

## · 专家论坛 ·

# 走进数字泌尿新时代: 数字医学技术在精准泌尿外科的应用

王东文 原小斌



王东文 国家二级教授, 博士研究生导师。新世纪“百千万”人才国家级人选, 国家卫生健康委员会有突出贡献中青年专家, 享受国务院政府特殊津贴。现任山西医科大学第一医院副院长及泌尿外科主任。担任亚洲男科协会(AAA)副主席、中华医学会泌尿外科分会(CUA)全国常委(兼肿瘤学组秘书长)、山西省医学会泌尿外科专业委员会主任委员、山西省医师协会泌尿男科医师分会会长。担任《中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)》副总编辑、《尿控及前列腺疾病》副主编、《中华泌尿外科杂志》、《JOURNAL OF ENDOUROLOGY》、《中华男科学杂志》、《中华腔镜外科杂志(电子版)》及国内多份泌尿外科杂志编委。擅长泌尿系统肿瘤、泌尿系疑难杂症的诊治及微创泌尿外科和临床尿动力技术的应用。多次受邀到多家知名医院举办的全国学术会议上进行现场手术演示。多种经典手术已被收入《中国当代医学名家手术典藏》《中国泌尿外科名家腹腔镜手术作品典藏》。连续 3 年入选“中国名医百强榜”“中国最具影响力医生排行榜”, 在肾及肾上腺手术领域位居全国 TOP10 之列。以第一完成人身份获教育部科技成果奖 1 项、山西省科技进步一等奖 2 项、山西省科技进步二等奖 4 项、山西省高等学校科学技术奖 2 项。以第一承担人获得包括国家自然科学基金面上项目、卫生部科研基金项目、国家科技支撑计划专项、环保部公益性行业科研专项等在内的国家及省部级基金资助 28 项。获国家实用新型专利 5 项、国家发明专利 4 项。以第一作者或通信作者身份在国内外核心期刊发表学术论文 200 余篇。主持或参与编写《三维重建技术辅助下 3D 腹腔镜肾脏及肾上腺手术》《泌尿外科专家说病说保健》《泌尿外科腔镜手术》等专著及教材 20 余部。曾荣获尿控学杰出贡献奖、2014 年度吴阶平医学奖、2014 年度中华医学会泌尿外科分会(CUA)“大禹奖”、“走遍中国前列腺县(腺)”公益活动手术者金奖及牵头人金奖、中国首届“白求恩式好医生”提名奖等多项荣誉。

数字医学技术的兴起已几乎渗透到从基础研究到临床实践的各个领域, 极大地改变了现代医学的整体面貌与发展脉络。精准化外科理念在此背景下正以前所未有的深度和广度迅速影响并更新着相关医疗从业人员的知识结构与认知。具体到泌尿外科, 精准泌尿外科的治疗理念结合数字医学近 10 年以来的技术成果已为一个全新的时代拉开了序幕, 正越来越显现出其蓬勃的发展态势与光明前景。

进入 21 世纪以来, 迅猛发展的计算机技术、信息技术、3D 打印技术及互联网科技掀起的数字化时代强劲浪潮正以前所未有的深度和广度席卷人类社会生活的方方面面, 由此而衍生的“数字化生存”理念也正由设想一步步走向现实<sup>[1]</sup>。1997 年, 美国哈佛医学院 Slack<sup>[2]</sup>首次提出“数字医学”的概念。其后, 2003 年、2012 年分别由 Goldsmith<sup>[3]</sup>、Topol<sup>[4]</sup>结合当时的科技状况对这一概念进行了补充与完善。经过近 20 年的发展, “数字医学”的理念如今可以

概括为数字技术(包括计算机辅助技术、互联网技术、远程无线移动通信技术)作为不可或缺的基础条件与手段为医师及研究人员在病理机制研究(从宏观到分子生物学水平)、疾病观察诊断、临床治疗决策制订、手术规划及术中导航、术后跟踪随访等方面提供强力支持的新型医学模式。

## 一、3D 重建泌尿器官及肿瘤测绘评估

泌尿器官及肿瘤 3D 数字模型的重建是精准泌尿外科学临床实践的基础与前提。近年来, 在泌尿靶器官的 3D 数字模型建立, 以及与其对应的肿瘤测绘评估领域的研究已取得了一系列的突破与进展。总体而言, 泌尿 3D 数字模型重建的思路有二: ①根据 CT 扫描获得的源数据, 运用 3D 重建数字技术建立靶器官及其肿瘤的复合数字模型。这一方法主要针对泌尿系统的患病人群, 并与后续手术治疗的实施密切相关, 主要应用于肾脏及肾肿瘤结构的数字 3D 重建<sup>[5-8]</sup>。②基于各国开展“数字可视人计划”。

建立的人体切片组织图像数据库, 旨在通过运用数字图像处理软件强大的后处理功能, 建立本种族正常非病变人体泌尿系统器官的 3D 数字

模型<sup>[8-10]</sup>。

与此同时,泌尿系肿瘤的立体测绘工作同样在不断摸索中前进。这一领域的研究热点集中在肾肿瘤的“容量”(volume)评估方面。常用来计算肾脏及其肿瘤物理容积的传统方法由美国的 Simmons 等<sup>[11]</sup>在2011年报道,该方法是将肾脏近似看作圆柱体,而将肿瘤近似看作球体,通过观察二维的CT扫描图像大致测量出瘤体的最大直径及肾脏的横径,通过CT扫描的层厚和肾脏显影的层数估算出肾脏的长径,进一步以圆柱体和球体体积的通用计算公式算出各自的物理容积。这一估算方法显然不够精确。数字医学技术的介入使这一现状很快得以改观。

2012年,美国的 Gorbatiy 等<sup>[12]</sup>运用开源的医学图像处理软件 Osiri X 对96例接受肾部分切除术或肾肿瘤射频消融术的肾癌患者的手术前后CT扫描图像进行了数据分析与重建,计算出了瘤体及手术前后患侧正常肾组织的单纯物理容积。他们发现基于术前CT图像分析得到的患肾总容积减去瘤体容积而得出的术后患肾残余容积预测值,能够与基于术后CT图像分析得到的患肾残余容积实测值良好吻合。由此他们认为,运用数字图像处理技术在保留肾单位术前计算瘤体容积并预测术后患肾残余容积可以为肾脏手术的术前决策提供有益参考。2013年,美国的 Scott 等<sup>[13]</sup>在美国泌尿外科年会上报道了他们的一项研究成果:162例接受了保留肾单位手术的肾癌患者的术前CT影像、术中出血量、手术时间、平均住院时间及术后残肾GFR等指标被收集整理。他们通过分析这些患者的术前CT信息,运用3D影像合成技术重建出了肿瘤的立体数字模型,并在此基础上运用专门软件计算出了每个瘤体的“瘤周接触面积”(contact surface area, CSA)。显然,CSA是可以间接反映肿瘤物理容量的一项指标。经过统计学分析显示:CSA与术中出血量、手术时间、平均住院时间及术后残肾GFR均呈显著正相关。进一步的观察分析还提示,CSA $\geq 20\text{ cm}^2$ 对于围手术期升高的并发症发生率及较差的预后具有强预测作用。2014年,美国的 Durso 等<sup>[14]</sup>报道了一个可用于稳定评估肾肿瘤的新指标——肾肿瘤3D重建容积(3-dimensional reconstruction volume, 3DV)。他们随机挑选多名接受过简单培训的人员运用 Aquarius iNtuition 图像数字处理软件对28例接受机器人辅助腹腔镜肾部分切除术患者的术前术后肾脏CT影像进行了3D重建处理,并计算出了各自患侧瘤体及术前术后对侧肾脏的3DV;与此同时,操作人员还运用传统的 Simmons 估算法计算了这些指

标。结果显示3DV在不同操作人员及术前术后不同时期的数据稳定性显著高于传统的 Simmons 估算法。

在日渐精确计算与测量肾脏及其瘤体单纯物理容积的基础上,如何实现最具实用意义的与手术治疗密切关联的滤过功能存续及损失定量评估将是今后研究的重点方向所在。

二、3D重建技术在泌尿外科腹腔镜精准手术治疗中的应用

基于数字医学影像处理技术,通过建立泌尿器官及肿瘤3D数字模型进一步开展泌尿外科腹腔镜手术的术前规划及术中导航是精准泌尿外科学最为重要的临床实践活动之一。近5年以来,国内外许多泌尿外科学者在此领域做了大量工作,其中最为知名的当属美国南加州大学的 Inderbir S. Gill 教授及其研究团队。Gill 教授运用3D数字重建技术对拟接受腹腔镜保留肾单位手术肾癌患者的CT影像进行分析处理,建立可清晰显示肾脏动静脉、瘤体及其供血动脉、肾实质、集合系统的3D复合数字模型,在术前精细规划手术方案,在术中依据数字模型导航成功实现了瘤体供血动脉的准确定位钳夹以及在“零缺血”(zero ischemia)状态下肿瘤的完整切除<sup>[6-7, 15-16]</sup>。在常规重建CT二维影像形成3D数字模型的基础上,Teber 等<sup>[17]</sup>还运用计算机增强现实技术,通过设置图层标定物的方法完成虚拟数字模型与实际腹腔镜下靶器官图像的叠加重合,从而更为直观形象地实现了3D数字模型术中导航的功能。

机器人辅助腹腔镜技术的兴起为术前规划及术中导航数字技术在泌尿外科的推广与应用提供了绝佳的平台。2012年,美国的 Lasser 等<sup>[18]</sup>基于CT影像委托一家医学数字建模公司(Medical Modeling Inc.)重建了10例拟接受机器人辅助腹腔镜肾部分切除术患者的患肾及肿瘤3D数字模型,并在该公司的远程组织协助下召开了术前规划视频讨论会,形成了针对每例患者个性化的最佳手术方案。在此基础上,每例患者的患肾及肿瘤3D数字模型在手术开始前被输入da Vinci手术机器人辅助腹腔镜设备的主控系统,并通过其独有的 Tile-Pro 功能在术中与实时手术图像同步呈现,直观高效便捷地实现了3D数字模型的术中导航功能。除保留肾单位手术以外,美国的 Ukimura 等<sup>[19]</sup>还将基于个性化3D数字模型的术前规划及术中导航数字技术应用于机器人辅助腹腔镜前列腺癌切除术中,亦收到了良好的效果。

笔者所在的课题组结合国情实际,在避免重复检查、充分节约医疗成本并降低患者就医费用的前

提下,以患者已有CT胶片图像作为数据来源,充分挖掘其影像信息,探索并建立了基于CT胶片图像建立腹膜后腔个体化3D数字模型的系统方法,并在此基础上开展了涵盖肾上腺肿瘤、肾肿瘤及肾囊性疾病、肾盂输尿管结石及连接处梗阻、腔静脉后输尿管、前列腺癌等多种疾病在内的术前规划及术中导航工作,取得了良好的临床及社会效益<sup>[20-28]</sup>。

### 三、3D重建技术在泌尿系结石微创治疗中的应用

包括肾及输尿管结石在内的上尿路尿石症占据泌尿外科疾病谱系的重要位置,其内镜微创疗法的一系列数字化革命是“数字泌尿”理念中最具特色的组成部分。尽管同样是基于CT扫描图像信息并运用3D数字模型重建方法,但另一种重要的数字医学技术——数字仿真内镜技术的引入,使该领域的数字化进程在产学研多个环节都具备了更为广泛的辐射效应。

数字仿真内镜技术是虚拟现实技术在泌尿外科内镜诊疗中的具体应用形式。与肾脏及前列腺等泌尿系统实体器官重建不同的是,数字仿真内镜必须通过特殊的数字技术手段重建出空腔脏器的腔内黏膜及腔外周围解剖结构。该技术不仅可以模拟传统的光学内镜,从腔内视角进行空腔脏器的虚拟观察,而且还可以清晰显示出传统内镜无法探及的部分腔内及腔外区域<sup>[29-30]</sup>。

Takebayashi等<sup>[31]</sup>于1999年首次报道了在肾盂癌患者中运用其CT扫描图像,经数据分析处理后实现仿真肾镜检查的方法,开创了数字泌尿仿真内镜应用的先河。2000年,Takebayashi等<sup>[32]</sup>又跟进在输尿管癌患者中率先开展了仿真输尿管镜检查,进一步拓展了该技术在泌尿外科的应用范围。2005年,Liatsikos等<sup>[33]</sup>通过对肾盂肾盏的3D数字重建,运用仿真肾镜技术成功从腔内视角呈现出了患者集合系统的先天性畸形。此后,数字泌尿仿真内镜技术逐渐在经皮肾镜碎石取石术(Percutaneous nephroscope lithoipsoy, PCNL)的术前规划领域显示出其重要的应用价值。Dalela等<sup>[34]</sup>、Patel等<sup>[35]</sup>先后运用3D数字重建技术构建出包括肾动静脉、肾实质、集合系统及结石本身在内的3D数字复合模型,配合仿真肾镜技术,在PCNL术前有效实现了经皮穿刺路径的最优化设计和整体手术方案的合理规划。2012年,Rassweiler等<sup>[36]</sup>运用增强现实结合仿真肾镜技术的方式在iPad移动设备上成功完成了PCNL术中穿刺的实时导航。

### 四、从“3D重建”向“3D呈现”的跨越

随着3D成像及3D打印技术的快速发展,3D

重建医学模型影像的表现形式正由传统2D时代全面走向3D立体时代,同时由虚拟演示阶段向实物呈现阶段迈进。3D腹腔镜技术及更为高端的da Vinci手术机器人系统可以使3D重建数字模型的细节表现更为真实细腻,使术者可以获得更高的手眼协调度,更好的视觉景深体验及更精确的解剖结构空间定位感知,从而有效提高手术安全性及效率<sup>[20, 37-39]</sup>。另外,在整形外科领域,已有医师运用3D打印技术打印出靶器官实物模型用于指导术中操作;据报道,效果均优于传统2D影像及3D重建影像虚拟演示效果<sup>[40-41]</sup>。在泌尿外科领域,亦有先行者已运用3D打印技术打印出患侧肾脏及肿瘤实物模型,用以辅助腹腔镜保留肾单位手术获得了良好效果<sup>[42-43]</sup>。此外,日本的Komai等<sup>[44]</sup>还运用3D打印技术以树脂材料打印出了瘤体可拆卸的等体积肾脏实物模型,在腹腔镜保留肾单位手术的术前手术模拟演示、患者病情沟通交流、术中实时参考及术后评估随访方面加以应用,并首次提出“4D”手术概念,突破了既往术前规划、术中导航、术后随访的惯性思维模式考虑问题,激活“时间”维度进行了有益的理论创新。实物呈现较之虚拟演示的优势彻底打破了扁平化及模拟式的诸多限制,从既往的“如在眼前”的描摹阶段真正跨越到了“摆在眼前”的呈现阶段,在医学教育及医患沟通领域更是具有广阔的发展前景。

纵观全球,精准泌尿外科的全新理念正以强劲姿态冲击旧有的泌尿外科诊疗模式,推动整个泌尿外科学界向个性化、精确化、微创化和远程化的方向快速发展。相信随着3D重建技术的不断进步以及向3D呈现方向的跨越式发展,泌尿外科一个全新的黄金时代即将到来。

### 参 考 文 献

- 1 Nicholas N. Being digital [M]. New York: Random House, 1996.
- 2 Slack WV. Cybermedicine: how computing empowers doctors and patients for better health care [M]. San Francisco: Jossey-Bass Inc. Publishers, 1997.
- 3 Goldsmith JC. Digital medicine: implications for healthcare leaders [M]. Chicago: Health Administration Press, 2003.
- 4 Topol E. The creative destruction of medicine: how the digital revolution will create better health care [M]. New York: Basic Books, 2012.
- 5 Lasser MS, Doscher M, Keehn A, et al. Virtual surgical planning: a novel aid to robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy [J]. J Endourol 2012, 26(10): 1372-1379.
- 6 Ukimura O, Gill IS. Imaging-assisted endoscopic surgery: cleveland clinic experience [J]. J Endourol, 2008, 22(4): 803-810.
- 7 Ukimura O, Nakamoto M, Gill IS. Three-dimensional

- reconstruction of renovascular-tumor anatomy to facilitate zero-ischemia partial nephrectomy [J]. *Eur Urol*, 2012, 61(1): 211-217.
- 8 Xu H, Li X, Zhang Z, et al. Visualization of the left extraperitoneal space and spatial relationships to its related spaces by the visible human project [J]. *PLoS ONE* 2011 6(11): 27166-27166.
- 9 Wu Y, Zhang SX, Luo N, et al. Creation of the digital three-dimensional model of the prostate and its adjacent structures based on Chinese visible human [J]. *Surg Radiol Anat*, 2010, 32(7): 629-635.
- 10 Uhl JF, Park JS, Chung MS, et al. Three-dimensional reconstruction of urogenital tract from visible korean human [J]. *Anatomical Record*, 2010, 288(8): 893-899.
- 11 Simmons MN, Fergany AF, Campbell SC. Effect of parenchymal volume preservation on kidney function after partial nephrectomy [J]. *J Urol* 2011, 186(2): 405-410.
- 12 Gorbatiy V, Iremashvili V, Castro A, et al. Renal volumetric analysis: a new paradigm in renal mass treatment assessment [J]. *J Endourol* 2013, 27(3): 361-365.
- 13 Scott L, Andre L, Castro A, et al. Renal tumor contact surface area: a novel CT-parameter for predicting peri-operative outcomes using advanced image-processing software [J]. *J Urol*, 2013, 189(4): 258-260.
- 14 Durso TA, Carnell J, Turk TT, et al. Three-dimensional reconstruction volume: a novel method for volume measurement in kidney cancer [J]. *Journal of Endourology*, 2014, 28(6): 745-750.
- 15 Ng CK, Gill IS, Patil MB, et al. Anatomic renal artery branch microdissection to facilitate zero-ischemia partial nephrectomy [J]. *Eur Urol* 2012 61(1): 67-74.
- 16 Ukimura O, Gill IS. Image-fusion, augmented reality, and predictive surgical navigation [J]. *Urol Clin North Am*, 2009, 36(2): 115-123.
- 17 Teber D, Guven S, Simpfendorfer T, et al. Augmented reality: a new tool to improve surgical accuracy during laparoscopic partial nephrectomy? preliminary in vitro and in vivo results [J]. *European Urology*, 2009, 56(2): 332-338.
- 18 Lasser MS, Doscher M, Keehn A, et al. Virtual surgical planning: a novel aid to robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy [J]. *J Endourol* 2012 26(10): 1372-1379.
- 19 Ukimura O, Aron M, Nakamoto M, et al. Three-dimensional surgical navigation model with Tile-pro display during robotic radical prostatectomy [J]. *J Endourol*. 2014, 28(6): 625-630.
- 20 DW Wang, B Zhang, XB Yuan, et al. Preoperative planning and real-time assisted navigation by three-dimensional individual digital model in partial nephrectomy with three-dimensional laparoscopic system [J]. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2015, 10(9): 1461-1468.
- 21 王东文, 张彬, 原小斌, 等. 基于个体化三维仿真模型的手术规划引导技术在后腹腔镜肾上腺嗜铬细胞瘤切除术中的应用 [J]. *中国医学影像技术*, 2015, 31(4): 581-585.
- 22 罗靖, 王东文, 汤元杰, 等. 肾脏肿瘤 CT 三维重建体积与病理体积的差异研究 [J]. *现代泌尿外科杂志*, 2015, 20(7): 457-459.
- 23 张旭辉, 张彬, 王东文. 虚拟现实技术在泌尿外科内镜诊疗中的应用现状 [J]. *中国内镜杂志*, 2015, 21(9): 966-970.
- 24 王东文, 张彬. “读片时代”向“阅图时代”变革的新起点——腹膜后腔三维数字模型的建立及应用 [J/CD]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)* 2014 8(1): 1-4.
- 25 刘晨, 王东文, 原小斌, 等. 个体化三维数字模型在单纯多发性肾囊肿手术治疗中的应用体会 [J/CD]. *中华临床医师杂志(电子版)*, 2014 8(12): 9-12.
- 26 张彬, 王东文. 腹膜后及盆腔三维数字化模型的构建与应用 [J]. *微创泌尿外科杂志*, 2012, 1(1): 46-49.
- 27 张彬, 王东文. 基于 CT 的腹膜后腔个体化三维数字模型建立初探 [J]. *中国当代医药*, 2012, 19(9): 15-17.
- 28 王东文, 张彬, 张旭辉, 等. 基于 CT 胶片的个体化腹膜后腔 3D 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.
- 29 Robb RA. Virtual endoscopy: development and evaluation using the visible human datasets [J]. *Compute Med Imaging Graph*, 2000, 24(3): 133-151.
- 30 Stenzl A, Frank R, Eder R, et al. 3-Dimensional computerized tomography and virtual reality endoscopy of the reconstructed lower urinary tract [J]. *The Journal of Urology*, 1998, 159(3): 741-746.
- 31 Takebayashi S, Hosaka M, Kubota K, et al. Computerized tomography nephroscopic images of renal pelvic carcinoma [J]. *The Journal of Urology*, 1999, 162(2): 315-318.
- 32 Takebayashi S, Hosaka M, Kubota Y, et al. Computerized tomographic ureteroscopy for diagnosing ureteral tumors [J]. *The Journal of Urology*, 2000, 163(1): 42-46.
- 33 Liatsikos EN, Siablis D, Kagadis GC, et al. Virtual endoscopy: navigation within pelviciceal system [J]. *J Endourol*, 2005, 19(1): 37-40.
- 34 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.
- 35 Patel U, Walkden RM, Ghani KR, et al. Three-dimensional CT pyelography for planning of percutaneous nephrostolithotomy: accuracy of stone measurement, stone depiction and pelviciceal reconstruction [J]. *European radiology*, 2009, 19(5): 1280-1288.
- 36 Rassweiler JJ, Michael Müller, Fangerau M, et al. iPad-assisted percutaneous access to the kidney using marker-based navigation: initial clinical experience [J]. *European Urology*, 2012, 61(3): 628-631.
- 37 LuschAchim, Bucurphilip L, Menhadjashleigh D, et al. Evaluation of the impact of three-dimensional vision on laparoscopic performance [J]. *Journal of Endourology*, 2014, 28(2): 261-266.
- 38 Cicione A, Autorino R, Breda A, et al. Three-dimensional vs standard laparoscopy: comparative assessment using a validated program for laparoscopic urologic skills [J]. *Urology*, 2013, 82(6): 1444-1450.
- 39 Buchs NC, Volonte F, Pugin F, et al. Three-dimensional laparoscopy: a step toward advanced surgical navigation [J]. *Surgical Endoscopy*, 2013, 27(2): 692-693.
- 40 Niikura T, Sugimoto M, Lee SY, et al. Tactile surgical navigation system for complex acetabular fracture surgery [J]. *Orthopedics*, 2014, 37(4): 237-242.

- 41 Pálházi P , Nemes B , Swennen G , et al. Three-dimensional simulation of the nasoalveolar cleft defect [J]. Cleft Palate Craniofac J 2014 ,51( 5) :593-596.
- 42 Silberstein JL , Maddox MM , Dorsey P , et al. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study [J]. Urology 2014 ,84( 2) :268-272.
- 43 Zhang Y , Ge HW , Li NC , et al. Evaluation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report [J]. World J Urol 2015 ,34( 4) :533-537.
- 44 Komai Y , Sugimoto M , Gotohda N , et al. Patient-specific 3-dimensional printed kidney designed for "4d" surgical navigation: a novel aid to facilitate minimally invasive off-clamp partial nephrectomy in complex tumor cases [J]. Urology 2016 ,91( 2) :226-233.

( 收稿日期:2019-01-14)

( 本文编辑: 薛瑞华)

王东文 , 原小斌. 走进数字泌尿新时代: 数字医学技术在精准泌尿外科的应用 [J/CD]. 中华腔镜外科杂志( 电子版) , 2019 ,12( 2) : 70-74.