OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Patient-specific assessment for the impact of the lobectomy on the left atrial hemodynamics: a 4D-CT based computational approach
Author(s)	Yi, Wentao
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92984
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

Form 3

Abstract of Thesis

Name （Yi Wentao）	
Title	Patient-specific assessment for the impact of the lobectomy on the left atrial hemodynamics: a 4D-CT based computational approach （肺葉塞栓が左心房内の血流動態に与える影響：4D-CT画像に基づく患者個別解析）

Abstract of Thesis

Left atrium (LA) serves three major roles as a reservoir, a conduit and a pump during the cardiac cycle. Thrombus formation in the LA by the atrial fibrillation (AF) is one of the major risk markers of cerebral infarction. However, even in the cases of the normal LA without prior history of AF, higher prevalence of pulmonary vein (PV) stump thrombosis and related postoperative cerebral infarction were observed in patients undergoing left upper lobectomy (LUL) with left superior PV (LSPV) resection than the other lobectomies. Meanwhile this causal mechanism is poorly understood. This thesis conducts a four-dimensional computer tomography (4DCT) based computational simulations to assess the patient-specific effects of LUL on LA hemodynamics.

First, the impact of LUL on LA hemodynamics was investigated using a patient-specific LA geometry with motion before and after the LUL. The obtained results demonstrate large hemodynamic alteration occurs. Flow impingement appeared in the LA upper region after the LUL and resulted in fine-scale vortex generations with relatively high viscous energy dissipation, while the swirling flow pattern in the entire LA region was found before the LUL.

Next, the potential factors leading to this hemodynamic alteration after the LUL was investigated by introducing an artificial LSPV resection case. The obtained results showed flow patterns, such as the swirling flow in the resection cases, were similar to those in the pre-cases but different from those in the post-cases. These findings indicate that physiological changes associated with LSPV resection, such as the change of left inferior PV (LIPV) direction, are the possible factors that affect the LA hemodynamics after the LUL. Subsequently, the effects of LIPV angle on LA hemodynamics after the LUL were investigated. The results revealed that a transition in the blood flow patterns of the LSPV resection case, from swirling flow to impingement flow, resembles the blood flow patterns in the postoperative case.

Finally, the effects of different PV resection on the LA hemodynamics were investigated by comparing virtual different PV resection cases. The obtained results revealed the distinctive swirling flow pattern appeared after LSPV resection, while patient-specific complexity in flow patterns was observed in the other PV resection cases. These findings indicate the LA blood flow topology is more susceptible to the anatomical effects of LSPV resection than the other PV resections.

This thesis was the first study to tackle the LA hemodynamics after the LUL with conducting patient-specific motional LA geometries, and exhibited the significant potential of the computational mechanics approach. While current treatment protocols for patients undergoing lobectomies are mainly determined by classical diagnosis based on clinical observations. Combining medical imaging with computational simulation can provide diagnostic and therapeutic approaches for preoperative assessment. Through an in-depth exploration of LA hemodynamics, this thesis significantly enhances the understanding of the intricate mechanisms behind hemodynamic alterations and flow stagnation after LUL. These findings have direct implications for improving treatment strategies for patients undergoing lobectomy.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Yi Wentao　）		
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

肺循環でガス交換を終えた動脈血は、左右の肺から各２本ずつ延びる肺静脈を経て左心房に流入し、僧帽弁を介して左心室に送られる。このとき、左心房は拡張と収縮を繰り返し、左心房内では複雑な血液の流れが生じる。肺がんの外科治療により肺葉を切除し、そこに繋がる肺静脈を閉塞した場合、左心房内で血栓が形成されるリスクが高まると考えられている。血栓形成の原因としては肺静脈閉塞に伴う左心房内部の血流動態の変化が考えられ、MRIによる血流計測が行われているが、時空間解像度の限界から、左心房内の血流動態は十分に把握されていない。本研究では、４次元CT画像計測により得られる左心房の実形状と壁移動速度から左心房内の血流を再現する数値流体解析を行い、従来の速度分布やフローパターン、粒子滞在時間の評価に加え、新たに速度勾配テンソルの第２不変量や有限時間リアプノフ指数等を用いて、詳細に左心房内の血流ダイナミクスを可視化した。これにより、左上肺葉切除術(LUL) 前後の患者の左心房4D-CT画像に基づき、切除前後の血流動態を比較した。その結果、４本の肺静脈から流入した血液は左心房内で大きな旋回流を形成するが、左上肺静脈(LSPV)を閉塞した場合、残りの肺静脈からの流入血液の衝突により、心房内の血流が局所的に乱されることを明らかにした。また、LULに伴い、左下肺静脈の接続角度も変化するが、そのことも術後の左心房内の血流動態に大きな影響を及ぼす要因となり得ることを見出した。さらに、仮想的にLSPV以外の肺静脈を閉塞して左心房内の血流解析を行なった結果、左心房内の流れはLSPVの閉塞の影響を最も受けやすいことが示唆された。以上のように、本論文では計算力学アプローチにより、肺葉切除に伴う肺静脈閉塞による左心房内の血流動態の変化を明らかにした。肺葉切除を受ける患者の治療プロトコルは主に臨床的観察に基づく診断によって決定されている。本論文は、医療画像とコンピュータシミュレーションを組み合わせることで、術前評価のための診断や治療アプローチを支援する情報を提供できることを示しており、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。