選択的注意反応課題における大学生アスリートの 認知情報処理能力の評価

—事象関連電位P3と反応時間を指標として—

熊谷史佳¹⁾・門岡 晋²⁾・菅生貴之³⁾

Evaluation of Cognitive Information Processing Ability of College Athletes in a Selective Attention-Reaction Task —Estimation with Event-Related Potentials (P3) and Reaction Times—

Fumika Kumagai¹, Susumu Kadooka² and Takayuki Sugo³

Abstract

Event-related potentials and reaction times were compared between athletes and non-athletes using a serial choice reaction task to obtain basic knowledge on cognitive information processing ability of athletes. Three sets of oddball tasks were conducted using visual stimuli that demanded complex assessments. The task was to raise the difficulty step by step from task 1 to 3. Results indicated that the P3 latency of the athlete group was shorter than that of the non-athlete group for all the tasks. Moreover, although the P3 amplitude of the athlete group had been amplifying from task 1 to 3, while the non-athlete group had been attenuated. There was also an interaction between the reaction times. Furthermore, there were no differences between the groups for the task 1, whereas there were differences for the task 2 and task 3, with the athlete group showing significantly shorter reaction times. The results of the reaction times and the P3 latency time obtained in this study indicated that the cognitive processing of stimuli was superior in the athlete group compared to the non-athlete group. Furthermore, athletes processed stimuli using fewer processing resources than non-athletes, which facilitates athletes to continue rapid information processing even in the case of tasks with increasing difficulty.

Key words: cognitive information processing ability, selective attention-reaction task,
Event-Related Potential (P3)

1) 認定NPO法人 クラブパレット
〒929-1123 石川県かほく市森レ1番地 (宇ノ気中学校体育館)
2) 金沢星稷大学
〒920-8620 石川県金沢市御所町丑10番地1
3) 大阪体育大学
〒590-0459 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1
連絡先: 菅生貴之
E-mail: sugo@ouhs.ac.jp

1 Certified NPO Club Palette
Re-1, Mori, Kahoku-shi, Ishikawa, 929-1123
2 Kanazawa Seiryō University
10-1 Goshomachi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-8620
3 Osaka University of Health and Sport sciences
1-1, Asashirodai, Kumatori-cho Sennann-gun, Osaka, 590-0459
Corresponding author: Takayuki Sugo

1. 序論

スポーツにおける運動スキルは、状況が比較的安定していて、実行すべき運動をあらかじめ予測できるクローズドスキルと、状況が時々刻々と変化し、その後の展開を予測することが比較的難しいオープンスキルに大別される（荒木, 2012）。クローズドスキルを必要とする場面では、外的要因に左右されない安定した環境下での運動パフォーマンスが要求されるため、高いパフォーマンスを発揮する際には、フォームが課題そのものであり、成績を大きく左右することが多いという競技特性がある（長谷川・星野, 2002）。一方で、オープンスキルを必要とする場面では、外的要因に左右される複雑な環境下での運動パフォーマンスが要求されるため、パフォーマンスを実行する際には、運動スキルや認知スキルに加え、アスリート自身の意思決定を伴いながら運動制御を実行していることが報告されている（田中, 2003）。オープンスキルを遂行するアスリートの脳内では、正しい状況の判断、意思決定、最適な動作を選択した上で、その動作を実行するための反応プログラミングが行われているとされており（正木, 2004）、オープンスキルを要する競技では、クローズドスキルを要する競技に比べ、脳内での情報処理を担う認知スキルがパフォーマンスを発揮する上で重要なポイントとなる。

このような脳内での情報処理作業について、Schmidt (1982) が提唱する情報処理モデルでは、情報は刺激同定段階、反応選択段階、反応プログラミング段階の大きく3つの段階を経て運動が実行されることを仮定している。近年の運動行動の心理学的研究では、刺激と反応間の随伴性や条件付けの原理を記述することに焦点を当てた「連合主義アプローチ (Skinner, 1961)」ではなく、モデルを軸とした、刺激と反応の間に介在する中枢の処理メカニズムを調べることに焦点を当てた「情報処理アプローチ (Hunt, 1971)」によって運動行動を捉えようとする研究が数多く見受けられる。その背景として、脳機能を客観的に測定する技術の躍進やそ

の測定方法の洗練、統計解析方法の普及などが挙げられる。

人の脳内での活動を捉える指標としては、脳波 (Electroencephalogram) を用いた事象関連電位 (Event-Related Potential: 以下ERPと略記する) や脳磁図、PET、fMRI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は、「ある出来事（事象）を脳が処理する過程に関連して出現する電位（入戸野, 2005）」であり、人の高次の精神機能を客観的に評価する方法として注目されている。守谷・入戸野 (2011) はERPの最大の利点として、第1に、行動反応とは独立して記録できるため行動測度や主観測度と同時に測定することが可能であること、第2に、時間分解能に優れており感覚入力から行動出力までの情報処理過程を時系列に沿って検討することが可能であることと述べている。このことから、ERPは感覚刺激が脳に入力されてから反応の出力までの一連の情報処理過程を知る上で有効な手法であると考えられる。頭皮上から記録されるERPの波形は、いくつかのピークを有し、そのピークは「成分」と呼ばれている。

情報処理過程の中の刺激評価段階を反映する代表的なERP構成成分としてP300成分が挙げられる。P300は、Sutton et al. (1965) が刺激の不確かさに関する電位として初めて報告した電気成分である。P300という名称は、極性（陽性：Positive）と300ms付近のピーク潜時としての意味合いであるが、近年では、P300が刺激呈示後300ms付近に発生しないケースがあることから、P300ではなくP3という表現を用いることを推奨した研究も報告されている（Luck, 2014）。P3が惹起される対象となる条件はほぼ明らかになっており、認知処理の最終段階に出現し、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ことが知られている（Näätänen, 1990）。P3潜時は、刺激評価に要する処理時間を反映することが報告されており、刺激の識別が困難な時や難易度の高い課題の要求（Duncan-Johnson,

1981), 精神疲労を伴う脳機能低下(岡村, 2007)などによって延長する。またP3振幅は、それを惹起した事象に対する知覚-中枢資源を反映すると考えられており(Kok, 2001)。ある事象に多くの処理資源を分配するとその事象に対するP3振幅は増幅する。従って、P3を測定することで、運動に関連した処理とは相対的に独立した刺激評価系の処理時間(岩木・今塩屋, 1997)と、それを惹起した事象に対する注意資源の配分量を測定することが可能である。

これまでのアスリート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。行動指標の1つである反応時間は、刺激の呈示から反応の開始までの経過時間を意味し、行動が直接観察できる客観性に優れた指標である。これまでの研究では、単純反応時間ではスポーツ選手と一般人に違いはない(McLeod, 1987)。一方で、選手が専門とするスポーツに模した状況では選手の反応時間の方が短い(Mori and Shimada, 2009)ことが明らかになっている。Weiss (1965)は、反応時間を刺激呈示から運動の開始に先行する筋活動開始までの時間(premotor time)と筋活動開始から実際の運動開始までの時間(motor time)に分けて測定しており、反応時間とpremotor timeの変動はよく一致し、その相関は高かった。従って、反応時間は中枢の情報処理能力を反映することを示唆し、反応時間が短いことは情報処理能力が高いことを報告している。しかし、反応時間は、刺激の入力から中枢の情報処理段階、反応の出力をすべて経た「結果」として生じる運動行動であり、反応時間から情報処理過程を推定し、評価することは困難である。その点、脳生理指標であるERPは、認知に関わる刺激の分類や評価を反映するため、反応時間だけでは明らかにできなかった中枢の情報処理の「過程」を詳細に検討するには極めて有効である。これらのことから、行動指標である反応時間は刺激提示から行動の発現までの経過時間とし、ERPをその間に介在する認知過程の検討に用いることで、一連の情報処理過程を捉え

ることができると考えられる。

近年では、アスリートの脳機能の解明に焦点を当てた研究も多くなされるようになり、松竹ほか(2016)ではERPと反応時間を指標に用いて2種類の難易度の異なる選択反応課題を実施し、サッカーの熟練者は非熟練者と比較している。その結果、単純な課題では両者に差は無いが複雑な課題に対するP3、反応時間の潜時が有意に短いことを報告している。また、長期的な運動トレーニングは刺激の評価時間を短縮させる可能性も報告されている(秋山ほか, 2000)。さらに、アスリートは一般の大学生と比べて、複雑な刺激の処理を学習する認知機能が優れていることが明らかにされており(Jocelyn, 2013)、アスリートは刺激情報の認知処理が優れていることを報告している。しかしながら、松竹ほか(2016)のように、アスリートの認知情報処理に関して、課題の難易度に焦点を当てた研究はまだ少なく、アスリートの認知情報処理過程の特徴について基礎的な知見を重ねていくことが求められる。

また、反応時間においては、覚醒水準との関連を示す研究が多くなされている。Cox (1990)は、覚醒は注意集中や反応課題に直接影響することを報告しており、Groves and Eason (1969)は、主観的な覚醒水準の高さが最適である時、反応時間は短縮することを示している。さらに、石橋・吉田(2000)は覚醒の低下に伴って反応時間が遅延し、パフォーマンスの低下を招くことを報告している。このことから、アスリートの迅速な認知情報処理には、前提として覚醒水準を保つことが求められ、反応時間とERP(P3)測定と同時に、心理検査により実験参加者の主観的な覚醒水準を測定し、多面的な検討を行う必要性が挙げられる。

以上のことから、アスリートと非アスリートのP3を比較し、パフォーマンスを発揮する上で重要なポイントとされる認知スキルを客観視することは、アスリートの認知情報処理の特徴を捉える上で重要な課題だと考えられる。そこで本研究では、選択的注意反応課題におけるアスリートと非アスリートのERP(P3)と反応

時間、心理指標による内省の比較を行い、アスリートの認知情報処理能力を「速さ」と「課題の難易度」という側面から評価することを目的とした。

2. 方法

2.1 実験参加者

オープンスキルを要する競技を専門とし、その競技において全日本大学選手権に入賞・出場経験のある部活動に所属するレギュラー選手11名（男性6名、女性5名、 21.25 ± 0.92 歳、右利き）をアスリート群とした。それぞれの専門競技は、ハンドボール4名、サッカー4名、野球3名であった。非アスリート群は、過去3年以上競技スポーツを行っていない大学生、大学院生（競技離脱から 4.6 ± 1.02 年）の11名（男性6名、女性5名、 22.08 ± 1.89 歳、右利き）として、計22名を対象に実験を実施した。各群の年齢に関して t 検定を行ったところ、両群に有意な差は認められなかった（ $t(22) = 3.963, n.s.$ ）。このことから、両群に年齢による差は無いものとして実験を行った。実験参加者に対して、事前に書面と口頭により実験内容の説明を行い実験に対する同意を得た。その際に、実験参加者が実験を途中で辞退したい場合は、実験の進行具合に関わらず即座に中止でき実験参加者への不利益は発生しない旨を伝えた。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（承認番号：15-3）。

2.2 実験課題

本研究では認知情報処理能力を速さと課題の難易度という側面から検討するため、3種類の選択反応課題をすべての実験参加者に対して実施した。また、P3振幅は刺激に向けられる注意の量に応じて段階的に大きくなること（Donchin et al., 1986）や弁別の困難な課題になるに連れて減衰する（White et al., 2010）という報告をもとに、アスリートの認知情報処理に関する基礎的な知見を検討するため、課題はtask 1から2、3と段階的に難易度を上昇させ、一連の流れの中でのP3の変化を捉えることと

した。

課題は、視覚刺激によるオッドボール課題を用いた。視覚刺激は、音・画像刺激装置Ez-STIM（MaP1950SYS, ニホンサンテック株式会社製）を使用し、刺激呈示用のpersonal computer（PC）から導出されたモニター画面（LG Electronics Japan株式会社製、FLATRON E2351VR-BN, 1366×768 px, リフレッシュレート60Hz, 応答速度5 ms, 輝度 250cd/m^2 ）に、直径4 cmの青色の円または赤色の円のいずれかをランダムに呈示した。実験参加者からモニター画面までの距離は1.5mであった。課題中は利き手にボタンを持ち、指定した画面が呈示された場合は利き手拇指によるボタン押しにて素早く反応し、それ以外の画面に対しては、無視するように求めた。task 1では、刺激呈示用モニターに1つの青丸ないし赤丸をランダムに呈示した。この刺激に対して、青丸の呈示を標的刺激とし、赤丸の呈示を非標的刺激とした。task 2では、モニターに2つの並列した青丸ないし赤丸を呈示した。この刺激に対して、左が青丸、右が赤丸の呈示を標的刺激とし、それ以外の組み合わせの呈示は非標的刺激とした。task 3では、モニターに4つの青丸ないし赤丸を呈示した。この刺激に対して、左上と右下が青丸、右上と左下が赤丸の呈示を標的刺激とし、それ以外の組み合わせの呈示は非標的刺激とした。taskは1、2、3の順に実施し、それぞれのtaskの選択反応回数は120回で、その内反応を求める標的刺激の呈示回数は25回（呈示確率：20.8%）であった。

2.3 脳波記録と分析

実験は防音設備を備えた実験室で行われた。脳波の測定には、多用途生体計測システムMaP8100（ニホンサンテック株式会社製）を使用し、サンプリング周波数250Hzで記録した後、ERP Analysis Program（Map 1200B, Map1200G, ニホンサンテック株式会社製）を用いて解析を行った。電極位置は、国際10-20法に従い、Fz, Cz, Pzの3カ所の記録を行った。また、眼球運動の混入を確認するため、左眼窩

上下縁の2箇所から眼電図を導入し記録をした。測定系の構成についてはFigure 1に示した。電極にはAg/AgCl皿電極を使用した。頭皮をエタノールで消毒し、生体信号モニター用皮膚前処理剤（スキンプュア、日本光電工業株式会社製）により皮膚上の脂肪分等を拭き取った後、脳波ペースト（Ten20、ニホンサンテック株式会社製）を用いて電極の装着を行った。記録は両耳朵連結を基準とし、時定数は3.0 s、周波数帯域は0.05–20Hzで行い、電極抵抗はすべて10k Ω 以下とした。分析の対象としたP3は、潜時200–380msに生じた陽性波の中から頂点を有した成分と同定し、刺激前100msの平均電位から算出した基線から、最大振幅を示した部位で潜時と振幅を計測した。1施行ごとの潜時、振幅データの加算平均を行った。分析区間は、刺激呈示前200msから呈示後1000msまでとした（Fig 2参照）。EEGによる振幅の値が50 μ Vを超えるもの、誤反応をした場合は分析の対象から除外して、標的刺激での波形を加算平均した（20回以上）。

2.4 反応時間

反応時間は、視覚刺激に対してボタン押しによる課題への反応により記録した。実験参加者には、研究者が指定した標的刺激に対して、できる限り短い時間で、かつ正確に利き手の拇指

でボタンを押すことを求めた。ボタン押しによって得られたデータは、パルス波としてERP Analysis Programに取り込まれ、P3潜時と同様に、刺激呈示後からパルス波の立ち上がりまでの区間を測定した。

2.5 二次元気分尺度（Two-dimensional Mood Scale-Short Term：以下TDMS-STと略記する）

坂入ほか（2003）により作成されたTDMS-STを心理指標として使用した。気分を快適度と覚醒度の2軸とする背面上に位置付けているモデル（双極二次元空間モデル）に基づいていることから、項目の多重活用が可能であり、8項目の質問に6件法にて回答することにより、活性度と安定度、快適度、覚醒度の4つの尺度から心理状態を測定することができる。本研究ではTDMS-STを課題開始前（Pre）、task 1終了後（task 1）、task 2終了後（task 2）、task 3終了後（task 3）の計4回の調査を実施した。なお、データの分析には4つの尺度のうち、反応時間との関係が深いとされる覚醒度のみを採用した。

2.6 教示と実験手続き

実験当日、実験参加者は実験内容の確認、同意書と問診票、1回目のTDMS-STの記入をし、電極を装着した。実験課題中は、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刺激呈示用モニターを中心に注視点（+）を設け、課題中はそこから視線を動かさないように教示した。また、体動によるアーチファクトを防ぐため「できるだけ体は動かさない」、ERPへの眼球運動を防ぐため「瞬きを行うときは視覚刺激が出現する前、注視点（+）の呈示が消え、次の刺激までの1500msの間のタイミングで行う」ように教示した。瞬目のタイミングとボタン押しによる反応の練習をするために、課題開始前に約1分間の練習課題を実験参加者に実施した。さらに、実験参加者の意識的な注意の配分を避け、実験条件を統制するため、練習課題終了後には「実験課題はいつ終わるか分かりませんが、反応を続けるようにして

Figure 1 Experimental set up

下さい」と教示し本課題を開始した。課題の練習を約1分間行った後、task 1, task 2, task 3を実施した。各taskの終了時にはすぐさまTDMS-STの回答を求めた。taskに要する時間は5分間で、task間には3分間の休憩の時間を設けた。task終了後は速やかに電極を外し、ディブリーフィングを行って実験終了とした。

2.7 統計処理

得られたP3の潜時、振幅に関して、導出部位(Fz, CzおよびPz)×群(アスリート, 非アスリート群)×task(task 1, 2および3)の混合モデルによる3要因分散分析を行ったところ、潜時、振幅共に2次交互作用(潜時: $F(4, 88) = 1.325, n.s., \eta^2 = .057$, 振幅: $F(4, 88) = .426, n.s., \eta^2 = .019$)と、導出部位の主効果(潜時: $F(2, 44) = .777, n.s., \eta^2 = .034$, 振幅: $F(2, 44) = .712, n.s., \eta^2 = .015$)は認められなかった。そのため、電極間の差の検討はせず、電極位置ごとに群(2)×task(3)の2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。Mauchlyの球面性検定の結果、球面性が仮定されなかった場合には、Greenhouse-Geisserによる自由度の修正を行った。交互作用が有意であった場合には単純主効果の検定、主効果が有意である場合にはBonferroni多重比較検定を行うこととした。また、反応時間についても、群(2)×task(3)、TDMS-STはtaskの前にPreの測定を含み、群(2)×task(4)の2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。有意差検定での有意水準を5%未満とし、得られた交互作用

と主効果の結果の効果量については偏イータ二乗(η^2)を用いて示した。なお、すべての統計処理には統計処理ソフトIBM SPSS Statistics 22を用いた。

3. 結果

3.1 ERP波形

Figure 3には群ごとに総加算平均した各taskにおけるERP波形を示した。誘発された潜時と極性からP3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、taskにおいてP3が確認された。

3.2 P3潜時

Table 1の上段に各電位のアスリート群と非アスリート群の各taskにおけるP3潜時の平均と標準偏差を示した。Fz, Czでは、交互作用は認められなかったが、2つの要因による主効果が認められた(Fz, task: $F(2, 36) = 36.80, p < .001, \eta^2 = .319$, 群: $F(1, 18) = 28.62, p < .01, \eta^2 = .412$, Cz, task: $F(2, 36) = 4.858, p < .05, \eta^2 = .216$, 群: $F(1, 18) = 19.524, p < .001, \eta^2 = .342$)。多重比較検定を行った結果、すべてのtaskにおいてアスリート群が非アスリート群に比べ有意に短い潜時を示した。Pzでは、交互作用が見られ(F $(2, 36) = 6.486, p < .05, \eta^2 = .291$)、2つの要因による主効果も認められた(Pz, task: $F(2, 18) = 4.828, p < .05, \eta^2 = .187$, 群: $F(1, 18) = 36.16, p < .001, \eta^2 = .336$)。単純主効果の検定を行った結果、アスリート群($p < .01$)と非アスリート群($p < .001$)ともに有意に潜時が延長した。

Figure 2 Experimental paradigm

また、すべてのtaskにおいてアスリート群が非アスリート群に比べ有意に短い潜時を示した (task 1 : $p < .05$, task 2 : $p < .01$, task 3 : $p < .001$).

3.3 P3 振幅

Table 1の中段に各電位のアスリート群と非アスリート群の各taskにおけるP3 振幅の平均と標準偏差を示した. 分析の結果, Czのみで交互作用が見られ ($F(2, 36) = 3.97, p < .05, \eta^2 = .185$), 2つの要因による主効果も認められた (task : $F(2, 17) = 4.174, p < .05, \eta^2 = .312$, 群 : $F(1, 18) = 5.185, p < .05, \eta^2 = .256$). 単純主効果の検定を行った結果, アスリート群ではtask 1よりもtask 3において振幅が増幅し ($p < .05$), 非アスリート群では減衰した ($p < .05$). また, task 1において, アスリート群は非アスリート群に比して有意に小さい値を示した ($p < .05$). Fzでは, 交互作用は認められなかったが, taskの主効果が見られた ($F(2, 17) = 3.741, p < .05, \eta^2 = .216$). 単純主効果の検定を行った結果, アスリート群はtask 1よりもtask 3において振幅が増幅した ($p < .05$).

3.4 反応時間

Table 1の下段にアスリート群と非アスリート群の各taskにおける反応時間の平均と標準偏差を示した. 分析の結果, 交互作用が見られ ($F(2, 36) = 5.164, p < .01, \eta^2 = .342$), 2つの要因による主効果も認められた (task : $F(1, 18) = 8.124, p < .01, \eta^2 = .360$, 群 : $F(1, 18) = 12.263, p < .01, \eta^2 = .402$). 単純主効果の検定を行った結果, アスリート群 ($p < .01$) と非アスリート群 ($p < .001$) とともにtask 1からtask 3にかけて有意に反応時間が延長した. また, task 2, task 3においてアスリート群が非アスリート群よりtask 1から有意に短い値を示した (task 2 : $p < .01$, task 3 : $p < .01$).

3.5 TDMS-ST

Figure 4に覚醒度における各群の得点の平均と標準偏差を示した. 分析を行った結果, 交互作用と群間における主効果は認められなかったが (交互作用 : $F(3, 22) = .917, n.s., \eta^2 = .040$, 群 : $F(1, 22) = 2.42, n.s., \eta^2 = .099$), taskによる主効果が認められ ($F(3, 22) = 15.324, p < .01$,

Figure 3 Grand mean ERP waveforms elicited by three tasks

$\eta^2=.411$), 両群ともに課題前 (Pre) からtask 3 終了後にかけて得点が有意に増加した ($p<.01$).

4. 考察

4.1 P3について

本研究では実験参加者に対して, 視覚刺激によるオッドボール課題を行い, 脳生理指標であるERP (P3) を指標とし, 認知情報処理能力の評価を行った. すべての実験参加者, taskにてP3が確認できたことから, 本研究で実施した課題が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.

P3潜時は, 両群共にtask 1からtask 2, 3にかけて有意に延長した. Duncan-Johnson (1981) は, P3潜時について, 刺激評価に要する処理時間を反映し, 刺激の識別が困難な時や難易度の高い課題を要求すると延長することを報告している. このことから, 両群のP3潜時の延長は, taskの進行により難易度が上昇する課題設定による影響と考えられる. また, 秋山ほか (2000) の研究では, アスリート群と非アスリート群の情報処理能力を比較するために, 計算課題を用いた実験を行っており, アスリート群は非アスリート群に比べP3潜時が有意に短かったことから, 長期的な運動トレーニングは刺激の評価時間を短縮させる可能性を示唆している. 本研究で得られた結果においても, 測定したすべての部位とtaskでアスリート群が非アスリート群より有意に短かったことから, 秋山

ほか (2000) の報告を支持する結果となり, 認知情報処理過程における刺激の評価を行う段階で, アスリート群は非アスリート群に比して速い処理を実施できることが示唆された. また, 課題の難易度に関しては, Fz部位において, 非アスリート群はtask 1から2, 3にかけて有意な潜時の延長が確認されたが, アスリート群では, 潜時の延長は見られなかった. これは, 複雑な課題においてアスリートは非アスリートよりもP3潜時が短いという松竹ほか (2016) の結果を支持する結果となり, さらに段階的に課題の難易度を変化させた場合においてもアスリートは素早い反応を継続できることが示唆された.

次にP3振幅は刺激評価に要する注意資源の配分量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). 本研究で得られたデータは, アスリート群のtask 1のみで5 μ Vを下回る結果となったが, それ以外のデータは5-20 μ Vの振幅で観測されたことから, 同定したP3が認知情報処理における刺激評価を反映し, 注意資源を配分していたものと考えられる. P3振幅では, Cz部位のみに交互作用が見られた. task 1での振幅は, アスリート群が非アスリート群に比して有意に小さく, task 2, 3では群間に有意な差は認められなかった. また, アスリート群はtaskが進行するにつれて振幅が増幅する傾向を示した一方で, 非アスリート群はtaskの進行に伴い振幅が減衰し

Table 1 Means and standard deviations of P3 latency, amplitude and reaction times in the three tasks.

		task 1		task 2		task 3		Main effect						Interaction		
		athlete	non-athlete	athlete	non-athlete	athlete	non-athlete	F-value		P-value		effect size(η^2)		F-value	P-value	effect size(η^2)
								task	Group	task	Group	task	Group			
P3 latency (ms)	Fz	253.8±19.4	284.4±12.1 [#]	248.5±20.3	304.2±15.4 ^{***}	274.1±34.8	319.3±21.9 ^{***}	36.8	28.62	$p<.001$	$p<.01$	0.319	0.412	2.55	<i>n.s.</i>	—
	Cz	255.3±19.2	282.4±23.2 [#]	259.2±11.7	286.3±16.6 ^{***}	271.8±24.6 ^{**}	321.7±21.2 ^{***}	4.86	19.52	$p<.05$	$p<.001$	0.216	0.342	3.62	<i>n.s.</i>	—
	Pz	247.6±12.1	274.2±12.9 [#]	268.2±18.7	289.7±24.2 ^{***}	262.7±22.4 ^{**}	312.7±12.8 ^{***}	4.83	36.16	$p<.05$	$p<.01$	0.187	0.336	6.48	$p<.05$	0.29
P3 amplitude (µV)	Fz	4.78±2.55	8.24±4.12	6.69±3.84	8.35±4.87	8.95±2.86 ^{**}	7.48±3.53	4.95	7.95	$p<.05$	<i>n.s.</i>	0.216	—	2.12	<i>n.s.</i>	—
	Cz	4.57±1.69	11.58±2.77 [#]	9.24±2.52	8.35±3.19	7.95±3.09 [*]	6.57±1.71 ^{**}	4.17	5.19	$p<.05$	$p<.05$	0.312	0.256	3.97	$p<.05$	0.185
	Pz	4.76±1.35	9.57±3.85	8.86±1.74	7.69±3.03	9.17±2.15	9.87±2.81	0.62	1.23	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	—	—	1.71	<i>n.s.</i>	—
Reaction time (ms)		241.5±17.2	252.5±15.8	262.4±22.4 [*]	308.1±23.6 ^{***}	284.1±17.7 [*]	334.4±43.1 ^{***}	8.12	12.26	$p<.01$	$p<.01$	0.36	0.402	5.16	$p<.01$	0.36

Values are mean $\pm$ SD.

^{*} $p<.05$, ^{**} $p<.01$, ^{***} $p<.001$, significant difference between task1 and each other task.

[#] $p<.05$, ^{##} $p<.01$, ^{###} $p<.001$, athlete vs non-athlete.

Through two-way ANOVA

た。Fzでは、交互作用は認められなかったが、taskの主効果が見られ、アスリート群はtask 1よりもtask 3において振幅が増幅する結果となった。P3振幅については、弁別が難しい課題になるにつれて減衰すること（White et al., 2010）や、標的刺激と非標的刺激の類似性が高く、選択が困難となる課題において減衰すること（下河内ほか, 1988）が明らかになっている。本研究の課題は、taskの進行に伴い難易度が上昇することから、非アスリート群においては、先行研究を支持する結果となり、課題の難易度に伴って振幅の減衰が確認された。しかし、アスリート群では、先行研究と相反する結果となり、難易度の高い課題で振幅が増幅した。P3振幅は、刺激に対する注意資源の配分量を反映する（入戸野, 2013）ことから、アスリート群は、より難易度が高いtaskに注意を向けていたと考えられる。実験条件としては、両群共に課題開始前に「実験課題はいつ終わるかわかりませんが、速い反応を続けるようにして下さい」と教示しており、taskの終了時間や難易度が上昇することについては明らかにしていない。しかしながら、アスリート群では振幅が増幅し、非アスリート群では減衰したことについて、非アスリート群は、task 1で多くの処理資源を供給したことによって、その後のtask 2, task 3に対して処理資源を供給し続けることが困難となったことが推察される。そして、アスリート群の方が連続する選択的注意反応に加えて、taskの難易度が上昇していく課題に対し

て、注意の処理資源を効率良く供給し、刺激処理を行っていたと考えられる。

4.2 反応時間について

本研究では脳生理指標であるERPと併用して、行動指標である反応時間を測定した。反応時間もP3潜時と同様に、両群ともにtask 1からtask 2, 3にかけて有意に延長した。McCarthy and Donchin (1981) は、刺激の弁別を難しくすることによりP3潜時と反応時間の双方が遅延することを報告している。従って、本研究でも両群の反応時間がtaskの進行により延長したことは、課題設定による影響であり、実験で用いた課題における難易度の設定は適切であったと考えられる。また、アスリート群と非アスリート群を比較すると、task 1では有意な差は認められなかったが、task 2, 3においてアスリート群が有意に短い反応時間を示した。この結果は、アスリート群の反応時間は非アスリート群に比して有意に短いことを報告する秋山ほか(2000)の研究を支持する結果となった。反応時間は、中枢での情報処理過程をすべて経た後に観察される運動行動であることから、P3潜時に影響されることが報告されている（McCarthy and Donchin, 1981）。従って、アスリートは刺激の認知処理が速く、さらに段階的に課題の難易度を変化させた場合においても速い認知処理を継続できるため、反応時間もP3潜時に伴って生じ、短い反応が継続されたことが示唆された。

Figure 4 Transitions of arousal in TDMS-ST

4.3 TDMS-STについて

課題中の心理状態の変化を確認するために、TDMS-STを用いて覚醒度の評価を行った。その結果、Preからtask 3にかけて有意に得点が増加したが、両群に差は見られなかった。また、Preとtask 3間では覚醒度が上昇したが、task 1から2, 3において有意差は見られなかったことから、両群の実験参加者は課題中に覚醒度を保持していたことが考えられ、P3と反応時間の変化は覚醒水準の変動によるものではなかったと考察される。

4.4 本研究の限界点

本研究の限界点に関しては、「指標がP3に限定されていること」や「測定した電極数が3電極のみであったこと」、「taskのランダムイズ」が挙げられる。前者の指標については、アスリートの認知情報処理能力の特性について基礎的な知見を得るために評価する観点を限定したが、「中枢情報処理能力」を評価する上では、N1やP2、N2などの知覚・注意と関連する電位の分析も必要である。また、本研究では、スポーツ、アスリートとERPを観点として基礎的な知見を捉えることを目的とした研究（西平，2001；松竹ほか，2016）を参考として、電極位置を3部位に絞って実験を行った。しかし、振幅の電極間の有意差がみられなかったことから前頭部優位のP3aと頭頂部優位のP3bが重畳した可能性が考えられる。頭皮上分布と振幅の関連性を考慮すると今後は電極数を増やし、電極間の検討及び、頭皮上電位分布図からP3aとP3bの電位分布の違いを検討していくことが望ましい。

次に難易度のランダムイズに関して、本研究では難易度を段階的に上昇させた時の一連の流れによる認知情報処理を捉えるためにtaskのランダムイズを行わなかったが、今後はtaskの難易度のランダムイズを行い、課題の難易度そのものに対する認知処理能力についても検討していく必要がある。また、今後の展望としては、よりスポーツの競技現場に近づけた実験課題の設定が挙げられる。本研究では、アスリートの情報処理能力は速く、課題の難易度を上昇させても速い反応が継続される可能性を示唆する結果が得られたが、今後はアスリートと非アスリートの比較だけではなく、競技力の異なるアスリートを対象に比較をし、よりスポーツの競技現場に近づけた実験課題を設けることでアスリートの情報処理能力のさらなる検討を行い、本研究で得られた結果を支持していくことが重要である。

5. 結論

本研究では、選択的注意・反応課題における

アスリートと非アスリートのERP（P3成分）と反応時間、心理指標による内省の比較を行い、アスリートの認知情報処理能力を「速さ」と「課題の難易度」という側面から評価することを目的とした。本研究で得られたP3潜時と反応時間の結果から、アスリートは非アスリートに比べ、中枢の認知情報処理が速く、さらに難易度を段階的に上昇させた場合でも素早い情報処理と反応が継続されることが示唆された。また、P3振幅の結果では、taskの終了時間や難易度が上昇することについて不明確である中で、アスリート群では振幅が増幅し、非アスリート群では減衰した。このことから、アスリート群は、より難易度が高いtaskに注意を向けていたと考えられる。そして、連続する選択的注意反応に加えて、taskの難易度が上昇していく課題に対して、注意の処理資源を効率良く供給し、刺激処理を行っていたと考えられる。そのため、同じ刺激の処理においてもアスリート群は非アスリート群より少ない処理資源で刺激を処理することができ、難易度が上昇していく課題においても素早い情報処理を継続させることが可能であると考えられる。本研究で得られた結果は、アスリートの認知情報処理能力の特性を示す一つの知見となり、また今後のアスリートの情報処理能力の評価においてERPと反応時間の測定は有効なものであると考えられる。

文 献

- 秋山幸代・西平賀昭・八田有洋・麓 正樹・金田健史・時任真一郎・下田政博（2000）長期的な運動経験が事象関連電位に及ぼす影響。体力科学，49：267-276。
 荒木雅信（2012）運動学習。山崎勝男監修，スポーツ精神生理学。西村書店：東京，pp.131-145。
 Cox, R. H. (1990) Sport psychology-concepts and applications. WM.C.Brown Publishers: Dubuque, 92-94.
 Donchin, E., Kramer, A. E., and Wickens, C. D. (1986) Applications of brain event-related potentials to problems in engineering psychology. In M.G.H. Coles, E. Donchin, and S.W. Porges (Eds.). Psychophysiology: Systems, processes, and applications. New York: Guilford Press, pp.702-718.
 Duncan-Johnson, Connie C. (1981) P300 latency: A new metric of information processing. Psychophysiology, 18:

- 207-215.
- Groves, P. M. and Eason, R. G. (1969) Effects of attention and activation on the visual evoked cortical potential and reaction time. *Psychophysiology*, 5: 394-398.
- 長谷川望・星野公夫 (2002) スポーツ選手のスキルと身体運動のイメージの関係. 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 6: 166-173.
- Hunt, E. (1971) What kind of computer is man? *Cognitive Psychology*, 2: 57-98.
- 石橋基範・吉田倫幸 (2000) 覚醒低下に伴う反応時間と脳波の変動. *人間工学*, 36(5): 229-237.
- 岩木信喜・今塩隼男 (1997) 事象関連電位による認知的葛藤の情報処理過程に関する研究. *心理学研究*, 68: 103-110.
- Jocelyn, F. (2013) Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific Reports*, 3: 1-3.
- Kok, A. (2001) On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38: 557-577.
- Luck, S. J. (2014) Quantifying ERP amplitudes and latencies. In *An introduction to the event-related potential technique* (2nd ed.). The MIT press: Cambridge, p9.
- 正木宏明 (2004) 脳内情報処理と脳波. 増原光彦監修, 動きを生み出すところとからだのしくみ, スポーツの神経科学. あいり出版: 東京, pp.126-140.
- 松竹貴大・實宝希祥・門岡 晋・菅生貴之・浅井 武 (2016) サッカー選手の判断に伴う認知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. *スポーツ心理学研究*, 43(1): 1-13.
- McCarthy, G. and Donchin, E. (1981) A metric for thought: a comparison of p3 latency and reaction time. *Science*, 211: 77-80.
- McLeod, P. (1987) Visual reaction time and high speed ball games. *Perception*, 16: 49-59.
- Mori, S. and Shimada, T. (2009) Psychophysical study of expertise perception of deceptive motion in rugby. *Proceedings of 25th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, 245-250.
- 守谷大樹・入戸野宏 (2011) 気分が注意焦点の範囲に及ぼす影響. *生理心理学と精神生理学*, 29: 41-51.
- Näätänen, R. (1990) The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Science*, 13: 201-288.
- 西平賀昭 (2001) 随意動作習熟過程解析のための事象関連電位早期成分の重要性. *体力科学*, 50: 159-164.
- 入戸野宏 (2005) 心理学におけるERP「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.
- 岡村法宜 (2007) 長時間の計算作業による精神疲労が事象関連電位P300に及ぼす影響. *産業衛生学雑誌*, 49: 203-208.
- 坂入洋右・徳田英次・川原正人・谷本龍男・征矢英昭 (2003) 心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発. *筑波大学体育科学系紀要*, 26: 27-36.
- Schmidt, R. A. (1982) *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human Kinetics Publishers: Illinois, pp.75-139.
- 下河内稔・段石保広・楊井一彦 (1988) P300の基礎. *神経進歩*, 32: 149-162.
- Skinner, B. F. (1961) *The flight from the laboratory. Current trends in psychological theory*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Sutton, S., Braren, M., and Zubin, J. (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150: 1187-1188.
- 田中雅人 (2003) ボールゲームに求められる認知スキル. *愛媛大学教育学部保健体育紀要*, 4: 103-112.
- Weiss, A. D (1965) The locus of reaction time change with set, motivation, and age. *Journal of Gerontology*, 20: 60-64.
- White, L., Stuart, A., and Najem, F. (2010) Mismatch negativity and P300 to behaviorally perceptible and imperceptible temporal contrasts. *Perceptual and Motor Skills*, 110: 1105-1118.

(2017.1.16 受稿, 2017.10.25 受理)