

Fontan 循環の治療戦略評価のための右心系模擬循環回路システムの開発

*¹公立小松大学大学院サステイナブルシステム科学研究科, *²旭川医科大学先進医工学研究センター,
*³東北文化学園大学工学部, *⁴東北大学流体科学研究所, *⁵大阪工業大学工学部, *⁶東北大学加齢医学研究所

新田 亮介*¹, 中村 貴太郎*¹, 井上 雄介*^{2,4,6}, 深谷 碧*^{3,6}, 岡島 淳之介*⁴, 平郡 諭*⁵,
白石 泰之*⁶, 山家 智之*⁶, 山田 昭博*^{1,4,6}

Ryosuke NITTA, Kitaro NAKAMURA, Yusuke INOUE, Aoi FUKAYA, Junnosuke OKAJIMA, Satoshi HEGURI,
Yasuyuki SHIRAIISHI, Tomoyuki YAMBE, Akihiro YAMADA

1. 目的・方法

小児先天性心疾患のうち、単心室症の最終的な治療法である Fontan 手術後の Fontan 循環は、正常循環とは異なり右心室を介さず、肺血流に拍動がなく、中心静脈圧が高値を示し、さらに呼吸性変動の影響を大きく受ける特殊な血行動態となる。チアノーゼなどの循環障害は改善するものの、長期的に Fontan 循環が破綻する Failing Fontan の発症機序や、循環補助による治療戦略については未解明な点も多い。そこで本研究では、Fontan 循環破綻の機序解明や Failing Fontan の循環補助効果を研究するための第1段階として、呼吸性変動を加味した Fontan 循環特有の血行動態を再現可能な右心系模擬循環回路を構築し、その血行動態評価を行った。

本研究で開発した模擬循環回路は、Fontan 循環の単心室モデルとして、主ポンプおよび大動脈コンプライアンス部にラボハート NCVC® (イワキ社製) を応用し、シリンジポンプ駆動により小児の左室拍出を再現できるよう駆動制御を行った。また、Fontan 循環の心外導管部の解剖学的形状を再現した Fontan connection model を 3D プリントモデルで設計し、上下大静脈系のコンプライアンスおよび血管抵抗と、左右の肺循環の血管弾性を模擬したコンプライアンスタンク、肺血管抵抗モデルで模擬循環回路を構築した。さらに、左右肺循環モデル部の血管抵抗とコンプライアンスを、空気圧駆動装置で 20 bpm で周期的に変動させる機構を開発し、呼吸性変動の模擬を試みた。実験条件では、通常の Fontan 循環と、血管抵抗の高い Failing Fontan がそれぞれ再現可能かを試みた。

2. 結果

作製した模擬循環回路において、Fontan 循環を再現した単心室駆動を行った結果、心拍出量 2.18 L/min、大動脈圧 55.4 mmHg、Fontan 吻合部圧 (中心静脈圧) 13.5 mmHg、肺血管抵抗 2.81 WU/m² となった。Failing Fontan を模擬した条件では、中心静脈圧 25.5 mmHg、肺血管抵抗 4.63 WU/m² に上昇した。また、呼吸性変動によって下大静脈への最大 - 2.2 L/min の静脈逆流を再現でき、Fontan 循環の臨床データに基づく血行動態再現が可能であった^{1),2)}。

3. まとめ・独創性

Fontan 循環の病態生理的メカニズムに基づき、呼吸性変動を考慮した Fontan 循環の模擬循環回路を開発した。また、通常の Fontan 循環から Failing Fontan への血行動態変化を再現でき、Fontan 循環の臨床データに近い値を得ることができた。

本研究は、Fontan 吻合部の 3D 形状再現、上下大静脈系・左右肺動脈系のモデル化、さらに呼吸性変動を加味した血行動態再現を可能とする点で優位性を有する。また、機械的循環補助デバイスの組み込みにも拡張可能であり、Fontan 循環に対する新たな治療戦略の評価に活用し得る独創的な評価試験プラットフォームになり得る。

本稿のすべての著者には規定された COI はない。

文 献

- 1) Hildebrand S, Groß-Hardt S, Schmitz-Rode T, et al: In-vitro performance of a single-chambered total artificial heart in a Fontan circulation. *J Artif Organs* **25**: 1-8, 2022
- 2) Schaffner D, Perez MH, Duran R, et al: Case Report: Transcatheter interventional procedure to innominate vein turn-down procedure for failing fontan circulation. *Front Pediatr* **12**: 1341443, 2024

■ 著者連絡先

公立小松大学大学院サステイナブルシステム科学研究科
(〒923-0961 石川県小松市向本折町へ14-1)
Emal. 25212006@komatsu-u.ac.jp