

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18355

研究課題名（和文）数値流体力学解析とMRI炎症マッピングによる脳動脈瘤成長メカニズムの解明

研究課題名（英文）CFD analysis on MR enhanced wall for investigation of mechanism of aneurysm instability

研究代表者

安西 眸（ANZAI, HITOMI）

東北大学・流体科学研究所・助教

研究者番号：50736981

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では核磁気共鳴画像法(MRI)における増強効果と血流ストレスの結び付けを行うため、増強効果が見られた小型～中型動脈瘤について画像解析および数値流体力学解析(CFD)を行った。特に10年のフォローアップを行ったケースでは、ブレブ発生位置に炎症が見られ、ブレブ方向への動脈瘤伸張が見られた。より大規模な患者群に解析を適用するため、深層学習ネットワークを構築し、血管形状から直接流れ場を推定するシステムを構築した。本システムを使うことでCFDを行うより大幅に血流解析速度が向上し、より大規模な患者群に対して血流解析を行い、動脈瘤の発生・進展・破裂に関する血流パラメータの統計解析を行える可能性を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳動脈瘤は人口の3-5%に発生し、1%/年で破裂の可能性を持つ。しかし破裂メカニズムは不明なことも多く、未だ破裂の予測は難しい。本研究では破裂の前段階に存在すると考えられている動脈瘤壁の炎症と血流分布を照らし合わせ、血流ストレスが壁面の縮退に与える影響を調べることで、動脈瘤の成長メカニズムの解明に貢献した。さらに、疫学的エビデンスを得るためには大規模な患者群に対する解析が不可欠であることから、深層学習ネットワークの構築により血流解析を即時化し、大規模な患者群への血流解析を可能とした。

研究成果の概要（英文）：This study aims to correlate the wall enhancement in MR vessel wall imaging and hemodynamic stress in small-middle cerebral aneurysms. In the case of 10-years follow-up, the extension of aneurysm wall occurs near the breb where the wall enhancement observed. For further study to establish the threshold of hemodynamic parameters, analysis for big data will be required. Therefore, deep learning technique was applied for predicting the flow field inside blood vessels. This network can predict the flow from the geometry directly and achieved the speedup of analysis 600 times than conventional CFD.

研究分野：数値流体力学解析

キーワード：脳動脈瘤 MR血管造影 ディープラーニング

1. 研究開始当初の背景

脳動脈瘤は人口の3-5%に発生し、破裂による致死率は30%以上と非常に高いが、破裂確率は1%/年と低い。したがって、治療に伴う患者への負担・リスクを考慮すると、破裂する確率の高い動脈瘤をスクリーニングし優先的に治療を行うことが、非常に重要で意義深い。臨床現場では、年齢性別や血圧、喫煙有無、病歴、家族歴に加え、動脈瘤の発生位置や大きさが、統計的に破裂しやすい動脈瘤の判断基準とされている。一方で工学的立場からは、脳動脈瘤の発生・成長・破裂に血流による力学的ストレスが関連すると示唆されて以来、数値流体力学(CFD)解析を用いて動脈瘤の発生・成長・破裂を誘起する流体力学的因子を定義する試みが行われてきた。しかしながら、流体力学的因子から破裂を予測できる確率は未だ6割程度にとどまっていることから、血流 CFD 解析は破裂のリスクアセスメントにおいて未だ大きなインパクトを得られていない。

動脈瘤が成長する過程のメカニズムには、未だ明らかでないことが多い。これまでも、ディッシュ上での細胞実験、人為的に動脈瘤を作成した動物実験、CFD 解析と臨床所見の照らし合わせ等が行われてきたが、制約が多く、断片的な知見のみとなっている。血管壁では常に炎症等悪性の反応とその治癒のバランスを取りつつ、生体の恒常性が保たれているが、既存の CFD、細胞実験では再現が難しい。しかしながら、動物実験では個体差による影響も大きく、血流負荷のコントロールが不可能なため、壁の変性に要する血流状態の閾値を得ることが難しい。このため、血流によって引き起こされる「力学的負荷によってどこが炎症を起こすか」「炎症した血管が力学的負荷に基づきどのように変形を進めるか」のメカニズムは未だ統一された知見が得られていない。

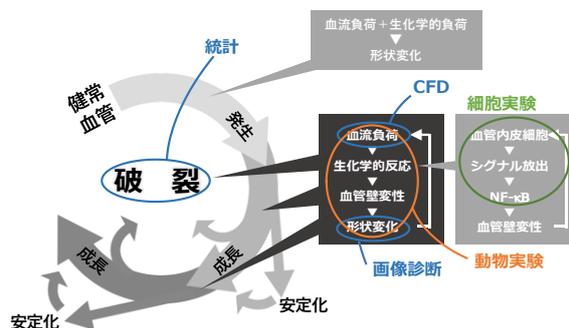


図1 動脈瘤の成長過程

2. 研究の目的

本研究の目的は、血管壁の「炎症」から「変性」において、血流が与える影響を明らかにし、脳動脈瘤成長メカニズムを明らかにすることである。近年、医療画像撮像法の発展に伴い、血管壁およびその周辺で発生した炎症を、核磁気共鳴画像法(MRI)で非侵襲的に観察する技術が開発された。これにより、実際の患者血管内の生体反応を、発見から治療するまでの経過観察中に断続的に観察することが可能となった。したがって本研究では、MRI による炎症部位の診断に対し CFD による流れ負荷分布(壁せん断応力、WSS)を重ね合わせることで、実形状において、炎症を誘起する局所の WSS の閾値を算出する(図2)。

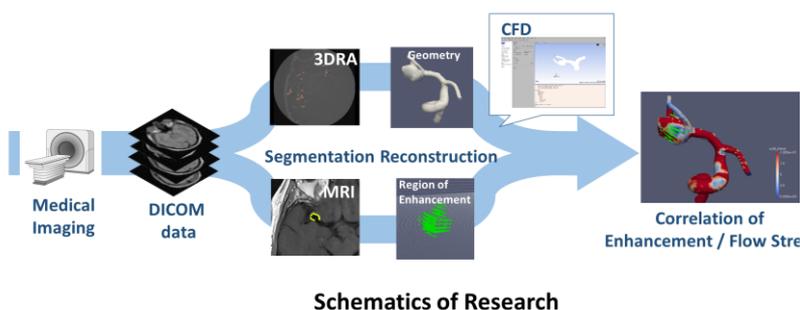


図2 マルチモダリティ解析による炎症部位同定

3. 研究の方法

(1) 脳動脈瘤炎症部位に血流が与える影響

診療プロトコル内で得られる MR ブラックブラッドシーケンスおよび MR-TOF 画像より画像処理を行い、造影剤で増強されている部位のみを抽出する。CFD を行うため、3D-DSA 画像より血管形状の抽出を行う。非定常計算を行い、時平均 WSS の絶対値、および OSI を算出する。MR 脳画像を 3D-DSA 画像に対し位置合わせを行うことで、それぞれ炎症の有無との比較を行う。

(2) 壁せん断応力による血管内皮細胞への影響

生化学的な観点として、炎症反応と血流ストレス分布に関して基礎的知見を得るため、フローチャンバーを用いた細胞実験を行い、流れ負荷環境下における細胞挙動を調べる。血管内皮細胞

を播種した平行チャンバーに培養液還流を行い、さらにチャンバー内に NiTi ワイヤーを留置することで細胞表面にかかる WSS 分布を変化させる。チャンバー底面の細胞数を光学顕微鏡を用いて計測し、24 時間還流後の細胞密度分布を算出する。CFD により得られる WSS 分布の比較を行い、血流ストレスが細胞遊走に与える影響を調べる。

(3) 大規模解析に向けた深層学習ネットワークの構築

血流パラメータと生化学的反応の相関を取るため、大規模な患者群に対して血流解析を行う必要がある。そこで、血流解析を即時化するため、形状から即時に流れ場を出力するシステムを構築する。深層学習技術では多量の学習データを要するため、統計的報告に基づき血管形状 STL データを変形させることで学習データの拡大を行う。血管壁面形状に対する血管内流れ場を推定するため、PointNet をベースとしたデュアルサンプリングネットワークを構築する(図 3)。全ての形状に対して CFD 解析を行い、形状データと合わせて深層学習ネットワークに学習させ、速度および圧力の誤差を算出する。

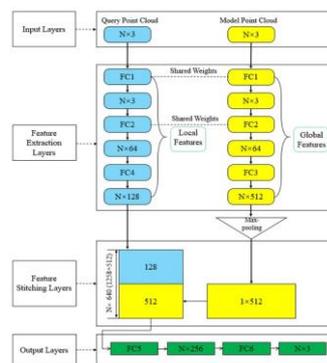


図 3 血流予測のためのデュアルサンプリングネットワーク

4. 研究成果

研究協力施設より得た実形状動脈瘤について、壁面の炎症が見られた小型～中型動脈瘤 7 ケースについて画像解析を行った。MR 増強効果が見られた部位に対して WSS 分布を照らし合わせた結果、特に低 WSS 部位に強い増強効果が見られた。高 WSS 部位は低 WSS と比べ、増強効果が見られなかった。解析を行ったうち 1 ケースは複数動脈瘤が発生したケースであり、一方には炎症が見られたがもう一方には見られなかった。特に 10 年のフォローアップを行ったケースでは、ブレブ発生位置に炎症が見られ、ブレブ方向への動脈瘤伸張が見られた。(図 4) 本研究を基に国際学会招待講演を行った。

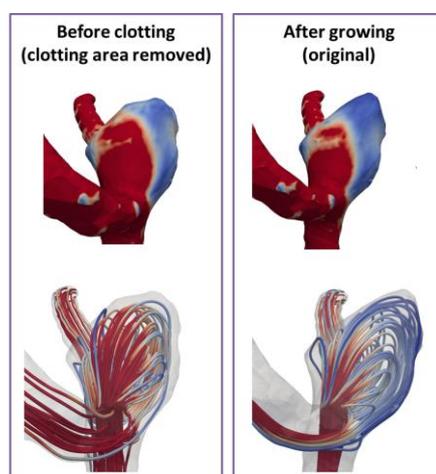


図 4 血栓前後における動脈瘤形状変化

さらに生化学的な観点として、炎症反応と血流ストレス分布に関して基礎的知見を得るため、共同研究として細胞実験を行い、流れ負荷環境下における細胞挙動を調べた。流量およびワイヤー角度を変化させ WSS 分布を変化させた結果、細胞は壁せん断応力分布に応じて遊走し、細胞密度に疎密が生じた(図 5, 6)。造影剤による増強効果は造影剤の壁面への沈着・浸透が原因の一つと考えられるため、動脈瘤壁面における細胞分布は造影による増強効果範囲と照らし合わせるため重要な知見となると考えられる。本研究結果は論文としてまとめており、査読付き論文 1 本が発表されている。

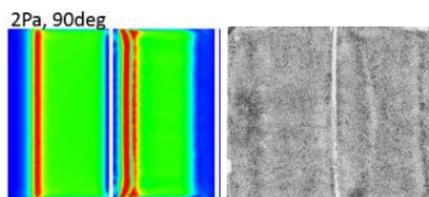


図 5 チャンバー内 WSS と細胞核分布

より大規模な患者群に解析を適用するため、深層学習ネットワークを構築し、血管形状から直接流れ場を推定するシステムを構築した。CFD を GrandTruth とし誤差を評価した結果、速度および圧力の誤差は 10%以下を達成し(図 7)、CFD では 10 分を要した血流解析を 1 秒で行うことが可能となった。したがって、本システムを使うことで CFD を行うより大幅に血流解析速度が向上し、より大規模な患者群に対して血流解析を行い、動脈瘤の発生・進展・破裂に関する血流パラメータの統計解析を行える可能性を得た。本研究は査読付き論文として発表しており、また国際学会における招待講演 2 件を予定している。



図 6 WSS 変化に伴う細胞密度変化

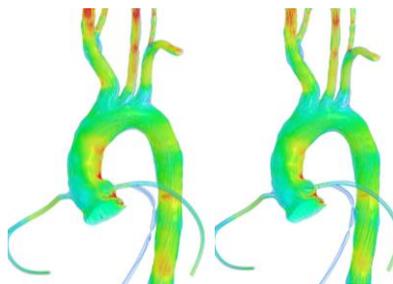


図 7 CFD 結果(左)と深層学習予測

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Zhang Mingzi, Tupin Simon, Anzai Hitomi, Kohata Yutaro, Shojima Masaaki, Suzuki Kosuke, Okamoto Yoshihiro, Tanaka Katsuhiko, Yagi Takanoobu, Fujimura Soichiro, Ohta Makoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Implementation of computer simulation to assess flow diversion treatment outcomes: systematic review and meta-analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of NeuroInterventional Surgery	6. 最初と最後の頁 164 ~ 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1136/neurintsurg-2020-016724	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 Yamaguchi Ryuhei, Kotani Taihei, Tanaka Gaku, Tupin Simon, Osman Kahar, Shafii Nadia Shaira, Khudzari Ahmad Zahran Md, Watanabe Kazuhiro, Anzai Hitomi, Saito Atsushi, Ohta Makoto	4. 巻 7
2. 論文標題 Effects of Elasticity on Wall Shear Stress in Patient-Specific Aneurysm of Cerebral Artery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Flow Control, Measurement & Visualization	6. 最初と最後の頁 73 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/jfcmv.2019.72006	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 Wang Haoran, Anzai Hitomi, Liu Youjun, Qiao Aike, Xie Jinsheng, Ohta Makoto	4. 巻 2020
2. 論文標題 A Hemodynamic-Based Evaluation of Applying Different Types of Coronary Artery Bypass Grafts to Coronary Artery Aneurysms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/9359340	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 Anzai Hitomi, Watanabe Tomohito, Han Xiaobo, Putra Narendra Kurnia, Wang Zi, Kobayashi Hisatoshi, Ohta Makoto	4. 巻 28
2. 論文標題 Endothelial cell distributions and migration under conditions of flow shear stress around a stent wire	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Technology and Health Care	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/THC-191911	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 Wang Haoran, Anzai Hitomi, Liu Youjun, Qiao Aike, Xie Jinsheng, Ohta Makoto	4. 巻 2020
2. 論文標題 Hemodynamic-Based Evaluation on Thrombosis Risk of Fusiform Coronary Artery Aneurysms Using Computational Fluid Dynamic Simulation Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/8507273	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 Li Gaoyang, Wang Haoran, Zhang Mingzi, Tupin Simon, Qiao Aike, Liu Youjun, Ohta Makoto, Anzai Hitomi	4. 巻 4
2. 論文標題 Prediction of 3D Cardiovascular hemodynamics before and after coronary artery bypass surgery via deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Biology	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) 10.1038/s42003-020-01638-1	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 Li Gaoyang, Watanabe Kazuhiro, Anzai Hitomi, Song Xiaorui, Qiao Aike, Ohta Makoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Pulse-Wave-Pattern Classification with a Convolutional Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-51334-2	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 Pan Fangjia, Anzai Hitomi, Mugikura Shunji, Kitamura Ko, Ohta Makoto	4. 巻 3
2. 論文標題 The Relationship Between the Arterial Geometry and Wall Shear Stress in the Vertebrobasilar System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2019 International Mechanical Engineering Congress and Exposition	6. 最初と最後の頁 V003T04A039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/IMECE2019-10866	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 Watanabe Kazuhiro, Anzai Hitomi, Juchler Norman, Hirsch Sven, Bijlenga Philippe, Ohta Makoto	4. 巻 3
2. 論文標題 Influence of Input Image Configurations on Output of a Convolutional Neural Network to Detect Cerebral Aneurysms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2019 International Mechanical Engineering Congress and Exposition	6. 最初と最後の頁 V003T04A023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/IMECE2019-11125	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 Yagi Takano, Ishida Fujimaro, Shojima Masaaki, Anzai Hitomi, Fujimura Souichiro, Sano Takanori, Shinozaki Shun, Yamanaka Yuuma, Yamamoto Yuuto, Okamoto Yoshihiro, Ohta Makoto, Nakamura Masanori, on behalf of the CFD-BIO study group	4. 巻 33
2. 論文標題 Systematic review of hemodynamic discriminators for ruptured intracranial aneurysms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biorheology	6. 最初と最後の頁 53 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17106/jbr.33.53	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 Putra Narendra Kurnia, Palar Pramudita Satria, Anzai Hitomi, Shimoyama Koji, Ohta Makoto	4. 巻 57
2. 論文標題 Multiobjective design optimization of stent geometry with wall deformation for triangular and rectangular struts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Medical & Biological Engineering & Computing	6. 最初と最後の頁 15 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11517-018-1864-6	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29件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 北村 洸, 麦倉俊司, 太田信, 安西 眸
2. 発表標題 MRA 画像を用いた脳底動脈形状の標準化
3. 学会等名 日本機械学会 第30回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 信, Tupin Simon, 安西 眸, 于 凱鴻, Zhang Mingzi, 戸塚 厚, 小助川博之
2. 発表標題 生体組織モデルを用いた医療機器開発へ参加のお誘い
3. 学会等名 第61回 日本脈管学会総会 (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takehiko Sato, Masao Watanabe, Takeru Yano, Yuka Iga, Kazumichi Kobayashi, Toshiyuki Hayase, Jun Ishimoto, Makoto Ohta, Atsuki Komiya, Hidemasa Takana, Kiyonobu Ohtani, Junnosuke Okajima, Satoshi Uehara, Suguru Miyauchi, and Hitomi Anzai
2. 発表標題 Science of Ultrafine Droplet and High Speed Impact
3. 学会等名 The 20th International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mingzi Zhang, Simon Tupin, Hitomi Anzai, Yutaro Kohata, Massaki Shojima, Kosuke Suzuki, Yoshihiro Okamoto, Katsuhiro Tanaka, Takanobu Yagi, Soichiro Fujimura, Makoto Ohta
2. 発表標題 Implementation of Computer Simulation to Assess Flow - Diversion Treatment Outcomes Systematic Review and Meta - Analysis
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Mitsuzuka, Yujie Li, Toshio Nakayama, Hitomi Anzai, Wang Haoran, Makoto Ohta, Simon Tupin
2. 発表標題 CFD Analysis of The Effect of Flush Flow Condition on Angioscopy Visibility
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hitomi Anzai, Mingzi Zhang, Narendra Kurnia Putra, Makoto Ohta
2. 発表標題 Optimization of stent structure based on blood flow simulation
3. 学会等名 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL BIOFLUID 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fangjia Pan, Makoto Ohta, Hitomi Anzai, Shunji Mugikura, Naoko Mori
2. 発表標題 The influence brought by specific boundary conditions on vascular simulations
3. 学会等名 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL BIOFLUID 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Hitomi Anzai, Mingzi Zhang, Kohei Mitsuzuka, Wang Haoran, Ai Kajiyama, Makoto Ohta
2. 発表標題 CFD analysis of AVF for hemodialysis
3. 学会等名 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL BIOFLUID 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutaro Kohata, Hitomi Anzai, Makoto Ohta, Meghane Decroocq, Carole Frindel, Simon RIT
2. 発表標題 A study on Optical Flow Method for Hemodynamics Estimation
3. 学会等名 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL BIOFLUID 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ko Kitamura, Shunji Mugikura, Makoto Ohta, Hitomi Anzai
2. 発表標題 3D Structure Standardization Of Cerebral Artery Using MRA Images For Classification
3. 学会等名 6th International Conference on Computational and Mathematical Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaro Kohata, Anzai Hitomi, Taichi Kin, Ohta Makoto
2. 発表標題 Computational Fluid Dynamics Analysis of Pial Arteriovenous Fistula
3. 学会等名 6th International Conference on Computational and Mathematical Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村 洸, 麦倉俊司, 太田信, 安西 眸
2. 発表標題 MRA 画像を用いた脳底動脈形状の標準化
3. 学会等名 第30回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ohta, Yasutomo Shimizu, Kaihong Yu, Mingzi Zhang, Simon Tupin, Hitomi Anzai
2. 発表標題 Physical and Virtual Arterial Models with Mechanical Properties for Mechanical Testing of Medical Device
3. 学会等名 UTM-IFS 1st Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Gaoyang Li, Hitomi Anzai, Makoto Ohta
2 . 発表標題 Pulse pattern classification of atherosclerotic patients based on convolutional neural network
3 . 学会等名 UTM-IFS 1st Workshop 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kazuhiro Watanabe, Hitomi Anzai, Norman Juchler, Sven Hirsch, Philippe Bijlenga, Makoto Ohta
2 . 発表標題 Influence of Input Patch Sizes on Results of a Convolutional Neural Network to Detect Cerebral Aneurysms from MRA Images
3 . 学会等名 Sixteenth International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Gaku Tanaka, Nadia S. Shafii, Gaku Takizawa, Tomoaki Yamazaki, Simon Tupin, Hitomi Anzai, Kahar Osman, Ryuhei Yamaguchi, and Makoto Ohta
2 . 発表標題 Flow Characteristics of Wall Elasticity in a Full-Scale patient-Specific Middle Cerebral Aneurysm
3 . 学会等名 The Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kohata, H. Anzai, M. Decroocq, S. Rit, C. Frindel, M. Ohta
2 . 発表標題 Angiography-based velocimetry for blood flow
3 . 学会等名 Lyon Saint Etienne & Nippon Scientific Network Engineering sciences Lyon Tohoku Lyon; ELyT Workshop 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Narendra Kurnia Putra, Pramudita Satria Palar, Hitomi Anzai, Koji Shimoyama, Makoto Ohta
2. 発表標題 Multiobjective Optimization of Stent Design towards In-Stent Restenosis
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ko Kitamura, Yujie Li, Mingzi Zhang, Hitomi Anzai, Shuji Mugikura, Makoto Ohta
2. 発表標題 Can morphology or haemodynamic characteristics of vertebrobasilar system be identifier of hypertension
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuhei Yamaguchi, Gaku Tanaka, Taihei Kotani, Kahar Osman, Nadia Shafii, Hitomi Anzai, Makoto Ohta
2. 発表標題 Characteristics of Elasticity on Flow Behavior in Middle Cerebral Aneurysm Model
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yujie Li, Mingzi Zhang, Ko Kitamura, Hitomi anzai, Shuji Mugikura, and Makoto Ohta
2. 発表標題 Dose hypertension history affect morphology or hemodynamic characteristics of ertebrobasilar system? Retrospective study of 249 patients dagnosed with hypertension
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Narendra Kurnia Putra, Zi Wang, Hitomi Anzai, Makoto Ohta
2. 発表標題 Computational Fluid Dynamics Analysis to Predict Endothelial Cells Migration during Flow Exposure Experiment with Placement of Two Stent Wires
3. 学会等名 40th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto OHTA, Masanori KUZE, Simon TUPIN, Kaihong YU, Yasutomo SHIMIZU, Hitomi ANZAI
2. 発表標題 PIV MEASUREMENT IN AN IDEAL ANEURYSMAL MODEL USING A TRANSPARENT COIL MODEL
3. 学会等名 Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF '18) The 17th International Conference on Fluid Flow Technologies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haoran Wang, Hitomi Anzai, Makoto Ohta, Youjun Liu
2. 発表標題 Hemodynamic Study on Coronary Artery Aneurysms with Bypass Surgery
3. 学会等名 ICFD (International Conference of Fluid Dynamics (国際学会))
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haoran Wang, Hitomi Anzai, Youjun Liu, Ohta Makoto
2. 発表標題 Simulation research on hemodynamic of surgery of coronary artery aneurysm
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gaoyang Li, Hitomi Anzai, Kazuhiro Watanabe, Aike Qiao, Xiaorui Song, Makoto Ohta
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークに基づくアテローム性動脈硬化症患者のパルスパターン認識
3. 学会等名 第29回バイオフィロントニア講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊和浩, 安西眸, Norman Juchler, Sven Hirsch, Philippe Bijlenga, 太田信
2. 発表標題 脳動脈瘤抽出用ニューラルネットワークにおける, 入力画像の表現方法の違いによる判定精度への影響
3. 学会等名 第31回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hitomi Anzai
2. 発表標題 An application of deep learning technique for neurovascular research and future diagnosis
3. 学会等名 15th Interdisciplinary Cerebrovascular Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊和浩, 安西眸, 太田信
2. 発表標題 格子ボルツマン法を用いたステントストラット配置が脳動脈瘤流れに与える影響の解析
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 血流場推定装置、学習装置、血流場推定方法及びプログラム	発明者 安西 眸、他	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-033293	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 血流場推定装置、学習装置、血流場推定方法及びプログラム	発明者 安西 眸、他	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/006654	出願年 2021年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 医療画像処理装置および医用画像処理方法	発明者 小杉 隆司、小杉 崇文、太田 信、安 西 眸	権利者 株式会社アール テック
産業財産権の種類、番号 特許、2020-145814	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 標準血管生成装置、血管評価装置、標準血管生成プログラム、血管評価プログラム、標準 血管生成方法及び血管評価方法	発明者 安西 眸、北村 洸、麦倉 俊司、森 菜緒子、太田 信	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-100391	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------