

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：22304

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K09951

研究課題名(和文) AI技術を用いた医用画像読影手技のプロセス分析と教育方法の開発に関する研究

研究課題名(英文) Study of interpretation process and development of learning methodology in medical image interpretation skills using artificial intelligence technology

研究代表者

寺下 貴美 (Terashita, Takayoshi)

群馬県立県民健康科学大学・診療放射線学部・准教授

研究者番号：30506241

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)：本研究は、医用画像読影中の視線データをもとに熟練者と初学者の違いを明らかにし、新たなトレーニング方法の開発を目指すものであった。研究期間中に新型コロナウイルス感染症が流行し、当初計画していた研究を進めることが困難であったが、本研究では「視線解析を組み込んだ医用画像読影評価システムの開発と評価」および「仮想X線撮影システムの開発」が達成できた。読影評価システムでは、視線計測を用いることでアウトカムによる評価から、プロセスによる評価を可能とした。また仮想X線撮影システムではX線を用いずにX線撮影検査をシミュレーションできるため、評価ツールとしてのみならず、トレーニングツールとしても利用価値がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療行為に関する手技はどれも高度で専門的である。熟練するには経験が必要とされてきたが、これまで「できた」や「できなかった」のアウトカムに基づく教育だったため、不適切な指導により、多くの時間を要していたのではないと思われる。これをプロセスに基づくことで、効果的で効率的な教育になると予想される。本研究では、高度な医療手技として医用画像読影に焦点を絞り、視線計測による読影中の行動から、熟練者と初学者の違いを明らかにし、新たな訓練法の開発を目指した。新型コロナウイルス感染症のため当初計画通りには進まなかったが、読影能力を評価するための2つのシステムを開発し、今後継続した調査を行うことを可能とした。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the differences between skilled and novice users based on gaze data during medical image interpretation and to develop a new training method. Although it was difficult to proceed with the originally planned research due to the outbreak of a new coronavirus during the study period, we were able to accomplish the "development of a medical image interpretation evaluation system incorporating gaze analysis" and the "development of a virtual radiography system" in this study. In the medical image interpretation evaluation system, the use of gaze analysis enabled evaluation based on process rather than outcomes. Because the virtual radiography system can simulate radiographic examinations without using X-rays, it is valuable not only as an evaluation tool but also as a training tool.

研究分野：医療情報学

キーワード：視線解析 医用画像読影 医用画像読影評価システム 仮想X線撮影システム

1. 研究開始当初の背景

現在、医療技術の急速な発展に伴い、医療従事者の備えるべき知識や技術が年々増加し、かつ高度化している。さらに近年、チーム医療の更なる推進のため、医療法やその関連法が改正・施行された。この改正により、我々が特に対象とする診療放射線技師でも、医師の補助業務として造影剤投与後の抜針や注腸バリウム検査のカテーテル挿入などが実施可能となった。このような情勢の中、医療従事者を志す学生および現職の医療従事者においても、知識や技術の量が増大し、かつ限られた時間内に、それらの全てを習得しなければならないことは、教育面で大きな問題となっている。このため効率的で効果的な教育法が求められている。

一方、画像診断分野に携わる医療従事者にとって、医用画像読影は必須スキルである。この読影手技は非常に専門性が高く、職人的なスキルである。従来、適切な読影を行うには多くの経験が必要であるとされていた。これは読影技術の指導において、「異常を発見できた」または「発見できなかった」のような 2 択のアウトカムに基づいていたからである。例えば、失敗に対して、「ちゃんと画像を見ろ」などの一方的な指導が行われる場合がある。しかし「異常を発見していながらも正常であると見逃した」や「異常としてまったく見落としていた」など、読影の過程において異なる原因による失敗がある。これらを区別できず、学習者のニーズに合った指導ができていなかったのではないかと考えられ、不適切な指導によって修得するのに長い時間を要していたと推察される。これはプロセスに基づいた指導を行っていないためである。一般的に職人的なスキルは、指導者であってもプロセスの特性を理解しておらず、またこれに基づいて指導していないため、非効率であった。従って、効果的で効率的な教育を行うため、プロセスに基づいた教育的改善が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、専門性の高い職人的な医療技術のプロセスを解明し、プロセスに基づいた教育方法を確立することを目的とする。特に医用画像読影に焦点を絞り、読影中の視線追跡データから、読影手技のプロセスの解明と、これに基づく指導方法の開発、評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 視線解析を組み込んだ医用画像読影評価システムの開発

先行研究では、医用画像読影中の視線を計測し、その特徴から読影能力を評価しており、診療放射線技師と学生の比較では、注視時間や注視回数、最初に病変を発見するまでの時間に違いが現れたことを報告している[1]。このように視線の情報は読影のプロセスを把握するのに非常に有効である点に加え、読影手技を適切に指導するための評価方法としても有効である。しかし、従来から読影の評価に用いられていた receiver operating characteristic (ROC) 解析と視線による読影評価を同時に実現可能なシステムは我々の知る限り存在しない。そこで視線解析を利用し、ROC 解析によって医用画像読影の能力を測定できるシステムの開発を行った。

システムのフローチャートと視線計測部の画面遷移を図 1 に示す。処理は主に計測処理と解析処理で構成される。計測処理では、一般的な ROC 解析の手順に従って、臨床画像の表示と回答を画像枚数分繰り返す[2]。観察者は臨床画像を表示している間は異常の検索を行い、視線を記録する(図 1a)。次に Localization ROC (LROC) 解析を行うため[3]、X 線像のシェーマを表示して、発見した異常の位置を回答させる(図 1b)。異常が無いと判断した場合はシェーマ外を指定して回答できる。ここでシェーマ画像にて回答させる意図は、位置指定の際、視線非計測時の異常発見を除外するためである。最後に確信度を visual analog scale によって回答させる(図 1c)。解析処理では ROC 解析および LROC 解析、視線解析、未発見エラーの解析を行う。未発見エラーは、Kundel らによると、scanning error (SE), recognition error (RE), decision-making error (DE) の 3 つに分類でき、SE は読影中に異常部位に全く目も留めなかった場合、RE は異常部位に目を留めたが異常と認識できなかった場合、DE は異常部位を十分観察したがそれでも正常と誤判断してしまった場合とされる[4]。これは異常部位を注視した時間によって分類される(SE: 0s , RE: 0.48s 以下 , DE: > 0.48s)。赤外線視線計測装置は Tobii Technology 社製 Tobii pro X3-120 を使用した。開発環境は Python 3.5 を使用し、赤外線視線計測装置の制御は Tobii pro SDK Python API V1.6 を使用した。

検証実験として、臨床経験のある診療放射線技師、診療放射線学部学生、医療資格のない教員の 3 名に対し、本システムを試用して読影能力の計測を行った。臨床画像は日本放射線技術学会が提供する胸部 X 線写真データベースより、結節性病変あり 15 例、正常 15 例の計 30 例を用いた[5]。

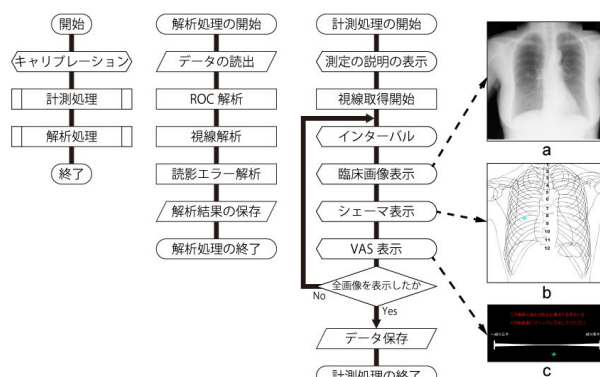


図 1 フローチャート

実験は一般的な ROC 解析の手順に従い、本システムに 30 例の画像を登録し、参加者に対して無作為に表示し、読影手技を行わせた。対象者 3 名における ROC 解析の結果を比較した。

次に臨床経験のある診療放射線技師 3 名、診療放射線学部学生 4 名を対象とし、医用画像読影評価システムを用いた読影評価を行った。参加者には研究の趣旨を十分説明し、同意を得た上で実施した。本研究は群馬県立県民健康科学大学の研究倫理委員会で承認された(健科大倫第 2019-4 号)。臨床画像は日本放射線技術学会が提供する胸部 X 線写真データベースより、結節性病変あり 15 例、正常 15 例の計 30 例を使用した。これらの画像を本システムに登録し、参加者に読影を行わせた。画像表示には医療用高精細モニタを用い、モニタに照明が映り込まないような環境とした。ROC および LROC 曲線、ヒートマップ、注視時間、未発見のエラーを比較した。なお、ROC および LROC 曲線はアベレージ法で統合した[2]。また、サンプル数が少なく統計解析ができないため、結果は両群の比較を目的とせず、傾向を示すものであることを言及しておく。

(2) 仮想 X 線撮影システムの開発

医用画像読影評価システムの開発によって、読影能力の評価が可能となった。これは胸部 X 線写真を利用したシステムであったが、診療放射線技師の幅広い業務範囲においては、他の X 線写真や透視像などを考慮すると、内容が乏しい。そこで読影コンテンツの拡充を試み、仮想 X 線撮影システムの開発を行った。

まず、骨格撮影法は複数あり、体位と X 線入射角度により複雑な陰影が形成される。これを再現するために仮想骨格 X 線撮影システムを開発した。これは拡張現実技術における認識・追跡を使用して、被写体である人間の位置と角度を算出し、体位に応じた X 線像を出力する。以前のシステムではあらかじめ用意していた X 線像を表示するだけだったのに対し、このシステムによって様々な X 線像を読影することが可能となる。対象は頭蓋骨撮影とした。人体検出アルゴリズムとして、Mediapipe (Google 社製) の face detection を使用し、光学カメラで撮影した画像から、顔の特徴点を取得した。特徴点から体位の情報として位置と角度を算出し、事前に撮影した頭部ファントムの 3D データに対して、それらの情報を与え、総和値投影法によって仮想的な X 線像を出力した。



図 2 仮想骨格 X 線撮影システム

4 . 研究成果

まず、2019 年から流行した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) により、当初計画していた調査を進めることができなかった。特に被検者実験において、学生および臨床現場の診療放射線技師の調査を制限され、統計解析に影響が出た。

(1) 視線解析を組み込んだ医用画像読影評価システムの概要と評価

開発したシステムでは、対象者に医用画像を読影させ、その時の視線を取得し、ROC 解析、病変の位置を考慮した LROC 解析、注視時間、注視回数、病変を最初に発見するまでの経過時間、視線の経路図、検索・認識・意思決定エラーの件数を読影能力の評価として提示できる。図 4 に本システムの読影画面と結果表示画面の例を示し、図 5 に読影の様子を示す。

図 6 に ROC 曲線の結果を示す。ROC 曲線および曲線下面積の結果では、臨床経験のある診療放射線技師 > 診療放射線学部学生 > 医療資格を持たない教員の順で左上に近づき、予想された読影能力を示す結果が得られた。次に平均注視時間において、診療放射線技師は他の参加者よりも長かった。先行研究でも同様の結果であり、学生より診療放射線技師は時間をかけて観察するため、平均注視時間が長いと報告されている[1]。このように本システムでは予想通りの結果を計測できたことが示された。

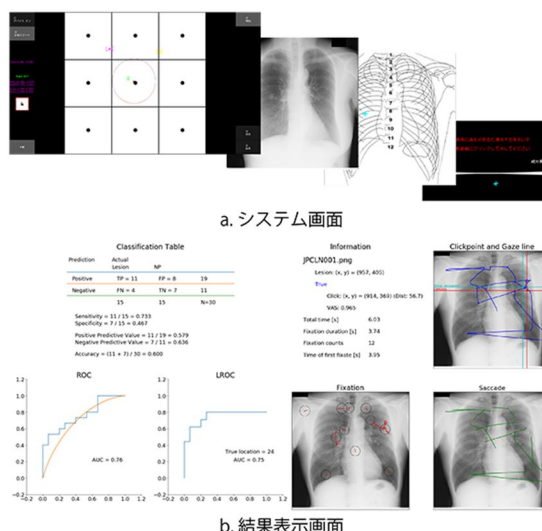


図 4 読影画面と結果表示画面の例

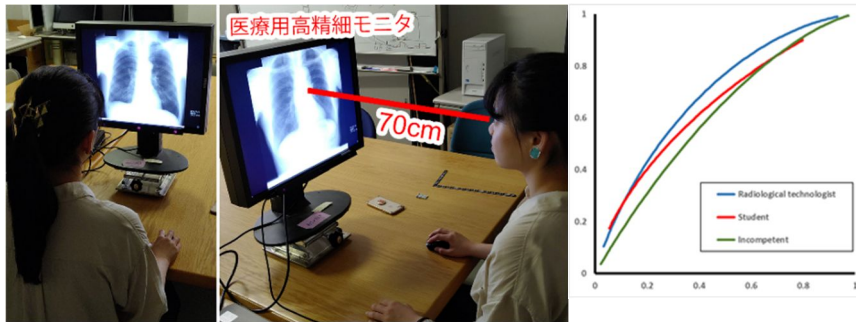


図5 医用画像読影の様子

	ROC曲線下面積	平均注視時間
診療放射線技師	0.76	43.9 [s]
診療放射線学部学生	0.65	11.9 [s]
医療資格のない教員	0.60	12.3 [s]

図6 ROC解析結果

(2) 医用画像読影評価システムを利用した読影行動に関する診療放射線技師と学生の違い

表1に読影時間、注視時間、真陽性数、位置間違い数、偽陰性数(未発見のエラー)、SE数、RE数、DE数、ROC曲線およびLROC曲線下部面積のそれぞれの平均値を示す。また図7に診療放射線技師と学生におけるROCおよびLROC曲線を示す。読影時間と注視時間ともに学生に比べ診療放射線技師が長く、読影時間に占める注視時間の割合は診療放射線技師が75%、学生が67%であった。真陽性数において学生と診療放射線技師の差は少ないが、内訳である位置間違いは学生が2倍以上多かった。偽陰性数は学生の方が多く、その内訳を見ると学生はSEが9割を占めるのに対して、診療放射線技師はDE数の方が多かった。RE数はどちらも0件であった。これは診療放射線技師が時間を十分に使うて画像を観察し、正しく病変を認識している。加えて、診療放射線技師は間違えた場合でも、少なくとも視認はできていることが分かる。これに対し、学生は十分な時間をかけずに観察を終了し、病変を見落としていることが分かる。ROC曲線は診療放射線技師の方が学生より左上に位置しており、また曲線下部面積は診療放射線技師の方が学生に比べて大きく、診療放射線技師の読影能力の方が高いことを表している。LROC曲線では診療放射線技師は病変位置の間違いによって最大値が0.5程度に低下しているが、5割以上の曲線下部面積を保っている。しかし学生に至っては5割を大きく下回っており、病変の位置を正しく認識できておらず、明らかに読影能力が低いことを表している。

次に診療放射線技師と学生の読影過程の違いを示すために、診療放射線技師は正しく病変を指摘できたが、学生では間違った病変の位置を指摘した画像の代表例を図8に示す。学生が指摘した陰影は肺紋理と呼ばれる肺の血管が重なってできる模様であり、結節性病変と見間違ったことが分かる。視線のヒートマップでは診療放射線技師は肺野を満遍なく観察し、病変の正しい位置を強く注目していることが分かる。一方、学生では肺野の観察にむらがあり、特に心臓と肺が重なっている領域の観察を怠り、肺紋理が見られる位置に視線が奪われているのが分かる。

以上のことから、視線計測を使用しない評価方法からは、診療放射線技師は学生に比べ、読影時間が長く、真陽性数は多く、偽陰性数は少なく、ROC曲線下部面積が大きいことが分かる。

表1 診療放射線技師と学生の比較

評価項目	診療放射線技師 (n=3)	学生 (n=4)
読影時間 [s]	24.8	10.0
注視時間 [s]	18.7 (75%)	6.65 (67%)
真陽性数	11.3	10.0
位置間違い数	3.3	8.8
偽陰性数	3.6	5.0
SE数	1.7	4.8
RE数	0.0	0.0
DE数	2.0	0.3
ROC曲線下部面積	0.734	0.578
LROC曲線下部面積	0.571	0.150

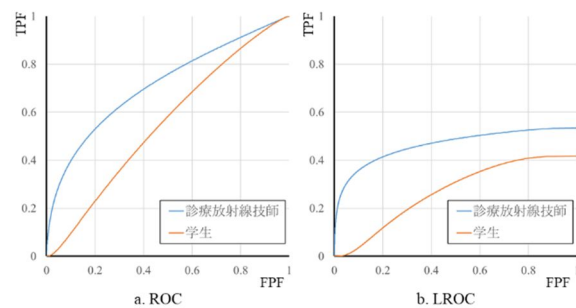
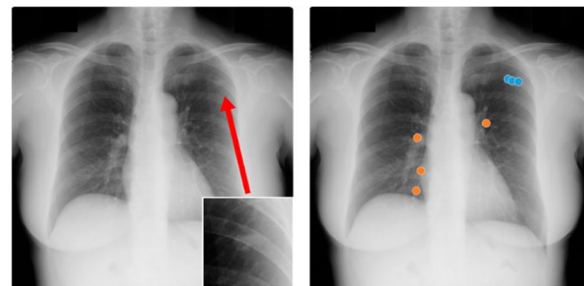
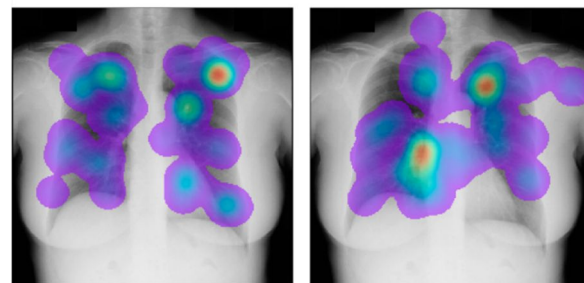


図7 ROC曲線とLROC曲線の比較



a. 胸部X線像 (矢印: 病変)

b. 病変を指摘した位置 (青: 診療放射線技師, 橙: 学生)



c. 診療放射線技師のヒートマップ

d. 学生のヒートマップ

図8 病変を指摘した位置とヒートマップによる診療放射線技師と学生の比較

これから言えることは、診療放射線技師の方が学生よりも異常発見に優れており、時間がかかるということである。一方、本システムでは、視線計測を用いて、注視時間、位置間違い数、SE数、RE数、DE数、LROC曲線を評価することができる。結果では、診療放射線技師は学生に比べ、読影時間に占める注視時間の割合が大きく、真陽性数の内位置間違いが少なく、偽陽性数の内SE数が少なく、DE数が多い、またLROC曲線下部面積は診療放射線技師の方が大きい、学生は0.5を大きく下回っている。これより、診療放射線技師は読影において、「認識した陰影を判断するのに時間をかけており、見逃した場合も陰影としては認識しているが、結果的には正常と判断してしまっている」と推察できる。対して学生は、「陰影が病変かどうかを判断するよりも以前に、陰影を認識すること自体が難しく、十分に検索することなく読影を終えている」と予想できる。このように視線計測を行える本システムでは、被験者の読影プロセスに基づいた能力測定を実現することが可能であった。これらの評価から効果的な指導を検討すると以下ようになる。学生は病変の認識力が低いことに加え、知識不足が確認されることから、単に多くのX線像を見せることよりも、より基礎的な内容(X線像の成り立ちや解剖学、病理学など)から伝達する必要がある。学生は国家試験においてもX線像の読影問題が出題されるため、着実に能力を向上させなければならない。次に診療放射線技師がさらに読影能力向上のため訓練する場合には、病変陰影のバリエーションやピットホールなどを集中的に学習することが有効だろう。このように、本システムでは能力に応じた観察者の評価を出力することが可能であり、教育的に有効であると考えられる。

(3) 仮想X線撮影システムの概要

仮想骨格X線撮影システムでは、マーカーレス拡張現実技術を用い、被写体の体位に応じた仮想的なX線透視像を出力できる。図9に本システムの動作画面を示す。撮影部位である頭部を含むカメラ画像、および出力された仮想X線透視像が描画されている。左上は正面ポジション、その他は顔を右から左に向けて、顎を上げたり下げたりしたポジションである。仮想X線透視像も被写体の角度を反映していることが確認できる。本システムの透視像は、リアルタイム性を重視し、3DCTデータのマトリックスを64×64×64 pixelとして、負荷を軽くした。この時、フレームレートは10FPS程度であり、ほぼリアルタイムに描画できた。撮影ボタンによって出力されるX線像では、これを512×512×512 pixelとし、鮮鋭度の高い画像を出力できる。本システムの使用方法として、X線像の読影中の視線のみならず、X線撮影検査の一連の作業中の視線計測を行うことが可能である。例えば、養成課程において、学生が診療放射線技師役、患者役に分かれたロールプレイを行う実習において、X線撮影検査の全工程(患者入室、患者確認、検査説明、ポジショニング手技、X線像の検像、患者退室など)をX線照射なしに再現できる。これは、Objective Structured Clinical Examination(OSCE)のような実技試験で使用することも可能であると考えられる[6]。一般的なOSCEでは模擬患者に対して手技を行い、フィードバックを受けるが、健常人に対して侵襲的な手技を行うことは難しい。本システムを使えば、被ばくを考慮せずに放射線検査を対象としたOSCEを行うことができる。また実技試験において客観的評価は難しいが、本システムと視線計測を合わせることで、客観的評価ができるようになる可能性がある。

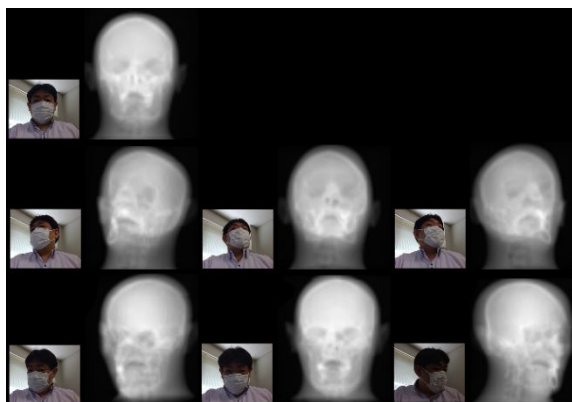


図9 仮想骨格X線撮影システムによる仮想X線透視像

<引用文献>

1. McLaughlin, L., Bond, R., Hughes, C., et al. Computing eye gaze metrics for the automatic assessment of radiographer performance during X-ray image interpretation. *Int J Med Inform*, Vol. 105, pp. 11-21, 2017.
2. 小川互. 放射線画像系の画像評価. 医療科学社(東京), 2007.
3. 白石順二. ROC解析の問題点を補うためのLROC解析(Metz's ROC Software Users Group NEWS). *画像通信*, Vol. 27, No. 1, pp.75-78, 2004.
4. Kundel, H., Nodine, C., Carmody, D. Visual Scanning, Pattern Recognition and Decision-making in Pulmonary Nodule Detection. *Invest Radiol*, Vol. 13, pp. 175-181, 1978.
5. Shiraishi J, Katsuragawa S, Ikezoe J, et al. Development of a digital image database for chest radiographs with and without a lung nodule: Receiver operating characteristic analysis of radiologists' detection of pulmonary nodules. *Am J Roentgenol*, 174(1): 71-74, 2000.
6. Dent JA, Harden RM(鈴木康之, 錦織宏 訳). 医学教育の理論と実践. 篠原出版新社(東京), 2010.

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 寺下 貴美、佐藤 哲大、小倉 敏裕、土井 邦雄	4. 巻 23
2. 論文標題 視線を用いた医用画像読影の能力測定アプリケーションの開発と評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 43～46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11184/his.23.1_43	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11件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kamikawa S, Terashita T, Kanaya S, Sato T
2. 発表標題 Comparing convolutional neural networks for medical image interpretation based on eye movement analysis
3. 学会等名 European Congress of Radiology 2020 (Online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Terashita T, Sato T, Tsutsumi S, Sato M, Ogura T, and Doi k.
2. 発表標題 Effects of the sampling frequency change in eye movement analysis using deep convolutional neural network: Comparison with other analyses by open annotated gaze data
3. 学会等名 Asia Pacific Association for Medical Informatics 2020 (Hamamatsu, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kamikawa S, Sato T, Terashita T, Kanaya S.
2. 発表標題 Open data validation of a classification method of eye movement by a convolutional neural network
3. 学会等名 International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2021 (Taipei, Taiwan (Online)) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamikawa S, Terashita T, Kanaya S, Sato T
2. 発表標題 Comparing convolutional neural networks for eye movement analysis in medical image interpretation
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019 (徳島)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺下貴美, 佐藤哲大, 堤翔子, 佐藤充, 小倉敏裕, 土井邦雄
2. 発表標題 深層畳み込みニューラルネットワークを用いた医用画像読影評価システムの開発
3. 学会等名 第39回医療情報学連合大会 (千葉)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺下貴美, 堤翔子, 佐藤充, 土井邦雄, 小倉敏裕
2. 発表標題 Classification of eye movements on a lesion in medical image interpretation using deep learning
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会 (札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堤翔子, 寺下貴美, 佐藤充, 土井邦雄, 小倉敏裕
2. 発表標題 Analysis of Eye-tracking in Reading of Medical Images by Use Deep Learning
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会 (札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Terashita T., Sato T., Tsutsumi S., Sato M., Doi K., Ogura T.
2. 発表標題 Eye movement analysis using deep learning for medical image interpretation
3. 学会等名 European Congress of Radiology 2019 (Vienna, Austria) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神川怜史、佐藤哲大、寺下貴美、江口遼平、金谷重彦
2. 発表標題 教師なし学習を用いた医用画像読影時の視線行動の分類
3. 学会等名 メディカルイメージング連合フォーラム2018 (沖縄)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺下貴美、及川憩人、小澤颯、佐藤哲大、小倉敏裕
2. 発表標題 マーカーレス拡張現実を用いた仮想X線透視アプリケーションの開発
3. 学会等名 第41回医療情報学連合大会 (名古屋)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤颯、及川憩人、寺下貴美
2. 発表標題 上部消化管造影検査のためのバーチャルトレーニングシステムの開発
3. 学会等名 第41回医療情報学連合大会 (名古屋)
4. 発表年 2021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
---------	---------