

·论著·

基于 CT 图像建立小儿肾结石三维模型及仿真手术的研究

何天衢 赵天望 彭潜龙 刘 李 田 稳 童方运

【摘要】 目的 基于 CT 扫描原始图像构建小儿肾结石三维模型,为手术方式的选择提供参考。

方法 选取 9 例肾结石患儿分别进行泌尿系 CT 扫描检查,所得资料以 DICOM 格式储存并将其导入医学影像软件 Mimics,通过自动与人工描绘等功能提取所需区域进行三维重建,获得小儿肾结石三维模型,并利用机械画图软件 Solidworks 建立手术器械模型,对三维肾结石模型进行虚拟仿真手术操作。

结果 成功建立了包含骨骼、肾实质、集合系统、血管、结石及毗邻器官在内的小儿肾结石三维模型及手术器械模型,并完成虚拟手术操作。 **结论** 通过 Mimics 软件结合 CT 扫描资料建立小儿肾结石三维模型有效、可行,能直观地显示肾内结构及毗邻脏器,有助于术者进行术前规划。

【关键词】 肾结石; 三维模型; 仿真手术; 儿童

Construction of three-dimensional models for kidney calculi and virtual operations in children. He Tian-qu, Zhao Yaowang, Peng Qianlong, Liu Li, Tian Wen, Tong Fangyun. Department of Urology, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China. Corresponding author: Zhao Yaowang, Email: yw508@sina.com

【Abstract】 Objective To provide rationales for selecting surgical procedures through establishing a three-dimensional model of renal stone on computed tomography (CT) in children. **Methods** Spiral CT in urinary system was performed in 9 children with renal stones. The acquired data stored in DICOM format were imported into medical imaging software Mimics. 3D reconstruction was performed through automatic and manual mapping of required areas to obtain the three-dimensional models of renal stones in children. The surgical instrument model was established by mechanical drawing software Solidworks based upon virtual simulation. Operation was performed on three-dimensional model of renal stones. **Results** The three-dimensional model of renal stone in children, including bones, renal substance, collective system, blood vessels, stones and adjacent organs, was established. And surgical instrument model and virtual operation were completed successfully. **Conclusion** The three-dimensional modeling of pediatric renal stone combining Mimics software and spiral CT data is both feasible and effective. It can delineate the internal structure of kidney and adjacent viscera. Individualized surgical procedures may be developed with virtual surgical techniques for better preoperative planning.

【Key words】 Kidney Calculi; Three-Dimensional Mode; Virtual Operation; Child

尿石症是小儿泌尿外科常见疾病,其中上尿路结石占总体发病人数的 76%,病因主要包括生理畸形、代谢异常及尿路感染等^[1]。传统治疗方法为开放手术,具有创伤大、手术时间长等缺点。由于代谢异常和尿路感染是其主要致病因素,小儿结石较成人更易复发,微创手术逐渐成为治疗小儿尿石症的主要术式。随着近年来腔镜技术的不断发展,经皮肾镜碎石、输尿管镜碎石和体外震波碎石已替代

开放取石术成为治疗小儿上尿路结石的主要方法。本研究采用 CT 扫描原始数据建立个体化三维模型,并采取虚拟仿真技术对微创经皮肾镜碎石术(mini-percutaneous nephrolithotomy, mPCNL)及输尿管软镜碎石术(flexible ureteroscopy lithotripsy, f-URL)进行模拟,旨在选择个体化手术方式并提高结石的清除率。

材料与方 法

一、研究对象

选取本院 9 例肾结石患儿(年龄 2~8 岁)为研

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.06.009

基金项目:湖南省卫生厅应用研究项目(编号:B2014-125)

作者单位:湖南省儿童医院泌尿外科(湖南省长沙市,410007)

通讯作者:赵天望,Email:yw508@sina.com

究对象,其中男童4例,女童5例;左肾结石4例,右肾结石3例,双肾结石2例,完善术前检查明确无手术禁忌症,协助本次研究所做检查均取得患儿家长的知情同意。

二、应用设备及软件

1. 检查设备:飞利浦64排螺旋CT。个人计算机:Microsoft Windows 8操作系统;英特尔第三代酷睿 i5-3337U 1.8GHz 双核;4GB DDR3 内存;Intel GMA HD4000 显卡;128GB SSD 固态硬盘。

2. 应用软件:医学影像软件 Mimics 17.0,机械画图软件 Solidworks 2013。

三、数据采集

患儿取仰卧位进行泌尿系CT扫描,无法配合者按体重50~100 mg/kg口服10%水合氯醛,分别获取平扫期、增强期及肾盂排泄期3个时相的原始数据,以DICOM格式储存。

四、建立个体化三维模型

将患儿泌尿系CT原始数据导入Mimics 17.0中,通过阈值分割、区域增长及人工修补提取各个层面中所需的二维图像(图1a),使用锯齿消除功能

处理所得图像边缘,利用Mimics 17.0新增的3D编辑功能对模型进行精细处理,获得各部分结构的三维模型。由平扫期图像中提取骨骼、结石数据,增强期图像提取肾实质、血管及毗邻脏器数据,肾盂排泄期图像提取集合系统数据。将以上各模型在软件3D窗口中组建并完成匹配(图1b、图1c、图1d)。

五、虚拟仿真手术操作

参考手术器械实体,使用机械画图软件Solidworks2013分别建立微创经皮肾镜碎石术(mPCNL, minimally invasive percutaneous nephrolithotomy)和输尿管软镜钬激光碎石术(f-URL, flexible ureteroscopy holimum larse lithotripsy)手术器械。将输尿管软镜模型导入Mimics17.0中,模拟术中软镜末端弯曲到达肾下盏结石位置(图1e)。再将mPCNL器械导入Mimics17.0中,模拟手术操作,避开肾内血管及毗邻脏器,选择合适的穿刺入路,进行穿刺及扩张操作,留置外鞘管,植入输尿管硬镜,到达结石位置(图1f)。

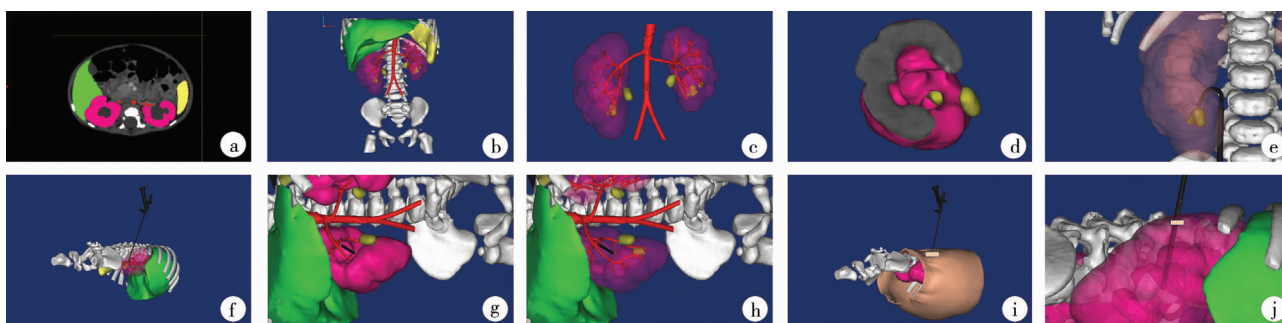


图1 肾结石患儿三维模型图。a:通过阈值增长、人工修补等功能在二维图像中提取所需区域;b:匹配、组装后的三维模型整体;c:单独显示结石、肾及血管模型;d:通过切面功能观察肾下盏结石及肾盏形态;e:模拟输尿管软镜手术操作;f:模拟微创经皮肾镜手术操作;g:从肾门方向显示穿刺盏;h:将肾实质透明化,显示肾实质内血管走行及肾下盏结石位置;i:显示皮肤模型并定位皮肤穿刺点;j:定位肾内穿刺点并测量其与皮肤穿刺点距离。

Fig.1 The three-dimensional images in children with kidney stones. a) Extracting desired zone from two-dimensional images through the function of threshold value growth and artificial repair; b) Whole three-dimensional model after assembling; c) Separately displaying stone, kidney and vascular model; d) Observing subrenal calyceal store and renal calices form through section function; e) Simulating flexible ureteroscopy operation; f) Simulating mPCNL operation showed puncture calyx from the direction of renal hilus; h) Hyalinize renal parenchyma to show the vascular course and stone location of lower calyx; i) Skin model and localizing puncture site; j) Localizing renal puncture site and measure the distance of skin puncture site.

结 果

本研究共建立了9例小儿肾结石三维模型,其中左肾结石4例,右肾结石3例,双肾结石2例。模型包括骨骼、肾实质、集合系统、血管、结石及毗邻脏器组织器官,通过旋转、透明化、隐藏/显示模型能直观立体地提供患儿病变部位及周围信息。

并参考实体手术器械建立三维模型,将两者结合后成功地模拟了mPCNL和f-URL手术操作。

讨 论

准确的影像学诊断以及精确的手术方案设计是治疗小儿尿路结石的必备要素。而CT扫描因其检查安全、快速及结果精准、全面等优点,对小儿上

尿路结石的诊断及手术方案设计有重要的参考价值。但 CT 扫描结果获得的仅是二维平面图像,无法对局部情况进行精准量化。近年来,随着计算机技术和数字化的发展,医学影像三维重建技术在临床上的应用逐渐增多。本研究通过 Mimics 软件结合 CT 影像资料建立包含有骨、结石、肾皮质、集合系统、毗邻脏器在内的三维模型,通过旋转、透明化、隐藏/显示模型等功能,能全面直观显示肾脏及肾周的解剖结构,并使用虚拟仿真手术,对两种微创手术方式进行模拟。

上世纪 80 年代,Woodside 等^[2]报道使用成人器械完成小儿经皮肾取石术。1993 年吴凯俊首次提出 mPCNL 概念,即将肾造瘘通道扩张至 F16~F18,使用输尿管硬镜取代肾镜,此方法具有损伤小、出血少及手术时间短等优点,后普遍应用于小儿肾结石。其中,精确地将穿刺针穿入肾盏被认为是 mPCNL 手术的难点^[3]。目前一般术中采取 C 臂透视下或超声定位,主要需避免血管、胸膜以及肾周脏器损伤,穿刺通道的选择直接影响着结石清除率以及手术并发症的发生率^[4]。而 CT 检查提供的结石位置、大小准确率可达 99%,并可显示 90.5%~95% 的肾内动脉^[5]。通过三维重建技术可将 CT 三个时相的二维图像融合成直观立体的三维模型,利用透明化功能提高肾实质的透明度(图 1g、图 1h),从而清晰显示肾内血管走行,同时可确定肝脏、脾脏以及第 12 肋与肾脏的位置关系,并且在三维模型上即可定位穿刺的目标盏。同时,也可建立皮肤三维模型,从而测量穿刺点的穿刺深度(图 1i、图 1j),完成手术入路的术前规划,最大程度上减少手术并发症的发生,提高结石清除率。

自 1964 年 Marshall 首次应用输尿管镜探查输尿管结石以后,输尿管镜技术取得了迅猛发展,不仅镜体由输尿管硬镜衍生出软镜,腔内碎石器材也从液电、超声和气压弹道逐渐演变为目前被欧洲泌尿外科学会认定为碎石能量首选的钬激光^[6]。输尿管软镜镜体末端具备弯曲功能,可探查和处理输尿管硬镜无法达到的肾盏结石。目前 UFR-V(Olympus europe, 德国)和 Flex-Xc(KARL STORZ europe, 德国)两款软镜末端曲度可分别达到 275°上/180°下及 270°上/下,但由于腔内器材具备一定硬度,限制了软镜末端有效曲度,导致部分肾盏结石无法碎除^[7-9]。此外,Geavlete 等^[10]研究发现,输尿管软镜碎石的成功率与肾盂肾下盏夹角以及肾下盏漏斗长度有关,在其夹角小于 30°时,碎石成功率

为 0%,夹角为 30°~90°时成功率为 74%,大于 90°时为 87.5%;而当肾下盏漏斗部长径大于 0.3 cm 时,碎石成功率为 61.1%,小于 0.3 cm 时成功率为 88.2%。通过建立小儿肾结石三维模型,可清晰地显示各肾盏的形态,并可使用软件自带的 Measure 工具对肾盂肾下盏夹角以及肾下盏漏斗部长径进行测量(表 1),对肾下盏结石的输尿管软镜碎石可行性进行评估,从而选择合理的手术方案。此外,利用机械画图软件建立输尿管软镜模型,并与肾结石模型进行匹配模拟碎石,以此测得输尿管软镜末端到达结石处需弯曲的角度,为手术提供参考。

表 1 结石大小、位置、肾盂肾下盏夹角及肾下盏漏斗长度
Table 1 Stone size, location, infundibulopelvic angle and infundibular length

N	结石最大径 (mm)	结石位置	肾盂肾下 盏夹角(°)	肾下盏漏斗 长度(mm)
1	18	肾盂、肾下盏	45	22
2	25	肾盂、肾下盏	43	27
3	27	肾盂	47	20
4	23	肾盂	41	25
5	19	肾下盏	28	33
6	16	肾下盏	35	25
7	15	肾下盏	32	30
8	18	肾下盏	48	31
9	16	肾下盏	40	28

综上所述,本研究首次基于 CT 建立个体化小儿肾结石三维模型,能真实、直观地提供手术所需信息,并可通过虚拟仿真技术预测及解决术中的难点。此外,还可通过 3D 打印技术,将以上虚拟模型转变为实体模型,既可在术前进行模拟操作,亦可应用于临床教学。就目前而言,数字化重建技术及虚拟仿真技术的临床应用仍处于初始阶段,随着人们对手术的精准性要求的不断提高,二者可望在临床上得到普遍应用。

参考文献

- 1 胡岚亭,史新华,汪清. 婴幼儿尿路结石 224 例临床分析[J]. 中华临床医师杂志(电子版),2010,4(10):2033-2036. DOI:10.3969/cma.j.issn.1674-0785.2010.10.066.
Hu LT, Shi XH, Wang Q. Clinical analyses of urolithiasis in infants and neonates: a report of 224 cases[J]. Chin J Clinicians (Electronic Edition), 2010, 4(10): 2033-2036. DOI: 10.3969/cma.j.issn.1674-0785.2010.10.066.
- 2 Woodside JR, Stevens GF, Stark GL, et al. Percutaneous stone removal in children[J]. J Urol, 1985, 134(6): 1166-

1167. DOI:10.1016/S0022-5347(17)47669-5.
- 3 Thiruchelvam N, Mostafid H, Ubhayakar G. Planning percutaneous nephrolithotomy using multidetector computed tomography urography, multiplanar reconstruction and three-dimensional reformatting [J]. BJU Int, 2005, 95 (9): 1280-1284. DOI:10.1111/j.1464-410X.2005.05841_3.x.
- 4 Watterson JD, Soon S, Jana K. Access related complications during percutaneous nephrolithotomy: urology versus radiology at a single academic institution [J]. J Urol, 2006, 176 (1): 142-145. DOI:10.1016/S0022-5347(06)00489-7.
- 5 Yamaguchi A, Skolarikos A, Buchholz NP, et al. Operating times and bleeding complications in percutaneous nephrolithotomy: a comparison of tract dilation methods in 5,537 patients in the Clinical Research Office of the Endourological Society Percutaneous Nephrolithotomy Global Study [J]. J Endourol, 2011, 25 (6): 933-939. DOI:10.1089/end.2010.0606.
- 6 Bultitude M, Smith D, Thomas K. Contemporary Management of Stone Disease: The New EAU Urolithiasis Guidelines for 2015 [J]. Eur Urol, 2016, 69 (3): 486-484. DOI:10.1016/j.eururo.2015.08.010.
- 7 Multescu R, Geavlete B, Geavlete P. A new era: performance and limitations of the latest models of flexible ureteroscopes [J]. Urology, 2013, 82 (6): 1236-1239. DOI:10.1016/j.urolgy.2013.07.022.
- 8 Bader MJ, Gratzke C, Walther S, et al. The PolyScope: a modular design, semidisposable flexible ureterorenoscope system [J]. J Endourol, 2010, 24 (7): 1061-1066. DOI:10.1089/end.2010.0077.
- 9 赵天望, 刘李, 涂磊, 等. 经输尿管软镜钬激光碎石术治疗儿童肾结石和输尿管上段结石 [J]. 临床小儿外科杂志, 2013, 12 (6): 435-438. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2013.06.002.
- Zhao YW, Liu L, Tu L, et al. Flexible ureteroscope holmium laser lithotripsy for the treatment of children with kidney stones and upper ureteral calculus [J]. J Clin Ped Sur, 2013, 12 (6): 435-438. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2013.06.002.
- 10 Geavlete P, Multescu R, Geavlete B. Influence of pyelocaliceal anatomy on the success of flexible ureteroscopic approach [J]. J Endourol, 2008, 22 (10): 2235-2239. DOI:10.1089/end.2008.9719.

(收稿日期: 2017-06-06)

本文引用格式: 何天衢, 赵天望, 彭潜龙, 等. 基于 CT 图像建立小儿肾结石三维模型及仿真手术研究 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17 (6): 438-441. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.06.009.

Citing this article as: He TQ, Zhao YW, Peng QL, et al. Construction of three-dimensional models for kidney calculi and virtual operations in children [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17 (6): 438-441. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.06.009.

·消息·

第一届发展中国家儿科论坛 暨湖南省小儿神经系统先天性畸形疾病诊治新进展研修班通知

为进一步推动全省基层医院医护人员对小儿中枢神经系统先天性畸形疾病的诊疗理论和手术操作水平, 湖南省儿童医院神经外科及临床小儿外科杂志社定于 2018 年 9 月 14 日至 9 月 18 日在湖南长沙举办“第一届湖南省小儿神经系统先天性畸形疾病诊治新进展研修班”[省级继续教育培训项目(2018-1-192)]。会议同期将主办“第一届发展中国家儿科论坛”, 邀请来自世界卫生组织(WHO)、联合国儿童基金会(UNICEF)、国际早产联盟等国际组织专家、亚洲和非洲卫生部长及官员、发展中国家儿科协作网代表、国内外知名儿科专家等, 围绕神经发育、出生缺陷等儿童健康问题展开国际国内交流, 共商儿童健康发展。与会代表可以免费参加此次国际学术盛会。欢迎广大外科医护同仁踊跃参加, 研修班结业授予省级继续医学教育 I 类学分 10 分。

本次研修班特邀国内外知名专家: 海南省妇幼保健院顾硕教授, 中南大学湘雅医院沈沉浮教授、刘景平教授, 苏州儿童医院王杭州教授以及英国利物浦儿童医院、洛杉矶儿童医院神经外科专家等。项目负责人: 湖南省儿童医院神经外科主任吴水华主任。欲参会者请于 2018 年 9 月 1 日前报名至湖南省儿童医院神经外科李卓处。联系电话: 13787256987 或 0731-85356211, Email: 119076878@qq.com。