

## 基于MRI和CT数据的女性泌尿系统三维建模

陈兰<sup>1</sup>, 陈春林<sup>1</sup>, 刘萍<sup>1</sup>, 陈瑞莹<sup>2</sup>, 李彩霞<sup>2</sup>, 唐连<sup>1</sup>, 廖科丹<sup>1</sup>, 姜文轩<sup>1</sup>, 梁诗琪<sup>1</sup>  
南方医科大学南方医院<sup>1</sup>妇产科, <sup>2</sup>影像科, 广东 广州 510515

**摘要:**目的 探索女性泌尿系统三维模型的构建方法及意义。方法 收集2018年于南方医科大学南方医院妇科就诊患者的MRI及CT影像数据,选取采用妇科常用扫描序列进行扫描的MRI及CT数据集各10套,利用Mimics19.0软件对不同数据集的女性泌尿系统进行三维重建,并联合工程学软件,探索对膀胱尿道可进行测量的指标。结果 10套MRI数据集均成功构建膀胱及尿道,而10套CT数据集成功构建双肾、输尿管及膀胱。联合工程学软件,诸多膀胱尿道相关的几何参数可被测量,本研究中膀胱尿道后角:151.1±17.9°、β角:137.3±14.0°、尿道耻骨角:47.8±12.1°、尿道倾斜角:21.5±7.3°、α角:83.8±13.8°、耻骨后间隙:15.3±3.0 mm、尿道横纹肌厚度:2.6±0.6 mm。结论 计算机三维重建技术能够直观再现人体泌尿系统三维解剖形态,提供女性泌尿系统精细解剖的三维研究的平台,通过多项径线和角度的测量,可为将来研究不同人群泌尿系统精细解剖及功能的差异提供技术基础。  
**关键词:**磁共振;CT血管造影;双肾;膀胱;尿道;三维;重建;几何参数

### Three-dimensional modeling of female urinary system based on MRI and CT data

CHEN Lan<sup>1</sup>, CHEN Chunlin<sup>1</sup>, LIU Ping<sup>1</sup>, CHEN Ruiying<sup>2</sup>, LI Caixia<sup>2</sup>, TANG Lian<sup>1</sup>, LIAO Kedan<sup>1</sup>, JIANG Wenxuan<sup>1</sup>, LIANG Shiqi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Obstetrics and Gynecology, <sup>2</sup>Department of Medical Imaging, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

**Abstract: Objective** To reconstruct a three-dimensional model of female urinary system based on magnetic resonance imaging (MRI) and tomography angiography (CTA) data. **Methods** MRI and CTA datasets were collected from 20 patients in our department in 2018 for reconstructing 3D models of the bladder urethra in resting state using Mimics19.0 software combined with engineering software. The metric parameters of the bladder urethra were analyzed in the reconstructed 3D model. **Results** The bladder and urethra were successfully reconstructed using 10 MRI datasets, and the kidney, ureter and bladder were reconstructed using 10 CTA datasets. Using engineering software, we measured a number of cysto-urethral geometric parameters, including the cysto-urethral posterior angle (151.1±17.9°), beta angle (137.3±14.0°), urethral pubic angle (47.8±12.1°), urethral tilt angle (21.5±7.3°), alpha angle (83.8±13.8°), the posterior pubic space (15.3±3.0 mm), and the urethral striated muscle thickness (2.6±0.6 mm). **Conclusion** Three-dimensional reconstruction of the anatomical model of the human urinary system provides a platform for studying the fine anatomy of the female urinary system and allows measurement of multiple parameters to better understand the functional differences of the bladder and urethra in different populations.

**Keywords:** magnetic resonance; computed tomography; kidney; bladder; urethra; three-dimensional reconstruction; anatomy; geometric parameters

中国的压力性尿失禁患者占比达到18.9%<sup>[1]</sup>,而其发生的主要原因是膀胱尿道的空间解剖位置和形态发生了变化,影响膀胱尿道的功能进而诱发尿失禁。了解膀胱尿道正常的解剖形态,尤其是女性静息状态下膀胱尿道的空间位置及其与周围结构之间关系则显得十分重要。由于膀胱尿道解剖位置较深,尤其是膀胱与尿道交接的位置,尸体解剖困难,未必能够充分暴露,即使勉强暴露,由于盆腔的不规则形态,很多关键的解剖几何参数也无法精确测量。而现在广为应用的现代影像学,如

超声、CT以及MRI等,其所获得的图像均为二维图像,虽然在识别膀胱尿道上面难度不大,但是二维图像空间表现力欠佳,无法直观的展示泌尿系统的解剖特点。

影像学技术能够满足数字化三维重建需求,凭借其最大的优势如个体化、来源广泛、数据量大、可重复利用等,与数字化三维重建技术相结合,不仅可以重构泌尿系器官本身,还可同时建立周围组织结构的三维模型,比如骨盆、子宫、阴道等。利用这些组织器官的三维模型,联合工程学测量软件,不仅可以获取个体化精细解剖学参数,还可通过3D打印技术获得三维实体模型,从而更多用于临床<sup>[2-4]</sup>。有学者很早提出“数字肾”的概念<sup>[5-6]</sup>,认为虚拟的三维模型可以在患者教育、医患交流、临床教学、解剖研究及手术设计导航等诸多方面广泛应用。国内方驰华等<sup>[7-9]</sup>学者利用该技术将三维模型导入虚拟手术系统,利用仿真手术器械进行腹腔镜胆囊结石、半肝切除,活体移植等仿真手术,提高手术成功率的同时还降低了手术风险。国外学者将三维重建模型与3D打

收稿日期:2019-06-30

基金项目:国家自然科学基金(81370736,81571422);广东省教育厅高水平大学建设经费南方医科大学临床研究启动项目(LC2016ZD019);南方医科大学南方医院高层次匹配课题(2013020)

Supported by National Natural Science Foundation of China (81370736, 81571422).

作者简介:陈兰,博士,住院医师,E-mail: littlecuteyoyo@126.com

通信作者:刘萍,博士,主任医师,E-mail: lpivy@126.com

印技术相联合,应用于泌尿系肿瘤手术术前与患者病情沟通,术中辅助机器人肾切除手术等方面<sup>[10-13]</sup>。但是国内外均缺乏关于泌尿系的三维精细解剖的研究,本研究拟通过无盆底功能障碍的女性患者的MRI及CT影像数据,构建泌尿系数字化三维模型,并探索在工科软件的协助下,分析膀胱尿道形态的测量参数,也为将来研究不同人群泌尿系统精细解剖的变化以及泌尿系手术设计与导航提供技术支撑。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

在2018年于南方医科大学南方医院妇科就诊的患者中选取患者的MRI及CT影像数据集各10套,挑选数据集满足以下条件:(1)扫描图像满足重建和分析需要;(2)该患者检查前无明显盆底功能障碍表现;(3)检查前已签署相关知情同意书,并且同意我们使用其影像数据集;患者年龄(22.4±1.8)岁,BMI(20.5±1.1)kg/m<sup>2</sup>。

### 1.2 盆腔MRI及CT扫描前准备

扫描前嘱患者取下身上所有金属物品,穿检查服,签署相关检查知情同意书。嘱患者先排空膀胱,扫描前30 min 饮水1杯,未予其他特殊处理。扫描过程中,检查者取仰卧位,正中矢状面与床面垂直,双手抱头,双腿并拢伸直。

### 1.3 盆腔MRI扫描及数据保存

扫描机器:美国GE公司生产的Signa Excite 超导型3.0T全身磁共振扫描仪。

扫描序列:T<sub>2</sub>加权成像(T<sub>2</sub>WI不压脂序列)+快速自旋回波序列(FSE T<sub>2</sub>WI)。

扫描范围:上至第五腰椎水平,下至会阴下1.0 cm。

扫描参数:参照刘萍等<sup>[5]</sup>研究中对于盆腔软组织成像的最佳扫描序列和参数进行扫描,具体如下:TR/TE 3000/102 ms,激励次数为3,翻转角180°,FOV 260 mm×260 mm,矩阵512×512,层厚3.0 mm,层间距0 mm,体素大小0.5 mm×0.5 mm×2.0 mm。

所有图像采集均由南方医科大学南方医院医学影

像中心经过统一培训的技师操作完成。全部二维影像数据资料均以DICOM 3.0格式导出并刻碟保存。

### 1.4 腹盆腔CTA扫描及数据保存

扫描机器:德国西门子公司64层双源CT机(SOMATOM Definition),双筒高压注射器注射非离子型碘对比剂优维显(370 mgI/mL,先灵)。

扫描条件:管电压120 kV,管电流320 mA,层厚5 mm。

扫描范围:从第12胸椎上缘至股骨上段。

扫描方法:先行常规平扫期扫描,再应用对比剂示踪法,选择感兴趣区(ROI)动态监测CT值,设定当ROI内CT值达到120 Hu时自动触发动脉期扫描,此后延迟30~40 s 促发静脉期扫描,此后再延迟120 s 促发延迟期扫描(泌尿期)。将各期图像插值处理至层厚为1.0 mm,并存储备份。

### 1.5 女性MRI数据集膀胱尿道三维模型的构建

1.5.1 数据导入与处理 将薄层扫描所获取的Dicom3.0原始二维图像直接导入计算机三维重建软件Mimics19.0(Materialise)中,软件可自动对图像进行组织定位,自动生成矢状面、冠状面及横断面三类视图,并根据信号强弱对各个体素插入灰度值。本研究选取横断面图像进行图像分割和重建。

1.5.2 膀胱尿道的识别和分割 将二维图像导入Mimics软件后,选择横断面视图,因膀胱尿道内含有尿液,尿液在T<sub>2</sub>加权图像上呈现高亮信号(图1),与周围组织分界清楚故可选择阈值分割法,通过区域增长的功能,可将膀胱尿道与周围组织不连续的区域全部删除,快速分割膀胱尿道。

1.5.3 数字化三维模型的构建 利用蒙罩三维计算功能依次将膀胱尿道的二维蒙版计算成对应的数字化三维模型。随后通过光滑处理工具消除模型的锯齿,优化模型,使其更逼近真实。

1.5.4 三维模型保存和导出 三维模型可以直接保存为软件默认格式,下次可直接打开应用,可利用软件自带测量工具进行分析,可随时调用,可重复使用。除此,也

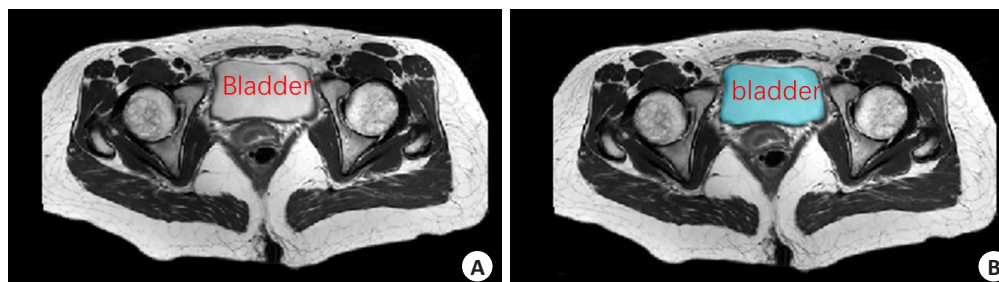


图1 MRI二维横断面图像(三角代表膀胱)

Fig.1 Two-dimensional MRI cross-section image. A and B are cross-section MRI images of the same patient, the high signal area represents the bladder, and the blue area represent the mask of bladder.



可以图片、动画、工程学通用文件等格式导出。这些通用的三维文件格式,如IGES、DXF、MGX、VRML等可导入其他工程学软件中进行进一步处理、设计和分析。

### 1.6 女性CTA数据集泌尿系统三维模型的构建

1.6.1 数据导入与处理 数据导入方法与MRI数据集泌尿系统重建方法一致。

1.6.2 泌尿系统的识别与分割 与盆腔MRI数据集不同,腹盆腔CTA数据集扫描范围更大,可显示双肾及输

尿管。因采用的扫描方法为对比剂示踪法,根据前期研究中探索出来的扫描促发阈值和扫描延迟时间,可依次获取平扫期、动脉期、静脉期和泌尿期数据集。泌尿期是指注射进人体的造影剂跟随血液循环经过一定代谢时间后,进入泌尿系统,可使该期泌尿系统显示为容易识别的高亮信号(图2)。根据该特点,选用特定阈值,可快速分割和识别泌尿系统。

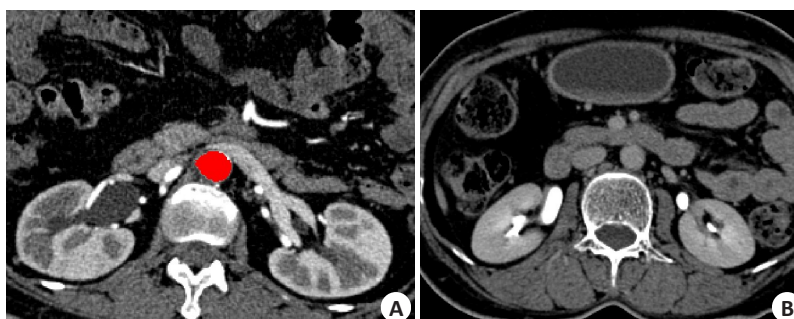


图2 CTA 动脉期和泌尿期肾脏二维横断面图像  
Fig.2 Cross-sectional 2D images of the kidney in arterial and urinary phase. A: Arterial phase image showing low signal in renal pelivcalyceal region and high signal in renal parenchyma; B: Urinary phase image showing high signal in the renal pelivcalyceal.

1.6.3 数字化三维模型的构建 三维重建的计算方式与MRI数据一样,当完成二维图像的分割后,则可利用计算机自带的三维计算功能构建出立体的三维模型。

1.6.4 三维模型保存和导出 此处与MRI数据构建的三维模型的保存和导出一致。

### 1.7 女性泌尿系统相关参数的测量

软件自带二、三维测量工具,可对双肾、膀胱、尿道及输尿管等三维模型直接进行几何形态分析,联合其他工程学软件,基于三维模型可测量更多空间参数(图3)。

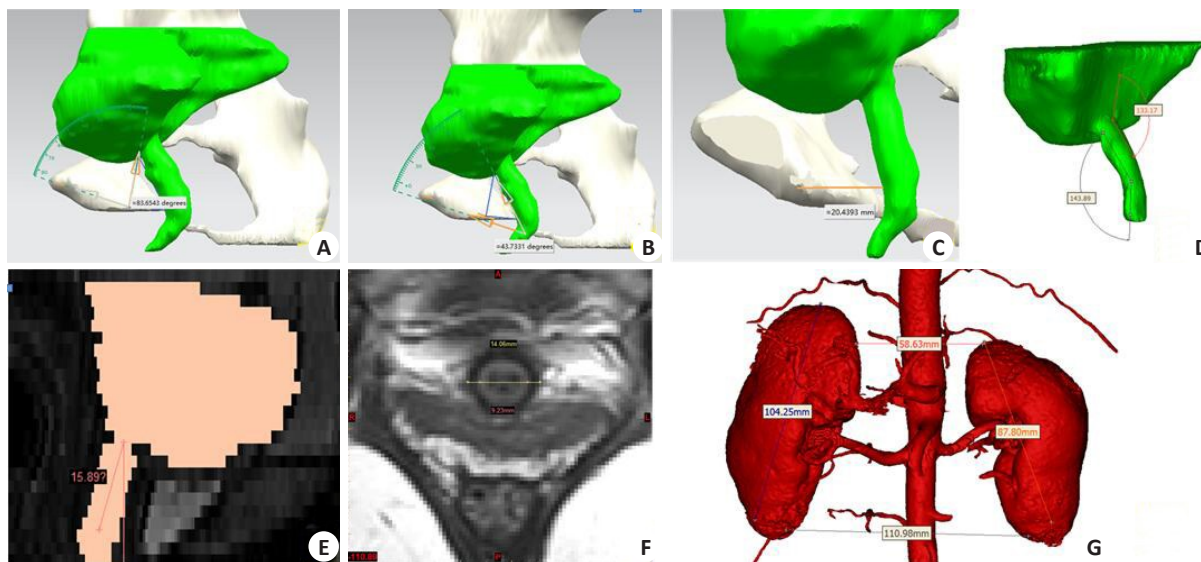


图3 基于MRI和CT数据集构建泌尿系统模型与相关参数测量示意图  
Fig.3 3D models and measurements of urinary system based on MRI and CT datasets. A:  $\alpha$  angle; B: Urethral pubic angle; C: Retropubic space; D: Posterior bladder and urethra; E: Urethral tilt angle; F: Urethral striated muscle thickness; G: The length and width of the kidney.

## 2 结果

### 2.1 成功构建基于MRI数据集的膀胱尿道三维模型

选取的10套二维MRI影像数据集,均可成功构建膀胱尿道的数字化三维模型(图4A~J)。模型形态逼真、立体直观、可不同方位进行旋转观察,不仅可进行测

量,还可进行选择性切割划分,并以多种形式导出,如图片、动画、STL、DXF、IGES等等。不同的格式文件可再次导入不同的后处理软件行进一步美化、分析,设计和测量,如UG、CAD、3D-MAX等软件。

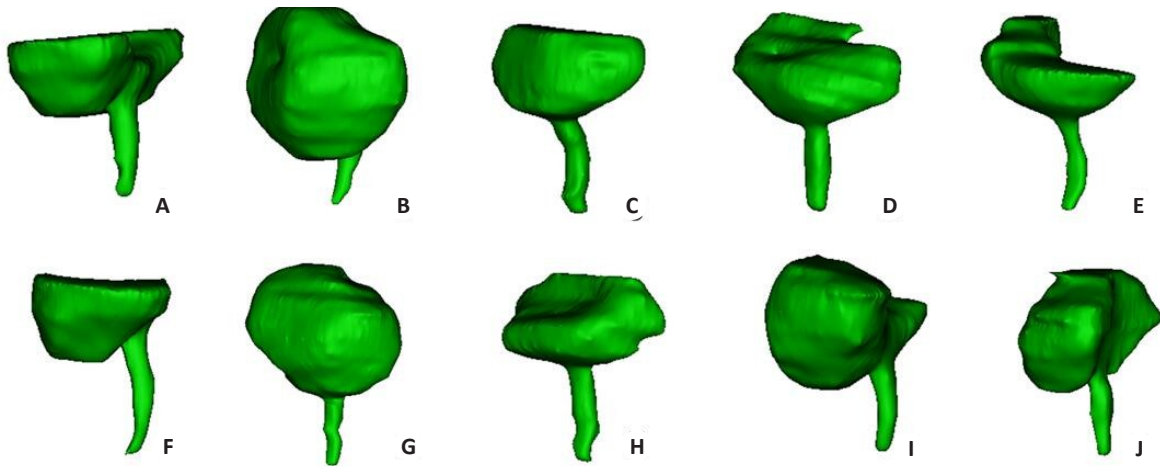


图4 基于MRI数据集构建的膀胱尿道三维模型

Fig.4 Three-dimensional model of the bladder and urethra based on MRI dataset. A-J: Represent the 3D models of 10 patients' bladder and urethra.

### 2.2 成功构建基于CTA数据集的泌尿系统三维模型

与MRI数据重建方法有所不同,CTA数据集因为采用对比剂示踪扫描方法,在动脉期时,造影剂随血液循环到达肾实质等脏器,可见双肾实质呈高亮信号,显示清晰,根据动脉其数据可构建双肾实质,如图5A所示。当时间进一步延迟,在延迟期再次进行扫描,造影剂大部分已经代谢至肾的集合系统,准备随尿液排出体外。此期数据,肾盂肾盏、输尿管及膀胱呈现高亮显影,经过阈值分割法可快速分割和重建。因每个患者血流流速差异及对造影剂代谢速度的差异,在动脉期扫描

后延迟相同的时间进入泌尿期扫描,因泌尿系统中分布的造影剂量的差异,可导致重建的泌尿系统三维模型形态存在部分差异(图5B~F)。通过重建软件的自带透明化功能,透过肾皮质可以清晰的看到肾实质、肾盂肾盏的形态,有无肾积水、囊肿等病理表现等,除外三维立体化的显示,可以清晰的观察双肾形态、大小有无异常,双肾的相对位置高低等均可直观体现(图6)。

基于MRI数据重建膀胱尿道三维模型的测量值:利用重建软件可完成上述膀胱尿道相关精细解剖参数的测量,经过描述性统计分析,获得该10例患者膀胱尿

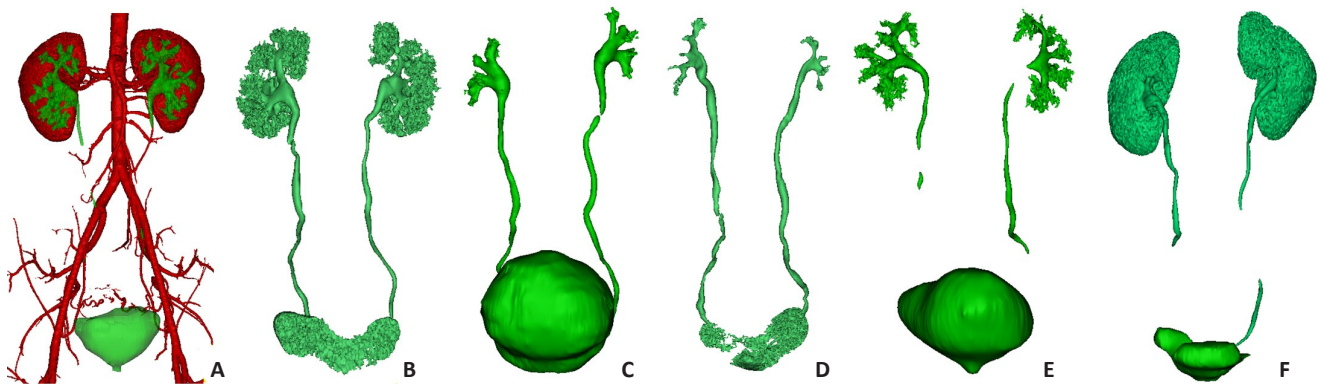


图5 基于CTA数据集构建的女性泌尿系统三维模型

Fig.5 Three-dimensional model of female urinary system based on CTA dataset. A: Holistic view of three-dimensional model of urinary system and blood vessels; B-F: Represents the 3D models of urinary system of 5 different patients.



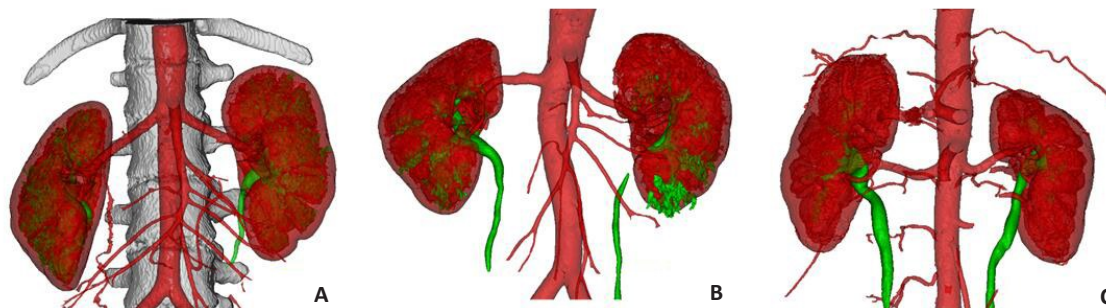


图6 基于CTA数据集构建的双肾半透明模型(含肾实质、肾盂肾盏以及输尿管近端)

Fig.6 A translucent bilateral kidney model based on the CTA dataset including the renal parenchyma, renal pelvicalyceal, and proximal ureter. A: Right renal is higher than left one; B: Right renal is almost the same level with left one; C: The right one is lower than the left one.

道上述精细解剖参数极大极小值以及平均值,分别为膀胱尿道后角:  $151.1 \pm 17.9^\circ$ 、 $\beta$ 角:  $137.3 \pm 14.0^\circ$ 、尿道耻骨角:  $47.8 \pm 12.1^\circ$ 、尿道倾斜角:  $21.5 \pm 7.3^\circ$ 、 $\alpha$ 角:  $83.8 \pm 13.8^\circ$ 、耻骨后间隙:  $15.3 \pm 3.0$  mm、尿道横纹肌厚度:  $2.6 \pm 0.6$  mm。

### 3 讨论

#### 3.1 泌尿系三维模型重建的方法及意义

泌尿系统主要位于腹膜后及盆腔,其包含双侧肾脏、输尿管、膀胱及尿道等众多器官,解剖结构复杂,病变范围广,准确掌握泌尿系统解剖结构的共性与个性特征对临床至关重要。解剖学是所有临床医学的基础,泌尿系统的解剖,尤其是与盆底疾病相关的精细解剖一直学者们研究的热点。而传统尸体解剖在暴露精细结构及解剖参数测量方面存在一定的局限性,且尸源紧张,尸体解剖特点无法代表患者个体化解剖等问题。2002年我国开始通过超薄层洗切技术,制作新鲜尸体标本的高清数字人切片数据集<sup>[14-15]</sup>,部分学者则进一步通过数字人数据构建女性膀胱尿道的三维模型<sup>[16-18]</sup>。三维模型是研究解剖的一种有效方法,但数字人数据集制作需耗费大量人力物力,无法实现大样本制作,无法代表一个人群的平均水平,无法进行广泛推广和应用。随着影像技术的发展,CT及MRI被广泛应用,CT的显示优势为骨盆及血管等结构,而尿道成像效果并不佳。MRI在盆腔脏器、盆底肌肉等软组织结构上分辨率高,对于膀胱的成像,无需应用造影剂, $T_2$ 加权像上表现为高信号,因为尿液本身就是最好的成像介质。MRU成像序列为泌尿系成像的专用序列,但也是因为该序列仅仅显示膀胱尿道,而对盆腔其他组织基本不显影,导致其应用受限<sup>[19-21]</sup>。本研究对MRI和CT影像数据分别进行了泌尿系的三维重建,探索了不同数据源重建泌尿系的优势和缺陷,联合两种数据源,我们可以构建较为完整精细的泌尿系三维模型。本团队自2006年开始数字医学在

妇产科中的应用研究,对于盆腔结构的数字三维重建已经积累的一定的经验,其稳定性和可重复性在既往的研究中也已经证实<sup>[22-23]</sup>。利用CT数据集完成骨盆三维模型的重建<sup>[24-25]</sup>,利用骨盆三维模型研究了少数民族女性与汉族女性骨盆形态的差异<sup>[26-27]</sup>。2012年陈春林等<sup>[28]</sup>构建了宫颈癌动脉血管网,并应用于宫颈癌术前动脉化疗的个性化指导。近几年来,数字化三维重建技术在泌尿系多种疾病的研究中获得广泛关注,由于数字化三维模型仿真程度极高,且对目标空间位置和毗邻关系呈现的十分清晰而直观。利用构建的个体化数字虚拟三维模型,甚至通过3D打印技术可以获取患者的个体化实体模型,可以很好的充当医患沟通的媒介,让患者及其家属直观了解病患的病情,改善医患沟通的现状。

#### 3.2 泌尿系三维精细测量的方法以及意义

数字化的三维重建模型不仅可以反映患者个体化的泌尿系统生理及病理情况下解剖学形态,明确疾病诊断,还可通过工程学软件对重建的解剖结构进行数据测量,为泌尿系手术方案的设计提供思路和依据。目前,本研究主要的测量方法是利用重建软件自带的测量模块,可测量脏器的大小及其与周围脏器的空间位置,如双肾的大小,肾上下极距离腹主动脉壁的距离,通过将标准格式的STL的三维文件导入其他工程学软件中,可以测量不规则脏器的表面积、体积、曲线长度等指标,如双肾的表面积、体积、双侧输尿管的长度、膀胱的容积等,可为教学及医学研究提供精确的三维模型,为将来临床的实际应用提供参考依据;通过不同颜色的赋予和透明层次的区分,可生动展现患者生理状态下的解剖结构,也为医学教学及临床技能操作提供可重复利用的个体化模拟操作训练环境,熟悉相关解剖结构,提升操作技巧。目前数字化三维重建技术在泌尿科应用最多的是辅助泌尿系结石的诊断和治疗,通过在三维模型上模拟经皮肾镜取石术经皮穿刺、扩张及碎石的过程,充分证实了肾结石三维模型进行虚拟手术的有效性和可行

性,也为数字化三维测量和虚拟手术的进一步研究提供了理论依据<sup>[29-31]</sup>。而盆底泌尿学专科是融合了妇科盆底学和泌尿学两个亚专科知识的一个学科,不仅仅需要了解双肾、输尿管、膀胱等的大体解剖形态研究,且需要更为精细的解剖参数的测量,如膀胱尿道之间的各种角度、尿道横纹肌的厚度等,这些解剖参数的精细变化可以间接评估尿道的活动性以及尿道括约肌的功能。本研究主要是针对无盆底功能障碍的年轻女性患者,目的是为获取正常青年女性生理状态下的泌尿系相关参数值,为将来盆底功能异常患者的研究提供参考基础。本研究更主要的是为提出一种学习泌尿系解剖与功能之间的关系的较好方法。

数字化泌尿系三维模型可以包含众多丰富的解剖信息,而这些含有大量数据信息的数字化三维模型,借助于人工智能、虚拟现实技术,将必定促进临床手术向精准化、个体化、微创化和智能化的方向发展。

#### 参考文献:

- [1] Zhu L, Lang JH, Liu CY, et al. The epidemiological study of women with urinary incontinence and risk factors for stress urinary incontinence in China[J]. *Menopause*, 2009, 16(4): 831-6.
- [2] Lidén M, Thunberg P, Broxvall M, et al. Two- and three-dimensional CT measurements of urinary calculi length and width: a comparative study[J]. *Acta Radiol*, 2015, 56(4): 487-92.
- [3] Teishima J, Takayama Y, Iwaguro S, et al. Usefulness of personalized three-dimensional printed model on the satisfaction of preoperative education for patients undergoing robot-assisted partial nephrectomy and their families. *Int Urol Nephrol*, 2018, 50(6): 1061-6.
- [4] Sun SK, Chen GF, Zhang X, et al. Digital kidney for planning in laparoscopic partial nephrectomy[J]. 2012 International Symposium on Information Technologies in Medicine and Education, 2012, 2: 772-4.
- [5] 孙圣坤,王威,徐阿祥,等. 数字化肾脏在腹腔镜肾部分切除术前规划中的应用[J]. *中国数字医学*, 2012, 7(10): 51-3.
- [6] 孙圣坤,王威,陈光富,等. 数字肾及其应用展望[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2018, 7(4): 217-20.
- [7] 方驰华,吴东波,鲍苏苏,等. 腹腔镜手术的虚拟仿真研究[J]. *中国内镜杂志*, 2009, 15(4): 337-40.
- [8] 方驰华,唐云强,鲁朝敏,等. 胆囊切开取石和胆囊切除术的可视化研究[J]. *南方医科大学学报*, 2008, 28(3): 356-9.
- [9] 黎程,方驰华,李晓峰,等. 活体肾移植数字化可视化仿真研究[J]. *南方医科大学学报*, 2011, 31(6): 983-6.
- [10] Bernhard JC, Isotani S, Matsugasumi T, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World J Urol*, 2016, 34(3): 337-45.
- [11] Lee H, Nguyen NH, Hwang SI, et al. Personalized 3D kidney model produced by rapid prototyping method and its usefulness in clinical applications[J]. *Int Braz J Urol*, 2018, 44(5): 952-7.
- [12] Schmit C, Matsumoto J, Yost K, et al. Impact of a 3D printed model on patients' understanding of renal cryoablation: a prospective pilot study. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(1): 304-9.
- [13] Michiels C, Jambon E, Bernhard JC. Measurement of the accuracy of 3D-printed medical models to be used for robot-assisted partial nephrectomy[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2019, 213(3): 626-31.
- [14] 张绍祥,王平安,刘正津,等. 首套中国男、女数字化可视人体结构数据的可视化研究[J]. *第三军医大学学报*, 2003, 25(7): 563-5.
- [15] 钟世镇,原林,唐雷,等. 数字化虚拟中国人女性一号(VCH-F1)实验数据集研究报告[J]. *第一军医大学学报*, 2003, 23(3): 196-200, 209.
- [16] 单锦露,张绍祥,刘正津,等. 中国可视人体数据子宫及附件薄层断层解剖学观测[J]. *第三军医大学学报*, 2004, 26(5): 396-8.
- [17] 单锦露,张绍祥,刘正津,等. 中国数字化可视女性盆腔的计算机三维重建[J]. *解剖学杂志*, 2005, 28(3): 337-9.
- [18] 陶百东. 浅析常规磁共振成像结合磁共振泌尿系水成像对膀胱癌及其分期的诊断价值[J]. *中国农村卫生*, 2017(10): 78.
- [19] 董悦. 神经源性膀胱的MRI和MRU诊断方法研究[J]. *国外电子测量技术*, 2016, 35(7): 60-2, 84.
- [20] 吕访贤. MRU水成像消除肠道液体影的探讨[J]. *当代医学*, 2010, 16(2): 88-9.
- [21] 唐雷,陈兰,刘萍,等. 活体女性腹盆腔大动脉径线的测量方法[J]. *广东医学*, 2013, 34(23): 3569-72.
- [22] 陈春林,陈兰,唐雷,等. 腹盆腔血管数字化三维模型指导血管介入插管方式选择研究[J]. *介入放射学杂志*, 2015, 24(3): 252-6.
- [23] 陈兰,陈春林,刘萍,等. 女性初次经阴分娩后远期膀胱尿道及阴道三维解剖的变化[J]. *现代妇产科进展*, 2018, 27(8): 571-4.
- [24] 刘萍,廖科丹,陈春林,等. 基于MRI与CT骨盆三维重建与测量的对比研究[J]. *实用妇产科杂志*, 2015, 31(6): 439-44.
- [25] 刘萍,王月祉,陈春林,等. 中国南方地区女性骨盆分型及临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2016, 34(6): 635-8, 642.
- [26] 柯妍,陈春林,余艳红,等. 新疆地区维吾尔族与汉族女性骨盆产科生理常数测量及其临床意义[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2013, 29(4): 265-9.
- [27] 柯妍,陈春林,余艳红,等. 新疆维吾尔族和汉族女性骶骨数字化三维重建的对比分析[J]. *南方医科大学学报*, 2013, 33(4): 511-5.
- [28] 陈春林,段慧,刘萍,等. 基于CT血管成像在体宫颈动脉血管网数字化三维模型的构建及意义[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2012, 28(1): 23-6.
- [29] 冯凌松,罗幼青,李健. 彩超引导定位联合CT三维重建在经皮肾取石术中应用研究[J]. *国际泌尿系统杂志*, 2017, 37(3): 364-8.
- [30] 武利兵,李筱贺,李志军. 泌尿系统结石数字化三维重建及测量的研究进展[J]. *中国医药导报*, 2019, 16(7): 45-8, 52.
- [31] 杨龙雨禾,王跃强,邱学德,等. 人工智能在泌尿外科影像学诊断的现状与展望[J]. *分子影像学杂志*, 2020, 43(2): 225-9.

(编辑:吴锦雅)