Optimal plane selection for measuring post-prandial blood flow increase within the superior mesenteric artery: Analysis using 4D flow and computational fluid dynamics

メタデータ	言語: jpn 出版者: 浜松医科大学 公開日: 2020-10-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉山, 将隆 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10271/00003776

博士（医学）　杉山　将隆

論文題目

Optimal plane selection for measuring post-prandial blood flow increase within the superior mesenteric artery: Analysis using 4D flow and computational fluid dynamics

（食事負荷後の上腸間膜動脈の血流増加を測定するのに最適な断面の選択: 4D Flow と計算流体力学を用いた解析）

論文の内容の要旨

［はじめに］

2D シネ位相コントラスト（2D cine PC）MRI は、MRI での上腸間膜動脈（SMA）の血流速度測定の方法として多くの研究で使用されてきた。しかし、これまで測定面の最適な位置の設定については研究されていない。我々は今回の研究で、2D cine PC と食事負荷試験を組み合わせた SMA の流速測定が測定面の位置に依存しているかどうかを検討し、最適な流速測定断面を探すことを目標とした。

［対象ならびに方法］

本研究は浜松医科大学医の倫理委員会の承認を得ている（受付番号第 25-40 号）。7 人の健康なボランティアが対象となった。SMA に 3 つの測定面（近位部、彎曲した中央部、直線状の遠位部）を設定し、これらの測定面で心時相分解 ECG ゲート 2D cine PC MRI を食前および食後 30 分に撮影した。大幅にアンダーサンプリングされた等方性投影イメージング（vastly-undersampled isotropic projection imaging: PC VIPR）での 3 次元シネ位相コントラスト MRI（3D cine PC-MRI、4D Flow）も 2D cine PC の直後に撮影し、得られたデータより流線解析を行い、SMA 内の血行動態の視覚的・統計学的解析を行った。2D cine PC のデータより、時間平均血流速と各心時相の血流速の増加を Wilcoxon の符号順位検定にて評価した。また、4D Flow とそれを元に行った計算流体力学（CFD）のデータを使用し流線を描出し、SMA 内の各部位における乱流の程度を視覚的に評価した。乱流の視覚的評価は 2 人の放射線科医が行い、κ 係数により一致度を評価した。

［結果］

2D cine PC では、近位部（食前 97.8 mm/s、食後 129.3 mm/s、P = 0.0313）と遠位部（食前 96.2 mm/s、食後 166.9 mm/s、P = 0.0313）でのみ食事負荷後の時間平均流速の増加が測定された。彎曲した中間部においては有意な流速増加は測定されなかった（食前 85.5 mm/s、食後 113.1 mm/s、P = 0.0625）。平均速度の標準誤差は、食事負荷前後ともに遠位部で最小であった（8.5–26.5）。流線解析では、4D Flow と CFD の両方で、彎曲した中間部には流路に垂直な血流や、らせん流といった乱流がより頻繁に出現していた（κ: 0.27–0.68）。

［考察］

MRI による速度測定では、近位部と直線状の遠位部で食事負荷後の有意な血

流速度の増加が測定された。しかし、SMA の彎曲した中間部では有意な増加は見られなかった。SMA の中間部では、流路の彎曲により渦流やらせん流等の乱流が支配的となり、流速測定に大きな誤差を生じ、正確な流速の測定が妨げられたと考えられる。

4D Flow のデータを使用した流線解析では、収縮期には彎曲した中間部で渦流および/またはらせん流が支配的であることが視覚的に示された。拡張期には 3 つの部位すべてで乱流が観察されたが、なかでも彎曲した中間部でより顕著だった。

SMA の近位部でも軽度の乱流が観察された。SMA は大動脈より急峻に分岐しているが、腹部大動脈の高速な血流が SMA 起始部に衝突することで流入および流出の血流が生じ、SMA 近位部に乱流を発生させたのではないかと考えられる。この結果は CFD による流線解析でも裏付けられた。

今までは SMA の起始部は呼吸運動による影響が少ないために測定断面として推奨されていたが、今回の研究では直線状で乱流の少ない遠位の方がより適切であるという結果となった。SMA に限らず、内臓動脈の血流速度を正確に測定するためには、原則として乱流の回避が必要と考えられる。

本研究の結果は単に SMA の血流測定にとどまらず、すべての血管の血流測定における従来法の問題点を指摘し、その解決策を提示するものである。すなわち、乱流の生じる部位に測定断面を置くことを避け、層流の部位で計測すること、そしてこれらの流れのパターンは 4D Flow や CFD による流線解析で実測あるいは予測可能であることが示唆された。

［結論］

2D cine PC MRI を使用した SMA の血流速度測定の精度は、測定面の位置に依存すると考えられる。MRI による血流速度測定には、彎曲した中央部ではなく、乱流の少ない遠位の直線部が推奨される。4D Flow は血流の流線を視覚的に示すことで、適切な測定断面を設定するのに有用と考えられる。