

博士論文

事象関連電位に基づく

接近・回避の動機づけ研究

–達成見込みの操作を用いて–

(Study on approach-avoidance motivation using
ERPs –Manipulating probability of achievement–)

2018年9月

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科
スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

亀井 誠生

立命館大学審査博士論文

事象関連電位に基づく

接近・回避の動機づけ研究

–達成見込みの操作を用いて–

(Study on approach-avoidance motivation using
ERPs –Manipulating probability of achievement–)

2018年9月

September 2018

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

Doctoral Program in Sport and Health Science

Graduate School of Sport and Health Science

Ritsumeikan University

亀井 誠生

KAMEI Mio

研究指導教員：佐久間 春夫教授

Supervisor: Professor SAKUMA Haruo

目次

| | |
|---|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 スポーツ心理学における動機づけ | 1 |
| 1.1.1 スポーツ場面における動機づけの役割 | 1 |
| 1.1.2 動機づけの種類および方法 | 1 |
| 1.2 動機づけの効果の定量化 | 4 |
| 1.3 各心的過程に対応した ERP | 7 |
| 1.3.1 準備を反映する ERP | 7 |
| 1.3.2 内因性フィードバックを反映する ERP | 11 |
| 1.3.3 外因性フィードバックの評価を反映する ERP | 13 |
| 1.4 金銭報酬および社会的報酬を用いた動機づけ | 17 |
| 1.5 スポーツ科学分野における ERP 研究 | 18 |
| 1.6 本論文における研究課題および目的 | 19 |
| 1.7 本研究の意義 | 22 |
| 第2章【研究1】主観的な勝ちの見込みの高低が課題遂行の動機づけに及ぼす影響について | 23 |
| 2.1 背景 | 23 |
| 2.2 方法 | 28 |
| 2.3 結果 | 34 |
| 2.4 考察 | 43 |
| 2.5 結論 | 48 |

| | |
|---|-----|
| 第 3 章【研究 2】賞罰を用いた動機づけが内因性フィードバックに及ぼす影響について | 49 |
| 3.1 背景 | 49 |
| 3.2 方法 | 55 |
| 3.3 結果 | 61 |
| 3.4 考察 | 66 |
| 3.5 結論 | 71 |
| 第 4 章【研究 3】報酬獲得の見込みと賞罰が外因性フィードバックの予期・期待, 評価に及ぼす影響について | 72 |
| 4.1 背景 | 72 |
| 4.2 方法 | 77 |
| 4.3 結果 | 84 |
| 4.4 考察 | 95 |
| 4.5 結論 | 102 |
| 第 5 章 総括論議 | 103 |
| 第 6 章 結論 | 113 |
| 参考文献 | 115 |

第1章 序論

1.1 スポーツ心理学における動機づけ

1.1.1 スポーツ場面における動機づけの役割

スポーツは、定められたルールに基づき、楽しんだり競ったりする身体活動の総称である。健康の維持・増進や楽しむことを目的とする生涯スポーツ(lifelong sport)に対し、競技スポーツ(competitive sport)の目的は、記録の更新および競争相手に勝つことである。

アスリート(競技選手)は、新記録の樹立および勝利を目的に多くの労力を競技力向上に割いている。生得的な素質に対し、努力は後天的な要因として習得的にアスリートの競技力を高める必須の要因である。動機づけ(motivation)を高めることは、比較的永続的な技能・身体トレーニングを可能とする努力の質および量に影響することから、スポーツ心理学分野ではアスリートが大成する過程で動機づけはとりわけ重要な因子として臨床、調査、実験的な手法に基づき研究が進められてきている(上淵ほか, 2004)。

1.1.2 動機づけの種類および方法

動機づけは、意欲を生じさせる主因の観点から、内発的動機づけ(intrinsic motivation)と外発的動機づけ(extrinsic motivation)に区分されている(加川ほか, 1997)。内発的動機づけとは、スポーツ場面におけるプレーや練習といった行為そのものが、アスリート自身にとって報酬となる場合に生じるものである。物質的な報酬を必要とせず、アスリートが自分自身の興味を満足させたり、達成感を得るためといった内因性の動因によって高まるものとして定義されている。一方で、外発的動機づけとは、第三者から与えられる報酬によって生じ

るものである。アスリートのプレーや練習といった行為に随伴する勝利や賞金を獲得するためといった外因性の誘因によって高まるものとして定義されている(加川ほか, 1997)。

さらに、達成目標の方向性の観点から、外発的動機づけは、成功の達成を目的とすることで意欲の高まる接近の動機づけ(**approach motivation**)、失敗の回避を目的とすることで意欲の高まる回避の動機づけ(**avoidance motivation**)に分類することが出来る。例えば、走る行為そのものが心地良いためにランニングを習慣づけることは、内発的動機づけによるものである。また、競争で勝ってコーチから褒められることや優勝賞金を目的に体力強化を狙ってランニングを習慣づけることは、外発的な接近の動機づけによるものである。一方で、競争で負けてコーチに叱られることの回避を目的に体力強化を狙ってランニングを習慣づけることは、外発的な回避の動機づけによるものと考えられる。

これまでに接近・回避の動機づけの効果について、正負の感情状態の側面から実験的・観察的手法を用いて検討されてきている。Skinner(1948)のオペラント条件づけ理論によれば、行動直後に与えられる外因性の報酬(好子)によって生起される嬉しい、楽しいといった正の感情は正の強化子として行動の賦活を動機づけること、外因性の罰(嫌子)によって生起される苦しい、辛いといった負の感情は正の弱化学子として、行動の抑制を動機づけることが明らかにされている(加川ほか, 1997)。上記の点から、アスリートの正しいプレーを促進させる、間違ったプレーを抑制させるといった行動変容を促進させる方法として、成功に対する報酬として賞(**incentives**)、失敗に対する罰則として罰(**aversives**)を与え行動に随伴して正負の感情状態を喚起させることが効果的と考えられる。

さらに、アスリートの動機づけの程度を規定する大きな要因として、挑戦する課題(試合、練習)に対する成功・失敗の主観確率が挙げられる。成功の主観確率とは、数学的な確率論に基づき算定される成功の頻度を示す客観確率に対して、アスリート本人の経験や現在の

事態に基づき算定される成功確率を示す主観的な達成見込みである(Atkinson, J. W., 1957).

Atkinson (1957)の達成動機づけ理論(期待×価値理論)によれば, 成功を目的とした接近の動機づけは, 結果の予測が最も困難な達成見込みが 50%の事態で最も高くなる. 一方で, 失敗の回避を目的とした回避の動機づけは, 達成見込みが低い(0%に近い)もしくは高い(100%に近い)事態で高くなる(Figure 1). さらに, 目標を達成しようとする動機づけの強さは, 個人特性としての成功動機の強さ, 主観的な達成見込みの大きさ, 成功の誘因価(価値)の大きさの3つの要因の積で求めることができる. また, 失敗を回避しようとする動機づけの強さは, 個人特性としての失敗回避動機の強さ, 主観的な失敗の見込みの大きさ, 失敗の誘因価(価値)の大きさの3つの要因の積で求めることができる.

上記の点から, アスリートの達成欲求に関わる個人特性が, 内的要因として接近の動機づけの強さ, 回避の動機の強さに関係していると考えられる. また, 達成動機づけは, 期待できる達成見込みが 50%の場面で最も高まることが予測され, 誘因価を高める賞罰に加えて課題(試合, 練習)の難易度設定の操作は, 外的要因としてアスリートの動機づけを高める効果的な方法と考えられる.

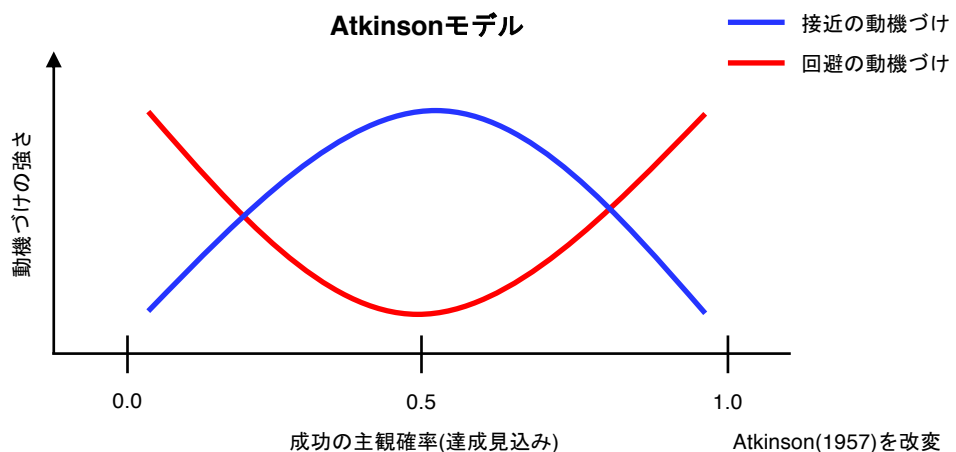


Figure 1. 主観的な達成見込みと動機づけの強さの関係

1.2 動機づけの効果の定量化

賞罰により高められる動機づけは、脳内で惹起される主観的なものであるが、その動機づけの効果について非侵襲的且つ定量的に評価する実験手法の一つとして、脳波(electroencephalogram: EEG)を指標とした脳活動の計測が挙げられる。

Berger(1929)によって初めて報告されたヒトの EEG は、生理・心理状態(睡眠、閉眼、開眼、高覚醒)に合わせて律動の周波数が変化すること(δ : 1-3 Hz, θ : 4-7 Hz, α : 8-13 Hz, β : 14-30 Hz)が明らかにされている(Haas, 2003)。頭皮上で記録される EEG の周波数は、脳の神経細胞の発火頻度を反映しており、睡眠状態から高覚醒状態への変化に伴い発火頻度は高まることが知られている。さらに、EEG を事象(内因性・外因性)と時間的に同期し加算平均することで、事象関連電位(event-related potential: ERP)を測定することができる。

Walter ら(1964)によって報告された代表的な ERP である随伴性陰性変動(contingent-negative variation: CNV)は、課題遂行に対する心理的構え(mental set)を反映すると考えられている。また、Sutton ら(1965)によって報告された P300 は、外因性の刺激(聴覚・視覚)によって誘発される能動・受動的な注意資源の配分(attentional allocation)を反映することが知られている。他にも、運動準備(motor preparation)、予期・期待(anticipation, expectation)、行動評価(performance monitoring)、成果評価(outcome evaluation)といった様々な心的過程に対応した ERP が報告されている(堀ほか, 2017ab; Luck, 2014)。多くの ERP は、賞罰を用いた外発的動機づけ(接近・回避の動機づけ)に伴い増大することが明らかにされており、ERP を指標とした感情状態と動機づけの密接な関係を示唆する知見が蓄積されつつある(箱田ほか, 2010)。

ヒトの脳活動を最も正確に計測する方法は、微小な針電極を関心領域(region of interest: ROI)に刺入し、単一の神経細胞から電気信号を記録することである。しかし、これらの侵襲的な計測方法は、安全・倫理の観点から一部の例外(臨床試験等)を除いてヒトに用いること

ができない。そのため、非侵襲的にヒトの脳活動を計測する技術がこれまで発展してきた(宮内ほか, 2016)。

非侵襲的に計測が可能な脳活動は、時系列の観点から二つに大別される。脳の神経活動である電気信号(一次信号)と、脳の神経活動に伴う代謝活動である酸素動態や血流(二次信号)である。EEG および脳磁図(magnetoencephalography: MEG)は、一次信号である脳の神経活動を計測している。一方で、陽電子放射断層法(positron emission tomography: PET)、機能的磁気共鳴法(functional magnetic resonance imaging: fMRI)、近赤外分光法(near-infrared spectroscopy: NIRS)は、二次信号である脳の神経活動に伴う代謝活動を計測している。一般的に脳の電気信号を計測する EEG および MEG は、時間分解能に優れており、酸素動態や血流を測定する PET, fMRI, NIRS は空間分解能に優れている。このことは、EEG および MEG が脳活動の生理的発生源である神経細胞の発火信号を計測しているのに対して、fMRI は神経細胞の発火により酸素が利用される際に増大する脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)について血中酸素濃度依存信号(blood oxygenation level dependent signal: BOLD signal)として計測しているためである。神経細胞の発火と比較して、血流量の応答は遅いといった問題点が指摘されており、fMRI では短い間隔で異なる事象が連続して生じる課題を用いた脳活動の計測は困難とされている。

EEG が自発・継続的に生じる活動電位であるのに対し、ERP は事象(内因性・外因性の刺激)により惹起される一過性の活動電位である(堀ほか, 2017ab; Luck, 2014)。ERP は、EEG に時間的に重畳しているため、その抽出には目的とする事象と時間的に同期された EEG を 20-30 回以上加算平均する必要がある。ERP にとってより大きな振幅である EEG はノイズとみなされることから、加算平均を行いシグナルノイズ比(signal-noise ratio: SN 比)を高めることで、ERP の視認および電位の測定が可能となる(Figure 2)。

ERP は、原データである EEG 同様に約 1 ms(1000 Hz)の時間分解能を有しており、目的とする事象を待つ、目的とする事象を評価する、といった連続して生じる異なる局面における脳活動の測定が可能である。また、ERP の振幅は、物理的な刺激の処理過程を反映する視覚誘発電位(visual evoked potentials: VEP)、聴覚誘発電位(auditory evoked potentials: AEP)、体性感覚誘発電位(somatosensory evoked potentials: SEP)と異なり、被験者の心理状態の変化によって増減することから、高次な脳内における認知処理過程を反映しているとされており、様々な局面における心的過程との対応について注目を集めてきた(堀ほか, 2017ab)。

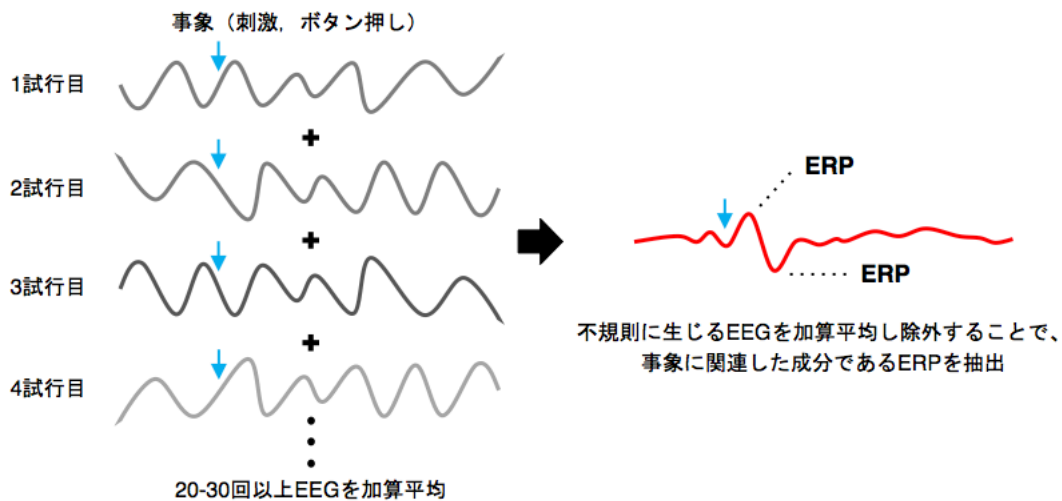


Figure 2. ERP の抽出手順

1.3 各心的過程に対応した ERP

これまでに多種多様な心的過程に対応した ERP が報告されている(Pornpattananangkul & Nusslock, 2015). 事象が生じる前と後といった期間(period)の観点から, ERP は二種類に大別することが出来る. 事象が呈示される前は準備の期間と定義され, 事象が呈示された後は評価の期間と定義されている. さらに評価の期間は, 上手くやれたかもしれない, 失敗したかもしれないといった主観的手応えに基づく内因性フィードバックと, 外部からの指摘・指示(アドバイス, 賞賛, 叱責)に基づく外因性フィードバックの評価の局面に大別されている(堀ほか, 2017ab). 局面に対応した ERP を個々に測定することで, それぞれの心的過程における外発的動機づけの効果の大小について, 電位の振幅(μV)として比較検証することが出来る. 本節では, 本研究で動機づけの効果の指標として用いた ERP の測定方法, 機能的特徴について記す.

1.3.1 準備を反映する ERP

課題遂行に対する準備の心的過程を反映する代表的な ERP として, CNV, 刺激先行陰性電位(stimulus-preceding negativity: SPN), 運動準備電位(readiness potential: RP)が挙げられる. これらの電位活動は事象に向かって持続的(約 1-2.5 秒)に変化することから, 脳波緩電位(slow wave)と呼ばれている. Figure 3, 4 は, CNV, SPN, RP の模式的波形と典型的な測定パラダイムを示している.

(1) 心理的構えを反映する CNV

CNV は, Walter ら(1964)により初めて報告された陰性の ERP である. 一般的に CNV は, 予告刺激(warning signal: S1)と命令刺激(imperative signal: S2)を含む予告反応時間課題

(warned reaction time paradigm)を用いて計測される。CNV の測定を目的とした予告反応時間課題では、準備を示唆する予告刺激として S1 が呈示されてから約 1-2 秒後に運動を指示する命令刺激として S2 が呈示される。CNV は、視覚刺激や聴覚刺激による S1 呈示からボタン押しを求める S2 呈示までの局面で、陰性に徐々に変化する電位活動として観察される (Walter, Aldridge, Mccallum, & Cooper, 1964)。CNV が反映する心的過程は、陸上競技におけるスタートの合図として用いられる「Set」(S1 に相当)から「Bang」(S2 に相当)の号令を待つ間の局面に近似しており、「Set」の合図に対する反応、スターターピストルの合図に合わせて身体を素早く動かそうとする運動準備、スターターピストルの合図である「Bang」を素早く認知しようとする予期・期待が重畳した心理的構えの心的過程を反映する脳活動と言える。つまり CNV の増大は、スターターピストルによる合図といった外因性の刺激に対する運動反応に向けた意欲、注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる。また、CNV は時系列的に 2 つの ERP で構成されていることが示唆されている (Connor & Lang, 1969; Frohlich et al., 1980; Loveless & Sanford, 1974, 1975; Weerts & Lang, 1973)。

前期 CNV(early CNV)は、S1 刺激後から約 500ms の間で観察されることから S1 呈示により誘発される成分で、外因性刺激に対する定位反応を反映しているとされている。定位反応とは、外部から与えられた刺激に対し注意を向ける意識・無意識な生体反応である。前期 CNV は、外因性刺激に対する定位反応の上昇を反映すると考えられており、S1 刺激に対する動機づけが高まることで増大する (C. H. Brunia, 1993)。

後期 CNV(late CNV)は、S2 呈示の約 500ms 前から S2 呈示に向けて陰性方向に立ち上がる成分である。Brunia and Vingerhoets(1981)は、S2 刺激に対して素早くボタンを押すといった運動準備を反映する RP や、S2 刺激の呈示を待つといった心理的な準備である予期・期待の心的過程を反映する SPN が同時帯に重畳していることを示唆している (C. H. Brunia &

Vingerhoets, 1981). S2 呈示に対しボタンを求めない事態と比較してボタン押しを求める事
 態で後期 CNV は増大することから, S2 の刺激呈示に対する予期に加えて運動準備の成分が
 多分に寄与している運動反応に向けた準備を反映していると考えられている(Ikeda et al.,
 1999; C. H. Brunia, S. A. Hackley, G. J. van Boxtel, Y. Kotani, & Y. Ohgami, 2011; Gaillard, 1976;
 Tecce, 1972).

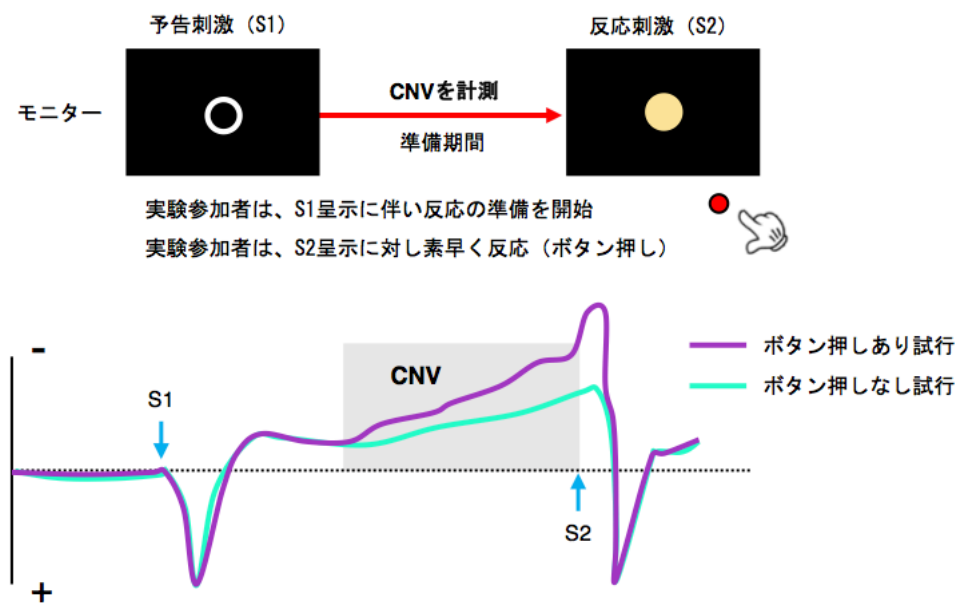


Figure 3. CNV の模式的波形および測定パラダイム

(2) 運動準備を反映する RP

Kornhuber and Deeke(1965)によって報告された RP は, 運動準備の心的過程を反映する
 ERP である. RP は自発的なタイミングでのボタン押しを要求することで全ての随意運動の
 約 500 ms 直前に生じる成分である. 頭皮上分布は頭頂部であり, ボタン押し動作に用いる
 反応肢(左右)の対側の頭皮上で陰性の電位活動が高まることが報告されている(Shibasaki &
 Hallett, 2006). また, RP の生理的発生源については fMRI を用いた研究から, 主に補足運動
 野とされており, ボタン押しに要求される随意運動の強さ, 速さを反映すると考えられて

いる(Cunnington, Windischberger, Deecke, & Moser, 2003). つまり RP の増大は, 運動動作の準備に対して注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる.

(3) 予期・期待を反映する SPN

Damen and Brunia(1987)によって報告された SPN は, 外因性フィードバックに対する予期・期待の心的過程を反映する ERP である(C. H. Brunia et al., 2011). SPN は, RP 同様に刺激呈示の約 500ms 前から, 刺激の呈示に向かって陰性方向に電位が変動することが報告されている. 一方で, RP がボタン押しに用いる反応肢の対側で, 陰性の電位活動が高まるのに対し, SPN は反応肢に関係なく, 右半球で陰性の電位活動が高まるといった RP と異なる特徴が報告されており, 運動成分を含まない純粋な外因性フィードバックに対する予期・期待の心的過程を反映しているとされている(C. H. Brunia, 1988; C. H. Brunia & E. J. Damen, 1988; C. H. Brunia & Vingerhoets, 1981). つまり SPN の増大は, コーチの指摘といった外因性フィードバックの呈示に対する注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる.

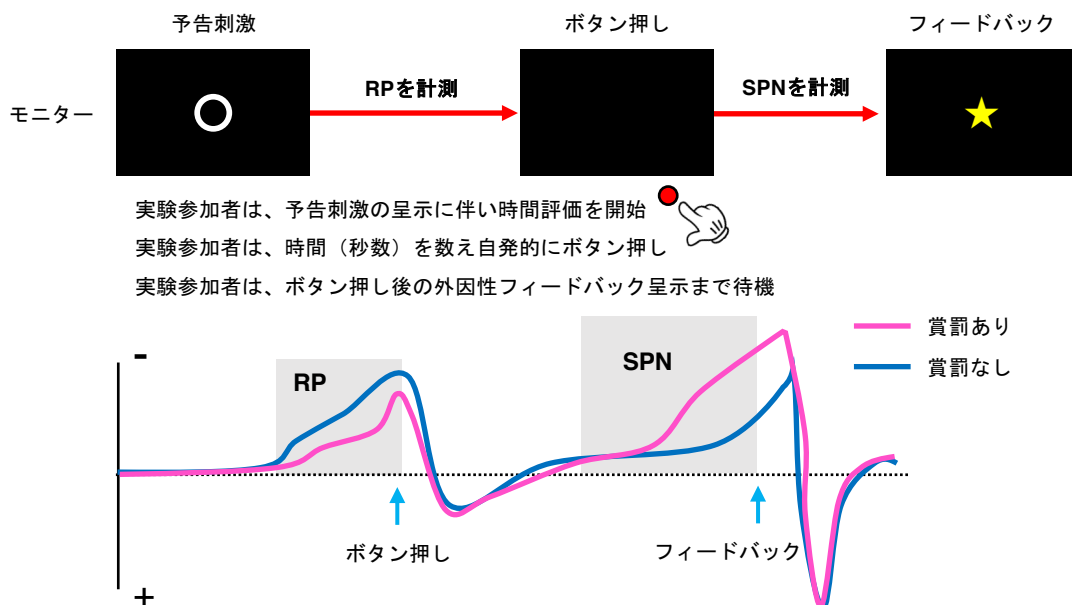


Figure 4. RP と SPN の模式的波形および測定パラダイム

1.3.2 内因性フィードバックを反映する ERP

課題遂行中の選択行動に伴い生じる、上手くやれたかもしれない、失敗したかもしれないといった主観的な手応えに基づく内因性フィードバックの心的過程を反映する ERP として、コレクト反応陰性電位(correct response negativity: CRN), エラー関連陰性電位(error-related negativity: ERN), エラー陽性電位(error positivity: Pe)が挙げられる。Figure 5 は、CRN, ERN, Pe の模式的波形と典型的な測定パラダイムを示している。内因性フィードバックを反映する CRN, ERN, Pe は、go/no-go 課題(特定の刺激に対してボタンを選択押下・抑制する)、フランカー課題(ターゲット刺激を妨害する刺激をフランカーと言い、<<><< フランカー刺激の中央の矢印方向を選択押下する)、ストループ課題(赤字で書かれた”青”の文字の意味・色を選択押下する)といった認知的葛藤(意味, 反応)を用いた認知的競合課題を用いて測定される(Endrass, Klawohn, Gruetzmann, Ischebeck, & Kathmann, 2012; Maruo, Sommer, & Masaki, 2017; Potts, 2011)。

(1) エラー行動の検出を反映する ERN

Gehring ら(1990)によって報告された ERN は、エラー反応に伴って生じる ERP である。成功反応に伴い生じる CRN と比較して失敗反応に伴い ERN は大きくなることから、内因性のエラー行動の検出の心的過程を反映しているとされている。ERN の振幅は、注意欠陥・多動性障害(attention deficit hyperactivity disorder: ADHD)患者で健常者と比較して減衰することや、強迫性障害(obsessive-compulsive disorder: OCD)患者で健常者と比較して増大することから、持続的な注意力の指標になることも示唆されている(Nawani et al., 2017; Nieuwenhuis, Nielen, Mol, Hajcak, & Veltman, 2005; Shiels & Hawk, 2010)。つまり ERN の増大は、自身のエラー行動の検出に対して注意資源の配分が増えたことを示している。

(2) エラーの意識的な気づきを反映する Pe

Pe は、時系列的に ERN に連なって生じる ERP である(Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann, & Blanke, 1991). Pe は、成功反応後やエラーに気づかなかった失敗反応後と比較して、エラーに気づいた失敗反応後に増大することから、内的なエラーの評価やエラーの意識的な気づきに関わる心的過程を反映する陽性電位と考えられている(Endrass, Reuter, & Kathmann, 2007; Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band, & Kok, 2001). つまり Pe の増大は、自身のエラ一行動の意識的な気づき、失敗の重要性が高まったことを反映していると考えられる。

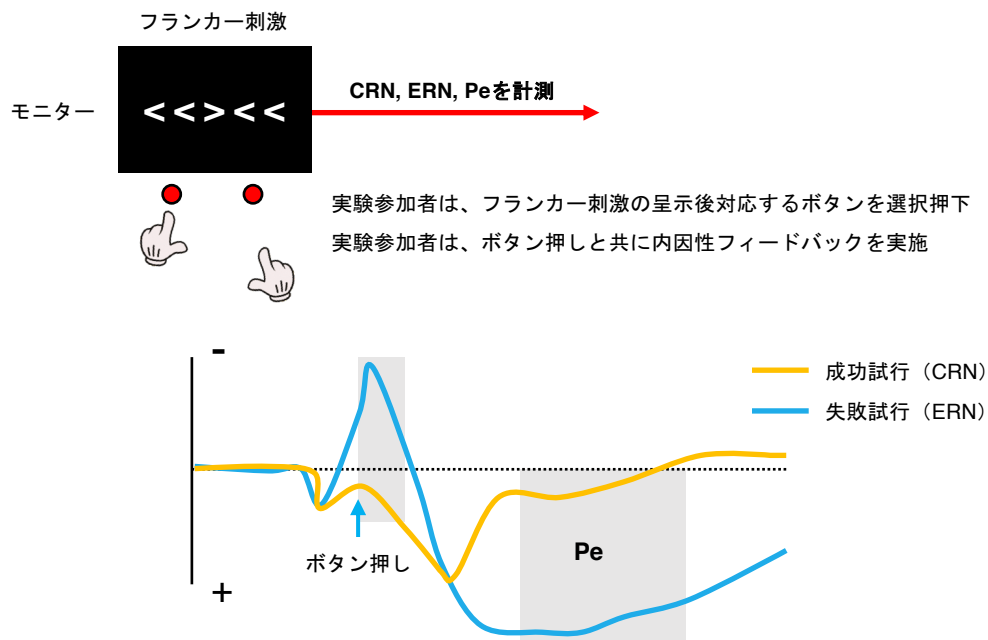


Figure 5. CRN・ERN と Pe の模式的波形および測定パラダイム

1.3.3 外因性フィードバックの評価を反映する ERP

第三者から与えられる指摘・指示といった外因性フィードバックの評価の心的過程を反映する代表的な ERP として、フィードバック関連陰性電位(feedback-related negativity: FRN), 報酬陽性電位(reward positivity: RewP), フィードバック固定 P3(feedback locked P3: FB-P3)が挙げられる。Figure 6 は, FRN, RewP, FB-P3 の模式的波形と典型的な測定パラダイムを示している。外因性フィードバックの評価を反映する FRN, RewP, FB-P3 は, ドア選択課題(二択のギャンブル課題)や, 時間推定課題(指定された時間を数えボタン押しにより反応)といった主観的手応えに基づく成功と失敗の区別が難しい認知課題を用いて測定される(Heydari & Holroyd, 2016; Holroyd & Coles, 2002; Miltner, Braun, & Coles, 1997; Polich, 2007; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015; Proudfit, 2015; Umemoto & Holroyd, 2017)。

(1) エラーと予測誤差を反映する FRN

FRN は, Miltner ら(1997)によって報告された外因性フィードバックの呈示により惹起される陰性の ERP である。前頭部で刺激の呈示から 200-300ms 後に生じる FRN は, 成功を示す外因性フィードバックと比較して, 同じ頻度で呈示される失敗(エラー)を示す外因性フィードバックの呈示に対し陰性方向に大きくなることから, エラーの評価の心的過程を反映するとされている。また, Holroyd and Coles(1997)は, FRN の振幅は, 成功確率の変化に伴い変化することを明らかにしており, 報酬の獲得見込みが高い(成功確率が高い)事態で FRN は大きく, 報酬の獲得見込みが低い(成功確率が低い)事態で FRN は小さくなる。FRN は学習過程における成果の予測誤差(予測した成果と実際の報酬の差)信号を反映していることが示唆されている(Eppinger, Mock, & Kray, 2009)。

一方で、これまでエラーの評価を反映する陰性電位として研究が進められてきた FRN は、近年の研究では以下に述べる陽性電位である RewP と FB-P3 が重畳した成功の評価の心的過程を反映する ERP として再検証がなされている(Foti, Hajcak, & Dien, 2009; Heydari & Holroyd, 2016; Krigolson, 2017; Meadows, Gable, Lohse, & Miller, 2016; Mulligan & Hajcak, 2017; Proudfit, 2015; Threadgill & Gable, 2017; Umemoto & Holroyd, 2017).

(2) 成功フィードバックの評価を反映する RewP

RewP は、前頭部で外因性フィードバックの呈示から 250-350 ms 後に生じる陽性の ERP である(Heydari & Holroyd, 2016; Muhlberger, Angus, Jonas, Harmon-Jones, & Harmon-Jones, 2017; Proudfit, 2015). エラーの評価を反映する FRN に対して RewP は、失敗(エラー)を示す外因性フィードバックと比較して、成功を示す外因性フィードバックの呈示に伴って陽性方向に大きくなることから、成功の評価の心的過程を反映しているとされている。また、RewP の波形には、外因性フィードバックの呈示後 300-500 ms で頭頂部に生じる FB-P3(P300)が重畳している。そのため、呈示頻度の異なる RewP について比較検証する場合には、正解試行から失敗試行を差分することで、時間的に重畳する FB-P3(P300)を相殺した Δ RewP (正解試行から失敗試行を減算した差分波形)を求めて比較することができる(Heydari & Holroyd, 2016; Umemoto & Holroyd, 2017). RewP は、FRN 同様に報酬の予測誤差を反映することが明らかにされており、報酬の獲得見込みが高い(成功確率が高い)事態と比較して、報酬の獲得見込みが低い(成功確率が低い)事態で大きくなる(Umemoto & Holroyd, 2017). また、報酬の大きさに対応して振幅が増大することが報告されており、RewP は外因性フィードバックに対するヒトの主観的な成功の価値評価を反映するとされている(Becker, Nitsch, Miltner, & Straube, 2014; Foti, Carlson, Sauder, & Proudfit, 2014; Foti, Weinberg, Bernat,

& Proudfit, 2015; Meadows et al., 2016). つまり RewP の増大は、外因性の成功フィードバックの評価に対して注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる。

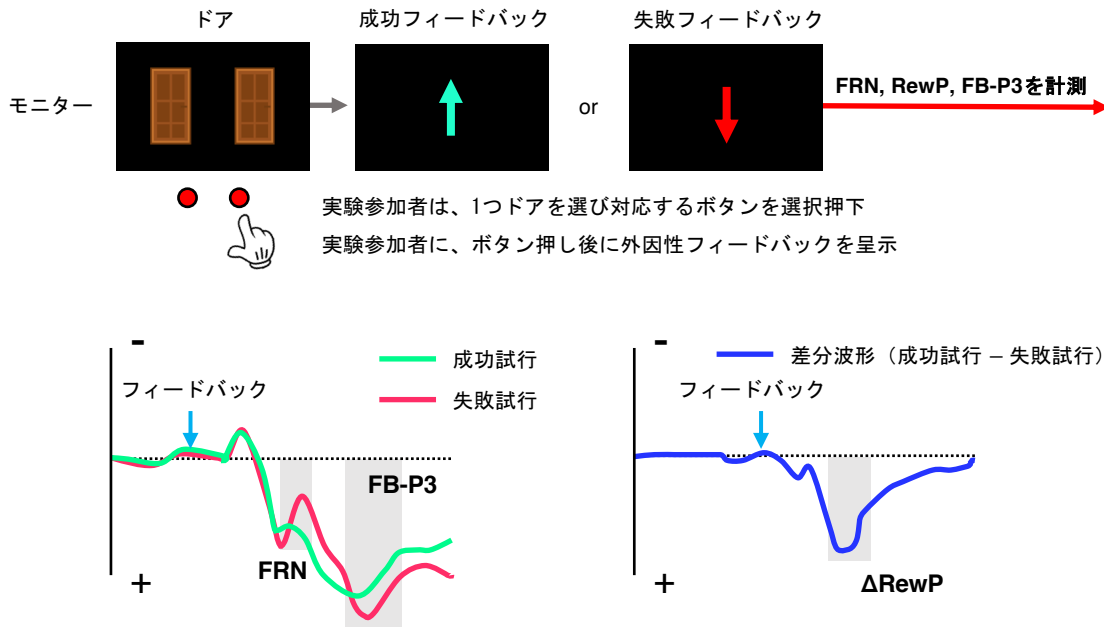


Figure 6. FRN・RewP と FB-P3 の模式的波形および測定パラダイム

(3) 注意資源の配分を反映する FB-P3・P3a・P3b

FB-P3 は、頭頂部で外因性フィードバックの呈示から 300-500ms 後に生じる陽性の ERP である(Angus et al., 2017; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015; Zheng et al., 2017). その特徴は、Sutton ら(1965)によって報告された古典的な P300(P3b)に則るものである(S. Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965). 広義での P300 は、視覚刺激、聴覚刺激といった種類を問わず、刺激の呈示に伴い生じる陽性の ERP であり、前頭頂部優位の P3a と頭頂部優位の P3b が重畳したものとされている(Comerchero & Polich, 1999; Grillon, Courchesne, Ameli, Elmasian, & Braff, 1990; Polich, 2007; Polich & Kok, 1995).

P3b(P300)は、低頻度刺激と高頻度刺激がランダムに呈示されるオドボール課題において、低呈示頻度で反応が求められた標的刺激に対し大きくなることから、刺激呈示の頻度や事

象に対する能動的な注意資源の配分を反映しているとされている(Duncan Johnson & Donchin, 1982; S. Sutton et al., 1965)(Figure 7). つまり P3b の増大は, 外因性の刺激に対する能動的な注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる.

一方で, P3a は 3 種類の刺激(低頻度標的的刺激, 低頻度非標的的刺激, 高頻度非標的的刺激)を用いたオドボール課題において, 呈示頻度が低く反応を求めない刺激(低頻度非標的的刺激)に対して明瞭に観察されることから(Figure 7), 刺激呈示の頻度や受動的な注意資源の配分を反映していると考えられている(Nittono, 2006). つまり P3a の増大は, 外因性の刺激に対する受動的な注意資源の配分が増えたことを示していると考えられる.

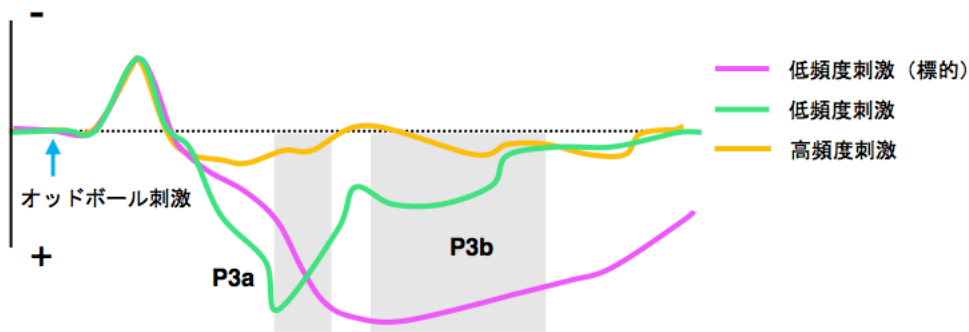
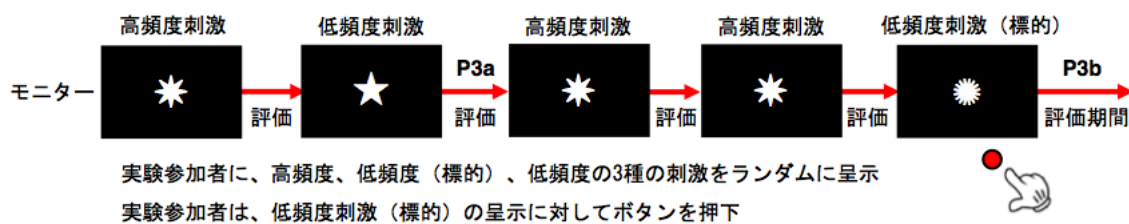


Figure 7. P3a と P3b の模式的波形および測定パラダイム

1.4 金銭報酬および社会的報酬を用いた動機づけ

動機づけと ERP の対応関係に着目した研究の多くは、賞罰による外発的動機づけの方法として金銭を用いている(堀ほか, 2017ab). その主な理由として、賞賛、叱責といった社会的な賞罰と比較して実験の統御性が高いことが挙げられる。実験の統御性は、研究方法および結果の解釈の妥当性に関わっており、賞罰の大小の動機づけ効果の検証に賞賛、叱責の動画を用いる社会的報酬(Wake & Izuma, 2017)と異なり、賞罰に金銭を用いることで賞および罰の大小関係について線形関係(-50, -25, 0, 25, 50 等)を形成できるといった利点がある(Bellebaum, Kobza, Thiele, & Daum, 2010; Bellebaum, Polezzi, & Daum, 2010). また、ERP は ms 単位の脳活動の変化を反映することから、賞賛および叱責動画といった呈示時間の長い刺激に対する計測は困難である(Luck, 2014).

また、認知課題の正答率、選択反応時間に基づき、金銭報酬と社会的報酬の動機づけ効果の比較を行った研究では、青年グループ(20-30 歳)では金銭報酬と社会的報酬の間に自覚的な動機づけの効果の差が認められなかったのに対して、少年グループ(8-14 歳)では社会的報酬により強く動機づけられたことを報告している(Wang, Liu, & Shi, 2017). 一方で、両グループともに、金銭報酬条件と社会的報酬条件の間の正答率および選択反応時間に差は認められなかったことが明らかにされており、外発的動機づけの効果として社会的報酬または金銭報酬の優位性は認められていない。また、金銭報酬と社会的報酬の脳内処理過程については、機能局在の観点から fMRI を用いた研究が進められており、金銭報酬と社会的報酬は、脳内において共通通貨としてヒトの報酬系である線条体を賦活させることが報告されている(Izuma, Saito, & Sadato, 2008, 2010; 筒井・渡邊, 2008; Wake & Izuma, 2017).

上記の点から、スポーツ指導の現場における賞賛や叱責に代わる外発的動機づけの方法として本研究でも金銭報酬・金銭罰を用いた。

1.5 スポーツ科学分野における ERP 研究

スポーツ科学分野において ERP は、心理学分野の発展学問として動機づけ等に焦点を当てたスポーツ心理学領域、運動と注意といった能動的な認知機能の関係に焦点を当てた運動生理学領域で、ヒトの心的過程を定量的に評価する研究手法として用いられている。

スポーツ心理学領域では、個人特性に着目した研究が進められている。競争相手の可視・不可視が競争に対する心理的構えを反映する CNV に及ぼす影響について検証した研究から、競争意欲が低いグループでは競争相手が不可視の事態で CNV は大きく反応時間は短縮したこと、一方で、競争意欲が高いグループでは競争相手が可視の事態で CNV は大きかったことが明らかにされており、個人特性が競争事態における心理的構えの動機づけに影響を及ぼすことが示唆されている(Matsumoto & Sakuma, 2009)。

さらに、大学生アスリートを対象に競技性不安(sport anxiety scale 2: SAS2)と内因性のエラー検出機能の関係について検証した研究から、SAS2 得点が低いグループ(20 点以下)では、ストループ課題遂行中に第三者により成果を評価されるプレッシャー条件と評価されない統制条件で ERN の振幅について差は見られなかった。一方で、SAS2 得点が高いグループ(35 点以上)では、プレッシャー条件で ERN が大きかったことが明らかにされており、個人特性として競技性不安の高い者は、プレッシャー事態においてエラー検出機能が亢進することが明らかにされている(Masaki, Maruo, Meyer, & Hajcak, 2017)。

スポーツ科学分野における個人特性に着目した研究をさらに発展させる上で、研究の根幹となる ERP の特徴や機能に関する知見の蓄積が今後一層必要と考えられる。

1.6 本論文における研究課題および目的

これまでの、ERP を動機づけ効果の指標として用いた研究で明らかにされてきたように、スポーツ場面における注意を向ける、身体を操作する、結果を予測するといった個々の心の過程に対応した ERP を測定することで、賞罰や主観的な達成見込みが動機づけに及ぼす影響について、時系列的且つ定量的に評価することが可能になると考えられる。

一方で、従来の ERP 研究には、スポーツ場面で応用する上で解決すべき課題が 2 点残されている。1 点目は、成功確率が動機づけに及ぼす影響について着目した研究の多くが、ギャンブル課題を用いている点である。ギャンブル課題では、課題の成果が対象者の努力・パフォーマンスに帰属せず偶然に決定される為に、対象者の選択行動に伴う上手くやれたかもしれない、失敗したかもしれないといった主観的な手応えが生じない。つまり、選択肢の数に成功確率が依存する客観確率が動機づけに及ぼす影響についてこれまで検証がなされてきたが(Holroyd & Coles, 2002; Umemoto & Holroyd, 2017; Walsh & Anderson, 2012), Atkinson モデルで挙げられる主観確率に基づく主観的な達成見込みが、動機づけに及ぼす影響については考慮されていない。もう一点の課題は、賞罰が内因性フィードバックに関わる動機づけに及ぼす影響について着目した研究の多くが、フランカー課題、ストループ課題を用いている点である(Maruo, Schacht, Sommer, & Masaki, 2016)。これらの課題では、対象者の努力・パフォーマンスが課題の成果に帰属する為、ギャンブル課題とは対照的に選択行動に伴い明確な主観的な手応えが生じることが予測される(Endrass et al., 2012)。一方で、難易度(成功確率)の操作が難しく、対象者にとって課題遂行が容易である為に、外因性フィードバックが課題を遂行する上で重要にならない。つまり、複雑で難易度の高い技能・戦略の習得を目的としたスポーツ指導の場面から乖離していると考えられる。

ギャンブル課題および認知的競合課題は、個々の心的過程と生理反応の明瞭な対応関係を明らかにする上で有効な研究手法と考えられるが、スポーツ指導の現場に応用する上で、スポーツ場面に則した実験デザインの構築が必須と考えられる。

以上の点から、本研究では Atkinson モデルで報告されてきた主観的手応えに着目することで、従来の ERP 研究と比較してより実際のスポーツ場面に則した実験デザインを新たに構築し、主観的な達成見込みと動機づけの関係について検証する。さらに、行動選択に随伴する成果の誘因価を、外発的に高める方法としてオペラント条件づけ理論で報告される賞罰に焦点を当て、主観的な達成見込みの操作と賞罰の組み合わせが動機づけの効果に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。外発的動機づけの効果の指標として ERP を計測することで、スポーツにおける競争の場面、自身のプレーに対する主観的評価の場面、他者の客観的評価に対する評価の場面といった時間的に独立した個々の局面における賞罰設定の有効性について検証した。上記の目的達成に向けて、スポーツ場面で生じる個々の局面の時系列的観点から、以下の3つの研究課題を設けた。

(1) 主観的な勝ちの見込みの高低が課題遂行の動機づけに及ぼす影響について

研究1では、自身の調子に基づく、試合や練習全体を通じた主観的な勝ちの見込みと動機づけの関係に着目した。対人型スポーツの競争場面を模した認知課題を設け、勝率を統制し主観的な達成見込みを操作することで、勝ちの見込みの高低が課題遂行に関わる動機づけ効果に及ぼす影響について、CNV(心理的構え)、FB-P3(注意資源の配分)を指標に用い明らかにすることを目的とした。

(2) 賞罰を用いた動機づけが内因性フィードバックに及ぼす影響について

研究2では、プレーの自己評価と、指導者から与えられる外因性フィードバックの関係に着目した。従来の研究と比較して達成見込みが低く(難易度が高く)、自身のエラーの意識的な気づきが難しい学習場面を設けた。そのことにより、報酬や罰の設定が内因性フィードバックに関わる動機づけ効果に及ぼす影響について、ERN(エラーの検出)、Pe(エラーの意識的な気づき)を指標に用い明らかにすることを目的とした。

(3) 報酬獲得の見込みと賞罰が外因性フィードバックの予期・期待、評価に及ぼす影響について

研究3では、主観的な報酬獲得の見込みの高低と、指導者から与えられる外因性フィードバックの組み合わせの影響に着目した。従来の研究では検証されてこなかった意識的な報酬期待と罰予期が、外因性フィードバックに関わる動機づけ効果に及ぼす影響について、SPN(予期・期待)、RewP(成功の評価)を指標に用い明らかにすることを目的とした。

1.7 本研究の意義

研究課題 1, 2, 3 の検証に伴い、個人の主観的な体験である動機づけが、スポーツ場面で生じる個々の局面にもたらす効果の有無および大小について、ERP といった神経生理学的指標との対応関係に基づき解明することが出来る。さらに、動機づけの効果について主観的な達成見込み(勝ちの見込み、報酬獲得の見込み)の観点から定量的な解明を行い、これまでに報告されてきた Atkinson モデルで取り上げられる適度な目標達成の困難度について比較検証することで、スポーツ場面での指導をはじめとした現場で用いられる賞賛・叱責の配分、タイミング、課題の難易度設定について科学的な根拠を提言出来る。また、本研究での ERP 研究の知見が、スポーツ場面への適用方法として、課題の成功確率の観点から新たな提案が期待出来る。

第2章【研究1】主観的な勝ちの見込みの高低が課題遂行の動機づけに及ぼす影響について

2.1 背景

スポーツ選手、アスリートに対するインタビューでは、今後のパフォーマンスを占う指標として「調子」という言葉が頻繁に使われている。しかしながら、調子の良し悪しとは感覚的な表現として用いられる個人の主観的な経験であり、客観的には形容し難いものである。学術的に調子の良し悪しは、主に身体状態と事態の流れ・兆候に分類されており、スポーツやギャンブルにおいて直前の成功が直後の成功確率を高めるホットハンド現象(Hot Hand)として、行動科学領域において関心を集めている(Raab, Gula, & Gigerenzer, 2012; Raab & MacMahon, 2015; Yaari & Eisenmann, 2011)。

ホットハンド現象は、連続した成功がさらなる成功を生み出す現象を説明しており、特にスポーツの領域において成功体験は心理面に良い影響をもたらし、直後のパフォーマンスを高め成功確率を上げるものとして知られている(Braga, Mata, Ferreira, & Sherman, 2016; Shea, 2014)。バスケットボールについては、大多数のバスケット選手やコーチ、観客によってホットハンド現象の存在が信じられている(Gilovich, Vallone, & Tversky, 1985)。さらに、年長者ほど年少者と比較してホットハンド現象の存在を信じる傾向が高いことも報告されている(Castel, Rossi, & McGillivray, 2012)。しかしながら、ホットハンド現象が説明する直前のシュートの成否が有意に直後のシュートに影響を与えるという学際的根拠は報告されていない。そのため、数理心理学の領域においてホットハンド現象は誤謬と認識されている。

Gilovich ら(1985)は、91%に至るバスケットボールのファンがホットハンド現象の存在を信じていることを明らかにし、その理由として主に確証バイアスとクラスターの錯覚とい

った2つの認知バイアスの影響を示唆している。確証バイアスは、自身にとって望ましく納得し易い情報を無意識的に取捨選択し、偏った判断を行ってしまうヒトの行動傾向を説明している。また、クラスターの錯覚は、取得できる情報が実際にはランダム分布しているにも関わらず、不十分なサンプル数に基づく情報から誤った一定の法則(相関、パターン)を認識してしまうヒトの行動傾向を説明している(箱田ほか, 2010)。これらの認知バイアスは、バスケットボールにおいてファンは常に勝つ試合が見たいといったバイアスを受けていること、ファンは選手の調子の兆候について少ない数プレーや試合から評価しているといった不規則に生じる出来事の因果関係を正しく判断できていないことを説明している。

一方で Raab ら(2012)は、スポーツ科学を専攻する 91%の大学生がホットハンド現象の存在を信じていることを報告しており、さらにバレーボールのスパイクの成功に関わるホットハンド現象の存在を明らかにしている。さらに Raab ら(2012)は、チームのコーチや中心選手は選手たちのパフォーマンスのばらつきに敏感であり、ホットハンド状態を示す選手を戦略的観点から起用する傾向があることを報告している(ボール、トスの分配頻度の偏り)。ホットハンド現象の信仰は、自身が所属するもしくは応援しているお気に入りのチームが勝って欲しいという選手やコーチ、観客の強い願望によって生じていると考えられており、ホットハンド現象の認知は、選手、コーチ、観客の試合に対するモチベーション(動機づけ)に関係していることが示唆されている(Braga et al., 2016)。

動機づけに関わる楽しい、辛いといった感情の喚起過程を説明する代表的な理論として、Schacter-Singer 情動二要因理論が挙げられる(Friedman, 2010; Schachter & Singer, 1962)。この理論は、ヒトの主観的な感情体験(幸せ、幸せでない、楽しい、楽しくない、良い感じ、悪い感じ)は、その事象が起こる要因を推察する過程で生じていることを説明している。これらの知見から、ホットハンド現象の存在の有無に関わらず、勝ち続ける、負け続けるといった

偏った競争事態が、ヒトの心理状態や行動選択に影響している可能性を示唆している

(Attali, 2013; Ayton & Fischer, 2004; Burns & Corpus, 2004).

EEG から抽出される ERP は、ヒトの心的過程を脳活動に基づき定量的に評価するための指標である。CNV は準備により生じる代表的な ERP であり、反応を求める刺激に対する予期や運動準備といった心理的構えの心的過程を反映すると考えられている(C. H. Brunia, 1988; C. H. Brunia & E. J. Damen, 1988; Connor & Lang, 1969; Loveless & Sanford, 1974)。さらに、CNV の時系列情報に対する主成分分析(temporal principal component analysis: temporal PCA)によって、前期 CNV 成分と後期 CNV 成分に分離できることが報告されている(Dien, 2010; van Boxtel, 1998)。前期 CNV と後期 CNV の頭皮上分布は異なっており、それぞれの成分が異なる心的過程を反映していると考えられている。前期 CNV 成分は、予告刺激に対する定位反応を反映し、後期 CNV 成分は、直後に訪ずれる命令刺激の予期と命令刺激に対する運動準備を反映しているとされている(Babiloni et al., 2004; C. H. Brunia, S. A. Hackley, G. J. M. van Boxtel, Y. Kotani, & Y. Ohgami, 2011; Hultin et al., 1996)。

さらに、FB-P3 は勝敗や成功・失敗といったフィードバック呈示に対する注意資源の配分を示していると考えられている。FB-P3 の特徴は、古典的な P300(P3b)に似ており、フィードバック情報に対する注意資源の配分、動機づけの程度を反映する指標と考えられている(Duncanjohnson & Donchin, 1982; S. Sutton et al., 1965)。

ERP の計測は、ヒトの動機づけや心理状態の変化といった脳内の心的過程を定量的に明らかにする上で有用な研究方法である。さらに Schacter-Singer 情動二要因理論によれば、自身の行動の結果を予測出来ない環境下において、外部から与えられるフィードバックは、自身の感情やパフォーマンス(行動の良し悪し)を評価するための極めて重要な情報になると考えられる。そこで、研究 1 では、競争事態におけるホットハンド状態の喚起を目的と

し、対人型の勝負局面において連続した勝利体験が生じる事態を設け、ホットハンド状態が心理的構えを反映する CNV や、フィードバックの評価を反映する FB-P3 に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

ここでは、競争型の予告反応時間課題(Walter et al., 1964)を用いた。この課題は、行動に向けた準備と外因性フィードバックの評価の区別された期間によって構成されており、被験者には S2 刺激の呈示に対して対戦者よりも素早くボタン押しを行い勝利することを求めた(Figure 7)。正負の異なる心理状態を設けるために 3 条件が設けられた。3 条件は、ニュートラルな勝敗状態として実際のパフォーマンスに則る勝敗結果のフィードバックが呈示される(actual-feedback: AF)条件、擬似的なホットハンド状態としてパフォーマンスに関係なく勝ち傾向のフィードバックが呈示される(winning-streak: WS)条件、擬似的なコールドハンド状態(ホットハンドとは逆の状態)としてパフォーマンスに関係なく負け傾向のフィードバックが呈示される(losing-streak: LS)条件。それぞれの実験条件は勝率によって特徴づけられた。AF 条件における勝率はおよそ 50%、WS 条件における勝率は 80%、LS 条件における勝率は 20%であった。WS 条件と LS 条件における勝ち続ける、負け続ける順序は統制された(3 試行目, 7 試行目, 13 試行目, 17 試行目, 23 試行目, 27 試行目が 20%で生じる勝ち・負け)。競争事態において勝利することは生物学における報酬に等しく快感情を喚起させる、負けは罰則に等しく不快感情の喚起および交感神経活動を亢進させると考えられており(Schultz, 2015)、勝ち傾向の競争事態で生じるホットハンド状態の認知によって快感情が喚起されることで課題遂行に向けた動機づけは高まり、準備の期間における心理的構えは向上することが予想された。一方で、負け傾向の競争事態では覚醒水準が高まることでフィードバックに向けた動機づけが高まり、フィードバックに対する注意資源の配分は高まることが予想された。

仮説

- (a) 心理的構えを反映する CNV と快感情得点は, 勝ち傾向の WS 条件で高まる.
- (b) フィードバックに対する注意資源の配分を反映する FB-P3 と覚醒度得点は, 負け傾向の LS 条件で高まる.

2.2 方法

(1) 被験者と実験課題

右利き 18 名(女性 9 名)の一般健常者(平均年齢 21.4 歳, $SD = 0.4$)を対象とした。本研究は立命館大学倫理委員会の承認(IRB-2012-002)の基に実施され、倫理委員会の規定に沿ったインフォームドコンセントを全ての参加者から獲得した。全被験者の視力・矯正視力は正常であり、過去に精神的な疾患と判断された者や頭部に受傷経験のある者はいなかった。すべての実験は、午前 9 時から午後 8 時の間に実施し、瞬き等のアーティファクトにより十分な加算回数が得られなかった 3 名のデータは解析から除外された。

被験者は、対戦者と共に予告反応時間課題(Walter et al., 1964)を行った。この課題は予告刺激(S1: スピーカーから音を呈示)、命令刺激(S2: モニター中心に黄色の円を呈示)、フィードバック刺激(S3: 被験者が勝ちの場合はモニター右側に緑の円を呈示)から構成されている。被験者は AF 条件, WS 条件, LS 条件の 3 条件をそれぞれ行った。Figure 8 は予告反応時間課題の 1 試行の流れを示している。

スピーカーおよび 14 inch の CRT モニターは、予告刺激、命令刺激、フィードバック刺激の呈示のため被験者の 80 cm 前方に設置された。被験者は全ての条件で、対戦者の右側に座るように指示された。対戦相手は実験を通して同じ人物が行い、性別は被験者と同じ者が選ばれた。実験開始からおおよそ 15 分の練習を実施し、課題の説明を行った。毎試行の始まりに、競争を始める合図として予告刺激 S1 がスピーカーから呈示された。CRT モニターの中心にボタン押しを求める命令刺激 S2 として、黄色の円が S1 刺激の呈示から 2000 ms 後に呈示された。被験者は、右手親指で可能な限り S2 刺激の呈示に対し早くボタンを押すことを求められた。全ての条件で、勝敗結果を示す情報としてフィードバック刺激 S3 が対戦者もしくは被験者の先行するボタン押し後 80 ms 後に呈示された。被験者の勝ちを

示すフィードバック刺激として、緑色の円が CRT モニター右側に呈示され、対戦者の勝ちを示すフィードバック刺激として、青色の円が CRT モニター左側に呈示された。S2, S3 刺激の呈示に用いたすべての円は直径 5 cm であった。

被験者には、勝敗結果が操作されていること、勝率の異なる 3 条件(AF 条件, WS 条件, LS 条件)が設けられていることは知らされなかった。それぞれの条件で 30 試行(計 90 試行)が実施された。勝率が大きく偏らない競争事態において、中立の心理状態が喚起されると考えられた為、すべての被験者は AF 条件から予告反応時間課題を始めた。半数の被験者は、AF 条件-WS 条件-LS 条件の順序で課題を行った。残りの被験者は、AF 条件-LS 条件-WS 条件の順序で課題を行った。

それぞれの条件(30 試行)の終了毎に、気分の検査として二次元気分尺度(Sakairi, Nakatsuka, & Shimizu, 2013)への回答が求められた。すべての課題の終了後、被験者はフィードバック刺激の呈示内容について違和感がなかったか質問されたが、勝敗結果の操作について疑念を抱く者はいなかった。

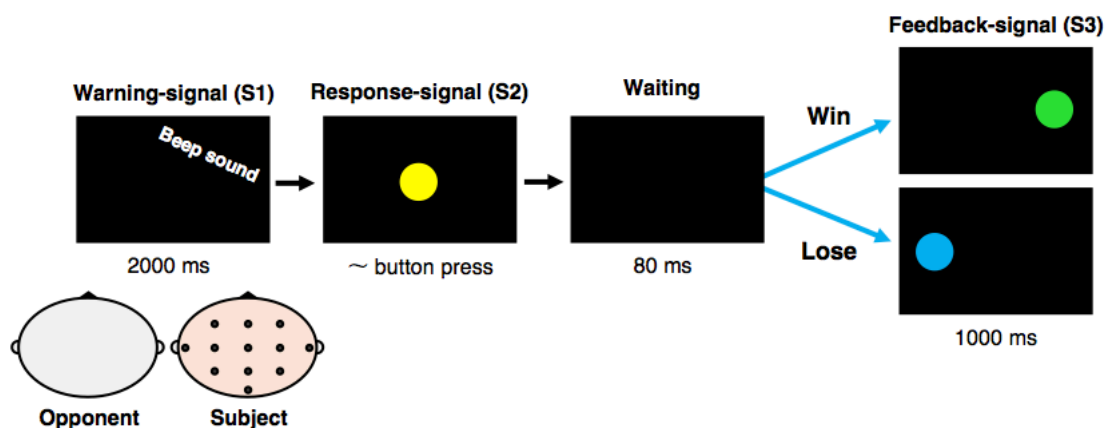


Figure 8. 予告反応時間課題の手順

(2) 心理指標の測定

二次元気分尺度により、それぞれの実験条件で生じる感情状態を測定した(Sakairi et al., 2013). 二次元気分尺度は, Russel and Barrett(1992)によって提唱される気分の二次元モデルに則り作成されたものであり, 快-不快次元と興奮-弛緩次元で構成されている. この気分尺度は計 8 項目で構成され, 回答方法は「0 = 全く違う」, 「2 = 少しそう」, 「3 = ややそう」, 「4 = ある程度そう」, 「5 = かなりそう」, 「6 = 非常にそう」の 6 件法である. 快-不快次元と興奮-弛緩次元のそれぞれで, 最小得点は-20 点, 最大得点は 20 点である.

(3) 脳波データの測定

EEG は, Neuro-Fax EEG-4514(Nihonkohden Corp., Tokyo, Japan)を用いて計測された. EEG は国際 10-10 法に則り 12 部位(Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, T3, T4, Oz)から Ag/AgCl 電極を用いて計測された. 脳波はサンプリングレート 200 Hz(時定数 5 s, ローパスフィルター 30 Hz)で記録された. グラウンド電極は前額部とされた. 基準電極は両耳朶(A1, A2)とされた. Oz 及び T3, T4 電極は解析から除外され, 残りの 9 部位(Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4)を ERPs の左右半球間の比較, 前頭部-後頭部間の比較に用いた(Freunberger, Klimesch, Doppelmayr, & Holler, 2007; Leynes, Allen, & Marsh, 1998; Polich, 2007).

(4) 分析およびデータの処理

平均反応時間は, S2 呈示からボタン押しまでの時間とした. さらに, 反応時間の変動係数(CV-RT)を求め, パフォーマンスの一貫性の指標とした(Deary & Der, 2005; Kofler et al., 2013; Wawrzyniak, Hamer, Steptoe, & Endrighi, 2016). また, 100 ms を下回る反応は, 焦早反応として回数を記録した(Lamme & Roelfsema, 2000; Swensson, 1988). 被験者毎に平均反応時

間の 3SD を上回る反応は、遅延反応として回数を記録した(Miller, 1991). 快-不快, 興奮-弛緩の二次元の感情状態は、二次元気分尺度によりそれぞれの条件で記録した.

行動指標および心理指標のデータ(RT, CV-RT, 焦早反応数, 遅延反応数, 快適度得点, 興奮度得点)は、繰り返しのある一元配置分散分析(repeated-measures ANOVA)により実験条件間(AF, WS, LS)で比較した. 有意な主効果が見られた場合には、Bonferroni 法により多重比較を行った. 有意水準は 5%未満とし、全ての統計処理は SPSS Statistics 24.0(IBM Corp., Armonk, New York, United States)により行われた.

(5) 脳波データの処理

CNV は、S1 呈示を基点に S1 呈示前 250 ms から S2 呈示後 250 ms までの 2500 ms 区間が解析対象として被験者毎に抽出された. FB-P3 は、S3 呈示を基点に S3 呈示前 250 ms から S3 呈示後 350 ms までの 750 ms 区間が解析対象として被験者毎に抽出された. アーティファクト(瞬きや筋電)を含む試行は解析から除外された. また、焦早反応・遅延反応と判断された試行回は脳波の解析から除外された. 100 μ V 以上の試行を除いた後、加算平均法により AF 条件, WS 条件, LS 条件の CNV, FB-P3 をそれぞれ算出した. 加算回数の基準は最小 20 試行とした. CNV の平均加算試行数は、AF 条件で 24.5 回, WS 条件で 24.8 回, LS 条件で 23.4 回であった. FB-P3 の平均加算試行数は、AF 条件で 24.7 回, WS 条件で 24.3 回, LS 条件で 21.6 回であった.

(6) CNV データの処理

命令刺激の予期および運動準備を反映する CNV について、AF 条件, WS 条件, LS 条件の 3 条件間で比較した. S1 呈示前の 250 ms の平均電位を基線とし、S2 呈示前の 500 ms の平均

電位を求め、CNV の解析対象区間とした(Frömer, Sturmer, & Sommer, 2016). CNV 振幅に対し、実験条件(AF, WS, LS) × 部位(前頭部, 中心部, 後頭部) × 半球(左半球, 中央, 右半球)を要因とした多変量分散分析(MANOVA)を実施した. 測定された全てのデータに対し、主効果または交互作用が有意であった場合には、Bonferroni 法により多重比較を行った.

さらに、CNV から ERP 成分を分離させるため、CNV の時系列情報に対し SPSS(version 24.0)を用いて、共分散行列プロマックス回転法による主成分分析(PCA)を行った(Dien, 2010; van Boxtel, 1998). 主成分分析を行うため、CNV は 200 Hz から 25 Hz にダウンサンプリングを行った. PCA は、64 変数(25 Hz のサンプリングタイムで 2500 ms 分のデータ数) × 405 観測数(3 条件 × 9 電極部位 × 15 人の被験者)で構成される CNV のデータ行列に対して実施した. PCA により抽出されたそれぞれの ERP 成分について、主成分負荷量と主成分得点が算出された. 記録された CNV は CNV, PCA により抽出された CNV は主成分 CNV と名付けた. CNV 同様に、主成分 CNV の成分得点に対して、実験条件(AF, WS, LS) × 部位(前頭部, 中心部, 後頭部) × 半球(左半球, 中央, 右半球)を要因とした多変量分散分析(MANOVA)を実施した. 測定された全てのデータに対し、主効果または交互作用が有意であった場合には、Bonferroni 法により多重比較を行った.

(7) FB-P3 データの処理

フィードバック情報の重要性を反映する FB-P3 について、AF 条件、WS 条件、LS 条件の 3 条件間で比較した. S3 呈示前の 250 ms の平均電位を基線とし、S3 呈示後の 250-450 ms の平均電位を求め、FB-P3 の解析対象区間とした. FB-P3 振幅に対し、実験条件(AF, WS, LS) × 部位(前頭部, 中心部, 後頭部) × 半球(左半球, 中央, 右半球)を要因とした多変量分散分析

(MANOVA)を実施した。測定された全てのデータに対し、交互作用が有意であった場合には、Bonferroni 法により多重比較を行った。

2.3 結果

(1) 行動指標および心理指標の結果

行動指標の結果を Figure 9 に示す。AF 条件における勝率は 49.26%, WS 条件における勝率は 80%, LS 条件における勝率は 20%であった。反応時間について実験条件間で有意な差は見られなかった(AF: 191.57 ms, WS, 194.32 ms; LS: 190.75 ms); $F(2, 28) = .64, p = .54$ 。一方で, CV-RT について実験条件の有意な主効果が見られた(AF: 13.39%, WS: 12.80%, LS: 15.22%); $F(2, 28) = 9.12, p < .001, \eta^2 = .58$ 。LS 条件の CV-RT は, AF 条件, PW 条件と比較して有意に大きかった($p = .043, p < .001$)。さらに, 焦早反応数について実験条件の有意な主効果が見られた(AF: 0.47 試行, WS: 0.60 試行, LS: 1.6 試行); $F(2, 28) = 5.66, p = .009, \eta^2 = .29$ 。LS 条件における焦早反応数は, AF 条件と比較して有意に多かった($p = .0072$)。遅延反応数について実験条件間で有意な差は見られなかった(AF 条件: 0.27 試行, WS 条件: 0.47 試行, LS 条件: 0.27 試行); $F(2, 28) = .51, p = .61$ 。

二次元気分尺度における快適度得点について, 実験条件の有意な主効果が見られた(AF: 4.13 点, WS: 4.47 点, LS: -0.67 点); $F(2, 28) = 8.84, p = .0014, \eta^2 = .39$ 。快適度得点は, AF 条件で LS 条件より, WS 条件で LS 条件より有意に高かった($p = .0036, p = .0199$)。一方で, 興奮度得点について実験条件間で有意な差は見られなかった(AF 条件: 2.67 点, WS 条件: 2.73 点, LS 条件: 3.40 点); $F(2, 28) = .22, p = .81$ 。

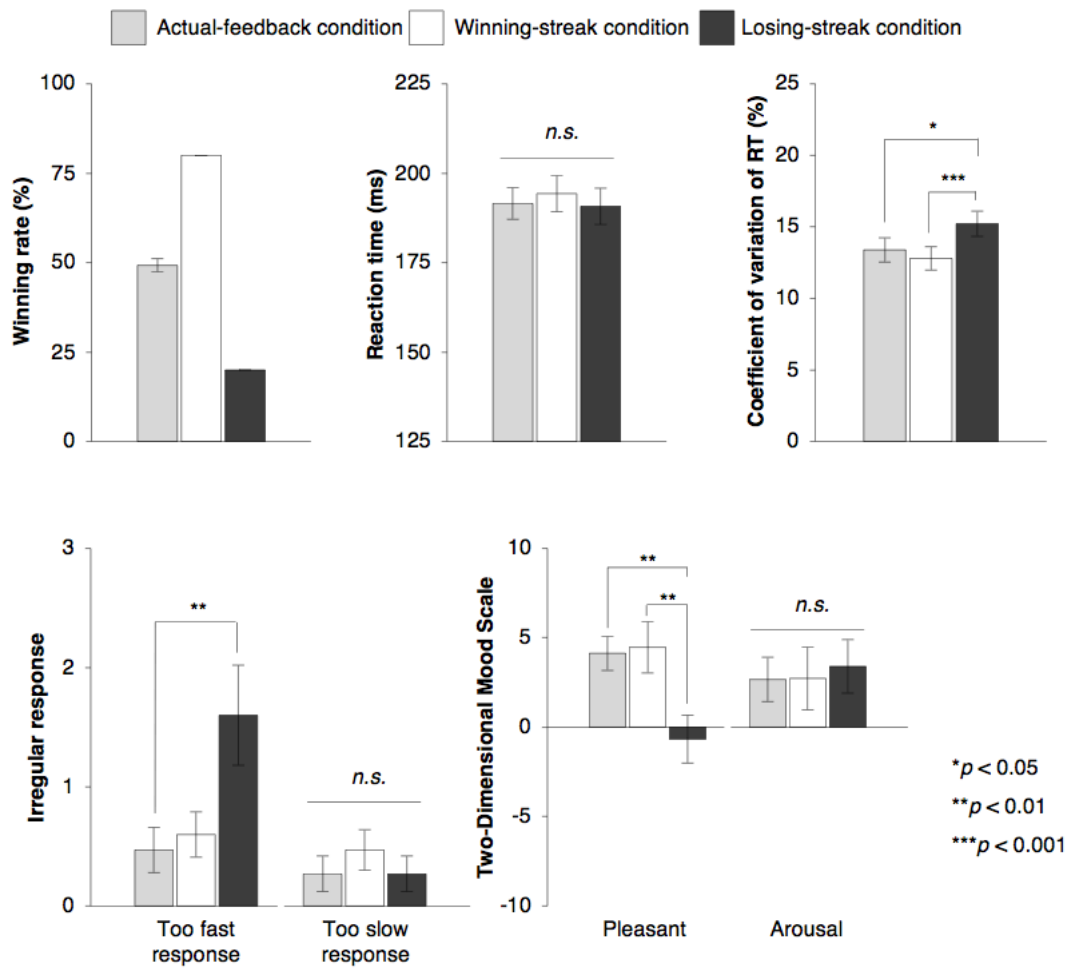


Figure 9. 行動指標および心理指標の結果

(2) CNV の結果

Figure 10 は, CNV の総加算平均波形を示している. S1 刺激呈示のおおよそ 500 ms 後から S2 刺激の呈示に向かって CNV と見られるランプ状の陰性方向に高まる電位活動が見られた. CNV について実験条件の有意な主効果が見られた(AF: $-5.37 \mu\text{V}$, WS: $-1.27 \mu\text{V}$, LS: $-6.38 \mu\text{V}$); $F(2, 28) = 4.77, p = .017, \eta^2 = .091$. LS 条件は WS 条件より有意に大きかった($p = .02$). さらに, CNV について部位の有意な主効果が見られた(前頭部: $-1.32 \mu\text{V}$, 中心部: $-6.68 \mu\text{V}$, 後頭部: $-5.51 \mu\text{V}$); $F(2, 28) = 8.78, p = .0011, \eta^2 = .086$. 中心部は前頭部より有意に大きく, 後頭部は前頭部より有意に大きかった($p = .004, p = .043$).

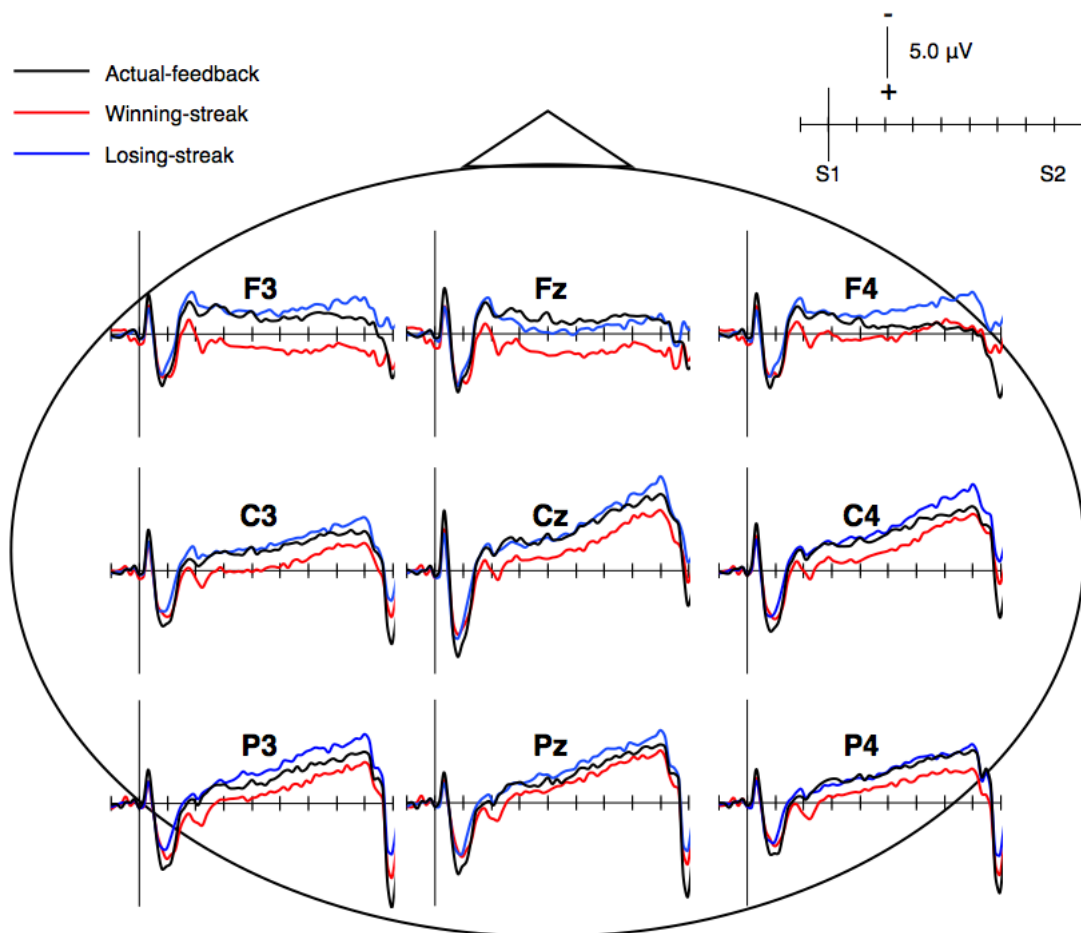


Figure 10. CNV 波形

(3) 主成分 CNV の結果

CNV に対する PCA により、初期の寄与率の計 93.14% に至る 3 つの主成分が抽出された。Figure 11 は、PCA により抽出された 3 つの主成分の因子負荷量を示している。因子負荷量が示す波形の潜時、形態、極性に基づき、主成分 1 および主成分 2 が CNV の構成成分と考えられた。主成分 1(PC1: 初期の寄与率 81.17%) は、S1 の呈示から S2 呈示に向けて増加することから、後期 CNV 成分と考えられた。主成分 2(PC2: 初期の寄与率 7.27%) は、S1 の呈示により立ち上がった後に減少することから、前期 CNV 成分と考えられた。主成分 3(PC3: 初期の寄与率 4.68%) は、200 ms 付近でピークを迎えることから S1 呈示に対する P200 成分と考えられた。P200 (PC3)、前期 CNV (PC2)、後期 CNV (PC1) の主成分得点について、AF 条件、WS 条件、LS 条件の 3 条件間で比較した。

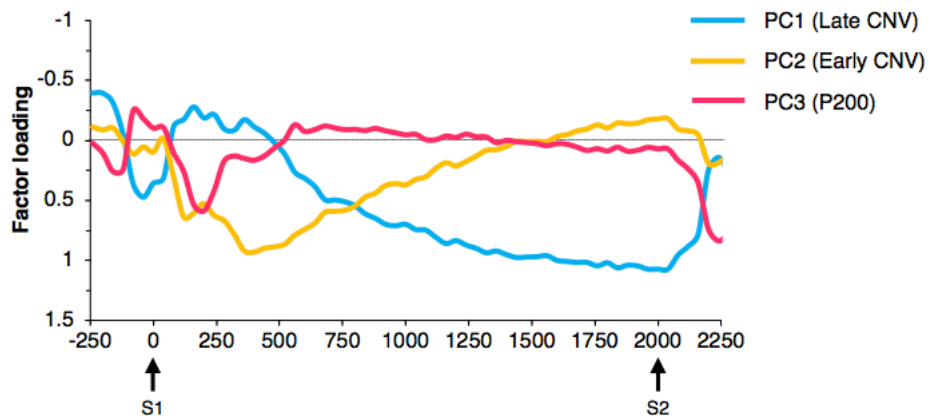


Figure 11. CNV の主成分波形

(4) PC3(P200)の結果

Figure 12 は, P200 の因子負荷量に基づき示した主成分波形である. P200 の主成分得点について, 実験条件の有意な主効果が見られた(AF: 0.15 点, WS: -0.02 点, LS: -0.17 点); $F(2, 28) = 4.14, p = .027, \eta^2 = .696$. AF 条件は, LS 条件より有意に大きかった($p = .020$). また, P200 の主成分得点について部位の有意な主効果が見られた(前頭部: -0.17 点, 中心部: -0.11 点, 後頭部: 0.28 点); $F(2, 28) = 15.09, p < .001, \eta^2 = .102$. 後頭部は, 前頭部および中心部より有意に大きかった($p < .001, p < .001$).

さらに P200 の主成分得点について, 実験条件 \times 半球の有意な交互作用が見られた; $F(4, 56) = 3.16, p = .021, \eta^2 = .021$. 左半球における WS 条件(0.14 点)は, LS 条件(0.18 点)より有意に大きかった($p = .036$). また, 右半球における AF 条件(0.35 点)は, LS 条件(-0.098 点)より有意に大きかった($p = .012$).

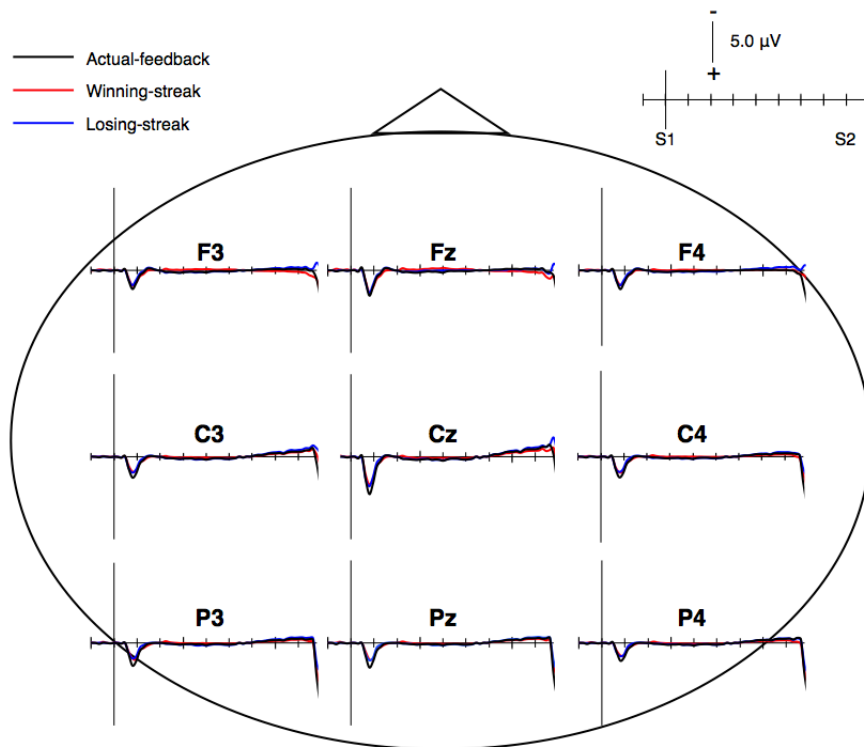


Figure 12. P200 の主成分波形

(5) PC2(前期 CNV)の結果

Figure 13 は、前期 CNV の因子負荷量に基づき示した主成分波形である。前期 CNV の主成分得点について、実験条件の主効果は有意傾向であった(AF: -0.096 点, WS: 0.33 点, LS: -0.2 点); $F(2, 28) = 2.79, p = .079, \eta^2 = .095$.

また、前期 CNV の主成分得点について、実験条件 × 部位の有意な交互作用が見られた; $F(4, 56) = 2.55, p = .049, \eta^2 = .11$. 中心部における LS 条件(-0.25 点)は WS 条件(0.38 点)より有意に大きかった($p = .039$).

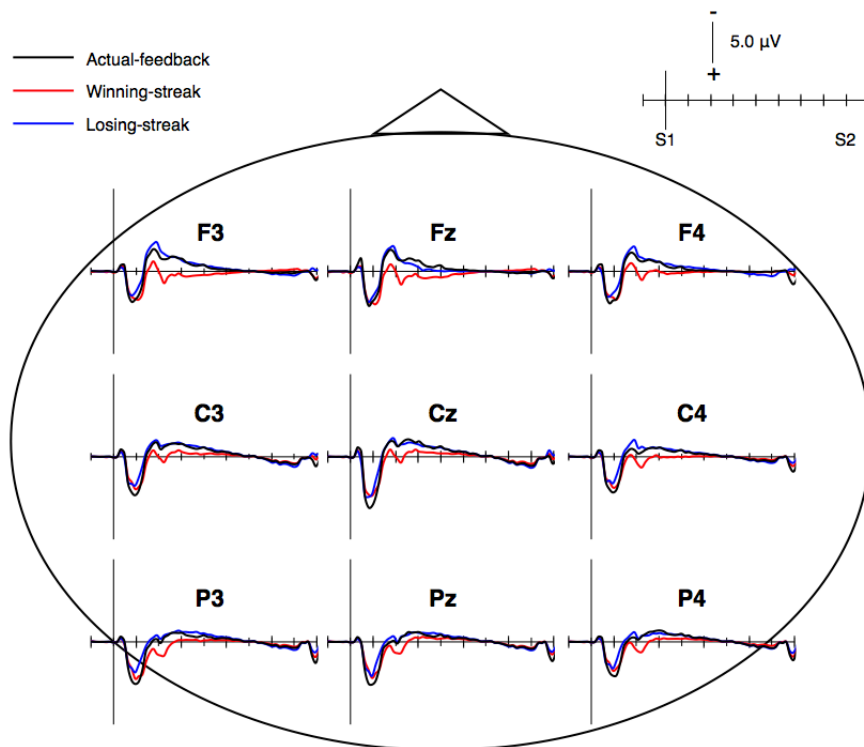


Figure 13. 前期 CNV の主成分波形

(6) PC1(後期 CNV)の結果

Figure 14 は、後期 CNV の因子負荷量に基づき示した主成分波形である。後期 CNV の主成分得点について、実験条件で有意な主効果が見られた(AF: -0.12 点, WS: 0.36 点, LS: -0.24 点); $F(2, 28) = 5.56, p = .009, \eta^2 = .11$. LS 条件は, WS 条件より有意に大きかった($p = .013$). さらに, 部位の有意な主効果が見られた(前頭部: 0.304 点, 中心部: -0.18 点, 後頭部: 0.12 点); $F(2, 28) = 7.39, p = .0027, \eta^2 = .077$. 中心部は前頭部より有意に大きかった($p = .0085$). また, 後期 CNV の主成分得点について, 実験条件 \times 半球の有意な交互作用が見られた; $F(4, 56) = 4.34, p = .0039, \eta^2 = .013$. 左半球における AF 条件(-0.23 点)および LS 条件(-0.34 点)は, WS 条件(0.475 点)より有意に大きかった($p = .0040, p = .0014$). さらに, 中央における LS 条件(-0.23 点)は, WS 条件(0.34 点)より有意に大きかった($p = .0197$).

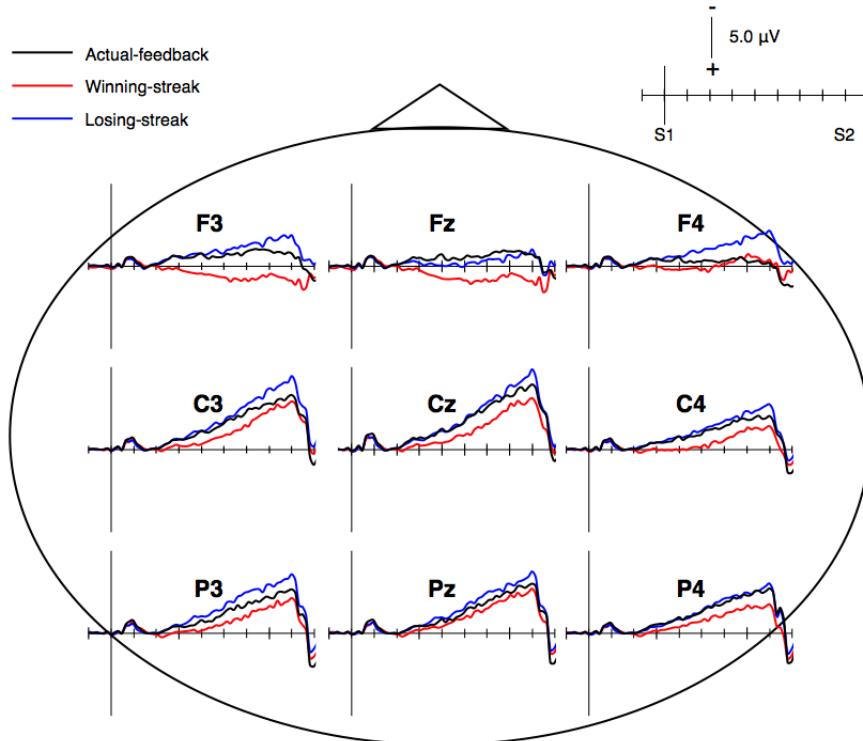


Figure 14. 後期 CNV の主成分波形

(7) FB-P3 の結果

Figure 15 は、各条件における FB-P3 の総加算平均波形を示している。S3 刺激呈示から 350 ms 時点において FB-P3 と見られる陽性方向に高まる電位活動が見られた。FB-P3 について実験条件の有意な主効果が見られた(AF 条件: 22.35 μV , WS 条件: 20.74 μV , LS 条件: 27.09 μV); $F(2, 28) = 4.61, p = .019, \eta^2 = .13$. LS 条件は WS より大きい傾向だった($p = .062$). また, FB-P3 について部位の有意な主効果が見られた(前頭部: 26.74 μV , 中心部: 23.12 μV , 後頭部: 20.31 μV); $F(2, 28) = 20.13, p < .001, \eta^2 = .12$. 前頭部は中心部および後頭部($p = .011$)よりそれぞれ有意に大きかった($p < .001$). さらに, FB-P3 において半球の有意な主効果が見られた(左半球: 21.69 μV , 中央: 25.62 μV , 右半球 22.87 μV); $F(2, 28) = 16.32, p = .003, \eta^2 = .48$. 中央は左半球および右半球よりそれぞれ有意に大きかった($p < .001, p = .011$).

また, FB-P3 について実験条件 \times 部位の有意な交互作用が見られた; $F(4, 56) = 4.54, p = .003, \eta^2 = .020$. 前頭部における LS 条件(32.15 μV)は, WS 条件(22.22 μV)より有意に大きかった($p = .038$). さらに, FB-P3 について部位 \times 半球の有意な交互作用が見られた; $F(4, 56) = 10.698, p < .001, \eta^2 = .028$. 前頭部における中央の FB-P3(28.78 μV)は, 左半球(25.57 μV)および右半球(25.88 μV)よりそれぞれ有意に大きかった($p = .029, p < .001$). また, 中心部における中央の FB-P3(27.59 μV)は左半球(19.95 μV)および右半球(21.83 μV)よりそれぞれ有意に大きかった($p = .020, p < .001$).

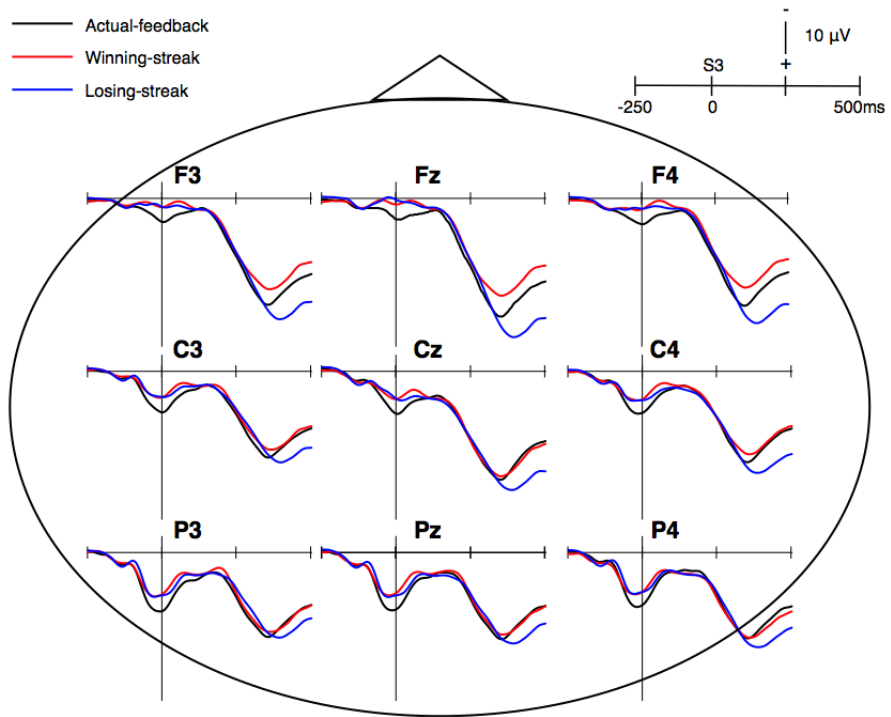


Figure 15. FB-P3 波形

2.4 考察

本研究の勝率は、ニュートラルな勝敗状態とした AF 条件で 49.26%、勝ち傾向であった WS 条件で 80%、負け傾向であった LS 条件で 20%だった。さらに、第三者による勝率の操作が本研究の重要な特徴であったが、すべての被験者はフィードバックの内容に対し懐疑的ではなく、3 条件(異なる勝率条件)が設けられていたことは認識していなかった。反応時間は条件間で差が見られなかった。一方で、パフォーマンスの一貫性の指標として記録した CV-RT は、AF 条件、WS 条件で LS 条件より小さかった。さらに、LS 条件と比較して、AF 条件および WS 条件で高い快感情得点が記録された。これらの結果から、3 条件下で計測された ERPs の違いは、それぞれの条件で異なる勝率によるものと考えられた。さらに、CNV に対し PCA を行うことで、P200, Early CNV, Late CNV を反映する主成分が抽出された。連続した勝利や敗北事態が、課題に対する心理的構えやフィードバック情報の重要性に及ぼす影響について、試行をつなぐ合間の期間(休息期間)、競争期間、成果の評価の期間の観点から考察する。

仮説 1 は、CNV と快感情得点は勝ち傾向の WS 条件で高まるであった。仮説に則り LS 条件と比較して AF 条件と WS 条件で快感情得点は高かった。さらに、LS 条件と比較して AF 条件と WS 条件で CV-RT は小さかった。これらの結果は、高い勝率が快感情を喚起させること、注意に関わる認知機能(反応時間)の一貫性を高めることを示唆している。さらに、P200 は WS 条件の左半球で最も大きかった。P200 はトップダウン型の注意機構(受動的な注意資源の源配分を行うボトムアップ型の注意機構に対して、トップダウン型の注意機構は能動的に注意資源の配分を行う)を反映していると考えられている(Wlotko & Federmeier, 2007)。しかし、研究 1 で観察された WS 条件における P200 の増大は、競争に対する心理的構えの増大を反映しているわけではない。何故なら、本研究で計測された P200 は注意を喚

起させる外因性刺激 S1 により誘発されたもので、予期した刺激との不一致や驚きを反映していたと考えられる(K. E. Crowley & Colrain, 2004; Ferreira-Santos et al., 2012). これまでの研究から、P200 は加齢により増大することが報告されている(Amenedo & Diaz, 1998, 1999; K. Crowley, Trinder, & Colrain, 2002). Amenedo and Diaz(1998)は、オッドボール課題を用いて非標的刺激により惹起される P200 が、中年(40-59 歳)や高年(60-86 歳)グループで、若年グループ(20-39 歳)より高まることを報告している. 加齢に伴う P200 の増大は、中年グループおよび高年グループにおいて、標的刺激と非標的刺激を分別する機能が低下することで、注意資源の配分が適切に行われなかった為と考えられた(Amenedo & Diaz, 1998). さらに Brown(2000)は、統合失調症患者を対象にオッドボール課題を実施することで、注意の観点から P200 の機能を報告している. その結果によると、非標的刺激により惹起される P200 および非標的刺激と標的刺激の P200 の差分は、統合失調症患者で有意に大きかった. これらのことから、非標的刺激と標的刺激の P200 の差分の大きさは、ヒトの適切な注意資源の配分量を反映していることが示唆されている(Brown, 2000). 本研究において S1 刺激は、被験者にとって試行の開始を知らせる唯一の合図であり、S2 刺激に対する十分な準備を行なう上で重要な情報と考えられた. これらの知見から、本研究で見られた LS 条件における P200 の減衰は、休息期間における心理的構えの高まり(S1 刺激の呈示に対する注意配分の増大)を反映していると結論づけられた.

また、仮説 1 とは異なり CNV は LS 条件で WS 条件より大きかった. さらに、中心部における LS 条件の前期 CNV は、WS 条件より大きかった. 前期 CNV は、S1-S2 反応課題において、S1 により惹起される定位反応であり、S2 に向けた認知処理活動の亢進を反映していると考えられている(C. H. Brunia & van Boxtel, 2001; Hart, Lucena, Cleary, Belger, & Donkers, 2012). また、前期 CNV は、S1 に対する動機づけの程度を反映していることが示唆されてい

る。陸上競技における「Get set」の合図である S1 の存在は、「Go」の合図である S2 に対する反応時間を短縮させることが報告されており(Sanders & Wertheim, 1973), S1 は対等な競争事態(勝率 49.26%の AF 条件)や負け傾向の競争事態(勝率 20%の LS 条件)において運動反応の準備を始める重要な手がかりであったと考えられた。これらの知見から、本研究で見られた LS 条件における前期 CNV の増大は、競争の初期段階における心理的構えの亢進を反映していると結論づけられた。

さらに、左半球における AF 条件と LS 条件の Late CNV は、WS 条件より大きかった。後期 CNV は、準備期間における速いボタン押し反応の為に心的構えを反映しているもので、陸上競技における「Get set」の合図である S1 の呈示後から来るべき「Go」の合図である S2 に対する予期を反映している。一方で、ボタン押しを求めない場合に後期 CNV は減少することから、RP が後期 CNV に重複していることが示唆されている(Bares, Rektor, Kanovsky, & Streitova, 2003; C. H. Brunia et al., 2011; C. H. Brunia & van Boxtel, 2001)。さらに、課題の難易度が高い事態で、後期 CNV は増大することが明らかにされている(Schevernels, Krebs, Santens, Woldorff, & Boehler, 2014)。また、反応時間と後期 CNV の相関関係についても報告されており、S2 に対する動機づけや反応時間の短縮に伴い CNV が増大することが明らかにされている(M. A. S. Boksem, Meijman, & Lorist, 2006; Falkenstein, Hoormann, Hohnsbein, & Kleinsorge, 2003)。しかしながら、本研究において反応時間について実験条件間で有意な差は見られなかった。一方で、LS 条件において尚早反応数の増大が見られた。この結果は、負けが連続する事態で速くボタンを押そうと試みたためと考えられた。これらの結果は、ホットハンド現象に則るものではなかったが、Schacter-Singer 情動二要因理論から説明することができる。予告反応時間課題において、被験者のパフォーマンスの評価は、外因性フィードバック(連続した勝ち、連続した負け)に委ねられており、Schacter-Singer 情動二要因理論

に基づけば、外因性フィードバックの内容に基づき自身の状態(良い, 悪い)を推測する過程で動機づけの程度が調整されていたと考えることができる。また、これらの結果は、連続して負けている事態を止めることは、連続して勝っている事態を維持するよりも動機づけられることを示唆している。仮説 1 は必ずしも十分に検証されなかったが、連続して負ける(負けを止めたい)事態では、ボタン押し反応に向けた競争の期間だけでなく、競争を待つ休息の期間においても心理的構えを高める可能性が示された。

仮説 2 は、フィードバックに対する注意資源の配分を反映する FB-P3 と覚醒度得点は、負け傾向の LS 条件で高まることであった。覚醒度得点について実験条件間で有意な差は見られなかった。一方で、前頭部における LS 条件の FB-P3 は WS 条件より大きかった。FB-P3 は、フィードバックに向けた注意や心理的な重要性を反映することから、この FB-P3 の増大は LS 条件においてフィードバック(競争の結果情報)に対する動機づけが高まったためと考えられる(Hajcak, Moser, Holroyd, & Simons, 2007; Nunez Castellar, Kuhn, Fias, & Notebaert, 2010; Ridderinkhof, Ramautar, & Wijnen, 2009)。さらに、本研究の FB-P3 は、前頭部で最大電位が計測され、LS 条件と WS 条件の有意な差は前頭部において見られた。この頭皮上分布は、計測された FB-P3 に P3a が大きく寄与していることを示している。P3a は前頭前野における刺激により誘発される注意の機構を反映しているとされており、刺激の能動的な評価を反映する古典的な P300(P3b)と比較して、より受動的な刺激の処理を反映していると考えられている(Comerchero & Polich, 1999; Nunez Castellar et al., 2010; Polich, 2007)。したがって、本研究で見られた前頭部における LS 条件の FB-P3 の増大は、負けが続く競争事態がフィードバックに対する能動的な評価を高めたというよりも、上手くいかないといった自分自身のパフォーマンスに対する興味が増大したために、フィードバックに対する評価が高まったためと考えられた。

本研究結果は、実際のパフォーマンスに関係なく連続した負け情報(悪いパフォーマンス)をフィードバックすることで、被験者が負けの理由を推察する過程で不快な感情が喚起されたためと考えられた。さらに、FB-P3の結果から、連続して負けるといった勝ちの見込みの低い事態は、外因性フィードバックに対する興味を高めることが明らかにされた。この結果は、休息期間および運動準備期間で見られたLS条件の心理的構え(P200, early CNV, late CNV)が高まった結果と同様に、連続した負けを止めることが連続した勝ちを維持するよりも動機づけを促す上で有効であることを示唆している。

2.5 結論

研究1では、ホットハンド現象および Schacter-Singer 情動二要因理論に基づき、勝率がおよそ 50%の競争事態、勝率が 80%の競争事態、勝率が 20%の競争事態を設け、対戦型の認知課題を実施することで、スポーツ場面における競争中の主観的な勝ちの見込みが課題遂行の動機づけに及ぼす影響について明らかにした。P200の結果から、競争開始前の休息期間における競争に向けた心理的構えは、負けが続く勝ちの見込みが低い競争事態で高まることが明らかにされた。さらに、競争中の心理的構えを反映する CNV(early, late)は、勝ちの見込みの低い競争事態で高まった。さらに、コーチの評価といった外因性フィードバックに対する注意資源の配分を反映する FB-P3 は、勝ちの見込みの低い競争事態で増大した。これらの結果は、競争事態において勝ちを目的とするよりも負けを避けることを目的とすることでより強く動機づけられることを示唆している。

総じて、主観的な勝ちの見込みの低い事態は、競争に向けた心理的構えを高めること、自身のパフォーマンスの確認のために外因性フィードバックに対する注意資源の配分を高めることを明らかにした。

第3章【研究2】賞罰設定が内因性フィードバックに及ぼす影響について

3.1 背景

競技スポーツにおける練習(運動学習)の目的は、方略および運動制御(行動)の最適化と考えることが出来る。限られた練習時間の中で、効率的な学習を進めることは更なる競技力向上に欠かせない。また、学習過程では、大きく別けて二種類のフィードバックに基づき行動の調整を行っているとされている。それらは、自己が得た手応えといった内部感覚に基づく内因性フィードバックと、指導者からの指摘・指示(アドバイス, 賞賛, 叱責)といった他者の評価に基づく外因性フィードバックである。行動を最適化する過程で行われるフィードバック(内因性, 外因性)の評価は、パフォーマンスモニタリング(performance monitoring: PM)活動として、多岐にわたる心理学分野で検証が行われている(Ullsperger, Danielmeier, & Jocham, 2014; Ullsperger, Fischer, Nigbur, & Endrass, 2014)。技能の向上を図る上で身体感覚の変容を伴うスポーツにおいても、いわゆる主観的手応え等の自己の内部感覚に基づく内因性フィードバックを用いた学習がとりわけ重要な学習方略であると考えられる。さらに、現場での指導者による賞罰といった外因性フィードバックを用いた動機づけが、選手や生徒の内因性フィードバックに及ぼす影響について明らかにすることは、より有効な学習方略(指導方法)の提案につながるものと考えられ、スポーツ心理学分野に重要な役割を担うものと言える。

PM活動の研究黎明期には、失敗反応後の選択反応時間の延長(post-error slowing : PES)に焦点が当てられてきた(Rabbitt, 1979; Rabbitt & Rodgers, 1977; Welford, 1979)。PESは、連続する試行として実施される認知課題(フランカー課題, ストループ課題)において、失敗試行直

後の成功試行の選択反応時間が、成功試行直後の成功試行よりも延長する現象である。PES は失敗反応に対する補償活動・行動調節の指標になるものと考えられている(Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Dutilh et al., 2012)。一方で、PES は直接的な脳内における PM 活動の過程を反映しているわけではなく、その機序解明には脳活動の計測が必要と考えられる。

ERP に基づき PM 活動に関わる内因性フィードバックの機能を定量的に評価する指標として CRN, ERN, Pe がある。失敗反応後の前頭中心部に生じる ERN は、内因性フィードバックにおけるエラー行動の検出を反映する陰性電位であり、成功反応後に生じる CRN と比較して、ボタン押し直後の 0-100ms で大きなピークを迎える特徴が報告されている(Bates, Kiehl, Laurens, & Liddle, 2002; Riesel, Weinberg, Endrass, Meyer, & Hajcak, 2013)。また、ERN に続いて中心頭頂部に生じる Pe は、エラーの評価の機能を反映する陽性電位とされている(Falkenstein et al., 1991)。また Pe は、成功反応後やエラー行動に気づかなかった失敗反応後と比較してエラー行動に気づいた失敗反応後に増大することから、エラーの意識的な気づきの有無を反映する陽性電位とも考えられている(Endrass et al., 2012; Endrass et al., 2007; Endrass et al., 2010; Nieuwenhuis, Holroyd, Mol, & Coles, 2004; Nieuwenhuis et al., 2001)。さらに、ERN, Pe といった PM 活動の生理的発生源は、fMRI と EEG の同時計測や EEG による生理的発生源の推定により、それぞれ主に前部帯状皮質、後部帯状皮質に推定されている(Ullsperger, Danielmeier, et al., 2014)。特に前部帯状皮質は、情動制御やリスク認知等の心理的過程に深く関わる脳領域として知られており(Stevens, Hurley, & Taber, 2011)、ポジティブな感情価を含む刺激と比較して、ネガティブな感情価を含む刺激に対し応答は大きくなることから、前部帯状皮質は嫌悪事象に対し特に敏感な脳領域であることが示唆されている(Carrette, Albert, Lopez-Martin, & Tapia, 2009)。また、前部帯状皮質が担う情動制御(機能)の観

点から、賞罰による外発的動機づけが、エラー行動の検出を反映する ERN に及ぼす影響についてもこれまで検討されてきた。

成功試行で生じる CRN は、金銭を用いた報酬や罰による動機づけを反映しないことが報告されている(Endrass et al., 2010; Hajcak et al., 2005)。一方で、失敗試行で生じる ERN は、成功に伴う報酬や失敗に伴う罰による動機づけにより増大することが多くの研究で報告されている(Pailing & Segalowitz, 2004; Potts, 2011; Sturmer, Nigbur, Schacht, & Sommer, 2011)。

Hajcak ら(2005)は、成功反応に対し与えられる報酬の金額を操作することで、報酬額の大きい条件で報酬額の小さい条件よりも ERN が増大したことを報告している。また Endrass ら(2010)は、失敗反応に対して罰金を課すことで、罰金条件で無罰条件と比較して ERN が増大したことを報告している。

これらの知見から、報酬や罰を用いた接近・回避の動機づけによりエラーの検出は亢進することが推察される。さらに Potts(2011)は、成功反応に対し 0.05 ドルが与えられる報酬条件と失敗反応に対し 0.05 ドルの罰金が課される罰条件を設けフランカー課題中の PM 活動を比較した。その結果、報酬接近よりも罰回避が課題遂行の目標とされた場合に ERN は増大することを明らかにした(Potts, 2011)。一方で, Maruo ら(2016)は、成功反応に対し 5 円が与えられる報酬条件、失敗反応に対し 50 円の罰金が課される罰条件、さらに賞罰のない統制条件を設け、3 つの条件間で空間ストループ課題中の ERN を比較した。その結果、これまでの賞罰を用いた研究と同様に報酬条件と罰条件において ERN は統制条件と比べて増大したが、罰条件と報酬条件の間に有意な差は認められなかったことを報告している。

いずれの研究においても成功や失敗反応に対し金銭報酬や罰金を課すことで ERN は増大したことから、エラー反応に対する接近・回避の動機づけを高めることで ERN は増大するものと考えられるが、未だ一貫した知見は得られていない。それ故、この事象の解明の為

には、賞罰に加えて課題の難易度に関係するエラー反応の頻度や、エラー検出の困難さが及ぼす影響についても考慮する必要がある。

また、エラーの評価を反映する Pe についても、ERN 同様に金銭を用いた接近・回避の動機づけにより増大することが報告されている。Endrass ら(2010)は、失敗反応に対し罰金を課すことで、罰金条件で無罰条件と比較して ERN 同様に Pe が増大したことを報告している。さらに、罰金以外にも聴覚性の罰を失敗反応に課すことで、 Pe は無罰条件と比較して増大することが明らかにされている(丸尾・正木, 2014)。これらの知見から、エラーの検出(ERN)に加えてエラーの評価(Pe)も、報酬や罰を用いた接近・回避の動機づけにより亢進すると考えられる。一方で、ERN・ Pe のどちらが報酬や罰による接近・回避の動機づけの影響をより強く反映しているのかについていまだ統一された報告はなされておらず、このことを明らかにするためには、ERN もしくは Pe に焦点を絞った研究が必要であると考えられる。

さらに、個人差の観点から性格特性と内因性フィードバックの機能の関係についても検証が行われてきた。成功試行で生じる CRN の大きさと個人の性格特性についていまだ関係は認められていない。CRN は常に ERN より小さい振幅であることから、内因性フィードバックは失敗試行に偏重した活動と推察される。一方で、これまでの研究から特性不安の高い者ほど ERN は大きくなることが報告されている(Olvet & Hajcak, 2009)。これは、OCD 患者で健常者より ERN が大きくなるとする結果に則るもので(Hajcak & Simons, 2002)、ERN の個人差と不安の抱きやすさの強い関係を示唆するものである。また、Gray(1987)が提唱する罰による行動抑制系(BIS)および報酬による行動賦活系(BAS)の二つの動機づけシステムとの関係についても検討がなされてきた(Amodio, Master, Yee, & Taylor, 2008; M. A. Boksem, Tops, Kostermans, & De Cremer, 2008; M. A. Boksem, Tops, Wester, Meijman, & Lorist, 2006)。Boksem ら(2008)は、健常者 29 名の BIS/BAS 尺度の得点を標準化し、0 点を基準に得点の高

い高 BIS 得点群, 得点の低い低 BIS 得点群に振り別けることで, ERN の個人差について報酬や罰に対する感受性に着目し検証を行った. その結果, 罰回避の動機づけが高い高 BIS 得点群において ERN は罰条件で報酬条件よりも大きい傾向を示したこと, 罰回避の動機づけが低い低 BIS 得点群において ERN は報酬条件で罰条件よりも増大したことを明らかにしている. さらに, 罰条件において BIS 得点の高い者ほど ERN は大きかったことを報告している. これらの結果は, 罰回避の動機づけの高い者ほど罰金によりエラー検出が亢進することを示唆している. 他方では, 報酬接近の動機づけ(BAS 得点)が高い者ほど ERN は小さくなることが報告されている(Maruo et al., 2016). これらの知見から, 罰回避の動機づけの高さに加えて報酬接近の動機づけの低さも, エラー検出(ERN)機能の個人差を規定する一要因と考えられる. 一方で, これまでの知見は失敗反応に対する個人の生理的応答の大きさと性格特性の関係に焦点をあてるに留まっており, 報酬や罰を用いて個人に合わせた動機づけを行うためには, 報酬や罰が内因性フィードバックの機能に及ぼす影響の大きさと性格特性の関係についてさらなる検証を行う必要がある.

研究 2 では, 賞罰設定により高まる接近および回避の動機づけが, 内因性フィードバックの機能(CRN, ERN, Pe)に及ぼす影響について検証した. さらに, 報酬や罰を用いた動機づけによる内因性フィードバック活動の変化の大きさと報酬や罰に対する感受性に関わる個人の性格特性(BIS/BAS 尺度)に着目した. また, 罰回避の動機づけに伴う ERN 増大の背景にある生理的発生源について検証した.

研究 2 で用いた課題条件について, これまでの研究で用いられたフランカー課題やストループ課題(正答率 85-95%)といった認知的競合課題と比較して, ボタンの選択押下に対して明確な評価(成功・失敗)が困難な認知課題(正答率 75%)が設けられた. 成功・失敗といった主観的手応えを減ずることでエラー反応に伴う能動的なエラー検出の必要性は高まり,

エラーの検出(ERN)機能に焦点を当てた内因性フィードバック活動の検証が可能になることが予想された。

仮説

- (1) 動機づけを反映しない CRN とは対照的に、前部帯状皮質が備える嫌悪事象に対する応答性の高さに関係して、ERN・Pe は罰回避条件で報酬接近条件より増大する。
- (2) 前部帯状皮質の機能には、エラーの検出以外にも情動の制御が報告されており、罰回避の動機づけに伴う ERN 増大の背景にある生理的発生源は前部帯状皮質に推定される。
- (3) BIS 得点が高い者ほど、罰回避の動機づけは高まることが予想されるので、罰回避条件における ERN 振幅の増加量は BIS 得点の高い者ほど大きくなる。

3.2 方法

(1) 被験者と実験課題

一般健常男性 23 名(平均年齢 22.2 歳, $SD = 1.61$)を対象とした。本研究は立命館大学倫理委員会の承認(BKC-人-2015-012)の基に実施され, 倫理委員会の規定に沿ったインフォームドコンセントを全ての参加者から獲得した。すべての実験は, 午前 9 時から午後 8 時の間に実施し, 瞬き等のアーティファクトにより十分な加算回数が得られなかった 3 名のデータは解析から除外された。

実験課題は, Knutson ら(2005)を改変した金銭報酬遅延(monetary incentive delay: MID)課題を用いた(Knutson, Taylor, Kaufman, Peterson, & Glover, 2005)。Figure 16 は, MID 課題の一試行の流れを示している。全ての視覚刺激は E-Prime 2.0(IBM Japan Corp., Tokyo, Japan)を用いて, 参加者の 100 cm 前方に置かれた 24 inch の液晶モニター(BenQ XL2430-B)上に呈示された。課題は, Target 期において注視点(十字)の周りに 150 ms 呈示される直径 3 cm の 3 つの円図形の中から最も明るい円(対象円)を判別し, 対応するボタンを右手の人差し指, 中指薬指により円の消失から 450 ms 以内(Response 期中)に選択押下することであった。

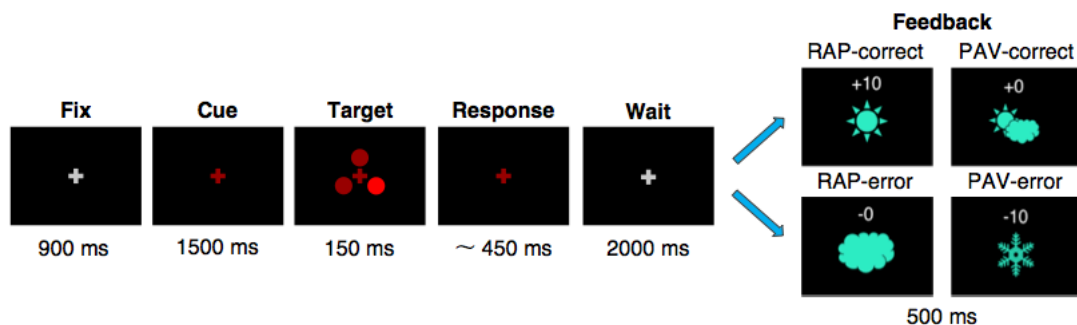


Figure 16. 金銭報酬遅延(MID)課題の手順

対象円の輝度(難易度)は、実験日の数日前に行われた練習セッションの成果に基づき、それぞれの参加者で正答率が 75%になるように調整された。それ故、対象円の輝度は、被験者毎に調節された(赤: 20.67-26.79 cd/m², 青: 8.66-15.87 cd/m²)。一方で、対象円以外の二つの円および背景の輝度は、被験者間で統一され(赤: 18.49 cd/m², 青: 6.97 cd/m², 背景: 0.17 cd/m²)、対象円と対象円以外の 2 つの円と相対的な輝度の差を作ることで難易度は操作された。被験者の輝度に対する順化を避ける為、2 色(赤, 青)の円が各条件および各試行でランダムに用いられた。

ボタン押し時点から 2000 ms 後に、選択の正否を示すフィードバック刺激が 500 ms 呈示された。フィードバック刺激の種類により実験条件はそれぞれ特徴づけられた。成功毎に金銭報酬(+10 円)が与えられる報酬接近(reward-approach: RAP)条件と失敗毎に罰金(-10 円)が課される罰回避(punishment-avoidance: PAV)条件が設定された。実験の開始前に参加者には、謝礼金の 3000 円に加えて成果報酬(課題遂行に伴う総獲得金額)が実験終了後に支払われることが説明された。

フィードバック刺激として RAP 条件では、成功毎に+10 円を示す太陽図形と共に+10 の数字が、失敗毎に-0 円を示す雲図形と共に-0 の数字が呈示された。また、PAV 条件では、成功毎に+0 円を示す太陽と雲図形と共に+0 の数字が、失敗毎に-10 円を示す雪の結晶図形と共に-10 の数字が呈示された。さらに、試行毎に 1 ブロック中の総獲得金額がフィードバック刺激の下部に呈示された。両条件ともに 128 試行を 1 ブロックとし、短い休憩を挟んだ 4 ブロックの計 512 試行が実施された。疲労や学習効果による順序効果を相殺する為、半数の参加者は RAP 条件から開始した(RAP-PAV-RAP-PAV)。また、残りの半数の参加者は PAV 条件から開始した(PAV-RAP-PAV-RAP)。

ブロックの終了毎に気分の検査として二次元気分尺度(Sakairi et al., 2013)への回答が求められた。さらに全ての実験終了後、BIS/BAS 尺度日本語版(高橋ら, 2007)への回答が求められた。BIS/BAS 尺度は、Carver and White (1994) に基づき罰による行動抑制系システム(BIS)を評価する 7 項目、報酬による行動賦活系システム(BAS)を評価する 13 項目の計 20 項目で構成されている。回答方法は、「1 = あてはまらない」、「2 = あまりあてはまらない」、「3 = 少しあてはまる」、「4 = あてはまる」の 4 件法である。BIS の最小得点は 7 点、最大得点は 28 点である。BAS は、3 つの下位尺度である駆動(drive; BAS-D)の 4 項目、報酬反応性(reward responsiveness; BAS-RR)の 5 項目、刺激探求(fun seeking; BAS-FS)の 4 項目で構成されるが、本研究では総合得点として BAS 得点のみ算出した。BAS の最小得点は 13 点、最大得点は 52 点である。BIS, BAS 共に、高い内因性一貫性および再検査信頼性が報告されており(高橋ら, 2007)、実験参加者の報酬および罰に対する性格特性の指標として測定された。

(2) 脳波の測定

EEG および眼電位(electrooculogram: EOG)は、Neurofax EEG-1200(Nihonkohden Corp., Tokyo, Japan) により測定された。EEG は国際 10-10 法に則り EEG キャップ(waveguardTMoriginal, ANT Neuro, Enschede, Netherlands)を用いて頭皮上 56 部位(Fp1/Fp2, AF3/AF4, F1/F2, F3/F4, F5/F6, F7/F8, FC1/FC2, FC3/FC4, FC5/FC6, FT7/FT8, C1/C2, C3/C4, C5/C6, T7/T8, CP1/CP2, CP3/CP4, CP5/CP6, TP7/TP8, P1/P2, P3/P4, P5/P6, P7/P8, PO3/PO4, O1/O2, Fpz, Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz)より導出された。脳波はサンプリングレート 500 Hz(時定数 10 s, ローパスフィルター100 Hz)で記録された後、オフラインで Brain Electrical Source Analysis(ver.6.0 BESA, BESA Gräfelfing, Germany)を用いて 128 Hz(時定数 5 s: ローパスフィルター50 Hz)にダウンサンプリングされた。グラウンド電極は AFz 部位に設置され

た。基準電極は両乳様突起(M1, M2)とされた。瞬きおよび眼電位の脳波への混入を観察する
為に、垂直 EOG は左眼窩下 1 cm から記録された。また、水平 EOG は右眼角外の延長線上
1 cm から記録された。電極は Ag/AgCl 電極を用い、電気抵抗閾値は実験を通して 7 k Ω 以下
に維持された。

(3) 分析およびデータの処理

正答率および二次元気分尺度で求められた快適度と覚醒度得点に対し、対応のある t 検
定により実験条件間の比較を行った。また、Response 期におけるボタン押しの反応時間に対
し、実験条件(RAP, PAV) \times 試行タイプ(成功, 失敗)の繰り返しのある二元配置分散分析を
実施した。さらに、失敗反応に対する補償活動・行動調節の指標として、失敗試行直後の成
功試行の反応時間から、成功試行直後の成功試行の反応時間を減算することで、PES を求め
(Rabbitt, 1979; Rabbitt & Rodgers, 1977)、対応のある t 検定により実験条件間の比較を行っ
た。

脳波の分析は、EEGLAB(ver.13.4.3b; (Delorme & Makeig, 2004)を用いた。ボタン押し時点
は、ポーリングレート 1000 Hz の USB 接続キーボード(CGR-WRNSB-500)により測定し、E-
Prime 2.0 から TTL(Transistor-Transistor Logic)信号を Neurofax EEG-1200 に出力することで、
ボタン押し時点と EEG データの時間的同期を図った。

CRN・ERN, Pe は、ボタン押し時点を基点とし、ボタン押し前 200 ms からボタン押し後
500 ms 区間が解析対象として被験者毎に抽出された。ボタン押し前の 200 ms の平均電位を
基線とし、EOG や体動の混入を検出した後、独立成分分析(independent component analysis:
ICA)を行い、アーティファクトの抽出および試行の除去を行った。75 μ V 以上の試行を除い
た後、加算平均法により RAP 条件の成功試行(RAP-correct), RAP 条件の失敗試行(RAP-

error), PAV 条件の成功試行(PAV-correct), PAV 条件の失敗試行(PAV-error)の CRN・ERN, Pe をそれぞれ算出した。

平均加算試行数は, RAP-correct で 177.15 回, RAP-error で 57.60 回, PAV-correct で 175.05 回, PAV-error で 61.35 回であった。

CRN・ERN 振幅は, 頭皮上の分布に基づき FCz, FC1, FC2, Cz, C1, C2 の 6 部位を平均化することで, 前頭中心部の ROI として 1 領域にまとめ, 陰性成分としてボタン押し後 100 ms の区間平均電位(Potts, 2011)から求められた。Pe 振幅も同様に, Cz, C1, C2, CPz, CP1, CP2 を頭頂中心部の 1 領域にまとめ, 陽性成分としてボタン押し後の 200 ms から 350 ms の区間平均電位(Potts, 2011)から求められた。

CRN・ERN および Pe 振幅に対し, それぞれ実験条件(RAP, PAV) × 試行タイプ(成功, 失敗)の繰り返しのある二元配置分散分析を実施した。測定された全てのデータに対し, 交互作用が有意であった場合には, 単純主効果を求めた。

さらに, sLORETA (standardized low-resolution brain electromagnetic tomography; (Pascual-Marqui & Biscay-Lirio, 1993; Pascual-Marqui, Michel, & Lehmann, 1994)を用いた CSD 法により, 課題中の失敗試行で観察される ERN の生理的発生源に加えて, 罰回避の動機づけに伴う ERN 増大の背景にある生理的発生源($ERN_{PAV} - ERN_{RAP}$)を推定した。LORETA 解析(low resolution brain electromagnetic tomography analysis)とは, 多チャンネルを用いて測定された脳波・脳磁図信号に基づき, 生理的発生源を推定するソース解析の一つである。LORETA 解析の時間分解能は, 計測時の設定(サンプリングタイム)に依存する(Pascual-Marqui, 2002; Pascual-Marqui, Esslen, Kochi, & Lehmann, 2002)。sLORETA では, 脳は仮想上の平均脳である MNI152(Montreal neurological institute 152)テンプレートに対応した 6239 個の格子状(5 mm × 5 mm × 5 mm)のボクセルに区分けされる。さらに各ボクセルに対して三方向(X, Y, Z)の電

流双極子(dipole)が仮定されることで、各ボクセルにおける単位体積あたりのダイポール信号強度(nAm/cm^3)が明らかにされる。また、LORETA 解析では脳活動は連続的に分布している(近接している)という想定に基づき、ダイポール信号強度の空間微分(laplacian)が最小になるように脳活動の空間分布を推定し、MNI 座標(MNI[X, Y, Z])に対応した生理的発生源を求めている(宮内ほか, 2016)。本研究で計測された ERN は個人毎で明瞭な陰性ピークが検出できなかったため、被験者総平均によって抽出された ERN のピーク時点(26.5 ms)を代表時点とし LORETA 解析の対象とした。また、個人毎のデータによる統計手法を用いた定量的な分析(voxel-wise の t 検定)ではなく、定量的な分析(ダイポール信号強度の大きさに基づく MNI 座標の推定)により想定された脳活動の空間分布と 0mm 水準で一致した範囲内の MNI 座標を生理的発生源と定め、LORETA 画像の取得および生理的発生源の推定を行った。

また、BIS/BAS 尺度から罰や嫌悪刺激等により行動を抑制するように作用する動機づけシステム BIS、報酬や快を示す刺激等により行動を賦活するように作用する動機づけシステム BAS のそれぞれの得点が求められた。さらに、PAV-error の ERN から RAP-error の ERN を減算することで、罰による動機づけの効果の大きさの指標として $\Delta\text{ERN}(\text{ERN}_{\text{PAV}} - \text{ERN}_{\text{RAP}})$ が求められた(Pornpattananangkul & Nusslock, 2015)。ERN は陰性の電位活動であるため、効果の大きさの平易な解釈のために ΔERN には-1 が乗法された。賞罰の応答性に関わる性格特性と、報酬および罰が成功や失敗の認識(PM 活動)に与える影響の関係を明らかにする為、Shapiro-Wilk の検定によりデータの正規分布の確認した後、BIS および BAS 得点と、 ΔERN の関係について、ピアソンの積率相関係数がそれぞれ求められた。有意水準は 5%未満とし、全ての統計処理は SPSS Statistics 24.0(IBM Corp., Armonk, New York, United States)により行われた。

3.3 結果

(1) 行動指標および心理指標の結果

Figure17は、正答率、反応時間、二次元気分尺度の快適度および覚醒度の得点を示している。正答率について、2つの条件間で有意な差は認められなかった(RAP: 75.05%, PAV: 74.36%); $t(19) = .74, p = .47$ 。反応時間は、成功試行で失敗試行よりも有意に短かった(RAP: 449.61 ms, PAV: 457.41 ms); $F(1,19) = 10.89, p = .004, \eta^2 = .13$ 。一方、反応時間について、実験条件の有意な主効果は認められなかった(RAP: 452.77 ms, PAV: 454.25 ms); $F(1,19) = .13, p = .72$ 。PESについても、2つの条件間で有意な差は認められなかった(RAP: 6.83 ms, PAV: 1.38 ms); $t(19) = 1.39, p = .18$ 。二次元気分尺度の快適度得点は、RAP条件でPAV条件よりも有意に高かった(RAP: 7.40点, PAV: 5.75点); $t(19) = 2.8, p = .011, r = .54$ 。一方、覚醒度得点について、実験条件間で有意な差は認められなかった(RAP: -2.45点, PAV: -1.55点); $t(19) = -1.58, p = .13$ 。

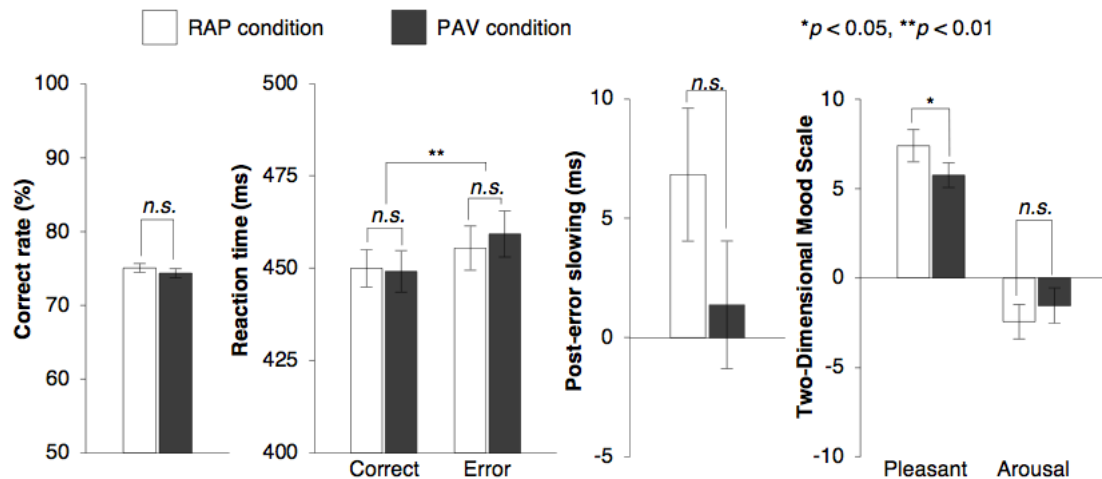


Figure 17. 行動指標および心理指標の結果

(2) CRN・ERN, Pe の結果

Figure 18 は, CRN・ERN の総加算平均波形(N = 20)(左図), Pe の総加算平均波形(N = 20)(右図), CRN・ERN, Pe のトポグラフィー(下図)を示している。両条件の失敗試行の前頭中心部において, ボタン押し時点から 30ms 付近で, 成功試行では見られない特徴的な陰性方向の成分が確認され, エラーの検出により誘発される事象関連電位 ERN と推察された。

CRN・ERN は失敗試行で成功試行よりも有意に大きかった(失敗試行: 5.21 μ V, 成功試行: 9.17 μ V); $F(1,19) = 128.27, p < .001, \eta^2 = .81$ 。一方, CRN・ERN について, 実験条件間に有意な差は認められなかった(RAP: 7.24 μ V, PAV: 7.14 μ V); $F(1,19) = .31, p = .58$ 。さらに, CRN・ERN について, 実験条件(RAP, PAV) \times 試行タイプ(成功, 失敗)の有意な交互作用が認められた; $F(1,19) = 11.096, p = .004, \eta^2 = .015$ 。失敗試行における ERN は, PAV 条件(4.896 μ V)で RAP 条件(5.53 μ V)よりも有意に増大した($p < .001$)。

Pe について, いずれの主効果および交互作用も認められなかった(実験条件; $F(1, 19) = .45, p = .51$, 試行タイプ; $F(1, 19) = 1.52, p = .23$, 実験条件 \times 試行タイプ; $F(1,19) = 2.08, p = .17$)。

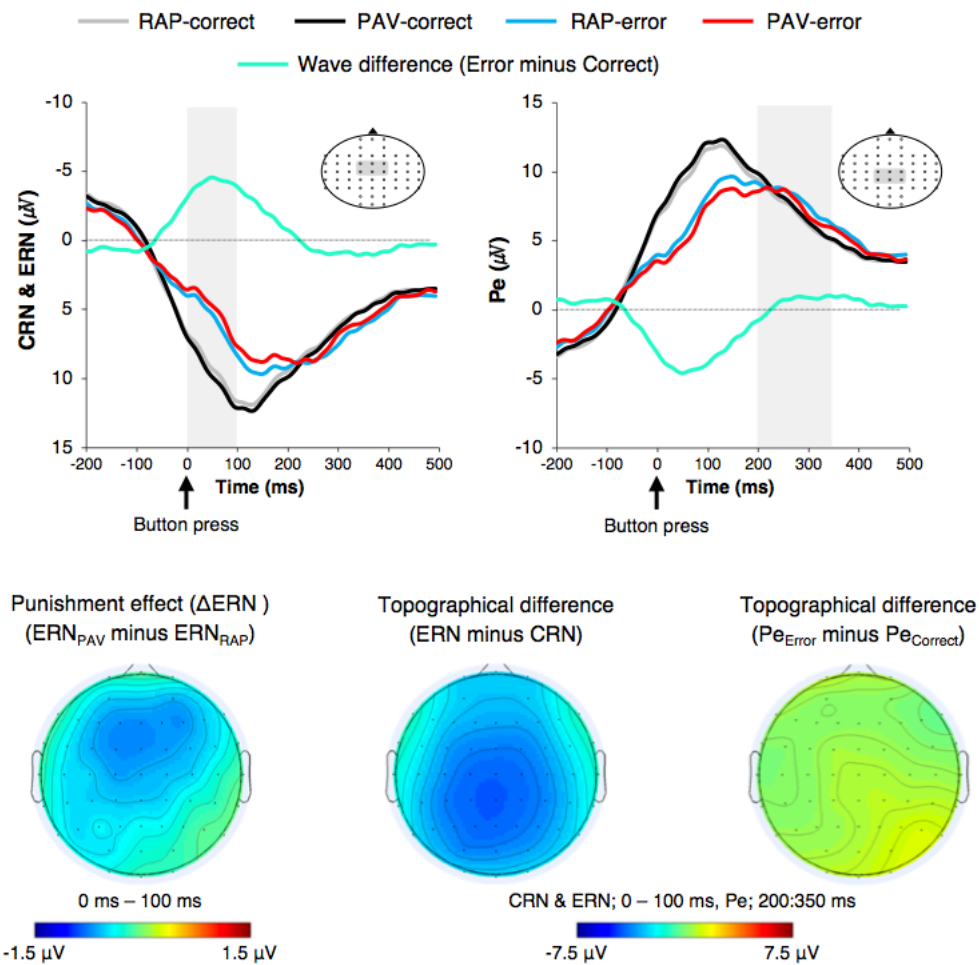


Figure 18. CRN・ERN, Pe 波形と差分トポグラフィ

(3) エラー検出と罰則の動機づけ効果に関わる LORETA 画像

Figure 19 は、ボタン押しから 26.5 ms 時点における被験者総平均(N = 20)の失敗試行(ERN)と成功試行(CRN)の差分データから取得された sLORETA 画像(左図), エラー反応から 26.5 ms 時点における被験者総平均(N = 20)の PAV 条件の失敗試行(ERN)と RAP 条件の失敗試行(ERN)の差分データから取得された sLORETA 画像(右図)を示している. ダイポール信号強度に基づく定性的な sLORETA 分析により, エラー反応に関わる脳活動(ERN - CRN)の生理的発生源は帯状皮質[MNI 座標; 6, -7, 48]に推定された. また, PAV 条件の ERN 増大の背景にある生理的発生源は眼窩前頭皮質[MNI 座標; -40, 55, -10]に推定された.

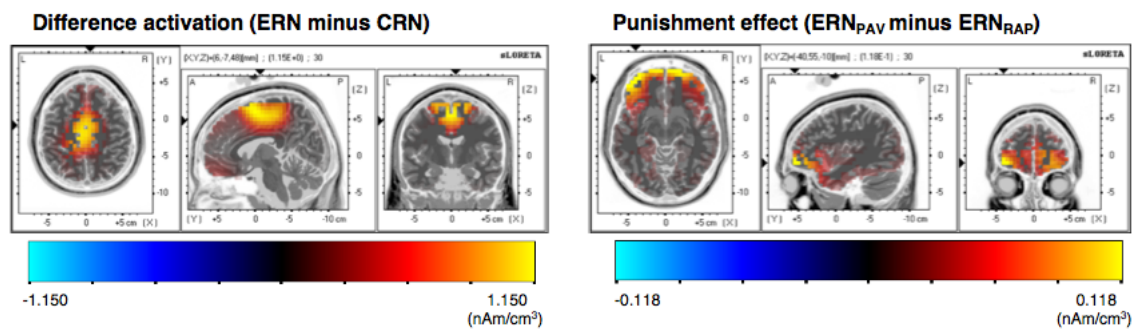


Figure 19. エラー検出と罰則の動機づけ効果に関わる LORETA 画像

(4) BIS/BAS 得点と賞罰の動機づけ効果の関係

被験者の BIS 得点は, $M = 19.25$, $SE = 1.03$ であった。また, BAS 得点は, $M = 37.95$, $SE = 2.48$ であった。ピアソンの積率相関係数を求めた結果, BIS 得点と BAS 得点の間に, 有意な相関は認められなかった; $r = -.067$, $p = .78$ 。また, BIS 得点と ΔERN の間にも有意な相関関係は認められなかった; $r = -.13$, $p = .59$ 。一方で, BAS 得点と ΔERN の間に負の有意な相関関係が認められた; $r = -.497$, $p = .026$ (Figure 20)。

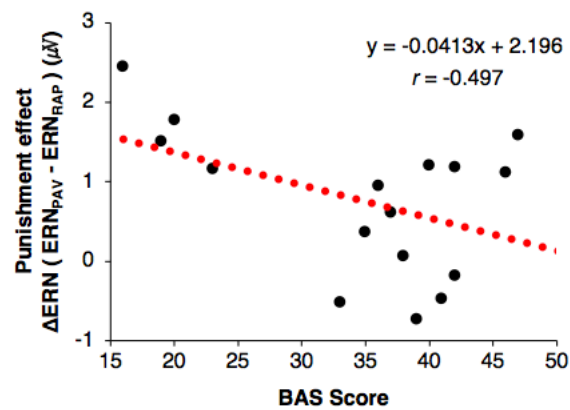


Figure 20. BAS 得点と罰則の動機づけ効果の散布図

3.4 考察

本研究で用いた MID 課題の正答率は、両条件ともに約 75%であった。反応時間についても両条件間で有意な差は認められなかった。一方で、反応時間は失敗試行で成功試行よりも有意に延長した。PES は両条件間で差が認められなかった。課題中の気分については、RAP 条件で高い快適度が認められた。一方、覚醒度に両条件間で差は認められなかった。以上の結果から、本研究で記録された ERP の実験条件間における違いは課題の難易度、課題遂行中の覚醒度の違いにより生じたものではなく、報酬および罰による動機づけの直接的な影響により生じたものと推察された。

仮説 1 は、動機づけを反映しない CRN とは対照的に、前部帯状皮質が備える嫌悪事象に対する応答性の高さに関係して ERN・Pe は罰回避条件で報酬接近条件より増大することであった。成功反応に伴い生じた CRN は、実験条件間で差が認められなかった。この結果は、これまでの CRN は動機づけを反映しないとする報告と一致するものであった(Hajcak et al., 2005)。さらに、ERN は PAV 条件で RAP 条件より増大することが認められ、仮説 1 は実証された。本結果は内因性フィードバックにおける罰回避の動機づけの優位性を報告するこれまでの ERN を指標とした動機づけ研究を支持する結果でもあった(Hajcak et al., 2005; Luu, Collins, & Tucker, 2000; Potts, 2011)。

さらに、PAV 条件における罰回避の動機づけの優位性は、エラーの意識的な気づきに関わる PM 活動(ERN)が前部帯状皮質の脳活動を反映しているからと考えられる(Ullsperger, Danielmeier, et al., 2014)。本研究で計測された失敗反応に伴い生じた ERN の生理的発生源については、sLORETA 画像の定性的評価に基づき帯状皮質に推定された。帯状皮質を内包する大脳辺縁系は、人の情動反応および情動制御の中核を担っていると考えられている(Carretie et al., 2009)。特に前部帯状皮質は、エラーの検出に加えて、動機づけ、注意、感情の

制御を担っていることが報告されている(Stevens et al., 2011). さらに, 前部帯状皮質由来の ERP である N2(N200), ERN, FRN は, 好ましい情報(チャンスの合図, 成功, 報酬)と比較して好ましくない嫌悪情報(ピンチの合図, 失敗, 罰)に対して大きく誘発されることが明らかにされている(Miltner et al., 1997; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015; Potts, 2011). 生物学的見地からは, 本研究で見られた罰回避の動機づけの優位性は, 快事象に比べて不快事象に優先して早く大きく応答することが, 生物として種々の環境での生存率を高める上で有利である事を示すものと言える(Carretie et al., 2009).

次に, 仮説 2 は, 前部帯状皮質の機能には, エラーの検出以外にも情動の制御が報告されており, 罰回避の動機づけに伴う ERN 増大の背景にある生理的発生源は前部帯状皮質に推定されることを示すことであった. 仮説 2 と異なり, sLORETA を用いた生理的発生源の推定により, PAV 条件における ERN 増大の背景にある生理的発生源については, 眼窩前頭皮質に推定された. 眼窩前頭皮質は情動行動の源とされる大脳辺縁系の一部と考えられている. 正負を問わず報酬や罰を示す刺激によって大きく眼窩前頭皮質の活動は亢進することや, 扁桃体との解剖学的な結合が報告されており, 情動制御の機能を担っていることが示唆されている(Metereau & Dreher, 2015). 一方で, 本研究の罰条件における眼窩前頭皮質における活動の亢進は, 罰によってエラーの価値(重要性)が高まったためと考えられるが, エラー検出(ERN)との直接的な関係は明らかでない. 以上のことから, 前部帯状皮質の機能の観点から ERN の生理的発生源の同定を試みたが, 眼窩前頭皮質の重要性も見出された. 眼窩前頭皮質や帯状皮質, 扁桃体における不快な情動の制御を高めることでエラーの検出を亢進させることが示唆され, 罰回避の動機づけは報酬接近の動機づけよりもエラー検出に関して有効であると考えられた.

罰回避条件で ERN の増大が観察された一方で、エラーの評価を反映する Pe 実験条件間で差は認められなかった。さらに、成功試行と失敗試行の間においても有意な差は認められなかった。この結果は、本課題で設定された正答率 75% の難易度により、エラーの意識的な気づきが困難だったためと考えられる。課題の難易度と CRN・ERN 振幅の関係については、課題の難易度が低い事象(成功率 60%)で、高い事象(成功率 75%)と比較して成功反応に伴い生じる CRN の振幅は大きく、失敗反応に伴い生じる ERN の振幅は小さくなることが報告されている(Pailing & Segalowitz, 2004)。また、Pe はエラーの評価や意識的なエラーの気づきを反映し、成功試行と比べて有意に頭頂部で陽性方向に大きくなることがこれまでの研究より報告されている(Ridderinkhof et al., 2009)。さらに、意識的なエラーの気づきに着目した Endrass et al. (2007)は、エラーに気づいた失敗試行とエラーに気づかなかった失敗試行における PM 活動の違いについて明らかにしている。その結果によると、参加者のエラーの気づきに関係なく、失敗試行における ERN は成功試行における CRN より大きかった。さらに、エラーに気づいた試行とエラーに気づかなかった試行の間で ERN に差異が認められなかった一方で、エラーに気づいた試行で Pe は増大したことを報告している(Endrass et al., 2007)。本研究で用いた MID 課題の正答率は、偶然による正答率(33%)の 2 倍以上である 75%であったことや、CRN と比較して大きな ERN が観察されたことから、参加者はボタン押し時点で自発的なエラー検出を行っていたことが推察された。しかしながら、本研究で計測されたエラーの評価やエラーの気づきを反映する Pe について、実験条件間に加えて成功試行と失敗試行の間においても差は認められなかった。この事実は、これまでの PM 研究で用いられた多くの課題(正答率 85-95%)と比較してボタン押し時点での正否(成功か失敗)の明確な評価が困難であったために失敗の顕著性が失われ、意識的なエラーの気づきが十分になされなかったためと考えられる。

また、失敗反応に対する補償活動である PES は、動機づけの効果を反映することが予想されたが、両条件間において有意な差は認められなかった。PES の延長はエラー反応後の調整行動を反映する指標とされ、罰回避よりも報酬接近で延長することが報告されている (Balogh & Czobor, 2016)。しかし、本研究同様に罰回避の動機づけに着目した先行研究においても失敗反応に罰金を課した罰条件で、罰なし条件と比較して PES は延長しなかったことが報告されている(丸尾・正木, 2014)。このような一致しない知見の要因として、実験で用いる罰の種類や強度の影響が示唆されており、今後はフィードバックの強度についても考慮する必要がある。また、本研究で用いた MID 課題は外因性のフィードバックを含み一試行の時間が過去の研究と比較して長かったため(約 5.5 秒)、失敗に先行する試行の影響が減じたことも要因と考えられた。総じて、仮説 1 の実証により、報酬接近の動機づけと比較して、罰回避の動機づけにより、エラーの評価やエラーに対する補償活動から独立してエラーの検出は亢進することが明らかにされた。さらに、仮説 2 の検証に伴い定性的な sLORETA 解析により罰回避の動機づけに伴う ERN 増大の生理的発生源は眼窩前頭皮質に推定された。

仮説 3 は、BIS 得点が高い者ほど、罰回避の動機づけは高まることが予想されるので、罰回避条件における ERN 振幅の増加量は BIS 得点の高い者ほど大きくなることであった。予想された BIS 得点と Δ ERN の間に相関関係は認められず、仮説 3 は実証されなかった。一方で、BAS 得点と Δ ERN の間に負の相関関係($r = -.497$)が認められた。この結果は、報酬により動機づけられる者ほど罰によるエラー検出の亢進は小さくなることを示している。これまでの賞罰の応答に関わる性格特性と内因性フィードバックの関係に焦点を当てた研究からは、罰による行動の抑制や回避に作用する動機づけシステムである BIS 得点と、エラー行動の検出を反映する ERN 振幅の間に正の相関関係が認められており (Amodio et al.,

2008; M. A. Boksem et al., 2008; M. A. Boksem et al., 2006), 罰に対する感受性が ERN 振幅に関係していることが示唆されている。このことは, ERN が不快事象に優先して応答する前部帯状皮質由来の脳活動を反映しており, BIS 得点の高い者は主観的にエラーの価値(重要性)を高く見積もるためと考えられている。一方で, BAS 得点と ERN の負の関係についても報告されている(Maruo et al., 2016)。さらに, 罰の回避と報酬への接近の感受性尺度(SPSRQ; Torrubia, Avila, Molto, & Caseras, 2001)を用い, 賞罰に対する感受性と ERN の関係について検証を行った Santesso and Segalowitz(2009)も, 報酬への感受性の高い者ほど ERN は小さかったことを報告している(Santesso & Segalowitz, 2009)。また, Gray ら(2005)は, fMRI により脳活動を計測することで, BIS 得点と前部帯状皮質の活動の小さな相関に加えて, BAS 得点の高い者ほどワーキングメモリ課題遂行中の前部帯状皮質の活動が小さくなることを報告しており, BAS 得点が高い者は抑制やエラー回避の意識が低いことが示唆される。

統制条件(基準となる活動量)との差分により, 脳の活動量(変化量)を推定する手法は主に fMRI 研究に則るものであったが, 基準となる統制条件設定の妥当性が脳活動の実験手続き上の問題とされており(Poldrack et al., 2008), 性格特性と PM 活動の研究には今後さらなる同一手法を用いた知見の蓄積が必要と考えられる。また本研究では, 個人毎で明瞭な ERN の陰性ピークが検出できなかったため, sLORETA 画像の視察に基づく定性的な分析(ダイポール信号強度に基づく推定)により生理的発生源の推定を行ったが, 今後の研究では, 脳波の加算回数を増やし ERN データのシグナルノイズ比を高めることでより正確な個別分析(voxel-wise の t 検定)が可能になると考えられる。総じて, 仮説 3 の検証に伴い, 報酬接近の動機づけの低い者ほど, 罰によるエラー行動の検出の亢進は大きくなることが明らかにされた。すなわち, 罰は報酬接近の動機づけが低い者ほど, 自発的なエラー検出を促す上で有用であることを示唆している。

3.5 結論

研究 2 では、ボタン押しに伴い生じる主観的手応えの程度に着目し、成功や失敗に付随する賞罰設定が、能動的な内因性フィードバックに関わる動機づけに及ぼす影響について検証した。エラー行動の検出に関わる ERN の発生源は、sLORETA 解析により帯状皮質に推定された。さらに、罰の動機づけ効果による ERN 増大の背景にある生理的発生源は、眼窩前頭皮質に推定された。また、エラー行動の検出に関わる ERN は、罰の回避を目的とした回避の動機づけを高めることで増大すること、報酬による接近の動機づけ効果が高い者ほど、罰の動機づけ効果による ERN の亢進は小さくなることが明らかにされた。

総じて、自身の行動の成否が曖昧な事態においても、エラー行動の検出は罰回避の動機づけにより亢進すること、罰の動機づけ効果によるエラー行動の検出機能亢進は、報酬接近の動機づけが低い特性を持つ者ほど効果的であることを明らかにした。

第4章【研究3】報酬獲得の見込みと賞罰が外因性フィードバックの 予期・期待, 評価に及ぼす影響について

4.1 背景

研究1では, パフォーマンスの評価を外因性フィードバックに依存する競争事態に着目することで, 達成見込みの低い事態で課題遂行に対する心理的構えは亢進することを明らかにした. さらに研究2では, 賞罰設定がパフォーマンスの自己評価である内因性フィードバックに及ぼす影響に着目することで, 罰則が自身のエラー行動の検出機能を亢進することを明らかにした. 研究3では, 研究1および研究2の結果に基づき, 主観的な達成見込みと賞罰設定の組み合わせの動機づけ効果に着目し, 外因性フィードバックの予期・期待, 評価に及ぼす影響について明らかにする.

認知科学の領域において, ヒトはより良い成果を求め意思決定を行うことで行動を最適化していると考えられている(箱田ほか, 2010). ヒトの意思決定過程は, 主に成果の予期と成果の評価の2つの期間に, 大きく区別することが出来る(C. H. Brunia et al., 2011; Knutson, Fong, Adams, Varner, & Hommer, 2001; Pornpattananankul & Nusslock, 2015; Rogers et al., 2004). プロスペクト理論は, ヒトの行動選択の嗜好性(好み)を行動経済学の観点から説明する理論であり, ヒトの動機づけや意思決定は報酬によって生じるもので, 行動選択は報酬の期待値によって決定されるとされている(Kahneman & Tversky, 1979; Tversky & Kahneman, 1981). そして, 報酬の期待値が同等だった場合に, ヒトはより報酬の獲得見込み(可能性, 確率)の高い行動を選択することが報告されている. 例えば, 25%の見込みで30000円を獲得できる選択肢と比較して, 75%の見込みで10000円を獲得できる選択肢を選ぶ傾向がある. 一方で, 損失の回避が唯一の目的の場合に, ヒトの行動選択は逆転する. 例えば,

75%の見込みで 10000 円の損失を回避できる選択肢と比較して、25%の見込みで 30000 円の損失を回避できる選択肢を選ぶ傾向がある。これらの選択行動は、ヒトは損失回避的で、報酬獲得の見込みの要素が、成果の予期・期待や価値の評価に干渉していることを示唆している。プロスペクト理論は、ヒトの意思決定過程を定量的に理解するための強力なアイデアとして、認知心理学分野においても注目を集めている(Foti et al., 2009; Schuermann, Endrass, & Kathmann, 2012).

ERP に基づきヒトの脳内における成果(外因性フィードバック)の予期や評価を定量的に観察する指標として、SPN, RewP, FB-P3 がある。

RewP は外因性フィードバックの呈示によって惹起されることから、成果の評価の心的過程を反映しているとされている(Weinberg, Riesel, & Proudfit, 2014)。さらに Proudfit(2015)は、RewP は腹側線条体や内側前頭野といった報酬系におけるドーパミン作動性ニューロンの発火を反映していることを示唆している。さらに、FB-P3 についても成果の評価の心的過程を反映することが知られている。その特徴は、古典的な P3b に則るもので、外因性フィードバックの呈示頻度(珍しさ)や主観的な重要性に応じて増大することが知られている(Duncanjohnson & Donchin, 1982; Polezzi, Sartori, Rumiati, Vidotto, & Daum, 2010)。

一方で、SPN は外因性フィードバックの呈示前に生じることから、成果の予期や期待の心的過程を反映するとされ、CNV と異なり非運動性の成分であることが示唆されている(C. H. Brunia, 1988)。さらに、SPN はフィードバックに金銭報酬を付随させる条件で大きくなることから、外因性フィードバックの報酬による接近の動機づけを反映しているとされている(Masaki, Takeuchi, Gehring, Takasawa, & Yamazaki, 2006; Ohgami, Kotani, Hiraku, Aihara, & Ishii, 2004; Pornpattananangkul, Nadig, Heidinger, Walden, & Nusslock, 2017)。さらに、パーキンソン病患者や統合失調症患者で SPN は減衰することから、報酬予測に関連するドーパミン

活動を反映していることが示唆されている(Mattox, Valle-Inclan, & Hackley, 2006; Wynn, Horan, Kring, Simons, & Green, 2010). 生理的な SPN の発生源は顕著性ネットワーク (Saliency network)の拠点である島皮質であることが明らかにされている (K. B. Böcker, Brunia, & van den Berg-Lenssen, 1994; Kotani et al., 2015; Seeley et al., 2007). 顕著性ネットワークは、顕著事象を処理する脳内におけるシステムであり、主な機能として顕著な(際立った)事象の検出があげられる(Medford & Critchley, 2010). 例えば、遠くで聞こえるサイレンの音の検出や、スーツを着た集団の中からカジュアルな T シャツを着た人を見つけることである。これらの事象の識別や区別は、無意識的で受動的に行われているとされている (Uddin, 2015).

これまでの研究から、フィードバックに対する予期・期待の心的過程を反映する SPN は、報酬獲得を目的とした接近の動機づけの効果を反映することが明らかにされている。他方では、顕著性ネットワークの機能に則れば SPN は確率的な顕著性(珍しさ)を反映すると考えることができる。さらに、プロスペクト理論に則れば、報酬の獲得見込みが報酬期待の心的過程に干渉する可能性がある。しかしながら、これまでの多くの研究では成否の見込みがおおよそ同等(成功確率 50%, 失敗確率 50%)のギャンブル課題や、時間評価課題が SPN 計測のために使われてきた(Ohgami, Kotani, Arai, Kiryu, & Inoue, 2014; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015). これらの研究で設定されたおおよそ 50%の成功確率は、ヒトが成果を予期・期待するために必要となる上手くいったかも、失敗したかもといった主観的手応えを考慮していない。また、プロスペクト理論によれば、ヒトにとって罰回避は報酬接近よりも重大であることから、失敗に向けた予期は、ヒトの意思決定において重要な機能と考えることができる。

研究3では、プロスペクト理論に基づき成功確率がおおよそ75%に統制されたMID課題(MID; Knutson, Taylor, Kaufman, Peterson, & Glover, 2005; Knutson, Wimmer, Kuhnen, & Winkielman, 2008; Silvetti, Nunez Castellar, Roger, & Verguts, 2014)を用い、高い報酬獲得の見込み(成功確率75%, 失敗確率25%)が、報酬や罰により顕著性(重要性)が重みづけられた成果に対する予期・期待の心的過程に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。さらに、報酬の獲得見込みや賞罰が課題への動機づけに及ぼす程度を確認するために、MID課題に向けた心理的構え(CNV)、ボタンの選択押下に向けた運動準備(RP)に及ぼす影響についても明らかにした。

この研究で用いたMID課題は、成果の予期と成果の評価の2つの期間によって構成されている。ここでは、成功の見込みを75%(成功確率75%, 失敗確率25%)に統制し、成功の予期・期待の頻度が確率的に顕著ではない(珍しくない)環境を設けた。さらに、FB-P3を計測することで成功および失敗を示すフィードバックの呈示頻度が成果の評価に及ぼす影響について確認した。

この課題では、2つの条件を設けた; 成功に対し10円の金銭報酬が呈示、失敗に対する罰金はなしの報酬接近(reward-approach: RAP)条件、成功に対する金銭報酬はなし、失敗に対し10円の罰金が呈示の罰回避(punishment-avoidance: PAV)条件。これらの実験条件を設け、成功試行および失敗試行における成果の大きさについて賞罰を用いて統制することで、報酬の獲得見込みによって規定される成功および失敗の頻度が、ヒトの報酬や罰金の予期・期待、評価の心的過程に及ぼす交互の影響について検証した。研究3において予想される事象は、75%-correct 試行(報酬接近: +10円, 罰回避: 0円), 25%-error 試行(報酬接近: 0円, 罰回避: -10円)であった。さらに、成果の予期・期待、成果の評価の場面において、それぞれ4種類の事象におけるERPsが計測された; 75%の頻度で生じる報酬接近の成功試行(RAP-

correct: 10 円の金銭報酬), 75%の頻度で生じる罰回避の成功試行(PAV-correct: 0 円の金銭報酬), 25%の頻度で生じる報酬接近の失敗試行(RAP-error: 0 円の罰金), 25%の頻度で生じる罰回避の失敗試行(PAV-error: 10 円の罰金). この実験課題は, 成功を期待する頻度が確率的に顕著ではない(珍しくない)事態におけるヒトの報酬接近と罰回避の心的過程を明らかにするものであった.

プロスペクト理論に則り, 成果の予期・期待と成果の評価の心的過程について, 金銭報酬および金銭罰は成果の顕著性(重要性)を高めることが予想された. さらに, 成功試行の頻度(成功確率 75%)と比較して失敗試行の頻度(失敗確率 25%)はより確率的に顕著(珍しい)であるため, 失敗試行ではフィードバックに対する予期をより高めると考えられた.

仮説

- (a) SPN と FB-P3 は, 75%の頻度で生じる成功試行と比較して 25%の頻度で生じる失敗試行で大きくなる.
- (b) SPN は, 75%の頻度で生じる成功試行において, 報酬なしの罰回避条件(+0 円)と比較して報酬ありの報酬接近条件(+10 円)で大きくなる.
- (c) RewP は, 75%の頻度で生じる成功試行において, 報酬なしの罰回避条件(+0 円)と比較して報酬ありの報酬接近条件(+10 円)で大きくなる.

4.2 方法

(1) 被験者と実験課題

一般健常男性 23 名(平均年齢 22.2 歳, $SD = 1.61$)を対象とした。本研究は立命館大学倫理委員会の承認(BKC-人-2015-012)の基に実施され、倫理委員会の規定に沿ったインフォームドコンセントを全ての参加者から獲得した。すべての実験は、午前 9 時から午後 8 時の間に実施し、瞬き等のアーティファクトにより十分な加算回数が得られなかった 3 名のデータは解析から除外された。

実験課題は、Knutson ら(2005)を改変した MID 課題を用いた(Knutson et al., 2005)。Figure 21 は、MID 課題の一試行の流れを示している。全ての視覚刺激は E-Prime 2.0(IBM Japan Corp., Tokyo, Japan)を用いて、参加者の 100 cm 前方に置かれた 24 inch の液晶モニター(BenQ XL2430-B)上に呈示された。課題は、Target 期において注視点(十字)の周りに 150 ms 呈示される直径 3 cm の 3 つの円図形の中から最も明るい円(対象円)を判別し、対応するボタンを右手の人差し指、中指薬指により円の消失から 450 ms 以内(Response 期中)に選択押下することであった。

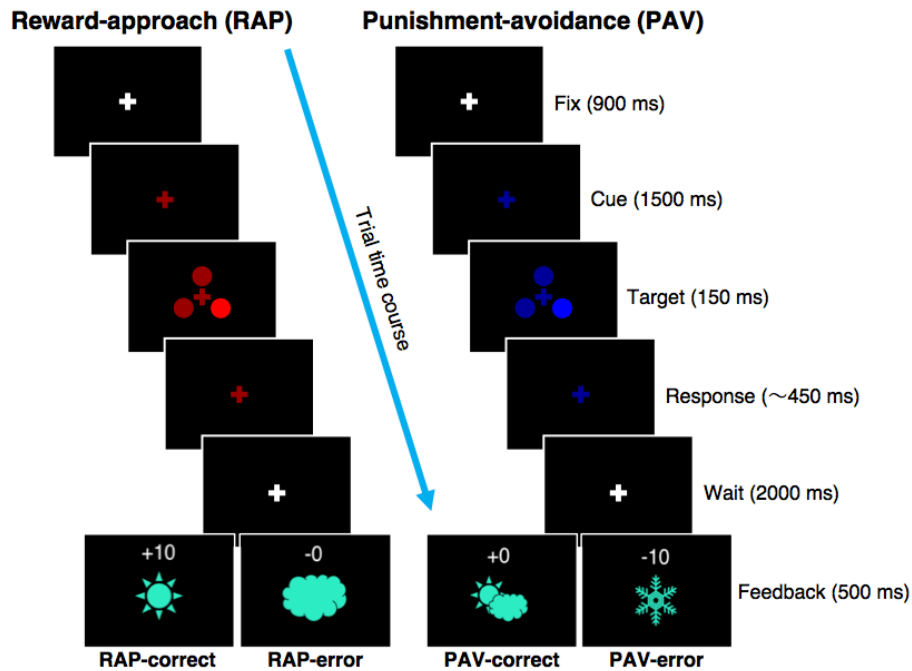


Figure 21. 金銭報酬遅延(MID)課題の手順

対象円の輝度(難易度)は、実験日の数日前に行われた練習セッションの成果に基づき、それぞれの参加者で正答率が 75%になるように調整された。そこで、対象円の輝度は、被験者毎に調節された(赤: 20.67-26.79 cd/m², 青: 8.66-15.87 cd/m²)。一方で、対象円以外の二つの円および背景の輝度は、被験者間で統一され(赤: 18.49 cd/m², 青: 6.97 cd/m², 背景: 0.17 cd/m²)、対象円と対象円以外の 2 つの円と相対的な輝度の差を作ることで難易度は操作された。3 つの円の大きさはそれぞれ直径 3 cm であった。被験者の輝度に対する順化を避ける為、2 色(赤、青)の円が各条件および各試行でランダムに用いられた。

ボタン押し時点から 2000 ms 後に、選択の正否を示すフィードバック刺激が 500 ms 呈示された。フィードバック刺激の種類により実験条件はそれぞれ特徴づけられた。成功毎に金銭報酬(+10 円)が与えられる報酬接近(reward-approach: RAP)条件と失敗毎に罰金(-10 円)が課される罰回避(punishment-avoidance: PAV)条件が設定された。実験の開始前に参加者に

は、謝礼金の 3000 円に加えて成果報酬(課題遂行に伴う総獲得金額)が実験終了後に支払われることが説明された。

フィードバック刺激として RAP 条件では、成功毎に+10 円を示す太陽図形と共に+10 の数字が、失敗毎に-0 円を示す雲図形と共に-0 の数字が呈示された。また、PAV 条件では、成功毎に+0 円を示す太陽と雲図形と共に+0 の数字が、失敗毎に-10 円を示す雪の結晶図形と共に-10 の数字が呈示された。さらに、試行毎に 1 ブロック中の総獲得金額がフィードバック刺激の下部に呈示された。

両条件ともに 128 試行を 1 ブロックとし、短い休憩を挟んだ 4 ブロックの計 512 試行が実施された。疲労や学習効果による順序効果を相殺する為、半数の参加者は RAP 条件から開始した(RAP-PAV-RAP-PAV)。また、残りの半数の参加者は PAV 条件から開始した(PAV-RAP-PAV-RAP)。ブロックの終了毎に気分の検査として二次元気分尺度(Sakairi et al., 2013)への回答が求められた。

(2) 脳波の記録方法

EEG および EOG は、Neurofax EEG-1200(Nihonkohden Corp.,Tokyo, Japan)により測定された。EEG は国際 10-10 法に則り EEG キャップ(waveguardTMoriginal, ANT Neuro, Enschede, Netherlands)を用いて頭皮上 56 部位 (Fp1/Fp2, AF3/AF4, F1/F2, F3/F4, F5/F6, F7/F8, FC1/FC2, FC3/FC4, FC5/FC6, FT7/FT8, C1/C2, C3/C4, C5/C6, T7/T8, CP1/CP2, CP3/CP4, CP5/CP6, TP7/TP8, P1/P2, P3/P4, P5/P6, P7/P8, PO3/PO4, O1/O2, Fpz, Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz)より導出された。脳波はサンプリングレート 500 Hz(時定数 10 s, ローパスフィルター100 Hz)で記録された。グラウンド電極は AFz 部位に設置された。基準電極は両乳様突起(M1, M2)とされた。瞬きおよび眼電位の脳波への混入を観察する為に、垂直 EOG は左眼窩下 1 cm か

ら記録された。また、水平 EOG は右眼角外の延長線上 1 cm から記録された。電極は Ag/AgCl 電極を用い、電気抵抗閾値は実験を通して 7 k Ω 以下に維持された。被験者のボタン押し時点は、ポーリングレート 1000Hz の USB 接続キーボード(CGR-WRNSB-500)により測定し、E-Prime 2.0 から TTL 信号を Neurofax EEG-1200 に出力することでボタン押し時点と EEG データの時間的同期が図られた。

(3) 分析およびデータの統計処理

正答率および二次元気分尺度で求められた快適度と覚醒度得点に対し、対応のある t 検定により実験条件間の比較を行った。また、Response 期におけるボタン押しの反応時間に対し、実験条件(RAP, PAV) \times 試行タイプ(成功, 失敗)の繰り返しのある二元配置分散分析を実施した。全ての統計検定の有意水準は 5%未満とし、全ての統計処理は SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., Armonk, New York, United States)により行われた。

(4) 脳波データの処理

脳波の分析は、EEGLAB(ver.13.4.3b; (Delorme & Makeig, 2004))を用いた。EEG データは処理を円滑に進めるため 128Hz にダウンサンプリングされた。EOG や体動の混入を検出した後、ICA を行い、アーティファクトの抽出および試行の除去を行った。75 μ V 以上の試行を除いた後、加算平均法により RAP 条件(RAP), PAV 条件(PAV), 成功試行(75%-correct), 失敗試行(25%-error), RAP 条件の成功試行(RAP-correct), RAP 条件の失敗試行(RAP-error), PAV 条件の成功試行(PAV-correct), PAV 条件の失敗試行(PAV-error)それぞれの, CNV, RP, SPN, RewP, FB-P3 が算出された。

加算回数の基準は 25 試行以上とし, 25 回に加算回数が満たない者, 課題の成績が著しく低い者(成功率が 60%を下回る)は除外された. 2 人の被験者は, 加算回数が 25 回に満たなかったため解析対象から除外された. 1 人の被験者は, 成功率が 60%を下回ったため解析対象から除外された.

CNV は, Cue 刺激呈示の 200 ms 前から Target 刺激呈示から 500 ms 後の区間で抽出された. RP と SPN は, ボタン押しの 2000 ms 前から 2500 ms 後の区間で抽出された. RewP と FB-P3 は Feedback 刺激呈示の 200 ms 前から 500 ms 後の区間で抽出された.

CNV の平均加算回数は, RAP 条件で 218.40 回, PAV 条件で 218.10 回であった. RP と SPN の平均加算回数は RAP-correct 試行で 136.30 回, RAP-error 試行で 45.45 回, PAV-correct 試行で 138.25 回, PAV-error 試行で 47.2 回であった. RewP と FB-P3 の平均加算回数は, RAP-correct 試行で 165.65 回, RAP-error 試行で 55.15 回, PAV-correct 試行で 169.65 回, PAV-error 試行で 56.55 回であった.

(5) CNV データの処理

CNV については, 報酬が期待される RAP 条件と罰が予想される PAV 条件とで比較された. Cue 刺激呈示前の 200 ms の平均電位を基線とし, Target 刺激呈示の直前 500 ms の平均電位を求め, CNV の解析対象区間とした(Frömer et al., 2016). CNV の頭皮上分布を示すトポグラフィーに基づき, C1, CP1, C2, CP2, Cz, CPz の 6 部位を平均化することで, 中心頭頂部の ROI として 1 領域にまとめた. CNV について, 実験条件(RAP, PAV)を要因に対応のある t 検定を実施した.

(6) RP および SPN データの処理

RP, SPN は、報酬が期待される RAP 条件と罰が予想される PAV 条件下の成功試行と失敗試行とで比較された。ボタン押しの 2000 ms 前から 1800 ms 前の 200 ms の平均電位を基線とした。RP は、ボタン押しの直前 200 ms の平均電位を解析対象区間とした

(Pornpattananangkul & Nusslock, 2015)。RP の頭皮上分布を示すトポグラフィーに基づき、FC3, C3 の 2 部位の平均を左半球、FC4, C4 の 2 部位の平均を右半球の RP の ROIs とした。

SPN は Feedback 刺激の呈示直前 200ms の平均電位を解析対象区間とした(Ohgami et al., 2014)。SPN の頭皮上分布を示すトポグラフィーに基づき、C1, CP1, C3, CP3, C5, CP5 の 6 部位の平均を左半球の SPN, C2, CP2, C4, CP4, C6, CP6 の 6 部位の平均を右半球の SPN の ROIs とした。RP と SPN に対し実験条件(RAP, PAV) × 試行タイプ(成功, 失敗) × 半球(左半球, 右半球)を要因とした多変量分散分析(MANOVA)を実施した。

(7) RewP および FB-P3 データの処理

RewP, FB-P3 については、報酬が期待される RAP 条件と罰が予想される PAV 条件における成功試行と失敗試行で比較した。Feedback 刺激呈示前の 200 ms の平均電位を基線とした。

RewP は、Feedback 刺激呈示の 250 ms 後から 350 ms 後までの 100 ms の平均電位を解析対象区間とした(Levinson, Speed, Infantolino, & Hajcak, 2017)。さらに、重畳する FB-P3 を RewP から取り除くため、波形の差分法(Sambrook & Goslin, 2015)を実施し、報酬・罰の効果の大きさを反映する Δ RewP を算出した(Heydari & Holroyd, 2016)。RAP-correct(+10 円)から PAV-correct(0 円)を減算することで、報酬効果の大きさを反映する Δ RewP(reward effect)を求めた。さらに、PAV-error(-10 円)から RAP-error(0 円)を減算することで、罰効果の大きさを

反映する ΔRewP (punishment effect)を求めた. F1, F2, Fz, FC1, FC2, FCz の 6 部位をまとめた中心前頭部を RewP の ROI とした.

FB-P3 は, Feedback 刺激呈示の 350 ms 後から 450 ms 後までの 100 ms の平均電位を解析対象区間とした. CP1, CP2, CPz, P1, P2, Pz の 6 部位をまとめた中心頭頂部を FB-P3 の ROI とした. RewP と FB-P3 に対し, 実験条件(RAP, PAV) \times 試行タイプ(成功, 失敗)を要因とした繰り返しのある二元配置分散分析を実施した. ΔRewP について, 報酬・罰効果の大きさを要因とした対応のある t 検定を実施した. さらに, ΔRewP についてベースライン(0 μV)を比較の対象とした 1 サンプルの t 検定を実施した(Heydari & Holroyd, 2016).

4.3 結果

(1) 行動指標および心理指標の結果

Figure 22 は、正答率、反応時間、二次元気分尺度の快適度および覚醒度の得点を示している。正答率について、2つの条件間で有意な差は認められなかった(RAP: 5.05%, PAV: 4.36%); $t(19) = .74, p = .47$ 。反応時間について、試行タイプの有意な主効果が見られた(成功: 449.61 ms, 失敗: 457.41 ms); $F(1, 19) = 10.89, p = .004, \eta^2 = .13$ 。反応時間は、成功試行で失敗試行よりも有意に短かった。一方、反応時間について、実験条件の有意な主効果は認められなかった(RAP: 452.77 ms, PAV: 454.25 ms); $F(1, 19) = .13, p = .72$ 。PES についても、2つの条件間で有意な差は認められなかった(RAP: 6.83 ms, PAV: 1.38 ms); $t(19) = 1.39, p = .18$ 。

二次元気分尺度の快適度得点は、RAP 条件で PAV 条件よりも有意に高かった(RAP: 7.40 点, PAV: 5.75 点); $t(19) = 2.8, p = .011, r = .54$ 。一方、覚醒度得点について、実験条件間で有意な差は認められなかった(RAP: -2.45 点, PAV: -1.55 点); $t(19) = -1.58, p = .13$ 。

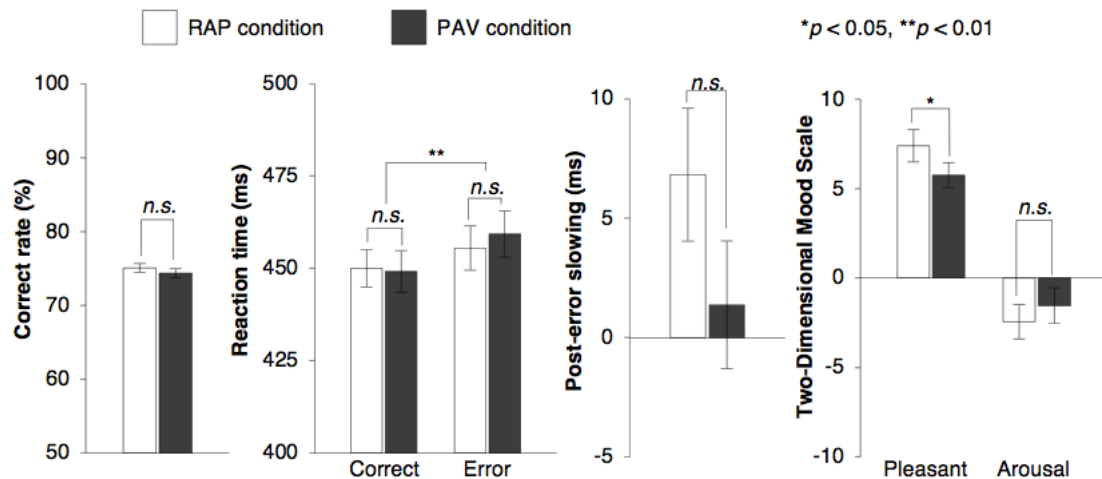


Figure 22. 行動指標および心理指標の結果

(2) CNV の結果

Figure 23 は, CNV の総加算平均波形およびトポグラフィーを示している. Cue 刺激の呈示後およそ 600 ms から Target 刺激の呈示に向かって CNV と見られるランプ状の陰性方向に高まる電位活動が見られた. Target 刺激呈示の直前 500 ms の頭皮上分布は中心頭頂部であった. CNV について, 実験条件間で有意な差は認められなかった(RAP: $-7.16 \mu\text{V}$, PAV: $-6.68 \mu\text{V}$); $t(19) = -1.74$.

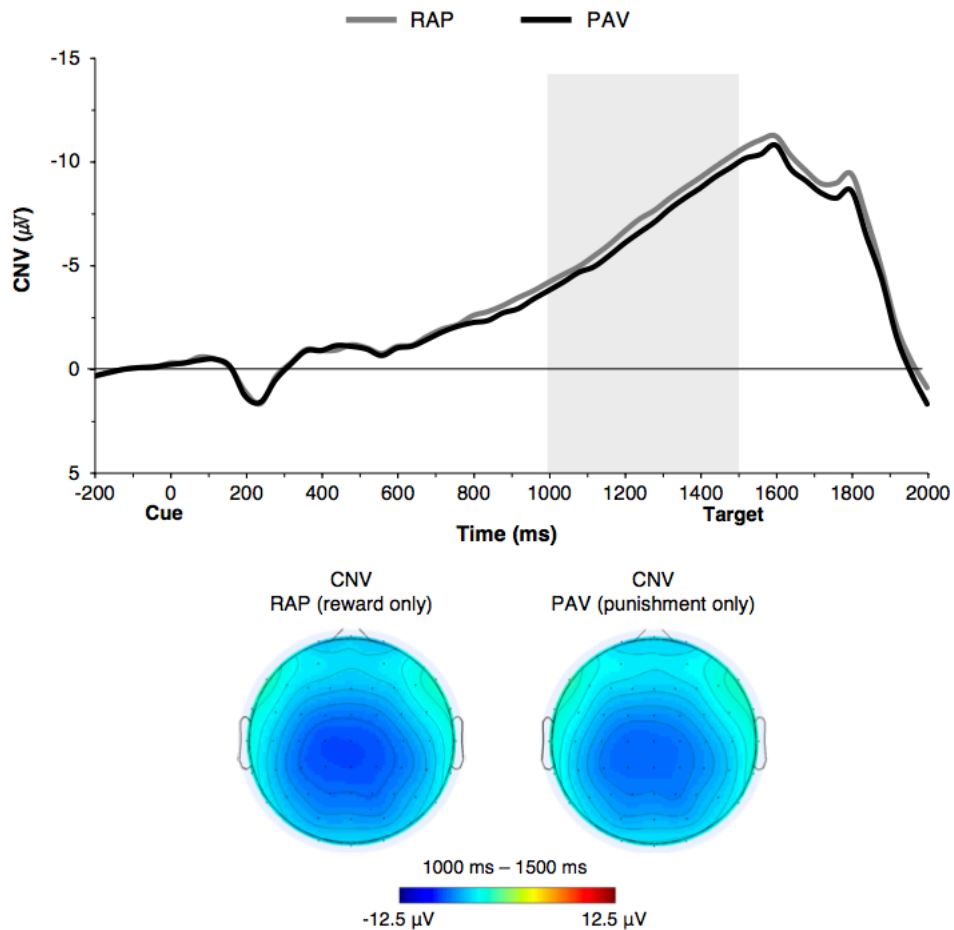


Figure 23. CNV 波形およびトポグラフィー

(3) RP および SPN の総加算平均波形

Figure 24 は, RP, SPN の総加算平均波形を示している. ボタン押しの直前に生じる陰性の電位成分が RP, フィードバック呈示の直前に生じる陰性の電位成分が SPN と推定された.

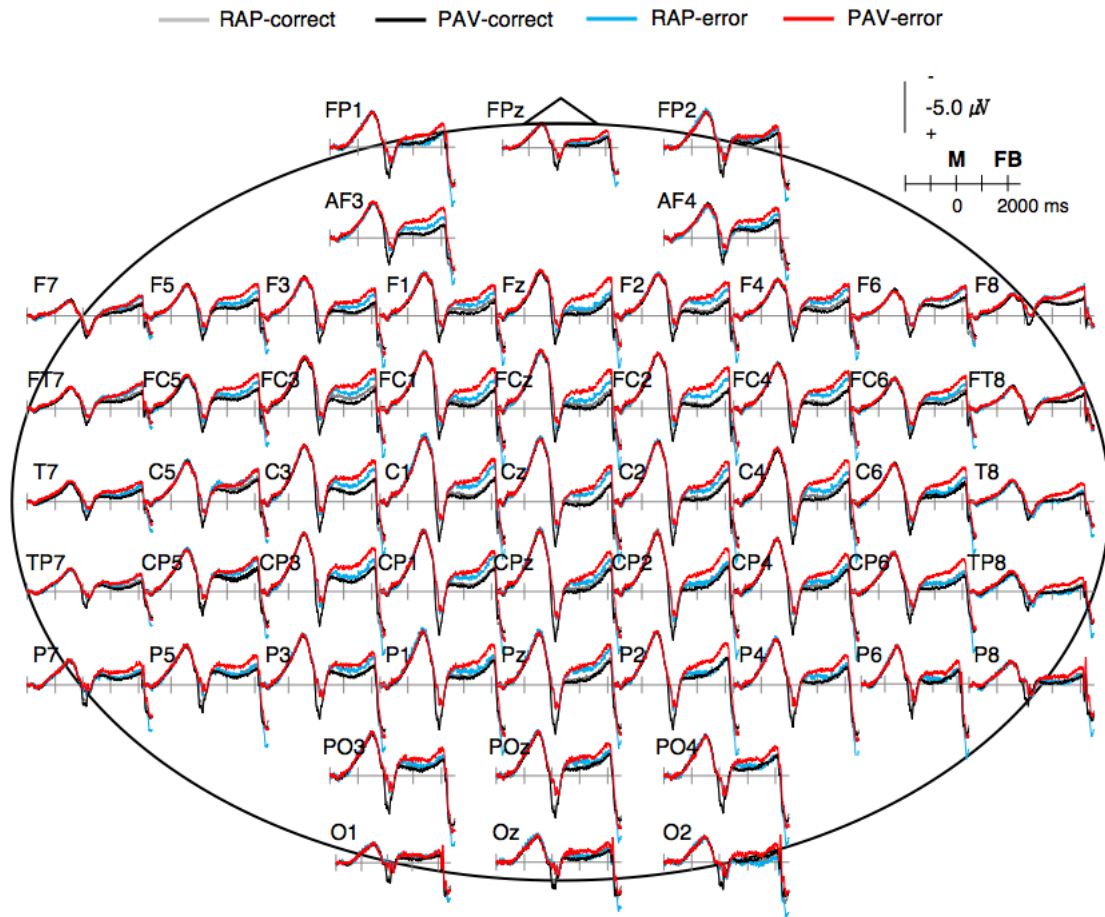


Figure 24. RP, SPN 波形

(4) RP の結果

Figure 25 は, RP の ROI における総加算平均波形, トポグラフィーを示している. ボタン押し直前に RP と見られる陰性の電位活動が見られた. ボタン押しの直前 200 ms の頭皮上分布は中心部の左側であった. RP について, 半球の有意な主効果が見られた(左半球: $-4.75 \mu\text{V}$, 右半球: $-2.99 \mu\text{V}$); $F(1, 19) = 24.06, p < .001, \eta^2 = .33$. 左半球の優位性が見出された (Figure 26). それ以外には有意な主効果および交互作用は見られなかった.

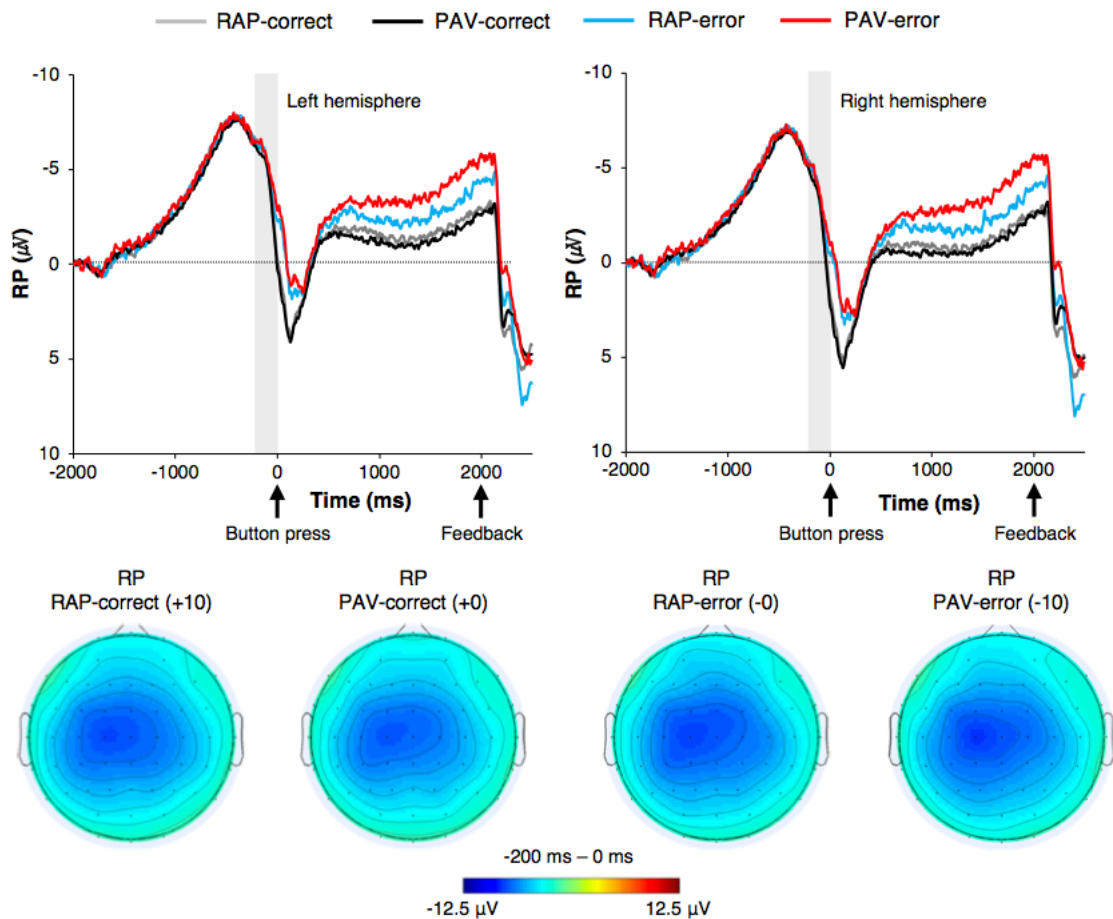


Figure 25. RP 波形およびトポグラフィー

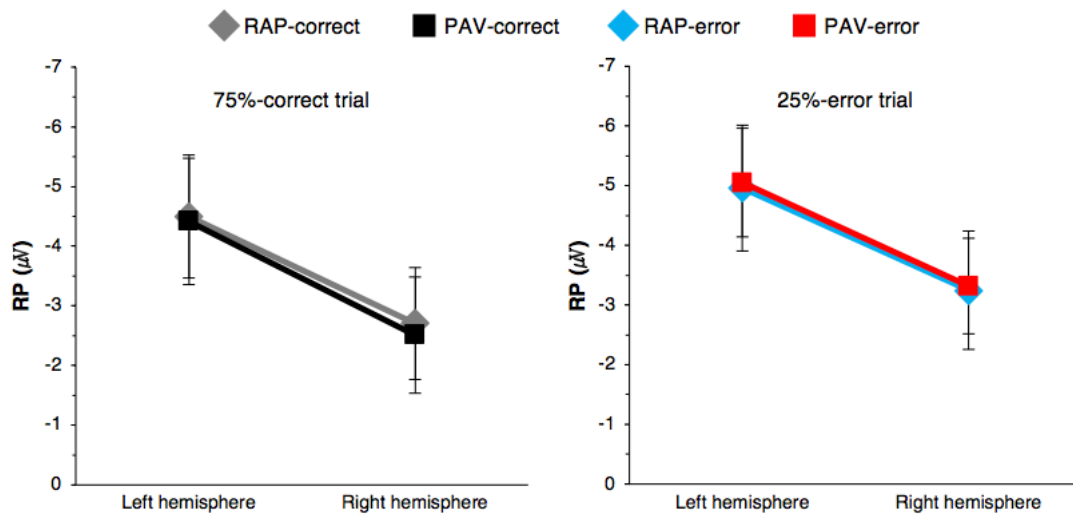


Figure 26. RP の半球間比較

(5) SPN の結果(主効果)

Figure 27 は, ROI における SPN の総加算平均波形, トポグラフィーを示している. フィードバック呈示の直前に SPN と見られる陰性の電位活動が見られた. フィードバック呈示の直前 200 ms の頭皮上分布は中心部の左側であった. SPN について, 試行タイプの有意な主効果が見られた(成功: $-2.67 \mu\text{V}$, 失敗: $-4.19 \mu\text{V}$); $F(1, 19) = 26.21, p < .001, \eta^2 = .262$. SPN は, 失敗試行で成功試行より有意に大きかった. さらに, 半球の有意な主効果が見られた(左半球: $-3.66 \mu\text{V}$, 右半球: $-3.19 \mu\text{V}$); $F(1, 19) = 12.18, p = .002, \eta^2 = .026$. SPN の左半球の優位性が見られた. 一方で, 実験条件の有意な主効果は見られなかった(RAP: $-3.22 \mu\text{V}$, PAV: $-3.64 \mu\text{V}$); $F(1, 19) = 2.195, p = .16$.

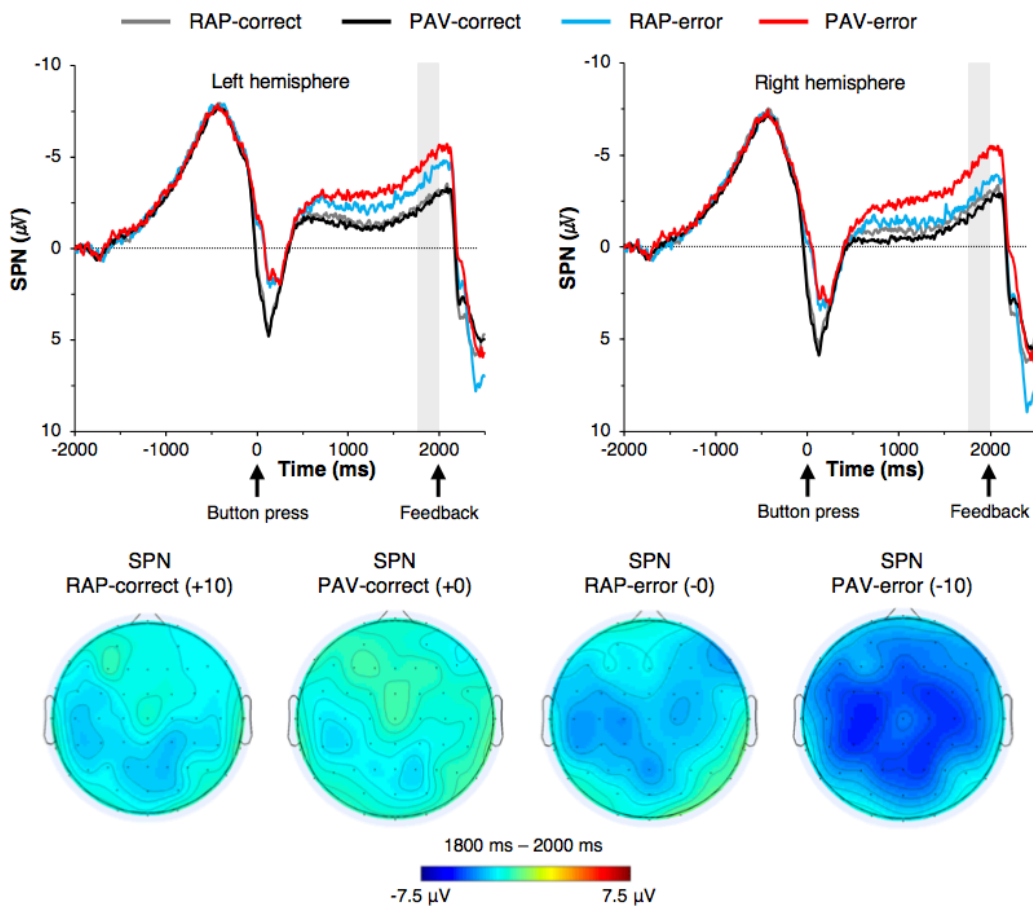


Figure 27. SPN 波形およびトポグラフィー

(6) SPN の結果(交互作用)

さらに, SPN について, 3 つの有意な交互作用が見られた(Figure 28); 実験条件 × 試行タイプ; $F(1, 19) = 5.77, p = .027, \eta^2 = .055$, 試行タイプ × 半球; $F(1, 19) = 4.86, p = .010, \eta^2 = .005$, 実験条件 × 試行タイプ × 半球; $F(1, 19) = 5.60, p = .029, \eta^2 = .006$. 下位検定の結果, PAV-error (-4.75 μV)は, RAP-error(-3.63 μV)より有意に大きかった($p < .001$). また, 失敗試行において SPN の左半球の有意な優位性(左半球: -4.52 μV , 右半球: -3.86 μV)が見られた($p < .001$). さらに, PAV-error の右半球(-4.49 μV)は, RAP-error の右半球(-3.15 μV)より有意に大きかった($p < .001$). 左半球の有意な優位性は, RAP 条件の失敗試行(左半球: -4.11 μV , 右半球: -3.15 μV)で見られた($p < .001$).

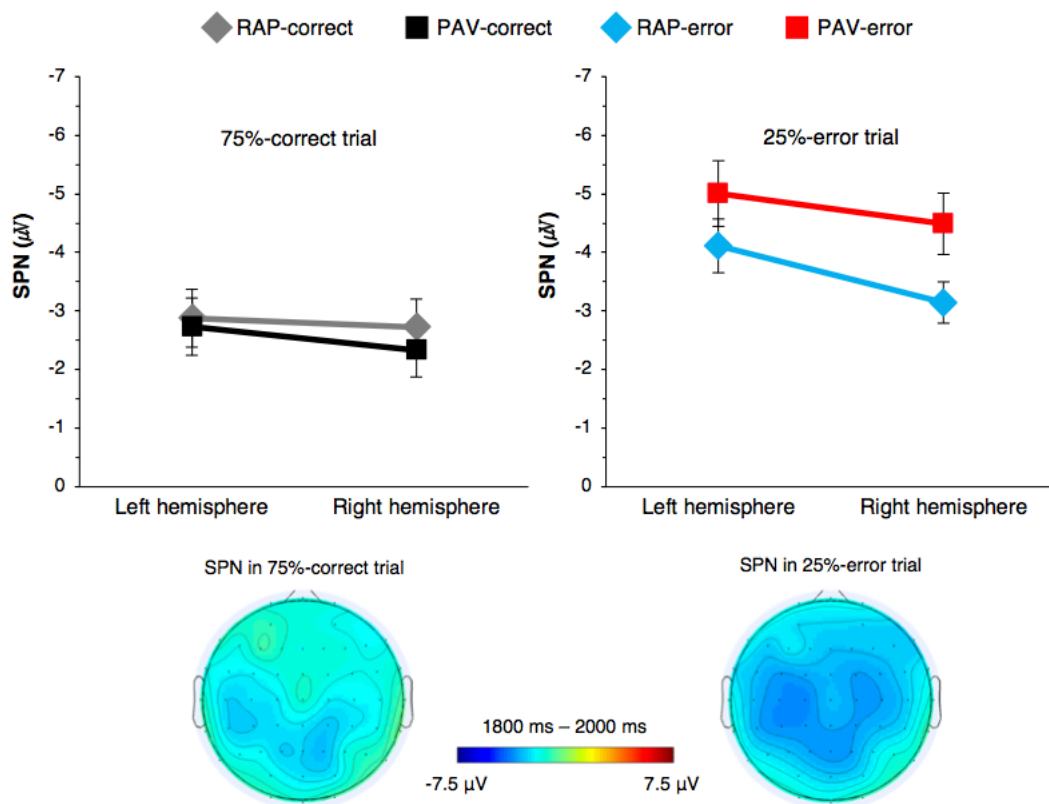


Figure 28. SPN の半球間比較

(7) SPNの結果(Fzチャンネル)

Figure 29は、SPNのRAP-errorとPAV-errorの差を示している。SPNの差分のトポグラフィ（PAV-errorからRAP-errorを減算）の視察(濃い青色)から、Fz(前頭部)において顕著な電位の違いが予想された。そこで、FzにおけるRAP-errorとPAV-errorのSPNについて、対応のある t 検定を実施した。FzにおけるPAV-errorはRAP-errorより有意に大きかった(RAP-error: $-2.75 \mu\text{V}$, PAV-error: $-4.82 \mu\text{V}$); $t(19) = -2.47$, $p = .023$, $r = .49$.

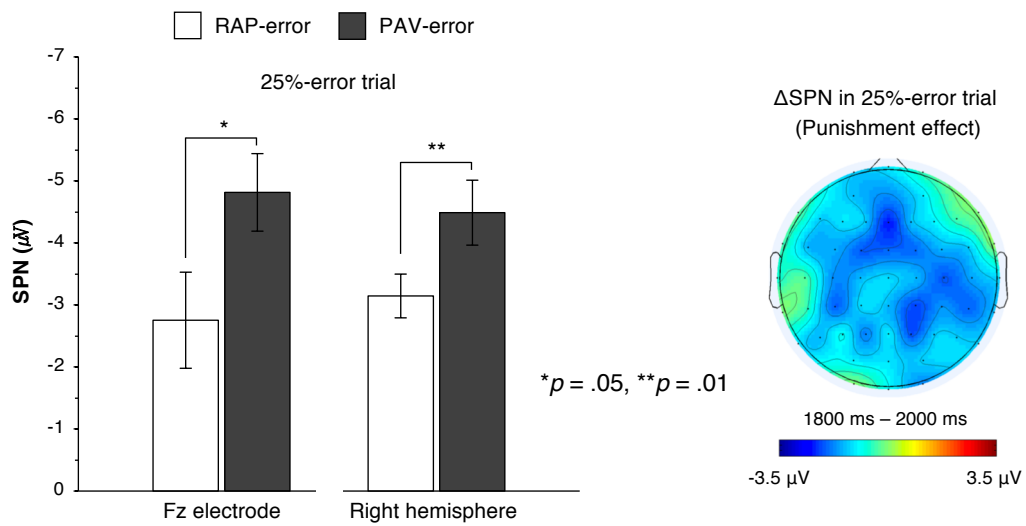


Figure 29. 罰効果による SPN の増大

(8) RewP(Δ RewP)の結果

Figure 30 は, ROI における RewP の総加算平均波形, トポグラフィーを示している. RewP について, 実験条件の有意な主効果が見られた(RAP: 8.44 μ V, PAV: 7.41 μ V); $F(1, 19) = 12.48, p < .001, \eta^2 = .081$. RewP は, RAP 条件で PAV 条件より有意に大きかった. また, 試行タイプの有意な主効果が見られた(75%-correct: 6.92 μ V, 25%-error: 8.93 μ V); $F(1, 19) = 23.89, p < .001, \eta^2 = .31$. RewP は失敗試行で成功試行より有意に大きかった. さらに, 実験条件 \times 試行タイプの交互作用が見られた; $F(1, 19) = 8.39, p = .009, \eta^2 = .075$. RewP は, RAP-correct(7.93 μ V)で PAV-correct(5.92 μ V)より有意に大きかった($p < .001$).

さらに, 報酬効果の大きさを反映する Δ RewP は, 罰効果の大きさを反映する Δ RewP より有意に大きかった(reward effect: 2.01 μ V, punishment effect: 0.04 μ V); $t(19) = 3.53, p = .002, r = .63$. また, 報酬効果の大きさを反映する Δ RewP はベースライン(0 μ V)より有意に大きかった; $t(19) = 5.67, p < .001, r = .79$. 一方で, 罰の効果の大きさを反映する Δ RewP とベースライン(0 μ V)の間に有意な差は見られなかった; $t(19) = -.08, p = .94$.

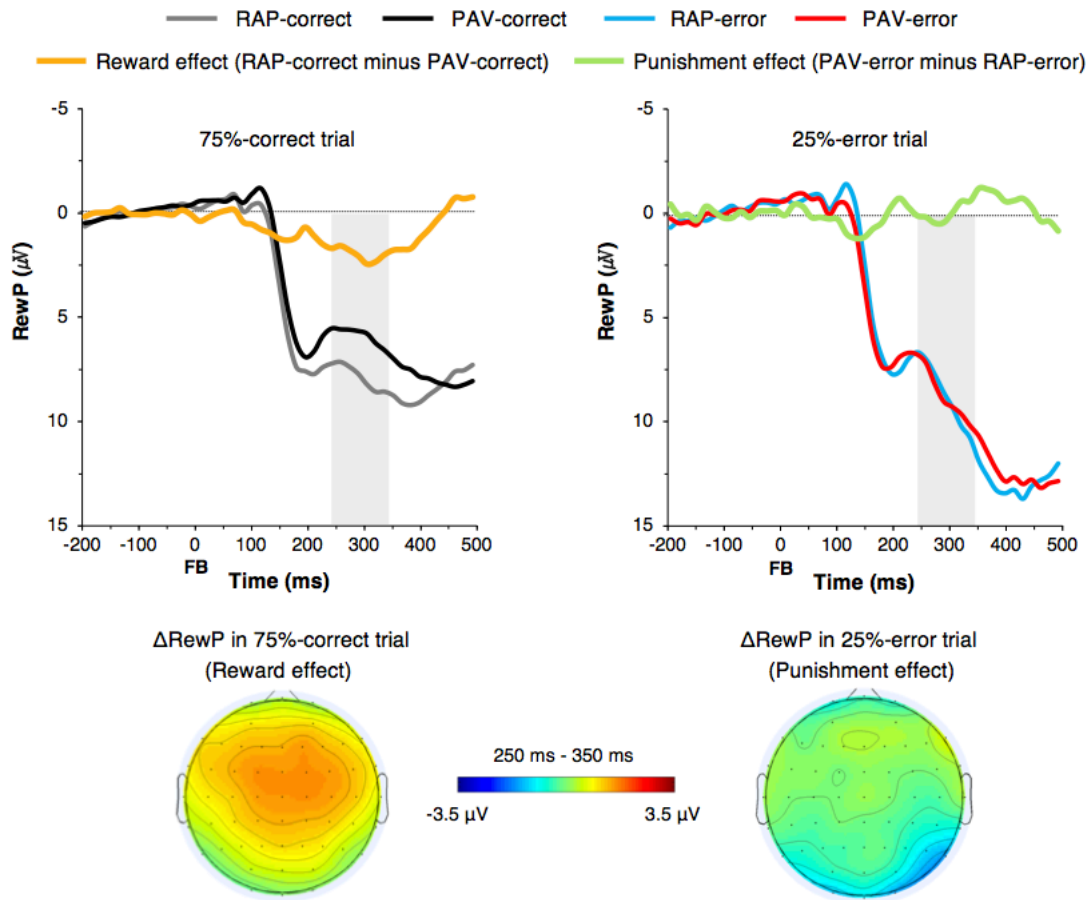


Figure 30. RewP 波形およびトポグラフィー

(9) FB-P3 の結果

Figure 31 は, ROI における FB-P3 の総加算平均波形, トポグラフィーを示している. FB-P3 について, 試行タイプの有意な主効果が見られた(成功試行: 9.50 μV , 失敗試行: 13.63 μV); $F(1, 19) = 62.16, p < .001, \eta^2 = .56$. FB-P3 は, 失敗試行で成功試行より有意に大きかった. それ以外には有意な主効果および交互作用は見られなかった.

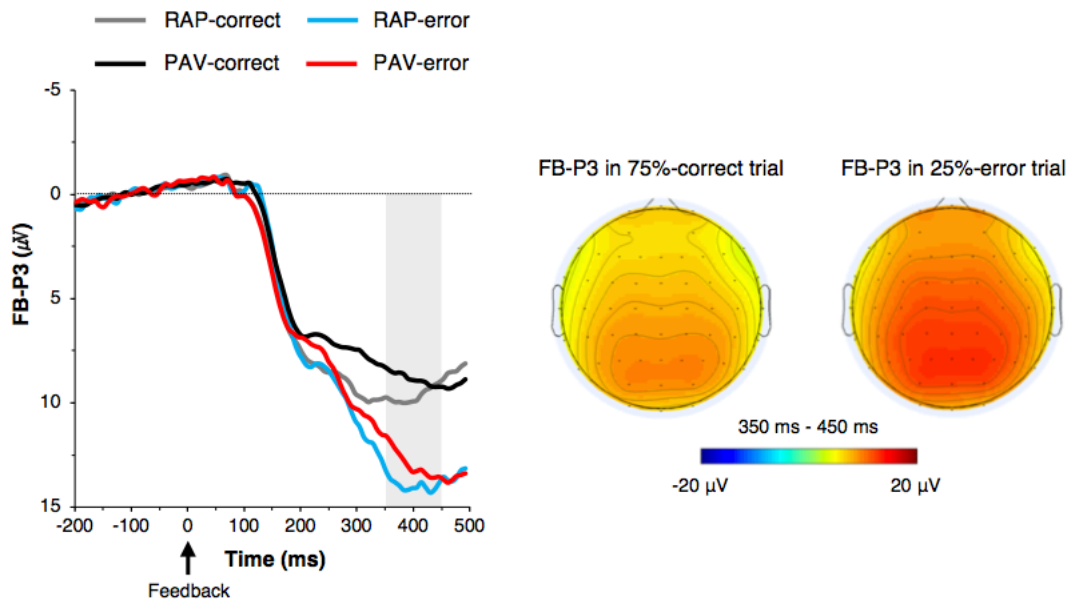


Figure 31. FB-P3 波形およびトポグラフィー

4.4 考察

本研究では、正答率が 75%になるように課題の難易度が調節され、実験条件間で正答率に有意な差は見られなかった。また、反応時間は条件間(RAP, PAV)で有意な差は見られなかった。一方で、試行タイプ間(成功, 失敗)で有意な差が見られた。成功試行における反応時間は、失敗試行より短かった。さらに、RAP 条件で PAV 条件より高い快適度得点が見られた。一方で、課題への心理的構えを反映する CNV およびボタン押しの準備といった運動準備を反映する RP について、実験条件間(RAP, PAV)で有意な差は見られなかった。これらの行動指標、心理指標および ERP の結果から、実験条件間で課題への動機づけ水準は同等であったことが推察され、本研究における ERPs の違いは高い報酬の獲得見込み(成功確率 75%)や実験条件間における金銭報酬や金銭罰の設定によるフィードバックに対する動機づけの影響により生じたものと考えられる。

仮説 1 は、SPN と FB-P3 は、75%の頻度で生じる成功試行と比較して 25%の頻度で生じる失敗試行で大きくなることであった。仮説に則り、SPN と FB-P3 は 25%の頻度で生じる失敗試行で 75%の頻度で生じる成功試行より大きかった。本研究における成功試行と失敗試行が生じる頻度は、P300 を誘発される古典的なオッドボール課題に類似したもので (Duncanjohnson & Donchin, 1982), 25%の頻度で生じる失敗試行は、75%の頻度で生じる成功試行より稀で確率的に顕著であったと考えられる。この解釈は、FB-P3 について 25%の頻度で生じる失敗試行で 75%の頻度で生じる成功試行より大きかったことから支持される。報酬獲得の見込みが低い事態で SPN が高まった本研究結果は、Umemoto and Holroyd(2017)の結果と一致している。Umemoto and Holroyd(2017)は、報酬獲得の見込み(成功率)が 0%, 25%, 75%の事態において報酬の獲得見込みが 100%の事態と比較して大きくなることを報告しており、SPN は報酬の見込みが低い場合に高まることが示唆されている。

報酬獲得の見込みの影響に加えて、25%の頻度で生じた失敗試行における結果に対する不確かさも、SPN を高めた要因と考えられる。これまでの、フランカー課題、ストループ課題を用いた研究と対照的に、本研究ではアクションスリップが見られなかった(Endrass et al., 2012; Endrass et al., 2007; Endrass et al., 2010)。アクションスリップとは、フランカー課題やストループ課題等の認知課題遂行中に生じるエラーの一種であり、失敗試行で成功試行と比較して有意に反応時間が短縮する現象である。しかしながら、本研究の反応時間は失敗試行で成功試行より有意に延長した。本研究で用いた MID 課題では、規定時間内(600 ms)に選択押下し、正答率を可能なかぎり高めることを被験者は求められていたことから、失敗試行における反応時間の延長は、選択押下に対する確信度が低かったために生じた現象と考えることができ、成果(失敗)に対する不確かさ(確信度の低さ)が、SPN を高めたと解釈することができる。

これらの報酬獲得の見込み(事象が生じる頻度)や、成果に対する不確かさ(確信度の低さ)が SPN に及ぼす影響は、顕著性ネットワークの機能によるものと考えられる(Seeley et al., 2007)。顕著性ネットワークの主な機能は顕著事象の検出である。これまでの研究から、顕著性ネットワークは島皮質と前頭回が関与していることが報告されている(Uddin, 2015)。さらに、Kotani et al. (2015)は、SPN の主な生理的発生源が右半球の島皮質であることを fMRI と EEG の同時計測により明らかにしており、SPN は直後に呈示される成果の顕著性を反映していることを示唆している(Kotani et al., 2015)。これらの知見から、75%の頻度で生じる成功試行と比較して 25%の頻度で生じる失敗試行における SPN の増大は、失敗という稀で確率的に顕著な事象として捉える過程で島皮質における顕著性ネットワークの活動が高まったためと考えられた。

さらに本研究のSPNについて、試行タイプ(成功, 失敗) × 半球(左半球, 右半球) の交互作用が見られた。25%の頻度で生じる失敗試行において、SPNは左半球優位の活動が見られた。SPNは顕著性ネットワークとの関わりから、多くの研究で右半球優位の頭皮上分布が報告されている(C. H. Brunia & van Boxtel, 2004; Damen & Brunia, 1994; Ohgami et al., 2006)。右半球における島皮質は、注意や感情の処理を担っていることが明らかにされていることから(Medford & Critchley, 2010; Uddin, 2015)、75%の頻度で生じる成功試行と比較して、25%の頻度で生じる失敗試行が単純に稀で確率的に顕著な事象であったのならば、右半球優位の活動が観察されるはずであった。しかしながら、本研究で計測されたSPNは左半球優位であり、試行タイプ(成功, 失敗) × 半球(左半球, 右半球)の交互作用の結果から、25%の頻度で生じる失敗試行で特に顕著な左半球優位の活動が見られることが明らかにされた。

これらの結果は、島皮質の左右の機能の違いによるものと考えられる。Späti et al. (2014) は、fMRIを用いて左右の島皮質の機能の違いについて明らかにしている。Späti et al. (2014)の研究では、60%に成功率が統制された認知課題が用いられた。フィードバックがパフォーマンスに寄与するself-attributed(内因性帰属)条件と、フィードバックがパフォーマンスに寄与しないexternally-attributed(外因性帰属)条件が設けられ、パフォーマンスがフィードバックに寄与する影響が検証された。その結果、左の島皮質の活動がexternally-attributed条件と比較してself-attributed条件で高まることが明らかにされた。これらの結果から、右の島皮質は顕著事象の検出の機能を担い、左の島皮質は行動の成否を自身のパフォーマンスから推定できる場合には、行動調整の機能を担うことが示唆されている。これらの知見から、本研究で見られた25%の頻度で生じる失敗試行におけるSPNの左半球の優位性は、左の島皮質が担う行動調整の機能に関わるもので、エラーを減らすことや失敗したかもしれないといった主観的手応えに基づき行動調整を反映したものと考えられる。さらに、本研究で見られた

SPNの左半球の優位性について、課題の難易度の影響も示唆される。正答率がおおよそ75%になるように難易度が調整された研究3のMID課題は、正答率が50%-60%(Ohgami et al., 2014; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015)になるように難易度が調整された時間評価課題と比較して、成功したかもしれない、失敗したかもしれないといった主観的手応えを生じさせることで、成果の予期を容易にしたことが予想される。

総じて、行動の成否を自身のパフォーマンスから推定できる場合には、左半球におけるSPNは、エラーを起こした後の行動調整の活動(動機づけ)を反映していると考えられる。

仮説2は、SPNは、75%の頻度で生じる成功試行において、報酬なしの罰回避条件(+0円)と比較して報酬ありの報酬接近条件(+10円)で大きくなることであった。仮説と異なりSPNについて75%の頻度で生じる成功試行である報酬接近条件(+10円)と罰回避条件(+0円)の間に有意な差は見られなかった。一方で、SPNについて実験条件(RAP, PAV) × 試行タイプ(成功, 失敗)の交互作用が見られた。25%の頻度で生じる失敗試行のSPNは、罰回避条件(-10円)で報酬接近条件(-0円)より大きかった。さらに、実験条件(RAP, PAV) × 試行タイプ(成功, 失敗) × 半球(左半球, 右半球)の三次の交互作用が見られた。右半球において25%の頻度で生じる失敗試行のSPNは、罰回避条件(-10円)で報酬接近条件(-0円)より大きく、前頭部(Fz)においてSPNは、罰回避条件(-10)で報酬接近条件(-0)より大きかった。これらの結果は、報酬による接近の動機づけに着目したこれまでのSPN研究の結果と一致していない。これまでの研究では、SPNは報酬による成果に対する接近の動機づけを反映しており、好ましいフィードバックの呈示に向かい増大することが報告されている(K. B. E. Böcker, Baas, Kenemans, & Verbaten, 2001; Foti & Hajcak, 2012; Fuentemilla et al., 2013; Kotani et al., 2003; Masaki et al., 2006; Moris, Luque, & Rodriguez-Fornells, 2013; Ohgami et al., 2004; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015)。そこでは、報酬の予期に対しSPNは増大することに

加えて、ドーパミンの分泌不足が病因と考えられるパーキンソン病患者や、ドーパミンの過剰分泌が病因と考えられる統合失調症患者で健常者と比較して SPN は減少することが報告されており、SPN は脳内の報酬系におけるドーパミン神経回路と関係していることが示唆されている(Mattox et al., 2006; Wynn et al., 2010). しかしながら、本研究では 75%の頻度で生じる成功試行において、SPN が報酬による接近の動機づけを反映する結果は得られなかった。SPN は 25%の頻度で生じる失敗試行において、右半球と前頭部で罰による回避を目的とした動機づけの効果の影響が見られた。これらの結果は、報酬の獲得見込み(頻度)が外因性フィードバックに対する動機づけに干渉することで、報酬の獲得頻度が報酬の予期・期待に影響している可能性を示唆している。25%の頻度で生じる失敗試行における右半球と前頭部の SPN の増大は、顕著性ネットワークに関わる島皮質と、情動制御を担う前部帯状皮質から説明することができる。K. B. E. Böcker et al. (2001)は、電気刺激を用いた恐怖感情の誘発によって SPN は前中心部で増大することを報告している。さらに、ダイポール分析を用いた生理的発生源の推定により、SPN 増大の背景は前部帯状皮質であることを明らかにしている。また、前部帯状皮質は、感情や認知の制御を担っていることが報告されており(Stevens, Hurley, & Taber, 2011), 本研究においても罰回避条件の失敗試行で前頭部において SPN の増大が観察されたことから、罰回避の動機づけが前部帯状皮質の活動を増加させたと考えられる。

SPN の主な生理的発生源として、顕著性ネットワークに関わる前部帯状皮質、島皮質が報告されており(K. B. Böcker et al., 1994; Kotani et al., 2015), SPN はヒトの予期、期待の心的過程を反映していると考えられている。そのため、成功試行において報酬なしフィードバックと比較して報酬を用いた接近の動機づけにより報酬ありフィードバックに対する期待が高まることは理解できる。一方で、本研究では 25%の頻度で生じる失敗試行において、罰

なしフィードバックと比較して罰を用いた回避の動機づけにより罰ありフィードバックに対する予期の高まることが明らかにされた。これらの結果は、報酬の獲得見込み(頻度)の要素が、報酬を用いた動機づけに干渉していることを示唆している。SPNを対象としたこれまでの研究では、本研究で用いた MID 課題(成功確率 75%、失敗確率 25%)と異なり、ギャンブルや時間評価課題(成功確率 50%、失敗確率 50%)といった成功と失敗の見込み(頻度)がおおよそ等しい課題が用いられており、報酬の獲得見込み(頻度)と賞罰を用いた動機づけの交互作用については明らかにされてこなかった。研究 3 仮説 1 の結果から、SPN が報酬の獲得見込み(頻度)を反映することが明らかにされたことから、確率的に顕著(稀)な 25%の頻度で生じる失敗試行に罰が設けられた罰回避条件と異なり、75%の頻度で生じる成功試行に報酬が設けられた報酬接近条件では、報酬獲得の頻度が高かったために報酬による接近の動機づけが馴化した可能性が示された。また、Späti et al. (2014)の研究から、右半球における SPN はフィードバックの顕著性を反映することが推測されており、本研究の右半球における SPN の増大は、25%の頻度で生じる失敗の重要性が罰により重みづけられたために生じた罰回避の動機づけを反映していると考えられる。

総じて、報酬獲得の見込み(頻度)が比較的高い状況下(成功確率 75%、失敗確率 25%)では、SPN は成功事態において報酬接近の動機づけを反映しない一方で、SPN は失敗事態において罰回避の動機づけを反映することを明らかにした。また、これらの特徴は、達成見込み(成功、失敗の頻度)の要素が、賞罰を用いた動機づけ作用に干渉するためと考えられる。

仮説 3 は、外因性フィードバックの評価を反映する RewP は、75%の頻度で生じる成功試行において、報酬なしの罰回避条件(+0 円)と比較して報酬ありの報酬接近条件(+10 円)で大きくなることであった。

結果は, RewP について実験条件(RAP, PAV) × 試行タイプ(成功, 失敗)の交互作用が見られた。失敗試行における報酬接近条件(-0 円)と罰回避条件(-10 円)の RewP の間に差は見られなかったが, 成功試行における罰回避条件(+0 円)と比較して報酬接近条件(+10 円)の RewP は大きかった。さらに, 報酬の動機づけ効果による Δ RewP の増大は, 罰の動機づけ効果による Δ RewP より大きく, 罰の動機づけ効果による Δ RewP の増大と基線(0 μ V)の間に差は見られなかったことから, 成果の評価期間において罰の動機づけ効果は生じていないことが示唆された。これらの結果は, これまでの RewP の知見と一致している(Frömer et al., 2016; Heydari & Holroyd, 2016; Meadows et al., 2016)。Meadows ら(2016)は, RewP に対する報酬の大小の影響(break-even, low, high)に着目し検証を行った。その結果, RewP は成功試行で陽性方向に大きく, 成功において報酬が大きくなるほどに RewP は増大したことを明らかにし, RewP が成功・失敗といった成果の正負の価値評価(良い, 悪い)を明瞭に反映した FRN 同様の特徴を備えていることを示唆している。さらに, これまでの RewP を対象とした研究では, 報酬の大小の影響が, 成功試行においてのみ反映されることが報告されている。成功試行においてのみ報酬の操作の影響が見られることは, FRN が罰の大小の影響を反映しないとするこれまでの知見と一致していると考えられる(Walsh & Anderson, 2012)。また, Heydari and Holroyd(2016)は, 正答率 50%の 2 択のドア課題を用いて, Δ RewP は罰なしの報酬条件で報酬なしの罰条件より増大すること, 罰条件の Δ RewP は基線(0 μ V)と差が見られなかったことを明らかにしている(Heydari & Holroyd, 2016)。研究 3 の報酬接近条件(+10 円)の成功試行における RewP の増大は, Δ RewP が前部帯状皮質における予測誤差信号(予測した成果と実際の成果の差)ではなく, 報酬に限った報酬予測誤差信号(予測した報酬と実際の報酬の差)を反映していることを支持するものであり, 成果の評価期における報酬接近の動機づけを反映することが明らかにされた。

4.5 結論

研究 3 では、主観的な達成見込みの操作として成功確率を 75% に設定することで、成功試行、失敗試行それぞれの外因性フィードバックの予期・期待と評価の期間における賞罰を用いた動機づけ効果の影響について明らかにした。成果の予期・期待の期間で生じる SPN は、報酬獲得の見込みの高い成功試行と比較して、報酬獲得の見込みの低い失敗試行で大きくなることを見出した。また、報酬獲得の見込みの高い成功試行では、金銭報酬による接近の動機づけの効果は見られなかったが、報酬獲得の見込みの低い失敗試行では、金銭罰による回避の動機づけの効果が見出された。一方で、成果の評価の期間で生じる RewP は、75% の高頻度で生じる成功試行において金銭報酬による接近の動機づけの効果を反映したのに対して、25% の低頻度で生じる失敗試行において金銭罰による回避の動機づけの効果は反映しなかった。

総じて、SPN の特性として確率的に顕著な罰フィードバックに対し増大すること、成果の予期・期待の期間において報酬獲得の見込み(頻度)が報酬を用いた動機づけに干渉すること、また、RewP は罰ではなく報酬に対してのみ増大することを明らかにした。

第5章 総括論議

本章では、3つの研究課題の検証から得られた知見に基づき、勝敗、賞罰といった第三者から与えられる外因性フィードバックと課題の達成見込み(勝ちの見込み、報酬の獲得見込み)の操作により変化する動機づけとERPの関係について討論する。

Skinner(1948)のオペラント条件づけ理論に基づき、成功行動を強化する手段として報酬、失敗行動を弱化する手段として罰を外因性フィードバックとして用いた動機づけ研究が1960年代のERP(CNV, P300)の発見からなされ、賞罰により生じる接近・回避の動機づけと心的過程の関係について多くの知見が蓄積されてきている(C. H. Brunia et al., 2011; Heydari & Holroyd, 2016; Kotani, Hiraku, Suda, & Aihara, 2001; Krigolson, 2017; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015; Potts, 2011; Proudfit, 2015; Walsh & Anderson, 2012; Weinberg et al., 2014). これらの研究成果によると、課題遂行に向けた心理的構え(CNV)、運動準備(RP)、成果の予期・期待(SPN)、エラーの検出(ERN)、エラーの意識的な気づき(Pe)、成功の評価(RewP)、成果に対する注意資源の配分(FB-P3)は、金銭による賞罰の与えられない条件と比較して、賞罰が設定されることで、成果といった外因性フィードバックの心理的な重要性が高まることで大きくなることが明らかにされている(C. H. Brunia et al., 2011; Pornpattananangkul & Nusslock, 2015; Potts, 2011; Proudfit, 2015). これらの研究成果から、行動選択に対する良い、悪いといった外因性フィードバックを指導者に大きく委ねるスポーツ指導の現場では、指導者の賞賛や叱責が、スポーツ場面で生じる個々の局面において大きな動機づけ効果を持っていることが予測される。

また、Atkinsonモデルで予測される課題の達成見込みの高低が動機づけに及ぼす影響についても、ERPを動機づけ効果の指標に研究がなされてきている(K. E. Crowley & Colrain,

2004; Heydari & Holroyd, 2016; Holroyd & Coles, 2002; Pailing & Segalowitz, 2004; Schevernels et al., 2014; Silvetti et al., 2014; Walsh & Anderson, 2012). これらの研究成果によると、自身の失敗行動に対する内因性フィードバック(ERN, Pe)は、達成見込みの高い容易な課題を遂行する事態で高まることが明らかにされ、比較的成功確率の高い事態でヒトの失敗回避の動機づけが高まることが予測している Atkinson モデルに近似した成果が得られている (Endrass et al., 2012). また、自身の成功行動に対する内因性フィードバック(CRN), 外因性成功フィードバックの評価(RewP)は、達成見込みの低い困難な課題を遂行する事態で高まることが明らかにされ(Heydari & Holroyd, 2016; Pailing & Segalowitz), 課題遂行が困難な事態での成功はとりわけ大きな動機づけ効果を持っていることが予測される. さらに、課題遂行に向けた心理的準備(CNV), 成果の予期・期待(SPN)といった準備の局面では、低い達成見込みの事態で動機づけは高まることが明らかにされており、失敗の回避に向けた動機づけ効果が成功に向けた接近の動機効果よりも大きい可能性が示唆されている(Roth, Ford, Stephen, & Kopell, 1976; Umemoto & Holroyd, 2017).

外発的動機づけが効果的に作用するタイミング、達成見込みの高低の影響について研究が進められる一方で、報酬、罰を変数とした動機づけ効果の大きさの比較については、未だ統一された知見は得られていない(堀ほか, 2017ab). この主要な要因としては、対象者の達成見込みの推定に関わる課題の難易度が賞罰といった外因性フィードバックの価値評価に干渉している可能性が挙げられる.

ERP を指標とした実験を行う上で、用いる認知課題の選定は重要であり、その中でも課題の難易度の設定および統制は特に注意が必要と考えられる. 何故ならば、課題の難易度の設定により成功率は規定することができるが、その操作に伴い成功・失敗、報酬・罰が生じる頻度が規定されてしまうからである(Luck, 2014). 例えば、試行錯誤を繰り返す学習

過程においては、上手くやれたかも、失敗したかもといった主観的手応えは学習を促進させる大きな要素と考えられている(Schultz, 2015; J. E. Sutton & Shettleworth, 2008). つまり、フランカー課題やストループ課題といった行動選択が容易な課題を用いることで、成功確率を高めると共に主観的手応えを高めることが可能であるが、成功や失敗に行動に付随する報酬・罰が生じる頻度の平等性が崩れてしまう。ERPにおける事象が生じる頻度の影響については、P300に代表されるように高頻度と比較して低頻度の事象に対して明瞭に大きくなる特徴が明らかにされている(Duncanjohnson & Donchin, 1982; Polich, 2007; Polich & Kok, 1995). また、CRNは賞罰を用いた動機づけを反映しない一方で、成功の頻度が低い(達成見込みの低い・成功率の低い)事態でその振幅は頻度が高い事態と比較して大きくなることが明らかにされている(Pailing & Segalowitz, 2004). 上記の点から、成功や失敗に付随する賞罰の発生頻度は外発的動機づけの程度を規定する大きな要素であることが推察される。

これまでのERPを動機づけの効果の指標とした研究では、多種多様な事態における賞罰を用いた動機づけの有用性が報告されており、準備、評価といったそれぞれの事態に対応した脳内における生理過程の解明が進められているが、用いられる多くの実験課題は主観的手応えを生じさせない行動選択時点での成果が不明瞭なギャンブル課題や、課題を遂行する過程で第三者の指摘・指示といった外因性フィードバックが重要にならない単純且つ容易な認知課題であった。これらの課題は、異なる局面で生じる心的過程と生理過程の対応を明らかにする上で、明瞭な解釈および知見を蓄積する有力な研究手法と考えられる。一方で、実際のスポーツ(競争, 学習)場面からは大きく乖離しており、これまでの研究により作成された動機づけに関するAtkinsonモデルといった知見を実践応用する上でも、賞罰の動機づけ効果とスポーツ場面における個々の心的過程の対応関係について時系列的な検証が必須と考えられた。

そこで、本博士論文では、ERP と個々の心的過程の対応関係として主観的手応えに着目した。主観的な達成見込みと賞罰の組み合わせが接近・回避の動機づけに及ぼす影響について ERP の測定に基づき検証を行った。

研究 1 では対人型スポーツの競争場面を想定し、連続して勝利する勝ちの見込みが高い事態(勝ちの見込み 80%)、連続して敗北する勝ちの見込みが低い事態(勝ちの見込み 20%) が、課題遂行に対する心理的構え(CNV)や成果に対する注意資源の配分(FB-P3)に及ぼす影響について検証した。研究 2 ではスポーツの練習場面を想定し、賞罰設定が内因性フィードバックの機能であるエラー行動の検出(ERN)、エラーの意識的な気づき(Pe)に及ぼす影響について検証した。研究 3 では第三者から賞賛や叱責といった外因性フィードバックが与えられるスポーツ指導の場面を想定し、達成見込みの高い成功事態(報酬獲得の見込み 75%)と達成見込みの低い失敗事態(報酬獲得の見込み 25%)において、賞罰呈示がフィードバックの予期・期待(SPN)や成果の評価(RewP)に及ぼす影響について検証した。

研究 1 の結果について、課題に対する心理的構え(CNV)や成果に対する注意資源の配分(FB-P3)は、勝ちの見込みの低い条件で大きかった。これらの結果から、主観的な勝ち見込みの高い勝ちの維持を目的とした動機づけ(接近の動機づけ)よりも、主観的な勝ち見込みの低い負けを回避することを目的とした動機づけ(回避の動機づけ)が、課題の遂行に関わる動機づけには効果的であることが示唆された。

研究 2 の結果について、自身のエラー反応の検出機能(ERN)は、金銭罰が設定された条件で亢進した。さらに、罰設定による動機づけ効果を示す Δ ERN と BAS 得点の間に負の相関が見られた。これらの結果から、罰回避の動機づけがエラー検出の亢進には有用であること、罰は報酬による行動の賦活が小さい者ほどエラー検出の機能を高める上で効果的であることが示唆された。

研究3の結果について、賞罰といった外因性フィードバックに対する予期・期待(SPN)は報酬獲得の見込みの低い失敗試行で亢進した。さらに、予期・期待(SPN)は成功試行における金銭報酬の有無による差は見られなかったが、失敗試行において金銭罰の予期に伴い亢進した。これらの結果から、外因性フィードバックの予期・期待の心的過程では報酬獲得の見込みが、賞罰を用いた接近・回避の動機づけに干渉していることが明らかにされた。一方で、罰により亢進した予期・期待の心的過程とは対照的に、外因性フィードバックの評価(RewP)は、報酬獲得の見込みの高い成功試行における金銭報酬の呈示に伴い亢進した。これらの結果から、外因性フィードバックの評価の局面では、指導者によって与えられる賞賛が唯一成果の評価を亢進させることが示唆された。

研究1および研究3の結果から、競争事態における心理的構え(CNV)および学習事態における第三者からのフィードバックに向けた予期・期待(SPN)は、達成見込みの低い事態で高まることが明らかになった。これらの結果は、これまでのCNV, SPN研究で明らかにされてきた知見を検証するものであった(Roth, Ford, Stephen, & Kopell, 1976; Umemoto & Holroyd, 2017)。一方で、実験3で計測された外因性フィードバックの予期・期待を反映するSPNについて、達成見込みの高い成功試行で報酬による動機づけ効果が見られなかったのに対して、達成見込みの低い失敗試行で罰による動機づけ効果が生じていることが明らかにされた。これらの結果は、失敗に随伴する罰の回避を目的とした動機づけが優位に反映されたことによるものと思われたが、成功試行と失敗試行の生じた頻度は3:1と大きく異なっていた。それ故、頻度が稀に生じる事態で賞罰を用いた動機づけは、予期・期待に関わる動機づけの効果をより高めることが推察されるが、その確証には報酬の獲得見込みを変数としたさらなる知見の蓄積が必要と考えられる。

さらに、研究2の結果から、内因性のフィードバックに関わるエラー行動の検出(ERN)は罰則により亢進することが明らかになった。一方で、研究3の結果から、外因性のフィードバックの評価(RewP)は報酬により亢進することが明らかになった。これらの結果は、これまでのERN, RewP研究で明らかにされてきた知見(Heydari & Holroyd, 2016; Potts, 2011)を検証する結果であったが、内因性・外因性の成果の評価の期間における賞罰を用いた動機づけ効果について、主観的手応えに基づくERNと外因性フィードバックに基づくRewPとは、大きく作用機序が異なることが明らかにされた。また、出現部位に関して両ERPは、FzおよびFCzチャンネル周辺で最大電位が得られるという機能局在の観点から共通の特徴を有しているが、ERNは陰性の電位でありRewPは陽性の電位であるといった成分が持つ極性の観点からは、機能が大きく異なるERPと考えられる。ERNおよびRewPの生理的発生源については、一貫した知見として主に前部帯状皮質が関与していることが報告されている(Proudfit, 2015; Ullsperger, Danielmeier, et al., 2014)。その一方で、単一細胞レベルの研究においては、ラットを対象に投射ニューロンの神経伝達物質に着目した動物実験から、前部帯状皮質を内包する内側前頭前皮質に神経伝達物質の投射を行う腹側被蓋野において、皮質レベルではなく細胞レベルで特異的に好ましい刺激(incentives)、嫌悪刺激(aversives)のそれぞれに反応するニューロン(神経細胞)の存在が報告されている(Stevens et al., 2011; Ullsperger, Danielmeier, et al., 2014; Ullsperger, Fischer, et al., 2014)。それらの報告によれば、腹側被蓋野を構成するニューロンの60%弱がドーパミン作動性ニューロン、おおよそ15%がグルタミン酸作動性ニューロン、おおよそ25%がGABA作動性ニューロンであり、好ましい刺激に対してグルタミン酸作動性ニューロンは投射を促す(Chuhma et al., 2004; Fields, Hjelmstad, Margolis, & Nicola, 2007)。一方で、嫌悪刺激に対してGABA作動性ニューロンは投射を促進する(Stamatakis et al., 2013; Tan et al., 2012)といった特徴があり、賞罰それぞれの

刺激に対応したニューロンの数の観点からは、成果の評価の期間における賞および罰の動機づけの効果の大きさについて検証する上で、比較可能な要素ではないことが懸念された。一方で、ヒトを対象に RewP を指標とした研究では、好ましい刺激の呈示後 300 ms あたりで大きな陽性電位 RewP が観察されたのに加えて、嫌悪刺激の呈示後 450 ms あたりで RewP に形状や振幅が近似した成分が観察されていることから(Heydari & Holroyd, 2016)、将来的には賞罰の動機づけに及ぼす効果について生理、生化学的により精緻に比較できる可能性が示されている。それ故、今後 ERP を動機づけの指標とする研究では、比較対象とする ERP 検出の導出部位の検討に加えて時間帯(測定区間)の選択も考慮する必要がある。

本博士論文では、生理心理学的手法に基づく ERP の計測により、主観的な達成見込みの低い事態で準備に関わる動機づけが高まることに加えて、達成見込みの要素が賞罰を用いた接近・回避の動機づけ効果に干渉することを明らかにした。Atkinson のモデルに基づき、賞罰を用いた外発的動機づけの効果に加えて、主観的な成功や勝ちの見込みの高低に伴い変化する動機づけ効果について検証を行うことで、スポーツ場面における動機づけの特徴について主に以下の 5 点が見出された。

①競争で勝つといった具体的な目標が設定された局面では、主観的な勝ちの見込みが低い事態(おおよそ 20%)で、課題遂行に向けた心理的構えは亢進する。②自身が失敗したことに確証が持てない事態(おおよそ 25%)でも、罰則はエラー行動に対する能動的な検出機能を亢進させる。③成功確率が高い課題遂行事態(おおよそ 75%)では、失敗行動に対する外因性フィードバックが重要な情報として要求される。④成功確率が高い課題遂行事態(おおよそ 75%)では、成功行動に対する指導者の賞賛は要求されない。⑤自身が成功したことを確証している場合(おおよそ 75%)でも、指導者の賞賛は外因性の成功フィードバックの評価を高める。

上述されるように、動機づけの対象となる本人の主観的な達成見込みと賞罰を用いた外発的動機づけ効果との関係性について、脳波学的にも証明した点が、本博士論文の特徴である。これらの研究成果に基づき、ERP 諸成分と達成見込み×賞罰を用いた動機づけとの対応モデルを創案した(Figure 32)。このモデルでは、スポーツ場面における時系列的観点から、5 種類の ERP(CNV, ERN, Pe, SPN, RewP)が、達成見込みの高い事態と低い事態で現す形態的特徴について説明している。達成見込み×賞罰モデルの黄色で強調された局面では、統計上有意な賞・罰の動機づけ効果が見られた。これらのモデルでは、同一局面において賞および罰の両方が動機づけを高める局面は存在していないことから、指導者は局面に応じて賞賛や叱責を選択して与えることが効果的な外発的動機づけ方法と推測される。実際のスポーツ場面における競争および課題遂行事態では、達成見込みの操作は困難であるが、練習メニューの難易度や目標(到達度)設定は、生理的な運動強度の設定に加えて競技能力を高める重要な動機づけ手法の 1 つと考えられる。

また、スポーツ科学分野において ERP の振幅は、多種多様な要素によって影響を受けることから、データの具体的な解釈の難しさが一貫した知見の蓄積を困難にしていることが示唆されるが、本博士論文で明らかにされた研究 1, 2, 3 の結果から、被験者内比較によって明らかにされる ERP 振幅の大小については、認知機能の良し悪しというよりも、事象の持つ主観的な重要性や課題遂行する上での事態の認知と要求水準に対応していることが示された。

以上の点から、本学位論文は、Atkinson モデルに基づき主観的な達成見込みと誘因価の組み合わせが外発的動機づけに及ぼす影響について、脳活動に基づき実験的に検証した点において、スポーツ科学分野における高度な学術的知見として意義のあるものと考えられる。

一方で、本研究の限界として成功動機、失敗回避動機の強さに関わる個人特性の影響について明確な検証ができなかった点が挙げられる。個人特性による賞罰を用いた動機づけ効果の差は、Atkinson(1957)を始め臨床、調査、実験的な手法に基づき研究が進められている(Amodio et al., 2008; M. A. Boksem et al., 2008; M. A. Boksem et al., 2006)。また、文化の差異が個人特性の形成に加えて、達成動機に及ぼす影響についても報告されている(Isogai, Brewer, Cornelius, Etnier, & Tokunaga, 2003; Isogai, Brewer, Cornelius, Komiya, Tokunaga, & Tokushima, 2001)。Isogai et al. (2001)は、原因帰属に関する異文化間比較において、日本人は米国人と比較して成功を外的要因、失敗を内的要因に帰属しやすいことから、失敗を生じさせた場合に自身の問題として自己の価値を否定するような自己批判帰属が見られたことを報告している。外発的動機づけの指標として ERP を用いた研究の多くは、日本国外の文化に所属する者を対象とした研究であったことから(Luck, 2014)、本研究で見出された外発的動機づけ効果の知見は、異文化圏では当てはまらない可能性がある。今後は、多角的な視点からスポーツ場面の動機づけに関わる個人特性の影響についても検証していきたい。

第6章 結論

一連の事象関連電位に基づく研究成果から、外因性フィードバックの呈示モデルを見出した(Figure 33). 成功が見込めない困難な事態において、ヒトの課題遂行に向けた心理的構えやフィードバックに対する予期・期待といった準備に関する動機づけは亢進することを明らかにした. さらに、自身の成功や失敗を予期・期待する心的過程において、達成見込みの高低が賞罰を用いた動機づけの効果に干渉していることを見出した. また、成果の評価に関する動機づけについて、内因性の失敗の評価の亢進には、罰が効果的だが、外因性の成功フィードバックの評価の亢進には、賞が効果的であることを見出した.

参考文献

- Amenedo, E., & Diaz, F. (1998). Aging-related changes in processing of non-target and target stimuli during an auditory oddball task. *Biological Psychology*, *48*(3), 235-267.
- Amenedo, E., & Diaz, F. (1999). Ageing-related changes in the processing of attended and unattended standard stimuli. *Neuroreport*, *10*(11), 2383-2388.
- Amodio, D. M., Master, S. L., Yee, C. M., & Taylor, S. E. (2008). Neurocognitive components of the behavioral inhibition and activation systems: implications for theories of self-regulation. *Psychophysiology*, *45*(1), 11-19. doi:10.1111/j.1469-8986.2007.00609.x
- Angus, D. J., Latham, A. J., Harmon-Jones, E., Deliano, M., Balleine, B., & Braddon-Mitchell, D. (2017). Electrocortical components of anticipation and consumption in a monetary incentive delay task. *Psychophysiology*, *54*(11), 1686-1705. doi:10.1111/psyp.12913
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, *64*(6, Pt.1), 359-372.
- Attali, Y. (2013). Perceived hotness affects behavior of basketball players and coaches. *Psychological Science*, *24*(7), 1151-1156. doi:10.1177/0956797612468452
- Ayton, P., & Fischer, I. (2004). The hot hand fallacy and the gambler's fallacy: two faces of subjective randomness? *Memory & Cognition*, *32*(8), 1369-1378.
- Babiloni, C., Brancucci, A., Arendt-Nielsen, L., Del Percio, C., Babiloni, F., Pascual-Marqui, R. D., . . . Chen, A. C. (2004). Cortical sensorimotor interactions during the expectancy of a go/no-go task: effects of painful stimuli. *Behavioral Neuroscience*, *118*(5), 925-935. doi:10.1037/0735-7044.118.5.925
- Balogh, L., & Czobor, P. (2016). Post-Error Slowing in Patients With ADHD: A Meta-Analysis. *Journal of Attention Disorders*, *20*(12), 1004-1016. doi:10.1177/1087054714528043

Bares, M., Rektor, I., Kanovsky, P., & Streitova, H. (2003). Cortical and subcortical distribution of middle and long latency auditory and visual evoked potentials in a cognitive (CNV) paradigm. *Clinical Neurophysiology*, *114*(12), 2447-2460.

Bates, A. T., Kiehl, K. A., Laurens, K. R., & Liddle, P. F. (2002). Error-related negativity and correct response negativity in schizophrenia. *Clinical Neurophysiology*, *113*(9), 1454-1463.

Becker, M. P., Nitsch, A. M., Miltner, W. H., & Straube, T. (2014). A single-trial estimation of the feedback-related negativity and its relation to BOLD responses in a time-estimation task. *Journal of Neuroscience*, *34*(8), 3005-3012. doi:10.1523/JNEUROSCI.3684-13.2014

Bellebaum, C., Kobza, S., Thiele, S., & Daum, I. (2010). It was not MY fault: event-related brain potentials in active and observational learning from feedback. *Cerebral Cortex*, *20*(12), 2874-2883. doi:10.1093/cercor/bhq038

Bellebaum, C., Polezzi, D., & Daum, I. (2010). It is less than you expected: the feedback-related negativity reflects violations of reward magnitude expectations. *Neuropsychologia*, *48*(11), 3343-3350. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.07.023

Böcker, K. B., Brunia, C. H., & van den Berg-Lenssen, M. M. (1994). A spatiotemporal dipole model of the stimulus preceding negativity (SPN) prior to feedback stimuli. *Brain Topography*, *7*(1), 71-88. doi:10.1007/BF01184839

Böcker, K. B. E., Baas, J. M. P., Kenemans, J. L., & Verbaten, M. N. (2001). Stimulus-preceding negativity induced by fear: A manifestation of affective anticipation. *International Journal of Psychophysiology*, *43*(1), 77-90. doi:10.1016/S0167-8760(01)00180-5

Boksem, M. A., Tops, M., Kostermans, E., & De Cremer, D. (2008). Sensitivity to punishment and reward omission: evidence from error-related ERP components. *Biological Psychology*, *79*(2), 185-192. doi:10.1016/j.biopsycho.2008.04.010

Boksem, M. A., Tops, M., Wester, A. E., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Error-related ERP components and individual differences in punishment and reward sensitivity. *Brain Research, 1101*(1), 92-101. doi:10.1016/j.brainres.2006.05.004

Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology, 72*(2), 123-132. doi:10.1016/j.biopsycho.2005.08.007

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108*(3), 624-652.

Braga, J. P. N., Mata, A., Ferreira, M. B., & Sherman, S. J. (2016). Motivated reasoning in the prediction of sports outcomes and the belief in the "hot hand". *Cognition & Emotion, 1*-10. doi:10.1080/02699931.2016.1244045

Brown, K. J. (2004). Beyond the P300: Target and non-target ERP components in schizo-phrenia. Department of Psychology, University of Wollongong, NSW, Australia.

Brunia, C. H. (1988). Movement and Stimulus Preceding Negativity. *Biological Psychology, 26*(1-3), 165-178. doi:https://doi.org/10.1016/0301-0511(88)90018-X

Brunia, C. H. (1993). Waiting in readiness: gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology, 30*(4), 327-339.

Brunia, C. H., & Damen, E. J. (1988). Distribution of slow brain potentials related to motor preparation and stimulus anticipation in a time estimation task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 69*(3), 234-243. doi:https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90132-0

Brunia, C. H., Hackley, S. A., van Boxtel, G. J., Kotani, Y., & Ohgami, Y. (2011). Waiting to perceive: reward or punishment? *Clinical Neurophysiology, 122*(5), 858-868. doi:https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.12.039

Brunia, C. H., & Vingerhoets, A. J. (1981). Opposite hemisphere differences in movement related potentials preceding foot and finger flexions. *Biological Psychology, 13*, 261-269.

- Brunia, C. H. M., & van Boxtel, G. J. M. (2001). Wait and see. *International Journal of Psychophysiology*, 43(1), 59-75. doi:10.1016/S0167-8760(01)00179-9
- Brunia, C. H. M., & van Boxtel, G. J. M. (2004). Anticipatory attention to verbal and non-verbal stimuli is reflected in a modality-specific SPN. *Experimental Brain Research*, 156(2), 231-239. doi:10.1007/s00221-003-1780-2
- Burns, B. D., & Corpus, B. (2004). Randomness and inductions from streaks: "gambler's fallacy" versus "hot hand". *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(1), 179-184.
- Carretie, L., Albert, J., Lopez-Martin, S., & Tapia, M. (2009). Negative brain: an integrative review on the neural processes activated by unpleasant stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 57-63. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.07.006
- Castel, A. D., Rossi, A. D., & McGillivray, S. (2012). Beliefs about the "hot hand" in basketball across the adult life span. *Psychology & Aging*, 27(3), 601-605. doi:10.1037/a0026991
- Chuhma, N., Zhang, H., Masson, J., Zhuang, X., Sulzer, D., Hen, R., & Rayport, S. (2004). Dopamine neurons mediate a fast excitatory signal via their glutamatergic synapses. *Journal of Neuroscience*, 24(4), 972-981. doi:10.1523/JNEUROSCI.4317-03.2004
- Comerchero, M. D., & Polich, J. (1999). P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clinical Neurophysiology*, 110(1), 24-30.
- Connor, W. H., & Lang, P. J. (1969b). Cortical slow-wave and cardiac rate responses in stimulus orientation and reaction time conditions. *Journal of Experimental Psychology*, 82(2), 310-&. doi:DOI 10.1037/h0028181
- Crowley, K., Trinder, J., & Colrain, I. M. (2002). An examination of evoked K-complex amplitude and frequency of occurrence in the elderly. *Journal of Sleep Research*, 11(2), 129-140.

Crowley, K. E., & Colrain, I. M. (2004). A review of the evidence for P2 being an independent component process: age, sleep and modality. *Clinical Neurophysiology*, *115*(4), 732-744.
doi:10.1016/j.clinph.2003.11.021

Cunnington, R., Windischberger, C., Deecke, L., & Moser, E. (2003). The preparation and readiness for voluntary movement: a high-field event-related fMRI study of the Bereitschafts-BOLD response. *Neuroimage*, *20*(1), 404-412.

Damen, E. J. P., & Brunia, C. H. M. (1994). Is a stimulus conveying task-relevant information a sufficient condition to elicit a stimulus-preceding negativity. *Psychophysiology*, *31*(2), 129-139.
doi:10.1111/j.1469-8986.1994.tb01033.x

Deary, I. J., & Der, G. (2005). Reaction time explains IQ's association with death. *Psychological Science*, *16*(1), 64-69. doi:DOI 10.1111/j.0956-7976.2005.00781.x

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009

Dien, J. (2010). Evaluating two-step PCA of ERP data with Geomin, Infomax, Oblimin, Promax, and Varimax rotations. *Psychophysiology*, *47*(1), 170-183. doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00885.x

Duncanjohnson, C. C., & Donchin, E. (1982). The P300 Component of the Event-Related Brain Potential as an Index of Information-Processing. *Biological Psychology*, *14*(1-2), 1-52.
doi:https://doi.org/10.1016/0301-0511(82)90016-3

Dutilh, G., van Ravenzwaaij, D., Nieuwenhuis, S., van der Maas, H. L. J., Forstmann, B. U., & Wagenmakers, E. J. (2012). How to measure post-error slowing: A confound and a simple solution. *Journal of Mathematical Psychology*, *56*(3), 208-216. doi:10.1016/j.jmp.2012.04.001

Endrass, T., Klawohn, J., Gruetzmann, R., Ischebeck, M., & Kathmann, N. (2012). Response-related negativities following correct and incorrect responses: evidence from a temporospatial principal component analysis. *Psychophysiology*, *49*(6), 733-743. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01365.x>

Endrass, T., Reuter, B., & Kathmann, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: aware and unaware errors in an antisaccade task. *European Journal of Neuroscience*, *26*(6), 1714-1720. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05785.x>

Endrass, T., Schuermann, B., Kaufmann, C., Spielberg, R., Kniesche, R., & Kathmann, N. (2010). Performance monitoring and error significance in patients with obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychology*, *84*(2), 257-263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.02.002>

Eppinger, B., Mock, B., & Kray, J. (2009). Developmental differences in learning and error processing: evidence from ERPs. *Psychophysiology*, *46*(5), 1043-1053. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00838.x>

Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *78*(6), 447-455.

Falkenstein, M., Hoormann, J., Hohnsbein, J., & Kleinsorge, T. (2003). Short-term mobilization of processing resources is revealed in the event-related potential. *Psychophysiology*, *40*(6), 914-923. doi:[10.1111/1469-8986.00109](https://doi.org/10.1111/1469-8986.00109)

Ferreira-Santos, F., Silveira, C., Almeida, P. R., Palha, A., Barbosa, F., & Marques-Teixeira, J. (2012). The auditory P200 is both increased and reduced in schizophrenia? A meta-analytic dissociation of the effect for standard and target stimuli in the oddball task. *Clinical Neurophysiology*, *123*(7), 1300-1308. doi:[10.1016/j.clinph.2011.11.036](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.11.036)

Fields, H. L., Hjelmstad, G. O., Margolis, E. B., & Nicola, S. M. (2007). Ventral tegmental area neurons in learned appetitive behavior and positive reinforcement. *Annual Review of Neuroscience*, *30*, 289-316. doi:[10.1146/annurev.neuro.30.051606.094341](https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094341)

Foti, D., Carlson, J. M., Sauder, C. L., & Proudfit, G. H. (2014). Reward dysfunction in major depression: multimodal neuroimaging evidence for refining the melancholic phenotype. *Neuroimage*, *101*, 50-58. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.06.058

Foti, D., & Hajcak, G. (2012). Genetic variation in dopamine moderates neural response during reward anticipation and delivery: evidence from event-related potentials. *Psychophysiology*, *49*(5), 617-626. doi:http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01343.x

Foti, D., Hajcak, G., & Dien, J. (2009). Differentiating neural responses to emotional pictures: Evidence from temporal-spatial PCA. *Psychophysiology*, *46*(3), 521-530. doi:http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00796.x

Foti, D., Weinberg, A., Bernat, E. M., & Proudfit, G. H. (2015). Anterior cingulate activity to monetary loss and basal ganglia activity to monetary gain uniquely contribute to the feedback negativity. *Clinical Neurophysiology*, *126*(7), 1338-1347. doi:10.1016/j.clinph.2014.08.025

Freunberger, R., Klimesch, W., Doppelmayr, M., & Holler, Y. (2007). Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neuroscience Letters*, *426*(3), 181-186. doi:10.1016/j.neulet.2007.08.062

Friedman, B. H. (2010). Feelings and the body: the Jamesian perspective on autonomic specificity of emotion. *Biological Psychology*, *84*(3), 383-393. doi:10.1016/j.biopsycho.2009.10.006

Frohlich, W. D., Floru, R., Glanzmann, P., Juris, M., von Knoblauch zu Hatzbach, L., & Nist, W. (1980). The temporal development of early and late CNV in a simple discrimination paradigm: the effects of motor preparation and average reaction time. *Progress in Brain Research*, *54*, 730-735. doi:10.1016/S0079-6123(08)61695-7

Frömer, R., Sturmer, B., & Sommer, W. (2016). (Don't) Mind the effort: Effects of contextual interference on ERP indicators of motor preparation. *Psychophysiology*, *53*(10), 1577-1586. doi:http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12703

Fuentemilla, L., Cucurell, D., Marco-Pallares, J., Guitart-Masip, M., Moris, J., & Rodriguez-Fornells, A. (2013). Electrophysiological correlates of anticipating improbable but desired events. *Neuroimage*, 78, 135-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.03.062>

Gaillard, A. W. (1976). Effects of warning-signal modality on the contingent negative variation (CNV). *Biological Psychology*, 4(2), 139-154.

Gilovich, T., Vallone, R., & Tversky, A. (1985). The Hot Hand in Basketball - on the Misperception of Random Sequences. *Cognitive Psychology*, 17(3), 295-314. doi:Doi 10.1016/0010-0285(85)90010-6

Grillon, C., Courchesne, E., Ameli, R., Elmasian, R., & Braff, D. (1990). Effects of rare non-target stimuli on brain electrophysiological activity and performance. *International Journal of Psychophysiology*, 9(3), 257-267.

Haas, L. F. (2003). Hans Berger (1873-1941), Richard Caton (1842-1926), and electroencephalography. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 74(1), 9.

Hajcak, G., Moser, J. S., Holroyd, C. B., & Simons, R. F. (2007). It's worse than you thought: the feedback negativity and violations of reward prediction in gambling tasks. *Psychophysiology*, 44(6), 905-912. doi:10.1111/j.1469-8986.2007.00567.x

Hajcak, G., Moser, J. S., Yeung, N., & Simons, R. F. (2005). On the ERN and the significance of errors. *Psychophysiology*, 42(2), 151-160. doi:10.1111/j.1469-8986.2005.00270.x

Hajcak, G., & Simons, R. F. (2002). Error-related brain activity in obsessive-compulsive undergraduates. *Psychiatry Research*, 110(1), 63-72.

箱田 裕司・都築 誉史・川畑 秀明・萩原 滋. (2010). 認知心理学. 有斐閣出版.

Hart, S. J., Lucena, N., Cleary, K. M., Belger, A., & Donkers, F. C. (2012). Modulation of early and late event-related potentials by emotion. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 102. doi:10.3389/fnint.2012.00102

Heydari, S., & Holroyd, C. B. (2016). Reward positivity: Reward prediction error or salience prediction error? *Psychophysiology*, *53*(8), 1185-1192. doi:http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12673

Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, *109*(4), 679-709. doi:10.1037//0033-295x.109.4.679

堀 忠雄・尾崎 久紀・坂田 省吾・山田 富美雄(編). (2017). 生理心理学と精神生理学 第1巻 基礎. 北大路書房.

堀 忠雄・尾崎 久紀・片山 順一・鈴木 直人(編). (2017). 生理心理学と精神生理学 第2巻 応用. 北大路書房.

Hultin, L., Rossini, P., Romani, G. L., Hogstedt, P., Tecchio, F., & Pizzella, V. (1996). Neuromagnetic localization of the late component of the contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *98*(6), 435-448.

Ikeda, A., Yazawa, S., Kunieda, T., Ohara, S., Terada, K., Mikuni, N., . . . Shibasaki, H. (1999). Cognitive motor control in human pre-supplementary motor area studied by subdural recording of discrimination/selection-related potentials. *Brain*, *122* (Pt 5), 915-931.

Isogai, H., Brewer, B. W., Cornelius, A. E., Etnier, J., & Tokunaga, M. (2003). A cross cultural analysis of goal orientation in American and Japanese physical education students. *International Journal of Sport Psychology*, *34*, 80-93.

Isogai, H., Brewer, B. W., Cornelius, A. E., Komiya, S., Tokunaga, M., & Tokushima, S. (2001). Cross-cultural validation of the social physique anxiety scale. *International Journal of Sport Psychology*, *32*, 76-87.

Izuma, K., Saito, D. N., & Sadato, N. (2008). Processing of social and monetary rewards in the human striatum. *Neuron*, *58*(2), 284-294. doi:10.1016/j.neuron.2008.03.020

Izuma, K., Saito, D. N., & Sadato, N. (2010). Processing of the incentive for social approval in the ventral striatum during charitable donation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(4), 621-631. doi:10.1162/jocn.2009.21228

加川 元通(編). (1997). 動機づけの基礎と実際. 川島書店

Kahneman, D. (2011). Thinking fast and slow. *Farrar, Straus and Giroux*.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory - Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291. doi:http://dx.doi.org/10.2307/1914185

Knutson, B., Fong, G. W., Adams, C. M., Varner, J. L., & Hommer, D. (2001). Dissociation of reward anticipation and outcome with event-related fMRI. *Neuroreport*, 12(17), 3683-3687. doi:http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200112040-00016

Knutson, B., Taylor, J., Kaufman, M., Peterson, R., & Glover, G. (2005). Distributed neural representation of expected value. *Journal of Neuroscience*, 25(19), 4806-4812. doi:10.1523/JNEUROSCI.0642-05.2005

Knutson, B., Wimmer, G. E., Kuhnen, C. M., & Winkielman, P. (2008). Nucleus accumbens activation mediates the influence of reward cues on financial risk taking. *Neuroreport*, 19(5), 509-513. doi:https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282f85c01

Kofler, M. J., Rapport, M. D., Sarver, D. E., Raiker, J. S., Orban, S. A., Friedman, L. M., & Kolomeyer, E. G. (2013). Reaction time variability in ADHD: A meta-analytic review of 319 studies. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 795-811. doi:10.1016/j.cpr.2013.06.001

Kotani, Y., Hiraku, S., Suda, K., & Aihara, Y. (2001). Effect of positive and negative emotion on stimulus-preceding negativity prior to feedback stimuli. *Psychophysiology*, 38(6), 873-878. doi:Doi 10.1111/1469-8986.3860873

Kotani, Y., Kishida, S., Hiraku, S., Suda, K., Ishii, M., & Aihara, Y. (2003). Effects of information and reward on stimulus-preceding negativity prior to feedback stimuli. *Psychophysiology*, *40*(5), 818-826. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/1469-8986.00082>

Kotani, Y., Ohgami, Y., Ishiwata, T., Arai, J., Kiryu, S., & Inoue, Y. (2015). Source analysis of stimulus-preceding negativity constrained by functional magnetic resonance imaging. *Biological Psychology*, *111*, 53-64. doi:10.1016/j.biopsycho.2015.08.005

Krigolson, O. E. (2017). Event-related brain potentials and the study of reward processing: Methodological considerations. *International Journal of Psychophysiology*. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.11.007

Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, *23*(11), 571-579. doi:Doi 10.1016/S0166-2236(00)01657-X

Levinson, A. R., Speed, B. C., Infantolino, Z. P., & Hajcak, G. (2017). Reliability of the electrocortical response to gains and losses in the doors task. *Psychophysiology*, *54*(4), 601-607. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12813>

Leynes, P. A., Allen, J. D., & Marsh, R. L. (1998). Topographic differences in CNV amplitude reflect different preparatory processes. *International Journal of Psychophysiol*, *31*(1), 33-44.

Loveless, N. E., & Sanford, A. J. (1974). Effects of Age on Contingent Negative Variation and Preparatory Set in a Reaction-Time Task. *Journals of Gerontology*, *29*(1), 52-63.

Loveless, N. E., & Sanford, A. J. (1975). The impact of warning signal intensity on reaction time and components of the contingent negative variation. *Biological Psychology*, *2*(3), 217-226.

Luu, P., Collins, P., & Tucker, D. M. (2000). Mood, personality, and self-monitoring: negative affect and emotionality in relation to frontal lobe mechanisms of error monitoring. *Journal Experimental Psychology: General*, *129*(1), 43-60.

Martin, R. S. (2012). Event-related potential studies of outcome processing and feedback-guided learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. doi:ARTN 304
10.3389/fnhum.2012.00304

丸尾祐矢・正木宏明.(2014). パフォーマンスモニタリングに及ぼす聴覚性罰刺激の効果. *生理心理学と精神生理学*, 32, 29-40. <https://doi.org/10.5674/jjppp.1404oa>.

Maruo, Y., Schacht, A., Sommer, W., & Masaki, H. (2016). Impacts of motivational valence on the error-related negativity elicited by full and partial errors. *Biological Psychology*, 114, 108-116. doi:10.1016/j.biopsycho.2015.12.004

Maruo, Y., Sommer, W., & Masaki, H. (2017). The effect of monetary punishment on error evaluation in a Go/No-go task. *International Journal of Psychophysiology*, 120, 54-59. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.07.002

Masaki, H., Maruo, Y., Meyer, A., & Hajcak, G. (2017). Neural Correlates of Choking Under Pressure: Athletes High in Sports Anxiety Monitor Errors More When Performance Is Being Evaluated. *Developmental Neuropsychology*, 42(2), 104-112. doi:10.1080/87565641.2016.1274314

Masaki, H., Takeuchi, S., Gehring, W. J., Takasawa, N., & Yamazaki, K. (2006). Affective-motivational influences on feedback-related ERPs in a gambling task. *Brain Research*, 1105, 110-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.01.022>

Matsumoto, S., & Sakuma, H. (2009). Contingent negative variation under competitive situations. *Perceptual & Motor Skills*, 108(3), 693-704. doi:10.2466/PMS.108.3.693-704

Mattox, S. T., Valle-Inclan, F., & Hackley, S. A. (2006). Psychophysiological evidence for impaired reward anticipation in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 117(10), 2144-2153. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2006.05.026>

Meadows, C. C., Gable, P. A., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2016). The effects of reward magnitude on reward processing: An averaged and single trial event-related potential study. *Biological Psychology, 118*, 154-160. doi:10.1016/j.biopsycho.2016.06.002

Medford, N., & Critchley, H. D. (2010). Conjoint activity of anterior insular and anterior cingulate cortex: awareness and response. *Brain Structure & Function, 214*(5-6), 535-549. doi:https://doi.org/10.1007/s00429-010-0265-x

Metereau, E., & Dreher, J. C. (2015). The medial orbitofrontal cortex encodes a general unsigned value signal during anticipation of both appetitive and aversive events. *Cortex, 63*, 42-54. doi:10.1016/j.cortex.2014.08.012

Miller, J. (1991). Reaction time analysis with outlier exclusion: Bias varies with sample size. *Quarterly Journal of Experimental Psychology 43*(4), 907-912.

Miltner, W. H. R., Braun, C. H., & Coles, M. G. H. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a "generic" neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*(6), 788-798. doi:https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.6.788

宮内 哲・星 詳子・菅野 巖・栗城眞也. (2016). 脳のイメージング. 共立出版.

Moris, J., Luque, D., & Rodriguez-Fornells, A. (2013). Learning-induced modulations of the stimulus-preceding negativity. *Psychophysiology, 50*(9), 931-939. doi:http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12073

Muhlberger, C., Angus, D. J., Jonas, E., Harmon-Jones, C., & Harmon-Jones, E. (2017). Perceived control increases the reward positivity and stimulus preceding negativity. *Psychophysiology, 54*(2), 310-322. doi:http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12786

Mulligan, E. M., & Hajcak, G. (2017). The electrocortical response to rewarding and aversive feedback: The reward positivity does not reflect salience in simple gambling tasks. *International Journal of Psychophysiol.* doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.11.015

Nawani, H., Narayanaswamy, J. C., Basavaraju, S., Bose, A., Mahavir Agarwal, S., Venkatasubramanian, G., & Janardhan Reddy, Y. C. (2017). Enhanced error related negativity amplitude in medication-naive, comorbidity-free obsessive compulsive disorder. *Psychiatry Research.* doi:10.1016/j.psychres.2017.09.010

Nieuwenhuis, S., Holroyd, C. B., Mol, N., & Coles, M. G. (2004). Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: origins and functional significance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(4), 441-448. doi:10.1016/j.neubiorev.2004.05.003

Nieuwenhuis, S., Nielen, M. M., Mol, N., Hajcak, G., & Veltman, D. J. (2005). Performance monitoring in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research*, 134(2), 111-122. doi:10.1016/j.psychres.2005.02.005

Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38(5), 752-760.

Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Talsma, D., Coles, M. G., Holroyd, C. B., Kok, A., & van der Molen, M. W. (2002). A computational account of altered error processing in older age: Dopamine and the error-related negativity. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 2(1), 19-36. doi:10.3758/CABN.2.1.19

Nittono, H. (2006). Voluntary stimulus production enhances deviance processing in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 59(1), 15-21. doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.06.008

Nunez Castellar, E., Kuhn, S., Fias, W., & Notebaert, W. (2010). Outcome expectancy and not accuracy determines posterror slowing: ERP support. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 10(2), 270-278. doi:10.3758/CABN.10.2.270

Ohgami, Y., Kotani, Y., Arai, J. I., Kiryu, S., & Inoue, Y. (2014). Facial, verbal, and symbolic stimuli differently affect the right hemisphere preponderance of stimulus-preceding negativity.

Psychophysiology, 51(9), 843-852. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12234>

Ohgami, Y., Kotani, Y., Hiraku, S., Aihara, Y., & Ishii, M. (2004). Effects of reward and stimulus modality on stimulus-preceding negativity. *Psychophysiology*, 41(5), 729-738.

doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00203.x>

Ohgami, Y., Kotani, Y., Tsukamoto, T., Omura, K., Inoue, Y., Aihara, Y., & Nakayama, M. (2006). Effects of monetary reward and punishment on stimulus-preceding negativity. *Psychophysiology*,

43(3), 227-236. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00396.x>

Olvet, D. M., & Hajcak, G. (2009). The effect of trial-to-trial feedback on the error-related negativity and its relationship with anxiety. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 9(4), 427-433.

doi:10.3758/CABN.9.4.427

Pailing, P. E., & Segalowitz, S. J. (2004). The effects of uncertainty in error monitoring on associated ERPs. *Brain and Cognition*, 56(2), 215-233. doi:10.1016/j.bandc.2004.06.005

Pailing, P. E., & Segalowitz, S. J. (2004). The error-related negativity as a state and trait measure: motivation, personality, and ERPs in response to errors. *Psychophysiology*, 41(1), 84-95.

doi:10.1111/1469-8986.00124

Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods & Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24 Suppl D, 5-12.

Pascual-Marqui, R. D., & Biscay-Lirio, R. (1993). Spatial resolution of neuronal generators based on EEG and MEG measurements. *International Journal of Neuroscience*, 68(1-2), 93-105.

Pascual-Marqui, R. D., Esslen, M., Kochi, K., & Lehmann, D. (2002). Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review. *Methods & Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24 Suppl C, 91-95.

Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, *18*(1), 49-65.

Poldrack, R. A., Fletcher, P. C., Henson, R. N., Worsley, K. J., Brett, M., & Nichols, T. E. (2008). Guidelines for reporting an fMRI study. *Neuroimage*, *40*(2), 409-414.
doi:10.1016/j.neuroimage.2007.11.048

Polezzi, D., Sartori, G., Rumiati, R., Vidotto, G., & Daum, I. (2010). Brain correlates of risky decision-making. *Neuroimage*, *49*(2), 1886-1894.
doi:https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.08.068

Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148. doi:10.1016/j.clinph.2007.04.019

Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, *41*(2), 103-146.

Pornpattananankul, N., Nadig, A., Heidinger, S., Walden, K., & Nusslock, R. (2017). Elevated outcome-anticipation and outcome-evaluation ERPs associated with a greater preference for larger-but-delayed rewards. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, *17*(3), 625-641.
doi:https://doi.org/10.3758/s13415-017-0501-4

Pornpattananankul, N., & Nusslock, R. (2015). Motivated to win: Relationship between anticipatory and outcome reward-related neural activity. *Brain and Cognition*, *100*, 21-40.
doi:10.1016/j.bandc.2015.09.002

Potts, G. F. (2011). Impact of reward and punishment motivation on behavior monitoring as indexed by the error-related negativity. *International Journal of Psychophysiology*, *81*(3), 324-331.
doi:10.1016/j.ijpsycho.2011.07.020

Proudfit, G. H. (2015). The reward positivity: from basic research on reward to a biomarker for depression. *Psychophysiology*, *52*(4), 449-459. doi:http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12370

Raab, M., Gula, B., & Gigerenzer, G. (2012). The Hot Hand Exists in Volleyball and Is Used for Allocation Decisions. *Journal of Experimental Psychology-Applied*, 18(1), 81-94.

doi:10.1037/a0025951

Raab, M., & MacMahon, C. (2015). Does Framing the Hot Hand Belief Change Decision-Making Behavior in Volleyball? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(2), 152-162.

doi:10.1080/02701367.2014.991437

Rabbitt, P. (1979). How Old and Young Subjects Monitor and Control Responses for Accuracy and Speed. *British Journal of Psychology*, 70(May), 305-311. doi:DOI 10.1111/j.2044-

8295.1979.tb01687.x

Rabbitt, P., & Rodgers, B. (1977). What Does a Man Do after He Makes an Error - Analysis of Response Programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29(Nov), 727-743. doi:Doi

10.1080/14640747708400645

Ridderinkhof, K. R., Ramautar, J. R., & Wijnen, J. G. (2009). To P(E) or not to P(E): a P3-like ERP component reflecting the processing of response errors. *Psychophysiology*, 46(3), 531-538.

doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00790.x

Riesel, A., Weinberg, A., Endrass, T., Meyer, A., & Hajcak, G. (2013). The ERN is the ERN is the ERN? Convergent validity of error-related brain activity across different tasks. *Biological*

Psychology, 93(3), 377-385. doi:10.1016/j.biopsycho.2013.04.007

Rogers, R. D., Ramnani, N., Mackay, C., Wilson, J. L., Jezzard, P., Carter, C. S., & Smith, S. M. (2004). Distinct portions of anterior cingulate cortex and medial prefrontal cortex are activated by reward processing in separable phases of decision-making cognition. *Biological Psychiatry*, 55(6),

594-602. doi:https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.11.012

Roth, W. T., Ford, J. M., Stephen, J. L., & Kopell, B. S. (1976). Effects of stimulus probability and task-relevance on event-related potentials. *Psychophysiology*, 13(4), 311-317.

- Ruff, C. C., & Fehr, E. (2014). The neurobiology of rewards and values in social decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(8), 549-562. doi:10.1038/nrn3776
- Sakairi, Y., Nakatsuka, K., & Shimizu, T. (2013). Development of the Two-Dimensional Mood Scale for self-monitoring and self-regulation of momentary mood states. *Japanese Psychological Research*, *55*(4), 338-349. doi:http://dx.doi.org/10.1111/jpr.12021
- Sambrook, T. D., & Goslin, J. (2015). A neural reward prediction error revealed by a meta-analysis of ERPs using great grand averages. *Psychological Bulletin*, *141*(1), 213-235. doi:https://doi.org/10.1037/bul0000006
- Sanders, A. F., & Wertheim, A. H. (1973). The relation between physical stimulus properties and the effect of foreperiod duration on reaction time. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *25*(2), 201-206. doi:10.1080/14640747308400339
- Santesso, D. L., & Segalowitz, S. J. (2009). The error-related negativity is related to risk taking and empathy in young men. *Psychophysiology*, *46*(1), 143-152. doi:10.1111/j.1469-8986.2008.00714.x
- Schachter, S., & Singer, J. E. (1962a). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological Review*, *69*, 379-399.
- Schevernels, H., Krebs, R. M., Santens, P., Woldorff, M. G., & Boehler, C. N. (2014). Task preparation processes related to reward prediction precede those related to task-difficulty expectation. *Neuroimage*, *84*, 639-647. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.09.039
- Schuermann, B., Endrass, T., & Kathmann, N. (2012). Neural correlates of feedback processing in decision-making under risk. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 204. doi:10.3389/fnhum.2012.00204
- Schultz, W. (2015a). Neuronal Reward and Decision Signals: From Theories to Data. *Physiological Reviews*, *95*(3), 853-951. doi:10.1152/physrev.00023.2014

Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., . . . Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience*, *27*(9), 2349-2356. doi:<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>

Shea, S. (2014). In support of a hot hand in professional basketball and baseball. *PsyCh Journal*, *3*(2), 159-164. doi:10.1002/pchj.39

Shibasaki, H., & Hallett, M. (2006). What is the Bereitschaftspotential? *Clinical Neurophysiology*, *117*(11), 2341-2356. doi:10.1016/j.clinph.2006.04.025

Shiels, K., & Hawk, L. W., Jr. (2010). Self-regulation in ADHD: the role of error processing. *Clinical Psychology Review*, *30*(8), 951-961. doi:10.1016/j.cpr.2010.06.010

Silvetti, M., Nunez Castellar, E., Roger, C., & Verguts, T. (2014). Reward expectation and prediction error in human medial frontal cortex: an EEG study. *Neuroimage*, *84*, 376-382. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.08.058>

Späti, J., Chumbley, J., Brakowski, J., Dörig, N., Grosse Holtforth, M., Seifritz, E., & Spinelli, S. (2014). Functional lateralization of the anterior insula during feedback processing. *Human Brain Mapping*, *35*(9), 4428-4439. doi:10.1002/hbm.22484

Stamatakis, A. M., Jennings, J. H., Ung, R. L., Blair, G. A., Weinberg, R. J., Neve, R. L., . . . Stuber, G. D. (2013). A unique population of ventral tegmental area neurons inhibits the lateral habenula to promote reward. *Neuron*, *80*(4), 1039-1053. doi:10.1016/j.neuron.2013.08.023

Stevens, L. (2014). An Introduction to the Event-Related Potential Technique (MIT Press). *A Bradford book*.

Stevens, F. L., Hurley, R. A., & Taber, K. H. (2011b). Anterior cingulate cortex: unique role in cognition and emotion. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *23*(2), 121-125. doi:10.1176/jnp.23.2.jnp121

Sturmer, B., Nigbur, R., Schacht, A., & Sommer, W. (2011). Reward and punishment effects on error processing and conflict control. *Frontiers in Psychology*, 2, 335. doi:10.3389/fpsyg.2011.00335

Sutton, J. E., & Shettleworth, S. J. (2008). Memory without awareness: pigeons do not show metamemory in delayed matching to sample. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, 34(2), 266-282. doi:10.1037/0097-7403.34.2.266

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty. *Science*, 150(3700), 1187-&. doi:DOI 10.1126/science.150.3700.1187

Swensson, R. G. (1988). Response-Times - Their Role in Inferring Elementary Mental Organization - Luce, RD. *Journal of Mathematical Psychology*, 32(4), 474-477. doi:Doi 10.1016/0022-2496(88)90025-9

高橋雄介・山形伸二・木島伸彦・繫榊算男・大野 裕・安藤寿康. (2007). Gray の気質モデル—BIS/BAS 尺度日 本語版の作成と双生児法による行動遺伝学的検討—. *パーソナリティ研究*, 15, 276–289.

Tan, K. R., Yvon, C., Turiault, M., Mirzabekov, J. J., Doehner, J., Labouebe, G., . . . Luscher, C. (2012). GABA neurons of the VTA drive conditioned place aversion. *Neuron*, 73(6), 1173-1183. doi:10.1016/j.neuron.2012.02.015

Tecce, J. J. (1972). Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 77(2), 73-108.

Threadgill, A. H., & Gable, P. A. (2017). The sweetness of successful goal pursuit: Approach-motivated pregoal states enhance the reward positivity during goal pursuit. *International Journal of Psychophysiology*. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.12.010

Torrubia, R., Avila, C., Molto, J., & Caseras, X. (2001). The Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire (SPSRQ) as a measure of Gray's anxiety and impulsivity dimensions. *Personality and Individual Differences*, 31(6), 837-862. doi:Doi 10.1016/S0191-8869(00)00183-5

筒井 健一郎・渡邊 正孝.(2008). 報酬の脳内表現. *生理心理学と精神生理学*, 26(1), 5-16.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. *Science*, 211(4481), 453-458. doi:<http://dx.doi.org/10.1126/science.7455683>

Uddin, L. Q. (2015). Salience processing and insular cortical function and dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(1), 55-61. doi:<https://doi.org/10.1038/nrn3857>

上淵 寿(編).(2004). 動機づけの研究の最前線. 北大路書房

Ullsperger, M., Danielmeier, C., & Jocham, G. (2014). Neurophysiology of Performance Monitoring and Adaptive Behavior. *Physiological Reviews*, 94(1), 35-79. doi:10.1152/physrev.00041.2012

Ullsperger, M., Fischer, A. G., Nigbur, R., & Endrass, T. (2014). Neural mechanisms and temporal dynamics of performance monitoring. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 259-267. doi:10.1016/j.tics.2014.02.009

Umemoto, A., & Holroyd, C. B. (2017). Neural mechanisms of reward processing associated with depression-related personality traits. *Clinical Neurophysiology*, 128(7), 1184-1196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.03.049>

van Boxtel, G. J. M. (1998). Computational and statistical methods for analyzing event-related potential data. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 30(1), 87-102.

Wake, S. J., & Izuma, K. (2017). A common neural code for social and monetary rewards in the human striatum. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(10), 1558-1564. doi:10.1093/scan/nsx092

Walsh, M. M., & Anderson, J. R. (2012). Learning from experience: event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(8), 1870-1884. doi:10.1016/j.neubiorev.2012.05.008

Walter, W. G., Aldridge, V. J., Mccallum, W. C., & Cooper, R. (1964). Contingent negative variation-electro-cortical sign of sensori-motor association in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 17(3), 340-&.

Wang, D., Liu, T., & Shi, J. (2017). Development of Monetary and Social Reward Processes. *Scientific Reports*, 7(1), 11128. doi:10.1038/s41598-017-11558-6

Wawrzyniak, A. J., Hamer, M., Steptoe, A., & Endrighi, R. (2016). Decreased reaction time variability is associated with greater cardiovascular responses to acute stress. *Psychophysiology*, 53(5), 739-748. doi:10.1111/psyp.12617

Weerts, T. C., & Lang, P. J. (1973). The effects of eye fixation and stimulus and response location on the contingent negative variation (CNV). *Biological Psychology*, 1(1), 1-19.

Weinberg, A., Riesel, A., & Proudfit, G. H. (2014). Show me the Money: the impact of actual rewards and losses on the feedback negativity. *Brain and Cognition*, 87, 134-139. doi:10.1016/j.bandc.2014.03.015

Welford, A. T. (1979). What Does a Man Do after He Makes an Error - Analysis of Response Programming - Comment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 31(Aug), 539-542. doi:Doi 10.1080/14640747908400746

Wessel, J. R. (2012). Error awareness and the error-related negativity: evaluating the first decade of evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 88. doi:10.3389/fnhum.2012.00088

Wlotko, E. W., & Federmeier, K. D. (2007). Finding the right word: hemispheric asymmetries in the use of sentence context information. *Neuropsychologia*, 45(13), 3001-3014. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.013

Wynn, J. K., Horan, W. P., Kring, A. M., Simons, R. F., & Green, M. F. (2010). Impaired anticipatory event-related potentials in schizophrenia. *International Journal of Psychophysiology*, 77(2), 141-149. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.05.009

Yaari, G., & Eisenmann, S. (2011). The hot (invisible?) hand: can time sequence patterns of success/failure in sports be modeled as repeated random independent trials? *PLoS One*, *6*(10), e24532. doi:10.1371/journal.pone.0024532

Zheng, Y., Li, Q., Zhang, Y., Li, Q., Shen, H., Gao, Q., & Zhou, S. (2017). Reward processing in gain versus loss context: An ERP study. *Psychophysiology*, *54*(7), 1040-1053. doi:10.1111/psyp.12855