

博士論文

空手道選手における事象関連電位を用いた 突き技の情報処理能力に関する研究

2020年12月

日本体育大学大学院

体育科学研究科 体育科学専攻

18PDA05 坂部 崇政

研究指導教員

西山 哲成 教授

博士論文

空手道選手における事象関連電位を用いた

突き技の情報処理能力に関する研究

**Information processing ability of
punching technique (Tsuki-waza) using
event-related potential in karatedo players**

2020年12月

日本体育大学大学院

体育科学研究科 体育科学専攻

18PDA05 坂部 崇政

Takamasa SAKABE

研究指導教員

西山 哲成 教授

目次

第1章 緒言

1. 1. 本博士論文の背景	1
1. 1. 1. 運動スキルの分類と空手道競技に求められる能力	
1. 1. 2. 情報処理過程と反応時間による評価	
1. 1. 3. 事象関連電位	
1. 1. 3. 1. 電極配置法（国際 10-20 法）	
1. 1. 3. 2. 加算平均法	
1. 1. 3. 3. 成分の潜時と振幅	
1. 1. 3. 4. P3 成分	
1. 1. 3. 5. 随伴陰性変動（CNV）成分	
1. 1. 3. 6. 競技者を対象にした ERP 研究	
1. 2. 本博士論文の目的	13

第2章 空間遮蔽された画像刺激への選択反応課題時の ERP

2. 1. 目的	14
2. 2. 方法	16
2. 2. 1. 実験参加者	
2. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集	
2. 2. 3. 実験装置および課題	
2. 2. 4. 脳波測定	
2. 2. 5. 実験の手続き	
2. 2. 6. 統計	
2. 3. 結果	20
2. 3. 1. 行動指標	
2. 3. 2. 生理指標	
2. 4. 考察	26
2. 5. 結論	30

第3章 映像刺激を用いた突き技への選択反応課題時のERP

3. 1. 目的	31
3. 2. 方法	32
3. 2. 1. 実験参加者	
3. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集	
3. 2. 3. 実験装置および課題	
3. 2. 4. 脳波測定	
3. 2. 5. 実験の手続き	
3. 2. 6. 統計	
3. 3. 結果	36
3. 3. 1. 主観的指標	
3. 3. 2. 行動指標	
3. 3. 3. 生理指標	
3. 4. 考察	44
3. 5. 結論	47

第4章 時間遮蔽された映像刺激への選択反応課題時のERP

4. 1. 目的	48
4. 2. 方法	50
4. 2. 1. 実験参加者	
4. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集	
4. 2. 3. 実験装置および課題	
4. 2. 4. 脳波測定	
4. 2. 5. 実験の手続き	
4. 2. 6. 統計	
4. 3. 結果	54
4. 3. 1. 主観的指標	
4. 3. 2. 行動指標	
4. 3. 3. 生理指標	
4. 4. 考察	64

4. 5. 結論	68
第5章 総括	69
参考文献	71
博士論文に関連する研究業績一覧	77
謝辞	78

第1章 緒言

1. 1. 本博士論文の背景

2016年8月3日、ブラジル・リオデジャネイロで開かれた2020東京オリンピック・パラリンピックの追加種目を決める国際オリンピック委員会総会において、空手道が正式に採用されることが決定した。現在、空手道愛好者は国内だけでも200万人以上、世界では1億3000万人以上もいることが報告されており（公益財団法人全日本空手道連盟, 2019a）、東京オリンピックでの正式採用は空手道にとって歴史的な出来事であるといえる。また、世界空手道連盟（World Karate Federation: WKF）が発表している世界ランキングでは、日本人選手も上位に名を連ねており、東京オリンピックでの活躍が見込まれている。

さらに、この決定を受け、日本武道学会第52回大会空手道専門分科会企画シンポジウム「東京2020オリンピックが空手道および空手道研究にもたらすもの」において、東京オリンピックでの金メダル獲得に向けて全日本空手道連盟では選手強化事業を最重要施策の一つとして進めていること、また東京オリンピックを契機に空手道および空手道研究の社会的認知度や社会的価値を継続的・発展的に向上させていくことが期待されると述べられている（麓ほか, 2020）。

その一方で、空手道は研究分野において課題があると指摘されている。日本武道学会「武道学研究」論文データベースで空手道に関連する文献検索を行うと128件の論文が見受けられるが、柔道（956件）や剣道（947件）と比較すると空手道研究の論文数は圧倒的に少ないといえる。このように、空手道は競技人口の多さや認知度の高さがある一方で、研究分野においては発展途上にあり、空手道に関する科学的エビデンスの蓄積が求められている。そこで、本博士論文は、空手道研究の発展の一助として、科学的根拠に基づいた空手道選手における情報処理能力に関する知見を得ることを目的とした。

1. 1. 1. 運動スキルの分類と空手道競技に求められる能力

競技スポーツにおける運動スキルにはいくつかの分類方法があるが、外的環境による分類では、環境の変化があり予測が困難な場面でのオープンスキルと、環境が安定し予測できるクローズドスキルに分けられる（井田, 2012）。このようにオープンスキルおよびクローズドスキルは、状況の変化や予測の程度を表す連続体と捉えることができ、運動の知覚やパ

ターン認識、意思決定などの高次の認知過程と適切な状況判断の関係を定義する重要な特徴を示している（荒木，2012）。

柔道や剣道などの武道の多くはオープンスキルに分類され、予測困難な対戦相手の動きに対応する能力が求められる。しかし、武道の中でも空手道競技（以下「空手道」と略す）はオープンスキルとクローズドスキルの両側面を備えている。空手道には、「形」と「組手」の2種目があり、形は仮想の敵に対する攻撃技と防御技を一連の流れとして組み合わせた演武で、突きや蹴りの力強さやスピード、緩急、リズム、バランスなどを競う種目である。勝敗は、7名の審判による採点で決まり、東京オリンピックでは、世界空手道連盟が認定している102種類から形を選択して演武する。一方、組手は8メートル四方のコートで2名の選手が1対1で戦う種目である。攻撃は、突き、蹴り、打ちの3種類であり、定められた有効部位に対して、良い姿勢で威力のある攻撃を行い、適切にコントロールされた技がポイントとして認められる。東京オリンピックでは、男子3階級（67kg級、75kg級、75kg超級）、女子3階級（55kg級、61kg級、61超級）が採用されている。すなわち、決められた技を演武する形はクローズドスキル、対峙する相手選手と攻防を行う組手はオープンスキルに分類することができる。したがって、空手道には種目によって求められる能力が異なる特徴がある。なお、これ以降に本博士論文で取り扱う空手道とは組手を指すものとする。

西山・諏訪（2012）によると、空手道はサッカーにおけるボール保持のように攻撃側・防御側を明確に分ける基準が存在せず、対峙する両選手が同時に共に攻撃の機会をうかがう、より複雑な駆け引きが展開される。また、空手道は一瞬の攻防で勝敗が決まる高水準の時間的および空間的制約を伴い（Mori et al., 2002）、組手は、対峙した選手同士が有効部位に繰り出した突きや蹴りのポイント数によって勝敗を決める競技であることから、相手選手の動作を予測して、動作を素早く選択し開始する認知的能力が非常に重要であるといわれている（竹澤・筒井，2015）。

1. 1. 2. 情報処理過程と反応時間による評価

人が随意的に身体運動を行う時には、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情報処理を行っている（紙上ほか，2009）。すなわち、競技者の脳内では状況を正しく判断、意思決定し、最適な動作を選択した上でその動作を実行するための反応プログラミングが行われ（正木，2012）、刺激評

価、反応選択、反応実行の過程を経て情報処理が行われている（正木，2004）．このような脳内情報処理過程は，日常生活やスポーツにおける状況判断，運動の実行，技術習得などの様々な場面で必要な中枢神経系の重要な機能の一つであり，近年では脳内情報処理過程と全身的な運動の関係に注目した研究が行われ始めている（紙上，2006）．

これまで，情報処理過程を解析する方法の一つとして，**mental chronometry** が用いられてきた．**mental chronometry** は，人の情報処理を時間的側面に着目して研究する方法であり，情報処理の各段階に対応する心理的事象の変数を操作することで，その処理に要する時間を解析し情報処理過程全体の時間的構造や機能状態を推定するものである（忠井ほか，1987）．**mental chronometry** では，課題遂行とそれに関わる情報処理過程の指標として反応時間（**reaction time**）がしばしば用いられ，1970年代までは人の情報処理過程について多くの成果が得られてきた（竹内・丹羽，1997）．これは，反応時間が刺激の呈示から反応の開始までに要した時間であることから（荒木，2012），前述した刺激評価，反応選択，反応実行の3つの情報処理段階全体の処理時間の測度として考えられるためである（シュミット，1994）．なお，**reaction time** と類似の用語に **response time** があり，両者の区別がされずに用いられている場合もあるが，Luce（1986）は実験参加者が刺激に対して素早い反応を求められている状況で計測されたものを **reaction time**，反応の速さを意識せずになされた反応に要した時間を **response time** として区別している．Mori et al.（2002）は，空手道選手と一般人の反応時間を比較している．この研究では，空手道の突きや蹴りの映像を呈示し，技に応じて素早くボタン押しすることが課題であった．その結果，空手道選手は一般人よりも反応時間が早かったことを報告している．

しかし，沖田（1997）によれば，反応時間のような行動測度を用いるアプローチは，出力側の行動成績から情報処理過程を探る，すなわち処理結果に基づいて，その結果の背景にある情報処理過程を推定する方法である．それ故，なんらかの障害で運動機能が低下する場合や，処理が並列して実行される場合には，反応時間から処理過程を推定することは困難であることが指摘されている．

1. 1. 3. 事象関連電位

上述のように，反応時間は情報処理過程の刺激評価から反応出力までの結果であり，この結果からは認知処理の特性や情報処理過程の時系列を分析することができない．そこで，人の認知情報処理過程を評価する指標として，事象関連電位（**event-related potential**: 以下「ERP」

と略す) が広く知られている。ERP は、様々な感覚刺激を受容した脳が、注意や認知に関する課題解決や随意運動、心的活動などに関連する感覚情報を処理した後に運動準備、反応選択、運動遂行へ至る過程を反映する一過性の電位変動と考えられている(西平, 2004)。ERP は、脳内の心的活動をミリ秒単位で分析できる時間分解能の高さや(沖田・諸富, 1998)、実験参加者の負担が少なく、非侵襲的に観察することができるなどの特徴があり、今日では心理学研究において ERP を用いることの有用性が示されている。

1. 1. 3. 1. 電極配置法 (国際 10-20 法)

測定時の電極配置として一般的に用いられているのは、国際 10-20 法 (International 10-20 System) で、これは 1985 年に国際脳波学会から推奨されたものである(図 1)。この測定法は、まず鼻根点 (nasion) と外後頭隆起 (inion) を結ぶ線の中点および両側の耳介前点を結ぶ線の中点から Cz を定める。その Cz を通る正中線上で、鼻根点・外後頭隆起間の距離を 10, 20, 20, 20, 20, 10% に分割し、各分割点を前から Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz とする。そして、Cz を通る左右方向の線上でも同様に分割し、左から T3, C3, Cz, C4, T4 とする。次に、左の Fpz, T3, Oz を通る半円弧を同じく 10, 20, 20, 20, 20, 10% に分割し、前から Fp1, F7, T3, T5, O1 とし、右の Fpz, T4, Oz を通る半円弧も同じく分割して、Fp2, F8, T4, T6, O2 とする。最後に、残った F3, F4, P3 および P4 はそれぞれの中間点を測定して求める。この電極配置法の特徴は、頭蓋の大きさに関係なく脳のほぼ一定部位に相当して電極を配置できること、隣接する各電極間の距離をほぼ等しくできること、および頭蓋のほぼ全領域を覆えることであり、通常脳波検査には理想的と考えられる。なお、接地電極 (ground electrode) は頭皮上のどこに置いてもよいが、ground projection によるアーチファクトを検出しやすくする目的で、瞬目運動を最も検出しやすい前頭部 (Fpz) 近傍に置くことが多い(柴崎, 2008)。

1. 1. 3. 2. 加算平均法

この一過性の脳電位変動が生じる脳部位は特定の情報処理過程に限定的であるため、また、頭皮と脳の間には頭蓋骨や硬膜・脳脊髄液層が存在するため、刺激に対して得られる脳電位の振幅は非常に小さい。さらに、脳内における周期的な律動である背景脳波や筋電などの生体由来のノイズ、さらには電磁気などの環境由来のノイズが混入するため、呈示された刺激に対する反応を 1 試行の脳電位変化で観察することは困難である。そこで、刺激呈示オ

ンセットのタイミングで、刺激に対する反応を複数回加算平均（加算平均法）することで、呈示された刺激とは無関係に発生している背景脳波やノイズは平均化されて小さくなり、誘発電位の成分だけが加算されることになる（綾部，2019）（図2）。

1. 1. 3. 3. 成分の潜時と振幅

上記のような手続きにより、得られたそれぞれの振れは成分（component）とよばれる（図3）。山や谷として明瞭に観察できる波は、陽性であればP（positive）、陰性であればN（negative）と名づけ、出現順序を示す数字（1, 2, 3...）やおよその頂点潜時をつけて区別する（入戸野，2012）。ある成分の“潜時”とは、刺激が呈示されてからその成分が最大の振れ（頂点）に達するまでの時間を指す。また、ある成分の“振幅”とは、その成分の頂点とベースライン（刺激呈示前の一定期間の平均電位を用いることが多い）との電位差を指す。さらに、“頭皮上分布”とは、その成分の振幅が頭皮上のどこで大きくどこで小さいかといった関係を指す（入戸野，1998）。ここでは、本博士論文で指標として用いるP3および随伴陰性変動（CNV）の2つの成分について説明する。

1. 1. 3. 4. P3 成分

P3は、Sutton et al.（1965）によって発見された、刺激呈示後300ms付近（250—500ms）に、頭皮上の中心部から頭頂部にかけて優位に出現する陽性の電位変動であり、その頂点潜時から、“P300”ともよばれる。P3は、弁別可能な複数の感覚刺激（聴覚、視覚、体性感覚など）をランダムに呈示し、低頻度の刺激に対して選択的に注意すること（オドボールパラダイム）によって誘発される。P3潜時は、刺激評価過程に関連すると考えられており（Magliero et al., 1984）、刺激の弁別が容易な時には短くなり、困難な時には長くなる。P3振幅は、それを惹起した事象に対する知覚-中枢処理資源を反映すると考えられており（入戸野，2006）、ある事象に多くの処理資源を配分するとその事象に対するP3振幅は大きくなる。したがって、P3を指標に用いることで刺激や課題に対してどのくらいの注意を向けていたかといった処理資源配分量や刺激評価時間を測定することができる。

P3の測定としては、オドボール（oddball）課題を用いるのが一般的である。典型的には、2種類以上の刺激事象を出現頻度を変えて呈示し、低頻度の事象（オドボール刺激）に対して、その出現頻度を黙って数えさせたり、ボタンを押して反応させたりする（入戸野，2006）。図4に示したように、一般的な課題である聴覚オドボール課題では、“ポツ”という低い音

(1000Hz) に混じって時々“ピッ”という高い音 (2000Hz) が呈示され、実験参加者は高い音が呈示された回数を黙って数えるように教示される (キー押しなどで反応を求めることもある)。この際、数える刺激を標的刺激 (target stimulus) や低頻度刺激 (rare or infrequent stimulus), 数えない刺激を標準刺激 (standard stimulus) や高頻度刺激 (frequent stimulus) とよぶ (入野, 2005 ; 加賀・相原, 2013)。

1. 1. 3. 5. 随伴陰性変動 (CNV) 成分

随伴陰性変動 (Contingent Negative Variation: 以下「CNV」と略す) は, Walter et al. (1964) によって発見され, 警告刺激あるいは予告刺激 (S1) の呈示から, 一定時間後に呈示される運動反応 (R) を要求する命令刺激 (S2) の刺激間において緩やかに陰性方向へシフトする電位であり, 前頭-中心部に優勢な左右対称の頭皮上分布を示す。CNV は, S1 に対する定位反応 (外部から与えられた刺激に対し注意を向ける意識・無意識な生体反応) や覚醒水準を反映するとされる前期 CNV (early CNV) 成分と, S2 に対する予期的反応や運動準備を反映するとされる後期 CNV (late CNV) 成分の2成分によって構成される (Gaillard, 1976)。前期 CNV は S1 に対する動機づけが高まることで増大し (Brunia, 1993), 後期 CNV は S2 に対してボタン押しなどの運動を求める事象と求めない事象とでは, 運動を求める事象において振幅が増大するとされている (Tecce, 1972)。

CNV を測定するための実験パラダイムとしては, 予告反応時間課題 (warned reaction time paradigm) が用いられることが多く, 予告刺激として S1 が与えられ, その数秒後に反応刺激として S2 が与えられる (大上ほか, 2017)。実験参加者には, S2 が呈示されたら可能な限り早くボタン押しするといった運動反応が求められる (図 5)。亀井 (2018) によれば, CNV が反映する心的過程は, 陸上競技におけるスタート合図として用いられる「Set」(S1 に相当) から「Bang」(S2 に相当) の号令を待つ間の局面に近似しており, 「Set」の合図に対する反応, スターターピストルの合図に合わせて身体を素早く動かそうとする運動準備, 「Bang」を素早く認知しようとする予期・期待が重畳した心理的構えの心的過程を反映する脳活動といえる。すなわち, CNV の増大は, スターターピストルによる合図といった外因性の刺激に対する運動反応に向けた意欲, 注意資源配分量の増加を示していると考えられる。

1. 1. 3. 6. 競技者を対象にした ERP 研究

近年では、競技者を対象にした研究においても ERP が用いられるようになってきた。Iwadate et al. (2005) は、サッカー選手と非競技者を対象に、上肢および下肢への体性感覚刺激により生起された ERP を比較したところ、サッカー選手において下肢では P3 振幅の増大、潜時の短縮が認められた。一方、上肢では P3 振幅、潜時ともにサッカー選手と非競技者で有意差は認められなかったことから、注意力や技術的動作を必要とする運動を行うことで、体性感覚処理の可塑的变化がもたらされることを示唆している。同様にサッカー選手を対象にした研究として、松竹ほか (2018) は、競技レベルの異なるサッカー選手の状況判断時における情報処理能力を比較したところ、高パフォーマンス群は低パフォーマンス群よりも P3 潜時が有意に短く、短時間で課題に関連した情報を処理できることを示唆している。また、CNV を指標にした研究では、平工 (2013) が競技レベルの異なる短距離走者の反応予測時の CNV を比較したところ、エリートスプリンター群の後期 CNV 振幅が他の群よりも有意に大きく、予測や運動準備などの命令刺激に対する準備が高いことを示唆している。このように、ERP を指標に用いることで、反応時間などの行動指標のみでは推定することが難しい「身体運動が脳内のどの処理過程に影響を及ぼすのか」を明らかにすることができるようになった (紙上ほか, 2009)。一方で、P3 を用いて運動と脳内情報処理過程の関係を調査した研究では、運動が脳内情報処理過程に影響を与えるということに関しては見解が一致しているものの、その影響の現れ方に関しては一貫した知見が得られていないことも指摘されている (投石, 1995 ; 紙上, 2006)。

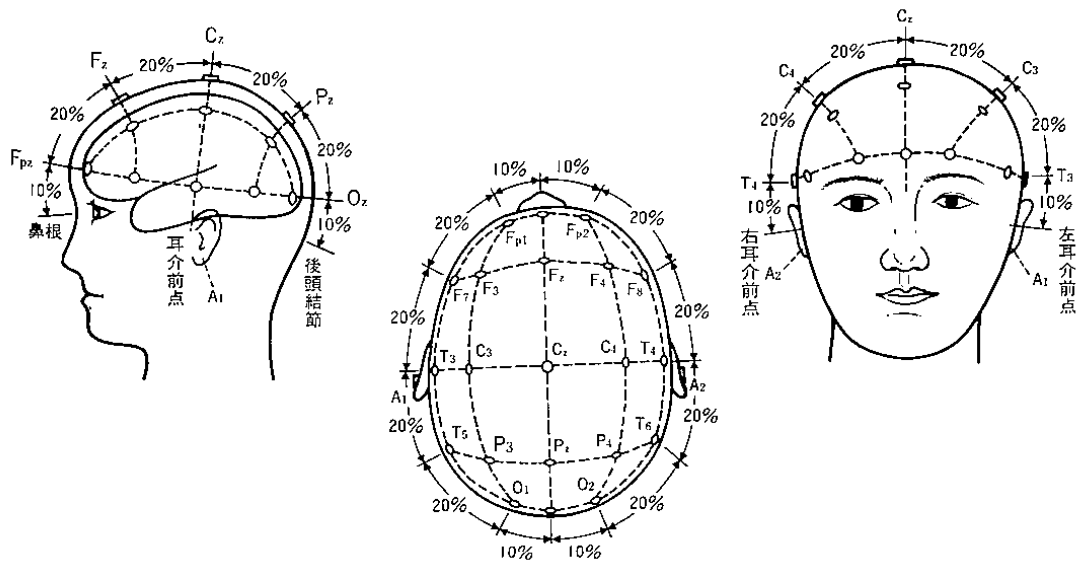


図1 国際10-20法 (辻, 1995 より引用)

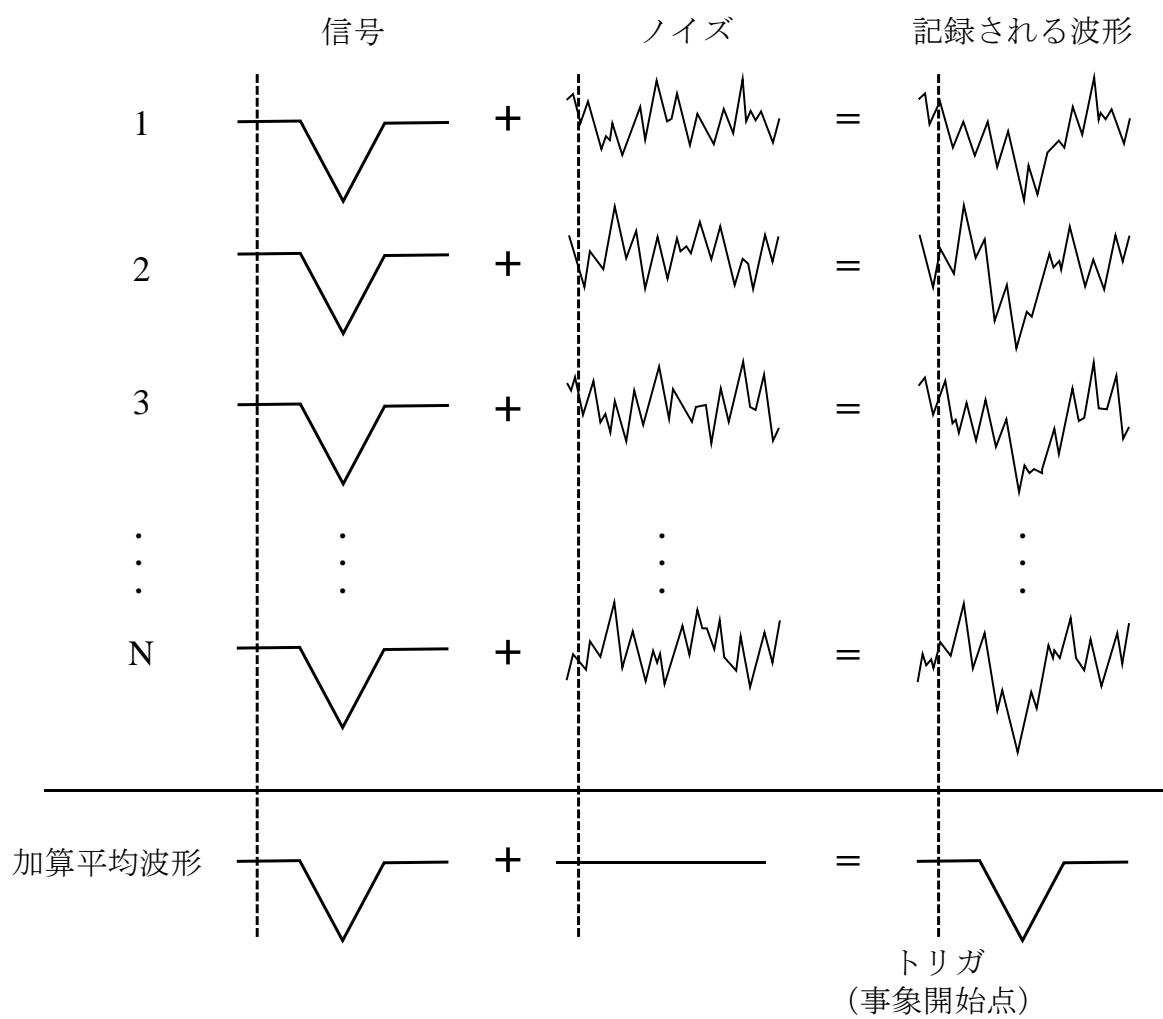


図2 加算平均法の原理 (入戸野, 2012 より引用)

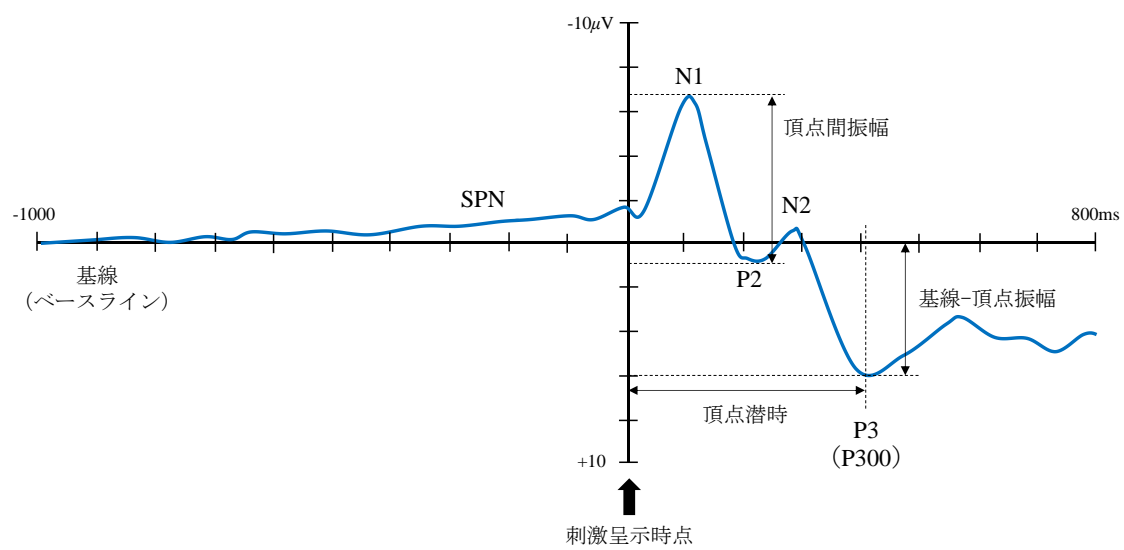


図3 ERPの波形と主要な成分の例（入戸野，2005より改変）

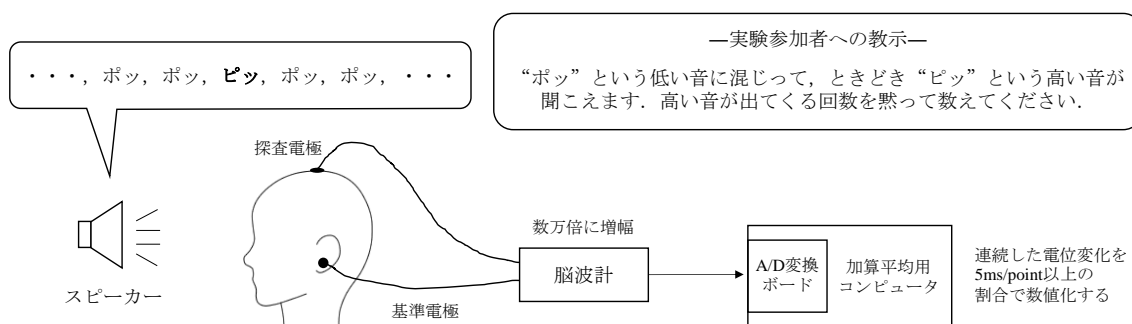


図4 オドボールパラダイムによるERPの測定（入戸野, 2005 より一部引用）

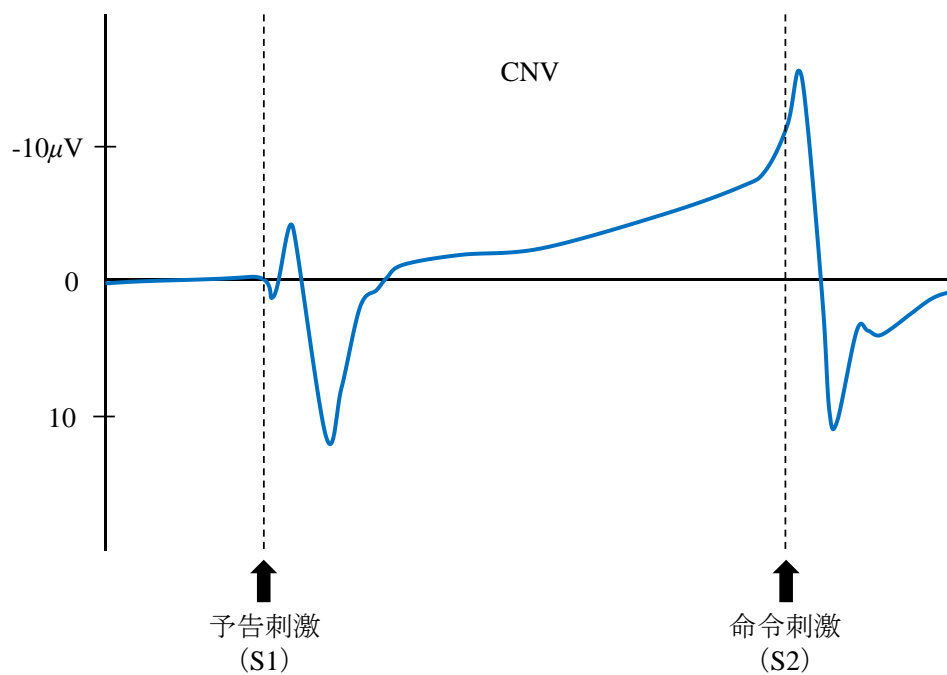


図5 CNVと予告反応時間課題（大上ほか，2017より改変）

1. 2. 本博士論文の目的

競技スポーツの多くは、時々刻々と変化する状況に対応する能力が求められ、特に空手道のような相手選手と直接的な攻防を行う競技においては、判断の遅れや誤りが勝敗だけでなく怪我や身体的ダメージにも直結する可能性がある。したがって、空手道選手には、いかに相手の動きを的確に予測し、素早く動作に切り替えられるかといった、高い情報処理能力が求められる。特に、学生空手道試合の決まり技に関する調査によると、突き技が圧倒的に多く、それが上段突きに集中していたことが報告されているため（田辺・田中，1976；吉村ほか，1996）、激しい攻防が展開される組手において、突き技への判断力は身に付けておかなければならない能力の一つであるといえる。しかし、前節で述べたように、反応時間などの行動測度では、脳内で進行している処理過程を推測しているに過ぎず、熟練者のパフォーマンスを支える優れた脳内情報処理がどの段階から生じているのかを詳細に検討することはできなかった。そこで、この限界点を解決する指標として、ERP が有効とされている。ERP には、①非侵襲的である、②時間分解能が高い、③同一の個人や条件で安定した結果が得られる、④簡便でコストが低い、などの長所があり（入野，1998）、心理学研究において広く用いられている。本博士論文において ERP を用いる利点として、刺激入力から反応出力まで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点や、異なる処理過程を反映する複数の成分を同時に記録できる点にある。つまり、ERP を測定することで、空手道選手の優れたパフォーマンスが脳内における刺激評価の段階から生じているという仮説を、科学的かつ客観的に評価することが可能となり、空手道選手の動作生成に関わる脳内機序の解明につながるものと期待される。

以上のことから、本博士論文では組手の突き技に対する判断時に着目し、ERP を用いて空手道選手の情報処理能力について評価することを目的とした。まず、第2章では、ERP を指標とした空手道選手の基礎的知見を得ることに加え、突き技の判断時における空間的手がかりを推定するため、空間遮蔽された画像刺激に対する選択反応課題時の情報処理能力について検討した。次に、第3章では、実験状況の生態学的妥当性の担保をするとともに、相手の動作を手がかりにした情報処理能力を評価するため、映像刺激における選択反応課題時の ERP について検討した。最後に、第4章では、予測を伴う情報処理能力を評価するため、時間遮蔽された映像刺激に対する選択反応課題時の ERP について検討した。

第 2 章 空間遮蔽された画像刺激への選択反応課題時の ERP

2. 1. 目的

これまでに、空手道選手の情報処理能力に関する研究では、Mori et al. (2002) が空手道選手と一般人の反応時間を比較している。この研究では、空手道の突きや蹴りの映像を呈示し、技に応じて素早くボタン押しすることが課題であった。その結果、空手道選手は一般人よりも反応時間が早かったことを報告しており、空手道選手は優れた情報処理能力を有していることが示唆された。しかし、反応時間のような行動測度を用いるアプローチは、処理結果に基づいてその結果の背景にある情報処理過程を推定する方法であり、なんらかの障害で運動機能が低下する場合や、脳内での情報処理が並列して実行される場合には、反応時間から情報処理過程を推定することは困難であるといわれている (沖田, 1997)。

そこで、脳内の情報処理過程を評価する指標として、ERP を用いることが有効である。ERP 成分の一つである P3 は、注意を向けている刺激の呈示後 300ms 付近に、頭皮上の中心部から頭頂部にかけて優位に出現する陽性電位である。P3 潜時は、刺激評価過程に関連すると考えられており (Kutas et al., 1977; Magliero et al., 1984)、刺激の弁別が容易な時には短くなり、困難な時には長くなる。P3 振幅は、刺激や課題に対してどの程度の注意を向けていたかといった処理資源配分量である知覚-中枢処理資源を反映すると考えられており (入野, 2006 ; Schubert et al., 1998)、ある事象に多くの処理資源を配分するとその事象に対する P3 振幅は大きくなる。

また、熟練競技者はただやみくもに大量の情報に注目しているのではなく、特定の視覚探索パターンを用いて効率よく視覚情報を獲得している (加藤, 2013)。特に剣道においては目の使い方が重要視されており、「遠山の目付」と呼ばれる、遠く山全体を望むような目を半眼にして見る気持ちで相手に臨むことが大切であるといわれている (加藤, 2013)。人間の視覚システムには中心視システムと周辺視システムという 2 つのシステムが存在し、それぞれが協調して機能している (田中, 2016)。中心視システムでは狭いエリア内での対象の色、形状、材質感などの詳細を識別する。一方で、運動情報や空間位置は周辺視システムによって識別され、極めて速い情報処理を伴う (田中, 2016)。つまり、「遠山の目付」は、相手の顔に視支点を置き、周辺視システムを活用することで相手の素早い動作や打突に対応していると解釈することができる。このことから、剣道よりも対戦相手との距離が近い空

第2章 空間遮蔽された画像刺激への選択反応課題時のERP

手道においても同様のことがいえるだろう。空手道の組手では、有効部位である上段（頭・顔面・頸部）または中段（腹・胸・背中・脇腹）に対し、コントロールされた突き、蹴り、打ちを早く、正確に、力強く極（き）めることでポイントが認められるため（公益財団法人全日本空手道連盟, 2019b）、攻撃のバリエーションが豊富であり、いかに技を見極めるかが勝敗を大きく左右すると考えられる。

近年、競技者が対戦相手やボールなどの対象から、いかなる先行手がかりを利用し、予測や意思決定を行っているのかという課題に対しては、映像刺激の加工技術を駆使した研究手法が用いられている（加藤, 2013）。その一つである、空間的遮蔽法では、相手の身体の一部を消失させた映像を呈示し、シュートコースや球種などの出力結果を予測させることで、空間的な予測手がかりの位置を推定する（Abernethy, 1990）。すなわち、空間的遮蔽法は、突き技の判断時に選手が何を手がかりにしていたかを明らかにするために有効な手法であり、空手道選手の情報処理能力を検討する上で理解しておかなければならない情報であると考えられる。

そこで本章では、ERPを指標として空手道選手の情報処理能力に関する基礎的特徴を明らかにすることに加え、突き技の判断時における空間的手がかりを推定するため、身体の一部が遮蔽された画像刺激に対する選択反応課題時の行動指標およびP3から情報処理能力について検討した。

2. 2. 方法

2. 2. 1. 実験参加者

実験参加者は、事前にインフォームドコンセントを受けた A 大学空手道部に所属する男子部員 7 名（年齢：18.14±0.38 歳，競技年数：12.71±0.49 年）とした。すべての参加者は正常な視覚機能を有しており，エディンバラ利き手テスト（Oldfield, 1971）によって右利きと判定された。また，組手における構えは正体（左手左足が前）の構えであった。本章は日本大学倫理審査委員会の承認（承認番号：018-H143 号）を得て実施された。

2. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集

呈示刺激のモデルは，空手道を専門種目とする右利きで組手の構えは実験参加者と同じく正体の男性選手（年齢：25 歳，競技年数：16 年，段位：全日本空手道連盟公認四段）であった。撮影する技は，組手において基本とされる上段刻み突き（以下「上段突き」と略す）および中段逆突き（以下「中段突き」と略す）の 2 種類とした。本章では静止画の撮影のため，モデルには 2 種類の突き技の腕が伸び切った状態で静止するよう教示した。撮影には iPad を使用し，画角内に試技中の全身が収まるようにモデルの前方 3m，地面から 1.3m の位置に設置し撮影した。

撮影された静止画は，編集用ソフト（Photoshop，Adobe 社製）を用いてモデルを切り抜き，トリミング機能を利用して身体の一部を遮蔽した。本章では，モデルの身体部位を上半身（上肢含む）と下半身に分け，①遮蔽なし条件（全身を呈示），②上半身遮蔽条件（頭部と下肢を呈示），③下半身遮蔽条件（頭部と体幹部と上肢を呈示）の 3 条件とした（図 6）。

2. 2. 3. 実験装置および課題

刺激は，プロジェクター（EH-TW510，EPSON 社製）を用いて，モデルが等身大になるよう実験参加者から 1.3m 先の壁面に投影した。課題は椅子座位姿勢で実施し，技を出さず構えた状態のモデルと実験参加者の眼球の高さが合うよう椅子の高さは調整された。刺激呈示のトリガ出力および刺激呈示からボタン押しまでの反応時間の測定には，反応時間測定システム（フォーアシスト社製）を用いた。

課題は，各遮蔽条件における選択反応課題とした。各遮蔽条件の実施順序は参加者内でカウンターバランスをとった。実験参加者には，呈示された技が上段突きであれば右手で，中

段突きであれば左手でボタン押しを求めた。上段突きと中段突きの呈示確率はそれぞれ 50% であり、ランダムな順序で呈示した。刺激呈示前には注視点として黒色十字を画面中央に 300ms 呈示した後、刺激を 100ms 呈示した。刺激のオンセット間隔は 1000—1250ms の範囲でランダムに変動させた。なお、本実験は注視点呈示後に反応を求める画像刺激を呈示した S1-S2 パラダイムであることから、注視点呈示後に画像刺激に対する実験参加者の注意や期待の高まりなどの心理作用が、その後の ERP（ベースラインや P3）に重畳している可能性は否定できない。しかし本章は、実験参加者が同一群であること、技や遮蔽条件に違いがないこと（順序にカウンターバランスをとっている）などの条件下で実験を実施しているため、結果に影響がみられなかったことを前提とする。

2. 2. 4. 脳波測定

脳波の測定には、デジタル脳波計（EEG-1214, 日本光電社製）を使用した。国際 10-20 法に基づく頭皮上 5 ヶ所（Fz, Cz, Pz, C3, C4）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で記録した。眼電図は、両外眼角から水平眼電図、左眼窩上下から垂直眼電図を導出した。記録時の周波数帯域は 0.08—300Hz であり、サンプリング周波数は 1000Hz、電極インピーダンスは 10k Ω 以下とした。

分析では、刺激呈示前 100ms から呈示後 800ms までの区間を加算平均し、刺激呈示前 100ms をベースラインとした。±100 μ V を超える電位を含む試行と誤反応試行は分析から除外した。また、刺激呈示後 250—500ms に生じる最大陽性ピークを P3 と同定し、優勢部位における頂点潜時を求めた。

2. 2. 5. 実験の手続き

実験参加者は練習課題を実施した後、実験課題を実施した。実験参加者には、呈示される刺激がどちらの技であるかについて判断できた時点で素早く反応すること、ボタン押しは上段突きであれば右手、中段突きであれば左手の人差し指で押すことを教示した。課題は、各遮蔽条件あたり 128 試行（上段突き 64 試行、中段突き 64 試行）であり、3 条件（計 384 試行）実施し、条件間には休憩を入れた。各条件の課題終了後には、モデルのどこを見ていたかについて自由記述で回答させた。なお、注視部位については、「拳」や「肩」などの回答は「上肢」とし、「顔」や「目」などの回答は「頭部」とし、「体」や「胸」などの回答は「体幹」として 3 項目のいずれかに割り当てた。

2. 2. 6. 統計

統計検定には、統計ソフト IBM SPSS Statistics 25 を使用した。注視部位にはカイ二乗検定を用い、各遮蔽条件における注視部位（頭部、上肢、体幹、下肢）の分布について検討した。反応時間と P3 潜時および振幅には遮蔽条件（遮蔽なし条件、上半身遮蔽条件、下半身遮蔽条件）×技（上段突き、中段突き）の二要因による反復測定分散分析を用いた。主効果および交互作用の効果量については偏イータ二乗 (η_p^2) を用いて示した。すべての分析において有意水準は 5%、有意傾向は 10% に設定した。



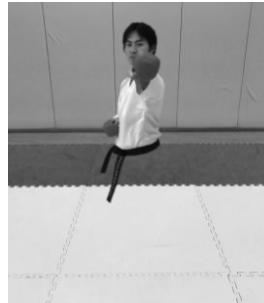


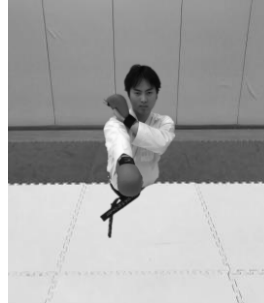
遮蔽条件 技	遮蔽なし条件	上半身遮蔽条件	下半身遮蔽条件
上段突き			
中段突き			

図6 各遮蔽条件における突き技の画像刺激

2. 3. 結果

2. 3. 1. 行動指標

(1) 反応時間

反応時間は図7に示す。反応時間について、遮蔽条件×技の二要因分散分析を行ったところ、遮蔽条件の主効果が有意であり ($F(2, 12) = 7.96, p < .01, \eta_p^2 = .57$)、多重比較の結果、上半身遮蔽条件の反応時間は、下半身遮蔽条件よりも有意に遅延し ($p < .05$)、遮蔽なし条件よりも遅延する傾向が示された ($p < .10$)。各遮蔽条件における技間には有意差はみられなかった。

(2) 注視部位

注視部位は表1に示す。注視部位について、遮蔽条件毎にカイ二乗検定を行ったところ、いずれの条件も有意差はみられなかったが、上半身遮蔽条件においては10%水準で有意傾向がみられ ($\chi^2 = 3.57, df = 1, p < .10$)、頭部への注視は期待度数より多い傾向を示した。また、いずれの遮蔽条件においても注視部位として下半身と回答した者はいなかった。

2. 3. 2. 生理指標

各条件におけるP3総加算平均波形(Pz)は図8に示す。刺激呈示後250—500msに陽性電位が惹起され、出現潜時や頭皮上分布からP3と同定した。本章では優勢であったPzについて報告する。

各条件におけるP3潜時について遮蔽条件×技の二要因分散分析を行ったところ、遮蔽条件の主効果 ($F(2, 12) = 2.82, n.s., \eta_p^2 = .32$)、技の主効果 ($F(1, 6) = 0.40, n.s., \eta_p^2 = .06$)、遮蔽条件×技の交互作用 ($F(2, 12) = 1.80, n.s., \eta_p^2 = .23$)のいずれにおいても有意差はみられなかった(図9)。

次に、P3振幅について遮蔽条件×技の二要因分散分析を行ったところ、技の主効果がみられ ($F(1, 6) = 6.20, p < .05, \eta_p^2 = .51$)、中段突きに対するP3振幅が上段突きよりも有意に大きかった。また、遮蔽条件の主効果に10%水準の有意傾向がみられたため ($F(2, 12) = 3.09, p < .10, \eta_p^2 = .34$)、多重比較を行った結果、上半身遮蔽条件におけるP3振幅が下半身遮蔽条件よりも有意に減衰した ($p < .05$) (図10)。

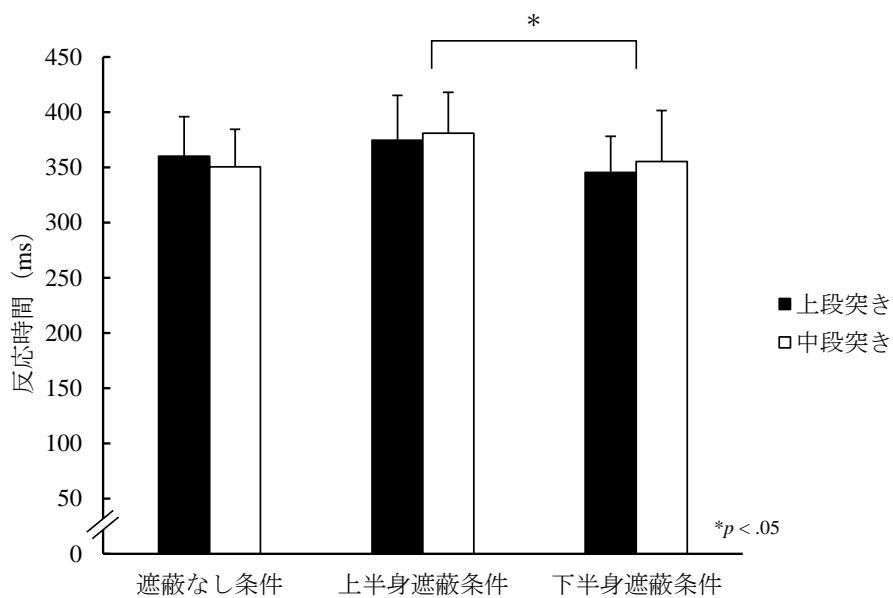


図7 各遮蔽条件における反応時間の平均値と標準偏差

表1 各遮蔽条件における注視部位への回答数 ($n = 7$)

遮蔽条件	注視部位			χ^2 検定
	頭部	上肢	体幹	
遮蔽なし条件	2	2	3	<i>n.s.</i>
上半身遮蔽条件	6	1	0	†
下半身遮蔽条件	1	3	3	<i>n.s.</i>

† $p < .10$

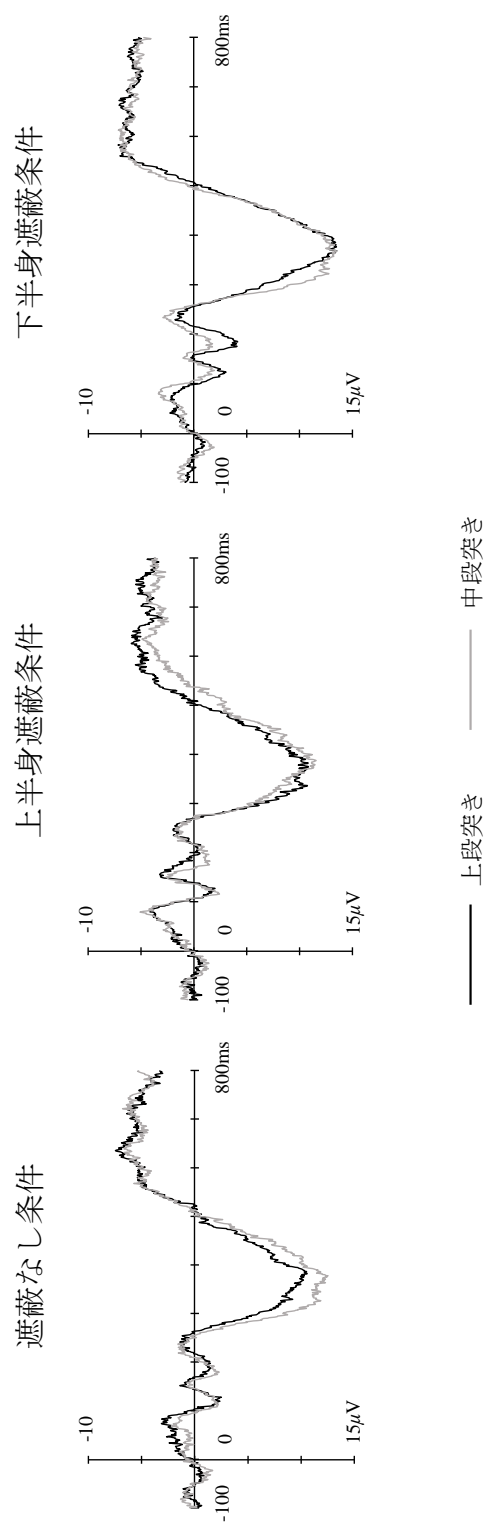


図8 各遮蔽条件におけるP3総加算平均波形(Pz)

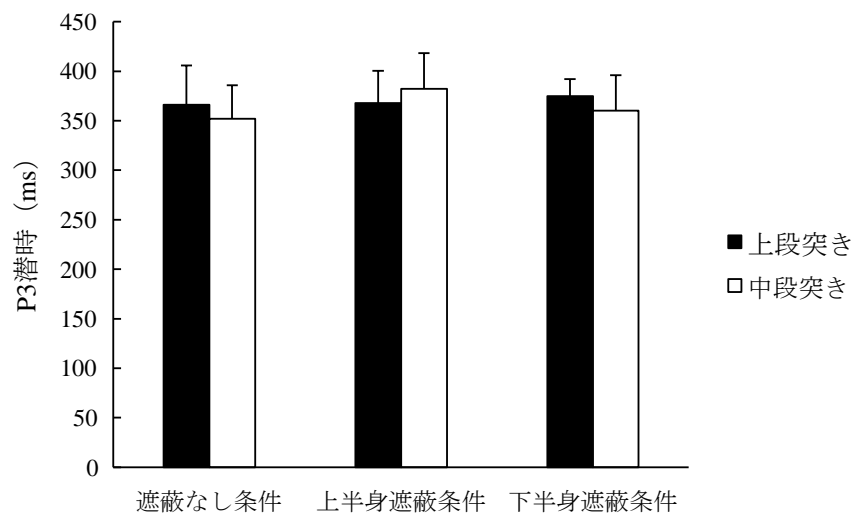


図9 各遮蔽条件におけるP3潜時の平均値と標準偏差 (Pz)

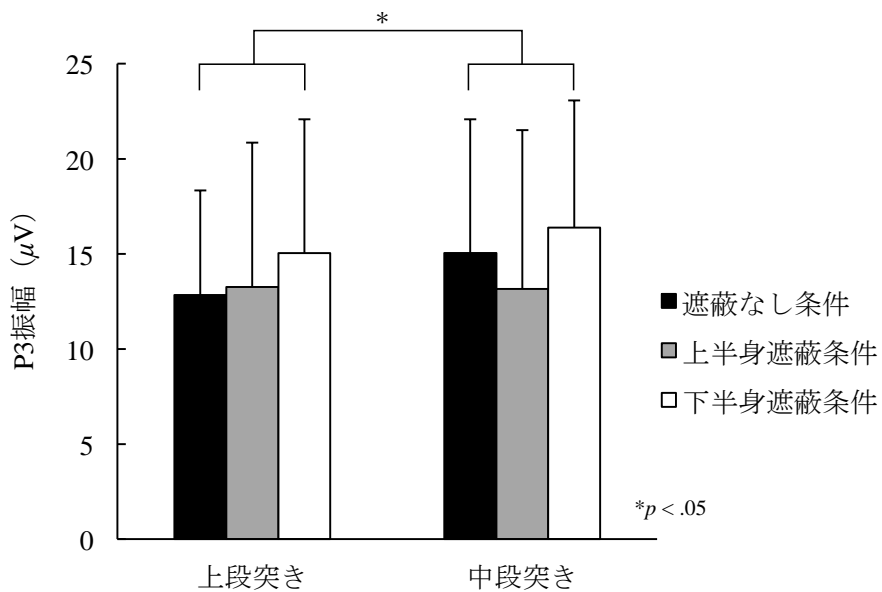


図10 各遮蔽条件におけるP3振幅の平均値と標準偏差 (Pz)

2. 4. 考察

本章では、空間的遮蔽法を用いた画像刺激による選択反応課題中の行動指標およびP3から空手道選手の情報処理能力について検討した。

まず、各遮蔽条件における注視部位について検討したところ、注視部位への分布は、遮蔽なし条件では頭部が2名、上肢が2名、体幹が3名、下半身遮蔽条件においては頭部が1名、上肢が3名、体幹が3名であり、両条件とも大きな偏りはみられず、主に上肢を含めた体幹に注視していることが確認された。一方で、上半身遮蔽条件においては体幹と回答した1名を除き、すべての参加者が頭部と回答した。ボクシング選手の眼球運動を分析した研究によると、選手のスキルレベルが高くなるにつれ、相手の胸や頭を注視し続ける傾向があると報告されている (Ripoll et al., 1995)。空手道選手の研究においても、相手からの攻撃に関する情報を効率よく捉えるために、突きが繰り出される拳や腕、蹴りが繰り出されるつま先や脚ではなく、相手の身体の中心である頭部や胸部に対して視支点を置いていることが報告されている (Williams & Elliott, 1999)。本章においても類似した結果を示しており、上半身遮蔽条件では上肢や体幹の情報が遮蔽されたため、頭部に視支点を置くことで周辺視として全体を捉えていたことがうかがえる。田中 (2016) によれば、視支点自体には重要な情報は存在しないが、視支点の周辺にある情報抽出のために熟練者は無自覚のうちに最適な位置に視線を向け、周辺視システムの機能特性を有効活用した視覚探索方略を用いることで優れたパフォーマンスを発揮している。このことから、上半身遮蔽条件ではモデルの顔そのものが重要な情報ではなく、技を判断するために最適な位置として頭部に視線を向けていたものと推察される。

また、すべての遮蔽条件において下肢と回答したものはなかった。この結果について、本章では実験参加者に対し「突き技」への反応が課題であると教示しているため、実験参加者はあらかじめ注視部位を上半身に限定していたことが予想される。しかしながら、本章ではいずれの遮蔽条件も有意差はみられず、注視部位の分布には統計的な違いはなかった。また、本章における注視部位の評価は、あくまで実験参加者の主観的な評価 (自由記述) に委ねており、眼球運動などの客観的なデータを測定していないことが限界点として挙げられる。今後は、眼球運動測定装置などを用いて、客観的データからも検討する必要があると考えられる。

次に、反応時間について検討したところ、上半身遮蔽条件における反応時間は下半身遮蔽

条件より有意に延長した。注視部位の結果から、本章の課題では上半身からの情報が重要な手がかりであることが示されたように、素早い反応を可能にする上でも上肢や体幹からの手がかりは不可欠である。しかしながら、上半身遮蔽条件ではそれらの手がかりから判断することができず、下半身遮蔽条件よりも反応時間が遅延したものと考えられる。よって、反応時間の結果からも、素早い判断には上半身の情報が重要であることが示された。一方、下肢が遮蔽された下半身遮蔽条件では、あらかじめ不要な情報を排除された状態での課題遂行であったと解釈でき、上半身遮蔽条件と比較した下半身遮蔽条件における反応時間の短縮に寄与したものと推察される。

本章では、空手道においてオーソドックスとされている正体（左手左足が前）に構えた選手が放つ突き技への対応を想定していることから、課題の反応肢を固定（上段突きには右手反応、中段突きには左手反応）している。一般的には利き手による運動は非利き手よりも成績が良いといわれており、選択反応課題の反応時間においても利き手が非利き手よりも早くなる可能性があるという報告（Kerr et al., 1963）に基づくと、利き手で反応した上段突きに対する反応時間が、非利き手で反応した中段突きに対するそれよりも短縮することが予想されたが、本章ではそのような短縮はみられなかった。その理由として、上段突きと中段突きでは、動作の違いから上段突きへの反応が遅延し、中段突きへの反応が短縮したことや、あるいはそもそも利き手が反応時間の短縮に影響を与えていなかったこと（Nisiyama & Ribeiro-do-Valle, 2014）などが考えられるが、本章では反応肢を固定していることから、このような結果を示した要因を断定することはできない。したがって、今後は左右反転させた画像刺激を用いる方法や、モデルに逆の構え（右手右足が前）で技を出させることで、反応肢を考慮した検討が必要である。

続いて、P3 潜時について検討したところ、遮蔽条件および技のいずれの要因においても有意差はみられなかった。剣道競技者の情報処理能力をERPから検討した研究では、一般学生と剣道競技者間における潜時に有意差がみられたが、剣道競技者内における課題条件間には有意差はなかったことが報告されている（川井ほか, 2015）。本章においても空手道競技者の遮蔽条件間における潜時に有意差はみられず、川井ほか（2015）の報告を支持する結果となった。P3 潜時は、刺激評価に要する処理時間を反映すると報告されていることから（Kutas et al., 1977; Magliero et al., 1984; McCarty & Donchin, 1981）、本章の課題における刺激評価時間には、遮蔽部位や技の違いによる影響はみられないことが示された。

P3 潜時と反応時間との相関について西平（2005）は、実験参加者に正確性を重視した課

題と反応速度を重視した課題を遂行させると、正確性を重視した課題の方が P3 潜時と反応時間の相関が高いことを示している。また、その理由について、反応速度を重視した条件では刺激の評価が不完全なままで反応を開始したが、正確さを重視した条件では刺激の評価を完全に終わってから反応したため、相関が高くなったと述べている（西平, 2005）。したがって、本章は P3 潜時には有意差がみられなかったが、反応時間に有意差がみられたことから、刺激の評価と反応処理を並列的に行っていた可能性が示された。

また、空手道には数多くの流派が存在するが、本章で対象となった空手道（組手）のルールは「寸止め」が原則であり、身体的ダメージを与えることを目的としておらず、故に相手選手よりも早く有効部位へ攻撃を到達させるスピードが重視されている。同様に、飯出ほか（2016）は、短時間で爆発的なパワーを発揮することより、いかに素早くかつ遠くへ身体重心を前方（水平）移動するかがプレーを有利にさせると述べている。つまり、本章の実験参加者においても反応速度を重視して課題遂行していた可能性がある。したがって、本章の結果は、P3 は刺激処理系に依存し、反応処理系とは直列的には関係ないという西平（2005）の考えを支持する結果となった。

最後に、P3 振幅について検討したところ、中段突きにおける振幅は上段突きよりも有意に増大した。P3 振幅は、刺激評価に要する処理資源配分量を反映し（Kok, 2001; Schubert et al., 1998）、弁別が困難な課題において減衰することが報告されており（下河内ほか, 1988; White et al., 2010）、本章によって得られた振幅の差は、技の違いによる確信度の差を反映したものと考えられる。本章では、技の画像を呈示したことから、モデルの動作過程から技を予測・判断することはできず、実験参加者は最終的な運動の結果から判断していたことが予想される。また、刺激呈示時間が 100ms であったことから、瞬間的に技の違いを検出する必要があった。そのため、実験参加者は技の違いを瞬時に判断できる頭の高さなどを基準にしていた可能性があり、顕著に頭の位置が下がる中段突きに対して高い確信度を持って判断していたことが考えられる。したがって、P3 振幅は判断に対する確信度に影響される（白石ほか, 1993）という特徴を踏まえると、中段突きに対する確信度の高さが、振幅の増大に寄与したものと推察される。

以上のことから、空手道熟練者は過去の経験と知識に基づき、特に中段突きにおいては情報を効率的に収集し、課題遂行していることが示唆された。これらの結果は、本章によって得られた新たな知見であるといえる。さらに、本章で得られた知見から、組手の突き技に関しては、いかに相手選手の上半身からの手がかりを読み取り、自分自身の手がかりは読み取

第2章 空間遮蔽された画像刺激への選択反応課題時のERP

られないかが試合を有利に運ぶ重要な要素になるといえるだろう。しかしながら、本章では、空手道選手の情報処理能力に関する基礎的特徴についてERPを用いて検討することを目的としていたことから、空手道未経験者との比較は行っていない。また、刺激には画像を使用したため、運動の結果（頭の高さや上半身の向きなど）から技を判断したものであり、相手の動作に内在する手がかりまではとらえきれていないなどの課題が残る。今後は、空手道未経験者との比較や、呈示刺激に映像を用いるなどの改善が求められる。

2. 5. 結論

第2章では,ERPを用いて空手道選手における情報処理能力の基礎的特徴を明らかにし,突き技の判断時における空間的手がかりを推定することを目的とした. その結果,以下の知見を得た.

1. 課題遂行中は主に上半身を注視していた.
2. 反応時間は,上半身遮蔽条件が下半身遮蔽条件よりも有意に遅延した.
3. P3 振幅は,中段突きが上段突きよりも有意に増大した.

以上により,突き技の判断時には上肢や体幹から得られる情報が重要な手がかりであり,それらの情報が遮蔽された上半身遮蔽条件の反応時間が最も長かった. また, P3 振幅の結果から,上段突きよりも中段突きに対する確信度が高いことが明らかとなった.

第3章 映像刺激を用いた突き技への選択反応課題時のERP

3. 1. 目的

第2章では、空手道選手の情報処理能力に関する基礎的特徴を明らかにし、突き技の判断時における空間的手がかりの推定を目的に、空間遮蔽された画像刺激に対する選択反応課題中の行動指標およびP3を測定した。その結果、課題遂行中は主に相手の上半身を注視しており、上肢や体幹から得られる情報が重要な手がかりとなることを示された。また、P3振幅の結果から、上段突きよりも中段突きへの確認度が高いことが推察された。一方で、第2章では、空手道未経験者との比較は行っていない点、画像刺激を使用したため相手の動作に内在する手がかりまではとらえきれていない点などの課題が残る。

森・三好(2013)は、競技者と一般人の知覚の相違が最も顕著に現れるのは、競技者がプレーをする際の視環境や必要とされる判断および行動を模した実験状況、すなわち生態学的妥当性の高い実験状況であることを示している。このことから、空手道選手の情報処理能力を検討する上で、いかに競技場面を模した実験状況を作り出すかが重要な要素の一つであり、そのために映像刺激の活用は必須といえる。さらに、空手道未経験者と比較検討することで熟練者特有の情報処理能力を捉えることができると期待される。しかし、第2章も含め、これまで競技者の情報処理能力を検討した研究においては、実際の競技映像に対する選択反応課題中のERPを測定したものは数少ないのが現状である(Jin et al., 2011; Radlo et al., 2001)。

そこで本章では、第2章で用いた突き技の画像刺激を映像刺激として呈示する。映像刺激を呈示することで、空手道熟練者固有の知覚や方略を反映した情報処理能力を検討できる可能性がある。以上のことから、本章では、実験状況の生態学的妥当性を担保するとともに、相手の動作に内在した手がかりによる情報処理能力を評価することを目的に、空手道熟練者と非熟練者を対象に映像刺激における選択反応課題時のERPについて検討した。

3. 2. 方法

3. 2. 1. 実験参加者

実験参加者は、事前にインフォームドコンセントを受けた A 大学の学生 14 名により構成され、空手道の競技経験の有無により 2 群に設定した。熟練群は A 大学空手道部に所属する男子部員 7 名（年齢：18.29±0.49 歳，競技年数：12.71±0.49 年）とし、非熟練群は空手道の競技歴のない男子学生 7 名（年齢：21.43±1.90 歳）とした。Mullis et al. (1985) は、P3 と加齢の関係について、20 代後半から 30 代後半まではあまり変化せず、40 代以上で P3 潜時が顕著に延長する傾向を報告していることから、本章における両群には結果に顕著な影響はないものとして選定した。また、実験における運動反応は、手指によるボタン押しであったことから、身体的特徴（体格）による差もないことを前提とした。すべての参加者が正常な視覚機能を有しており、エディンバラ利き手テスト (Oldfield, 1971) によって右利きと判定された。また、熟練群の組手における構えは正体（左手左足が前）の構えであった。本章は日本体育大学倫理審査委員会の承認（承認番号：018-H143 号）を得て実施された。

3. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集

呈示刺激のモデルおよび撮影状況は第 2 章と同様であった。撮影された映像のうち、ビデオカメラのずれや画角から外れた試技については除外し、条件を満たした上段突きおよび中段突きのそれぞれ 4 試技を抽出した。1 試技あたりの映像の長さは 3000ms とした。また、本章では、上段突きおよび中段突きの開始（動き出し）時点をモデルの左足が地面から離れる瞬間と定義し、映像呈示から 2000ms 後が技の開始時点となるように編集した（図 11）。突き技における 1 試技の動作時間（モデルの左足離地から突きが伸びきるまでの時間）の平均は上段が 180ms、中段が 210ms であった。

3. 2. 3. 実験装置および課題

実験装置および環境は第 2 章と同様であった。課題は、映像刺激による選択反応課題とし、実験参加者には映像が上段突きであれば右手で、中段突きであれば左手でボタン押しを求めた。すべての課題終了後には、視覚的アナログ目盛り法 (Visual Analogue Scale：以下「VAS」と略す) を用いて課題に対する主観的な難易度を評価した。VAS では、紙面上に示した 100mm の水平な直線上の左端を「易しい」、右端を「難しい」とし、適当な位置に印を

つけさせた。記入後は、直線の左端から実験参加者が記入した印までの距離（mm）を測定し、その距離を課題難易度の値として用いた。上段突きおよび中段突きの呈示確率はそれぞれ50%であり、ランダムな順序で呈示した。映像呈示前に注視点を300ms呈示した後、映像を3000ms呈示した。映像終了後、次の映像呈示までの間隔は1300—1550msの範囲でランダムに設定した。

3. 2. 4. 脳波測定

第2章と同様に、脳波の測定にはデジタル脳波計（EEG-1214、日本光電社製）を使用した。国際10-20法に基づく頭皮上5ヶ所（Fz, Cz, Pz, C3, C4）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で記録した。眼電図は、両外眼角から水平眼電図、左眼窩上下から垂直眼電図を導出した。記録時の周波数帯域は0.08—300Hzであり、サンプリング周波数は1000Hz、電極インピーダンスは10k Ω 以下とした。

本章では、映像開始2000ms後が技の開始時点となるため、その時点を刺激呈示時点（0ms）と定義し、反応時間およびP3潜時については、2000msを減算した値を算出した。映像呈示後1800msから2800ms（動き出し前200msから動き出し後800ms）までの区間を加算平均し、映像呈示後1800msから2000ms（動き出し前200msから動き出し時点）の平均値をベースラインとした。±100 μ Vを超える電位を含む試行と誤反応試行は分析から除外した。映像呈示後1900msから2800ms（動き出し前100msから動き出し後800ms）に行われたボタン押しを正反応とした（図11）。刺激呈示後2250msから2500ms（動き出し後250msから500ms）に生じる最大陽性ピークをP3と同定し、優勢部位における頂点潜時を求め、さらにその潜時に合わせて振幅を求めた。

3. 2. 5. 実験の手続き

実験の手続きは第2章と同様であった。実験参加者は練習課題を実施した後、実験課題を実施した。実験参加者には、呈示される映像がどちらの技であるかについて判断できた時点で素早く反応すること、ボタン押しは上段突きであれば右手、中段突きであれば左手の人差し指で押すことを教示した。課題は1ブロック64試行（上段突き32試行、中段突き32試行）とし、2ブロック実施した。またブロック間には休憩を入れた。2ブロック終了後には課題難易度のVASに回答させた。

3. 2. 6. 統計

統計検定には、統計ソフト IBM SPSS Statistics 24 を使用した。課題難易度の VAS については群（熟練群，非熟練群）による対応のない t 検定，正答率についてはチャンスレベル 50% を検定値とした 1 サンプルの t 検定，および群（熟練群，非熟練群）×技（上段突き，中段突き）の二要因による反復測定分散分析を用いた。反応時間と P3 潜時および振幅についても，群（熟練群，非熟練群）×技の種類（上段突き，中段突き）の二要因による反復測定分散分析を用いた。主効果および交互作用の効果量については偏イータ二乗 (η_p^2) を用いて示した。すべての分析において有意水準は 5% に設定した。

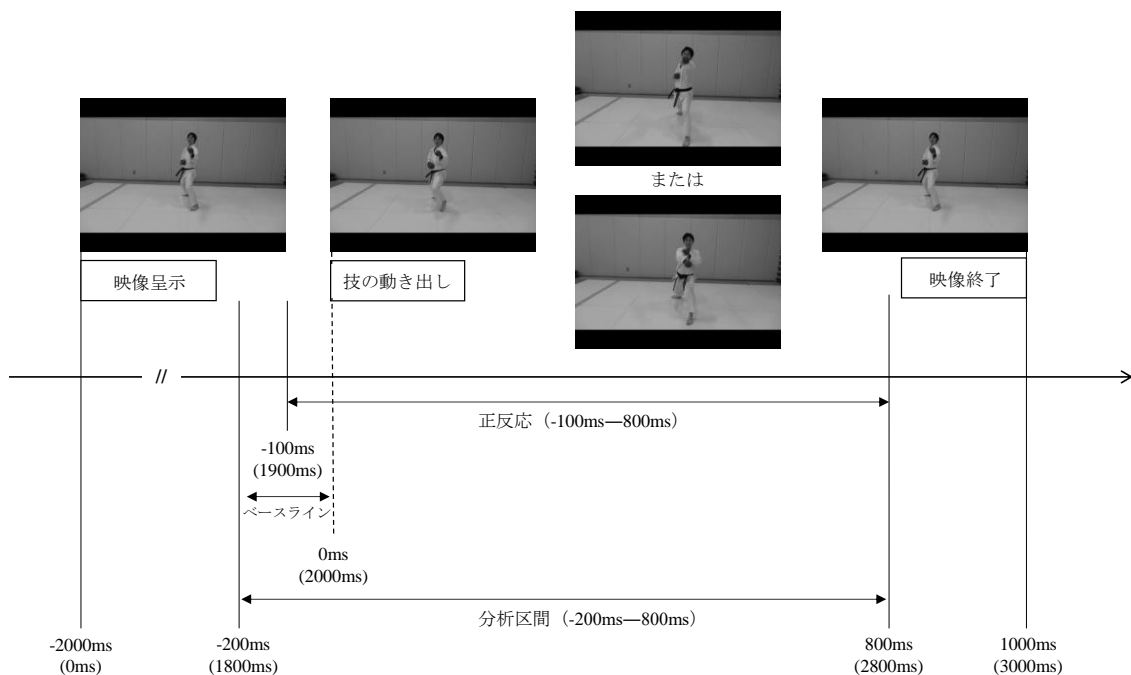


図 11 課題 1 試行あたりの流れ

3. 3. 結果

3. 3. 1. 主観的指標

課題難易度の VAS は図 12 に示す。課題難易度について群による対応のない t 検定を行った結果、有意差はみられなかった。このことから、群間での主観的な課題難易度には差がみられないことが確認された。

3. 3. 2. 行動指標

(1) 正答率

両群における選択反応課題の正答率は図 13 に示す。正答率についてチャンスレベル 50% を検定値とする 1 サンプルの t 検定を行ったところ、熟練群と非熟練群におけるすべての条件で有意にチャンスレベルを上回っていた（熟練群×上段突き $p < .001$ 、熟練群×中段突き $p < .01$ 、非熟練群×上段突き $p < .05$ 、非熟練群×中段突き $p < .05$ ）。そこで、群×技の種類の二要因分散分析を行った結果、いずれにおいても有意差はみられなかった（群の主効果： $F(1, 12) = 0.09, n.s., \eta_p^2 = .01$ 、技の種類の主効果： $F(1, 12) = 0.01, n.s., \eta_p^2 = .00$ 、群×技の種類の交互作用： $F(1, 12) = 4.65, n.s., \eta_p^2 = .28$ ）。このことから、選択反応課題の正答率は熟練群と非熟練群に違いはなく、ともにチャンスレベルを超えていた。

(2) 反応時間

両群における映像呈示 2000ms 後（動き出し時点）からボタン押しまでの反応時間は図 14 に示す。反応時間について群×技の種類の二要因分散分析を行った結果、技の種類の主効果（ $F(1, 12) = 41.73, p < .001, \eta_p^2 = .777$ ）および群×技の種類の交互作用（ $F(1, 12) = 16.58, p < .01, \eta_p^2 = .580$ ）が有意であった。単純主効果検定の結果、非熟練群において中段突きへの反応時間が上段突きへの反応時間よりも有意に短かった（ $p < .001$ ）。また、上段突きへの反応時間は熟練群が非熟練群よりも有意に短かった（ $p < .05$ ）。中段突きにおける群間および熟練群における技間の反応時間には有意差はみられなかった。

3. 3. 3. 生理指標

両群における P3 総加算平均波形（Pz）は図 15 に示す。モデルの動き出し後 250—500ms に陽性電位が惹起され、出現潜時や頭皮上分布から P3 と同定した。西平（2005）によると、

P3 は頭皮上では正中線上の頭頂部で最大の振幅を示すことが明らかにされていることから、本章では Pz のみを報告する。

両群における P3 潜時は図 16 に示す。P3 潜時について群×技の種類 of 二要因分散分析を行った結果、群の主効果 ($F(1, 12) = 6.13, p < .05, \eta_p^2 = .338$)、技の種類 of 主効果 ($F(1, 12) = 19.50, p < .001, \eta_p^2 = .619$)、群×技の種類 of 交互作用 ($F(1, 12) = 9.07, p < .05, \eta_p^2 = .431$) が有意であった。単純主効果検定の結果、非熟練群において中段突きに対する P3 潜時が上段突きに対する P3 潜時よりも有意に短かった ($p < .001$)。また、上段突きに対する P3 潜時は熟練群が非熟練群よりも有意に短かった ($p < .01$)。中段突きにおける群間および熟練群における技間の P3 潜時には有意差はみられなかった。

両群における P3 振幅は図 17 に示す。P3 振幅について群×技の種類 of 二要因分散分析を行った結果、群の主効果、技の種類 of 主効果、群×技の種類 of 交互作用 of いずれにおいても有意差はみられなかった (群の主効果 : $F(1, 12) = 2.56, n.s., \eta_p^2 = .18$, 技の種類 of 主効果 : $F(1, 12) = 2.43, n.s., \eta_p^2 = .17$, 群×技の種類 of 交互作用 : $F(1, 12) = 0.16, n.s., \eta_p^2 = .01$)。

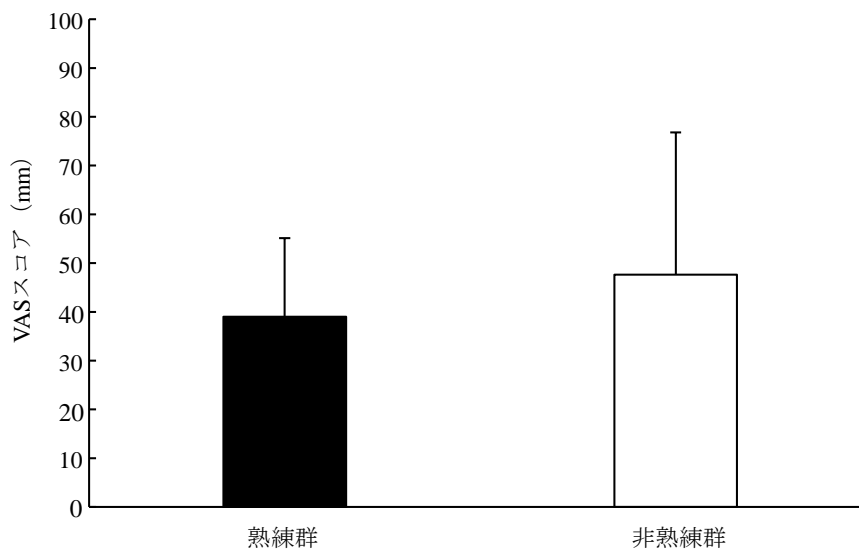


図12 両群における課題難易度 (VAS) の平均値と標準偏差

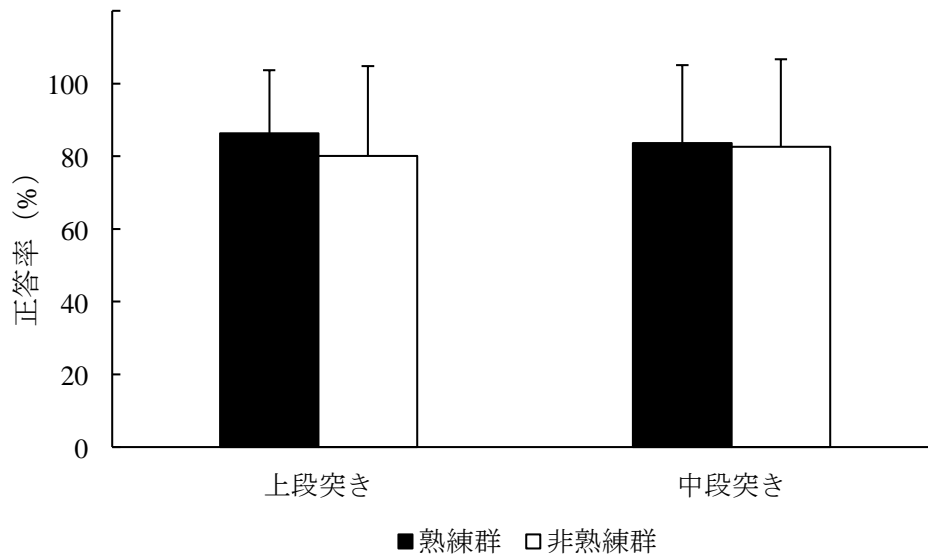


図13 両群における課題正答率の平均値と標準偏差

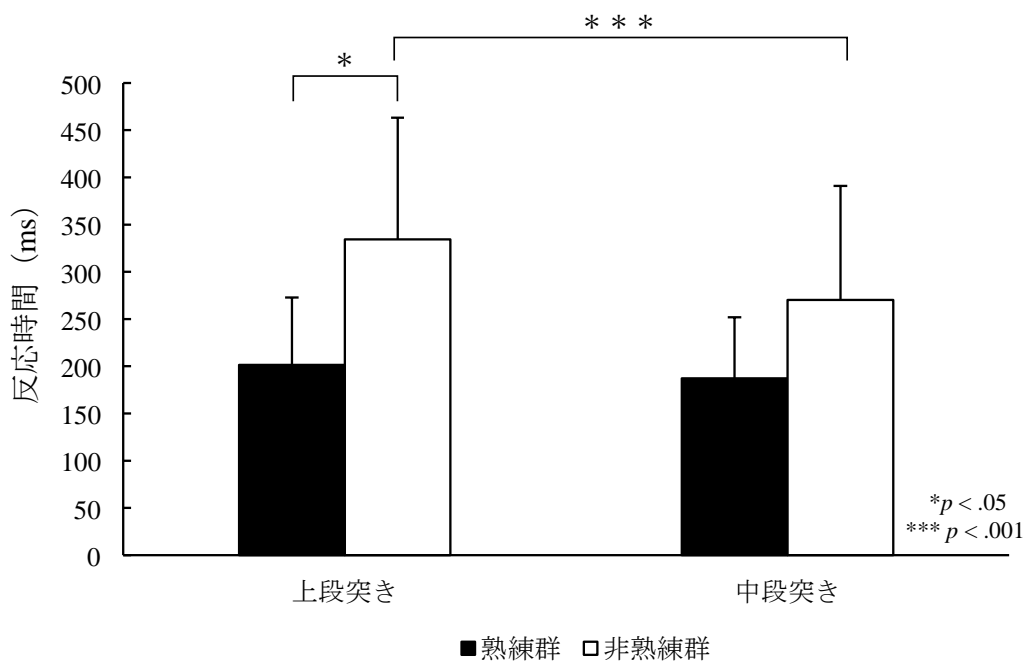


図 14 両群における反応時間の平均値と標準偏差

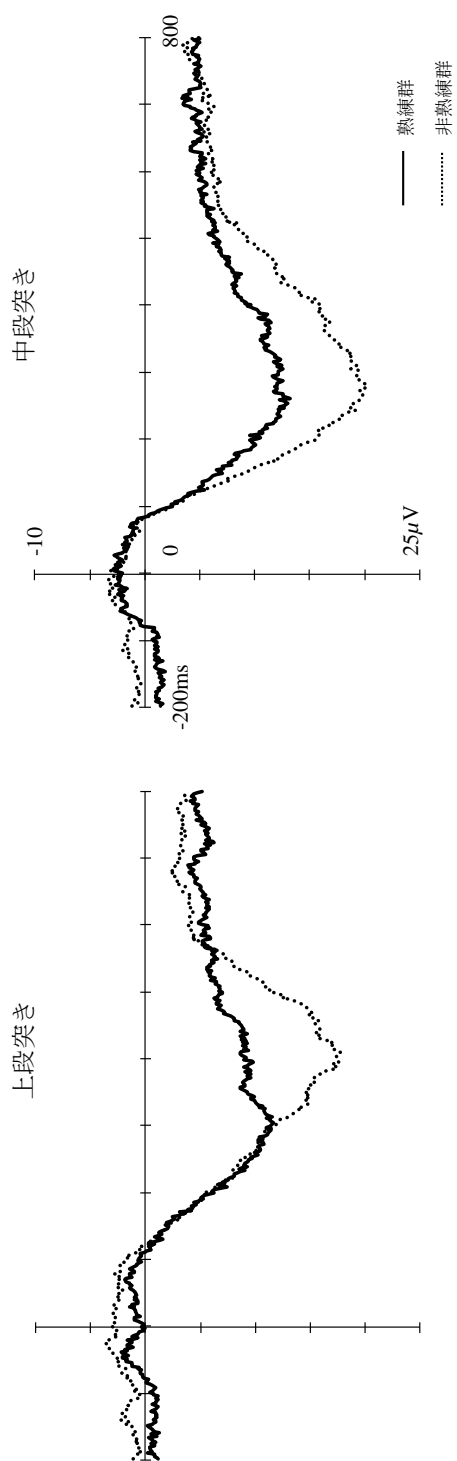


図15 両群におけるP3総加算平均波形(Pz)

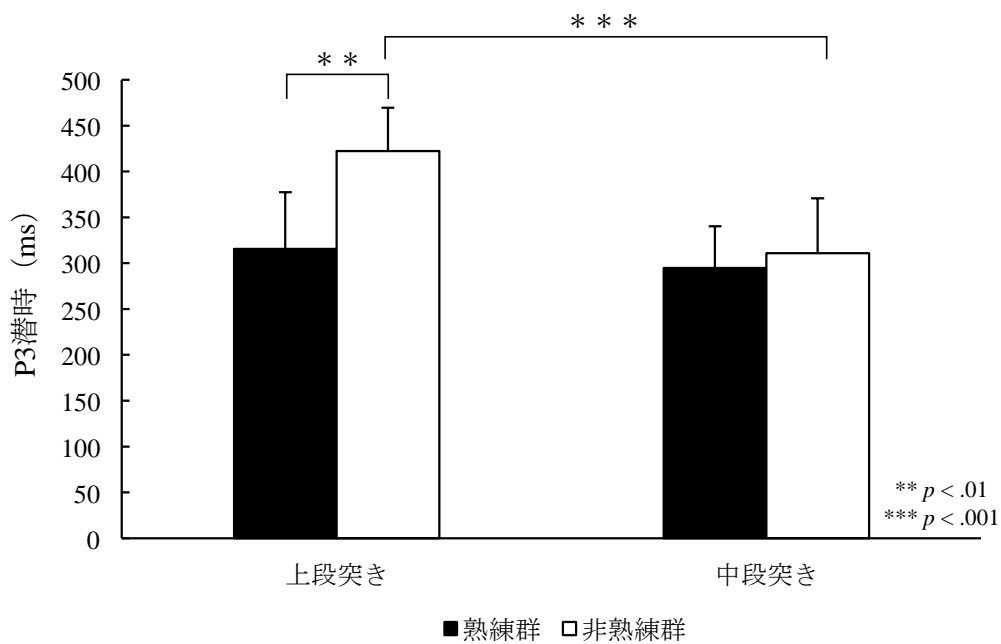


図 16 両群における P3 潜時の平均値と標準偏差

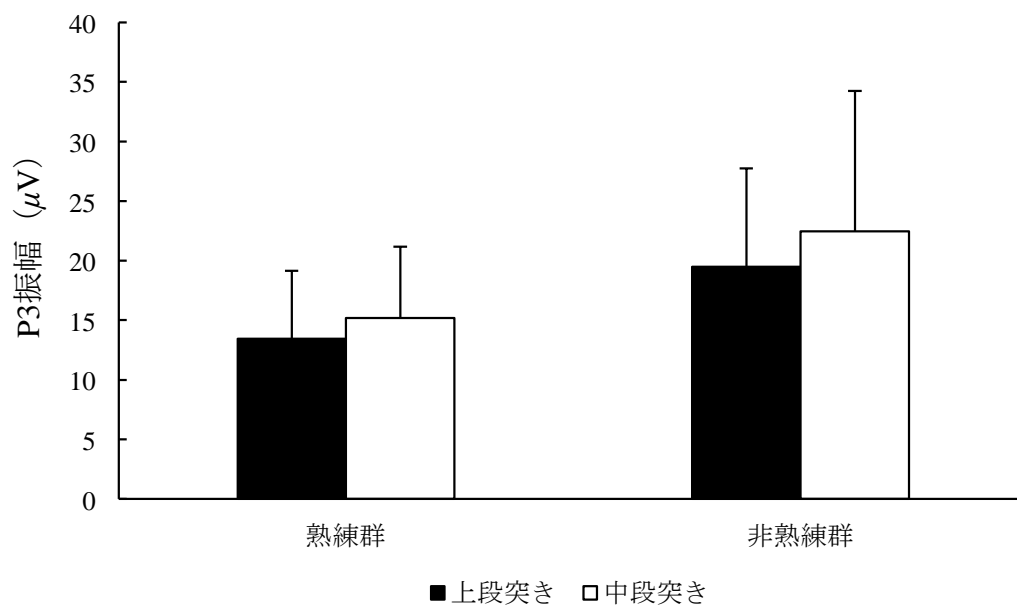


図17 両群におけるP3振幅の平均値と標準偏差

3. 4. 考察

本章では、突き技を映像で呈示することにより、相手の動作中における選択反応課題によって誘発されたERPから、空手道選手の情報処理能力について検討した。

課題難易度のVASについて検討したところ、課題難易度には群間による差はみられず、両群とも同程度に感じていることが示された。また、VASの平均値は熟練群が39.0mm、非熟練群が46.7mmであり、いずれも最大値の半分を下回っていたことから、本章の選択反応課題は空手道経験のない非熟練群にとっても比較的容易な課題であったと考えられる。

行動指標である選択反応課題の正答率について検討したところ、正答率には群間による差はみられず、また両群ともチャンスレベルを有意に上回っていた。このことから、非熟練群においても高い精度で上段突きと中段突きを判断していたことが明らかとなり、課題難易度の結果と整合する。また、群間で正答率に差がみられなかった要因として、映像の呈示時間が考えられる。本章では、上段突きおよび中段突きの映像を3000ms呈示した。そのため、技を最後まで見てから判断することが可能であり、非熟練群においても正確な選択反応ができた可能性がある。しかし、竹澤・筒井(2015)が、空手道は攻防が一体で選手の攻撃と防御の状態が同時に存在すると述べているように、実際の試合場面において相手の攻撃を最後まで見てから判断していたのでは到底間に合わない。したがって、本章においても映像の呈示時間を短くすることで、群間による正答率の差が顕著になるものと予想される。映像の呈示時間を操作したMori and Shimada(2009)の研究では、ラグビーのサイドステップから進行方向を予測する課題において、ボールを持って直進してくる選手が右あるいは左に走る方向を変える瞬間を0msとし、その前後で映像呈示を中断(時間的遮蔽法)している。その結果、早い時点での中断ではラグビー選手が一般人よりも正答率が高いことを報告しており、映像呈示時間の短縮が判断を困難にしていることから、今後は呈示時間も操作する必要があるといえる。

行動指標である選択反応課題の反応時間について検討したところ、反応時間は群×技の種類の変異作用が有意であり、非熟練群においては中段突きへの反応が上段突きへの反応よりも有意に早かった。この結果には、刺激を映像で呈示したことで生じた、上段突きと中段突きの動作の違いが反映していると考えられる。本章で用いた上段突きは、左足を前方に踏み出しながら左手で顔面を突く技であり、上半身の回旋運動や頭の上下動が比較的小さい。他方、中段突きは左足を大きく前方に踏み出しながら右手で腹部を突く技であり、上段突き

よりも上半身の回旋運動や頭の上下動が大きいことが特徴として考えられる。中段突きはボクシングのストレートパンチと類似しており、体幹や骨盤を身体長軸周りに回転させながら右腕を前方に伸ばしたフォーム、すなわち、相手選手から遠方に位置する右拳を前方に伸ばす時、身体は矢状面上で並進運動をしている状態となる（岩本ほか、2012）。第2章では、画像で呈示したため、モデルの動作過程からこれらの手がかりを得ることができなかったが、映像刺激を用いた本章では、モデルの動作に内在する手がかりをもとに判断することが可能であり、空手道経験のない非熟練群であっても素早く反応することができるものと推察される。一方で、熟練群には技の種類による反応時間に有意差がみられなかったことから、どちらの技に対しても素早く反応できたといえる。瀬谷・森（2003）は、空手道選手は身体的なダメージを回避するために対戦相手の動作の弁別において正確性が求められると述べており、熟練群は日頃の練習の中で技を正確に見分ける能力を身につけているものと考えられる。

上段突きへの反応時間は、熟練群が非熟練群よりも有意に短かった。前述したように中段突きは上半身の回旋運動等の予備動作が大きく、判断が容易であったのに対し、上段突きは判断しづらく、群間での反応時間の差も顕著であったと予想される。田辺・田中（1976）の調査によると、学生空手道試合（第17回関東大学空手道選手権大会、第11回東日本大学選手権大会、第18回全日本学生空手道個人選手権大会、第3回関東学生空手道個人選手権大会）における決まり技のうち、突き技は蹴り技の4倍であり、突き技では中段突きよりも上段突きが多用されることを報告している。この調査結果からも、空手道の試合においては上段突きが最もポイントが取れる有効な技であり、それ故に非熟練群にとっては反応が困難な技であると推察される。また、本章で用いた突き技の動作時間は上段突きが180ms、中段突きが210msであり、熟練群における上段および中段突きへの反応時間はそれぞれ201ms、187msであった。このうち、熟練群の中段突きへの反応のタイミングは、モデルが、技の開始時点と定義した左足離地よりもわずかに早く行っていた右足（後ろ足）を引き寄せる動作や右手（突き手）を下げる動作のタイミングに相当しており、熟練群はモデルが技を出し終えるまでに判断・反応していることが明らかとなった。一方、非熟練群の反応時間は上段突きが334ms、中段突きが270msであり、どちらもモデルが技を出し終えてから反応していることが明らかとなった。

生理指標であるP3について検討したところ、P3潜時は反応時間の結果と同様に群×技の種類の交互作用が有意であり、非熟練群においては中段突きに対するP3潜時が上段突きに

対する P3 潜時よりも有意に短縮した。また、上段突きに対する P3 潜時においては、熟練群が非熟練群よりも有意に短かった。P3 潜時は、反応段階とは比較的独立した刺激評価段階に関連するとされており (McCarthy & Donchin, 1981; Magliero et al., 1984)、刺激の識別が困難な時や難易度の高い課題を要求すると延長することが報告されている。

本章における上段および中段突きの P3 潜時の差は、熟練群が 21ms であるのに対し、非熟練群は 111ms と大きく、反応時間の結果からも交互作用の本質は非熟練群における上段突きへの処理の遅れにあることが推察される。月井 (2018) によれば、上段突き (刻み突き) は、相手に一番近い位置にある前拳で突き、中段突き (逆突き) のように身体が正面を向くことがないため、すべての技の中で最も速くリスクの少ない技であるとされている。すなわち、反応時間の考察でも述べたように、中段突きに比べて上段突きの予備動作の小ささが、非熟練群の刺激評価の遅延に大きな影響を及ぼしているといえる。また、川井ほか (2015) は剣道について、時々刻々と変化する攻防の中で、自身の遂行する動作の意思決定における一瞬の迷いが打突の好機を逃すことや有効打突を奪取される原因となるため、剣道競技者は意思決定完了までの時間が短いことを示唆している。剣道と同様に空手道においても、意思決定の速さはポイントを奪取するための重要な要因の一つであり、熟練群の P3 潜時は非熟練群よりも短かったと推察される。

一方で、P3 振幅には有意差はみられなかった。P3 振幅は刺激評価に要する処理資源配分量を反映し、ある事象に多くの処理資源を配分するとその事象に対する振幅は大きくなる。したがって、本章の P3 振幅の結果は、両群とも突き技の判断時における処理資源の配分量には統計的な違いがなかったことを意味する。しかし、群および技の種類の主効果における効果量はそれぞれ 0.18 と 0.17 であり、課題の複雑さや状況によっては両群の振幅に有意差が認められる可能性がある。

例えば、実際の試合場面では相手選手の攻撃が突き技とは限らず、蹴り技や連続技などより複雑で素早い攻防が展開される。さらには、相手選手との距離感 (間合い) や自分自身が攻撃を繰り出すためのタイミング、試合の残り時間など注意を払わなければならない要因が数多く存在する。つまり、空手道選手は本実験課題よりも複雑な環境で瞬時に情報処理していることから、今後の研究では映像刺激の追加や映像呈示時間および反応時間の制約を設定することによって、より複雑で実践的な状況下における情報処理能力を評価できると考えられる。そして、P3 振幅は、刺激に向けられる注意の量に応じて段階的に大きくなる (入野野, 2006) といわれているため、先述したような複雑で実践的な状況下では非熟練群

のP3振幅が熟練群よりも有意に増大するものと推察される。

以上のことから、映像刺激を用いた突き技への選択反応時において、空手道熟練群の情報処理能力は高いことが示唆された。正木(2012)は、スポーツの擬似場面をつくってERPを記録することで、主観的にも理解しているスポーツでの複雑な弁別と意思決定過程を検証できるとしている。したがって、本章は空手道選手の意思決定完了までの過程を反映したものであり、競技者の巧みな動作生成に関わる脳内機序を解明するために重要な知見となるだろう。しかしながら、本章で用いた映像は、モデルが技を出し終えるまでを呈示しているため、映像を最後まで観察することで非熟練者であっても確実に技を判断することが可能であった。また、実験参加者が技を出し終えるまでに反応した場合にも映像は遮断されず、全試行において3000ms呈示している。つまり、モデルが技を出してから判断していたのか、あるいは技を出す前から見抜いていたのかといった、技への予測や準備過程については言及することはできないという課題が残る。今後は、技が出されるまでの予測や準備過程も含めた検討が求められる。

3. 5. 結論

第3章では、実験状況の生態学的妥当性を担保するとともに、相手の動作に内在した手がかりによる情報処理能力を評価することを目的に、空手道熟練者と非熟練者を対象に映像刺激における選択反応課題時のERPについて検討した。その結果、以下の知見を得た。

1. 非熟練群の反応時間は、中段突きよりも上段突きにおいて有意に遅延した。
2. 上段突きへの反応時間は、熟練群が非熟練群よりも有意に短かった。
3. 非熟練群のP3潜時は、中段突きよりも上段突きにおいて有意に延長した。
4. 上段突きへのP3潜時は、熟練群が非熟練群よりも有意に短かった。

以上により、熟練群は非熟練群よりも反応時間およびP3潜時が短く、その差は上段突きにおいて顕著であった。また、非熟練群は中段突きよりも上段突きの処理に時間を要することが明らかとなった。

第4章 時間遮蔽された映像刺激への選択反応課題時のERP

4. 1. 目的

第3章では、実験状況の生態学的妥当性を担保するとともに、相手の動作に内在した手がかりによる情報処理能力を評価することを目的に、空手道熟練者と非熟練者を対象に映像刺激における選択反応課題時のERPについて検討した。その結果、空手道の熟練群は非熟練群よりも反応時間およびP3潜時が短縮し、その差は上段突きにおいて顕著であることが示された。また、非熟練群においては中段突きよりも上段突きの処理に時間を要することが明らかとなった。正木(2012)は、スポーツの擬似場面場面をつくってERPを記録することで、主観的にも理解しているスポーツでの複雑な弁別と意思決定過程を検証できると述べており、本章は空手道選手の意思決定完了までの過程を反映した結果であるといえる。

しかし、第3章では映像を3000ms呈示したため、モデルが技を出してから判断していたのか、あるいは技を出す前から見抜いていたのかといった、技への予測や準備過程については言及できなかった。競技者の情報処理能力を詳細に評価する上で、事前の予測や準備過程を検討することは極めて重要であり、この点を改善することができればさまざまな競技における予測場面の情報処理能力に関する知見を得られるだろう。実際に多くの競技スポーツでは、日常場面と比較して厳しい時間的制約があることから、勝利のためには優れた予測能力が必要とされている。續木ほか(2008)によると、サッカーのペナルティキック時のコース予測について、ゴールキーパーがボールをセーブするには、キッカーがボールを蹴る前までにシュートコースの予測をしておかなければならないといわれている。松下・山田(1988)は、空手道も同様にいち早く反撃するために相手の攻撃を正確に予測することが重要であると指摘している。

これまで、熟練者が利用する時間的な予測手がかりの推定には、プレーヤーの視点で撮影したビデオ映像を呈示刺激として利用する手法から検討されてきた(緒方ほか, 2015)。時間的遮蔽法では、プレー場面を特定の時間帯で消失させ、その後の出力結果(例えば打球方向)を予測させることで、時間経過の推移に伴う予測手がかりの出現タイミングを推定する(Farrow et al., 2005)。

また、より早い段階で正確な予測を可能にしている熟練者は、刺激が呈示される前から最適な準備状態(認知的構え)を作り出していることが予想されるが、これまでのERPを用

いた研究では、刺激が呈示された後の現象に注目しているものが多かった。しかし、ERPは刺激呈示前の脳活動も捉えることができ、これらの刺激入力前の脳活動は瞬間的な変化よりも数秒かけた持続的な変化を示し、その持続的な活動は脳波緩電位として観察できる(大上, 2017)。その代表的なERP成分としてCNVがある。CNVは、警告刺激あるいは予告刺激(S1)の呈示から、一定時間後に呈示される運動反応(R)を要求する命令刺激(S2)の刺激間において緩やかに陰性方向へシフトする電位であり、前頭-中心部に優勢な左右対称の頭皮上分布を示す。CNVは、S1に対する定位反応や覚醒水準を反映するとされる前期成分と、S2に対する予期的反応や運動準備を反映するとされる後期成分の2成分によって構成され(Gaillard, 1976)、CNVを測定することで課題に対する準備過程を評価することが可能となる。

これまでのCNVを測定した実験のほとんどは、S1およびS2に聴覚刺激や画像刺激が用いられており、時々刻々と変化する状況や動く対象への予測・判断が求められることの多い競技種目は評価できないという問題がある。本章によって、映像刺激に対するCNVが測定できれば、空手道の技の予測場面における準備状態から情報処理能力を評価することが可能になる。そこで本章では、S1を映像開始時点、S2を映像終了(技の動き出し)時点とした実験パラダイムを用いることで、遮蔽された映像に対するCNVが惹起され、反応開始までの準備状態を評価することができると考えられる。

以上のことから、本章では遮蔽された映像刺激をCNVパラダイムに応用し、技への予測・判断時における空手道選手の情報処理能力について検討することを目的とした。本章によって得られる知見は、予測場面における脳活動の特徴をとらえ、競技者における優れた情報処理の発生機序の解明につながると予想される。

4. 2. 方法

4. 2. 1. 実験参加者

実験参加者は、事前にインフォームドコンセントを受けた A 大学の学生 15 名により構成され、空手道の競技経験の有無により 2 群に設定した。熟練群は A 大学空手道部に所属する男子部員 7 名（年齢：18.14±0.38 歳，競技年数：12.71±0.49 年）とし、非熟練群は空手道の競技歴のない男子学生 8 名（年齢：21.13±1.96 歳）とした。すべての参加者が正常な視覚機能を有しており、エディンバラ利き手テスト (Oldfield, 1971) によって右利きと判定された。また、熟練群の組手における構えは正体（左手左足が前）の構えであった。本章は日本体育大学倫理審査委員会の承認（承認番号：018-H143 号）を得て実施された。

4. 2. 2. 呈示刺激の撮影と編集

本章では、第 3 章と同様の映像を使用した。第 3 章では、1 試技あたりの映像の長さを 3000ms とし、ステップ開始から技を出し終わるまでの一連を呈示していたが、誘発電位測定指針案において、前期 CNV と後期 CNV とを分離するには 2 秒間でも可能であることが示されていることから (下河内, 1997)、本章では 1 試技あたりを 2000ms に短縮し、ステップ開始から技の開始時点までの呈示とした。また、技の開始時点はモデルの左足離地と定義した (図 18)。

4. 2. 3. 実験装置および課題

第 3 章と同様に、映像刺激の呈示には、プロジェクター (EH-TW510, EPSON 社製) を用いて、モデルが等身大になるよう実験参加者から 1.3m 先の壁面に投影した。その際、実験参加者とモデルの眼球の高さが合うよう椅子の高さを調整した。また、刺激呈示からボタン押しまでの反応時間の測定には、反応時間測定システム (フォーアシスト社製) を用いた。

課題は、映像刺激による選択反応課題とした。実験参加者には、途中で遮蔽される技が上段突きと判断すれば右手で、中段突きと判断すれば左手でボタン押しを求めた。上段突きおよび中段突きの呈示確率はそれぞれ 50% であり、ランダムな順序で呈示した。映像呈示前に注視点を 300ms 呈示した後、映像を 2000ms 呈示し、映像終了後、次の映像呈示までの間隔は 1300—1550ms の範囲でランダムに設定した。すべての課題終了後には、VAS を用いて課題に対する主観的な難易度を評価した。VAS では、紙面上に示した 100mm の水平な直線

上の左端を「易しい」、右端を「難しい」とし、適当な位置に印をつけさせた。記入後は、直線の左端から実験参加者が記入した印までの距離 (mm) を測定し、その距離を課題難易度の値として用いた。

4. 2. 4. 脳波測定

第3章と同様に、脳波の測定にはデジタル脳波計 (EEG-1214, 日本光電社製) を使用した。国際 10-20 法に基づく頭皮上 5ヶ所 (Fz, Cz, Pz, C3, C4) 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で記録した。眼電図は、両外眼角から水平眼電図、左眼窩上下から垂直眼電図を導出した。サンプリング周波数は 1000Hz とし、時定数 5s, 周波数帯域 0.03—30Hz で記録した。電極インピーダンスは 10k Ω 以下とし、 $\pm 100\mu\text{V}$ を超える電位を含む試行と誤反応試行は分析から除外した。CNV は S1 呈示前 200ms の平均電位を基線とし、S1—S2 間の加算平均により求められた。S1 呈示後 500—1000ms (500ms 間) を前期 CNV, S1 呈示後 1500—2000ms (500ms 間) を後期 CNV として平均振幅を算出した。また、S2 呈示前 200ms の平均電位を基線とし、S2 (技の動き出し) 呈示後 250ms から 500ms に生じる最大陽性ピークを P3 と同定した。

4. 2. 5. 実験の手続き

実験の手続きは第3章と同様であった。実験参加者は練習課題を実施した後、実験課題を実施した。実験参加者には、呈示される映像がどちらの技であるのかについて、映像が終了するまでに判断し素早く反応すること、ボタン押しは上段突きであれば右手、中段突きであれば左手の人差し指で押すことを教示した。課題は 1 ブロック 64 試行 (上段突き 32 試行, 中段突き 32 試行) とし、2 ブロック実施した。またブロック間には休憩を入れた。2 ブロック終了後には課題難易度の VAS に回答させた。

4. 2. 6. 統計

統計検定には、統計ソフト IBM SPSS Statistics 25 を使用した。課題難易度の VAS には群 (熟練群, 非熟練群) による対応のない t 検定, 正答率にはチャンスレベル 50% を検定値とした 1 サンプルの t 検定, および群 (熟練群, 非熟練群) \times 技 (上段突き, 中段突き) の二要因による反復測定の分散分析を用いた。反応時間と P3 潜時および振幅についても群 (熟練群, 非熟練群) \times 技 (上段突き, 中段突き) の二要因による反復測定の分散分析を用いた。

第4章 時間遮蔽された映像刺激への選択反応課題時のERP

CNV は、群（熟練群，非熟練群）×導出部位（Fz, Cz, Pz）×技（上段突き，中段突き）の三要因による反復測定分散分析の後，群（熟練群，非熟練群）×技（上段突き，中段突き）の二要因による反復測定分散分析を用いた．主効果および交互作用の効果量については偏イータ二乗（ η_p^2 ）を用いて示した．すべての分析において有意水準は5%に設定した．

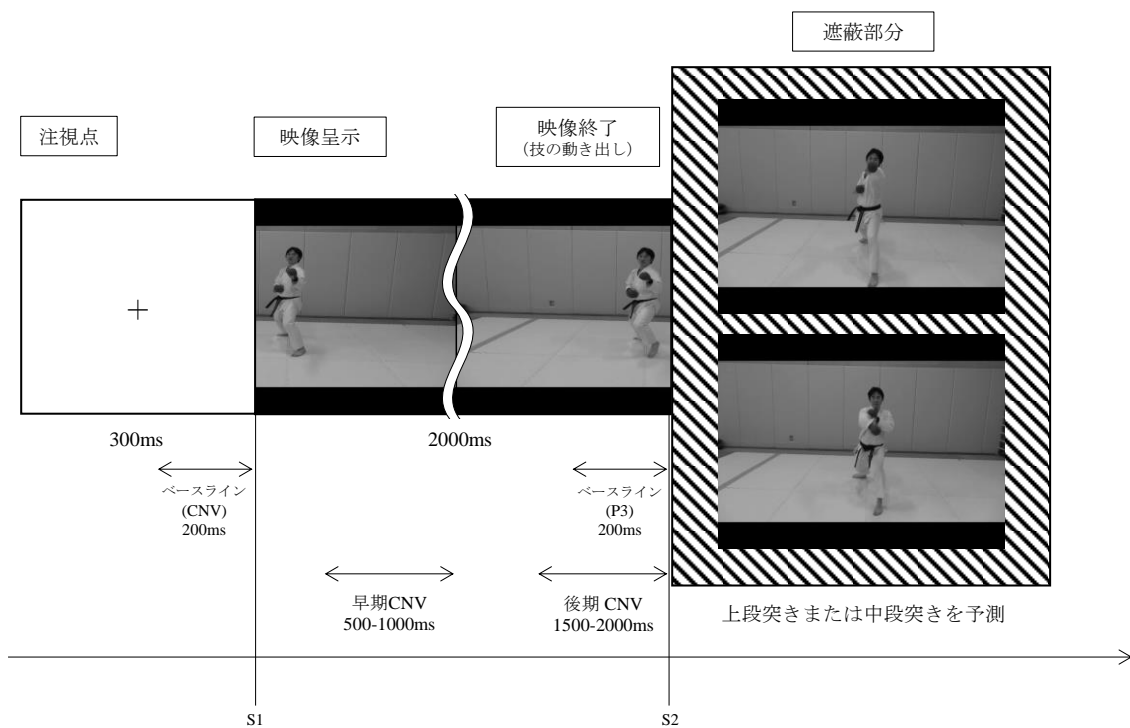


図18 課題1 試行あたりの流れ

4. 3. 結果

4. 3. 1. 主観的指標

課題難易度の VAS は図 19 に示す。群による対応のない t 検定を行った結果、非熟練群が熟練群よりも有意に高い値を示した ($t(13) = 3.42, p < .01, d = 1.77$)。

4. 3. 2. 行動指標

(1) 正答率

両群における選択反応課題の正答率は図 20 に示す。正答率についてチャンスレベル 50% を検定値とする 1 サンプルの t 検定を行ったところ、両群におけるすべての条件で有意にチャンスレベルを上回っていた (熟練群×上段突き : $t(6) = 3.54, p < .05, d = 1.89$, 熟練群×中段突き : $t(6) = 3.82, p < .01, d = 2.04$, 非熟練群×上段突き : $t(7) = 5.58, p < .001, d = 2.79$, 非熟練群×中段突き : $t(7) = 7.54, p < .001, d = 3.77$)。そこで、群×技の二要因分散分析を行った結果、技の主効果が有意 ($F(1, 13) = 8.96, p < .01, \eta_p^2 = .41$) であり、両群において中段突きへの正答率が上段突きよりも有意に高かった。群間による有意差はみられなかった。

(2) 反応時間

両群における反応時間は図 21 に示す。反応時間について群×技の二要因分散分析を行った結果、技の主効果が有意 ($F(1, 13) = 18.73, p < .001, \eta_p^2 = .59$) であり、両群において中段突きへの反応時間が上段突きよりも有意に短かった。群間による有意差はみられなかった。

4. 3. 3. 生理指標

(1) CNV 成分

上段突きおよび中段突きにおける両群の導出部位別に求めた CNV の総加算平均波形は図 22 に示す。ほぼすべての条件および部位において、映像呈示から遮蔽されるまでの 2000ms 間に陰性方向への電位変動 (CNV) が観察された。このことから、本章で用いた実験プロトコルが CNV を誘発するために適切であったことが示された。

両群における前期 CNV および後期 CNV の振幅は図 23 に示す。前期 CNV (S1 呈示 500–1000ms) の平均電位について群×導出部位×技の三要因分散分析を行った結果、導出部位の主効果が有意であった ($F(2, 26) = 33.97, p < .001, \eta_p^2 = .72$)。そこで多重比較を行ったと

ころ, Fz および Cz における電位が Pz よりも有意に高いことが示された(いずれも $p < .001$). 後期 CNV (S1 呈示 1500–2000ms) の平均電位について群×導出部位×技の三要因分散分析を行った結果, 導出部位の主効果が有意であった ($F(2, 26) = 10.13, p < .001, \eta_p^2 = .44$). そこで多重比較を行ったところ, Cz における電位が Fz および Pz よりも有意に高いことが示された(いずれも $p < .01$).

そこで, Cz に対し, 前期 CNV および後期 CNV それぞれに分析した. 前期 CNV の平均電位について, 群×技の二要因分散分析を行った結果, いずれの要因にも有意差はみられなかった(群の主効果: $F(1, 13) = 0.42, n.s., \eta_p^2 = .03$, 技の主効果: $F(1, 13) = 0.16, n.s., \eta_p^2 = .01$, 群×技の交互作用: $F(1, 13) = 0.75, n.s., \eta_p^2 = .05$). 後期 CNV の平均電位について, 群×技の二要因分散分析を行った結果, いずれの要因にも有意差はみられなかった(群の主効果: $F(1, 13) = 0.53, n.s., \eta_p^2 = .04$, 技の主効果: $F(1, 13) = 1.05, n.s., \eta_p^2 = .08$, 群×技の交互作用: $F(1, 13) = 0.09, n.s., \eta_p^2 = .01$).

また, C3 および C4 における CNV の平均電位を分析した. 前期 CNV の平均電位について, 群×導出部位×技の三要因分散分析を行った結果, 部位×技の一次の交互作用がみられた ($F(1, 13) = 5.06, p < .05, \eta_p^2 = .28$). そこで, 単純主効果検定を行ったところ, 上段突きにおける前期 CNV の電位は, C3 が C4 よりも有意に大きかった ($F(1, 13) = 5.00, p < .05$). 後期 CNV の平均電位について, 群×導出部位×技の三要因分散分析を行った結果, いずれの要因にも有意差はみられなかった.

(2) P3 成分

S2 呈示後 250–500ms に陽性電位が惹起され, 出現潜時や頭皮上分布から P3 と同定した. P3 は, P3a と P3b の 2 つの下位成分から構成されており, P3a は逸脱事象に対する注意の定位に関連し, 前頭–中心部優位の分布を示す. 他方, P3b は惹起事象の意図的な検出と符号化に関連し, 頭頂部優位の分布を示すことが知られている(入野, 2006). 入野(2006)の研究で用いられた 3 音オドボール課題では, 標準刺激と標的刺激の弁別が難しく, 逸脱刺激が知覚的に顕著であったため, 標的 P3 は P3b を多く含み, 逸脱 P3 は P3a を多く含んでいたと解釈されている. 本章は, 類似した 2 種類の刺激を呈示しており, すべての試行に対して反応を求めたため, いずれの刺激にも P3b が多く含まれているものとして考える. なお, 本章では優勢であった Cz について報告する.

両群の Cz における P3 潜時は図 24 に示す. P3 潜時について群×技の二要因分散分析を行

った結果、群×技の交互作用が有意であった ($F(1, 13) = 9.39, p < .01, \eta_p^2 = .42$)。単純主効果検定の結果、非熟練群において中段突きに対する P3 潜時が上段突きよりも有意に短縮した ($p < .05$)。また、上段突きに対する P3 潜時は熟練群が非熟練群よりも有意に短かった ($p < .001$)。中段突きにおける群間および熟練群における技間の P3 潜時には有意差はみられなかった。

両群の Cz における P3 振幅は図 25 に示す。P3 振幅について群×技の二要因分散分析を行った結果、群×技の交互作用が有意であった ($F(1, 13) = 5.22, p < .05, \eta_p^2 = .29$)。単純主効果検定の結果、非熟練群において上段突きに対する P3 振幅が中段突きよりも有意に減衰した ($p < .05$)。熟練群における技間および各技における群間の P3 振幅には有意差はみられなかった。

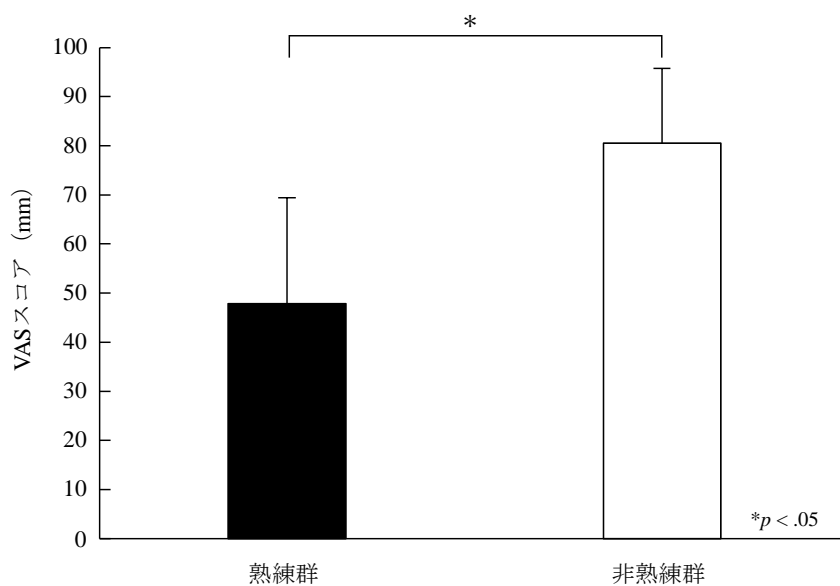


図19 両群における課題難易度 (VAS) の平均値と標準偏差

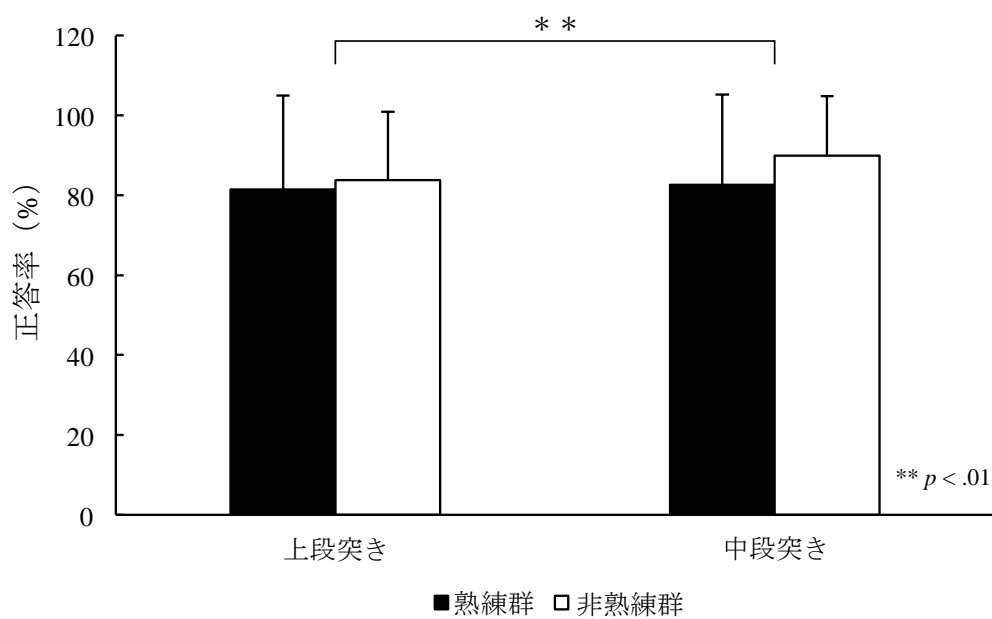


図 20 両群における正答率の平均値と標準偏差

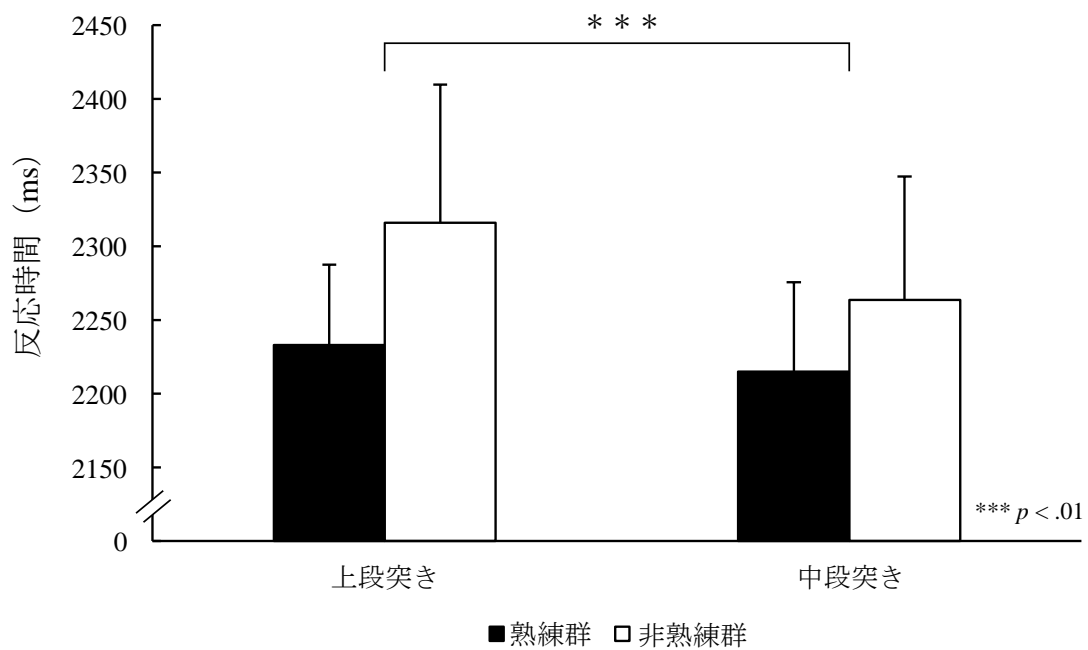


図 21 両群における反応時間の平均値と標準偏差

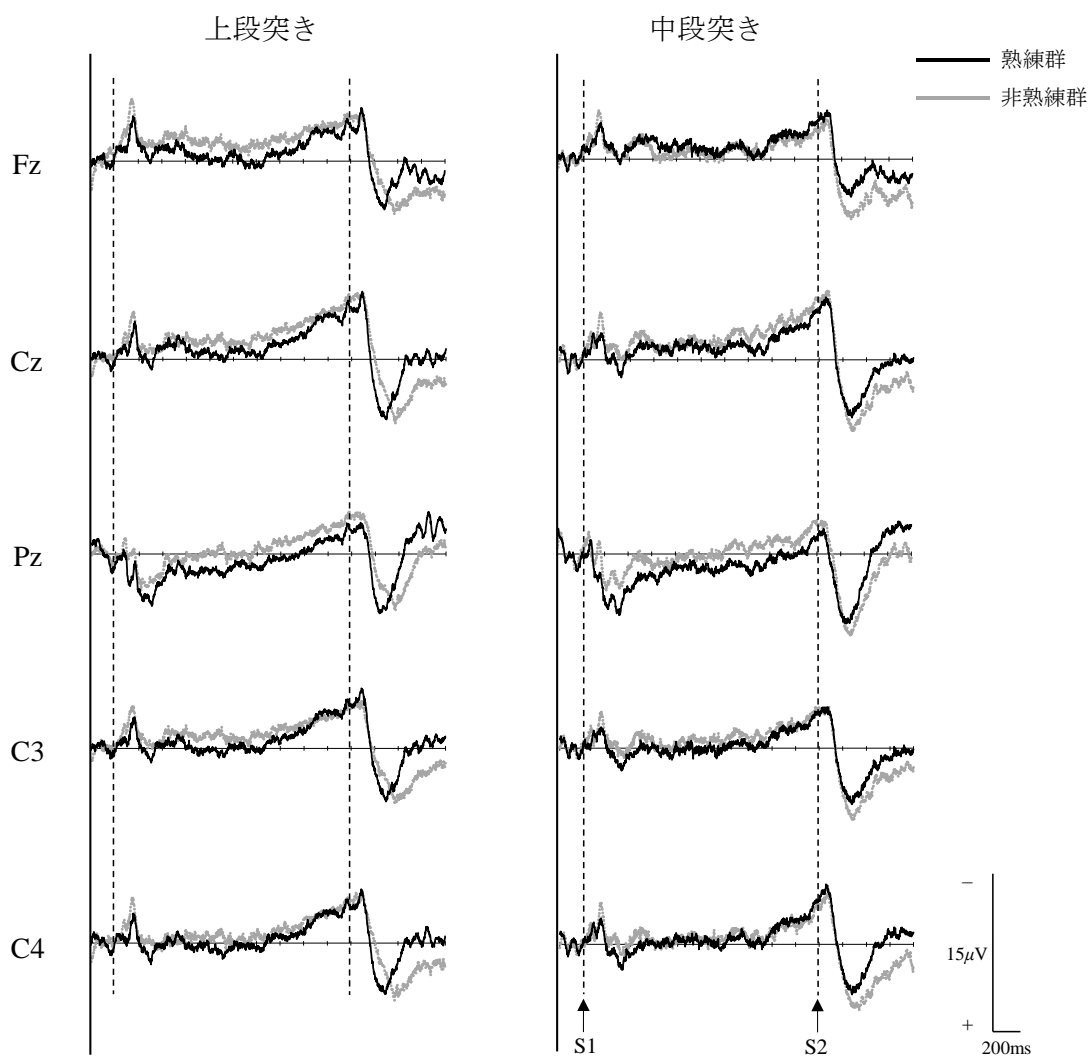


図 22 両群における CNV および P3 総加算平均波形

第4章 時間遮蔽された映像刺激への選択反応課題時のERP

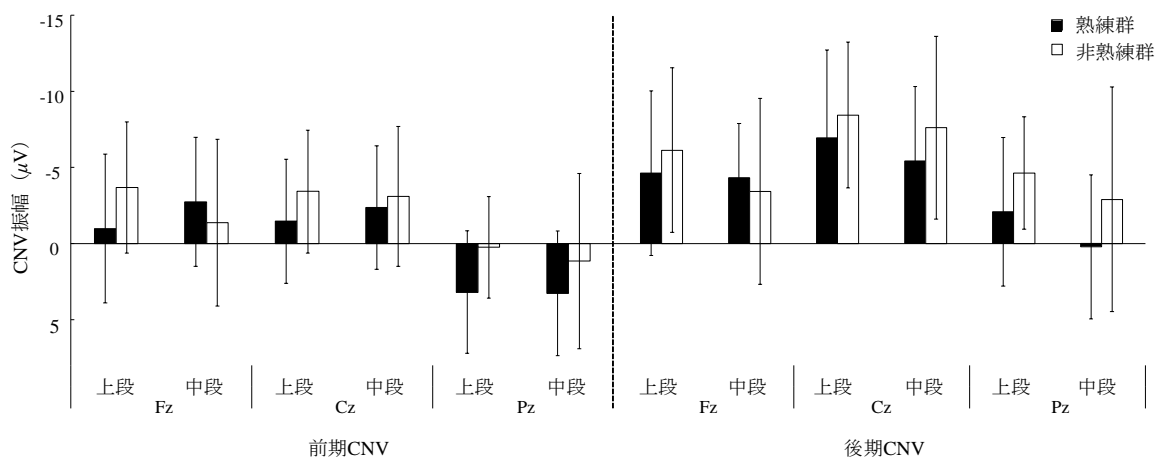


図 23 両条件における前期および後期 CNV 振幅の平均値と標準偏差

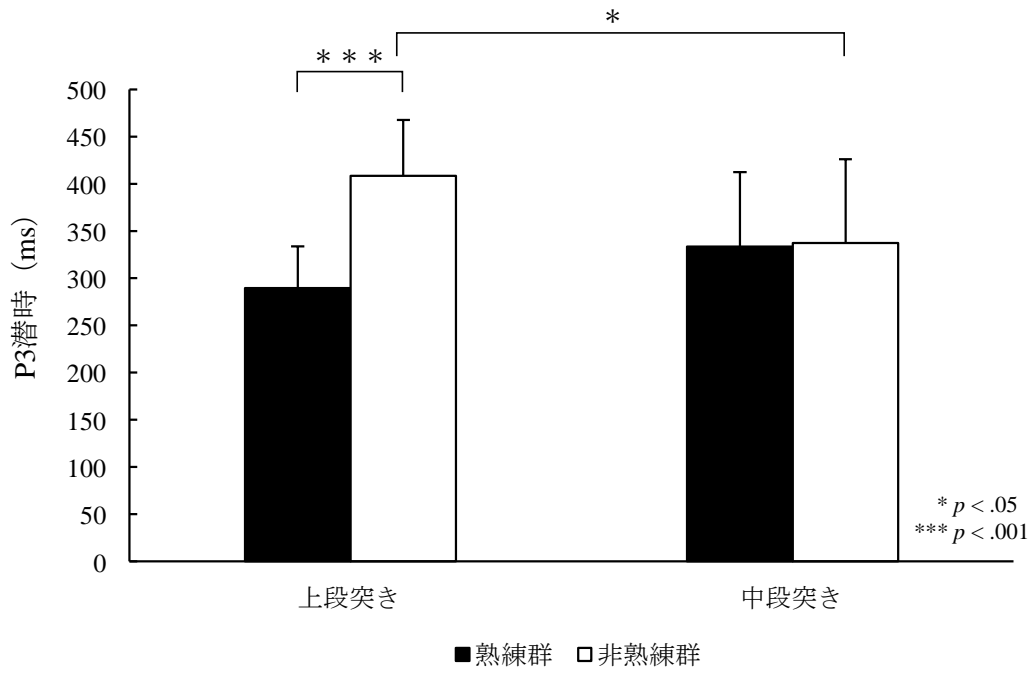


図 24 両群における P3 潜時の平均値と標準偏差 (Gz)

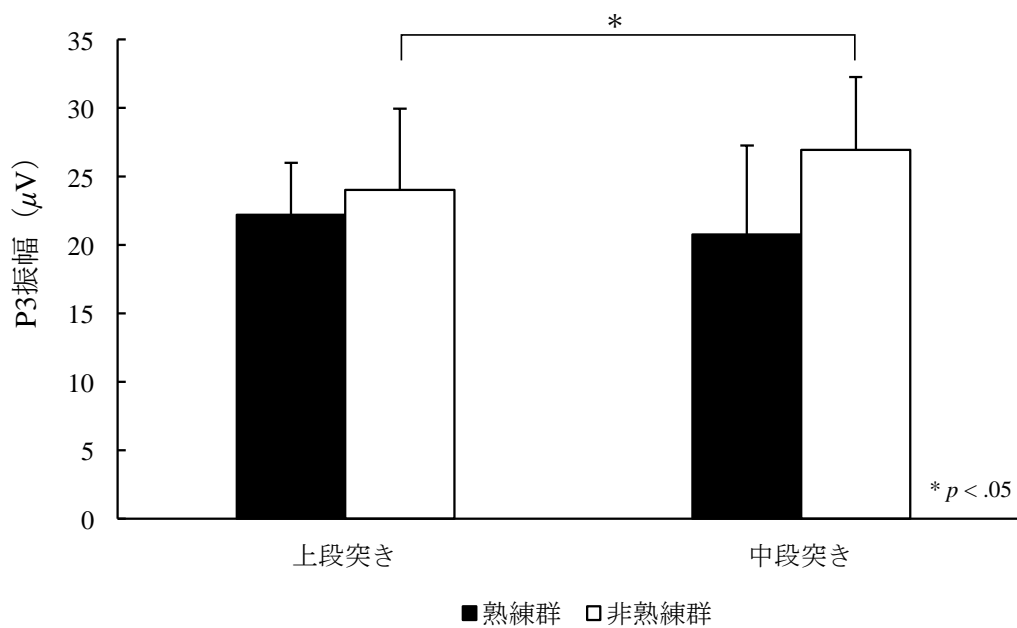


図 25 両群における P3 振幅の平均値と標準偏差 (Gz)

4. 4. 考察

本章では、遮蔽された映像刺激を CNV パラダイムに応用し、技への予測・判断時における空手道選手の情報処理能力について検討した。

課題難易度 (VAS) の値について検討したところ、非熟練群が熟練群よりも有意に高く、映像が途中で遮蔽される状況下で技の判断をすることは非熟練群にとっては困難な課題であることが示された。同様の映像を用いて行った第3章の研究では、群間による差がみられなかったことから、本章では時間的遮蔽が非熟練者の難易度を高めたものと考えられる。

課題の正答率について検討したところ、群間による差はみられず、すべての条件においてチャンスレベルを有意に上回っていた。このことから、両群とも勘で反応していたのではなく、モデルが突く直前までの動作を評価した上で反応していたことが確認された。また、熟練度の違いによる正答率には差はなく、非熟練群においても高い精度で上段突きと中段突きを判断していたことが明らかとなった。上段突きよりも中段突きへの正答率が有意に高かった要因としては、第3章でも述べたようにそれぞれの技の動作の違いが反映されたことが考えられる。

反応時間について検討したところ、技の主効果がみられ、中段突きへの反応時間が上段突きよりも有意に短かった。中段突きへの反応時間の短縮は、正答率とも整合した結果であり、中段突きの判断の容易さが反応時間の短縮に作用したものと考えられる。一方で、群間による反応時間に有意差はみられなかったことから、非熟練群においても熟練群と同等の早さで反応していたことを示す結果となった。このような結果を示した要因として、映像を遮蔽したことが考えられる。第3章の研究では、映像中のモデルが技を出し終えるまで呈示しているため、非熟練群にとっては確実に技の判断をしてから反応することが可能であり、熟練群との差が生じやすいと考えられる。他方、本章では映像を途中で遮蔽したため、非熟練群においても遮蔽までの手がかりの中で判断が求められ、必然的に反応時間のばらつきが小さくなったと推察される。さらに、本実験課題であったボタン押しは、身体活動としては極めて小さく単純な運動あり、熟練度の違いを反映させるまでには至らなかったことも要因として考えられる。そのような状況下においても熟練群は非熟練群よりも上段突きで 83ms、中段突きで 48ms 早く反応していることが明らかとなり、また効果量の大きさからも熟練群の反応が早かったことがうかがえる。

CNV 成分について検討したところ、前期 CVN と後期 CNV とともに部位の主効果がみられ、前期 CNV では Fz と Cz の振幅が Pz よりも有意に高く、後期 CNV では Cz の振幅が Fz と

Pz よりも有意に高い値を示した。これまでの研究において、前期 CNV は前頭部優位に (Loveless & Sanford, 1974)、後期 CNV は中心部優位 (Rohrbaugh et al., 1976) に観察できることが報告されている。本章では、前頭部から中心部にかけて分布が確認されたことから、これらの報告を支持する結果が得られ、CNV を誘発させる課題として適切であったことが示された。

これまでに、競技者の CNV 振幅は一般人よりも大きいことが報告されており (Arito & Oguri, 1990 ; 秋山ほか, 2003)、短距離走者のスタート時における心理的要因を CNV から検討した研究では、全国レベルの大会に出場経験のある Elite sprinter 群の後期 CNV 振幅が有意に大きいことを報告している (平工, 2014)。このことから、本章においても熟練群の CNV 振幅が大きくなることが予想されたが、両群の CNV 振幅に有意差はみられず、前述した知見とは異なった。前期 CNV は S1 に対する定位反応を反映し、後期 CNV は S2 に対する予期的反応を反映するといわれている (Gaillard, 1976) ことから、本章の選択反応課題における準備状態に熟練度の違いはみられなかったものと推察される。このような結果を示した要因として、従来の CNV パラダイムとの違いが影響している可能性がある。従来は、S1 および S2 としてそれぞれ単発の画像刺激や聴覚刺激が用いられてきたのに対し、本章では映像刺激を呈示した。したがって、従来とは異なり S1 と S2 の間にも連続的に情報を保持しながら処理し、モデルの技を読み取る必要があった。そのため、空手道経験のない非熟練群は 2000ms の映像呈示中、常に注意を払って手がかりとなる情報を収集し続けていたことが考えられるが、熟練群はこれまでの経験から、モデルが技を出す直前にだけ注意を払っておけば技を予測することが可能であったと推察される。

そして、動く対象にタイミングを合わせて反応するという点では、Kudo et al. (2004) が、fMRI を用いて刺激への最初の反応とその後のタイミングを合わせる時の脳活動を比較している。画面上に表示される水平方向に並んだ7つの LED を一定間隔で点灯させ、反応課題として最初 LED 点灯に反応させ、タイミング課題として最後の LED 点灯のタイミングに合わせて反応させた。共同研究者である大築は、この研究について解説した記事 (小島, 2008) の中で、「動いているものの動きを予測してタイミングを合わせる動作はヒトが日常行っている行為で、動くものが出てくるのを注視して待つ方が特殊なケースであるために、あえて後頭葉の2つの部位を抑制して不意に出現する刺激に注意を向けているのかもしれない」と述べている。この考えに基づくと、本章は非熟練群にとってはモデルが不意に出す技を注視して待つという反応課題であり、熟練群にとってはモデルの動きに合わせて反応すると

いうタイミング課題であったと置き換えることができる。したがって、日々の練習で相手の動きから技を予測している熟練群は、非熟練群よりも準備状態を高めずに課題を遂行できていたといえる。また、實宝ほか(2016)はバトントワリング選手に対し、運動イメージ(MI)と運動実行(ME)の脳活動の違いを CNV から比較している。その結果、後期 CNV 振幅は上級者群と中級者群に有意差がみられず、ボタン押しのような単純な運動における能動的な構えは競技力に左右されないことを示している。このことから、本章においてもボタン押しの単純さがこのような結果をもたらしたものと考えられる。

本章では両群に有意差はみられなかったが、非熟練群の CNV 振幅が熟練群よりも高い値を示した。競技者を対象とした研究ではないが、Miyamoto et al. (1998) は単語弁別課題(マッチ課題とミスマッチ課題)を使用して、中高年者の後期 CNV と反応時間や正確性との関係を検討している。その結果、高年者は反応時間の遅延および正確性の低下を示したが、後期 CNV 振幅は高年者が若年者よりも高い値を示し、この要因について認知機能の低下を補償する脳内活動の高まりとしてとらえている。また、Wild-Wall et al. (2007) は同様の結果について、課題遂行に対する努力としてとらえている。このことから、対象者の属性は異なるものの、本章において非熟練群の CNV 振幅の値が熟練群よりも高かったのは、熟練度の違いを課題への努力によって補おうとしていた結果であると捉えることができる。つまり、非熟練群が迅速な反応を遂行するためには、熟練群よりも課題に対する反応準備や予期を高めておく必要があり、その結果 CNV 振幅の値が高まったものと推察される。同時に、この結果から熟練群は課題の準備期において脳活動を高めることなく素早い判断を遂行できる可能性が示された。これら結果は、第3章の研究では検討されていない点であり、本章によって新たに明らかとなった知見といえる。

P3 成分について検討したところ、非熟練群における P3 潜時は、中段突きが上段突きよりも有意に短縮し、また上段突きにおいては熟練群が非熟練群よりも有意に短いことが明らかとなった。この結果は、第3章と同様の結果であった。P3 潜時は、刺激評価に要する処理時間を反映し (McCarthy and Donchin, 1981; Magliero et al., 1984)、刺激の識別が困難な時や難易度の高い課題を要求すると延長することが報告されていることから、非熟練群にとって中段突きよりも上段突きの判断が困難であったことが潜時の結果からも示された。一方で、熟練群の潜時は技間において大きな差はみられなかった。つまり、熟練群は上段突きおよび中段突きの刺激評価時間が同程度であったことが示された。大浦・後藤(1994)は、熟練者は通常なら見過ごしてしまうような微妙でかつ重要な情報を的確にとらえ、それに

基づいて適切な判断ができると述べており、本章の熟練群も上段突きのみならず手ごかりをもとに早期に判断していたことが示唆された。さらに、川井ほか(2015)は、剣道選手の情報処理能力をERPから検討しており、単純な刺激(マルとバツ)による選択反応課題では差はみられなかったが、剣道画像を用いた複雑な課題では剣道競技者のP3潜時が一般学生より有意に短くなったことを報告している。本章では判断が困難な上段突きのP3潜時において群間に有意差がみられ、川井ほか(2015)を支持する結果となった。

P3振幅について検討したところ、非熟練群におけるP3振幅は、上段突きが中段突きよりも有意に減衰した。3000msの映像刺激を用いた第3章の研究では、非熟練群の技間においてP3振幅に有意差はなく、本章とは異なる結果を示している。P3振幅は、刺激評価を要する処理資源配分量を反映し(Kok, 2001)、弁別が困難な課題において減衰することが報告されている(White et al., 2010; 下河内ほか, 1988)。したがって、本章では映像の長さを2000msに設定したことで、第3章の研究よりも早い段階での判断が求められ、上段突きの判断の困難さが振幅に影響したものと考えられる。一方、熟練群には技間で有意差がなかったことから、どちらの技に対しても同等の注意を向けていたことが考えられる。このことから、技を判断する際の方略として、熟練群は「中段突きか上段突きか」といったように両方の技に対して注意を払っていたのに対し、非熟練群では「中段突きかどうか」といったように一方の技に対して強く注意を払っていたことが示唆される。本章は、第3章の研究では検討されていない予測時における準備過程から脳活動の特徴をとらえたものである。その結果から、空手道熟練群は準備期における脳活動を高めることなく迅速な反応ができることが示唆された。

4. 5. 結論

第4章では、遮蔽された映像刺激を CNV パラダイムに応用し、技への予測・判断時における空手道選手の情報処理能力について検討した。その結果、以下の知見を得た。

1. CNV 振幅は、群間に有意差がみられなかった。
2. 両群の反応時間は、中段突きよりも上段突きにおいて有意に遅延した。
3. 非熟練群の P3 潜時は、中段突きよりも上段突きにおいて有意に延長した。
4. 上段突きへの P3 潜時は、熟練群が非熟練群よりも有意に短かった。
5. 非熟練群の P3 振幅は、中段突きよりも上段突きにおいて有意に減衰した。

以上により、CNV 振幅には有意差はみられず、熟練群の判断・反応の早さには準備期よりも後の要因が貢献していることが示唆された。また、P3 潜時の結果から、熟練群は非熟練群よりも予測場面における上段突きへの情報処理が早いことが示された。そして、P3 振幅の結果から、非熟練群は予測を伴う上段突きに対する確信度が低いことが明らかとなった。

第5章 総括

空手道は、対峙する相手選手と突き、蹴り、打ちによる攻防を行なう競技であり、判断の遅れや誤りは致命的である。したがって、空手道選手はいかに相手の動きを的確に予測し、素早く動作に切り替えられるかといった、高い情報処理能力を有していることが望まれる。近年では、電気生理学技術の発展に伴い、時間分解能が高く、かつ高次な情報処理過程を非侵襲的に検討することができる ERP を指標とした研究が行われるようになってきた。つまり、ERP を用いることは、競技場面における複雑な情報処理や、動作生成に関わる脳内機序の解明につながるものと期待される。

そこで、本博士論文では、組手の突き技に対する判断時に着目し、空手道選手の情報処理能力について ERP を用いて評価することを目的とした。第2章では、ERP を指標した空手道選手の基礎的特徴を明らかにすることに加え、突き技の判断時における空間的手がかりを推定するため、空間遮蔽された画像刺激に対する選択反応課題時の情報処理能力について検討した。この研究では、身体の一部を遮蔽した画像刺激（遮蔽なし、上半身遮蔽、下半身遮蔽）を用いて選択反応課題を行った。その結果、課題遂行中は主に上半身を注視しており、突き技の判断時には上肢や体幹から得られる情報が重要な手がかりとなることが示された。それに伴い、反応時間は、上半身遮蔽条件が下半身遮蔽条件よりも有意に遅延した。さらに、P3 振幅は中段突きが上段突きよりも有意に増大し、中段突きへの確信度が高いことが推察された。これらの第2章で得られた結果から、ERP は空手道選手の情報処理能力を評価するための有効な指標になることが示された。そして、突き技ではいかに相手選手の上半身からの手がかりを読み取り、自分自身の手がかりは読み取られないかが試合を有効に運ぶ重要な要素になるといえるだろう。

第3章では、第2章で得られた知見および課題点を踏まえ、実験状況の生態学的妥当性を高めるために刺激を映像で呈示した。さらに、比較対象となる非熟練群を設け、熟練者固有の知覚や方略がより反映された情報処理能力を捉えることを目的に検討した。その結果、熟練群は非熟練群よりも反応時間および P3 潜時が短縮し、その差は上段突きにおいて顕著であった。また、非熟練群においては中段突きよりも上段突きの処理に時間を要していることが明らかとなった。正木（2012）は、スポーツの擬似場面をつくって ERP を記録することで、主観的にも理解しているスポーツでの複雑な弁別と意思決定過程を検証できると述べている。したがって、本章で得られた結果は、空手道選手の意思決定完了までの過程を反映したものであり、動作生成に関わる脳内機序を解明するために重要な知見となるだろう。

第4章では、第3章で捉えることができなかった、刺激呈示前の準備状態を反映した情報処理能力を検討するため、時間遮蔽された映像刺激を CNV パラダイムに応用し、技への予測・判断時における空手道選手の情報処理能力について検討した。その結果、CNV 振幅は群間に有意差はなく、課題への準備状態に熟練度の違いはみられなかった。したがって、熟練群の判断・反応の早さには準備期よりも後の要因が貢献していることが示唆された。また、非熟練群の CNV 振幅の値が熟練群よりもわずかに高かったことから、非熟練群は迅速な反応を遂行するために課題への準備状態（認知的構え）を高めているものと考えられる。さらに、P3 潜時の結果から、熟練群は非熟練群よりも予測場面における上段突きへの情報処理が早いことが示された。この結果は、同様の映像を用いた第3章の結果とも一致しており、本章においても熟練度の違いは上段突きへの判断時に顕著に現れた。そして、P3 振幅は、すべての要因で有意差がみられなかった第3章とは異なり、非熟練群における上段突きへの振幅が中段突きよりも有意に減衰した。このことから、非熟練群は、予測を伴う上段突きに対する確信度が低いことが明らかとなった。

これまでの、空手道選手の予測および情報処理能力について検討した研究では、反応時間や正確性によって評価されてきた (Mori et al., 2002; Rosalie & Müller, 2013 ; Williams & Elliott, 1999)。すなわち、脳内情報処理のどの段階が結果に影響を与えているのかといった、時系列に沿った評価はできていない。空手道のような対人競技における駆け引きについて考察するには、反応時間などの客観的に計測可能な身体的状態だけでなく、選手の情報処理能力を反映する認知的状態についても分析しなければならないことが指摘されている (西山・諏訪, 2012)。したがって、本博士論文は、空手道選手の情報処理能力について刺激呈示前の準備状態から時系列的に検討したものであり、空手道選手の優れたパフォーマンスを裏付ける知見になる。さらに、第4章における、映像刺激から CNV を測定する試みはこれまで検討されていない手法であり、このパラダイムが確立できれば、さまざまな競技における予測場面の研究に応用できる可能性がある。近年では、競技における予測や状況判断力を高める手法として「認知トレーニング」が注目されている。認知トレーニングの特徴について下園・磯貝 (2008) は、実際に身体を動かしてプレーすることなく、選手自身や他の選手がプレーしているビデオ映像を活用し、状況判断の問題に焦点を当ててトレーニングを行えることであると示している。そして、今村ほか (1999) が、組手は怪我を伴う危険性が高いため、通常は約束組手や組手技の練習を1人で行う1人打ち込みや、相手に対して行う2人打ち込みなどが行われると述べていることから、認知トレーニングは空手道においても安

全かつ有効なトレーニングとして導入できると考えられる。したがって、空手道の画像および映像に対する選択反応課題から情報処理能力を検討した本博士論文は、空手道における認知トレーニングの有効性を示す科学的根拠にも繋がる。

以上のことから、本博士論文は、空手道をはじめとした対人競技における情報処理能力について新たな知見を与えるものであり、今後の空手道および空手道研究の発展に寄与するものと期待される。

引用文献

- Abernethy, B. (1990) Expertise, Visual-search, and information pick-up in squash. *Perception*, 19(1): 63-77.
- 秋山幸代・西平賀昭・八田有洋・金田健史・中島 剛 (2003) 反応動作課題の反復に伴う Contingent negative variation (CNV) の変動. *臨床神経生理学*, 31 (6) : 489-498.
- 荒木雅信 (2012) 運動学習. 山崎勝男監, スポーツ精神生理学. 西村書店: 東京, pp. 131-152.
- Arito, H., and Oguri, M. (1990) Contingent negative variation and reaction time of physically-trained subjects in simple and discriminative tasks. *Industrial Health*, 28: 97-106.
- 綾部早穂 (2019) 脳波. 綾部早穂・井関龍太・熊田孝恒編, 心理学, 認知・行動科学のための反応時間ハンドブック. 勁草書房: 東京, pp. 58-61.
- Brunia, C. H. (1993) Waiting in readiness: gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology*, 30(4): 327-339.
- Farrow, D., Abernethy, B., and Jackson, R. C. (2005) Probing expert anticipation with the temporal occlusion paradigm: experimental investigations of some methodological issues. *Motor Control*, 9 (3): 332-351.
- 麓 正樹・飯出一秀・大谷 忍・Vinicius Aguiar de Souza (2020) 東京 2020 オリンピックが空手道および空手道研究にもたらすもの. *武道学研究*, 52 : (2) 199-212.
- Gaillard, A. W. (1976) Effect of warning-signal modality on the contingent negative variation (CNV). *Biological Psychology*, 4(2): 139-154.
- 平工志穂 (2013) 短距離走の競技レベルと随伴陰性変動. *東京女子大学紀要論集*, 64 (3) : 1979-1986.
- 井田博史 (2012) パフォーマンスを向上させる運動スキル教育. 石井源信・楠本恭久・阿江恵美子編, 現場で生きるスポーツ心理学. 杏林書院: 東京, pp. 95-124.
- 飯出一秀・早田 剛・古山喜一・小出光秀・今村裕行 (2016) 空手道組手選手の機能解剖的前・後肢踏切脚特性. *環太平洋大学研究紀要*, 10 : 231-236.
- 今村裕行・吉村良孝・西村誠司 (1999) 空手道の体力的研究. *武道学研究*, 32 : (1) 1-12.
- Iwadate, M., Mori, A., Ashizuka, T., Takayose, M., and Ozawa, T. (2005) Long-term physical exercise and somatosensory event-related potentials. *Experimental Brain Research*, 160: 528-532.
- 岩本直也・藤 大樹・勝平純司・丸山仁司・満倉靖恵 (2012) ボクシング・ストレートパン

- チの動作分析—三次元動作分析システムを用いて—. 理学療法科学, 27 (3) : 341-344.
- Jin, H., Xu, G., Zhang, J. X., Gao, H., Ye, Z., Wang, P., Lin, H., Mo, L., and Lin, C.D. (2011) Event-related potential effects of superior action anticipation in professional badminton players. *Neuroscience Letters*, 492 (3): 139-144.
- 加賀佳美・相原正男 (2013) P300 基礎. 臨床神経生理学, 41 (2) 80-85.
- 紙上敬太 (2006) 運動強度が脳内刺激弁別過程に及ぼす影響. 筑波大学, 博士論文.
- 紙上敬太・西平賀昭・東浦拓郎 (2009) 運動強度と身体活動量が認知・脳機能の与える影響. 体力科学, 58 (1) : 63-72.
- 亀井誠生 (2018) 事象関連電位に基づく接近・回避の動機づけ研究—達成見込みの操作を用いて—. 立命館大学, 博士論文.
- 加藤貴昭 (2013) スポーツ競技における知覚—運動スキル. *Vision*, 25 : 30-34.
- 川井良介・香田郡秀・鍋山隆弘・有田祐二・木村悠生 (2015) 剣道競技者の脳内情報処理過程に関する研究—剣道を模した S1-S2 選択課題時の P300 に着目して—. 武道学研究, 48 (2) : 79-88.
- Kerr, M., Mingay, R., and Elithorn, A. (1963) Cerebral dominance in reaction time responses. *British Journal of Psychology*, 54: 325-336.
- 小島あゆみ (2008) アスリートの脳はどう違う? ここまでわかってきたスポーツ脳科学. *nature careers*, <https://www.natureasia.com/ja-jp/jobs/tokushu/detail/76>, (参照日 2020 年 9 月 1 日).
- Kok, A. (2001) On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38: 557-577.
- 公益財団法人全日本空手道連盟 (2019a) 世界の空手道. https://www.jkf.ne.jp/wp-content/themes/jkf-tfif-child/document/other/for_media_document.pdf, (参照日 2020 年 11 月 1 日).
- 公益財団法人全日本空手道連盟 (2019b) 空手道競技のルール, https://www.jkf.ne.jp/wp-content/uploads/2019/12/karate_rule_201901.pdf, (参照日 2020 年 4 月 1 日).
- Kutas, M., McCarthy, G., and Donchin, E. (1977) Augmenting mental chronometry: P3 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197: 792-795.
- Kudo, K., Miyazaki, M., Kimura, T., Yamanaka, K., Kadota, H., Hirashima, M., Nakajima, Y., Nakazawa, K., and Ohtsuki, T. (2004) Selective activation and deactivation of the human brain

- structures between speeded and precisely timed tapping responses to identical visual stimulus: an fMRI study. *NeuroImage*, 22 (3): 1291-1301.
- Loveless, N. E., and Sanford, A. J. (1974) Slow potential correlates of preparatory set. *Biological Psychology*. 1: 303-314.
- Luce, R. D. (1986) *Response time: Their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
- Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G., and Donchin, E. (1984) On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21: 171-186.
- 正木宏明 (2004) 脳内情報処理と脳波. 増原光彦監, 荒木雅信・上 勝也編, 動きを生む出すところとからだのしくみ—スポーツの神経科学—. あいり出版: 京都, pp. 126-140.
- 正木宏明 (2012) スキル運動の精神生理学. 山崎勝男監, スポーツ精神生理学. 西村書店: 東京, pp. 208-222.
- 松下雅雄・山田幸雄 (1988) 空手における攻撃技の予測に関する研究. *スポーツ教育学研究*, 8 (2) : 33-38.
- 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—事象関連電位と筋電図反応時間を指標として—. *体力科学*, 67 (1) : 107-123.
- McCarty, G., and Donchin, E. (1981) A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211: 77-80.
- Miyamoto, T., Katayama, J., and Komaya, T. (1998) ERPs, semantic processing and age. *International Journal of Psychophysiology*, 29 (1): 43-51.
- 森 周司・三好智子 (2013) スポーツ選手の知覚. *日本視覚学会解説*, 25 (1) : 20-25.
- Mori, S., Ohtani, Y., and Imanaka, K. (2002) Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21: 213-230.
- Mori, S., and Shimada, T. (2009) Psychophysical study of expertise perception of deceptive motion in rugby. *Proceedings of 25th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, 245-250.
- Mullis, R. J., Holcomb, P. J., Diner, B. C., and Dykman, R. A. (1985) The effect of again on the P3 component of the visual event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62: 141-149.

- 投石保広 (1995) P300 を中心とした ERP 研究の小史. 加我君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一編, 事象関連電位 (ERP) マニュアル—P300 を中心に—. 篠原出版株式会社: 東京, pp. 1-9.
- 西平賀昭 (2004) 運動が事象関連電位に及ぼす影響. 日本運動生理学雑誌, 11 (1) : 1-21.
- 西平賀昭 (2005) 運動が P300 に及ぼす影響. 西平賀昭・大築立志編, 運動と高次神経機能—運動の脳内機能を探検する—. 杏林書院, 東京 : pp. 38-51.
- 西山武繁・諏訪正樹 (2012) 空手の組手競技における駆け引きの身体性. 2012 年度人工知能学会全国大会 (第 26 回), doi: https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2012.0_3E2OS163, (参照日 2019 年 4 月 5 日).
- Nisiyama, M., and Ribeiro-do-Valle, L.E. (2014) Relative performance of the two hands in simple and choice reaction time task. *Brazilian Journal Medical and Biological Research*, 47: 80-89.
- 入戸野宏 (1998) 刺激の分類判断における心的表象の研究. 大阪大学, 博士論文.
- 入戸野宏 (2005) 心理学のための事象関連電位ガイドブック. 北大路書房: 京都, pp. 1-17.
- 入戸野宏 (2006) 映像に対する注意を測る—事象関連電位を用いたプローブ刺激法の応用例—. *生理心理学と精神生理学*, 24 : 5-18.
- 入戸野宏 (2012) 脳波と事象関連電位による認知機能研究. 山崎勝男監, スポーツ精神生理学. 西村書店: 東京, pp. 104-112.
- 大上淑美・小谷泰則・村田明日香 (2017) 刺激入力前・反応出力. 堀 忠雄・尾崎久記監, 生理心理学と精神生理学第II巻応用. 北大路書房: 京都, pp. 75-84.
- 緒方貴浩・福原和信・井田博史・高橋まどか・福林 徹 (2015) テニスサーバー動作と熟練者の予測との定量的関係性—ビデオ映像を用いた時間的遮蔽法による評価—. *人間工学*, 51 (2) : 96-102.
- 沖田庸嵩 (1997) 情報処理モデルと事象関連電位 (ERP). 宮田 洋監, 新生理心理学2巻—生理心理学の応用分野—. 北大路書房: 京都, pp. 2-9.
- 沖田庸嵩・諸富 隆 (1998) 事象関連電位. 宮田 洋監, 新生理心理学 1 巻—生理心理学の基礎—. 北大路書房: 京都, pp. 104-123.
- Oldfield, R. C. (1971) The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97-113.
- 大浦容子・後藤克彦 (1994) 技の熟達と認知的所産—剣道の場合—. *教育心理学研究*, 42 (1) : 1-10.

- Radlo, S. J., Janelle, C. M., Barba, D. A., and Frehlich, S. G. (2001) Perceptual decision making for baseball pitch recognition: Using P300 latency and amplitude to index attentional processing. *Research quarterly for exercise and sport*, 72: 22-31.
- Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J. F., and Reine, B. (1995) Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situation. *Human Movement Science*, 14: 325-349.
- Rohrbaugh, J. W., Sydulko, K., and Lindsley, D. B. (1976) Brain wave components of the contingent negative variation in human. *Science*, 191: 1055-1057.
- Rosalie, S. M., and Müller, S. (2013) Timing of in situ visual information pick-up that differentiates expert and near-expert anticipation in a complex motor skill. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(10): 1951-1962.
- Schubert, M., Johannes, S., Koch, M., Wieringa, B. M., Dengler, R., and Munte, T. F. (1998) Differential effects of two motor tasks on ERPs in an auditory classification task: evidence of shared cognitive resources. *Neuroscience Research*, 30: 125-134, 1998.
- 瀬谷安弘・森 周司 (2003) 空手道選手の追従眼球運動中の反応時間特性. 電子情報通信学会技術研究報告, 103 (522) : 7-11.
- 柴崎 浩 (2008) 臨床脳波の記録と判読. 柳澤信夫・柴崎 浩, 臨床神経生理学. 医学書院: 東京, pp. 23-42.
- 下河内稔 (1997) 誘発電位測定指針案 (1997年改訂). 事象関連電位: 脳波と筋電図, 25 : 11-16.
- 下河内稔・投石保広・楊井一彦・小山幸子 (1988) P300の基礎. 神経進歩, 32 (1) : 149-162.
- 下園博信・磯貝浩久 (2008) 「認知的トレーニング」の現状と課題. 九州体育・スポーツ学研究, 23 (1) 1-7.
- 白石孝之・大草方子・中上哲広・久保 武・投石保広 (1993) 人口内耳患者における事象関連電位の測定. *Audiology Japan*, 36 (6) : 757-763.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., and John, E. R. (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150 (3700): 1187-1188.
- 忠井俊明・福居義久・上月清司・井爪 尚・加藤光彦・村田伸文・中嶋照夫 (1987) 分裂病の情報処理障害—事象関連電位による情報処理モデルからの検討. *精神医学*, 29 (8) : 817-828.

- 竹内 賢・丹羽真一（1997）課題遂行と事象関連電位—反応時間を含めて—。丹羽真一・鶴紀子編，事象関連電位：事象関連電位と神経情報科学の発展。振興医学出版社，東京：pp. 65-75.
- 竹澤勇祐・筒井清次郎（2015）空手のカウンター状況における予測動作の熟練差の検討。スポーツ心理学研究，42（1）：15-22.
- 田辺英夫・田中鎮雄（1976）学生空手道試合に関する研究—試合規則と決まり技の関係を中心として—。武道学研究，9（1）：37-44.
- 田中ゆふ（2016）予測を生み出す視線の妙技。日本心理学会編，心理学ワールド。74：21-22.
- Tecce, J. J. (1972) Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 77(2): 73-108.
- 辻 貞俊（1995）脳波。菅野剛史・松田信義編，臨床検査技術学7 臨床生理学。医学書院，東京：pp. 97-151.
- 月井 新（2018）新説組手の基本 2018。寺島孝博編，空手道マガジン JKFan，16（4）：36-44.
- 續木智彦・大槻茂久・矢野晴之介・李 宇燾・西條修光（2008）サッカーペナルティキック時のコース予測と手掛かりについて。日本体育大学紀要，38（1）：17-23.
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. M., McCallum, W. C., and Winter, A. L. (1964) Contingent negative variation: an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203: 380-384.
- White, L., Stuart, A., and Najem, F. (2010) Mismatch negativity and P300 to behaviorally perceptible and imperceptible temporal contrasts. *Perceptual and Motor Skills*, 110: 1105-1118.
- Wild-Wall, N., Hohnsbein, J., and Falkenstein, M. (2007) Effects of ageing on cognitive task preparation as reflected by event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 118 (3): 558-569.
- Williams, A. M., and Elliott, D. (1999) Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21: 362-375.
- 吉村良孝・今村裕行・西村誠司（1996）学生空手道組手競技における勝敗の動向と競技規定と決まり技との関係。身体運動文化研究，3（1）：45-48.
- 實宝希祥・山本真史・荒木雅信（2016）バトントワリング上級者と中級者の運動イメージの比較—随伴陰性変動と visual analogue scale を指標とした検討—。スポーツ心理学研究，43

(2) : 43-53.

博士論文に関する業績一覧

関連論文

1. 坂部崇政・高井秀明（2020）映像刺激を用いた突き技への選択反応課題時における空手選手の情報処理能力. 体育学研究, 65（1）：293-302.
2. 坂部崇政・高井秀明（in press）空間的遮蔽法による画像刺激を用いた選択反応課題時における空手道選手の情報処理能力について. 武道学研究.

学会発表

1. 坂部崇政・高井秀明・大久保瞳（2017）遮蔽された技に対する選択反応課題中の行動的・生理的反応—空手道選手を対象として—（ポスター発表）. 日本スポーツ心理学会第44回大会予稿集, pp. 170-171.
2. 坂部崇政・高井秀明・大久保瞳（2018）映像に対する選択反応課題中の行動的・生理的反応—空手道選手を対象として—（ポスター発表）. 日本スポーツ心理学会第45回大会予稿集, pp. 150-151.
3. 坂部崇政・高井秀明（2019）時間的遮蔽された映像への選択反応課題中の行動的・生理的反応—空手道選手を対象として—（ポスター発表）. 日本スポーツ心理学会第46回大会予稿集, pp. 118-119.

謝辞

本博士論文の執筆にあたり、多くの方々にご尽力を賜りました。博士前期課程から今日に至るまで、研究の指導をしていただきました高井秀明准教授には、研究の方向性だけでなく、研究の奥深さと魅力を教えていただき、将来に向けた新たな視点を与えていただきました。博士後期課程の指導教員である西山哲成教授には、研究を進める上で貴重なご助言をいただき、研究を深めることができました。博士前期課程の指導教員である福山平成大学の楠本恭久教授には、いつも私のことを気に掛け、温かく見守っていただき、心の支えになりました。先生方には、心より深く感謝申し上げます。また、スポーツ心理学研究室に携わる教職員、大学院生にはさまざまなサポートをしていただき厚く御礼申し上げます。最後になりましたが、どんな時にも私の選ぶ道を尊重し、長い学生生活を支えていただいた両親に心から感謝します。