

MR を用いた患者固有計算流体力学解析による内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態解析

磯田 治夫*, 渡辺 智哉**, 竹原 康夫***, 寺田 理希****, 内藤 丈裕*****,
田ノ井 千春*****, 小杉 崇文*****, 大西 有希*****, 福山 篤司**,
Marcus Alley*****

* 名古屋大学 脳とこころの研究センター [〒461-8673 愛知県名古屋市東区大幸南 1 丁目 1 番 20 号]
名古屋大学大学院 医学系研究科 医療技術学専攻、*浜松医科大学 医学部附属病院 放射線部、*
磐田市立総合病院 第 1 放射線診断科、*春日井市民病院 脳神経外科、
*****磐田市立総合病院 脳神経外科、*****株式会社アールテック、
*****東京工業大学大学院 情報理工学研究科 情報環境学専攻、
*****スタンフォード大学医学部 放射線科

1. 緒言

脳動脈瘤破裂は非外傷性クモ膜下出血の約 80% を占める非常に重篤な脳血管疾患である。脳動脈瘤の発生・成長・破裂には血流動態が関与しており、血流動態の評価は重要である。本研究では患者固有条件の計算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) を用いて内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態の特徴を定性的・定量的に評価することである。

2. 実験方法

本研究は名古屋大学生命倫理委員会の承認を得て行った (承認番号: 14-305)。共同研究施設である磐田市立総合病院、浜松医科大学医学部附属病院で過去に取得された脳動脈瘤所持患者の 3D time of flight (TOF) magnetic resonance angiography (MRA) と 3D cine phase contrast (PC) MR imaging データを二次利用した。患者群を内頸動脈サイフォン部に動脈瘤を所持する群の患側群 (A 群)、および健側群 (B 群)、内頸動脈サイフォン部に動脈瘤を所持しない群 (C 群) の 3 群に分けた。

解析ソフトを用いて 3D TOF MRA から血管形状を、3D cine PC MRI から各血管流量を取得した。3D TOF MRA から取得した血管形状から動脈瘤を削除し、動脈瘤発生前の血管形状を再現し、CFD 解析の血管形状とした。CFD 解析より wall shear stress (WSS), spatial WSS gradient (SWSSG), oscillatory shear index (OSI), gradient oscillatory number (GON), aneurysm formation indicator (AFI), streamline を可視化し、動脈瘤発生部位における分布の特徴を定性的に評価した。また、内頸動脈 C2 セグメント部で正規化した normalized (N-)WSS, N-SWSSG を各群間で定量的に比較し、統計的有意差検定を行った。また、A 群と C 群の間で receiver operating characteristics (ROC) 解

析を行い、Youden index が最高値を示す N-WSS, N-SWSSG をカットオフ値とし、将来動脈瘤が発生するか定量的に区別可能か検討した。

3. 実験結果

定性評価の結果、各群全てにおいて内頸動脈 C2, C3 セグメント境界外側部および C3 セグメント内側部において WSS, SWSSG が高い部位が多く見られた。定量評価の結果、N-WSS は A 群と C 群の間で、N-SWSSG は A 群と B 群、A 群と C 群の間でそれぞれ統計的有意差が見られた。ROC 解析の結果、N-WSS は感度 0.92、特異度 0.47、正診度 1.38 で、N-SWSSG は感度 0.83、特異度 0.80、正診度 1.63 で将来動脈瘤が発生するか否かを区別できると考えられた。

4. 考察

定性評価では動脈瘤が発生する部位では WSS, SWSSG が高かった。WSS, SWSSG が高い部位では MMPs が産生され、壁細胞のアポトーシスを起こすため、壁の菲薄化が起こり、壁の局所的な突出が起こったと考えられた。しかし、動脈瘤が発生しない群でも同様の傾向が見られた。

定量評価の結果、動脈瘤が発生する群としない群に統計的有意差が見られた。壁細胞のアポトーシスによる壁のリモデリングが現状維持的に働くか、外側方向へ働くかに起因すると考えられた。

5. 結言

定性的には WSS, SWSSG が高い部位で動脈瘤が発生しやすいと考えられたが、動脈瘤がない群でも同部位で同傾向が見られた。

本研究で提案した定量評価方法を用いることで、将来動脈瘤が発生する群としない群を区別できると考えられた。