

事象関連電位を用いた運動学習研究

身体運動科学研究領域

5 0 1 1 A 0 4 4 - 6 對間 直也

研究指導教員：正木 宏明 准教授

【実験 1】

1. 目的

運動学習における文脈干渉効果は、複数の課題をそれぞれブロック化して練習するよりも、ランダムな順序で練習した方が、学習が促進する現象を指す。しかしながら、文脈干渉効果の神経メカニズムに関しては未だ不明な点が多い。

本研究では、課題練習中の ERP を測定することで、文脈干渉効果の背景メカニズムを検討した。パフォーマンスモニタリングの観点では、ランダム群の方がブロック群よりも情報処理は活発になり、ERP に反映されるものと予想された。

2. 方法

24 名（平均年齢 20.5 ± 0.9 歳）の実験参加者をブロック群（12 名）とランダム群（12 名）に振り分けた。第 1 日目に練習試行と直後保持テスト、第 2 日目に遅延保持テストを行った。課題は、相対的タイミングを操作したタッピング課題（Wulf & Lee, 1993）であり、1 つのボタンを標的タイミングで 4 連続タッピングした。標的タイミングの組み合わせによって 3 種類の課題を設定した。ブロック群では同一課題を繰り返し練習したが、ランダム群では試行ごとに異なる課題を遂行した。

3. 結果

練習期のデータに関して練習条件（ブロック群、ランダム群）× 試行ブロック（9 ブロック）の 2 要因分散分析を行った。いずれの課題でも練習の主効果が認められ、ブロック群の方がランダム群よりも絶対誤差は小さかった。さらに保持テストに関しても練習条件（ブロック群、ランダム群）× 保持テスト（直後保持、遅延保持）の 2 要因分散分析を行った。課題 A でのみ群間差がみられ、ランダム群の方が逸脱値は低かった。

4 回目のボタン押しによって惹起した陰性電位（FCz）の振幅値を群間比較した結果、課題 A と課題 C ではランダム群の方がブロック群よりも有意に大きかった。課題 B

ではランダム群とブロック群との間に差はなかった。

4. 考察

文脈干渉効果が認められた課題 A では、ERP にも群間差が認められた。課題 B に関しては、パフォーマンスにも ERP にも群間差はなかった。本実験ではパフォーマンスと ERP との間に対応がみられたことから、陰性電位はパフォーマンス結果を規定する脳内モニタリング処理を反映していると考えられた。ブロック群では同一課題を反復練習したため、課題間あるいは課題内での精緻な情報処理が行われず、スキルは忘却したのと考えられる。一方、ランダム群では、パフォーマンスモニタリングが機能し、各課題の情報処理が精緻化され、スキルは保持されたのと考えられる。本結果は、練習期の陰性電位の増大がその後のスキル保持を予測することを示唆している。

【実験 2】

1. 目的

運動学習における結果の知識（knowledge of result: KR）は、高頻度で与えるよりも低頻度で与える方が学習に効果的である。ガイダンス仮説によれば、高頻度の KR は KR への依存性を高めることによる内因性の欠如が学習を阻害する。それに対し、低頻度の KR は KR が無い状態で内制的フィードバックを手がかりとした能動的な情報処理が行われるため、強い記憶表象につながると考えられている。

本研究では、課題練習中の ERP を測定することで FB 頻度の違いによる学習効果の背景メカニズムを検討した。パフォーマンスモニタリングの観点では、前述のとおり低頻度 KR の方が高頻度 KR よりも情報処理は活発になり、ERP に反映されるものと予想された。

2. 方法

26 名（ 21.0 ± 1.0 歳）の実験参加者を毎試行後に KR を与えられる 100%KR 群（13 名）と 2 試行に 1 回 KR

を与えられる 50%KR 群に (13 名) に振り分けた。第 1 日目に練習試行及び直後保持テスト、第 2 日目に遅延保持テストを行った。課題は、実験 1 と同様、タッピング課題であり、1つのボタンを決められた目標時間通りに 4 連続タッピングした。目標時間の異なる 3 種類の課題を設定した。

3. 結果

練習期のデータに関して KR 条件 (100%KR 群, 50%KR 群) × 試行ブロック (9 ブロック) の 2 要因分散分析を行った。いずれの課題においても練習の主効果が認められたが、交互作用および群間差は認められなかった。さらに保持テストに関しても KR 条件 (100%KR 群, 50%KR 群) × 保持テスト (直後保持, 遅延保持) の 2 要因分散分析を行った。いずれの課題も主効果および交互作用は有意ではなかった。課題 B にのみ群間差がみられ、50%KR 群のほうが 100%KR 群よりも逸脱値は低かった。脳波に関しては、ラブラシアン導出した後、4 回目のタッピングによって惹起した陰性電位 (F1) の振幅値を群間比較した。その結果、課題 B では 50%KR 群の方が 100% KR 群よりも有意に陰性電位が大きかった。課題 A と課題 C では群間差はなかった。

4. 考察

50%KR 群で学習の効果が有意にみられた課題 B に関しては、ERP においても群間差が認められた。F1 でみられた陰性電位は、実験 1 同様にモニタリング処理を反映した成分であり、パフォーマンスとの間に対応が生じたものと考えられる。100%KR 群では、毎試行後に与えられた KR への依存が高まるため、遂行者自身のパフォーマンスモニタリングは低下する。その結果、精緻な情報処理ができず、スキルは保持されなかったものと考えられる。一方、50%KR 群の KR 無し試行では、遂行者自身のパフォーマンスモニタリングが高まるため、情報処理に精緻化が生じ、スキル保持に繋がったものと考えられる。本実験の結果は、50%KR 群で観察された習得期の陰性電位増大が、その後のスキル保持を予測することを示唆している。

【実験 3】

1. 目的

実験 2 の結果は、KR 頻度の違いによる学習効果を明らかにするには不十分であった。そこで実験 3 では、目標

時間を 1 課題に絞り、単純化することで、KR 頻度の効果を検討した。また、試行数を増すことで、学習初期と後期との差を比較した。学習の初期段階では、一次運動野が活発に活動し、その活動は脳波上でも観察されるものと予測した。練習初期の方が練習後期よりも、fpMP 成分が大きくなるものと予想された。また、実験 1, 2 では運動学習課題遂行中の fpMP を検討したが、エラー関連陰性電位 (error-related negativity: ERN) との異同が不明確であった。そこで ERN を実際に測定し、頭皮上分布を詳細に検討した。

2. 方法

18 名 (20.8 ± 0.9 歳) の実験参加者を 100%KR 群 (9 名) と 50%KR 群に (9 名) に振り分けた。第 1 日目に練習試行及び直後保持テスト、第 2 日目に遅延保持テストを行った。課題は、実験 1, 2 と同様、タッピング課題であった。実験参加者の ERN を評価するため、運動学習課題とは別にエラー反応を誘発する Go/Nogo 課題を用いた。

3. 結果

練習期のデータに関して KR 条件 × 試行ブロックの 2 要因分散分析を行った。練習の主効果が認められたが、交互作用および群間差は認められなかった。さらに保持テストに関しても KR 条件 × 保持テストの 2 要因分散分析を行った。主効果および交互作用は有意ではなかった。4 回目のボタン押しによって惹起した陰性電位 (FC1) 100%KR 群の方が大きい傾向であった。50%KR (KR 呈示後試行) 群内では、練習初期の陰性電位の方が練習後期よりも大きかった。また、タッピング課題と Go/Nogo 課題との頭皮上分布間には違いが確認された。

4. 考察

練習期および保持テストにおいて群間差はみられなかった。これは、本実験で用いた KR が逸脱の方向性のみを示す質的 KR であったためと考えられた。また練習初期で陰性電位が大きくなったのは、パフォーマンスの良い条件で運動電位が増大するという報告と一致した。さらに頭皮上分布の差異から、運動学習課題遂行中の陰性電位は ERN とは異なる成分であることが明らかとなった。本研究で検討した電位は一次運動野および一次体性感覚野由来の fpMP であり、運動学習中のパフォーマンスモニタリングを反映して増大する成分であると結論づけられた。