· 综述 ·

精准外科数字可视化研究进展

杜 豪[1],李 恺[2] (1. 第三军医大学学员旅 3 营,重庆 400038;2. 第三军医大学数字医学研究所,重庆 400038)

Advances in digital visualization of precision surgery

DU Hao[1], LI Kai[2] (1. Third Battalion of Student Brigade, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Institude of Digital Medicine, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

[关键词] 精准外科;数字医学;三维数字化
[中图分类号] R659 [文献标识码] A [文章编号] 1672-5042(2016)02-0128-04

随着社会的信息化发展,许多学科、新技术相互交叉渗透,使得各个研究领域发展迅速。计算机科学、数学、信息学、电子学、机械工程学等多门学科与医学交织,形成一门新的交叉学科领域——数字医学[1]。而数字医学技术又在传统外科手术中掀起了一场变革,形成了一个以精准为特征的全新手术模式——精准外科手术。在术前借助 CT 和 MRI 等获取医学影像构建模型,进行手术模拟,在手术中以超声导航、电磁定位等技术进行引导,精准外科手术以精细的术前决策、精密的手术方案、精确的手术模拟、精准的手术作业而获得精美的手术效果,越来越受到外科医师的推崇[2]。

1 精准外科手术

精准外科手术是现代数字化技术与传统外科手术融合形成的低耗、高效、优质的新型外科手术模式。其以对病情的精确定性、分析和准确判断为基础,兼顾患者的生理状况、社会状况等因素,对手术做出个性化的循证决策;继而对手术方案进行精密设计与精确模拟,预判手术实施中可能遇到的个性化问题并制订相应解决方案,尽量排除因手术经验积累、术式手法等人为因素导致的手术风险;最后高精度、高效率的实施以微创化、可视化、可控化、标准化为特征的手术[3]。精准外科手术旨在实现以最小创伤侵袭(M)、最大脏器保护(M)、最低医疗耗费(M)获得最佳治疗效果(M)的理想目标(4M 目标)。

在传统的外科手术中,主刀医师往往只能根据病情靠手术经验制订大致的手术方案,然后在实际手术中不断根据实际情况进行修正直至手术完成。这种手术方案依靠的是主刀医师个人的临床经验与技能,参与手术的其他成员不能够完全理解该方案,而只能凭借以往的手术默契来进行配合[2],并且由于每个患者的生理构造与生理状况都不同,在实际手术过程中,依据医师模糊的手术方案来实施手术,可能会出现很多个性化的问题而需要紧急处理,对医师的术中决策能力要求较高。有时为了达到较好的手术效果,往往还要扩大创口面积充分显露病灶以实施手术。这些问题都会导致手术风险增加。患者也需要承担术后结构损伤不能恢复、大面积创口感染、二次复发,甚至生命危险等后果。然而,精准外科手术却不同。医学影像技术的产生,使外科手术由“切开来看”变成了“看准再切”。随着其不断发展,看得也越来越准,越来越清楚,主刀医师也能有根据地制订出更加精密的手术方案,不再需要在术中对手术方案进行太多修正,大大减少了术中决策时间,使手术实施更加高效。其次,通过数字医学可视化技术构建的三维解剖学图像,具有清晰、直观的特点,便于参与手术成员在手术前进行交流,制订精确且具有针对性的手术方案。还可以通过虚拟现实交互系统来进行手术模拟,预判手术中可能出现的情况,做出相应的应对措施,降低手术风险。

2 精准的技术支撑

外科手术要做到精准,医师就必须清楚地了解病灶的位置和病变部位的详细结构,并预判到手术中可能出现的突发状况等诸多因素。在此基础上,还要考虑手术患者的个性化特征,据此制订个性化的手术方案。这一切都离不开数字医学技术的帮助。

数字医学的“数字”就是指数字化技术,其已深入渗透到医学应用的各个领域[4],在精准外科手术中的应用主要有数字医学影像技术诊断与三维图像构建、虚拟现实交互技术、术中三维导航等。在手术前,可通

doi:10.11659/jjssx.09E015124
[基金项目] 重庆市科委自然科学基金 (CSTC,2010BB5174)
[通信作者] 李 恺, E-mail: 304598443@qq.com
[收稿日期] 2015-09-17 [修回日期] 2015-10-10

过医学影像技术搜集基础二维图像信息,运用数字医学三维可视化技术构建三维解剖学模型,让外科医师能根据手术需要对模型进行移动、旋转、透明化等操作,任意调整观察角度,更加直观地了解病灶。再通过虚拟现实交互技术进行模拟手术,对手术方案进行反复操作并不断修正。这使得外科手术由以前的"一刀定成败",变为术前可反复"彩排",可显著降低手术风险、减少术中决策时间,提高手术成功率[5]。在手术中,预定手术方案的实施又依赖于实时、可靠的术中导航系统。术中导航设备首先需要快速启动、无延时图像显示、快速准确定位匹配、无缝功能与参数转换等强大的性能来保证手术实施的准确性。其次,设备也要尽量保证能在各种环境下长时间无故障的运行,能够迅速从故障中恢复并发现手术进行情况与预定方案的不同。满足这些性能需求的同时,设备的便携性、功耗和成本也是需要考虑的因素[6]。在这样高标准数字化技术的辅助之下,外科手术才有可能以最小的创伤侵袭,达到最佳的手术效果,实现 4M 目标。

3 精准外科手术的应用

3.1 肝胆外科

精准肝切除是精准手术理念在肝胆外科的应用之一,是一系列现代化技术与传统肝胆外科手术的综合优化。传统肝切除手术术前评估大多采用 2D 影像资料(CT、MRI),很难对肝内管道、肿瘤、肝段血管进行细致、准确地分析,无法在术前准确评估切除范围,不能在根治性切除肿瘤的同时保证肝代偿功能[7]。而精准肝切除手术就能较好地解决这个问题。在手术前通过多排螺旋 CT 获取影像数据,由三维手术模拟系统进行图像重建和体积计算,个性化地设计手术入路和切除边界。目前,由方驰华教授团队研发的腹部医学图像三维可视化系统,能对肝、肿瘤和血管进行三维可视化并标以不同的颜色,使外科医师能够立体化、多角度、全方位地观察结石部位、形态及大小,由此制订出精密的手术方案[5,8]。根据实际需要,还可通过肝的三维解剖图像进行手术模拟,个性化地调整手术方案,将手术风险降至最低。手术时直接根据手术方案实施精准肝切除。这样的手术模式能够在保证治疗效果的同时,最大限度地增大预留肝体积,保证肝代偿,为患有活动性肝炎、肝硬化等急慢性肝损害的患者肝功能恢复提供保障。

3.2 神经外科

近年来,随着功能神经导航和术中成像技术的发展,神经外科手术尤其是脑实质内病变的手术取得了重大突破。由此在微侵袭神经外科的基础上发展延伸出了精准神经外科理念,其以显微神经外科为技术基础,结合最新的术中导航和术中成像技术,代表了神经外科的发展方向[9]。

在手术前,通过 CT、MRI 等方式获取医学影像构建病灶的三维模型,以此确定肿瘤良恶性;肿瘤及其周围组织血流的情况,肿瘤是否浸润到血管;白质纤维束走向,区分肿瘤边界[10]。完成数据采集分析后,就能确定手术方式与路线,并进行手术模拟。目前,有真三维显示技术能将这些数据通过影像预处理和分割后发送到真三维显示器,其中的立体影像存在于真实三维空间,提供几乎所有的视觉深度信息和全角度立体影像,有效解决了 2D 平面屏幕显示时景深失真的问题。医师规划手术过程时,还能通过探针模拟器投射激光束直达病灶,调整光束空间位置和进入方向,全方位观察探针和正常组织位置关系,确认手术对其破坏程度[11]。虽然该技术有一定应用前景,但在神经外科手术领域尚未得到推广。在手术中,目前主要应用 B 超、开放型 MRI、移动式 CT 等结合神经导航系统进行术中导航。近年来,B 超图像质量不断提高,相比于术中 MRI,无需专门的手术房间、手术器械,具有方便、快速、观测实时及经济等优点[12-13]。但由于颅骨对声波衰减有干扰作用,必须开颅后在硬膜外使用,不利于手术入路设计与切口选择,与精准外科手术理念不符;且超声提供的图像为扇形解剖,空间定位与对比度差,术中所用明胶和脑棉易产生伪影,使主刀医师产生错误判断[14]。移动式 CT 体积小、移动性能好,对周围环境、手术器械要求不高,费用低廉;结合神经导航系统,能真正做到实时导航,减少影响漂移,在全切肿瘤的同时,保护重要结构[15]。但 CT 使用对患者与医师的放射性损伤仍然需要考虑。开放式 MRI 与超声、CT 相比,具有更高的分辨率尤其是对后颅窝的病灶显像较 CT 清晰,无放射性损伤,可任意平面扫描,能提供更多功能信息[10,15]。但是术中 MRI 对使用环境要求较高,手术器械、监护设备需要防磁,对患者来说经济负担较重。不同术中导航方式各有优劣,应根据实际手术要求进行选择。

3.3 心外科

伴随着医学影像技术的发展与应用,冠心病、心脏瓣膜病、先天性心脏病、大血管疾病和心律失常等心脏疾病的手术治疗呈现出多样化、微创化、精准化的特点。在冠心病的手术治疗中,一般有介入和搭桥 2 种

治疗方式。介入治疗有经股动脉和桡动脉 2 种入路方式。研究表明,经桡动脉入路具有较高可行性而被普遍认可,并且具有创伤小、手术成功率高、术后并发症少、恢复时间短及医疗费用低等优点[16]。手术前,可根据 64 层螺旋 CT 血管造影获取数据,再通过数据重建即可获得冠状动脉的三维解剖模型。该检查方法相比于导管血管造影检查的"金标准"而言,费用低、创伤小、痛苦小,能多角度显示冠状动脉及分支,显示管壁病理改变,软件分析还能进一步确定斑块性质、定量诊断官腔狭窄程度,但心率变化、动脉弥漫钙化等易导致漏诊、过诊[17],因此具体检查方式应根据实际情况作出选择。制订手术方案时,还要检查患者的血管是否允许实施介入治疗,患者体质差异及对钢针的耐受能力等因素[18],综合制订最佳治疗方案。手术实施主要在胸腔镜的引导下进行。但是,介入治疗也有一定的局限性。长时间钢针穿刺易导致患者桡动脉痉挛,受损,甚至闭塞,因此在后续发展中还需要对问题进行改进。

3.4 妇产科

妇科在精准外科手术方面的研究起步较晚,但发展前景广阔。南方医科大学南方医院陈春林教授率领团队进行数字化女性盆腔的构建,并将相关技术运用于妇科手术的术前诊断、手术方案制订与手术模拟,使妇科手术真正走上了精准化路线[19]。例如,子宫动脉栓塞术广泛用于子宫肌瘤、子宫腺肌病、妇科恶性肿瘤、产后出血及子宫疤痕等的介入治疗。但在传统手术中,由于子宫动脉开口类型复杂,子宫供血复杂、不均衡,主刀医师往往需要花费较多时间寻找子宫动脉开口,且难以有效栓塞病灶的供血血管网。引入"精准"理念后,可以在术前依据患者盆腔的 CT、MRI 等获取原始数据,应用三维重建技术构建患者的可视化三维盆腔解剖结构模型,显示盆腔重要器官的位置关系及血供。主刀医师就能根据直观的三维模型制订个性化手术方案,通过手术模拟,保证在手术实际实施时能迅速找到子宫动脉开口,精确有效的栓塞病灶供血血管网,达到最佳治疗效果的同时还能尽量保护正常子宫组织,大大缩短手术时间,减少患者的痛苦[19]。

3.5 骨科

骨科疾病的临床诊治也逐渐向标准化、精细化和个性化的方向发展。在骨盆肿瘤的切除中,由于骨盆解剖结构复杂,与周围脏器、神经、血管紧密联系,手术难度很大,切除后骨缺损的修复也十分困难。数字化技术的进步使骨盆肿瘤的手术治疗有了新发展。在术前构建骨盆肿瘤病变部位及肿瘤浸润范围的三维解剖模型,就能确定适宜的手术切除边界。在此基础上,借由计算机辅助制造技术、快速成型技术制作肿瘤切除辅助模板和异体骨修剪模板,辅助切除肿瘤以及修剪异体骨,明显缩短了手术时间。精准的手术模式有效减少了术中出血,降低了术后并发症的发生率,提高了患者术后生活质量[20]。

4 展望

随着现代影像设备、虚拟现实交互技术、术中导航等的应用与普及,医师不用大面积暴露病灶也能准确地实施手术,更高效、安全,达到最佳治疗效果,提高患者术后生活质量。这些优点都让精准外科这个新兴学科有着很大的发展潜力,传统外科学也将受到极大的冲击而面临变革。但是其发展也依赖于数字医学技术的发展,对人体各个组织器官信息的获取和数字化人体数据集的构建、术中导航系统的研发、医学成像设备的改进等,都还有待进一步发展。精准外科手术的实施,对外科医师也有更高的要求。未来的外科医师不仅要熟练掌握外科知识与技能,还要精通数字化技术、腔镜技术等。如何整合各学科的知识,成为一名复合型人才,是未来医师面临的挑战。

[参考文献]

[1] 张绍祥. 数字化人体与数字医学的研究概况及发展趋势[J]. 第三军医大学学报,2009,31(1):1-2.

[2] 唐 雷. 数字医学技术与精准外科手术[J]. 中国实用妇科与产科杂志,2012,28(1):7-9.

[3] 董家鸿. 精准肝脏外科的现代理念与临床实践[J]. 中华消化外科杂志,2012,11(1):8-10.

[4] 傅 征. 数字医学的提出与发展[J]. 中国数字医学,2007,2(11):9-13.

[5] 韩 羽. 南方医科大学珠江医院方驰华团队——创新数字医学让手术也能"彩排"[J]. 中国科技产业,2015,29(1):67-69.

[6] 陈永健,董 蒨,高 川,等. 数字医学与计算机辅助手术设备的发展趋势[J]. 中国信息界(e 医疗),2014,7(4):50-53.

[7] 谢 于,王瑞玲,王 郜,等. 可视化 3D 影像辅助下的精准肝切除[J]. 中国现代普通外科进展,2012,15(7):527-529.

[8] 陈玥琦,李 恺. 肝胆管结石精准肝切除三维可视化研究进展[J]. 中华临床医师杂志(电子版),2014,8(14):2718-2720.

[9] 许百男,陈晓雷. 精准神经外科:微侵袭神经外科新理念[J]. 解放军医学杂志,2011,36(7):687-689.

[10] 包尚联,周 堃,段傥杰,等. 基于 MRI 术中成像的神经外科手术导航系统关键技术[J]. 仪器仪表学报,2007,28(6):1099-1103.

[11] 夏 雪,田 丰,王 鹤. 基于真三维显示的脑外科微创手术规划[J]. 电视技术,2014,38(4):52-55.

[12] 张建林,葛忠民,祁 芬,等. 术中超声在颅内肿瘤中的应用价

值[J]. 社区医学杂志,2011,9(20):17 - 19.
[13] 赵 明,徐 欣. B 超在神经外科手术中实时定位的应用[J]. 医药论坛杂志,2005,26(12):20 - 21.
[14] 张 华,汤 数,赵 杰,等. 术中超声在显微神经外科手术中的应用[J]. 中国微侵袭神经外科杂志,2010,15(7):298 - 300.
[15] 侯永宏,刘运生,袁贤瑞,等. 移动式 CT 在神经外科手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志,2005,21(4):224 - 226.
[16] 邬文敏. 经桡动脉穿刺介入治疗冠心病的疗效及安全性分析[J]. 大家健康(学术版),2015,9(10):127 - 128.
[17] 高建华,戴汝平,孙宪昶,等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像与冠状动脉造影对照初步研究[J]. 实用放射学杂志,2007,23(2):165 - 168.
[18] 仇昌智,陆永光,黄军章,等. 浅谈经桡动脉途径介入诊断与治疗冠心病的进展[J]. 中国现代药物应用,2015,9(14):270 - 272.
[19] 陈春林. 数字化三维重建技术在妇科疑难手术中的应用及展望[J]. 中国实用妇科与产科杂志,2012,28(1):15 - 19.
[20] 张 余,马立敏,尹庆水,等. 数字技术在骨肿瘤外科的应用临床数字骨科(三)[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志,2012,4(1):68 - 72.

(编辑:刘 艺)

治疗性血管化策略研究进展

鲍小刚,许国华 (上海长征医院骨科医院脊柱二科,上海 200003)

Advances in therapeutic vascularization

BAO Xiao-gang, XU Guo-hua (Second Department of Spinal Surgery, Orthorpaedic Hospital, Shanghai Changzheng Hospital, Shanghai 200003, China)

[**关键词**] 组织再生;血管新生;移植;治疗;细胞
[**中图分类号**] R318.5 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1672-5042(2016)02-0131-05

由于疾病、创伤等导致我国每年都有成千上万人的器官功能衰竭或缺失,但可利用供体严重短缺,移植仅仅是解决小部分问题。目前本课题组从事大段骨缺损修复研究的瓶颈在于组织工程骨的活化,即成骨的同时建立一套早期、稳定的血管系统。只有实现缺损处骨移植体的快速血管化,才能发生骨生成,使修复继续进行,进而最终达到移植体与自体骨的融合。治疗性血管生成策略能辅助组织工程技术制造出可移植的组织、器官替代物而实现组织、器官再生。虽然十几年来治疗性血管生成策略取得了一系列成绩,但是在组织工程骨中创造一种仿生机体的功能性血管系统依然是骨组织工程和再生医学的一个主要瓶颈。本文旨在阐述目前组织工程和再生医学中治疗性血管化研究的新思路,并从生物组织三要素,即细胞、细胞外基质和信号系统的角度分析相关细胞分子学机制,以寻找治疗性血管化策略的新契机,为解决临床大段骨缺损修复难题提供启示。

1 新血管发生的背景

1.1 血管形成和血管生成

以往认为出生后机体只存在芽生式血管形成机制,但其实也存在胚胎时期血管生成机制,而且后者在人体损伤修复中也发挥了重要作用[1]。目前,关于治疗性血管生成策略的研究主要集中于血管形成,但逐步倾向于兼顾血管形成和血管生成这 2 种机制。特别是机体患有糖尿病、高脂血症等,他们的血管内皮细胞功能往往受损,内皮细胞对血管内皮细胞生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)等促血管生成刺激反应低下。这种情况下,积极考虑血管生成机制,提供内皮祖细胞(endothelial progenitor cells, EPCs)直接分化为原位血管可能是更有意义的方法。此外,VEGF 与肿瘤的生长和转移,以及视网膜病和各种促炎性疾病密切相关。因此,当患者合并这些疾病时,芽生式血管形成能力有限,有理由相信 EPCs 提供原位的血管生成是更好的细胞选择[1]。

无论是血管形成还是血管生成机制,VEGF 都是最重要的"配体"之一。最近发现 VEGFR-2 在转录后修饰中生成的一种高度动态的、复杂的信号系统中扮演核心角色,影响内皮细胞分化、增殖、迁移和渗透性。而且这种机制可能为其他常见系统的基本生理过程提

doi:10.11659/jjssx.07E015119
[**基金项目**] 国家自然科学基金(81271954);上海市科委课题(12QH1402700)
[**通信作者**] 许国华,E-mail:xuguohuamail@163.com
[**收稿日期**] 2015-11-03 [**修回日期**] 2015-11-23