

論文内容の要旨

Four-dimensional flow analysis reveals mechanism and impact of turbulent flow in the dissected aorta

4D flow MRI を用いた大動脈解離患者の偽腔内における
乱流の発生機序の解明および予後への影響に関する検討

日本医科大学大学院医学研究科 心臓血管外科学分野

大学院生 高橋 賢一郎

European Journal of Cardio-Thoracic Surgery (2021) 掲載

doi:10.1093/ejcts/ezab201

<背景>

慢性大動脈解離は、真腔および偽腔の解剖学的構造や血流動態の観点において患者ごとに多彩なvariationを呈する。遠隔期に大動脈径拡大や破裂を来す患者が一定数生じるため、CTなどによる画像診断で瘤径のfollowを行うことが強く推奨されている。過去の慢性大動脈解離に関する研究において、偽腔開存例が偽腔閉塞例よりも生命予後不良であることが報告されており、偽腔内の血流動態が遠隔期の径拡大や破裂に直結し得ることを示唆している。従来の画像診断に加えて、血流解析によって新たな危険予測因子を解明することができれば、慢性大動脈解離患者群からハイリスク症例を判別し、選択的に積極的な外科治療を施すことで、大動脈解離患者の生命予後の改善が期待できる。

近年、4D flow MRIが注目されており、これまで困難であった血流の定量評価および流線の可視化が可能となり、大動脈疾患において新たな知見が集積されている。他の大動脈疾患に対する4D flow MRIを用いた血流解析研究において、大動脈内に生じる乱流は血管壁の変性・瘤化を促進することが過去に報告されており、慢性大動脈解離患者の偽腔においても同様の機序で乱流が遠隔期の瘤化や続発する破裂に寄与すると考えられている。

本研究は、慢性大動脈解離患者の4D flow MRIデータを解析することで、偽腔内の乱流発生機序を解明し、さらに乱流の予後への影響を検討することを目的とした観察研究である。

<対象・方法>

2018年4月から2020年3月までに日本医科大学付属病院で4D flow MRIを撮像した慢性大動脈解離患者を対象とした。慢性大動脈解離B型の患者に加え、急性大動脈解離A型術後患者も対象とした。偽腔が完全に閉塞している患者、大動脈ステントグラフト治療の既往がある患者、造影MRI禁忌例は対象外とした。

33名が本研究の対象となった。内訳はA型解離術後患者が20名であり、B型解離患者は13名であった。4D flow MRIで対象患者の真腔・偽腔内の①血流量②流速③逆流率を定量し、さらに④偽腔内の乱流強度を視覚評価した。偽腔内の乱流強度と血流量・流速・逆流率との相関を統計学的に解析した。

また、33名の患者の造影CT情報を取得し、大動脈径・偽腔径・Entry位置・Entry径・偽腔開存状態（PatentもしくはPartially thrombosed）を収集した。さらに、患者の観察期間中の予後に関するデータ（破裂・瘤拡大・追加治療の有無）を収集した。MRI・CTから得られた血流・解剖情報と予後との関連についても統計学的に解析した。

<結果>

患者年齢の中央値は64歳であり、21例（64%）が男性だった。大動脈解離発症から4D flow MRI撮像までの期間の中央値は9ヶ月だった。偽腔開存状態がPartially thrombosedに分類された患者は14例（42%）だった。

A型解離群・B型解離群間およびPatent群・Partially thrombosed群間で4D flow MRIから得られた血流情報（①血流量②流速③逆流率④偽腔内の乱流強度）を比較検討したところ、A型解離群はB型解離群に比べて真腔内の流速が有意に速く、Patent群はPartially thrombosed群に比べて偽腔内の流速が有意に速かった。その他の定量値および乱流強度は、A型解離群・B型解離群間およびPatent群・Partially thrombosed群間で有意差を認めなかった。

33名の大動脈解離患者の偽腔内における血流量・流速・逆流率に関して、偽腔内の乱流強度との相関関係を解析したところ、血流量・流速は乱流強度と統計学的に有意な相関関係を認めた。逆流率は乱流強度と相関関係を認めなかった。また、造影CTで取得した解剖学的情報と偽腔内の乱流強度との相関関係を解析したところ、偽腔径・Entry径も偽腔内の乱流強度と統計学的に有意な相関関係を認めた。

4D flow MRI撮像後の予後観察期間の中央値は29ヶ月間であった。予後観察期間中に2例（6%）が大動脈破裂により死亡し、9例（27%）が径拡大に対するステントグラフトや人工血管置換の追加治療を受けた。この破裂・追加治療群11例と安定した経過を辿った22例で、4D flow MRIの血流解析情報および造影CTの解剖学的情報に関する比較検討を行ったところ、破裂・追加治療群11例において有意に偽腔内の血流量および乱流強度が高値であり、また大動脈径・偽腔径・Entry径も高値であった。

<結論>

大動脈解離患者に対する4D flow MRI解析によって、偽腔内に発生する乱流の強度は、偽腔内の血流量および流速に依存することがわかった。また、遠隔期に破裂した患者や追加治療を要した患者は、偽腔の血流量が多く、偽腔内の乱流強度も高いことが示された。過去の研究で大動脈径・偽腔径・Entry径といった画像診断における解剖学的情報が遠隔期の危険予測因子であることは既知であるが、これらに加えて4D flow MRIによる血流解析情報が新たな危険予測因子になりうることを示された。すなわち大動脈解離患者群において、4D flow MRIによる血流解析を行った際に、偽腔内の血流量が多く高度な乱流を呈する患者は、遠隔期に偽腔の大動脈壁が変性し径の拡大を来す可能性があり、遅発性に破裂をはじめとする重大な合併症を生じる可能性が高いと考えられるため、より綿密なフォローアップを要し、積極的な追加治療を行うことで生命予後を改善することが期待できる。