

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32202

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K08743

研究課題名(和文)先天性心疾患の治療シミュレーションのための、新しく簡便な立体心臓模型作製の研究

研究課題名(英文) Study on novel and simple methods of creating 3D heart models for treatment simulation of congenital heart disease

研究代表者

片岡 功一 (Kataoka, Koichi)

自治医科大学・医学部・客員研究員

研究者番号：30379771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：2014年に、我々は、市販のパーソナル3Dプリンターを用いて患者データから立体心臓模型を作製する、簡便で新しい手法を考案した。この手法を用いて、2015年1月から2021年12月までに患者のCT画像データから模型を作製し、外科手術やカテーテル治療のシミュレーションに応用する研究を行った。研究者の異動やCOVID-19感染流行の影響を受け、研究計画は遅れがちになってきた。現在、この模型を用いたシミュレーションは有効であるとの評価のもと、論文化する作業中である。我々は、本研究の結果の一部を、日本小児循環器学会などで発表してきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先天性心疾患の患者ごとに作製した模型を用いて手術やカテーテル治療のシミュレーションができれば、治療成績は格段に向上すると考えられる。模型の作製は、従来専門業者に委託するしかなく高額でもあり、日常診療への応用・普及はほとんど進んでいない。本研究によって、手術やカテーテル治療のシミュレーションに有用な精確性を有し、かつ安価な中空立体心臓模型を、自施設で簡便に作製できるシステムが確立した。本研究の成果は、先天性心疾患に対する外科手術およびカテーテル治療の成績の向上につながる。本研究は、最新の3Dプリント技術の実臨床への応用という学術的意義を有するとともに、医療経済面での寄与という社会的意義も有する。

研究成果の概要(英文)：In 2014, we devised a simple and new method to create a three-dimensional (3D) heart model from patient data using a commercially available personal 3D printer. Using this method, from January 2015 to December 2021, we created 3D heart models from the patient's CT image data and evaluated their usefulness for simulations of surgical and/or catheter interventions. Due to the transfer of researchers and the influences of COVID-19 pandemic, the research plan tended to be delayed. We are currently writing a paper based on the final conclusion that simulations using this model are effective. At present, we are in the process of writing a paper based on the evaluation that the simulations using these models are very useful. We have presented some of the results of this research at academic conferences such as the Japanese Society of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery.

研究分野：心臓血管外科学関連

キーワード：先天性心疾患 シミュレーション 心臓模型 3Dプリント CT

1. 研究開始当初の背景

近年バーチャル・リアリティ技術、3Dプリンター装置の発達が目覚ましい。先天性心疾患は多様性に富むため、個々の患者について作製した立体心臓模型を用いて手術やカテーテル治療の計画立案・シミュレーションができれば、治療成績は格段に向上すると考えられる。心内構造の再現には中空立体模型が必要であるが、通常のパーソナル 3D プリンターは熱溶解積層方式で、中実模型しか造形できない。専門業者は高価な光造形方式の装置を用いて中空模型を作製するが、委託すると 1 個あたり数十万円と高額になり、立体心臓模型は臨床現場にほとんど普及していない。

当院脳神経外科では、数年前から独自の手法で脳動脈の中空立体模型を作製してきた¹⁾。この方法を応用すれば、市販のパーソナル 3D プリンターで作製した中実立体模型を鋳型にして中空立体模型が作製できると考えた。模型の材質は透明シリコンを選択し、1 個あたり数千～2万円程度で作製できる。研究者らは数症例の患者 CT 画像データから中空立体心臓模型を作製し、実際に手術やカテーテル治療の計画立案やシミュレーション、患者と家族への説明での臨床応用を試みていた²⁾(図 1、2)(第 51・52 回日本小児循環器学会シンポジウムで発表)。この作製法によれば低コストで短時間に自施設内で模型を作製しうる。現行の作製法を発展させ、多くの施設で容易に模型を作製・使用できるシステムを構築したいと考えた。

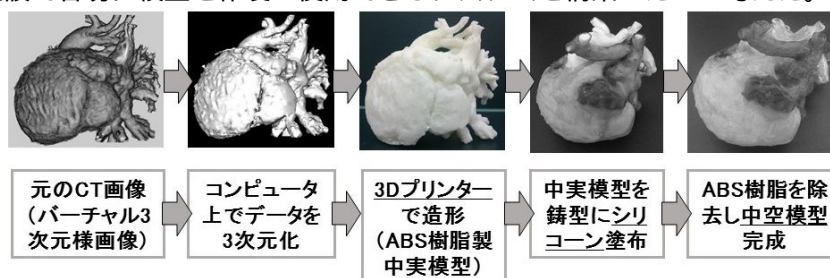


図 1 CT 画像から中空立体心臓模型作製のプロセス

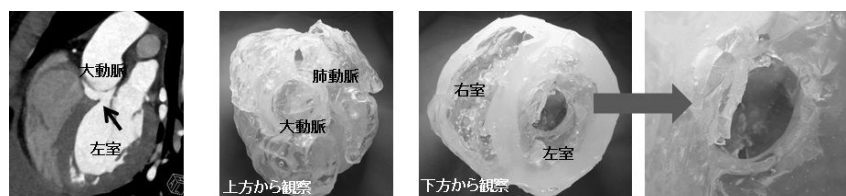


図 2 CT 画像と中空立体心臓模型の比較：大動脈弁下狭窄の評価

CT 画像では大動脈弁下の狭窄 () を 2 次元的にしかとらえられないが、立体模型ではどの部分をどの程度切除すればよいか、理解し易い。

2. 研究の目的

自施設で患者特異的心臓模型を作製して外科手術やカテーテル治療をシミュレーションし、治療成績を向上させる。

3. 研究の方法

2015 年 1 月 1 日から 2021 年 12 月 31 日までを対象とした。先天性心疾患患者で診療上の必要性から治療前に CT 撮像を行い、当院で外科手術またはカテーテル治療を受けた症例のうち、CT 画像データを基に中空立体心臓模型を作製した症例を対象とした。カルテから後方視的に得た臨床情報およびアンケート調査より以下の 4 つの項目について検討を行うことを計画した。

- 1) 心臓模型作成の過程で生じる元 CT 画像データと模型との間の誤差の評価
- 2) 心臓血管外科医への聞き取り調査による心臓手術における心臓模型の有用性評価
- 3) 心臓カテーテル治療における心臓模型を用いたシミュレーションの有用性評価
- 4) 患者・家族への治療説明の際の心臓模型の有用性評価

造影 CT 検査は通常の診療上の必要性から施行し、立体模型の作製とシミュレーション、研究への参加について同意を得た。

Primary outcome を 立体心臓模型の外科手術における有用性、 立体心臓模型の心臓カテーテル治療における有用性とし、Secondary outcome を 立体心臓模型の精度、患者・家族への治療説明への有用性とした。

4. 研究成果

COVID-19 感染拡大の影響を受け、研究は当初の計画より大幅に遅れてしまった。現在、最終的な成果を論文化する作業中である。作製した模型を用いて手術計画立案・シミュレーションを行った心臓血管外科医への聞き取り調査では、手術時間短縮に寄与したとする項目も含め、有用性が高いと評価された。模型による心臓形態の再現度は元の CT 画像に規定されるため、CT 画像で捉えきれなかった形態異常は模型でも再現しえず、シミュレーションには限界があることも判明した。有用性が高くない症例も少数みられたが、事前のシミュレーションが病態の誤

解を招き、かえって悪影響を及ぼしたとする症例はなく、全体として模型を使用したシミュレーションは非常に有用であると評価された。研究の期間中、作製した中実模型による手術シミュレーションが有用であった、非常に稀で複雑な疾患の症例については報告を行った³⁾。模型によるシミュレーションはカテーテル治療においても有用であり、研究期間中に動脈管開存に対するカテーテル治療について報告した⁴⁾。以上から、手術やカテーテル治療のシミュレーションに有用な精確性を有し、かつ安価な中空立体心臓模型を、自施設で簡便に作製できるシステムを確立したと結論づけた。この模型作製法は、多くの施設で日常診療に応用できると考える。

<引用文献>

- 1) Toshihiro Mashiko , Keisuke Otani , Ryutaro Kawano , Takehiko Konno , Naoki Kaneko , Yumiko Ito , Eiju Watanabe , Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping , World Neurosurg , volume 83 , 2015 , 351-61
- 2) 片岡 功一 , 河田 政明 , 松原 大輔 , 岡 健介 , 鈴木 峻 , 南 孝臣 , 今井 靖 , 患者データから自施設で作製した中空立体模型を用いた , 成人動脈管開存の経皮的閉鎖術シミュレーション , Journal of JPIC , 2 巻 , 2017 , 14-20
- 3) Shun Suzuki , Mitsuru Seki , Koichi Kataoka , Reina Koga , Tomoyuki Sato , Masaaki Kawada , Takanori Yamagata , Successful Management in an Infant Patient of PHACE Syndrome with a Complicated Aortic Arch Anomaly , Case Reports in Pediatrics , volume 22 , 2022 , 1-6
- 4) Daisuke Matsubara , Koichi Kataoka , Hironori Takahashi , Takaomi Minami , Takanori Yamagata , A Patient-Specific Hollow Three-Dimensional Model for Simulating Percutaneous Occlusion of Patent Ductus Arteriosus , International Heart Journal , volume 60 , 2019 , 100-107

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kana Kubota, Yasushi Imai, Yusuke Ishiyama, Koichi Kataoka, Gaku Ohki, Masaaki Kawada, Kazuomi Kario	4. 巻 24
2. 論文標題 Long-term survival without surgical intervention in a patient with a natural history of a single right ventricle: A case report	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cardiology Cases	6. 最初と最後の頁 56-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jccase.2020.12.013	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 Kensuke Oka, Mitsuru Seki, Koichi Kataoka, Tomoyuki Sato, Yasushi Imai, Takanori Yamagata	4. 巻 61
2. 論文標題 Percutaneous Atrial Septal Defect Closure in Adult Ebstein's Anomaly with Exertional Hypoxemia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Heart Journal	6. 最初と最後の頁 620-623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1536/ihj.19-641	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 片岡功一	4. 巻 36
2. 論文標題 18トリソミーおよび13トリソミー児の心臓血管手術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本小児循環器学会雑誌	6. 最初と最後の頁 3-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9794/jspccs.36.3	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 -
1. 著者名 Matsubara D, Kataoka K, Takahashi H, Minami T, Yamagata T	4. 巻 60
2. 論文標題 A Patient-Specific Hollow Three-Dimensional Model for Simulating Percutaneous Occlusion of Patent Ductus Arteriosus.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Heart Journal	6. 最初と最後の頁 100-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1536/ihj.17-742	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 Kataoka Koichi, Kawada Masaaki, Matsubara Daisuke, Oka Kensuke, Suzuki Shun, Minami Takaomi, Imai Yasushi	4. 巻 41
2. 論文標題 Simulation using patient-specific hollow three-dimensional models for percutaneous closure of patent ductus arteriosus in adult: Complete republication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自治医科大学紀要	6. 最初と最後の頁 21-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 河田政明	4. 巻 42
2. 論文標題 【循環器領域における新たな分野-成人先天性心疾患に挑む】 成人先天性心疾患を理解するために必要な手術方法への理解 Jatene、Mustard(Senning)、Rastelli、ダブル・スイッチ、Fontan(TCPC)を識る	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ICUとCCU	6. 最初と最後の頁 497-505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11501/3472289	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 河田政明	4. 巻 62
2. 論文標題 【成人先天性心疾患】 知っておきたい先天性心疾患の術式	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 臨床検査	6. 最初と最後の頁 288-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.1542201534	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 Shun Suzuki, Mitsuru Seki, Koichi Kataoka, Reina Koga, Tomoyuki Sato, Masaaki Kawada, Takanori Yamagata	4. 巻 22
2. 論文標題 Successful Management in an Infant Patient of PHACE Syndrome with a Complicated Aortic Arch Anomaly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Case Reports in Pediatrics	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2022/5947951	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11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 片岡功一, 中川直美, 岡本健吾, 川本祐也, 豊田裕介, 荻野梨恵, 鎌田政博, 上榎仁志, 福嶋遥佑
2. 発表標題 カテーテル治療により血行動態を修正しえた右上大静脈左房還流の幼児例
3. 学会等名 第33回日本先天性心疾患インターベンション学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 峻, 古井 貞浩, 岡 健介, 横溝 亜希子, 松原 大輔, 関 満, 佐藤 智幸, 河田 政明, 山形 崇倫
2. 発表標題 心臓中空立体模型でシミュレーションし心内reroutingできた多脾症、左側静脈還流、PAPVC、不完全型AVSDの1例
3. 学会等名 第58回日本小児循環器学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡功一, 中川直美, 福嶋遥佑, 岡本健吾, 上榎仁志, 鎌田政博, 臺 和興, 兵頭洋平, 西岡健司
2. 発表標題 35mmを超える閉鎖栓を要した成人ASD症例の特徴と治療戦略：限界症例に挑む
3. 学会等名 第23回日本成人先天性心疾患学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡功一, 中川直美, 福嶋遥佑, 岡本健吾, 上榎仁志, 鎌田政博, 臺 和興, 兵頭洋平, 西岡健司
2. 発表標題 30mm以上のlarge ASDに対するデバイス選択
3. 学会等名 第32回日本先天性心疾患インターベンション学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関 満, 片岡功一, 鈴木峻, 古井貞浩, 岡健介, 佐藤智幸, 鷓垣伸也, 吉積功, 河田政明, 山形崇倫
2. 発表標題 小児心臓手術における立体心臓模型の有用性と限界: 7年間の臨床応用からみえるもの
3. 学会等名 第57回日本小児循環器学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片岡功一, 河田政明, 関満, 佐藤智幸, 古井貞浩, 鈴木峻, 安済達也, 横溝亜希子, 今井靖, 甲谷友幸
2. 発表標題 成人先天性心疾患の特徴とカテーテル治療における注意点
3. 学会等名 第31回日本Pediatric Interventional Cardiology学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片岡 功一, 河田 政明, 松原 大輔, 佐藤 智幸, 関 満, 横溝 亜希子, 古井 貞浩, 鈴木 峻, 安済 達也, 吉積 功, 鷓垣 伸也
2. 発表標題 立体心臓模型を利用した最適な手術設計: 実臨床での有用性とpitfall
3. 学会等名 第55回日本小児循環器学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡 功一, 松原 大輔, 古井 貞浩, 安済 達也, 関 満, 佐藤 智幸, 森田 裕介, 鈴木 峻, 岡 健介, 河田 政明
2. 発表標題 治療困難な動脈管開存に対する中空立体模型を用いた経皮的閉鎖術シミュレーション
3. 学会等名 第55回日本小児循環器学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡功一, 河田政明, 松原大輔, 岡 健介, 古井貞浩, 鈴木 峻, 安済達也, 南 孝臣, 吉積 功, 鶴垣伸也
2. 発表標題 患者データから作製した心臓立体模型を用いた手術シミュレーションの有用性とpitfall
3. 学会等名 第54回日本小児循環器学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡功一, 松原大輔, 岡 健介, 鈴木 峻, 古井貞浩, 安済達也, 南 孝臣, 今井 靖, 久保田香菜, 河田政明
2. 発表標題 動脈管形態に合わせた最適な閉鎖デバイスの選択 ~ 中空立体模型を用いた, 経皮的閉鎖術シミュレーションの有用性
3. 学会等名 第29回JPIC学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡功一, 松原大輔, 岡 健介, 古井貞浩, 安済達也, 森田裕介, 関 満, 佐藤智幸, 河田政明
2. 発表標題 最適なデバイス選択のための, 中空立体模型を用いた冠動脈瘻閉鎖シミュレーション
3. 学会等名 第30回JPIC学術集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 片岡功一, 日本小児循環器学会 (編)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 診断と治療社	5. 総ページ数 4
3. 書名 9.末梢性肺動脈狭窄 in 小児・成育循環器学	

1. 著者名 河田政明, 日本小児循環器学会 (編)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 診断と治療社	5. 総ページ数 7
3. 書名 22.Ebstein病 in 小児・成育循環器学	

〔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
研究分担者	河田 政明 (Kawada Masaaki) (30177703)	自治医科大学・医学部・教授 (32202)	
研究分担者	鈴木 峻 (Suzuki Shun) (00625379)	自治医科大学・医学部・助教 (32202)	
研究分担者	関 満 (Seki Mitsuru) (20822357)	自治医科大学・医学部・講師 (32202)	

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
---------	---------