

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

課題の複雑性と注意機能が運動準備電位に与える影響

—難易度の異なる二重課題検査および注意機能検査の関係—

2019 年度

保健医療学専攻・作業療法学分野・作業活動分析学領域

氏名：陣内大輔

課題の複雑性と注意機能が運動準備電位に与える影響  
—難易度の異なる二重課題検査および注意機能検査の関係—

陣内大輔

本研究では、運動準備電位から得られる振幅、潜時が課題の難易度により異なること、運動準備電位から得られる振幅、潜時と注意機能との関係を明らかにすることを目的とした。右利き健常成人 22 名を対象に、5 秒間隔になるように右手第 2 指伸展を行う運動単一課題と、画面に表示された特定の数字の出現回数を記憶する認知課題を同時に行うことで二重課題（簡単二重課題、複雑二重課題）実施時の運動準備電位を測定した。この結果、運動手と対側の C3 の運動準備電位の振幅が増加し、運動単一課題と簡単二重課題との間に有意差を認めた。これは、手指伸展間隔の変動係数や特定の数字の出現回数の記憶の正答率から、二重課題の複雑性を増したことによる影響が考えられた。更に、PASAT の正答率と C3 の振幅、潜時に有意な相関を認めたことから、運動準備電位は分配性注意の神経生理学的指標となり得ることが考えられた。

キーワード：運動準備電位，二重課題，注意機能，標準注意検査法

**Effects of task complexity and attentional function on motor-related cortical potential  
– relationship between a dual task with various difficulty levels and an attention function test –**

**Daisuke Jinnai**

The purpose of this study was to clarify how the amplitude and latency of motor-related cortical potential vary depending on the difficulty of a task as well as their relationship with attentional function. Motor-related cortical potential was recorded in 22 right-handed healthy adults while they performed a dual task (simple and complex dual tasks), which required the participants to simultaneously conduct a simple motor task of stretching the second finger of the right hand at 5-s intervals and a cognitive task of memorizing the number of presentation of a specific numbers that appeared on a screen. The results indicated increases in the amplitude of the motor-related cortical potential of C3 associated with the contralateral non-operated hand, showing a significant difference between the simple motor task and the simple dual task. Considering the coefficient of variation in the intervals of the finger stretching motion and the correct response rate in memorizing the presentation number of specific numbers, this result was attributed to the increased complexity of the dual task. Furthermore, a significant correlation between the correct response rate in the Paced Auditory Serial Addition Test and the amplitude and latency of C3 found in this study suggested that motor-related cortical potential could be used as a neurophysiological index of divided attention.

Keywords: motor-related cortical potential, dual task, attentional function, Clinical Assessment for Attention

# 目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.1.1 作業療法の臨床における「判断と行動」に関する客観的評価手法の必要性	1
1.1.2 「行動」を始めようとする意志と運動準備電位	2
1.1.3 「判断と行動」に影響を及ぼす日常生活上の二重課題干渉と運動準備電位	3
1.2 運動準備電位と二重課題に関する先行研究	4
1.3 本研究の目的	5
第2章 研究方法	6
2.1 対象	6
2.2 課題	6
2.2.1 運動準備電位測定課題	6
1) 実験デザイン	6
2) 測定課題	7
① 運動単一課題	
② 簡単二重課題	
③ 複雑二重課題	
2.2.2 Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT)	8
2.3 測定方法	8
2.3.1 運動準備電位	8
2.3.2 PASAT	9
2.4 解析方法	9
2.5 倫理的配慮	10
第3章 結果	11
3.1 簡単二重課題群と複雑二重課題群における課題成績の比較	11

3.1.1	手指伸展間隔の変動係数	11
3.1.2	特定の数字の出現回数の正答率	12
3.2	運動準備電位の振幅・潜時	13
3.2.1	波形の様相	13
3.2.2	運動準備電位の振幅 (C3)	14
3.2.3	運動準備電位の振幅 (C4)	15
3.2.4	運動準備電位の潜時 (C3)	16
3.2.5	運動準備電位の潜時 (C4)	17
3.2.6	運動準備電位の積分値 (C3)	19
3.2.7	運動準備電位の積分値 (C4)	20
3.3	PASAT の正答率と運動準備電位の振幅・潜時との関連	22
3.3.1	PASAT の正答率	22
3.3.2	PASAT の正答率と運動準備電位の振幅・潜時との相関	23
	1) C3 における相関	23
	2) C4 における相関	25
第4章	考察	27
4.1	二重課題の難易度と運動準備電位	27
4.2	PASAT による被検者の分配性注意と運動準備電位	28
4.3	本研究の限界と今後の展望	29
	結語	31
	謝辞	32
	文献一覧	33

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

### 1.1.1 作業療法の臨床における「判断と行動」に関する客観的評価手法の必要性

リハビリテーションは、一般的に、急性期、回復期、維持期、在宅期の病期に分類され、医学的側面から社会的側面まで幅広く実施される。その中で、作業療法は、急性期において、国際生活機能分類（ICF）の心身機能・身体構造面に対して、機能回復、障害軽減を目的とした作業を用いた治療的な作業療法を実施する。また同時に、日常生活の諸活動の自立性を高めるために、運動学習に基づき、特定動作の繰り返し動作に基づき、諸活動の定着、機能回復を促進する。

ヒトの行動は社会生活の基本要素を成している。私たちが対象とする急性期の患者の多くは、様々な疾患を背景とした一時的な機能不全の状態にあり、自分自身が再び社会的存在として役割を持ち行動することを思い描くことが困難といえる。そこで、急性期リハビリテーションにおいて作業療法士は、患者の心身機能・身体構造の機能回復を目的とした作業活動を治療的に用いるために、患者に合わせた課題の調整、意欲・動機付けを高めるように段階づける高度専門的な知識を有している。そこで重要なのは、患者の「判断と行動」を促進する観察に基づく臨床知である。判断は、まず刺激の知覚と周囲の状況の認知に基づいて、その内容に関連した過去の記憶を基盤として行われる。そしてその過程ではそのヒトの注意の集中度および情動が大きく影響してくる。その判断に基づいて、言語または動作で反応しようという意思が現れ、実際に表現されるようになる。そしてその過程では、過去に学習した内容および関連する記憶が関係してくる。この判断から行動への過程はフィードフォワードであり、行動の過程はフィードバックされて判断されることになり。このように「判断と行動」は互いに密接に関連しあっており、急性期の作業療法の対象者は、その両方の機能が障害されていることが多い。

上述の患者の「判断と行動」を促進する観察に基づく臨床知は、作業療法士の関与によ

る患者の応答性を観察により評価する主観的評価に限られ客観的評価手法は確立されておらず、作業療法の発展のために必要な領域と考える。この私たちに必要とされる客観的評価とは、高次脳機能の局在および機能連関に関連する知見が重要であり、非侵襲的脳機能計測法から有益な示唆が得られると考えた。非侵襲的脳機能計測法には、脳電位 (EEG)、脳磁図 (MEG)、経頭蓋磁気刺激法 (TMS) を主体とする電気生理的手法と、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、陽電子放射断層法 (PET)、シングルフォトン断層法 (SPECT) および機能的近赤外分光法 (fNIRS) のような脳機能画像法が用いられる<sup>2)</sup>。そこで本研究においては、これからの作業療法の臨床における応用を念頭におき、臨床に普及し作業療法士自身が測定可能な手法として脳電位を測定する電気生理的手法を用いることとした。また、ヒトの「判断と行動」に影響を与える日常生活上の要因を実験的に設定し、測定課題とすることで社会生活を営む上で支障をきたす要因を可視化することを目的とする。

### 1.1.2 「行動」を始めようとする意志と運動準備電位

運動を始めようとする意志が脳のどの部位でいつ起こるかという問題に対して、1965年に Kornhuber and Deecke が運動準備電位を発見したことから研究が進められてきた<sup>3)</sup>。運動準備電位は運動開始の 1.5~2 秒前から中心部頭皮上から記録される表面陰性の緩電位であり、運動皮質錐体路細胞の先頂樹状突起で漸増してくる興奮性シナプス後電位を反映すると考えられている<sup>4)</sup>。運動準備電位の発生機序の一端とした測定の中で、片手の単純な随意運動の場合には、まず補足運動野および固有補足運動野が両側性に興奮し、ついで外側運動前野の 6 野の興奮性が両側性、対側性に増加し、運動開始の約 400 ms 前から対側一次運動野の 4 野が急速に興奮し、20 ms 前になると一次運動野の錐体路細胞が発火して皮質脊髄路を介して筋収縮をおこることが推定されている<sup>4-6)</sup>。また、日常生活に用いられる複雑な運動では、優位半球の頭頂葉皮質からおこり始める<sup>7,8)</sup>。このことは、右利きの人では左頭頂葉の障害またはそれから左運動前野への連絡路の遮断によって道具の使用ができなくなり、いわゆる観念性失行、観念運動性失行がみられる臨床観察と整合するデータ

であるり。

上記のように、運動意図の発現と運動準備に伴う皮質電位は、意識下の運動準備に伴う運動皮質の興奮性の漸増を反映するものと考えられる。作業療法においては、この「意識下の運動準備に伴う運動皮質の興奮性を反映する」皮質電位が、動作・行動を始めようとする意志を客観的に示すメルクマールとなると考え、運動準備電位の測定は重要と考えた。

### 1.1.3 「判断と行動」に影響を及ぼす日常生活上の二重課題干渉と運動準備電位

私たちの日常生活は、調理や自動車運転等の場面において複数の課題を同時に遂行し、持続的及び選択的に注意を分配することが必要である。例えば、火加減に注意しながら食器洗いをする、同乗者と会話しながら目的地に向かい運転する等のように、一方に注意を向けていると他方への注意が不十分な状況のなかで安全に判断し行動している。このように注意の分配は複数の刺激に対して同時に注意を向けるか、一つの刺激の中で複数の要素に注意を向ける能力が必要となり、臨床では様々な場面を設定し二重課題として評価する。また、複数課題に関連する転倒や偶発的な負傷の発生率の増加<sup>9)</sup>や自動車で携帯電話を使用すると運転手が電話に出ている間に短時間注意を逸らし衝突リスクが高まること<sup>10)</sup>も知られている。これは、同時に実行される個々の課題の一方または両方の課題の低下を示す二重課題干渉によって説明される<sup>11)</sup>。二重課題干渉は capacity sharing<sup>12)</sup>や cross-talk<sup>13)</sup>, bottleneck<sup>14)</sup>等の理論で説明されようとされているが、そのメカニズムは明らかになっていない。

前述の通り、運動準備電位は「意識下の運動準備に伴う運動皮質の興奮性の漸増を反映する」と言われている。この「意識下の運動準備」として、自由意思による単一の運動課題の条件と注意を伴う認知課題と運動を同時に行う二重課題の条件、また実験的に設定した二重課題の難易度に差をつけた条件の各々の条件では、得られる運動準備電位が異なることが予測される。これまで、運動準備電位は課題の難易度、活動の意欲・動機付け等の影響を受ける<sup>4,15-17)</sup>とされる報告が散見されるが、その具体的な影響に関する知見はあま

りみられない。

そこで、単一な運動課題と認知課題の二重課題実施時の運動準備電位を測定し、認知課題の難易度による影響を明らかにすることを目的とする。更に、被検者固有の分配性注意を Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT) <sup>18)</sup>を用いて検査し、その検査結果と運動準備電位の関係を明らかにする。このような関係性が明らかになることにより、動作・行動を始めようとする患者の意志を作業療法士の主観ではなく、神経生理学的指標として客観的に得ることが可能となり、作業療法の臨床に重要であると考える。

## 1.2 運動準備電位と二重課題に関する先行研究

運動準備電位は、1965年 Kornhuber and Deecke によって発見された <sup>3)</sup>。その発見以降、運動準備電位の成分の検討 <sup>19-24)</sup>がされ、運動準備電位の各成分に影響を及ぼす因子として、意図のレベル、運動選択、注意、モチベーション、学習、力、スピード、精度、離散性、複雑性、鏡像運動、運動活動、疲労、感情、年齢、パーキンソニズム、小脳病変、ジストニア、片麻痺からの回復等が報告されてきた <sup>4,15-17)</sup>。

運動準備電位と二重課題に関して、2020年1月10日時点で PubMed に収載されている論文は3本 <sup>25-27)</sup>であった。

Baker et al.は、健常成人を対象に、自己ペースでの手指運動を運動課題、課題の難易度が異なる N-back 課題を認知課題として、両課題を同時に行う二重課題実施時の運動準備電位を測定した <sup>25)</sup>。この結果、運動準備電位の大きさは、難易度の高い二重課題条件下で有意に減少した。

Aliakbaryhosseinabadi et al.は、健常成人を対象に、刺激に合わせた足関節背屈運動を運動課題、課題の難易度が異なる聴覚オドボール課題を認知課題として、両課題を同時に行う二重課題実施時の運動準備電位を測定した <sup>26)</sup>。この結果、運動準備電位の大きさは、難易度の高い二重課題条件下で有意に減少した。

Aliakbaryhosseinabadi et al.は、健常成人と脳卒中患者を対象に、刺激に合わせた足関節背

屈運動を運動課題、聴覚オドボール課題を認知課題として、単一の運動課題実施時と運動課題と認知課題を同時に行う二重課題実施時の運動準備電位を測定した<sup>27)</sup>。この結果、健康成人と脳卒中患者ともに運動準備電位の大きさは、単一の運動課題に比べ二重課題条件下で有意に減少した。

上記3本の研究では、運動課題の成績や認知課題の成績について、自由意思による動作に伴う運動準備電位を測定しており、その動作について特に条件は設定されていない。日常生活において、ヒトは自由に動作する状態に加えて、ある特定の条件で動作を行う状態がある。その特定の条件のなかで行う動作は、外的刺激や他の課題を同時に遂行する二重・多重課題によって、正確な動作の遂行が困難になる<sup>28-31)</sup>。二重課題・多重課題実施時におけるこの動作遂行の正確性の低下は、作業療法の対象となる脳卒中や統合失調症においても確認されている<sup>32,33)</sup>。筆者は、日常生活や作業療法の対象者を想定した場合、運動準備電位を測定するための基準動作は、自由意思による動作の開始に加えて正確な動作の遂行が困難になる特定の条件下で動作を行う必要があると考えたが、そのような条件を設定した運動準備電位と二重課題の研究に関する報告はみられなかった。そこで、本研究においては、対象者が動作遂行の正確性を維持する動機付けを条件設定することで、適切に自己修正し課題の達成を目指す要素を基準動作に取り入れた。運動準備電位の基準動作にこのような動機付けの要素を取り入れたことは、作業療法の臨床に即しており新奇性が高いと考えた。

### 1.3 本研究の目的

本研究においては、以下の2点を目的とした。

- ① 運動準備電位から得られる振幅、潜時が二重課題の難易度により異なることを明らかにすること
- ② 運動準備電位から得られる振幅、潜時と注意機能の関係を明らかにすること

## 第2章 研究方法

### 2.1 対象

対象は、右利き健常若年成人 22 名（男性 15 名，女性 7 名，平均 20.8 歳，範囲 19-22 歳）とした。利き手の評価は，エジンバラ利き手テストを使用した<sup>34)</sup>。

### 2.2 課題

#### 2.2.1 運動準備電位測定課題

##### 1) 実験デザイン

先行研究<sup>25-27)</sup>と同様に被検者を簡単二重課題群と複雑二重課題群の 2 群に分け（図 1），簡単二重課題群は運動単一課題と簡単二重課題，複雑二重課題群は運動単一課題と複雑二重課題を行っている時の運動準備電位を測定した。2 群に分けることで測定時間の短縮し，被検者の疲労や課題間の順序効果による測定結果への影響を除外した<sup>35,36)</sup>。

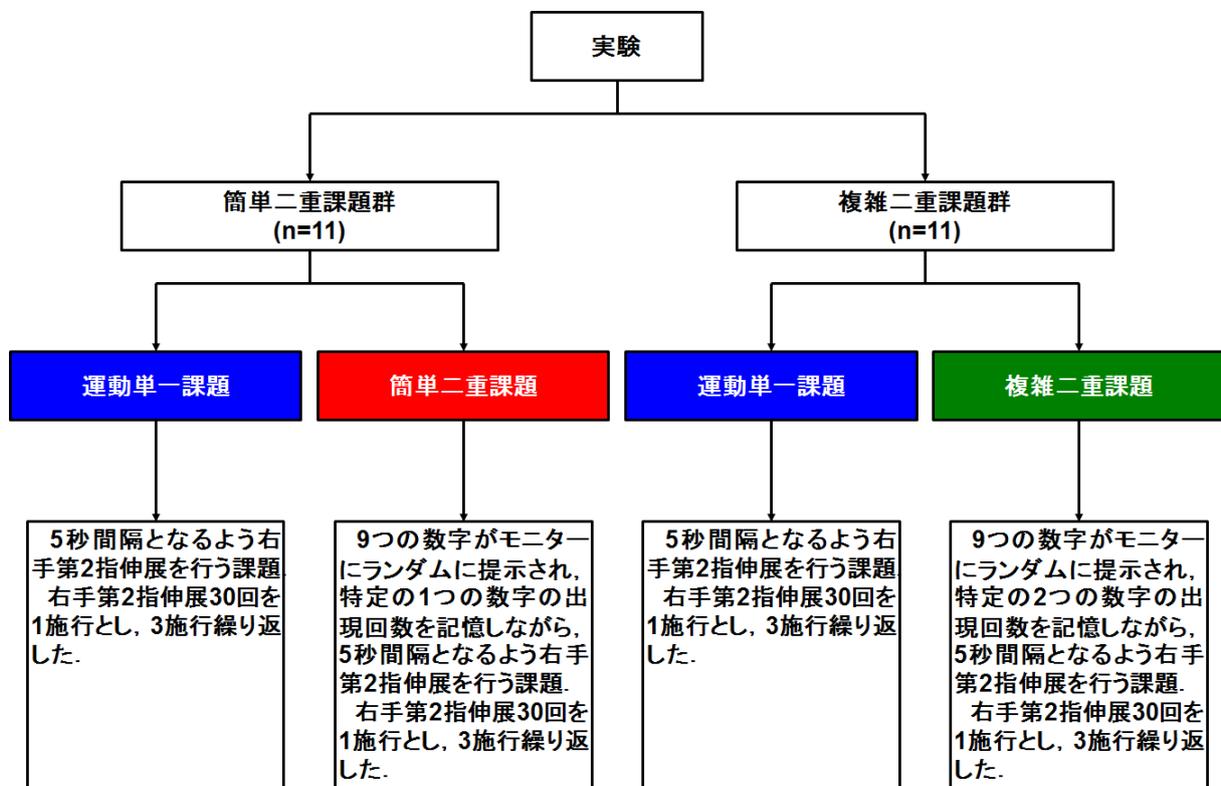


図 1. 実験デザイン

## 2) 測定課題

運動準備電位を測定するための基準動作は、右手第2指伸展動作とした。この時、被検者には5秒に1回の動作を30回繰り返すように指示した。この5秒に1回の間隔で行う動作は、被検者の自由意思によるものであるが、試行間の間隔を小数点第1位まで試行後リアルタイムに表示し、できる限り5秒に合わせるように指示した。

なお、測定課題は下記の3課題として、課題は30回を1施行とし、3施行繰り返した。

### ① 運動単一課題

右手第2指伸展を5秒間隔となるように行う基準動作のみの課題。

### ② 簡単二重課題

運動単一課題で設定した基準動作を行いながら、認知課題としてモニターにランダムに提示される9つの数字から、特定の1つの数字の出現回数を記憶する課題。

### ③ 複雑二重課題

上記の簡単二重課題と同様の課題を行いながら、特定の2つの数字の出現回数を記憶する課題。

なお、認知課題として行った数字のモニターへの提示には、標準注意検査法<sup>37)</sup>に含まれている Continuous performance test の X 課題を用いた<sup>37)</sup>。

## 2.2.2 Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT)

被検者全員に対し、標準注意検査法<sup>37)</sup>に含まれている Paced auditory serial addition task (PASAT)を実施した。PASATは Gronwall and Sampson によって開発された検査である<sup>38)</sup>。この検査は、脳震盪後の情報処理能力の低下を評価する目的で作られた。CD で連続的に聴覚提示される 1桁の数字について、前後の数字を順次足していく検査であり、標準注意検査法では数字の呈示間隔が異なる 2つの課題、すなわち 1つの数字を呈示し終わって次の数字呈示開始までの間隔が 2秒の課題 (2秒条件)、および 1秒の課題 (1秒条件) によって行う。どちらの課題も問題総数は 60個である。本検査はワーキングメモリーの関与が大きく、難易度の高い課題とされる<sup>37)</sup>。

## 2.3 測定方法

### 2.3.1 運動準備電位

被検者は 21.5 インチの液晶モニターから約 70 cm の距離で安楽な椅子座位とし、両側の前腕をテーブル上においた (図 2)。各課題時の運動準備電位は、国際 10-20 法の C3, C4 の頭皮上から脳波センサ DL-160B (S&ME) によって測定した。運動準備電位は、筋電図センサ DL-141 (S&ME) を用い、総指伸筋の筋腹からの右手第 2 指伸展時の筋電図の立ち上がりをトリガーとした。手指伸展時の筋電図の立ち上がりのトリガー間を手指伸展間隔とした。運動準備電位は時間分解能 1000 Hz で測定し、0.05~10 Hz のバンドパスフィルター<sup>26)</sup>と 50 Hz ノッチフィルターにて処理を行い、高周波ノイズをさらに低減するために移動平均 15 Hz フィルターを用いた。ベースラインは運動開始前の 2800~2600 ms の平均値とし、データは運動開始前 2700 ms から運動開始後 1000 ms までを使用した。筋電図のアーチファクトは、3 秒間隔未満または 7 秒間隔を超える筋電図とし、眼電図のアーチファクトは、120  $\mu$ V を超える眼電図とし、解析対象から除外した<sup>26)</sup>。これらの処理は、Multi Analyzer EP (Medical Try System) を用いた。

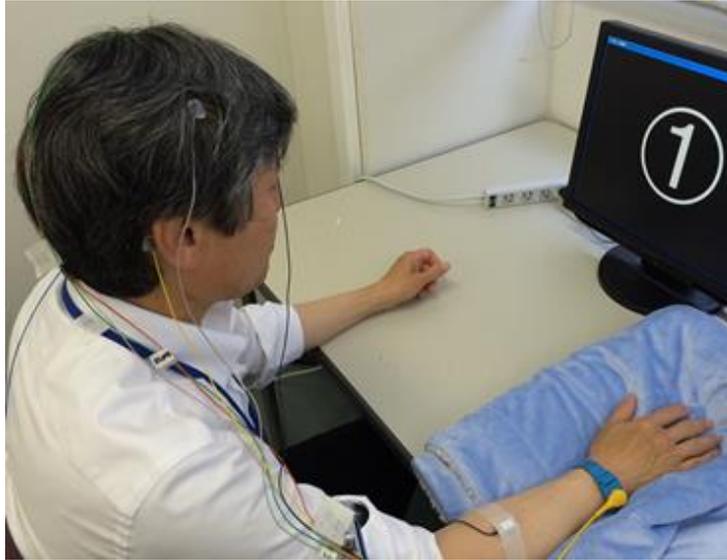


図 2. 測定環境

### 2.3.2 PASAT

標準注意検査法<sup>37)</sup>に含まれている PASAT の検査用 CD と CD プレーヤーを用いた。検査マニュアル<sup>37)</sup>に基づき、CD で連続的に聴覚呈示される 1桁の数字について、前後の数字を順次暗算で足していくように教示した。被検者が課題について十分に理解されてから 2秒条件の練習、2秒条件の本試行、1秒条件の練習、1秒条件の本試行の順で行い、2秒条件と1秒条件の本試行の正答率（正答数/問題数 x 100）を求めた。

## 2.4 解析

運動単一課題、簡単二重課題、複雑二重課題の運動準備電位については、Multi Analyzer EP (Medical Try System) を用い、各施行においてアーチファクトとノイズの除去後に加算平均と移動平均を行い、振幅と潜時、積分値（-2000~0 ms の振幅の総計）を算出した。運動準備電位の振幅と潜時、積分値、手指伸展間隔の変動係数（標準偏差を平均で除した値）は、二元配置分散分析と Bonferroni の多重比較法によって課題間で比較した。簡単二重課題、複雑二重課題における特定の数字の出現回数の正答率については、Shapiro-Wilk test によって正規性を確認し Mann-Whitney U test を用い比較した。PASAT の 2 秒条件と 1 秒条

件の正答率と各課題の運動準備電位の振幅と潜時の関連について Pearson の相関分析を用いて検討した。全ての統計解析は SPSS 23 software (IBM Corporation) を用い、有意水準を  $p < 0.05$  とした。

## 2.5 倫理的配慮

本研究は、国際医療福祉大学倫理審査会の承認を得て実施した（承認番号 16-10-198）。

## 第3章 結果

### 3.1 簡単二重課題群と複雑二重課題群における課題成績の比較

#### 3.1.1 手指伸展間隔の変動係数

簡単二重課題群における運動単一課題の手指伸展間隔の変動係数は  $0.09 \pm 0.01$  (平均値 $\pm$ 標準誤差), 簡単二重課題は  $0.10 \pm 0.01$  であり, 複雑二重課題群における運動単一課題の変動係数は  $0.10 \pm 0.01$ , 複雑二重課題では  $0.12 \pm 0.01$  であった (表 1). 分散分析の結果を表 2 に示す. 課題の主効果 ( $F(1,20)=3.90$ ,  $p=0.06$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.16$ ), 群の主効果 ( $F(1,20)=1.86$ ,  $p=0.19$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.09$ ) に有意差は確認されなかった. また, 交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=1.41$ ,  $p=0.25$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.07$ ). 下位検定の結果を表 3 に示す, 複雑二重課題群の運動単一課題と複雑二重課題の間において有意差は確認され ( $F(1,10)=6.00$ ,  $p=0.03$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.38$ ), 他の課題と群の比較において有意差は確認されなかった.

表 1. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	0.09	0.01
	簡単二重課題	11	0.10	0.01
複雑二重課題群	運動単一課題	11	0.10	0.01
	複雑二重課題	11	0.12	0.01

表 2. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	0.00	0.00	3.90	0.06	0.16
群	1	0.00	0.00	1.86	0.19	0.09
課題 x 群	1	0.00	0.00	1.41	0.25	0.07
誤差	20	0.01	0.01			
全体	23	0.01	0.01			

統計量 : F 値, 有意確率 : p 値, 効果量 : Partial  $\eta^2$ .

表 3. 下位検定の結果

因子		自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群	課題	1	0.00	0.00	0.27	0.62	0.03
	誤差	10	0.01	0.00			
	全体	11	0.01	0.00			
複雑二重課題群	課題	1	0.00	0.00	6.00	0.03	0.38
	誤差	10	0.01	0.00			
	全体	11	0.01	0.00			
簡単二重課題 群	課題	1	0.00	0.00	0.33	0.57	0.02
	誤差	20	0.02	0.00			
	全体	21	0.02	0.00			
複雑二重課題 群	課題	1	0.00	0.00	2.79	0.11	0.12
	誤差	20	0.03	0.00			
	全体	21	0.03	0.00			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.1.2 特定の数字の出現回数の正答率

簡単二重課題群の簡単二重課題における特定の数字の出現回数の正答率は  $98 \pm 1.27\%$  (中央値 $\pm$ 標準誤差)，複雑二重課題群の複雑二重課題は  $91 \pm 0.87\%$  であり，有意差は確認された (Mann-Whitney  $U=18.00$ ,  $p=0.00$ ,  $r=0.60$ , 表 4).

表 4. 記述統計の結果

群	課題	度数	中央値	標準誤差
簡単二重課題群	簡単二重課題	11	98	1.27
複雑二重課題群	複雑二重課題	11	91	0.87

### 3.2 運動準備電位の振幅・潜時

#### 3.2.1 波形の様相

簡単二重課題群 (n=11) の運動単一課題と複雑二重課題, 複雑二重課題群 (n=11) の運動単一課題と複雑二重課題の C3 と C4 における運動準備電位の様相を図 3 に示した.

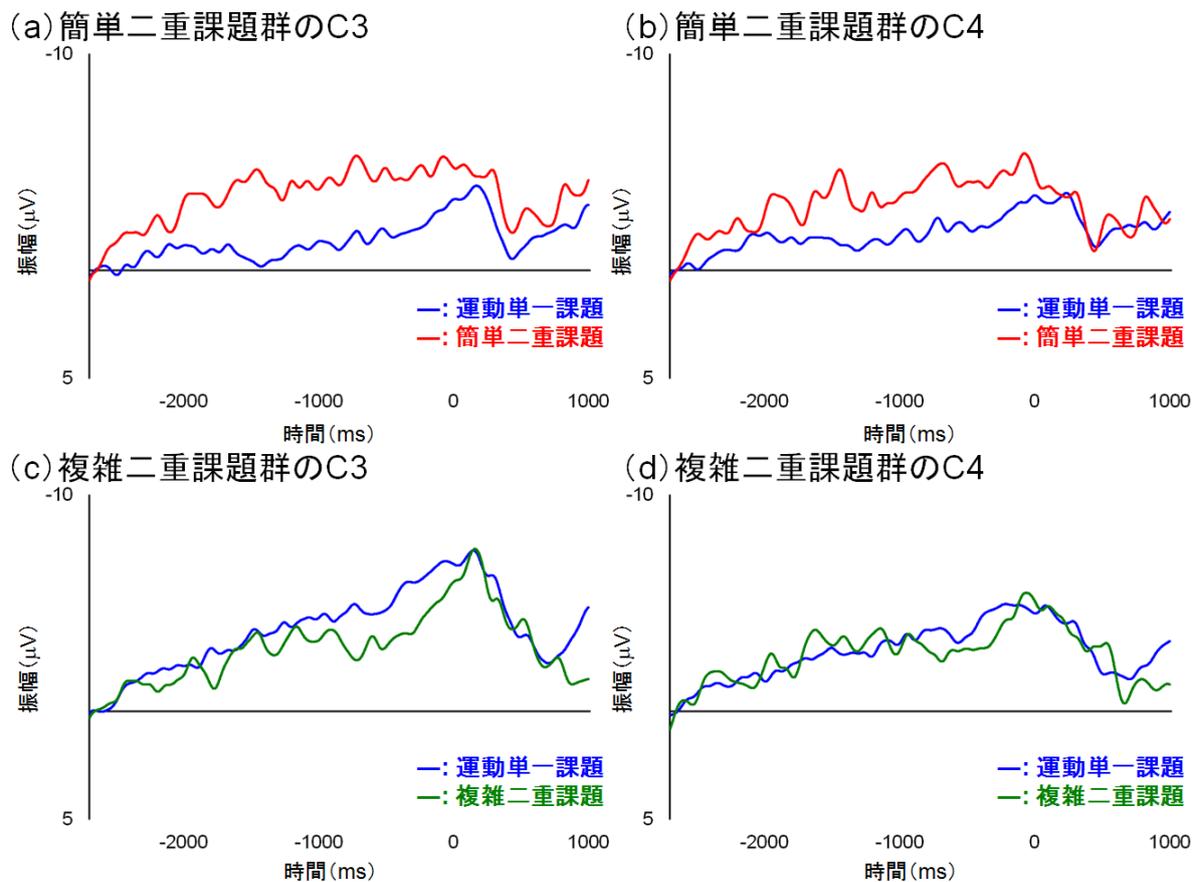


図 3. 簡単二重課題群の運動単一課題と複雑二重課題, 複雑二重課題群の運動単一課題と複雑二重課題の C3 と C4 における運動準備電位の様相

### 3.2.2 運動準備電位の振幅 (C3)

簡単二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の振幅は $-4.65 \pm 0.98 \mu\text{V}$  (平均値 $\pm$ 標準誤差), 簡単二重課題は $-6.49 \pm 0.95 \mu\text{V}$  であり, 複雑二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の振幅は $-8.68 \pm 2.00 \mu\text{V}$ , 複雑二重課題では $-8.54 \pm 1.34 \mu\text{V}$  であった (表 5). 分散分析の結果を表 6 に示す. 課題の主効果 ( $F(1,20)=2.99$ ,  $p=0.10$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.13$ ), 群の主効果 ( $F(1,20)=1.00$ ,  $p=0.33$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.05$ ) に有意差は確認されなかった. また, 交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=1.37$ ,  $p=0.26$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.06$ ). 下位検定の結果を表 7 に示す, 簡単二重課題群の運動単一課題と簡単二重課題の間において有意差は確認され ( $F(1,10)=6.50$ ,  $p=0.03$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.39$ ), 他の課題と群の比較において有意差は確認されなかった.

表 5. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	-4.65	0.98
	簡単二重課題	11	-8.68	0.95
複雑二重課題群	運動単一課題	11	-6.49	2.00
	複雑二重課題	11	-8.54	1.34

表 6. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	7.95	7.95	1.00	0.33	0.05
群	1	101.85	101.85	2.99	0.10	0.13
課題 x 群	1	10.84	10.84	1.37	0.26	0.06
誤差	20	158.62	7.93			
全体	23	249.26	128.57			

統計量 : F 値, 有意確率 : p 値, 効果量 : Partial  $\eta^2$ .

表 7. 下位検定の結果

因子		自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群	課題	1	18.68	18.68	6.50	0.03	0.39
	誤差	10	28.72	2.87			
	全体	11	47.40	21.55			
複雑二重課題群	課題	1	0.11	0.11	0.01	0.93	0.00
	誤差	10	129.91	12.99			
	全体	11	130.02	13.1			
簡単二重課題群	課題	1	89.56	89.56	3.28	0.09	0.14
	誤差	20	545.52	27.28			
	全体	21	635.08	116.84			
複雑二重課題群	課題	1	23.12	23.12	1.57	0.23	0.07
	誤差	20	294.51	14.73			
	全体	21	317.63	37.85			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.2.3 運動準備電位の振幅 (C4)

簡単二重課題群における運動単一課題の C4 の運動準備電位の振幅は $-4.48 \pm 1.17 \mu\text{V}$  (平均値 $\pm$ 標準誤差)，簡単二重課題は $-5.46 \pm 1.00 \mu\text{V}$  であり，複雑二重課題群における運動単一課題の C4 の運動準備電位の振幅は $-6.29 \pm 1.74 \mu\text{V}$ ，複雑二重課題では $-6.50 \pm 0.96 \mu\text{V}$  であった (表 8)．分散分析の結果を表 9 に示す．課題の主効果 ( $F(1,20)=0.88$ ,  $p=0.36$ , Partial  $\eta^2=0.04$ )，群の主効果 ( $F(1,20)=0.42$ ,  $p=0.53$ , Partial  $\eta^2=0.02$ ) に有意差は確認されなかった．また，交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=0.18$ ,  $p=0.68$ , Partial  $\eta^2=0.01$ )．下位検定の結果を表 10 に示す，いずれの課題と群の比較において有意差は確認されなかった．

表 8. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	-4.48	1.17
	簡単二重課題	11	-5.46	1.00
複雑二重課題群	運動単一課題	11	-6.29	1.74
	複雑二重課題	11	-6.50	0.96

表 9. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	3.88	3.88	0.42	0.53	0.02
群	1	22.42	22.42	0.88	0.36	0.04
課題 x 群	1	1.65	1.65	0.18	0.68	0.01
誤差	20	185.09	9.25			
全体	23	213.04	37.20			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

表 10. 下位検定の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群 課題	1	5.30	5.30	1.20	0.30	0.11
誤差	10	49.95	4.40			
全体	11	55.25	9.70			
複雑二重課題群 課題	1	0.24	0.24	0.02	0.90	0.00
誤差	10	141.11	14.11			
全体	11	141.35	14.35			
簡単二重課題 群	1	18.12	18.12	0.75	0.40	0.04
誤差	20	482.98	24.15			
全体	21	501.10	42.27			
複雑二重課題 群	1	5.95	5.95	0.57	0.46	0.03
誤差	20	210.29	10.52			
全体	21	216.24	16.47			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.2.4 運動準備電位の潜時 (C3)

簡単二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の潜時は  $176 \pm 37$  ms (平均値  $\pm$  標準誤差)，簡単二重課題は  $186 \pm 37$  ms であり，複雑二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の潜時は  $193 \pm 28$  ms，複雑二重課題では  $209 \pm 32$  ms であった (表 11)。

分散分析の結果を表 12 に示す。課題の主効果 ( $F(1,20)=0.23$ ,  $p=0.63$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.01$ )，群の主効果 ( $F(1,20)=0.30$ ,  $p=0.59$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.02$ ) に有意差は確認されなかった。また，交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=0.01$ ,  $p=0.91$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.00$ )。下位検定の結果を表 13 に示す，いずれの課題と群の比較において有意差は確認されなかった。

表 11. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	176	37
	簡単二重課題	11	186	37
複雑二重課題群	運動単一課題	11	193	28
	複雑二重課題	11	209	32

表 12. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	1991	1991	0.30	0.59	0.02
群	1	4320	4320	0.23	0.63	0.01
課題 x 群	1	82	82	0.01	0.91	0.00
誤差	20	133960	6698			
全体	23	140353	13091			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

表 13. 下位検定の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群 課題	1	633	633	0.06	0.81	0.01
誤差	10	105996	10600			
全体	11	106629	11233			
複雑二重課題群 課題	1	1440	1440	0.52	0.49	0.05
誤差	10	27964	2796			
全体	11	29404	4236			
簡単二重課題 群	1	1607	1607	0.13	0.72	0.01
誤差	20	242873	12144			
全体	21	244480	13751			
複雑二重課題 群	1	2796	2796	0.21	0.65	0.01
誤差	20	26109	13054			
全体	21	28905	15850			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.2.5 運動準備電位の潜時 (C4)

簡単二重課題群における運動単一課題の C4 の運動準備電位の潜時は  $165 \pm 47$  ms (平均値  $\pm$  標準誤差)，簡単二重課題は  $148 \pm 36$  ms であり，複雑二重課題群における運動単一課題の

C4 の運動準備電位の潜時は  $235 \pm 38$  ms, 複雑二重課題では  $188 \pm 48$  ms であった (表 14).

分散分析の結果を表 15 に示す. 課題の主効果 ( $F(1,20)=0.23$ ,  $p=0.63$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.01$ ), 群の主効果 ( $F(1,20)=0.30$ ,  $p=0.59$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.02$ ) に有意差は確認されなかった. また, 交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=0.01$ ,  $p=0.91$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.00$ ). 下位検定の結果を表 16 に示す, いずれの課題と群の比較において有意差は確認されなかった.

表 14. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	165	47
	簡単二重課題	11	148	36
複雑二重課題群	運動単一課題	11	235	38
	複雑二重課題	11	188	48

表 15. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	10695	10695	0.53	0.48	0.03
群	1	33385	33385	1.69	0.21	0.08
課題 x 群	1	2505	2505	0.12	0.73	0.01
誤差	20	405054	20253			
全体	23	451639	66838			

統計量 : F 値, 有意確率 : p 値, 効果量 :  $\text{Partial } \eta^2$ .

表 16. 下位検定の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群 課題	1	1424	1424	0.06	0.81	0.01
誤差	10	231522	23152			
全体	11	232946	24576			
複雑二重課題群 課題	1	11776	11776	0.68	0.43	0.06
誤差	10	173531	17353			
全体	11	185307	29129			
簡単二重課題 群	1	27090	27090	1.34	0.26	0.06
誤差	20	404639	20232			
全体	21	431729	47322			
複雑二重課題 群	1	8800	8800	0.45	0.51	0.02
誤差	20	395339	19767			
全体	21	404139	28567			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.2.6 運動準備電位の積分値 (C3)

簡単二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の積分値 (-2000~0 ms) は  $-2931 \pm 1698 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$  (平均値 $\pm$ 標準誤差)，簡単二重課題は  $-8075 \pm 1631 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$  であり，複雑二重課題群における運動単一課題の C3 の運動準備電位の積分値 (-2000~0 ms) は  $-9614 \pm 3217 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$ ，複雑二重課題では  $-7372 \pm 1639 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$  であった (表 17)。分散分析の結果を表 18 に示す。課題の主効果 ( $F(1,20)=1.26$ ,  $p=0.28$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.06$ )，群の主効果 ( $F(1,20)=0.95$ ,  $p=0.34$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.05$ ) に有意差は確認されなかった。また，交互作用に有意差は確認された ( $F(1,20)=6.18$ ,  $p=0.02$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.24$ )。下位検定の結果を表 19 に示す。簡単二重課題群の運動単一課題と簡単二重課題の間において有意差は確認され ( $F(1,10)=8.39$ ,  $p=0.02$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.46$ )，他の課題と群の比較において有意差は確認されなかった。

表 17. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	-2931	1698
	簡単二重課題	11	-8075	1631
複雑二重課題群	運動単一課題	11	-9614	3217
	複雑二重課題	11	-7372	1639

表 18. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	23144742	23144742	0.95	0.34	0.05
群	1	98347523	98347523	1.26	0.28	0.06
課題 x 群	1	150018953	150018953	6.18	0.02	0.24
誤差	20	485441465	24272073			
全体	23	271511213	295783291			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

表 19. 下位検定の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量	
簡単二重課題群	課題	1	145506799	145506799	8.39	0.02	0.46
	誤差	10	173511101	17351110			
	全体	11	319017900	162857909			
複雑二重課題群	課題	1	27656896	27656896	0.89	0.37	0.08
	誤差	10	311930364	31193036			
	全体	11	339587260	58849932			
簡単二重課題 群	課題	1	245649251	245649251	3.38	0.08	0.14
	誤差	20	1455787764	72789388			
	全体	21	1701437015	318438639			
複雑二重課題 群	課題	1	2717225	2717225	0.09	0.76	0.01
	誤差	20	587864440	29393222			
	全体	21	590581665	32110447			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.2.7 運動準備電位の積分値 (C4)

簡単二重課題群における運動単一課題の C4 の運動準備電位の積分値 (-2000~0 ms) は-3716±1662  $\mu\text{V}\cdot\text{ms}$  (平均値±標準誤差)，簡単二重課題は-7452±1822  $\mu\text{V}\cdot\text{ms}$  であり，複雑二

重課題群における運動単一課題の C4 の運動準備電位の積分値 (-2000~0 ms) は $-7198 \pm 2912 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$ , 複雑二重課題では $-6603 \pm 1250 \mu\text{V} \cdot \text{ms}$ であった (表 20). 分散分析の結果を表 21 に示す. 課題の主効果 ( $F(1,20)=0.29$ ,  $p=0.60$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.01$ ), 群の主効果 ( $F(1,20)=1.16$ ,  $p=0.29$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.06$ ) に有意差は確認されなかった. また, 交互作用に有意差は確認されなかった ( $F(1,20)=2.21$ ,  $p=0.15$ ,  $\text{Partial } \eta^2=0.10$ ). 下位検定の結果を表 22 に示す, いずれの課題と群の比較において有意差は確認されなかった.

表 20. 記述統計の結果

群	課題	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	運動単一課題	11	-3716	1662
	簡単二重課題	11	-7452	1822
複雑二重課題群	運動単一課題	11	-7198	2912
	複雑二重課題	11	-6603	1250

表 21. 分散分析の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
課題	1	27136317	27136317	1.16	0.29	0.06
群	1	19055375	19055375	0.29	0.60	0.01
課題 x 群	1	51581135	51581135	2.21	0.15	0.10
誤差	20	467951304	23397565			
全体	23	565724131	121170392			

統計量 : F 値, 有意確率 : p 値, 効果量 :  $\text{Partial } \eta^2$ .

表 22. 下位検定の結果

因子	自由度	平方和	平均平方	統計量	有意確率	効果量
簡単二重課題群 課題	1	76771585	76771585	4.74	0.05	0.32
誤差	10	161833105	16183310			
全体	11	238604690	92954895			
複雑二重課題群 課題	1	1945867	1945867	0.06	0.81	0.01
誤差	10	306118199	30611820			
全体	11	308064066	32557687			
簡単二重課題 群	1	66669457	66669457	1.08	0.31	0.05
誤差	20	1236697003	61834850			
全体	21	1303366460	128504307			
複雑二重課題 群	1	3967053	3967053	0.15	0.71	0.01
誤差	20	536826032	26841302			
全体	21	540793085	30808355			

統計量：F 値，有意確率：p 値，効果量：Partial  $\eta^2$ .

### 3.3 PASAT の正答率と運動準備電位の振幅・潜時との関連

#### 3.3.1 PASAT の正答率

被検者全員 22 名における 2 秒条件の正答率は  $84 \pm 2.69\%$  (平均値 $\pm$ 標準誤差)，1 条件の正答率は  $53 \pm 3.60\%$ であった。2 秒条件において簡単二重課題群 11 名の正答率は  $86 \pm 2.69\%$ ，複雑二重課題群 11 名の正答率は  $82 \pm 4.05\%$ であった (表 23)。対応のない t 検定において簡単二重課題群と複雑二重課題群の被検者間に有意差は確認されなかった ( $t=0.69$ ,  $df=20$ ,  $p=0.50$ )。1 秒条件において簡単二重課題群 11 名の正答率は  $55 \pm 5.75\%$ ，複雑二重課題群 11 名の正答率は  $51 \pm 4.52\%$ であった。対応のない t 検定において簡単二重課題群と複雑二重課題群の被検者間に有意差は確認されなかった ( $t=0.62$ ,  $df=20$ ,  $p=0.54$ )。

表 23. 記述統計の結果

群	PASAT	度数	平均値	標準誤差
簡単二重課題群	2 秒条件	11	86	2.69
	1 秒条件	11	55	5.75
複雑二重課題群	2 秒条件	11	82	4.05
	1 秒条件	11	51	4.52

### 3.3.2 PASAT の正答率と運動準備電位の振幅・潜時との相関

#### 1) C3 における相関

##### ・ PASAT2 秒条件の正答率と振幅

被検者全員 22 名における PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C3 の運動準備電位の振幅との間に Pearson の相関分析において有意な相関は確認された ( $r=-0.45$ ,  $p=0.04$ , 図 4).

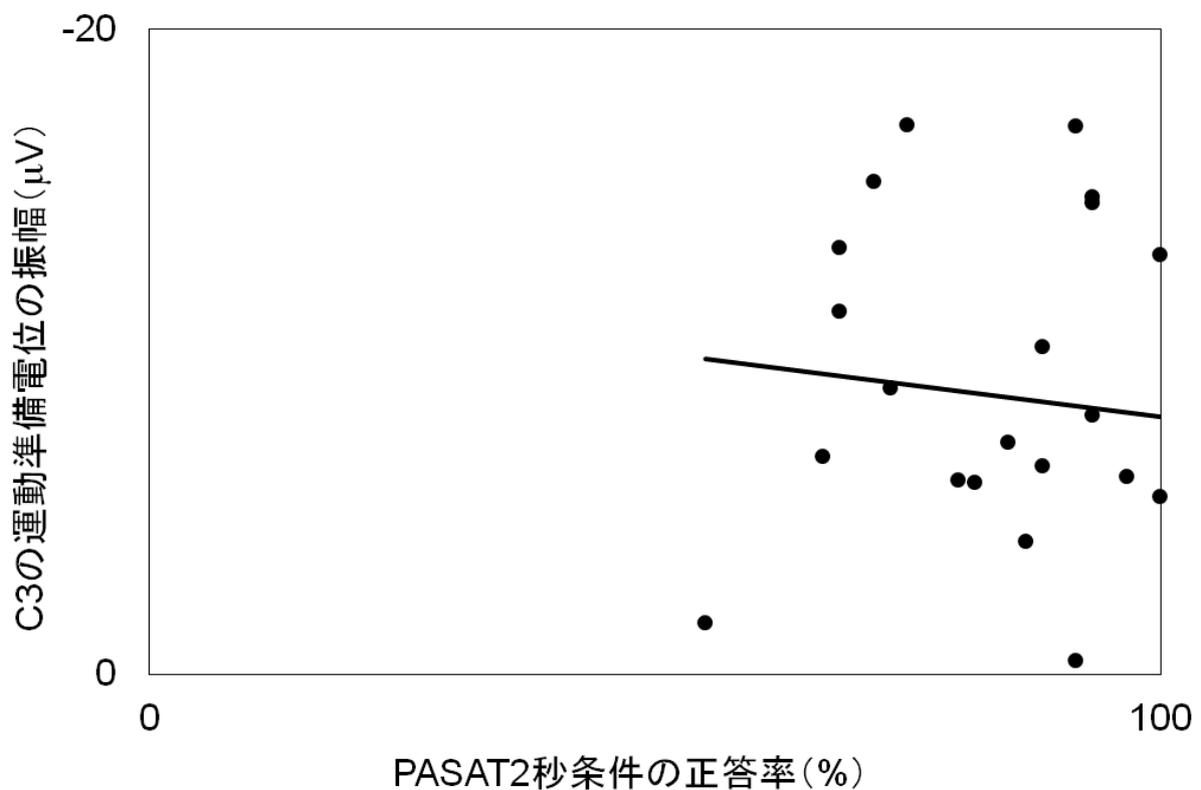


図 4. PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C3 の運動準備電位の振幅との関連

・ PASAT2 秒条件の正答率と潜時

被検者全員 22 名における PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C3 の運動準備電位の潜時との間に Pearson の相関分析において有意な相関は確認された ( $r=-0.50$ ,  $p=0.02$ , 図 5).

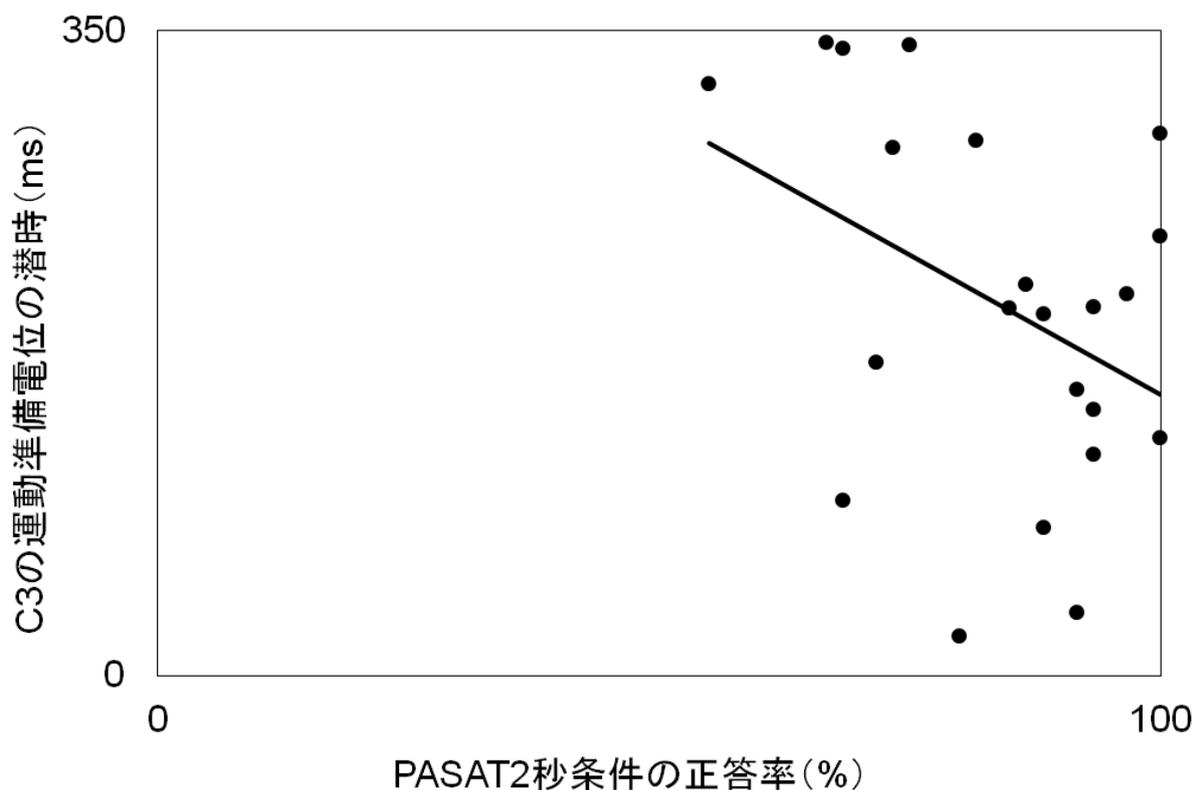


図 5. PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C3 の運動準備電位の潜時との関連

## 2) C4 における相関

### ・ PASAT2 秒条件の正答率と振幅

被検者全員 22 名における PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C4 の運動準備電位の振幅との間に Pearson の相関分析において有意な相関は確認された ( $r=-0.49$ ,  $p=0.02$ , 図 6).

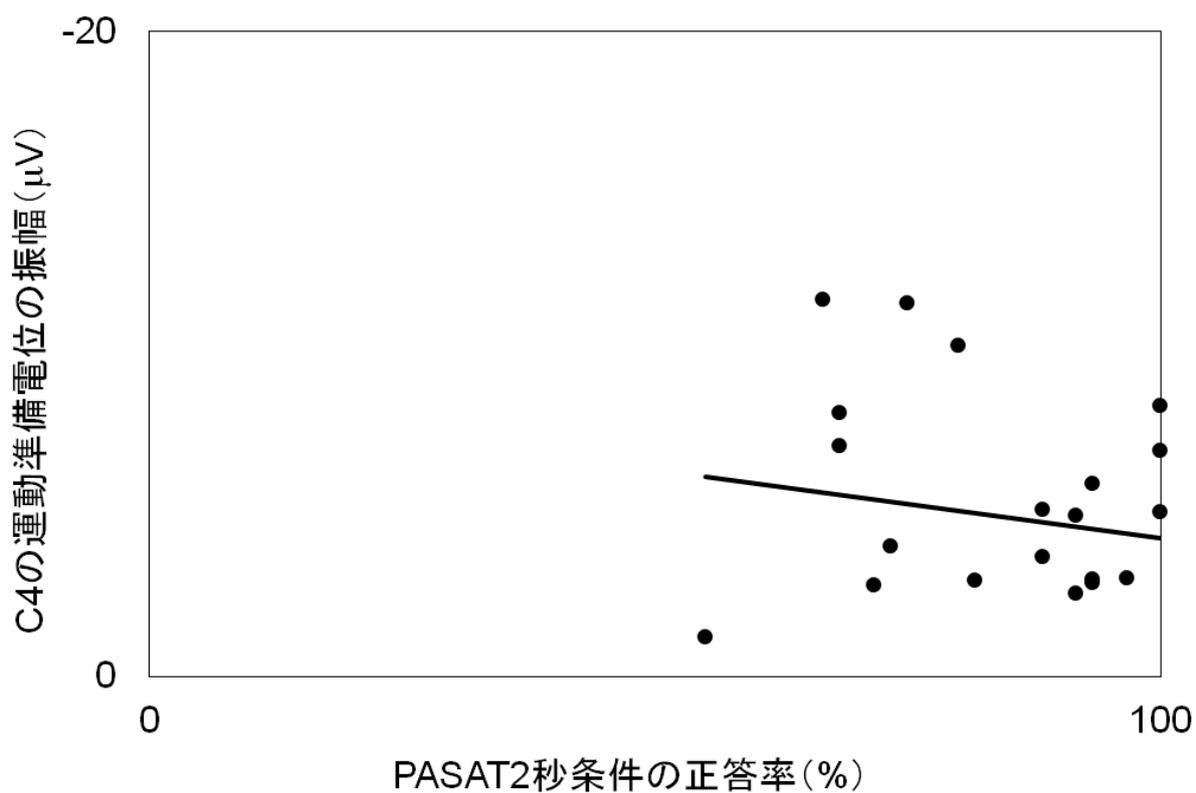


図 6. PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C4 の運動準備電位の振幅との関連

・ PASAT2 秒条件の正答率と潜時

被検者全員 22 名における PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C4 の運動準備電位の潜時との間に Pearson の相関分析において有意な相関は確認されなかった ( $r=-0.09$ ,  $p=0.70$ , 図 7).

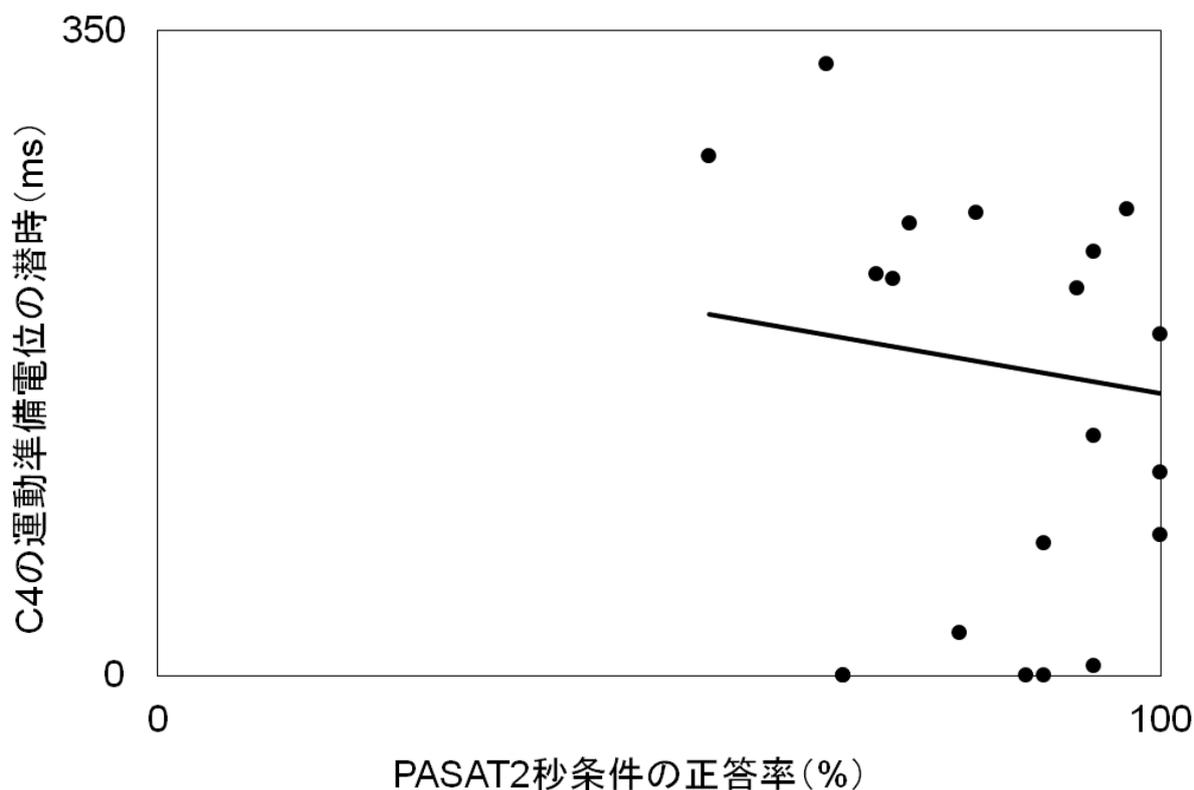


図 7. PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題・複雑二重課題）の C4 の運動準備電位の潜時との関連

## 第4章 考察

### 4.1 二重課題の難易度と運動準備電位

本研究は、右利き健常成人を対象に、5秒間隔になるように右手第2指伸展を行う運動単一課題と、画面に表示された特定の数字の出現回数を記憶する認知課題を同時に行うことで二重課題（簡単二重課題、複雑二重課題）実施時の運動準備電位を測定した。この結果、運動肢と対側のC3の運動準備電位の振幅が増加し、運動単一課題と簡単二重課題との間に有意差を認めた。一方で、運動単一課題と複雑二重課題の間には有意差を認めなかった。

これまで二重課題実施時の運動準備電位を測定した研究では、課題の難易度と運動準備電位の関係について報告されている<sup>25-27)</sup>。P300を用いた研究において、注意が必要な場合に振幅が高まり、さらに課題が複雑になると振幅が減少するとの報告があり<sup>26,27,39,40)</sup>、運動準備電位を用いた本結果に類似している。運動準備電位とP300においても類似の傾向を示したことは、これらの振幅が脳内の運動準備や情報処理の容量を反映していたことを示唆する。

Baker et al.は、難易度の高い二重課題実施時において、認知容量が運動準備に容易に利用できない場合に運動準備電位が小さくなることを示し、二重課題実施時における運動準備電位は認知コントロールおよびワーキングメモリーを含む特定の認知過程の関与を反映すると示唆している<sup>25)</sup>。

自発的な運動の準備は、補足運動野の活動としてfMRI<sup>41-44)</sup>、PET<sup>45)</sup>、MEG<sup>46)</sup>等によって測定されてきた。EEGにおいては運動準備電位として1965年以降に記録されるようになった<sup>3)</sup>。補足運動野は注意や意図の影響<sup>47-50)</sup>、ある時点に注意を向けること<sup>51,52)</sup>、行動を開始する適切な瞬間を選択すること<sup>53,54)</sup>等に関与する。そのため、本研究で用いたような5秒間隔とどの程度一致しているかといったフィードバックを受けながら運動を行う課題は、補足運動野の機能を大きく反映していたものと推測される。また、このような課題に

は、背外側前頭前野の関与も知られている<sup>55-59)</sup>。

背外側前頭前野を含む前頭前野と補足運動野の間にはネットワークが存在する<sup>60-62)</sup>。背外側前頭前野を含む前頭前野の病変がある外傷性脳損傷患者に対する運動準備電位の測定結果から、前頭前野から補足運動野への神経入力が増加したことで、運動準備電位が小さくなったとの報告がある<sup>63)</sup>。そのため、本結果と合わせると、背外側前頭前野を含む前頭前野の機能や補足運動野の機能、これらのネットワークの状態が、本研究の結果に影響を与えたと推測される。

#### 4.2 PASAT による被検者の分配性注意と運動準備電位

本研究では、二重課題実施に必要とされる分配性注意の容量を測定するために PASAT の正答率と運動準備電位の振幅、潜時との関連を分析した。この結果、PASAT2 秒条件の正答率と二重課題（簡単二重課題と複雑二重課題）実施時の運動肢と対側の C3 の運動準備電位の振幅、潜時との間に有意な負の相関が示され、分配性注意の容量が大きい被検者ほど、二重課題実施時の運動準備電位の振幅が小さく、潜時が短くなることが示された。

Cochrane Database of Systematic Reviews に収載されている Loetscher et al. のレビューにおいて、分配性注意は「2 つ以上の課題に注意を分配するための能力」と定義されている<sup>64)</sup>。このレビューにおいて、分配性注意の効果判定には PASAT<sup>65-67)</sup>、Symbol Digit Modalities Test<sup>67)</sup>、TAP subtest divided attention<sup>68)</sup>、Trail Making B<sup>65,67)</sup> が用いられていることが示されている。なかでも、分配性注意の効果判定には PASAT を用いた報告が最も多く、天井効果を示しにくいという点から、本研究において分配性注意の指標として PASAT を用いた。

PASAT には分配性注意に加えワーキングメモリーも測定しているといった報告も多く<sup>69-75)</sup>、PASAT 実施時に多くの脳領域の賦活が確認されている<sup>69,70,76-81)</sup>。これは、PASAT には聴覚知覚、処理、言語産生、ワーキングメモリー、注意が含まれていると考えられているためと推測される<sup>77)</sup>。

注意機能に対するリハビリテーションにおいて効果判定する際に、Sohlberg et al. による

焦点性注意，持続性注意，選択性注意，転換性注意，分配性注意といったように注意を要素毎に区別して判断する必要がある<sup>64)</sup>。これは，ある注意の要素から別の注意の要素への治療の一般化がほとんどないため，注意の各要素を個別にトレーニングする必要があるとされるためである<sup>83,84)</sup>。

本研究では，5秒間隔になるように右手第2指伸展を行う運動単一課題を行いながら特定の一つの数字を記憶するといった簡単二重課題，さらに特定の二つの数字を記憶するといった複雑二重課題を二重課題として実施した。簡単二重課題と複雑二重課題ともに分配性注意やワーキングメモリーは必要とされるが，特定の数字の出現回数の正答率の差からも，その必要とされる度合いが異なることが確認された。そのうえで，PASATの正答率と二重課題実施時の運動肢と対側のC3の運動準備電位の振幅，潜時との間に有意な相関が示されたことから，運動肢と対側の運動準備電位の振幅，潜時は，分配性注意やワーキングメモリーの神経生理学的指標になると考えられる。

#### 4.3 本研究の限界と今後の展望

ヒトの「判断と行動」に影響を与える日常生活上の課題として，運動と認知の課題を同じ時間内でおこなう二重課題を設定した。運動準備電位は，自由意思に伴う随意運動に先行して発現する脳の活動電位であり，本研究においては，右示指の伸展の随意運動時の脳波電極(C3・C4)から算出した。この随意運動は，基準動作として5秒に1回の自己ペースに合わせて行うことを指示し認知課題を付加した。認知課題は，モニターに表示された一桁の数字の出現回数を記憶する内容であり，被検者の98%が正答した簡単な認知課題と，被検者の91%が正答した複雑な認知課題を行い，基準動作の運動準備電位の振幅，潜時と各々比較した。運動肢と対側のC3から導出された運動準備電位は，簡単な認知課題を加えるとその振幅は増加することが明らかとなった。一方，複雑な認知課題を加えた場合には，基準動作で導出した運動準備電位の振幅との間に有意な差を認めなかった。筆者は，認知課題の難易度を増すと運動準備電位の振幅は増加する傾向を認めると考えていたが，

その関係性を見出すことはできなかった。

本研究において、運動準備電位を測定する際に行った認知課題は、特定の数字の記憶である。被検者は5秒に1回のタイミングに合わせようという動機をもちながら、認知課題を付加され、二重課題を実施した。この二重課題を遂行するために、各被検者は、運動課題と認知課題といった2つの課題に注意を分配する必要がある。その個別的な能力が運動準備電位に影響を及ぼすと考え、各被検者ごとのパフォーマンス評価としてPASATを行った。PASATは、数字の記憶と加算の2つの認知過程を含む課題であり、分配性注意の評価の一つとして臨床で用いられている。今回、PASAT2秒条件の正答率と運動肢の反対側のC3から導出された運動準備電位の振幅と潜時の間に負の相関を認めたことは、新奇性のある結果と言える。

以上のように、認知課題の付加と運動準備電位との関係を明らかにしていくためには、認知課題の難易度の設定について更に詳細の段階づけを行い、難易度が増すことによる二重課題干渉が起こらない水準の難易度を検討していくことが必要と考え、今後の研究課題としたい。また、被検者固有の分配性注意のパフォーマンスをPASATで評価したことにより、認知課題を付加した二重課題実施時の運動準備電位との関係を示すことができた。このことは、分配性注意の障害の神経基盤を探る際に運動準備電位の測定の有用性を示したものである。今後は、二重課題で成績が低下しやすい前頭葉の損傷者や高齢者を対象とした研究を行うことで、意識下の運動準備の状況の違いが運動の意図の発現と運動準備に伴う皮質電位、すなわち運動準備電位に及ぼす影響を明らかにしていきたいと考える。

## 結語

1. 課題の複雑性と注意機能が運動準備電位に与える影響について検討した.
2. 二重課題の難度の高まりにより運動準備電位の振幅が増大した. 課題の複雑性により, 振幅は影響をうけるものと推察された.
3. PASAT 正答率と C3 振幅および C3 潜時との間で負の相関が認められ, PASAT の測定指標である注意分配機能の水準と運動準備電位の振幅および潜時の間に関係があることが推察された.
4. 運動準備電位の振幅および潜時は, 注意機能の指標として活用できる可能性が示唆された.

## 謝辞

本研究において多大なるご指導およびご助言を賜りました国際医療福祉大学大学院医療福祉学研究科の谷口敬道教授，後藤純信教授ならびにデータ測定および解析に多大なるご協力を頂きました平野大輔講師に心から感謝致しますとともに厚く御礼申し上げます。

## 文献一覧

- 1) 柴崎浩. 判断と行動—臨床神経学の立場より—. 脳神経外科ジャーナル 2015; 25: 780-787
- 2) Shibasaki H. Human brain mapping: hemodynamic response and electrophysiology. Clin. Neurophysiol. 2008; 119: 731-743
- 3) Kornhuber HH, Deecke L. Changes in the brain potential in voluntary movements and passive movements in man: readiness potential and reafferent potentials. Pflugers. Arch. Gesamte. Physiol. Menschen. Tiere. 1965; 284: 1-17
- 4) Shibasaki H, Hallett M. What is the Bereitschaftspotential? Clin. Neurophysiol. 2006; 117: 2341-2356
- 5) Shibasaki H. Cortical activities associated with voluntary movements and involuntary movements. Clin. Neurophysiol. 2012; 123: 229-243
- 6) 柴崎浩. 随意運動に伴う脳電位—運動関連脳電位—. 臨床神経生理学. 東京: 医学書院, 2008, 269-292
- 7) Inouchi M, Matsumoto R, Taki J, et al. Role of posterior parietal cortex in reaching movements in humans: clinical implication for 'optic ataxia'. Clin. Neurophysiol. 2013; 124: 2230-2241
- 8) Wheaton LA, Shibasaki H, Hallett M. Temporal activation pattern of parietal and premotor areas related to praxis movements. Clin. Neurophysiol. 2005; 116: 1201-1212
- 9) Nasar JL, Troyer D. Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places. Accid. Anal. Prev. 2013; 57: 91-95
- 10) Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. N. Engl. J. Med. 1997; 336: 453-458
- 11) Leone C, Feys P, Moudjian L, et al. Cognitive-motor dual-task interference: a systematic review of neural correlates. Neurosci. Biobehav. Rev. 2017; 75: 348-360

- 12) Friedman A, Polson MC, Dafoe CG, et al. Dividing attention within and between hemispheres: testing a multiple resources approach to limited-capacity information processing. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1982; 8: 625-650
- 13) Navon D, Miller J. Role of outcome conflict in dual-task interference. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1987; 13: 435-448
- 14) Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol. Bull.* 1994; 116: 220-244
- 15) Di Russo F, Berchicci M, Bozzacchi C, et al. Beyond the "Bereitschaftspotential": Action preparation behind cognitive functions. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017; 78: 57-81
- 16) Hallett M. Movement-related cortical potentials. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 1994; 34: 5-13
- 17) Lang W. Surface recordings of the Bereitschaftspotential in normal, The Bereitschaftspotential. Movement-related cortical potentials. New York: Klüver Academic/Plenum Publishers, 2003: 19-34
- 18) Tombaugh TN. A comprehensive review of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT). *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2006; 21: 53-76
- 19) Vaughan HG Jr, Costa LD, Ritter W. Topography of the human motor potential. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1968; 25: 1-10
- 20) Shibasaki H, Barrett G, Halliday E, et al. Components of the movement-related cortical potential and their scalp topography. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1980; 49: 213-226
- 21) Lang W, Cheyne D, Kristeva R, et al. Three-dimensional localization of SMA activity preceding voluntary movement. A study of electric and magnetic fields in a patient with infarction of the right supplementary motor area. *Exp. Brain. Res.* 1991; 87: 688-695
- 22) Tarkka IM, Hallett M. Topography of scalp-recorded motor potentials in human finger

- movements. *J. Clin. Neurophysiol.* 1991; 8: 331-341
- 23) Kristeva R, Cheyne D, Deecke L. Neuromagnetic fields accompanying unilateral and bilateral voluntary movements: topography and analysis of cortical sources. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1991; 81: 284-298
- 24) Cui RQ, Deecke L. High resolution DC-EEG analysis of the Bereitschaftspotential and post movement onset potentials accompanying uni- or bilateral voluntary finger movements. *Brain. Topogr.* 1999; 11: 233-249
- 25) Baker KS, Mattingley JB, Chambers CD, et al. Attention and the readiness for action. *Neuropsychologia.* 2011; 49: 3303-3313
- 26) Aliakbaryhosseinabadi S, Kamavuako EN, Jiang N, et al. Influence of dual-tasking with different levels of attention diversion on characteristics of the movement-related cortical potential. *Brain. Res.* 2017; 1674: 10-19
- 27) Aliakbaryhosseinabadi S, Kostic V, Pavlovic A, et al. Influence of attention alternation on movement-related cortical potentials in healthy individuals and stroke patients. *Clin. Neurophysiol.* 2017; 128: 165-175
- 28) Van Impe A, Coxon JP, Goble DJ, et al. Age-related changes in brain activation underlying single and dual-task performance: visuomanual drawing and mental arithmetic. *Neuropsychologia.* 2011; 49: 2400-2409
- 29) Johannsen L, Li KZ, Chechlacz M, et al. Functional neuroimaging of the interference between working memory and the control of periodic ankle movement timing. *Neuropsychologia.* 2013; 51: 2142-2153
- 30) Jinnai D, Hirano D, Taniguchi T. Effects of dual-task complexity on finger movement frequency control and accuracy of a visual number counting task. *J. Asi. Reha. Sci.* 2018; 1: 44-49
- 31) Langhanns C, Müller H. Empirical support for 'hastening-through-re-automatization' by

- contrasting two motor-cognitive dual tasks. *Front. Psychol.* 2018; 9: 714
- 32) Plummer P, Eskes G, Wallace S, et al. Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2013; 94: 2565-2574
- 33) Ariel W. Snowden, Catalin V, et al. Neural correlates of interval timing deficits in schizophrenia. *Front. Hum. Neurosci.* 2019; 13: 9
- 34) Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971; 9: 97-113
- 35) Faber LG, Maurits NM, Lorist MM. Mental fatigue affects visual selective attention. *PLoS. One.* 2012; 7: e48073
- 36) Van der Linden D. The urge to stop: the cognitive and biological nature of acute mental fatigue. *Cognitive fatigue: multidisciplinary perspectives on current research and future applications*, Washington DC: American Psychological Association, 2011, 149-164
- 37) 日本高次脳機能障害学会（旧 日本失語症学会）。標準注意検査法・標準意欲評価法。東京：新興医学出版社，2006
- 38) Gronwall D Sampson H. *The psychological effects of concussion.* Auckland: Auckland University Press, 1974
- 39) Wilson MJ, Harkrider AW, King KA. The effects of visual distracter complexity on auditory evoked p3b in contact sports athletes. *Dev. Neuropsychol.* 2014; 39: 113-130
- 40) Wintink AJ, Segalowitz SJ, Cudmore LJ. Task complexity and habituation effects on frontal P300 topography. *Brain. Cogn.* 2001; 46: 307-311
- 41) Ball T, Schreiber A, Feige B, et al. The role of higher-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI. *Neuroimage.* 1999; 10: 682-694
- 42) Cunnington R, Windischberger C, Deecke L, et al. The preparation and readiness for voluntary movement: a high-field event-related fMRI study of the Bereitschafts-BOLD response.

- Neuroimage. 2003; 20: 404-412
- 43) Cunnington R, Windischberger C, Moser E. Premovement activity of the pre-supplementary motor area and the readiness for action: studies of time-resolved event-related functional MRI. *Hum. Mov. Sci.* 2005; 24: 644-656
  - 44) Wildgruber D, Erb M, Klose U, Grodd W. Sequential activation of supplementary motor area and primary motor cortex during self-paced finger movement in human evaluated by functional MRI. *Neurosci. Lett.* 1997; 227: 161-164
  - 45) MacKinnon CD, Kapur S, Hussey D, Verrier, et al. Contributions of the mesial frontal cortex to the premovement potentials associated with intermittent hand movements in humans. *Hum. Brain. Mapp.* 1996; 4: 1-22
  - 46) Erdler M, Beisteiner R, Mayer D, et al. Supplementary motor area activation preceding voluntary movement is detectable with a whole-scalp magnetoencephalography system. *Neuroimage.* 2000; 11: 697-707
  - 47) Jueptner M, Stephan KM, Frith CD, et al. Anatomy of motor learning. I. Frontal cortex and attention to action. *J. Neurophysiol.* 1997; 77: 1313-1324
  - 48) Rowe J, Friston K, Frackowiak R, et al. Attention to action: specific modulation of corticocortical interactions in humans. *Neuroimage.* 2002; 17: 988-998
  - 49) Johansen-Berg H, Matthews PM. Attention to movement modulates activity in sensori-motor areas, including primary motor cortex. *Exp. Brain. Res.* 2002; 142: 13-24
  - 50) Lau HC, Rogers RD, Haggard P, et al. Attention to intention. *Science.* 2004; 303: 1208-1210
  - 51) Coull JT, Frith CD, Büchel C, et al. Orienting attention in time: behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia.* 2000; 38: 808-819
  - 52) Coull JT, Nobre AC. Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *J.*

- Neurosci. 1998; 18: 7426-7435
- 53) Deecke L, Kornhuber HH, Lang W, et al. Timing function of the frontal cortex in sequential motor and learning tasks. *Hum. Neurobiol.* 1985; 4: 143-154
- 54) Macar F, Anton JL, Bonnet M, et al. Timing functions of the supplementary motor area: an event-related fMRI study. *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.* 2004; 21: 206-215
- 55) Brass M, Haggard P. The what, when, whether model of intentional action. *Neuroscientist.* 2008; 14: 319-325
- 56) Jahanshahi M, Jenkins IH, Brown RG, et al. Self-initiated versus externally triggered movements. I. An investigation using measurement of regional cerebral blood flow with PET and movement-related potentials in normal and Parkinson's disease subjects. *Brain.* 1995; 118: 913-933
- 57) Jenkins IH, Jahanshahi M, Jueptner M, et al. Self-initiated versus externally triggered movements. II. The effect of movement predictability on regional cerebral blood flow. *Brain.* 2000; 123: 1216-1228
- 58) Lewis PA1, Miall RC. Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging. *Curr. Opin. Neurobiol.* 2003; 13: 250-255
- 59) Rammsayer TH. Neuropharmacological evidence for different timing mechanisms in humans. *Q. J. Exp. Psychol. B.* 1999; 52: 273-286
- 60) Bates JF, Goldman-Rakic PS. Prefrontal connections of medial motor areas in the rhesus monkey. *J. Comp. Neurol.* 1993; 336: 211-228
- 61) Luppino G1, Matelli M, Camarda R, et al. Corticocortical connections of area F3 (SMA-proper) and area F6 (pre-SMA) in the macaque monkey. *J. Comp. Neurol.* 1993; 338: 114-140
- 62) Lu MT, Preston JB, Strick PL. Interconnections between the prefrontal cortex and the premotor areas in the frontal lobe. *J. Comp. Neurol.* 1994; 341: 375-392
- 63) Wiese H, Stude P, Nebel K, et al. Impaired movement-related potentials in acute frontal

- traumatic brain injury. *Clin. Neurophysiol.* 2004; 115: 289-298
- 64) Loetscher T, Potter KJ, Wong D, et al. Cognitive rehabilitation for attention deficits following stroke. *Cochrane. Database. Syst. Rev.* 2019; 2019: CD002842
- 65) Barker-Collo SL, Feigin VL, Lawes CM, et al. Reducing attention deficits after stroke using attention process training: a randomized controlled trial. *Stroke.* 2009; 40: 3293-3298
- 66) Westerberg H, Jacobaeus H, Hirvikoski T, et al. Computerized working memory training after stroke--a pilot study. *Brain. Inj.* 2007; 21: 21-29
- 67) Winkens I, Van Heugten CM, Wade DT, et al. Efficacy of time pressure management in stroke patients with slowed information processing: a randomized controlled trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2009; 90: 1672-1679
- 68) Röhring S, Kulke H, Reulbach U, Peetz H, et al. Effectivity of a neuropsychological training in attention functions by a teletherapeutic setting. *Neurologie. Rehabilitation.* 2004; 10: 239-246
- 69) Audoin B, Ibarrola D, Ranjeva JP, et al. Compensatory cortical activation observed by fMRI during a cognitive task at the earliest stage of MS. *Hum. Brain. Mapp.* 2003; 20: 51-58
- 70) Christodoulou C, DeLuca J, Ricker JH, et al. Functional magnetic resonance imaging of working memory impairment after traumatic brain injury. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2001; 71: 161-168
- 71) Di Stefano G, Radanov BP. Course of attention and memory after common whiplash: a two-years prospective study with age, education and gender pair-matched patients. *Acta. Neurol. Scand.* 1995; 91: 346-352
- 72) Litvan I, Grafman J, Vendrell P, et al. Slowed information processing in multiple sclerosis. *Arch. Neurol.* 1988; 45: 281-285
- 73) Radanov BP, Hirlinger I, Di Stefano G, et al. Attentional processing in cervical spine syndromes. *Acta. Neurol. Scand.* 1992; 85: 358-362

- 74) Snyder PJ, Cappelleri JC. Information processing speed deficits may be better correlated with the extent of white matter sclerotic lesions in multiple sclerosis than previously suspected. *Brain. Cogn.* 2001; 46: 279-284
- 75) Webbe FM, Ochs SR. Recency and frequency of soccer heading interact to decrease neurocognitive performance. *Appl. Neuropsychol.* 2003; 10: 31-41
- 76) Deary IJ, Ebmeier KP, MacLeod KM, et al. PASAT performance and the pattern of uptake of <sup>99m</sup>Tc-exametazime in brain estimated with single photon emission tomography. *Biol. Psychol.* 1994; 38: 1-18
- 77) Lockwood AH, Linn RT, Szymanski H, et al. Mapping the neural systems that mediate the Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT). *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 2004; 10: 26-34
- 78) Rovaris M, Filippi M, Falautano M, et al. Relation between MR abnormalities and patterns of cognitive impairment in multiple sclerosis. *Neurology.* 1998; 50: 1601-1608
- 79) Schweitzer JB, Faber TL, Grafton ST, et al. Alterations in the functional anatomy of working memory in adult attention deficit hyperactivity disorder. *Am. J. Psychiatry.* 2000; 157: 278-280
- 80) Staffen W, Mair A, Zauner H, et al. Cognitive function and fMRI in patients with multiple sclerosis: evidence for compensatory cortical activation during an attention task. *Brain.* 2002; 125: 1275-1282
- 81) Lazeron RH, Rombouts SA, de Sonneville L, et al. A paced visual serial addition test for fMRI. *J. Neurol. Sci.* 2003; 213: 29-34
- 82) Sohlberg M, Mateer C. Effectiveness of an attention training program. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 1987; 9: 117-130
- 83) Sturm W, Willmes K, Orgass B, et al. Do specific attention deficits need specific training? *Neuropsychol. Rehabil.* 1997; 7: 81-103
- 84) Sturm W, Thimm M, Küst J, et al. Alertness-training in neglect: behavioral and imaging results.

Restor. Neurol. Neurosci. 2006; 24: 371-384