

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03061

研究課題名(和文) セントラルコマンド発現機構の探索 - 大脳辺縁系皮質から筋血管に至る神経回路の同定

研究課題名(英文) Central neural circuits responsible for generating central command during exercise

研究代表者

松川 寛二 (MATSUKAWA, KANJI)

広島大学・医歯薬保健学研究科(保)・教授

研究者番号：90165788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：高次中枢から下降する中枢指令(セントラルコマンド)によるfeedforward型調節は随意運動の開始に遅延することなく迅速な循環調節を行う上で重要である。セントラルコマンドは覚醒状態や日常作業時のみ発現するため、その発現機構や下降経路に関する研究は困難であり詳細は残されていた。本研究は、片側肢の随意運動を行った際に、反対肢の非活動筋血流量がセントラルコマンドにより増加することを発見した。この筋血流量の増加を手掛かりとして、セントラルコマンドの特徴や発現機構について探索した。その結果、大脳皮質前頭前野の脳活動は運動開始に5-10秒先行して増加し中枢指令の発現に関わることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have found using near-infrared spectroscopy that prefrontal oxygenated-hemoglobin (Oxy-Hb) concentration, measured as index of regional cerebral blood flow, increased 5-10% prior to the onset of arbitrary ergometer exercise in a laboratory and freely-moving walking on the floor. Such increase in prefrontal Oxy-Hb was, however, absent when exercise was abruptly started by a verbal cue. The increase in prefrontal Oxy-Hb observed prior to the onset of voluntary exercise was early enough for autonomic control of the cardiovascular system at the onset of voluntary exercise. Mental imagery of the overground walking increased prefrontal oxygenation to the same extent as in the case of actual walking. Thus it is suggested that the prefrontal cortex may play a role in contributing to generation of central command.

研究分野：自律神経生理学・循環生理学・運動生理学

キーワード：随意運動 運動の精神イメージ 筋交感神経と筋血流量 交感神経コリン作動性血管拡張 セントラルコマンドの発現 大脳皮質前頭前野 大脳皮質運動野 中枢神経機構

1. 研究開始当初の背景

高次中枢による運動時循環調節は、覚醒状態のみで発現する調節機序であり、麻酔下ではその解析が不可能である。この中枢性循環調節の存在は、筋弛緩剤で非動化された被験者の運動努力と循環応答の関係から明らかである(図1)。しかしながら、高次中枢から下降する信号(Central commandと呼ぶ)の発現機構や下降経路に関する動物実験は困難であり Black box のまま残されていた。

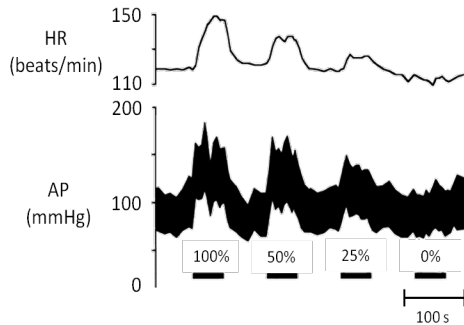


図1 筋弛緩下の運動努力による心拍数 (HR) や動脈血圧 (AP) の変化 (Gandevia et al.1993)

我々は、覚醒動物を用いて、心臓・腎臓交感神経活動を記録し両交感神経活動が Central commandにより運動開始時に増加することを発見した(Matsukawa et al. 1991; Tsuchimochi et al. 2002)。更に、視床下部尾側部で除脳された動物は自発歩行を行えるが、その際に腎臓交感神経活動や心拍数は、健常動物と同様に歩行開始時に増加した(Matsukawa et al. 1998)。それ故、Central command発現には大脳皮質が必要ではなく、それは脳幹部で発生すると思われる。大脳辺縁系である帯状回や島皮質の活動は随意運動中に増え、その増加は筋受容器反射とは無関係であることが報告された(Williamson et al. 2002)。以上の結果から、『大脳辺縁皮質から発した信号で駆動された脳幹部の神経回路が Central command を発現する』という仮説を考えた。大脳辺縁系から強力な軸策投射を受ける中脳腹側被蓋野 (ventral tegmental area, VTA) の化学刺激は運動神経のリズミックな放電を誘発し、それと同期した腎臓交感神経活動や血圧増加も起したので(Nakamoto et al. 2011)、VTA を Central command 発生回路の候補として着想した(図2)。

2. 研究の目的

運動筋の血流量増加は、従来、収縮に伴う代謝産物や機械的刺激で生じる局所性調節で説明されている。しかし、我々は高次中枢から発する Central command が筋抵抗血管を拡張させ運動開始期に筋血流量を増やすことを最近報告した(Ishii et al. 2012, 2013)。この所見や動物を用いた実験結果から、大脳辺縁系皮質から発した信号で駆動された VTA 神経ニューロン群が Central command を発現し、交感神経を介して筋血管系を予測制御するという仮説を考えた。今回、随意運動や収縮を伴う運動イメージ時に起る筋血流量反応を指標として、相関する大脳皮質の神経活動を計測し Central command の発現に関わる神経機構を探索することを目的とした。

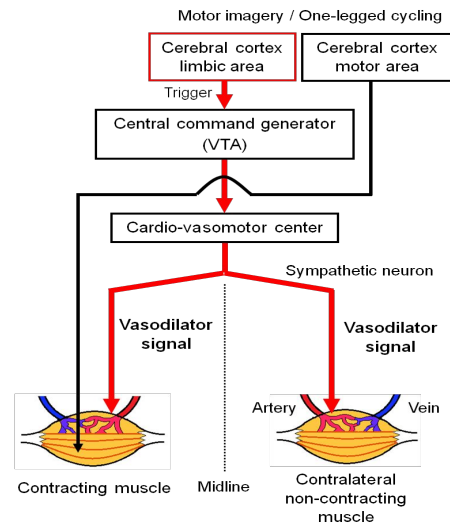


図2 Central command 発生に関する仮説 (Matsukawa et al. 2013)

3. 研究の方法

(3-1) ヒトを用いた研究

筋血流量の中枢性調節

高次中枢から発する Central command は運動の開始時やその精神イメージ時に働き、活動筋や非活動筋への血流量を増加させることを明かにした。しかし、この所見は大腿外側広筋の血流量反応に基づいているので、全身の筋肉群の反応に基づいた筋血流量の中枢性調節様式は未解決であった。そのため、上下肢における複数の筋肉群から、近赤外線酸素モニター装置を用いて筋血流量変化を同時記録した。筋群間(近位筋・遠位筋、屈筋・伸筋等)の相違、肢回転運動よりも巧緻性のある動作を行った場合にみられる非活動筋への血流量反応を調べ、中枢性筋循環調節に関わる動作原理を明らかにした。

薬理的な検証

コリン作動性交感神経から放出されたアセチルコリン(Ach)はムスカリニック受容体と結合し血管拡張を起す。アドレナリン作動性神経から放出されたノルアドレナリンは、α受容体と結合し血管収縮を、β受容体と結合し血管拡張を引き起す。受容体遮断薬を組み合わせた薬理学的研究を実施することで、中枢性および反射性調節メカニズムの同定と分離を試みた。

大脳皮質脳活動のマッピング

随意運動を行う際には心拍数や筋血流量は運動開始と同時に増加するが、効果器反応の時間遅れを考慮すると高位中枢は運動開始前に活動を始め Central command を発生させなければならない。筋血流量反応の時間経過や大きさを指標としながら、大脳皮質活動がどの領域から発生し、どのように他の領域へと伝播していくのかを調べた。そのため、近赤外分光イメージング装置(FOIRE-3000)を用いて、前頭葉および頭頂葉にわたる44チャンネルの酸素化ヘモグロビン(Oxy-Hb)動態を同時計測した。Oxy-Hb は局所の組織血流量を反映し間接的に脳活動量と対応する。また、筋収縮を伴わない運動の精神イメージを用いて、大脳皮質活動

と筋血流量の相関を調べた。

### (3-2) 動物・ヒト筋試料を用いた研究

#### Central command 発現と VTA の役割

大脳皮質辺縁系から生じる信号が脳幹（特に VTA）に在る神経回路を駆動し、VTA から Central command を発生させるという仮説を検証した（図 2）。そのため、除脳ラットを用いて、VTA の吻側部または尾側部において二次的な脳幹切除を行い、それぞれの切除が及ぼす自発筋運動および循環動態応答への影響を調べた。

#### 前頭前野・島皮質から VTA に至る神経連絡

大脳皮質前頭前野や島皮質から VTA へ至る神経連絡を調べた。麻酔動物を用いて、各大脳皮質領域を電気刺激または化学刺激し VTA の組織血流量に及ぼす影響を調べた。組織血流量は一般的に神経細胞の興奮活動に比例すると思われる。自作した血流プローブを VTA 内に刺入して、レーザー血流計を用いて組織血流量を記録した。

#### VTA 活動記録（血流量法・c-Fos 染色法）

除脳動物の中脳 VTA ならびに他の脳幹領域にレーザー血流計プローブを埋め込み、組織血流量の変化から間接的な脳活動を記録した。自発活動に対応する血流量変化を調べた。次に、神経細胞の持続的な興奮に伴い c-Fos 核蛋白が出現するという性質を利用して、覚醒ラットの自発的な踏み車（Wheel）回転運動やトレッドミル運動により賦活される大脳皮質および脳幹領域を c-Fos 染色で網羅的に調べた。特に、VTA やその周辺にある神経核に焦点を当て解析した。覚醒ラットを安静群・自発運動群（回転ケージ群）・トレッドミル歩行群の 3 群に分類した。回転ケージ群では、ケージ内の踏み車を自発的に回し運動を行った。トレッドミル歩行群は、更に低速度・中速度・高速度歩行という 3 群に分かれた。それぞれの実験操作後に、動物を屠殺し摘出した脳幹内の c-Fos 陽性細胞数を計数した。興奮した細胞は c-Fos 陽性となる。特に VTA やその周辺にある神経核に焦点を当て解析した。

#### ヒト筋血管の Ach 作動性交感神経の存在

ネコ等一部の動物種では、Ach を伝達物質とする交感神経コリン作動性線維は、高位中枢性に賦活され強力な血管拡張を引き起す (Matsukawa et al. 1997)。ヒトではコリン作動性線維の存在は否定されているが、我々は片脚運動やその精神イメージで筋血流量が増加しこの増加は Ach 受容体遮断で減少することを発見した (Ishii et al. 2012, 2013)。この結果は、ヒト筋血管にもコリン作動性交感神経線維が存在し、それはセントラルコマンドで賦活され血管拡張を引き起すことを示唆した。今回、広島大学医学部法医学教室で司法解剖されたご遺体から筋肉片を採取する。神経終末内シナプス小胞にある Ach トランスポーターに対する免疫抗体染色を実施することで、ヒト筋血管に対する Ach 作動性交感神経の有無を調べた。

## 4. 研究成果

### (4-1) ヒトを用いた研究

#### 筋血流量の中枢性調節

高位中枢から発する Central command は運動の開始時やその精神イメージ時に働き、活動筋や非活動筋への血流量を増加させることを明らかにした。この所見が、大腿外側広筋のみならず、多くの筋肉群で出現することを明らかにした。例えば、下肢回転運動において、下肢筋群のみならず、上肢筋の血流量が中枢性に増加した。しかし、上肢回転運動では、下肢筋群の中枢性応答はわずかであった。この結果は、Central command による筋血流量の増加は広範囲に出現すること、しかしながら運動の種類・モードによって差があることを示唆した。

更に、このアイデアを検証するため、片側上肢の運動を用いて肢回転運動と巧緻性のある手指動作（2球回転運動）を比較した。反対側の非活動筋において血流量を記録した。肢回転運動の方が 2球手指運動よりも多数の筋群を動員し疲労度も大きかった。それにも関わらず、2球手指運動において、非活動筋の血流量はより大きく増加した。この観察から、単純な肢回転運動よりも巧緻性動作時に伴って、中枢性筋血流量の増加が大きくなり、運動筋への血流量供給を増やすことが判明した。

#### 薬理的な検証

コリン作動性交感神経から放出されたアセチルコリン (Ach) はムスカリニック受容体と結合し血管拡張を引き起す。アドレナリン作動性神経から放出されたノルアドレナリンは、 $\alpha$  受容体と結合し血管収縮を、 $\beta$  受容体と結合し血管拡張を引き起す。本研究では、上肢および下肢の回転運動そして手指の巧緻性運動を実施した。これら全ての運動において、反対側において中枢性筋血流量の増加を観察した。Ach ムスカリニック受容体拮抗薬であるアトロピンはこの筋血流増加を減弱またはほぼ完全に抑制した。さらに、 $\beta$  受容体拮抗薬であるプロプラノロールにより筋血流反応は増加から減少へと転じた。この結果に基くと、中枢性に筋血流量を増加させる場合に、主にコリン作動性血管拡張が働くが、 $\beta$  アドレナリン作動性血管拡張も一部関係することは否定できない。

#### 大脳皮質脳活動のマッピング

前述のように、随意運動を行う際には、心拍数や筋血流量は運動開始と同時に増加する。循環器系の効果器反応で起こる時間遅れを考慮すると、高位中枢は運動開始のかなり前に活動を始め Central command を発生させなければならない。

実験室内において、近赤外分光イメージング装置を用いて、前頭葉および頭頂葉にわたる 44 チャンネルの酸素化ヘモグロビン (Oxy-Hb) 動態を同時計測した。自発的な自転車運動における Oxy-Hb 動態を測定したところ、大脳皮質前頭前野の Oxy-Hb は運動開始に 5-10 秒先行して増加し運動開始直後に最大となることを発見した。この Oxy-Hb 増加は脳組織血流量の増加を反映し、間接的に脳活動の増加に対応する。興味深いことに、この Oxy-Hb 増加の大きさは、運動強度に依存せず一定値を取った。運動領域（1 次運動野・運動前

野・補足運動野)においても、運動中に Oxy-Hb 量が増加した。しかし、その特徴は前頭前野とは大きく異なり、運動領域の Oxy-Hb 増加は運動開始と同時に出現し、またその大きさは運動強度に依存した。

このような前頭前野や運動領域の脳活動は日常生活で見られるような床歩行運動においても同様に起るか否かを、ワイヤレス近赤外分光イメージング装置を用いて調べた。実験室の肢回転運動と同じく、前頭前野と運動領域は全く異なる動態を示し、前頭前野のみが自発床歩行運動に先行した賦活を示した。声掛けに応じて運動を開始する時には、このような賦活は起らず、前頭前野は Central command の発現と関係すると思われる。床歩行運動の精神イメージを実施すると、実際の歩行時と同じ大きさの前頭前野 Oxy-Hb の増加を観察した。精神イメージは筋収縮を伴わないので、この反応に末梢筋受容器からの feedback は関与しない。

#### (4-2) 動物・ヒト筋試料を用いた研究

##### Central command 発現と VTA の役割

大脳皮質辺縁系から生じる信号が脳幹(特に VTA)に在る神経回路を駆動し、VTA から Central command を発生させるという仮説を調べた。そのため、除脳ラットを用いて、VTA の吻側部または尾側部において二次的な脳幹切除を行い、それぞれの切除が及ぼす自発筋運動および循環動態応答への影響を調べた。VTA 吻側切除は両者に影響を与えなかったが、VTA 尾側切除は自発運動ならびに中枢性循環応答を減弱させた。この結果は VTA が Central command を発生させる神経回路として働くことを示唆した。

##### 前頭前野・島皮質から VTA への神経連絡

大脳皮質前頭前野や島皮質から VTA へ至る神経連絡を調べた。麻酔動物の各脳領域を電気または化学刺激し VTA の組織血流量に及ぼす影響を調べた。大脳皮質前頭前野や島皮質の電気刺激により VTA 血流量は増加した。この増加は抑制性伝達物質の局所投与により減弱した。また VTA の電気刺激自身も VTA 血流量を著明に増加させた。しかしながら、大脳皮質の電気刺激は通過軸索の興奮を否定できないので、皮質神経細胞を化学的に刺激し興奮させた。この化学興奮は VTA 血流量を増加させることができたので、前頭前野・島皮質から VTA への興奮性神経投射が存在すると考えられる。

##### VTA 活動記録(血流量法・c-Fos 染色法)

除脳動物の中脳 VTA ならびに他の脳幹領域にレーザー組織血流計用プローブを埋め込み、組織血流量の変化から脳活動を間接的に記録した。自発筋活動に対応して、VTA 血流量は増加した。この血流量の増加は昇圧反応とは必ずしも一致しなかったため、昇圧に伴う受動的な反応ではなく、神経興奮による組織血流量の増加であると思われる。

次に、自発的な Wheel 回転運動やトレッドミル運動により賦活される脳幹領域を c-Fos 染色で網羅的に調べた。回転ケージ群の VTA における c-Fos 陽性細胞数は、安静群に比較して、有意に増加し

た。興奮した細胞の中にはドパミン産生細胞も含まれた。またトレッドミル歩行群も安静群に比較して有意に増加したが、歩行速度間で差異は観察されなかった。これらの所見は、自発運動時に VTA 神経細胞が興奮することを示唆した。

我々は VTA の刺激が筋血流量を増加させることを既に報告し VTA から筋血管に至る神経回路の存在を明らかにしたけれども(Nakamoto et al. 2011; Matsukawa et al. 2011)、VTA からの下降性神経信号がどのような脳幹神経核を経由して自律神経系に到達するかは全く不明であり、残された課題である。

##### ヒト筋血管の Ach 作動性交感神経の存在

我々は片脚運動やその精神イメージで筋血流量が増加し、この増加は Ach 受容体遮断で減少することを発見した(Ishii et al. 2012, 2013)。ヒト筋血管にコリン作動性交感神経線維の支配が存在し、それはセントラルコマンドで賦活され血管拡張を起すことを示唆した。今回、広島大学医学部法医学教室で司法解剖されたご遺体から筋組織標本を摘出し Ach トランスポータに対する免疫組織染色を試みたが、残念ながら交感神経軸索を染色することができなかった。この結果はコリン作動性交感神経線維の支配が無い事に起因するのか、または実験手法に問題があるのかは、未解決の課題である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計13件)

1. Asahara R, Matsukawa K. Decreased prefrontal oxygenation elicited by stimulation of limb mechanosensitive afferents during cycling exercise. *Am J Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 査読有, 2018, 印刷中. DOI: 10.1152/ajpregu.00454.2017.
2. Asahara R, Endo K, Liang N, Matsukawa K. An increase in prefrontal oxygenation at the start of voluntary cycling exercise was observed independently of exercise effort and muscle mass. *Eur J Appl. Physiol.*, 査読有, 2018, 印刷中. DOI: 10.1007/s00421-018-3901-4
3. Endo K, Liang N, Idesako M, Ishii K, Matsukawa K. Incremental rate of prefrontal oxygenation determines performance speed during cognitive Stroop test: the effect of ageing. *J Physiol. Sci.*, 査読有, 2018, 印刷中. DOI: 10.1007/s12576-018-0599-3.
4. Matsukawa K, Endo K, Ishii K, Ito M, Liang N. Facial skin blood flow responses during exposures to emotionally charged movies. *J Physiol. Sci.*, 査読有, Vol 68, 2018, 175-190. DOI: 10.1007/s12576-017-0522-3.
5. Matsukawa K, Endo K, Asahara R, Yoshikawa M, Kusunoki S, Ishida T. Prefrontal oxygenation correlates to the responses in facial skin blood flows during exposure to pleasantly charged movie. *Physiol. Rep.*, 査読有, Vol 5, 2017, e13488. DOI: 10.14814/phy2.13488.
6. Ishii K, Matsukawa K, Asahara R, Liang N, Endo K, Idesako M, Michioka K, Sasaki Y, Hamada H, Yamashita K, Watanabe T, Kataoka T, Takahashi M. Central command increases muscular oxygenation of

the non-exercising arm at the early period of voluntary one-armed cranking. *Physiol. Rep.*, 査読有, Vol 5, 2017, e13237. DOI: 10.14814/phy2.13237.

7. Matsukawa K, Ishii K, Asahara R, Idesako M. Central command does not suppress baroreflex control of cardiac sympathetic nerve activity at the onset of spontaneous motor activity in the decerebrate cat. *J Appl. Physiol.*, 査読有, Vol 121, 2017, 932-943. DOI: 10.1152/jappphysiol.00299.2016.

8. Asahara R, Matsukawa K, Ishii K, Liang N, Endo K. The prefrontal oxygenation and ventilator responses at start of one-legged cycling exercise have relation to central command. *J Appl. Physiol.*, 査読有, Vol 121, 2017, 1115-1126. DOI: 10.1152/jappphysiol.00401.2016.

9. Ishii K, Matsukawa K, Liang N, Endo K, Idesako M, Asahara R, Kadowaki A, Wakasugi R, Takahashi M. Central command generated prior to arbitrary motor execution induces muscle vasodilatation at the beginning of dynamic exercise. *J Appl. Physiol.*, 査読有, Vol 120, 2016, 1424-33. DOI: 10.1152/jappphysiol.00103.2016.

10. Takahashi M, Nakamoto T, Matsukawa K, Ishii K, Watanabe T, Sekikawa K, Hamada H. Cardiac parasympathetic outflow during dynamic exercise in humans estimated from power spectral analysis of P-P interval variability. *Exp. Physiol.*, 査読有, Vol 101, 2016, 397-409. DOI: 10.1113/EP085420.

11. Liang N, Mitchell JH, Smith SA, Mizuno M. Exaggerated sympathetic and cardiovascular responses to stimulation of the mesencephalic locomotor region in spontaneously hypertensive rats. *Am J Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 査読有, Vol 310, 2016, H123-H131. DOI: 10.1152/ajpheart.00479.2015.

12. Matsukawa K, Ishii K, Liang N, Endo K, Ohtani R, Nakamoto T, Wakasugi R, Kadowaki A, Komine H. Increased oxygenation of the cerebral prefrontal cortex prior to the onset of voluntary exercise in humans. *J Appl. Physiol.*, 査読有, Vol 119, 2015, 452-462. DOI: 10.1152/jappphysiol.00406.2015.

13. Ishii K, Idesako M, Matsukawa K. Differential contribution of aortic and carotid sinus baroreflexes to control of heart rate and renal sympathetic nerve activity. *J Physiol. Sci.*, 査読有, Vol 65, 2015, 471-480. DOI: 10.1007/s12576-015-0387-2.

[学会発表](計22件)

1. Asahara R, Hashiguchi Y, Matsukawa K. A limb mechanoreflex decreases the prefrontal oxygenation during motor-driven passive cycling in humans. 第95回日本生理学会大会、高松市、2018年3月.

2. Asahara R, Matsukawa K. Feedforward control of the cardiovascular system during exercise: insight from animal and human studies. 第95回日本生理学会大会、高松市、2018年3月(招待講演).

3. Endo K, Yoshikawa M, Matsukawa K, Nakamura A, Nakamura T. Responses in facial skin blood flow and prefrontal oxygenation during exposure to emotionally charged negative and positive odors. 第95回日本生理学会大会、高松市、2018年3月.

4. Liang N, Harada T, Sasaoka T, Yamawaki S, Endo K, Matsukawa K. Changes in human prefrontal activity during exposure to emotionally-charged movies: a preliminary study by simultaneous recordings of NIRS and fMRI. 第95回日本生理学

会大会、高松市、2018年3月.

5. Matsukawa K, Endo K, Yoshikawa M, Asahara R. Prefrontal oxygenation correlate during exposure to emotionally charged negative and positive odors. 第95回日本生理学会大会、高松市、2018年3月.

6. Asahara R, Matsukawa K, Shintaku T. Effect of endurance training on the centrally-induced muscle vasodilatation during one-legged cycling. *Experimental Biology 2017*, Chicago, USA, 22-26 April, 2017 (国際学会).

7. Asahara R, Endo K, Yoshikawa M, Kusunoki S, Matsukawa K. Facial skin blood flow decreases during exposure to pleasantly charged movie in humans. *The International Society for Autonomic Neuroscience 2017*, Nagoya, Japan, 30 August-2 September, 2017 (国際学会).

8. Endo K, Yoshikawa M, Kusunoki S, Asahara R, Matsukawa K. Reduction in prefrontal oxygenation during exposure to positively- charged movie in humans. *The International Society for Autonomic Neuroscience 2017*, Nagoya, Japan, 30 August-2 September, 2017 (国際学会).

9. 浅原亮太、松川寛二、梁楠、遠藤加菜. 自発運動開始時における前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度の増加は運動強度と比例しない. 第72回日本体力医学大会、松山市、2017年9月.

10. 遠藤加菜、吉川美穂、松川寛二、中村明朗、中村哲也. 嗅覚刺激による快・不快の情動変化が顔面皮膚血流量および前頭葉ヘモグロビン動態に与える影響. 第51回日本味と匂学会、神戸市、2017年9月.

11. Matsukawa K, Ishii K, Asahara R, Endo K, Liang N. Increased oxygenation of the prefrontal cortex prior to the onset of exercise has relation to central command. 第94回日本生理学会大会、浜松市、2017年3月(シンポジウム).

12. Liang N, Arikawa M, Satake Y, Endo K, Asahara R, Matsukawa K. The cerebral prefrontal oxygenation during the first and third person imagery of cycling exercise. 第94回日本生理学会大会、浜松市、2017年3月.

13. Endo K, Ishii K, Asahara R, Doi S, Liang N, Matsukawa K. Effect of motor imagery on blood flow in leg skeletal muscle in elderly subjects. 第94回日本生理学会大会、浜松市、2017年3月.

14. Ishii K, Matsukawa K, Liang N. Increased oxygenation of the dorsolateral prefrontal cortex prior to the onset of voluntary one-armed cranking. 第94回日本生理学会大会、浜松市、2017年3月.

15. Asahara R, Matsukawa K, Shintaku T. Effect of endurance training on the centrally-induced muscle vasodilatation during one-legged cycling. 第94回日本生理学会大会、浜松市、2017年3月.

16. Matsukawa K. Central command hypothesis: from cerebral prefrontal cortex to blood vessels of skeletal muscle. *The 6<sup>th</sup> International Sports Science Network Forum in Nagano 2016*, Matsumoto, 9-11 November, 2016 (国際学会・招待講演).

17. Asahara R, Matsukawa K, Liang N, Endo K, Ishii K. The prefrontal oxygenation at the onset of unrestrained overground walking in humans. *The 6<sup>th</sup> International Sports Science Network Forum in Nagano 2016*, Matsumoto, 9-11 November, 2016.

18. 石井圭、松川寛二、梁楠、遠藤加菜、浅原亮太、井手迫光弘. 運動イメージによる呼吸循環系の

活性化. 第93回日本生理学会大会、札幌市、2016年3月.

19. 浅原亮太、松川寛二、石井圭、梁楠、遠藤加菜. ヒトの随意運動開始時における前頭前野酸素化Hb濃度と呼吸終末炭酸ガス濃度との関連.

第93回日本生理学会大会、札幌市、2016年3月.

20. 遠藤加菜、伊藤百花、川原舞、小畑菜央、石井圭、浅原亮太、松川寛二. 視覚刺激による快・不快の情動変化が顔面皮膚血流量に与える影響.

第93回日本生理学会大会、札幌市、2016年3月.

21. 梁楠、浅原亮太、石井圭、遠藤加菜、松川寛二. 平地とトレッドミル歩行時の大脳皮質興奮性の変化について: ポータブルfNIRSを用いた解析. 第93回日本生理学会大会、札幌市、2016年3月.

22. 松川寛二、石井圭、浅原亮太、井手迫光弘、石田知子. 心臓交感神経活動は除脳ネコの自発運動時にみられる動脈血圧受容器-心拍数反射の抑制に関与しない. 第93回日本生理学会大会、札幌市、2016年3月.

〔図書〕(計2件)

1. 松川寛二、医歯薬出版(株)解剖学・生理学・運動学に基づく動作分析: 第1章2. 生理学の概要、2018、pp 38-84.

2. 松川寛二、理工図書(株)、生理学: 第5章 筋肉・運動の生理、2016、pp 101-126.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

広島大学医学部保健学科・生理機能情報科学研究室のオリジナルホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/matsulab/>

広島大学医学部生理機能情報科学研究室  
[http://home.hiroshima-u.ac.jp/med/research/lab/health/integrative\\_Physiology/](http://home.hiroshima-u.ac.jp/med/research/lab/health/integrative_Physiology/)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松川 寛二 (MATSUKAWA, Kanji)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
教授 研究者番号: 90165788

### (2)研究分担者

丹 信介 (TAN, Nobusuke)  
山口大学・教育学部・教授  
研究者番号: 00179920

小峰 秀彦 (KOMINE, Hidehiko)  
産業技術総合研究所・自動車ヒューマンファク  
ター研究センター・研究センター長  
研究者番号: 10392614

定本 朋子 (SADAMOTO, Tomoko)  
日本女子体育大学・体育学部・教授  
研究者番号: 30201528

長尾 正崇 (NAGAO, Masataka)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
教授 研究者番号: 80227991

相澤 秀紀 (AIZAWA, Hidenori)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
教授 研究者番号: 80391837  
(平成28-29年度)

川真田 聖一 (KAWAMATA, Seiichi)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
教授 研究者番号: 30127641  
(平成27年度)

### (3)連携研究者

梁 楠 (LIANG, Nan)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
助教 研究者番号: 70512515

遠藤 加菜 (ENDO, Kana)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
助教 研究者番号: 60584696

黒瀬 智之 (KUROSE, Tomoyuki)  
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・  
助教 研究者番号: 20363054

### (4)研究協力者

石井 圭 (ISHII, Kei)  
学振 PD 特別研究員

浅原 亮太 (ASAHARA, Ryota)  
学振 PD 特別研究員

井手迫 光弘 (IDESAKO, Mitsuhiro)  
広島大学大学院生