

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: B200430004

UDC _____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

在体肝脏图像配准方法及应用研究

Research on Living Liver Image Registration and Its
Application

黄 晓 阳

指导教师姓名: 王 博 亮 教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2009 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

肝脏是人体重要的消化器官,肝脏疾病直接影响人的健康和生存。随着医学、计算机技术及生物学工程技术的发展,医学影像学为临床诊断提供了多种模式的医学图像,这些图像在医学诊断和治疗中的作用显得非常重要。但是单一模式的图像往往不能提供医生所需要的足够的诊断信息。在实际临床应用中,往往需要将不同模式的医学图像有机地结合起来,得到更丰富的信息以便了解病变组织或器官的综合信息,从而做出准确的诊断或制订出合适的治疗方案,这就首先寻找一种(或一系列)空间变换,使两幅图像的对应点达到空间位置和解剖结构上的完全一致即进行图像配准。配准结果应使两幅图像上所有的解剖点,或至少是所有具有诊断意义的点都达到匹配。由于在体肝脏图像是患者在临床检查中获取的,其中包含了患者的个体特征信息,对其进行处理分析对临床诊断具有更加直接的意义。本文以福建省卫生教育联合攻关计划项目“数字化虚拟肝脏及手术计划系统”课题为依托,以肝脏图像配准为背景,系统研究了在体肝脏图像的配准方法,研究实现了肝脏 CT 多相期扫描图像配准方法,肝脏 CT 与 MR 图像配准方法,肝脏 CT 与 DSA 图像配准方法,以及肝脏管道系统分支变异与走行分析,为进一步的研究和应用奠定基础。

本文研究的创新点体现在以下五个方面:

1. 提出了一种基于联合直方图的刚性配准算法,该算法分别对刚性配准过程中的四个关键步骤进行了改进,实现了肝脏 CT 多相期扫描图像刚性配准。

分别对图像变换方法、图像插值方法、配准的相似函数以及配准的优化搜索方法是刚性配准过程中四个关键步骤,提出了不同的改进优化算法:1)提出一种图像刚性变换的快速坐标变换方法,大大提高了图像刚性变换的速度;2)提出一种改进的 B 样条插值方法,改进了 B 样条插值函数的缺陷,提高了图像插值的效果;3)提出了一种改进的基于联合直方图的计数函数作为配准的相似函数,大大提高了图像配准的速度;4)提出了一种混合优化算法,将 PSO 优化算法与 Powell 优化算法相结合,克服了 Powell 算法的局部最优的缺陷。实现肝脏 CT 多相期扫描图像刚性配准。

2. 提出了一种具有自动设定标记点的薄板样条配准方法,该方法能够自动设定

图像中的标记点，同时改进了薄板样条配准中存在的空值间隙的问题，实现了肝脏 CT 多相期扫描图像非刚性配准。

标记点的选取及插值函数的确定是非刚性配准方法中最关键的两步。本文采用薄板样条函数实现图像的非刚性配准过程，采用加权插值方法克服了存在的空值间隙的问题。此外，本文提出一种改进的 SIFT 算法，自动提取图像中的感兴趣点，有效的提高了配准的方便性以及配准的精度。最后利用图像的小波变换算法将配准后的肝脏 CT 多相期扫描图像进行图像融合。

3. 针对肝脏 DSA 图像的特点，提出了一种肝脏血管配准方法，实现了肝脏 CT 图像与 DSA 图像的配准。

首先将 CT 图像进行投影处理，把 DSA 与 CT 图像变换到一个统一的坐标系中，将 3D/2D 的配准过程转化为 2D/2D 的配准过程。在对 CT 图像中肝脏管道进行血管分割、血管细化、提取血管骨骼线后，以肝脏内血管的结点为基准点，将 CT 内的血管切分为若干部分，在最大互信息配准算法的基础上，实现了肝脏 CT 图像与 DSA 图像的多模配准。。

4. 提出一种由粗到精的混合配准算法，实现了肝脏 CT 图像与 MR 图像的多模配准。算法具有较好的收敛速度，且可以避免由于配准过程陷入局部极值而引起的错误。

图像配准通常在开始时使用粗略的快速算法，然后使用精确的慢速算法。力矩主轴配准法是根据图像的形状信息获得图像的质心、主轴，该方法可以获得图像的平移、旋转参数；基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准算法是将图像变换到频域上进行基于非特征的图像配准。采用以上两种配准方法后，图像自动快速大致配准，进一步采用最大互信息法对图像进行精确配准。

5. 针对肝脏内部管道的特点，提出一种管道分析算法，实现了对肝脏管道系统分支变异以及管道走行情况分析判断。

肝脏内部的血管包括肝动脉，肝静脉以及门静脉系统，根据解剖学上的统计分析以及管道拓扑结构的特点，对肝脏内部的管道进行分析，判断它们类型，在计算管道直径、长度的基础上，对肝内的肝静脉、肝动脉以及门静脉的分支类型进行分析，判定其走行以及拓扑结构，有利于保护重要的血管结构，对于肝脏的手术计划有重要的意义。

总之，本文系统地研究了在体肝脏图像配准方法，主要包括肝脏 CT 多相期扫描图像的刚性配准方法，肝脏 CT 多相期扫描图像的非刚性配准方法，肝脏 CT 与 MR 图像配准方法，肝脏 CT 与 DSA 图像配准方法，以及肝脏管道系统分支变异与走行的分析，为数字化虚拟肝脏及手术计划系统的建立奠定了算法和程序基础。

关键词：配准；肝；多模；CT；MRI；DSA

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Liver is one of the most important organs in human. With the development of the medicine and computer technique, more and more modals medical images have emerged. Modern medical research usually requires integrated analysis of multiple images to get more information. A fundamental problem in medical image integrated analysis is that the images should be perfectly aligned, one essential aspect thereof is image registration, i.e., recovering the geometric relationship between corresponding points in multiple images of the same scene. Medical image registration is an important technique in the field of medical image processing, and becoming more and more important for clinical diagnosis and treatment. The living liver images are obtained from the clinical medical examination, which contain the individual characteristic information. Registration of the living liver images will help for clinical diagnosis directly. Based on the registration methods, this work was supported by the National Nature Science Foundation of China (30770561 and 60701022) and the Science Research Foundation of ministry of Health & United Fujian Provincial Health and Education Project for Tacking the Key Research, P.R.China(WKJ2005-2-001). This thesis covered several registration methods of living liver images such as rigid registration of different phases of contrast enhanced liver CT data, nonrigid registration of different phases of contrast enhanced liver CT data, registration of MR and CT images, registration of DSA and CT images and the analysis of the types of branch variation of liver vessels.

The main contents and contributions of this thesis are as follows:

1) A rigid registration algorithm based on joint distribution histogram was proposed for different phases of contrast enhanced liver CT data.

The four key steps of the rigid algorithm have been improved in this algorithm. 1) A fast image transformation method was proposed, which speed up the transformation procedure 2) An improved measure function based on joint distribution histogram was proposed, which speed up the registration procedure without losing the accuracy; 3) A hybrid interpolation algorithm based on B-spline transform was proposed, which

improved the interpolation results; 4) A hybrid optimization algorithm based on PSO and Powell was proposed, which had higher convergence speed and settling local extremum preferably. After rigid registration the images of different phases of contrast enhanced liver CT were aligned approximately.

2) A nonrigid registration algorithm based on thin-plate splines was proposed which locate the control points automatically.

The control points and the interpolation function are the key factors of the nonrigid algorithm. This algorithm adopted weighted interpolation based on thin-plane splines interpolation so that there were no “blank value points” in the images. Because the images were aligned approximately after rigid registration, the control points could be located by an improved SIFT algorithm. After nonrigid registration the images of different phases of contrast enhanced liver CT were aligned precisely. Finally, the post-registration images were fused by a wavelets-based scheme and the different information was merged into a new image.

3) An algorithm based on maximum mutual information was proposed for the registration of CT and DSA images.

Firstly, projection transformation was applied to CT images so that 2D DSA information and 3D CT information was in the same coordinate system. Then after segment blood vessels and extracting skeleton line of blood vessels, the blood vessels were separated into several parts by some blood vessel nodes in the liver. Finally based on the maximum mutual information registration algorithm, the multimode registration of CT and DSA liver images was achieved.

4) A two-step registration algorithm was proposed for the registration of CT and MRI images.

Firstly a method based on principle axes and Fourier-Mellin transform was adopted for the coarse registration. Because there are clear contours in CT and MR image, we presented a registration method based on principal axes. Through matching the centroid and principal axes of image, the desired parameters for translation and rotation transform were obtained. After that the scaling parameter was obtained by Fourier-Mellin transform. Secondly, maximum mutual information algorithm was

applied to achieve precise registration. Experiments show that the two-step algorithm could avoid erroneous results because of the local extremum.

5) An algorithm was proposed to analyze the route and topology configuration of the liver vessels.

After registration the types of branch variation of liver vessels were determined, while the diameter and length of vessels were calculated. This algorithm helped the liver surgery planning greatly.

In summary, this thesis covered on several registration methods of living liver images including rigid registration of different phases of contrast enhanced liver CT data, nonrigid registration of different phases of contrast enhanced liver CT data, registration of MR and CT images, registration of DSA and CT images and the analysis of the types of branch variation of liver vessels. Several algorithms were proposed in this thesis for solving some problems for liver image registration. Although there is still much work to do, this thesis may help a lot for establishing a real applied digital virtual liver and liver surgery planning system.

Key Words: image registration; liver; mutimodal; CT; MRI; DSA

目 录

第一章 绪论	1
1.1 可视化虚拟肝脏系统研究现状	2
1.2 医学图像配准概述	4
1.3 本文的研究工作及创新之处	9
1.4 本文组织结构及章节安排	11
第二章 肝脏CT多相期扫描图像刚性配准	13
2.1 肝脏CT多相期扫描图像	13
2.2 图像刚性配准的快速坐标变换方法	16
2.2.1 传统的坐标变换方法	16
2.2.2 改进的快速坐标变换方法	17
2.2.3 快速坐标变换实验结果	20
2.3 图像刚性配准的相似函数	21
2.3.1 基于联合直方图的相似函数	22
2.3.2 基于联合直方图的相似函数与最大互信息法的比较	23
2.4 改进的B样条插值函数	26
2.4.1 三次B样条插值方法	27
2.4.2 改进的三次B样条插值方法	30
2.5 配准的优化算法	33
2.5.1 Powell优化算法	33
2.5.2 粒子群优化算法	38
2.5.3 基于PSO与Powell的混合优化算法	40
2.6 配准结果	42
2.7 本章小结	44
第三章 肝脏CT多相期扫描图像非刚性配准	46
3.1 薄板样条非刚性配准	46
3.2 改进的SIFT特征点提取算法	53
3.3 图像融合算法	58
3.4 本章小结	60
第四章 肝脏CT-DSA图像配准	62
4.1 DSA数字减影技术简介	62
4.2 CT三维数据投影算法	65
4.3 肝脏血管配准方法	70
4.4 本章小结	73
第五章 肝脏CT-MRI图像配准	75

5.1 MRI简介	75
5.2 力矩主轴配准方法	79
5.3 基于FOURIER-MELLIN变换的相位相关图像配准算法	83
5.4 逐步求精的混合配准算法	85
5.5 本章小结	87
第六章 肝脏管道系统分支与走行分析	88
6.1 肝脏管道系统解剖特征	88
6.1.1 肝静脉解剖特征	89
6.1.2 肝内动脉解剖特征	90
6.1.3 肝内门静脉解剖特征	90
6.2 管道分析预处理	91
6.3 肝脏各管道分支类型判定	92
6.3.1 肝静脉分支类型判定	93
6.3.2 肝动脉分支类型判定	94
6.3.3 肝门静脉分支类型判定	95
6.4 肝脏各管道走行和拓扑结构分析	96
6.4.1 肝脏管道直径的计算	96
6.4.2 肝静脉走行和拓扑结构分析	97
6.4.3 肝动脉走行和拓扑结构分析	99
6.4.4 肝门静脉走行和拓扑结构分析	100
6.5 本章小结	101
第七章 总结和展望	102
7.1 总结	102
7.2 创新点	105
7.3 未来工作展望	106
参考文献	108
攻读博士学位期间发表论文情况	119
攻读博士学位期间科研情况	122
致 谢	123

CONTENTS

CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 RESEARCH PROGRESS ON DIGITAL VIRTUAL LIVER SYSTEM	2
1.2 MEDICAL IMAGE REGISTRATION SURVEY	4
1.3 OUR RESEARCH WORK AND INNOVATION	9
1.4 STRUCTURE OF THIS THESIS	11
CHAPTER 2 RIGID REGISTRATION OF DIFFERENT PHASES OF CONTRAST ENHANCED LIVER CT DATA	13
2.1 DIFFERENT PHASES OF CONTRAST ENHANCED LIVER CT DATA	13
2.2 FAST TRANSFORMATION METHOD FOR RIGID REGISTRATION	16
2.2.1 Classical Fast Transformation Method	16
2.2.2 Improved Fast Transformation Method	17
2.2.3 Result	20
2.3 MEASURE FUNCTION OF IMAGE REGISTRATION	21
2.3.1 Measure Function Based on Joint Distribution Histogram.....	22
2.3.2 Comparison of the Proposed Function and MI Function.....	23
2.4 B-SPLINE INTERPOLATION	26
2.4.1 Classical B-spline Interpolation.....	27
2.4.2 Improved B-spline Interpolation.....	30
2.5 OPTIMIZATION ALGORITHM	33
2.5.1 Powell Optimization Algorithm.....	33
2.5.2 PSO Optimization Algorithm.....	38
2.5.3 Hybrid Optimization Algorithm.....	40
2.6 REGISTRATION RESULT	42
2.7 SUMMARY OF THIS CHAPTER	44
CHAPTER 3 NONRIGID REGISTRATION OF DIFFERENT PHASES OF CONTRAST ENHANCED LIVER CT DATA	46
3.1 THIN-PLANE SPLINES INTERPOLATION	46
3.2 IMPROVED SIFT ALGORITHM	52
3.3 IMAGE FUSION	58
3.4 SUMMARY OF THIS CHAPTER	60
CHAPTER 4 REGISTRATION OF CT AND DSA	62
4.1 INTRODUCTION OF DSA	62
4.2 PROJECTION TRANSFORMATION FOR CT DATA	65

4. 3 REGISTRATION OF LIVER VESSELS	70
4. 4 SUMMARY OF THIS CHAPTER	73
CHAPTER 5 REGISTRATION OF CT AND MRI	75
5. 1 INTRODUCTION OF MRI	75
5. 2 PRINCIPLE AXES REGISTRATION ALGORITHM	79
5. 3 FOURIER-MELLIN TRANSFORM REGISTRATION ALGORITHM	83
5. 4 TWO STEP REGISTRATION ALGORITHM	85
5. 5 SUMMARY OF THIS CHAPTER	87
CHAPTER 6 ANALYSIS OF BRANCH VARIATION AND ROUTE OF HEPATIC	
VESSELS	88
6. 1 ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF LIVER VESSELS	88
6.1.1 Anatomical Characteristics of Hepatic Vein	89
6.1.2 Anatomical Characteristics of Hepatic Artery	90
6.1.3 Anatomical Characteristics of Hepatic Portal Vein.....	90
6. 2 PREPROCESSING	91
6. 3 DETERMINATION OF BRANCH VARIATION OF HEPATIC VESSELS	92
6.3.1 Determination of Branch Variation of Vein	93
6.3.2 Determination of Branch Variation of Artery	94
6.3.3 Determination of Branch Variation of Portal Vein.....	95
6. 4 ANALYSIS OF ROUTE AND TOPOLOGY CONFIGURATION OF HEPATIC VESSELS	96
6.4.1 Calculation of Vessel Diameter.....	96
6.4.2 Analysis of Route and Topology Configuration of Vein.....	97
6.4.3 Analysis of Route and Topology Configuration of Artery.....	99
6.4.4 Analysis of Route and Topology Configuration of Portal Vein	100
6. 5 SUMMARY OF THIS CHAPTER	101
CHAPTER 7 CONCLUSION AND FUTURE WORK	102
7. 1 SUMMARY	102
7. 2 REMARKABLE RESULTS	105
7. 3 QUESTIONS TO BE ADDRESSED IN THE FUTURE.....	106
REFERENCES	108
PUBLISHED AND COMPLETED PAPERS	119
RESEARCH EXPERIENCE	122
ACKNOWLEDGEMENT	123

第一章 绪 论

随着医学成像设备研制技术的不断提高,越来越多的新型成像设备逐渐走向临床,医学图像在医学诊断和治疗中的作用显得非常重要。由于各种成像设备所特有成像原理各不相同,不同模式的医学图像提供了相关脏器的不同信息,比如,CT 图像具有较强的空间分辨率和几何特性,所以对骨骼成像非常清晰,它可以为病灶定位提供良好的参照,但是,对软组织的对比度则较低;MRI 可清晰反映软组织、器官、血管等的解剖结构,有利于病灶范围确定,但对钙化点不敏感,且受到磁干扰会发生几何失真;数字减影技术(Digital Subtraction Angiography, DSA)是一种使 X 射线序列图片中的血管可视化的技术,通过减影、增强和再成像过程来获得清晰的纯血管影像,但其图像中并不包含除血管外的其余组织器官的信息。单独用某种模式的图像进行诊疗,即使经过计算机处理,也不能反映全面情况,只能得到定性的,或在一定条件范围内的定量分析。所以,单一模式的图像往往不能提供医生所需要的足够的诊断信息。在实际临床应用中,往往需要将不同模式的医学图像有机地结合起来,得到更丰富的信息以便了解病变组织或器官的综合信息,从而做出准确的诊断或制订出合适的治疗方案。这个过程,首先需要进行图像配准,将各种模式的图像中同一解剖点的位置对齐。

图像配准的种类、方式很多,不同器官,不同成像方式的图像有不同的配准方法。肝脏是人体重要的消化器官,被喻为人体的化工厂,肝脏疾病会直接影响人的健康和生存。与其他器官不同,肝脏内部具有众多复杂的管道系统,包括肝动脉、肝静脉、门静脉以及胆管系统等。肝脏内管道系统的分布状况和相互之间的连接关系对医生的临床手术计划具有直接指导意义,因此往往采用多种成像设备对肝脏进行检查,便于医生全面准确了解肝脏内管道系统的情况。在体肝脏图像是患者在临床检查中获取的图像,其中包含了患者的个体特征信息,对其进行处理分析对临床诊断具有更加直接的意义。本文以体肝脏图像为研究对象,详细研究了在体肝脏图像的配准方法,包括肝脏 CT 多相期扫描图像的刚性、非刚性配准方法、肝脏 CT 与 MRI 图像配准方法、肝脏 CT 图像与 DSA 图像的配准方法,最后本文还对配准后的肝脏管道系统进行分支变异与走行的分析,为临床实际应用提供帮助。

1.1 可视化虚拟肝脏系统研究现状

虚拟器官的研究是目前生物医学工程研究的热点。在世界范围内,有许多科学家致力于虚拟器官的研究,这些研究在医学上的应用涉及到绘制出准确的解剖图像,提高诊断水平,制定精确的治疗计划并进行预演以及教学和训练。肝脏是人体内重要的器官,肝脏内部具有肝动脉、肝静脉、门静脉以及胆管系统等众多复杂的管道系统,对其进行图像处理、可视化研究、生物建模具有重要的意义,目前已有众多的专家学者致力于肝脏的可视化研究工作。

目前已经有一些研究尝试将虚拟肝脏应用于临床手术和肝脏移植。这些研究对肝脏内的动脉、静脉、门静脉以及胆管系统进行三维重构,帮助医生在手术之前了解肝脏内管道系统的分布状况和相互之间的连接关系,虚拟肝脏被提供给放射科医生,协助其确定放疗的精确部位和剂量。国内肝脏虚拟手术的研究有:范毓东[1]等采用 MC 方法进行医学影像开发基于微机平台的肝脏及其内部管道的三维重建、分析与切割模拟的软件系统。方驰华[2,3]等基于数字人数据采用 64 排螺旋 CT 肝脏扫描图像,采用 MINICS(V10.0)三维建软件,利用阈值法和人工结合的方法来分割图像,得到肝脏模型表面光滑,肝内管道清晰。李恺[4,5]等应用可视化人体肝脏数据集进行三维重建,建立数字化肝脏可视模型,实现肝脏虚拟切除。陈官发生[6]等把重建好的肝脏三维形体导入到 Freeform 系统,该系统不仅自动地对三维模型赋予力反馈,可以随意对三维形体进行任意移动、旋转、缩放和切割。

国内虚拟肝脏的研究采用离体肝脏灌注标本进行 CT 扫描后三维重建,或者利用数字人肝脏图像数据集对肝脏的外形和肝内的主要管道进行了三维重建研究,这些研究不是基于临床病人在体肝脏 CT 断层图像数据,亦非应用于虚拟肝脏手术计划的专业软件重建,不具备病人的个体化信息,无虚拟肝脏手术计划临床治疗的实用功能。

国外开发的虚拟肝脏手术系统:日本西宫Hyogo Coll 医学中心开发虚拟肝脏仿真软件用于肝切除或活体肝移植,可分析肝内管道的 3D 结构和测量预切除的肝脏体积,能够有效地为肝切除手术计划提供术前指导[7]。Radtke A (德国 MeVis 中心)报道了采用 HepaVision 软件对活体肝移植进行肝脏体积和解剖变异

性评估[8, 9, 10], 在活体肝移植手术中利用虚拟三维重建来计算移植肝和残肝的体积; 研发基于图像的计算机辅助系统, 该系统可以在肝脏模型中改善肝脏管道的可视化。Reitinger B[11]等开发了一种肝脏手术计划系统LiverPlanner, 进行肝脏三维重建、体积计算、距离测量, 尚处于临床评估阶段。德国癌症研究中心(German Cancer Research Center) 海德堡生物信息分部以CT图像为数据源, 建立肝脏形态模型和血管模型, 并在此基础上设计了一个手术仿真系统, 模拟肝脏切割手术对血管的影响[12]。2002年, 德国的MeVis (Center for Medical Diagnostic Systems and Visualization) [13]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[14], 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; 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[15]。Hogemann, Stamm等实现了虚拟的肝切除[16]; 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[17]; 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[18]; Radtke, Bockhorn[19]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。Neumann, Thorn等讨论了计算机虚拟肝静脉分支和功能代谢[15]; Radtke, Schroeder等[20]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。

目前国内外虽然已有众多的专家学者致力于虚拟肝脏系统研究工作, 但是主要是集中在肝脏的肿瘤部分切除的和肝脏移植手术的规划上, 国内虚拟肝脏的研究工作不是基于临床患者在体肝脏图像数据, 不具备病人的个体化信息; 而国外的研究工作也少见到关于在体肝脏图像配准方法的报道, 未见对肝脏CT多期增强扫描图像配准、融合处理功能。

在2008年5月9日教育部科技查新工作站(L15)出具的查新报告(编号: 2008199)给出以下结论:

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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库