

文章编号：1007-1989(2015)09-0966-05

·综述·

# 虚拟现实技术在泌尿外科内镜诊疗中的应用现状

张旭辉 张彬 综述 王东文 审校

(山西医科大学第一医院 泌尿外科 山西 太原 030001)

**摘要：**近年来，虚拟现实(VR)技术正逐步成为推动外科诊疗技术创新发展的强大动力之一，尤其在泌尿外科内镜诊疗方面更为突出。通过对个体目标器官及病灶 CT、MRI 等二维断层信息进行逆向重建，再现目标对象个体特征的虚拟技术，为外科诊疗活动、基础与应用研究、教学与继续教育等提供了全新的技术支持，应用前景广阔。

**关键词：**虚拟现实 泌尿外科 内镜检查

**中图分类号：**R699.1

**文献标识码：**A

## Virtual reality: application status of diagnosis and treatment in urology endoscopy

Xu-hui ZHANG, Bin ZHANG reviewer, Dong-wen WANG, reviser

(Department of Urology, the First Hospital of Shanxi Medical University,  
Taiyuan, Shanxi 030001, P.R. China)

**Abstract:** In recent years, virtual reality is gradually becoming a strong impetus to promote the innovative development of surgical diagnosis and treatment technology innovation, especially in urology endoscopy. By reversely reconstructing CT or MRI images of individual target organs and lesions, individual characteristics of the target object are reconstructed for surgical diagnosis and treatment activities, basic and applied research, teaching and continuing education. So it will have a wide application in the future.

**Key words:** virtual reality; urology; endoscopy

虚拟现实(virtual reality, VR)技术近年来发展迅速，在与医学领域的融合中逐步显示出其巨大的发展潜力和实用前景，为外科手术的临床诊疗活动、基础与应用研究、教学与继续教育等提供了全新的技术支持。随着“精准外科”理念的普及与“微创外科”技术的推广，虚拟现实技术成为推动外科诊疗技术创新发展的强大动力之一，尤其在泌尿外科的内镜诊疗方面，这一点表现得更为突出。本文就多年来泌尿外科内镜诊疗中虚拟现实技术的应用作一介绍。

### 1 虚拟现实技术

#### 1.1 概述

虚拟现实技术又称虚拟实境或灵境技术，原由

美国军方开发研究，至 20 世纪 80 年代末逐渐为各界所关注<sup>[1]</sup>。它利用计算机产生出一个逼真的虚拟三维空间，提供给使用者关于视、听甚至触觉等感官的模拟体验。与传统模拟技术相比，该技术的主要特征是：用户进入到一个由计算机生成的三维虚拟环境中，并与之交互<sup>[2]</sup>。通过这种感官体验与交互，用户能够全方位地获取现实中物体的各种空间信息和逻辑信息。

#### 1.2 分类

虽然目前仍处于 VR 技术应用的初级阶段，但它已在生物医学领域尤其外科诊疗方面产生了重大的影响。在当前外科诊疗活动中，VR 技术的应用表现为虚拟人体，如数字人等<sup>[3]</sup>，与虚拟手术方向，前者

着重于展示精细人体结构的形态与毗邻关系<sup>[4-5]</sup>,后者侧重于实现虚拟环境下手术相关的交互操作<sup>[6]</sup>。

而当前的 VR 技术也呈现出多样化的发展态势,该技术的载体——VR 系统大致有以下几类<sup>[2]</sup>。

桌面式 VR 系统:其特征是以计算机的屏幕作为观察虚拟世界的窗口,通过其他输入设备如鼠标、追踪球、力矩球等实现交互操作。它是当前泌尿内镜乃至其他医疗学科应用与研究采用的主要方式,如各种仿真内镜、数字人及个体化数字模型的呈现及相关交互应用等。

增强式 VR 系统:将虚拟环境和真实场景叠加显示,即虚拟环境或物体的一部分由真实环境或物体构成,从而既能获得从感官无法直接得到的深层信息,又可对真实物体进行操作而加强对现实世界的认知,如个体化数字模型在手术定位、导引等中的应用。分布式 VR 系统:即把位于现实中不同位置的多个用户,通过网络接入同一虚拟环境中,以达到可以协同工作等目的,如远程手术或远程会诊的应用等。

沉浸式 VR 系统:利用头盔式显示器、投影仪等设备,以高度的沉浸感和实时性将用户完全封闭、沉浸式进入虚拟环境中。

1.3 VR 技术在泌尿外科内镜诊疗中的应用形式

生成可视且具有交互性的虚拟环境或物体,是 VR 技术的核心内容,因为只有达到对研究对象真实、有效地反映,该技术的应用才有意义。在泌尿外科内镜诊疗中,VR 技术的应用逐渐形成了两种表现形式:仿真内镜和个体化数字模型。两者皆是根据个体结构的 CT、MRI 等二维断层信息进行目标器官及病灶的逆向重建,准确、精细地反映研究对象的个体特征,提供用传统手段无法获得的解剖结构信息,并为进一步模拟操作提供平台<sup>[7-8]</sup>,因而在临床诊疗活动中极具实用性,近些年来受到了广泛的关注。

2 VR 技术在泌尿外科内镜诊疗中的应用——仿真内镜

仿真内镜,又称虚拟内镜(virtual endoscopy, VE),它系一种通过 CT、MRI 等设备采集人体数据,在计算机中重建出空腔脏器的腔内黏膜及腔外部分临近结构的方法。它不仅模拟了传统光学内镜,如肾镜及输尿管镜、膀胱镜、尿道镜等的视像内容,侧重从腔内视角进行空腔脏器黏膜及与周围解剖结构关系的模拟观察,而且能展示出传统内镜所无法探及

的部分腔内及腔外区域,成为大多数患者能够耐受的非创伤性检查<sup>[9]</sup>,是临床、科研与教学有益的辅助工具<sup>[10]</sup>,因而始终吸引着各方学者的关注。

2.1 仿真肾镜、输尿管镜

仿真肾镜、输尿管镜又称虚拟肾镜、输尿管镜,是模拟光学输尿管镜或肾镜视像的仿真内镜。1999 年,TAKEBAYASHI 等<sup>[11]</sup>首次报道了基于 CT 仿真肾镜、输尿管镜对于诊断肾盂、输尿管肿瘤的有效性,认为它能清晰地显示输尿管狭窄部位及远、近端以及肾盂内的情况,同时也指出该仿真内镜存在一定的不足之处,如无法很好地表现肿瘤的质地及对周围组织、器官的浸润程度等<sup>[12]</sup>。LIATSIKOS 等<sup>[13]</sup>通过对肾盂肾盏的三维重建,良好地显示了肾盂肾盏的先天的畸形情况。另一方面,NERI 等<sup>[14]</sup>则研究了基于 MRI 进行仿真内镜观察的可行性,在对 26 例输尿管狭窄患者观察后发现,当输尿管直径 >5 mm 时,从肾盂输尿管交界处到输尿管狭窄部位的尿路情况都可以得到很好的显示。由于 MRI 仿真内镜的优点在于不需要注射造影剂且没有 X 射线辐射,因而受到了更多的关注。

与传统光学内镜相较而言,仿真肾镜、输尿管镜是几近无创的检查,而且没有传统光学内镜所无法避免的出血、感染、穿孔等并发症以及麻醉所带来的风险,具有很好的应用前景。然而由于上尿路的腔内结构显示困难,因而相对虚拟膀胱镜的研究来说,有关上尿路仿真内镜的报道较少。

2.2 仿真膀胱镜

又称虚拟膀胱镜,是模拟光学膀胱镜视像的仿真内镜。与上尿路光学内镜一样,由于光学膀胱镜系有创检查,且存在尿路感染、出血甚至穿孔等并发症及患者的不适与焦虑感等<sup>[15]</sup>缺点,因而具有既无创又能确定病灶大小、位置,还有助于肿瘤分级分期优势的虚拟膀胱镜,大有成为光学膀胱镜的有效替代方式。1996 年,VINING 等<sup>[16]</sup>向膀胱内注入二氧化碳(对比剂)后行盆腔 CT 扫描,从而首次重建出虚拟膀胱镜图像,同年 NARUMI 等<sup>[17]</sup>提出可以根据肿瘤的位置,在 CT 扫描时采取俯卧和仰卧的体位以提高肿瘤的发现率;其后,多方学者依此方式展开了虚拟膀胱镜可行性、灵敏度等的探讨<sup>[18]</sup>。而在 2001 年,BERNHARDT 等<sup>[19]</sup>则另辟蹊径,使用 MRI 的 T<sub>2</sub> 加权图像重建出虚拟膀胱镜图像,并对基于 MRI 断层图像与 CT 图像的虚拟膀胱镜结果做了对比研究。

可以说,基于 CT 或 MRI 图像实现虚拟膀胱镜

的方式各有优缺点。就基于 CT 图像实现方式而言,其本身具有辐射性,故不便于经常性的复查,而且由于 CT 扫描对软组织结构不敏感,虽然借助对比剂将膀胱充盈从而获得了膀胱的整体形态特征,但不可避免地又降低了小体积或扁平状肿瘤的灵敏度,因而在应用上受到一定限制。在这方面, SCHREYER 等<sup>[20]</sup>根据膀胱壁的厚度设置黏膜图像的色阶,即设计出膀胱壁越厚颜色越深的膀胱壁厚度色阶绘图法,以期提高微小黏膜病变的敏感度, FIELDING 等<sup>[21]</sup>也以不同的颜色区分膀胱壁厚度的方法进行了尝试。另有研究指出,当肿瘤直径 >1 cm 时, CT 与 MRI 对照没有显著差异,而反之则基于 MRI 虚拟膀胱镜的灵敏度和特异度都比较低<sup>[22]</sup>。可见,基于 MRI 的成像方式,在软组织成像上有更好的对比度,且无需外源性对比剂便可对膀胱内结构实现清晰成像,更重要的是,它所提供的人体功能图像信息弥补了 CT 扫描的不足。因此,成为除 CT 实现仿真内镜外又一可行的仿真方式。

### 2.3 仿真尿道镜

在尿道的虚拟仿真内镜技术方面,国内外目前的研究较少。2004 年, YEKELER 等<sup>[23]</sup>报道了使用延迟期尿路造影增强 MRI 来重建出正常尿道、前列腺部、膜部及球部尿道狭窄的三维重建影像,然后再通过传统尿道镜对 MRI 中发现的尿道狭窄病变进行证实,结果认为 MRI 仿真尿道镜能够很好地显示膜部尿道狭窄以及逆行造影无法发现的远端尿道狭窄,并且能够极好地显示正常尿道影像,有望用来评估男性全尿道的情况,但存在的一个缺点是无法准确地测量尿道狭窄的长度。

### 2.4 仿真内镜的不足

尚处起步阶段的泌尿外科仿真内镜技术,作为几近无创的检查手段,从结构与功能图像中提取了更多结构(如息肉和肿瘤)的有效特征,并以直观的三维形态辅助医生诊断。因此,在肾盂、输尿管及膀胱疾病等的诊断,特别是该区域肿瘤性疾病的早期筛查和复查上具有不错的临床应用价值和前景。

但不得不承认,该项技术在小体积、扁平状病变及黏膜增厚的鉴别方面尚不具优势,而且检查时必须设法使空腔脏器保持适宜的充盈,以保障扫描后的观察效果,另外,检查后无法提供组织标本以供病理学检查。因此,客观来说,当前的仿真内镜技术仍存在着一定的局限性。

## 3 VR 技术在泌尿外科内镜诊疗中的应用——个体化数字模型

个体化数字模型,亦基于 CT、MRI 等方式采集个体信息,在计算机中三维重建出目标病灶及周围重要解剖结构。它同样模拟光学内镜中腹腔镜的视像,但不限于该视像有限的视角<sup>[24]</sup>,它更侧重于呈现脏器的表面形态(含外表面和内表面)、相对位置以及周围结构的毗邻关系,而根据需求忽略脏器的腔内情况。

有关腹膜后腔个体化数字模型的研究虽近年来才兴起,但发展迅速,所涉范围包括肾及其动静脉系统、肾盂、输尿管及该区域内的病灶等,主要集中于腹膜后腔内解剖结构的个体化三维模拟。

WUNDERLICH 等<sup>[25]</sup>基于 CT 数据,借助扫描设备自带图像后处理工作站中体绘制为主的方法,行三维重建后,得到了肾肿瘤、肾动脉系统尤其是肿瘤滋养分支动脉的三维图像,实现了肾部分切除术的术前规划模拟。HUBERT 等<sup>[26]</sup>则利用 CT 三维重建技术诊断肾结石, OLCOTT 等<sup>[27]</sup>将该方法用于经皮肾镜碎石取石术(percutaneous lithotripsy, PCNL)的手术方案制订中,其后,多方学者进行了相关的研究。可见,由 CT/MRI 扫描设备自带软件经体绘制生成的 CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)、CT 尿路成像(computed tomography urography, CTU)等三维重建图像,在对肾区目标结构外部形态的三维表现上令人耳目一新,不仅在肾肿瘤的诊断上提供了重要信息,更在肿瘤分期和手术规划上发挥了重要的作用。但由于其显示结构有限,边界不够清晰,对灰度值较低结构如部分静脉、缺乏血供的瘤体及造影剂不显影的集合系统等结构往往显示不完整,对灰度值差异较小结构间的边界区分不清,因而应用有限。

另一方面,学者们近年来同样基于 CT 数据,但在 PC 机支持的软件中采用面绘制的方法行三维重建,所得模型在肾区瘤体及肾动、静脉及集合系统等方面的同场景显示上具有着良好的显示能力。如 LASSER 等<sup>[28]</sup>、UKIMURA 等<sup>[29-30]</sup>重建出含肾动静脉、肾脏及瘤体等的三维数字结构,以辅助机器人腹腔镜下保留肾单位手术的精准实施;TEBER 等<sup>[31]</sup>还采用增强现实技术,由计算机借助置入术区的标定物来调整模型与脏器的匹配,从而将现实的腹腔镜视野图像与虚拟模型以叠加的方式呈现到显示器上,



用以实现肾部分切除术中的定位与导引。DALELA 等<sup>[32]</sup>、PATEL 等<sup>[33]</sup>建立出肾动静脉、肾脏、集合系统及结石在内的数字模型,以规划 PCNL 术式的入路设计,RASSWEILER 等<sup>[34]</sup>也用增强现实的方法指导 PCNL 的穿刺过程。

在前述均基于 CT 或 MRI 数字格式数据的研究外,笔者课题组<sup>[35]</sup>则更以 CT 胶片所载信息作为数据来源,探索并建立了基于 CT 胶片建立腹膜后腔个体化三维数字模型的系统方法,充分挖掘了 CT 胶片所载的影像信息,而一定程度上避免了重复检查,实现了 CT 胶片所载信息的最大化利用。所虚拟再现的图像,涵盖了肾上腺囊肿及腺瘤、肾囊性疾病及肾肿瘤、肾盂输尿管结石及连接处梗阻、腔静脉后输尿管等疾病下的个体解剖结构。

4 展望

仿真内镜和个体化数字模型是虚拟现实技术融入泌尿外科内镜诊疗后的具体应用,两者对病灶及其周围脏器解剖结构形态与空间毗邻等精细、直观、自由地展示,以及可交互式地虚拟操作,为辅助诊断、术前规划、术前模拟、术中定位与导引、远程会诊、远程手术以及其他如生物力学研究等诸多目标的实现提供了有力的技术支持。相信逐渐成熟的虚拟现实技术,将不仅在泌尿外科的内镜诊疗,更在各学科临床诊疗的方方面面产生不可估量的推动作用。

参 考 文 献:

[1] MACEDONIA MICHAEL. Games soldiers play [J]. Ieee Spectrum, 2002, 39(3): 32-37.  
[2] 胡小强. 虚拟现实技术与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 1-2.  
[3] 吕婷. 数字人体研究及其应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(48): 9041-9045.  
[4] VENUTI JM, IMIELINSKA C, MOLHOLT P. New views of male pelvic anatomy: role of computer-generated 3D images[J]. Clin Anat, 2004, 17(3): 261-271.  
[5] NOAKES KF, BISSETT IP, PULLAN AJ, et al. Anatomically realistic three-dimensional meshes of the pelvic floor & anal canal for finite element analysis[J]. Ann Biomed Eng, 2008, 36(6): 1060-1071.  
[6] 陈远波, 李虎林, 刘春晓, 等. 数字化肾结石三维模型的建立及虚拟手术仿真[J]. 南方医科大学学报, 2013, 33(2): 267-270.  
[7] POMMERT A, HÖHNE KH, BURMESTER E, et al. Computer-based anatomy a prerequisite for computer-assisted radiology and surgery[J]. Acad Radiol, 2006, 13(1): 104-112.  
[8] 任高宏, 裴国献. 虚拟技术对 21 世纪微创外科发展的影响[J].

中华创伤骨科杂志, 2004, 6(8): 899-902.  
[9] ROBB RA. Virtual endoscopy: development and evaluation using the Visible Human datasets [J]. Compute Med Imaging Graph, 2000, 24(3): 133-151.  
[10] STENZL A, FRANK R, EDER R, et al. 3-Dimensional computerized tomography and virtual reality endoscopy of the reconstructed lower urinary tract[J]. J Urol, 1998, 159(3): 741-746.  
[11] TAKEBAYASHI S, HOSAKA M, KUBOTA K, et al. Computerized tomography nephroscopic images of renal pelvic carcinoma [J]. J Urol, 1999, 162(2): 315-318.  
[12] TAKEBAYASHI S, HOSAKA M, KUBOTA Y, et al. Computerized tomographic ureteroscopy for diagnosing ureteral tumors[J]. J Urol, 2000, 163(1): 42-46.  
[13] LIATSIKOS EN, SIABLIS D, KAGADIS GC, et al. Virtual endoscopy: navigation within pelvicaliceal system [J]. J Endourol, 2005, 19(1): 37-40.  
[14] NERI E, BORASCHI P, CARAMELLA D, et al. MR virtual endoscopy of the upper urinary tract[J]. AJR Am J Roentgenol, 2000, 175(6): 1697-1702.  
[15] SONG JH, FRANCIS IR, PLATT JF, et al. Bladder tumor detection at virtual cystoscopy[J]. Radiology, 2001, 218(1): 95-100.  
[16] VINING DJ, ZAGORIA RJ, LIU K, et al. CT cystoscopy: an innovation in bladder imaging[J]. AJR Am J Roentgenol, 1996, 166(2): 409-410.  
[17] NARUMI Y, KUMATANI T, SAWAI Y, et al. The bladder and bladder tumors: imaging with three-dimensional display of helical CT data[J]. AJR Am J Roentgenol, 1996, 167(5): 1134-1135.  
[18] 马军, 寻正为, 哈若水, 等. 多层螺旋 CT 双期增强扫描结合仿真内镜成像在膀胱癌术前分期中的诊断价值[J]. 中华泌尿外科杂志, 2010, 31(12): 839-843.  
[19] BERNHARDT TM, RAPP-BERNHARDT U. Virtual cystoscopy of the bladder based on CT and MRI data[J]. Abdom Imaging, 2001, 26(3): 325-332.  
[20] SCHREYER AG, FIELDING JR, WARFIELD SK, et al. Virtual CT cystoscopy: color mapping of bladder wall thickness[J]. Invest Radiol, 2000, 35(5): 331-334.  
[21] FIELDING JR, HOYTELX, OKON SA, et al. Tumor detection by virtual cystoscopy with color mapping of bladder wall thickness[J]. J Urol, 2002, 167(2): 559-562.  
[22] LMMLE M, BEER A, SETTLES M, et al. Reliability of MR imaging-based virtual cystoscopy in the diagnosis of cancer of the urinary bladder[J]. AJR Am J Roentgenol, 2002, 178(6): 1483-1488.  
[23] YEKELER E, SULEYMAN E, TUNACI A, et al. Contrast-enhanced 3D MR voiding urethrography: preliminary results [J]. Magn Reson Imaging, 2004, 22(9): 1193-1199.  
[24] UKIMURA O. Image-guided surgery in minimally invasive urology[J]. Curr Opin Urol, 2010, 20(2): 136-140.  
[25] WUNDERLICH H, REICHEL T, SCHUBERT R, et al. Pre-operative simulation of partial nephrectomy with three-dimen-

- sional computed tomography[J]. BJU Int, 2000, 86(7): 777-781.
- [26] HUBERT J, BLUM A, CORMIER L, et al. Three dimensional CT-scan reconstruction of renal calculi. A new tool for mapping-out staghorn calculi and follow-up of radiolucent stones[J]. Eur Urol, 1997, 31(3): 297-301.
- [27] OLCOTT EW, SOMMER FG, NAPEL S. Accuracy of detection and measurement of renal calculi: in vitro comparison of three-dimensional spiral CT, radiography, and nephrotomography [J]. Radiology, 1997, 204(1): b19-25.
- [28] LASSER MS, DOSCHER M, KEEHN A, et al. Virtual surgical planning: a novel aid to robot-as sisted laparoscopic partial nephrectomy[J]. J Endourol, 2012, 26(10): 1372-1379.
- [29] UKIMURA O, GILL IS. Imaging-assisted endoscopic surgery: Cleveland clinic experience[J]. J Endourol, 2008, 22(4): 803-810.
- [30] UKIMURA O, NAKAMOTO M, GILL IS. Three-dimensional reconstruction of renovascular-tumor anatomy to facilitate zero-is-chemia partial nephrectomy[J]. Eur Urol, 2012, 61(1): 211-217.
- [31] TEBER D, GUVEN S, SIMPFENDÖRFER T, et al. Augmented reality: a new tool to improve surgical accuracy during laparoscopic partial nephrectomy? Preliminary in vitro and in vivo results[J]. Eur Urol, 2009, 56(2): 332-338.
- [32] DALELA D, GUPTA A, AHMED S, et al. Three-dimensional synchronized multidirectional renal pyelo-angiography: a new imaging concept to facilitate percutaneous nephrolithotomy in technically challenging cases[J]. J Endourol. 2009, 23(12): 1937-1939.
- [33] PATEL U, WALKDEN RM, GHANI KR, et al. Three-dimensional CT pyelography for planning of percutaneous nephrostolithotomy: accuracy of stone measurement, stone depiction and pelvicalyceal reconstruction[J]. European Radiology, 2009, 19(5): 1280-1288.
- [34] RASSWEILER JJ, MÜLLER M, FANGERAU M, et al. iPad-assisted percutaneous access to the kidney using marker-based navigation: initial clinical experience[J]. Eur Urol. 2012, 61(3): 628-631.
- [35] 王东文, 张彬, 张旭辉, 等. 基于 CT 胶片的个体化腹膜后腔三维数字模型的建立及临床应用研究[J]. 中华泌尿外科杂志, 2012, 33(11): 810-813.

(张立芳 编辑)