サッカー選手の判断に伴う中枢情報処理能力の評価

—反応時間と事象関連電位を指標として—

松竹貴大¹⁾・實宝希祥²⁾・門岡 晋³⁾・菅生貴之⁴⁾・浅井 武⁵⁾

Brain Information Processing of Football Players during Decision Making —Estimation with Reaction Time and Event-Related Potentials—

Takahiro Matsutake¹, Kisho Zippo², Susumu Kadooka³,
Takayuki Sugo⁴, Takeshi Asai⁵

Abstract

Primary scientific data for evaluating information processing ability of the central nervous system that are associated with decision making was investigated in football players, by using event-related potentials (ERP; N200, P300) and reaction times. Participants were college football players who were winners of the all Japan university championship (n=8; Elites) and 8 graduate students with no football experience (n=8; Novices). They used an oddball paradigm consisting of a simple visual stimulus (Choice Reaction Task 1: CRT1) and an oddball paradigm consisting of a complex visual stimulus (Choice Reaction Task 2: CRT2). Results indicated that Elites had a significantly shorter reaction time than Novices in the CRT2. This finding corroborated many previous studies, and indicated that reaction times of Elites were faster than Novices. In addition, ERP (N200 and P300) was observed in all participants and there were no significant differences between the two groups in N200, or P300 latencies in the CRT1. However, Elites showed latencies that were significantly shorter than Novices in the CRT2. These results indicated that the process of evaluating and classifying stimuli was faster in Elites, suggesting that information processing ability of Elites was superior to Novices. In conclusion, this study identified basic scientific data on reaction times and ERP associated with evaluating information that are indicative of central nervous system processing ability associated with decision making by football players.

Key words: decision making, central nervous system, electroencephalogram, choice reaction task

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
2) 大阪体育大学大学院
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1
3) 金沢星陵大学
〒920-0813 石川県金沢市御所町丑10-1
4) 大阪体育大学
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1
5) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
連絡先: 松竹貴大
E-mail: matsu.t16@gmail.com

1 Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574
2 Department of Sport Education, Osaka University of Health
and Sport Sciences
1-1 Asashirodai, Kumatori, Sennan, Osaka 590-0496
3 Kanazawa Seiryō University
10-1 Gosyomachi, Kanazawa, Ishiawa 920-0813
4 Osaka University of Health and Sport Sciences
1-1 Asashirodai, Kumatori, Sennan, Osaka 590-0496
5 Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574
Corresponding author: Takahiro Matsutake

I. 序 論

スポーツ場面における人の随意運動は、様々な感覚刺激を知覚し、その認知・判断を経て、運動の意志・決定を行う、といった中枢における一連の情報処理過程によって実行される。この中枢での情報処理過程と運動の出力を行う運動処理過程は密接に関係しており、適切に対応した情報処理を行うことが、スポーツ場面でのパフォーマンス発揮に大きく影響することが報告されている（蔵田, 1997）。オープンスキル種目においては、状況の変化に応じて瞬時の判断が求められる。その環境の中で高いパフォーマンスを発揮する為には、運動能力や技術のみならず、適切な状況判断を行う為の知覚・認知的側面である情報処理能力が重要である（中川, 1984）。オープンスキル種目の中でもサッカーはこの例外ではなく、強度のプレッシャーの下で多数の選択肢の中から、適切な判断を幾度となく求められる競技であるからこそ、情報処理能力はサッカーにおいてもより重要な能力と位置づけられており、Williams (2000) ではサッカーのパフォーマンスレベルに選手の視覚的情報を処理する際の視機能や視野のような「ハードウェア」はパフォーマンスに影響を及ぼさないが、刺激の認知や弁別、運動様式決定といった中枢の情報処理能力に代表される「ソフトウェア」は、パフォーマンスを決定する大きな要因であると報告されている。

Weiss (1965) は反応時間が中枢の情報処理能力を反映することから、情報処理能力の指標としての有効性を示唆し、反応時間が短い事は情報処理能力が高いことを示している。サッカー選手の中枢の情報処理能力に関連する研究としてAndo et al. (2001) やMontes-Mico et al. (2000) では、反応時間を中枢情報処理能力の指標として、サッカー選手群と非サッカー選手群に視覚刺激に対する反応課題を実施した際、サッカー選手群は非サッカー選手群よりも刺激呈示後の反応時間が有意に短く、情報処理能力が高いことを報告している。しかし、これらの研究においては単一刺激に対する反応時間の測

定を行っており、そのような単純な状況は実際の競技場面では限定されている。サッカーにおいては複数の刺激の中から適切な情報を素早く、正確に処理を求められる場面が多く存在する。競技レベルの高い選手は、相手選手が素早くプレッシャーをかけてくるような場面でも適切な情報を素早く読み取り、正確な処理を行いプレーの判断ができると考えられる。

サッカー選手の判断に伴う中枢情報処理能力の評価を行う為には「複数の刺激の中から必要な情報を読み取り適切に反応を行う」といった、サッカーの競技特性を反映する課題を実施することが望ましい。その点を踏まえて、広瀬 (2002) や三好 (2005) では、サッカーの競技特性を反映する課題としてTalent-Diagnose-System (TDS; Werthner Sports Consulting, KEG社製) を実施してサッカー選手の中枢情報処理能力の評価を行っている。TDSは上・下肢用のステッピングおよびタッピングプレート、インターフェース、モニターを含むノート型PCから構成され、モニター上に表示される複数種類の視覚刺激に対して、正確かつ迅速に反応する（呈示された刺激に従って、ステッピング・タッピングプレートを、踏む、あるいは叩く）という選択反応課題である。三好 (2005) では、TDSを実施してサッカー熟練者が非熟練者よりも選択反応時間が短い事を報告しており、また、広瀬 (2008) はプロサッカー選手が大学生サッカー選手と比較して、TDSでの選択反応時間が有意に短い事を報告している。いずれの先行研究においてもサッカー選手は周囲の味方や敵の動き、ボールの動きなど多くの外的環境変化に伴う視覚的情報の変化に対して素早く、正確に反応することを繰り返して行っているため競技レベルの高い選手が低い選手より反応時間が短く、情報処理能力が高いという点で一致している。

これまでのサッカー選手の中枢情報処理能力に関する研究は、主に反応時間を指標にした報告がされてきた。反応時間が行動指標として用いられてきたのには、行動が直接観察できるという客観性が重視されてきたことが理由である

う。しかしながら、反応時間は刺激呈示から反応出力までの経過時間であり、その間には意思決定に関連した脳内の情報処理が介在しているといった限界点が指摘されている。これらを補うためには、脳内での活動をとらえることが可能な指標を併用する必要がある。その代表的なものとしては、脳波 (electroencephalogram: EEG) を用いた事象関連電位 (Event-related potentials: ERP) や、脳磁図、PETなどが知られているが、その中でも中枢の情報処理過程を詳細に示すことができる指標としては、ERPがよく用いられる。ERPの最大の利点は、刺激入力と反応出力との間に介在する脳活動をミリ秒単位で継続的に分析できるという時間分解能に優れた所にある。ERPは脳で行われる情報処理の「過程」に伴って放出される副産物であり、反応時間のように情報処理過程が行われた「結果」として出力されるものではない。従って、ERPを利用することにより、従来の行動指標では明らかにできなかった中枢の情報処理過程について検討することが可能である。ERPは頭皮上から記録される、数 μ Vから十数 μ V程度の小さな電位であり、一連の陽性波と陰性波で構成される。頭皮上で測定したERPは脳波に比べて電位が小さいので、そのまま脳波記録上では観察が難しい。その為、実験対象者の頭皮上に電極を装着して脳波を記録しながら、同じ事象を数十回から数百回繰り返して経験させ、得られた脳波データを事象の開始時点にそろえて加算平均するのが一般的である。このような手続きにより、いくつかの振れを持つERP波形である「成分」が得られる。ERPを中枢の情報処理過程の検討に用いる場合には、この「成分」を利用する。特にP300成分といった早期成分は、認知に関わる刺激の分類や評価を反映する為、心理学分野の研究において有効である (正木, 2004)。P300は、Sutton et al. (1965) によって発見された電位成分であり、極性 (陽性: Positive) とピーク潜時 (約300ms) から名称がつけられたものである (Fig. 1参照)。この成分は、与えられた刺激を分類して何らかの反応をするように実験参加者に求めたときに出現す

る。P300が惹起される対象となる条件は先行研究において明らかになっており、主な条件として①まれに生じる事象であること (主観的確率)、②意味のある事象であること (刺激の意味) が挙げられる (入戸野, 2013)。この条件下によって、惹起されるP300の振幅は実験参加者の注意、集中が高い時に振幅が高くなり (McCarthy et al., 1989)、またP300の潜時は反応の選択・実行とは比較的独立した刺激評価過程を反映すると言われている (Duncan-Johnson, 1981)。

また、近年のERP研究においては、P300より潜時の短い幾つかの陰性成分にも注目が集まっている。特に刺激後、約200msに惹起される陰性の電位は極性 (陰性: Negative) とピーク潜時 (約200ms) からN200と呼ばれている (Fig. 1参照)。Näätänen and Gaillard (1983)は選択反応課題におけるERPを測定しP300に加えて陰性成分であるN200が出現し、このN200には下位成分であるMMN (Miss Match Negativity) とN2bという2種類の陰性電位があることも報告している。この2つの下位成分に関して、MMNは刺激に注意を向けていない時でも出現するのに対して、N2bは弁別課題時のみに出現するので、刺激の意図的な処理過程に関連するERP成分であることを示している。さらに、投石 (1990) では、弁別課題時における初期成分の分析を行い、弁別課題時のみに出現するN2bの情報処理過程での解釈を「注意を必要とする課題における、刺激の分類過程を反映する成分」とであると報告している。N2bは弁別課題時のみに出現するため、以下では特に断らない限りN2bをさしてN200と呼ぶことにする。N200は、刺激呈示直後の初期成分である為、刺激の物理的特性の影響をうける性質を持つ外因性成分と刺激の物理的特性そのものには影響を受けず、参加者の心理状態や課題の難易度によって変化する内因性成分を合わせ持つ成分である。N200を「刺激の分類を反映する成分」と定義づけた際に、P300との大きな違いは外因性成分を含むところにある。P300は内因性のみで構成される成分であるため、刺激に対しての物理的な影響を

受けずに「刺激を評価する」。一方で、N200は刺激の物理的な影響を受けながらも、刺激に対する注意や準備状態を反映する成分である。よって、N200潜時は刺激がどのようなものであるかを見分け、分類する過程を反映し、振幅は刺激に対する注意や準備状態を反映する（投石, 1990；西平ほか, 2000）。

近年ではERPの利点を活用した、スポーツ選手の情報処理に関する研究が報告されてきている。Iwadate et al. (2005) では、アスリートと非アスリートを対象として視覚刺激のオッドボール課題を実施して、アスリートは非アスリートよりP300潜時が、短いことを報告している。同様に、佐久間ほか (2005) でもオープンスキル種目の選手とクローズドスキル種目の選手を対象にしてGo/No Go課題を実施して、スキルの違いによって情報処理過程が異なることを報告している。このように近年では、ERPの利点を用いてスポーツに着目した研究は進められてきている。しかしながら、スポーツ選手やオープンスキル種目というような一定の枠内での研究はこれまで進められてきたが、各種目にフォーカスした研究は、まだ実施されていない。本研究にて注目しているサッカーは、実際

のプレー中に判断をする際、「①対象情報の探求、②状況の認知、③計画・予測、④プレー決定、⑤プレー遂行」といった一連の過程を経ており（中山, 1988）、この状況判断モデルにおける②状況の認知、③計画・予測、④プレー決定といった過程は脳内での情報処理にあたる事からこそ、サッカー選手の情報処理過程に着目してERPの利点を活用する意義は十分にある。更にこれまでのスポーツ選手を対象にした研究において、反応時間とERPを同時に評価した研究は報告されていない。そこで、サッカーの状況判断に関する先行研究に基づき、反応時間を行動指標としての対象情報の探求から、知覚してからプレー遂行を行うまでの経過時間として採用し、ERPをその間にある状況の認知、計画・予測、プレー決定の過程の検討に用いることで、新たな知見が見いだされる可能性は十分にある。

そこで本研究では、サッカー選手の情報処理過程に関する基礎的な知見を得るために、サッカー熟練者と非熟練者を対象にして難易度の異なる2つの選択反応課題を実施する。指標には反応時間、ERP（P300成分、N200成分）を用いて、2つの課題における両群の比較検討を行

Figure 1 事象関連電位による中枢情報処理とパラメータの関係 (正木 (2004) を参考に作成)

う。本研究では先行研究の知見を基に、熟練者はより難易度が高い複雑な課題において、非熟練者よりも情報処理を迅速に行える為、ERP (P300成分, N200成分) の潜時と反応時間が短く、更に複雑な課題でも多くの注意資源を使用することなく判断ができる為、ERP (P300成分, N200成分) 振幅が小さいという仮説を立て、この仮説検証を行う事を目的とする。

II. 方 法

1. 実験参加者

Elite群として、全日本大学選手権で優勝経験のある大学サッカー部レギュラー選手8名(19-22歳, 右利き)とNovice群として、サッカー競技経験のない大学生、大学院生8名(22-26歳, 右利き)に対して実験を実施した。Novice群の8名は、サッカー競技経験はないが他の競技経験(陸上: 4名, 水泳: 1名, バスケットボール: 2名, バレーボール: 1名)のある大学院生であった。

実験参加者には、実験の趣旨及び方法について十分に説明した上で、実験参加の同意を得た。正確な脳波活動を測定する為、外部からの刺激等の制御が可能な個室において1人ずつ実験を行った。

2. 倫理面への配慮

実験参加者には、実験実施に先立ち、口頭・文書により十分に事前説明を行い署名より同意を得た。なお本研究は、大阪体育大学研究倫理委員会より承認を得て実施した。

3. 課題

本研究ではサッカー選手の中枢情報処理の評価を行う為、刺激呈示が単一で比較的容易に刺激を識別できる課題「選択反応課題Level 1 (Choice Reaction Task 1: CRT1)」と刺激呈示が複雑でCRT1よりも識別の難易度が高い「選択反応課題Level 2 (Choice Reaction Task 2: CRT2)」の2課題を全ての実験参加者に対して実施した。このCRT2は、多数の選択肢の中から適切な選択するという、サッカーの競技

特性を反映する課題として設定する為、広瀬(2002)において選択反応時間の測定に用いているTDSを参考にして作成した。

(1) 選択反応課題Level. 1 (Choice Reaction Task: CRT1)

CRT1には、単一の視覚刺激によるオッドボール課題を用いた (Fig. 3参照)。視覚刺激は、刺激呈示用のPCから導出されたモニター画面 (1366×768px) に、画面中心から直径3cmの青色の円または赤色の円のいずれかが、ランダムに表示された。この刺激に対して、青円を標的刺激としてボタン押しで反応、赤円は非標的刺激として反応しない課題とした。

(2) 選択反応課題Level. 2 (Choice Reaction Task: CRT2)

CRT2には、複雑な判断を伴う視覚刺激によるオッドボール課題を用いた (Fig. 4参照)。視覚刺激は、画面 (1366×768px) を4つのエリアに分割した、1エリア (683×384px) の中心から同時に直径2cmの青円ないしは赤円が表示された。課題中は両手にボタンを持ち、4つのエリア (左上, 左下, 右上, 右下) のうち青円が左上, 左下, 右上に同時に表示された時は、左手のボタン押し反応を行い、青円が右上, 右下, 左上に同時に表示された時は右手のボタン押し反応を行わせた。この2パターンの表示を標的刺激として (Fig. 2参照)、それ以外の表示は非標的刺激として (Fig. 2参照) 反応しない課題とした。

(3) 教示内容について

課題中は、脳波の測定を行うので視覚探索によるサッケードを防ぐために画面 (1366×768px) 中心に注視点 (X) を設けて、課題中はそこから視点を動かさないように教示した。また、両課題ともに、体動による大きなアーチファクトを防ぐ為「できるだけ動かない」こと、及びERPへの眼球運動の影響を防ぐ為「瞬きを行うときは視覚刺激が出る前、注視点 (X) の表示のタイミングで行う」ことを教示した。

4. 手続き

視覚刺激呈示前に注視点 (X) を500ms提示した後、視覚刺激を1000ms呈示した。試行回数はCRT1, CRT2それぞれ150試行実施した。呈示確率は、標的的刺激：非標的的刺激が2：8の割合となるよう無作為に呈示した。本研究では、一定区間の最大電位を用いているため、ノイズ

等の影響を除去するために、標的的刺激の加算回数が20回以上となるように150試行実施している (Fig. 3参照)。

また、課題を実施する前には誤反応を防ぐ為に2分間の練習時間を設け、十分に練習を行ってから課題を実施した。

Figure 2 選択反応課題Level. 1 (CRT1) と選択反応課題Level. 2 (CRT2)

◇標的的刺激：非標的的刺激が 2：8 になるようにランダムに表示
 試行回数は標的的刺激の加算回数が20回以上になるように150試行実施

Figure 3 実験手続き

5. 脳波記録と分析

脳波の記録は多用途脳波計SYNTAX2100 (NECメディカルシステム社製)を用いて、国際10-20法に従い、Cz, C3, C4の頭皮上3部位より両耳朶連結を基準としてAg-AgCl皿電極を用いて単極導出した。記録条件は高周波フィルター20Hz、時定数3.0sとし、電気抵抗はすべて5kΩ以下とした。同時に、瞬き及び眼球運動に伴うアーチファクト混入を検出するため、眼電図(electroretinogram: EOG)を左眼窩上下線から導出記録した。得られたデータはA/D変換ボードを介した後に、サンプリング周波数250Hzで波形解析ソフトMap1200A (ニホンサンテック社製)を用いて解析を行った。

分析の対象は、視覚刺激呈示前200msから提示後1000msとした。分析区間に眼球運動が認められた場合やEEGの振幅値が100μVを超えるもの、また誤反応した場合はその試行を分析の対象外とした。これらの処理後、20回以上の加算平均処理を行い、ERPを求めた。分析の対象としたN200, P300潜時はそれぞれ誘発された波形から同定をした。N200は刺激呈示後150-250msに生じる最大陰性電位を同定し、P300は刺激呈示後250-500msに生じる最大陽性電位を同定した。またN200およびP300の基線算出には、刺激前100msの平均電位を用いた。この基線からN200, P300の振幅は、それぞれの最大陰性及び陽性成分の頂点までの振幅とした。

6. 統計処理

反応時間、ERP (N200成分, P300成分)の潜時、振幅についてはそれぞれ平均値と標準偏差を算出した。群を実験参加者間要因、課題を実験参加者内要因とした、2要因混合計画による群(2)×課題(2)の繰返し測定、二要因分散分析を用いて、交互作用と主効果の検定を行った。本研究では、3部位の測定を行っているが電極間の差は検討しないため、電極位置ごとに二要因分散分析を行った。

有意水準については、5%以下を有意差の判定基準、10%以下を傾向差の判定基準として検定を行った。また統計的に有意な効果が得られ

た結果の効果量については、偏イータ2乗 (η_p^2)を用いて示した。なおすべての統計処理にはPASW Statistics ver. 18 for windowsを使用した。

Ⅲ. 結 果

1. 正答率

CRT1での平均正答率は、Elite群で100%±0.00, Novice群で100%±0.01であった。またCRT2の平均正答率においては、Elite群で99%±0.01, Novice群で98%±0.02であった。

2. 反応時間

Table 1に2つの課題における各群の平均値及び標準偏差、また二要因分散分析を行った結果を示す。反応時間では交互作用が認められ、($F(1, 14)=17.674, p<.001, \eta_p^2=0.58$)、単純主効果の検定を行った結果、Elite群とNovice群ともにCRT2における反応時間がCRT1と比較して有意に延長した($p=.000$), ($p=.000$)。また、CRT2ではElite群がNovice群より有意に短い反応時間を示した($p=.013$)。

3. N200潜時

誘発された潜時と極性からN200 (刺激呈示後180-300msに生じる最大陽性電位)を同定し、潜時と振幅を測定した。すべての実験参加者、条件および部位(Cz, C3, C4)においてN200が確認された。Fig. 4には、それぞれの実験参加者から得られた波形を、更に群ごとに総加算平均した、2つの課題におけるERP波形を示した。

またTable 1に各部位(Cz, C3, C4)のElite群とNovice群の課題(CRT1, CRT2)におけるN200潜時の比較を示した。二要因分散分析を行った結果、Czでは交互作用が認められ、($F(1, 14)=7.948, p<.05, \eta_p^2=0.23$)、単純主効果の検定を行った結果、Novice群はN200潜時においてCRT2がCRT1より有意に延長した($p=.003$)。また、CRT2のN200潜時ではElite群がNovice群より有意に短かった。($p=.023$)。

C3は交互作用が認められ、($F(1, 14)=5.382, p<.05, \eta_p^2=0.22$)、単純主効果の検定を行った

結果, Novice群はN200潜時においてCRT2がCRT1より有意に延長した ($p=.004$). また, CRT2のN200潜時ではElite群がNovice群より有意に短かった ($p=.014$).

C4は交互作用が認められず ($F(1, 14)=2.028$, n.s), 課題間 ($F(1, 14)=3.09$, n.s) には主効果も認められず, 群間による主効果は認められなかったが10%水準での有意な傾向がみられた ($F(1, 14)=4.39$, $p=.006$, $\eta_p^2=0.25$).

4. N200振幅

Table 1に各部位 (Cz, C3, C4) のElite群とNovice群の課題 (CRT1, CRT2) におけるN200振幅の分散分析の結果を示した. Cz, C3, C4では交互作用が認められず ($F(1, 14)=0.439$, n.s), ($F(1, 14)=2.033$, n.s), ($F(1, 14)=1.127$, n.s), 課題間と群間による主効果も認められなかった.

5. P300潜時

N200と同様に, 誘発された潜時と極性からP300 (刺激呈示後200-500msに生じる最大陽性電位) を同定し, 潜時と振幅の測定を行った.

すべての実験参加者, 条件および部位 (Cz, C3, C4) においてP300が確認された (Fig. 4参照). また, Table 1に各部位の (Cz, C3, C4) Elite群とNovice群の課題 (CRT1, CRT2) におけるP300潜時の比較と標準偏差を示した. 二要因分散分析を行った結果, Czでは有意な交互作用は認められなかったが10%水準での有意な傾向がみられ, ($F(1, 14)=3.924$, $p=.069$, $\eta_p^2=0.232$), 単純主効果の検定を行った結果, Elite群 ($p=.012$) とNovice群 ($p=.000$) ともにP300潜時がCRT2でCRT1より有意に延長した. また, CRT2のP300潜時ではElite群がNovice群より有意に短かった ($p=.041$).

C3では有意な交互作用は認められなかったが10%水準での有意傾向がみられ, ($F(1, 14)=4.144$, $p=.063$, $\eta_p^2=0.242$), 単純主効果の検定を行った結果, Elite群 ($p=.031$) とNovice群 ($p=.000$) ともにP300潜時がCRT2でCRT1より有意に延長した. また, CRT2のP300潜時ではElite群がNovice群より有意に短かった ($p=.050$).

C4では交互作用は有意であり ($F(1, 14)=8.128$, $p<.05$, $\eta_p^2=0.385$), 単純主効果の検定を行っ

Table 1 Elite群とNovice群におけるCRT1とCRT2の比較

	CRT①				CRT②				Main effect						Interaction		
	Elite		Novice		Elite		Novice		F-Values		P-Values		η_p^2		F-Values	P-Values	η_p^2
									Task	Group	Task	Group	Task	Group			
Reaction time(ms)	281±64.53	330±47.31	309±40.83**	417±46.62**	125.6	4.29	$p<.01$	$p<.05$	0.91	0.25	17.67	$p<.001$	0.58				
N200 Latency(ms)	Cz	198±42.86	234±42.67	202±43.42*	257±37.76*	14.49	4.57	$p<.05$	$p<.05$	0.39	0.26	7.95	$p<.05$	0.23			
	C3	201±44.14	236±39.78	206±43.01*	262±33.03*	10.08	5.14	$p<.05$	$p<.05$	0.37	0.28	5.38	$p<.05$	0.22			
	C4	206±45.41	240±30.27	208±41.10	256±40.29	3.09	4.39	n.s.	$p=.06$	—	0.25	2.03	n.s.	—			
N200 Amplitude(μV)	Cz	2.60±1.69	4.07±2.94	3.72±2.24	5.56±4.45	4.18	1.34	n.s.	n.s.	—	—	0.44	n.s.	—			
	C3	2.28±1.68	4.11±2.65	3.34±3.06	6.06±3.76	2.81	4.01	n.s.	n.s.	—	—	2.03	n.s.	—			
	C4	1.84±1.11	4.97±4.28	3.52±3.15	5.14±4.01	0.83	3.23	n.s.	n.s.	—	—	1.13	n.s.	—			
P300 Latency(ms)	Cz	339±27.42	338±23.12	394±44.70*	444±51.96**	38.92	2.46	$p<.001$	n.s.	0.75	—	3.93	$p=.069$	0.23			
	C3	344±23.44	351±25.32	390±52.80*	452±56.53**	30.87	3.87	$p<.001$	$p=.07$	0.24	0.23	4.14	$p=.063$	0.24			
	C4	340±26.25	345±19.26	385±45.55*	455±52.54**	44.61	5.38	$p<.001$	$p<.05$	0.77	0.3	8.13	$p<.05$	0.39			
P300 Amplitude(μV)	Cz	13.59±6.38	918±5.57	11.25±4.96	10.52±5.37	0.08	1.23	n.s.	n.s.	—	—	1.13	n.s.	—			
	C3	13.31±5.63	9.32±5.04	12.59±4.97	12.59±4.97	0.13	2.02	n.s.	n.s.	—	—	0.77	n.s.	—			
	C4	12.03±5.96	8.82±4.86	9.94±5.41	9.94±5.41	0.65	0.85	n.s.	n.s.	—	—	0.8	n.s.	—			

Values are mean±SD.

* $p<.05$, ** $p<.01$, Elite vs Novice

$p<.05$, ## $p<.01$, CRT1 vs CRT2

た結果, Elite群 ($p=.021$) とNovice群 ($p=.000$) とともにP300潜時がCRT2でCRT1より有意に延長した。また, CRT2のP300潜時ではElite群がNovice群より有意に短かった ($p=.016$)。

6. P300振幅

Table 1に各部位 (Cz, C3, C4) のElite群とNovice群の課題 (CRT1, CRT2) におけるP300振幅の比較を示した。二要因分散分析を行った結果, Cz, C3, C4は交互作用が認められず ($F(1, 14)=1.127, n.s.$), ($F(1, 14)=0.769, n.s.$), ($F(1, 14)=0.793, n.s.$), 課題間と群間による主効果も認められなかった。

IV 考 察

1. 反応時間について

サッカー選手に対して, 難易度の異なる2つの視覚刺激によるオッドボール課題を実施して, 行動指標に反応時間を用いた中枢情報処理

能力の評価を行った。その結果, Elite群, Novice群とともにCRT1がCRT2と比較して有意に速い反応時間を示した。本研究で行ったCRT2は広瀬 (2002) で実施したTDSを参考にして作成しており, CRT1と比較して刺激呈示が複雑である。TDSは, より複雑なレベルでの情報処理が必要で多数の選択肢の中から適切な選択するという, サッカーの競技特性を密接に反映すると報告されている (広瀬, 2008)。両群ともにCRT2でCRT1よりも反応時間が延長したことは, 本研究で作成したCRT2が, CRT1よりも複雑な課題であったため, 複雑なレベルでの情報処理を必要とした事示しているだろう。このことは, 本研究において実験課題の難易度の設定が適切であったといえる。

またCRT2において, Elite群がNovice群と比較して有意に短い反応時間を示した。CRT1では両群で差はなかったが, 複雑な刺激呈示が行われるCRT2ではElite群がNovice群よりも短い

Figure 4 各課題におけるERP波形 (総加算平均)

反応時間であった。この結果は、サッカー熟練者は多数の選択肢の中から適切な判断を行う課題において、非熟練者よりも反応時間が短いといった先行研究（広瀬，2002；三好，2005）の報告と一致している。サッカーは周囲の自チームや相手の動き、ボールの動きなど多くの外的環境変化に伴う視覚的情報の変化に対して素早く、正確に反応することが求められる。Elite群は、日々のサッカー競技でのトレーニングを通して、複雑な視覚的情報の変化に対して素早く、正確に反応することを繰り返し行っている為、Novice群と比較して反応処理を行う中枢の情報処理能力が高まっていたことが考えられる。

2. N200成分について

本研究では行動指標である反応時間と併用して、神経生理学的指標であるERPを指標とし各成分の中でも心理学研究において強力なツールとして位置づけられているN200とP300に着目した。投石（1990）では、N200は弁別課題時のみに出現する成分であることを報告している。本研究においてすべての実験参加者、条件にてN200が確認できたことは本研究で行った課題がERP測定に用いる弁別課題の条件を満たし、適切であったと考えられる。

N200潜時の比較においてはCz、C3の部位でNovice群のみでCRT2がCRT1と比較して有意に潜時が延長した。投石（1990）では弁別課題時のみに出現するN200の情報処理過程での解釈を「注意を必要とする課題の刺激の分類過程を反映する成分」とであると報告している。Elite群は2つの課題で差異のない潜時を示しているのに対して、Novice群がCRT2で有意に潜時が延長していることは、Novice群はCRT2で複雑な判断を伴う刺激呈示が行われると、刺激の分類処理過程が遅れるが、Elite群においては変化がない事が示された。本研究においては、CRT2は多数の選択肢の中から適切な選択するという、サッカーの競技特性を密接に反映する課題であった。Elite群は日々サッカー競技のトレーニングや展開の速い高いレベルの試合を

通して複雑な視覚的情報の変化に対応している為、視覚刺激を迅速に分類する能力が高く、複雑な視覚刺激を用いたCRT2に対しても分類処理が容易に行われたのではないだろうか。また同部位でのCRT2では、Elite群がNovice群と比較して有意に短い潜時を示した。この結果は、中枢の情報処理過程における刺激の分類を行う段階でElite群がNovice群と比較して速い分類処理を行えることを示唆している。

一方でN200振幅の比較においては、課題間、群間のいずれにも差は認められなかった。投石（1990）は、N200振幅は刺激を弁別しようという実験参加者の構えに応じて大きくなることを報告している。ここでの「構え」とは刺激に対する反応の準備状態の事を示している。本実験でのN200振幅の結果は、視覚刺激を分別する準備の段階において課題間、群間で差がなかった。Elite群とNovice群には刺激の分類を行う速さに違いはあるが、分類する前の準備に差異はなかったと考えられる。しかしながら、この点に関して本研究のデータのみでは言い切れない部分もある。投石（1990）は、N200は前頭部で最大振幅が広がる傾向があることを報告しており、本研究では中心部（Cz、C3、C4）の測定を行っている為、前頭部の活動は捉えられていない。今後、情報処理における分類の速さだけでなく準備の状態についても考察していくために電極数を増やし検討していきたい。

3. P300成分について

N200と同様に神経生理学的指標として測定したERP波形からP300を同定した。すべての実験参加者、条件にてP300が確認できたことは本研究で行った課題がERP測定に用いる弁別課題の条件を満たし、適切であったことが示された。また、P300の電位は中枢情報処理における刺激評価を反映する成分として、一般的に5-20 μ Vの振幅で観測される（入戸野，2013）。すべての実験参加者でP300振幅は5 μ V以上であった事は、同定したP300が中枢情報処理における刺激評価を十分に反映しているものと考えられる。

またP300潜時の比較においては、Cz, C3, C4のすべて部位でElite群、Novice群ともにCRT2がCRT1と比較して有意に潜時が延長した。P300潜時は刺激の識別が困難な課題時に延長することから (McCarthy and Donchin, 1981), 本研究で行ったCRT2がCRT1よりも、刺激呈示が複雑な為に刺激の識別が困難であったことが示された。

また、CRT2においてCz, C3, C4のすべての部位でElite群がNovice群と比較して有意に短い潜時を示した。P300潜時は反応の選択・実行とは比較的独立した刺激評価過程を反映すると報告されている (Duncan-Johnson, 1981)。CRT1では両群に差は認められなかったが、複雑な刺激呈示が行われるCRT2で差が認められたことから、中枢の情報処理過程における刺激の評価を行う段階でElite群がNovice群と比較して速い処理を行うことができることを示唆している。

一方でP300振幅の比較においては、課題間、群間のいずれにも差は認められなかった。P300の振幅は実験参加者の注意、集中が高い時に振幅が高くなり (McCarthy, G, et al, 1989), また、入戸野 (2005) は課題に対する注意処理資源量を反映するものであると報告している。本研究においてP300振幅にいずれの差も見られなかったことは、2つの課題において両群ともに刺激の評価に向けられる集中や注意処理資源量には違いがなかったことが推測される。しかしながら、P300においても本研究のデータのみでは、振幅に関する十分な考察はできない。N200振幅にて本研究の課題として述べたように、頭皮上分布と振幅の関連性を考慮すると今後電極数を増やすことが望ましいと考えられる。

4. 本研究の限界点

N200, P300の振幅に関しての考察でも記載しているが、本研究での限界点もいくつか挙げられる。研究デザインに関する点では「比較対象群がNovice群であった事」や「実施したCRT2が実際のプレー状況ではないこと」が挙げられる。前者に関して、本研究においては熟練したスポーツ競技者の特性を明確に示すために比較

対象としてサッカー競技経験のない非熟練者を設定した。しかしながら、サッカー選手の競技レベルの違いが脳内情報処理過程にも影響しているのかを検討する為には、サッカー競技経験者内で比較検討を行っていくことが望まれる。後者に関して、Ericsson & Smith (1991) は熟練したスポーツ競技者のパフォーマンスに対する研究のアプローチ方法として、初期の段階では実際のプレー状況もしくは、実験室内でそれを模擬したスポーツスキルに関連したパフォーマンスの観察を推奨している。本研究では、サッカー選手の脳内情報処理過程に関する初期段階の研究という位置づけで、サッカーの競技特性を反映する課題を実験室内にて実施した。今回は、複雑な判断を伴う課題においてElite群はNovice群と比較して中枢の情報処理が速いことが示された。しかし、指導現場にこれらの知見を提言する為には、実験室内での検討においても実践場面に近い課題を行い、応用的に研究を進めていく必要がある。従って今後、サッカー選手の中枢情報処理能力の評価に関しての精度を高めていく為に、実施する課題をより発展させた上で検討を行っていきたいと考えている。

V まとめ

本研究では、サッカー選手の判断に伴う中枢情報処理能力の評価を行う為の基礎的な知見を得ることを目的に、反応時間とERP (N200成分, P300成分) を指標に用いて、難易度の異なる2つの課題 (CRT1, CRT2) における、サッカー熟練者と非熟練者の比較を行った。これまでのサッカー選手の状況判断に関する研究との大きな差異は、脳内情報処理過程のメカニズムの解明にERPを用いたところにある。近年では、機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) やポジトロン断層撮影法 (positron emission tomography: PET), 脳の磁場を測定する脳磁図 (magnetoencephalography: MEG) などの脳機能イメージング技術の進歩により、脳活動を視覚的に捉えることが可能になってきた。しかしながら、これらの指標では

なくERPを採用した理由は、空間的分解能は低いものの、時間的分解能に優れており、継続的な脳活動の変化をミリ秒単位で観察する指標として適していたからである。その結果、より複雑であるCRT2においてElite群がNovice群と比較して、N200, P300ともに有意に短い潜時を示し、反応時間においてもCRT2でElite群がNovice群と比較して有意に短縮した。以上の結果は、Elite群がNovice群より中枢の情報処理過程において刺激の分類と評価を行う処理が速く、さらに反応の出力も速いことから、中枢の情報処理能力が優れていることを示唆するものであった。このことは、Elite群が実際のサッカー競技場において、中枢の情報処理能力が優れている為、複数の選択肢から瞬時に適切な判断を行い、プレーを遂行できる事を示す一つの基礎的な知見となるだろう。更に反応時間とERPの測定は、これまでサッカー競技の指導現場で、指導者自身の主観的なもので評価されてきた状況判断能力を定量化することを可能とし、エビデンスに基づいた評価を行う有効なツールとしての活用が期待される。

引用・参考文献

- Ando, S., Kida, N., and Oda, S. (2001) Central and peripheral visual reaction time of soccer players and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 786-794.
- Ericsson, K. A., and Smith, J. (1991) Prospects and limits of the empirical study of expertise. *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp.1-38), Cambridge University Press.
- Duncan-Johnson, Connie C. (1981) P300 latency: A new metric of information processing. *Psychophysiology*, 18, 207-215.
- Donchin, E., and Coles, M. G. H. Coles. (1988) On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 408-419.
- 広瀬統一・平野 篤・福林 徹 (2002) 骨年齢と暦年齢でみた成長期サッカー選手の反応時間とステップング能力の横断的变化。 *体力科学*, 51, 299-306.
- 広瀬統一・福林 徹 (2008) プロサッカー選手のタレント識別指標の検討。 *早稲田大学スポーツ科学研究*, 5, 1-9.
- Iwade, M., Mori, A., Ashizuka, T., Takayose, M., and Ozawa, T. (2005) Long-term physical exercise and somatosensory event-related potentials. *Experimental Brain Research*, 160 (4), 528-532.
- 西平賀昭・宮 達夫・八田有洋・麓 正樹・金田健史・時任真一郎・秋山幸代・和坂俊昭 (2000) 事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響。 *日本運動生理学雑誌*, 7 (2), 65-74.
- 入戸野宏 (1998) 刺激の分類判断における心的表象の研究—脳生理心理学的アプローチ—. 大阪大学大学院人間科学研究科行動学博士論文.
- 入戸野宏 (2005) 心理学のための事象関連電位ガイドブック. 北大路書房: 東京, pp.18-40.
- 入戸野宏 (2013) P300の応用 認知科学の立場から. *臨床神経生理学*, 41 (2), 86-92.
- 蔵田 潔 (1997) 運動制御と運動学習 セラピストのための基礎研究論文集. 協同医学出版社: 東京, pp.3-22.
- 三好健夫・広瀬統一・福林 徹 (2005) サッカーパフォーマンスと選択反応時間及び生物学的成熟度の関係. *早稲田大学スポーツ科学研究*, 2, 128-136.
- Montes-Mico R., Bueno I., Candel J., and Pons AM. (2000) Eye-hand and eye-foot visual reaction times of young soccer players. *Journal of American Optometric Association*, 71 (12), 775-780.
- 正木宏明 (2004) 脳内情報処理と脳波. 増原光彦監 動きを生み出すところからだのしくみ スポーツの神経科学. あいり出版: 東京, pp.126-140.
- McCarthy, G., and Donchin, E. (1981) A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211, 77-79.
- McCarthy, G., Wood, C. C., Williamson, P. D., and Spencer, D. D. (1989) Task-dependent field potentials in human hippocampal formation. *Journal of Neuroscience*, 9 (12), 4253-4268.
- Näätänen, R., and Gaillard, A. W. K. (1983) The orienting reflex and the N2 deflection of the event-related potential (ERP). *Tutorials in Event Related Potential Research*, 119-141.
- 中川 昭 (1984) ボールゲームにおける状況判断研究のための基本概念の検討. *体育学研究*, 28 (4), 287-279.
- 中山雅雄・田中雅人・松本光弘 (1988) サッカープレーヤーの状況判断過程のモデル化. *筑波大学体育科学系紀要*, 11, 165-174.
- 斉藤 治・丹羽真一・平松謙一・亀山知道・福田正人 (1985) 精神分裂病の認知障害. *臨床精神医学*, 14, 891-906.
- 竹内 賢・丹羽真一 (1997) 課題遂行と事象関連一反応時間を含めて一. 丹羽真一ほか編 事象関連電位 事象関連電位と神経情報科学の発展. 新興医学出版社: 東京, pp.65-75.
- 佐久間春夫・内本真理子 (2005) スキルタイプからみた認知スタイルに関する研究. *競技パフォーマンスと注意メカニズムに関する精神生理学的研究*, 61-68.
- Sutton, S., Braren, M., and Zubin, J. (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- 投石保広・下河内稔 (1990) 弁別課題にみられる初期

- 陰性成分の分析—NA, MMN, N2bの比較検討—. 生理心理学と精神生理学, 8, 19-30.
- Verleger, R (1988) Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. Behavioral and Brain Sciences, 11, 343-356.
- Williams, A. M (2000) Perceptual skill in soccer: implications for talent identification and development, Journal of Sports Sciences, 18, 737-750.
- Weiss, A. D (1965) The locus of reaction time change with set motivation and age. Journal of Gerontology 20, 60-64.
- (2015.5.11 受稿, 2015.10.28 受理)