

罰と報酬がパフォーマンスモニタリングに及ぼす影響

身体運動科学研究領域

5009A790-6 丸尾 祐矢

研究指導教員：正木 宏明 准教授

序論①

本研究では、罰や報酬が脳内のパフォーマンスモニタリング機能に及ぼす影響をエラーモニタリングに関連するエラー関連陰性電位 (error-related negativity: ERN), 反応抑制に関連する N2 によって検討した。近年、罰や報酬によって情動を操作することで脳内情報処理過程と性格特性の関係性を検討する研究が多くされている。本研究では罰や報酬への感受性を表す動機づけシステム (behavioral inhibition system: BIS, behavioral approach system: BAS) に着目し、脳内情報処理過程との関係性を明らかにすることを目的とした。従来の研究では罰や報酬への感受性を評価するための統制条件が設定されておらず、罰と報酬の効果を適切に検討できていたとはいえない。そこで実験①では、罰条件、報酬条件、コントロールの3条件を比較した。従来の研究に基づく、罰条件では BIS と ERN との間に正の相関が予測された。また、中脳ドーパミンシステムと ERN との関係性 (Holroyd & Coles, 2002) から、報酬条件では BAS と ERN との間に相関関係がみられるものと予測された。

実験①方法

実験参加者 女性大学生 24 名 (20.7±1.5 歳)。
手続き 空間ストローク課題を用いた。モニタ画面中央の注視点 (+) 上下に呈示される矢印に対して反応する課題であり、被験者には矢印の提示位置に関係なく矢印の指す方向に対してできるだけ速く正確にボタン押し反応をするように教示した。反応が 500ms 以内にできなかった場合、1000ms 後に「Too late」と呈示した。
条件 No-Reward 条件, Reward 条件, Control 条件の 3 条件で構成された。No-Reward 条件 (NR)

は元金を 2000 円としエラー反応毎に 50 円を減額した。Reward 条件 (R) は元金を 0 円とし正反応毎に 5 円を加算した。Control 条件 (C) は罰も報酬も付加させなかった。1 条件では 72 試行を 6 ブロック行い、条件の提示順序は被験者間でカウンターバランスをとった。

記録 脳波は頭皮上 128 部位より全部位の平均電位を基準電位として導出した。水平眼電図は両外眼角から、垂直眼電図は左眼窩上下からそれぞれ双極導出した。サンプリング周波数は 1024 Hz とした。

分析 ERN は、キー上げ反応時の EMG onset をトリガに加算平均した。オフラインで 0.1-30Hz のバンドパスフィルタを適用した。ERN は FCz において直前陽性電位から ERN の最大陰性電位までを計測した (peak to peak)。Pe は Cz で EMG 前 -500-400ms の平均電位を基線に EMG 後 270-340ms の区間平均電位を計測した。

実験①結果

反応時間, Too late 率ともに、条件間で差はなかった。一方、エラー率は Cont よりも Rew, Pun で有意な低下が認められた ($F(2, 46)=6.59, p<.01$)。

ERN 振幅は、Cont 条件に比較して Pun 条件と Rew 条件で ERN 増大が認められた ($F(2, 46)=5.68, p<.01$)。BIS/BAS と ERN との関係性については、BAS と ERN 振幅値との間に条件に関わらず正の相関関係が認められた ($r=.41, r=.51, r=.51$)。BAS 得点の高い者ほど ERN は減少した。BIS と Pe については Cont 条件でのみ正の相関関係が有意だった ($r=.48$)。BIS と ERN, BAS と Pe には相関関係はなかった。

実験①考察

ERN 増大は、Pun 条件と Rew 条件で高まったエラ

一の意義を反映したものと考えられる (Hajcak et al, 2005). しかしその一方で, Rew 条件と Pun 条件でエラー率が低かったことから, ERN 増大は速さと正確さとのトレードオフからも説明されうる (Gehring et al, 1993). ERN と BAS との相関関係は, 中脳ドーパミンシステム (Holroyd & Coles, 2002) を反映した可能性も考えられる.

序論②

先行研究で報告されてきた BIS と ERN の関係性は実験①で認められなかった. Amodio et al., (2007) は研究間での BIS の解釈の曖昧さを指摘している. Gray (1970) によれば Gray の行動抑制系 (BIS) とは望ましくない結果をもたらす恐れのある行動が表出されないよう行動を抑制するものとされる. BIS は罰や不安の感じ方よりも反応の抑制に関係すると考えることができる. そこで実験②では, go/no-go 課題を用い, 高罰条件, 低罰条件, コントロールの 3 条件を比較した. 従来の研究に基づくと, BIS が高いものほど ERN と N2 の振幅値は高いと予測された. また, N2 を EMG の有無で分類し, その機能的意義を検討した.

実験②方法

実験参加者 男性大学生 26 名 (21.7±1.2 歳)
手続き go/no-go 課題を用いた. モニタ画面中央の位置に呈示される「M」か「V」の文字に対して, 「M」ならば反応し「V」ならば反応を抑制するよう教示した. Go 刺激は 70%, No-go 刺激は 30% の割合でランダムに呈示した. 反応する文字は実験参加者間でカウンターバランスをとった. 反応が 450ms 以内にできなかった場合, 1000ms 後に「Too late」と呈示した.

条件 High Punishment 条件, Low Punishment 条件, Control 条件の 3 条件で構成された. High Punishment 条件 (HP) は元金を 1500 円としエラー反応毎に 50 円を減額した. Low Punishment 条件 (LP) は元金を 1500 円としエラー反応毎に 5 円を減額した. Control 条件 (C) は罰を付加させなかった. 1 条件では 100 試行を 4 ブロック

行い, 条件の呈示順序はカウンターバランスをとった.

記録 実験①と同様であった.

分析 ERN は, キー上げ反応時の EMG onset をトリガに加算平均した. N2 は, 刺激呈示時をトリガに加算平均した. また EMG の有無によって pure correct と partial error に分類した. オフラインで 0.1-30Hz のバンドパスフィルタを適用した. ERN, N2 は FCz において直前陽性電位から ERN の最大陰性電位までを計測した (peak to peak). Pe は Cz で EMG 前-300-200ms の平均電位を基線に EMG 後 250-370ms の区間平均電位を計測した.

実験②結果

反応時間は, LP 条件より HP 条件で早い傾向があった ($F(2, 50)=2.61, p=0.09$). エラー率は, C 条件よりも HP 条件でエラー率が減少した ($F(2, 50)=8.59, p<0.01$). Too late 率は条件間で差はなかった.

N2 振幅は, 条件の効果は認められなかった. EMG による分類の結果, go correct, pure correct, no-go correct, partial error の順で有意に振幅値は増大した ($F(3, 75)=75.43, p<.01$). ERN は条件間で差が認められなかった. Pe は C 条件より HP 条件において大きくなる傾向であった ($F(2, 32)=3.47, p=.07$). また BIS の高いものほど partial N2 が増大する傾向にあった ($F(1, 22)=3.95, p=.06$). BIS は ERN と負の相関関係の傾向にあった ($r=-.45, p=.06$).

実験②考察

EMG の有無によって分類された no-go N2 は, 機能的意義が異なる可能性がある. partial error N2 は, パフォーマンスモニタリングに関わっている可能性がある. single trial analysis によって得られた ERP イメージからも partial error N2 には, N2 と ERN が重なっていることが示唆された.

ERN や N2 は罰の影響を受けなかったことから腹側被蓋野から投射する 2 つのドーパミン経路は, 罰と報酬で活性が異なる可能性がある.