

タイミングコントロールの脳活動 Brain activities associated with timing control

1K09B126

指導教員 主査 正木 宏明 先生

田中 英里子

副査 内田 直 先生

【目的】

SPP(skilled-performance positivity)を実験で検証した報告数は他の事象関連電位研究に比較すると圧倒的に少ない。さらに SPP の機能的意義を再検討した研究の視点には、最近のパフォーマンスモニタリング機能の観点が反映されておらず、SPP 研究を推進させたとは言えない。そこで、スキルの動作を用いた簡単なタイミング課題を遂行し、タイミング動作を行っている時の脳活動の変化を測定することでタイミングスキルのパフォーマンスモニタリングを明らかにすることを目的とした。外的処理だけで内的処理の影響を SPP が反映しているか確認する為、視覚フィードバックが利用出来ない条件を設定した。従来の見解が正しければ、視覚手掛かりなしでも SPP は惹起するものと予測される。また、遅延フィードバック条件で SPP が発見されなければ、SPP 電位の増減はパフォーマンスモニタリングを反映するエラー関連陰性電位の重量によるものと予測される。実際に SPP の電位発生源を推定し、SPP と ERN の関係が解明出来れば、運動学習に新しい認知神経科学的研究ツールを提供できると結論付けられる。

【方法】

右利き男子大学生 12 名（平均年齢 21.0 歳）に実験参加者として、課題を実施してもらった。課題は SPP パラダイムに従って、両手ボタン押しによるタイミング課題を行った。左手のボタン押しによって、モニター上に光点を左から右方向に動かし、特定のタイミングで右ボタンを押しによって光点を止める課題であった。本実験では 3 つの条件を設定し、それぞれフィードバックの呈示方法が異なった。脳波は、頭皮上 128 部位により DC 導出された。

【結果】

右手ボタン押しに伴う ERP 波形は SPP 条件では SPP に相当する大きな陽性波がみられる。Control と DFB 条件では、陽性波はみられなかった。DFB では SPP に類似した陽性変動がボタン押しの約 1s 後にみられるが、これは視覚フィードバック刺激が提示されたことに伴う P300 と考えられる。右手ボタン押しに伴う ERP をタイミングパフォーマンスの正誤別に示した波形は、SPP 条件の SPP については、明らかに結果の正誤で波形が異なってみえる。特に潜時 250ms 近傍では、エラー試行に特異的な陰性への振れがみられる。

SPP 振幅値について、条件(3)×部位(4)の 2 要因分散分析を実施したところ、条件の主効果($F(2, 22)=62.73, p<.001$)および部位の主効果($F(3, 33)=15.91, p<.001$)が有意であった。また、交互作用も有意だった($F(6, 66)=5.67, p<.005$)。

Fz を除くすべての部位で、SPP 条件の振幅値が他の 2 条件よりも有意に大きかった(いずれも $p<.005$)。いずれの部位でも Control と DFB 条件には差はなかった。SPP 条件でのみ Fz よりも Pz で有意に大きかった($p=.048$)。また Control でのみ Pz よりも Cz のほうが有意に大きかった($p=.02$)。

SPP 条件と DFB 条件における SPP 平均振幅値の正誤別比較した。条件の主効果が有意であった($F(1, 11)=56.23, p<.001$)。部位の主効果も有意であった($F(3, 33)=17.14, p<.001$)。さらに、条件と部位の交互作用が有意であった($F(3, 33)=5.29, p<.05$)。交互作用が有意であったので単純主効果の検定を行った。その結果、すべての部位で SPP 条件のほうが DFB 条件よりも大きく(いずれも $p<.05$)、両条件ともに FCz と Cz の振幅値が Fz よりも有意に大きかった($p<.01$)。しかしながら、パフォーマンスの正誤で振幅に差はなかった。

SPP と FRN の FCz 振幅値について両条件を比較した。その結果、条件間に差はなかった($F(1, 11)=2.77, n.s.$)。パフォーマンス結果の主効果は有意であり($F(1, 11)=42.73, p<.001$)、エラー反応時により陰性へ変動していた。

【考察】

SPP 条件(ボタン押し遂行直後にフィードバックが与えられる課題)では、SPP が頭頂-中心部にかけて認められた。一方、フィードバックがボタン押しの 1s 後に与えられる DFB 課題では、SPP は出現しなかった。しかしながら、遅延フィードバック刺激によって SPP 同様の陽性電位が惹起した。したがって、SPP 条件で認められた SPP は、実際には視覚フィードバックによって誘発された P300 を主に反映したものであると考えられる。

SPP は課題が首尾よく遂行された場合に増大することが報告されている。この結果には 2 つの解釈が成立する。第一に、SPP は P300 を反映しているため、課題遂行終了と同時に得られるパフォーマンス結果(視覚フィードバック)に対して注意が向けられるほど SPP は大きくなる。正解を伝えるフィードバック結果に対して注意が多く配分されることで、P300 は大きくなり、結果的に SPP も大きく観察されることになる。第二に、SPP がエラー試行時に減少するという知見を再考すべきである。従来の研究では SPP はエラー時に減少するが、これは FRN の重量に起因する見かけ上の効果と考えられる。このことは、FRN と SPP の頭皮分布が、両者とも中心-前頭部に限局していた結果から指示される。

本研究の結果から、従来報告されてきた SPP は主に結果の知識を処理する際に生じる P300 を反映したものであると解釈され、その振る舞いには FRN が関与することが示された。