



血流シミュレーション心臓手術設計支援 —先天性心疾患の最適な手術方法を コンピュータシミュレーションで設計—

研究・開発機関 : [株式会社 Cardio Flow Design](#)
 利用施設 : FOCUSスパコン、スーパーコンピュータ「富岳」、自社施設内計算機
 計算規模 : 32 ~ 120 コアを用いた並列計算の場合、24時間以内の計算時間
 利用ソフトウェア : OpenFOAM

Before

- 複雑な血行再建手術を必要とするような先天性心疾患では、解剖学的な個体差や、成長や加齢変性による変化などが大きいことにより、通常の統計的手法だけでは手術治療の方針を決定することが困難でした。
- やり直しがきかない、生命にかかわる手術となる症例も少なくなく、個々の症例に最適な手術の方法を提供するシステムが求められていました。

After

- 術前CTスキャンデータをもとにした3Dモデリング技術で手術の方法を設計しつつ、数値流体計算により模擬的に血流評価を行うことで、血流を最適化した手術設計が可能となりました。
- 患者ごとの病態に応じたテーラーメイドな手術が、理論的に裏打ちされた状態で実行可能となりました。

背景と目的

先天性心疾患（CHD：coronary heart disease）は出生児の1%に発生し、そのうち複雑な血行再建手術を要する中等度以上の疾患割合は約32%で年間約3,840人にのぼります。新生児期や小児早期に手術を受け遠隔期（退院後～数年後）にさらに再手術を必要とする症例も少なくなく、CHDは成長に伴う体格変化、手術時からの技術の遷移、また病態の患者間の差が大きく、一律同様の手術を行うことができません。

本邦でCHD手術が始められて約50年と歴史が浅く、症例の解剖の種類も多彩なため、従来臨床医学が得意としてきた経験や統計データに基づいて治療指針を割り出すことも極めて困難です。本研究では数値流体力学による血流解析に基づき個々の症例に合わせた手術設計図を構築するシステムの開発を進めています。（図1）

術前CTをもとに複数の手術設計を行い、それぞれの手術で血流の良し悪しを数値解析により予測します。このシステムは国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）の令和3年度「小児用医療機器の実用化を目指す医師主導治験・臨床研究」に採択され、大阪市立大学、埼玉医科大学国際医療センター、岡山大学大学院医歯薬学総合研究所と医療機器化を進めています。

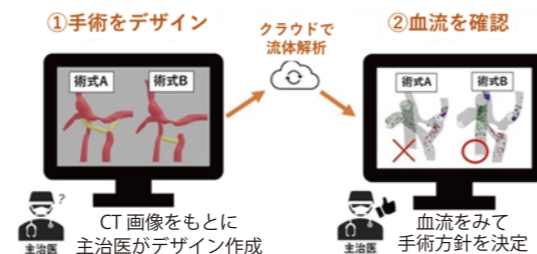


図1 先天性心手術設計システムの全体像

利用成果

単心室Fontan手術での血流に基づく手術デザイン

先天性心疾患で最も複雑な疾患の一つである単心室症では肺に血流を駆出する心室が存在しないため、Fontan手術という全身から戻ってくる静脈血流を右心室を通さずに直接肺動脈に還流させる循環をつくる手術を行います。このとき肝臓で生成される物質が静脈血流を介し左右の肺に均等に分配し、なおかつエネルギー効率が良いことが遠隔期の患者の予後を決める大きな因子で、そのため血流路のデザインが重要です。

特に奇静脈結合やApico-caval juxta-positionなど特殊な解剖症例では、左右肺バランスを予測することが難しく、血流シミュレーションによる術式デザインが有用と考えられます。図の症例は単心室症・下大静脈欠損・奇静脈結合を伴う症例で、肝静脈の流路の設計として、術式1:冠静脈-奇静脈バイパス、術式2:Y-Graft置換、術式3:人工血管吻合口径拡大の3通りの手術方法をデザインしその血流を計測しました。術式1,2は肝静脈血流の分配のバランスが悪く術後チアノーゼにつながる可能性が示唆されます。

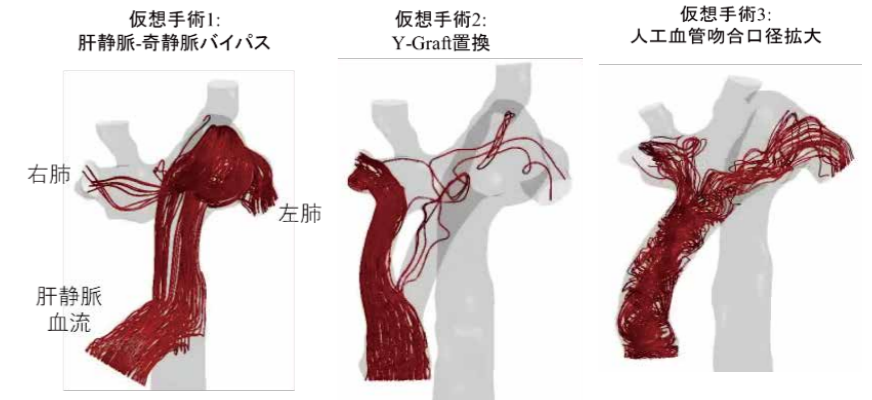


図2 単心室 Fontan 手術での血流に基づく手術デザイン

肺動脈形成における血流に基づく手術デザイン

33歳男性で過去にFallot四徴症修復の手術を受けた方の症例です。図3上部のようにMRIでの血流解析から高度肺動脈弁逆流、中程度の三尖弁逆流、右心室拡大が認められ弁修復が必要なが判明しました。また、小児期の姑息（一時しのぎ）手術の影響で左肺動脈が狭く、左肺血流量が小さい循環でしたが、健側の右肺に腫瘍が存在し切除が必要でした。肺動脈弁人工弁置換手術と同時に右肺腫瘍の切除を予定しましたが、その際左肺動脈を形成すると左肺血流量が増加するか本システムを活用し検討しました。

図中央は術前の血流と仮想的にデザインされた肺動脈形成手術の予測血流を比較したものです。術前は矢印で示す部分が狭小なために流れの加速、圧較差が生じていますが、分岐部から内膜形成を行い、狭小な流路を拡大することで左肺動脈への血流量、改善と、狭小部での加速血流と圧較差の解消が見込まれました。

このシミュレーションに基づく手術設計に従い肺動脈の形成手術が行われました。

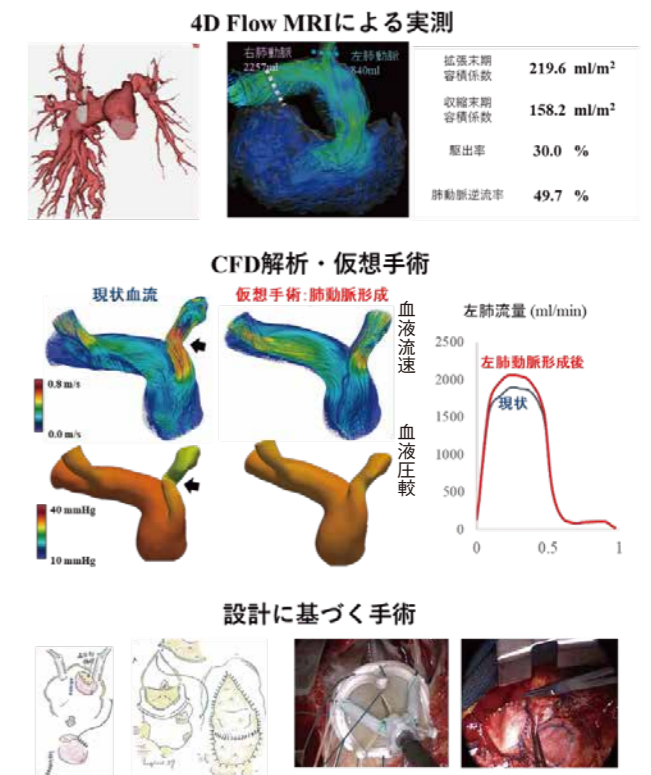


図3 肺動脈形成における血流に基づく手術デザイン