

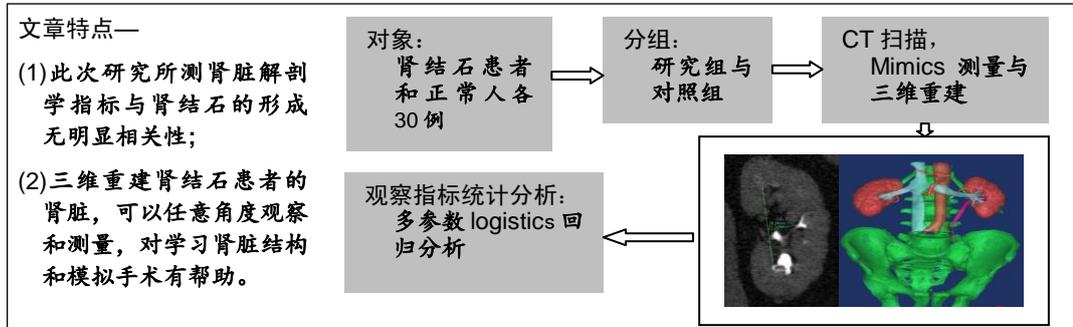
# 三维数字化测量肾结石的解剖学病因及临床意义

武利兵<sup>1,2</sup>, 许阳阳<sup>3</sup>, 和雨洁<sup>2</sup>, 王海燕<sup>2</sup>, 高尚<sup>2</sup>, 恩和吉日嘎拉<sup>2</sup>, 李筱贺<sup>2</sup>, 李志军<sup>2</sup> (1北京市房山区良乡医院泌尿外科, 北京市 102446; 内蒙古医科大学, 2基础医学院人体解剖教研室, 3研究生院, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2779

ORCID: 0000-0001-6850-7615(武利兵); 0000-0001-5877-8358(许阳阳)

文章快速阅读:



武利兵, 男, 1979 年生, 内蒙古自治区乌兰察布市人, 汉族, 主治医师, 主要从事泌尿外科临床工作。

并列第一作者: 许阳阳, 男, 1991 年生, 山西省长治市人, 汉族, 内蒙古医科大学在硕士在读, 主要从事数字医学方向研究。

通讯作者: 李筱贺, 博士, 教授, 硕士生导师, 内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学教研室, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110

并列通讯作者: 李志军, 硕士, 教授, 博士生导师, 内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学教研室, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110

文题释义:

**肾结石:** 是泌尿系统最常见的疾病, 与饮食中的钙含量和酸性物质增高有关, 严重者常需要进行手术治疗, 肾结石手术几乎占了泌尿外科手术数量的一半。

**三维数字化:** 利用医学工程软件把人体脏器的实体模型进行虚拟创建, 之后进行修改、模拟、设计等一些操作。

摘要

**背景:** 肾结石发生病因有很多, 但对于肾脏解剖形态学研究是否影响结石的产生还未有明确答案。

**目的:** 重建肾脏的三维立体模型; 测量与肾结石病因的相关解剖结构数据进行分析。

**方法:** 随机选取 2017 年 12 月至 2019 年 2 月在北京房山区良乡医院就诊的 30 例肾结石患者作为肾结石组, 对照组是同期进行体检的正常人 30 例。两组受试者采集肾脏 CT 的扫描数据后, 利用 Mimics 16.0 软件通过图像分割和融合来重建肾脏的三维立体模型; 测量肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离; 并对肾结石患者肾脏解剖学指标进行多参数 Logistics 回归分析。

**结果与结论:** ①肾结石患者与正常人的肾在肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离方面的三维数字化测量结果差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。②肾结石患者肾脏解剖学多参数 Logistics 回归分析结果表明, 肾结石患者的肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离等与肾结石的形成无明显相关性( $P > 0.05$ )。提示肾脏形态学的不同与结石形成无关。

**关键词:**

肾结石; 数字化测量; 三维重建; 解剖学病因

中图分类号: R445; R692.4; R318

**基金资助:**

国家自然科学基金(81460330), 项目负责人: 李筱贺; 国家自然科学基金(81560348, 81860383), 项目负责人: 李志军; 内蒙古教育厅青年科技英才项目(njyt-15-b05), 项目负责人: 李筱贺; 内蒙古自治区科技计划项目(2016), 项目负责人: 李筱贺; 内蒙古自治区科技计划项目(2019), 项目负责人: 李志军; 内蒙古自治区科技创新引导项目(2017), 项目负责人: 李筱贺; 内蒙古自治区自然科学基金(2016ms08131); 内蒙古人社厅归国留学人员基金(TKD2017KJBW012), 项目负责人: 李筱贺; 内蒙古医科大学科技百万计划基金项目(YKD2017KJBW012), 项目负责人: 王海燕

## Anatomical etiology and clinical significance of three-dimensional digital measurement of kidney stones

Wu Libing<sup>1,2</sup>, Xu Yangyang<sup>3</sup>, He Yujie<sup>2</sup>, Wang Haiyan<sup>2</sup>, Gao Shang<sup>2</sup>, Enhejirigala<sup>2</sup>, Li Xiaohe<sup>2</sup>, Li Zhijun<sup>2</sup> (1Department of Urinary Surgery, Liangxiang Hospital in Fangshan District, Beijing 102446, China; 2Department of Anatomy, Basic Medical College, 3Graduate School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract**

**BACKGROUND:** There are many causes of kidney stones, but there is no clear answer to whether kidney

文献标识码: B

投稿日期: 2019-09-04

送审日期: 2019-09-09

采用日期: 2020-03-03

在线日期: 2020-04-15

Wu Libing, Attending physician, Department of Urinary Surgery, Liangxiang Hospital of Fangshan District, Beijing 102446, China; Department of Anatomy, Basic Medical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Xu Yangyang, Master candidate, Graduate School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Corresponding author: Li Xiaohe, MD, Professor, Master's supervisor, Department of Anatomy, Basic Medical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Corresponding author: Li Zhijun, Master, Professor, Doctoral supervisor, Department of Anatomy, Basic Medical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

anatomy and morphology studies affect the generation of stones.

**OBJECTIVE:** To reconstruct a three-dimensional model of the kidney and to measure and analyze anatomical data related to the etiology of kidney stones.

**METHODS:** Thirty patients with kidney stones treated at Liangxiang Hospital in Fangshan District, Beijing from December 2017 to February 2019 were randomly selected as the study group, and the control group was 30 normal people who underwent physical examination during the same period. After collecting renal CT scan data from two groups of patients, the three-dimensional model of the kidney was reconstructed by image segmentation and fusion using Mimics 16.0. The length and width of the kidney, the length and width of the renal sinus, diameter of the junction between the renal pelvis and ureter, the distance from the upper edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, the distance from the lower edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, and the distance from the hilum to the longitudinal line of the spinous process. Multi-parameter Logistic regression analysis was performed on kidney anatomy parameters of patients with kidney stones.

**RESULTS AND CONCLUSION:** There were no significant differences in the three-dimensional digital measurement results between patients with kidney stones and healthy people in the following aspects: the length and width of the kidney, length and width of the renal sinus, diameter of the junction between the renal pelvis and ureter, distance from the upper edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, distance from the lower edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, and distance from the hilum to the longitudinal line of the spinous process ( $P > 0.05$ ). Multi-parameter Logistic regression analysis results of the kidney of patients with kidney stones indicated that there was no significant correlation among the length and width of the kidney, length and width of the renal sinus, diameter of the junction between the renal pelvis and ureter, distance from the upper edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, distance from the lower edge of the kidney to the longitudinal line of the spinous process, and distance from the hilum to the longitudinal line of the spinous process ( $P > 0.05$ ). These findings reveal that the difference in kidney morphology has nothing to do with the formation of stones.

**Key words:** kidney stones; digital measurement; three-dimensional reconstruction; anatomical etiology

**Funding:** the National Natural Science Foundation of China, No. 81460330 (to LXH), 81560348 and 81860383 (both to LZJ); the Youth Science and Technology Talent Project of Inner Mongolia Education Department, No. njyt-15-b05 (to LXH); the Science and Technology Plan Project of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2016 (to LXH) and 2019 (to LZJ); the Science and Technology Innovation Leading Project of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2017 (to LXH); the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2016ms08131; Returned Scholars Fund of Inner Mongolia Human Resources and Social Security Agency, No. TKD2017KJBW012 (to LXH); the Science and Technology Million Plan of Inner Mongolia Medical University, No. YKD2017KJBW012 (to WHY)

## 0 引言 Introduction

肾结石严重影响人体健康,目前其发病机制尚不清楚,因此,研究肾结石的发病机制及探索防治对策是临床泌尿外科研究的重要课题<sup>[1-2]</sup>。据报道,日本、欧洲、美国和中国的肾结石发病率分别约为12%,7%,13%和3%,中国北方的肾结石发病率极低,但南方的肾结石发病率可高达5%-10%<sup>[3-7]</sup>。国内外对肾盂肾盏与结石形成的解剖学研究是基于尸体及二维影像学测量,有报道肾盂出口梗阻、肾盂体积小、肾盂出口相对狭窄等是造成中上盏结石形成的重要因素<sup>[8-10]</sup>。肾集合系统的解剖结构是肾结石发病机制中的重要因素之一,对制定手术治疗方案具有重要意义,对肾盏形态的认识及其重要,因为这是选择合适的碎石方法的基础。

图像分割技术和三维可视化技术的发展和成熟为医学提供便利<sup>[11]</sup>,此次研究利用CT三维重建图像,分析其肾结石形成的有关的肾脏解剖指标,为肾结石病因提供基础数据参考,为临床预防和治疗工作提供思路。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 病例-对照研究。

1.2 时间及地点 2017年12月到2019年2月在北京房山区良乡医院完成。

1.3 对象 随机选取肾结石患者和正常人各30例,分别作为肾结石组和对照组。肾结石组选取的是2017年12月到2019年2月在北京房山区良乡医院就诊的肾结石患者,其中男性和女性分别为18例和12例;年龄在26-82岁之间,

平均年龄为(48.93±14.80)岁;有16例患者为左肾结石,另有14例患者为右肾结石。对照组是同期在北京房山区良乡医院进行体检的正常人,其中男性和女性分别为16例和14例;年龄在28-80岁之间,平均年龄为(48.91±10.75)岁。两组患者的一般资料比较,差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。

**纳入标准:** ①年龄在18-85岁之间;②愿意配合CT检查;③无泌尿系统疾病史、手术史、过敏史;④碘对比剂皮试阴性;⑤血压正常;⑥参与者对试验知情同意。

**排除标准:** ①严重心、肝、肾功能不全、肾脏及肾周疾病者;②对碘对比剂过敏;③病情严重难以配合研究者。

1.4 方法 肾结石组和对照组受试者均进行CT图像数据采集、三维重建和三维数字化测量。

1.4.1 CT图像数据采集 应用Philips(Brilliance 64)64层螺旋CT(产地荷兰)对受试者进行肾脏CT扫描。

**CT扫描前准备:** 至少4 h空腹,扫描前半小时和扫描开始时分别补充(口服)0.5-1.0 L的清水。扫描前需教会受检者正确呼吸,即在扫描时最大程度的呼气和屏气,容积扫描在屏气时完成,以最大程度控制呼吸运动对图像的影响。

**平扫期:** ①不注射对比剂。受检者取平卧位,自肾上极向耻骨联合平面扫描,CT仪器电压设定为140 kVp,电流设定为200 mAs,螺距设定为0.949,采集层厚2 mm,球管旋转一周时间为5 s,重建层厚和重建间隔均为2 mm;②增强扫描:扫描前以5 mL/s的速率将对对比剂(典必乐370)注入受检者体内,注射剂量根据体质量计算,标准为1.5 mL/kg,完成对比剂注射后再以50 mL生理盐水冲洗管道。CT仪器电

压设定为140 kVp, 电流设定为200 mAs, 螺距设定为0.949, 采集层厚2 mm, 球管旋转一周时间为5 s, 重建层厚和重建间隔均为2 mm。

**动脉期:** 动脉期时间由自动阈值触发技术自动获取, 当阈值达到设定的触发阈值时即开始扫描。ROI范围为腹主动脉断面, 以自动触发方式进行扫描, 触发阈值设定在200 Hu。

**静脉期:** 有时间限制, 需在对比剂注入后的65 s左右开始扫描。

**肾盂排泄期:** 在对比剂注入后的600 s开始扫描, 如有结石梗阻引发的肾积水情况, 则根据肾积水程度将时间相应延长到900 s再开始扫描。

扫描结束后, 将图像数据传至Mxview工作站前, 要先将原始图像的层厚进行0.625 mm的减薄处理, 再将肾脏的平扫数据、动脉期、静脉期、肾盂排泄期数据以Dicom格式保存在移动硬盘当中(图1)。

#### 1.4.2 图像分割和三维重建

**图像分割:** 是指将图像分割成若干个具有独特性质的特定的区域, 并提取某个特定图像区域的一种技术。图像分割要先进行图像处理, 再对经过处理的图像进行分析。此次研究主要使用的是阈值分割法和区域分割法<sup>[12-13]</sup>。

**三维重建:** 是通过Mimics 16.0软件自动生成的, 不同的肾结构所采用的CT时相图片不同, 肾脏的内部结构、集合系统、肾脏血管、毗邻器官和结石结构是用不同的颜色加以区分的。

**1.4.3 图像配准** 由于CT测量受到扫描范围、扫描时相和患者呼吸的影响, 各个扫描时相的图像可能有一定差别, 因此需要进行图像配准。以CT动脉期的肾脏实质模型作为参照标准, 再导入其他3个时期重建的肾脏模型, 通过三维模型空间移动配准方法, 设置肾脏的上下左右4个极点和其他特征性标志点, 再进行各时相模型的自动配准。然后通过Mimics 16.0的3种不同断面(横断面、冠状面、矢状面)进行图像配准, 并对模型进行去噪、平滑和精细填充、渲染色彩、调整透明度等完善细节的处理, 于是形成了所需的肾结石三维模型。

#### 1.4.4 测量指标 测量方法见图2。

**肾脏长度:** 经肾脏上极顶端到下极底端的距离, 见图2A。

**肾脏宽度:** 自肾门到肾脏对侧外侧缘的距离, 见图2B。

**肾窦长径:** 肾窦上极到下极的距离, 见图2C, D。

**肾窦宽径:** 在肾窦内侧做一条标线, 测量肾窦外侧缘中点到标线的垂直距离, 见图2E。

**肾盂与输尿管连接处直径:** 肾盂与输尿管上段连接处的最窄直径, 见图2F。

**肾上缘至棘突纵线距离:** 肾脏上极顶端到棘突纵线的距离, 见图2G。

**肾下缘至棘突纵线距离:** 肾脏内侧中点到棘突纵线的

距离, 见图2G。

**肾门至棘突纵线距离:** 肾脏下极底端到棘突纵线的距离, 见图2G。

**1.5 主要观察指标** 肾结石患者和正常人肾脏数字化测量参数比较及相关性。

**1.6 统计学分析** 采用SPSS 20.0进行统计学分析, 计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 采用 $t$ 检验; 相关性分析采用多参数Logistics回归分析; 检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果 Results

**2.1 肾结石患者与正常人一般资料** 两组受试者性别、年龄、体质量指数及合并糖尿病人数比较差异均无显著性意义( $P > 0.05$ ), 见表1。肾结石组患者肾结石分布部位及类型见表1。

表1 两组受试者一般资料比较 (n=30)  
Table 1 General data of participants in the two groups

指标	肾结石组	对照组	t/ $\chi^2$ 值	P 值
性别(男/女, n)	18/12	16/14	0.271	> 0.05
年龄( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	48.93 $\pm$ 14.80	48.91 $\pm$ 10.75	0.685	> 0.05
体质量指数( $\bar{x}\pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	25.69 $\pm$ 2.61	25.78 $\pm$ 2.58	0.592	> 0.05
合并糖尿病(n%)	2/7	3/10	0.185	> 0.05
肾结石部位(左侧/右侧, n)	16/14	-	-	-
肾结石类型(n%)				
多发结石	18/60			
输尿管上段结石	10/33			
鹿角型结石	2/7			

**2.2 肾结石患者和正常人肾脏数字化测量结果** 肾结石患者与正常人的肾在肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离方面的三维数字化测量结果差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 见表2。

表2 肾结石患者与正常人肾脏解剖学参数比较 ( $\bar{x}\pm s$ , n=30, mm)  
Table 2 Comparison of kidney anatomy parameters between kidney stone patients and healthy people

测量指标	肾结石组	对照组	t 值	P 值
肾脏长度	99.18 $\pm$ 9.12	101.05 $\pm$ 9.12	0.795	> 0.05
肾脏宽度	51.46 $\pm$ 5.36	50.20 $\pm$ 6.20	0.844	> 0.05
肾窦长径	57.02 $\pm$ 5.17	57.50 $\pm$ 4.63	0.375	> 0.05
肾窦宽径	18.05 $\pm$ 0.87	19.51 $\pm$ 6.14	1.283	> 0.05
肾盂与输尿管连接处直径	4.32 $\pm$ 0.41	4.28 $\pm$ 0.25	0.450	> 0.05
肾上缘至棘突纵线距离	43.72 $\pm$ 6.92	42.56 $\pm$ 6.48	0.674	> 0.05
肾下缘至棘突纵线距离	74.41 $\pm$ 8.15	74.41 $\pm$ 8.56	0.004	> 0.05
肾门至棘突纵线距离	50.70 $\pm$ 5.95	50.97 $\pm$ 5.74	0.175	> 0.05

肾结石患者肾脏解剖学多参数Logistics回归分析结果表明, 肾结石患者的肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离等与肾结石的形成无明显相关性( $P > 0.05$ ), 见表3。

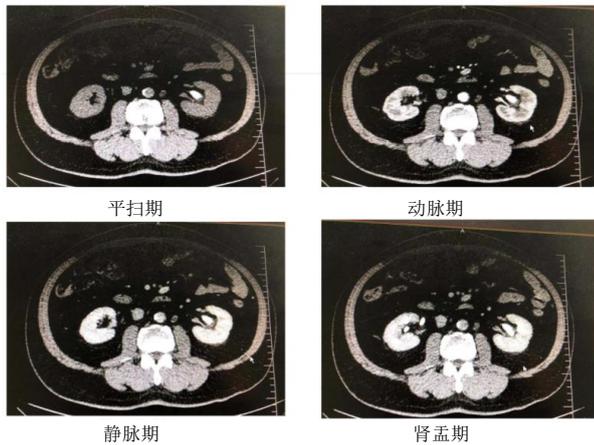
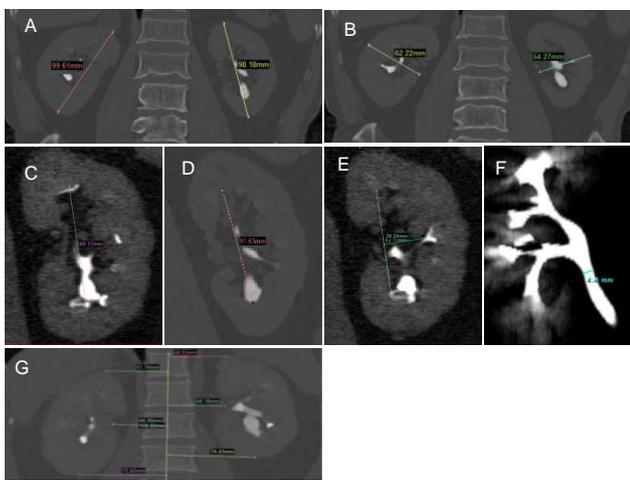


图1 肾脏CT扫描4个时相的扫描图像(平卧位)  
Figure 1 Renal CT scan images in four phases (supine position)



图注: 图A为肾脏的长度测量; B为肾脏的宽度测量; C, D为肾窦的长径测量; E为肾窦的宽径测量; F为肾盂输尿管连接处直径测量; G为肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离测量

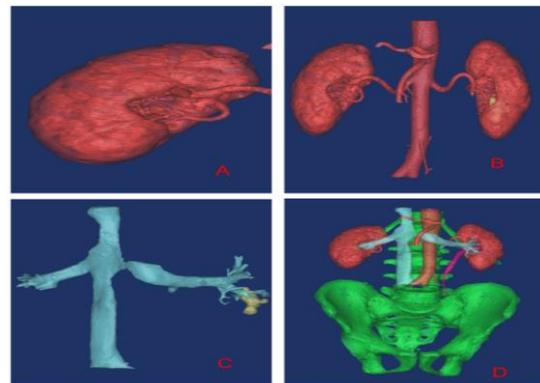
图2 肾的三维数字化测量  
Figure 2 Three-dimensional digital measurement of the kidney

表3 肾结石患者肾脏解剖学多参数Logistics回归分析  
Table 3 Multi-parameter Logistic regression analysis of the kidney in patients with kidney stones

变量	回归系数	标准差	P值	OR值
肾脏长度	-0.029	0.038	0.449	0.972
肾脏宽度	0.059	0.061	0.333	1.061
肾窦长径	-0.009	0.059	0.881	0.991
肾窦宽径	-0.291	0.258	0.259	0.747
肾盂与输尿管连接处直径	0.486	0.893	0.586	1.626
肾上缘至棘突纵线距离	0.024	0.055	0.664	1.024
肾下缘至棘突纵线距离	-0.02	0.038	0.601	0.980
肾门至棘突纵线距离	-0.022	0.055	0.695	0.979

2.3 肾结石三维模型的建立 共建立了30例患者的肾结石三维模型, 其中29例重建的肾脏模型效果较好, 具有清晰的肾脏轮廓和肾脏的解剖学标志, 肾脏的实际大小、位置和体积均反映真实。肾血管清晰可见(肾动脉可见4级分支, 肾静脉可见2级分支), 且血管边缘清晰光滑, 未见呼吸运动伪影。

可清晰见到肾脏的集合系统管道结构, 未出现断裂、模糊、断层等现象。重建的肾结石三维模型形态、大小、立体感、空间感均很强(图3)。清晰可见毗邻脏器与肾脏的关系, 与真实肾脏解剖学结构和空间分布相一致(图4)。



图注: 图A为右肾测量; 图B肾动脉主干及分支清晰可见, 图C肾静脉清晰可见; 图D显示肾动静脉和肾集合系统的关系

图3 肾结石患者肾脏三维模型  
Figure 3 Three-dimensional model of the kidney in patients with kidney stones

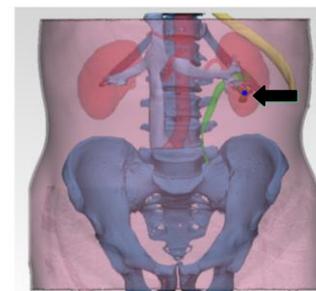


图4 肾结石三维模型与毗邻脏器的关系(左侧肾下盏结石, 结石位置如箭头所示)  
Figure 4 Relationship between the three-dimensional model of kidney stones and adjacent organs (the arrow indicates the position of renal calyceal stones on the left side)

2.4 肾结石三维模型重建图像质量评估结果 30例患者的肾结石三维模型, 其中29例重建的肾脏模型效果较好, 其中有1例因对比剂充盈不足, 肾血管重建分支效果不好, 部分肾盏显示不完全, 算无效模型, 因此有效完整的模型共29例, 有效性96.7%。

### 3 讨论 Discussion

肾结石病受多种因素的影响, 包括年龄、性别、遗传背景、饮食、药物等<sup>[14-17]</sup>。关于性别, 与同年龄男性相比, 育龄期(15-49岁)女性的肾结石发病率/患病率较男性低, 男性为女性1.5-2.5倍<sup>[14, 18]</sup>。体位、年龄、性别等因素可以导致肾脏位置的变化<sup>[19-20]</sup>, 肾脏的大小、形态、位置的变化与肾脏疾病相关<sup>[21-22]</sup>。此次研究结果表明, 肾结石患者和正常人的肾脏长度、肾脏宽度、肾窦长径、肾窦宽径、肾盂与输尿管连接处直径、肾上缘至棘突纵线距离、肾下缘至棘突纵线距离、肾门至棘突纵线距离差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 提示以上测量解剖因素与肾结石的形成无明显相关性。

结石形成的机制非常复杂, 并非单一机制, 以往认为结石的形成与尿液在尿路中滞留时间太长有关, 肾下盏结石的形成因重力作用使尿液在肾内滞留时间太长, 但是肾中上盏结石的形成, 无重力因素影响, 所以可能存在肾脏解剖结构

上的异常而导致了结石的形成。查阅文献发现肾窦长径、肾窦宽径会影响术后结石的清除率, 导致结石的再生。ELBAHNASY等<sup>[23]</sup>指出肾窦长径、肾窦宽径是影响术后结石清除率的重要因素, 肾窦长径 $>30$  mm降低结石清除率。VERMA等<sup>[24]</sup>也提出肾窦宽径更窄会降低术后结石清除率。GANDHI等<sup>[25]</sup>指出经皮肾镜取石术和体外冲击波碎石术后结石清除率与解剖因素, 尤其是肾盂的类型和下肾盏的尺寸(长度和宽度)显著相关。肾盂空间大, 尤其下盏系统中, 导致尿储存、晶体滞留, 持续时间较长可能导致结石的形成, 肾集合系统的解剖变异对其结石的形成也存在影响。但是此次研究选择的8项测量指标均未能发现其与肾结石的形成有相关性, 导致结果阴性的原因: ①所选择的测量指标与肾结石的形成没有相关性; ②肾脏中上盏结石的形成机制中解剖因素并非占主导地位; ③研究样本例数较少, 年龄跨度大, 不能全面反映出测量指标在结石肾患者及正常人之间的差异。但是通过文献可知肾脏的解剖结构与肾结石术后的清除率相关, 这需要对术后患者继续进行相关研究, 应在下一步试验扩大研究标本量, 继续探索其关系。

此次研究重建了肾结石的解剖学三维模型, 并测量相关指标值, 从而能够清晰准确地模拟出肾结石患者的肾脏内部结构和与毗邻脏器的位置, 立体化显示肾结石患者的血管分布情况、肾集合系统的结构变化和分布情况等, 为手术穿刺通道的建立和手术设计提供科学准确的数据依据。此外, 可以根据肾结石的三维数字化测量和三维模型的建立, 来重复模拟真实的手术过程, 可以使医生提前熟悉患者的手术操作过程、要点、重点和难点, 提前预知和预演真实手术过程中可能发生的问题, 从而提前预防。

**结论:** 此次研究所测指标与肾结石发生病因无相关, 需扩大样本量, 进一步验证证实与重新选定指标进行研究。三维重建肾结石患者的肾脏, 可以任意角度观察和测量, 对学习肾脏结构和模拟手术有帮助, 可作为教学、临床和科研的辅助方法。

**致谢:** 感谢课题组给予的帮助。

**作者贡献:** 试验设计者为武利兵、许阳阳; 试验实施者为武利兵、许阳阳、和雨洁、王海燕、高尚、恩和吉日嘎拉; 评估者为李志军、李筱贺; 武利兵撰文, 王海燕、李筱贺校审并对文章负责。武利兵和许阳阳对试验贡献相同, 故并列共同第一作者。李志军和李筱贺对试验提供技术指导贡献相同, 故并列共同通讯作者。

**经费支持:** 该文章接受了“国家自然科学基金(81460330、81560348、81860383)、内蒙古教育厅青年科技英才项目(njyt-15-b05)、内蒙古自治区科技计划项目(2016、2019)、内蒙古自治区科技创新引导项目(2017)、内蒙古自治区自然科学基金(2016ms08131)、内蒙古人社厅归国留学人员基金(TKD2017KJBW012)、内蒙古医科大学科技百万计划基金项目(YKD2017KJBW012)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程不存在利益冲突。

**机构伦理问题:** 该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》。

**知情同意问题:** 试验的参与者及其家属为自愿参加, 均对试验过程完全知情同意, 在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。

**写作指南:** 本研究遵守《观察性临床研究报告指南》(STROBE指南)。

**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

**文章外审:** 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊

发稿宗旨。

**生物统计学声明:** 该文统计学方法已经内蒙古医科大学统计教研室审核。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

## 4 参考文献 References

- [1] EVAN AP, WORCESTER EM, COE FL, et al. Mechanisms of human kidney stone formation. *Urolithiasis*.2015;43(1):19-32.
- [2] WORCESTER EM, COE FL. Clinical practice. Calcium kidney stones. *N Engl J Med*. 2010;363(10):954-963.
- [3] 黄冠森, 郑胜眉, 蔡丽莉, 等. 达州宣汉县肾结石流行病学调查[J]. *生物技术世界*, 2016(1):207-208.
- [4] 陈楠. 重视肾结石的诊断及内科治疗[J]. *中华肾脏病杂志*, 2004, 20(5): 380-381.
- [5] 张金, 范海涛, 张明, 等. 不完全性铸型肾结石18例临床分析[J]. *中国实验诊断学*, 2016, 20(2):310-312.
- [6] 颜昌智, 唐猛, 潘铁军, 等. 铸型肾结石伴复杂基础疾病1例报告[J]. *现代泌尿外科杂志*, 2017, 22(11):90-91.
- [7] 汤宗源, 江顺建, 李江, 等. 广西瑶族成年人肾结石流行病学调查[J]. *中国全科医学*, 2015(14):1691-1694.
- [8] 陈厚传, 杨正荣, 刘学斌. 农村地区肾结石发病的相关因素调查[J]. *中外健康文摘*, 2014(22):51-52.
- [9] 金锡御, 俞天麟. *泌尿外科手术学*[M]. 北京: 人民军医出版社, 2004:97.
- [10] 段中阳, 李昕. 肾结石形成解剖学因素研究[J]. *创伤与急危重病医学*, 2018, 6(1):12-17.
- [11] 王猛, 孔繁之. 医学图像三维可视化技术及其新进展[J]. *医学影像学杂志*, 2015, 25(6):1095-1097.
- [12] 袁小翠, 吴禄慎, 陈华伟. 基于Otsu方法的钢轨图像分割[J]. *光学精密工程*, 2016, 24(7):1772-1781.
- [13] MA J, SON JB, HAZLE JD. An improved region growing algorithm for phase correction in MRI. *Magn Reson Med*. 2016;76(2):519-529.
- [14] ALELIGN T, PETROS B. Kidney Stone Disease: An Update on Current Concepts. *Adv Urol*. 2018;2018:3068365.
- [15] PALSSON R, INDRIDASON OS, Edvardsson VO, et al. Genetics of common complex kidney stone disease: insights from genome-wide association studies. *Urolithiasis*. 2019;47(1):11-21.
- [16] ASIAN GE, JEMIELITA T, GOLDFARB DS, et al. Oral Antibiotic Exposure and Kidney Stone Disease. *J Am Soc Nephrol*. 2018;29(6):1731-1740.
- [17] AL-KAZWINI AT, AL-ATIF MS, ABU-MWEIS SS, et al. The relationship between kidney stones and dietary habits. *Res Rep Urol*. 2019;11: 201-214.
- [18] PEERAPEN P, THONGBOONKERD V. Protective Cellular Mechanism of Estrogen Against Kidney Stone Formation: A Proteomics Approach and Functional Validation. *Proteomics*.2019;19(3):1-15.
- [19] 元鹏, 胡亦新, 曾丹, 等. 老年人肾脏相对长度的影响因素及临床意义[J]. *中国综合临床*, 2006, 22(1):46-48.
- [20] 钟婷婷, 刘艳君, 张云飞, 等. 不同体位及部位对实时剪切波弹性成像技术对正常肾脏的影响[J]. *中国超声医学杂志*, 2016, 32(10):911-913.
- [21] 李刚. 肾脏皮质厚度与年龄的关系[J]. *实用放射学杂志*, 2009, 25(6): 908-910.
- [22] 王娜, 刘荣波, 孔维芳, 等. 成人活体肾脏CT/MRI测量指标分析及影响因素探讨[J]. *中国循证医学杂志*, 2004, 4(11):771-777.
- [23] ELBAHNASY AM, SHALHAV AL, HOENIG DM, et al. Lower caliceal stone clearance after shock wave lithotripsy or ureteroscopy: the impact of lower pole radiographic anatomy. *J Urol*. 1998;159(3):676-682.
- [24] VERMA A, TOMAR V, YADAV S. Complex multiple renal calculi: stone distribution, pelvicalyceal anatomy and site of puncture as predictors of PCNL outcome. *Springerplus*.2016;5(1):1356-1361.
- [25] GANDHI KR, CHAVAN S. Revisiting the morphology of pelvicalyceal system in human cadaveric kidneys with a systematic review of literature. *Asian J Urol*. 2019;6(3):249-255.