

博士論文

サッカー選手の状況判断時
における情報処理過程に関する研究

平成 30 年度

筑波大学

松竹 貴大

目次

表のタイトル一覧	VI
図のタイトル一覧	VI
用語の説明及び定義	IX
第1章 序論	1
1.1 サッカー選手の情報処理機能	2
1.1.1 状況判断とパフォーマンス	
1.1.2 サッカーの指導に関する状況判断の評価	
1.2 サッカーのプレー中における状況判断	3
1.2.1 状況判断の定義	
1.2.2 サッカーのパス選択場面	
1.3 先行研究の概観	4
1.3.1 スポーツ選手の知覚・認知的側面に関するハードウェアとソフトウェア	
1.3.2 情報処理能力の優劣を検討手段としての選択反応課題	
1.3.3 反応時間 (Reaction Time : RT) による情報処理能力の定量化	
1.3.4 事象関連電位 (event related potential : ERPs) の有用性	
1.3.5 RT 及び EMG-RT と ERPs からみた感覚-運動系の情報処理過程	
1.3.6 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	
1.4 本研究の目的	15
1.5 本論の構成	17
1.6 構成論文	18
第2章 RT と ERPs によるサッカー選手の情報処理過程の評価	19

2.1	目的	20
2.2	方法	24
2.2.1	実験参加者	
2.2.2	倫理面の配慮	
2.2.3	実験課題	
2.2.4	手続き	
2.2.5	脳波記録と分析	
2.2.6	統計処理	
2.3	結果	30
2.3.1	正答率	
2.3.2	反応時間	
2.3.3	P100 潜時	
2.3.4	P100 振幅	
2.3.5	N200 潜時	
2.3.6	N200 振幅	
2.3.7	P300 潜時	
2.3.8	P300 振幅	
3.3.9	RT と P100 潜時の比較	
3.3.10	RT と N200 潜時の比較	
3.3.11	RT と P300 潜時の比較	
2.4	考察	43
2.4.1	反応時間について	
2.4.2	P100 成分について	
2.4.3	N200 成分について	

2.4.4	P300 成分について	
2.4.5	ERPs 潜時と RT の比較について	
2.4.6	本研究の限界点	
2.5	まとめ	49
第3章 サッカー選手のパス判断場面における情報処理過程		51
3.1	目的	52
3.2	方法	54
3.2.1	実験参加者	
3.2.2	倫理面への配慮	
3.2.3	手続き	
3.2.4	サッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題（4vs2 ボールポゼッション）	
3.2.5	記録・データ処理① Electromyography -reaction time: EMG-RT 及び Reaction Time: RT	
3.2.6	記録・データ処理② Event-related potentials: ERPs	
3.2.7	統計処理	
3.3	結果	62
3.3.1	実験参加者の特徴	
3.3.2	EMG-RT と RT の関連性	
3.3.3	EMG-RT 及び RT, 正答率	
3.3.4	Event-related potentials: ERPs (P100)	
3.3.5	Event-related potentials: ERPs (P200)	
3.3.6	Event-related potentials: ERPs (P300)	

3.3.7	EMG-RT と P100 潜時の比較	
3.3.8	EMG-RT と N200 潜時の比較	
3.3.9	EMG-RT と P300 潜時の比較	
3.3.10	RT と P300 潜時の比較	
3.3.11	EMG-RT と ERPs 各成分の関連性	
3.3.12	RT と ERPs 各成分の関連性	
3.3.13	H 群と L 群別による EMG-RT と ERPs 各成分の関連性	
3.3.14	H 群と L 群別による RT と ERPs 各成分の関連性	
3.3.15	競技経験年数との各指標の関連性	
3.3.5	EMG-RT 及び RT と P100, P300 の関連性	
3.4	考察	94
3.4.1	EMG-RT 及び RT, 正答率について	
3.4.2	Event-related potentials: ERPs について	
3.4.3	感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理の早さの比較検討	
3.4.4	感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理における関連性の検討	
3.4.5	競技経験年数と各測定指標の関連性	
3.5	まとめ	102
第4章	総括	104
4.1	結論	105
4.2	まとめ及び指導現場への示唆	107
4.3	今後の課題	109
	引用・参考文献	110
	謝辞	118

この博士論文は、以下の原著論文および学会発表を加筆修正して、さらに未発表の研究結果を加えてまとめたものである。

学術論文

第2章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた。

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—．スポーツ心理学研究 43：1－13.

第3章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた。

松竹貴大，夏原隆之，小井土正亮，鈴木健介，田部井祐介，中山雅雄，浅井武（2018）競技力が高いサッカー選手の状況判断時における脳内情報処理過程．体力科学，67巻1号，107－123.

表のタイトル一覧

第2章 RT と ERPs を指標としたサッカー選手の情報処理の評価

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

第3章 熟練したサッカー選手のパス判断場面における情報処理過程の特性

Table 2. 実験参加者の年齢と競技経験年数

Table 3. Go 刺激と NoGo 刺激における各群の正答率

図のタイトル一覧

第1章

Fig. 1 認知・行動の中枢機構モデル

第2章 RT と ERPs を指標としたサッカー選手の情報処理の評価

Fig. 2 事象関連電位による情報処理過程とパラメータの関係（正木（2004）を参考に作成）

Fig. 3 課題：Choice Reaction Task Level.1（CRT1）と Choice Reaction Task Level 2（CRT2）

Fig. 4 実験プロトコル

Fig. 5 各課題における ERP 波形（総加算平均）

Fig. 6 CRT1 における RT と P100 潜時の比較

Fig. 7 CRT2 における RT と P100 潜時の比較

Fig. 8 CRT1 における RT と N200 潜時の比較

Fig. 9 CRT2 における RT と N200 潜時の比較

Fig. 10 CRT1 における RT と P300 潜時の比較

Fig. 11 CRT2 における RT と P300 潜時の比較

Fig. 12 研究課題①でのデータからみる Expert 群と Novice 群の情報処理過程

第3章 熟練したサッカー選手のパス判断場面における情報処理過程の特性

Fig.13 実験設定

Fig.14 実験プロトコル

Fig.15 4vs2 パス選択課題におけるパス選択のパターン（選択肢）

Fig.16 RT と EMG-RT の関連性

Fig.17 各測定指標の波形図

Fig.18 EMG-RT 及び RT における H 群と L 群の比較

Fig.19 Go 刺激と NoGo 刺激における各群の ERPs 総加算平均

Fig.20 P100 潜時における 3 要因分散分析の結果

Fig.21 P100 振幅における 3 要因分散分析の結果

Fig.22 N200 潜時における 3 要因分散分析の結果

Fig.23 N200 振幅における 3 要因分散分析の結果

Fig.24 P300 潜時における 3 要因分散分析の結果

Fig.25 P300 潜時における 3 要因分散分析の結果

Fig.26 EMG-RT と GoP100 潜時の比較

Fig.27 EMG-RT と NoGoP100 潜時の比較

Fig.28 EMG-RT と GoN200 潜時の比較

Fig.29 EMG-RT と NoGoN200 潜時の比較

Fig.30 EMG-RT と GoP300 潜時の比較

Fig.31 EMG-RT と NoGoP300 潜時の比較

Fig.32 RT と GoP300 潜時の比較

Fig.33 RT と NoGoP300 潜時の比較

Fig.34 EMG-RT と ERPs 潜時の関連性 (散布図)

Fig.35 RT と ERPs 潜時の関連性 (散布図)

Fig.36 感覚・刺激評価処理系指標と運動・反応処理系指標の関連性 (相関係数)

Fig.37 H 群と L 群別による EMG-RT と ERPs 各成分の関連性 (散布図)

Fig.38 H 群と L 群における感覚・刺激評価処理系指標と運動・反応処理系指標の関連性の違い (相関係数)

Fig.39 競技経験年数と ERPs(潜時)

Fig.40 競技経験年数と EMG-RT 及び RT

用語の説明及び定義

本研究において使用される用語の定義を以下に示す。

情報処理過程

ヒトは、生体内外の感覚情報を受容器で捉え、その情報を脳内の処理機構に伝達し、知覚、識別、認知、判断という処理を行うとともに、その結果を体の各器官に伝え、環境や状況に応じた反応を起こすという情報処理を行っている。本研究では、課題を遂行する際に呈示された感覚刺激の受容から、反応として運動を出力するまでの過程を情報処理過程とした。

事象関連電位

ERPs は、一般的に何らかの事象の生起に関連して出現する一過性の脳電位変化である。頭皮上で測定した ERPs は、EEG に比べて電位が小さいため、脳波記録上での観察が難しい。そのため、同じ事象を数十回から数百回繰り返し経験させ、得られた EEG データを事象の開始時点にそろえて加算平均することで、いくつかの振れを持つ ERP 波形である「成分」が得られる。時間分解能が高く、ヒトの高次脳機能を非侵襲的に調べる有効な指標である。

P100

刺激の約 100ms 後に惹起される陽性の電位は極性（陽性：Positive）とピーク潜時（100ms）から P100 と呼ばれている。P100 は、一時視覚野における初期反応であり、刺激に対する注意レベルを反映する。呈示する刺激の条件により網膜から視覚野に至る電気反応をとらえるため、視機能を非侵襲的に評価することが可能で、視覚情報処理の機能評価に利用されている。

P300

刺激呈示後 250～500ms に出現する P300 は、刺激の識別が困難である場合や、難易度が増す場合にその潜時が延長することから、P300 振幅は注意資源の配分量を反映する。また、P300 潜時は、情報処理過程の中でも刺激を評価するまでの過程を反映する成分である。

N200

刺激呈示後約 150～200ms 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。弁別課題時のみに出現する N200 は、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」である。

反応時間（Reaction time: RT）

反応刺激提示から、実際の反応が出現するまでの経過時間。提示刺激の認知から、反応開始までの一連の情報処理に必要とされる時間的な側面の解析に用いられる。

筋電図反応時間（Electromyogram reaction time: EMG-RT）

EMG-RT は、RT を EMG から測定するものであり、刺激から主動筋の筋収縮開始までの潜時（Pre-Motor Time: PMT）と筋活動開始から実際の運動開始までの潜時（Motor Time: MT）に分けられる。PMT は中枢要因を反映しているため、RT の遅れは、主として PMT によるものであり、MT には個体差はない。

第 1 章

序論

第1章 序論

1.1 サッカー選手の情報処理能力

1.1.1 状況判断とパフォーマンス

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思決定を行うといった中枢における一連の情報処理によって実行される。特にサッカーでは、時々刻々と変化する環境の中でゲームにおける目的を達成するために多数の選択肢の中から適切な判断を行い、プレーを遂行することが求められる。このようなサッカー選手の情報処理における知覚・認知的側面は、パフォーマンスに大きく影響を及ぼす重要な機能として位置づけられる (Williams et al . , 1993 ; Williams AM., 2000 ; Savelsbergh GJP et al . , 2002 ; Vaeyens R . , 2007 ; 夏原ら, 2015)。ボールゲームの指導現場で用いられる「状況判断」という言葉は、プレーヤーの知覚・認知的側面、すなわち状況に応じたプレーをもたらすための内的要因に言及するための用語である (中川, 1983)。

現代のサッカーは、選手のフィジカルフィットネスや技術レベルの向上、更にはチーム全体の高度な組織化によって、攻撃と守備が一体化されたスピーディーなゲームが展開されている。そのため、ボール保持者はボールを受けてから次のプレーを実行するまでの時間は限られており、瞬時に状況を把握してプレーを実行することが求められる。すなわち、瞬時に相手や味方の変化に応じた的確な状況判断を実行するための知覚・認知的側面である情報処理能力を向上させることが、現在のサッカー選手の育成では重要なことである。

1.1.2 サッカーの指導現場における状況判断の評価

サッカー選手を指導する際には、指導者は選手を評価することが必要である。選手の評価は、指導法に関する多くの知見とスポーツ科学に関連する知見、更には実践で

の経験を統合して行わなければならない。選手のテクニックやフィジカル、メンタル的な評価は、テクニックに関するスキルテストの発展やスポーツ生理学、スポーツ心理学、バイオメカニクス領域の研究の発展とともに多くの研究がなされ評価方法が確立されてきている。しかしながら、状況判断に関わる知覚・認知的側面に関する評価方法は確立しているとは言えず、この領域における実践現場での適用が可能な学術的研究は決して多いとはいえない。これまでの知覚・認知的側面に関する研究の多くは、心理学・生理学の方法論や運動学習・制御の理論を用いた研究が報告されており、基礎的な知見が蓄積されている。一方で、実践場面で適用される学術的な研究が少ない要因は、サッカーはプレー状況が多次元的事であること、常に変化があることから、知覚・認知的側面の評価方法を確立するうえでの研究対象とすることが困難であると考えられる。

1.2 サッカーのプレー中における状況判断

1.2.1 状況判断の定義

サッカーでの「状況判断」という用語の定義は、明確でなく研究者が共通理解できる術語として確立しているとは必ずしも言えない。中川（1983）は、ボールゲームの文献の中で、状況判断という用語は大きく以下の2つの意味で使われていることを述べている。

- ・プレーする際に状況が如何にあるかを判断すること。
- ・そのような状況把握に加え目下の状況で何をなすべきかを判断すること。

しかしながら、両者に使われている「判断すること」が曖昧な表現であることから、中川（1983）では、判断とは「幾つかの既知の選択肢の一つに対象を割り当てる思考過程、言い換えるなら、既知の反応選択肢間の決定過程」と定義している（Johnson, 1955）。

これらのことから、本論では中川の状況判断の定義を採用して、サッカーでの状況判断は、最も効果的なプレーを既存のプレー選択肢の中から決定することと考え、「ゲームの中で遂行するプレーに関する決定を行うこと」と定義づける。さらに、本研究ではゲームの中で遂行するプレーのなかでも、瞬時（約1秒以内）にプレーの決定を行う場面での状況判断を対象とする。

1.2.2 サッカーのパス選択場面

サッカーのゲーム中で瞬時に状況判断を行うものとして、頻度が多く中核的なプレーと位置づけられるのがパスである。パスは、キック動作の安定やキック前のボールコントロールのスキルが優れていることが求められる。良いパスを出すためには、これらは必要であるが、十分条件ではない。すなわち、良いパスを出すためにはパス選択場面における瞬時的で的確な状況判断も必要である。中山（1988）は、サッカー選手は実際の状況判断の場面において、「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」といった一連の情報処理過程を経ることを報告している。パス選択場面においても、どこにパスを出すのかを探る視覚探索場面があり、数多くの選択肢の中から次のプレーを予測しながらも的確に選択して、パスを実行する一連の処理過程が存在する。つまり、パス選択場面において情報処理を実行する能力はキックやボールコントロールのスキルと同様に重要である。そこで、以下において、サッカー選手の情報処理能力に関する先行研究を概観しておきたい。

1.3 先行研究の概観

1.3.1 スポーツ選手の知覚・認知的側面に関するハードウェアとソフトウェア

先述したように球技などのボールゲームのスポーツ種目では、知覚・認知的側面である情報処理能力は各種目で必要なスキルを構成する重要な能力であり、試合（ゲー

ム)における成果(パフォーマンス)を規定する重要な要因である。そのため情報処理能力の優劣が何に起因するのかについて、これまで2つの方向からのアプローチによって研究がなされてきた。その一つは情報処理を行うための知識構造に着目した研究である。Williams (2000)は知覚認知的な側面はその競技特有の知識に起因することを指摘しており、こうした知識は視覚情報の処理や、それに基づく運動遂行における中核的役割を果たしていると考えられている(Gray, 2002)。こうした知識構造に対してアプローチした研究は、特定の問題解決場面を提示して選手に対して次に何が起こるかを予測させ、次の行動を意思決定させることによって知識に関する評価を行う。その際に言語報告を用いてパフォーマンス遂行中に抽出した情報の意味や文脈について検討を行う(Afonso et al., 2012)。サッカーにおいて選手が保有する知識を定量的かつ体系的に検討した研究として、夏原(2012)は競技レベルの異なるサッカー選手を対象に、攻撃プレー場面における思考内容に関する言語報告を分析し、ゲーム状況やプレー行為などの宣言的知識を検討している。結果、競技レベルの高い選手は、競技レベルの低い選手と比較して、味方や相手の位置や動きといった、プレー状況の理解に関することを詳細かつ豊富に発話しており、その状況と連結したプレー行為についても、多岐にわたって具体的に発話することを報告している。

情報処理能力の優劣を説明するための、もう一つのアプローチは一般能力特性(General ability trait)の優劣を検討した研究である。一般能力特性として選択的注視能力や視力、視野などの視覚的一般能力特性や反応時間(ReactionTime: RT)を取り上げて検討がなされてきた。その中でもサッカー選手を対象としたWilliams (2000)は、サッカー選手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ことを報告した。この点については、中川(1985)でも同様の報告がなされている。つまり、一般

的能力特性の中でも刺激の弁別などに関わる能力が情報処理能力の優劣を決定づける要因となる。Williams (2004) は情報処理能力の優劣に影響を与えるヒトの「ソフトウェア」のことを「知覚・認知スキル (perceptual-cognitive skills)」と提唱している。この知覚・認知スキルは、視覚探索活動、パターン認知、状況予測から構成されており、適切な反応を選択し実行することができるように環境情報を既存の知識と結合するために同定し獲得する能力と定義されている (Marteniuk, 1976)。熟練競技者は、競技特有のプレー状況を的確に認知することができ、また眼前にある多くの視覚情報から有益な情報を効率よく抽出し、その視覚手がかりを用いてその後の状況を予測することができることが報告されている (夏原, 2018)。

1.3.2 情報処理能力の優劣を検討手段としての選択反応課題

先述したように、情報処理能力の優劣には一般能力特性としての知覚認知スキルが影響を及ぼしている。スポーツ選手の知覚・認知スキルに着目した研究の多くは、情報処理的アプローチとして RT を指標にした選択反応課題を用いる場合が多い。選択反応課題は、客観的・行動論的な立場から情報処理過程を検討することを可能とし、感覚刺激の呈示から運動出力までの一連の情報処理過程を評価することができる。特に情報処理過程の評価には RT が用いられることが多く、これまで数多くの研究が報告されている。また、この選択反応課題は Go/NoGo 課題とも呼ばれ、認知心理学の領域では実行機能の評価にも用いられる。実行機能は、行動の抑制、切り替え、更新の 3 要素に分類され、先を見通して状況の変化に臨機応変に対応しながら柔軟に行動する能力と位置づけられている (Naomi, 2008)。Go/NoGo 課題の主な特徴は、刺激の呈示から反応の出力までのプロセスを示すことを可能にする課題であり、更には行動を抑制する際の「反応しない反応: 反応抑制」の処理過程を抽出することも可能とする。その点、サッカーのパス選択場面などで散見される「パスを出すのをやめる」といっ

た行動・反応の抑制に関する情報処理過程も示すことが可能であると考えられる。

1.3.3 反応時間（Reaction Time：RT）による情報処理能力の定量化

Go/NoGo 課題では、RT を測定指標に用いる。RT という用語は、873 年にウィーンの生理学者 Exner が初めて使用したと言われている。RT とは刺激が提示されてから反応が生起するまでの時間を意味しており、脳機能の指標の一つとして 19 世紀から研究が行われてきた。RT が情報処理過程の指標として用いられてきた理由には、行動が直接観察できるという客観性に優れた点にある。最も早い RT は、1 つの刺激に対して 1 つの反応をする場合であり、これを単純反応時間と呼ぶが、反応を行う刺激に先立ち、予告する刺激が呈示されるとさらに RT は短縮する（Sanders, 1965）。これに対し、いくつもの刺激に対してそれぞれに対応した反応を選ばせるという課題（選択反応課題）での RT は、選択反応時間と呼ばれ、反応の選択肢が多くなるほど時間が延長することが知られている（Hyman, 1953）。

また、アスリートについて 1951 年に Cureton は全身 RT が非競技者に比べ競技者で早いことを報告している。また、鶴岡ほか（1965）は、球技種目の競技者と非競技者に選択反応課題を行わせ、競技者は非競技者よりも RT が短いことから、運動・反応処理の能力が長けていることが報告されている。サッカー選手の RT に関しては、Ando et al（2001）や Montes-Mico et al.（2000）は、サッカー選手と非サッカー選手の視覚刺激に対する反応課題において、サッカー選手は非サッカー選手と比較して、刺激呈示後の RT が有意に短いことを報告している。また、広瀬ら（2002）は、成長期のサッカー選手を対象にして選択反応課題を実施した際、暦年齢と骨年齢の成長に伴って、RT が短縮することを報告している。

RT に加えて、情報処理過程の指標に刺激の入力から筋電図出現までの時間を測定する筋電図反応時間（electromyographic reactiontime：EMG-RT）も用いられる。EMG

—RT は、RT を EMG から測定するものであり、刺激から主動筋の筋収縮開始までの潜時 (Pre-Motor Time: PMT) と筋活動開始から実際の運動開始までの潜時 (Motor Time: MT) に分けられる。PMT は中枢要因を反映しているため、RT の遅れは、主として PMT によるものであり、MT には個体差がないことが聴覚刺激に対する前腕の運動を行う条件下での実験で報告されている。このように EMG-RT の利点は、筋活動の開始から実際の運動開始までの時間 (motor time : MT) を除いて検討できる分だけ、より中枢性の要因を評価できることである。猪飼ほか (1961) は、神経系・筋肉系の発達を促すトレーニングを行っているスポーツ競技者は、一般人に比べて脳神経系の発達が進んでいるため、EMG-RT が短いことを報告しており、EMG-RT は、脳神経系の発達程度を推測する間接的手段として応用することができる。しかしながら、RT も EMG-RT もあくまで最終的に出力された結果であり、ヒトの脳内で進行している情報処理過程について推測するに過ぎない。

1.3.4 事象関連電位 (event related potential : ERPs) の有用性

Go/NoGo 課題で RT を用いた先行研究によって、サッカー熟練者の情報処理過程に関する見解が示されている一方で、RT の行動指標としての限界点も指摘される。RT は刺激呈示から反応出力までの経過時間であるため、刺激の入力を処理する情報処理過程に加えて、出力されるまでの情報処理過程の時間も含まれている。そのため、意思決定に関連した情報処理過程を分解して示すことができない。これらを補完する手法として、生理心理学の領域では事象関連電位 (event related potential : ERPs) が良く知られている。ERPs は、その名の通り「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」である(入戸野, 2005)。言い換えれば、ERP は感覚刺激や運動といった特定の事象に随伴して一過性に生じる脳の活動である。数十回の脳波データを、特定の事象の開始時点に揃えて、時間ポイント毎に加算平均することにより、その事

象に関連した脳電位を抽出するものである。背景脳波が事象とは無関係に生じると仮定すると、加算平均することで背景脳波は相殺され、事象に対して一定の時間関係を持った ERP の波形が得られる。ERP では加算平均し、その得られた平均波形から種々の「成分」を抽出する。ERPs 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。ERPs を情報処理過程の指標として用いる最大の利点は、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時的に分析できるということにある。ERPs 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、行動指標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、ERPs 成分を利用することにより、RT 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を可能にする。特に P100, N200, P300 成分といった成分は認知に関わる視覚情報処理、刺激の分類や評価を反映する為、RT では明らかにできなかった、判断に伴う中枢の情報処理過程を詳細に検討する場合には極めて有効である。

刺激の約 100ms 後に惹起される陽性の電位は極性（陽性：Positive）とピーク潜時（100ms）から P100 成分と呼ばれている。P100 成分は、一時視覚野における初期反応であり、刺激に対する注意レベルを反映する（Tobimatsu S and Celesia GG, 2006）。P100 は、ディスプレイ等により視覚へ刺激を与えた時に、大脳皮質視覚野に生じる電気反応であり、呈示する刺激の条件により網膜から視覚野に至る電気反応をとらえるため、視機能を非侵襲的に評価することが可能で、視覚情報処理の機能評価に利用されている（Tobimatsu S and Celesia GG, 2006；後藤ら, 2012）。アスリートの P100 成分に関して、Zwierko et al. (2010) は、熟練バレーボール選手と非アスリートを対象に、視覚刺激による運動反応課題中の視覚誘発電位（visually evoked potentials: VEPs）の計測を行い、熟練バレーボール選手は、非アスリートと比較して VEPs の P100 潜時が短いことから、視覚経路における神経伝達の速度が早いことを報告している。ま

た、Sanchez et al. (2016) では、武道の熟練者と初心者を対象に、視覚刺激による選択反応課題を実施して、熟練者は、準熟練者と比較して P100 振幅が大きいことが報告されている。

N200 は、Näätänen and Gaillard (1983) において、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」であると報告している。本研究では N2b は弁別課題時のみに出現するため、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 ; 西平ら, 2000)。

P300 は、Sutton et al. (1965) によって、刺激の不確かさに関する電位として初めて報告された。P300 は刺激の識別が困難である場合や難易度が増す場合にその潜時が延

長すること (Goodin DS et al.,1983), また刺激が実験参加者にとって意味を持つ場合や被験者の注意・集中度が高い場合はその振幅が増加すること (Campbell KB et al.,1979 ; McCarthy Gand Donchin E, 1981) ,また P300 振幅は注意資源の配分量を反映することが報告されている (Squires KC et al., 1975 ; McCarthy G et al.,1989). アスリートの P300 に関しては秋山ら (2000) は, 長期的な運動の経験によって P300 潜時や EMG-RT が, 短縮することを報告している. また, オープンスキル種目のアスリートは, 非アスリートやクローズドスキル種目のアスリートと比較して, P300 潜時が短く, P300 振幅が大きいことが報告されている (Rossi B et al.,1992; Fontani G et al.,1999). 更に, アスリートやオープンスキル種目といった一定の枠から, 各競技種目における熟練者の情報処理過程のメカニズムの解明に焦点が当てられている. Jin et al (2011) は, バドミントン選手と非バドミントン選手を対象に, プレー中の画像を用いた予測判断課題を実施して, バドミントン選手が非バドミントン選手と比較して P300 振幅値が大きいことを報告している. その他にも, P300 において, 様々な競技の熟練者は, 非熟練者や非アスリートと比較して, より短い潜時と大きな振幅値を示すことが報告されている (Hung TM et al.,2004 ; Taliep MS et al., 2008 ; Hack J et al.,2009 ; Yamashiro K et al.,2015). これまで様々な競技種目で P300 用いた研究が報告されている一方で, サッカー選手を対象に ERPs を用いた報告は数少ない. その中でも, 研究者間で必ずしも統一した P300 に関する見解は得られておらず, Andelinović et al. (2015) は, 16 歳のサッカー選手と非サッカー選手にオドール課題を実施した際の P300 において, サッカー選手が非サッカー選手よりも潜時が長いこと, 非標的刺激時の振幅が小さいことを報告している. 一方, Iwadate et al. (2005) は, 体性感覚の刺激に対する選択反応課題を実施した際, 大学生サッカー選手は非アスリートよりも P300 潜時が有意に短く, 長期的なトレーニングが体性感覚の刺激評価の早さに影響を与えることを報告している. このような, サッカー選手における P300 に関する見解については, 課題

設定や比較対象が影響していることが考えられる。

1.3.5 RT 及び EMG-RT と ERPs からみた感覚-運動系の情報処理過程

ヒトの運動は、生体内外の感覚情報を受容器で捉え、その情報を脳内の処理機構に伝達し、知覚、識別、認知、判断という処理を行うとともに、その結果を身体の各器官に伝え、環境や状況に応じた反応を起こすという処理の基に成り立っている。本研究では、このような感覚刺激の受容から運動の出力といった脳内で行われる一連の処理過程を感覚-運動系の情報処理過程とする。感覚-運動系の情報処理は、斎藤ほか（1985）が提唱した、「認知・行動の中枢機構モデル」では、人間が随意運動をする際、課題を遂行する為にならかの刺激に対して注意を向けた時、「それが何であるのか」の評価を行う感覚・刺激処理系と、「何をすべきか」の反応を行う運動・反応処理系の両者が並列して進行している。更に、それらの2つの系を制御・統制する役割として、上位に組織制御系が存在しており、3つの機能はそれぞれ神経基盤を持ち、相互に関連しながらも独立して働くと仮定されている（Fig.1）。RTやEMG-RTは、認知・行動の中枢機構モデルにおける運動・反応処理系の指標として行動の出力結果を定量化することができる。

また、ERPsにおいては、中枢での刺激評価を行う感覚・刺激処理系を反映することができることから、知覚と運動の情報処理過程、特に刺激弁別過程の関係を調査する研究において注目を集めている。その点、RTやEMG-RTとERPsを併用することによって、感覚-運動系の情報処理過程をより多角的に検討することが可能となる。秋山ほか（2000）では、感覚-運動系の情報処理過程の検討にEMG-RTとERPsを併用して、運動経験が情報処理過程に与える影響の検討を行った。結果、長期的な運動経験を有するアスリートは、習慣的に運動を行っていない一般成人と比較して、P300潜時は両者で差はないが、EMG-RTではアスリートが一般成人より短縮することか

ら，長期的な運動経験は感覚・刺激処理系よりも運動・反応処理系に影響を及ぼすことを報告している．このように時間分解能に優れた指標を併用することで，感覚・刺激処理系や運動・反応処理系といった情報処理過程を分解して検討することができる．

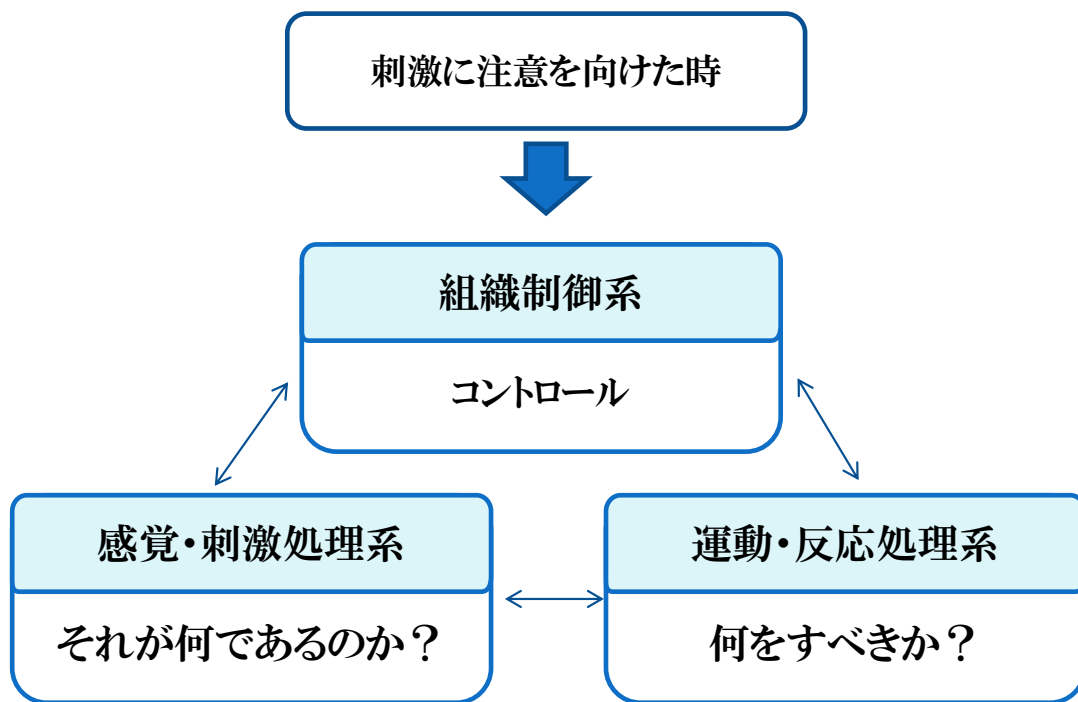


Fig .1 認知・行動の中枢機構モデル (斎藤ら, 1985 ; 音成, 1986)

1.3.6 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

サッカー選手の判断に伴う情報処理過程の研究は、一般能力特性の検討として RT や ERPs を用いて数々の知見が報告されているが、実際の指導現場への応用へと繋げるためには、不十分な点も存在する。これまでの研究では、情報処理過程の検討として、視覚刺激による単純な反応課題や文字や記号を標的刺激とした選択反応課題を採用しており、いずれもサッカー選手が実際のプレー中に行う複雑な選択状況とは乖離した課題であると考えられる。

この課題設定に関して、Ericsson and 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、実験室で実際のプレー状況を模擬したスポーツスキルのパフォーマンスの検討を行い、その後、フィールドにて実際のプレーにおけるパフォーマンスの検討を実施していくことを推奨している。この点に関しては、知覚と運動の連結度合いの異なる 4 つの反応状況下におけるクリケット打者の予測正確性の検討を行い、より実際の運動環境に近い状況での反応において、クリケット熟練者と未熟練者の予測正確性の差異が大きくなることを報告している。つまり、この報告からも熟練者の知覚認知スキルを本質的に捉えるためには、実環境でのプレー動作に近い課題を用いることが重要であると考えられる。

したがって、サッカー熟練者の情報処理過程の特性を本質的に捉えるためには、実験室における検討においても、実際のプレー状況を想定した、より実戦に近い課題を用いることが重要であると考えられる。

1.4 本研究の目的

サッカー選手にとって、的確な状況判断を実行するための情報処理能力はパフォーマンスに影響を及ぼす重要な能力である。しかしながら、サッカーの指導現場では、その状況判断を支える知覚・認知的側面を評価する方法は確立されていないのが現状である。一方で情報処理能力に関する先行研究では、一般的能力特性である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、刺激の認知や弁別や運動様式決定といった中枢の情報処理に代表される「ソフトウェア」は、パフォーマンスの優劣に影響を与えることがこれまで報告されてきた。この「ソフトウェア」はパターン認知、視覚探索活動、状況予測から構成される「知覚・認知スキル」として定義づけられ、熟練者の知覚認知スキルの優位性がこれまで数多く報告されている。また、サッカー選手の知覚・認知スキルにおける情報処理の早さ（スピード）に着目した研究では、選択反応課題における RT を指標に用いてサッカー選手は非サッカー選手と比較して視覚刺激呈示後の RT が有意に短いことから情報処理能力が高いことが報告されている。しかしながら、RT は刺激呈示から反応出力までの経過時間であるため、意思決定に関連した情報処理を分解して示すことはできない。その RT の指標としての限界点を補完する方法として生理心理学の領域では ERPs がよく用いられている。ERPs は、各成分（P100, N200, P300）を利用することにより、RT では明らかにできなかった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検討することを可能にする。特に P100, N200, P300 成分といった成分は、認知に関わる視覚情報処理、刺激の分類や評価を反映する為、刺激弁別課題での判断に伴う中枢の情報処理過程を詳細に検討する場合には極めて有効である。更には、Go/NoGo 課題における行動を抑制する際の「反応しない反応：反応抑制」の処理過程を抽出することも可能とする。その点、サッカーのパス選択場面などで散見される「パスを出すのをやめる」、「プレーを変更する」といった行動・反応抑制の情報処理過程

も示すことが可能である。

しかし、この RT と ERPs を用いた学術的な研究知見は増えてきているが、サッカー選手を対象とした研究は決して多くなく、まだ多くの研究の蓄積が必要である。さらに、サッカー選手は一般能力特性としての知覚・認知スキルが非アスリートと比較して優位性があることがこれまで報告されてきたが、この点を RT と ERPs を用いることによって、さらに時間的に分解した情報処理に関する能力特性を検討することができる。そのため、得られた知見はサッカー選手の情報処理能力を向上させるためのサッカー指導現場への示唆につながると考えられる。そこで、本研究では、以下の 2 つの研究課題を設定して検討を行った。

1. サッカー熟練者と非熟練者の情報処理過程を取り上げて、視覚刺激による単純な選択反応課題と複雑な選択反応課題における RT と ERPs の計測を行い、両者の情報処理過程にどのような差異があるのかを明らかにして、サッカー選手の情報処理能力を検討する手段としての RT と ERPs の有用性について検討する。
2. サッカー選手のパス選択場面における状況判断に着目して、競技水準の異なる大学生サッカー選手の視覚刺激の受容から反応の出力（反応抑制も含む）までの情報処理過程にどのような差異があるのかを明らかにして、サッカー熟練者の情報処理能力の特性について検討する。

本研究では、これらの結果から、サッカー熟練者のパス選択場面での情報処理に関する実証的なデータを分析して、情報処理能力を向上させるための知見を得ることを目的とした。

1.5 本論の構成

第1章では、サッカー選手の情報処理能力に関する研究を行うための先行研究を概観した。これまでの先行研究では情報処理能力の優劣が何に起因するのかについて、これまで2つの方向からのアプローチによって研究がなされてきており、知識構造を検討した研究と一般能力特性を検討した研究がある。本論では、後者の一般能力特性に着目して、一般能力における刺激の認知や弁別、運動様式決定といったヒトの「ソフトウェア」に焦点をあてた。そこで、ヒトの「ソフトウェア」である「知覚・認知スキル」の中でも情報処理の早さ（スピード）に関する研究をさらに概観した。スポーツ選手の情報処理の早さにアプローチする際には、RTを指標にした選択反応課題が用いられていること、更にはRTの指標としての限界点があることから、それを補完する手段としてERPsが有用である可能性があることを示した。しかしながら、RTとERPsを用いた学術的な研究知見は増えてきているが、サッカー選手を対象とした研究は決して多くないため、RTとERPsを用いることによって、サッカー選手の情報処理過程をさらに時間的に分解した能力特性を検討することができると考えた。そこで、本論ではサッカー選手の情報処理能力を向上させるための知見を指導現場へ提言することを目的として、以下第2章と第3章における2つの研究課題について検討を行った。

第2章では、記号や文字で構成された一般的な選択反応課題でのサッカー熟練者（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）と非熟練者（サッカー競技経験のない大学生・大学院生8名）におけるRTとERPsの計測を行い、両者の情報処理過程にどのような差異があるのかを明らかにした。その際にRTとERPsの有用性についても検討した。

第3章では、サッカー選手のパス選択場面における状況判断に着目して、サッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題での競技力が高いサッカー選手と低い

選手の ERPs (P100, P300) と EMG-RT 及び RT の比較検討を行った。両者の情報処理過程の差異から、競技力が高いサッカー選手の情報処理能力の特性について検討した。

第 4 章は総括とした。本研究で得られた知見から、サッカー選手の情報処理能力を向上させるためのコーチング法に関する重要な点について述べた。

1.6 構成論文

第 2 章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた。

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— . スポーツ心理学研究, 43 卷 1 号, 1-13.

第 3 章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた。

松竹貴大, 夏原隆之, 小井土正亮, 鈴木健介, 田部井祐介, 中山雅雄, 浅井武 (2018) 競技力が高いサッカー選手の状況判断時における脳内情報処理過程. 体力科学, 67 卷 1 号, 107-123.

第 2 章

サッカー選手の情報処理過程を
測定する指標としての RT と ERPs
の有用性の検討

2.1 目的

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によって実行される。この中枢での情報処理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、スポーツ場面での試合での成果（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）。

Weiss（1965）はRT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用性を示唆し、RT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、RT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RT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、広瀬ほか（2002）や三好ほか（2005）では、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・下肢用のステップ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。三好ほか（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、広瀬ほか（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RT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情報処理能力に関する研究は、主にRTを指標にした報告がされてきたが、RTは刺激呈示から反応出力までの経過時間であるため、意思決定に関連する情報処理過程に加えて出力されるまでの情報処理の時間も含まれている。そのため、意思決定に関連した情報処理を分解して示すことができない。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 : ERPs）や、脳磁図、PETなどが知られているが、その中でも情報処理過程を詳細に示すことができる指標としては、ERPsがよく用いられる。

ERPs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。近年ではERPs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おり、Iwadate et al.（2005）では、サッカー選手と非競技者を対象として体性感覚刺激によるERPsを用いて、サッカー選手は非競技者と比較して、P300潜時が短いことを報告している。同様に、佐久間・内山（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、選択反応課題を実施して、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。このようにスポーツ選手の情報処理の検討にERPの利点を用いた学術的な研究は進められてきている。

本論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ERPsの利点を活用する意義は十分にある（Fig.2）。

そこで本章では、サッカー熟練者と非熟練者を対象にして、記号や文字で構成された難易度の異なる選択反応課題でのRTとERPs（P100成分、N200成分、P300成分）の計測を行い、両者の情報処理過程の差異を明らかにすることを目的とした。サッカーの種目における能力が両極端に位置する者を研究の対象とすることで、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こと、更に情報処理能力を検討する手段としてのRTとERPsの有用性について検討する。

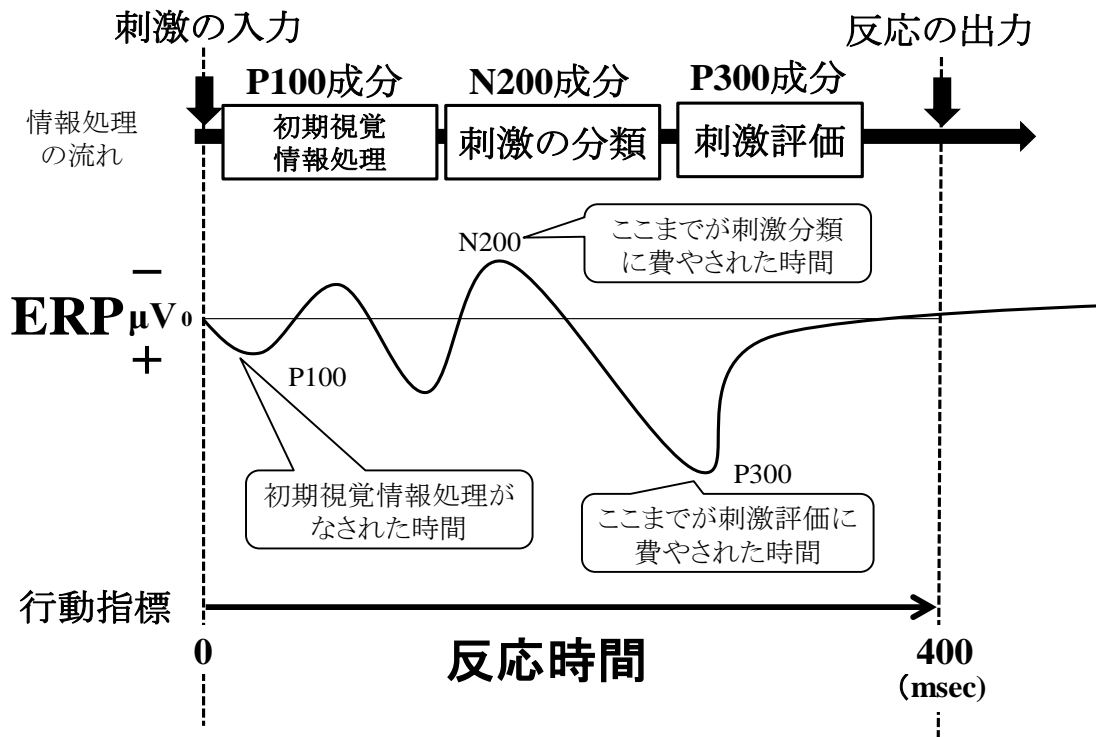


Fig.2 事象関連電位による情報処理過程とパラメータの関係

(正木 (2004) を参考に作成)

2.2 方法

2.2.1 実験参加者

Expert 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，競技レベル：全日本選手権等の出場経験は有していない。）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。

2.2.2 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。

2.2.3 実験課題

本研究ではサッカー選手の情報処理過程の評価を行う為，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，広瀬（2002）において選択反応時間の測定に用いている TDSを参考にして多数の選択肢の中から適切な選択するという実験課題を作成した。

(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選択反応課題を用いた (Fig.3) . 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 (1366×768 px) 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選択反応課題を用いた (Fig 3) . 視覚刺激は、画面 (1366×768 px) を 4 つのエリアに分割した、1 エリア (683×384 px) 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。

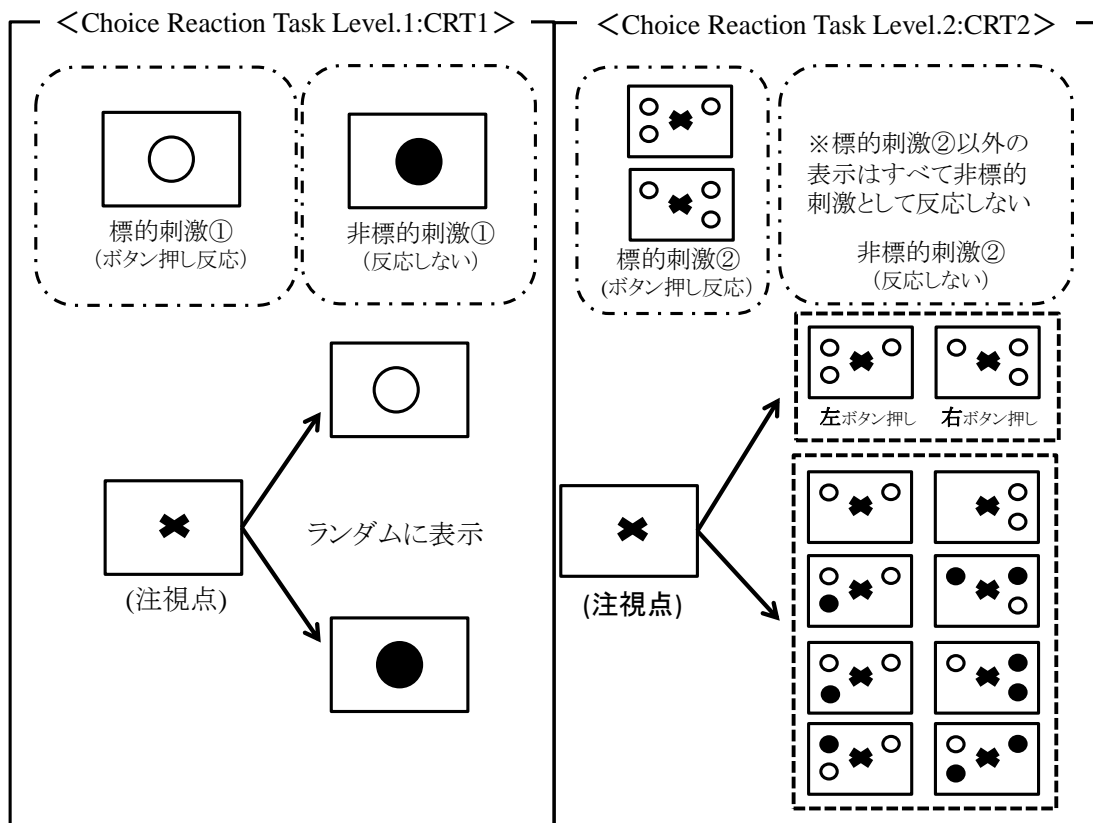


Fig.3 課題:Choice Reaction Task Level.1 (CRT1) と Choice Reaction Task Level 2 (CRT2)

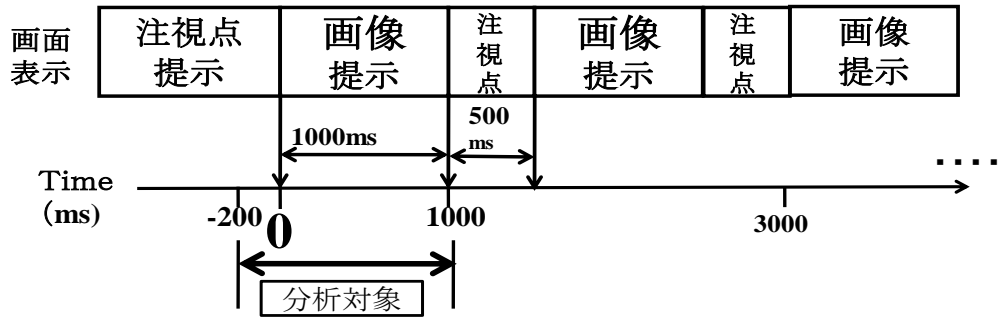
(3) 教示内容について

課題中は、脳波の測定を行うので視覚探索による眼球運動の分散（サッケード）を防ぐために画面（1366×768 px）中心に注視点（×）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（測定で得られるデータに混在する夾雑物や雑音）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（×）の表示のタイミングで行う」ことを教示した。

2.2.4 手続き

視覚刺激呈示前に注視点（×）を 500msec 提示した後、視覚刺激を 1000msec 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、標的刺激: 非標的刺激が 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.4)。

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。



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

Fig. 4 実験プロトコル

2.2.5 脳波記録と分析

脳波の記録は多用途脳波計 SYNAX2100 (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 3.0sec とし、電気抵抗はすべて 5k Ω 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 (electroroculogram: 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 100 μ V 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 150msec-300ms 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 100msec 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。

2.2.6 統計処理

反応時間, ERP (P100 成分, 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。群間および課題間における比較検討を行うため、群を実験参加者間要因, 課題を実験参加者内要因として、2 要因混合計画による群 (Expert, Novice) \times 課題 (CRT1, CRT2) の繰り返し測度, 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。また、感覚・刺激処理系と運動反応処理系の指標について時系列における比較検討を行うため群 (Expert, Novice) \times 成分 (RT, ERPs の

各潜時) の繰り返し測度, 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。

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。

2.3 結果

2.3.1 正答率

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

2.3.2 反応時間

Table 1 に 2 つの課題においての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, ($F(1,14) = 17.674, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.58$), 単純主効果の検定を行った結果, Expert 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 ($p = 0.000$), ($p = 0.000$)。また, CRT2 では Expert 群が Novice 群より有意に短い反応時間を示した ($p = 0.013$)。

2.3.3 P100 潜時

誘発された潜時と極性から P100(刺激呈示後 0–150msec 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 P100 成分が確認された。Fig.5 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 Expert 群と Novice 群の課題 (CRT1,CRT2) における P100 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ず ($F(1,14) = 0.48, n.s$)，課題間の主効果が認められ ($F(1,14) = 17.24, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.57$)，CRT1 が CRT2 よりも有意に短い潜時であった．群間による主効果は認められなかった ($F(1,14) = 0.05, n.s$)．

C3 では交互作用が認められず ($F(1,14) = 0.26, n.s$)，課題間の主効果が認められ ($F(1,14) = 9.15, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.43$)，CRT1 が CRT2 よりも有意に短い潜時であった．群間による主効果は認められなかった ($F(1,14) = 0.02, n.s$)．

C4 では交互作用が認められず ($F(1,14) = 0.04, n.s$)，課題間の主効果が認められ ($F(1,14) = 5.90, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.31$)，CRT1 が CRT2 よりも有意に短い潜時であった．群間による主効果は認められなかった ($F(1,14) = 0.02, n.s$)．

2.3.4 P100 振幅

Table 1 に各部位 (Cz, C3, C4) の Expert 群と Novice 群の課題 (CRT1,CRT2) における P100 振幅の分散分析の結果を示した．Cz では，交互作用が認められず ($F(1,14) = 1.42, n.s$)，課題の主効果 ($F(1,14) = 0.22, n.s$) 及び群間の主効果 ($F(1,14) = 0.32, n.s$) も認められなかった．

C3 では，交互作用が認められず ($F(1,14) = 0.57, n.s$)，課題の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 ($F(1,14) = 3.72, p = 0.07, \eta_p^2 = 0.23$)，CRT2 が CRT1 よりも振幅値が大きい傾向であった．また，群間の主効果は認められなかった ($F(1,14) = 2.96, n.s$)．

C4 では，交互作用が認められず ($F(1,14) = 0.28, n.s$)，課題の主効果 ($F(1,14) = 0.43, n.s$) 及び群間の主効果 ($F(1,14) = 1.01, n.s$) も認められなかった．

2.3.5 N200 潜時

誘発された潜時と極性から N200(刺激呈示後 180-300msec に生じる最大陰性電位)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. また Table 1 に各部位 (Cz, C3, C4) の Expert 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, ($F(1,14) = 7.948, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.23$), 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 ($p = 0.003$). また, CRT2 の N200 潜時では Expert 群が Novice 群より有意に短かった. ($p = 0.023$).

C3 は交互作用が認められ, ($F(1,14) = 5.382, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.22$), 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 ($p = 0.004$). また, CRT2 の N200 潜時では Expert 群が Novice 群より有意に短かった ($p = 0.014$).

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 ($F(1,14) = 4.39, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.25$).

2.3.6 N200 振幅

Table 1 に各部位 (Cz, C3, C4) の Expert 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 ($F(1,14) = 0.439, n.s$), 課題間 ($F(1,14) = 2.033, n.s$) と群間 ($F(1,14) = 1.127, n.s$) による主効果も認められなかった.

2.3.7 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200-500msec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.5参照）。また、Table 1に各部位の（Cz, C3, C4）Expert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、 $(F(1,14)=3.924, p=0.069, \eta_p^2=0.232)$ 、単純主効果の検定を行った結果、Expert群（ $p=0.012$ ）とNovice群（ $p=0.000$ ）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Expert群がNovice群より有意に短かった（ $p=0.041$ ）。

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、 $(F(1,14)=4.144, p=0.063, \eta_p^2=0.242)$ 、単純主効果の検定を行った結果、Expert群（ $p=0.031$ ）とNovice群（ $p=0.000$ ）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Expert群がNovice群より有意に短かった（ $p=0.050$ ）。

C4では交互作用は有意であり $(F(1,14)=8.128, p<0.05, \eta_p^2=0.385)$ 、単純主効果の検定を行った結果、Expert群（ $p=0.021$ ）とNovice群（ $p=0.000$ ）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Expert群がNovice群より有意に短かった（ $p=0.016$ ）。

3.3.8 P300 振幅

Table 1に各部位（Cz, C3, C4）のExpert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。

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

	CRT1		CRT2		Main effect				Interaction					
	Expert	Novice	Expert	Novice	F-Values		P-Values		η_p^2					
					Task	Group	Task	Group	Task	Group	F-Values	P-Values	η_p^2	
Reaction time(ms)	281±64.53	330±47.31	309±40.83 ^{***}	417±46.62 ^{##}	125.56	4.29	$p<0.01$	$p<0.05$	0.91	17.67	$p<0.001$	0.58		
P100 Latency(ms)	Cz	85±26.39	90±13.39	125±40.02	118±18.78	17.24	0.01	$p<0.01$	n.s.	0.57	0.48	n.s.		
	C3	90±33.69	93±19.22	128±44.12	120±19.19	9.15	0.02	$p<0.05$	n.s.	0.43	0.26	n.s.		
P100 Amplitude(μ V)	C4	97±17.92	89±15.04	123±47.38	114±25.50	5.9	0.56	$p<0.05$	n.s.	0.31	0.01	n.s.		
	Cz	-0.57±3.10	-0.86±1.05	-1.11±1.38	0.37±3.51	0.22	0.32	n.s.	n.s.	1.42	1.42	n.s.		
P100 Latency(μ V)	C3	-1.83±2.71	-0.80±0.92	-1.17±1.49	0.70±1.99	3.72	2.96	$p=0.07$	n.s.	0.23	0.57	n.s.		
	C4	-1.07±3.54	-0.49±0.79	-0.98±2.02	0.38±1.94	0.43	1.01	n.s.	n.s.	0.28	0.28	n.s.		
N200 Latency(ms)	Cz	198±42.86	234±42.67	202±43.42 [*]	257±37.76 [#]	14.49	4.57	$p<0.05$	$p<0.05$	0.39	0.26	7.95	$p<0.05$	0.23
	C3	201±44.14	236±39.78	206±43.01 [*]	262±33.03 [#]	10.08	5.14	$p<0.05$	$p<0.05$	0.37	0.28	5.38	$p<0.05$	0.22
N200 Amplitude(μ V)	C4	206±45.41	240±30.27	208±41.10	256±40.29	3.09	4.39	n.s.	n.s.	0.13	0.25	2.03	n.s.	
	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	0.44	n.s.		
P300 Latency(msec)	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	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	1.13	n.s.		
P300 Amplitude(μ V)	Cz	339±27.42	338±23.12	394±44.70 [#]	444±51.96 ^{##}	38.92	2.46	$p<0.001$	n.s.	0.75	3.93	$p=0.069$	0.23	
	C3	344±23.44	351±25.32	390±52.80 [#]	452±56.53 ^{##}	30.87	3.87	$p<0.001$	$p=0.07$	0.24	0.23	4.14	$p=0.063$	0.24
P300 Amplitude(μ V)	C4	340±26.25	345±19.26	385±45.55 [#]	455±52.54 ^{##}	44.61	5.38	$p<0.001$	$p<0.05$	0.77	0.3	8.13	$p<0.05$	0.39
	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	1.13	n.s.		
P300 Amplitude(μ V)	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	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	0.8	n.s.		

Values are mean±SD.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, Expert vs Novice

[#] $p<0.05$, ^{##} $p<0.01$, CRT1 vs CRT2

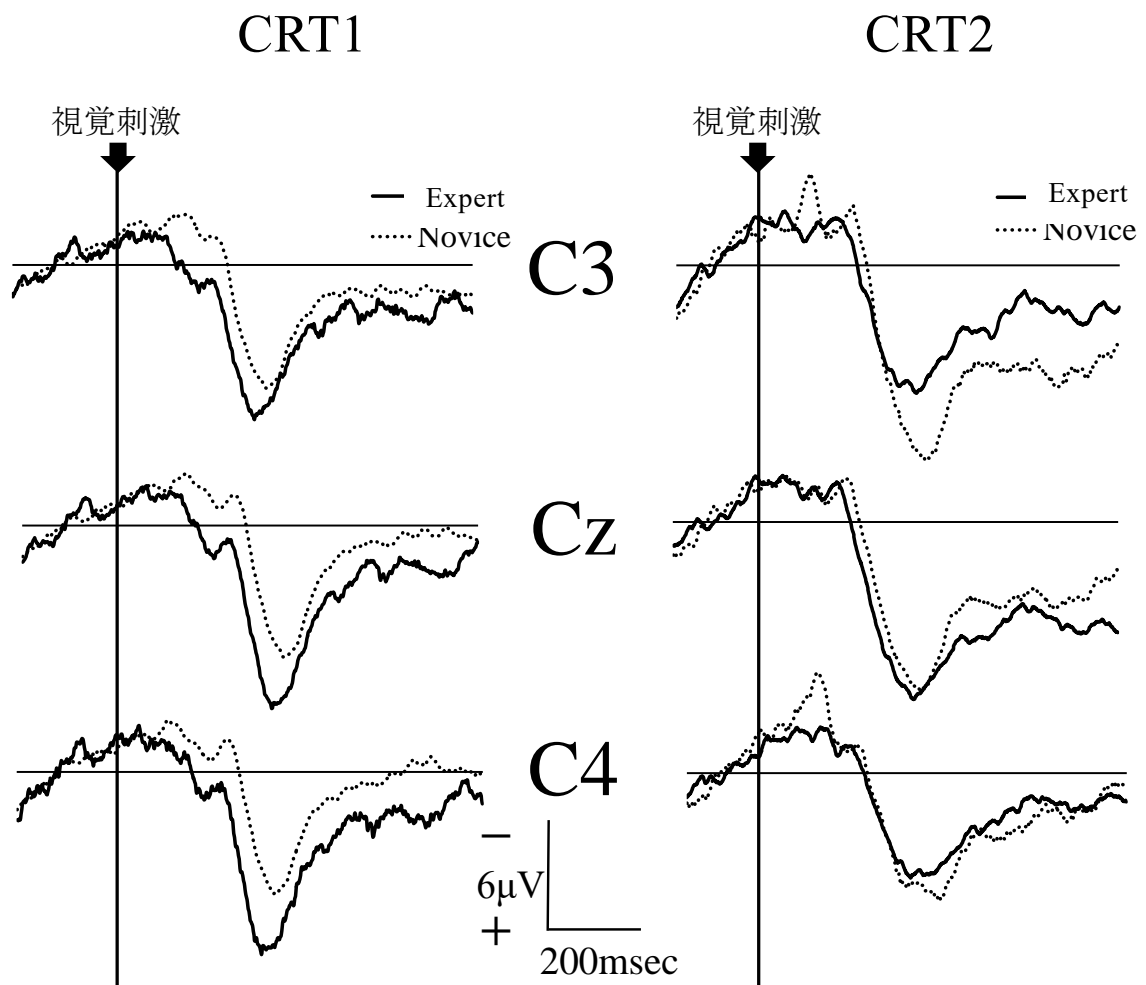


Fig. 5 各課題における ERP 波形 (総加算平均)

3.3.9 RT と P100 潜時の比較

CRT1 における RT と P100 潜時の 2 要因分散分析を Fig. 6 に示す。結果、交互作用は認められなかったが ($F(1, 14) = 1.13$, n.s), 成分の主効果が認められ, P100 潜時は RT より有意に短い潜時であり ($F(1, 14) = 16.87$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.56$), 実験参加者間における群の主効果は認められなかった ($F(1, 14) = 0.83$, n.s)。

CRT2 における RT と P100 潜時の 2 要因分散分析を Fig. 7 に示す。結果、交互作用が認められ ($F(1, 14) = 6.51$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.33$), 成分の主効果 ($F(1, 14) = 259.04$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.95$), 実験参加者間における群の主効果も認められた ($F(1, 14) = 6.65$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.33$)。多重比較検定の結果, 両群ともに P100 潜時が RT よりも短い潜時であり ($p = 0.000$), ($p = 0.000$), Expert 群が Novice 群よりも反応時間が有意に短いことが示された ($p = 0.013$)。

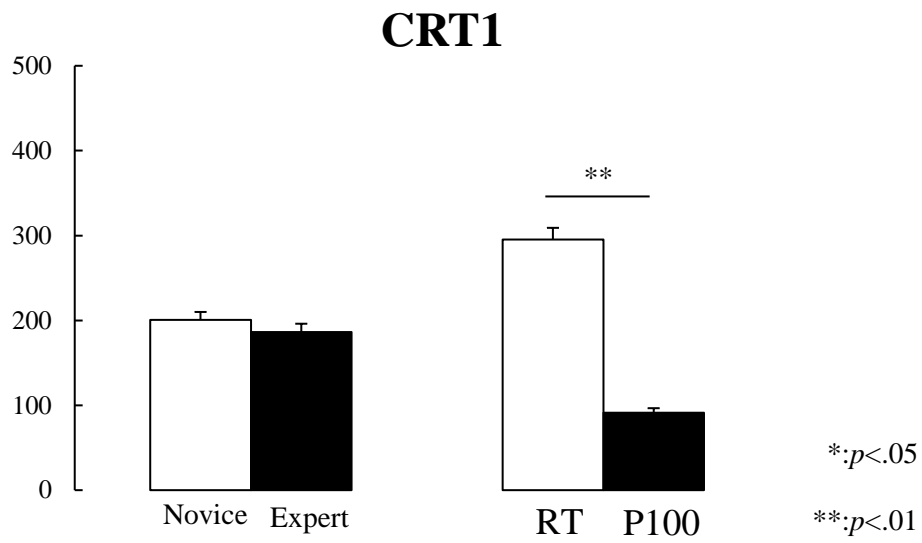


Fig 6. CRT1 における RT と P100 潜時の比較

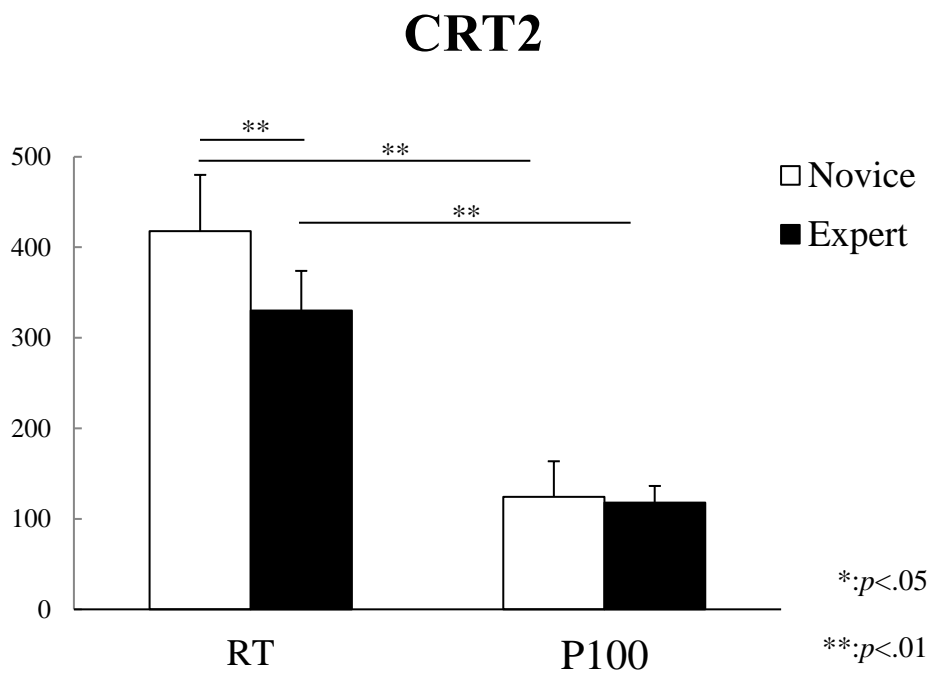


Fig 7. CRT2 における RT と P100 潜時の比較

3.3.10 RT と N200 潜時の比較

CRT1 における RT と N200 潜時の 2 要因分散分析を Fig.8 に示す。結果、交互作用は認められなかったが ($F(1, 14) = 0.063, n.s.$), 成分の主効果が認められ, P100 潜時は RT より有意に短い潜時であり ($F(1, 14) = 37.83, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.74$), 実験参加者間における群の主効果は認められなかった ($F(1, 14) = 2.26, n.s.$)。

CRT2 における RT と N200 潜時の 2 要因分散分析を Fig.9 に示す。結果、交互作用は認められなかったが ($F(1, 14) = 1.41, n.s.$), 成分の主効果が認められ, N200 潜時は RT より有意に短い潜時であり ($F(1, 14) = 94.74, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.87$), 実験参加者間における群の主効果は認められ ($F(1, 14) = 10.84, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.45$) ,Expert 群が Novice 群よりも有意に短い潜時であった。

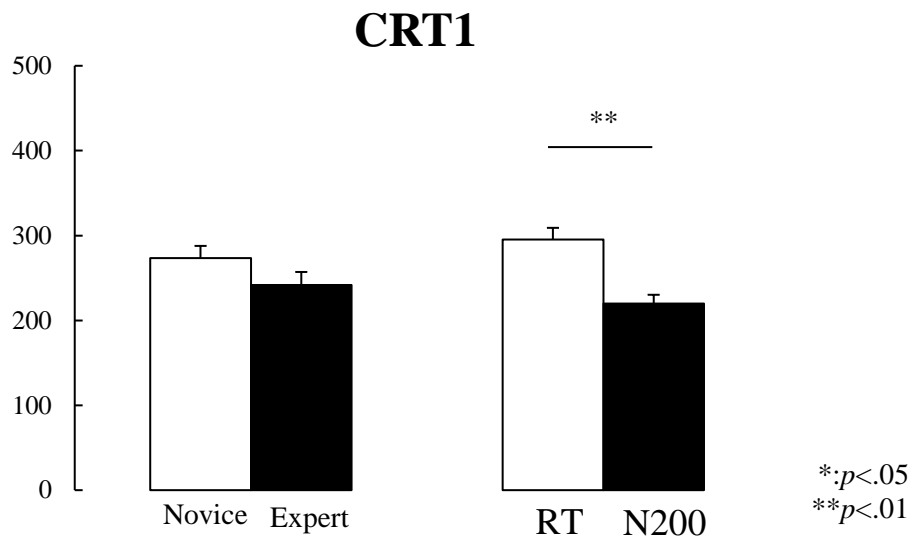


Fig 8. CRT1 における RT と N200 潜時の比較

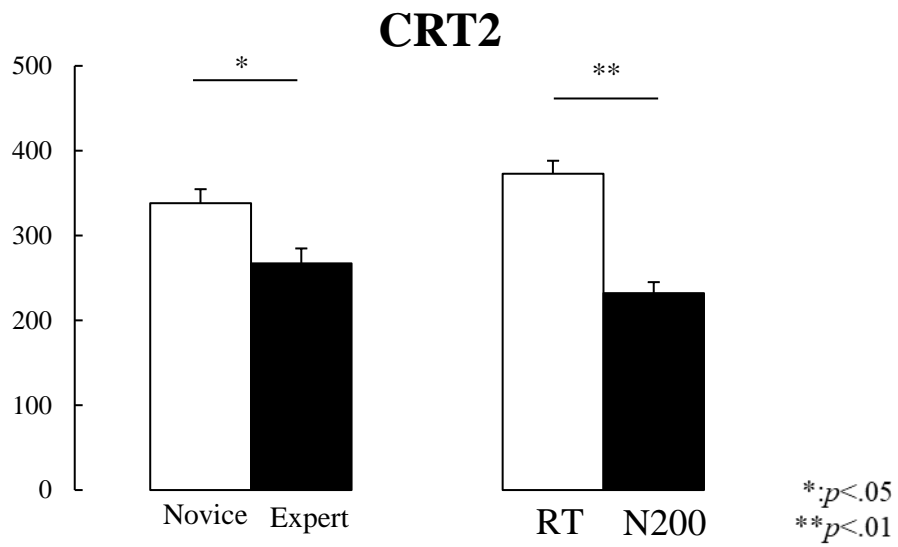


Fig 9. CRT2 における RT と N200 潜時の比較

3.3.11 RT と P300 潜時の比較

CRT1 における RT と P300 潜時の 2 要因分散分析を Fig.10 に示す。結果、交互作用は認められなかったが ($F(1, 14) = 1.13, n.s$)、成分の主効果が認められ、P100 潜時は RT より有意に短い潜時であり ($F(1, 14) = 16.87, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.56$)、実験参加者間における群の主効果は認められなかった ($F(1, 14) = 0.83, n.s$)。

CRT2 における RT と P300 潜時の 2 要因分散分析を Fig.11 に示す。結果、交互作用は認められなかったが ($F(1, 14) = 0.87, n.s$)、成分の主効果が認められ、RT は P300 潜時より有意に短い潜時であり ($F(1, 14) = 10.39, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.44$)、実験参加者間における群の主効果は認められ、($F(1, 14) = 9.25, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.41$) Expert 群が Novice 群よりも有意に短い潜時であった。

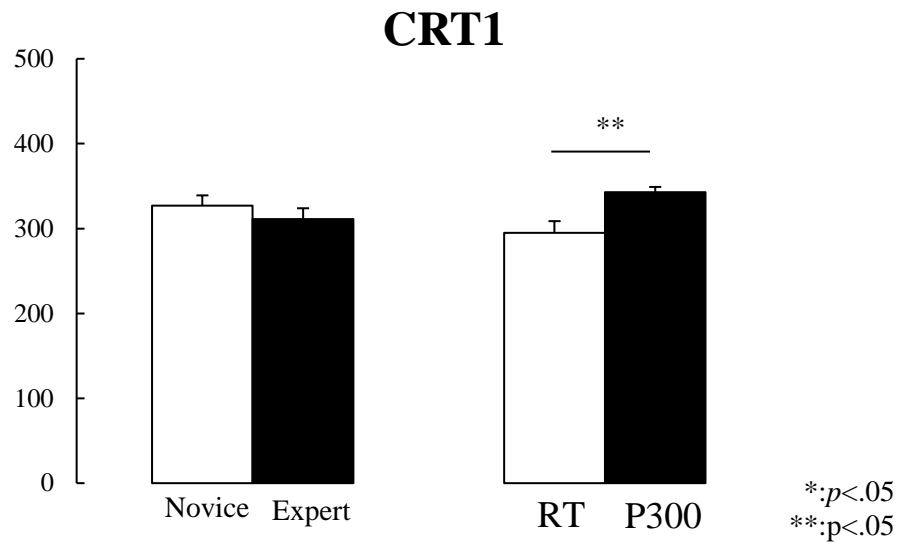


Fig 10. CRT1 における RT と P300 潜時の比較

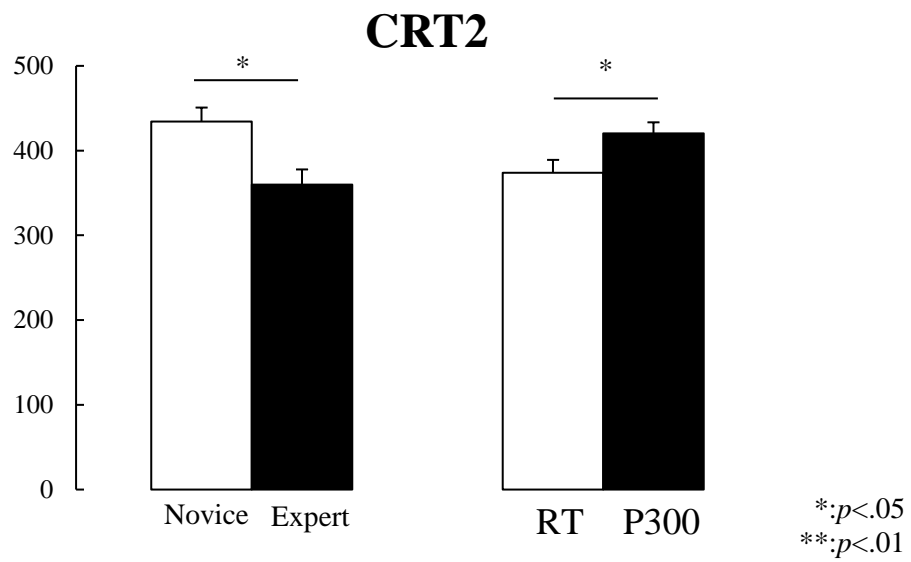


Fig 11. CRT2 における RT と P300 潜時の比較

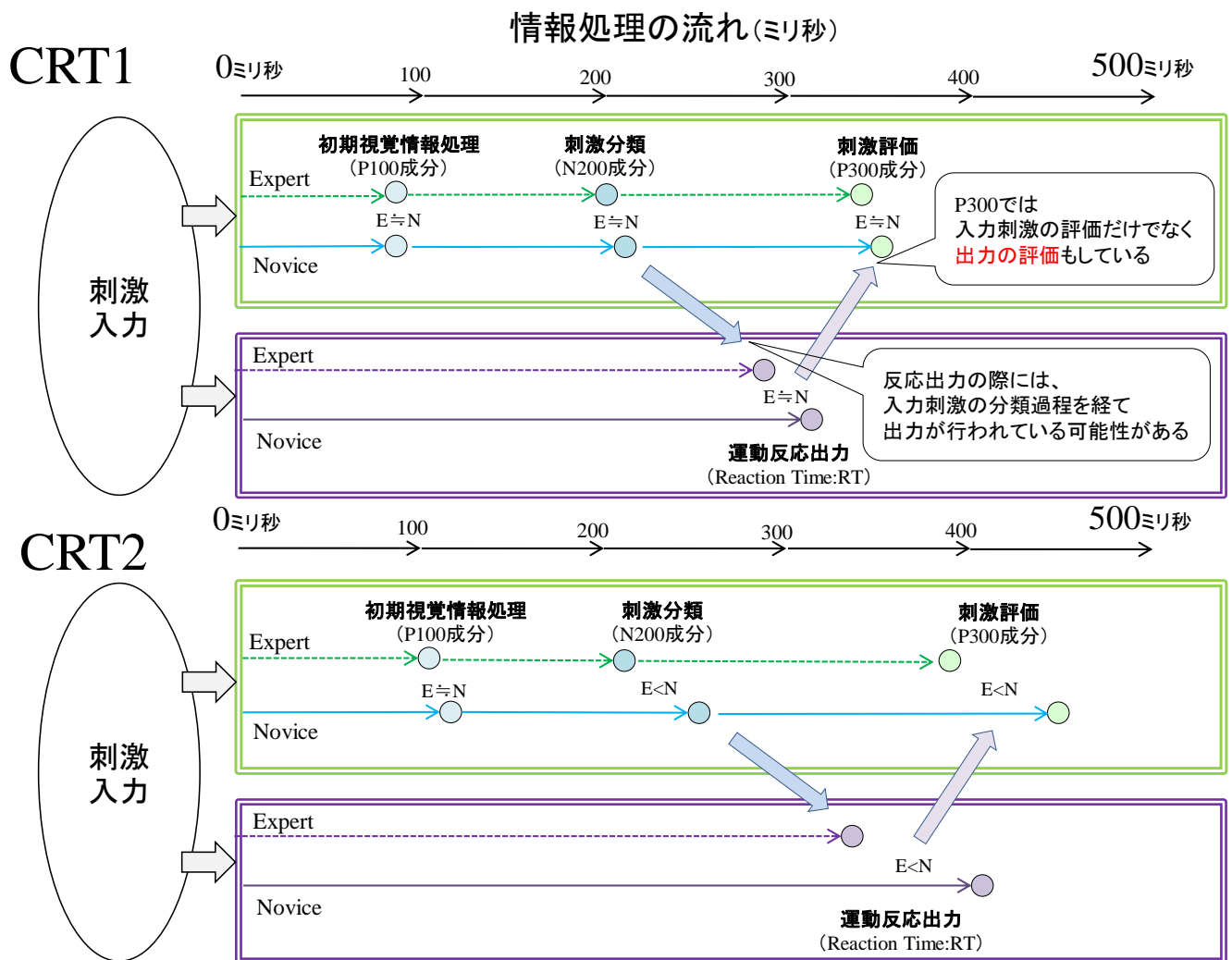


Fig.12 研究課題①でのデータからみる Expert 群と Novice 群の情報処理過程

2.4 考察

2.4.1 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選択反応課題 (CRT1、CRT2) を実施して、行動指標に RT を用いた中枢情報処理能力の評価を行った。その結果、Expert 群、Novice 群ともに CRT1 が CRT2 と比較して有意に早い RT 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、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反応を行う実験課題である (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 よりも難易度が高かったため、CRT2 に複雑な情報処理を必要とした事を示している。このことは、本研究における難易度が異なる選択反応課題といった実験課題の設定が適切であったといえる。

また CRT2 において、Expert 群が Novice 群と比較して有意に短い RT を示した。CRT1 では両群において有意な差はみられなかったが、複雑な視覚刺激の呈示が行われる CRT2 では Expert 群が Novice 群よりも有意に短い RT であった。つまり、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 RT 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の選手と相手選手の動き、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。Expert 群は日々のサッカー競技でのトレーニングを通して、複雑な視覚情報の変化に対する反応を繰り返し行っている為、素早く正確に反応することができる情報処理の能力が高いため、Novice 群と比較して RT が短く反応処理が早かったと考えられる。

2.4.2 P100 成分について

刺激の約 100ms 後に惹起される陽性の電位である P100 成分は、本研究においてす

べての実験参加者，条件にて確認することができた．P100 潜時のすべての部位にて課題間の有意な差が認められ，CRT2 が CRT1 と比較して有意に潜時が長かった．P100 は，ディスプレイ等により視覚へ刺激を与えた時に，大脳皮質視覚野に生じる電気反応であり，呈示する刺激の条件により網膜から視覚野に至る電気反応をとらえるため，視機能を非侵襲的に評価することが可能で，視覚情報処理の機能評価に利用されている（Tobimatsu S and Celesia GG, 2006；後藤ら，2012）．つまり，CRT2 が CRT1 よりも有意に潜時が長いことは，CRT2 における視覚刺激の評価が CRT1 よりも遅れていたことが示唆される．しかしながら，実験参加者間要因による群間の差は認められなかったことから，Expert 群と Novice 群では初期の視覚情報処理過程には違いがないことが示された．

一方で P100 振幅では，C3 のみにて CRT1 が CRT2 よりも振幅が大きい傾向がみられたが，ほかの部位には課題間の差はみられなかった．また，実験参加者間要因による群間の差においての有意な差は認められなかった．P100 振幅は刺激に対する注意レベルを反映する（Tobimatsu S and Celesia GG, 2006）ことから，本実験における実験参加者の課題の違いによる注意のレベルは大きく変わらず，Expert 群と Novice 群の間での違いがなかったと考えられる．

2.4.3 N200 成分について

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実験課題が 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」

であると報告している。本実験における Expert 群は CRT1 と CRT2 の N200 潜時で両課題の間に有意な違いはなかったことに対して、Novice 群の CRT2 における N200 潜時は CRT1 の N200 潜時と比較して有意に潜時が長かった。また同部位での CRT2 では、Expert 群が Novice 群と比較して有意に短い潜時を示した。つまり、Expert 群は複雑な判断を伴う視覚刺激の呈示が行われても、刺激の分類を行う処理には変化がないものの、Novice 群は CRT2 で複雑な判断を伴う視覚刺激の呈示が行われると、入力された刺激を分類する処理が CRT1 の時よりも遅いことが示された。したがって、Expert 群は Novice 群よりも複雑な視覚刺激の分類を行う情報処理の能力が高いことが示唆される。その要因として、Expert 群は日々サッカー競技のトレーニングや展開が早く、レベルの高い試合を経験してきていることにより、複雑な視覚情報の変化に対応する情報処理の能力が Novice 群よりも高いことが考えられる。

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。Expert 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 は前頂部で最大振幅が広がる傾向があることを報告しているが、本研究では中心部 (Cz, C3, C4) の測定を行っている為、前頂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早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。

2.4.4 P300 成分について

P100, N200 と同様に感覚刺激評価系の処理について ERPs 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実験課題が ERPs 測定に用いる弁別課題の条件を満たし、適切であったことを示した。また、P300 の電位は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 $5\text{-}20\ \mu\text{V}$ 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 $5\ \mu\text{V}$ 以上であった事は、同定した P300 が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 Expert 群, Novice 群ともに CRT2 が CRT1 と比較して有意に潜時が遅かった。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 Expert 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 J, 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 Expert 群が Novice 群よりも有意に早い潜時であったことから、情報処理過程における刺激の評価を行う段階で Expert 群が Novice 群と比較して早い処理を行うことができることを示唆している。したがって、Expert 群は複雑な視覚情報の刺激を評価する情報処理の能力が Novice 群よりも高いことが示唆される。

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, CRT1 と CRT2 の両実験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.

2.4.5 ERPs 潜時と RT の比較について

本実験における ERPs 潜時 (P100 潜時, N200 潜時, P300 潜時) と RT の比較をおこなった結果, P100 潜時と RT では P100 が RT と比較して有意に早かった (CRT1, CRT2). また, N200 潜時と RT においても同様に CRT1, CRT2 の両課題とも N200 潜時と比較して有意に早い潜時であった. つまり, 感覚・刺激処理系である初期の視覚情報処理と刺激分類は, 運動・反応出力よりも先行して処理が行われていることが示唆された. また, 運動・反応の出力は視覚刺激が入力されてから, 入力された刺激を「Go または NoGo」であるかを分類する過程を経てから出力がされている可能性が示唆される.

一方で P300 潜時と RT の比較では RT1, CRT2 の両課題とも RT が P300 潜時と比較して有意に早かった. Duncan J (1981) の報告では, 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おり, 入力された刺激を評価する指標として用いられてきた. しかしながら, 本実験では CRT1, CRT2 の両課題とも視覚刺激の呈示後, 入力された刺激を評価するよりも前に運動・反応の出力が行われていた. つまり, P300 として表出された成分は入力された刺激を評価する処理を行っているだけでなく, 運動・反応処理の出力も評価している可能性が推測される. この考えに関しては, 認知・行動の中枢機構モデルを提唱している丹羽・斎藤らの研究グループによる P300 の機能的意義に関する仮説を用いて説明できる. 彼らは, 人間が課題を遂行するときには, 刺激の比較・評価にかかわる感覚・刺激処理系と反応の

準備・選択・実行にかかわる運動・反応処理系の2つが並列的に進行すると考えている。そして、この2つの系は、より上位の系（組織制御系）によって制御・統制されると仮定した。組織制御系の機能は、主体が置かれている状況（文脈）を主体の意思や目的との関係で全体的に把握することであり、それに基づいて刺激処理系や反応処理系を制御し、かつそこからのフィードバックによって自らを改変・更新していく。このような感覚刺激処理系・運動反応処理系・組織制御系からなる認知・行動モデルを想定した上で、彼らは P300 を“感覚・刺激処理系に対する組織制御系の制御プロセス”の反映であると提案した。彼らによると、P300 は入力された刺激情報の文脈を更新したものであるが、組織制御系を通じた運動・反応処理系の再編成（出力フィードバックによって自らを更新していくこと）を反映するのである。このことから、本実験での表出された P300 成分は入力された刺激を評価する処理を行っているだけでなく、運動反応処理の出力も評価する処理をしている可能性が示唆される。

2.4.6 本研究の限界点

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 は一般的な選択反応課題であった」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 and 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、一般的な選択反応課題を実験室内にて実施した。本実験では複雑な判断を伴う選択反応課題において Expert 群は Novice 群と比較して視覚刺激の評価が早いことが示された。しかし、サッカーの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サッカーの実践場面に近い実験課題を行い、応用的に研究を進めていく必要がある。

また、本実験で測定した指標に関して、運動・反応処理系の指標として RT を用いて検討をおこなったが、RT は運動反応処理の出力結果であるため、出力開始のタイミングまでは評価できない。結果として、感覚刺激処理系において入力された刺激を分類した後に運動出力が行われていたことが示されたが、出力が開始された時間までは考慮されていないため、「刺激の分類と運動出力の開始のどちらが先に処理されているのか」までは検討することができなかった。従って、サッカー選手の情報処理過程に関してのメカニズムを検討していくためには運動反応処理指標に筋電図反応時間などを用いることによって、更に精度を高めていくことが必要である。

2.5 まとめ

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こと、更に情報処理能力を検討する手段としての RT と ERPs の有用性について検討を行うために、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 つの選択反応課題での RT と ERPs (P100 成分, N200 成分, P300 成分) の計測を行い、両者の情報処理過程の差異を明らかにすることを目的とした。

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、熟練者と非熟練者の脳内におけるソフトウェアについて検討するために、情報処理過程のメカニズムの解明を目的として ERPs 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 ERPs 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, 継時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, より複雑な視覚刺激が提示される CRT2 において Expert 群が Novice 群と比較して, N200, P300 ともに有意に短い潜時を示し, RT においても CRT2 で Expert 群が Novice 群と比較して有意に短縮した. 以上の結果は, Expert 群が Novice 群より情報処理過程において刺激の分類と評価を行う処理が早く, さらに反応の出力も早いことを示唆するものであった.

また, ERPs 潜時と RT の比較検討により, 運動反応処理系の出力である RT は感覚・刺激評価系の刺激の分類処理 (N200 潜時) よりも遅いが, 刺激評価 (P300 潜時) と比較すると早いことが示された. つまり, それぞれ独立して処理が行われる感覚・刺激処理と運動・反応処理であるが, 視覚刺激が入力され反応出力を行う際には, 入力刺激の分類過程を経て運動反応の出力が行われている可能性が考えられ, 更にはその出力された情報を評価している可能性が考えられる. P300 成分に関してこれまでどのような役割をもった情報処理過程を反映しているかについては諸説があり, 現在でも論争が続いているが, 本研究においてのデータから P300 成分は入力された刺激を評価する処理を行っているだけでなく, 運動反応処理の出力も評価する処理をしていることが示唆される.

以上のことは, サッカー選手の情報処理に関する研究を進めていく上で Expert 群が Novice 群よりも情報処理能力が高い事を示す一つの基礎的な知見となるだろう. 更に RT 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情報処理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測定を行う有効なツールとしての活用が期待される.

第 3 章

熟練したサッカー選手のパス選択場面
における情報処理過程の特性

3.1 目的

第2章の研究課題①では記号や文字で構成された難易度の異なる選択反応課題でのRTとERPs（P100成分，N200成分，P300成分）の計測を行い，サッカー選手の情報処理過程に関しての基礎的な知見を得ることができた．本章では，研究課題①での限界点から以下2つの点を考慮して研究のデザインを設定する．一つは実験参加者と実験課題に関する点である．研究課題①ではサッカーの能力が両極端に位置する者を対象として比較検討を行った．結果として，サッカー熟練者はサッカー競技経験のない非熟練者と比較して，刺激の分類，評価の優位性が示唆された一方で，サッカー選手における情報処理の特性を示すには競技レベルを考慮したサッカー競技経験者内で比較検討することが指摘された．つまり，実験参加者間の要因を競技水準の異なるサッカー選手にすることで，サッカー選手の情報処理に関する特性に追究できると考えられる．また，実験課題においても第1章で述べたように，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アプローチは，実験室における検討においても実際のプレー状況を想定した，より実戦に近い課題を行うべきである（Ericsson and Smith, 1991 ; Mann et al. , 2010）．研究課題①では記号や文字で構成された一般的な選択反応課題であったが，サッカー選手の特性を検討するためにはサッカーの実戦を想定した状況判断場面を設定することが必要である．そのため，サッカーのパスの選択場面はゲームで中核的なプレーと位置づけられるため実験課題の設定として有効的であると考えられる．

研究課題①でのもう一つの限界点は，運動・反応処理系の指標として用いたRTが運動反応処理の出力結果であるため，出力開始のタイミングまでは評価できなかった点である．ERPs潜時とRTの比較によって感覚刺激処理系において入力された刺激を分類した後に運動出力が行われていたことが示されたが，出力が開始された時間までは考慮されていないため，刺激の分類と運動出力の開始のどちらが先に処理されてい

るのかまでは検討することができなかった。従って、運動・反応処理の出力だけでなく入力処理も測定することができれば情報処理過程に関してのメカニズム解明の一助となり得る。その点、筋電図 (Electromyographic :EMG) より測定する刺激の呈示から主動筋の筋収縮開始までの筋電図反応時間 (electromyographic reactiontime : EMG-RT) は運動・反応処理の入力過程を示すことが可能である。これまでに、ERPs と EMG-RT を併用して情報処理過程の検討をおこなった研究として、秋山ほか (2000) は長期的な運動経験を有するアスリートが習慣的に運動を行っていない一般成人と比較して、P300 潜時には両者で有意な違いはないが、EMG-RT ではアスリートが一般成人より短縮することから、長期的な運動経験は感覚・刺激処理系よりも運動・反応処理系に影響を及ぼすことを報告している。このように時間分解能に優れた指標を併用することで、感覚・刺激処理系や運動・反応処理系といった情報処理過程を分解して検討することができる。しかしながら、ERPs と EMG-RT を併用して情報処理過程の検討をおこなったサッカー選手を対象とした研究はまだ行われておらず十分に意義がある。さらには、ERPs についても Go/NoGo 課題を用いることが多いが、ERPs の測定では適切な行動を起こす (GO 反応) と状況に応じて適切に反応を抑制する (NoGo 反応) における脳内での情報処理の過程を示すことが可能である。研究課題①では Go 反応のみの ERPs の検討となったが、NoGo 反応における処理も加えることでさらなる知見を得ることができると考えられる。

以上のことから、本章では競技水準が異なる大学サッカー選手を対象にサッカーにおけるパス選択場面を想定した Go/NoGo 課題中の ERPs (P100, N200, P300) と EMG-RT 及び RT の計測を行う。そこで得られた実証的なデータから、競技水準の異なる大学生サッカー選手の視覚刺激の呈示から反応の出力 (反応抑制も含む) までの情報処理過程にどのような差異があるのかを明らかにして、サッカー選手の情報処理能力の特性について検討する。

3.2 方法

3.2.1 実験参加者

本研究の対象は、T大学サッカー部所属の26名の男子サッカー選手であった。実験参加者の26名は、神経学及び精神医学的な疾患がなく、正常な視力を有しており、競技を目的として週4回以上の1時間から2時間の運動・トレーニングを長期的に実施していた（26名の競技経験年数は9年～15年）。この26名を競技水準（全日本選手権レベルの大会での入賞経験）に基づき、競技力が異なる2つの群、High performance群（以下H群）とLow performance群（以下：L群）を設定した。H群はT大学サッカー部1stチームに所属している選手13名（平均年齢：20.2歳、平均競技年数：14.1年、利き側：右足11名、左足2名）から構成され、各ポジションはディフェンダー（DF）5名、ミッドフィルダー（MF）5名、フォワード（FW）3名であった。H群の13名は全日本大学選手権大会で入賞経験を持っており、その中でも8名は都道府県あるいは地域選抜経験を有しており、5名は日本代表（年代別）の選抜経験を有している。また、L群はT大学サッカー部5thチームに所属（T大学サッカー部の5軍に相当）している選手13名（平均年齢：19.7歳、平均競技年数：12.2年、利き側：右足12名、左足1名）から構成され、各ポジションはDF4名、MF5名、FW4名であった。L群の13名はこれまでに全国レベルでの競技経験や都道府県、あるいは地域選抜経験を有していない。

3.2.2 倫理面への配慮

実験参加者26名に対して実験実施に先立ち、口頭・文書により本研究の趣旨や内容プライバシー保護、研究参加の拒否の自由等について十分に説明を行い、参加の同意を署名より得た。なお本研究は、筑波大学研究倫理委員会より承認を得た上で実施した（体27-103号）。

3.2.3 手続き

実験参加者は、一人ずつ実験者から実験に関する説明を受け、同意書への記入を行った後に EEG 測定及び EMG 測定に必要な電極を取り付けた。電極の取り付けが終了した後、外部からの刺激制御可能なシールドルームに入室して実験課題である視覚刺激による Go/NoGo 課題（4vs2 ボールポゼッション）に関する説明を受け、練習試行を 2 分間実施した。Fig. 13 は、実験設定の概要図を示している。実験では、1680×1060 px（474mm×296mm）のスクリーンに画像を呈示して、Go/NoGo 課題を実施した。本実験で実施した視覚刺激による Go/NoGo 課題（4vs2 ボールポゼッション）は、実験参加者が画像に写るボール保持者として、プレーしている状況でパスの選択をする課題である（Fig.14）。画面から Stimulus-1:S-1 である注視点（×）が 500ms 呈示された後に、Stimulus-2:S-2 としてオフENSE選手 3 名、ディフェンス選手 2 名が写った画像が 1000msec 呈示される。この S-2 で表示される視覚刺激画像は、左の選手にパスが出せる Go 刺激画像 6 枚、右の選手にパスが出せる Go 刺激画像 6 枚、2 人のディフェンダーの間にパスが出せる NoGo 刺激画像 6 枚の計 18 枚であり、この 18 枚の画像がランダムに呈示された。視覚刺激画像の呈示には Multi Trigger System（メディカルトライシステム社製）を用いて実施した。S-2 に対する反応方法として、左の選手にパスが出せる Go 刺激画像が呈示された場合には、左足の基にあるフットスイッチを左足で押し、右の選手にパスが出せる Go 刺激画像が呈示された場合には、右足の基にあるフットスイッチを右足で押す。2 人のディフェンダーの間にパスが出せる NoGo 刺激画像が呈示された場合には、反応をしないように指示した。これら一連の S-1, S-2 の呈示及び選択反応を 1 試行として（Fig.14）、実験では 120 試行実施した（60 試行×2 セット、セット間の休憩時間は 5 分）。120 試行における呈示確率は、左の選手にパスが出せる Go 刺激が 30 回、右の選手にパスが出せる Go 刺激が 30 回、2 人のディフェンスの間にパスが出せる NoGo 刺激 60 回の Go 刺激:NoGo 刺激が 50%:

50%の割合となるよう無作為に表示した。なお一連の実験に要する時間は約 80 分であった。

<Shielded room>

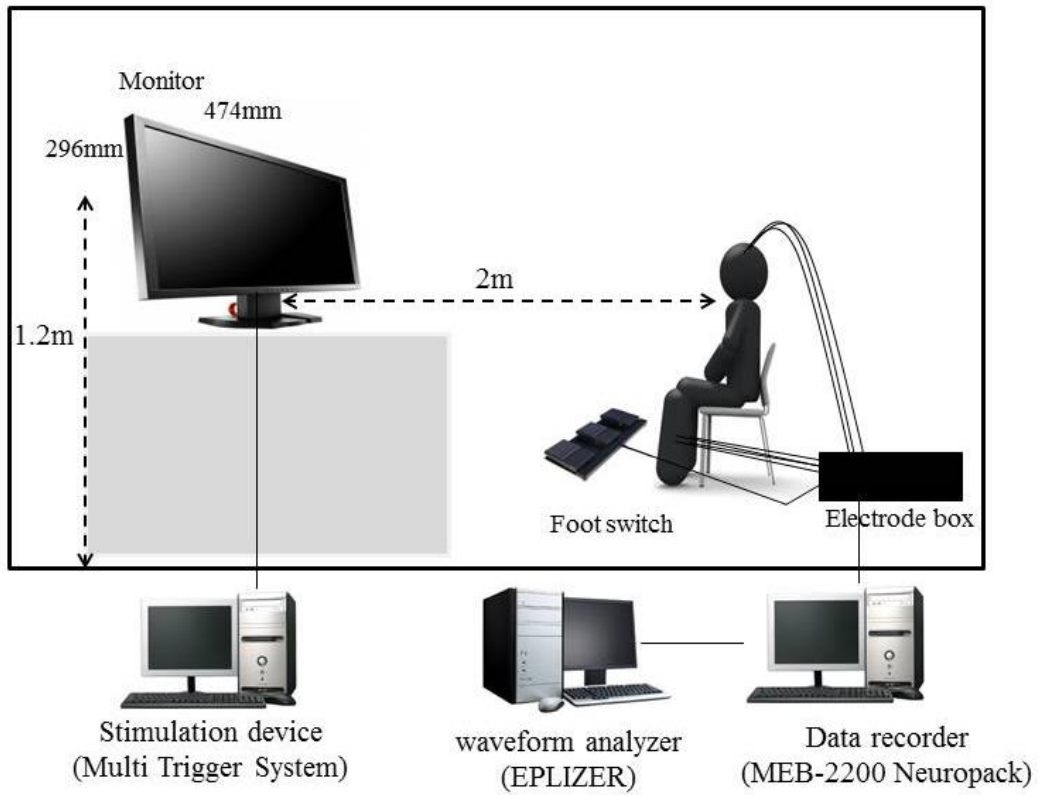


Fig 13. 実験設定

3.2.4 サッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題（4vs2 ボールポゼッション）

本研究では、サッカーにおける状況判断としてパスの選択・判断場面に絞って課題を設定した。その中でも、パスのスキル向上の目的で実施される 4vs2（オフェンス 4 名、ディフェンダー 2 名）ボールポゼッショントレーニングでのパスの選択・判断場面を課題に設定した。このトレーニングは、ディフェンダーにボールを奪われないために、状況に応じて守備者と攻撃者の動きを確認してパスの選択・判断を行う。それに伴いボールコントロールする位置や、パスの方向や強さなどを選択することが求められ、認知的側面への負荷が高いトレーニングである。このトレーニングでは、ディフェンダーにボールを奪われないようにパスを回す事と、NoGo 刺激として設定した 2 人のディフェンダー間にパスを通すことの両者を目指す。そのため、パス選択の優先順位は、2 人のディフェンダー間、次に左右の選手となるが、ディフェンダーも 2 人の間のパスを防ごうとする位置取りをするため、2 人のディフェンダー間にパスが通る割合は左右の選手へのパスと比べて低い。本研究では、正確に早く判断をすることを実験参加者に教示したため、確実にパスが通る左右の選手へのパスを Go 刺激と設定し、また素早く反応を抑制することへの負荷を与えるため、2 人のディフェンダー間へのパスを NoGo 刺激と設定した。

画像の作成には、サッカーに関する先行研究の精査及び予備調査を行った上で実際にプレーしている場所から 10m 離れた、地上 2m の高さから撮影を行った。パス選択画像の妥当性を保証するために、サッカー指導者ライセンス有資格者 4 名に対して撮影した全画像を確認してもらい、承認された画像 18 枚（左の選手にパスが出せる Go 刺激画像 6 枚、右の選手にパスが出せる Go 刺激画像 6 枚、2 人のディフェンダーの間にパスが出せる NoGo 刺激画像 6 枚）をテストに採用した（Fig. 15）。



Fig.14 実験プロトコル



Go(Left)



NoGo



Go(Right)

Fig.15 4vs2 パス選択課題におけるパス選択のパターン (選択肢)

3.2.5 記録・データ処理① EMG-RT 及び RT, 正答率

反応動作に伴う筋電図は、MEB-2200 Neuropack（日本光電社製）を用いて左右の腓腹筋外側頭の表面に電極を装着し、高周波フィルター1500Hz、時定数 0.03 秒で導出した。EMG-RT は、S-2 で Go 刺激（左・右にパスを出す）呈示から急激な筋放電の始まる時点までとして計測した。筋放電の判定は、Visual inspection を用いており、データの信頼性を保証するため体育科学を専攻した専門家 3 名によって同定の検証を行った。また RT は、S-2 の呈示からフットスイッチを押したことによる機械曲線の立ち上がりまでの潜時とした。分析については EMG-RT, RT ともに正反応試行の平均値を算出した。また、正答率（%）として Go 刺激, NoGo 刺激における正答反応回数を各試行数（Go 刺激：60 回, NoGo 刺激：60 回）で除した値を算出した。

3.2.6 記録・データ処理② ERPs

脳波の記録は、MEB-2200 Neuropack（日本光電社製）を用いて実施した。ERPs の記録は国際 10-20 法に従い、Fz, Cz, Pz, C3, C4 の頭皮上 5 ヶ所より、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 100Hz, 時定数は 3.0 秒, 電極抵抗はすべて 5k Ω 以下とした。同時に、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（electro-oculogram : EOG）を左眼窩上下縁から導出記録した。課題では脳波の視覚探索によるサッケードを防ぐ目的で画面の中心に注視点（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、体動による大きなアーチファクトを防ぐため「できるだけ動かない」こと、及び ERPs への眼球運動の影響を防ぐため「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。得られたデータは A/D 変換ボードを介した後、視覚刺激呈示前 200ms から呈示後 1000ms を分析区間として、サンプリング周波数 250Hz で波形解析ソフト（EPLIZER, キッセイコムテック）を用いて

解析を行った。EOGによる振幅の値が $100\mu\text{V}$ を超えるものは分析の対象から除外して、Go刺激呈示における正反応試行、NoGo刺激呈示における正反応試行（反応しない）の脳波データをそれぞれ加算平均した。それぞれ誘発された波形の潜時と極性からGo P100（Go刺激呈示後100～150msに生じる最大陽性電位）、NoGo P100（NoGo刺激呈示後100～150msに生じる最大陽性電位）、Go N200（Go刺激呈示後150～400msに生じる最大陰性電位）、NoGo N200（NoGo刺激呈示後150～400msに生じる最大陰性電位）、Go P300（Go刺激呈示後250～500msに生じる最大陽性電位）、NoGo P300（NoGo刺激呈示後250～500msに生じる最大陽性電位）を同定して、頂点潜時と振幅の測定を行った。振幅は刺激前200msの平均電位を基線として計測した。

3.2.7 統計処理

実験参加者の特徴（年齢，経験年数），EMG-RT及びRTについては，それぞれ平均値と標準偏差を算出して，対応のない t 検定を用いて参加者群間（H群，L群）比較を行った。また，EMG-RTとRTの関連性の有無については相関係数をPearsonの方法を用いて算出した。

正答率については，群（H群，L群）×刺激（Go刺激，NoGo刺激）の2要因分散分析（analysis of variance : ANOVA）を行った。ERPs（Go P100，NoGo P100，Go P300，NoGo P300）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て，群（H群，L群）×刺激（Go刺激，NoGo刺激）×導出部位（Fz，Cz，Pz，C3，C4）の3要因分散分析（analysis of variance : ANOVA）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のイプシロンを用いて自由度，有意確率を再計算した。主効果と交互作用が認められた場合は，Bonferroni法を用いて下位検定を行った。

また，感覚・刺激処理系と運動反応処理系の指標について時系列における比較検討

を行うため群（H 群, L 群）×成分（EMG-RT, ERPs の各潜時）の繰り返し測定, 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. 加えて, 感覚刺激処理系と運動反応処理系の関連性の検討として, P100 成分（Go P100, NoGo P100）, N200 成分（Go N200, NoGo N200）, P300 成分（Go P300, NoGo P300）の潜時と EMG-RT, RT の相関係数を Pearson の方法を用いて算出した. 同様に, 競技経験年数と各測定指標の関連性の検討においても, 相関係数を Pearson の方法を用いて算出した. 相関分析の際, 本実験で測定した ERPs の 5 つの電極は近接しており相互に影響を及ぼしていると考えられることから, 全体的な傾向を示すため, 5 つの部位それぞれの平均値を算出して（フィッシャーの z 変換）, その値の逆 z 変換した値にて検定を行った. 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 ($\eta^2 p$) を用いて示した. なおすべての統計処理には SPSS Statistics ver.22 for windows を使用した.

3.3 結果

3.3.1 実験参加者の特徴

Table 2 は, 参加者の年齢及び競技経験年数を示した. 競技力が異なる H 群と L 群には, 年齢における有意な差はなかった ($t(24) = 1.42, n.s$). また, 競技経験年数においては, 競技力が高い H 群は L 群と比較して有意に長い競技経験年数を有していた ($t(24) = 2.36, p < 0.05$).

Table 2. 実験参加者の年齢と競技経験年数

	Low performance (n=13:Men)	High performance (n=13:Men)	t-Values	P-Values
Age(years)	19.7 ±0.94	20.2 ±0.68	1.42	n.s.
Years of experience (year)	12.2 ±2.27	14.1 ±1.65*	2.36	p<0.05

Values are mean±SD. Significantly different by Student's t-test,

*p<0.05,

3.3.2 EMG-RT と RT の関連性

Fig. 16 に EMG-RT と RT の関連性の検討として実施した相関分析の結果を示した.

EMG-RT と RT は有意な相関関係を示した.

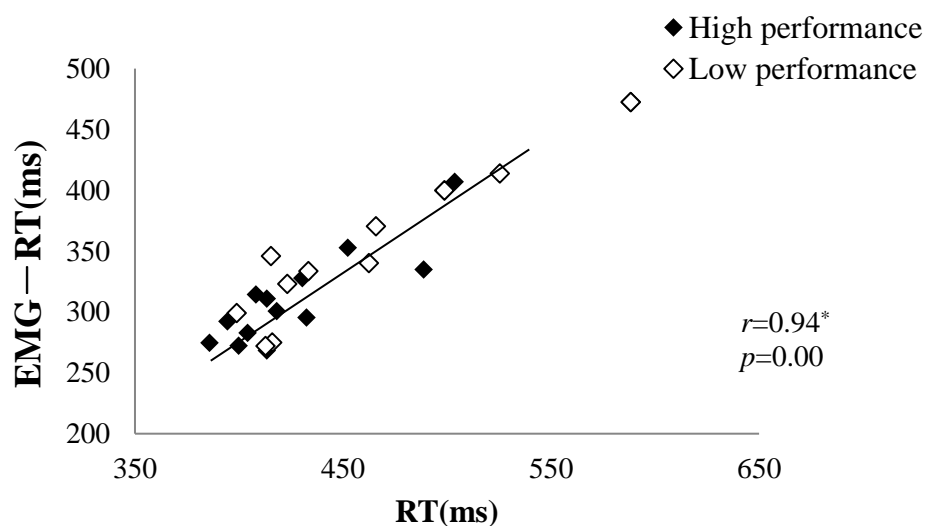


Fig 16 RT と EMG-RT の関連性

3.3.3 EMG-RT 及び RT, 正答率

Fig. 17 は Go 刺激（右の選手へのパス）呈示における，H 群と L 群の典型的な EMG の波形，及び RT を示した． Fig.18 は，EMG-RT 及び RT の平均値及び標準偏差，t 検定の結果を示した． t 検定の結果，EMG-RT では H 群が L 群より有意に短く，H 群は L 群と比較して Go 刺激時における筋反応の開始が有意に早いことを示した ($t(24) = 2.44, p < 0.05$)． また RT においても H 群が L 群より有意に短く，H 群は L 群と比較して反応処理の出力が有意に早いことを示した ($t(24) = 2.26, p < 0.05$)．

Table 3 には，4vs2 ボールポジションのパス選択場面を想定した Go/NoGo 課題の正答率における平均値及び標準偏差，2 要因分散分析の結果を示した．正答率においては，刺激の主効果が認められ，Go 刺激は NoGo 刺激より有意に高い正答率であった ($F(1, 24) = 6.88, p < 0.05, \eta^2 = 0.22$)． また，群の主効果が認められ H 群は L 群より有意に高い正答率であった ($F(1, 24) = 10.94, p < 0.01, \eta^2 = 0.31$)． 刺激×群の交互作用は，認められなかった ($F(1, 24) = 1.49, n.s.$)．

Table 3. Go 刺激と NoGo 刺激における各群の課題正答率

	Low performance (n=13:Men)	High performance (n=13:Men)	Main effect	
			F-Value	
			Stimulus(1,24)	Group (1,24)
Correct response rate%				
Go stimuli	83.1 ±9.5	93.1 ±7.87	6.88*	10.94**
NoGo stimuli	77.05 ±12.1	90.5 ±9.48	Go < NoGo	High < Low

Values are mean±SD. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$,

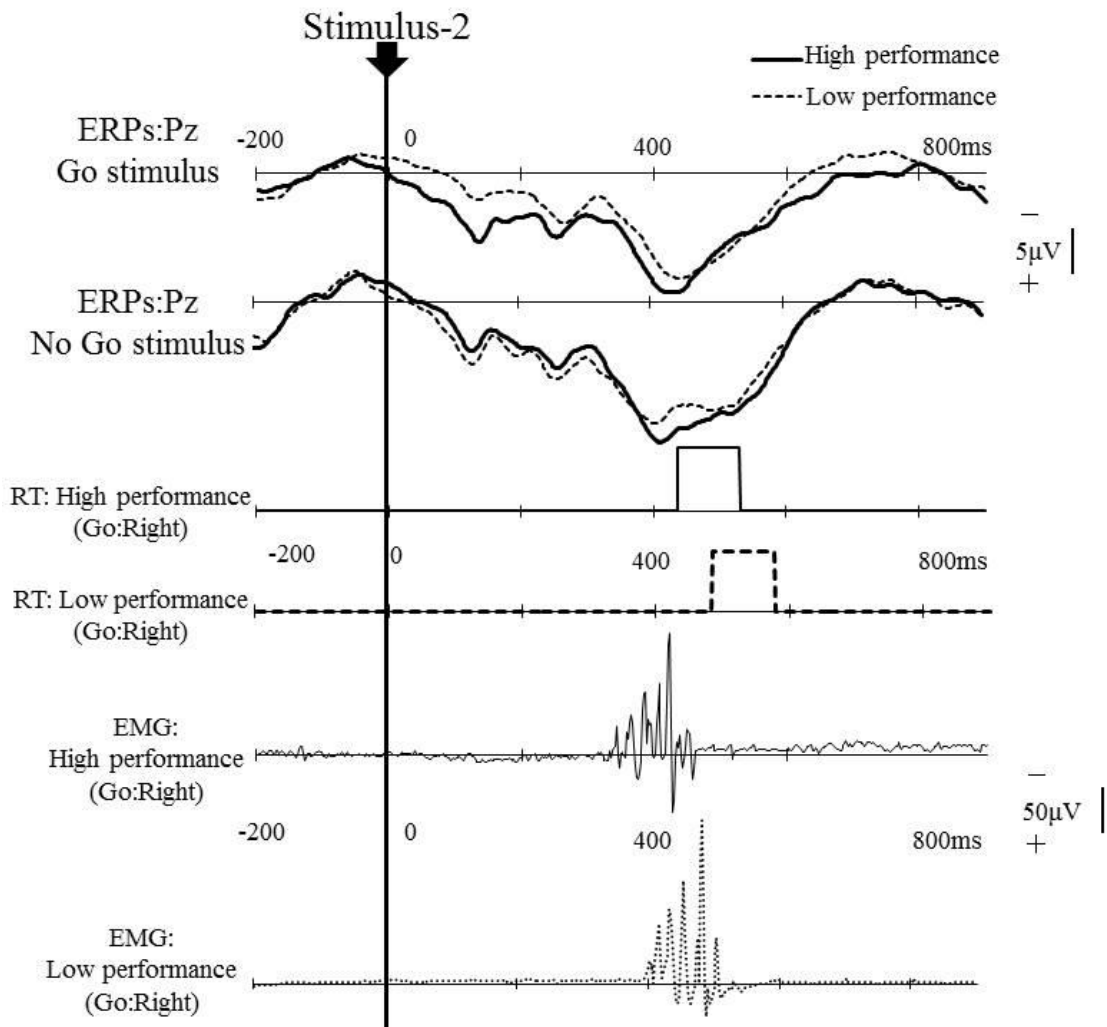


Fig.17 各測定指標の波形図

(ERP は総加算平均, EMG-RT 及び RT は典型的な波形)

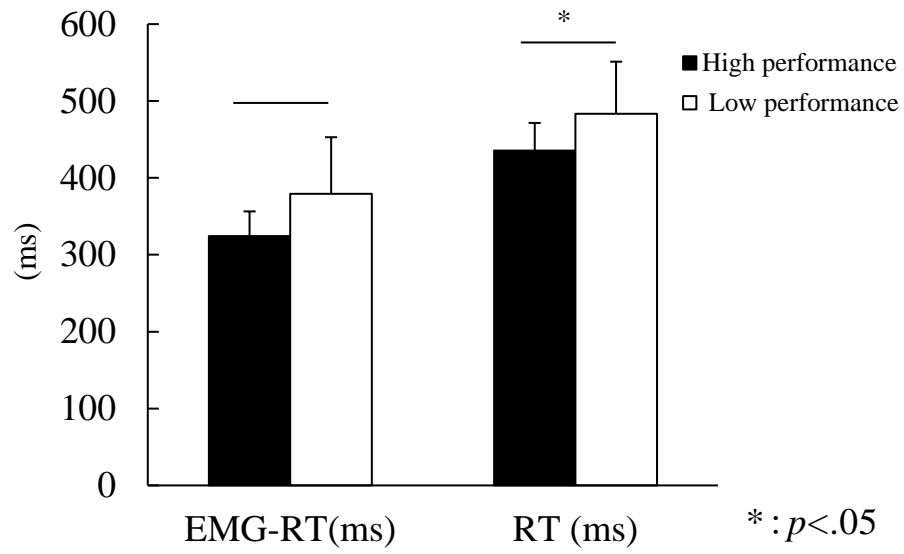


Fig.18 EMG-RT 及び RT における H 群と L 群の比較

3.3.4 Event-related potentials: ERPs (P100)

Fig.19 は、サッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題における Go 刺激, NoGo 刺激の ERPs のグラウンドアベレージ波形を示した。実験参加者それぞれの加算平均された波形の潜時と極性から、P100 (刺激呈示後 100–150ms 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。Fig.20 と Fig.21 には、H 群と L 群の P100 潜時、振幅の平均値及び標準偏差を示した。3 要因分散分析の結果、P100 潜時では、群の主効果が認められ、H 群は L 群より有意に短い潜時であった ($F(1, 24) = 5.54$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.18$)。また、部位の主効果が認められ、Fz が Cz, Pz, C3, C4 より長い潜時であった ($F(4, 96) = 2.96$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.11$)。条件の主効果は認められなかった ($F(1, 24) = 1.67$, n.s)。また 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 0.92$, n.s), それぞれの 1 次交互作用についても認められなかった [群×刺激 ($F(1, 24) = 0.24$, n.s), 群×部位 ($F(4, 96) = 0.88$, n.s), 刺激×部位 ($F(4, 96) = 0.67$, n.s)]。

P100 振幅では、群の主効果が認められ、H 群は L 群より低い振幅であった ($F(1, 24) = 4.94$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.17$)。また、部位の主効果が認められ、Fz, Cz が Pz, C3, C4 より高い振幅であった ($F(4, 96) = 44.44$, $p < 0.01$, $\eta^2_p = 0.65$)。刺激の主効果は認められなかった ($F(1, 24) = 0.30$, n.s)。また 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 0.91$, n.s), それぞれの 1 次交互作用についても認められなかった, 群×刺激 ($F(1, 24) = 1.25$, n.s), 群×部位 ($F(4, 96) = 0.71$, n.s), 刺激×部位 ($F(4, 96) = 1.19$, n.s)。

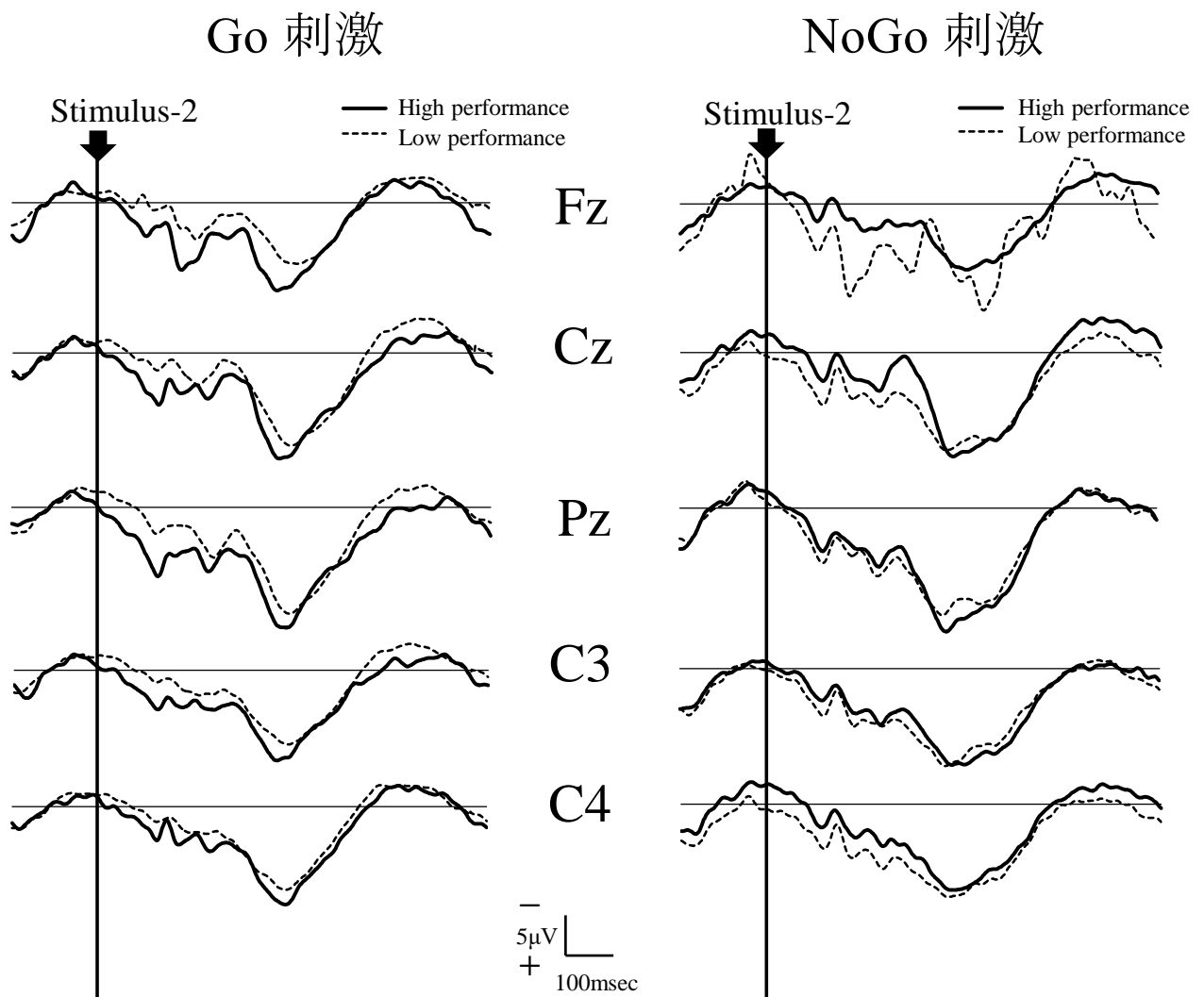


Fig.19 Go 刺激と NoGo 刺激における各群の ERPs 総加算平均

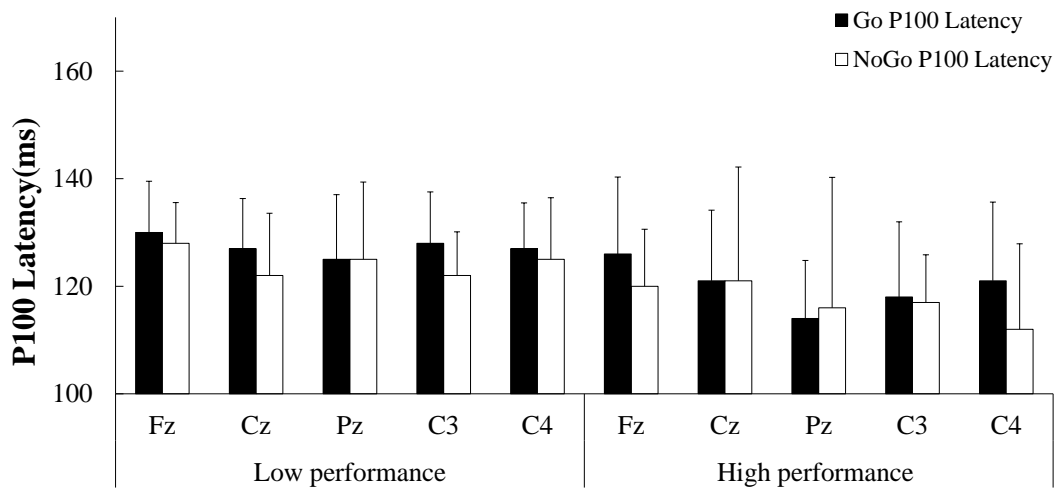


Fig.20 P100 潜時における 3 要因分散分析の結果.

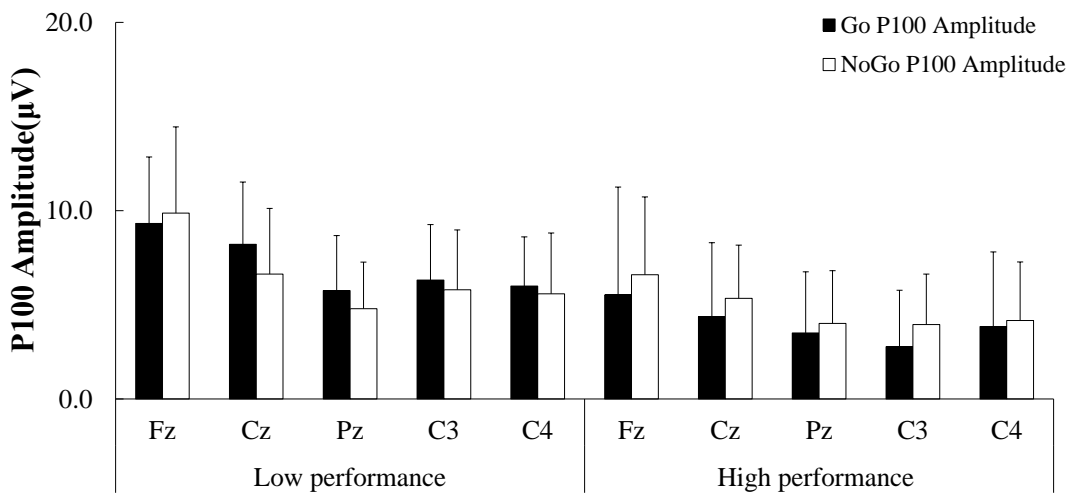


Fig.21 P100 振幅における 3 要因分散分析の結果.

3.3.5 Event-related potentials: ERPs (N200)

実験参加者それぞれの加算平均された波形の潜時と極性から、N200(刺激呈示後 150 – 250ms に生じる最大陰性電位)を同定し、潜時と振幅の測定を行った。Fig.22 と Fig.23 には、H 群と L 群の P100 潜時、振幅の平均値及び標準偏差を示した。3 要因分散分析の結果、N200 潜時では、群の主効果は認められず ($F(1, 24) = 2.56, n.s.$)。また、部位の主効果が認められ、Pz, Fz が Cz, C3, C4 より長い潜時であった ($F(4, 96) = 2.78, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.10$)。条件の主効果は認められなかった ($F(1, 24) = 0.36, n.s.$)。また 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 0.82, n.s.$)、それぞれの 1 次交互作用については群×部位のみ認められ ($F(4, 96) = 0.88, n.s.$)、群×刺激 ($F(1, 24) = 0.24, n.s.$)、刺激×部位 ($F(4, 96) = 0.67, n.s.$) では認められなかった。

N200 振幅では、群の主効果は認められず ($F(1, 24) = 2.92, n.s.$)、部位の主効果は認められ ($F(1, 24) = 5.14, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.34$)、Cz, Pz が Fz, C3, C4 より有意に低い振幅値であった。また、刺激の主効果も認められ ($F(1, 24) = 11.55, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.33$)、NoGo 刺激が Go 刺激時よりも有意に高い振幅値であった。また 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 2.14, n.s.$)、それぞれの 1 次交互作用についても認められなかった、群×刺激 ($F(1, 24) = 0.01, n.s.$)、群×部位 ($F(4, 96) = 1.60, n.s.$)、刺激×部位 ($F(4, 96) = 2.18, n.s.$)。

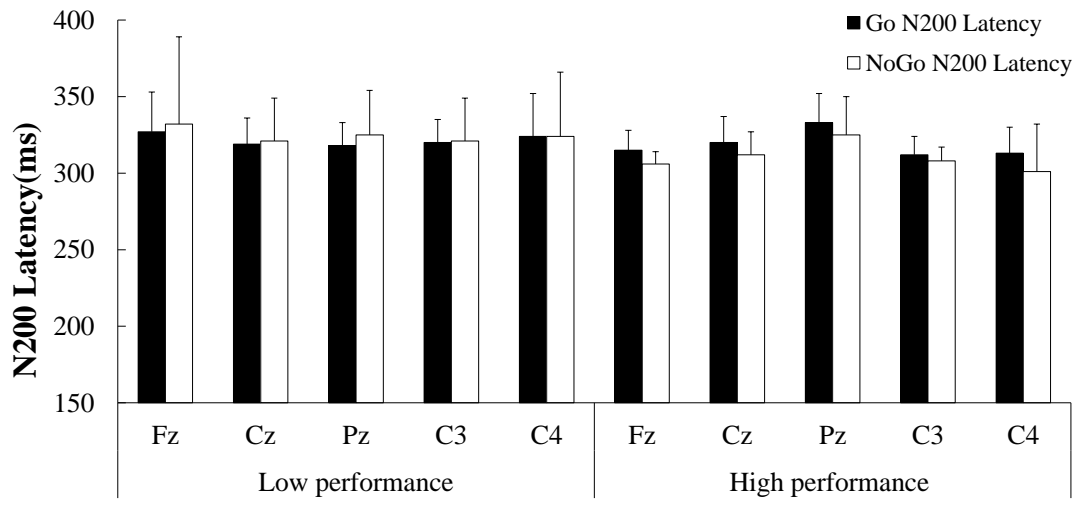


Fig.22 N200 潜時における 3 要因分散分析の結果.

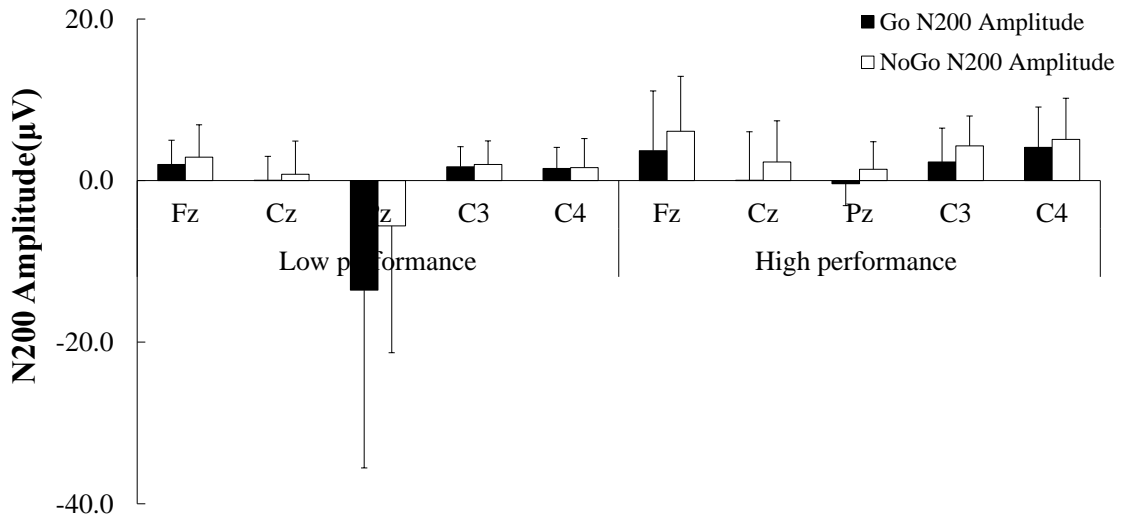


Fig.23 N200 振幅における 3 要因分散分析の結果.

3.3.6 Event-related potentials: ERPs (P300)

Fig .24, Fig .25 には, H 群と L 群の P300 潜時, 振幅の平均値及び標準偏差を示した. 3 要因分散分析の結果, P300 潜時では群の主効果が認められ, H 群は L 群より有意に短い潜時であった ($F(1, 24) = 7.37, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.23$). また, 刺激及び部位の主効果は認められなかった ($F(1, 24) = 0.62, n.s.$), ($F(4, 96) = 0.35, n.s.$). また 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 0.70, n.s.$), それぞれの 1 次交互作用についても認められなかった [群×刺激 ($F(1, 24) = 0.81, n.s.$), 群×部位 ($F(4, 96) = 0.49, n.s.$), 刺激×部位 ($F(4, 96) = 1.12, n.s.$)].

P300 振幅では, 群の主効果は認められなかったが ($F(1, 24) = 0.26, n.s.$), 刺激の主効果は認められ, NoGo 刺激が Go 刺激と比較して振幅が有意に大きかった ($F(1, 24) = 4.71, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.16$). また, 部位の主効果 ($F(4, 96) = 4.03, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.14$) も認められたため, 多重比較検定を行った結果, Pz, Cz が Fz, C3, C4 と比較して振幅が有意に大きかった. 2 次交互作用は認められず ($F(4, 96) = 0.42, n.s.$), それぞれの 1 次交互作用も認められなかった, 群×刺激 ($F(1, 24) = 0.00, n.s.$), 群×部位 ($F(4, 96) = 0.40, n.s.$), 刺激×部位 ($F(4, 96) = 0.76, n.s.$).

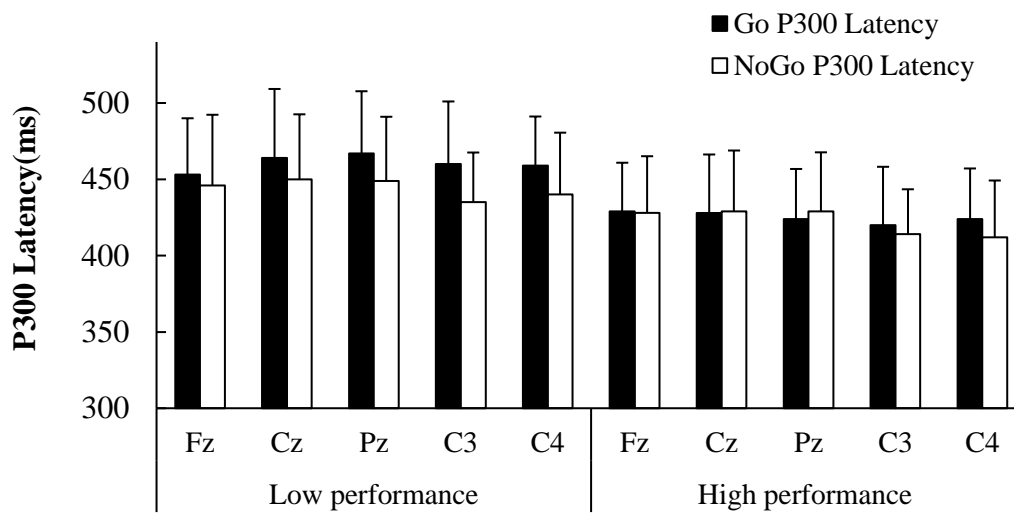


Fig.24 P300 潜時における 3 要因分散分析の結果.

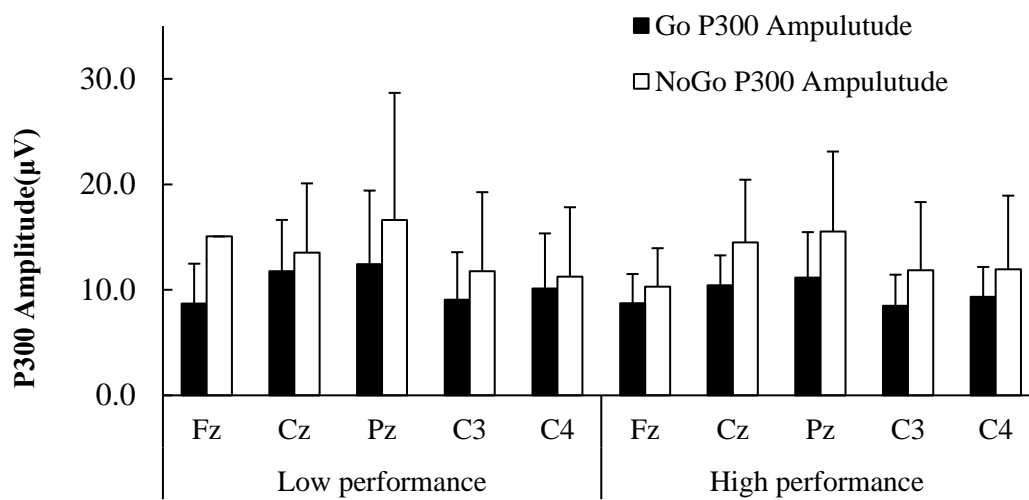


Fig.25 P300 潜時における 3 要因分散分析の結果.

3.3.7 EMG-RT と P100 潜時の比較

EMG-RT と Go P100 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められ ($F(1, 24) = 4.28, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.15$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 4.28, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.15$) 及び実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 7.63, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.24$), 多重比較の結果, E 群と L 群ともに, GoP100 潜時は EMG-RT より有意に短い潜時であり, EMG-RT, GoP100 潜時ともに E 群が L 群よりも短かった.

EMG-RT と NoGo P100 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められず ($F(1, 24) = 2.59, n.s.$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 386.85, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.94$) が認められ, NoGo P100 潜時は EMG-RT より有意に短い潜時であった. また, 実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 8.05, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.25$), E 群が L 群よりも EMG-RT と NoGoP100 潜時を平均した時間が短かった.

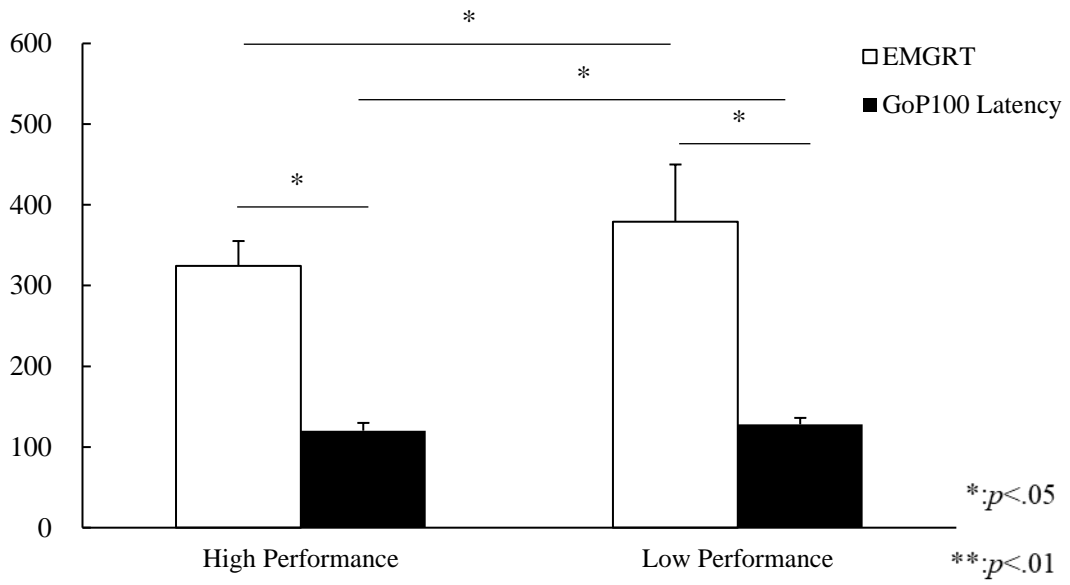


Fig. 26. EMG-RT と GoP100 潜時の比較

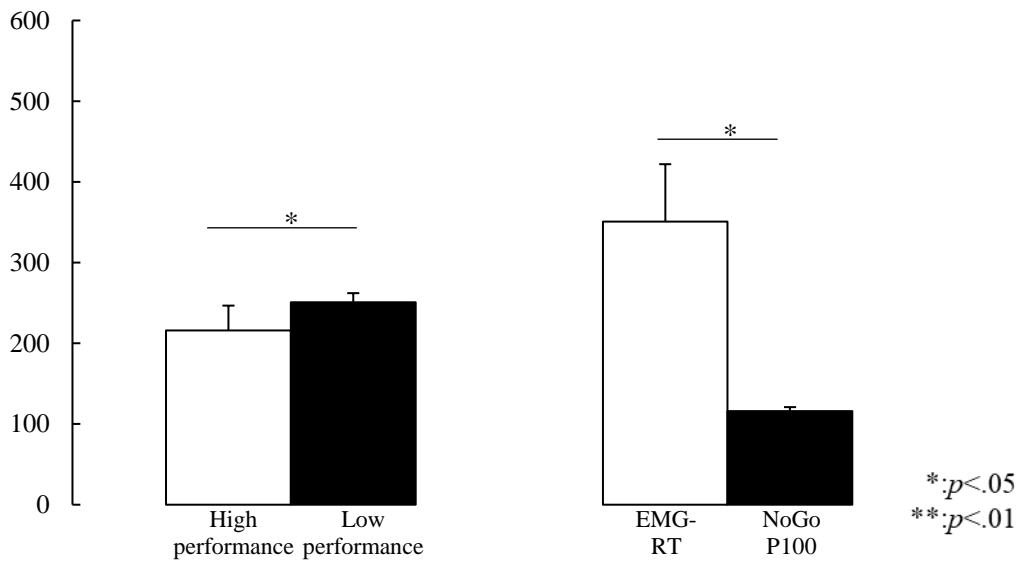


Fig 27. EMG-RT と NoGoP100 潜時の比較

3.3.8 EMG-RT と N200 潜時の比較

EMG-RT と Go N200 潜時の 2 要因分散分析の結果, 交互作用は認められ ($F(1, 24) = 5.87, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.20$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 14.62, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.38$) 及び実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 8.71, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.27$), 多重比較の結果, E 群は GoN200 潜時と EMGRT には有意な差はみられなかったが, L 群は GoN200 潜時が EMG-RT よりも有意に短かった. また, EMG-RT は H 群が L 群よりも有意に短く, GoN200 潜時では H 群が L 群よりも有意に短い傾向差が認められた.

EMG-RT と NoGo N200 潜時の 2 要因分散分析の結果, 交互作用は認められ ($F(1, 24) = 7.07, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.22$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 10.26, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.30$) 及び実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 4.72, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.16$), 多重比較の結果, E 群は NoGoN200 潜時と EMGRT には有意な差はみられなかったが, L 群は N200 潜時が EMG-RT よりも有意に短かった. また, EMG-RT は H 群が L 群よりも有意に短く, NoGoN200 潜時では H 群と L 群における有意差は認められなかった.

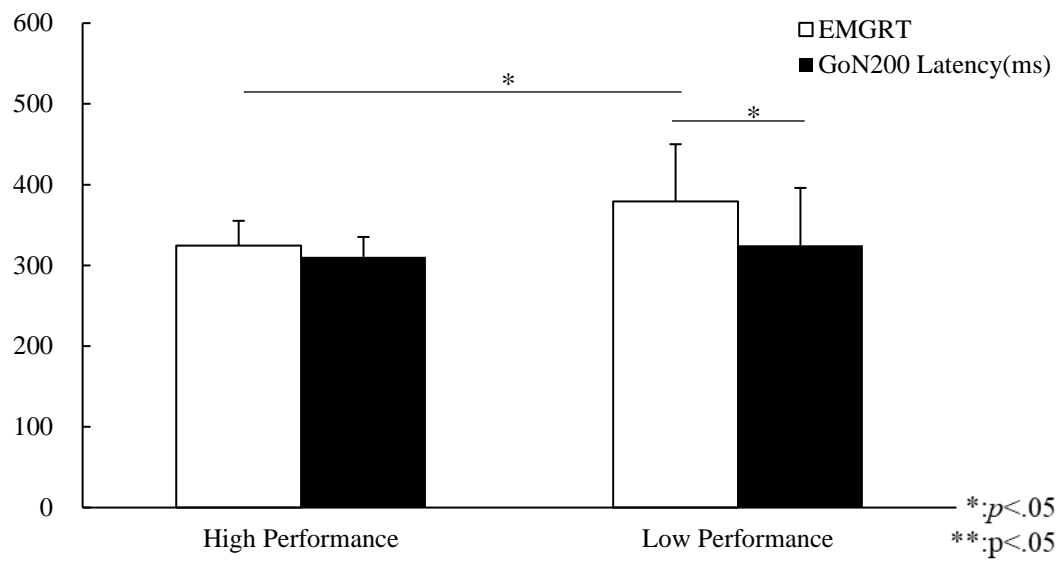


Fig.28. EMG-RT と GoN200 潜時の比較

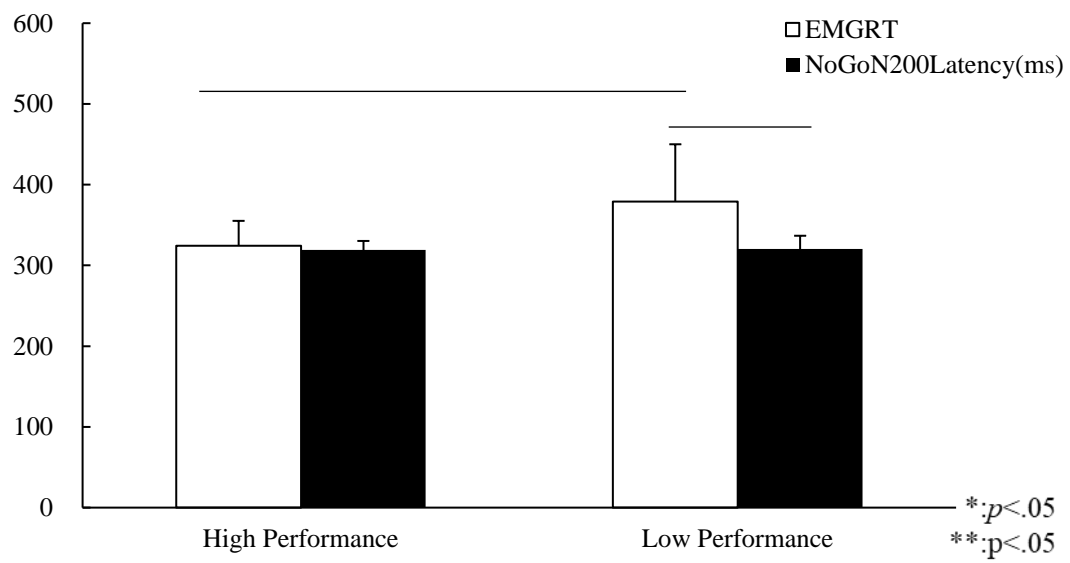


Fig 29. EMG-RT と NoGoN200 潜時の比較

3.3.9 EMG-RT と P300 潜時の比較

EMG-RT と Go P300 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められず ($F(1, 24) = 0.55, n.s.$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 50.51, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.67$) が認められ、EMGRT は GoP300 潜時より有意に短い潜時であった。また、実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 12.62, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.34$), E 群が L 群よりも EMG-RT と GoP300 潜時を平均した時間が短かった。

EMG-RT と NoGo P300 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められず ($F(1, 24) = 2.37, n.s.$), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 58.60, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.70$) が認められ、EMGRT は NoGoP300 潜時より有意に短い潜時であった。また、実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 6.41, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.21$), E 群が L 群よりも EMG-RT と GoP300 潜時を平均した時間が短かった。

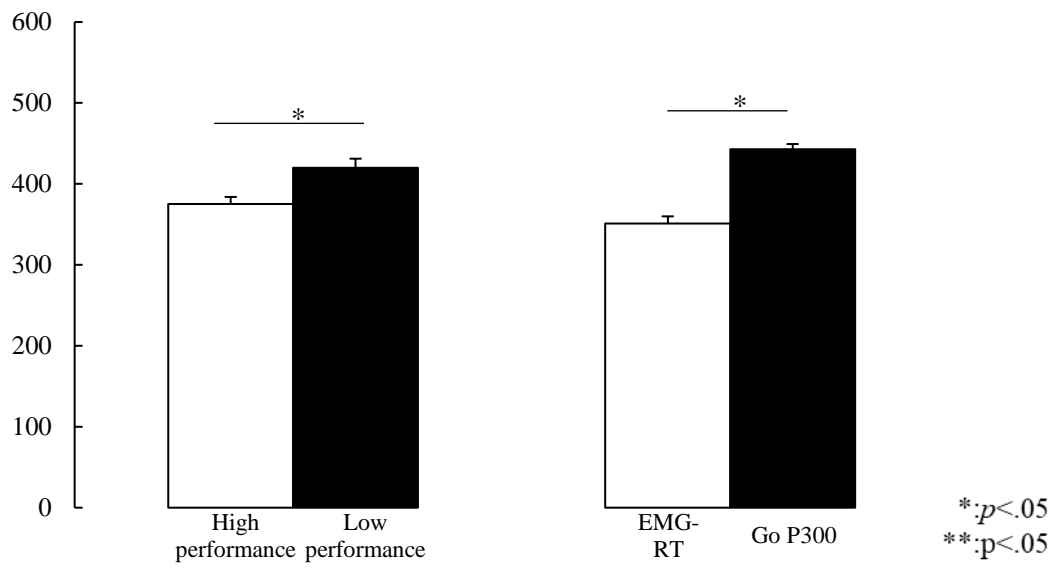


Fig 30. EMG-RT と GoP300 潜時の比較

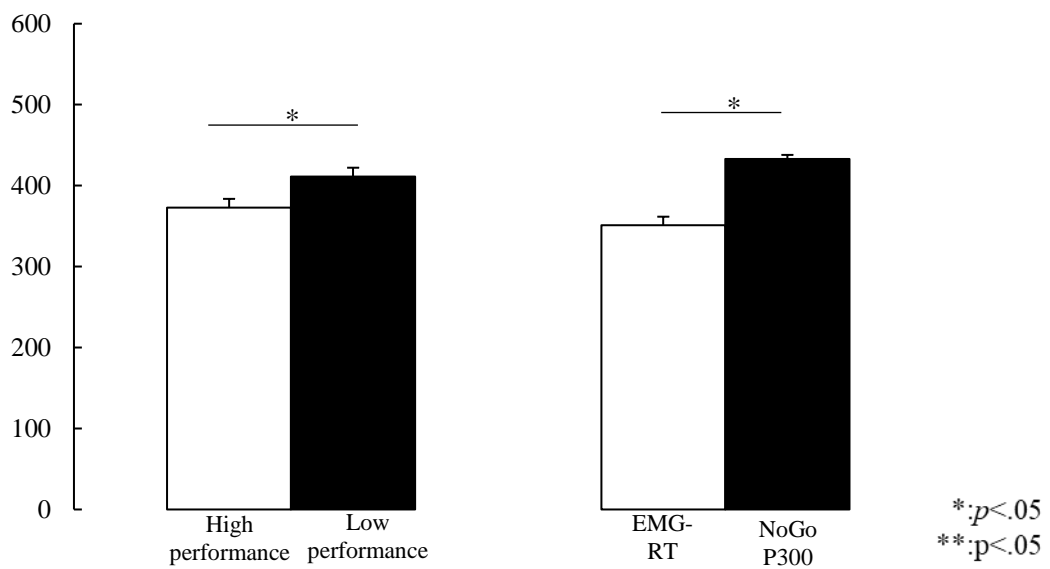


Fig 31. EMG-RT と NoGoP300 潜時の比較

3.3.10 RT と P300 潜時の比較

RT と Go P300 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められず ($F(1, 24) = 0.55$, n.s.), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 1.80$ n.s.) は認められなかったが、実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 10.87$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.31$), E 群が L 群よりも RT と GoP300 潜時を平均した時間が短かった。

RT と NoGo P300 潜時の 2 要因分散分析の結果、交互作用は認められず ($F(1, 24) = 1.51$, n.s.), 成分の主効果 ($F(1, 24) = 5.75$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.19$) が認められ、NoGoP300 潜時は EMGRT より有意に短い潜時であった。実験参加者間における群の主効果が認められ ($F(1, 24) = 6.03$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.20$), E 群が L 群よりも RT と NoGoP300 潜時を平均した時間が短かった。

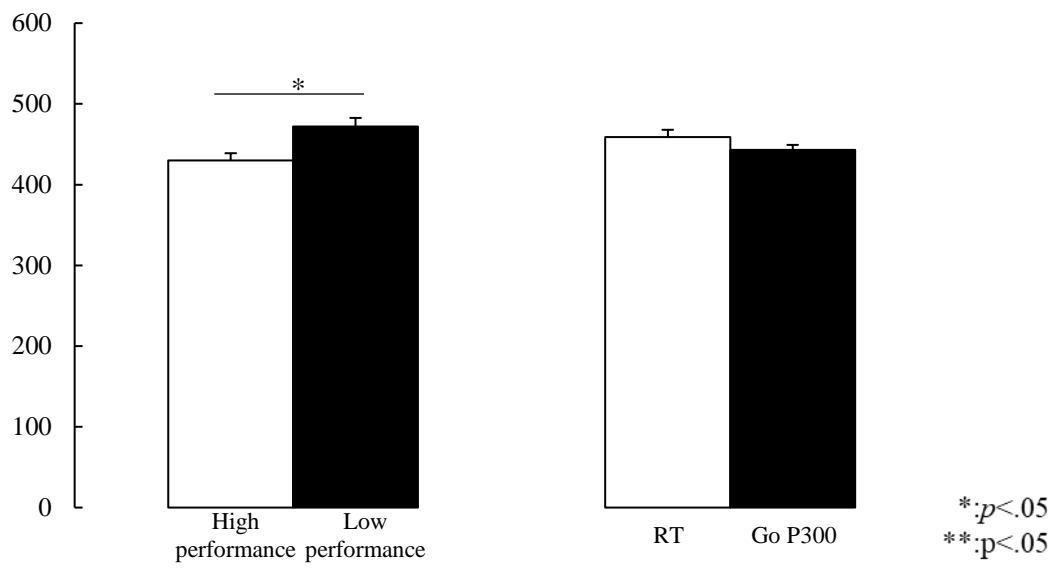


Fig 32. RT と GoP300 潜時の比較

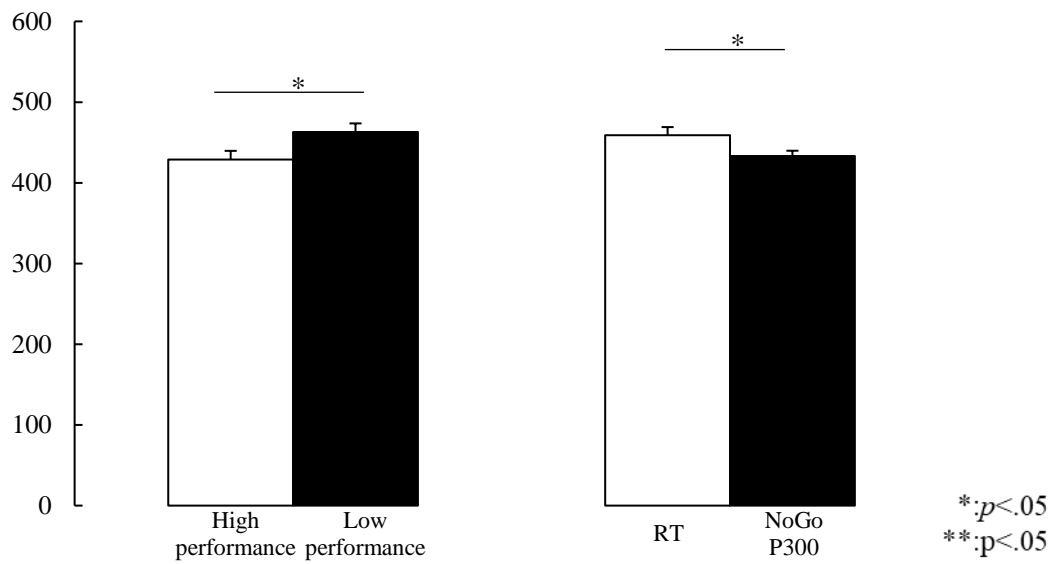


Fig 33. RT と NoGoP300 潜時の比較

3.3.11 EMG-RT と ERPs 各成分の関連性

Fig. 34 には EMG-RT と P100 潜時 (Go P100, NoGo P100), N200 潜時 (Go N200, NoGo N200), P300 潜時 (Go P300, NoGo P300) の散布図を示した. 運動反応処理の指標である EMG-RT と感覚・刺激処理の指標である P100 (Go P100, NoGo P100) の相関分析の結果, EMG-RT と P100 では, Go P100 潜時, NoGo P100 潜時ともに相関は認められず ($r=0.14$), ($r=0.27$), Go P100 振幅, NoGo P100 振幅においても相関は認められなかった ($r=0.17$; $r=0.34$).

EMG-RT と N200 では, Go N200 潜時 ($r=0.46$), NoGoN200 潜時 ($r=0.50$) ともに有意な正の相関を示した. Go N200 振幅, NoGo N200 振幅においても相関は認められなかった ($r=-0.23$; $r=-0.34$).

EMG-RT と P300 では, Go P300 潜時には相関は認められなかったが ($r=0.19$), NoGoP300 潜時には有意な相関を示した ($r=0.41$). また, Go P300 振幅, NoGo P300 振幅においては, 相関は認められなかった ($r=0.11$; $r=0.07$).

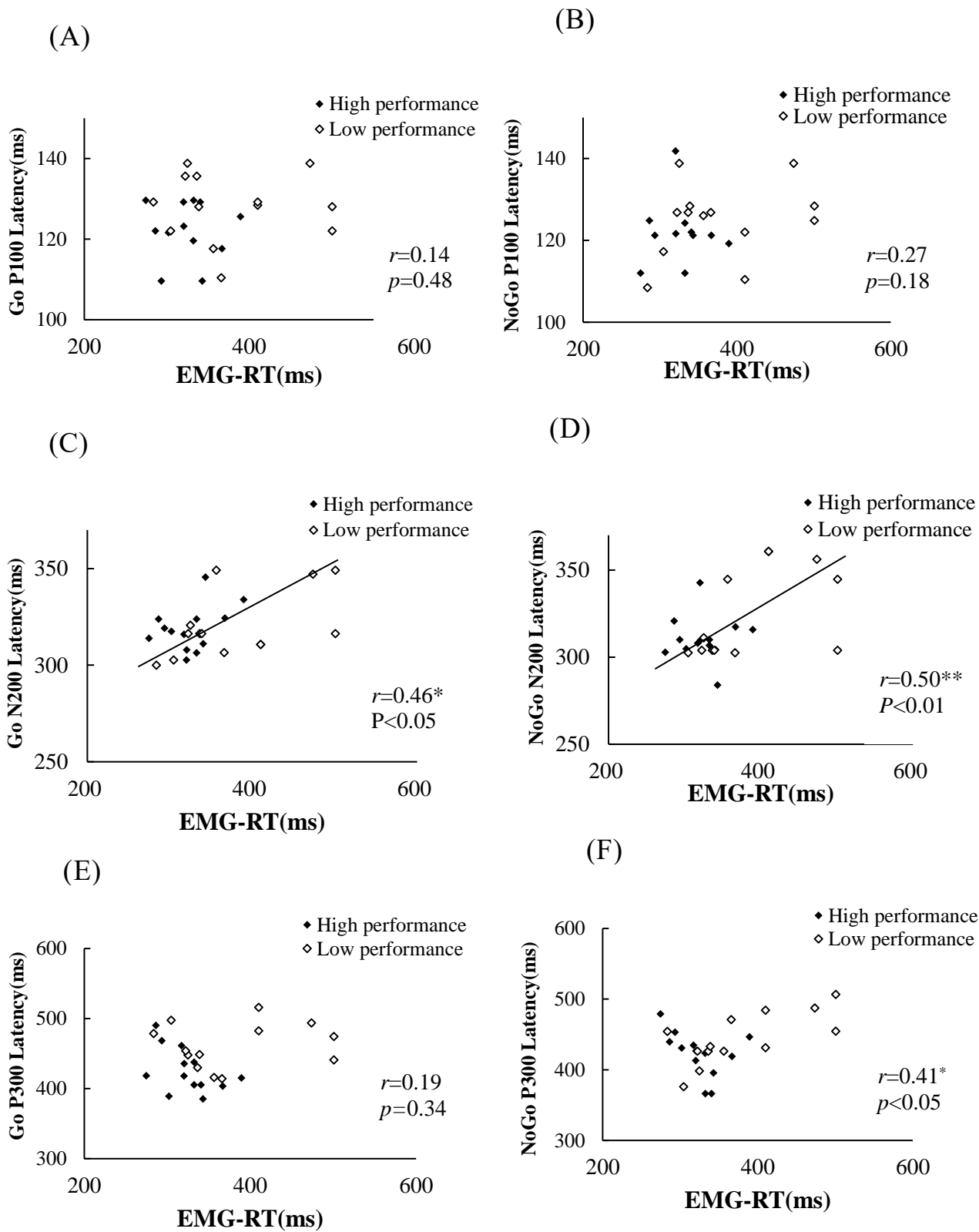


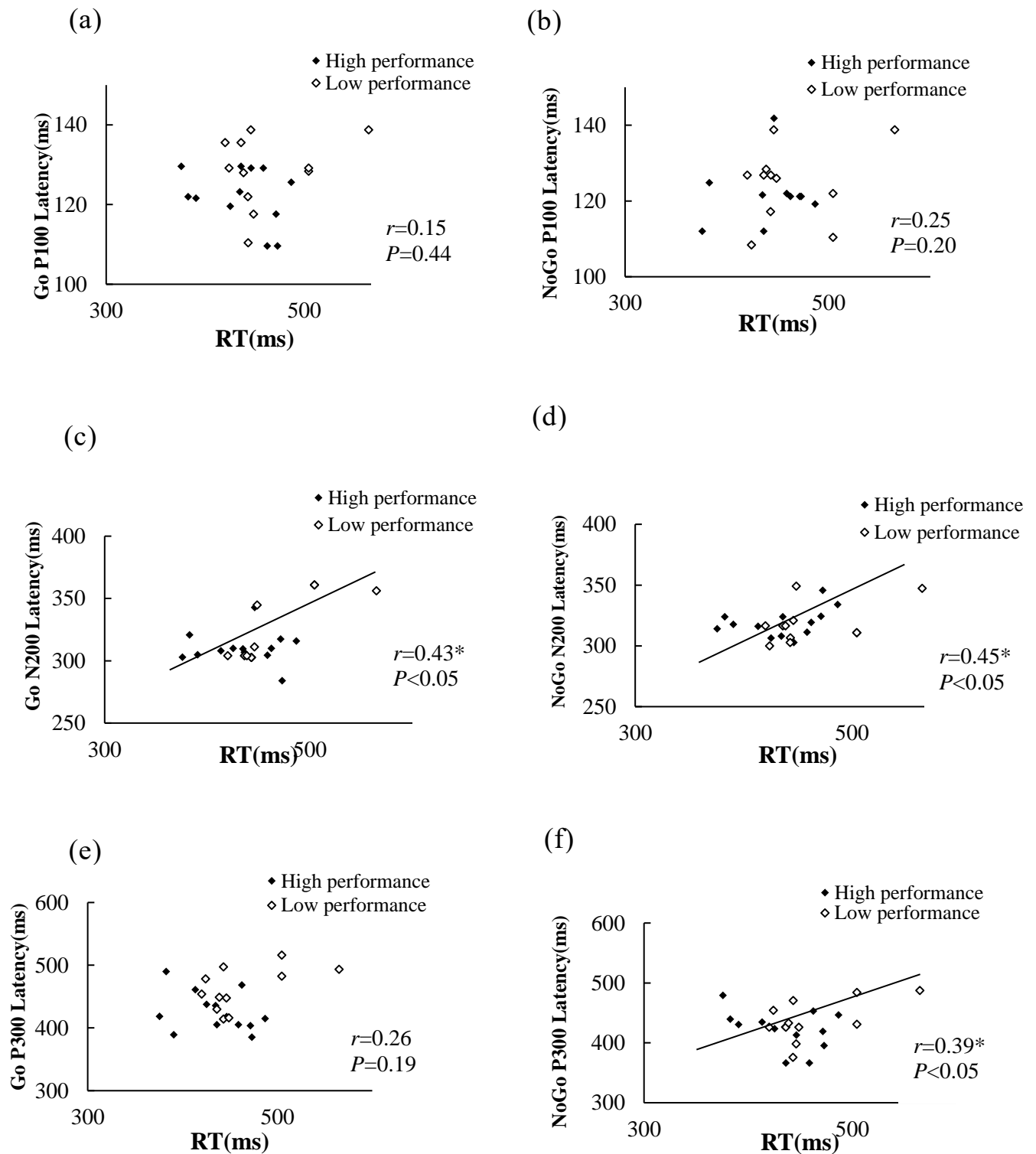
Fig.34 EMG-RT と ERPs 潜時の関連性 (散布図)

3.3.12 RT と ERPs 各成分の関連性

Fig. 35 には RT と P100 潜時 (Go P100, NoGo P100), N200 潜時 (Go N200, NoGo N200), P300 潜時 (Go P300, NoGo P300) の散布図を示した. 運動反応処理の指標である RT と感覚・刺激処理の指標である P100 (Go P100, NoGo P100) の相関分析の結果, RT と P100 では, Go P100 潜時, NoGo P100 潜時ともに有意な相関は認められず ($r=0.15$; $r=0.25$), Go P100 振幅, NoGo P100 振幅においても有意な相関は認められなかった ($r=0.10$; $r=0.34$).

RT と N200 では, Go N200 潜時 ($r=0.43$), NoGoN200 潜時 ($r=0.45$) ともに有意な正の相関を示した. Go N200 振幅, NoGo N200 振幅においても有意な相関は認められなかった ($r=-0.26$; $r=-0.20$).

RT と P300 では, Go P300 潜時には相関は認められなかったが ($r=0.26$), NoGoP300 潜時には有意な相関を示した ($r=0.39$). また, Go P300 振幅, NoGo P300 振幅においては, 有意な相関は認められなかった ($r=0.07$; $r=0.01$).



数値は相関係数(r)を示す. *: $p<0.05$, **: $p<0.01$.

Fig .35 RT と ERPs 潜時の関連性 (散布図)

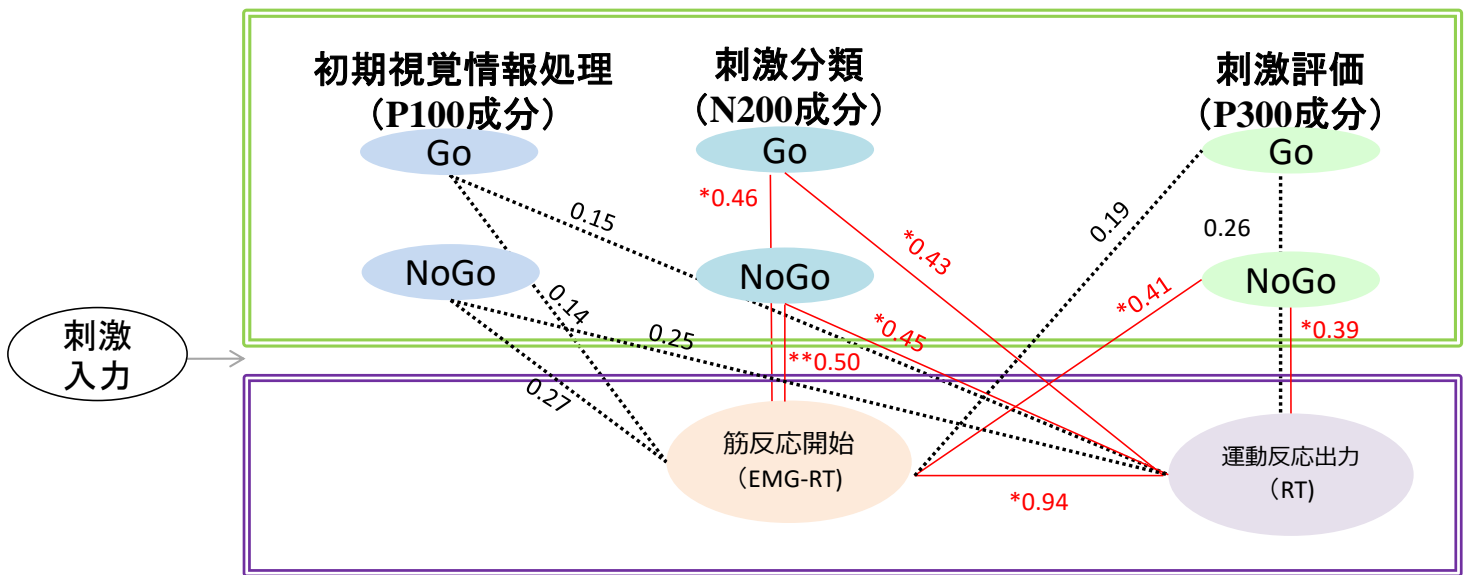


Fig .36 感覚・刺激評価処理系指標と運動・反応処理系指標の関連性 (相関係数)

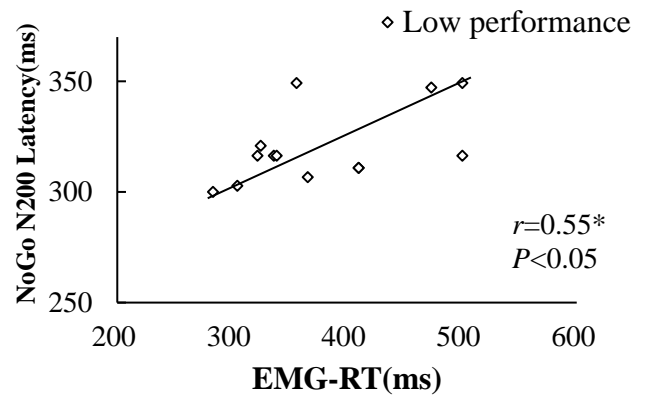
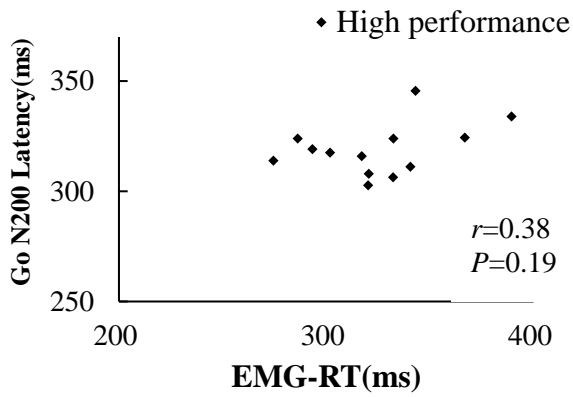
3.3.13 H 群と L 群別による EMG-RT と ERPs 各成分の関連性

EMG-RT と ERPs 潜時の関連性を H 群と L 群に分けて相関分析を行った結果、H 群において EMG-RT と P100 潜時では Go P100 潜時、NoGo P100 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=0.04$; $r=0.17$)。N200 潜時では、Go N200 潜時、NoGo N200 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=0.38$; $r=0.01$)。P300 潜時でも同様に Go P300 潜時、NoGo P300 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=-0.46$; $r=-0.41$)。

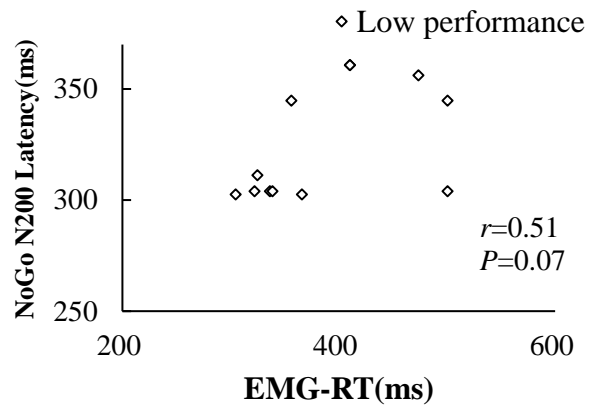
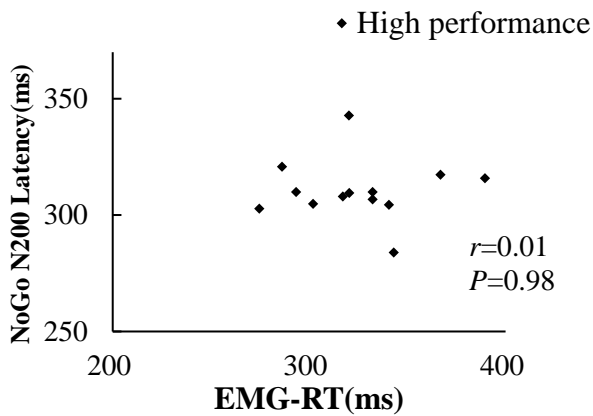
L 群において、EMG-RT と P100 潜時では Go P100 潜時、NoGo P100 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=-0.03$; $r=0.28$)。N200 潜時では、Go N200 潜時では有意な正の相関関係が認められ ($r=0.55$)、NoGo N200 潜時では 10%水準での有意傾向な相関関係が認められた ($r=0.51$)。P300 潜時では Go P300 潜時では有意な相関関係は認められなかったが ($r=0.17$)、NoGo P300 潜時では有意な正の相関関係が認められた ($r=0.69$)。

Fig. 37 には H 群と L 群別で有意な相関が認められた EMG-RT と N200 潜時 (NoGo N200)、P300 潜時 (NoGo P300)、RT と P300 潜時 (NoGoP300) の散布図を示した。

EMG-RT と GoN200 潜時



EMG-RT と NoGoN200 潜時



EMG-RT と NoGoP300 潜時

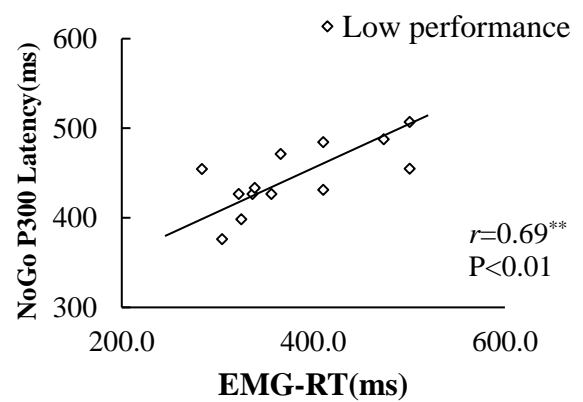
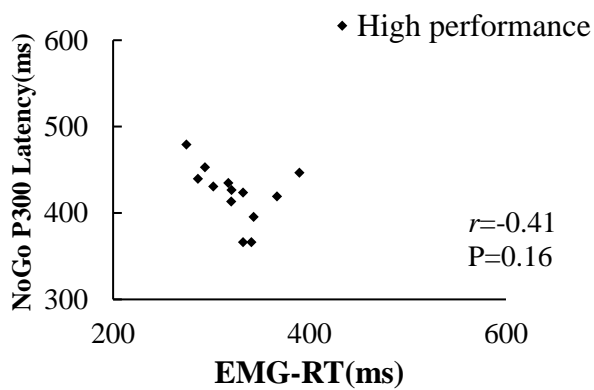


Fig.37 H 群と L 群別による EMG-RT と ERPs 各成分の関連性 (散布図)

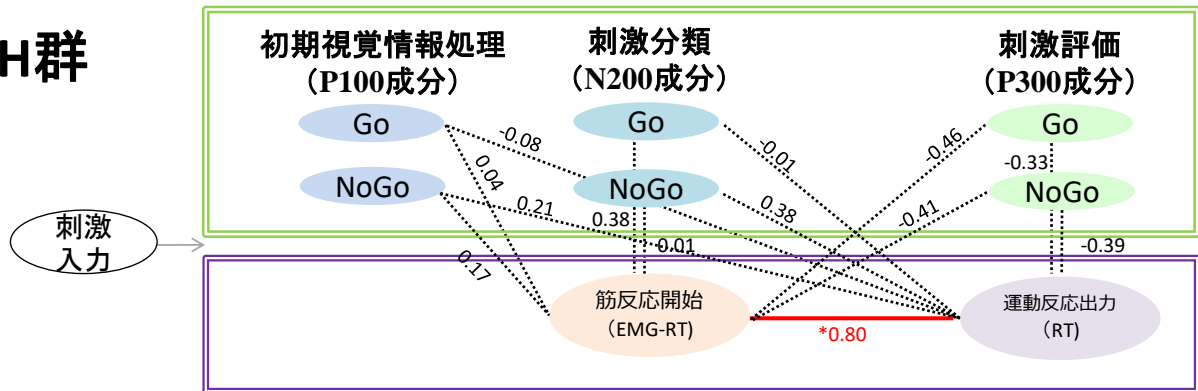
3.3.14 H 群と L 群別による RT と ERPs 各成分の関連性

RT と ERPs 潜時の関連性を H 群と L 群に分けて相関分析を行った結果, H 群において RT と P100 潜時では Go P100 潜時, NoGo P100 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=-0.08$; $r=0.21$). N200 潜時では, Go N200 潜時, NoGo N200 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=-0.01$; $r=0.38$). P300 潜時でも同様に Go P300 潜時, NoGo P300 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=-0.33$; $r=-0.39$).

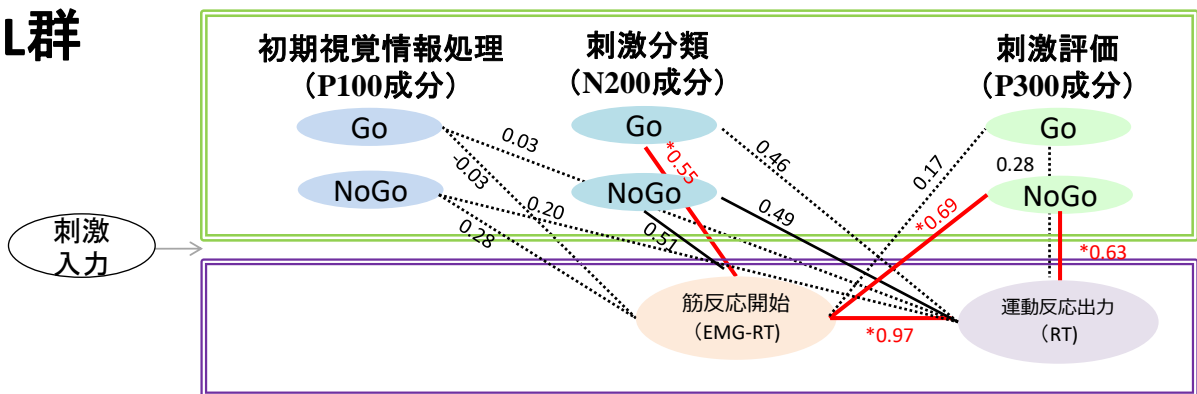
L 群において RT と P100 潜時では Go P100 潜時, NoGo P100 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=0.03$; $r=0.20$). N200 潜時では, Go N200 潜時, NoGo N200 潜時ともに有意な相関は認められなかった ($r=0.46$; $r=0.49$). Go P300 潜時では有意な相関関係は認められなかったが ($r=0.28$), NoGo P300 潜時では有意な相関関係が認められた ($r=0.63$).

Fig.38 には各群別の感覚・刺激評価処理系指標と運動・反応処理系指標の関連性(相関係数)を示す.

H群



L群



— : $p < 0.05$, — : $p < 0.1$ の有意傾向

上記の各指標の配置において L 群は N200 潜時が EMG-RT よりもよりも早かったことを示している。

Fig. 38 H 群と L 群における感覚・刺激評価処理系指標と運動・反応処理系指標の関連性の違い (相関係数)

3.3.15 競技経験年数との各指標の関連性

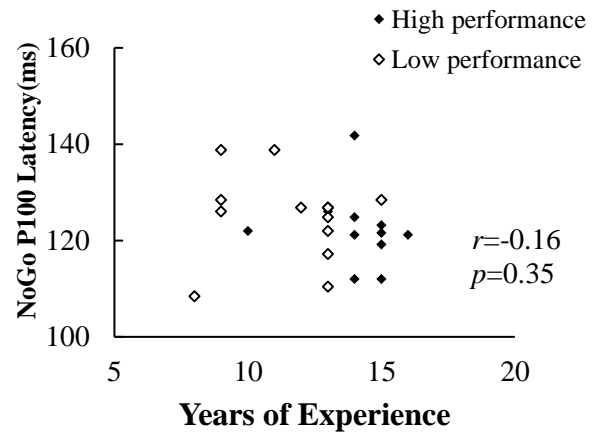
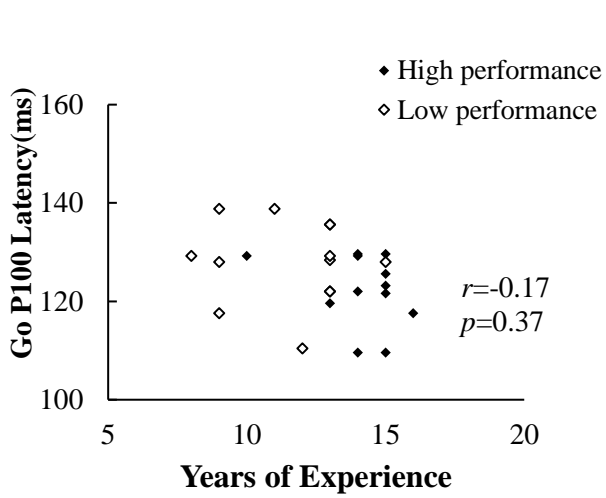
Fig. 39, Fig.40 には競技経験年数と P100 潜時 (Go P100, NoGo P100), P300 潜時 (Go P300, NoGo P300), EMG-RT 及び RT との散布図を示した。競技経験年数と測定した各指標 (P100 (Go P100, NoGo P100), N200 (Go N200, NoGo N200), P300 (Go P300, NoGo P300)) の相関分析の結果, P100 では有意な相関関係は認められなかった (Go P100Latency ($r=-0.17$), NoGo P100 Latency ($r=-0.16$), Go P100Amplitude ($r=-0.32$), NoGo P100 Amplitude ($r=-0.25$)).

N200 においても有意な相関関係は認められなかった (Go N200Latency ($r=-0.05$), NoGo N200 Latency ($r=-0.28$), Go N200Amplitude ($r=0.36$), NoGo N200 Amplitude ($r=-0.08$)).

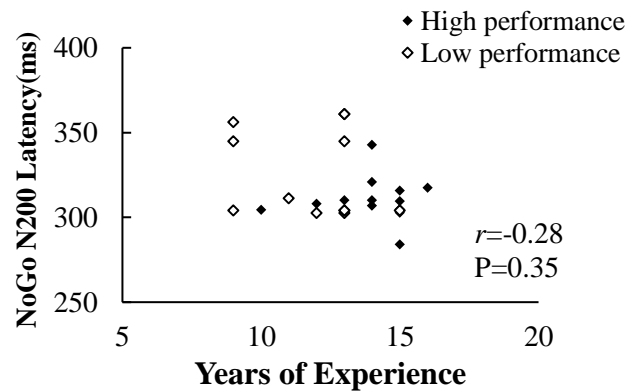
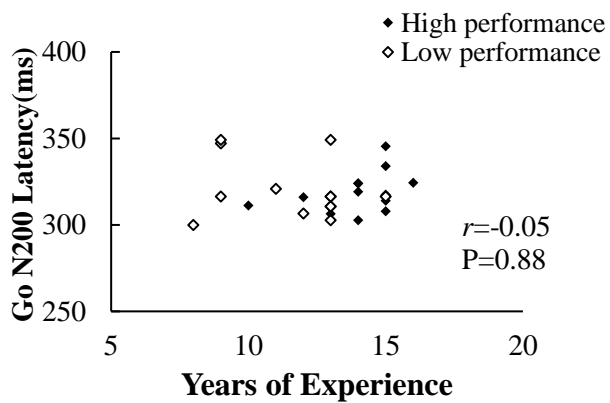
P300 成分においても同様に相関関係は認められなかった (Go P300 Latency ($r=-0.24$), NoGo P300 Latency ($r=-0.01$), Go P300 Amplitude ($r=-0.34$), NoGo P300 Amplitude ($r=-0.03$)).

EMG-RT ($r=-0.03$), RT (-0.02) では, 有意な相関関係は認められなかった。

競技経験年数と P100 潜時



競技経験年数と N200 潜時



競技経験年数と P300 潜時

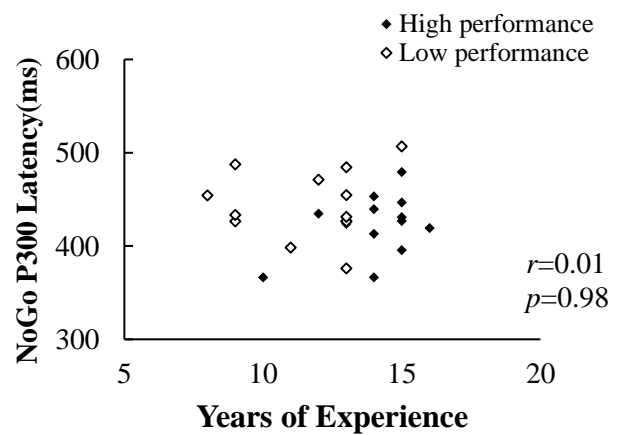
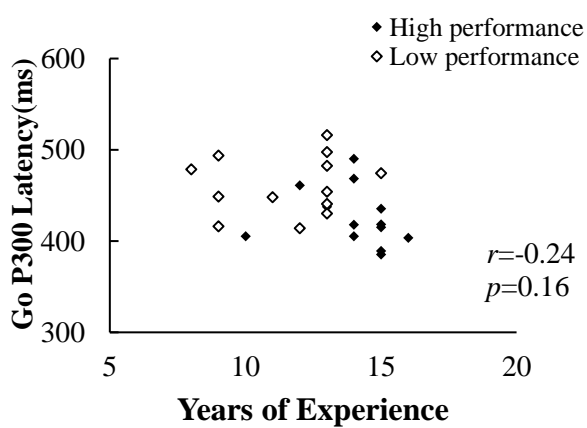


Fig.39 競技経験年数と ERPs(潜時)

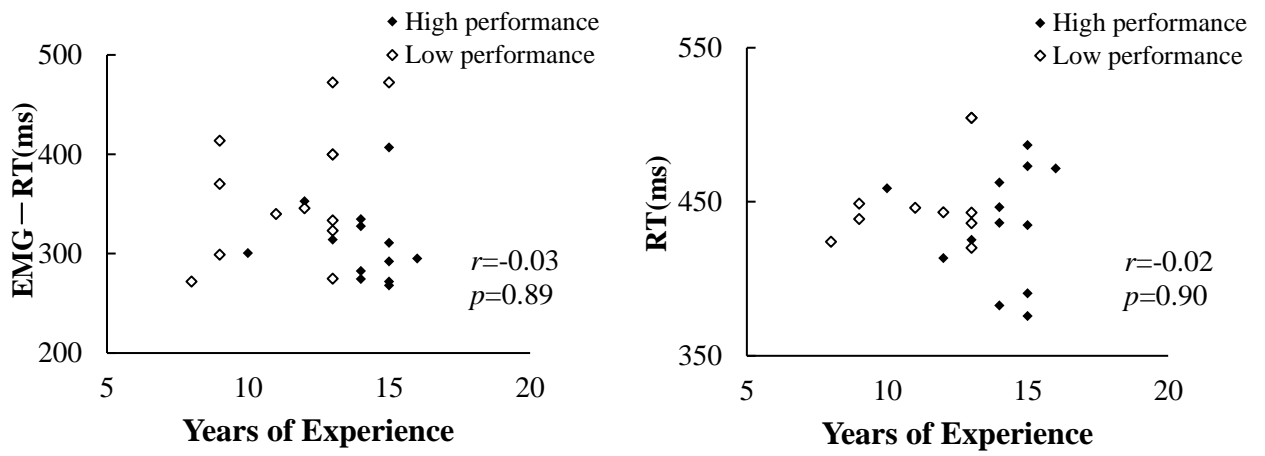


Fig40 競技経験年数と EMG-RT 及び RT

3.4 考察

3.4.1 EMG-RT 及び RT, 正答率について

本研究では、競技力が異なる大学生サッカー選手を対象にサッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題中の EMG-RT, RT, 及び ERPs (P100, P300) の計測を行った。運動・反応処理を反映する指標として計測した EMG-RT と RT では有意な相関関係が認められた。RT は EMG-RT に大きく左右されることが報告されているが (Botwinick and Thompson, 1966), 本研究においても同様に、最終出力である RT には EMG-RT が大きく反映されていることが認められた。なお、H 群の EMG-RT 及び RT は L 群よりそれぞれ 48ms, 55ms 有意に短かった。以下では EMG-RT を運動反応出力の指標の中心として考察を行う。EMG-RT は長期的なトレーニングにより短縮することや (Prince et al., 1977 ; 与那ほか, 1990 ;), スポーツ競技種目に特化したトレーニングの内容 (量・質) の違いが EMG-RT の短縮に関連することが報告されている (Nishihira et al., 1991)。したがって、本研究において H 群の EMG-RT が、L 群より短くなっていることは、H 群と L 群のこれまで経験してきたトレーニングの水準 (量・質) の違いを反映している可能性が推測される。

また、正答率では刺激の主効果が認められ、Go 刺激は NoGo 刺激より有意に高い正答率であった。そのため、本研究のパス選択場面を想定した選択反応課題における、NoGo 刺激に対する「反応を行わない反応」は、Go 刺激での反応よりも難易度が高いことが示された。また、群の主効果も認められ、H 群は L 群より有意に高い正答率であったことから、H 群が L 群と比較して正確な運動・反応の出力を実施していたことが示唆された。つまり、H 群はパス選択を行う場面において、L 群よりも正確かつ早い運動・反応の出力を実施できる機能を有すると考えられる。

3.4.2 Event-related potentials: ERPs について

P100 潜時では、H 群が L 群と比較して有意に短い潜時を示し、更に部位間の有意差も認められた (Fz が Cz, Pz, C3, C4 より遅い潜時)。P100 は、後頭部一次視覚野での初期反応であり、視覚情報処理の機能評価に用いられている。これまでスポーツ選手を対象とした先行研究において、熟練したバレーボール選手は、非アスリートや非熟練者よりも P100 潜時が短いことから、視覚経路における神経伝達の手が早いことが報告されている (Zwierko et al., 2010)。また、Hülsdünker et al. (2016) は、視覚運動反応課題において、バドミントン選手は非アスリートより視覚運動反応時間 (visuomotor reaction time: VRT) が短いことを報告している。バレーボールやバドミンントンの競技選手は、極僅かな限られた時間の中でのプレーの選択、運動・反応を繰り返し行うといった競技特性が、視覚情報処理機能の向上を促すと考えられている。サッカーにおいても、競技力レベルに比例して相手選手からのプレッシャーのスピードは上がると推測され、その状況下で反復してプレーをしている競技力が高い選手は、低い選手と比較して視覚情報処理機能が向上する可能性は十分にあると思われる。したがって、本実験の H 群は L 群より、視覚情報処理を迅速に行う機能を有している可能性が考えられる。潜時の部位間の差異については、P100 が一次視覚野での初期反応であるため、前頭部の Fz が他部位よりも反応の遅れがみられ、部位間の差異があったと考えられる。

また、P100 振幅では、L 群が H 群よりも振幅値が有意に大きく、部位間 (Cz, Pz が C3, C4 より大きい) の差異も認められた。Sanchez et al. (2016) では、武道の熟練者と初心者を対象として、熟練者が初心者と比較して P100 の振幅が大きいことを報告しているが、本実験では競技力が低い L 群が H 群よりも振幅値が大きかった。P100 振幅は刺激に対する注意レベルを反映するため、本実験での L 群が H 群より刺激に対しての注意レベルが高かったことが示唆される。以上、P100 潜時、振幅に関する結果

から、H 群はパス選択を行う場面において L 群と比較して視覚刺激に対する低い注意レベルにもかかわらず、視覚情報処理を迅速に行う機能を有すると考えられる。

N200 潜時では、H 群と L 群における有意な差はみられなかった。N200 成分は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であることから、本実験における H 群と L 群は入力された視覚刺激の画像を「Go」または「NoGo」であるかを分類する処理過程に違いがないことが示された。研究課題①において、一般的な選択反応課題でサッカー熟練者と非熟練者の間には、N200 潜時で群間の有意な差がみられ Expert 群が Novice 群よりも複雑な刺激の分類処理が早いことが示されたが、研究課題②での競技水準がことなる H 群と L 群の間には刺激分類処理における違いはなかった。また、部位間において Pz, Fz が Cz, C3, C4 より長い潜時であった。

N200 振幅では、部位間の主効果が認められ Fz, C3, C4 が Cz, Pz がより有意に高い振幅値であった。投石 (1990) は、N200 は前頂部で最大振幅が広がる傾向があることを報告しており、このことから本研究における頭頂部である Cz と Pz に違いがみられたと考えられる。また、刺激間にも主効果が認められ NoGo 刺激が Go 刺激時よりも有意に高い振幅値であった。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されており、この構えとは反応の準備状態を反映する。つまり、本実験における NoGo 刺激に対する準備が Go 刺激時よりも構えが大きく、準備状態がつくられていたことが考えられる。

P300 潜時では、H 群が L 群と比較して有意に短い潜時を示し、P300 振幅では参加者群間における有意な差はみられなかったが、Go NoGo 課題間で有意差がみられた。また、P300 振幅の部位の主効果も認められ、Pz, Cz が C3, C4 と比較して有意に大きく、頭頂部優勢の頭皮上分布を示した。Courchesne (1978) や Johnson (1993) は、P300 の特性として振幅値が頭頂部優勢の頭皮上分布を示すことを報告している。つまり、本実験で同定した P300 は情報処理過程における感覚・刺激処理の刺激評価を妥当に

反映しているものと考えられる。P300 潜時の短縮に関して、Iwadate et al. (2005) は、体性感覚の刺激に対する選択反応課題を実施した際、サッカー選手は非アスリートよりも P300 潜時が有意に短く、長期的なトレーニングが体性感覚の刺激評価の早さに影響を与えることを報告している。本実験においても、刺激呈示方法や比較対象は異なるが、Iwadate et al. (2005) と同様に、H 群の P300 潜時は L 群より有意に短く、選択反応課題における視覚刺激の入力および出力を評価する処理時間が短くなっている。一方、P300 振幅では、参加者群間の有意な差は見られていない。Sanchez et al. (2016) は、熟練した武道選手は、初心者の武道選手と比較して P300 振幅が大きく、熟練者が初心者より注意資源の配分量大きいことを報告している。しかし、本実験では、Sanchez et al. (2016) の結果とは一致せず、競技力の異なる H 群と L 群の P300 振幅に有意差はみられず、注意資源の配分量に H 群と L 群では差異がないことが推測される。さらに刺激間においては、NoGo 刺激が Go 刺激より振幅が有意に大きかった。P300 振幅は、課題遂行に必要な処理容量を反映することから Wickens et al. (1983)、NoGo 刺激時の反応抑制が Go 刺激時の反応出力に比べて処理容量を要したことが示唆される。以上、P300 潜時、振幅に関する結果から、H 群と L 群はパス選択を行う場面における、選択反応を行うための注意資源の配分量は変わらないが、H 群は L 群より入力された刺激の評価及び運動反応を評価する処理が早いことが示唆された。

3.4.3 感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理の早さの比較

EMG-RT と P100 潜時の比較では、GoP100、NoGoP100 潜時ともに EMG-RT と比較して有意に短い潜時であったことから、初期視覚情報処理が運動反応の開始よりも先行して処理されていることが示された。また、EMG-RT と N200 潜時の比較では H 群の GoN200 潜時と EMG-RT には有意な差はみられなかったが、L 群における GoN200 潜時が EMG-RT よりも有意に短かった。この結果は、EMG-RT と NoGoN200

潜時でも同様の結果を示した。H群は刺激が入力されてから視覚刺激を「Go」であるか「NoGo」であるのかを分類する処理と刺激が入力されてから運動反応を開始する処理には時間的な差はなく、並列して処理が行われていると考えられる。一方でL群は、刺激が入力され運動反応を開始するよりも前に刺激を分類することが先行して処理していることを示した。つまり、N200潜時ではH群とL群には処理の早さに違いがない両群であるが、視覚刺激が入力されてから運動・反応を開始する処理においてH群はL群よりも早いことが示されており、両群には刺激に対して反応を行う際の処理過程に何らかの違いがあることが考えられる。この点については、後の運動・反応処理と感覚・刺激処理の関連性にて検討をする。

また、EMG-RTとP300潜時の比較ではEMG-RTがGoP300、NoGoP300潜時と比較して有意に短い潜時であったことから、運動反応の開始が刺激の評価よりも早いことが示された。この点は、研究課題①でも述べたようにP300の情報処理に関する機能的意義については、入力された刺激を評価しているだけでなく、運動・反応出力も評価している可能性が示唆される。しかしながら、RTとP300潜時の比較ではRTとGoP300潜時には有意な差はみられず、RTとNoGoP300潜時の比較ではNoGoP300潜時がRTよりも有意に早かった。つまり、研究課題②での実験において、運動反応の出力はP300の表出と同等もしくは遅い傾向であることが示された。したがって、P300は入力された刺激や出力そのものを評価しているだけではなく、「組織制御系を通じた運動・反応処理系の制御のプロセス」を反映している可能性が示唆される。

3.4.4 感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理における関連性の検討

運動・反応処理と感覚・刺激処理の関連性の検討として行ったEMG-RTとP100の相関分析の結果、Go/NoGo刺激条件いずれにも有意な相関はみられなかった。つまり、最終的な運動反応の実行、反応抑制には初期の視覚情報処理は貢献していないと

推察できる。EMG-RT と N200 の関連性の検討においては、GoN200 潜時、NoGoN200 潜時ともに有意な正の相関関係が認められた。この結果は、入力された刺激を Go と NoGo に分類する処理が早い選手は、運動反応の開始が早いことを示す。しかしながら、実験参加者全体では EMG-RT と N200 潜時には有意な正の相関関係が認められたが、群別にて分析を実施した際には H 群は EMG-RT と N200 潜時に有意な相関関係は認められず、L 群だけに GoN200 潜時、NoGoN200 潜時ともに有意な正の相関関係が認められた。つまり、H 群の運動・反応出力は感覚刺激処理系における刺激の分類とは独立して処理が行われているのに対して、L 群の運動・反応出力は入力された刺激を分類する処理に依存していると考えられる。この違いに関しては、感覚・刺激評価系と運動・反応処理系における情報処理の早さの点からも説明することができる。N200 と EMG-RT における処理の早さの比較では、H 群は時間的な有意な差はなく並列して処理が行われている一方で、L 群は N200 潜時が EMG-RT よりも早いことから、刺激の分類が運動反応よりも先行して処理が行われたことが影響していると考えられる。したがって、H 群と L 群にはパス選択場面の選択反応における刺激に対する反応を行う処理過程に違いがあることが示唆される。

EMG-RT と P300 の関連性の検討においては Go P300 潜時には有意な相関は認められなかったが、NoGo P300 潜時に有意な正相関が認められた。この結果は、EMG-RT（刺激呈示から反応出力までの情報処理時間）が短い選手ほど NoGo 刺激における刺激評価の処理（反応抑制処理）が短時間でなされていたことを示す。P300 が反映する刺激評価は文脈更新（context updating）も含まれることから、本研究では秋山と西平（2004）の知見を基に Go P300 潜時がその最終出力（EMG-RT）に反映されると仮説を設定した。しかし、Go P300 潜時と EMG-RT には有意な相関が認められなかったため仮説は支持されず、逆に NoGo P300 潜時（反応抑制処理）に最終出力（EMG-RT）との関連性がみられた。秋山と西平（2004）の実験では単純な聴覚・視覚刺激に

対して利き腕の肘関節を伸展する選択反応課題が用いられていたのに対して、本研究では、より実際の競技場面に近いサッカーのパス選択場面を想定した画像が視覚刺激として呈示され、左右のフットスイッチを押す選択反応課題を実験課題として設定した。これらの実験における課題の難易度の違いが、秋山と西平（2004）の実験結果と本研究の結果の違いをもたらしたのかもしれない。また、秋山と西平（2004）の実験結果と本研究結果の相違については、課題正答率や P300 振幅の点からも説明可能と思われる。すなわち、課題正答率は NoGo 条件が Go 条件より有意に低く、P300 振幅では NoGo P300 が Go P300 より有意に大きかったことから、視覚刺激に対する注意処理資源の配分量は運動・反応のための刺激評価処理よりも反応抑制の処理に多く要していたと考えられる。つまり、本研究の実験課題における刺激呈示内容や反応選択の方法は、秋山と西平（2004）の実験課題よりも複雑であることや Go 刺激に対する刺激評価処理よりも NoGo 刺激時に対する反応抑制の方が難易度は高くなっているため、秋山と西平（2004）の知見との違いに影響を及ぼしたと考えられる。

本研究では EMG-RT（Go 条件下の出力）が Go 条件ではなく NoGo 条件における P300 潜時と有意な相関が認められたが、この結果は以下のように説明することが可能である。すなわち、Go/NoGo 刺激に対する処理に関して本研究でのパス選択場面を想定した選択反応課題は、Go 刺激と NoGo 刺激がランダム呈示されるため各試行では必ずどちらの刺激かを判別することになる。したがって、Go/NoGo いずれの刺激呈示であっても両者の刺激処理系がともに活性化することが考えられ、その場合に Go, NoGo 刺激処理のいずれかが長い処理時間を要するならば、判別処理時間はより長い方の処理系に依存すると推定される。つまり、EMG-RT が Go P300 潜時ではなく NoGo P300 潜時に有意な相関があることは、Go/NoGo 刺激判別が Go 刺激ではなく NoGo 刺激処理系に強く依存したと考えられる。

しかし、群別による EMG-RT と P300 潜時の相関分析では H 群には GoP300,

NoGoP300 ともに有意な相関関係は認められず、L 群だけに NoGoP300 潜時に有意な正の相関関係が認められた。この結果は、H 群の選手は感覚刺激処理系の処理に依存しておらず、L 群の EMG-RT が早い選手は NoGo 刺激に対しての反応しない運動・反応処理系の制御のプロセスが早いことを示している。この要因として、H 群の運動・反応出力は感覚刺激処理系における刺激の分類とは独立して処理が行われているのに対して、L 群の運動・反応出力は入力された刺激を分類する処理に依存していたことが影響していると考えられる。すなわち、H 群は刺激の入力後すでに運動・反応処理系における情報処理が始まっており、その処理と並列して感覚・刺激処理系における情報処理が進行する。その両処理は互いに依存せずに進行して、運動反応処理系では運動反応が開始され、感覚・刺激処理系では刺激の分類の処理が同程度に行われる。そして、組織制御系を通じた運動・反応処理系の制御プロセスによる副産物として P300 成分が表出されたと考えられる。そのため、両処理には相互関係がないため H 群では有意な相関関係がみられなかったと考えられる。一方で L 群は刺激の入力後すでに運動反応処理系における情報処理は始まっているが、運動反応の開始はその処理と並列して進行する感覚・刺激処理系における刺激の分類処理に依存しており、そのあとに運動・反応が開始される。そして、組織制御系を通じた出力処理の制御プロセスとして P300 成分が表出されるが、その表出は刺激の分類処理に依存して開始される運動反応の開始に影響を受ける。また、それが Go 刺激ではなく NoGo 刺激の場合に強く依存するため L 群の EMG-RT と NoGoP300 潜時に有意な相関関係がみられたと考えられる。

3.4.5 競技経験年数と各測定指標の関連性

競技経験年数は、H 群が L 群より有意に長かったが、競技経験年数と全ての測定指標に有意な相関関係は認められておらず、H 群における情報処理の優位性が単なる経

験年数に依存するものではないことが示された。Baker and Horton (2004) は、スポーツ選手の熟練したパフォーマンスは、練習時間の長さに影響を受けるだけでなく、遺伝、トレーニング内容、心理、社会文化や文脈といった要因も深く関与することを報告している。つまり、本研究においても、H 群の脳内情報処理の早さはこれまで経験してきた練習や試合の時間だけでなく、選手の有する先天的資質やトレーニングの内容や環境による後天的な学習効果に依存している可能性が示唆される。

3.5 まとめ

本研究では、サッカーにおけるパス選択場面を想定した選択反応課題における競技力が高い選手と低い選手の ERPs (P100, N200, P300) と EMG-RT, RT 及び正答率等の比較検討を行った。結果、H 群は L 群と比較して正答率が有意に高く、RT 及び EMG-RT が有意に短かった。さらに、初期視覚情報処理 (P100 潜時) では H 群が L 群と比較して有意に短潜時であったが、刺激の分類 (N200 潜時) では H 群と L 群には有意な差はなかった。刺激評価 (P300 潜時) においては、H 群は L 群と比較して有意に短潜時であった。競技力が高い大学生サッカー選手は一般的な大学生サッカー選手と比較して、刺激が呈示されてから初期視覚情報処理が早く、そのあとの刺激を分類する処理には両者に違いはないが、最終的な運動反応出力や刺激評価は短時間で実行できることが明らかになった。

また、感覚・刺激評価系 (ERPs) と運動・反応処理系 (EMG-RT, RT) における情報処理の早さの比較において、H 群と L 群ともに初期視覚情報処理 (P100 潜時) は運動・反応の開始 (EMG-RT) よりも先行して処理がされていた。刺激の分類 (N200 潜時) と運動・反応の開始 (EMG-RT) の比較において、H 群は入力されてから刺激を分類する処理と運動・反応を開始する処理には時間的な差はなく並列して処理が行われているのに対して、L 群は運動・反応を開始するよりも前に入力された刺激を分

類することが先行して処理が行われていた。また、刺激評価（P300 潜時）と運動・反応の開始（EMG-RT）の比較では、運動・反応の開始が刺激評価よりも先に処理が行われており、刺激評価（P300 潜時）と運動・反応の出力では、両者は同等もしくは刺激評価が早い傾向であった。また、感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理の関連性の検討にて EMG-RT と GoN200 潜時, NoGoN200 潜時, NoGoP300 潜時に有意な相関関係が認められた。しかしながら、群別における検討をおこなったところ H 群にはそれぞれ有意な相関関係は認められず、L 群には GoN200 潜時（10%での有意傾向）、NoGoN200 潜時, NoGoP300 潜時で有意な正の相関関係が認められた。つまり、H 群は感覚刺激処理系に依存せずに、運動・反応処理が行われているのに対して L 群は入力された刺激を分類する処理に依存して運動・反応が開始され出力しているため組織制御系を通じた運動・反応処理系の制御プロセスによる副産物として表出される P300 成分にも影響を与えていることが推測された。以上、これらの感覚刺激処理系と運動・反応処理系に関する時系列での比較及び関連性の検討により、H 群と L 群におけるパス選択場面を想定した選択反応課題での刺激に対して反応を行う際の情報処理過程の違いの一部が明らかとなった。

第4章

総括

4.1 結論

本論では、サッカー選手の情報処理能力を向上させるための知見を得ることを目的とした。第1章では、サッカー選手の情報処理能力に関する研究を行うための先行研究を概観した。これまでの先行研究では、情報処理能力の優劣について2つの方向からのアプローチによって研究がなされてきた。一つは知識構造を検討した研究、もう一つは一般能力特性を検討した研究であった。本論では、後者の一般能力特性に着目して、スポーツ選手の「ソフトウェア」である「知覚・認知スキル」の中でも情報処理の早さに関する先行研究を示した。情報処理の早さにアプローチする際には、RTを指標にした選択反応課題が用いられていること、更にはRTの指標としての限界点があることから、それを補完する手段としてERPsが有用である可能性があることを示した。しかしながら、RTとERPsを用いた学術的な研究知見は増えてきているが、サッカー選手を対象とした研究は決して多くないため、RTとERPsを用いることによって、サッカー選手の情報処理過程をさらに時間的に分解した能力特性を検討することができると考えた。

そこで第2章では、サッカー熟練者と非熟練者の情報処理過程を取り上げて、記号や文字で構成された一般的な選択反応課題でのRTとERPsの計測を行い、両者の情報処理過程の比較検討を行った。実験参加者は、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（Expert群）、サッカー競技経験のない大学生・大学院生8名（Novice群）であった。課題は、記号や文字で構成された単純な選択反応課題（CRT1）と複雑な選択反応課題（CRT2）で、Go刺激時に手元にあるボタン押し反応を行い、NoGo刺激時には反応をしない課題であった。その結果、より複雑な視覚刺激が提示されるCRT2においてExpert群がNovice群と比較して、N200, P300ともに有意に短い潜時を示し、RTにおいてもCRT2でExpert群がNovice群と比較して有意に短縮した。以上の結果は、Expert群がNovice群より情報処理過程において刺

激の分類と評価を行う処理が早く、さらに反応の出力も早いことを示唆するものであった。また、ERPs 潜時と RT の比較検討により、RT は N200 潜時よりも遅いが P300 潜時と比較すると早いことが示された。つまり、それぞれ独立して処理が行われる感覚・刺激処理と運動・反応処理であるが、視覚刺激が入力され反応出力を行う際には、入力刺激の分類過程を経て運動反応の出力が行われている可能性が考えられ、更にはその出力された情報を脳が評価していることが考えられる。

第3章では、競技水準が異なる大学サッカー選手を対象にサッカーにおけるパス選択場面を想定した Go/NoGo 課題中の ERPs (P100, N200, P300) と EMG-RT 及び RT の計測を行う。そこで得られた実証的なデータから、競技水準の異なる大学生サッカー選手の視覚刺激の呈示から反応の出力（反応抑制も含む）までの情報処理過程にどのような差異があるのかを明らかにして、サッカー選手の情報処理能力の特性について検討した。その結果、High performance 群 (H 群) は Low performance 群 (L 群) と比較して課題正答率が有意に高く、RT 及び EMG-RT が有意に短かった。つまり、H 群はパス選択を行う場面において L 群よりも正確かつ早い運動・反応の出力がなされていた。また、初期視覚情報処理 (P100 潜時) では H 群が L 群と比較して有意に短潜時であったが、刺激の分類 (N200 潜時) では H 群と L 群には有意な差はなかった。刺激評価 (P300 潜時) においては、H 群は L 群と比較して有意に短潜時であったことから、競技力が高い大学生サッカー選手は一般的な大学生サッカー選手と比較して、刺激が呈示されてから初期視覚情報処理が早く、そのあとの刺激を分類する処理には両者に違いはないが、最終的な運動反応出力や刺激評価は短時間で実行できることが明らかになった。感覚・刺激評価系 (ERPs) と運動・反応処理系 (EMG-RT, RT) における情報処理の早さの比較において、H 群と L 群ともに初期視覚情報処理は運動・反応の開始よりも先行して処理がされていた。刺激の分類においては、H 群は入力された刺激を分類する処理と運動・反応を開始する処理には時間的な差はなく並列

して処理が行われているのに対して、L 群は運動・反応を開始するよりも前に入力された刺激を分類することが先に処理されていた。このことは、感覚・刺激評価系と運動・反応処理系の情報処理の関連性の検討からのも同様の結果を示しており、H 群は EMG-RT と N200 潜時に有意な相関関係は認められず、L 群だけに GoN200 潜時、NoGoN200 潜時ともに有意な正の相関関係が認められた。さらに、EMG-RT と P300 潜時の相関分析では H 群には GoP300, NoGoP300 ともに有意な相関関係は認められず、L 群だけに NoGoP300 潜時に有意な正の相関関係が認められた。つまり、H 群は感覚刺激処理系に依存せずに、運動・反応処理が行われているのに対して L 群は入力された刺激を分類する処理に依存して運動・反応が開始され出力されている可能性が示唆された。以上、これらの感覚刺激処理系と運動・反応処理系に関する時系列での比較及び関連性の検討により、H 群と L 群におけるパス選択場面を想定した選択反応課題での刺激に対して反応を行う際の情報処理過程の違いの一部が明らかとなった。

4.2 まとめ及び指導現場への示唆

本研究で得られた知見から、サッカー選手の情報処理能力を向上させるためのコーチング法に関する重要な点について以下で述べる。

研究課題①では、サッカーの熟練者は非熟練者よりも一般的能力特性における情報処理が早いことが示された。さらに、研究課題②では競技力が高いサッカー選手は低い選手と比べて、パスを選択する場面において感覚・刺激評価の処理、運動・反応処理のいずれも短時間で実行できる能力を有していた。加えて、両者の情報処理過程の違いは、H 群が感覚刺激処理系に依存せずに、運動・反応処理が開始されるのに対して、L 群は入力された刺激を分類する処理に依存して運動・反応が開始されることであった。リベット（2004）は、感覚信号に対する迅速な行動（運動・反応）はすべて無意識に行われており、無意識の反応は信号の 100～200 ミリ秒後から行われており信

号へのアウェアネス（意識としての気づき）が生じるよりも前に起こり得る反応であることを報告している。さらに、下條（2008）はトップレベルのアスリート達は概して、意識的な心に妨げられることなく、彼らの無意識の心に主導権を委ねることができると述べている。この点に関しては、感覚運動学習における小脳を介したフィードフォワード制御でも説明することができる。新しい動作の獲得の際には、動きを意識して細かく制御するため前頭葉が感覚野、運動野、連合野などに盛んに信号を送り動作出力と誤差修正を行うのがフィードバック制御であるが、フィードフォワード制御は十分に習熟して刺激に対しての動きがスムーズに適応的になるに従って小脳に活動が移行していくことである（川人，1994）。このフィードフォワード制御には、潜在記憶が大きく関わっていることがこれまで報告されている（リベット，2004；Taube et al.,2012）。これらのことを鑑みると、本研究におけるH群とL群の情報処理過程の違いには、無意識に関する処理，すなわち潜在記憶を用いたフィードフォワード制御の活用も関連している可能性が推測される。

現代サッカーは「Less Time, Less Space」（JFA，2015；加藤，1999）と形容されるように、相手チームに時間とスペースを与えないコンパクトな守備組織の形成が主流となってきており、攻撃の選手がボールを保持してゴールに向かう際の時間は限られる。そのため、ボール保持をしている際に各選手のプレー実行までの時間の遅れは、チーム全体の成果（パフォーマンス）を低下させることになる。本研究で得られた知見から、競技力が高い選手はパス選択のように約1秒以内にプレーを実行する場面において、感覚・刺激評価には依存せずに運動・反応を実行できることが明らかとなった。つまり、競技力を高めるためには感覚信号に対して迅速に行動をするための情報を処理する能力が必要であり、サッカーの指導現場ではその能力を向上させなければならない。したがって、指導者は選手が潜在記憶を用いてプレーを実行する「考えないでプレーできるようになる」ことを目指して、実践的な環境の中で洗練化を促すト

レーニングの設定やコーチングをしていくことがより重要であると考えられる。

4.3 今後の課題

本研究は、熟練したサッカー選手が判断をする際の情報処理の特性を明らかにすることができた。しかしながら、本研究の限界点もいくつか挙げられる。研究デザインの点では、第2章では文字や記号で構成された選択反応課題、第3章では、パス選択場面を想定した Go/NoGo 課題であったが、反応・運動の方法がフットスイッチのボタン押しといった点で実際のプレー（運動）ではなかった。本研究では ERPs の測定を行った為、運動の制限の問題で実際にボールを止める・蹴るといった方法は実施していない。また、実験課題の刺激呈示に関して、本研究では事前の文脈情報がなく予測が不可能である中で視覚刺激が呈示され、素早く運動・反応する Go/NoGo 課題であった。つまり、競技力が高い選手が示した情報処理過程の特性は、選択反応に必要な事前情報（文脈情報）がない中で、無意識的に選択を行い運動・反応を実行していることであった。今後は知覚と運動の連関、更には予測との関連性もより包括的に捉えた上で、より実践的な状況設定において情報処理過程の検討が必要である。

また、本研究ではサッカーの競技力が高い選手と低い選手の情報処理の違いは示すことができたが、次に課題となる点は、いかにして情報処理能力を高めていくかといった、具体的なトレーニング方法の立案と検証である。今後は、ERPs, EMG-RT 及び RT をアセスメントの項目として用いた実践場面での更なる知見の蓄積が必要である。

引用・参考文献

Afonso J, Garganta J, Mcrobert, A, Williams AM and Mesquita I. (2012) The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volleyball: Evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an in situ representative task. *J Sports Sci Med*, 11 : 339–345.

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.

秋山幸代, 西平賀昭 (2004) 長期間の運動トレーニングが事象関連電位および EMG-RT に及ぼす影響. *日本体育大学スポーツトレーニングセンター雑誌*, 1 : 7-16.

Ando S, Kida N, Oda S. (2001) Central and peripheral visual reaction time of soccer players and nonathletes. *Percept Mot Skills*, 92 : 786–794.

Anđelinović M, Titlić M, Anđelinović D. (2015) Functional changes of P300 values among young football players as a measure of a cognitive function. *Int J Coll Antropol*, 39 (3) : 641–645.

Baker J, Horton S. (2004) A review of primary and secondary influences on sport expertise. *High Ability Studies*. 15 (2) : 211–228.

Barrett G, Blumhardt L, Halliday AM., Halliday E, Kriss A. (1976) A paradox in the lateralisation of the visual evoked response. *Nature*, 261 (5557), 253–255.

Botwinick J, Thompson LW. (1966) Premotor and motor components of reaction time. *J Exp Psychol*, 71 : 9.

張劍, 渡部和彦, 馬淵麻衣 (2008) サッカー熟練者と非熟練者の予測正確性および視覚探索方略に関する研究—1対1と3対3場面についての比較—. *体育学研究* 53 (1) : 29–37.

Campbell KB, Courchesne E, Picton TW, Squires KC. (1979) Evoked potential correlates

- of human information processing. *Biol Psychol*, 8 : 45 – 68.
- Courchesne E. (1978) Neurophysiological correlates of cognitive development: changes in long-latency event-related potentials from childhood to adulthood. *Electroen clini neuro*, 45 : 468 – 482.
- Duncan J, Connie C. (1981) P300 latency: A new metric of information processing. *Psychophysiology*, 18, 207 – 215.
- Ericsson KA, Smith J. (1991) Prospects and limits of the empirical study of expertise. In: Ericsson, K. A. and Smith, J. Toward a general theory of expertise: Prospects and limits. *Cambridge University Press*, 1 – 38.
- Fallgatter AJ, Mueller ThJ, Strik WK. (1999) Age-related changes in the brain electrical correlates of response control. *Clin Neurophysiol*, 110 : 833 – 838.
- Falkenstein M, Hoormann J, Hohnsbein J. (1999) ERP components in Go/NoGo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol*. 101 : 267 – 291.
- Fontani G, Maffei D, Cameli S, Polidori F. (1999) Reactivity and event-related potentials during attentional tests in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80, 308 – 317.
- 藤田 厚, 吉本俊明, 矢作晋, 鈴木典, 深見和男, 水落文夫, 近藤明彦 (1983) 幼児の適正運動量一眼・頭位協応運動を伴う全身反応の発達におよぼす影響について. *体育科学*, 11 : 95 – 105.
- 藤田 厚, 吉本俊明, 加藤史夫, 村松一, 深見和男, 笠井達哉 (1975) 全身反応時間からみた調整力の発達的变化. *体育科学*, 3 : 156 – 166.
- 後藤純信, 萩原綱一, 池田拓郎, 飛松省三 (2012) 視覚誘発電位と視覚誘発脳磁場, *臨床神経生理学*, 40 (1) : 8 – 18.
- Goodin DS, Squires KC, Starr A. (1983) Variations in early and late event-related component of the auditory evoked potential with task difficulty. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*,

55 : 680–686.

Gomi H and Kawato M. (1996) Equilibrium-point control hypothesis examined by measured arm stiffness during multijoint movement. *Sci*, 272 (5258) , 117.

Hack J, Rupp A, Memmert D. (2009) Attentional mechanisms in sports via brain-electrical event-related potentials. *Res Q Exerc Sport*, 80, 727–738.

樋口貴広 (2006) 状況判断と運動行動. 麓信義編, 運動学習の学習と制御 動作制御へのインターディシプリナリー・アプローチ. 杏林書院, 東京, 149–158.

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.

Hyman R. (1953) Stimulus information as a determinan to freaction time. *J Exp Psychol*, 45 : 188–196.

Hung TM, Spalding TW, Maria DL, Hatfield BD. (2004) Assessment of reactive motor performance with event-related brain potentials: attention processes in Expert table tennis players. *J Sport Exerc Psychol*, 26, 317–337.

猪飼道夫, 浅見孝明, 柴山秀太郎 (1961) 全身反応時間の研究とその応用. *Olympia*, 7 : 210–219.

Iwadate M, Mori A, Ashizuka T, Takayose M, Ozawa T. (2005) Long-term physical exercise and somatosensory event-related potentials. *Exp Brain Res*, 160 (4) : 528–532.

Jäncke L, Shah NJ and Peters M. (2000) Cortical activations in primary and secondary motor areas for complex bimanual movements in professional pianists. *Brain Res Cogn Brain Res*, 10 (1) : 177–183.

川人光人 (1994) 小脳の内部モデルと運動学習. 計測と制御, 33 (4), 296–303.

公益財団法人日本サッカー協会 (2015) 2014FIFA ワールドカップブラジル JFA テクニカルレポート. 財団法人日本サッカー協会 : 東京.

- Jin H, Xu G, Zhang JX, Gao H Ye Z, Wang P, Lin CD. (2011) Event-related potential effects of superior action anticipation in professional badminton players. *Neurosci lett*, 492, 139 – 144.
- Johnson R. (1993) On the neural generators of the P300 component of the event related potential. *Psychophysiology*, 30 (1), 90–97.
- 加藤久 (1999) サッカーの戦術とコンピュータ分析の現状と課題. オペレーションズ・リサーチ 3 : 125–131.
- Krings T, Töpper R, Foltys H, Erberich S, Sparing R, Willmes K, Thron A. (2000). Cortical activation patterns during complex motor tasks in piano players and control subjects. A functional magnetic resonance imaging study. *Neurosci Lett*, 278 (3) : 189–193.
- 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,
- Lehmann D, Ozaki H, Pal I. (1987) EEG alpha map series : brain micro-states by space-oriented adaptive segmentation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 67 : 271 – 288.
- リベット, B. 下條信輔 (訳) (2005) マインド・タイム : 脳と意識の時間. 岩波書店 : 東京, pp. 124–129.
- Mann DT, Williams AM, Ward P, Janelle CM. (2007) Perceptual–cognitive expertise in sport : a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol*, 29 (4) : 457–478.
- McCarthy G, Donchin E. (1981) A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Sci*, 211 : 77–79.
- 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—. *スポーツ心理学研究* 43 : 1–13.

- McCarthy G, Wood CC, Williamson PD, Spencer DD. (1989) Task-dependent field potentials in human hippocampal formation. *J Neurosci*, 9 (12) : 425–4268.
- Montes-Mico R, Bueno I, Candel J, Pons AM. (2000) Eye-hand and eye-foot visual reaction times of young soccer players. *St. Louis, Mo*, 71 (12) : 775–780.
- 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.
- Naito E and Hirose S. (2014) Efficient foot motor control by Neymar' s brain. *Front Hum Neurosci*, 8 : 594.
- 中川昭 (1983) 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) : 287–297.
- 中川昭 (1985) ボールゲームにおける状況判断研究の現状と将来の展望. 体育学研究, 302 : 105–115.
- 中山雅雄, 田中雅人, 松本光弘 (1988) サッカープレイ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.
- 夏原隆之, 中山雅雄, 加藤貴昭, 永野智久, 吉田拓矢, 佐々木亮太, 浅井武 (2015) サッカーにおける戦術的判断を伴うパスの遂行を支える認知プロセス. 体育学研究 60 : 71–85.
- 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.
- Näätänen, R. , and Gaillard, A. W. K. (1983) The orienting reflex and the N2 deflection of the event-related potential (ERP) . *Adv Psychol*, 10 : 119–141.
- 西平賀昭, 宮達夫, 八田有洋, 麓正樹, 金田健史, 時任真一郎, 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.

- Nishihira Y, Araki H, Ishihara. (1991) Attenuation of somatosensory evoked potentials immediately following rapid reaction movement. *Electron clin neuro.* 31, 15–20.
- Prince FP, Hikida RS, Hagerman FC. (1977) Muscle fiber types in women athletes and non-athletes, *Pflügers Archiv*, 311 : 161–165.
- Rossi B, Zani A, Taddei F, Pesce C. (1992) Chronometric aspects of information processing in high level fencers as compared to non-athletes: an ERPs and RT study. *J Human Movement Studies*, 23, 17–28.
- 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.
- Sanchez LJ, Silva PJ, Fernandez T. (2016) Sustained attention in skilled and novice martial arts athletes: a study of event-related potentials and current sources. *PeerJ*, 4 : e1614.
- Sanders AF. (1965) Prewarning Signalactivity and RT as afunction offbreperiod. *Percept Mot Skills*, 21 : 405–406.
- Savelsbergh GJP, Williams M, Van Der Kamp J, Ward P. (2002) Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *J Sports Sci*, 20 (3) : 279–287.
- 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.
- Schmajuk M, Liotti M, Busse L, Woldorff MG. (2006) Electrophysiological activity underlying inhibitory control processes in normal adults. *Neuropsychologia*, 44 : 384–395.
- 下條信輔 (2008) サブリミナル・インパクト—情動と洗剤認知の現代. ちくま新書 : 東京, pp. 10–52.
- Sutton S, Braren M, Zubin J. (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Sci*, 150 : 1187–1188.

- Squires KC, Squires NK, Hillyard SA. (1975) Decision-related cortical potentials during an auditory signal detection task with cued observation intervals. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1 (3) : 268–279.
- Smith J, Johnstone SJ, Barry R. (2008) Movement-related potentials in the Go/NoGo task : The P3 reflects both cognitive and motor inhibition. *Clin Neurophysiol* , 119 : 704–714.
- Taliep MS, Gibson AS, Gray J, van der Merwe L, Vaughan CL, Noakes TD, John LR. (2008) Event-related potentials reaction time and response selection of skilled and less-skilled cricket batsmen. *Perception*, 37 : 96–105.
- Taube W, Leukel C, Gollhofer A. (2012) How Neurons Makes Jump : The Neural Control of Stretch-ShorteningCycle Movements. *Exerc Sport Sci Rev*, 40 : 106–115.
- 鶴岡 英吉, 笠井 恵雄, 多和 健雄, 岩田 敦 (1965) 選択刺激による反応動作の分析的研究. 体育学研究, 8 : 49–54.
- Tobimatsu S, Celesia GG. (2006) Studies of human visual pathophysiology with visual evoked potentials. *Clin Neurophysiol*, 11 (7) : 1414–1433.
- 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.
- Vaeyens R, Lenoir M, Williams M, Mazyn L, Philippaerts RM. (2007) The effects of task constraints on visual search behavior and decision making skill in youth soccer players. *J Sport Exerc Psychol*, 29 (2) : 147–169.
- Weiss AD. (1965) The locus of reaction time change with set motivation and age. *Int J Gerontol*, 20 : 60–64.
- Williams AM, Davids K, Burwitz L, Williams JG. (1993) Cognitive knowledge and soccer performance. *Percept Mot Skills*, 76 (2) : 579–593.
- Williams AM. (2000) Perceptual skill in soccer : Implications for talent identification and

development . *J Sports Sci*, 18 (9) : 737–750.

Williams M, Davids K, Burwitz L, Williams JG. (1994) Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer player. *Res Q Exerc Sport*, 65 (2) : 127–135.

Williams AM, Hodges NJ, North JS, Barton G. (2006) Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: Investigating the essential information underlying skilled performance. *Perception* , 35 (3) : 317–332.

Yamashiro K, Sato D, Onishi H, Sugawara K, Nakazawa S, Shimojo H, Maruyama A. (2016) Skill-Specific Changes in Somatosensory NoGo Potentials in Baseball Players. *PloS one* (10) : e0142581.

与那正栄, 室増男, 下敷領光一, 永田晟 (1990) 筋力トレーニングに伴う反応時間の変化. *体力科学*, 39 : 307–314.

Zwierko T, Osinski W, Lubinski W, Czepita D, Florkiewicz B. (2010) Speed of visual sensorimotor processes and conductivity of visual pathway in volleyball players. *J Hum Kinet*, 23, 21–27.

謝辞

本論文の執筆にあたり、多くの方々からのご指導賜りましたことここに深く感謝いたします。主査であり指導教員である浅井武教授には、素晴らしい研究の環境を与えて頂くとともに、これから一人の研究者として進んでいくために必要な科学を迫っていく姿勢、そして教育者としての志を指導して頂きました。博士後期課程から3年間ではありましたが、親身になってご指導して頂いた事、厚く御礼申し上げます。また、副査とともに副指導教員である中山雅雄准教授には、日頃から研究活動やコーチング活動の中で、研究と実践を繋げる視点を大切にすることをご丁寧に指導して頂きました。研究者とコーチの強みを活かした論文を執筆できたこと、心より感謝いたします。同じく副査として本論文を審査して頂いた中川昭教授、坂入洋右教授には、本論文をまとめるにあたり貴重な助言を数多く頂きました。本論文は、予備審査からの先生方との議論を経て、更によりよいものに近づけることができました。博士論文に必要な指摘やデータの解釈方法などご教授いただけました事、心より感謝いたします。アドバイザーコミッティーにて、山口香教授には研究計画に対する建設的助言や多くの励ましのお言葉を頂き、深く感謝の意を表します。

また、私が筑波大学大学院に進学するキッカケを与えてくださった西平賀昭名誉教授、修士論文における指導をして頂きました菅生貴之准教授（大阪体育大学）には、本論文を執筆するにあたり研究の基礎についてのご教授、ならびに実験・解析における助言を数多く頂きました。更に、國部雅大助教、夏原隆之助教（東京成徳大学）には、研究が行き詰まった際に親身に相談にのって頂き、数多く助言して頂きました。そして、本研究を行うにあたり、小井土正亮助教をはじめとするサッカーコーチング論研究室、蹴球部の皆様には、データ収集や実験への協力等、ご助力いただきました。ご支援いただきました方々に心より感謝の意を表します。

この謝辞を書きながら、改めて一人では本論文を創りあげることが出来なかったと感じています。この他にも様々な方面で多くの方にお世話になりました。ここには書ききれませんでした。ここに深く御礼申し上げます。

最後にこれからも自分らしく、信念をもった研究者・教育者を目指していく決意を記し、謝辞といたします。

2018年10月31日 松竹 貴大