

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04442

研究課題名(和文) ヒト末梢交感神経電気活動の非侵襲推定法の提案と疼痛感覚計測への挑戦

研究課題名(英文) A non-invasive estimation method of human peripheral sympathetic nerve activity and challenge to measure pain perception

研究代表者

辻 敏夫 (Toshio, Tsuji)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：90179995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、末梢交感神経電気活動の非侵襲推定問題に挑戦し、疼痛を客観的に定量評価する新技術の確立を目指した。まず、研究代表者のコア技術である生体信号分散分布モデルを用い、非侵襲計測可能な末梢血管剛性の低周波成分から交感神経電気活動を復元する数理モデルを新たに開発した。次に、fMRI環境下で疼痛刺激実験を行い、提案と脳活動、主観評価の間に低から中程度の相関があることを発見した。さらに、第一次体性感覚野の脳活動はと共変していることを示した。これらの結果は、提案が疼痛刺激強度を反映する可能性を示しており、本研究課題によって主観疼痛、脳活動、末梢交感神経活動の関係が初めて明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、血管剛性計測法と生体信号分散分布確率モデルという研究代表者独自のコア技術を用いて、被験者に針電極を刺入することなく交感神経活動を非侵襲的に計測する方法を世界に先駆けて開発した。この研究成果の社会的意義は、糖尿病性末梢神経障害など自律神経が関与したあらゆる疾患を非侵襲的に検査する道が拓かれる可能性を示したことにある。また、本研究を疼痛だけでなく他の多くの感覚に応用することができれば、脳活動と末梢交感神経活動で主観感覚を定量的かつ客観的に評価するという『脳神経感性工学』とでも呼ぶべき新たな学術分野を創造できる可能性があり、この点に本研究の学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：This research challenged the non-invasive measurement of peripheral sympathetic nerve activity to establish a novel methodology for the objective and quantitative evaluation of nociceptive stimuli. Using the biological signal variance distribution model, our core technology, we first developed a novel mathematical model to estimate the peripheral sympathetic nerve activity from the low-frequency component of peripheral arterial stiffness, which is non-invasively measurable. We then conducted a pain stimulus experiment in an fMRI environment and found low to moderate correlations among the proposed, brain activity, and subjective evaluation. Furthermore, we showed that brain activity in the primary somatosensory cortex covaried with. These results indicate that the proposed may reflect the intensity of the pain stimulus, and thus this research project first revealed the relationship among subjective pain, brain activity, and peripheral sympathetic nerve activity.

研究分野：知能機械，医用電子工学

キーワード：客観的疼痛評価 fMRI 末梢交感神経電気活動 確率モデル 機械学習

1. 研究開始当初の背景

臨床現場では半定量的な疼痛評価手法として「無痛」と「想像しうる最大の痛み」の間を数値的に評価する Visual Analogue Scale (VAS)法や Numeric Rating Scale (NRS) 法が用いられているが、主観的評価はその正確性の判断が困難で、患者の意識消失を伴う手術中や認知症患者、幼児など疼痛度の意思表示が困難な場合には適用不可能という古典的かつ致命的な問題がある。

一方、末梢交感神経系は疼痛刺激に反応して血管平滑筋を収縮させることが知られているが、その電気活動を経皮的に直接計測することは困難である。そのため、現状では無麻酔で経皮的に針電極を刺入するしかなく、患者に過大な負担を強いっている。また、自律神経活動は視床下部で調整されているが、脳における疼痛認識と自律神経系の応答の同時計測が困難なため、その関係性はいまだ明らかにされていない。

以上の背景のもとで本研究課題では、(1)末梢交感神経電気活動を非侵襲的に計測するための原理と方法論を確立できるか、(2)疼痛に伴う主観、脳活動、交感神経電気活動の関係性をモデル化できるかの2点を核心をなす学術的「問い」とし、これを解決することにより世界初の客観的疼痛評価法の開発に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1)研究代表者が独自に開発した対数線形化血管粘弾性モデル(Scientific Reports, 2018)と生体電気信号の分散分布モデル(IEEE TBME, 2017)を融合した新たな数理モデルを構築し、血管剛性から交感神経電気活動を復元する理論を確立すること、(2) fMRI による脳活動計測法と提案法を融合して主観疼痛 - 脳活動 - 末梢交感神経活動の関係性を実験的に解明し、その関係をモデル化するとともに、計測が容易な末梢交感神経電気活動のみから疼痛に関連する人間の主観を推定し、疼痛の強度と質を可視化する技術を開発することである。

3. 研究の方法

(1) 末梢血管剛性から交感神経電気活動を復元する理論

末梢血管剛性は次式に示す対数線形化血管粘弾性モデル(Scientific Reports, 2018)に時刻 t における連続血圧 $P_{b,t}$ と血管の容積を表す指尖容積脈波 $P_{l,t}$ を代入し、適当な時間窓幅内の実測データを用いて連立方程式を立てることで推定できる。

$$P_{b,t} = \mu \dot{P}_{l,t} + \eta \dot{P}_{l,t} + \exp\{\beta P_{l,t} + P_{b\beta_0} + P_{b\beta_{nl}}(P_{l,t})\} \tag{1}$$

ここで、 μ, η, β はそれぞれ血管壁の慣性、粘性、剛性、 $P_{b\beta_0}$ は平均循環充満圧、 $P_{b\beta_{nl}}(P_l(t))$ は遠位側動脈圧を表す。

末梢血管剛性は、交感神経電気活動により血管平滑筋が収縮することで上昇する。本研究では、交感神経電気活動を生体電気信号の分散分布モデル(IEEE TBME, 2017)、血管平滑筋が収縮して血管剛性が上昇するという現象を全波整流平滑フィルタで表現し、末梢血管剛性から交感神経電気活動を復元する数理モデルを新たに提案する。

(2) 主観疼痛 - 脳活動 - 末梢交感神経活動の関係解析

主観疼痛 - 脳活動 - 末梢交感神経活動の関係を明らかにするため、以下に述べる実験システムと実験プロトコルを新たに開発し、疼痛刺激実験と疼痛予期実験を行う。

(2-1) 疼痛評価実験システム

図 1 に疼痛刺激と生体信号、脳活動が同時計測可能な疼痛評価実験システムを示す。本システムは、fMRI 装置 (MAGNETOM Verio 3T MRI, SIEMENS) で使用可能な表面皮膚電気刺激装置、疼痛刺激に対する生理応答を計測するための多チャンネル生体信号計測装置 (Biopac, Biopac systems Inc.), 疼痛刺激に対する主観評価を入力するための光学式のダイヤル入力装置から構成されている。

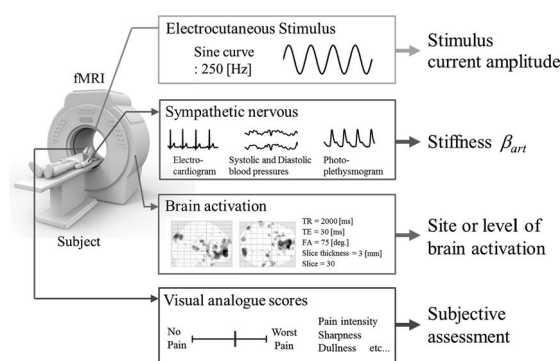


図 1. 疼痛評価実験システム

表面皮膚電気刺激装置は、電気刺激の波形、周波数、振幅を調整することによりさまざまな疼痛刺激が提示可能である。多チャンネル生体計測装置では、末梢血管剛性を求めるために必要な心拍 1 拍ごとの収縮期血圧と拡張期血圧、光電指尖容積脈波、および心電位を fMRI 撮像の同期信号とともにサンプリング周波数 1kHz で同時計測する。また、被験者の頭側にはディスプレイが設置されており、fMRI のヘッドコイルに取り付けられたミラーを介して主観アンケート画面や視覚統制用の視標が提示可能である。

(2-2) 実験プロトコル

脳活動や交感神経は疼痛だけでなくさまざまな外部刺激や内部状態に対して応答するため、脳活動と末梢交感神経活動から疼痛刺激応答のみを分離する必要がある。そこで、視覚、聴覚、体性感覚を統制した条件下で、疼痛刺激を行うという実験プロトコル策定した。



図 2. 疼痛予期プロトコル

疼痛刺激評価プロトコルでは、十字のカーソルを提示することにより視覚条件、耳栓により聴覚条件、被験者に仰臥位を取らせることにより体性感覚を統制した。また、主観疼痛強度が numeric rating scale で 3 になる電流を基準とすることで、疼痛知覚の個人差を統制した。そして、基準電流の 1.5, 1.0, 0.5, 0, 0.5, 1.0, 1.5 倍という谷型の刺激強度提示順により、疼痛刺激に対する被験者の疼痛予期に伴う不安感を抑制した。各刺激提示ブロックは、24 s の疼痛刺激提示、20 s の主観評価タスク、20 s の安静で構成された。

図 2 に示す疼痛予期プロトコルでは、疼痛刺激プロトコルと同様に各感覚を統制した条件のもと、3 段階（弱・強弱ランダム・強）の疼痛予期キューの後に 2 段階の疼痛刺激（弱・強）を提示した。

4. 研究成果

(1) 血管剛性から交感神経電気活動を復元する理論

(1-1) 末梢血管剛性の周波数特性解析

胸腔鏡下胸部交感神経遮断術を受けた患者 15 名のデータを用い、サンプリングレート 5 Hz で末梢血管剛性 β を推定し、周波数解析を行った。その結果、心電の RR 間隔のピーク周波数 f_{RRI} と β 高周波成分 (0.8–1.8 Hz) のピーク周波数 $f_{\beta, \text{HF}}$ は一致していることが明らかになった ($f_{\text{RRI}} = 1.0f_{\beta, \text{HF}} + 1.7 \times 10^{-2}$, $R^2 = 0.85$, $p < 0.001$)。また、 β 低周波成分 (<0.5 Hz) のピークは 0.2 Hz 付近にあり、人工呼吸器によって強制された呼吸周波数 (12 回/分) と一致した。さらに、 β と収縮期血圧の振幅自乗コヒーレンスを求めた結果、コヒーレンスのピークは 0.2 Hz と 0.04 Hz 付近に存在し、その最大値は交感神経遮断後で有意に低下する ($p < 0.001$) ことを発見した。以上より、 β には心拍同期成分と呼吸同期成分が含まれており、低周波成分は収縮期血圧と有意に相関することが明らかになった。これらは本来、筋交感神経活動が有している特徴であり、末梢血管剛性が交感神経電気活動の情報を含んでいることを意味しているため、末梢血管剛性から交感神経電気活動への復元可能性が示された。【研究成果 1】

(1-2) 提案モデル

図 3 に本研究で提案した交感神経電気信号推定モデルを示す。提案モデルでは、時刻 t における推定交感神経電気活動 \hat{X}_t を、シェイピングフィルタから生成した交感神経電気活動のスペクトルを有する有色雑音 w'_t と分散 σ_t^2 に基づいて生成する。ここで、 σ_t^2 は時刻 t における確率変数 σ^2 の実現値であり、 σ^2 の分布は交感神経活動に応じて決まる平均 $\bar{\sigma}^2$ とノイズ ϵ によって決定した。 $\bar{\sigma}^2$ およびノイズの分散 $\text{Var}[\epsilon]$ は、末梢血管剛性 β_t から推定した。

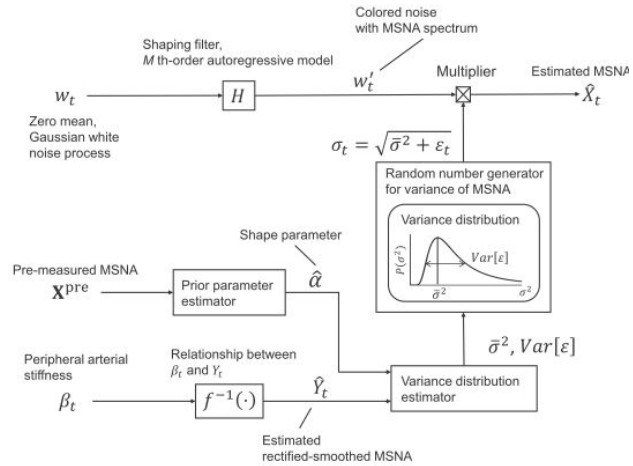


図 3. 交感神経電気信号推定モデル

まず、交感神経電気活動の生波形 X の振幅分布は、平均 0、分散 σ^2 の正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うと仮定した。ここで、 $\sigma^2 = \bar{\sigma}^2 + \epsilon$ とし、ノイズ ϵ は平均 0 の確率変数とすると σ^2 の平均と分散は次式で与えられる。

$$E[\sigma^2] = E[\bar{\sigma}^2] + E[\epsilon] = \bar{\sigma}^2 \quad (2)$$

$$\text{Var}[\sigma^2] = E[(\sigma^2 - \bar{\sigma}^2)^2] = \text{Var}[\epsilon] \quad (3)$$

時刻 t における交感神経電気活動の推定値 \hat{X}_t は、(2)と(3)式に基づく確率分布より生成される乱数系列 σ_t と w'_t の積 ($\hat{X}_t = \sigma_t w'_t$) で求めた。 w'_t はマイクロニューログラフィ法で計測した交感神経電気活動と同じ周波数情報をもつ正規乱数であり、次式に示す M 次の自己回帰 (AR) モデルにもとづくシェイピングフィルタを用いて生成した。

$$w'_t = \sum_{j=1}^M c_j w'_{t-j} + \sqrt{v} w_t \quad (4)$$

ただし、 c_j ($j = 1, 2, \dots, M$) と v はそれぞれ分散を 1 に正規化した交感神経電気活動に対する AR 係

数と予測誤差分散である。(4)式より、正規白色雑音 w_t から交感神経電気活動のスペクトル分布を有する分散1の有色雑音 w'_t を生成した。

(1-3) パラメータ推定法

まず、分散 σ^2 は非負であることを考慮し、次式に示す逆ガンマ分布に従うと仮定した。

$$P(\sigma^2) = \text{IG}(\sigma^2; \alpha, \theta) = \frac{\theta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (\sigma^2)^{-\alpha-1} \exp\left(-\frac{\theta}{\sigma^2}\right) \quad (5)$$

形状母数 α と尺度母数 θ はそれぞれ逆ガンマ分布を決定するパラメータである。分散分布のパラメータは、交感神経電気活動のサンプル系列 \mathbf{X} に対して周辺分布の尤度 $P(\mathbf{X})$ を最大化することで推定した。

$$[\hat{\alpha}, \hat{\theta}] = \arg \max_{\alpha, \theta} P(\mathbf{X}) \quad (6)$$

分散分布パラメータの推定値 $[\hat{\alpha}, \hat{\theta}]$ を用いて、 σ^2 の平均と分散はそれぞれ次式を用いて求めた。

$$E[\sigma^2] = \frac{\hat{\theta}}{\hat{\alpha} - 1} \quad (7)$$

$$\text{Var}[\sigma^2] = \frac{\hat{\theta}^2}{(\hat{\alpha} - 1)^2(\hat{\alpha} - 2)} \quad (8)$$

(7), (8)式より、 $E[\sigma^2]$ と $\text{Var}[\sigma^2]$ はそれぞれ $\bar{\sigma}^2$ と $\text{Var}[\epsilon]$ の推定値に相当する。

しかしながら、この最適化においては侵襲的に計測した交感神経電気活動 X_t が必要である。そこで、非侵襲的に計測可能な末梢血管剛性 β_t から $\bar{\sigma}^2$ と $\text{Var}[\epsilon]$ を推定する手法を開発した。 β_t と X_t の関係は次式で与えられる。

$$Y_t = \sum_{i=0}^{N-1} a_i Y_{t-i-1} + \sum_{i=0}^N b_i |X_{t-i}| \quad (9)$$

$$\beta_t \cong f(Y_t) = \eta' Y_t$$

ここで、 Y_t は整流平滑化交感神経電気活動、 a_i, b_i は整流平滑化フィルタの係数、 η' はゲインである。簡単化のため $\eta' = 1$ と仮定すると、推定整流平滑化交感神経電気活動は $\hat{Y}_t = \beta_t$ であり、 $\bar{\sigma}^2$ は次式で推定できる。

$$\bar{\sigma}^2 = \left(\frac{1 - \sum_{i=0}^N a_i}{\sum_{i=0}^N b_i} \right)^2 \frac{\pi}{2} E[\hat{Y}_t]^2 \quad (10)$$

$E[\hat{Y}_t]^2$ は \hat{Y}_t の期待値で、 \hat{Y}_t が局所的に定常であると仮定すると、過去時間の移動平均によって求めることができる。さらに、(7)式と(8)式の関係より、 $\text{Var}[\epsilon]$ は $\bar{\sigma}^2$ を用いて次式で与えられる。

$$\text{Var}[\epsilon] = \frac{(\bar{\sigma}^2)^2}{\hat{\alpha} - 2} \quad (11)$$

以上より、事前に計測した交感神経電気活動のサンプル系列 \mathbf{X}^{pre} を用い、 $\hat{\alpha}$ を予め設定することで末梢血管剛性 β_t から $\bar{\sigma}^2$ と $\text{Var}[\epsilon]$ を推定した。従来、交感神経電気活動を計測するためには無麻酔で針電極を皮膚深部に刺入する必要があったが、提案モデルは交感神経電気活動の非侵襲計測を可能にする全く新しい技術である。【研究成果2】

(2) 主観疼痛 - 脳活動—末梢交感神経活動の関係解析

fMRI装置で使用可能な疼痛評価実験システムを用い、22名の被験者に対して疼痛刺激実験を行った4段階の疼痛刺激を被験者に提示し、主観評価、末梢血管剛性 β 、および、脳活動を計測するとともにこれらの間の関係性について解析した。その結果、疼痛強度の増加に伴って島皮質を中心に有意に賦活する脳領域が広がることを確認した。次に、脳活動と β が共変する脳領域をパラメトリックモジュレーション解析により同定した結果、図4に示すように疼痛関連領域であるPain matrixを構成する左・中前頭前皮質、腹・背側前帯状皮質が末梢血管剛性の時間変

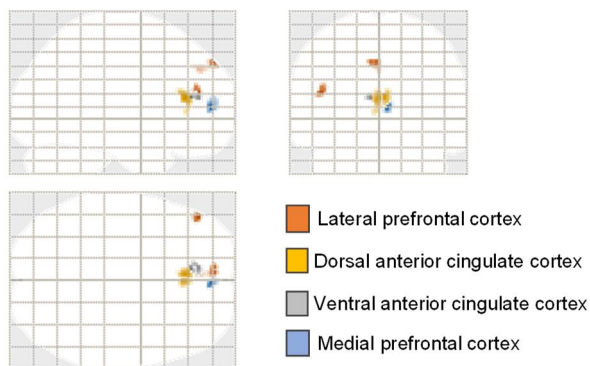


図4. 末梢血管剛性と共変する脳領域

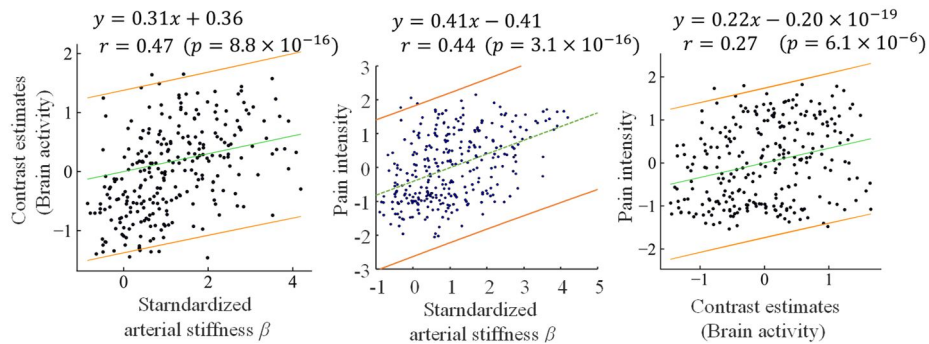
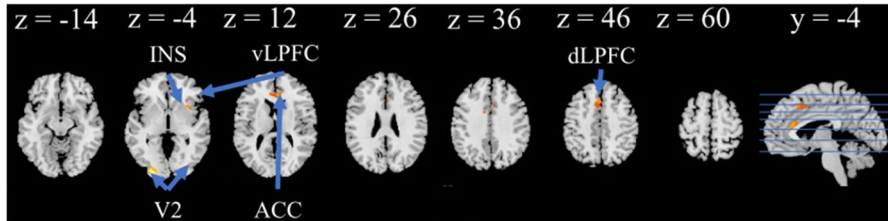
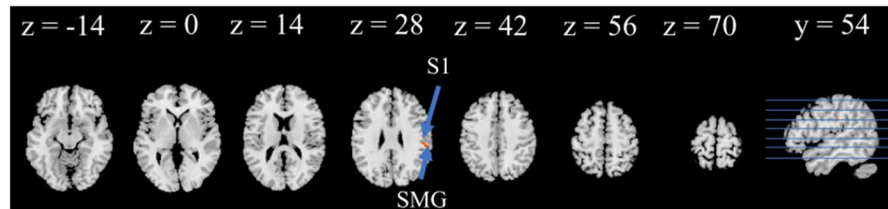


図 5. 末梢血管剛性，脳活動，疼痛強度の相関解析



(a) 疼痛予期時



(b) 疼痛刺激時

図 6. -1 秒時間シフトした β_{LF} の時系列信号と共変する脳領域

化と有意に相関する活動を示すことが明らかになった。さらに、 β 、脳活動、および、疼痛強度の主観評価について相関解析を行った結果、図 5 に示すように β と脳活動の間に $r = 0.47$ ($p < 0.01$)、 β と主観評価の間に $r = 0.44$ ($p < 0.001$)、脳活動と主観評価の間に $r = 0.27$ ($p < 0.001$) という低から中程度の相関があることを発見した。【研究成果 3】

次に、22 名の被験者に対し、3 段階（弱・強弱ランダム・強）の疼痛予期キューの後に 2 段階の疼痛刺激（弱・強）を提示し、主観評価、末梢交感神経指標である末梢血管剛性、および、脳活動を同時計測した。これらの計測データを用い、疼痛予期と刺激時における末梢血管剛性の低周波成分 β_{LF} (< 0.15 Hz) と脳活動との関係を解析した。まず、主観評価を解析した結果、疼痛予期において弱、ランダム、強刺激キューの順に不安度が増加することが明らかになった ($p < 0.05$)。さらに脳活動を解析した結果、疼痛予期時には島と視床など、刺激時には島と第一次体性感覚野が賦活していることが明らかになった。これらの部位はいずれも疼痛関連領域として知られている。最後に脳活動と β_{LF} の相関解析を行った。結果を図 6 に示す。疼痛予期時においては、-1 秒時間シフトした β_{LF} の時系列信号が情動と疼痛認知に関連している島や前帯状皮質、腹外側前頭前野、背外側前頭前野の BOLD 信号と有意に正相関した ($p(\text{FWE}) < 0.05$) (図 6(a))。疼痛刺激時においては、-1 秒時間シフトした β_{LF} の時系列信号が疼痛強度に関連している第一次体性感覚野の BOLD 信号と有意に正相関した ($p(\text{FWE}) < 0.05$) (図 6(b))。これらの結果は、提案 β_{LF} が疼痛予期時の情動や疼痛刺激強度を反映する可能性を示しており、本研究課題によって主観疼痛 - 脳活動 - 末梢交感神経活動の関係が初めて明らかになった。

研究成果

1. T. Muneyasu, H. Hirano, A. Furui, Z. Soh, R. Nakamura, N. Saeki, Y. Okada, M. Kawamoto, M. Yoshizumi, A. Yoshino, T. Sasaoka, S. Yamawaki, and T. Tsuji, "Cardiorespiratory Synchronisation and Systolic Blood Pressure Correlation of Peripheral Arterial Stiffness During Endoscopic Thoracic Sympathectomy," *Sci. Rep.*, Vol. 11, Article number: 5966, 2021. (SCI, IF=3.998)
2. 坂川 俊樹, 古居 彬, 平野 陽豊, 秋吉 駿, 笹岡 貴史, 曾 智, 岡田 芳幸, 吉野 敦雄, 中村 隆治, 佐伯 昇, 吉栖 正生, 河本 昌志, 山脇 成人, 「辻 敏夫末梢血管剛性を用いた筋交感神経活動の非侵襲的推定」2020 年電子通信情報学会総合大会情報・システム講演論文集 1, p.59, 2020.
3. T. Tsuji, F. Arikuni, T. Sasaoka, S. Suyama, T. Akiyoshi, Z. Soh, H. Hirano, R. Nakamura, N. Saeki, M. Kawamoto, M. Yoshizumi, A. Yoshino, and S. Yamawaki, "Peripheral Arterial Stiffness During Electrocutaneous Stimulation is Positively Correlated with Pain-related Brain Activity and Subjective Pain Intensity: An fMRI Study," *Sci. Rep.*, Vol. 11, Article number: 4425, 2021. (SCI, IF=3.998)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tsuji Toshio, Arikuni Fumiya, Sasaoka Takafumi, Suyama Shin, Akiyoshi Takashi, Soh Zu, Hirano Harutoyo, Nakamura Ryuji, Saeki Noboru, Kawamoto Masashi, Yoshizumi Masao, Yoshino Atsuo, Yamawaki Shigeto	4. 巻 11
2. 論文標題 Peripheral arterial stiffness during electrocutaneous stimulation is positively correlated with pain-related brain activity and subjective pain intensity: an fMRI study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-83833-6	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 Muneyasu Toshifumi, Hirano Harutoyo, Furui Akira, Soh Zu, Nakamura Ryuji, Saeki Noboru, Okada Yoshiyuki, Kawamoto Masashi, Yoshizumi Masao, Yoshino Atsuo, Sasaoka Takafumi, Yamawaki Shigeto, Tsuji Toshio	4. 巻 11
2. 論文標題 Cardiorespiratory synchronisation and systolic blood pressure correlation of peripheral arterial stiffness during endoscopic thoracic sympathectomy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-85299-y	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 Xu Ziqiang, Sakagawa Toshiki, Furui Akira, Jomyo Shumma, Morita Masanori, Ando Masamichi, Tsuji Toshio	4. 巻 -
2. 論文標題 Toward a Robust Estimation of Respiratory Rate using Cardiovascular Biomarkers: Robustness Analysis under Pain Stimulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2022.3165880	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 Xu Ziqiang, Sakagawa Toshiki, Furui Akira, Jomyo Shumma, Morita Masanori, Ando Masamichi, Tsuji Toshio	4. 巻 -
2. 論文標題 Beat-to-beat Estimation of Peripheral Arterial Stiffness from Local PWV for Quantitative Evaluation of Sympathetic Nervous System Activity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TBME.2022.3154398	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂川 俊樹, 古居 彬, 平野 陽豊, 秋吉 駿, 笹岡 貴史, 曾 智, 岡田 芳幸, 吉野 敦雄, 中村 隆治, 佐伯 昇, 吉栖 正生, 河本 昌志, 山脇 成人, 辻 敏夫
2. 発表標題 末梢血管剛性を用いた筋交感神経活動の非侵襲的推定
3. 学会等名 2020年電子通信情報学会総合大会情報・システム講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田淵 元太, 平野 陽豊, 浜崎 健太, 三戸 景永, 曾 智, 神谷 諭史, 中村 隆治, 佐伯 昇, 河本 昌志, 東 幸仁, 吉栖 正生, 辻 敏夫
2. 発表標題 補正粘性インデックスに基づく血管内皮機能評価法の提案
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島本 知輝, 曾 智, 平野 旭, 辻 敏夫
2. 発表標題 視聴覚刺激に対する児の末梢血管粘弾性インデックス応答と主観評価との比較
3. 学会等名 第24回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂川 俊樹, 古居 彬, 平野 陽豊, 秋吉 駿, 笹岡 貴史, 曾 智, 岡田 芳幸, 吉野 敦雄, 中村 隆治, 佐伯 昇, 吉栖 正生, 河本 昌志, 山脇 成人, 辻 敏夫
2. 発表標題 末梢血管剛性を用いた筋交感神経活動の非侵襲的推定
3. 学会等名 2020年電子通信情報学会総合大会情報・システム講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 交感神経活動推定装置・交感神経活動推定方法及びプログラム	発明者 辻 敏夫, 他9名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-027888	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>生体システム論研究室ホームページ https://bsys.hiroshima-u.ac.jp/</p>
--

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	岡田 芳幸 (Okada Yoshiyuki) (70566661)	広島大学・病院(歯)・教授 (15401)	
研究分担者	岩瀬 敏 (Iwase Satoshi) (90184879)	愛知医科大学・公私立大学の部局等・客員教授 (33920)	
研究分担者	吉野 敦雄 (Yoshino Atsuo) (90633727)	広島大学・保健管理センター・准教授 (15401)	
研究分担者	曾 智 (Soh Zu) (80724351)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	古居 彬 (Furui Akira) (30868237)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	

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