

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10937

研究課題名(和文)非侵襲的脳幹賦活によるスポーツ&amp;アートにおける運動学習促進

研究課題名(英文) Motor learning promotion in the sports &amp; art by the noninvasive brainstem activation

研究代表者

山田 洋 (Yamada, Hiroshi)

東海大学・体育学部・教授

研究者番号：30372949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、非侵襲的脳幹賦活がスポーツ・アートにおける運動学習を促進するか否かを決定することであった。運動練習に迷走神経への経皮的電気刺激を併用した群と、運動練習のみをする群を対象に、運動学習の効果をバイオメカニクス的・機械工学的的手法、および心理学・哲学的的手法を用いて評価した。スキルを評価するための実験を実施し、動きや力発揮、およびその制御に関する新たな知見を得た。運動学習の効果のある程度検討出来たが、非侵襲的脳幹賦活の効果の検証には至らなかった。しかしながら、非侵襲的脳幹賦活の手法の開発自体は進んだため、今後、スポーツ・アートにおける運動学習促進法の開発へ繋がると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により得られる知見は、運動学習効果の促進に関して、ヒトを対象とした経皮的な迷走神経刺激(transcutaneous vagus nerve stimulation: tVNS)、すなわち非侵襲的な脳幹賦活の有効性をみとめた世界で初めての証拠となる。今回得られた知見は、若年者のスポーツ・アートにおける運動学習への効果のみならず、今後、高齢者の運動機能低下の防止、脳卒中等の神経疾患からの四肢の機能回復を目指すリハビリテーション、あるいは発育発達期の子どもへの訓練といった、あらゆる階層へ適用できる可能性がある。したがって、社会全体、国民全体の健康、体力の増進に大きく寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study was to determine whether non-invasive brainstem activation promotes motor learning in sports and art. The subjects were divided into a group in which exercise was combined with transcutaneous electrical stimulation to the vagus nerve and a group in which exercise was performed only. The effects of motor learning were evaluated using biomechanical and mechanical engineering methods, as well as psychological and philosophical methods. We conducted experiments to evaluate skills and gained new insights into movement, exertion of force, and their control. Although the effect of motor learning could be examined to some extent, the effect of non-invasive brainstem activation could not be verified. However, since the development of a non-invasive brainstem activation method itself has progressed, we believe that it will lead to the development of a method for promoting motor learning in sports art in the future.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スキル 運動習熟 迷走神経 モーションキャプチャ 筋電図 運動連鎖 筋の共収縮 現象学

## 1. 研究開始当初の背景

運動学習とは、運動課題の練習により、客観的または主観的にパフォーマンスが向上することである。この「運動学習」について、森岡ら(2008)は、「練習を通じて生じる新たな経験は、末端受容器を通じた求心性入力にもとづく情報処理を通じて、記憶として蓄積される。他方、運動行動は中枢神経系からの遠心性出力にもとづく筋・骨格系の作動である。両者を通じて、運動行動に変化が生じ、運動学習となる。」と述べている。このように「運動学習」は、脳-神経-筋の運動に密接に関連しており、そのため、これらに直接、かつ効果的な働きかけ(介入)をして有効な神経筋適応を生じさせる事が、「運動学習」の効果的な向上に繋がると考えられる。これら脳-神経-筋への働きかけ、とりわけ、最も上位にあり認知機能も担う脳への働きかけは極めて重要であり、「運動学習」を高めるための神経筋適応における鍵を担っているといえる。しかしながら、この脳への外部由来刺激のような働きかけは極めてデリケートな問題であり、倫理的制約もあることから、これまで積極的な介入が行われていなかった。

近年、神経適応関連の神経伝達物質を制御する脳幹への働きかけとして、迷走神経刺激(vagus nerve stimulation: VNS)が着目されている。これは、動物実験の結果から得られた考え方であり、運動練習に侵襲的な求心性VNSを組み合わせることで、運動関連神経の可塑性と運動機能回復が促進され、そのメカニズムとして脳幹由来の中枢神経制御物質(ドーパミン、ノルエピネフリン等)が分泌されることが示されている。ラットにおいては、運動練習とVNSを組み合わせることにより、練習した前腕部に対応した大脳皮質の興奮性増大が報告されている(Porter et al., 2012)。このように、先行研究から、VNSがヒトの運動学習機能を向上させる可能性が示唆されているものの、実際に運動学習機能が向上するか否かについては未だ検証されていない。そこで我々は、これを実験的に検証したいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、非侵襲的脳幹賦活がスポーツ・アートにおける運動学習を促進するか否かを決定することである。本研究の仮説は、『運動練習に迷走神経への経皮的電気刺激を併用した群は、運動練習のみをした群と比較して、スポーツおよび身体運動を用いた芸術表現(アート)の能力が、より早くより大きくなる』である。

## 3. 研究の方法

仮説を検証するために、次のような2課題を設定する。両課題において、練習の途中および前後で、パフォーマンスおよびスキルの変化を二群間で比較する。

課題1: スポーツから「ダーツ」という対象物をコントロールする動作を取り上げ、若年被験者を対象として、運動練習にtVNSを併用した群と、運動練習のみをする群(Sham-tVNS: 偽-tVNSを用いる)に分けて練習させる。

課題2: アートから「ジャグリング」という複雑な動作を取り上げ、若年被験者をtVNS群と、Sham-tVNSに分けて練習させる。

本研究では、前述した先行研究の結果をふまえ、外耳道の入り口部、耳珠の内側に位置する迷走神経の求心性耳枝に対して電気刺激を経皮的に行い、tVNSを実施する(図1)。被験者の耳珠にはtVNS用の刺激電極を装着し、耳たぶにはsham(偽の)-tVNS用の刺激電極を装着し、後者は、コントロール群に対して使用する。刺激パラメータは8mA、100 $\mu$ sパルス、30Hzとする。これらの設定については予備実験を行い、その効果について確認している。被験者に、tVNSとsham-tVNSを実施し、それらに対する反応を、経頭蓋磁気刺激(transcranial magnetic stimulation: TMS)による反応として第一背側骨間筋より導出された運動誘発電位(motor evoked potential: MEP)の振幅を指標として検討した結果、高強度のTMS刺激によるテストにおいて、tVNS中のMEPがより大きくなり、これはtVNSが皮質脊髄路の興奮性を増大させることを表している(図2)。したがって、tVNSを併用して練習を行うことにより、運動学習効果が高められることが大いに期待出来る。研究を進めるにあたり、課題1、課題2ともに、被験者へのtVNS以外の磁気刺激を除去するために、シールドルーム内にて実験を行うことで外的要因を排除する。運動練習の効果を測定するため、ある程度の運動練習期間を継続して測定する必要がある。運動練習は1日1時間、週2回を、4週間継続して行うことを想定した。

## 4. 研究成果

### 【2018年度】

初年度にあたる2018年度は、課題1に関して、ダーツを対象とした実験は未だ実施せずに、モーションキャプチャシステムを用いたスポーツのスキルの分析は随時実施した。課題2に関して、ジャグリングを対象として、ジャグリング動作の出来る群・出来ない群を対象にモーションキャプチャを用いた実験を実施した。こちらについては、データ分析を進めた。平行して、ジャグリング動作習熟課程における脳活動を前頭前野の参加ヘモグロビン量の変化から検討し、ジャグリングの上達が顕著な被験者は、練習により運動が自動化したことにより、右側背外側前頭

前野および内側前頭前野において脳血流量の低下が認められた。

【2019年度】

2年目の2019年度は、予備実験（第一段階）として運動学習を評価する運動課題の再検討、及びスキル評価方法の確立のために、テニスのショット、サッカーのボールリフティング、捕手のキャッチング、バレーボールオーバーハンドパス等のスキルを評価する実験を実施した。その結果、優れたスキルを有する被験者は、伸張短縮サイクルや共収縮、運動連鎖を合目的的に使って運動を制御するメカニズム有しているという特徴を捉えることが出来た。これらを踏まえ、課題1においては、上記の指標を用いて、バドミントンのスマッシュを対象として、熟練者はテイクバック時に、大きく捻ることでその後の回旋運動を大きくし、下肢から体幹に運動を伝えることでパフォーマンスを高めていたという特徴を抽出した。さらに課題2においては、ジャグリング動作習熟過程における脳活動を前頭前野の酸化ヘモグロビン量の変化から検討し、ジャグリングの上達が顕著な被験者は、練習により運動が自動化したことによる脳血流量の低下が認められたことを見出した。

これらの第一段階を経て、第二段階においては、未熟練者を対象に運動練習に tVNS を併用した群と、運動練習のみをする群に分けて練習させ、運動学習の効果をバイオメカニクスの・機械工学的観点、および心理学・哲学的観点から評価を行うための準備を進めたが、2020年1月より実験が中断した。

【2020年度】

3年目の2020年度は、新型コロナウイルス感染増大の影響を受け、一年間を通じて新規の実験をすることが出来なかった。そのため、前年度までに実施したバドミントンのスマッシュ、サッカーのボールリフティングのスキルを評価する実験のデータを分析した。

課題1においては、バドミントンのスマッシュ動作において、熟練者はテイクバック時に、大きく捻ることでその後の回旋運動を大きくし、下肢から体幹に運動を伝えることでパフォーマンスを高めていたという運動連鎖の特徴を抽出した。さらに課題2においては、ジャグリングに代えてサッカーのボールリフティングを対象に分析を行った。その結果、熟練者のスキルの特性として、筋の共収縮を利用してボールをコントロールしていることが明らかとなった。

これらを経て、次の段階においては、未熟練者を対象に運動練習に迷走神経への経皮的電気刺激を併用した群と、運動練習のみをする群に分けて練習させ、運動学習の効果をバイオメカニクスの・機械工学的観点、および心理学・哲学的観点から評価を行うための実験の計画・準備を継続して実施したが、2020年1月から2021年3月まで、約1年5ヶ月程度実験が中断しており、研究は進まなかった。

【2021年度】

2021年度前半は、引き続き新型コロナウイルス COVID-19 感染増大の影響を受け、新規の実験をすることが出来なかった。そのため、前年度までに実施したバドミントンのスマッシュ、サッカーのボールリフティングのスキルを評価する実験のデータを分析し、熟練者が下肢の関節運動の運動連鎖を使っていることや、筋の共収縮や身体各セグメントの運動連鎖を合目的的に使って運動を制御するメカニズムを捉えた。2021年度後半は、限定的に実験ができるようになったため、速度-正確性トレードオフを観点とした熟練者のバドミントンのバックハンドストロークのスキルの評価、ヘッドマウントディスプレイによる一人称視点画像のフィードバックを用いた練習法がバレーボールのオーバーハンドパスの運動習熟に与える効果に関する実験を行った。これらについては随時分析を進め、一部について学会発表を実施した。

【研究成果まとめ】

研究対象と設定したバドミントン、ボールジャグリング(カスケード)、ボールジャグリング(サッカー)のほか、バレーボールオーバーハンドパス、バスケットボールフロッターシュート、野球捕手のキャッチングのスキルを評価するための実験を実施し、動きや力発揮、およびその制御の面から新たな知見を得ることが出来た。運動学習の効果に関しては、特定の種目について実験を実施し、練習の効果がある程度評価することは出来たが、本研究のメインテーマである非侵襲的脳幹賦活の効果の検証には至らなかった。しかしながら、非侵襲的脳幹賦活の手法の開発自体は進んだため、今後、スポーツ&アートにおける運動学習促進法の開発へ繋がると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 清水幹弥, 植村隆志, 小河原慶太, 伊藤栄治, 山田洋.	4. 巻 33
2. 論文標題 バドミントン競技経験者と未経験者のスマッシュ動作中の運動連鎖に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東海大学スポーツ医科学雑誌	6. 最初と最後の頁 7-14
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 有
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 -

1. 著者名 佐藤幸一郎, 山田洋, 内山秀一, 小河原慶太.	4. 巻 45
2. 論文標題 熟練度の違いによるサッカーボールリフティングの運動制御機構	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 受理印刷中
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 有
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 -

1. 著者名 Ozawa, Y., Uchiyama, S., Ogawara, K., Kanosue, K. and Yamada, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Biomechanical analysis of volleyball overhead pass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Sports Biomechanics, ISSN: 1476-3141(Print)1752-6116(Online)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14763141.2019.1609072	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 村井楓子, 山田 洋, 宮崎誠司, 小河原慶太, 松山大輔, 佐川暢保, 遠藤慎也, 森田浩介, 酒井大輔.	4. 巻 43
2. 論文標題 大学硬式野球選手における腰痛有訴者の脊柱運動および腰背部筋活動の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 195-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3951/sobim.43.3_195	査読の有無 有
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 山田洋, 内山秀一, 遠藤慎也, 長尾秀行, 小河原慶太.	4. 巻 32
2. 論文標題 テニスにおけるフォアハンドジャンピングショットの動作特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東海大学スポーツ医科学雑誌	6. 最初と最後の頁 23-30
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 -

1. 著者名 佐藤幸一郎, 山田洋, 内山秀一, 小河原慶太, 宮崎誠司.	4. 巻 32
2. 論文標題 サッカーのインステップリフティングにおける技術分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東海大学スポーツ医科学雑誌	6. 最初と最後の頁 31-36
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 -

1. 著者名 澤井拓実, 山田洋, 宮崎康文, 伊藤栄治, 小河原慶太, 宮崎誠司.	4. 巻 32
2. 論文標題 投手からみた捕手のキャッチングスキルの評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東海大学スポーツ医科学雑誌	6. 最初と最後の頁 37-40
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21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 清水幹弥, 植村隆志, 小河原慶太, 伊藤栄治, 山田洋.
2. 発表標題 バドミントン競技におけるスマッシュ動作の動作解析 下肢・体幹の動きに着目して
3. 学会等名 日本バイオメカニクス学会第26回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐健太, 山田洋, 小金澤鋼一.
2. 発表標題 不整地歩行中における接地パターンの違いが歩行安定性に与える影響
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水幹弥, 植村隆志, 小河原慶太, 伊藤栄治, 山田洋.
2. 発表標題 バドミントン競技のスマッシュ動作に関する動作分析 - 下肢と体幹に着目して -
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤悠, 山田洋, 彼末一之.
2. 発表標題 バレーボールオーバーハンドパスの飛距離調整能力の解析
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤幸一郎, 山田洋, 内山秀一, 小河原慶太.
2. 発表標題 サッカーのボールジャグリングにおける巧みさ
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久門優, 灰田宗孝, 山田洋, 小河原慶太, 内山秀一.
2. 発表標題 ジャグリング(お手玉)習得に伴う大脳前頭前野Oxy-Hb量の変化
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田洋, 田中彰吾, 木村聡貴, 金子文成.
2. 発表標題 感覚運動学習のバイオメカニズム
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会, 神奈川(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水幹弥, 植村隆志, 小河原慶太, 伊藤栄治, 山田 洋
2. 発表標題 上肢の動作に注目したバドミントン競技バックハンドショットの動作解析
3. 学会等名 第3回身体科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 洋
2. 発表標題 様々な運動動作のパフォーマンス分析
3. 学会等名 第3回身体科学研究会, 神奈川(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤井拓実, 山田 洋, 伊藤栄治, 内山秀一, 小河原慶太, 内山秀一.
2. 発表標題 捕手の捕球技術に関するバイオメカニクスの研究
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会, 神奈川
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 洋, 小山孟志, 小河原慶太, 内山秀一, 陸川 章.
2. 発表標題 バスケットボール フローター シュートのスキルに関するバイオメカニクスの研究
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会, 茨城
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐健太, 山田 洋, 小金澤鋼一.
2. 発表標題 不整地歩行中の下肢関節制御に接地パターンの違いが与える影響
3. 学会等名 第40回 バイオメカニズム学術講演会, 愛知
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤幸一郎, 山田 洋, 小河原慶太, 内山秀一.
2. 発表標題 熟練度の違いにおけるサッカーリフティングの運動制御機構について
3. 学会等名 日本フットボール学会 17th Congress, 埼玉
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 佐藤幸一郎, 山田洋, 内山秀一, 小河原慶太, 宮崎誠司.
2. 発表標題 サッカーのインステップ リフティングにおける技術分析
3. 学会等名 第2回身体科学研究会, 神奈川
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤井拓実, 山田洋, 宮崎康文, 伊藤栄治, 小河原慶太, 宮崎誠司.
2. 発表標題 捕手による捕球スキルに関する研究
3. 学会等名 第2回身体科学研究会, 神奈川
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水幹也, 山田洋.
2. 発表標題 バドミントン競技におけるスマッシュ動作の動作解析
3. 学会等名 第2回身体科学研究会, 神奈川
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田 洋, 小河原慶太, 内山秀一, 宮崎誠司, 石井智大, 久保寺駿, 佐藤幸一郎, 清水 重幸, 廣瀬泰輔
2. 発表標題 モーションキャプチャシステムを用いてトップアスリートの巧みさを科学する
3. 学会等名 東海大学産学連携フェア
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小澤 悠, 山田 洋, 小澤 翔, 彼末一之
2. 発表標題 異なる距離へのオーバーハンドパスの調整能力についての分析
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久門 優, 内山秀一, 遠藤慎也, 小河原慶太, 山田 洋
2. 発表標題 運動技術習得に伴う脳血流変化 お手玉を課題として
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 洋
2. 発表標題 アスリートの巧みさや生体内における生理学的signalの科学的探究
3. 学会等名 東海大学2018年度研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久門優, 内山秀一, 遠藤慎也, 小河原慶太, 山田 洋
2. 発表標題 ジャグリング技術習得時の脳血流変化
3. 学会等名 第1回身体科学研究会
4. 発表年 2019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
研究分担者	小河原 慶太 (Ogawara Keita) (90407990)	東海大学・体育学部・教授  (32644)	
研究分担者	田中 彰吾 (Tanaka Shogo) (40408018)	東海大学・現代教養センター・教授  (32644)	
研究分担者	小金澤 鋼一 (Koganezawa Koichi) (10178246)	東海大学・工学部・教授  (32644)	

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
---------	---------