

生物医学图像三维重建技术应用研究进展

张文园¹, 刘雪莹² 综述; 王 福³ 审校

(1. 大连医科大学口腔医学院 2014 级, 辽宁 大连 116044;

2. 大连医科大学口腔医学院 2011 级, 辽宁 大连 116044; 3. 大连医科大学口腔医学院教研室, 辽宁 大连 116044)

摘要:在生物医学领域,二维图像获取的主要技术有 X 线、CT、MRI、超声扫描和组织病理切片等。三维重建技术可利用二维图像获得三维结构的立体形态和空间关系,为生物医学研究提供进一步的图像信息。本文对生物医学图像三维重建技术的临床应用及研究进展作一综述。

关键词:三维重建;生物医学图像;CT;MRI;组织病理切片

Application of three-dimensional reconstruction based on biomedical images

ZHANG Wen-yuan*, LIU Xue-ying, WANG Fu

(* Grade 2014, School of Stomatology of Dalian Medical
University, Dalian 116044, China)

Abstract: In the biomedical field, two-dimensional images are mainly obtained through X-ray, CT, MRI, ultrasound scans, tissue pathological slicing technology, etc. Three-dimensional reconstruction based on two-dimensional images can achieve three-dimensional structure and spatial relationship, providing further image information for biological medical studies. This paper reviews the recent progress and clinical application of three-dimensional reconstruction technique based on biomedical images.

Key words: Three-dimensional reconstruction; biomedical image; CT; MRI; tissue pathological slice

利用 CT、MRI、锥形束 CT (cone beam CT, CBCT) 和超声扫描等医学成像技术仅可获得人体器官二维数字断层图像序列,较难直观体现或确定物体的三维结构及其相互间的毗邻关系,已不能满足目前医学研究的需要。医学图像的三维重建技术是指借助计算机图像处理技术将超声、CT、MRI、组织连续切片和电镜连续切片等二维断层图像序列转变为具有直观立体效果的三维图像,展现三维结构的立体形态和空间关系^[1]。目前已有许多计算机医学图像的三维重建系统,侧重于不同方面,但原理和方法基本相同。本文对生物医学图像三维重建技术临床应用及研究进展综述如下。

1 医学图像三维重建的概念

医学图像三维重建主要包括以下 3 个方面。(1) 二维数据采集:是通过 CT、MRI、CBCT 和超声扫描等设备,对研究对象进行扫描,得到一定间距的连续二维图像,即三维重建的原始数据;(2) 数据预处理:与普通图像相比,医学图像具有模糊和不均匀性,需要对图像

进行预处理,突出目标区域以便于后续三维重建;(3) 三维重建:利用三维重建软件,面绘制或体绘制等基本理论方法构建组织或器官的三维几何模型,对重建后的立体结构进行不同视角的观察、定位、测量和剖切等,为诊断疾病、术前方案制定和术后评估提供更为准确的数字式信息^[2]。

三维重建图像可提供生物组织的三维立体视觉,显示复杂的空间结构,对研究隐藏的病变和组织器官发育过程及其规律性提供新的方法,对辅助设计手术径路和模拟手术过程等提供可能;同时,应用三维重建图像建立教学模型,测量三维形态学参数,辅助解剖训练促进教学等方面也具有明显优势^[3-5]。

2 生物医学影像三维重建的应用

2.1 医学影像数据的三维重建 借助计算机将二维影像数据转化为三维数据,能够对生物体正常或病变器官、组织甚至单个细胞进行实时或后期三维重建,对病变体或其他区域进行定性及定量分析,提高临床诊断的准确性和可靠性。

2.1.1 超声数据的三维重建 三维超声现已在眼科、腹部疾病检查、心血管系统、妇产科等疾病诊断方面广泛应用。最新研发的三维超声工作站软件为普通二维超声诊断仪提供了三维成像途径。动态三维超声造影可在超声造影状态下即时生成一系列连续的三维图

doi:10.13507/j.issn.1674-3474.2016.07.002

基金项目:辽宁省自然科学基金(2013023014);大连市科学技术计划项目(2015E12SF160)。

通信作者:王福, E-mail: dywangfu@163.com。

像,显示血管三维形态,可观察血流灌注情况及血管空间结构及走行;因其能够重建肿瘤与血管的空间位置关系,有助于脏器恶性肿瘤的诊断及外科手术方案的选择。实时三维超声心动图可直观立体地观察心脏解剖结构,精确测量房室腔容积等相关参数,了解心脏形态结构变化、血流动力学改变及心功能等情况,为心血管疾病诊断、治疗及疗效评价提供依据。三维超声可清晰显示胎儿肢体的缓慢活动及表情,对胎儿畸形的筛查和诊断敏感度和特异性较强。但三维超声在某些方面应用还具有一定局限性,如采集过程中常受呼吸运动、肋骨、胃肠气体等因素干扰而影响显示效果。与CT、MRI相比,超声三维图像缺乏更为精确的空间定位系统;此外三维超声成像软件相对较少,有待进一步研究与开发^[6-7]。

2.1.2 CT数据的三维重建 64排螺旋CT采集的数据既可作常规二维图像显示,也可进行后期处理,完成三维立体重建、多层面重建、器官表面重建等,并能实时或近于实时显示各层面结构,已成为临床不可或缺的检查方法之一。因其具有无创、低辐射、超快速、伪影少、高效精确等特点,在颅脑、口腔、心血管疾病诊断、急诊全身检查、肺部肿瘤早期确诊等方面具有优越性。刘英强等^[8]对33例经组织活检病理检查证实的胃癌患者行多排螺旋CT扫描,发现CT仿真胃镜和三维显像对胃癌术前分期及评估有较大的临床应用价值。符有文等^[9]报道,多排螺旋CT在双侧肾上腺肿瘤等疾病诊断中具有较高特异性。

CBCT是锥形束投照计算机重组断层影像设备,其原理是X线发生器以较低的射线量围绕投照体作环形数字式投照,然后将投照后“交集”中所获得的数据在计算机中重组进而获得三维图像。近年来,口腔专用CBCT得到较快发展和普及。与传统放射检查方式相比,CBCT具有分辨率高、辐射剂量小、投射时间短、空间定位准确等优点,在牙体牙髓病科、颌面外科、修复、正畸、种植等各领域应用广泛^[10]。微CT又称微型CT,是一种非破坏性三维成像技术,可在不破坏样本的情况下,了解样本内部显微结构。与普通CT相比,微CT分辨率高,可达微米级别,在多领域多学科中应用广泛。骨骼是微CT主要的应用领域之一,基于该技术骨骼精细结构的三维重建,骨内微血管造影,在很大程度上取代了破坏组织形态的计量学方法,对骨折、骨坏死、骨肿瘤诊断有重要价值。在口腔医学方面,微CT可生成高精度的全牙列数字化三维模型,便于测量和储存;在口腔修复领域,微CT在对指导完成瓷贴面、嵌体修复方面也有重要意义^[11-12]。

正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography CT, PET-CT)是PET和CT的组合物,由一个工作站控制。PET提供病灶详尽的功能与代

谢等信息,而CT提供病灶的精确解剖定位,一次显像可获得全身各方位的断层图像,具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点。PET-CT技术的核心是图像融合。图像融合处理系统利用各自成像方式特点对PET和CT图像进行空间配准与结合,利用计算机图像融合软件进行二维、三维的精确融合,融合后的图像同时显示出人体解剖结构和器官的代谢活动。临床主要应用于肿瘤、脑和心脏等重大疾病的早期发现和诊断,但因其价格昂贵,技术复杂等因素限制其广泛应用^[13-14]。

2.1.3 MRI三维重建 MRI有高于CT数倍的软组织分辨能力,并可随意作多方向切层,具有多方位成像、无骨性伪影、无电离辐射等优势。对中枢神经系统、关节和肌肉的检查优于其他影像学检查方法。

近年MRI血管成像技术发展迅速,衍生出许多可供选择的新技术,如MRI血管成像、功能MRI、弥散成像技术、灌注成像技术、实时内窥镜技术等。这一系列技术分别在心血管疾病无创性诊断,脑组织功能性检查,胃肠、胰腺疾病检查,肺部肿瘤诊断,引导介入治疗等方面具有独特优势。MRI血管造影以其无创性和图像的直观清晰性受到临床研究者的重视,对原发性面肌痉挛、三叉神经痛临床诊断及宫颈癌放疗疗效评估有重要意义^[15-16]。近年来,三维可视化操作的应用进一步提高了MRI评估乳房肿块的准确性,不仅可用于良、恶性肿块的鉴别、肿瘤大小和部位的确定、肿瘤分期;还可用于乳腺癌的治疗,包括乳腺癌辅助化疗疗效的评估、辅助手术方案的制订;通过MRI数据三维重建还可辅助自体组织乳房再造的术前设计,测量乳房和肿瘤体积,评估此技术在保乳手术中的应用价值^[17]。

以上医学影像三维重建诊断方法有各自的适用范围和优缺点,为提高诊断的敏感性和准确性,可根据不同的疾病选择最佳三维重建方法,还可结合2种或2种以上影像学三维重建方法取长补短。将三维增强磁共振血管造影、超声造影相结合,可从多侧面多方位了解颈动脉狭窄情况,基本替代有创性数字减影血管造影检查,明确诊断颅外段颈动脉狭窄。

2.2 组织学切片的三维重建 生物体连续切片的三维重建是一种先进的形态学研究方法,其原理是用一系列平行平面去切割三维物体,得到相同间距的二维截面图像数据,再使用计算机图像处理技术将各个截面内的信息连接起来,从而得到物体的三维立体图像。连续组织学切片的三维重建具有清晰、精确、成本低等优点,理论上可重建任何生物结构,为研究提供大量的三维信息和数据。使用连续断层解剖法,利用硬组织切片机、数码相机和三维软件对牙体进行三维重建,为牙体结构数据库的建立提供一种新的方法。尽管组织

学切片的三维重建方法存在参照点确定困难、对切片质量和连续性要求高、后期重建过程复杂、费工费时等局限性,但随着计算机技术的发展和切片技术的完善,连续切片计算机三维重建必将成为多领域的重要研究方法^[18]。

2.3 电镜三维重建技术 电镜三维重建技术是电子显微镜、电子衍射与计算机图像处理相结合而形成的具有重要应用前景的一门新技术。其基本步骤是对生物样品在电镜中不同倾角下进行拍照,得到一系列电镜图片后再经变换处理,从而展现出生物大分子及其复合物三维结构的电子密度图。该技术有利于深入了解生物材料尤其是细胞成分的空间相对位置和生物大分子空间结构及其功能关系,对于分析难以形成三维晶体结构的膜蛋白以及病毒和蛋白质-核酸复合物等大复合体的三维结构,具有重要意义。电镜三维重建技术正在逐渐与数学和物理学有关领域结合起来,从而给生物科学工作者提供更多定量信息^[19]。

3 三维重建技术在教学方面的应用

随着三维重建系统与软件的市场化,三维重建技术已引领数字化教学模式,推动医学教学的改革与发展。多媒体技术可通过三维教学资料,将医学平面图像变成生动具体的数字化立体结构,具有直观、形象、便于储存传播等优点,避免教学中枯燥描述各解剖结构的空位位置。基于 Web 的医学三维人体模型网页,相当于虚拟人体解剖学标本,可从电脑中近距离观察人体结构的三维形态和空间毗邻关系,增加学习的生动性和趣味性,提高学生掌握程度,加强其理解水平。三维可视化教学使外科手术模拟成为可能,学生可以模拟临床手术练习,增加更多提高临床实践能力的机会。三维可视化在教学方面的推广,解决了教学标本病例模型短缺、教学资源缩减等问题,可提升教学质量^[20]。

4 结 语

随着计算机科学技术的发展,临床医学图像获取技术的提高,生物医学图像三维重建各种结构使其空间毗邻及定位更加准确,并逐渐从定性研究向定量研究方向发展,在现代临床医学中发挥着越来越重要的作用。多种断层影像三维重建技术、多学科领域技术联合应用将成为未来医学诊断的趋势。此外,未来医学教学将向全面数字化趋势发展,计算机三维重建技术辅助教学将有更大的发展空间。随着三维重建技术在医学教学和研究方面更加成熟的发展和运用,三维重建技术将为医学的发展带来进一步革新。

参考文献

[1] Rodriguez JA, Xu R, Chen CC, et al. Three-dimensional

coherent X-ray diffractive imaging of whole frozen-hydrated cells [J]. IUCrJ, 2015, 2(Pt 5): 575-583.

- [2] Yang B, Fang SB, Li CS, et al. Digital three-dimensional model of lumbar region 4-5 and its adjacent structures based on a virtual Chinese human[J]. Orthop Surg, 2013, 5(2): 130-134.
- [3] 张笑春,王健,周代全,等. 切面解剖学知识在心脏 MRI 扫描和 CT 三维重建教学中的应用[J]. 局解手术学杂志, 2013, 22(1): 106.
- [4] 张立云,王娟,刘永明,等. CT 三维重建及计算机测量技术在寰椎椎弓根置钉术中的应用[J]. 现代诊断与治疗, 2015, 26(12): 2648-2649.
- [5] 谭迎杰,颜剑豪. 16 层螺旋 CT 三维重建技术对上颌骨折诊断价值[J]. 中国医药科学, 2015, 5(15): 186-188.
- [6] 王彦冬,经翔,丁建民,等. 动态三维超声造影评价肝癌血流分布的应用研究[J]. 中国超声医学杂志, 2013, 29(10): 910-913.
- [7] 李淑萍,陈玲,安睿,等. 实时三维超声在胎儿畸形筛查和诊断中的临床应用价值[J]. 临床荟萃, 2012, 27(10): 858-860.
- [8] 刘英强,姬社青,龚建平,等. 多层螺旋 CT 在胃癌术前分期及评估中的应用价值[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2010, 24(4): 364-367.
- [9] 符有文,黄泽光,林民辉,等. 多层螺旋 CT 诊断双侧肾上腺肿瘤价值[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2011, 25(1): 69-70.
- [10] 杨臣杰,钱玉芬,陈振琦. 锥形束 CT 在口腔领域的应用[J]. 现代口腔医学杂志, 2010, 24(3): 224-227.
- [11] Pimenta MA, Frasca LC, Lopes R, et al. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic and metallic crown copings using X-ray microtomography (micro-CT) technology [J]. J Prosthet Dent, 2015, 114(2): 223-228.
- [12] Cho J, Park CS, Kim YJ, et al. Clinical application of solid model based on trabecular tibia bone CT images created by 3D printer[J]. Healthc Inform Res, 2015, 21(3): 201-205.
- [13] Lo RC, Huang WL, Hsiao YL. Performance evaluation of the section of 3D reconstruction based on different PET/CT image fusion sequence[J]. Technol Health Care, 2015, 24(1): 357-367.
- [14] Cheirsilp R, Bascom R, Allen TW, et al. Thoracic cavity definition for 3D PET/CT analysis and visualization [J]. Comput Biol Med, 2015, 62: 222-238.
- [15] 袁晓毅,季鹏,周正扬. MRTA 诊断原发性面肌痉挛的临床价值[J]. 中国实用精神疾病杂志, 2013, 16(6): 12-14.
- [16] 鲁雪红,王健,刘文亚,等. 磁共振扩散加权成像技术预测及评估宫颈癌放疗疗效价值[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2013, 27(4): 358-360.
- [17] 龙莉艳,张桂云,张磊. 乳腺癌的 MRI 应用研究文献的计量分析[J]. 中国医学影像学杂志, 2012, 20(12): 940-947.
- [18] 陈文霞,傅翔. 牙体三维重建的研究[J]. 广西医科大学学报, 2010, 27(2): 256-257.
- [19] 王琦琦,朱福运,孙明竹,等. 基于单幅扫描电镜图像的三维重建技术[J]. 纳米技术与精密工程, 2013, 11(6): 541-545.
- [20] 梁少华,刘洪付,王利民,等. 三维重建在口腔解剖生理学教学中的应用[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(23): 4542-4544.

收稿日期:2016-01-23 修回日期:2016-04-11 本文编辑:徐小红