

パターン認知関連電位 NA の検討 — 音韻弁別課題を用いて —

福 永 浩 子

NA Components of Pattern Recognition-Related Potentials; a Study Using Rhyme Discrimination Task

Hiroko FUKUNAGA

キーワード: NA, 音韻弁別課題, 課題条件, 反応時間, 刺激評価過程

概 要

健康成人15名を対象に、音韻弁別課題を用いて2つの課題条件下(課題1:清音中の濁音をカウント, 課題2:子音中の母音をカウントする oddball 課題)における事象関連電位(ERP)およびパターン認知に関連した視覚性 NA を導出した。そして刺激難易度が異なる両課題について、短期記憶における刺激弁別の処理過程の状態を把握するために、NA を構成する下位成分を導出し、それらの成分の電位変動、頭皮上分布、刺激モダリティ特異性などを比較検討した。

NA の下位成分としてN1, N2, N3, N4の4つの陰性電位を認めた。両課題とも、N2とN3は中心〜後頭部(全導出部)に高率に出現、逆にN1とN4は低率で優位分布を示さず、刺激モダリティ特異性は認められなかった。

両課題における各電位の潜時、振幅および持続時間に有意差はなく、課題による刺激処理能力や処理速度に変化がないことを示唆した。つまり、刺激評価・記憶との照合が課題条件には全く影響されていないことを示す。

はじめに

事象関連電位 event-related potential (ERP) は、提示された刺激(視覚性、聴覚性、体性感覚性等)を処理する認知課題遂行中において発生する脳内の情報処理過程を反映する電位である。即ち、刺激が提示されると、感覚受容器から感覚神経のインパルスは脊髄、脳幹そして大脳皮質に到達し、そこでは刺激に対して予期、注意、知覚、検索、認知、記憶照合、意志決定および運動指令までの心理・認知諸過程に関連する電位が発生する。ERP はそれらの電位から構成されている。そのため ERP 波形はいくつかの発生源からの電位、陰性 negativity (N)電位と陽性 positivity (P)電位の振れから成り立っている。ERP は課題の種類や課題条件などにより変化するが、その変化をもたらす要素は ERP を構成する内因性陰性・陽性電位の頭皮上分布の変動や処理特性などによるものである。

標的弁別課題において、パターン認知に関連した NA (Ritter ら¹⁾がこの陰性電位を命名)と刺激の分類ないし反応選択に関連した N2c (classification N2) の2つの陰性電位が観察される。それらはいくつかの処理過程を反映した成分が重畳したものから構成されている。NA は刺激探知後、それを分析、判断する刺激評価過程を反映する電位で、弁別反応課題 discriminative response task (DRT) の非標的刺激に対する反応から、非弁別の単純反応課題 simple response task (SRT) での反応を引算することで得られる。NA は更にいくつかの下位成分より構成されており、その早期成分は刺激の符号化、後期成分は記憶との照合過程を反映する。NA 成分は課題の種類、課題条件、反応条件、刺激要素の処理能力などにより変化的ことが知られている¹⁻⁵⁾。本研究は短期記憶の事象における刺激弁別の処理過程の状態を把握することを目的に、刺激難易度が異なる2つの課題条件下(標的弁別がしやすい課題1とそれよりも難しい課題2)における ERP および視覚性 NA 成分を分析する基礎的検討である。まず初回は図形(色・形)を用いた形態弁別課題の課題条件を変更して NA 成分の電位変動(潜時、振幅、

(平成15年10月21日受理)

川崎医療短期大学 臨床検査科

Department of Medical Technology, Kawasaki College of Allied Health Professions

持続時間)や頭皮上分布の変化, 刺激モダリティ特異性などを検討した⁶⁻⁸⁾。その結果, 課題を順次難しくしていくと NA の下位成分である陰性電位の頭皮上優位分布の変化, 後期成分の処理能力や処理速度の影響および刺激モダリティ特異性の変化などから, 刺激の複雑性に対する認知的処理過程を反映する認知活動が行われていることが把握できた。今回は音韻弁別課題を用いて, 2つの課題条件下における各反応課題の ERP および NA を分析し, 刺激難度による大脳皮質の認知機能を比較検討した。

対象および方法

1. 対 象

対象は神経学的な異常所見がみられない健康成人15名で, 実施に当たってインフォームド・コンセントが得られたボランティアである。年齢は19~27歳(平均年齢20.4歳)である。年齢的に, 脳機能の観点から脳波が成人パターンに確立される20歳前後を対象とした。

2. 測定条件

ERP は国際10-20配置法に基づく $C_3 \cdot C_4$ (左・右中心部), $P_3 \cdot P_4$ (左・右頭頂部), $T_5 \cdot T_6$ (左・右側頭後部), $O_1 \cdot O_2$ (左・右後頭部) の8部位(頭皮上電極)と連結両耳朶(基準電極)から導出し, 分析時間は刺激提示前100msec, 提示後900msec で, 200回加算平均した。被検者は座位にて, 0.5m前方のCRT画面中央に表示される文字(カタカナ)を注視して, SRT と DRT の2つの課題を行った。DRT は異なる2種類の刺激をランダムに提示し, 反復する非標的刺激中に希に提示される標的刺激の回数をカウントする oddball 課題を行った。視覚性音韻弁別は課題1では, 清音20文字(非標的刺激)と濁音20文字(標的刺激)を使用し, 課題2では子音30文字(非標的刺激)と母音5文字(標的刺激)を使用した。刺激頻度は0.5Hzで行い, 表示時間を500msec とし, 文字表示はランダムに行った。使用機器は CRT 画面上に表示する文字刺激は独自にプログラムしたものを使用, ERP の分析は Neuropack VIII (日本光電製)を使用した。

3. 各反応課題と NA の導出法

- 1) 単純反応課題(SRT): 提示されたすべての文字をカウントする。
- 2) 弁別反応課題(DRT): 課題1では濁音を, 課題2では母音(いずれも標的刺激)を非標的刺激が200回加算平均されるまでカウントする。即ち, 標的刺激は50回(全刺激の20%), 非標的刺激は200回(同,

80%)である。なお, SRT と DRT の反応時間 reaction time (RT) を観察するために, カウントと同時に右手第1指でのボタン押しを指示した。

- 3) NA の導出法: Ritter らの方法¹⁾に従って, 非標的刺激(以下, 80%DRT と記す)の ERP 波形から, SRT の ERP 波形を差し引いて, NA の内因性成分を求めた。

結 果

1. SRT (単純反応課題) の ERP について

1) ERP 波形

ERP は両課題ともに, 頭蓋頂電位 P_1 , N_1 , P_2 が導出され, 側頭後部と後頭部で振幅が高く明瞭であった。 N_1 は導出部位により一峰性または二峰性を認めた。図1に代表例を示す。19歳女性の課題1, 左側導出での ERP 波形で, 各電位は全導出部で明瞭に認められる。 N_1 は T_5 が一峰性, その他の部位では二峰性である。頭蓋頂電位は認知活動の有無に関係なく導出される電位である。

2) 各電位の出現率

対象者15名における各電位の出現率は, 各導出部位において, 課題1では P_1 は80~100%, N_1 は60~77%, P_2 は80~100%と高率に出現しており, 優位出現部位(出現率70%以上)は, P_1 と P_2 は全導出部(中

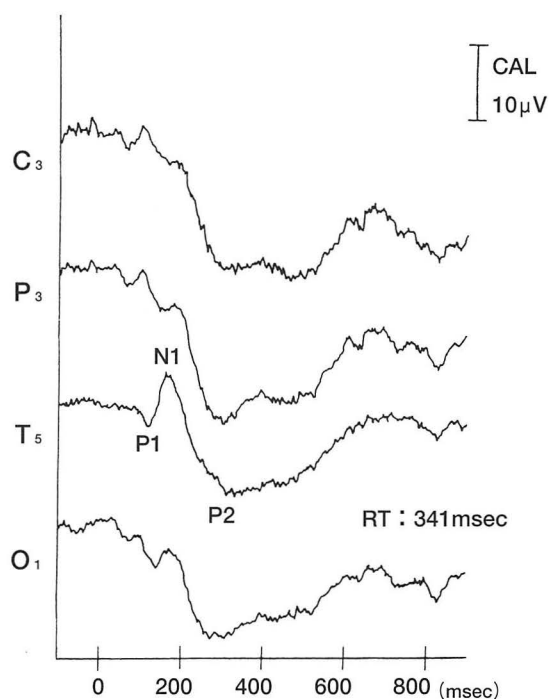


図1 課題1における SRT の ERP 波形
左側導出 19歳 女性 RT: 反応時間

心・頭頂・側頭後・後頭部), N 1 は側頭後部と後頭部であった。課題 2 では P 1 は 67~93%, N 1 は 50~80%, P 2 は 70~93% 出現し, 優位出現部位は P 1 と N 1 は頭頂部から後頭部, P 2 は全導出部であった。N 1 の二峰性は両課題ともに低率であった。

3) 各電位の平均潜時

各導出部位において, 課題 1 では P 1 は 115~150 msec, N 1 は 165~190 msec, P 2 は 270~280 msec, 課題 2 では P 1 は 125~150 msec, N 1 は 165~195 msec, P 2 は 255~275 msec の範囲に出現した。N 1 の二峰性電位は, 一峰性電位の前後に位置づけられていた。両課題ともに, 右側と左側導出での潜時差は認められなかった。

4) 平均反応時間

課題 1 では 256 msec で, 176 msec (最小)~341 msec (最大)であり, 課題 2 では 251 msec で, 178 msec (最小)~435 msec (最大)であった。

2. 80%DRT (弁別反応課題, 非標的刺激) の ERP について

1) ERP 波形

ERP は両課題ともに, 頭蓋頂電位 P 1, N 1, P 2 に引き続いて N 2, P 3 が導出され, これらは後頭部で振幅が高く明瞭であった。N 1 と N 2 は導出部位により一峰性または二峰性を認めた。図 2 に代表例を示す。20 歳女性の課題 1, 右側導出での ERP 波形で, 各電位は後頭部で最も明瞭に認められる。N 2 と P 3 は選択的注意や認知活動を行うことによって導出される電位である。

2) 各電位の出現率

各導出部位において, 課題 1 では P 1 は 77~100%, N 1 は 67~77%, P 2 は 73~100%, N 2 は 43~67%, P 3 は 70~93% であり, 課題 2 では P 1 が 77~100%, N 1 は 60~90%, P 2 は 77~100%, N 2 は 57~73%, P 3 は 70~90% であった。各電位は後頭部にいくほど高率であった。N 1 と N 2 の二峰性は両課題ともに低率であった。優位出現部位は両課題とも, P 1, P 2, P 3 は全導出部, N 1 は中心部を除く頭頂部から後頭部であった。N 2 は課題 1 での優位性はなく, 課題 2 の側頭後部と後頭部で優位に出現した。

3) 各電位の平均潜時

各導出部位において, 課題 1 では P 1 は 120~140 msec, N 1 は 165~190 msec, P 2 は 270~290 msec, N 2 は 315~340 msec, P 3 は 410~420 msec, 課題 2 では P 1 は 120~160 msec, N 1 は 170~200 msec, P 2 は

245~275 msec, N 2 は 325~340 msec, P 3 は 415~430 msec の範囲に出現した。N 1, N 2 の二峰性電位は, 一峰性電位の前後に位置づけられていた。両課題ともに, 右側と左側導出での潜時差は認められなかった。

4) 平均反応時間

課題 1 では 475 msec で, 383 msec (最小)~603 msec (最大)であり, 課題 2 では 551 msec で, 418 msec (最小)~729 msec (最大)であった。

3. NA について

1) NA 波形

NA の下位成分として, N 1, N 2, N 3, N 4 の 4 つの頂点をもつ陰性電位が出現した。また, それに付随する陽性電位として, P 1 (波形の立ち上がり), P 2, P 3 (ERP の P 3 に相当) が出現した。図 3 に代表例を示す。20 歳女性の課題 1, 右側導出での NA 波形で, N 4 は認められないが, 他の下位成分は全導出部で認められ, とくに P₄ から O₂ に良好に出現している。各電位は後頭部にいくほど短縮傾向がみられ, N 2 の振幅は N 3 より大きくなっている。図 4 は 19 歳男性の課題 2, 右側導出での NA 波形で, 4 つの下位成分は全導出部で明瞭に認められる。各電位は後頭部にいくほど短縮傾向がみられる。

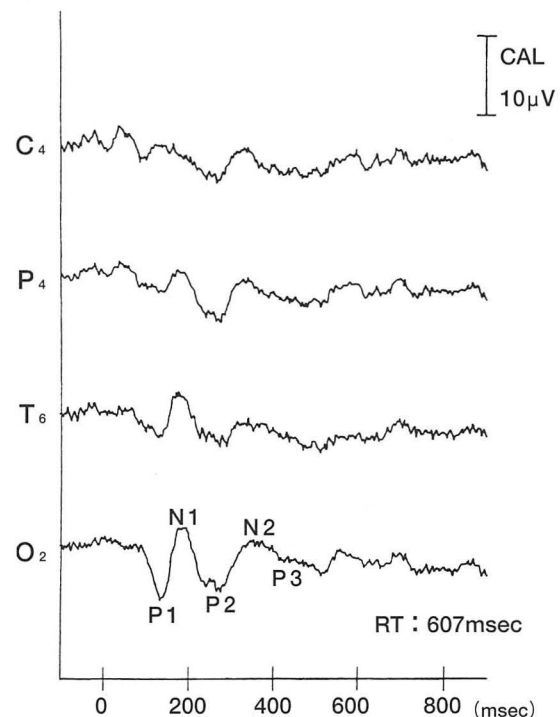


図2 課題1における80%DRTのERP波形
右側導出 20歳 女性 RT: 反応時間

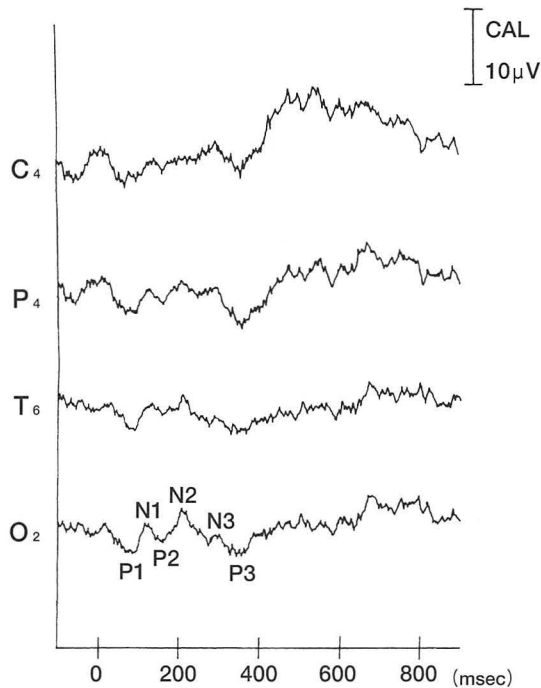


図3 課題1におけるNA波形
右側導出 20歳 女性

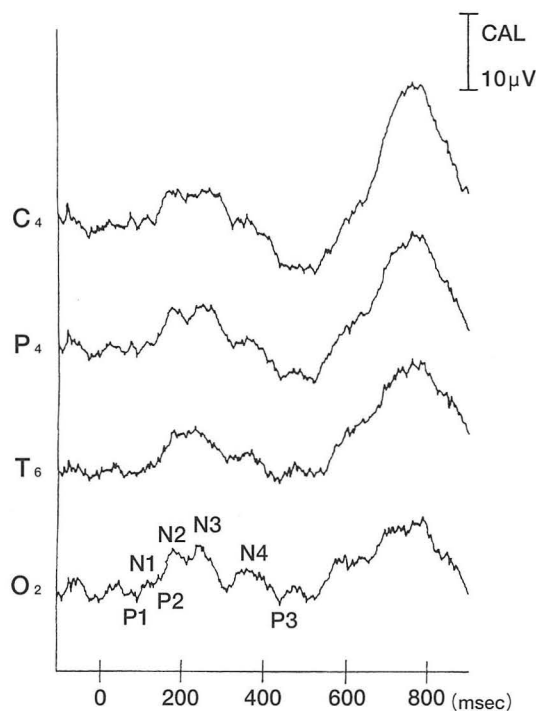


図4 課題2におけるNA波形
右側導出 19歳 男性

2) NA成分の出現率(表1)

両課題における各導出部位での内因性電位の出現率と優位出現部位を表1に示す。課題1ではN1とN4を除く各電位は、中心部から後頭部(全導出部)が70

表1 NA成分の出現率と優位出現部位

内因性電位の出現率 最小～最大(%)			優位出現部位 (70%以上)
課題1	P1	87～93	中心～後頭部(全導出部)
	N1	40～60	なし
	P2	73～80	中心～後頭部(全導出部)
	N2	77～97	中心～後頭部(全導出部)
	N3	70～83	中心～後頭部(全導出部)
	N4	23～47	なし
	P3	77～90	中心～後頭部(全導出部)
課題2	P1	67～90	頭頂～後頭部
	N1	50～67	なし
	P2	73～83	中心～後頭部(全導出部)
	N2	60～90	頭頂～後頭部
	N3	60～70	中心～頭頂部
	N4	17～33	なし
	P3	60～73	後頭部

中心～後頭部(中心・頭頂・側頭後・後頭部)

頭頂～後頭部(側頭後部を含む)

表2 NA成分の平均潜時 (単位:msec)

	P1	N1	P2	N2	N3	N4	P3
課題1	85～ 100	120～ 140	155～ 170	200～ 215	290～ 300	375～ 390	400～ 430
課題2	90～ 105	130～ 150	165～ 180	210～ 245	295～ 325	370～ 390	415～ 430

(最小～最大)

表3 NA成分の平均振幅 (単位:μV)

	P1-N2	P1-N3	P2-N2	P2-N3
課題1	4.4～5.8	3.4～6.2	3.2～4.7	2.0～6.3
課題2	5.8～7.7	5.2～8.6	4.1～5.6	3.5～7.9

(最小～最大)

%以上と高率に出現した。課題2も同様の傾向であるが、課題1に比べて各電位の出現率はやや低く、頭頂部から後頭部に優位性がある。

3) NA成分の平均潜時(表2)

各導出部位における各電位の平均潜時を比較すると、課題2の方が30msec範囲内での延長を示す程度で、なかには同潜時のものもあり、有意差は認められなかった。両課題とも右側と左側の導出での潜時差は認められなかった。また、後頭部にいくほど短縮するといった、一定の傾向はみられなかった。

4) NA成分の平均振幅(表3)

各導出部位における各頂点間の平均振幅は相対的に課題2の方が高い。両課題とも、P1-N2間は頭頂

部が最も大きく、P 1—N 3 間と P 2—N 3 間は後頭部から中心部にいくほど振幅は大きい傾向にあった。

5) NA 成分の平均持続時間 (表 4)

各導出部位における P 1—P 3 間, P 2—P 3 間の平均持続時間は、15msec 範囲内のずれで、有意差は認められなかった。各課題において P 1—P 3 間は全導出部ではほぼ同潜時であったが、P 2—P 3 間は課題 1 では中心部と頭頂部が側頭後部と後頭部より短縮傾向を、課題 2 では逆に延長傾向を示した。

考 察

ERP は無視条件や単純反応課題では P 1, N 1, P 2 が導出され、選択的注意課題や弁別反応課題では引き続いて N 2, P 3 が導出される。前者は刺激の探知過程を、後者は刺激の認知的評価ないし知覚的判断の分析過程を反映する電位である。これらの電位により高次脳機能の評価がなされる。弁別反応課題においては、刺激弁別の種類や条件等により認知処理過程が異なっている。音韻弁別課題における刺激弁別過程は、視覚的に提示された文字を探知後、パターン認知 (符号化) し、次いで音韻に情報を変換・連合し、目的とする音韻を持つ文字を記憶と照合する過程である。課題 1 では清音に含まれている濁音の文字を、課題 2 では子音に含まれる母音の文字をカウントし、各課題条件下での各反応課題の ERP (現波形) と NA (内因性陰性電位) を分析した。

SRT の ERP は非弁別反応のため、基本的には頭蓋頂電位 P 1, N 1, P 2 が出現するが、弁別反応の N 2 が課題 1 で 33~43%, 課題 2 で 50~57%, 決断と実行反応の P 3 がそれぞれ 50~53%, 50~60% みられ、これは文字刺激を意識していることを示唆した。各電位の優位出現部位は全導出部または頭頂・側頭後・後頭部であり、総体的には後方優位であった。丹羽ら⁹⁾は頭皮上分布から P 1 が最も一次視覚野と関連が深く、N 1 付近は一次視覚野、視覚連合野、側頭連合野に広がり、P 2 では頭頂部を中心に広範に分布することを指摘している。ERP の出現率は両課題とも高率に出現しているが、課題 1 の方がやや高く、P 1 と N 1 の潜

時もわずかに短縮していたが有意差はみられなかった。また、RT においても両課題とも、ほぼ同潜時であり、これらのことから課題条件による影響はないと考える。SRT の RT は刺激を認知的処理する前の感覚的処理段階、つまり刺激探知過程に要する時間と考えられている¹⁰⁾。

80% DRT の ERP の出現率は両課題とも陽性電位は高率に全導出部に出現し差はなかった。陰性電位の出現率は陽性電位よりも低く、両課題において N 1 は頭頂部から後頭部に優位に出現しているが課題 1 の方が低く、また、N 2 では優位に出現する部位がみられなかった。このことは課題 1 において刺激の選択的注意効果は良好であるが、刺激の分類、認知効果の反映が少ないことが窺われる。各電位の潜時は P 2 を除いて課題 2 の方がわずかに延長、また、RT も 76msec と延長している。この RT の延長について、課題 2 は母音文字の音韻を意識した条件として考えていたが、被検者は 5 文字を記憶した上での文字弁別を行っていたことから、音韻よりも記憶探索課題に該当するものと考えられ、従って、課題 1 より 76msec の延長は、記憶探索過程に要する時間と考えられた。刺激探知後の刺激評価 (パターン認知) 過程にかかる時間は SRT の RT の差より、課題 1 では 219msec、課題 2 では 300msec 要していることがわかった。いずれの課題条件においても、刺激探知は ERP の P 1 付近、パターン認知は N 1 付近で、音韻弁別 (情報の変換・連合、記憶照合) は P 2 から N 2 付近で完了するので、P 3 に至る前の N 1 から N 2 帯が刺激弁別過程を反映しているものである¹¹⁾。

NA 成分について、前述したように図形弁別課題を用いて、2 図形、3 図形、5 図形および周辺視野の色・形弁別と順次課題条件を難しくして検討しているが^{6~8)}、今回行った音韻弁別課題の NA 成分の検討結果は、周辺視野の色・形図形弁別課題⁸⁾における電位変動と頭皮上分布が類似していた。即ち、NA の下位成分の N 4 の出現が低く、主として 3 つの陰性電位からなり、N 2 と最大陰性電位の N 3 が全導出部に同程度にみられたこと、刺激モダリティ特異性が明瞭でなかったことが挙げられる。従って、後頭部優位分布、潜時と持続時間の後頭部への短縮傾向および振幅の後頭部への増大は示さず、一定傾向がみられなかった。松岡ら¹¹⁾は 2 つ、Ritter ら³⁾は 3 つの陰性電位を認めており、今回出現した陰性電位はそれらのいずれかに該当するものであった。第 1 成分は視覚領野、第 2 成分と第 3 成分は

表 4 NA 成分の平均持続時間 (単位: msec)

	P 1—P 3	P 2—P 3
課題 1	305~340	245~280
課題 2	320~335	235~265

(最小~最大)

視覚領野に加えて頭頂連合野および側頭連合野の関与が推定されている⁹⁾。最大陰性電位N 2はN 3と重畳するために、N 3より振幅が低く出現することもある。NA成分の出現率は両課題ともN 1とN 4を除く各電位は中心部から後頭部に高率に出現しているが、課題2の方が相対的に低い。N 1は低振幅の電位のため確認ににくいことが考えられる。N 4は最も出現率が低く、図形弁別課題で弁別条件が難度になるにつれてN 4の出現が少なくなってきた状態と類似している。N 4は同じ標的弁別で出現する内因性陰性電位で、NAに反映される刺激同定、符号化過程に引き続く過程で、刺激の分類に関連するN 2cに反映する電位が推測される。この電位は刺激の処理内容により分布が変化し、刺激様式は不明といわれているため、出現しにくい電位と考える。NA成分は刺激の弁別が難しいほど潜時は延長、処理量が多いほど振幅は増大、処理容量が増すほど持続時間は延長することが報告されている。両課題における各電位の潜時、振幅は、相対的には課題2の方が潜時と振幅がわずかに延長、増大していたが有意差はなかった。また、持続時間にも差がなかった。課題1は濁音文字を視覚的に捉えることのみを記憶しておけばよいが、課題2では母音ア、イ、ウ、エ、オの5文字を記憶した上で、視覚的に検索するため、N 2以降の後期成分の変動を予想したが前記の結果となり刺激処理能力に変化がないことがわかった。つまり、刺激評価・記憶との照合には刺激処理量や処理内容で様々な付加的な電位が混入しているために電位変動が生じるが、今回は簡単な課題であったため情報が並列処理していると考えられることから、課題条件には全く影響されていないことが示唆された。

結 語

2つの音韻課題を用いて、NAの下位成分を検討した。NAの下位成分は主として3つの陰性電位が認められた。これらは両課題において電位変動にあまり差はなく、今回の処理内容の難易度には関係がないものとする。今後、課題条件を更に複雑化して検討していく必要がある。また、課題2は母音文字の音韻を意識した条件であるが、DRTのRTが課題1より76msec延長しているのは母音5文字を記憶した上での記憶探索に要する時間に関連するものと考えられることから、後期成分の記憶探索過程を検討することができる。

謝 辞

本研究にご協力頂いた川崎医科大学附属病院 中央検査部 脳・神経機能検査室の臨床検査技師の皆様および論文作成にご協力頂いた同検査室の岡本年生主任技師に深謝致します。

文 献

- 1) Ritter W, Simson R, Vaughan Jr H G and Macht M : Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stage, *Science* 218 : 909—911, 1982.
- 2) Ritter W, Simson R and Vaughan Jr H G : Event-related potential correlates of two stage of information processing in physical and semantic discrimination tasks, *Psychophysiology* 20 : 168—179, 1983.
- 3) Ritter W, Simson R and Vaughan Jr H G : Effect of the amount of stimulus information processed on negative event-related potentials, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 69 : 244—258, 1988.
- 4) Novick B, Lovrich D and Vaughan Jr H G : Event-related potentials associated with the discrimination of acoustic and semantic aspects of speech, *Neuropsychologia* 23 : 87—101, 1985.
- 5) Lovrich D, Novick Band Vaughan Jr H G : Topographic analysis of auditory event-related potentials associated with acoustic and semantic processing, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 71 : 40—54, 1988.
- 6) 福永浩子, 江崎美和, 佐藤公美 : 図形弁別課題を用いたパターン認知関連電位 NA の検討 第1報, *医学検査* 46 : 1219—1224, 1997.
- 7) 福永浩子, 江崎美和, 三原江里 : 図形弁別課題を用いたパターン認知関連電位 NA の検討 第2報, *医学検査* 47 : 110—114, 1998.
- 8) 福永浩子, 三原江里, 江崎美和 : 図形弁別課題を用いたパターン認知関連電位 NA の検討 第3報, *医学検査* 47 : 1221—1225, 1998.
- 9) 丹羽真一, 鶴 紀子 : 事象関連電位 事象関連電位と神経情報科学の発展, 東京 : 新興医学出版社, pp. 51—64, 1997.
- 10) 佐藤光源, 松岡洋夫, 松江克彦, 布施裕二, 上埜高志, 齋藤秀光 : 事象関連電位を用いた精神分裂病の生物学的異種性の研究(3)精神分裂病の病型と視覚情報処理の関係について, 厚生省精神・神経疾患研究委託費 精神分裂病の生物学的病因および発症に関する研究, 平成元年度研究報告書 : 57—64, 1990.
- 11) 松岡洋夫, 佐藤光源 : 図形および文字の情報処理に関する事象関連電位 — 内因性陰性電位を中心に —, *臨床脳波* 32 : 166—170, 1990.