

3. 循環器領域

1) ディープラーニングによる冠血流予備比の自動解析

隈丸加奈子 順天堂大学医学部放射線診断学講座

冠血流予備比とは

冠動脈において、解剖学的な狭窄度と機能的な虚血の有無は必ずしも一致せず、経皮的冠動脈形成術 (percutaneous coronary intervention : PCI) などの血行再建術の適応を判断する際には、機能的な虚血の有無を知ることが重要である。機能的虚血の指標の一つに、カテーテルを用いて観血的に測定する冠血流予備比 (fractional flow reserve : FFR) がある。最大充血時には、血流と血圧がほぼ比例関係となると仮定し、大動脈圧 (Pa) と冠動脈の狭窄遠位部の圧 (Pd) を測定し、その比 (Pd/Pa) を、狭窄がないと仮定した場合の血流量に対する、現在の血流量の比として評価する。0.8より大きい場合は正常、0.75以下は機能的虚血ありと考え、FFRを基に治療適応を決定した患者は、そうでない患者と比較して治療予後が良いというエビデンスが蓄積されている¹⁾。FFRは米国や欧州のPCI適応ガイドラインにも組み込まれている標準的指標であるが²⁾、侵襲的な手技である点が欠点である。

非侵襲的に機能的虚血を評価する手技として最近注目を浴びているのが、“ハートフロー FFR_{CT}” (以下、FFR_{CT} : ハートフロー社) である。心臓CTデータから再現された冠動脈三次元モデルなどを基に、流体力学解析によって、冠動脈の各部位におけるFFRを仮想的に算出する手法であり、米国・英国に続き、

2018年12月に本邦でも保険収載されることとなった。カテーテルで観血的に測定されたFFR値とFFR_{CT}値は非常によく相関することが報告されており³⁾、また、FFR_{CT}の情報が臨床的に付加されることで、不必要なカテーテル検査の削減も報告されている⁴⁾。このようにFFR_{CT}は、非侵襲的にFFRを算出できるという利点があるが、算出のためにはスーパーコンピュータを有するハートフロー社の中央解析施設 (現時点では米国のみ) に心臓CTデータを送信しなくてはならない。また、現時点では、本邦においてFFR_{CT}が保険償還の対象となるためには、実施施設が日本循環器学会の研修施設、かつ日本心血管インターベンション治療学会の研修施設、かつ日本医学放射線学会の総合修練機関である必要があるため⁵⁾、この手技の恩恵を受けることができる施設が限られる。

機械学習による冠血流予備比の解析

冠動脈CTから非侵襲的にFFRを推定する技術を、より簡便、かつより多くの施設で行うことを目的として、機械学習を用いた算出方法が近年注目され始めている。Deyら⁶⁾は、LogitBoostというアルゴリズムを用いて冠動脈CT画像からFFR予測を行った。254人の患者を対象に行った検証実験では、機械学習によって得られた異常FFR検出のreceiver operating curve (ROC) のarea under the curve (AUC) (0.84)

は、狭窄度、低吸収プラーク、または総プラーク体積などの、その他の冠動脈CT画像所見による予測よりも精度が高かったと報告している⁶⁾。

冠動脈CT画像に描出されている左室心筋を、マルチスケール畳み込みニューラルネットワークを用いてセグメンテーションし、さらに、サポートベクターマシンと組み合わせたモデルでFFRを推計する方法も、Zreikら⁷⁾によって報告されている。126人の患者を用いた10倍交差検証において、FFRによる機能的虚血の検出に関して0.74のAUCが得られている。

機械学習を用いて冠動脈CT画像からFFRを推計する手法として、現時点で最も高い精度を達成しているのは、Ituらの構築したモデルであろう^{8)~10)}。彼らは1万2000例の「人工冠動脈3Dモデル」を作成し、それぞれの3D人工冠動脈において、数値流体力学を用いて血行動態を計算した。その計算結果を、多層ニューラルネットワークの教師データとして学習させ、FFRを自動推計する手法を報告している。実際に、カテーテル血管造影でFFRを測定した症例を用いた検証実験では、異常FFR検出において0.8以上のAUCが得られている^{8),9)}。しかしながら、この手法では、冠動脈CTから冠動脈内腔を抽出 (セグメンテーション) する作業は別途 (手作業も含め) 行わなくてはならない。通常は、この作業に最も時間がかかる (図1)。よって、彼らの手法では、機械学習によって「楽できる」工程が限られ、結果的