Blood Flow Simulation in the Right Coronary Artery Considering Dynamic Vessel Motion

学 ○式見 浩 (京工繊大) 正 福井 智宏 (京工繊大)

正 森西 晃嗣 (京工繊大)

Hiroshi SHIKIMI, Kyoto Institute of Technology, Goshokaido-cho, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto

Tomohiro FUKUI, Kyoto Institute of Technology

Koji MORINISHI, Kyoto Institute of Technology

1 緒 言

心筋梗塞や狭心症などといった心疾患には、動脈硬化症が大きく関与している。動脈硬化症は高齢化や生活習慣の変化に伴い年々増加傾向にあるが、発症および進展のメカニズムに関しては解明されていない。しかし、動脈硬化症には分岐部・湾曲部といった好発部位が存在する。これらの部位では流れの剥離や逆流により、流れ場が複雑に変化しており、動脈硬化症の発症・進展には流体力学的要因が関係していると考えられている。動脈硬化症の発症および進展メカニズムに関する有力な説の一つに低せん断応力説が挙げられる。低せん断応力説とは、壁面せん断応力の低い位置において、動脈硬化症が発症し進展するという考えである。本研究では、コンピュータシミュレーションにより血管内流れの解析を行い、低せん断応力説に着目し評価を行う。また、好発部位の一つである右冠状動脈は、心臓の拍動に従ってダイナミックな運動を伴う。また、Toriiら⁽¹⁾により、血管壁の運動は血管内流れに影響を及ぼすという報告があり、動脈硬化症のメカニズム解明には、血管の運動が血行力学因子に与える影響の調査が必要であると考えられる。これに対し、本研究では、単純なモデルを用いて解析を行い、血管の運動の有無により、壁面せん断応力などの血行力学因子に生じる差を比較する。

2 計算方法

血液流れの支配方程式として、非圧縮性格子ボルツマン法を用い、血管壁の再現には仮想流束法⁽²⁾を用いた。

今回は 2 次元平行平板間流れを対象とし、解析を行った。計算モデルを Fig. 1 に示す。

Fig. 1. Simulation model

運動の再現に関して、計算モデルは計算領域上を実際に移動するものとし、設定した運動に則った壁面速度、圧力勾配を壁面境界条件として与える。上下血管壁の境界条件としては、壁面運動速度を式(1)で与え、これに伴った変位および加速度が生じるとした。圧力に関しては、圧力勾配を与えた。

$$v = -V_w \sin \omega t \quad (1)$$

ここで V_w は壁面における最大速度とし、代表速度 U に対し、 $V_w = 0.1U$ とした。流入条件としては、平均速度を代表速度とするポアズイユ流を与え、圧力は線形外挿した。流出境界条件としては、速度は線形外挿し、圧力は平均値が基準圧 p_0 となるよう固定した。また、レイノルズ数 $Re=40$ における解析を行った。

3 解析結果

静止した平行平板間の理論値で除した下壁面におけるせん断応力分布を、Fig. 2 に示す。

Fig. 2 Wall share stress distribution of the lower wall

Figure 2 において、血管の運動により壁面せん断応力の値が変化する事が分かる。この結果より、血管の運動は、せん断応力を変化させ、動脈硬化症の発症および進展に影響を与えると考えられる。今後は、湾曲したモデルを用いた解析を行い、血管の運動が壁面せん断応力に与える影響を調査し、低せん断応力説に基づいた考察を行う。

3 参考文献

- [1] R. Torii, "The effect of dynamic vessel motion on hemodynamic parameters in the right coronary artery: a combined MR and CFD study", The British Journal of Radiology, (2009), pp. 524-532.
- [2] I. Tanno et al. "Validation of Virtual Flux Method for Forced Convection Flow", JSME, (2006), pp. 1141-1148.