

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月5日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K10783

研究課題名(和文) 数値流体解析の個別化による血管内治療後の脳動脈瘤再発の術前予測

研究課題名(英文) Preoperative prediction of aneurysm recurrence after endovascular surgery using individualized computational fluid dynamics

研究代表者

見崎 孝一 (Misaki, Kouichi)

金沢大学・附属病院・講師

研究者番号：20507082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では数値流体力学的解析結果を脳動脈瘤に応用することで血管内手術後の脳動脈瘤の再発の予測因子を探索した。その結果血管内手術によってコイルで塞栓された部位の圧力が高まるのが危険因子であった。本解析は従来の数値流体力学的解析と同様に全ての患者に同じ条件で行っており、本来異なる個人差に基づいて解析していない点に問題があると考えられた。しかしこの問題は解析による結果の無次元化によって解決し、動脈瘤の再発因子である圧力差は感度100%、特異度93%と高い数値を示した。以上より当初必要と考えられた解析の個別化は不要で、本研究によって数値流体力学的解析による精度の高い治療前の再発予測が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

くも膜下出血の原因である脳動脈瘤の治療は、従来から行われる開頭クリッピング手術は治療後の再発が約1%と少ないが、開頭手術であるため侵襲が大きい欠点がある。一方、瘤内コイル塞栓術は大動脈の穿刺によって行えるため侵襲が少ないが、欠点はコイルの継続的な圧縮による動脈瘤の再発で、約10-15%に再治療が必要となる点にある。本研究によって血管内治療後の再発因子を治療前に予測できるようになったため、再発を回避する治療方針をたてることが可能となったことは臨床的に有用で意義深い。

研究成果の概要(英文)：In this study, we evaluated the risk factors of aneurysm recurrence after endovascular surgery using computational fluid dynamics. Our study showed that high pressure at the virtual coil surface is risk factor of aneurysm recurrence. The problem concerning individualization of the analysis was resolved by normalization of the results. The pressure elevation calculated with normalization showed high values of sensitivity (100%) and specificity (93%) for aneurysm recurrence. We can predict the aneurysm recurrence by preoperative analysis of pressure elevation with high accuracy.

研究分野：脳神経外科

キーワード：数値流体解析 脳動脈瘤 血管内手術 再発 圧力 無次元化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

くも膜下出血の原因である脳動脈瘤の治療は、顕微鏡が導入された約半世紀前から開頭クリッピング手術で行われた。1991年に電気離脱式のコイルが開発されてから血管内手術(瘤内コイル塞栓術)で治療される症例が増えた。従来から行われる開頭クリッピング手術は治療後の再発が約1%と少ないが、開頭手術であるため侵襲が大きい欠点がある。一方、瘤内コイル塞栓術は大動脈の穿刺によって行えるため侵襲が少ない。しかしこの歴史の浅い血管内治療の欠点はコイルの継続的な圧縮による動脈瘤の再発で、約10-15%に再治療が必要となる点にある。低侵襲である血管内手術が全国に普及し年間約8,000件の血管内手術が行われるが、再発をきたす年間約1,000人を回避するためには治療前に再発を確実に予測して再発のない確実な治療法を選択する必要がある。

2. 研究の目的

動脈瘤再発の機序はまだ十分に解明されておらず、動脈瘤が大きく(動脈瘤の因子)コイルの充填率が低い(コイルの因子)症例に多いということしか知られていないがコイルに加わる血流の力、すなわち流体力学的因子が関連することが経験的に推測されてきた。申請者はこの疑問に答えるべく数値流体力学(CFD)解析を行い、高い精度で治療前に再発を予測できるシステムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

数値流体力学的解析結果を脳動脈瘤に応用して血管内手術後の脳動脈瘤の再発の予測因子を探索した。数値流体解析から得られたデータと、動脈瘤因子(部位、最大径、ネック径)、コイルに関するデータ(コイル体積塞栓率、コイル形状と硬さ)、再発のデータ(再発の時期、部位、程度)を調べて再発の関連因子を統計学的に解析した。

4. 研究成果

本研究で再発因子を検討したところ血管内手術によってコイルで塞栓された部位の圧力が高まることが危険因子であることを明らかにして英語論文にした。本解析は従来の数値流体力学的解析と同様に全ての患者に対して同じ条件で行っており、本来異なる個人差に基づいて解析していない点に問題があると考えられた。しかしこの問題は解析による結果を無次元化することによって解決でき、動脈瘤の再発因子である圧力差は感度100%、特異度93%と高い数値を示した。以上より当初必要と考えられた解析の個別化は不要であるとの結論に至った。本研究によって数値流体力学的解析によって脳動脈瘤再発の因子が明らかとなり、より精度の高い治療前の再発予測が可能となった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計11件)

1. Nambu I, Misaki K, Uchiyama N, Mohri M, Suzuki T, Takao H, Murayama Y, Futami K, Kawamura T, Inoguchi Y, Matsuzawa T, Nakada M
High pressure in virtual post-coiling model is a predictor of internal carotid artery aneurysm recurrence after coiling.
Neurosurgery. 2019,84:607-615, doi:10.4103/2152-7806.198729 (査読有)
2. Mohri M, Ichinose T, Uchiyama N, Misaki K, Nambu I, Takabatake Y, Nakada M
Hyperperfusion syndrome after trapping with high-flow bypass for a giant paraclinoid internal carotid artery aneurysm
World Neurosurg 2018,115:143-146, doi:10.1016/j.wneu.2018.04.081 (査読有)
3. Misaki K, Uchiyama N, Inaki A, Kinuya S, Nambu I, Kamide T, Mohri M, Hayashi Ya, Nakada M
Objective evaluation of cerebrovascular reactivity for acetazolamide predicts cerebral hyperperfusion after carotid artery stenting: Comparison with region of interest methods
J Neuroradiol 2018,45:362-367, doi:10.1016/j.neurad.2018.02.008 (査読有)
4. Aida Y, Misaki K, Kamide T, Mohri M, Uchiyama N, Nakada M
Physical risk factors of hemorrhagic complications associated with Angio-Seal closure device use in neurointerventional procedures
World Neurosurg 2018,111:e850-e855, doi:10.1016/j.wneu.2017.12.179 (査読有)
5. Misaki K, Uchiyama N, Mohri M, Nakada M
Carotid artery plaque diagnosis using CT
J Neuroendovasc Ther 2018, 12:592-596 doi:https://doi.org/10.5797/jnet.ra.2018-0052(査読有)

6. Misaki K, Takao H, Suzuki T, Nishimura K, Kan I, Yuki I, Ishibashi T, Yamamoto M, Murayama Y
Estimated pretreatment hemodynamic prognostic factors of aneurysm recurrence after endovascular embolization
Technol Health Care 2017, 25: 843-850, doi:10.3233/THC-160495 (査読有)
7. Yoshiki K, Misaki K, Nambu I, Fukui I, Mohri M, Uchiyama N, Nakada M
Intraoperative rupture of unruptured cerebral aneurysm during craniotomy: A case report
Case Rep Neurol 2017, 9: 261-266, doi:10.1159/000480425 (査読有)
8. Futami K, Nambu I, Kitabayashi T, Sano H, Misaki K, Uchiyama N, Nakada M. Inflow hemodynamics evaluated by using four-dimensional flow magnetic resonance imaging and the size ratio of unruptured cerebral aneurysms.
Neuroradiology 2017, 59:411-418, doi:10.1007/s00234-017-1801-7 (査読有)
9. Kamide T, Misaki K, Nambu I, Mohri M, Uchiyama N, Nakada M. Delayed asymptomatic coil migrations toward different arteries after aneurysmal embolization: case report.
Acta Neurochir (Wien) 2017, 159, 593-598, doi:10.1007/s00701-017-3083-6 (査読有)
10. Futami K, Kitabayashi T, Sano H, Misaki K, Uchiyama N, Ueda F, Nakada M. Inflow Jet Patterns of Unruptured Cerebral Aneurysms Based on the Flow Velocity in the Parent Artery: Evaluation Using 4D Flow MRI.
Am J Neuroradiol. 2016, 37, 1318-1323, doi:10.3174/ajnr.A4704 (査読有)
11. Misaki K, Uchiyama N, Nambu I, Aida Y, Kamide T, Mohri M, Ueda F, Nakada M. Optimizing the volume of the initial framing coil to facilitate tight packing of intracranial aneurysms.
World Neurosurg. 2016, 90, 397-402, doi:10.1016/j.wneu.2016.03.027 (査読有)

[学会発表](計 10 件)

1. Misaki K, Nambu I, Uno T, Uchiyama N, Nakada M. : Clinical significance of computational fluid dynamics for aneurysm recurrence after coiling.
Pavlov First St. Petersburg State Medical University International Day of DNA-2019 VI International conference, April 25-26, 2019
2. Misaki K, Nambu I, Uno T, Uchiyama N, Nakada M.: Clinical significance of computational fluid dynamics for aneurysm recurrence after coiling.
The 6th Japan Russia Neurosurgical Symposium, May 20, 2018
3. Uno T, Misaki K, Nambu I, Uchiyama N, Nakada M. : Recurrence factor after coil embolization using computational fluid dynamics.
2018 CNS Annual Meeting, October 6-10, 2018
4. 見崎孝一、宇野豪洋、南部育、吉川陽文、内山尚之、中田光俊：術前の再発予測に基づいた脳動脈瘤塞栓術の治療戦略
第 28 回脳神経外科手術と機器学会 平成 31 年 4 月 12 日
5. 見崎孝一、南部育、吉川陽文、内山尚之、中田光俊：ステント内閉塞を繰り返した CAS の 1 例
第 51 回日本脳神経血管内治療学会中部地方会 平成 31 年 4 月 6 日
6. 見崎孝一、二見一也、宇野豪洋、南部育、内山尚之、中田光俊：未破裂脳動脈瘤に流入する血流の流体力学的検証 CFD と 4D flow MRI の比較
第 48 回日本脳卒中の外科学会学術集会、平成 31 年 3 月 21 日
7. 宇野豪洋、見崎孝一、南部育、内山尚之、中田光俊：術中 ICG 蛍光血管造影による脳動脈瘤における CFD 解析の妥当性の検証
第 14 回日本脳神経外科光線力学学会、平成 30 年 11 月 2 日
8. 見崎孝一、宇野豪洋、南部育、内山尚之、中田光俊：コイル塞栓後の脳動脈瘤再発を術

前に予測する数値流体力学解析法の開発

第 77 回脳神経外科学会学術総会, 平成 30 年 10 月 10 日

9. 見崎孝一: コイル塞栓後の脳動脈瘤再発を術前に予測する数値流体力学解析法の開発
第 10 回ライフサイエンス研究交流セミナー 平成 30 年 9 月 25 日
10. 見崎孝一、内山尚之、吉田優也、宮下勝吉、吉川陽文、筒井泰史、出村宗大、中田光俊: ス
 Tent 併用コイル塞栓術後に再発を来した内頸動脈血豆状破裂脳動脈瘤の 1 例
第 50 回日本脳神経血管内治療学会中部地方会 平成 30 年 8 月 4 日

〔図書〕(計 0 件)

〔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

6 . 研究組織

(1) 研究分担者 : なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : 南部育

ローマ字氏名 : Nambu Iku

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。