

令和 6 年 9 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K16718

研究課題名（和文）MRIと流体固体相互作用解析の融合による内臓動脈瘤塞栓後の再開通リスク因子の解明

研究課題名（英文）Individualized risk assessment of recanalization of visceral aneurysms using hemodynamic analysis

研究代表者

鎌田 裕基（Kamada, Hiroki）

東北大学・大学病院・医員

研究者番号：00789836

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：内臓動脈瘤に対してコイル塞栓術を施行した6症例を対象に、再開通のリスクについて検討した。患者のCT画像から血管形状を作成し、CFDを行った。コイルで塞栓された瘤内の流れ停滞を表現するために、多孔質体モデルを採用し、流れの停滞の定量化するためにstagnant volume ratio (SVR)を指標とした。全症例で充填率の上昇に伴いSVRは上昇した。再開通例では、充填率が20%未満のSVRの上昇率は、他の症例よりも小さく、実際の充填率でのSVRは最も低かった。以上から、SVRを用いた血流シミュレーションが、最適なPDの選択や治療後のfollow-up最適化に有用な指標となる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医用画像と血流シミュレーションを援用することで、内臓動脈瘤の塞栓後の再開通リスクの評価を行った。内臓動脈瘤は比較的珍しい疾患で、コイルパッキングによる塞栓術を施行する症例は少ない。本研究で示したシミュレーションを用いることで、症例の蓄積が困難な内臓動脈瘤の塞栓術の最適なコイル充填率の選択や治療後のfollow-up最適化に有用な指標となる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：We investigated the risk of recanalization in 6 patients with visceral aneurysm embolization using coil packing. Blood flow simulations were performed using anatomically realistic vessel geometry created from the patient's CT images. A porous media model that represented flow in the embolized aneurysmal region was employed. Stagnant volume ratio (SVR) was used to quantify the flow stagnation within the aneurysm. SVR was elevated, with increased packing density (PD), in all patients. In the patient with recanalization, the rate of increase in SVR for PD < 20% was smaller than that in the other five other patients, and the SVR for the actual PD was the lowest. In the 5 patients without recanalization, the SVR for the actual PD was greater than 80% at Reynolds number of 300. The result suggests that our blood flow simulations focusing on SVR would be useful to determine the clinical endpoint, the optimum individualized PD and to optimize postoperative follow-up of visceral aneurysms.

研究分野：作成中

キーワード：内臓動脈瘤 血流シミュレーション 血管内治療 再開通

## 1. 研究開始当初の背景

内臓動脈瘤は、腹腔動脈や上腸間膜動脈、腎動脈など大動脈から分岐し腹部臓器に栄養する血管に生じる動脈瘤である。近年の超音波検査やコンピュータ断層撮影 (CT) などの画像診断の進歩により、無症状の内臓動脈瘤が以前より発見されやすくなった。内臓動脈瘤は破裂の危険性があることから、直径 2cm で拡大傾向が強いもの、または直径 3cm 以上のものが治療適応となる。血管内治療は、低侵襲性や高い治療成功率のため、一般的な治療法になっている。

内臓動脈瘤に対する血管内塞栓術は、packing 法と isolation 法に大別される。Packing 法では動脈瘤内にコイルなどの塞栓物質を充填し、isolation 法では動脈瘤の流入および流出血管を塞栓する。血管形状により packing 法と isolation 法を併用する手技も用いられている。Packing 法では親血管の血流を維持でき、isolation 法と比較して末梢臓器の虚血を起しにくい。一方で、packing 法には再開通のリスクが伴う。すなわち、コイルの変形や圧縮 (coil compaction)、およびコイル間の不十分な血栓形成により、塞栓した動脈瘤内に血流腔が形成される。再開通は、動脈瘤の再拡大や破裂の原因になるが、その頻度は 6.1~49%と報告されており、充填率 (packing density; PD) の不足との関連性が指摘されている。一方で、内臓動脈瘤の塞栓術における最適な PD はまだ十分に理解されていない。内臓動脈瘤は比較的珍しい疾患 (有病率は 0.01~1%) であり、内臓動脈瘤の中でも頻度の高い脾動脈瘤の塞栓では isolation 法が行われることが多いことが一因と考えられる。コイル間の血栓形成は、再開通なく血管内治療の効果を維持させるために重要である。Virchow triad に基づき、コイル間の流れの停滞が塞栓後の瘤内の血栓化の安定化の鍵であると我々は推測した。

近年の研究では、脳動脈瘤の形成、破裂、拡大のリスク評価における数値流体シミュレーション (computational fluid dynamics; CFD) の有用性が示されている。CFD は、血管内治療や外科的治療における患者固有の血流解析を可能にする。内臓動脈は脳動脈に比べて血管解剖におけるばらつきが大きく、内臓動脈瘤は少数の患者に限られているため、CFD は内臓動脈瘤に対する塞栓治療の個別化リスク評価法として大きな可能性を有している。動脈瘤塞栓における CFD の課題の 1 つは、塞栓部位の血流挙動である。動脈瘤内で絡み合うコイルを幾何学的に再現することは、数値計算のコストを大幅に増加させる。Otani らは、コイル塞栓動脈瘤内の血流を、多孔質媒体を通過する流れとしてモデル化し、コイル塞栓の治療効果がコイル PD だけでなく血管形状にも依存することを示した[1]。

## 2. 研究の目的

本研究では、内臓動脈瘤塞栓後の再開通リスクを血行動態の観点から検討した。患者固有の血管形状に対する血流シミュレーションを行い、6 名の患者を retrospective に検討した。コイルで塞栓された動脈瘤を、多孔質媒体モデルを用いて表現し、動脈瘤内の流れの停滞に着目し、治療効果を評価した。

## 3. 研究の方法

### 対象患者

2015 年 1 月から 2022 年 6 月の期間で、当院で塞栓術を施行された内臓動脈瘤患者 130 人のうち 6 例は、真性動脈瘤に対して packing 法による塞栓術を施行された。患者の平均年齢は 65 歳で、男性 2 人、女性 4 人であった。表 1 に動脈瘤の位置や大きさ、塞栓術の方法、PD、短期的な転帰をまとめた。

表 1. Patient data, location and size of aneurysms, and embolization methods and outcomes

Case number	Age	Sex	Aneurysm site	Size [mm]	Embolization method	Packing density [%]	Stagnant volume ratio [%]	Recanalization
1	80	M	Proper hepatic artery	18.0 × 18.4 × 15.0	Packing	16.0	56.8	y (within 6 month)
2	41	F	Splenic artery	17.8 × 13.4 × 13.0	Packing + outflow vessel embolization	18.5	87	n
3	63	M	Right renal artery	8.4 × 16.3 × 8.7	Packing	33.3	83.9	n
4	57	F	Left renal artery	15.1 × 15.4 × 20.8	Packing	21.6	88.8	n
5	73	F	Right renal artery	19.4 × 13.4 × 13.1	Packing	33.7	93.8	n
6	74	F	Left renal artery	14.7 × 9.1 × 11	Packing + outflow vessel embolization	26.6	98.3	n

### 塞栓術と経過観察

内臓動脈瘤の血管解剖を、術前の造影 CT 動脈相の画像を用いて評価した。CT 装置(SOMATOM Definition Flash, Siemens Healthcare ; Aquilion Precision)を用いた。

6 名の患者は塞栓術後 6 ヶ月以内に画像検査を受け、X 線単純撮影、磁気共鳴画像(MRI)あるいは CT を用いて coil compaction や再開通が評価された。1 名の患者は治療後 6 ヶ月以内に再開通

を認めた。この患者には追加塞栓術が施行され、PDは16%から23%に上昇した。他の患者では再開通はみられず、PDは18~36%であった。

### 血流解析

3D slicer 4.10 (The Slicer Community) を用いて、術前造影 CT の動脈相 (CTA) の再構成画像から血管形状モデルを作成した。血液は非圧縮性のニュートン流体と仮定し、流れは定常と仮定し、連続方程式と Navier-Stokes 方程式で表した：

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} - \mathbf{F} \quad (2)$$

$\mathbf{u}$  は血流の速度ベクトル、 $p$  は圧力、 $\rho$  は密度、 $\mu$  は粘性係数、 $\mathbf{F}$  は外力である。外力  $\mathbf{F}$  は非塞栓領域ではゼロであるが、塞栓領域ではコイルの存在により流れの抵抗として存在する。Otaniら[1]と同様に、塞栓領域の流れに対しても、コイルが一樣に分布しているという仮定のもと、多孔質媒体モデルを採用した。Kozeny-Carman の法則[2]によれば、塞栓領域の外力 (抵抗力)  $\mathbf{F}$  は次式で与えられる。

$$\mathbf{F} = \frac{6f|\mathbf{u}|^2\rho(1-\epsilon)}{D_p\epsilon^2} \frac{\mathbf{u}}{|\mathbf{u}|} \quad (3)$$

$$f = \begin{cases} 5/Re_p & (Re_p < 2) \\ 5/Re_p + 0.4/Re_p^{0.1} & (2 \leq Re_p) \end{cases} \quad (4)$$

$$Re_p = \frac{D_p|\mathbf{u}|\rho}{6(1-\epsilon)\mu} \quad (5)$$

ここで、 $\epsilon$ は空隙率、 $D_p$ は粒子径、 $f$ は多孔質媒体のレイノルズ数 ( $Re_p$ ) によって決まる値である。空隙率 $\epsilon$ は以下のように求められる：

$$\epsilon = \frac{100-PD}{100} \quad (6)$$

ここで  $PD$  は百分率(%)で表される。Kozeny-Carman の式は、微視的な比表面積と空隙率の関係に基づいて、固体粒子充填層を流れる層流の圧力損失を評価するための簡略化された関係式である。

### 塞栓治療の有効性の評価

塞栓効果の指標として、塞栓した動脈瘤内の流れの停滞の変化を定量化した。簡単に説明すると、流れの停滞は Stagnant volume ratio (SVR) [1]、すなわち、動脈瘤の総容積に対する動脈瘤内の停滞容積の比を用いて計算し、SVRは以下のように定義される：

$$SVR = \frac{\sum \Delta V_{\text{threshold}}}{V} \quad (7)$$

ここで $\Delta V_{\text{threshold}}$ は閾値速度 ( $|\mathbf{u}| < u_{\text{threshold}}$ ) より小さい速度を持つ要素体積、 $V$ は動脈瘤の体積である。

### シミュレーション条件

流れシミュレーションの実行には、市販のソフトウェア scFlow version 2022 (Hexagon, Japan) を用いた。そこでは、血液領域は 130,000~155,000 程度の多面体格子に分割した。流体の特性は、 $\rho = 1.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $\mu = 3.5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  とした。内臓動脈瘤の塞栓では、直径 0.010–0.020 inch のコイルを使用した。そのため、多孔体の粒子径は  $D_p = 2.54 \times 10^{-4} \text{ m}$  (= 0.010 inch) とした。境界条件は、入口で一樣な流れ、出口で圧力ゼロ、壁面は non-slip とした。入口の体積流量は、入口の直径に対する Reynolds 数 ( $Re$ ) が 300, 500, 700 に変化するように設定し、報告されている生理学的範囲の値を設定した [3]。流出血管が塞栓された 2 名の患者 (患者 2 と患者 6) では、流出血管の血流は完全に失われたものと仮定し、シミュレーションでは動脈瘤と塞栓された流出血管の境界に壁を定義した。実際の  $PD$  に加え、0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60% の  $PD$  でシミュレーションを行った。実際の  $PD$  は、楕円体と仮定した動脈瘤の体積 ( $V$ ) に対する、それぞれ円柱と仮定した配置コイルの総体積 ( $V_{\text{coil}}$ ) から算出した。

$$PD = \frac{V_{\text{coil}}}{V} = \frac{\sum_i \pi r_{\text{coil},i}^2 l_{\text{coil},i}}{4/3\pi(a/2)(b/2)(c/2)} \quad (8)$$

ここで  $r_{\text{coil},i}$  は半径、 $l_{\text{coil},i}$  はコイル  $i$  の長さ、 $a$ ,  $b$ ,  $c$  はそれぞれ動脈瘤の高さ、長さ、幅である。SVR を計算するための閾値速度は  $u_{\text{threshold}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  とした。

#### 4. 研究成果

##### 塞栓術前後の内臓動脈瘤内の流れの停滞

図 1 に、各症例の塞栓術前後の流れ図を示す。再開通を認めた患者 1 については、初回と 2 回目の塞栓術後の流れも示している。全症例において、塞栓術後に動脈瘤に流入する流線の数は、著明に減少した。再開通を認めた患者 1 では、血流は流入血管の延長線上に位置する動脈瘤 (terminal type) へ直進するような形状を示した。塞栓術により動脈瘤への血流の大部分を不明瞭化させたが、初回塞栓術および追加塞栓術のいずれにおいても動脈瘤頸部から内部への血が残存した。同様の血流パターンは患者 3 と 4 でも見られた。患者 2, 5, 6 では親血管に対して動脈瘤が側壁に分布する形状 (sidewall type) であったが、塞栓後に血流の大部分が不明瞭化した。患者 2 では、塞栓前には動脈瘤内への強い血流を認めたが、塞栓後は患者 5, 6 と同様に動脈瘤内の血流は概ねに遮断された。

##### PD による SVR の変化

図 2 に  $Re=(a)300$ , (b)500, (c)700 における PD と SVR の関係 (PD-SVR 曲線) を示す。実際の PD も示す。 $Re$  に関わらず、SVR は全症例で PD の増加とともに増加した。注目すべきは、患者 1 の SVR の増加傾向が他の患者とは異なっていたことである。患者 1 では、PD-SVR 曲線はシグモイド型 (S 字型) の曲線を示し、PD が 20% 未満の場合の SVR の増加は、他の症例より小さかった。他の症例では、PD-SVR 曲線は上に凸の曲線 (弧状曲線) を示したが、患者 3 では少し異なる傾向を示した。図 2(A) に示すように、患者 1 の初回充填時 (16.0%) の SVR は 56.8% であり、全症例の中で最も小さかった。23.0% の PD で塞栓術を追加すると、SVR は 77.7% に増加した。他の患者では、現在の PD に対する SVR は 80% 以上であった。患者 2, 3, 4, 5, 6 の PD と SVR は、それぞれ 18.5% と 87.0%、34.0% と 83.9%、21.6% と 88.8%、33.7% と 93.8%、26.6% と 98.3% であった。図 2(A), (B), (C) を比較すると、同じ PD でも  $Re$  が増加すると SVR が小さくなることがわかる。

##### 考察

本研究の主な結果は以下のように要約される：(1) 患者間で SVR の増加傾向に差異を認め、特に  $PD < 40\%$  において顕著であった。(2) 再開通を認めた患者 1 の初回塞栓術後の SVR は他の症例よりかなり低かった。

##### 瘤内の血流停滞の評価による塞栓術のエンドポイントの決定と follow-up の最適化

PD が高いことが望ましいが、動脈瘤に可能な限り十分なコイルを留置した後に、コイルを追加することは技術的に困難である。臨床的には、技術的な困難さ、手技時間、コストの問題から、PD は通常 50% 以下であろう。内臓動脈瘤の塞栓術に最適な PD はまだ十分に理解されていないが、24% 以上の PD で塞栓術を受けた患者では、塞栓術後 12 ヶ月以内にコイルの圧縮や再開通は観察されなかったという報告がある [4]。最大径が 2cm を超える比較的大きな動脈瘤では、PD が低いと coil compaction や再開通が起こりやすい [4]。脳動脈瘤に対する最適な PD は 20~30% である [5-8]。再開通を認めた患者 1 を除く全ての患者に対してコイル留置は十分だったと考えられる。

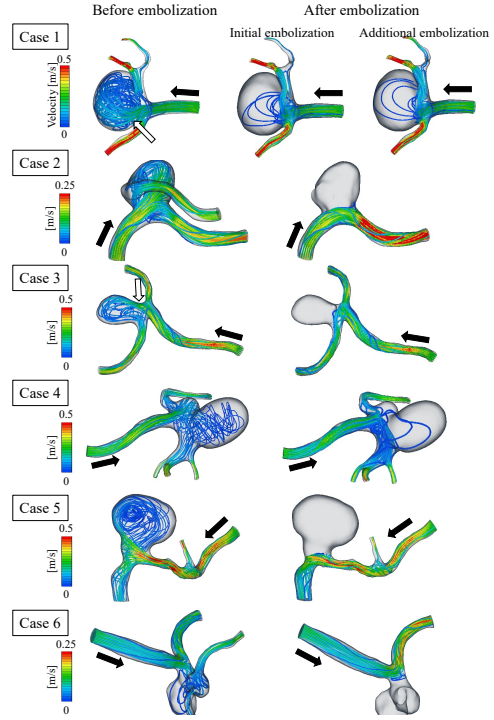


図 1. Streamlines in the visceral artery aneurysm before and after embolization for  $Re = 300$ .

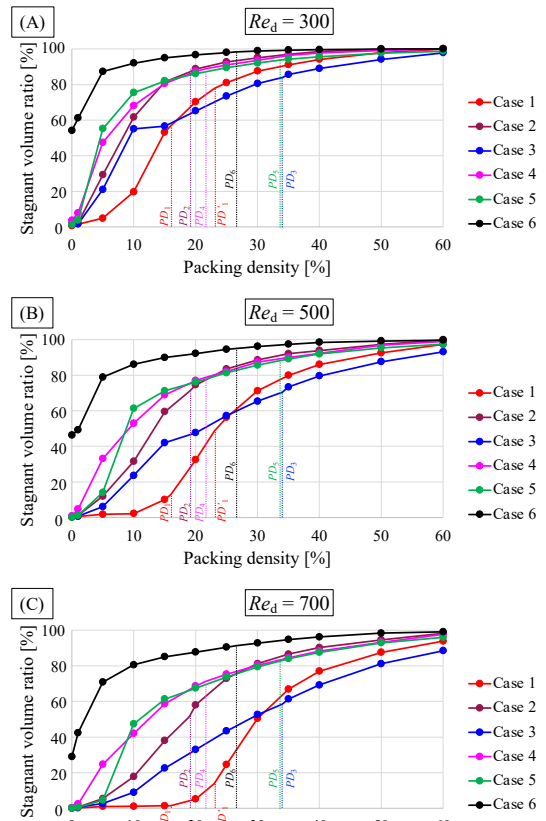


図 2. Stagnation volume ratio (SVR) with packing density (PD) variation for (A)  $Re = 300$ , (B) 500, and (C) 700. The square on the SVR-PD curve for each patient represents the SVR at the current PD. For patient 1, the triangle on the SVR-PD curve represents the SVR after additional embolization.

PD の治療域 (40%未満) では SVR の増加傾向に顕著な差がみられた。実際の PD における SVR は、再開通を認めなかった 5 名の患者で  $Re=300$  で 80%以上であった。図 2 に示すように、これらの SVR は PD-SVR 曲線上の SVR の増加が緩やかな部分に位置していた。一方、再開通を認めた患者 1 では、初回塞栓時の SVR は PD-SVR 曲線の急峻な部分にあった。このことは、患者 1 ではコイルの追加留置が、動脈瘤内流れの停滞に有効であったことを示唆している。実際、追加塞栓術は SVR を増加させ (PD : 23%, SVR : 77.7%), それによってさらなる再開通を避けることができた。

動脈瘤の SVR を個別に評価することは、臨床的エンドポイントの設定に有用であろう。不十分なコイルリングはコイルの圧縮や再開通につながる。この研究で示されたように、患者 2-6 では実際の PD で 80%以上の SVR が達成された。さらに、PD-SVR 曲線から、患者 2-6 ではさらなるコイルリングは SVR のさらなる上昇に有意に寄与しないことが示された。本研究で示された血流シミュレーションは、個々に最適な PD を見つけるのに役立つであろう。また、術前に最適 PD を評価することで、不必要なコイルの使用を防ぎ、手技時間とコストを節約することができる。

PD-SVR の評価は、術後 follow-up の時期や頻度の決定に役立つであろう。実際の塞栓術では、動脈瘤内へのカテーテルシステムの推進、動脈瘤から逸脱することなくコイルの位置を制御することはしばしば困難である。このような技術的な難しさが、適切なコイル留置の妨げとなり得る。実際の PD で、瘤内に十分な血流停滞が得られない症例に対しては、慎重な follow-up の方針を設定すべきである。

### 再開通リスク評価のための流れの停滞と血管形状

過去の研究では、血管形状が脳動脈瘤における血行動態に重要な因子であることが示されてきた[9,10]。Otani らは幾何学的に理想的な血管モデルを用いて血管形状と動脈瘤内の流れの停滞との関係を検討し、sidewall type の動脈瘤は PD が低くても容易に停滞するのに対し、terminal type の動脈瘤は、特に動脈瘤が親血管に対して傾斜している場合、停滞にはより高い PD が必要であることを示した[1]。患者 1 と 3 では、動脈瘤は terminal type であったが、PD が 40%未満では SVR の増加は低かった。Terminal type の動脈瘤では、血流が直進的に動脈瘤内を通過し、動脈瘤内の流れが停滞しにくい。その他の症例では sidewall type の動脈瘤であったが、少量のコイル留置でも動脈瘤内流れが停滞した。これらの結果は Otani らによる以前の報告[1]と一致している。

内臓動脈は、複雑な分岐や血管異常、動脈硬化性変化による蛇行などのために、血管形状に大きなばらつきがある。医用画像から作成された実際の血管形状に基づく血流シミュレーションは、実際の塞栓術を想定した流れの検討を可能とし、内臓動脈瘤の塞栓効果評価を個別化するための有効な手段になる。

### 結論

本研究では、内臓動脈瘤塞栓における血流シミュレーションを行った。治療域における PD に対する SVR の変化は患者間で大きく異なっていた。SVR は、全患者で PD の増加とともに上昇したが、その上昇傾向は患者間で異なっていた。再開通を認めた患者では、SVR の増加率は、再開通を認めなかった患者と比較して軽度であった。本研究は、SVR が塞栓術のエンドポイントを決定し、follow-up を最適化するため指標になることを示唆している。さらに、血流シミュレーションにより同一患者における複数の塞栓の状況を術前検討することは、内臓動脈瘤塞栓の治療方針を選択する上で重要な意味を持つと考えられる。

### 参考文献

1. Otani T, et al. Computational fluid dynamics of blood flow in coil-embolized aneurysms: effect of packing density on flow stagnation in an idealized geometry. *Med Biol Eng Comput.* 2013 Aug;51(8):901-10.
2. Carman PC, Fluid flow through granular beds, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 1938; 15, 150-66.
3. Doutel E, Galindo-Rosales FJ, Campo-Deaño L. Hemodynamics Challenges for the Navigation of Medical Microbots for the Treatment of CVDs. *Materials (Basel).* 2021 Dec 2;14(23):7402.
4. Yasumoto T, et al. Long-term outcomes of coil packing for visceral aneurysms: correlation between packing density and incidence of coil compaction or recanalization. *J Vasc Interv Radiol.* 2013 Dec;24(12):1798-807.
5. Kawanabe Y, et al. Endovascular occlusion of intracranial aneurysms with Guglielmi detachable coils: correlation between coil packing density and coil compaction. *Acta Neurochir (Wien).* 2001;143(5):451-5.
6. Sluzewski M, et al. Relation between aneurysm volume, packing, and compaction in 145 cerebral aneurysms treated with coils. *Radiology.* 2004 Jun;231(3):653-8.
7. Tamatani S, et al. Evaluation of the stability of aneurysms after embolization using detachable coils: correlation between stability of aneurysms and embolized volume of aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2002 May;23(5):762-7.
8. Yagi K, et al. Evaluation of aneurysm stability after endovascular embolization with Guglielmi detachable coils: correlation between long-term stability and volume embolization ratio. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2005 Nov;45(11):561-5;
9. Cebra JR, et al. Characterization of cerebral aneurysms for assessing risk of rupture by using patient-specific computational hemodynamics models. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005 Nov-Dec;26(10):2550-9.
10. Meng H, et al. High WSS or low WSS? Complex interactions of hemodynamics with intracranial aneurysm initiation, growth, and rupture: toward a unifying hypothesis. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014 Jul;35(7):1254-62.

## 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 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kamada Hiroki, Nakamura Masanori, Ota Hideki, Higuchi Satoshi, Takase Kei	4. 巻 80
2. 論文標題 Blood flow analysis with computational fluid dynamics and 4D-flow MRI for vascular diseases	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cardiology	6. 最初と最後の頁 386 ~ 396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jjcc.2022.05.007	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 Hiroki Kamada, Hideki Ota, Masanori Nakamura, Wenyu Sun, Tatsuo Aoki, Haruka Sato, Koichiro Sugimura, Kei Takase	4. 巻 148
2. 論文標題 Quantification of vortex flow in pulmonary arteries of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 110142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejrad.2021.110142	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 Kamada Hiroki, Nakamura Masanori, Ota Hideki, Oguro Sota, Higuchi Satoshi, Sato Tomomi, Takase Kei	4. 巻 37
2. 論文標題 Individualized risk assessment of recanalization of visceral aneurysms using stagnation of intra-aneurysmal flow	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Biorheology	6. 最初と最後の頁 73 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17106/jbr.37.73	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 Kamada Hiroki, Seiji Kazumasa, Oguro Sota, Ota Hideki, Yanagaki Satoru, Omata Kei, Tezuka Yuta, Ono Yoshikiyo, Morimoto Ryo, Satoh Fumitoshi, Takase Kei	4. 巻 34
2. 論文標題 Utility of Carbon Dioxide Venography and Intraprocedural CT for Adrenal Venous Sampling in Patients with an Allergy to Iodinated Contrast Media	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Vascular and Interventional Radiology	6. 最初と最後の頁 1963 ~ 1969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvir.2023.07.021	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 Kamada Hiroki, Sato Tomomi, Oguro Sota, Ota Hideki, Takase Kei	4. 巻 19
2. 論文標題 Two-session embolization of portosystemic shunt presenting with hepatic encephalopathy via transvenous and trans-paraumbilical approaches: A case report	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Radiology Case Reports	6. 最初と最後の頁 2112 ~ 2116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radcr.2024.02.057	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 -

〔学会発表〕 計2件(うち招待講演 2件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鎌田裕基, 中村匡徳
2. 発表標題 数値流体シミュレーションによる血流解析と脈管診断,
3. 学会等名 脈管学(Web) 60(supplement) 2020年(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田裕基
2. 発表標題 医療における血流解析 ~臨床と工学の乖離~
3. 学会等名 日本機械学会 第34回バイオエンジニアリング講演会(福岡) 2022年(招待講演)
4. 発表年 2022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
---------	---------