

深層学習セグメンテーションを用いた NK 細胞の時系列動態解析

Time-Series Dynamics Analysis of NK Cells Using Deep Learning Segmentation

明神 拓歩 (Soft Intelligent SoC 研究室)
(指導教員 星野 孝総 教授)

1. はじめに

子宮内膜症(内膜症)の原因が未だ解明されていない。原因解明や症状改善のため、内膜症と非内膜症でのタイムラプス撮影された動画で解析を行っている。その結果として泉谷らが内膜症と非内膜症と比較してNK細胞の移動速度が50%低下したことが確認されている[1]。しかし、免疫細胞動画の解析には手作業負担や従来の画像処理では限界がある。

そこで本研究では腹腔内タイムラプス画像を対象に、深層学習セグメンテーションモデルを使用し、NK細胞に着目して時系列動態解析を行った。さらに、非内膜症患者にジエノゲスト(DNG: Dienogest)投与前後のNK細胞時系列データセットを使用して外部検証を行うことでモデルの汎化性能を確認した。

2. NK細胞の時系列動態解析実験

次にNK細胞の時系列動態解析実験について述べる。内膜症と非内膜症の動画の1フレームは下の図1のような画像である。そこから内膜症と非内膜症の俯瞰画像に存在する単独のNK細胞の時系列で70×70[pix]で切り取った。それぞれいくつかの時系列NK細胞画像を6,560枚取得した。使用したモデルはFCN32s, FCN16s, FCN8s, FCN-ResNet50, U-Net, SegNetの6種類用意してK分割交差検証(K=3, 5, 7, 10)を行い、モデルを学習させた。その時に重複率などのパラメータと目視での評価を行った。

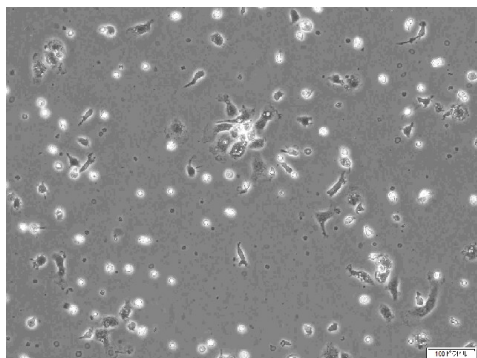


図1. 非内膜症俯瞰画像

3. 測定結果

表1では、5分割交差検証の各モデルの結果を示す。SegNetが一番NK細胞の形状を捉えることが可能であった。また、U-Netでも約80%程度細胞を捉えることが可能であった。しかし、FCNにおける全結合層のセグメンテーションモデルでは、FCN32sとFCN16sがNK細胞を常にひし形だと認識した。その結果、重複率と平均適合率が他のモデルよりも減少した。FCN8sとFCN-ResNet50ではSegNetやU-Netより正確な細胞を捉えることができなかったが細胞の大まかな形状を捉えることができていた。

表1. 各モデルにおける重複率と平均適合率の測定結果

Model Name (k=5)	重複率(IoU)	平均適合率(AP)
FCN32s	35.63%	57.09%
FCN16s	37.21%	58.56%
FCN8s	74.02%	85.15%
FCN-ResNet50	59.86%	77.03%
U-Net	79.22%	88.69%
SegNet	83.78%	91.33%

4. ジエノゲスト投与前後のNK細胞外部検証実験

次にモデルの汎化性能を確認するため、他の非内膜症におけるDNG投与前後のタイムラプス動画を使用して外部検証を行った。DNG投与前の時系列のNK細胞画像が1,069枚、DNG投与後のNK細胞画像を1,407枚取得した。使用したモデルは時系列動態解析実験で精度が高い5分割交差検証のSegNetとU-Netの2つを使用して従来法と比較を行った。この時、重複率と平均適合率に着目して実験を行った。

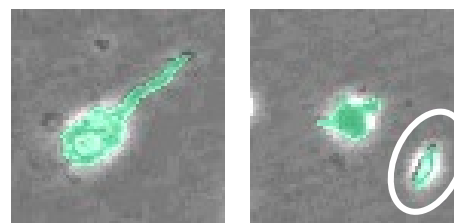
5. 外部検証結果と考察

結果を表2と図2に示す。表2では、重複率と平均適合率について従来法と5分割交差検証のU-NetとSegNetの結果を示す。先ほどの実験よりも20%以上重複率と平均適合率が低下していた。また、図2のように一番精度が良かったSegNetに関して目視での確認を行った。図2(a)ではNK細胞の複雑な形状を捉えていることが確認できた。次に図2(b)では画面中央にある対象のNK細胞を捉えることができていたが近くのNK細胞でないその他の細胞を捉えてしまったことが確認できた。

重複率が20%以上低下しない改善策について考察する。今回のデータセットの重複率低下の原因は図2(b)のような対象でない細胞を捉えてしまう点である。この改善策としてモデルの出力から画像の中央にあって、面積が大きい細胞のみを抽出する画像処理を行うことにより重複率改善につながると考えられる。

表2. 外部検証における重複率と平均適合率の結果

項目	重複率(IoU)	平均適合率(AP)
従来法	58.02% ± 19.69%	59.52% ± 19.00%
U-Net	58.94% ± 9.53%	60.95% ± 8.62%
SegNet	62.98% ± 10.03%	65.12% ± 8.83%



(a) 成功例

(b) 失敗例

図2. SegNetの結果出力例

6. まとめ

今回は内膜症と非内膜症のデータセットを使用してモデルを学習させた。その結果U-NetやSegNetのモデルが良い結果となった。しかし外部検証を行った結果、重複率など20%以上低下したことが確認できた。

重複率の低下について改善策としてモデルの出力後に画像処理を導入することで、NK細胞をより追従することができると考えられる。

参考文献

[1] C. Izumiya, T. Ushiwaka, T. Tsuduki, C. Yoshii, K. Taniguchi, and N. Maeda, "Decreased peritoneal NK cell movement in women with endometriosis by time-lapse imaging estimation." Journal of Reproductive Immunology, vol. 100, no. 118, p. 111, 2016.