

博士論文(要約)

ディープラーニングを用いた冠動脈の血管内超音波画像における

血管構造の自動検出

篠原宏樹

序論：動脈硬化による心血管疾患は主要な死亡原因の一つである。狭心症に代表される虚血性心疾患に対する血行再建術として経皮的冠動脈形成術があるが、従来、経皮的冠動脈形成術を行う際には、冠動脈造影検査画像を参考に、狭窄部位を拡張するためのバルーンやステントの太さや長さの選択を行ってきたが、近年、血管内超音波法や光干渉断層法/光周波イメージングといった診断補助装置が経皮的冠動脈形成術に使用されるようになった。血管内超音波法や光干渉断層法/光周波イメージングは、共に心血管疾患の原因となる動脈硬化プラークを有する血管の性状を検査することができる診断ツールであり、経皮的冠動脈形成術の際の治療戦略や治療適応となる病変を決定するために、しばしば使用される。血管内超音波法を診断補助に使用した経皮的冠動脈形成術が予後や治療成績を改善することが報告されているが、世界的に標準とはなっていない。その理由の一つとして、血管内超音波画像を適切に解釈するには専門的な知識が必要であることが挙げられている。近年、人工知能は著しい発展を遂げている。特に画像認識の分野においてその能力向上は目覚ましく、人間よりも高精度に画像分類を行うことのできる人工知能も報告されている。医療の分野においても人工知能を活用することで、診断精度の向上が図れることや医療の効率化が図れることが報告されており、血管内超音波検査画像を使用した人工知能に関してもいくつか報告がされている。しかし、過去のいずれの報告もすべて単純病

変から抽出された画像のみを使用し、内腔および中膜領域にのみ着目をしてきた。実臨床においては上記のみならず、複雑病変における石灰化やステントに関する情報も治療戦略を決定する上で重要となる。今回、重度石灰化を伴うなどの複雑病変から取得した冠動脈超音波画像において、血管内腔、中膜および石灰化とステントを認識し、その画像が治療を要する狭窄病変か、重度石灰化病変かを判別する人工知能プログラムを開発し、その性能評価を行なった。

方法: 狭心症患者の血管内超音波画像を、内腔、中膜、石灰化、ステントに分類し、セマンティックセグメンテーションをおこなった。セグメンテーションによって領域分割された画像から内腔領域、および石灰化を抽出し、内腔面積と石灰化円弧角度を計算した。計算した内腔面積および石灰化円弧角度から有意な狭窄病変（内腔面積 $\leq 4\text{mm}^2$ ）を有する血管内超音波画像と重度石灰化病変(石灰化円弧角度 180° 以上)を有する血管内超音波画像を分類し、その分類精度を評価した。セマンティックセグメンテーションのアルゴリズムには **Unet** を用いた。分類精度は **Accuracy**、**Recall**、**Precision** とした。また、セマンティックセグメンテーションの精度を評価するために、内腔、中膜、石灰化、ステントの **IoU**、**Dice-Score** 及びそれらの平均の平均 **IoU** と平均 **Dice-Score** を計算した。

結果: 狭心症患者 12 人から 1786 枚の画像を抽出し、解析した。テストセットの血管内超音波画像において、内腔面積が 4mm^2 未満の有意な狭小血管を有する画

像の分類精度は Accuracy 0.95、Recall 0.91、Precision 0.99 であった。また、テストセットの血管内超音波画像において、石灰化円弧角度が 180° 以上の重度石灰化病変を有する血管画像の分類精度は Accuracy 0.97、Recall 0.83、Precision 0.83 であった。テストセットの内腔領域、中膜領域、石灰化、ステントの IoU はそれぞれ 0.86、0.70、0.41、0.06 であった。また、それらの Dice スコアはそれぞれ 0.92、0.82、0.54、0.09 であった。また、それらの平均 IoU は 0.65、平均 Dice スコアは 0.71 であった。

考察：本研究では以下の結果を示した。人工知能は、(1)複雑病変から取得した冠動脈血管内超音波画像において、臨床的に重要な指標である、内腔面積 4mm^2 未満の有意な狭窄内腔を有する血管画像と石灰化円弧角度が 180° 以上の重度石灰化を有する血管画像を高精度に分類することができる、(2) 複雑病変から取得した血管内超音波画像においても、血管内の血管構造を解析し、特に血管内腔と中膜領域は領域分割できる、(3)ステントのセグメンテーションは正しく行うことはできず、その精度は低かった。以上のことから、人工知能は、有意な狭窄内腔を有する血管と重度石灰化を有する血管を正確に分類することで、将来の主要有害心血管イベントのリスクが高い病変を判別することができる可能性がある。更には、冠動脈血管内超音波画像検査を補助に用いた経皮的冠動脈形成術を行う際に、治療が必要な病変や特殊な治療機器での治療を要する病変を人工

知能が提案することで、経皮的冠動脈形成術の効率化を図ることができる可能性を示した。一方で、本研究の人工知能は、ステントを正確に識別することが困難であった。ステントのセグメンテーション精度が低かったのは、学習に用いた冠動脈血管内超音波画像にステントを有する血管画像の数が少なかったこと、および冠動脈血管内超音波画像におけるステントの外観と特性が石灰化に類似していることに起因したと考えられた。ステントを正確にセグメンテーションするためには、より多くのステント付き冠動脈血管内超音波画像を学習に用い、より新しいモデルの使用や新しい冠動脈血管内超音波画像に対する前処理を行うなどのさらなる改善が必要と考えられる

結論: 人工知能プログラムは、複雑病変の冠動脈血管内超音波画像から、血管構造を自動で認識・領域分割し、治療を必要とする血管内超音波画像と、特殊な治療器具を必要とする重度石灰化を有する血管内超音波画像を高精度に分類することができた。人工知能は冠動脈血管内超音波画像の解釈を補助し、冠動脈血管内超音波画像を補助に利用した経皮的冠動脈形成術をより簡便にすることができる。