

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：32409

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15933

研究課題名（和文）仮想血管閉塞モデルを用いた非侵襲的側副血行路の評価法の開発

研究課題名（英文）Non-invasive evaluation of cerebral collateral flow using virtual vessel occlusion model

研究代表者

栗原 伴佳（Kuribara, Tomoyoshi）

埼玉医科大学・医学部・客員講師

研究者番号：10793242

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：CTA画像に数値流体力学を応用した血流シミュレーションにより、STA-MCAバイパス術におけるドナー血管側の解剖学的変化が術後血流変化に影響を与える可能性があることを示した。また、同様のシミュレーションにより脳主幹動脈を試験的に閉塞するバルーン閉塞試験の結果を予測できる可能性があることを示した。加えて、急性期脳主幹動脈閉塞患者の治療成績を後方循環閉塞、動脈硬化性病変の観点からそれぞれ示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に、脳主幹動脈閉塞症による脳梗塞は死亡や重度の後遺症に繋がりがやすいことが知られている。主幹動脈閉塞の非侵襲的な血流シミュレーションを行うこと、主幹動脈閉塞患者の治療成績を示すことは、これらの患者の新規の治療法開発や転機改善に繋がる可能性がある。それにより、社会的には医療費の削減などが期待される。

研究成果の概要（英文）：Blood flow simulation by computational fluid dynamics using CTA images showed that anatomical changes on the donor vessel in may affect postoperative blood flow changes STA-MCA bypass surgery. We also showed that similar simulations might predict the outcome of balloon test occlusion for cerebral large vessels. In addition, the results of treatment for patients with acute large vessel occlusion were shown in terms of posterior circulation occlusion and atherosclerotic lesions, respectively.

研究分野：脳神経外科学

キーワード：機械的血栓回収療法 数値流体力学 側副血行路 バルーン閉塞試験 もやもや病 血行再建術 血流シミュレーション 脳梗塞

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳主幹動脈閉塞症による脳梗塞は死亡や重い後遺症に繋がる疾患であり、日本における医療費の増加に大きく関与している。脳主幹動脈閉塞時の血流変化を予測する検査として、バルーン閉塞試験がある。脳主幹動脈閉塞の可能性がある手術の術前に実際にバルーン付きカテーテルを用いて試験的に対象の脳主幹動脈を閉塞させて脳の血流変化を確認する検査であるが、血管閉塞時の患者の神経学的所見の確認を行う必要があるため覚醒下で行うなど、かなりの侵襲を伴う。近年、診断画像装置の進化により、特に造影剤を用いることで非常に鮮明な脳血管画像を撮像することが可能となっており、その画像を用いて数値流体力学を応用した血流シミュレーションを行うことで脳動脈瘤の増大・破裂を予測しようという試みが行われている。中には、脳血管バイパス術前後の脳血流変化を予測しようという報告もある。以上のような経過から、術前の鮮明な CTA 画像に対して数値流体力学解析を行うことにより、バルーン閉塞試験のように実際に脳主幹動脈を閉塞することなく、非侵襲的に血流変化を予測することが可能なのではないかと考えた。

2. 研究の目的

CTA 画像に数値流体力学を応用した血流シミュレーションを行うことで、脳血管主幹動脈閉塞時の血流変化を非侵襲的に予測することを目的とした。それにより、脳主幹動脈閉塞症患者における臨床転帰の改善、引いては医療費改善に繋げることで学術的・社会的貢献出来ることを目指した。

3. 研究の方法

CTA 画像に数値流体力学を応用した血流シミュレーションを行い、実際の臨床結果との比較を行う。治療・検査介入前の CTA 画像を用いて解析を行い、主に治療・検査後の CT perfusion の各種パラメーターとの相関を検討した。対象はもやもや病に対して STA-MCA バイパス術を行なった患者、バルーン閉塞試験を施行した患者とした。加えて、脳主幹動脈閉塞症に対して機械的血栓回収療法を行った患者の治療成績を後方循環脳主幹動脈閉塞症、動脈硬化性閉塞の観点からそれぞれ検討した。

4. 研究成果

バルーン閉塞試験に対する数値流体力学解析は複雑であるため、前段階として血流シミュレーションに慣れる目的もあり、23 例 30 側のもやもや病に対する血行再建術後症例において、CTA 画像におけるドナー血管の数値流体力学解析結果と、CT perfusion で評価した術前後の血流変化との相関を検討した。術前の CTA 画像に対する数値流体力学解析により得られたドナー血管の予測流量と術前後の CT perfusion における血流に關与する各種パラメーターの変化との相関を認めた。もやもや病に対する血行再建術後の血流変化に関しては、これまでレシipient側の状態にしか注目されていなかった。本報告の結果は、レシipient側のみならず、ドナー側の解剖学的情報の術後血流変化への影響を示唆するものである。

また、仮想血管閉塞モデルを用いた非侵襲的側副血行路の評価法を開発すべく、21 例のバルーン閉塞試験施行症例において、CTA 画像を元に数値流体力学解析を施行し、バルーン閉塞試験の結果と数値流体力学解析の結果との相関を検討した。CTA 画像を元に施行した数値流体力学解析における閉塞側中大脳動脈の予測流量及び壁せん断応力と、バルーン閉塞試験中に施行した血管撮影所見、スタンププレッシャー、CT perfusion の各種パラメーターとの相関を認めた。本結果は、数値流体力学解析によりバルーン閉塞試験を施行することなく、非侵襲的に側副血行路の評価が可能であることを示唆するものである。

また、これらの結果を実際の臨床と照らし合わせる目的で、急性期脳主幹動脈閉塞に対する機械的血栓回収療法の治療成績に関して検討した。急性期脳主幹動脈閉塞症に対する機械的血栓回収療法は現在標準的な治療法ではあるが、その治療戦略は病態、施設毎に様々である。今回は前方循環脳主幹動脈閉塞症を後循環脳主幹動脈閉塞症と、加えて動脈硬化性閉塞を他の病態による閉塞とそれぞれ比較することとした。後方循環脳主幹動脈閉塞症と前方循環脳主幹動脈閉塞症で比較した全 353 例の検討においては、同様の予後良好、再開通率が得られることが示唆された。当初より急性期前方循環脳主幹動脈閉塞症における機械的血栓回収療法の有効性は十分に示されていたが、今回の検討により、後方循環閉塞症にお

いても前方循環閉塞症同様に機械的血栓回収療法が有用である可能性が示唆された。続いて、全 322 例を対象とした機械的血栓回収療法における動脈硬化性病変のリスク因子の検討、その他の病態における閉塞との比較を行った。入院時に心房細動が検出されていないこと、喫煙歴があること、内頸動脈病変であること、頭部 MRA における他血管の 25%以上の狭窄性変化があることが動脈硬化性病変による閉塞の予測に重要であることが示唆された。また、動脈硬化性病変による閉塞と他の病態における閉塞（主に心原性脳塞栓症）とを比較すると、動脈硬化性病変による閉塞において、追加で内科的治療、血管形成術、ステント留置術が必要となる可能性が高くなり、手技時間は長くなるが、有効再開通率、転帰良好、死亡率に有意差は認めなかった。今回の検討は急性期脳主幹動脈閉塞症のより正確な病態把握、治療法の選択、臨床転帰の改善に寄与するものと思われる。

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 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kuribara Tomoyoshi, Mikami Takeshi, Iihoshi Satoshi, Hirano Toru, Sasamori Daisuke, Nonaka Tadashi, Mikuni Nobuhiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Virtual test occlusion for assessing ischemic tolerance using computational fluid dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surgical Neurology International	6. 最初と最後の頁 378
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.25259/SNI_439_2021. eCollection 2021.	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 Kuribara Tomoyoshi, Iihoshi Satoshi, Tsukagoshi Eisuke, Teranishi Akio, Kinoshita Yu, Sugawara Shin, Kohyama Shinya, Takahashi Shinichi, Kurita Hiroki	4. 巻 Mar;63(3)
2. 論文標題 Thrombectomy for acute large vessel occlusion in posterior and anterior circulation: a single institutional retrospective observational study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neuroradiology	6. 最初と最後の頁 565-574
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00234-021-02799-4. Epub 2021 Sep 3.	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 Kuribara Tomoyoshi, Sato Hiroki, Iihoshi Satoshi, Tsukagoshi Eisuke, Teranishi Akio, Kinoshita Yu, Sugawara Shin, Kohyama Shinya, Takahashi Shinichi, Kurita Hiroki	4. 巻 -
2. 論文標題 Preprocedural Prediction of Underlying Atherosclerotic Lesions in Cerebral Large-Vessel Occlusions: Clinical Backgrounds, Radiological Findings, and Treatment Outcomes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Atherosclerosis and Thrombosis	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5551/jat.63135. Online ahead of print.	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 Kuribara Tomoyoshi, Mikami Takeshi, Komatsu Katsuya, Kimura Yusuke, Kim Sangnyon, Miyata Kei, Akiyama Yukinori, Enatsu Rei, Hirano Toru, Mikuni Nobuhiro	4. 巻 30
2. 論文標題 Preoperatively estimated graft flow rate contributes to the improvement of hemodynamics in revascularization for Moyamoya disease	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases	6. 最初と最後の頁 105450 ~ 105450
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105450	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

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 栗原伴佳、新田勇介、宮崎寛、苗代弘、神山信也、北秀行
2. 発表標題 Combined Procedure First Strategyによる機械的血栓回収療法の治療成績
3. 学会等名 第38回NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kuribara Tomoyoshi, Kohyama Shinya, Teranishi Akio, Tsukagoshi Eisuke, Sato Hiroki, Kinoshita Yu, Iihoshi Satoshi, Takahashi Shinichi, Kurita Hiroki
2. 発表標題 Underlying atherosclerotic lesions in cerebral large-vessel occlusions: clinical backgrounds, radiological findings, and treatment outcomes
3. 学会等名 16th Congress of World Federation of Interventional and Therapeutic Neuroradiology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗原伴佳、佐藤大樹、飯星智史、塚越瑛介、寺西亮雄、木下由宇、菅澤真、神山信也、高橋慎一、栗田浩樹
2. 発表標題 急性期脳主幹動脈閉塞症における動脈硬化性病変の術前予測と治療成績
3. 学会等名 第47回日本脳卒中学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kuribara Tomoyoshi, Iihoshi Satoshi, Sato Hiroki, Tsukagoshi Eisuke, Teranishi Akio, Kinoshita Yu, Sugasawa Shin, Kohyama Shinya, Takahashi Shinichi, Kurita Hiroki
2. 発表標題 Preprocedural prediction and treatment outcome of underlying atherosclerotic lesion in acute large vessel occlusion
3. 学会等名 NPO法人第37回日本脳神経血管内治療学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Kuribara Tomoyoshi、Iihoshi Satoshi、Sato Hiroki、Tsukagoshi Eisuke、Teranishi Akio、Kinoshita Yu、Sugasawa Shin、Kohyama Shinya、Takahashi Shinichi、Kurita Hiroki
2. 発表標題	Mechanical thrombectomy for acute large vessel occlusion: posterior circulation vs. anterior circulation
3. 学会等名	NPO法人第37回日本脳神経血管内治療学会総会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	栗原伴佳、飯星智史、塚越瑛介、寺西亮雄、木下由宇、菅澤真、神山信也、高橋慎一、栗田浩樹
2. 発表標題	前方循環と比較した後方循環急性期主幹動脈閉塞症に対する機械的血栓回収療法
3. 学会等名	第80回日本脳神経外科学会総会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	栗原 伴佳、三上 毅、小松 克也、木村 友亮、秋山 幸功、江夏 怜、平野 透、三國 信啓
2. 発表標題	もやもや病血行再建術における術前STA予測血流は術後血流変化に影響する
3. 学会等名	第39回The Mt.Fuji Workshop on CVD
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	栗原 伴佳、三上 毅、飯星 智史、笹川 彩佳、河田 由香、宮田 圭、金 相年、小松 克也、木村 友亮、江夏 怜、秋山 幸功、平野 透、三國 信啓
2. 発表標題	バルーン閉塞試験におけるCT perfusionを用いた虚血耐性の定量化
3. 学会等名	第29回脳神経外科手術と機器学会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 栗原 伴佳、三上 毅、金 相年、宮田 圭、小松 克也、木村 友亮、飯星 智史、平野 透、三國 信啓
2. 発表標題 バルーン閉塞試験における CT perfusion を用いた虚血耐性の評価
3. 学会等名 NPO法人第36回日本脳神経血管内治療学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗原 伴佳、三上 毅、小松 克也、木村 友亮、金 相年、宮田 圭、秋山 幸功、江夏 怜、平野 透、三國 信啓
2. 発表標題 もやもや病血行再建術における術前 STA 予測血流が術後血流変化に与える影響
3. 学会等名 第46回日本脳卒中学会学術集会
4. 発表年 2020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
---------	---------