

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	永井 貴大
学位	博士 (医学)
学位記番号	新大院博 (医) 第 1115 号
学位授与の日付	令和5年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	Deep learning classification of urinary sediment crystals with optimal parameter tuning. (最適なパラメータチューニングによる尿沈渣結晶の深層学習を用いた分類)
論文審査委員	主査 教授 若井 俊文 副査 教授 池内 健 副査 講師 島田 能史

博士論文の要旨

【背景と目的】

尿沈渣検査とは、尿を遠心分離して得られる沈殿成分を顕微鏡で観察する検査である。尿沈渣検査は広く実施されており、自動分析装置も上市されているが、装置は高価であり、維持費や試薬代もかかる。現在でも手作業による鏡検を必要としており、その精度は検査技師個人の技術力や検査施設の設備環境などに依存する。深層学習で尿沈渣を分類できると、費用や再現性の問題を解決できる可能性がある。尿沈渣として観察されるものは、細胞成分と結晶成分に分けられる。細菌も顕微鏡で観察されることがある。深層学習を用いて尿沈渣の分類を試みた研究には、10種類の尿沈渣を97%の正解率で分類した研究などがあるが、申請者らが渉猟した限りでは、結晶成分については、同程度の正解率での分類に成功したという報告は見受けられなかった。加えて、ヒトの臨床検体は、大量のサンプルを得るのが困難であるため、オーグメンテーションと呼ばれる画像に様々な変換を施し画像数を拡張する手法が応用できる。データの多様性を高めることができる手法であるが、どのようなオーグメンテーションが性能を向上させるかは一概に決まっているわけではない。そこで申請者らは、尿沈渣結晶画像について、少ないデータセットしか得られない場合に、オーグメンテーションの手法を工夫することで、より高い精度で分類できる深層学習モデルを構築することを目的とした。

【方法】

教科書等から尿沈渣結晶の画像を収集し、結晶が画像の中央に位置し、かつ余白が適切となるように結晶画像を切り出した。尿沈渣結晶の種類は、リン酸マグネシウムアンモニウム結晶、ビリルビン結晶、炭酸カルシウム結晶、シュウ酸カルシウム結晶、リン酸カルシウム結晶、シスチン結晶、尿酸結晶、尿酸アンモニウム結晶の8種類であった。この物質による分類を、以下カテゴリと言う。同じ物質から成るが形状の異なる画像は、サブカテゴリとして分けた。切り出して得た結晶画像の総数は441枚であった。

結晶のカテゴリ毎に、学習用とテスト用に7:3の比で分け、学習用画像をオーグメンテーションして、得られた画像を深層学習モデルに入力し訓練した。今回使用したソフトウェアでは、11種類の画像処理パラメ

ータが利用可能であった。生成する画像数と実行する処理の組み合わせを様々に変えモデルに学習させ、最終的に高い正解率が得られるオーグメンテーション処理の組合せを検討した。

リアルワールドの結晶出現比率として、ブルキナファソの首都ワガドゥグーで採取した 1603 検体の尿中の結晶出現率を文献より取得し、正解率を補正し評価した。

【結果】

まず、11 種類のパラメータをすべて利用して実行したところ、6 万枚の画像を生成した場合の正解率は 0.809 となり、十分高い正解率ではなかった。パラメータの組合せの中で最も正解率が高かったのは、「randomcrop」パラメータを除外して他の 10 種類のパラメータで処理し 6 万枚の画像に増幅したパターンで、その正解率は 0.877 であった。その他の組合せの結果としては、パラメータの数を増やし、かつ、生成する画像数を増やすことで、正解率が高くなる傾向が見られた。続いて、結晶のサブカテゴリを区別せず、上位のカテゴリを用いて、同様のオーグメンテーションで訓練を行ったところ、最も高い正解率は 0.918 となった。

リアルワールドのデータとしてブルキナファソの 1603 検体で出現する結晶の出現率を利用して補正すると正解率は 0.885 になった。

【考察】

画像オーグメンテーションでは、randomcrop を補正処理から除外すると正解率が高くなったが、他の処理と異なり randomcrop はランダムな切り出しを行うもので、1 画像 1 結晶の原則を崩す可能性があるため、正解率が下がると推測した。また、学習用の画像を増やすほど正解率は高くなる傾向があったが、計算サーバのメモリ不足のため、学習用の画像枚数を 6 万枚より増やすことは困難であった。一方、オーグメンテーションのパラメータによっては、画像の枚数を増やすと、数%から 10%程度正解率が低下することもあった。したがって、オーグメンテーションは必ずしも正解率を上げるものではなく、オーグメンテーションを研究に利用する場合には、どのようなオーグメンテーションを利用するかを検討する必要があると言える。収集した画像の絶対数が少なかったが、様々なパラメータをテストすることで約 90%の正解率を得ることができた。少ない画像数でこれだけの正解率が得られたことは、今後の人工知能の可能性を示しているものである。申請者らが行ったパラメータ最適化は、臨床現場での深層学習による画像分類において、今後の研究の参考とすることができる。

審査結果の要旨

【背景と目的】尿沈渣結晶画像について、少ないデータセットしか得られない場合に、オーグメンテーションの手法を工夫することで、より高い精度で分類できる深層学習モデルを構築することを目的とした。

【方法】教科書等から尿沈渣結晶の画像を収集し、切り出して得た結晶画像の総数は 441 枚であった。結晶のカテゴリ毎に、学習用とテスト用に 7:3 の比で分け、学習用画像をオーグメンテーションして、得られた画像を深層学習モデルに入力し訓練した。リアルワールドの結晶出現比率として、ブルキナファソの首都ワガドゥグーで採取した 1603 検体の尿中の結晶出現率を文献より取得し、正解率を補正し評価した。

【結果】パラメータの組合せの中で最も正解率が高かったのは、「randomcrop」パラメータを除外して他の 10 種類のパラメータで処理し 6 万枚の画像に増幅したパターンで、その正解率は 0.877 であった。その他の組合せの結果としては、パラメータの数を増やし、かつ、生成する画像数を増やすことで、正解率が高くなる傾向が見られた。続いて、結晶のサブカテゴリを区別せず、上位のカテゴリを用いて、同様のオーグメンテーションで訓練を行ったところ、最も高い正解率は 0.918 となった。リアルワールドのデータとしてブルキナファソの 1603 検体で出現する結晶の出現率を利用して補正すると正解率は 0.885 になった。

本研究では、最適なパラメータチューニングによる尿沈渣結晶の深層学習を用いた分類を開発しており、

学術的価値は高いと考える。本研究成果を Sci. Rep. 2022, 12:21178 に誌上発表しており、学位論文として価値のある研究成果であると判断した。