

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K07266

研究課題名（和文）吸啜リズムを形成する神経回路網の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the neural network for the sucking rhythm

研究代表者

飯塚 眞喜人（Iizuka, Makito）

昭和大学・医学部・准教授

研究者番号：40274980

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：吸啜は乳児が母親から栄養を得るためのリズム運動であるが、その神経回路網の局在や神経機構は不明である。我々はPhox2b陽性ニューロンにチャンネルロドプシンを発現させた遺伝子改変ラットを作成し、頭部背側からの光照射で吸啜運動を誘発できることを発見した。脳幹-脊髄摘出標本でも光照射により横隔神経のリズム活動が誘発されたが、三叉神経や舌下神経と同期したリズム活動であることから、吸啜ではなくしゃっくりであることが分かった。現在、摘出標本にグルタミン酸やNMDAなど様々な薬物を投与し吸啜リズムの誘発を試みているが、成功していない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

背側領域にあるPhox2b陽性ニューロンの特異的な刺激により誘発されるリズム活動は吸啜であると考え研究を開始したが、その後の解析によりしゃっくりであることが明らかになった。1ヶ月以上持続する難治性吃逆では患者のQOLを著しく低下させる。しゃっくりの神経機構は未だ不明な点が多く、治療は経験則に基づいて行われている。本研究によりしゃっくり中枢の位置を特定できたことは、今後の難治性しゃっくりの治療法の開発に向けて意義のある研究成果である。

研究成果の概要（英文）：Sucking is a rhythmic movement for infants to obtain nourishment from their mothers, but the localization of the neural network and neural mechanisms of this movement are unknown. We have generated transgenic rats expressing channelrhodopsin in Phox2b-positive neurons and found that blue light stimulation from the dorsal surface of the head can induce sucking movements. Light stimulation also elicited rhythmic activity of the phrenic nerve in the isolated brainstem-spinal cord preparations, but the rhythmic activity was synchronized with that of the trigeminal and hypoglossal nerves, indicating that this was not sucking but hiccups. Currently, we are trying to induce sucking motor rhythm by applying various drugs such as glutamate and NMDA to the brainstem-spinal cord preparations, but we have not succeeded yet.

研究分野：呼吸生理学

キーワード：Phox2b 吸啜 新生ラット 脳幹-脊髄摘出標本 しゃっくり

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

呼吸、吸啜（きゅうてつ。母乳を飲むリズム運動）咀嚼は動物の生命維持に欠かせないリズム運動で、その中枢は脳幹にある。呼吸リズム形成回路に関しては、ラット新生児から摘出した脳幹 - 脊髄標本に呼吸リズムが維持されていることが発見されて以来、申請者らを含め数多くの研究者が神経回路網・ニューロン・イオンチャネルレベルでの理解を飛躍的に進めた (Iizuka, 2003; Iizuka, 2016; Ikeda et al., 2017; Iizuka et al., 2018; Oka et al., 2019)。一方、吸啜については有効なリズム誘発方法が発見されていなかったため、新生児の行動や筋電図を用いた研究に限られている (Westneat and Hall, 1992; Thexton et al., 2012)。吸啜のリズム形成に関わる神経回路網はブラックボックスであり、その理解は遅れている。

我々は以下の経緯で吸啜様運動を誘発する方法を偶然発見した。Phox2b 遺伝子は中枢性低換気症候群の原因遺伝子である。研究協力者である鬼丸らは、延髄腹側にある Phox2b 陽性ニューロンが呼吸リズム形成能を持つことや、CO₂感受性を持つことを示した (Lin and Onimaru, 2015; Onimaru et al., 2008)。この Phox2b 陽性ニューロンを特異的に興奮させるため、Phox2b 遺伝子とともにチャンネルロドプシンを発現する遺伝子改変ラットを作成した (Igarashi et al., 2018)。そして、頭部背側から青色光を照射すると呼吸とは全く異なる口のリズム運動が誘発されることを発見した。我々はこのリズム運動が吸啜運動であると考えた。さらに脳幹 - 脊髄摘出標本においても光刺激により横隔膜を支配する運動神経線維が含まれる第4頸髄前根や三叉神経、舌下神経間で同期したリズム活動が誘発されることを見つけた。

2. 研究の目的

この運動性リズム活動の誘発方法は、吸啜リズム形成回路の全容解明に有用であると考えた。つまり本研究の目的は吸啜リズム形成回路の部位特定と構成ニューロンの特徴を明らかにすることである。

3. 研究の方法

倫理委員会の承認と使用した動物：

Phox2b_{tTA}-2A-Cre RecBAC ラット (Igarashi et al., 2018) と、ROSA26/CAG-floxed STOP-ChRFR(C167A)-Venus BAC ラットを交配させた。本研究では、ROSA26/CAG-floxed STOP-ChRFR(C167A)-Venus BAC 雄ラットと Phox2b_{tTA}-2A-Cre RecBAC 雌ラットから生まれた新生児ラットを使用した (Ikeda et al., 2019)。以下、これらの遺伝子改変ラットを Phox2b⁺ラットと呼ぶ。

生後0~4日 (P0~P4) の Phox2b⁺ラット新生児を使用した。これらのラットでは Phox2b 陽性ニューロンがチャンネルロドプシンの変異体 ChRFR (別名 C167A) および黄色蛍光タンパク質 (EYFP) を発現している (Ikeda et al., 2015; Igarashi et al., 2018)。本研究は昭和大学の動物実験委員会の承認を受けて行われた (承認番号 04058、05076)。

脳幹 - 脊髄摘出標本：

P0~P4 の Phox2b⁺ラットをイソフルランで深麻酔し、頭部を切断した。脳幹と脊髄は、クレブス液内で単離した (Suzue, 1984; Onimaru and Homma, 1987)。その後、標本を 2.5 ml の灌流用チャンパーに移し、クレブス液を 2~3 ml/分で灌流した。クレブス液の組成は (mM) 124 NaCl、5.0 KCl、1.2 KH₂PO₄、2.4 CaCl₂、1.3 MgCl₂、26 NaHCO₃、30 グルコースで、95% O₂ と 5% CO₂ でバブリングし、pH 7.4、25~27 °C に設定した。

電位感受性色素による標本の染色：

Phox2b⁺ラット新生児の脳幹 - 脊髄摘出標本を電位感受性色素 Di-2-ANEPEQ (0.05 mg/ml, Molecular Probes) で 30~55 分間染色した (Onimaru and Homma, 2003; Iizuka et al., 2016)。染色後、標本を灌流チャンパーに移し、蛍光顕微鏡 (BX50WIF-2, オリンパス) 下に置いた。標本の神経活動を、電位感受性色素の蛍光強度変化として光学記録装置 (MiCAM02; Brainvision) を用いて検出した。MiCAM02 の CCD カメラは、124 × 184 ピクセルの 4.80 × 6.40 mm² のイメージングエリアを持つ。最終的な倍率を ×1.4 または ×2.0 倍にし、この時イメージセンサーは 3.43 × 4.57 mm² または 2.40 × 3.20 mm² のエリアをカバーする。顕微鏡対物レンズの焦点は標本の表面にした。第4頸髄前根 (C4) のリズム活動は緑色光によって誘発され、蛍光強度変化の記録にも使用した。神経活動は、10 ms/フレームで 20,480 ms (2048 フレーム/トライアル) または 20 ms/フレームで 40,960 ms (2048 フレーム/トライアル) の取得時間で記録した。その後、10 ms/フレームの記録の場合、C4 バーストのピーク前後の 50 フレームを選択し、合計 100 フレームを切り出した。20 ms/フレームの記録の場合、C4 バーストのピーク前後の 25 フレームを選択し、合計 50 フレームを切り出した。これらの 55 から 213 のセグメントに分けた記録を加算平均した。

蛍光強度の変化は割合 (%) で表示した。差分画像は、赤が蛍光の減少を示し、つまり膜脱分極を示す疑似カラー表示で表した。目的とした領域の蛍光強度変化の時間経過を得るため

に、光学信号を反転させた。記録した差分画像は、ソフトウェアに付属の3×3ピクセル空間フィルター、3×3ピクセルメディアンフィルター、時定数40 msのローパスフィルター、bleaching removal、およびreference averaging (n=20)で処理した。

電気凝固：

最後野または左/右の孤束核を凝固するために、テフロンコート銀線（裸径：0.254 mm、被覆径：0.330 mm、カタログ番号：7870、A-M Systems, Sequim, WA）を使用した。ワイヤーの切断面を最後野または孤束核に位置させた。次に、電流（10パルス、0.5秒持続、1 mA、2秒間隔）を流し凝固した。実験後、標本を4% PFA/PBSに浸し、凝固部位を確認した。

孤束核内のニューロンからのホールセルパッチクランプ記録：

孤束核内のニューロンの膜電位と入力抵抗をホールセルパッチクランプ法（Onimaru and Homma, 1992; Iizuka et al., 2018）を用いて記録した。電極を延髄の横断切断面から刺入した。記録した細胞の組織学的解析のために、電極の先端に0.2% Neurobiotin（SP-1120, Vector Laboratories, Burlingame, CA）を充填した。細胞内に注入されたNeurobiotinをAvidin D, FITC 結合体（Vector Laboratories）によって可視化した。

標本を4%パラホルムアルデヒド（4% PFA/PBS）に1~12時間浸し、その後18%スクロース/PBSに浸した。標本を30 μm厚の凍結切片にした。室温で30分間乾燥させた後、NT-T buffer（100 mM Tris (hydroxymethyl) aminomethane-HCl, 150 mM NaCl, pH 7.5 at 23 °C）に15分間浸した。これを3回行った後、切片をNT-T buffer（0.1% Triton X-100 [Sigma-Aldrich, St. Louis, MO] in NT buffer）に1.5% blocking buffer（Roche Diagnostics, Indianapolis, IN）を加えた溶液に60分間浸した。次に、一次抗体反応を23 °Cで6時間行った。NT-T bufferで3回15分間洗浄した後、二次抗体反応を23 °Cで1時間行った。NT-T bufferで3回15分間洗浄後、核染色を行った。切片をVectashield mounting medium（Vector Laboratories）を用いて封入した。一次抗体として我々が作成したPhox2Bに対するモルモット抗体（希釈率1:2000）を使用した（Onimaru et al., 2008）。蛍光染色のための二次抗体（希釈率1:2000）としてAlexa Fluor 633 anti-guinea pig（赤外）またはAlexa Fluor 546 anti-guinea pig（赤）（Molecular Probes/Invitrogen, Eugene, OR）を使用した。核染色には4,6-diamidino-2-phenylindole（DAPI, Sigma-Aldrich）を使用した。免疫蛍光標本の画像はオリンパスFV1000共焦点顕微鏡の10×または20×対物レンズ、またはオリンパスBX51蛍光顕微鏡の10×対物レンズで取得した。

麻酔したPhox2b⁺ラットからの筋電図記録：

P0~P4のPhox2b⁺ラットを2.0%~3.0%のイソフルランで深麻酔し、仰臥位にて四肢を手術用テープで固定した。ラットの体温を直腸に挿入したプローブでモニターし（プローブ：IT-21、体温計：BAT-12、Physitemp, Clifton, NJ, USA）、赤外線ランプで32 °C以上に維持した。

顎二腹筋、咬筋、横隔膜の筋電図（EMG）を記録するために、以前の研究で使用した方法（Iizuka, 2009）を用いた。2本の細いポリウレタン被覆銅線を2本の31G注射針を用い経皮的に刺入した。生体電気増幅器（AB-610J, 日本光電）を使用して得られた信号を（増幅率2,000~10,000、バンドパスフィルター150~3,000 Hz）、4 kHzでパーソナルコンピュータに保存した（Powerlab/8SP, Chart ver. 7.0/s, ADInstruments, Colorado Springs, CO）。

麻酔の深さは、フェイスマスクとラットとの距離と流量を増減することで調整し、ラットを鎮静状態に維持した。5分以上の間隔で、青色光（LED-5W-B, Brainvision）を40~120秒間頭蓋背側部に照射した。照明のスイッチングはChart v7.0/s（ADInstruments）で制御し、トリガー信号をEMGとともに記録した。

4. 研究成果

電位感受性色素を用いたリズム活動に同期して脱分極する領域の特定：

第4頸髄前根のリズム性バースト活動に一致した脱分極性シグナルは、孤束核、最後野、迷走神経背側運動核、舌下神経核に存在し、特に孤束核と最後野の脱分極性シグナルの振幅が大きかった。

孤束核と最後野の焼却がリズム活動に与える影響：

孤束核と最後野を電氣的に焼却した時の影響を調べた結果、最後野の焼却では第4頸髄前根のリズム活動は消失しなかったが、両側の孤束核焼却によりリズムは消失した。以上の結果からリズムの発現に孤束核が不可欠であることが分かった。

孤束核にあるニューロンの発火パターン：

孤束核に電極を刺入し、第4頸髄前根のリズム活動と同期して発火する15個のニューロンから記録した。in situ hybridizationの結果、8ニューロンがPhox2b陽性であった。Phox2b陽性ニューロンと陰性ニューロンの静止膜電位は -48.1 ± 4.2 mV と -48.2 ± 5.8 mV、入力抵抗は904

$\pm 239M$ と $996 \pm 426M$ 、長径は $22.3 \pm 5.8 \mu m$ と $16.3 \pm 3.1 \mu m$ 、短径は $13.8 \pm 5.0 \mu m$ と $10.5 \pm 2.5 \mu m$ とばらつきが大きく、いずれの指標も有意差は無かった。記録数が少なく伝達物質の同定はできなかった。

麻酔した Phox2b⁺ラット新生児における横隔膜や開口筋、閉口筋のリズム活動：

Phox2b⁺ラット新生児への頭部への青色光刺激により誘発される口のリズム運動とその脳幹 - 脊髄摘出標本で青色光により誘発されるリズム活動との関連を調べるため、麻酔した Phox2b⁺ラット新生児を用いて、顎二腹筋、咬筋、横隔膜から筋電図を記録し、光照射により誘発される口のリズム運動時の筋活動パターンを調べた。その結果、顎二腹筋は開口に一致して、咬筋は閉口に一致して活動することが分かった。この時、横隔膜には呼吸性リズム活動のみが観察され、顎二腹筋や咬筋と同期したリズム活動は観察されなかった。以上の結果から、口のリズム運動は脳幹 - 脊髄摘出標本で脳幹背側の光照射後に観察される三叉・舌下・横隔神経間で同期したリズム活動とは異なることが示唆された。我々は麻酔した Phox2b⁺ラット新生児の筋電図記録実験で口の開閉運動を伴わない筋のリズム活動があることに気づいた。それはしゃっくり様活動で、顎二腹筋、咬筋、横隔膜が同期して活動することから、脳幹 - 脊髄摘出標本で観察されるリズム活動に相当すると考えられた。

これらの結果より、当初、吸啜であると考えていた光刺激により脳幹 - 脊髄摘出標本の第4頸髄前根に観察されるリズム活動は「しゃっくり」であることが分かった。電位感受性色素と部分焼却の実験から「しゃっくり中枢」は孤束核内にあることを明らかにした（論文執筆中）。グルタミン酸や NMDA などの薬物の灌流投与で光刺激による吸啜運動の誘発を試みたが、成功しなかった。

引用文献

- Igarashi H, Ikeda K, Onimaru H, Kaneko R, Koizumi K, Beppu K, Nishizawa K, Takahashi Y, Kato F, Matsui K, Kobayashi K, Yanagawa Y, Muramatsu SI, Ishizuka T, Yawo H. (2018) Targeted expression of step-function opsins in transgenic rats for optogenetic studies. *Sci Rep* 8: 5435.
- Iizuka M (2003) GABAA and glycine receptors in regulation of intercostal and abdominal expiratory activity in vitro in neonatal rat. *J Physiol* 551: 617-633.
- Iizuka M (2009) Abdominal expiratory muscle activity in anesthetized vagotomized neonatal rats. *J Physiol Sci* 59, 157-163.
- Iizuka M, Onimaru H, Izumizaki M (2016) Distribution of respiration-related neuronal activity in the thoracic spinal cord of the neonatal rat: An optical imaging study. *Neuroscience* 315: 217-227.
- Iizuka M, Ikeda K, Onimaru H, Izumizaki M (2018) Expressions of VGLUT1/2 in the inspiratory interneurons and GAD65/67 in the inspiratory Renshaw cells in the neonatal rat upper thoracic spinal cord. *IBRO Rep* 5: 24-32.
- Ikeda K, Kawakami K, Onimaru H, Okada Y, Yokota S, Koshiya N, Oku Y, Iizuka M, Koizumi H (2017) The respiratory control mechanisms in the brainstem and spinal cord: integrative views of the neuroanatomy and neurophysiology. *J Physiol Sci* 67(1): 45-62.
- Ikeda K, Igarashi H, Yawo H, Kobayashi K, Arata S, Kawakami K, Izumizaki M, Onimaru H (2019) Optogenetic analysis of respiratory neuronal networks in the ventral medulla of neonatal rats producing channelrhodopsin in Phox2b-positive cells. *Pflugers Arch* 471: 1419-1439.
- Ikeda K, Takahashi M, Sato S, Igarashi H, Ishizuka T, Yawo H, Arata S, Southard-Smith EM, Kawakami K, Onimaru H (2015) A Phox2b BAC transgenic rat line useful for understanding respiratory rhythm generator neural circuitry. *PLOS ONE* 10, e0132475.
- Lin ST, Onimaru H (2015). Effects of riluzole on respiratory rhythm generation in the brainstem-spinal cord preparation from newborn rat. *Neurosci Res* 94: 28-36.
- Oka A, Iizuka M, Onimaru H, Izumizaki M (2019). Inhibitory thoracic interneurons are not essential to generate the rostro-caudal gradient of the thoracic inspiratory motor activity in neonatal rat. *Neuroscience* 397: 1-11.
- Onimaru H, Homma I (1987) Respiratory rhythm generator neurons in medulla of

- brainstem-spinal cord preparation from newborn rat. *Brain Res* 403: 380-384.
- Onimaru H, Homma I (1992) Whole cell recordings from respiratory neurons in the medulla of brainstem-spinal cord preparations isolated from newborn rats. *Pflugers Arch* 420(3-4): 399-406.
- Onimaru H, Homma I (2003) A novel functional neuron group for respiratory rhythm generation in the ventral medulla. *J Neurosci* 23: 1478-1486.
- Onimaru H, Ikeda K, Kawakami K (2008) CO₂-sensitive preinspiratory neurons of the parafacial respiratory group express Phox2b in the neonatal rat. *J Neurosci* 28: 12845-12850.
- Suzue T (1984) Respiratory rhythm generation in the in vitro brain stem-spinal cord preparation of the neonatal rat. *J Physiol* 354: 173-183.
- Thexton, AJ, Crompton AW, German RZ (2012) EMG activity in hyoid muscles during pig suckling. *J Appl Physiol* 112: 1512-1519.
- Westneat MW, Hall WG (1992) Ontogeny of feeding motor patterns in infant rats: An electromyographic analysis of suckling and chewing. *Behav Neurosci* 106: 539-554.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Iizuka Makito, Ruangkittisakul Araya, Ballanyi Klaus | 4. 巻 174 |
| 2. 論文標題 Expiratory abdominal muscle nerve is active at flexor phase, while inspiratory phrenic nerve is not active during locomotion evoked by 5-HT and NMDA in the neonatal rat | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Neuroscience Research | 6. 最初と最後の頁 9~18 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2021.07.004 | 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 該当する |

| | |
|--|------------------|
| 1. 著者名 Mikami Yoshihiro, Iizuka Makito, Onimaru Hiroshi, Izumizaki Masahiko | 4. 巻 72 |
| 2. 論文標題 Glycine and GABAA receptors suppressively regulate the inspiratory-related calcium rise in the thoracic inspiratory cells of the neonatal rat | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physiological Sciences | 6. 最初と最後の頁 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12576-022-00850-4 | 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 LIN Shih Tien, IIZUKA Makito, MIKAMI Yoshihiro, YODA Shunya, ONIMARU Hiroshi, IZUMIZAKI Masahiko | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 Cannabinoid receptors involved in descending inhibition on spinal seizure-like activity in the phrenic output | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Biomedical Research | 6. 最初と最後の頁 41~49 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2220/biomedres.44.41 | 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 Takahashi Shu, Mikami Yoshihiro, Iizuka Makito, Izumizaki Masahiko | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Characteristics of burst-generating networks released by disinhibition in the spinal cord of neonatal rats | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The Showa University Journal of Medical Sciences | 6. 最初と最後の頁 82~91 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15369/sujms.35.82 | 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 Yoshikawa Akira, Iizuka Makito, Kanamaru Mitsuko, Kamijo Shotaro, Ohtaki Hirokazu, Izumizaki Masahiko | 4. 巻 318 |
| 2. 論文標題 Exercise evaluation with metabolic and ventilatory responses and blood lactate concentration in mice | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Respiratory Physiology & Neurobiology | 6. 最初と最後の頁 104163 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resp.2023.104163 | 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 |

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Iizuka M, Ikeda K, Igarashi H, Kobayashi K, Onimaru H, Izumizaki M |
| 2. 発表標題 Activation of Phox2b neurons in the dorsal medulla induced sucking and hiccup movement. |
| 3. 学会等名 The 15th Oxford Conference on Modelling and Control of Breathing (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Iizuka M, Ikeda K, Igarashi H, Kobayashi K, Onimaru H, Izumizaki M |
| 2. 発表標題 Activation of Phox2B-positive neurons in the dorsal medulla induced sucking and hiccup |
| 3. 学会等名 The 100th Anniversary Annual Meeting of The Physiological Society of Japan |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Iizuka M, Ikeda K, Igarashi H, Kobayashi K, Onimaru H, Izumizaki M |
| 2. 発表標題 Phox2b-positive neurons located in the solitary nucleus is essential to trigger sucking |
| 3. 学会等名 第98回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Iizuka M, Ikeda K, Igarashi H, Kobayashi K, Onimaru H, Izumizaki M |
| 2. 発表標題 Activation of Phox2b neurons in the dorsal brainstem induced sucking-like, swallowing-like and hiccup-like movements |
| 3. 学会等名 Neuroscience Annual Meeting 2023, Society for Neuroscience (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Iizuka M, Ikeda K, Igarashi H, Kobayashi K, Onimaru H, Izumizaki M |
| 2. 発表標題 Activity patterns of the digastric, masseter, diaphragm, and abdominal muscles during hiccup-like movements induced by stimulation of Phox2B-positive neurons in the dorsal brainstem |
| 3. 学会等名 第101回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2024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 |
|---------|---------|
|---------|---------|