

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K17559

研究課題名（和文）人工知能を用いた、胸部X線写真から血行動態指標を予測する方法の開発

研究課題名（英文）Artificial intelligence-based analysis of chest X-ray to predict hemodynamic parameters

研究代表者

鳥羽 修平（Toba, Shuhei）

三重大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：20806111

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：胸部X線写真から先天性心疾患診療における重要な血行動態指標である肺体血流比を予測する人工知能を開発し、特許を出願した。さらにその応用として、成人循環器領域において胸部X線写真から血行動態指標を予測する人工知能や、小児12誘導心電図を自動判読する心電図を開発した。それぞれの成果につき、論文、国内・国際学会で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、人工知能により胸部X線写真から血行動態（カテーテル検査結果）を予測できることを世界で初めて示し、それが小児・成人を問わず様々な血行動態指標に応用可能であることを示した。より低侵襲かつ簡便な胸部X線写真から血行動態を正確に予測できれば、小児・成人循環器診療において、正確な血行動態評価を頻回に行うことができるようになり、より優れた医療の実現につながる。

研究成果の概要（英文）：We developed artificial intelligence to predict pulmonary to systemic flow ratio, an important hemodynamic index for patients with congenital heart disease, from chest radiographs, and applied for a patent. In addition, we have developed an artificial intelligence to predict hemodynamics from chest radiographs in the field of adult cardiology, and an artificial intelligence that automatically classifies pediatric 12-lead electrocardiograms. The results were presented in a journal and at national and international conferences.

研究分野：先天性心疾患

キーワード：人工知能 胸部X線写真 先天性心疾患 血行動態

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。

1. 研究開始当初の背景

先天性心疾患の多くは体循環と肺循環の間に短絡を有し、その短絡を流れる血流の方向や血流量の増減によって心不全や低酸素血症の症状を来す。多くの場合はカテーテル検査で詳細な評価が可能であり、その評価に基づいて適切な治療方針が立てられるが、重篤な患者でカテーテル検査が施行できない場合にはその治療方針に苦慮することも少なくない。申請者も、単心室、総肺静脈還流異常に対し Blalock-Taussig シヤント術を施行した新生児が術後に心不全・低酸素血症を来した際に、カテーテル検査を施行できず、治療に苦慮した経験がある。それ以来、カテーテル検査に代わる血行動態の評価法を模索していた。

元来、小児循環器医は胸部 X 線写真から肺血管陰影の増強・減弱(すなわち肺血流量の増減)を判断しており、これに近年急速な発展を遂げた AI による画像認識を組み合わせることでより詳細な肺血流量の評価が可能になると考えた。

また 2016 年には、肺高血圧症において胸部 CT 画像から肺動脈圧を予測可能であったとする報告がなされた。肺動脈圧は臨床医が日常的に胸部 X 線写真から読み取るものではないが、原理的に胸部 X 線写真には胸部 CT に写る情報が内包されていると考えられるため、胸部 X 線写真からも PAP を予測できる可能性があると考えられた。特に、AI は人間の認識を人間とは異なる方法で実現するものであるため、AI を用いることで、臨床医とは異なる方法で胸部 X 線写真を再評価できると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、胸部 X 線写真から血行動態を予測する人工知能を開発し、その性能を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 胸部 X 線写真から Qp/Qs を予測する人工知能の開発

2005 年以降に当院小児循環器科でカテーテル検査を施行された症例のうち、カテーテル検査で Qp/Qs を測定されており、かつカテーテル検査前 1 か月以内に胸部 X 線写真を撮影されている症例を対象とした。対象症例のうち 100 例を評価データとし、残りの症例を用いて、胸部 X 線写真から Qp/Qs を予測するように既存の AI (Inception-v3, Google) を学習させた。評価データを用いて学習後の AI の性能を評価し、さらに Qp/Qs を 4 段階評価した際の正答率を小児循環器医 3 名と比較した。

(2) 胸部 X 線写真から血行動態を予測する人工知能の開発

2011 年以降に三重大学医学部附属病院で心臓カテーテル検査(右心カテーテル検査)を受けた患者 897 人を対象とし、後方視的にデータを収集した。カテーテル検査の測定値として、特に臨床的に重要な平均肺動脈楔入圧(PCWP)、平均肺動脈圧(PAP)、平均右房圧(RAP)、右室収縮期圧(RVP)、心係数(CI)、肺血管抵抗(PVR)を対象とした。

患者をランダムにトレーニング群とテスト群に振り分け、カテーテル検査直前の胸部 X 線写真からカテーテル検査の各測定値を予測する深層学習モデルを作成した。

各測定値について、深層学習による予測能を相関係数により評価し、その妥当性を grad-CAM で検討した。

4. 研究成果

(1) 胸部 X 線写真から Qp/Qs を予測する人工知能の開発

本研究では、ディープラーニングを用いた胸部 X 線の解析により、先天性心疾患患者の Qp/Qs を予測できるかどうかを検討した。結果、我々のモデルは胸部 X 線から Qp/Qs を予測でき、その診断性能は専門家よりも高いことが示された。

我々は、120 万枚の日常的なカラー画像からなるデータセット ImageNet で事前学習した Inception-v3 を使用し、画像の拡張には水平反転、回転、シフトを適用した。また、様々な X 線撮影条件で撮影された画像であったため、全ての画像に CLAHE を適用した。損失関数としては、

定量的な変数を測定する 2 つの方法の間の一致度を評価するための最も重要な微分可能統計量の 1 つである ICC(2,1)を用いた。

評価群において、深層学習由来の Qp/Qs と Fick 由来の Qp/Qs を比較し、深層学習由来の Qp/Qs は Fick 由来の Qp/Qs と有意な相関があることがわかった。また、2.0 以上の高 Qp/Qs を検出するモデルの AUC は 0.88 であり、専門家のそれは 0.78 であった。このことは、医師が治療方針を決定するあたり、我々のモデルが役立つ可能性を示唆している。

また胸部 X 線をその肺血流に応じて 4 つのクラスに分類することに関して、本研究では、深層学習が、臨床医を上回ることを示した。深層学習は臨床医と同等、あるいはそれ以上の高い性能を持つことがいくつかの研究で報告されており、本研究でも臨床医が認識しない特徴を、我々のモデルが認識できた可能性がある。

深層学習の問題点として、値を出力する根拠を示すことが難しい、つまりブラックボックスであることが挙げられる。本モデルの胸部 X 線画像の認識を理解するために、3 つの可視化手法を採用した。Grad-CAM と guided backpropagation は、本モデルが各胸部 X 線画像の Qp/Q を予測する際に、肺野と心臓周辺の構造を認識し、そこに注目していることを示した。また、activation maximization により、出力値を最大化または最小化する画像を生成した結果、肺血管系に相当すると思われる粗い結節状の構造を示す所見が、高い Qp/Qs と関連することが示された。

以上の結果から、深層学習を用いた胸部 X 線写真の解析は、血行動態を非侵襲的かつ簡便に定量的に予測する方法として有用であると考えられた。

(2) 胸部 X 線写真から血行動態を予測する人工知能の開発

PCWP, PAP, RAP, RVP について、予測値は実測値と中等度の相関を示し(相関係数はそれぞれ 0.50, 0.59, 0.63, 0.49)、grad-CAM でも胸部 X 写真上の一定の領域に注目している傾向が認められた。一方、CI と PVR については予測値と実測値には相関を認めず(相関係数はそれぞれ 0.095, 0.045)、grad-CAM でも有意な所見は認めなかった。

人工知能により、胸部 X 線写真から PCWP, PAP, RAP, RVP といった圧を表す血行動態指標を予測することができると考えられた。一方、流量や抵抗を表す CI, PVR は予測困難と考えられた。

(3) まとめ

本研究により、深層学習を用いることで胸部 X 線写真から様々な血行動態指標を定量的に評価できることが示された。本研究の成果を応用し、また深層学習の性能を向上させることで、循環器診療におけるより低侵襲で正確かつ簡便な血行動態の評価手法を確立できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Shuhei Toba, MD; Yoshihide Mitani, MD, PhD; Noriko Yodoya, MD; Hiroyuki Ohashi, MD; Hirofumi Sawada, MD, PhD; Hidetoshi Hayakawa, MD, PhD; Masahiro Hirayama, MD, PhD; Ayano Futsuki, MD; Naoki Yamamoto, MD; Hisato Ito, MD, PhD; Takeshi Konuma, MD, PhD; Hideto Shimo, MD, PhD; Motoshi Takao, MD, PhD	4. 巻 -
2. 論文標題 Prediction of Pulmonary to Systemic Flow Ratio in Patients With Congenital Heart Disease Using Deep Learning-Based Analysis of Chest Radiographs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAMA Cardiology	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） 10.1001/jamacardio.2019.5620	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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Tsuji S, Toba S, Sato A, Sugitani R
2. 発表標題 Quantitative analysis of hemodynamics from chest radiographs using deep learning.
3. 学会等名 The 4th Annual Meeting of;Japanese;Association for Medical Artificial Intelligence
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sato A, Toba S, Tsuji S, Sugitani R
2. 発表標題 Development of base model for deep learning of chest radiographs.
3. 学会等名 The 4th Annual Meeting of Japanese Association for Medical Artificial Intelligence.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻 清龍, 鳥羽 修平, 藤本 直紀, 佐藤 綾音, 土肥 薫
2. 発表標題 人工知能による胸部X線写真からの定量的血行動態予測
3. 学会等名 第70回日本心臓病学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Yusuke Sugitani, Shuhei Toba, Keishin Hattori, Umezu Kentaro, Yoshihide Mitani, Hirofumi Sawada, Hiroyuki Ohashi, Noriko Yodoya, Kazunobu Ohya, Naoki Tsuboya, Hisato Itoh, Yu Shomura, Masahiro Hirayama, Motoshi Takao
2. 発表標題	Perioperative Changes of Pulmonary to Systemic Flow Ratio Predicted by Deep Learning-Based Analysis of Chest Radiographs in Patients with Atrial Septal Defect
3. 学会等名	第87回日本循環器学会学術集会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Shuhei Toba
2. 発表標題	Application of Deep Learning in Pediatric Cardiology
3. 学会等名	AHA & JSPCCS joint webinar (Artificial Intelligence and 3D Imaging in Pediatric Cardiology) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	鳥羽修平、三谷義英、杉谷侑亮、大橋啓之、澤田博文
2. 発表標題	学校心臓検診心電図における人工知能の応用
3. 学会等名	日本小児心電図学会学術総会 シンポジウム
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Shuhei Toba, Yoshihide Mitani, et al.
2. 発表標題	Deep Learning-based Analysis of 12-lead Electrocardiogram for Pediatric Cardiac Disease Mass Screening in School-age Children
3. 学会等名	日本循環器学会学術総会 プレナリーセッション
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 鳥羽修平, 三谷義英、杉谷侑亮、大橋啓之、澤田博文, 淀谷典子, 大槻祥一郎、山崎誉斗, 梅津健太郎
2. 発表標題 学校心臓検診心電図を自動判読する人工知能の開発
3. 学会等名 日本小児循環器学会学術総会 パネルディスカッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥羽修平、三谷義英、杉谷侑亮、ほか
2. 発表標題 Automated analysis of 12-lead electrocardiogram for pediatric cardiac disease mass screening in school-age children by the combined use of signal processing and deep learning
3. 学会等名 American Heart Association Scientific Sessions 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥羽修平、三谷義英、杉谷侑亮、ほか
2. 発表標題 Deep learning-based analysis of 12-lead electrocardiogram for pediatric cardiac disease mass screening in school-age children
3. 学会等名 第85回日本循環器学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuheii Toba, Yoshihide Mitani, Noriko Yodoya, Hiroyuki Ohashi, Hirofumi Sawada, Hidetoshi Hayakawa, Masahiro Hirayama, Ayano Fusuki, Naoki Yamamoto, Hisato Ito, Takeshi Konuma, Hideto Shimpo, Motoshi Takao
2. 発表標題 Quantitative Analysis Of Chest X-ray Using Deep Learning To Predict Pulmonary To Systemic Flow Ratio In Patients With Congenital Heart Disease
3. 学会等名 American Heart Association Scientific Sessions 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥羽修平、小沼武司、石川廉太、山崎誉斗、金田真史、伊藤 温志、平野 玲奈、夫津木 綾乃、山本 直樹、伊藤 久人、島本 亮、高尾 仁二
2. 発表標題 先天性心疾患周術期における、胸部 X 線写真を用いた肺体血流比予測 AI (人工知能)の評価検討
3. 学会等名 第62回関西胸部外科学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川廉太、鳥羽修平、三谷義英、大矢和伸、淀谷 典子、大橋啓之、澤田博文、山崎 誉斗、夫津木綾乃、小沼 武司
2. 発表標題 Deep learningを用いた、胸部X線写真から肺体血流比を予測する方法の開発
3. 学会等名 第55回日本小児循環器学会総会・学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉谷侑亮、鳥羽修平、大橋啓之、三谷義英
2. 発表標題 胸部レントゲン写真から肺体血流比を予測する回帰モデル（畳み込みニューラルネットワーク）における、精度向上の試み
3. 学会等名 第2回日本メディカルAI学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鳥羽修平、三谷義英	4. 発行年 2022年
2. 出版社 科学評論社	5. 総ページ数 510
3. 書名 「先天性心疾患と人工知能－医師を代替するAI、超えるAI－」循環器内科, 91(4)	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 評価システム、評価方法、学習方法、学習済みモデル、プログラム	発明者 鳥羽修平、三谷義英、高尾仁二	権利者 三重大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-178086	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------