

7章 課題遂行のための方略の違いが中枢内情報処理過程に及ぼす影響（研究課題 4）

1. 目的

研究課題 3 では統合過程に着目し、P300 を指標に用いて随意運動に伴う中枢内情報処理過程について研究を行った。その結果、N140 は動作遂行との関連性が示唆され、P300 は少なくとも 2 つ以上の成分からなる複合電位である可能性が示唆された。しかし、研究課題 3 から得られた基礎的データだけでは、ヒトの随意運動に伴う情報処理過程について説明が不十分であり、より現実的・実践的な場面での評価が必要である。

そこで研究課題 4 では、よりスポーツ・運動場面に応用できる実験条件を設定するため、同じ様な動作であっても、正確性を重視するときとそれよりもむしろスピード性を重視するときの 2 種類の課題条件（speed vs. accuracy task）を設定し、それらを方略と仮定した。そして、課題遂行のための方略の違いが随意運動に伴う中枢内情報処理過程に及ぼす影響について検討した。

2. 方法

(1)被検者

被検者は健康な学生 11 名（全員右利き）であり、実験主旨を説明した上で参加の同意を得た。被検者は左手第Ⅱ指と第Ⅴ指にリング電極を装着し、右肘関節と手首を固定した状態で 25℃に空調されたシールドルーム内の安楽椅子に腰掛け安静を保持した（図 14）。

(2)課題

被検者は、S2 選択による S1-S2 パラダイム（S2 choice S1-S2 paradigm）を遂行した。S1 はヘッドフォンによるクリック音、S2 はリング電極による体性感覚電気刺激を用いた。被検者の左手第Ⅱ指と第Ⅴ指に 2：8 の割合でランダムに電気刺激を与え、第Ⅱ指刺激を標的（target）刺激として右肘伸展動作を行い、第Ⅴ指刺激を非標的（non-target）刺激として刺激を無視し、反応し

S2 choice S1-S2 paradigm

予告刺激 (S1) : ヘッドフォンからのクリック音
 反応刺激 (S2) : 第Ⅱ指刺激と第Ⅴ指刺激の2種類

S1 → S2
 第Ⅱ指刺激 → 右肘伸展動作を行う
 第Ⅴ指刺激 → 無視して反応しない

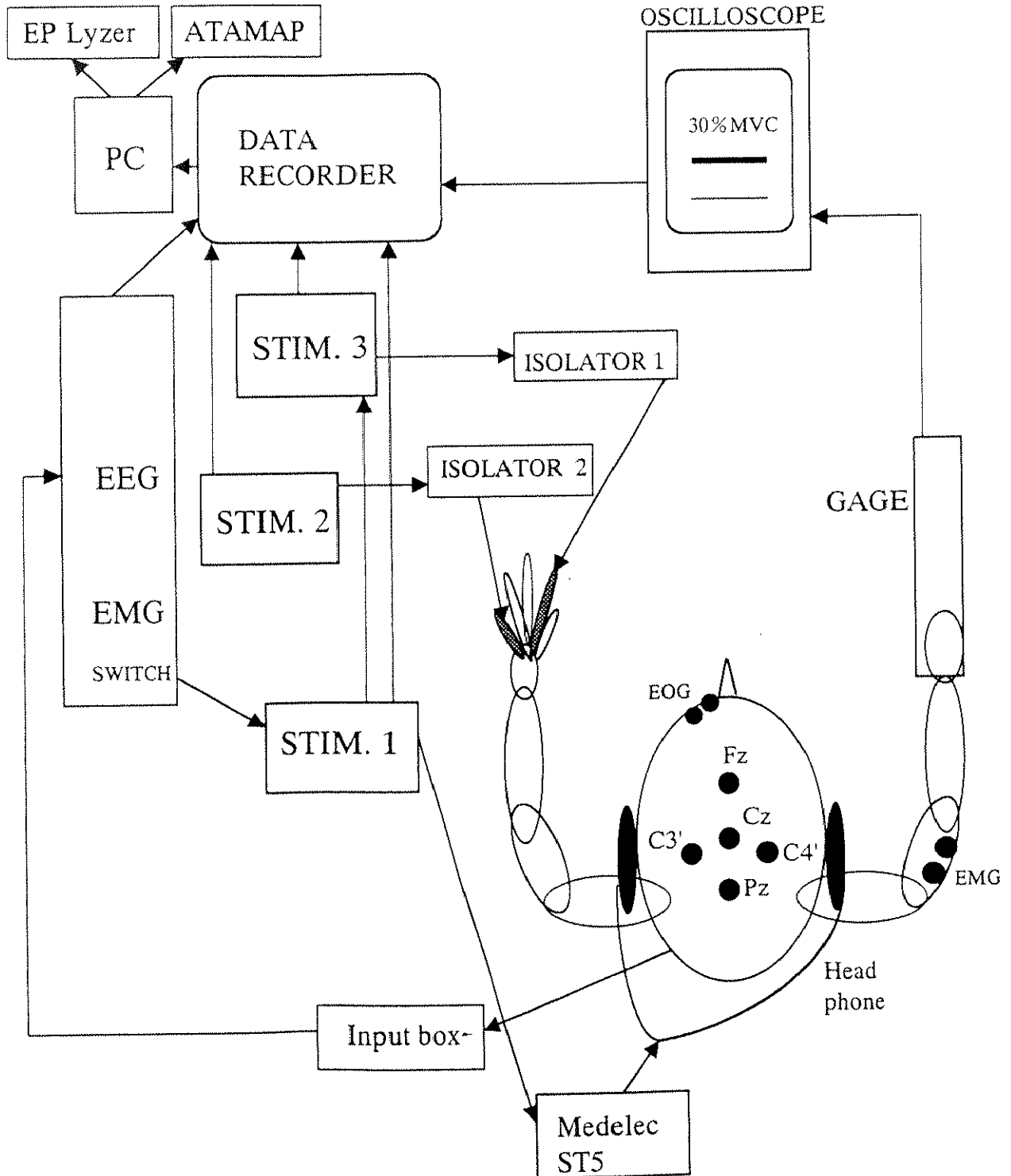


図14 実験のブロックダイアグラム

ないよう指示した。被検者は2種類の課題条件 (accuracy task, speed task) を行い、正確性を重視する accuracy task では、第Ⅱ指刺激に対して金属板を押し、眼前 1.5m にある oscilloscope 画面上に呈示された 30%MVC ラインに正確に合わせるマッチングタスクを行い、スピード性を重視する speed task では、第Ⅱ指刺激に対してできるだけ速く反応動作を行った。S1-S2 の刺激間間隔 (ISI) は 2s, 試行間間隔 (ITI) は 5~10s のランダムとした。刺激持続時間は 0.2ms, 強度は痛みを伴わない感覚閾値の3倍程度とした。

(3)脳波と誘発電位記録

脳波 (EEG) の記録は、国際 10-20 法に基づき Fz, Cz, Pz, C3' (C3 の 2cm 後方), C4' (C4 の 2cm 後方) より基準電極を両耳朶連結で単極導出し、同時に眼電図 (EOG) を記録した。増幅器の周波数応答は 0.05~100Hz に設定し、脳波の sampling rate を 200Hz 以上で A/D 変換し、脳波と EOG の振幅が 100 μ V を超えるものを off-line 分析で除外し、標的刺激と非標的刺激に対する波形をそれぞれ 20 回加算平均した。筋電図 (EMG) は、動作肢と同側の右上腕三頭筋表面より時定数 0.03s, 周波数応答は 0.53~1.5kHz で記録した。

図 15, 16 に 11 名分の総加算平均した ERPs 波形を示す。波形の潜時と極性から P100 (S2 後 80~120ms に生じる陽性電位), N140 (S2 後 130~150ms に生じる陰性電位), P300 (S2 後 260~500ms に生じる最大陽性電位) を同定し、各成分の振幅は S2 前 100ms の平均電位を基線として計測した。本研究ではすべての被検者、すべての条件で P100, N140, P300 を確認できた。

3. 統計処理

各 ERP 成分の振幅と潜時について課題条件 (T: accuracy task, speed task) \times 刺激 (S: 標的刺激; target, 非標的刺激; non-target) \times 導出部位 (L: Fz, Cz, Pz, C3', C4') の 3 要因による繰り返し測度の分散分析を行った。各要因で主効果が得られたときは対比による分析を行い、交互作用が認められたときは下位検定を行った。分散分析を実施する際には Greenhouse & Geisser 法 (G-G) による自由度の修正を行い、有意水準は 5% 以下とした。

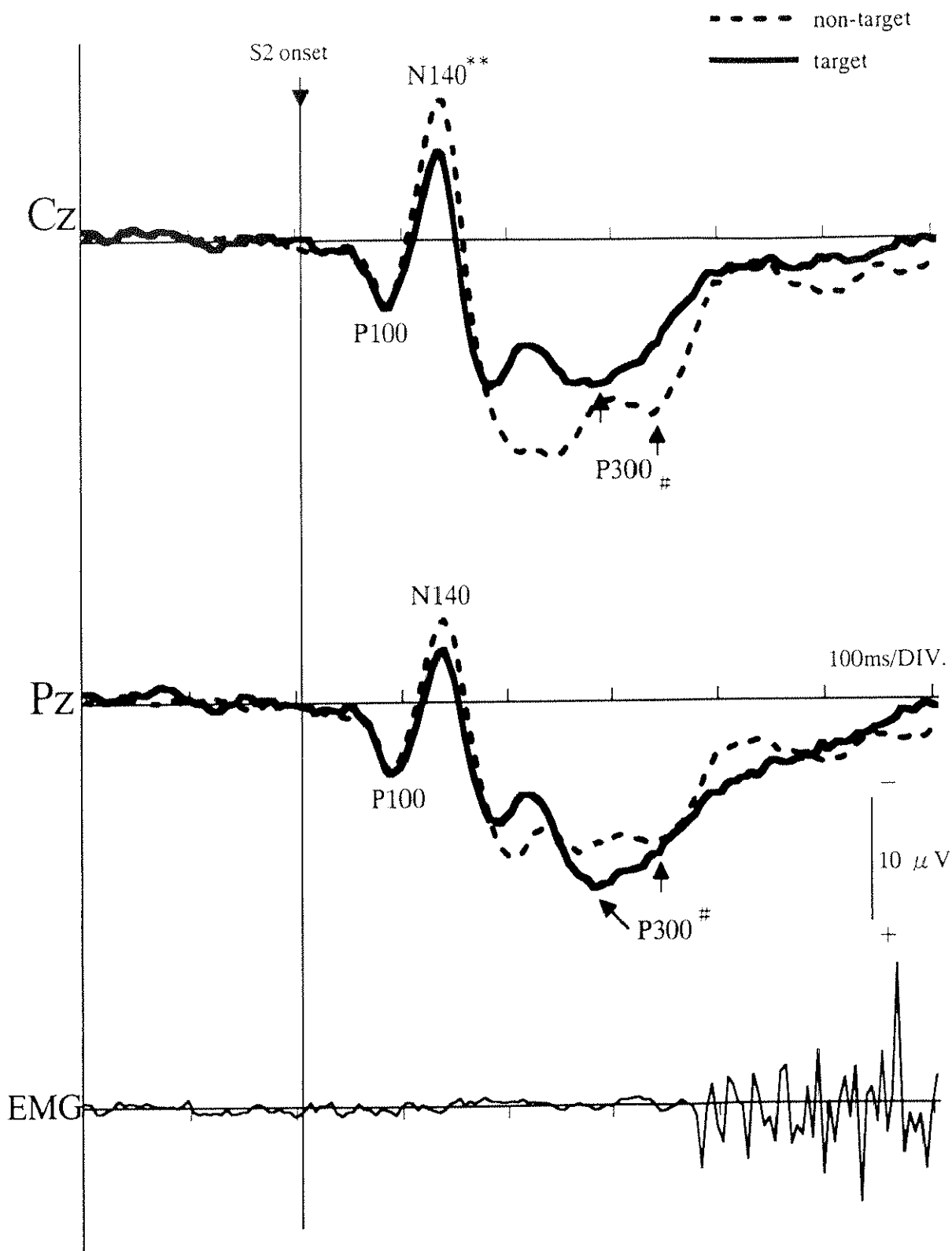


図15 accuracy taskにおける事象関連電位の総加算平均波形

非標的刺激 (non-target) のN140振幅が標的刺激 (target) のそれよりも有意に大きい値を示した. ** $p < 0.01$

非標的刺激 (non-target) のP300潜時が標的刺激 (target) のそれよりも有意な延長を示した. # $p < 0.05$

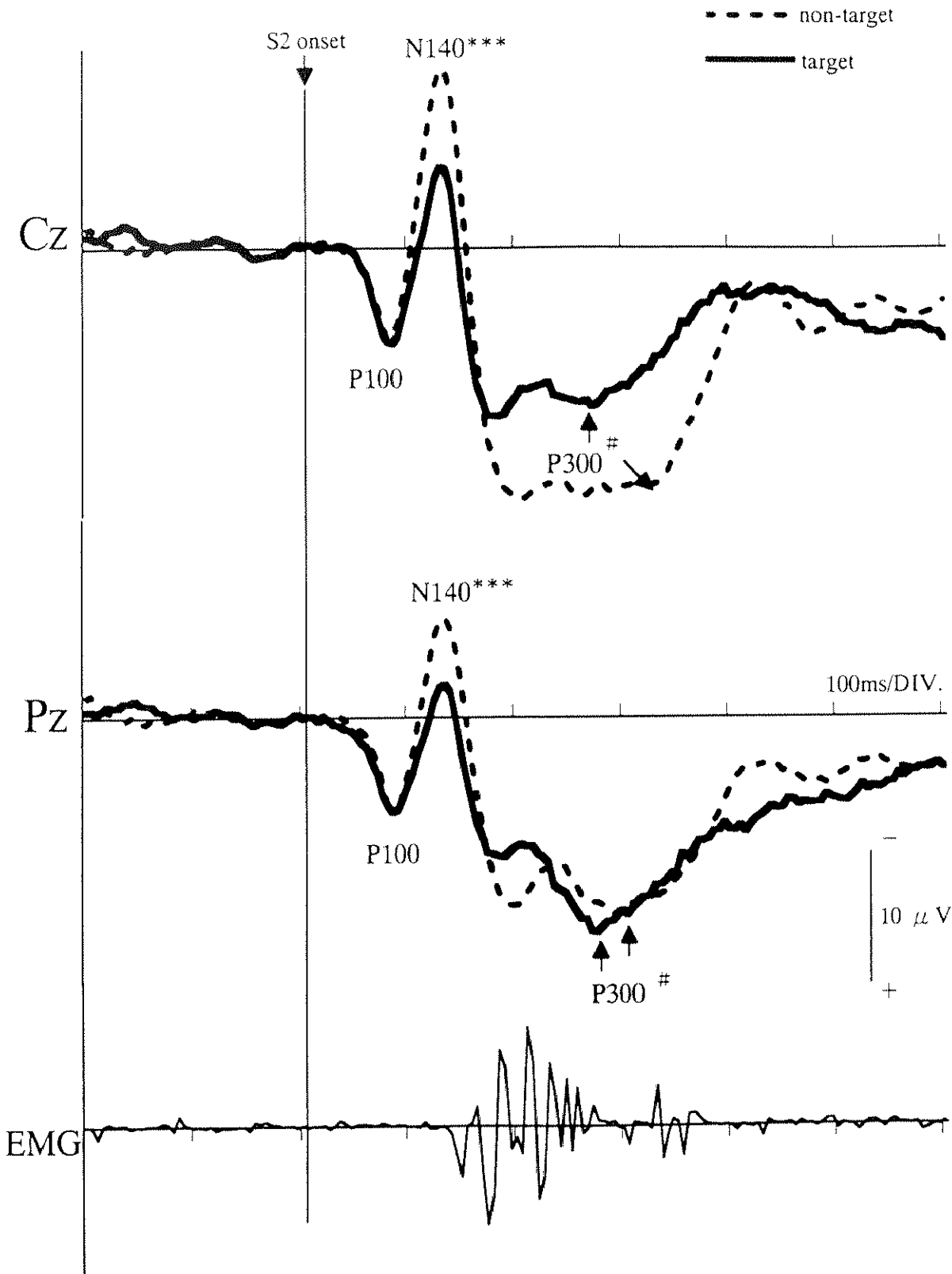


図16 speed taskにおける事象関連電位の総加算平均波形

非標的刺激 (non-target) のN140振幅とP300振幅が標的刺激 (target) のそれよりも有意に大きい値を示した. *** $p < 0.001$

non-target P300潜時がtarget P300のそれよりも有意に延長する結果を示した.

$p < 0.05$

4. 結果

筋電図反応時間 (EMG-RT)

EMG-RT について、accuracy task と speed task の課題間の比較を対応のある t-test で行った。speed task における EMG-RT が accuracy task のそれよりも有意な短縮を示した ($p < 0.001$, 表 10)。

P100 成分

(1)P100 潜時

P100 潜時に関して、繰り返し測度の分散分析を行った結果、刺激の要因で主効果が得られたので ($F=6.026$, $p < 0.05$, 表 11), 対比による検定を行った。target P100 潜時が non-target P100 のそれよりも有意な延長を示した ($p < 0.05$, 表 11)。また、課題条件と導出部位の要因において差は得られなかった。

(2)P100 振幅

P100 振幅に関して、繰り返し測度の分散分析を行った結果、課題条件 ($F=5.121$, $p < 0.05$, 表 11) と導出部位 ($F=9.529$, $p < 0.001$, 表 11) の要因で主効果が得られたので対比による検定を行った。課題の要因では、speed task における P100 振幅が accuracy task のそれよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.05$, 表 11)。導出部位の要因では、中心領野の Cz から頭頂部の Pz にかけて最大振幅を示し、他の部位よりも有意に大きい値を示した。

N140 成分

(1)N140 潜時

N140 潜時に関して、繰り返し測度の分散分析を行った結果、課題条件、刺激、導出部位のすべての要因において差は得られなかった。

(2)N140 振幅

N140 振幅について、繰り返し測度の分散分析を行った結果、刺激 ($F=53.092$, $p < 0.001$, 表 11) と導出部位 ($F=18.904$, $p < 0.001$, 表 11) の要因で主効果が得られたので対比による検定を行った。刺激の要因では、non-target N140

表10 筋電図反応時間 (EMG-RT) の課題間の比較

	task		t
	speed	accuracy	
EMG-RT (ms)	235.36±48.9	389.82±101.1	-17.942 ***

speed task における EMG-RT が accuracy task のそれよりも有意な短縮を示した。t はpaired t-test で得られたt 値を示す。***p<0.001

表11 各ERPs成分の繰り返し測度の分散分析表

component		df	F	P	G-G
P100					
<i>Amplitudes</i>	T	1	5.121	0.0471	0.0471 *
	S	1	0.230	0.9884	0.9884
	L	4	9.529	0.0001	0.0002 ***
	T×S	1	0.050	0.9472	0.9472
	T×L	4	1.648	0.1811	0.2000
	S×L	4	3.241	0.0215	0.0292 *
	T×S×L	4	0.049	0.9953	0.9886
<i>Latencies</i>	T	1	0.092	0.7678	0.7678
	S	1	6.026	0.0340	0.0340 *
	T×S	1	0.589	0.4606	0.4606
N140					
<i>Amplitudes</i>	T	1	2.144	0.1739	0.1739
	S	1	53.092	0.0001	0.0001 ***
	L	4	18.904	0.0001	0.0001 ***
	T×S	1	5.343	0.4340	0.4340
	T×L	4	3.132	0.0248	0.0495 *
	S×L	4	4.481	0.0044	0.0204 *
	T×S×L	4	0.190	0.9420	0.9181
<i>Latencies</i>	T	1	0.965	0.3490	0.3490
	S	1	1.992	0.1885	0.1885
	T×S	1	0.500	0.4955	0.4955
P300					
<i>Amplitudes</i>	T	1	8.791	0.0142	0.0142 *
	S	1	0.016	0.9032	0.9032
	L	4	26.191	0.0001	0.0001 ***
	T×S	1	0.373	0.5550	0.5550
	T×L	4	0.757	0.5593	0.4421
	S×L	4	10.194	0.0001	0.0009 ***
	T×S×L	4	1.727	0.1631	0.1927
<i>Latencies</i>	T	1	0.089	0.7715	0.7715
	S	1	5.515	0.0407	0.0407 *
	T×S	1	0.738	0.4105	0.4105

Tは課題 (accuracy, speed task), Sは刺激 (targets, non-targets), Lは導出部位 (Fz, Cz, Pz, C3', C4') を示す. dfは自由度, FはF値, G-GはGreenhouse & Geisser epsilon を示す. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

振幅が target N140 のそれよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.001$, 表 11). 導出部位の要因では, 前頭部の Fz から中心領野の Cz にかけて最大振幅を示し, 他の部位よりも有意に大きい値を示した. また, 課題×刺激 ($F=5.343$, $p < 0.05$, 表 11), 課題×導出部位 ($F=3.132$, $p < 0.05$, 表 11), 刺激×導出部位 ($F=4.481$, $p < 0.05$, 表 11) の両要因間で交互作用が認められたので下位検定を行った結果, speed task と accuracy task のいずれの課題においても non-target N140 振幅が target N140 のそれよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.001$, 図 17).

P300 成分

(1)P300 潜時

P300 潜時に関して, 繰り返し測度の分散分析を行った. 刺激 ($F=5.280$, $p < 0.05$, 表 11) の要因でのみ主効果が得られたので対比による検定を行ったところ, non-target P300 潜時が target P300 のそれよりも有意に延長する結果が得られた ($p < 0.05$, 図 18).

(2)P300 振幅

P300 振幅に関して, 繰り返し測度の分散分析を行った結果, 課題条件 ($F=15.262$, $p < 0.05$, 表 11) と導出部位 ($F=20.025$, $p < 0.001$, 表 11) の要因に主効果が得られたので対比による検定を行った. 課題の要因では, speed task における P300 振幅が accuracy task のそれよりも有意な増大を示した ($p < 0.05$, 表 11). また, 導出部位の要因では中心部の Cz, 頭頂部の Pz から動作肢と同側の C4' にかけて最大振幅を示した. さらに, 刺激×導出部位 ($F=11.362$, $p < 0.001$, 表 11) の両要因間で交互作用が認められたので下位検定を行った結果, 中心領野の Cz において, non-target P300 振幅が target P300 のそれよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.001$, 表 19) のに対して, 頭頂部の Pz では target P300 振幅が non-target P300 のそれよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.05$, 図 19).

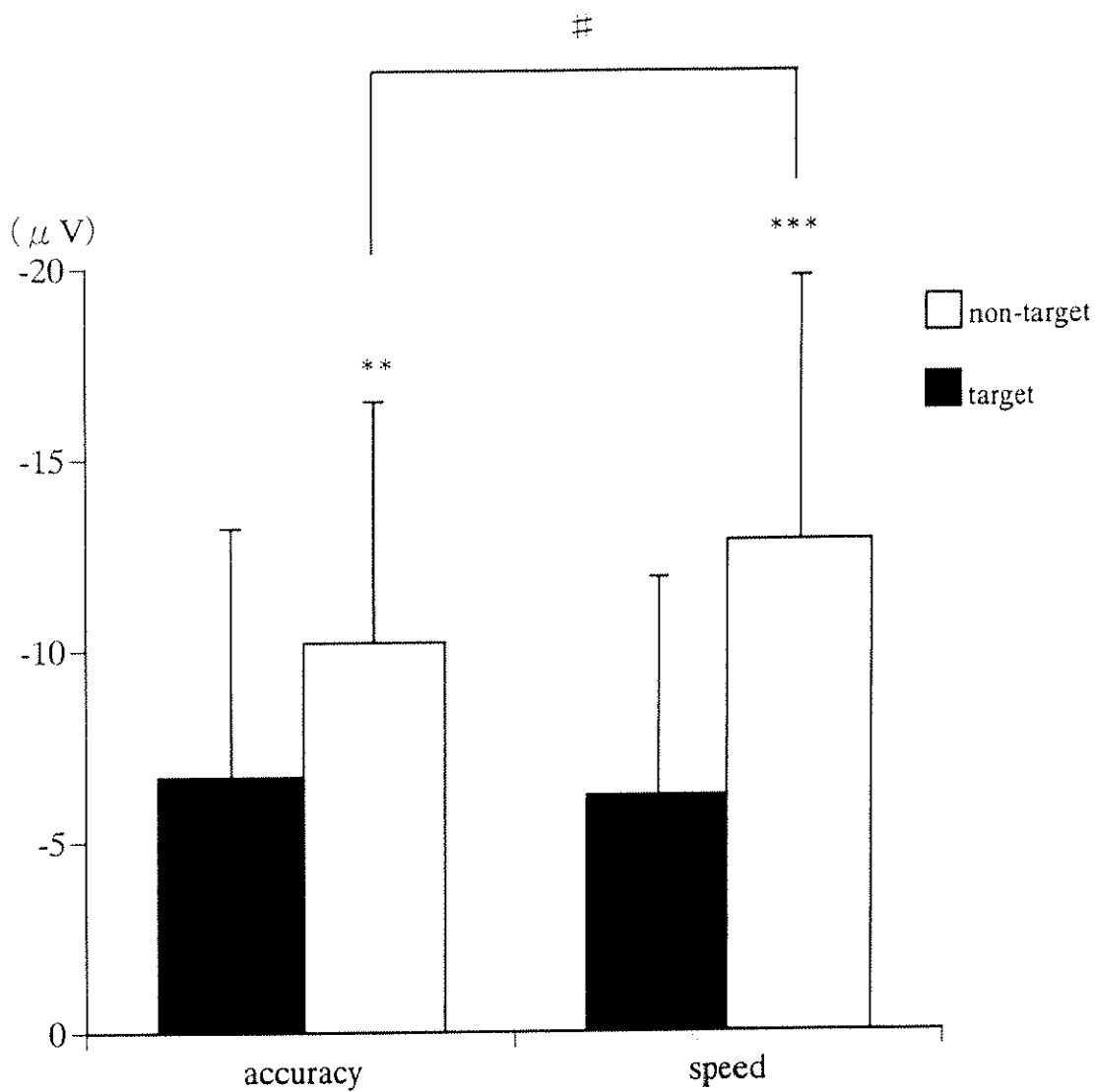


図17 各課題におけるN140振幅の刺激間（target vs. non-target）の比較

accuracy, speed taskともに非標的刺激（non-target）が有意に大きい値を示し、その傾向はspeed taskにおいてより顕著であった。 ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, # $p < 0.05$

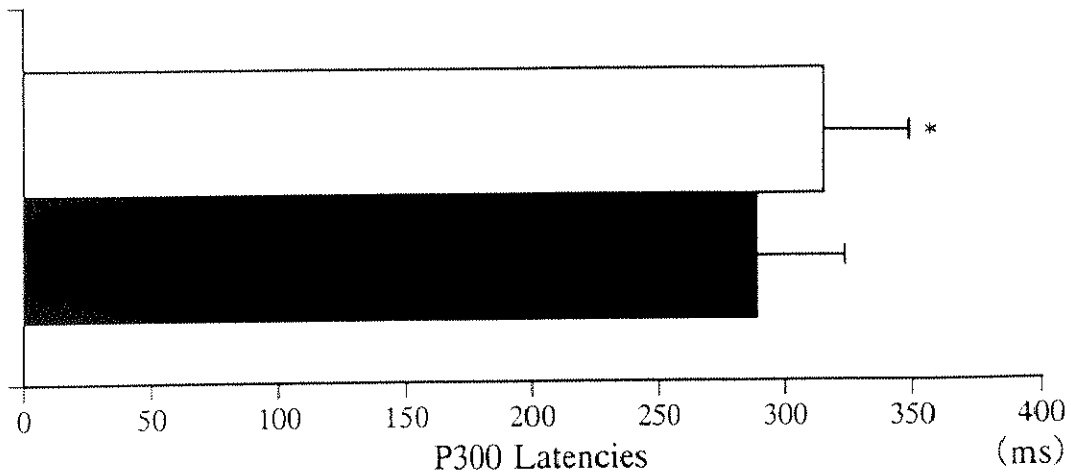


図18 P300潜時の刺激間 (target vs. non-target) の比較

非標的刺激 (non-target) のP300潜時が有意に延長する結果を示した.

* $p < 0.05$

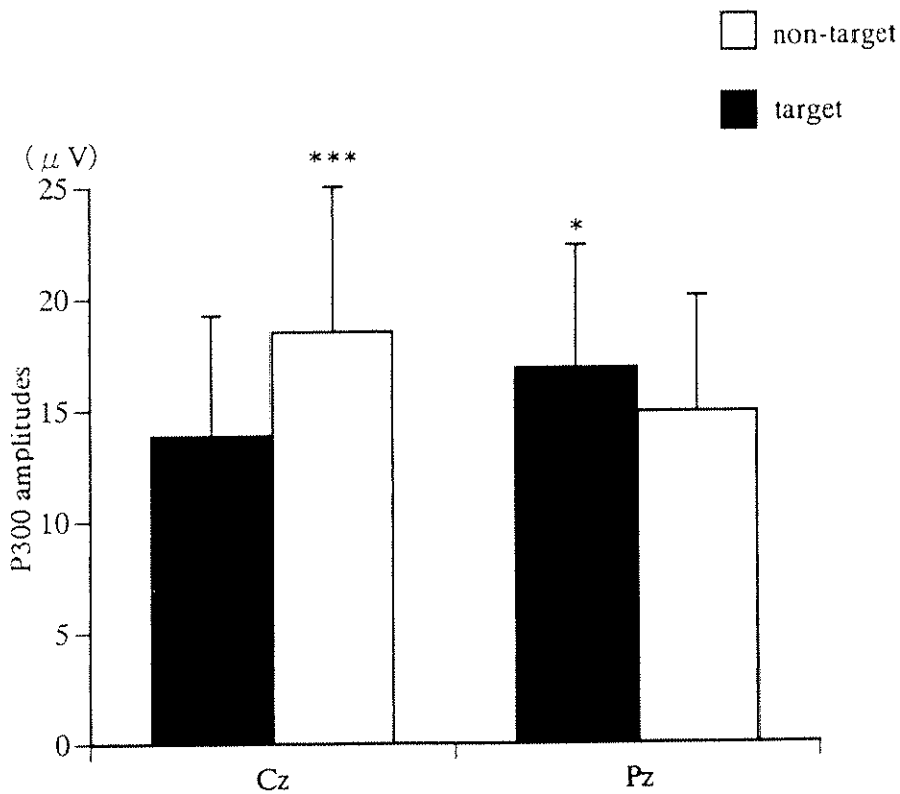


図19 P300振幅の刺激間 (target vs. non-target) の比較

中心領野 (Cz) においては非標的刺激 (non-target) の振幅が有意に大きい値を示したが、頭頂部 (Pz) においては標刺激 (target) の振幅が有意に大きい値を示した. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

5. 考察

本研究では、課題遂行のための方略の違いが随意運動に伴う中枢内情報処理過程に及ぼす影響について P300 を指標に用いて検討した。

本研究における P100 は、中心領野の Cz から頭頂部の Pz にかけて最大振幅を示し、頭皮上に広く分布するという結果が得られた。また、speed task における P100 振幅は、accuracy task のそれよりも有意に大きい値を示したため、speed task においては、accuracy task よりも中枢の活動状態が活性化していた可能性が考えられる。P100 は聴覚刺激によって出現する N100 に相当すると考えられており (Desmedt et al, 1983)、P100 の注意による増大効果が生じる可能性が考えられる。しかし、本研究における P100 振幅は、標的刺激と非標的刺激の刺激間で差が得られなかったことから、非標的刺激に対しても同じように注意が向けられていた可能性が考えられる。

N140 は注意に関連する電位と考えられており (Desmedt and Robertson, 1977; Garcia-Larrea et al., 1995)、その頭皮上分布は、刺激対側の前頭部から正中線を越えて両側前頭部に広がる。本研究においても、N140 は前頭部から中心部にかけて最大振幅を示し、non-target N140 振幅が target N140 のそれよりも有意に大きい値を示した。特に、speed task における増大が顕著であったことから、speed task では非標的刺激に対してより積極的に反応抑制が行われた可能性が考えられる。さらに、標的刺激の波形から非標的刺激の波形を引き算 (subtraction) した結果、N140 に相当する陰性成分が認められた。Gemba と Sasaki (1989) は、ヒトを対象として、NoGo 刺激の際、Go 刺激時には見られない上向きの陰性電位が約 200ms の潜時で出現し、多くの被検者のデータを総合すると約 130~200ms であり、中心頭部において著明であったと報告している。また、脳磁場計 (MEG) を用いた研究 (佐々木ら, 1992) においても、NoGo 刺激に対して出現する NoGo 電位の推定電流源が、刺激後約 140ms の潜時で最も顕著であったと報告されている。本研究の結果と先行研究から、本研究における non-target N140 には、反応を積極的に抑制するときに出現する NoGo 電位成分が重畳している可能性が示唆された。

P300 は情報処理過程、特に刺激の認知過程を反映する内因性の精神生理的指標と考えられている。本研究において、speed task における P300 振幅は、

accuracy task のそれよりも有意な増大を示し、平松ら (1986) を支持する結果が得られた。平松ら (1986) は、課題条件による effort の違いや順序効果の影響が P300 に影響を及ぼす可能性を示唆している。本研究では、被検者ごとに課題の試行順序を替えて行ったため、順序効果の影響は除去できると考える。したがって、speed task における P300 振幅の増大は、被検者の注意の向け方や課題遂行に対する effort の違いによる影響が考えられる。

また、P300 潜時は課題間で差が得られなかったが、EMG-RT は課題間で差が得られ、speed task における EMG-RT が accuracy task のそれよりも有意な短縮を示した。P300 は運動を伴わない課題においても出現し (Picton, 1992)、P300 潜時が課題条件の違いによる影響を受けないため、P300 は反応動作の出現機構に対して直列的に関連しておらず、刺激の認知情報処理過程をより強く反映する成分である可能性が示唆された。

さらに、S-R 適合性を操作した先行研究においても、刺激の識別の困難さや刺激と反応の不適合性の両方の影響を受けて変動するのは反応時間 (RT) であり、P300 潜時には有意な変動が見られないとする報告 (McCarthy and Donchin, 1981; Magliero et al., 1984) からも、P300 は刺激処理系に依存し、反応処理系とは直列的な関係にない可能性が考えられる。また、本研究において、non-target P300 は中心領野の Cz において最大振幅を示し、その潜時が target P300 のそれよりも有意な延長を示した。反応を積極的に抑制することによって出現する NoGo P300 潜時は、Go P300 潜時よりも延長すること (Simson et al., 1977) が報告されている。非標的刺激に対して頭皮上の前方に出現する anterior P300 は運動・反応処理系、とりわけ抑制過程に関連していると考えられている (齊藤と豊嶋, 1997)。一方、高頻度非標的刺激に対して出現する P300 は振幅も小さく、その頭皮上分布は頭頂部よりも前方にシフトし、その潜時は標的刺激のそれよりも短縮することが報告されている (Starr et al., 1995)。本研究において、標的刺激の波形から非標的刺激の波形を引き算 (subtraction) した差分波形から P300 に相当する陽性成分が認められ、speed task における中心部から前頭部にかけてより顕著であった。つまり、スピード性を重視した課題では、non-target P300 は NoGo P300 と同様の特徴を示す可能性が考えられる。

以上より、被検者の課題遂行のための方略の違いや刺激に対する注意の向け方、努力（effort）の違いが RT を指標とする反応実行過程だけでなく、中枢内情報処理過程にも影響を及ぼす可能性が示唆された。

6. 要約

本研究では、課題遂行のための方略の違いが事象関連電位 P300 に及ぼす影響について検討した。得られた結果は次の通りである。

(1) speed task における EMG-RT が accuracy task のそれよりも有意な短縮を示した。

(2) non-target N140 振幅が、target N140 のそれよりも有意に大きい値を示し、speed task において顕著であった。

(3) speed task における P300 振幅が accuracy task のそれよりも有意に大きい値を示したが、潜時には差が得られなかった。

以上より、反応実行過程を反映すると考えられている EMG-RT は speed task で顕著に短縮したが、P300 潜時に差がみられないことから、P300 は反応実行過程とは直列的な関係になく、より刺激の認知情報処理過程を反映することが示唆された。さらに、P300 は少なくとも 2 つ以上の成分から成り、課題遂行のための方略の違いによる影響を受けて変動する可能性が考えられる。つまり、課題遂行のための方略の違いによって、反応実行過程だけでなく中枢内情報処理過程も変動する可能性が示唆された。

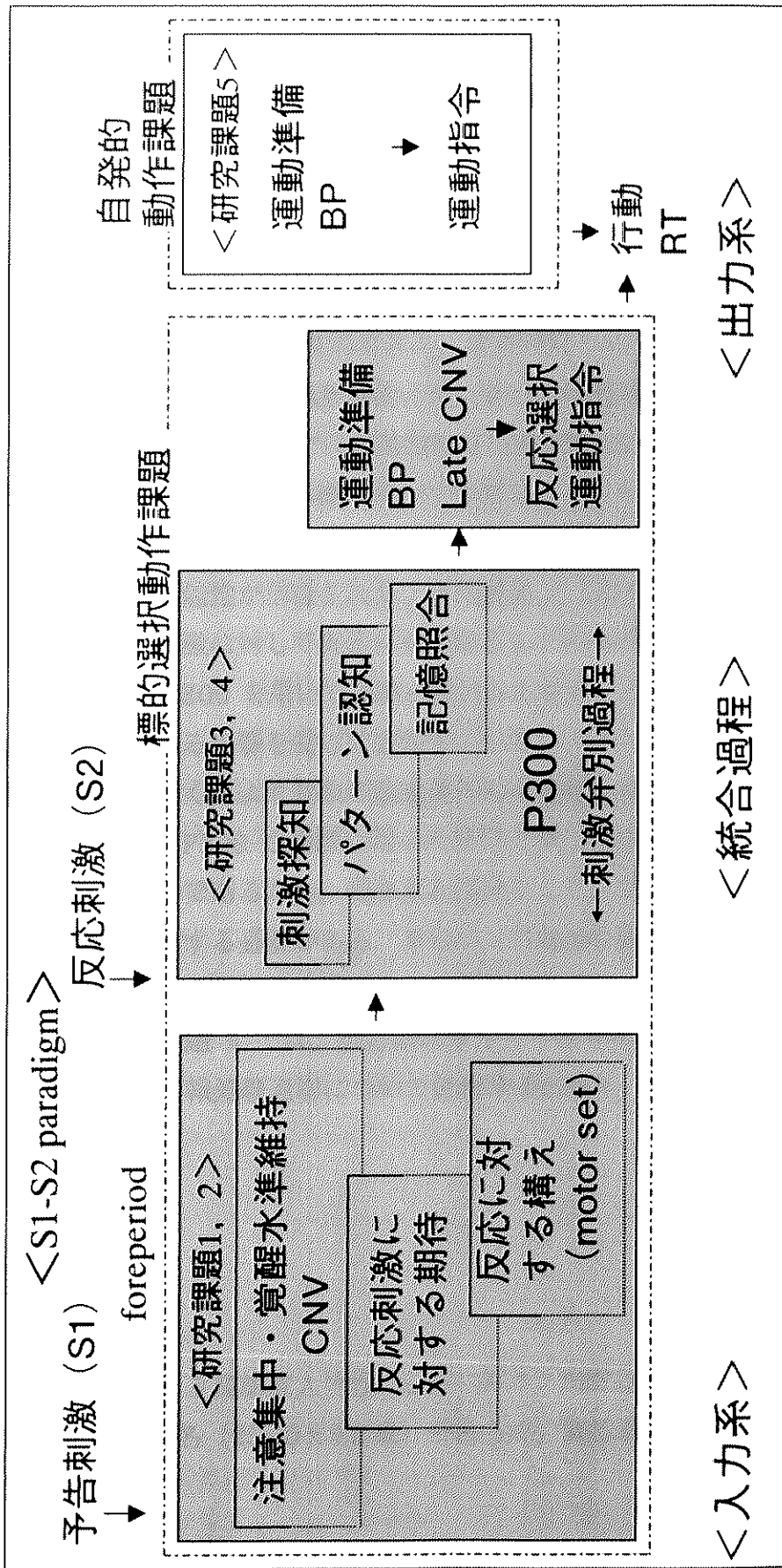


図20 本研究における研究課題のフローチャート

研究課題3と4の結果からP300は反応実行過程とは直列的な関係にないことが示されたことから、出力系に関する情報処理過程についてさらに検討する必要がある。研究課題5では出力系に着目し、運動関連連脳電位を指標に用いて自発的な随意運動に伴う中枢内情報処理過程について検討する。