

ワークショップ2: 医療システムの坂と雲〜医工連携が切り開く近未来の医療

流体シミュレーションが切り開く予測医学

名古屋工業大学

中村 匡徳*

抄録:

流体シミュレーション (Computational Fluid Dynamics, CFD) とは、流れの物理法則に基づいて流れの情報を得る手法である。本稿では、CFD の臨床活用法や将来展望に対して概説する。

(西日泌尿, 86: 221-222, 2024)

キーワード: 流れ, 可視化, CFD, シミュレーション, 予測医学

緒言

CFD とは、流れの物理を記述する方程式を解くことで、流れの情報 (速度, 圧力等) を得る手法である。元々、宇宙・航空産業のために開発された技術であるが、コンピュータの汎用化に伴って、自動車・鉄道・船舶等の工業のみならず、海流・気象・都市設計等に適用が拡大されてきた。ここでは、CFD の歴史を紐解くとともに、医学分野での活用に関する展望を概説する。

医学分野における CFD 活用は主に循環器領域、具体的には、血流動態解析が中心であった。著者の知る限り、Peskin¹⁾ による心臓弁を通過する血液挙動の解析が最初である。解析は二次元であったが、弁葉と血流との力学的相互作用を加味したことは驚異的である。というのも、Peskin 以来、構造物と流れとの相互作用計算は 2000 年代初頭まで 30 年以上登場せず、2023 年においても、未だ、工学的に困難な問題とされているからである。2000 年代になると、MRI や CT といった医用画像や超音波ドップラ等の医用計測データが使えるようになったため、患者個体別の解析が可能となった。2010 年代になると、医学部主体でも CFD を活用した研究が行われるようになり、実臨床への応用が模索されてきた。

公的承認の下で CFD が臨床導入された例は、Heart Flow 社の FFRCT のみである。FFR は狭窄により冠動脈血流が機能的にどのくらい阻害されているかを示す指標であり、狭窄前後の圧力比として定義される。侵襲的に圧力カテーテルを挿入して計測していた FFR を、シミュレーションにより求められるのであるから被ばくを除いて非侵襲的な計測になるわけである。本指標の臨床

的評価は本論の対象ではないので、記載はこの程度に留めるが、「侵襲から非侵襲へ」というのは CFD の臨床活用における大事なキーワードであろう。

CFD の臨床活用として、他に考えられるものを列挙する。まず、「可視化」である。特定の血管に血液が流れているのか調べたい時、流れが遅いところでは造影剤を入れても、すぐに拡散し、流れがあるのかどうかよくわからないことがある。CFD であれば、どんなに遅くても計算機上で流れを再現できるので視ることが可能となる。2つ目は、「原因推定」である。Muraoka et al²⁾ は、脳動脈瘤に対する手術後、血栓により亡くなった患者において、その原因を解明するために CFD を利用した。また、Kawahito et al³⁾ は、Apico-Aortic Bypass 術を行った際に、大動脈弓に頻発する血栓の原因究明に活用した。3つ目は、「他シナリオの検討」である。Itatani et al⁴⁾ は、冠動脈バイパス手術を行う際にどこをどのように吻合すると効率的かというようなことを議論し、仮想的に手術を行った際の流れを調べられる CFD が術式検討に有効であると述べている。4つ目として、「計測値 (指標) の意味付け」が挙げられる。臨床研究では、統計から指標の有効性が示されるが、その物理的意義は不明な場合もある。Nakamura et al⁵⁾ は、左心室拡張機能の診断に使用されていた血流伝播速度という指標が、左心室の拡張に伴って発生する渦輪の成長速度によって規定されることを明らかにした。また、拡張機能を種々に変更した CFD を介して、指標の感度や限界についても明示している。

未来医療として思い描くのは症状がまだ表出していない患者についてシミュレーションを行い、将来的な疾患発症の確率を提示し、高頻度の健康診断への受診や生活習慣の改善を促すような医療である。疾患の進行予測のためには、力学的、生物学的反応のみならず老体化によ

* 〒466-8555 愛知県名古屋市中区昭和区御器所
TEL 052-735-5569, FAX 052-735-5569
E-mail masanorin@nitech.ac.jp

る体内環境の変化，生活習慣など様々な要因を考慮する必要がある。これらの因子を病態発症と関連付けるためには，疫学的調査とシミュレーション結果とを相関する大規模解析が必要になる。シミュレーションによる予測医学を達成するには解決すべき課題は多くあるが，そこに行かないまでもまずはシミュレーションがもつ潜在的能力をご理解いただけると幸いである。

文 献

- 1) Peskin, CS.: J Comp Phys, **10**: 252-271, 1972.
- 2) Muraoka S. et al.: Sci Rep, **12**: 7283, 2022.
- 3) Kawahito K. et al.: Int Cardiovasc Thora Surg, **24**: 670-676, 2017.
- 4) Itatani K. et al.: Gen Thora Crdiovasc Surg, **65**: 611-621, 2017.
- 5) Nakamura M. et al.: Biomech Model Mechano-biol, **2**: 59-72, 2003.

PREDICTIVE MEDICINE EXPLORED BY FLUID DYNAMICS SIMULAITONS

MASANORI NAKAMURA

Department of Electrical and Mechanical Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Abstract

Fluid simulation (CFD) is a numerical method to obtain flow information based on the fluid mechanics. This article provides an overview of the clinical application of CFD and its future prospects, especially towards predictive medicine. (Nishinohon J. Urol. **86**: 221-222, 2024)

key words: flow, visualization, CFD, numerical simulation, predictive medicine
