



Title	The Ventricular Cerebrospinal Fluid Flow Dynamics of Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus Patients: An MRI-based Computational Study
Author(s)	前田, 修作
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101702
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 大阪大学の博士論文について をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (前田修作)	
論文題名	The Ventricular Cerebrospinal Fluid Flow Dynamics of Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus Patients: An MRI-based Computational Study (MRI計測に基づく特発性正常圧水頭症患者の脳室内における脳脊髄液流動特性の数値解析)
論文内容の要旨	

脳脊髄液 (CSF) は頭蓋内を満たす液体で、頭蓋内への血液の流入出に伴う脳組織の拡張・収縮によって駆動され、特に脳室内において心拍に伴う双方向の流れとして観察される。CSFに関する疾患として、頭蓋内圧の上昇を伴わず、脳室内にCSFが異常に貯留し、脳室系が拡大する正常圧水頭症があり、特に発症機序が不明なものを特発性正常圧水頭症 (iNPH) と呼ぶ。iNPHの臨床診断や治療に関する、脳室内におけるCSF流動のMRI計測が実施されているが、時空間解像度やノイズの影響により、計測情報の定量性には限界がある。本研究では、MRI計測に基づく数値シミュレーションにより、脳室内における詳細なCSF流動特性を力学的な観点から理解することを目的とした。

複数の健常者群とiNPH患者群を対象とし、MRI計測から取得した脳室形状とCSF流量条件に基づき、脳室内における被験者個別のCSF流動の数値シミュレーションを実施した。ここで、CSFの流動特性の違いが脳室系の生理的環境に与える影響に着目し、健常者群とiNPH群間の脳室内のCSF混合の度合を比較した。結果として、iNPH群ではCSFの流動特性は患者間で大きなばらつきが見られ、さらに、脳室のCSF混合度合は、健常者と比較して有意に高くなった。一方で、健常者群では、CSFの流量は個体差によりばらつきが生じるもの、ほぼ全例で、CSFの流動特性は流体力学的な相似則 (レイノルズ数) により整理できた。

以上より、本研究では、MRI計測に基づく数値シミュレーションによって被験者個別のCSF流動特性を評価し、CSF混合度合や健常者群における流体力学的相似性など、力学的観点からCSFの流動特性の理解に対する新しい知見を見出すことに成功した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (前 田 修 作)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査 教 授	和田 成生
	副 査 教 授	出口 真次
	副 査 教 授	河原 源太
	副 査 准教授	大谷 智仁

論文審査の結果の要旨

頭蓋内は脳血管から滲出した脳脊髄液(CSF)で満たされており、その流動が脳組織への栄養供給や老廃物の除去に影響を与え、脳室系が異常に拡大する特発性正常圧水頭症(iNPH)の発症や進行、脳機能障害との関係が議論されてきた。CSF流れに関しては、4D flow MRIを用いた非侵襲的な流れの計測が実施されているが、低速で拍動するCSF流れの計測は困難であり、信頼できる速度データが得られるのは比較的流れが速い中脳水道近傍に限られるなど、MRI計測のみからCSF流れの特性を捉えることは困難であった。そこで、本研究では、側脳室、第三脳室、第四脳室および中脳水道等から構成される被験者ならびに患者個別の脳室系の形態モデルを構築し、臨床において計測された中脳水道における流量変化に基づいて数値流体解析を実施することで、脳質系CSFの流動特性を調べた。まず、健常者10名、iNPH患者10名に対して数値流体解析を行い、CSF混合度合の定量評価指標としてMix-normを導入することで、iNPH患者では中脳水道内において移流が卓越して非定常性が増加し、第三脳室と第四脳室間のCSFの混合が促進されている可能性を示した。次に、同様の解析フレームワークを用いて、健常者47名に対して性別や年齢による影響を調べた。その結果、健常者の性別間や若年者群と高齢者群の差は、健常者群とiNPH群の差に比べて有意に小さいことがわかった。また、流体無次元数であるレイノルズ数で評価することにより、個人差の影響が低減され、健常者群とiNPH群との有意差がより顕著になった。さらに、Mix-normのスケールが大きいほど、健常者群とiNPH群の混合度合の差が大きくなることがわかった。これらのことから、性別や年齢差、個体差の影響を考慮しても、iNPH患者では第三脳室と第四脳室間の中脳水道においてCSFの混合が促進されていることを明らかにした。以上のように、本研究はMRI計測に基づく数値シミュレーションによって被験者個別のCSF流動特性を評価し、CSF混合度合や健常者群における流体力学的相似性など、MIR計測や従来の臨床的な評価では把握困難な流体力学的観点からの知見を提供したものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。