

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03117

研究課題名(和文) 外傷性脳損傷者の前頭葉機能障害のテレリハビリテーション：行動・脳波指標による検討

研究課題名(英文) Telerehabilitation of frontal lobe function in patients with traumatic brain injury: A behavioral and event-related potentials study

研究代表者

柴崎 光世 (Shibasaki, Mitsuyo)

明星大学・心理学部・教授

研究者番号：00325135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：テレリハビリテーション(テレリハ)とはインターネットを活用したセラピスト主導のデリバリー型リハビリテーションサービスである。本研究は、外傷性脳損傷(TBI)者の前頭葉機能(ワーキングメモリ、遂行機能、社会的認知)を対象とした在宅ベースのテレリハプログラムを開発し、その有効性について介入前後に実施した評価課題に対する認知成績と事象関連電位データの両側面から検討した。その結果、テレリハによる介入が認知成績及び前頭領域の脳活動の維持・促進にワークブックによる介入の場合と同等またはそれ以上の効果を及ぼすことが示唆された。ワーキングメモリと遂行機能の各般化指標においてもテレリハによる効果が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

TBI後の前頭葉機能障害を対象としたテレリハの有効性に関するエビデンスは非常に少なく、さらに、その有効性を脳活動の側面から検討した研究はほとんどない。こうしたなか、本研究はTBI者の前頭葉機能障害に対するテレリハの効果を行動データと脳活動データの両側面から示唆した点に学術的意義があり、当該領域におけるエビデンスの蓄積に寄与するものと思われる。また、さまざまな事情により施設でのリハビリテーションを受けにくいTBI者が多く存在するなか、TBI後の継続的な前頭葉機能リハビリテーションを支援するアプローチの一つとしてテレリハが期待できることを示した点に本研究の社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Telerehabilitation (telerehab) is a therapist-led delivering rehabilitation service that uses the Internet and computing technologies. This study developed a home-based telerehab program for frontal lobe function (working memory, executive function, and social cognition) in patients with traumatic brain injury (TBI) and investigated the effectiveness of the telerehab program by using behavioral and electroencephalography (event-related potentials) data in assessment tasks before and after the intervention. The results suggested that the telerehab intervention was as effective as or more effective than the workbook intervention in maintaining and improving cognitive performance and brain activity in the frontal regions. The generalization effect of the telerehab intervention was also found in several neuropsychological tests of working memory and executive function.

研究分野：神経心理学

キーワード：外傷性脳損傷 前頭葉機能障害 テレリハビリテーション 認知リハビリテーション 脳波

## 1. 研究開始当初の背景

交通事故や高所からの落下などにより脳に外傷性の損傷(traumatic brain injury, TBI)を負うと、手足の運動障害や感覚障害といった比較的低次の脳機能障害のほかに、ワーキングメモリ障害、遂行機能障害(認知的柔軟性の欠如、抑制障害、反応性の低下など)、社会的認知・行動障害といった前頭葉機能障害が高頻度に観察される。これらの前頭葉機能障害は TBI 者の社会復帰を大きく阻害するので、それを改善するために継続的なリハビリテーション(認知リハビリテーション、認知リハ)が不可欠となる。ただ、入院治療を終え、地域に戻った TBI 者においては、通院・通所にかかる経済的・人的コストや施設側のキャパシティの制限によりセラピストによる認知リハを毎日受けることは難しい。ニーズはあっても、施設で 1 時間程度の認知リハを最大で週に 1~2 回しか受けることができないのが現状である。このような問題を解決するために欧米で関心が寄せられているのがテレリハビリテーション(テレリハ)である。

テレリハは、インターネットやパソコン等の情報端末を利用したセラピスト主導のデリバリー型リハビリテーションサービスで、その有効性を示唆するエビデンスが、運動障害、音声・言語障害、精神・神経症状など広い領域で蓄積されている(McCue et al., 2009 など)。しかし、TBI 後の前頭葉機能障害を対象としたテレリハについては、テレリハによる介入の結果、遂行機能や社会的認知の改善を得たとする報告がいくつかあるものの(Garcia-Molina et al., 2010 など)、その数は非常に少ない。また、TBI 者を対象としたもののみでなく、テレリハ研究全体に言えることであるが、テレリハによる介入の効果測定にあたっては、介入の前後で患者の行動や認知成績がどう変わるか、といった行動データ上の変化のみに焦点が当てられており、これらの行動データの変化に伴って、患者の脳活動状態がどのように変化しているのかといった問題については、全くと言ってよいほど関心が払われていない。一方、近年、脳活動測定装置の小型化・低コスト化が急速に進んでおり、これらの装置を脳損傷後遺症のリハビリテーションに活用し、機能回復を支える脳内の可塑的变化を明らかにしようとする試みが少しずつ増えている(Pachalska et al., 2011, 柴崎, 2014 など)。TBI 者を対象としたテレリハの有効性について議論する際にも、こうした脳活動測定装置を積極的に導入し、テレリハを利用した継続的な認知リハが、患者の損傷された脳の回復過程にどのような影響をもたらすかを検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は TBI 者の継続的な認知リハを支援するための新たなアプローチとしてテレリハに着目し、TBI 後の前頭葉機能の維持・促進をめざした在宅ベースで実施可能なテレリハプログラムを開発することを目的とした。そして、地域在住の TBI 者を対象に本研究で開発したテレリハプログラムを実施し、その有効性について介入前後におこなった評価課題に対する認知成績(行動データ)と脳波データ(脳活動データ)の両側面から検討した。

## 3. 研究の方法

(1)研究 1: 前頭葉機能のうち、TBI 者の日常生活や適応的行動と密接に関係するワーキングメモリ、遂行機能、社会的認知の 3 つを取り上げ、これらを標的とするテレリハプログラムを開発した。

テレリハプログラムの概要 Windows タブレット(Surface Go LTE マイクロソフト社)上で動作するテレリハプログラムを主に Visual Basic.NET を用いて開発した。プログラムは、3 つの標的機能を直接刺激する複数のパソコンベースの訓練課題によって構成され、各訓練課題には、対象者の動機づけを高めるために、マルチメディアでの課題呈示機能や、即時フィードバック機能が実装された。個々の訓練課題に対するアクセス日時や成績は、セラピストが在宅リハの様子を遠隔にて随時把握できるようにクラウドサービス上にアップロードされるよう設定した。また、訓練のバリエーションを広げるために、ワーキングメモリや遂行機能の訓練課題である「もぐらたたき」(吉田, 2021)や市販の認知訓練アプリの訓練課題の一部を適宜プログラムに組み込んだ。あわせて、一週間のテレリハへの自身の取り組みに対するふりかえりや自己評価をオンライン上でおこなえるよう Google フォームを利用して専用フォームを作成した。

遠隔コミュニケーションの方法 対象者が日々取り組むべき訓練メニューは Windows 標準搭載の付箋アプリにて遠隔操作にて呈示し、質問や困りごとに関する対応、励まし等のコメントについてはメッセージアプリ(PC 版 LINE WORKS)を用いておこなった。

安全対策 マイクロソフト社が提供している Family Safety 機能を活用して、タブレットの利用状況の監視及び使用できるアプリや接続できるウェブサイトの制限を遠隔にて実施した。

(2)研究 2: 研究 1 で開発したテレリハプログラムのうち、ワーキングメモリと遂行機能に関する 3 つの訓練課題を 6 名の健常成人(平均 21.7 歳)及び 2 名の TBI 者(平均 44.5 歳)に体験してもらい、これらのユーザビリティに関して、理解度、操作性、視覚的・聴覚的良さ、興味・持続性の 4 つの側面から評価するよう求めた(全 15 項目、リッカート方式による 7 段階評定)。

(3)研究 3：テレリハによる介入効果を行行動・脳活動指標の両側面から評価するために、標的機能にかかわる 3 つの評価課題を開発し、延べ 62 名の右利き健常成人を対象に基礎データ(行動データと脳波データ)を収集した。なお、脳波データについては、課題遂行中の脳波をもとに抽出した事象関連電位(event-related potential, ERP)を分析対象とした。

ワーキングメモリ課題(研究 3a)：仮名文字を用いた n-back 課題を開発した。0-back 条件と 2-back 条件の 2 条件を設け、0-back 条件では現行の試行で呈示された文字が標的文字か否か、2-back 条件では現行の試行で呈示された文字が 2 つ前の試行で呈示された文字と同じか否かを行できるだけ速く正確に判断するよう求めた。

反応抑制課題(研究 3b)：go/nogo 課題と刺激 反応適合性課題を組み合わせた反応抑制課題を開発した。個々の試行では左または右向きの矢印を呈示し、一致条件(緑色の矢印)では矢印と同じ向き、不一致条件(黄色の矢印)では矢印と逆向きのボタンをできるだけ速く正確に押すよう求めた。nogo 条件(赤色の矢印)ではボタンを押さないよう教示した。

顔・表情認知課題(研究 3c)：社会的認知の評価課題として、喜び顔、恐怖顔、時計をランダムに呈示し、これらを観察しているときの脳波を測定する受動的課題を開発した。なお、参加者が反応すべき標的刺激(サルの顔)を無作為に呈示することにより、課題に対する参加者の関与を高めるよう工夫した。

(4)研究 4:研究 1 で開発したテレリハプログラムの効果を検討するための介入研究を実施した。具体的には、地域在住の慢性期右利き TBI 者 6 名(平均 45.8 歳)をテレリハ群と統制群にランダムに 3 名ずつ割り当て、テレリハ群に対しては研究 1 のテレリハプログラムを 1 日 30~60 分程度、週 5 日間自宅にて実施するよう依頼した。他方、統制群に対してはテレリハの対象となる 3 つの標的機能を刺激するワークブックをテレリハ群と同時間・同頻度で自宅にて実施するよう求めた。介入期間は約 7 ヶ月で、その前後に研究 3 で開発した 3 つの評価課題による事前・事後評価をおこなった。

(5)研究 5：研究 4 の介入の前後に次の神経心理学的検査を実施し、テレリハによる訓練効果の一般化について検討した。ワーキングメモリ：数唱(WAIS-IV 知能検査)、視空間ワーキングメモリ課題(Maki, Yoshida, & Yamaguchi, 2010)、遂行機能：Trail Making Test (TMT)、新ストループ検査 II、語流暢性検査(WAB 失語症検査)、社会的認知・行動：表情認知閾課題(熊田他, 2011)、遂行機能障害質問票(Dysexecutive Questionnaire, DEX)。

#### 4. 研究成果

##### (1)テレリハプログラムの開発 (研究 1)

ワーキングメモリ、遂行機能、社会的認知の各前頭葉機能の異なる側面にそれぞれはたらきかける 7 つの訓練課題から構成されるテレリハプログラムを開発した。

ワーキングメモリ訓練：楽しく覚えよう (言語的・視覚的ワーキングメモリ訓練, Figure 1a) 記憶画面とテスト画面を続けて呈示し、記憶画面に表示された項目のなかにテスト画面にある項目(標的項目)が含まれるかどうかを判断させる。記憶すべき項目の種類として、1)数字、2)平仮名、3)色、4)無意味図形(アラビア文字)、5)数字(音声)、6)仮名(音声)の 6 種類、記憶すべき項目数として 3 個(レベル 1)から 8 個(レベル 6)の 6 段階を設定した。位置を覚えよう！(視空間的ワーキングメモリ訓練) 上記と同じ手続きで記憶画面に表示される項目(スマイリーマーク)の位置を一時的に覚え、それについて判断させる。記憶すべき項目数として、3 個(レベル 1)から 10 個(レベル 8)の 8 段階を設定した。

遂行機能訓練：後出しじゃんけん (反応抑制 衝動的行動の制御 構えの転換の訓練, Figure 1b) 画面に表示されたじゃんけんの手(グー、チョキ、パー)に対し、音声による教示にしたがって勝ったり負けたりすることが求められる。常にじゃんけんに負けるようにする 1)後出し負けじゃんけんと、指示に従ってじゃんけんに勝ったり負けたりする 2)後出し勝ち・負けじゃんけんの 2 条件を設定した。ことば探し(認知的柔軟性訓練) 3~7 文字の無意味語を呈示し、文字を並べ替えて有意味語を作成させるアナグラム課題を開発した。文字数が多い条件では、正答に関するヒントもあわせて呈示した。



Figure 1. 研究 1 で開発した訓練課題の例。a: 楽しく覚えよう, b: 後出しじゃんけん。

社会的認知訓練：顔に注目しよう！(顔の形態知覚訓練) 画面の上下に標的刺激とテスト刺激の2つの顔刺激を呈示し、それらが同じかどうかを判断させる。呈示された顔の向きについて1)正立、2)倒立、3)正立と倒立の混合の3条件、顔の弁別のしやすさについて1)容易、2)困難の2条件を設定した。表情を見比べよう！(表情の形態的・意味的照合訓練) 上下に並んだ標的刺激とテスト刺激の表情が同じかどうかを判断させる。表情の明瞭度について1)明瞭、2)不明瞭の2条件、表情の弁別のしやすさについて1)容易、2)困難の2条件を設けた。表情を読む(表情の同定訓練) 画面に呈示された人物の情動を6つの選択肢(喜び、悲しみ、驚き、怒り、嫌悪、恐怖)のなかから選ばせる。表情の読み取りやすさについて1)明瞭(正立顔)、2)明瞭(倒立顔)、3)不明瞭の3条件を設定した。

#### (2)テレリハプログラムのユーザビリティ評価(研究2)

研究1のテレリハプログラムのうち、「楽しく覚えよう」「位置を覚えよう」「後出しじゃんけん」の3つのプログラムについて健常成人及びTBI者にユーザビリティ評価を求めた。その結果、理解度、操作性、視覚的・聴覚的良さ、興味・持続性の各因子の平均評定値は大学生で6.1~6.4、TBI者で6.3~7.0といずれも高く(最大評定値は7)、これらのプログラムが適切なユーザビリティを備えていることが確認された。

#### (3)介入効果を測定するための評価課題の開発(研究3)

研究3で開発した3つの評価課題に対する健常成人の行動及び脳波データの結果は次の通りであった。

ワーキングメモリ課題(研究3a)：33名の健常成人(平均33.6歳)を対象とした。行動データ 2-back条件のときに認知成績が有意に低下した(約20%の平均正答率の低下と約250msの平均反応時間の遅延)。脳波データ 課題遂行中に前頭から頭頂の正中領域で刺激呈示後約300ms後をピークとして出現する陽性波(P300)が観察された。また、P300の振幅は2-back条件のときに0-back条件と比べて有意に減少したことから、ワーキングメモリに対する負荷の増大がP300の減衰を引き起こすことが確認された。

反応抑制課題(研究3b)：14名の健常成人(平均21.5歳)を対象とした。行動データ 平均正答率がすべての条件で90%以上と高くなった。反応時間については不一致条件の平均反応時間が一致条件よりやや長くなった。脳波データ すべての条件で前頭の正中領域を中心にP300が観察された。またnogo条件のときにP300の有意な振幅増大と潜時の有意な遅延が確認され、nogo条件で要求されるタイプの反応抑制がP300の特徴的パターンを生じさせることが示唆された。

顔・表情認知課題(研究3c)：15名の健常成人(平均45.8歳)を対象とした。脳波データ 顔を呈示する2つの条件(喜び顔、恐怖顔条件)のときに前頭正中領域と側頭後方領域で刺激呈示から約170ms後に生じる顔電位(P170, N170)が有意に増大した。あわせて、表情の違いが後頭葉での初期の視覚処理を反映するERP成分(P100)に影響することが確認された。

#### (4)テレリハによる前頭葉機能への介入とその効果に関する検討(研究4, 研究5)

テレリハ群及び統制群を対象にテレリハまたはワークブックによる介入を約7ヶ月実施し、その効果を評価課題に対する行動・脳波データと般化課題の結果をもとに検討した。

ワーキングメモリ課題：行動データ 個人差はあるものの、テレリハ群・統制群の両群ともに0-back条件と2-back条件の正答率が介入後に改善または維持される傾向が認められた(Figure 2a左)。脳波データ TBI者ではP300が全般に減衰し、その傾向は介入後も変わらなかった。ただ、介入後に認知成績の改善が目立ったテレリハ群の対象者(症例2)において、前頭正中領域のP300の振幅が介入後に増大する傾向が確認された(Figure 2b)。

反応抑制課題：行動データ テレリハ群の反応時間が介入後に短くなる傾向が示された(Figure 2c右)。正答率については両群ともに介入前の成績が改善または維持される傾向が確認された(Figure 2c左)。脳波データ 介入前はテレリハ群・統制群のいずれについてもnogo条件におけるP300振幅の増大が観察されにくい傾向がみられたが、介入後は両群ともに左前頭領域のnogo条件のP300振幅が大きくなる傾向が認められた(Figure 2d)。

顔・表情認知課題：脳波データ テレリハ群において前頭正中領域における顔に対するP170の振幅が介入後に増大する傾向が確認された。この傾向は喜び顔のときに目立った(Figure 2e)。

般化課題：視空間的ワーキングメモリ、構えの転換(TMT PartB)の各指標において介入後に両群の成績が改善する傾向が認められた。また、言語的ワーキングメモリ(数字の逆唱)、反応抑制(ストループ課題)、認知的柔軟性(語流暢性課題)の各指標で、介入後にテレリハ群の改善が目立つ傾向が認められた。

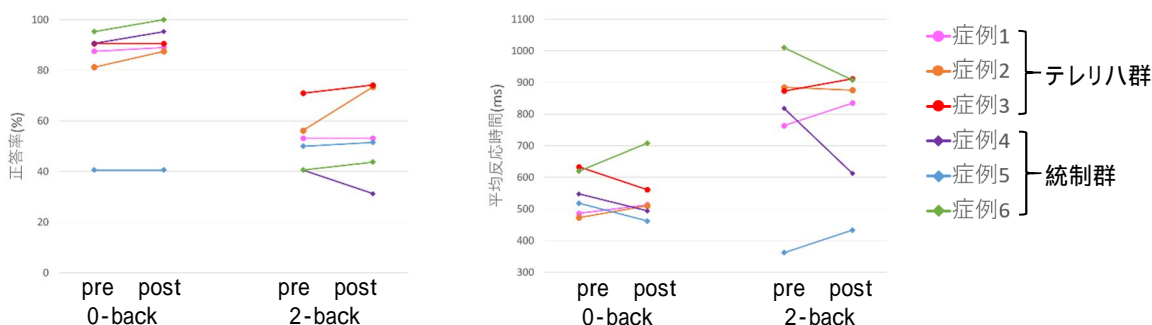
結果の考察：症例数は少ないものの、本研究の結果は、TBI者を対象としたテレリハによる介入が、ワーキングメモリ、遂行機能、社会的認知といった前頭葉機能の維持・促進に、認知リハ



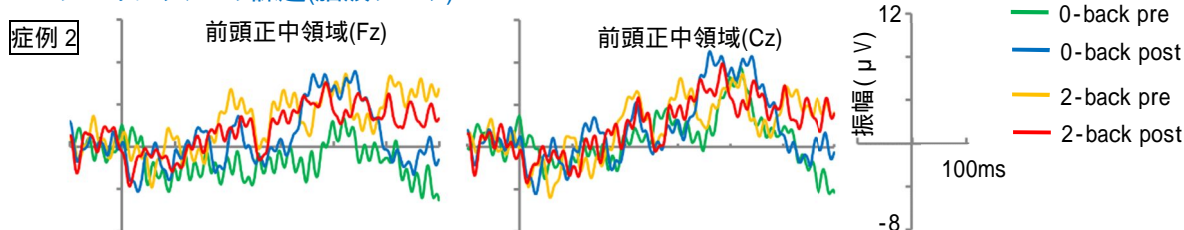
で一般に利用されるワークブックによる介入と同等またはそれ以上の効果を及ぼすことを示唆している。さらに、脳波データの結果から、テレリハによる集中的な介入が慢性期のTBI者の前頭領域の活動に統制群と同等またはそれ以上にはたらかせる可能性が示された。

本研究の意義と今後の課題：本研究はTBI者の前頭葉機能障害に対するテレリハの効果を行動データと脳活動データの両側面から示唆した点に学術的意義があり、当該領域におけるエビデンスの蓄積に寄与するものと思われる。また、さまざまな事情により施設でのリハビリテーションを受けにくいTBI者が多く存在するなか、TBI後の継続的な前頭葉機能リハビリテーションを支援するアプローチの1つとしてテレリハが期待できることを示した点に本研究の社会的意義がある。他方、テレリハの実施に際しては、対象者の自宅のインターネット環境・機器の整備とトラブル対応、対象者や家族の情報リテラシーの不足、安全対策など解決すべき課題がいくつかある。今後は、訓練プログラムの開発といったソフト面の問題だけでなく、これらのハード面、人的側面、安全性の問題についても積極的に取り上げ、検討を進めていく必要がある。

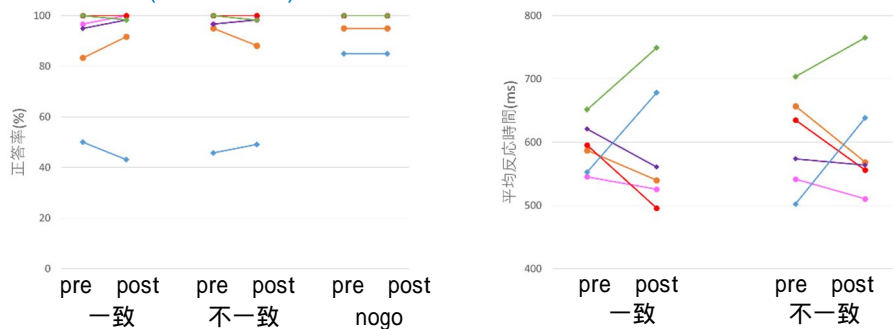
### a. ワーキングメモリ課題(行動データ)



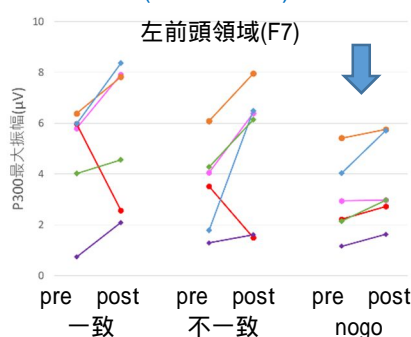
### b. ワーキングメモリ課題(脳波データ)



### c. 反応抑制課題(行動データ)



### d. 反応抑制課題(脳波データ)



### e. 顔・表情認知課題(脳波データ)

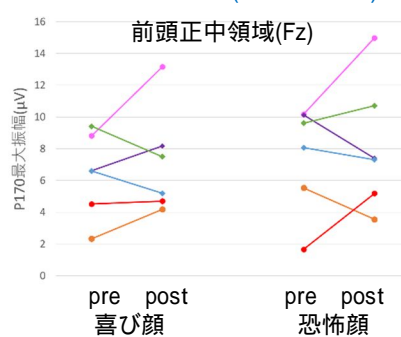


Figure 2. 研究4で実施したテレリハ群及び統制群に対する介入の結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 柴崎光世・松澤宏樹・秋濱洋香・相川萌音・安野弘夢・吉富一彰	4. 巻 37
2. 論文標題 顔の初期の知覚過程に及ぼす利き手の影響：事象関連電位による検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 明星大学心理学研究紀要	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 柴崎光世・山本佐代子・安崎文子・吉田弘司	4. 巻 24
2. 論文標題 外傷性脳損傷者の表情認知障害のリハビリテーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 78-81
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Morita, Y., Shibasaki, M., & Hakamada, K.
2. 発表標題 The relationship between individual differences in the face-specific N170 event-related potentials component and the abilities of face perception and facial expression recognition.
3. 学会等名 International Neuropsychological Society 2021 Virtual Event（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴崎光世
2. 発表標題 外傷性脳損傷者の表情認知障害の評価とリハビリテーション
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会 大会準備委員会シンポジウム話題提供
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shibasaki, M., Yamamoto, S., Anzaki, F., Morita, Y., Hakamada, K., & Fujii, M.
2. 発表標題 Cognitive rehabilitation for facial expression recognition in patients with traumatic brain injury: A behavioral and event-related potential study
3. 学会等名 International Neuropsychological Society 2020 Mid-Year Virtual Event (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴崎光世・森田悠希・袴田皓基
2. 発表標題 顔の知覚に及ぼす利き手の効果 事象関連電位による検討
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shibasaki, M., & Morita, Y.
2. 発表標題 Effects of handedness on early perceptual processing in faces reflected by the P100 ERP component
3. 学会等名 The 42nd edition of the European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田悠希・柴崎光世
2. 発表標題 顔特異的ERP成分(N170)の個人差と顔知覚能力および表情認知能力との関連性に関する研究
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shibasaki, M., Matsuzawa, H., Yasuno, H., Yoshitomi, K., & Takashita, A.
2. 発表標題 Effect of handedness on face-specific N170 event-related potential component
3. 学会等名 International Neuropsychological Society 2018 Mid-Year Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴崎光世・山本佐代子・安崎文子・藤井正子
2. 発表標題 外傷性脳損傷者の表情認知障害の発現機序に関する研究 事象関連電位による検討
3. 学会等名 日本心理学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴崎光世・畑中彩花
2. 発表標題 定型発達者における自閉症傾向の個人差と顔に対するP100事象関連電位成分の個人差との関連性
3. 学会等名 第46回日本高次脳機能障害学会学術総会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件



8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------