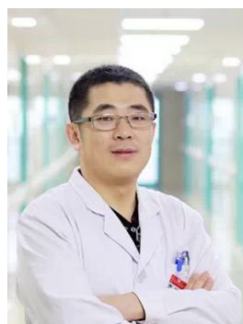


· 专家论坛 ·

增强现实、混合现实在泌尿外科导航手术中的应用

李宁¹ 曹志强²

专家简介:曹志强,副教授,北部战区总医院,副主任医师,硕士生导师,博士,医学博士后。学术兼职:亚洲男科协会不育学组委员,中国器官移植学会青年委员,中国医师协会男科医师分会泌尿及生殖系肿瘤专家委员会委员,中国中西医结合协会男科药物研究委员会常务委员,中国性医学青年医师学会委员,辽宁中西医结合男科专业委员会青委会副主任委员,辽宁医学会泌尿外科青委会委员,《中华男科学杂志》、《中国组织工程与临床康复》、《中国肿瘤外科》等杂志编委。2015年开始负责医院数字化医学实验室,近5年发表核心期刊论文20余篇,SCI论文6篇,主编论著3部,专利2项,省级以上基金第一负责人3项。

【关键词】 增强现实; 混合现实; 手术导航; 泌尿外科

目前的医学成像设备可以创建单个患者的疾病图像,将图像数据重建后的三维图像可以指导诊断和制定手术预案,在术中提供详细的导航指引。这种计算机辅助手术(computer assisted surgery, CAS)可以提高疾病诊断的准确性,同时提高手术的精准性(图1)。增强现实(augmented reality, AR)和混合现实(mixed reality, MR)是CAS的一种医学影像的应用,AR是虚拟信息叠加在现实事物上,相当于真实世界与数字化信息的结合,例

如手机的AR导航(图1)。而MR是真实世界、虚拟世界、数字化信息三者的结合,需要借助MR眼镜实现(图2)。目前都处于临床早期尝试应用阶段。AR, MR可以帮助术前医患沟通,使得医疗信息对等,还有助于医疗教学,更主要的是帮助我们在术中实现导航,判断术中解剖及手术步骤,使手术更加精准(图2)。

一、手术预案导航图不同的呈现形式

导航图可以在手术室中单独显示器上显示二



注:1a为疾病扫描CT生成2D术前成像;1b为3D术前成像;1c为类似GPS的AR导航

图1 外科医师可以使用多种引导技术组合,以快速有效地将自己引导至手术目标

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2020.04.001

基金项目: 国家科技重大专项子课题(2016ZX09J16103)

作者单位: 110122 辽宁,中国医科大学研究生院¹; 100840 辽宁,解放军北部战区总医院泌尿外科²

通信作者: 曹志强, Email: 13309888392@163.com



注:2a 为术前医患沟通,以便诊疗信息对等;2b 为医疗教学,让医学解剖简单易懂;2c 为术中实现外科导航,判断术中解剖及靶器官脏器情况,按图行进;2d 为手机扫码体验

图2 混合现实(MR)外科应用

维胶片或三维图像;也可以在机器人腹腔镜显示器中小窗口显示,以帮助泌尿外科医师在手术过程中随时详细研究手术目标及周围脏器关系;还可以通过AR或MR形式来呈现,形成半透明叠加层呈现在现实手术视野中,帮助判断手术目标的位置及估计距离(图1)。目前多数术中导航技术用于神经外科和骨科^[1-2],主要是因为这两个科室疾病可以参照手术区域的骨性结构较多,配准手术路线相对容易。但是,腹腔脏器如肾脏这些软组织易受运动、呼吸的影响,这使在导航注册过程变得更困难^[3]。

二、手术导航在泌尿外科中的应用

现阶段,泌尿系统疾病的手术导航主要用于经皮肾镜碎石取石术、肾部分切除术、前列腺癌根治手术等。术前CT/MRI等原始数据是手术路径设计和术中导航的基础。早期在经皮肾镜碎石取石术中的导航,我们使用平板电脑辅助引导(图3)^[6-7]。术前根据CT数据在计算机上做穿刺通道设计,如从积水肾盂或结石至后组中盏穹窿部逆向延长线穿出体表位置标记为体表穿刺进针点,并标注穿刺引导线。术中用平板电脑,导航最佳的进针位置和穿刺方向。根据平板电脑的后置摄像头与在患者身体表面贴的标记点配准。在穿刺过程中,通过屏幕按照事先制定的穿刺针迹轨道调整穿刺针方向,与传统的超声引导相比较,效果相似^[6]。在此基础上,我们还采用MR方法代替平板电脑,再次实现了这一穿刺手术导航(图3),出于患者安全及伦理要求,我们仍在术中实时再次用传统方法确认定位。

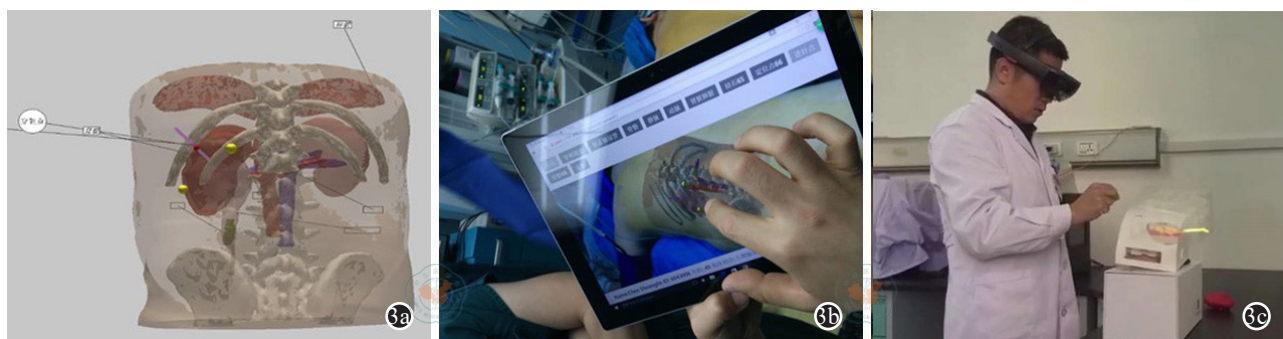
为了减少现实病例中呼吸运动和体位变化对导航穿刺的影响,可以采用与术中同一位位拍CT及麻醉状态下短时间控制呼吸的办法^[6,8]。还可以采用带追踪功能的超声导航进行经皮肾穿刺^[9]。此外,通过电磁针跟踪技术可以进一步增强穿刺二次配准能力。在一项动物实验研究中,研究人员在穿刺针头和内支架导管尖端都装有电磁传感器。先通过输尿管镜将带有传感器的内支架导管尖端放置在肾盂内或输尿管结石附近,靠电磁跟踪功能指导,对穿刺针尖和结石之间的相对位置进行实时监控,无需多次透视检查。因此,这种电磁跟踪和平板电脑导航的集成方法可以帮助减少X射线剂量,同时使针头轨迹相对于器官可视化^[10]。类似的手术,如肾脏病变的消融治疗,在预先做好标记点后获取的CT或MRI图像中,基于电磁标记的超声设备导航可提高射频针头放置的准确性^[11]。但是,该技术还不能完全适用于形变太多的手术情景,软组织自身形变问题仍未根本解决。(URO) Dyna-CT是一种安装在手术室棚顶板上的C形臂成像系统,它使用5个自由度的旋转扫描和一个连续旋转的平板探测器来重建断层扫描数据和3D成像^[12]。这项技术实际上实现了术中CT,内置的导航程序能够对术中实时成像数据进行收集,然后进行精确的激光引导穿刺,Dyna-CT在介入手术过程中提供实时图像调控,可以不断更新定位穿刺点。

机器人辅助腹腔镜肾部分切除手术中,多种形式的CAS被尝试应用^[13]。我院对基础CT数据获取

进行了改进,以期提供好的符合CAS数据条件^[14]。术前手术预案可以应用基于原始CT数据重建的三维模型进行分析肾脏、肿瘤和脉管系统,实施机器人腹腔镜手术时,打印的模型或虚拟模型平行摆放在视窗旁,帮助外科医师高选择性动脉夹闭。将该方法与传统的根部阻断方法比较,不仅表明AR辅助是可行的,而且还可以减少术后早期的肾小球滤过率的降低程度^[15-16]。实时与虚拟模型的交互,从而提高术中可视度(图3)。研究证实,接受AR指导的与未接受指导的两组患者之间的比较表明,该技术可以帮助减少手术时间并降低失血量^[17]。除了腹腔镜手术,在一些开放手术中,通过二维AR或三维MR覆盖术中靶器官,更有助于在器官内定位分支动脉或多个肿瘤病变^[18](图4)。

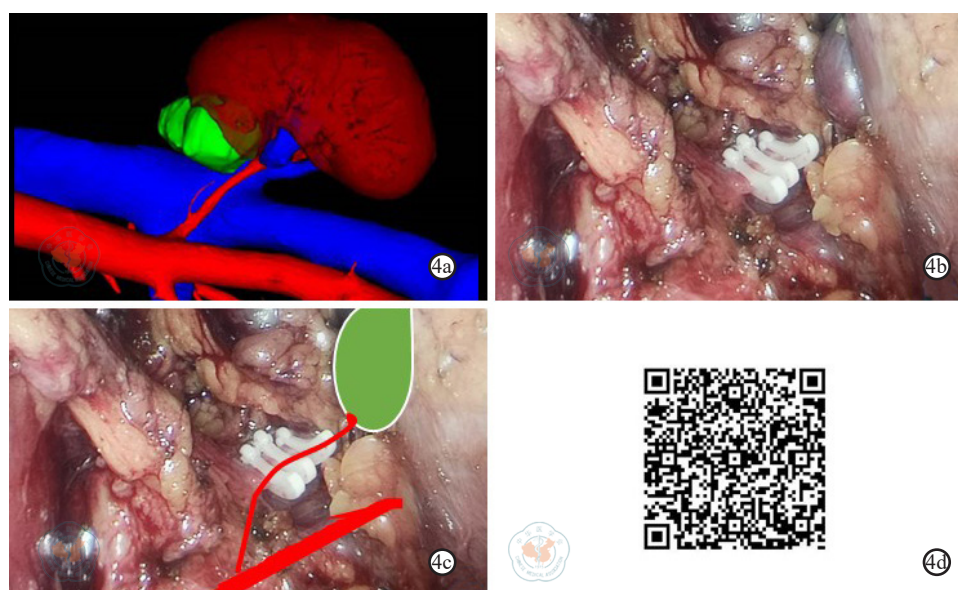
为了精准导航跟踪,部分学者将彩色且不透射

线的针状基准柱于手术早期固定在肾脏表面,以支持腹腔镜手术中肾脏与实时CT三维模型的配准^[19]。但在手术环境中放置和移除这些可视的基准点增加了损伤风险,我们是采用血管分叉以及特殊表面标记的方法进行体内配准。为了对肿瘤和淋巴管侵犯情况的导航,引入功能影像学检查数据,可以实现术中可见常规CT不能看到的侵犯区域。比如,前列腺癌根治术时用到SPECT/CT和荧光示踪成像技术^[20]。借助特异性标记后的图像显示技术,SPECT/CT对相关解剖结构(例如前列腺-膀胱颈口,远端前列腺边界,病变位置,神经血管束和尿道)及淋巴清扫范围的显示,使得术中导航更加精准,并更有利于盆底神经的保护^[21]。借助AR的辅助显示作用,术中可见常规视野难以看到的淋巴浸润范围,可进一步改善癌灶的切除精度,手术切缘阴性率提高达



注:3a为CAS重建三维肾脏与结石,设计穿刺路径;3b为AR,在肾镜取石术中,平板电脑辅助经皮穿刺进入肾脏,从而提供基于CT的AR导航窗口;3c为MR, Hollens眼镜引导MR导航穿刺

图3 AR/MR辅助经皮肾穿刺



注:4a为基于CT的肾肿瘤三维VR模型,可提供对肿瘤周围脉管系统的了解;4b为腹腔镜拍摄内景;4c为在实时图像中针对肾脏和肿瘤模型(包括腹内基准)的AR叠加,虚实融合,判断肿瘤供应动脉位置,迅速结扎;4d为手机扫码体验

图4 腹腔镜肾部分切除MR导航应用

90%^[22]。术前使用前列腺特异性膜抗原(prostate specific membrane antigen, PSMA)特异性示踪剂进行PET/CT或PET/MRI可以显示转移淋巴结范围并有助于设计手术切除范围^[23]。根据SPECT数据重建的AR模型可以清晰导航辅助识别前哨淋巴结,有利于协助淋巴结精准清扫^[24-25]。除了现实手术场景中显示了AR的SPECT(CT)覆盖层外,同时荧光探针注射,可以帮助注射部位(原发肿瘤)和前哨淋巴结的检测。荧光成像可以对变形引起的导航误差进行精准实时校正。这种荧光辅助AR导航方式必将成为未来机器人辅助手术中不可或缺的技术,可见范围更广更深^[26]。

三、AR/MR导航存在的问题和前景

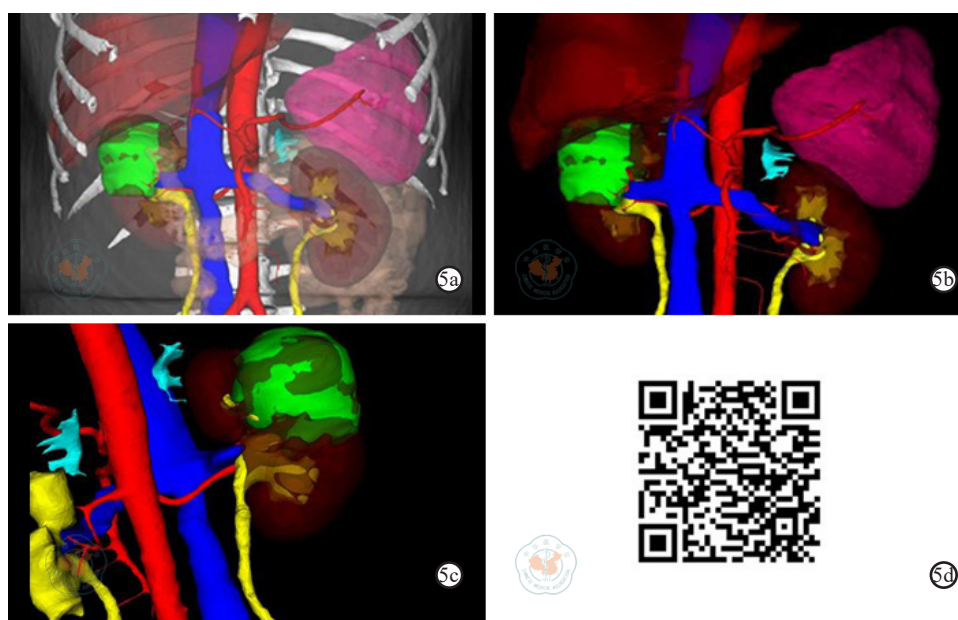
随着科技不断进步,计算机辅助手术系统(CAS)逐渐用于泌尿科手术。将术前影像数据重建生成虚拟图像,通过AR/MR技术与手术视图进行配准,让现实手术视野显示更多手术相关信息,逐步完善了以影像指导的泌尿外科疾病的诊断和治疗体系。目前,这些AR/MR导航应用的最大局限是配准精度和手术过程中软组织的形变问题,会影响手术导航精度。如果配准不佳,AR/MR显示的质量会极大地影响导航的价值。这也是迫切需要进一步改进的。如何提高配准精度和降低形变影响,除了提高影像重建AR/MR数据与术中实时的匹配度以外,还需要在手术环境中增加注册

基准点进行二次配准。

虽然导航并不能替代外科医师的专业判断,但可以通过增加对解剖/疾病靶器官的了解以及对手术中重要解剖位置的清晰判断,来提高手术的准确性和效率。手术过程中,泌尿科医师在执行导航时仍需要进行二次确认。为了改进可视化程度,可以在手术过程的不同阶段选择显示不同的AR/MR数据,使用三维数据的消隐功能^[26](图5)。

要将导航过程与现实外科手术环境实时的联系起来。某种形式的实时成像反馈十分重要,如术中荧光显像,术中超声等方法。选择哪种方式主要取决于目标器官的特征以及该方式在增加患者手术风险和经济负担方面是否能被接受,尽量采用非侵入性方法。术中成像后模型也应能够匹配导航参考系(即目标相对于导航工具的位置)准确跟踪目标组织。红外跟踪、磁导航,机械跟踪和基于人为视觉跟踪相结合是目前最佳方法。

总之,虽然导航技术还存在很多不足,但我们认为,导航技术为迈向计算机辅助泌尿外科手术的美好前景提供了一个重要方法。随着医学成像设备、疾病特异性示踪剂(如PSMA)和手术工具的不断改进开发,定会逐步加显示导航的重要性。未来定会形成集成的创新精准手术模式,例如利用荧光成像技术,嵌入式AR/MR模型和术中导航,机器人辅助更让我们做到“慧眼”与“巧手”并存的模式。



注:5a为带皮肤原始全部三维VR数据(透明人);5b为去除皮肤、骨骼,现实肾脏及周围脏器关系(透明器官);5c为去除周围脏器,只现实肾脏、供应动脉、静脉、肿瘤;5d为手机扫码体验

图5 MR/AR应用中的消隐功能有助于术中不同阶段的配准导航

参 考 文 献

- [1] 徐田野, 梁洪生, 姚凯, 等. 增强现实和混合现实技术在神经外科领域的应用[J]. 临床神经外科杂志, 2019, 16(4): 355-358.
- [2] 喻忠, 李旭祥, 凌辰, 等. 混合现实-3D打印个性化导板用于精准化人工全膝关节表面置换术的临床应用[J]. 中国数字医学, 2020, 15(1): 53-57.
- [3] Rassweiler J, Rassweiler MC, Müller M, et al. Surgical navigation in urology: European perspective[J]. Curr Opin Urol, 2014, 24(1): 81-97.
- [4] Greco F, Cadeddu JA, Gill IS, et al. Current perspectives in the use of molecular imaging to target surgical treatments for genitourinary cancers[J]. Eur Urol, 2014, 65(5): 947-964.
- [5] van Oosterom MN, van der Poel HG, Navab N, et al. Computer-assisted surgery: virtual- and augmented-reality displays for navigation during urological interventions[J]. Curr Opin Urol, 2018, 28(2): 205-213.
- [6] Rassweiler-Seyfried MC, Rassweiler JJ, Weiss C, et al. iPad-assisted percutaneous nephrolithotomy (PCNL): a matched pair analysis compared to standard PCNL[J]. World J Urol, 2020, 38(2): 447-453.
- [7] 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.
- [8] Klein JT, Rassweiler J, Rassweiler-Seyfried MC. Validation of a novel cost effective easy to produce and durable in vitro model for kidney-puncture and percutaneous nephrolitholapaxy-simulation[J]. J Endourol, 2018, 32(9): 871-876.
- [9] 郑煜, 李建新, 周兴. SonixGPS 导航超声与普通超声引导下经皮肾镜治疗肾结石的疗效比较[J/CD]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2019, 13(1): 20-23.
- [10] Marien A, de Luis Abreu AC, Desai M, et al. Three-dimensional navigation system integrating position-tracking technology with a movable tablet display for percutaneous targeting[J]. BJU Int, 2015, 115(4): 659-665.
- [11] Burgmans MC, den Harder JM, Meershoek P, et al. Phantom study investigating the accuracy of manual and automatic image fusion with the ge logiq e9: implications for use in percutaneous liver interventions[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2017, 40(6): 914-923.
- [12] Ritter M, Rassweiler MC, Rassweiler JJ, et al. New puncture techniques in urology using 3D-assisted imaging[J]. Urologe A, 2012, 51(12): 1703-1707.
- [13] Furukawa J, Miyake H, Tanaka K, et al. Console-integrated real-time three-dimensional image overlay navigation for robot-assisted partial nephrectomy with selective arterial clamping: early single-centre experience with 17 cases[J]. Int J Med Robot, 2014, 10(4): 385-390.
- [14] Li G, Dong J, Huang W, et al. Establishment of a novel system for the preoperative prediction of adherent perinephric fat (APF) occurrence based on a multi-mode and multi-parameter analysis of dual-energy CT[J]. Transl Androl Urol, 2019, 8(5): 421-431.
- [15] 温星桥, 祝炜安, 王喻, 等. DVPV 系统三维影像及虚拟现实导航在泌尿外科复杂手术的应用[J/CD]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2020, 14(2): 91-95.
- [16] 曹志强, 柳云恩, 刘龙, 等. 3D 打印技术在肾脏部分切除术中的应用[J]. 解放军医药杂志, 2015, 27(11): 6-9, 20.
- [17] Checcucci E, De Cillis S, Porpiglia F. 3D-printed models and virtual reality as new tools for image-guided robot-assisted nephron-sparing surgery: a systematic review of the newest evidences[J]. Curr Opin Urol, 2020, 30(1): 55-64.
- [18] Ntourakis D, Memeo R, Soler L, et al. Augmented reality guidance for the resection of missing colorectal liver metastases: an initial experience[J]. World J Surg, 2016, 40(2): 419-426.
- [19] Simpfendorfer T, Gasch C, Hatiboglu G, et al. Intraoperative computed tomography imaging for navigated laparoscopic renal surgery: first clinical experience[J]. J Endourol, 2016, 30(10): 1105-1111.
- [20] Wegelin O, van Melick H, Hooft L, et al. Comparing three different techniques for magnetic resonance imaging-targeted prostate biopsies: a systematic review of in-bore versus magnetic resonance imaging-transrectal ultrasound fusion versus cognitive registration. is there a preferred technique?[J]. Eur Urol, 2017, 71(4): 517-531.
- [21] Mathur P, Samei G, Tsang K, et al. On the feasibility of transperineal 3D ultrasound image guidance for robotic radical prostatectomy[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2019, 14(6): 923-931.
- [22] Ukimura O, Aron M, Nakamoto M, et al. Three-dimensional surgical navigation model with TilePro display during robot-assisted radical prostatectomy[J]. J Endourol, 2014, 28(6): 625-630.
- [23] Bluemel C, Matthies P, Herrmann K, et al. 3D scintigraphic imaging and navigation in radioguided surgery: freehand SPECT technology and its clinical applications[J]. Expert Rev Med Devices, 2016, 13(4): 339-351.
- [24] van den Berg NS, Engelen T, Brouwer OR, et al. A pilot study of SPECT/CT-based mixed-reality navigation towards the sentinel node in patients with melanoma or Merkel cell carcinoma of a lower extremity[J]. Nucl Med Commun, 2016, 37(8): 812-817.
- [25] van Oosterom MN, Meershoek P, KleinJan GH, et al. Navigation of Fluorescence Cameras during Soft Tissue Surgery-Is it Possible to Use a Single Navigation Setup for Various Open and Laparoscopic Urological Surgery Applications?[J]. J Urol, 2018, 199(4): 1061-1068.
- [26] van Oosterom MN, Engelen MA, van den Berg NS, et al. Navigation of a robot-integrated fluorescence laparoscope in preoperative SPECT/CT and intraoperative freehand SPECT imaging data: a phantom study[J]. J Biomed Opt, 2016, 21(8): 86008.

(收稿日期:2020-03-05)

(本文编辑:阮星星 李文标)

李宁, 曹志强. 增强现实、混合现实在泌尿外科导航手术中的应用[J/CD]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2020, 14(4): 241-245.