。このことから、P300 という成分は、2つの刺激のうち一方が高頻度で他方が低頻度という、広く知られた OB 課題条件下でのみ出現するのではなく、複数の刺激に対して2種類のグループ化を行い、グループ間で標的刺激の検出を行わせるという課題条件下でも出現することが明らかになった。

ただし、課題条件間に潜時および振幅の有意差が認められた。しかもこれらの差は N1 では認められなかった。さらに、本研究では解析の対象としなかった P2 および N2 についても、視察上明らかな差は見られなかった。このことから今回課題条件間にみられた差は、ほぼ純粋に P300 成分の差と考えることができる。

次に、課題条件間での P300 成分の潜時と振幅の違いについて考察する。

2. 複数の刺激と P300—条件1対条件4

課題条件間での潜時および振幅の差は、波形視察上からも、統計検定の結果からも、刺激数の一番少ない条件1 (1対1条件) と一番多い条件4 (多対多条件) の間で最も顕著であった。

この事は、課題中に被験者が消費するワーキングメモリーの量が P300 に影響を与えていることを示唆している。

すでに、P300 の潜時および振幅に影響を与える因子として、課題の性質、刺激の出現頻度、課題関連性 (Duncan-Johnson and et al, 1977³⁾)、主観的頻度 (Hillyard et al, 1971⁵⁾, Ruchkin et al, 1980⁶⁾) などが知られているが、OB 課題における刺激の数というパラメーターの報告は見当たらない。本研究の

結果から、OB 課題において被験者が処理すべき刺激の数、言い換えると課題中のワーキングメモリー⁷⁾への負荷量も P300の潜時および振幅に影響を及ぼすパラメーターであることが明らかになった。

しかも、本実験における刺激数の増加は、課題中に必要とされる刺激の把持にはほとんど影響がないと考えられる。なぜなら、本実験で用いた刺激は、純音のような感覚刺激ではなく言語音であるため、反応すべき刺激（例えば、5つの母音）は脳内のテンプレートと照合すればよく、実験中に呈示される1つひとつの刺激を記憶痕跡（メモリートレース）として把持した上で後続刺激と照合する必要はない。したがって、刺激が複数になった場合の負荷は、刺激把持（音韻ループ）に対しての負荷ではなく、もっぱら刺激の弁別・照合から判断・反応に至る中央実行系の処理に対しての負荷だと考えられる。

そして、中央実行系での情報処理資源の消費量の増加という、課題における心理学的パラメータの変化が、P300の潜時の延長および振幅の減少という、電気生理学的なパラメータに反映することが明らかになった。

次に、課題条件の組み合わせごとに、潜時と振幅の差についてさらに細かく検討したい。

3. 単一の標的刺激対複数の標的刺激—条件1対条件3

条件1（1対1条件）と条件3（多対1条件）の違いは、標準刺激が単一という条件下において、標的刺激が単一である場合と複数である場合のP300の潜時および振幅の違いと言い換えることができる。

Donchin (1986) や、Donchin and Cole (1988) は、P300の心理的意味について、ワーキングメモリーの維持を必要とされる課題において、刺激によって形成された心理的モデルあるいは文脈が更新された際に出現すと解釈している^{8,9)}。高頻度で呈示される単一の標準刺激によって脳内のワーキングメモリー上に展開された「文脈 (context)」が、低頻度で呈示される標的刺激によって「更新 (update)」を余儀なくされるといふ彼らの情報処理仮説に当てはめて考えると、複数の標的刺激が呈示される課題では、「更新」も複数となり、しかも並列に処理されることになる。そして、条件1（1対1条件）に対する条件3（多対1条件）におけるP300潜時の延長および

振幅の減少は、有限な処理資源であるワーキングメモリー上で、情報処理が並列化したことの電気生理学的な反映と考えることができるのではないだろうか。

また、一般にワーキングメモリーにおける中央実行系の機能は前頭連合野に局在していると考えられているが、本研究において、課題によるP300の振幅への影響が前方の電極であるFzにおいてもっとも顕著であったことは、その仮説を裏付ける結果との解釈も可能と思われる。

ただし本実験では個々の刺激（言語音）の長さが一定でないため、標的刺激が複数である場合、1回ごとの素反応が変動し、結果として潜時を延長させ、振幅を減少させた可能性も否定できない。その点については後に考察する。

4. 単一の標準刺激対複数の標準刺激—条件1対条件2

条件1（1対1条件）と条件2（1対多条件）の違いは、標的刺激が単一という条件下において、標準刺激が単一である場合と複数である場合のP300の潜時および振幅の違いと言い換えることができる。

先に述べた Donchin (1986) や、Donchin and Cole (1988) の認知文脈更新説に照らし、ワーキングメモリー上に一定の認知文脈が形成されるためには、同一の標準刺激が高頻度に呈示される必要があるとするならば、標準刺激が複数になれば、それだけ安定した認知文脈の形成を阻害することが予想される。本実験において、条件2（1対多条件）が条件1（1対1条件）に比し、潜時が長く振幅が小さかったことは、標準刺激によって十分な認知文脈が形成されなかったことを反映したものと考えられる。

5. 複数の標準刺激対複数の標的刺激—条件2対条件3

条件2（1対多条件）と条件3（多対1条件）におけるP300の違いを検討することは、標的刺激と標準刺激の一方が単一で他方が複数という条件下において、どちらが複数の場合にP300の潜時および振幅に与える影響が大きいかというテーマになる。それは、標的刺激の分散と標準刺激の分散では、どちらがP300の誘発を阻害するか、と言い換えることも可能である。今回、その差はわずかではあったが、条件2（1対多条件）の方が条件3（多対1条件）に

比べ、潜時の延長と振幅の減少がみられた。しかも先に述べたように、標的刺激が複数である条件3はジッターによる潜時の延長や振幅の減少が生じやすい条件である。にもかかわらず条件3よりも条件2において、潜時の延長と振幅の減少を認めたことは、刺激のグループ化によって標的刺激が分散されることよりも、標準刺激が分散されることの方が、P300の成立に及ぼす影響が大きいことを示唆している。

6. P300と心理過程

認知文脈更新説に基づくP300の成立機序は、心理学における図と地¹⁰⁾という用語を用いて解釈すると、高頻度に繰り返し呈示される標準刺激によって、際立つことのない知覚の背景として脳内のワーキングメモリー上に展開された地の上に、突然呈示された標的刺激が背景と異なる図として際立つ心理過程と表現することも可能ではないだろうか。

そして、図と地という観点からP300の成立機序を捉えた場合、今回の実験を通して、図と地の対比が不鮮明になることがP300の加算波形においては潜時の延長および振幅の減少として反映されることが明らかになった。さらに、図と地の対比の形成に際して、図が際立つことよりも地が安定的であることがより重要であると考えられた。

ま と め

言語音を聴覚刺激に用いて、標的刺激または標準刺激を複数にした場合のP300における潜時および振幅の変化について比較検討した。

1. 標的刺激および標準刺激が単一でない条件下でもP300が出現した。

2. ただし、標的刺激、標準刺激のいずれかあるいは双方が複数の条件では、双方が単一である通常の条件に比し、潜時は延長し、振幅は減衰した。

3. 標的刺激、標準刺激のどちらか一方が複数である条件間の比較では、標的刺激が複数である条件よりも標準刺激が複数である条件において潜時の延長と振幅の減衰を呈した。

4. 標的刺激と標準刺激を、心理学における図と地の対比として捉えた場合、ワーキングメモリー上で図が際立つ(単一である)ことよりも、むしろ地が安定的である(単一である)ことが重要であると考えられた。

本論文の要旨は第45回日本聴覚医学会学術講演会(平成12年10月、名古屋市)で口演した。

P300 Elicited by Multi Target Stimuli and/or Multi Standard Stimuli

Tomoyuki Kojima¹⁾, Kimitaka Kaga²⁾, Takahide Kurauchi³⁾

¹⁾Department of Rehabilitation, Edogawa Hospital

²⁾Department of Otolaryngology, University of Tokyo

³⁾Department of Otolaryngology, Toshiba Hospital

As a part of the research about psychological mechanisms underlying P300, in this paper, we studied latencies and amplitudes for the P300s elicited by more than one target stimuli and/or more than one standard stimuli. We administered to 10 healthy adults four blocks of oddball paradigm using verbal sounds i.e., 1) single-single condition constituted of single target stimulus and single standard stimulus (condition 1), 2) single-multi condition constituted of single target stimulus and five standard stimuli (condition 2), 3) multi-single condition constituted of five target stimuli and single standard stimulus (condition 3), 4) multi-multi condition constituted of five target stimuli and five standard stimuli (condition 4). The results were as follows; 1) P300 latency was shortest in condition 1, and delayed in condition 3, then in condition 2, and the last was condition 4. 2) P300 amplitude was largest in condition 1, and decreased in condition 3, and then in condition 2, and the last was condition 4. These results showed that weakness of the contrast between figure (target) and ground (standard) in working memory caused by multi target stimuli and/or multi standard stimuli influence the P300 latency and amplitude, i.e., latency is delayed and amplitude is decreased. And besides, in order to elicit

P300, the ground made by single standard stimulus is thought to be more important rather than the figure made by single target stimulus to make up contrast between the figure and the ground in working memory.

参考文献

- 1) Greenhouse SW and Geisser S : On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika* 95-112, 1959
- 2) Squires NK, Squires KC and Hillyard SA : Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 387-401, 1975
- 3) Duncan-Johnson CC and Donchin E : On quantifying surprise: The variation in event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 456, 1977
- 4) Squires KC, Wickens C, Squires NK, et al : The effect of stimulus sequence on the waveform of the cortical event-related potential. *Science*, 1142, 1976
- 5) Hillyard SA, Squires KC, Bauer KW, et al : Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, 1357, 1971
- 6) Ruchkin DS, Sutton S, Kietzman ML, et al : Slow wave and P300 in signal detection. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 35, 1980
- 7) Baddeley A : Working memory, *Science*, 255, 556-559, 1994
- 8) Donchin E : Surprise!... Surprise? *Psychophysiology*, 493-513, 1981
- 9) Donchin E and Coles MGH : Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav. Brain Sciences*, 357-374, 1988
- 10) Lubin EJ : Visuelle wahrgenommene Figuren, *Studien psychologischer Analyse*, 1921, 外林大作ほか編, 心理学辞典, 誠信書房, 東京, P250, 1981より

(原稿受付 平成14.2.22)

別冊請求先 〒133-0052 東京都江戸川区東小岩2-24-18

江戸川病院リハビリテーション科

小嶋 知幸

Reprint request :

Tomoyuki Kojima

Department of Rehabilitation, Edogawa Hospital, 2-24-18 Higashikojiwa, Edogawa-ku, Tokyo 133-0052, Japan