

第二次審査（論文公開審査）結果の要旨

Multiparametric flow analysis using four-dimensional flow magnetic resonance imaging can detect cerebral hemodynamic impairment in patients with internal carotid artery stenosis

4D Flow MRI を用いた片側内頸動脈狭窄症患者を対象とした
血流 multiparametric flow 解析

日本医科大学大学院医学研究科 臨床放射線医学分野
大学院生 安藤 嵩浩
Neuroradiology 2020 掲載予定
DOI 10.1007/s00234-020-02464-2

内頸動脈狭窄症は狭窄の程度により脳灌流圧の低下を生じ、ついで脳灌流予備能（cerebrovascular reserve: CVR）の低下をきたす。CVR の低下は脳虚血イベントに対する指標の1つとして知られており、測定法としては脳血流 SPECT や PET 検査が用いられているが、コストや手技の煩雑さ、負荷で用いるアセタゾラミドの副作用の問題がある。

近年、time-resolved 3D phase-contrast (4D Flow) MRI の発展により、客観性・信頼性の高い血流情報（pulsatile flow volume (ΔV), pulsatility index (PI) 等の pulsation 情報やウィリス動脈輪を介する側副血行の有無など)を得ることが可能となった。4D Flow MRI を用いて、片側内頸動脈狭窄症患者の血行動態障害の検出能について、負荷脳血流 SPECT 検査と比較検討を行った。

4D Flow MRI とアセタゾラミド負荷脳血流 SPECT 検査を行った片側内頸動脈狭窄 (>70%) を有する連続 27 名（男性 22 名、平均 71 歳）を対象とした。

4D Flow MRI の解析は GTFlow ソフトウェア (version 3.1.0, GyroTools, Zurich, Switzerland) を使用した。まず中大脳動脈 (MCA) 近位に ROI を設定し、1 心拍における blood flow volume (BFV) 及び temporal mean flow (Net) を求め、 ΔV および PI を算出した。

$$\Delta V = \int_{\text{systolic}} (\text{BFV} - \text{Net}) dt$$

$$\text{PI} = \frac{\text{max BFV} - \text{minimum BFV}}{\text{mean BFV}}$$

Net、 ΔV 、PI については、患側/健側比も算出し、rNet、r ΔV 、rPI と定義した。側副血

行評価として患側 A1 及び患側 Pcom の血流方向を確認、順行性血流及び不明瞭であるものを native flow、逆行性のものを non-native flow とした。

Time-of-flight magnetic resonance angiography (TOF-MRA) を用いた定量評価として、MRA 元画像上で両側 MCA 近位に ROI を設定し、得られた信号について、患側／健側比を算出し、rMRA と定義した。SPECT で得た CVR に基づき、10%未満の患者を misery perfusion 群、10%以上の患者を non-misery perfusion 群に割り付けた。

MRI におけるアーチファクトにより解析困難と判断した 1 例を除く 26 例（男性 21 名、平均 71 歳）を検討対象とした。患側 ΔV 、rNet、 $r\Delta V$ 及び rMRA は、いずれも CVR と有意な相関を得た ($r = 0.430, p = 0.030$; $r = 0.504, p = 0.010$; $r = 0.471, p = 0.015$; $r = 0.430, p = 0.028$)。Pcom における逆行性血流の割合は misery perfusion 群において低値であった ($p=0.002$)。さらに ΔV (閾値 0.18 ml) 及び rNet (閾値 0.643) の組み合わせにより、misery perfusion を高い診断能で検出することが可能であった (感度 100%, 特異度 77.8%)。

第二次審査では①misery perfusion の設定根拠②検査対象の梗塞発症からの期間③術後血行動態予測の可能性などを質疑され、いずれも的確な回答を得た。

4D Flow MRI を用いた血流評価により片側内頸動脈狭窄症例の血行動態障害を検出することが可能であり、低侵襲かつ診断精度に優れ、臨床的意義が極めて高いと結論された。以上より、本論文は学位論文として価値あるものと認定した。