

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K16432

研究課題名(和文)3Dプリンタによる腹部内臓動脈瘤の血管モデル開発～最適な塞栓術を目指して～

研究課題名(英文)An attempt to create a blood vessel model with visceral aneurysm by 3D printer

研究代表者

駒田 智大 (Komada, Tomohiro)

名古屋大学・医学部附属病院・病院講師

研究者番号：80718354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：腹部内臓動脈瘤のカテーテル治療に対して、3Dプリンタで作成された血管モデルの有用性について研究を行った。最初は、無料のソフトや外注業者などを用いることで、作成費用が4,000円以下で作成が可能であったが、径5mm以下の細い血管の再現は困難であった。次に、企業と共同研究で、ハイドロゲルを用いた脳動脈瘤の血管モデルの作成を行った。5mm以下の細い血管モデルが作成できたが、カテーテルやワイヤーを挿入すると摩擦抵抗が強く、カテーテルを奥に進めるのが難しかった。さらに、院内にレジンを用いた3Dプリンタを導入し、1日以内に血管モデルの作成を行うことができるようになり、日常臨床への応用も進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、3Dプリンタの技術革新により、安価で高精度の立体造形が可能となっており、医療の分野でも普及しつつある。しかしながら、カテーテル治療に役立つ血管モデルの作成についてはあまり実用化されていない。今回我々の行った研究でも、実際にカテーテルを挿入できる血管モデルの作成は未だ困難であったが、血管の分岐を立体的に再現することで、血管解剖の把握が容易になり、治療の難しい症例へのシミュレーションや若手医師への教育に有用な可能性がある。当院では、3Dプリンタで作成された血管モデルは、治療の難しい腹部大動脈瘤に対してのステントグラフト挿入術などに活用されており、より安全な医療の提供に役立っている。

研究成果の概要(英文)：The usefulness of vessel models created by a 3D printer for catheterization of abdominal visceral aneurysms was studied. At first, by using free software and outsourcing companies, it was possible to create the model at a cost of less than 4,000 yen, but it was difficult to reproduce small blood vessels with a diameter of 5 mm or less. Next, in a joint research with a company, a vascular model of a cerebral aneurysm was created using hydrogel. 5 mm or smaller thin vessel models could be created, but when a catheter or wire was inserted, frictional resistance was strong, making it difficult to advance the catheter deeper. Furthermore, a 3D printer using resin was introduced in the hospital, enabling the creation of a vascular model within a day, and its application to daily clinical practice has progressed.

研究分野：放射線医学

キーワード：IVR 放射線医学 3Dプリンタ 血管モデル 血管塞栓術

1. 研究開始当初の背景

腹部内臓動脈瘤は比較的稀な疾患であり、その頻度は人口の約1%程度とされているが、日常診療でCTやMRIが頻繁に施行されるようになり、未破裂の状態でも偶発的に発見されることが多くなってきている。動脈瘤破裂による致死率は高く、動脈瘤の部位や文献によって異なるものの8.5~28.3%と報告されている。腹部内臓動脈瘤の治療に関して、その低侵襲性と合併症率の低さ、治療成功率の高さからカテーテル治療が第一選択となっている。腹部内臓動脈瘤は、脾動脈や腎動脈などあらゆる血管に生じ、形状や大きさも多様である。研究代表者も臨床現場で様々な症例に遭遇するが、動脈瘤の多彩さゆえに、治療を行うべきかを含め、最適な治療法に悩むことがある。

近年3Dプリンタにより、安価に高精度な臓器モデルを作成することが可能となってきている。症例ごとの血管モデルを作成することも可能で、特に大血管でのIVRにおいて、大動脈瘤へのステントグラフト留置(Schmauss D et al. Ann Thorac Surg 2014)や大動脈低形成へのステント留置(Valverde I et al. Catheter Cardiovasc Interv 2015)における治療前のシミュレーションに血管モデルが有用であったとの報告がある。従来の3Dプリンタで作成されたモデルは樹脂や石膏などを用いた硬いものであったが、ラバーライクの素材ではより柔軟性の高いモデルが作成可能となってきている。

2. 研究の目的

- (1) 画像処理方法や3Dプリンタの機種、素材を組み合わせ、実際の血管に近い物質的特性を有する血管モデルを作り出す方法を確立する。症例ごとに実際のカテーテル治療と対比させることで、血管モデルの完成度を向上させる。
- (2) 作成された血管モデルを使用して、実臨床での有用性の検討と、教育への効果を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 3Dプリンタでの血管モデルの作成

当院でIVR治療目的に撮影されたCTやMRIの画像のDICOMデータより、血管の情報だけを抽出する。抽出された血管データ(DICOMデータ)を3Dプリンタに対応したデータフォーマット(SLT形式)への変換を行う。CAD(computer aided design)ソフトで、血管の造形を行えるように、不要な部位を削除し、実際の血管に近い形状へと編集を行う。その作成したデータを元に、工業用3Dプリンタで作成を行っている「出力サービス」や、共同研究を行っているRICOH(株)に血管モデルの作成を依頼する。様々な種類の血管モデルを作成することで、生体の血管に近いモデルの作成を目指す。

(2) 本物の血管に近づけるために、血管モデルの品質向上

作成できた血管モデルを、どの程度の末梢血管まで再現できているのか、柔軟性は適当かといった点を、視覚や触覚で確認し、その完成度をin vitroで評価する。さらにカテーテルが挿入可能か、カテーテルを挿入した感触、カテーテルを動かすための潤滑油の種類、目視でのカテーテルの視認性、X線透視装置での視認性などを比較し、検討を行う。

(3) 内臓動脈瘤の塞栓術への臨床応用

3Dプリンタで作成した動脈瘤の血管モデルを用いて、立体的な血管解剖、カテーテルの実際の動きを検討し、内臓動脈瘤のカテーテルによる塞栓術のシミュレーションを行う。そして、金属コイルなどの塞栓物質の費用の軽減や手技時間の短縮、患者さんの被ばくの軽減に有用かを検証する。結果をフィードバックし、血管モデルの完成度をさらに向上させる。

4. 研究成果

CT や MRI の DICOM データから 3D プリンタによる血管モデルの作成方法の確立

まず、腹部の MRA の DICOM データより、ワークステーション (Zaiostation 2[®]、ZIOFSOFT) により血管の情報のみを抽出し、STL 形式のデータとして、抽出した。フリーソフトの CAD ソフト (Autodesk MeshMixture[®]、AUTODESK) で血管データの周囲に壁を作成し、中空構造の血管の STL データに編集した。作成した STL データを 3D プリンターサービス (DMM.make) でゴムライクの素材で造形出力した (図 1)。柔軟性のある実寸大の中空構造の腹部の血管モデルが作成でき、作成費用も 4,000 円以下と低コストであった。血管モデル内に 4F カテーテルが挿入でき、生体内と同じような感覚でカテーテルの操作ができたが、この方法では、血管径 5 mm 程度が限界であり、それ以下の細い血管では内腔がつぶれてしまい、カテーテルの挿入が困難となることがわかった。



図 1：外注で作成したゴムライクの血管モデル

ハイドロゲルを用いた 3D プリンタでの血管モデルの作成の試み

通常の 3D プリンタでは、カテーテルのシミュレーターとなるような細い血管モデルの作成は困難であったが、リコー株式会社と共同研究を行うこととなり、リコーが独自に開発したハイドロゲルを用いた 3D プリンタで細径の血管モデルを作成できることとなった。ハイドロゲルを用いた 3D プリンタで脳動脈瘤の血管モデルを作成し、金属コイル留置のシミュレーターとしての実用性を検討した。ハイドロゲルは柔らかく、血管壁のみを作成するのは困難であったので、今回は立方体の中に血管の形状を中空にした血管モデルとした (図 2)。マイクロカテーテルとワイヤーを挿入してみたが、モデルとの抵抗が強くスムーズにカテーテルを進めることができなかった。サラダオイルを潤滑油として用いたりしてみたが、通常感覚とは異なる結果であった。この成果については CIRSE2019 (Barcelona) で発表した。

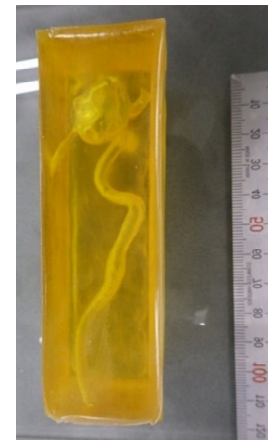


図 2：ハイドロゲルを用いた血管モデル

臨床における 3D プリンタで作成した血管モデルの有用性の検討

今までは、3D プリンタでの出力は外注しており、作成までに数日を必要とするために、臨床での応用が限られていたが、施設内に 3D プリンタの Form 3[®] (formlabs) と CAD ソフトの Mimisc Innovation Suite[®] (Materialize) が導入され、数時間で血管モデルが作成できるようになり、臨床応用が容易になった。Form 3[®] は、レジンを用いて光凝固で作成する方式で、モデルのサイズにより作成時間が異なるが、長くても 24 時間程度で作成することができる。その後、洗浄機で 10 分間洗浄し、30 分程度乾燥させ、2 次硬化装置で 15 分間硬化させて、サポート材を除去して完成である。また、Mimisc Innovation Suite[®] は、医療用に開発された CAD ソフトで、DICOM データから必要なデータの抽出と加工を行うことができ、フリーソフトではできないような高度なデータの編集が可能となった。実際に治療に難渋した脾動脈瘤や静脈瘤の血管塞栓術に対して、血管モデルを作成し、術前のシミュレーターとしてしようすることで、治療を完遂できた (図 3)。この結果については、論文として症例報告とした (Komada T et al. Nagoya J Med Sci 2022)。また、腎動脈分岐部まで広がった腹部大動脈瘤に対して、枝付きステントグラフトの症例に対して、3D プリンタで作成された血管モデルを術前シミュレーターとして用いて、手技の安全性向上に貢献している。また、若手医師が治療



図 3：血管モデルを用いた脾動脈瘤塞栓術のシミュレーション

に難渋した症例に対しても、3D プリンタで作成した血管モデルを用いて、指導を行っており、若手医師たちより高評価を得ている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Komada Tomohiro, Suzuki Kojiro, Oshima Kazuo, Matsushima Masaya, Nagasaka Ken, Naganawa Shinji	4. 巻 30
2. 論文標題 Balloon-Occluded Retrograde Transvenous Obliteration for Fundal Gastric Variceal Bleeding in a Small Child	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Vascular and Interventional Radiology	6. 最初と最後の頁 1624 ~ 1625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvir.2019.06.022	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 Ito Jun, Komada Tomohiro, Suzuki Kojiro, Matsushima Masaya, Nakatochi Masahiro, Kobayashi Yumiko, Ebata Tomoki, Naganawa Shinji, Nagino Masato	4. 巻 27
2. 論文標題 Evaluation of segment 4 portal vein embolization added to right portal vein for right hepatic trisectionectomy: A retrospective propensity score matched study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences	6. 最初と最後の頁 299-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jhbp.723	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 T. Komada, T. Kamomae, M. Matsushima, R. Hyodo and S. Naganawa	4. 巻 84
2. 論文標題 Embolization using patient-specific vascular models created by a 3D printer for difficult cases: a report of two cases	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nagoya J Med Sci	6. 最初と最後の頁 477-483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18999/nagjms.84.2.477	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 駒田智大
2. 発表標題 3Dプリンタを活用したI V R
3. 学会等名 東愛知I V R検討会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Komada, Takeshi Kamomae, Takashi Matsumura, Takuya Saito, Tatsuya Niimi, Masaya Matsushima, Ryota Hyodo, Shinji Naganawa
2. 発表標題 An attempt to create a hollow blood vessel model by direct inkjet 3D printing with nano-composite hydrogel for IR
3. 学会等名 CIRSE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 駒田智大
2. 発表標題 ハイドロゲルを用いた3Dプリンタによる血管モデル作成の試み
3. 学会等名 第46回日本IVR学会総会
4. 発表年 2017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
---------	---------