

心血管介入虚拟手术造影剂显影仿真

邓子龙^① 谢叻* 罗买生^② 蔡佳音^② 顾力翔^②

摘要 心血管介入手术造影剂的使用对肾功能尤其对肾功能不全患者影响较大。在使用心血管介入手术模拟器进行手术培训过程中,造影剂剂量信号的检测是造影剂模拟的关键技术之一。将光学位移传感器用于造影剂注射剂量信号检测,并成功应用于心血管介入手术模拟器。通过Windows API提取光学位移传感器位移信息,并进行实验验证基于光学位移传感器的造影剂注射剂量信号检测的可行性。

关键词 造影剂 光学位移传感器 心血管介入虚拟手术

Doi:10.3969/j.issn.1673-7571.2015.2.007

[中图分类号] R319;R45 [文献标识码] A

Virtual Surgery Contrast Development Simulation with Cardiovascular Intervention / DENG Zi-long, XIE Le, LUO Mai-sheng, et al//China Digital Medicine.-2015 10(2): 29 to 31

Abstract The contrast agent used in cardiovascular interventional operation has adverse effects on renal function, especially for the renal inadequacy patients. In the use of cardiovascular interventional operation simulator for operation training, detection of contrast agent signal has become one of the key techniques of contrast agent simulation. This paper presents the signal detection of contrast agent dose by using optical displacement sensor, and the successful application to cardiovascular interventional operation simulator. The installation box of sensor is manufactured by using 3D printing technology, the displacement information of optical displacement sensor is extracted by windows API, and experiments are conducted to verify the feasibility of contrast agent signal detection based on optical displacement sensor.

Keywords contrast agent, optical displacement sensor, cardiovascular interventional virtual operation

Fund project Major Subject of National Natural Science Fund (No. 61190124, 61190120); National Natural Science Fund Project of International Cooperation (No. 61311140171); National High Technology Research and Development Program (863) Project (No. 2006AA01Z310); Key Subject of National Science and Technology Support Plan (No. 2009BAI71B06); Project of Shanghai Science and Technology (No. 14441900800, 14DZ1941100, 14DZ1941102); Medical Professional (Principle) Cross Research Fund Project of Shanghai Jiao Tong University (No. YJ2013ZD03, YG2012MS54); Project of Shanghai Disabled Aids Resource Center

Corresponding author Med-x Research Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, P.R.C.

1 引言

随着心血管介入治疗技术的不断发展,造影剂的使用越来越广泛,然而造影剂的使用对肾功能尤其对肾功能不全患者的影响较大。相关文献指出,造影剂剂量是影响肾功能的主要因素之一^[1-2]。因而,心血管介入手术中,在不影响手术效果

基金项目: 国家自然科学基金重大项目课题(编号:61190124,61190120);国家自然科学基金国际合作项目(编号:61311140171);国家高新技术研究发展计划(863)项目(编号:2006AA01Z310);国家科技支撑计划重点项目课题(编号:2009BAI71B06);上海市科委项目(编号:14441900800,14DZ1941100,14DZ1941102);上海交通大学“医工(理)交叉研究基金”重点项目(编号:YJ2013ZD03, YG2012MS54);上海市残疾人辅助器具资源中心科研项目

*通讯作者:上海交通大学国家数字化制造技术中心教授,上海交通大学Med-x研究院教授,博士研究生导师,200030,上海市徐汇区华山路1954号

①上海交通大学模具CAD国家工程研究中心,200030,上海市徐汇区华山路1954号

②上海交通大学生物医学工程学院,200030,上海市徐汇区华山路1954号

的情况下，应控制造影剂使用剂量。

心血管介入手术是指在医学影像的实时引导下，将导丝、指引导管、球囊导管和支架等介入器械从人体血管管腔引入心脏冠状动脉，对血管狭窄或堵塞处进行治疗的方法。与传统的外科手术治疗相比，具有手术时间及恢复时间较短、手术创伤小、病人的痛苦较小等优点^[3-4]。心血管介入手术非常精细和复杂，如果操作不当，可能会导致病人血管破裂甚至死亡，因而医生必须经过手术培训才能进行心血管介入手术。文献指出^[5]，训练医生进行血管循环内手术技能方式之一为使用仿真训练系统。心血管介入虚拟手术培训系统是一种利用虚拟现实技术进行手术培训的仿真训练系统。造影剂的模拟是其中必不可少的模块，而进行造影剂模拟，首先需要采集虚拟手术中造影剂注射剂量信号。

在心血管虚拟手术培训中，要求模拟器尽可能地反应真实的手术状态，因而造影剂仿真模块应当逼真。由于造影剂注射器注射腔为圆柱型，造影剂注射剂量信号的检测可通过检测造影剂注射器直线位移转换得到。采用光学位移传感器这种非接触式检测方式，检测精度高，且不影响医生注射造影剂手感，非常适合心血管介入手术模拟器中造影剂剂量检测。

2 基于光学位移传感器造影剂注射剂量检测原理

2.1 光学位移传感器 本研究中，光学位移传感器主要由光源、数字信号处理器和数据传输通道等组成，可以实现位移检测。位移检测的基本原理是通过比较检测表面照片中相同特征点的位置变化，得到这段时间内的位移增量。其中光源可以采用激光这种相

干光，相干光照射探测表面反射会发生干涉然后形成光斑点，使得图像采集系统能获得具有特征像素的照片，实现位移检测。光学位移传感器，尤其使用激光光源的光学传感器，具有体积小、精度高、环境要求低，稳定性和可靠性好，几乎可以检测任何表面位移信息，非常适合位移检测。

2.2 光学位移传感器位移数据获取 采用光学位移传感器来检测位移时，当传感器将这些数据反馈给操作系统底层时，可以通过Windows底层API接口拦截反馈信号，来获取表示造影剂剂量的位移信息。具体过程为：首先，使用GetRawInputDeviceList函数获取所有接上计算机的输入设备，该函数返回的值中，包含各类输入设备类型，由此可以得到连接到计算机的所有光学位移传感器设备的索引号。然后，使用GetRawInputData函数获取操作系统收到的所有输入设备的输入信息。最后，根据已获得的传感器设备的索引筛选出其中的光学位移传感器输入信息。

2.3 虚拟手术中造影剂剂量检测原理 心脑血管介入手术培训方式之一为在介入模拟器上进行虚拟手术。为获得更好的沉浸感，虚拟手术中所有的介入器械应与实际手术一致，造影剂模块也采用实际手术中的造影剂注射器。进行造影剂剂量模拟必须先采集造影剂剂量信号，因此可以基于光学位移传感器设计造影剂剂量检测方案。光学位移传感器可以获得检测表面位移增量，即一段时间内检测表面的位移大小和方向。注射器活塞前端固定硬质钢丝线，钢丝线通过注射器前端进入光学位移传感器检测区域，当训练人员推动注射器活塞运动时，光学位移传感器可以检测到钢丝线位移，经过转换可

以得到造影剂注射剂量。

3 基于光学位移传感器造影剂注射剂量检测

3.1 造影剂剂量注射检测装置 根据造影剂剂量检测原理选取光学位移传感器，并固定在3D打印的安装盒内；将心血管介入手术造影剂注射器活塞前端固定钢丝线，且钢丝线限定在光学位移传感器检测区域内。注射器以一定速度注射一定剂量造影剂，光学位移传感器采集位移信息，并传输至PC端。

3.2 光学位移传感器安装盒三维打印成形 三维打印成形是指从打印喷头喷嘴喷射熔融材料，按照一定路径逐层堆积成形，是基于离散/堆积制造思想的一种快速成型技术。使用三维打印技术制件具有成本低，体积小，成形速度快，费用低，无污染等优点。本研究中，光学位移传感器安装盒使用三维打印成形技术制造。具体工作流程为：使用UG软件进行建模，生成CAD模型，并导出STL文件；将STL文件导入三维打印软件后，切分为逐层的截面；设置打印参数等，生成打印路径，喷头逐层打印制件。

3.3 心血管介入手术模拟器造影剂注射剂量信号检测装置 心血管介入手术中，造影剂的使用增强了血管显影效果，便于医生判断介入器械位置，因而在心血管介入手术模拟器中加入造影剂模拟仿真模块很有必要。造影剂注射剂量信号检测装置见图1。该装置左边注射器采用心血管介入手术中实际使用的造影剂注射器，右边白色盒为三维打印的光学位移传感器安装盒，注射器活塞前端固定钢丝线通过安装盒上部检测孔。使用心血管介入手术模拟器进行虚拟手术时，光学位移传感器检测造影剂注射信号并传输

给计算机，当CT界面更新时，显示造影剂模拟效果。



图1 造影剂注射剂量信号检测装置

4 造影剂模块模拟仿真效果

4.1 造影剂剂量与光学位移传感器检测数值关系 理论上，由于造影剂注射量与钢丝位移成正比、钢丝位移应与光学位移传感器检测数值成正比，造影剂注射量应与光学位移传感器检测数值成正比。设造影剂注射量为x ml，光学位移传感器检测数值为y，应有表达式 $y=kx$ ，k为比例系数。

本研究中，光学位移传感器检测表面为钢丝线表面，钢丝线在光学位移传感器检测孔处并非固定在某一测量点上，而是在某一固定区域内移动，且造影剂注射器零点位置很难精确地处于0ml处，这些都给实际检测带来了误差。因此，光学位移传感器检测数值y与造影剂注射量x的实际关系式为： $y=k'x+b$ 。k'为考虑误差后的修正比例系数，b为误差的初始值。

为求得实际表达式，本研究进行了五组实验，每组实验造影剂注射量分别取1ml，2ml...10ml十个数值，并获取光学位移传感器相应的检测值。实验结果如表1所示。

表1 不同造影剂注射量下的光学位移传感器检测值

造影剂(ml)	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	平均值
1	1351	1348	1327	1365	1404	1359
2	2694	2687	2729	2800	2795	2741
3	4169	4173	4196	4180	4154	4174.4
4	5566	5616	5630	5666	5651	5625.8
5	6993	7123	7139	7071	7064	7078
6	8600	8539	8543	8578	8540	8560
7	9998	10032	10074	9980	10063	10029.4
8	11421	11520	11398	11282	11540	11432.2
9	12921	12822	12954	13053	12934	12936.8
10	14301	14295	14375	14372	14336	14335.8

根据实验结果画出散点图（见图2），并对五组实验数据求平均值后进行线性回归分析，结果如图3所示。

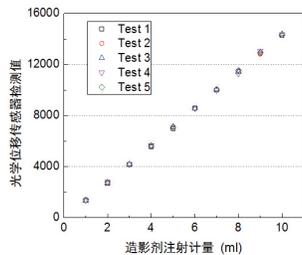


图2 注射剂量-检测值散点图

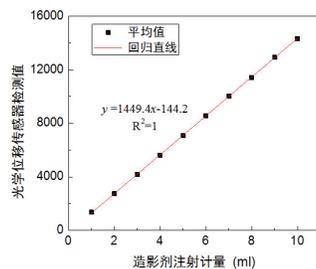


图3 线性回归分析

所以， $k' = 1449.4$ ， $b = -144.21$ ，实际表达式为 $y = 1449.4x - 144.21$ 。R平方等于1，说明拟合非常好，验证了基于光学位移传感器的造影剂注射量信号检测是可行的。

4.2 造影剂模拟仿真效果 在心血管介入手术中，造影剂主要用于血管显示及确认介入器械在血管中的位置。造影剂注射后，随血流在血管中扩散开来，由于造影剂的密度不同于介入器械及血管周围组织，在CT扫描观察中，能够明显区分介入器械、血管和血管周边组织。

使用心血管介入手术模拟器进行虚拟手术，操作者推动造影剂注射器活塞，光学位移传感器检测造影剂注射量信号并传输给计算机，计算机绘出造影剂仿真画面。效果如图4所示。

血管狭窄或堵塞是心血管病的主要成因。心血管介入手术治疗后，狭窄血管或堵塞血管被植入支架撑开，造影剂能够随血液通过病灶。如图4所示，左图中狭窄或堵塞血管阻碍血液流

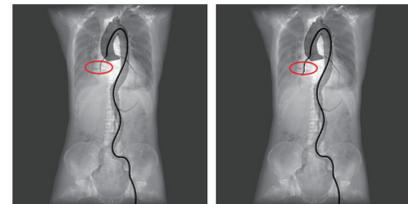


图4 造影剂显影效果

动，造影剂不能通过病灶，红色圈内没有造影剂显影效果；右图中狭窄或堵塞血管被撑开，造影剂通过病灶，红色圈内血管出现造影剂显影效果。

5 结语

本文重点介绍了基于光学位移传感器的心血管介入虚拟手术造影剂注射量信号检测，通过实验验证了这种检测方式的可行性，并成功应用于心血管介入手术模拟器。设计了造影剂注射量信号检测装置，使用Windows API提取光学位移传感器信息，并反馈给心血管介入手术模拟器软件系统。

参考文献

- [1] 吴海霞,王成全,冯雪影,等.心脑血管造影和介入治疗造影剂肾病的相关危险因素研究[J].实用心脑血管病杂志,2012(3):416-417.
- [2] 汪斌,刘志忠,张丰富.不同剂量冠状动脉造影剂对肾功能的影响[J].临床心血管病杂志,2007,23(10):794-795.
- [3] Kandarpa K,Aruny JE.Handbook of Interventional Radiologic Procedures[J].Lippincott Williams & Wilkins,2002:37-39.
- [4] Alan L, Frank T.A Survey of Surgical Simulation: Applications, Technology, and Education[J].Teleoperators & Virtual Environments,2003,12(6):599-610.
- [5] Wu X,Pegoraro V,Luboz V,et al.New approaches to computer-based interventional neuroradiology training[J].Studies in Health Technology and Informatics,2005(111):602-607.

【收稿日期：2014-12-05】

（责任编辑：赵士洁）

作者: [邓子龙](#), [谢叻](#), [罗买生](#), [蔡佳音](#), [顾力栩](#)
作者单位: [邓子龙\(上海交通大学模具CAD国家工程研究中心, 200030\)](#), [谢叻\(上海交通大学\)](#), [罗买生, 蔡佳音, 顾力栩\(上海交通大学生物医学工程学院, 200030\)](#)
刊名: [中国数字医学](#) 
英文刊名: [China Digital Medicine](#)
年, 卷(期): 2015(2)

参考文献(5条)

1. [吴海霞, 王成全, 冯雪影, 白焱, 张春芳](#) 心脑血管造影和介入治疗造影剂肾病的相关危险因素研究[期刊论文]-[实用心脑血管病杂志](#) 2012(3)
2. [汪斌, 刘志忠, 张丰富](#) 不同剂量冠状动脉造影剂对肾功能的影响[期刊论文]-[临床心血管病杂志](#) 2007(10)
3. [Kandarpa K;Aruny JE](#) [Handbook of Interventional Radiologic Procedures](#) 2002
4. [Alan L;Frank T A](#) [Survey of Surgical Simulation:Applications, Technology, and Education](#) 2003(6)
5. [Xunlei WU;Vincent PEGORARO;Vincent LUBOZ;Paul F. NEUMANN;Ryan BARDSLEY;Steven DAWSON;Stephane COTIN](#) [New Approaches to Computer-based Interventional Neuroradiology Training](#)[外文期刊] 2005(0)

引用本文格式: [邓子龙, 谢叻, 罗买生, 蔡佳音, 顾力栩](#) 心血管介入虚拟手术造影剂显影仿真[期刊论文]-[中国数字医学](#) 2015(2)