

● 腹部大動脈瘤の診断やEVAR術後管理における4D Flow MRIの応用例

市立四日市病院 放射線科 | 堀口瞭太

4D Flow MRIの登場により、血行動態を多角的かつ定量的に評価する事が可能になった。従来では得られなかつた新しい指標も登場しており、腹部大動脈瘤やその治療に関して新たな知見が得られる可能性がある。

The advent of 4D Flow MRI has made it possible to evaluate hemodynamics from multiple angles and quantitatively.

New indices that could not be obtained in the past are now available, which may provide new insights into abdominal aortic aneurysms and their treatment.

● はじめに

腹部大動脈瘤は動脈硬化など様々な原因により大動脈が脆弱化、拡張する疾患であり、破裂すると高確率で死に至る。破裂予防のための治療としてステントグラフト内挿術(EVAR)と人工血管置換術があり、より低侵襲な前者が選択される割合が増加している。術前後とも画像診断による評価が重要であるが、現状ではdynamic CTを用いる事が多い。

4D Flow MRIは1心拍を多時相(筆者の研究では23時相)に分割して3次元的な速度ベクトルの変化を多時相に分割して観察可能な技術である。一度データを取得しておくと、患者が検査室を離れた後も任意の観察方向、箇所、時相についてretrospectiveに検討する事が出来るのも強みである。また、速度情報の計算と加

工で流量、壁せん断応力(Wall shear stress ; WSS)、振動せん断指数(oscillatory shear index;OSI)、エネルギー損失(energy loss ; EL)などの指標も得られ、これら全てを定量的に3次元表示して評価可能である。Dynamic CTよりも非侵襲的で、得られる情報が多く、本稿でその応用例について紹介する。

● 術前評価と予後予測

腹部大動脈瘤に対する画像診断では定期的・縦断的なサイズや形状の観察が行われ、最大短径で男性55mm/女性50mm超、半年で5mm以上増大するもの、また囊状瘤では破裂のリスクが高いとして、侵襲的治療の適応となる。

4D Flow MRIでは従来CTで得られていた情報に加え、図1に示す様に流線図から動脈瘤内部の血流に渦や乱流が生じる様

子、瘤壁に分布するWSSを観察する事が可能である。一例を提示すると図2a,bに示す正常大動脈の層流の血流に比べ、大動脈瘤の渦や乱流部(図1a,b)ではWSSが低下していることが見てとれ、興味深い。先行研究に、WSSが低い血管壁では血管内皮細胞が動脈硬化性変化を促進する物質をリリースするとの報告¹⁾や、破裂動脈瘤をComputer Fluid Dynamics (CFD)で調査したところWSSの低い点で破裂していたとの報告²⁾がある。今後の検討が必要であるものの、動脈硬化による壁の脆弱化により瘤が拡張し、拡張部ではWSSが低下し、さらに動脈硬化が進行するという動脈瘤の成長モデルが予想される³⁾。

4D Flow MRIがもたらすWSSの情報はサイズと並ぶ予後の予測因子となる可能性がある。

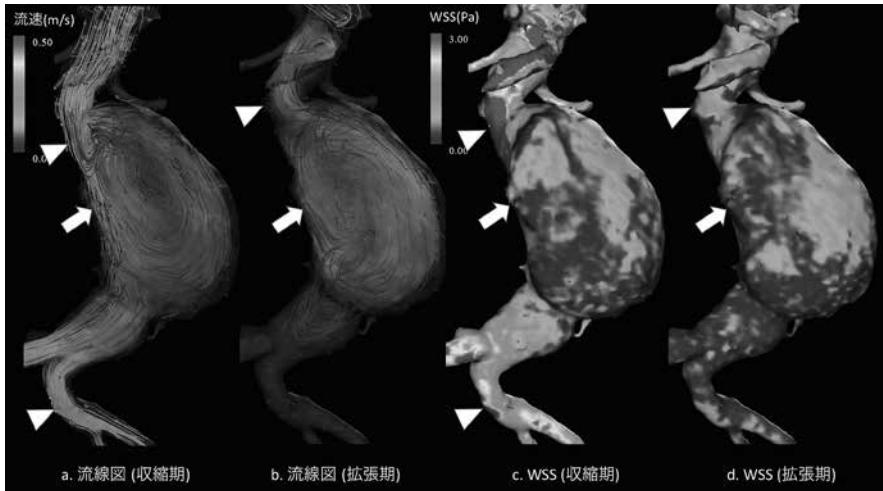


図1 大動脈瘤における流線図とWSS分布

瘤内に大きな渦(ab矢印)が生じており、渦部分では層流の部分(ab矢頭)と比べてWSSが低下(c,d)している。

➡卷頭カラー参照

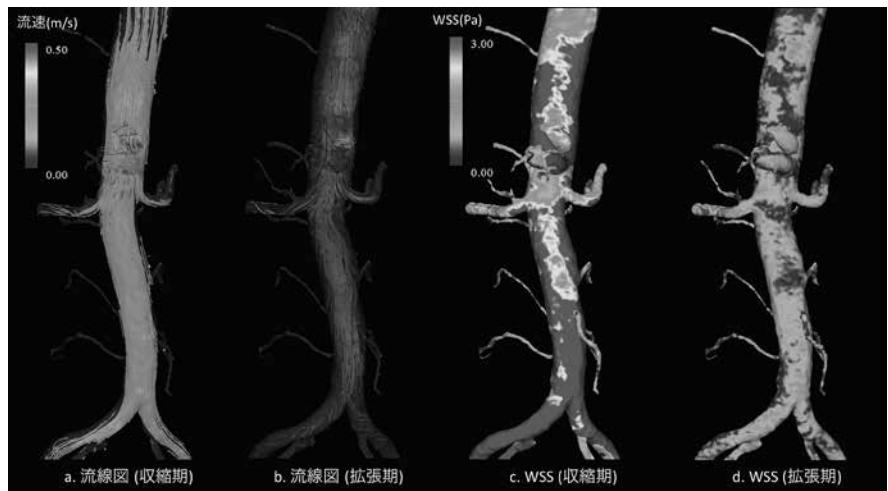


図2 正常大動脈における流線図とWSS分布

全体的に層流で渦や乱流は認めない。WSSも高く保たれている。

➡卷頭カラー参照

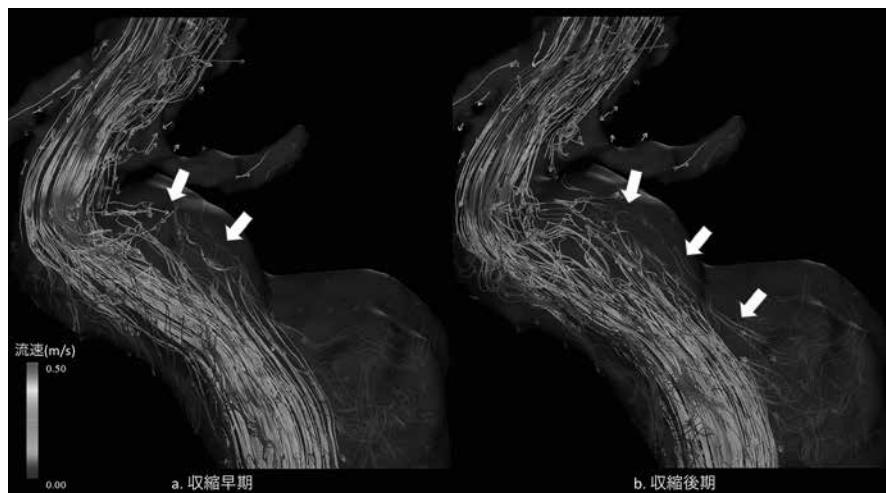


図3 type1a エンドリーク

収縮早期からステントグラフト内の血流とは別に瘤内に流入する流線の束(a矢印)があり、収縮後期で下方に拡大しているのが分かる。

➡卷頭カラー参照

エンドリーク評価における4D Flow MRIの優位性

EVAR術後に重要なステントグラフトのトラブルとしてエンドリークがあり、治療の必要性や方法を決定する上でエンドリーク発生部位の特定やタイプ分類が極めて重要であるが、従来のdynamic CTではしばしば困難なことがある。血管造影ならより多くの情報を得られるものの、侵襲度や手間を考えると定期フォローで毎回行うのは現実的でなく、得られる画像も撮影時に観察方向が限定される2次元の情報である。

4D Flow MRIではステントグラフト外/瘤内の空間に流入する血液のエンドリークを流線として描出可能で、その起点や向きが分かる。その優れた時間分解能を生かしてステントグラフト内の血流との発生タイミングの差を多方向から観察でき、これらがエンドリークのタイプ判別においては大きな助けになると考えられる。阪田らは4D Flow MRIを用いてエンドリークを描出し、タイプ診断まで可能であったと報告⁴⁾しており、複数タイプの複合も診断可能であった。実際に図3、図4に示す自験例はtype1a(図3)と1b(図4)の複合エンドリークを認めた症例であったが、瘤上部と下部から瘤内へと流入する流線がそれぞれ観察可能である。

また、type2エンドリークについて片橋らはEVAR後におけるtype2エンドリーク(T2EL)後の瘤の予後について、これまで予測が困難であったが、4D Flow MRIで瘤と交通する複数の臓器動脈を包括的に解析することで、EVAR後の瘤の拡大を予測できる可能性があるとしている⁵⁾。

ステントグラフトのEndurantは術後早期のtype4エンドリーク必発とされているステントグラフトであるが、type4にマスクされて見落とされる他タイプのエンドリークの診断に役立つ可能性がある。さらにtype2においては流入血管を同定し、その流量を定量評価する事も可能である。

4D Flow MRIではCTと違って被曝がなく、腎機能障害など造影剤によるリスクも小さい。エンドリーク評価は長期に渡ってフォローし続ける必要があり、低侵