The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Subject-Specific Correction of Four-Dimensional Flow Magnetic Resonance Images for Cerebrospinal Fluid Flow Measurements
Author(s)	Yavuz Ilik, Selin
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89648
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （Selin Yavuz Ilik）	
Title	A Subject-Specific Correction of Four-Dimensional Flow Magnetic Resonance Images for Cerebrospinal Fluid Flow Measurements (脳脊髄液流れ計測のための4D Flow MRI画像の被験者個別補正)

Abstract of Thesis

Four-dimensional flow magnetic resonance imaging (4D flow MRI) is a non-invasive method that is capable of measuring in-vivo flow velocity maps. The 4D flow MRI supplies time series of velocity components of three directions (superior-inferior, anterior-posterior, left-right) during the cardiac cycle, and enables flow visualization, recording, and measurement of cerebrospinal fluid (CSF) flow in the intracranial regions. However, there is still no consensus about the usage of 4D flow MRI for analyzing slow flow like CSF in clinical applications. Eddy-current-based phase offset error is one of error sources which are causing non-negligible artifacts in CSF flow visualization by 4D flow MRI. Since 4D flow MRI is a unique tool for understanding CSF pathophysiology for the management of diseases, this study considers an approach for correction of eddy-current-based phase offset errors in the CSF flow velocity map and aims to objectify 4D flow MRI data processing for CSF analysis.

In the study, a correction method for the eddy-current-based phase offset error in 4D flow MRI images was presented. The phase offset errors were assumed to be constant in time and smoothly distributed in space following existing studies and the spatial distribution of the phase offset errors was modeled as the second-degree polynomial function using robust regression analysis. Flow velocity maps were corrected by the estimated phase-offset errors which were obtained by robust regression analysis. The method was applied to the CSF flow maps of 9 idiopathic normal pressure hydrocephalus (iNPH) patients and 9 healthy subjects' data obtained by 4D flow MRI. The residual standard errors between original data and the estimated phase-offset errors were less than 1.7 mm/s for each case. As a result, significant differences were found at peak diastolic flow rates between iNPH patients and healthy cases. It was concluded that this study provided an approach to the correction of eddy-current-based phase offset errors for enabling more robust and advanced CSF studies.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Selin Yavuz Ilik　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教 授	和田　成生
	副 査	教 授	大城　理
	副 査	教 授	出口　真次
	副 査	講 師	大谷　智仁

論文審査の結果の要旨

４次元フロー核磁気共鳴画像法 (4D Flow MRI) は、バイポーラ傾斜磁場を用いて速度情報を取得する位相コントラストMRIを３次元に展開した撮像方法で、生体内における血流などの時空間速度マップを非侵襲的に取得することができる。近年、臨床において血流だけでなく、脳脊髄液 (CSF) の流れに対しても4D Flow MRIによる計測が行われ、拍動するCSFの複雑な流動特性の解明や正常圧水頭症 (NPH) などの頭蓋内疾患に関連する異常を検出する方法として注目を集めている。しかしながら、CSFのような遅い流れの速度を位相コントラストを用いて計測するためには、バイポーラ勾配を大きな値に調整して低速エンコーディングを設定する必要があり、これにより渦電流に起因した位相オフセットエラーが発生する。このエラーは、速度をゼロに近似できる静止領域を基準に、誤差の空間分布を多項式フィッテイングして除去できることが知られている。しかしながら、臨床計測において位相オフセットエラーを除去するためには、患者ごとに異なる静止領域の自動抽出やノイズを含む計測データに対する適切なフィッテイングが必要であり、その標準的な手法はまだ確立されていない。そこで、本研究では、CSF流れの4D Flow MRI計測に対して、各ピクセルにおける流速の時間平均と標準偏差を評価し、低速かつ変動成分の小さい領域を静止領域と考え、位相オフセットエラーの分布を多項式で近似して除去する手法を考案した。この際、ロバスト回帰を用いることで、計測データのノイズや外れ値に対して堅牢なフィッテングを実現することができた。この手法を、実際の臨床においてNPH患者と健常者のそれぞれ９名から得られたCSFの計測データに適用し、両者の流動特性の違い明らかにするなど、本補正の有効性を示した。

以上のように、本論文では4D Flow MRI計測の渦電流位相オフセットエラーを補正する堅牢かつ実用的な手法を提案し、CSF流れの詳細を解明していく上で必要な測定精度を高めることに成功した。これは高度な医療を支援する生体医工学の研究成果として高く評価されるものであり，博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める.