

情報処理段階におけるエラー関連陰性電位の所在

田中秀明
武田裕司

独立行政法人産業技術総合研究所
人間福祉医工学研究部門

エラー関連陰性電位(ERN)は課題遂行中のエラーの検出によって惹起される陰性の事象関連電位である。本研究では、ERN がどの情報処理段階を反映するのかを検討した。フランク-課題を用いて、標的刺激と妨害刺激が同一文字の条件(same 条件)、異なる文字で反応は適合している条件(RC 条件)、異なる文字で反応が適合していない条件(RI 条件)におけるERN を比較した。その結果、RC 条件における ERN 振幅の増大が認められた。これらの結果は、ERN が従来考えられてきた反応出力段階のモニタリングや反応選択段階の反応競合ではなく、反応と刺激のマッチングに関連していることを示唆している。

Keywords: error-related negativity(ERN), information processing, flanker task.

問題・目的

エラー関連陰性電位 (error-related negativity : ERN) は課題遂行中の誤反応時に前頭中心部優勢に惹起される陰性の事象関連脳電位 (event-related potential : ERP) である。ERNがどのような認知処理機能を反映しているかについて、二つの説がある。一つは運動遂行と同時に脳へフィードバックされる末梢の効果器(筋肉)の感覚入力と脳に保持されている正答反応の運動表象とのマッチングによって惹起されるとするエラー検出説(Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993; Scheffers, Coles, Bernstein, Gehring, & Donchin, 1996)であり、もう一つは反応選択段階の競合によって惹起されるという反応競合説 (Carter, Braver, Barch, Botvinick, Noll, & Cohen, 1998) である。しかし、Eriksen & Eriksen (1974)の課題を使用したScheffers & Coles (2000)の研究では刺激の一致性がERN 振幅に影響を与えることを示しており、刺激評価段階がERNの惹起に関与している可能性も否定できない。そこで、本研究は標的文字とノイズ文字が同一の反応選択肢を示す条件を付加し、ERNの生起因について検討した。

方法

被験者 右利きの大学生または大学院生18名を被験者とした。

刺激および課題 本研究ではフランク-課題を被験者に課した。H, P, S, またはEで構成される5文字の文字列がモニター上に呈示され、被験者は中央文字(標的文字)に対してできるだけ速く反応することが求められた。本実験では、標的と周辺に呈示されるフランク-の組み合わせによって、すべて同じ文字が呈示されるsame条件、文字は異なるが標的とフランク-の両方が同じ反応側を示しているresponse compatible (RC) 条件、標的とフランク-が異なる反応側を示しているresponse incompatible (RI) 条件の3条件が設定された。例えば、HとPが右手、SとEが左手に割り当てられた被験者の場合、same条件ではHHHHHなどが、RC条件ではPPHPPなどが、RI条件では

SSHSSなどが呈示された。各条件は等確率でランダムに呈示された。標的文字と反応手の割り当ては被験者間でカウンターバランスされた。

手続き 各試行の最初に注視点“+”が300ms間呈示され、500ms間のブランクの後、文字列が100ms間呈示された。被験者の反応から次試行までの間隔はランダムに変化した。1ブロック120試行を12ブロック、計1440試行を実施した。最初の3試行はダミー試行とし、解析から除外した。

記録および分析方法 EEGおよびEOGは、Fz, Cz, Pz, C3, C4から両耳垂結合を基準に低域遮断周波数0.016Hz、高域遮断周波数70Hzで測定した。EEGはボタン押し反応時点をトリガとして加算平均した。ERNの振幅の代表値として、反応開始前100msから反応までの区間をベースラインとして0-100ms範囲内の区間平均電位を算出した。

結果

Figure 1は各条件の正反応試行の平均反応時間を示している。これら3条件についての1要因の分散分析を行ったところ、主効果が認められた ($F(2,34) = 162.37, p < .00001$)。さらに、Turkey法による多重比較を行った結果、すべての条件間で有意差が認められた ($ps < .05$)。反応時間がsame条件で最も短く、RI条件において最も長くなるという結果は、過去の研究とも一致しており(Eriksen & Eriksen, 1974)、本実験の刺激において、RC条件とRI条件における刺激間の競合および、RI条件における反応間の競合が生じていたと推測される。

Figure 2は各条件の平均エラー率を示している。反応時間と同様の分散分析を行ったところ、主効果が認められた ($F(2,34) = 50.56, p < .00001$)。また、多重比較を行った結果、RI条件と他の2条件の間に有意差が認められた ($ps < .05$)。この結果は、反応間の競合がエラー増加の主要な要因であることを示している。

Figure 3は、Czにおける各条件のERN波形を示したものである。0-100msの区間平均電位について1要因の分散分析を行ったところ、主効果が認められた ($F(2,34) = 5.41, p < .05$)。また、多重比較を行った結果、

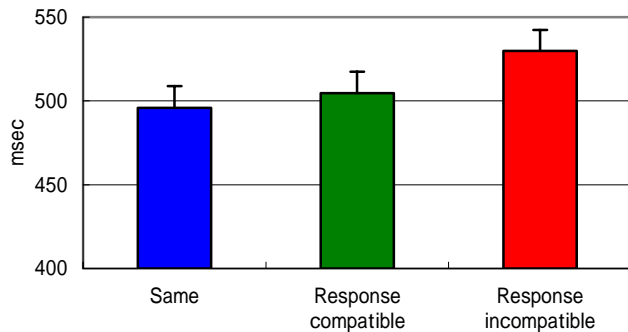


Figure 1. Mean reaction times of correct trials (msec).

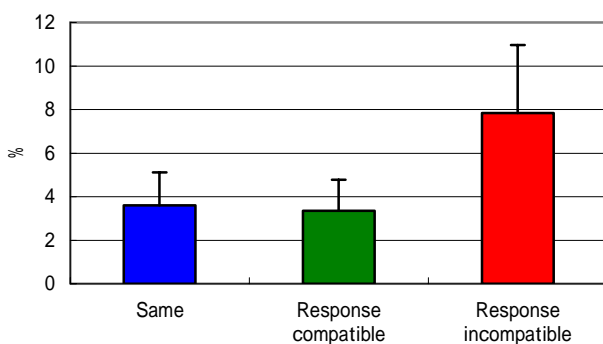


Figure 2. Mean error rates (%).

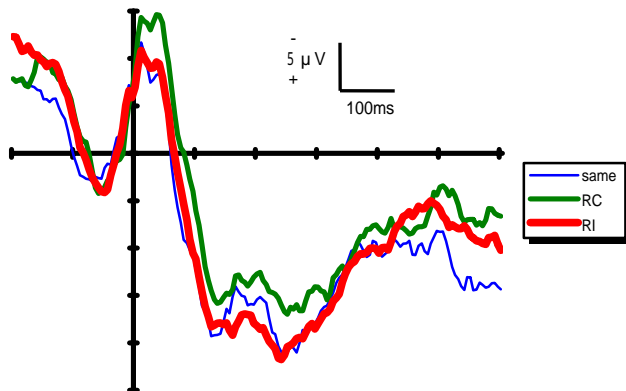


Figure 3. Grand-mean ERP waveforms (response synchronized) at Cz, for error trials in all conditions.

RC条件のERN振幅が他の2条件に比較して有意に増大していることが明らかになった。

考察

本研究では、RC条件におけるERN振幅の増大が認められた。標的とフランカーとの組み合わせ(文字列刺激の一致性)がERN振幅に影響を与えたことを示す。本研究の結果は、従来が考えられてきた運動遂行と同

時に脳へフィードバックされる末梢の効果器(筋肉)の感覚入力と脳に保持されている正答反応の運動表象とのマッチングがERNの生起因であるとするエラー検出説(Gehring, et al., 1993; Scheffers, Coles, et al., 1996)と合致しなかった。

また、RI条件の反応時間が他の2条件に比較して有意に遅延し、最もエラー率が高かったことから、RI条件において頑健な反応競合が生じていたと考えられる。それにも関わらず、ERN振幅はRC条件で最も増大した。もし反応競合説(Carter et al., 1998)が支持されるのであればRI条件で最もERN振幅が増大するはずであるが、本研究の結果は反応競合説にも合致しなかった。

本研究からERNの生起因を限定することは困難であるが、これまでに提唱されてきたエラー検出説ならびに反応競合説では説明できないことは明らかである。さらには、same条件とRI条件の間にERNの振幅の違いが認められなかったことから、単純な刺激間競合でも説明ができない。本実験の結果を整合的に説明するための仮説として、運動遂行と同時に脳へフィードバックされる末梢の効果器(筋肉)の感覚入力と記憶内に保持されている刺激とのマッチング過程が挙げられる。例えば、RC条件においてPPHPという刺激が呈示されていた場合、エラー反応側はHとPの2種類の情報と競合している。一方、same条件でHHHHHと呈示されている場合やRI条件でSSHSSと呈示されている場合にはHという情報に対してのみ実際に行った反応との競合が生じている。本研究の結果のみで結論することはできないが、このような反応のフィードバック信号と記憶内に保持されている刺激との競合がERNの生起因である可能性について、今後検討を重ねる必要があるだろう。

引用文献

- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. 1998 Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, **280**, 747-749.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W., 1974 Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, **16**, 143-149.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. 1993 A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, **4**, 385-390.
- Scheffers, M. K., & Coles, M. G. H. 2000 Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **26**, 141-151.
- Scheffers, M. K., Coles, M. G. H., Bernstein, P., Gehring, W. J., & Donchin, E. 1996 Event-related brain potentials and error-related processing: An analysis of incorrect responses to go and no-go stimuli. *Psychophysiology*, **33**, 42-53.