

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 22120051302295

UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 CT 图像的活体肝移植功能评估的部分  
关键技术研究

Research on Key Techniques of Functional Evaluation of  
Living Donor Liver Transplantation Based on CT Dataset

黄荔丽

指导教师姓名: 王博亮 教授

专业名称: 计算机系统结构

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 5 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2008 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：                      日期：        年        月        日

导师签名：                      日期：        年        月        日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

我国是肝癌高发地区，晚期肝癌患者的治疗多采用肝移植手术。虽然目前我国肝脏移植的数量已经达到一定的规模，但执行肝移植手术仍然存在较大的风险。因此如果能在术前预现手术过程中可能遭遇的不规则病灶形态和重要管道结构，仿真模拟手术过程，以便事先制定必要的防范对策和措施，将有助于肝脏外科手术计划的制定。

作为虚拟肝脏手术计划系统的组成部分，本文主要是针对基于 CT 图像的肝脏肿瘤（病灶）形态建模，肝脏管道变异情况分析和肝移植术中供肝的切除效果模拟进行了研究。首先，实现基于 DICOM 格式的肝脏肿瘤 CT 图像分割和肿瘤的三维表面重建。其次，在重建肝内管道系统三维结构的基础上，判定各种肝脏管道的分支变异类型，分析管道的走行，并计算管道直径、管道长度等参数。最后，模拟供肝切除手术的效果，用户设置切除平面，系统显示截面的脉管结构和管道主干的直径，并通过计算拟切除肝体积和手术中供肝切取相关的一系列参数，预现术后肝功能不全的发生风险，从而有助于制定合理的个体化手术方案，降低手术风险。

本文的研究工作内容及创新主要包括以下几点：

1. 实现基于临床病人 CT 影像的活体肝脏肿瘤形态模型的构建。
2. 针对肝内各种管道树的不同特点，分别设计相应的算法判定管道的分支变异类型，识别管道树的各分支子树，分析管道的走行与空间拓扑结构，提供管道变异信息。
3. 模拟供肝的平面切除效果，基于临床病人活体 CT 图像的基础上，实现肝脏部分功能关键参数的测算。

关键词：肿瘤形态；变异分析；切除模拟

## **Abstract**

China is an area with high-disease of liver cancer, and living donor liver transplantation is a main method of curing advanced liver cancer. Although the amount of this kind of surgery in China has reached a large size, there is still rather high risk in the operation. It would be helpful for making necessary measures and hepatic surgery plans that if the irregular lesion shape and the important vessel configurations could be presented and the process of the operation could be simulated in advance.

As a part of research on virtual liver and surgery planning system, the thesis focused on shape modeling of liver tumor based on CT dataset, analysis of variation of liver vessels and simulation of the liver resection in the LDLT operation. First, the liver tumor segmentation from CT images based on DICOM format and its 3D surface reconstruction were realized. Second, the types of branch variation of liver vessels were determined, the route and topology configuration of the vessels were analysed, and the diameter and length of vessels were calculated after reconstruction of liver vessels. Finally, the effect of liver resection operation was simulated. The cut plane was set, and the vessels on the section were shown in the system, then the volume of the resected liver and a series of parameters related to resection were calculated. This could help to present the risk of getting hypohepatia, make reasonable individual surgery schemes and reduce the surgery risk.

The main contributions of this thesis are mainly lied in the following aspects:

1. Shape modeling of living liver tumor based on clinic CT images were realized.
2. Aimed at the different characteristics of the vessels, corresponding algorithms were designed to determine the types of branch variation of the vessels and identify every branch of the vessels. Then the route of the vessels were analysed for supplying information about variation of vessels.

3. The effect of hepatic resection was simulated. Calculation of part of key liver functional parameters was implemented based on clinic CT images.

Key words: Shape of Liver Tumor; Analysis of Variation; Simulation of Resection

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 课题的背景和意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	4
1.3 本文的研究工作及创新之处 .....	5
1.4 本文的组织结构及章节安排 .....	6
<b>第二章 肝脏肿瘤形态模型的建立</b> .....	<b>7</b>
2.1 CT 概述 .....	7
2.2 DICOM 医学图像格式 .....	9
2.3 肿瘤图像的分割 .....	10
2.3.1 图像的读取与预处理 .....	10
2.3.2 分割算法研究 .....	11
2.4 肿瘤的三维重建 .....	15
2.5 本章小结 .....	17
<b>第三章 肝脏管道系统分支变异与走行的分析</b> .....	<b>19</b>
3.1 肝脏管道系统研究的临床意义 .....	19
3.1.1 肝静脉 .....	19
3.1.2 肝内动脉 .....	20
3.1.3 肝内门静脉 .....	21
3.2 管道分析前准备 .....	22
3.3 肝脏各管道分支类型判定 .....	25
3.3.1 肝静脉分支类型判定 .....	25
3.3.2 肝动脉分支类型判定 .....	26
3.3.3 肝门静脉分支类型判定 .....	27
3.4 肝脏各管道走行和拓扑结构分析 .....	28
3.4.1 肝脏管道直径的计算 .....	28
3.4.2 肝静脉走行和拓扑结构分析 .....	29
3.4.3 肝动脉走行和拓扑结构分析 .....	31
3.4.4 肝门静脉走行和拓扑结构分析 .....	32
3.4.5 肝动脉与门静脉伴行程度分析 .....	33
3.5 本章小结 .....	37
<b>第四章 供肝切除术的模拟</b> .....	<b>38</b>
4.1 开发工具介绍 .....	38
4.1.1 Open Inventor 简介 .....	38



4.1.2 Open Inventor 与 OpenGL 的比较.....	40
4.2 供肝切除的模拟与参数评估.....	41
4.2.1 背景介绍.....	41
4.2.2 参数意义.....	42
4.2.3 系统实现.....	43
4.3 本章小结.....	47
<b>第五章 总结和展望.....</b>	<b>48</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>50</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文及科研情况.....</b>	<b>53</b>
<b>致谢.....</b>	<b>54</b>

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance of Project</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Research Status</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Research and Innovation</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Structure of Thesis</b> .....	<b>6</b>
<b>Chapter 2. Shape Modeling of Liver Tumor</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Summary of CT</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 DICOM Format</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 Segmentation of Liver Tumor Images</b> .....	<b>10</b>
2.3.1 Reading and Preprocessing of Images .....	10
2.3.2 Research on Algorithms .....	11
<b>2.4 3D Reconstruction of Liver Tumor</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 Conclusion</b> .....	<b>17</b>
<b>Chapter 3. Analysis of Branch Variation and Route of Hepatic Vessels</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Clinic Significance of Research</b> .....	<b>19</b>
3.1.1 Hepatic Vein .....	19
3.1.2 Hepatic Artery .....	20
3.1.3 Hepatic Portal Vein .....	21
<b>3.2 Preparation</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3 Determination of Branch Variation of Hepatic Vessels</b> .....	<b>25</b>
3.3.1 Determination of Branch Variation of Vein .....	25
3.3.2 Determination of Branch Variation of Artery .....	26
3.3.3 Determination of Branch Variation of Portal Vein .....	27
<b>3.4 Analysis of Route and Topology Configuration of Hepatic Vessels</b> .....	<b>28</b>
3.4.1 Calculation of Vessel Diameter .....	28
3.4.2 Analysis of Route and Topology Configuration of Vein .....	29
3.4.3 Analysis of Route and Topology Configuration of Artery .....	31
3.4.4 Analysis of Route and Topology Configuration of Portal Vein .....	32
3.4.5 Analysis of How Right Artery and Right Portal Vein Accompany Each Other .....	33
<b>3.5 Conclusion</b> .....	<b>37</b>

<b>Chapter 4. Simulation of Liver Resection</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 Development Tools</b> .....	<b>38</b>
4.1.1 Open Inventor .....	38
4.1.2 Comparison with Open Inventor and OpenGL .....	40
<b>4.2 Simulation of Liver Resection and Parameter Evaluation</b> .....	<b>41</b>
4.2.1 Background .....	41
4.2.2 Parameter Significance .....	42
4.2.3 System Implementation .....	43
<b>4.3 Conclusion</b> .....	<b>47</b>
<b>Chapter 5. Conclusion and Prospect</b> .....	<b>48</b>
<b>References</b> .....	<b>50</b>
<b>Achievements</b> .....	<b>53</b>
<b>Acknowledgements</b> .....	<b>54</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

如果说 20 世纪是物理世纪的话, 21 世纪则被认为是生物世纪, 以人体科学为中心的科学技术将以前所未有的速度发展。传统上医药学研究依赖于大量动物和人体实验的做法将在很大程度上由计算机模拟所取代。从这个方面来看, 人体的数字化模型至关重要。利用信息技术实现人体从微观到宏观的结构和机能的数字化、可视化, 最终达到人体的整体精确模拟, 将对医学生物学及人体相关学科的发展起到难以估量的影响。

随着计算机可视化和虚拟现实技术的发展, 使已经走向成熟的三维重构图像处理技术以空前的速度普及。可视化技术结合虚拟仿真技术, 又使如医用机器人、手术仿真、图像引导手术、计算机辅助手术和手术训练等技术也得到了发展。这些技术为医学治疗提供了一个极好的技术平台, 将极大推动医学教育、医学科学研究乃至临床医疗技术的发展。

### 1.1 课题的背景和意义

肝脏是人体消化系统中最大的消化腺, 又是新陈代谢的重要器官<sup>[1]</sup>。体内的物质, 在肝脏内进行重要的化学变化: 有的物质经受化学结构的改造, 有的物质在肝脏内被加工, 有的物质经转变而排泄体外, 有的物质在肝脏内合成。肝脏可以说是人体内一座化工厂。原发性肝癌在我国是最常见的恶性肿瘤之一, 其发病近年来有逐渐上升的趋势。目前在我国的恶性肿瘤发病中居第二位, 严重危害人民健康。

肝移植术是治疗终末期肝病的重要技术, 也是拯救终末期肝病的唯一有效方法。通过肝移植, 可以使晚期肝病患者在绝境中重获新的生机。活体肝移植 (Living Donor Liver Transplantation, LDLT) 是肝移植手术的一种, 是指从健康人身上切取部分肝脏作为供肝, 移植给患终末期肝胆疾病患者。20 世纪 70 年代以来, 供肝匮乏一直是影响肝移植深入发展的世界性难题。在欧美国家, 由于供肝来源严重不足, 每年只能有 1/5~1/4 的患者能获得移植的机会; 在尚未

制定“脑死亡法”的国家，供肝缺乏的矛盾更加突出，每年数以万计的患者在等待供肝的过程中死亡或病情加剧。LDLT 在此背景下应运而生。迄今全球已完成 LDLT 2000 余例，受体 1 年生存率超过 90%，2 年生存率超过 85%，成为挽救生命、解决日益尖锐的供肝需求矛盾最为有效方法之一。鉴于儿童供肝来源较成人更加困难的现实，活体肝移植的最初设想是应用于不能及时获得脑死亡者供肝的儿童患者。由于活体肝移植技术的迅速发展，小儿供肝不足问题得到一定程度的缓解，而成人肝脏的供、需矛盾更加尖锐，如何尽快开展成人间的活体肝移植技术迫在眉睫。1996 年，日本学者和香港大学玛丽医院完成成人间活体右半肝移植（ALDLT）。随后，美国、西欧、亚州一些国家在充分确认其安全性和必要性后，相继开展这一技术。2000 年以来，LDLT（包括成人间 LDLT）普及趋势更加明显，西班牙、意大利及沙特阿拉伯等国家相继报道。国内 LDLT 手术开展较早，1995 年 1 月南京医科大学第一附属医院成功完成一例临床活体供肝肝移植。2001 年成功实施首例有血缘关系的亲体原位部分肝移植，患儿术后康复理想。2001 年至 2003 年间国内四所医院采用 LDLT 手术的 45 例中，1 年存活期和 3 年存活期的总体比例分别高达 93.1% 和 92.0%<sup>[2]</sup>。2005 年 4 月，“中国活体肝脏移植研究所”在江苏省人民医院（南京医科大学第一附属医院）成立。迄今为止，活体肝移植技术在中国大陆的南京、上海、西安、杭州、成都、北京、河北等省市相继开展，总例数超过 50 例。

活体部分肝移植的优点是，首先有效解决供体来源问题。此外还具有供肝质量好；若有血缘关系（亲属供肝），免疫排异反应小；术前准备充分，成功率高，预后好；费用低，只需常规肝移植费用的  $1/2 \sim 1/3$  等优点。肝脏切除后能在较短时间内代偿性增生，健康人只要有  $1/3 \sim 1/4$  肝脏就可维持生命及正常生活。例如临床上患者经常因病情需要切除肝脏的  $2/3 \sim 3/4$ ，仍能顺利恢复并正常生活和工作。患者所需的肝脏重量应占自己体重的 1%，如成年患者体重为 65 千克，就需要 650 克肝脏。而正常成年人的肝脏重量为 1200~1500 克，所以正常人切除部分肝脏可救活一个病人，而对自己并不会危及生命。

活体部分肝移植包括供体手术和受体手术两部分。现有术式主要为：肝左外叶移植、肝左叶移植（不包括肝中静脉）、扩大肝左叶移植（包括肝中静脉）和肝右叶移植术。目前 LDLT 手术过程一般是先对供受体进行一系列测试和评估，

所有指标合格并与受体相符后, 同时进行手术。除了肝功与生化测试外, 切取移植物的体积与重量是事关手术成功和供受体存活的一个关键问题, 同时还要明确肝内血管走向, 特别是肝左静脉和肝中静脉的关系及肝左中静脉合干汇入下腔静脉合干处的解剖, 以确定肝切除线。术前精确辨认一些来自肝五叶和八段的横跨分支, 了解这些分支的走行, 有利于保护重要的血管结构, 从而使失血量达到最小。由于半肝移植是最常见的术式, 通过医学影像确认肝中静脉的走行和准确评估肝左叶和右叶的体积尤为重要。如果外科医生能于术前掌握肝内管道系统, 将提高 LDLT 的成功率。

肝脏内部极为复杂的管道系统及其生理和病理变异, 决定了肝脏外科手术的难度<sup>[3]</sup>。近年来发展的以影像学二维图像数据为基础的计算机三维重建可视化技术, 弥补了二维图像的不足。该技术能仿真显示肝内的解剖结构, 提供全方位的肝脏立体信息。

如果能在重建肝内管道系统及病灶三维解剖结构的基础上, 建立虚拟手术系统, 提供可交互操作的平台, 仿真模拟手术过程。预现手术过程中可能遭遇的重要管道结构和复杂险要情形, 以便事先制定必要的防范对策和措施; 同时通过准确计算肝脏体积即拟切除肝脏体积和残肝体积, 预现术后肝功能不全的发生风险, 从而有助于制定合理的个体化手术方案, 可以降低损伤肝脏重要结构的危险, 减少术后肝功能不全的发生率。

肝脏三维可视化及虚拟手术的临床意义和实用价值在于肝脏外科手术计划依赖于对肝内血管树和肿瘤三维空间关系的精确把握。肝脏三维可视化更加直观、准确地显示肝脏及其管道系统和病灶的全方位立体信息(包括: 血管的分支类型、拓扑结构、空间走向以及与病灶的空间位置关系等)。虚拟手术具有任意性、可重复性等优点。在没有实施手术的情况下预先仿真其切割过程, 预见在实际手术中可能出现的复杂和险要情况, 例如: 当设定的分割层面涉及肝内重要血管, 有损伤其危险时, 可相应调整修改; 通过不同手术方案的模拟比较各种方案的优劣, 制定合理的个体化手术方案, 并事先采取必要的防范措施。建立这样的系统不仅有助于完整地保留残肝血管及必要的重要结构的完整性、最大程度减少术后并发症发生率、提高手术成功率, 而且能够准确计算拟切除和残余的肝脏体积, 从而可预测术后发生肝脏功能衰竭的风险<sup>[4]</sup>。对于活体肝部分移植术的供肝

切取, 虚拟手术系统通过多次模拟手术分割, 能够确定最佳供肝分割层面, 制定科学的供肝切取方案, 因而降低了损伤血管和胆管的危险, 减少出血量; 同时完整地保留供肝和残肝的血液循环、最大限度地减少无效肝组织量, 尤其当右半肝为供肝或结构复杂时具有重要的实用价值<sup>[5]</sup>。

因此若能在显示肝脏及其内部管道系统和肝内病灶的三维立体全方位图像信息的同时, 进行模拟供肝切除手术, 并根据具体病情设计合理的个体化手术方案, 在肝脏外科领域有着极大的优势和广泛的应用前景。

## 1.2 国内外研究现状

国外目前刚刚出现一些辅助的手术计划系统。最早的是在 2002 年, 德国的 MeVis (Center for Medical Diagnostic Systems and Visualization) <sup>[6]</sup>开发了一套辅助软件, 其功能是从 CT 图片中, 通过交互方式分割出肝脏及其管道, 然后计算其体积, 最后实现三维显示; 2003 年, 西班牙 Technical University of Catalonia 开发的 LIVER TRANSPLANT PLANNING 系统<sup>[7]</sup>, 可以从 CT 图像中自动分割出血管和肝实质, 计算肝体的体积, 然后利用三维的技术将结果显示出来; 最近的一个例子是在 2006 年, 德国的 Ruprecht-Karls University 大学也开发了一个肝脏移植的辅助系统, 通过分析计算肝脏内部管道的各个部分的容积比, 给出肝脏移植手术的一些重要参考数据<sup>[8]</sup>。Hogemann, Stamm 等实现了虚拟的肝切除<sup>[9]</sup>; Kamel, Kruskal 等指出非侵入性的检查将为活体肝脏移植手术提供综合广泛的评价<sup>[10]</sup>; Saito, Yamanaka 等实现了一个可行的、精确的新型三维虚拟切除仿真软件<sup>[11]</sup>; Radtke, Bockhorn 指出: 准确的肝解剖和功能肝体积知识在活体肝移植中是一个关键的因素<sup>[12]</sup>。他们利用计算机虚拟、非侵入式衡量参数, 实现了一套计算机辅助肝移植方法。该方法可以分析肝切除体积和边缘; Neumann, Thorn 等讨论了计算机虚拟肝静脉分支和功能代谢; Radtke, Schroeder 等<sup>[13]</sup>通过实验验证了计算机辅助的手术计划对于选择合适的肝供体是必不可少的, 增加虚拟 3D 模拟的肝脏切除手术的安全性进一步加强。

在国内, 解放军器官移植研究所所长、长征医院器官移植中心主任朱有华教授指出“目前北京开展器官移植手术的医院有 40 余家, 但至今只做了 1、2 例手术的医院却占了一大半”。因此对医生而言, 进行肝移植手术的经验较少, 迫切



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库