

·述评·

3D 打印技术在儿童脊柱外科的应用与展望

张学军

3D 打印技术出现于 20 世纪 80 年代,是一种快速成形技术(rapid prototyping),它是一种新型的增材制造技术。医学领域中可通过 CT、MRI 扫描得到数据,以物体的三维数字模型为基础,在计算机控制下通过塑料或金属粉末等可黏性材料以分层加工、逐层叠加的方式制造物体。3D 打印模型可使医生更加立体、直观、准确地发现传统影像学资料隐藏的信息,进行精确诊断和制定个体化的治疗方案,可模拟手术操作,还可以根据患者病情需要设计、研制个性化器械,甚至打印人体组织、器官等,是实现各种骨科手术个体化、精确化的有效手段。近年来在骨科领域,3D 打印技术的应用越来越普遍^[1-5],本文就 3D 打印技术在儿童脊柱外科的应用进行概述,并对其未来的发展提出展望。

一、可精确诊断脊柱疾病

脊柱的解剖结构复杂,又有神经、脊髓、大血管、重要脏器等组织结构毗邻,加之脱位、骨折、畸形、占位等因素对手术医生的临床经验和空间想象力提出很大挑战。面对复杂的脊柱疾病,特别是儿童先天性脊柱畸形,由于传统影像学检查无法让医生更直观、精确的了解其解剖位置关系,可能导致对疾病的认识不足,影响疾病的准确诊断,进而影响疾病的治疗及预后。3D 打印技术通过提取患者脊柱的 CT、MRI 资料信息可以重建脊柱的三维解剖结构,显著提高疾病的诊疗质量。与 X 线片、CT、MRI 等传统影像学资料相比,3D 打印实体模型可以提供更加立体、直观、详细、现实的解剖学信息^[6],可以帮助临床医生对手术部位毗邻组织和细节进行立体全面的了解,进而更加精确地诊断疾病^[7],如复杂脊柱骨折的分型、脊柱侧弯畸形的分型、脊柱肿瘤的鉴别等^[8-9],减少复杂疾病的漏诊和误诊^[6]。

二、可用于制定手术计划及模拟手术操作

对于复杂脊柱畸形患儿,3D 打印模型可以清晰

显示脊柱的畸形情况,术者可以通过三维模型选择手术路径,确定钉道深度和角度,划定截骨范围,模拟截骨、固定、融合等手术操作,并可就术中应避开的神经、脊髓、人体组织、血管等复杂情况提前进行演练,保护神经、脊髓、血管等重要组织,避免和减少术中术后并发症。

传统术前截骨计划大多是通过术前影像学资料评估分析来实现的,而畸形的脊柱本身解剖结构复杂,存在一定的个体差异,常涉及多种解剖结构的变异,如椎体旋转、脊柱侧弯、椎弓根缺如、脊髓纵裂、脊柱后凸、甚至椎体分节不良等畸形^[10]。脊柱又毗邻脊髓神经等重要组织结构,术者很难获得术区直观的三维解剖信息,以致截骨线的设计精确性较低。3D 打印技术可以重现脊柱病变区的解剖结构,从而为截骨线的设计提供立体、直观、感性的实物模型,帮助医生设计更加科学严谨的截骨线^[11]。

我院自 2012 年开始使用 3D 打印模型辅助手术,并对 22 例颈椎畸形伴上颈椎不稳患儿使用个体化颈椎 3D 打印模型,通过模拟置钉和内固定手术,进行一期后路矫形及内固定手术治疗,所有手术病例均未出现神经血管损伤和内固定松动断裂,提高了置钉成功率,有利于保护椎动脉,提高了手术安全性^[12]。Guarino 等^[13]运用 3D 打印技术治疗 10 例小儿脊柱侧凸,结果表明该技术可提高椎弓根螺钉置入准确率,减少术后并发症,并缩短手术时间。

三、可制定个体化定位导航模板

椎弓根螺钉是目前治疗脊柱疾病的主要内固定方法之一,具有维持脊柱三柱稳定的生物力学优势。椎弓根毗邻血管、脊髓、神经根等重要结构,螺钉误置可能造成大出血、瘫痪,甚至危及生命。对于严重脊柱畸形、寰枢椎损伤、脊柱骨折、肿瘤等疾病,椎弓根变异较大,缺乏明确固定的解剖标志给置钉带来很大风险。传统徒手置钉方法对术者手术操作技术要求很高,且存在穿透椎弓根、钉道偏离、副损伤风险高、需多次透视等不足之处。个体化定位导向模板是新兴的个体化辅助置钉工具,在

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.001

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC1000806)

作者单位:首都医科大学附属北京儿童医院(北京市,100045),

Email:zhang-x-j04@163.com

脊柱外科的应用已经由实验阶段逐渐进入临床阶段^[14]。可以借助3D打印技术在三维模型上规划出椎弓根的最佳进针点、进针深度和进针方向,同时建立与脊柱解剖形态相匹配的反向模板,最后将最佳进针通道与反向模板相结合,即可制定出个体化定位导向模板。该导向模板可与脊柱表面完全贴合,螺钉的大小、进钉角度、植入深度得到科学计算,有效避免对重要神经和血管的损伤^[15-21]。

四、可打印个体化内植物

目前骨科临床工作中,标准内植物能够满足大多数患者的需求,但特殊情况下,对于解剖变异或个体差异及部分肿瘤患者,标准的内植物不能与患者个体解剖形态良好匹配,内植物与机体骨骼表面贴合度差,不能有效分散应力,甚至会引起固定物应力集中,影响固定的安全性、有效性及术后融合效果。运用3D打印技术打印个体化内置物已逐渐进入临床应用阶段^[22]。根据患者自身特点和实际需要定制个体化、符合生物力学及解剖特性、适宜骨长入的内植物是亟待解决的问题。3D打印内植人物较传统植入物的最大优势是真正做到“量体裁衣”,术中不需要再次裁剪,具有良好的解剖形态匹配,并且能够打印出与植入物一体的仿生骨小梁微孔结构,从而有利于骨长入,实现真正意义的精准化和个体化治疗。

五、可打印个体化支具

3D打印技术可以根据患者对支具需求,联合生物力学分析,制定出舒适且适合患者的个体化支具。舒适的支具对患者的日常生活和康复锻炼是必不可少的,它可以改善患者的步行能力、生活能力,并对心理负担的缓解有一定帮助,可更好的帮助患者康复。3D打印支具的优点包括:①材料选择的多样性:可以根据不同的治疗目的及患者的要求选择不同的制作材料。②制作更加简便、快速,易成型。③耗时和耗材少,并具有节能环保的优势。④符合人体工学特点,美观、轻便、舒适合体、透气性好,与人体皮肤贴合好,可提高患者依从性,利于支撑保护和功能锻炼。⑤便于医生观察,方便换药,减少松动移位、压疮等并发症。⑥可以个体化定制。有研究表明个体化截瘫支具对患者的日常生活活动能力及步行能力的改善有重要意义^[23]。青少年特发性脊柱侧凸是脊柱侧凸的最常见类型,佩戴矫形支具是治疗该疾病最主要的非手术方法^[24]。患者对传统的石膏外固定或其它材料支具体验较差,影响不固定部位以外肢体的正常运动功

能,不易被患者接受。Visser等^[25]和Desbiens-Blais等^[26]利用三维有限元模型和生物力学仿真模拟制作个体化矫形支具,取得了满意的治疗效果。

六、在骨组织工程中的应用

组织工程学的目的是在体内或体外生成可替代性的组织或器官,以修复受损害的组织、器官的功能。在骨组织工程方面,3D打印技术由于材料选择的多样性,主要用于制作结构复杂的骨组织工程支架^[27],甚至打印人工骨骼、椎体^[28]。3D打印技术可以根据需要设定特定的孔隙率、交联,建立可控的适于细胞生长、增殖和分化的组织工程支架结构,为细胞提供赖以生存的支架或基质,将不同功能类型细胞堆积在指定位置,产生生物因子控制生物行为。目前,生物3D打印还处于研究的初级阶段,真正应用于临床还有很长的路要走,随着3D生物打印、生物组织培养技术和骨组织工程的发展,复杂组织器官的个体化定制成为可能,全球生物3D打印的研究与实验表明,其在骨组织工程领域具有广阔前景。

七、其他应用

3D打印技术还可用于辅助教学和协助医患沟通。脊柱外科疾病有特殊的发病机制,结构、部位,概念相对抽象,病因复杂,学生不易理解;涉及骨科生物力学、解剖学等学科内容广泛,学生掌握较难。3D打印技术借助患者的影像学数据资料制作1:1等比例个体化脊柱模型,可清晰准确显示脊柱的病变特点和形态。与传统教学中单纯平面结构图相比,3D打印实物模型具有真实、立体、生动、直观、感性的解剖学特点,可以将原本难以理解的具有复杂解剖特点的脊柱外科相关疾病,形象、立体、直观地呈现在学生面前,使学生对脊柱的立体结构、疾病分型、病理及治疗方法的理解更加容易^[29]。此外,该技术也能帮助年轻医生更好、更快地理解复杂脊柱结构,牢记手术步骤和技巧,增加在实际手术中的自信,缩短学习曲线^[30]。

在医生与患者及家属的交流过程中,可借助患者本人的解剖模型,向患者和家属讲解手术过程,指出关键的区域及解剖特点,交代手术风险及术后并发症,增加患者及家属对所患疾病的理解和认识,有利于患者及家属充分了解病情、治疗方案和手术过程,消除疑虑,有效提高医患沟通效果。尤其在手术难度较大的儿童先天性脊柱畸形、侧弯、后凸、脊柱不稳、脱位及复杂上颈椎疾病中使用3D打印模型,可以增进与患者及家属的有效沟通,有

助于复杂病情的判断分析,提高手术的安全性和治疗效果。

八、存在问题

虽然各国学者对3D打印技术做了大量研究,其临床使用也越来越普遍,但此技术仍有较大的提升空间,当前阶段还面临以下问题:①打印材料选择性少,医用3D打印技术对材料要求高,需具备适宜的力学特性和良好的生物相容性,目前临床应用的医用3D打印材料有钛合金、生物陶瓷、高分子材料、尼龙等,种类少且严重依赖于进口,生物3D打印还处于实验研究阶段;②价格昂贵,3D打印设备、材料、人员培训成本高,虽然此技术目前应用广泛,3D打印机售价不断下降,但用于临床的高分辨率仪器价格仍然较高,整个工艺流程的成本居高不下,且大多数医院未将其纳入医疗服务收费目录和医疗保险范围;③作为一种新兴技术,国家相关部门政策法规和技术标准相对滞后,同时,此技术目前仅在具备相应条件的大医院小范围开展,缺乏大规模临床资料对3D打印内植物的长期安全性和有效性进行评价,限制了其临床应用;④3D打印模型建立在患者自身CT、MRI等影像学资料基础上,还需经过建模、软件设计、打印等,流程复杂,耗时较久,无法用于急诊手术;⑤专业性人才缺乏;⑥无法打印具备神经、血管、淋巴的复杂模型。针对上述问题,需要工程师、临床医生、生产企业和政府相关部门共同合作,攻克技术难题,加快打印材料的研发和临床试验,需要通过举办培训班提高医生的专业水平,建议国家相关部门建立3D打印技术应用试点,制定相关政策法规和指导原则,从而促进3D打印技术的推广和应用,造福更多的患者。

随着医学影像学、生物材料学、组织细胞培养技术的发展以及人体工程学、生物力学的引入,相信3D打印技术也将不断进步,在儿童脊柱外科的应用也将越来越广泛。

参考文献

- 付军,郭征,王臻,等.多种3-D打印手术导板在骨肿瘤切除重建手术中的应用[J].中国修复重建外科杂志,2014,28(3):304-308. DOI:10.7507/1002-1892.20140069.
- Fu J, Guo Z, Wang Z, et al. Use of four kinds of three-dimensional printing guide plate in bone tumor resection and reconstruction operation[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2014, 28(3): 304-308. DOI: 10.7507/1002-1892.20140069.
- Shu DL, Liu XZ, Guo B, et al. Accuracy of using computer-aided rapid prototyping templates for mandible reconstruction with an iliac crest graft[J]. World J Surg Oncol, 2014, 12: 190. DOI:10.1186/1477-7819-12-190.
- 彭峰.应用快速成型和激光近形制造技术制作磨牙全冠的实验探究与分析[J].海南医学院学报,2013,19(5):693-695.
- Peng F. Rapid prototyping and laser near-shape manufacturing technology in establishment of molar full crown[J]. Journal of Hainan Medical College, 2013, 19(5): 693-695.
- Tricot M, Duy KT, Docquier PL. 3D-corrective osteotomy using surgical guides for posttraumatic distal humeral deformity[J]. Acta Orthop Belg, 2012, 78(4): 538-542.
- Pang L, Hao W, Jiang M, et al. Bony defect repair in rabbit using hybrid rapid prototyping polylactic-co-glycolic acid/beta-tricalciumphosphate collagen I/apatite scaffold and bone marrow mesenchymal stem cells[J]. Indian J Orthop, 2013, 47(4): 388-394. DOI:10.4103/0019-5413.114927.
- Singh H, Shimajima M, Shiratori T, et al. Application of 3D Printing Technology in Increasing the Diagnostic Performance of Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) for Infectious Diseases[J]. Sensors (Basel), 2015, 15(7): 16503-16515. DOI:10.3390/s150716503.
- D'Urso PS, Barker TM, Earwaker WJ, et al. Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: a prospective trial[J]. J Craniomaxillofac Surg, 1999, 27(1): 30-37.
- Cartiaux O, Paul L, Francq BG, et al. Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery[J]. Ann Biomed Eng, 2014, 42(1): 205-213. DOI:10.1007/s13246-015-0330-0.
- Faur C, Crainic N, Sticlaru C, et al. Rapid prototyping technique in the preoperative planning for total hip arthroplasty with custom femoral components[J]. Wien Klin Wochenschr, 2013, 125(5-6): 144-149. DOI: 10.1007/s00508-013-0335-1.
- Duart CJ, Llombart BR, Beguiristain GJL. Morphological changes in scoliosis during growth. Study in the human spine[J]. Rev Esp Cir Ortop Traumatol, 2012, 56(6): 432-438. DOI:10.1016/j.recot.2012.07.008.
- Levine JP, Patel A, Saadeh PB, et al. Computer-aided design and manufacturing in craniomaxillofacial surgery: the new state of the art[J]. J Craniofac Surg, 2012, 23(1): 288-293. DOI:10.1097/SCS.0b013e318241ba92.
- 李浩,李承鑫,张学军,等.3D打印模型辅助后路内固定治疗儿童颈椎畸形[J].中华小儿外科杂志,2015,36(3):192-196. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2015.03.008.
- Li H, Li CX, Zhang XJ, et al. Individualized 3-dimensional

- printing model-assisted posterior screw fixation in the treatment of cervical deformity of children[J]. Chin J Pediatr Surg, 2015, 36(3): 192-196. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2015. 03. 008.
- 13 Guarino J, Tennyson S, McCain G, et al. Rapid prototyping technology for surgeries of the pediatric spine and pelvis[J]. J PediatrOrthop, 2007, 27(8): 955-960. DOI: 10. 1097/bpo. 0b013e3181594ced.
 - 14 鲍立杰, 张志平, 吴培斌. 3D 打印技术在骨科的研究及应用进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(4): 325-327. DOI: 10. 3977/j. issn. 1005-8478.
Bao LJ, Zhang ZP, Wu PB. Application and development of 3D printing in orthopaedic[J]. Orthopedic Journal of China, 2015, 23(4): 325-327. DOI: 10. 3977/j. issn. 1005-8478.
 - 15 陈宣煌, 张国栋, 吴长福, 等. 基于3D打印齿状突空心钉置入的数字化导航[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(35): 5697-5704. DOI: 10. 3969/j. issn. 2095-4344. 2015. 35. 023.
Chen XH, Zhang GD, Wu CF, et al. Odontoid cannulated screw fixation using digital navigation based on three-dimensional printing technique[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2015, 19(35): 5697-5704. DOI: 10. 3969/j. issn. 2095-4344. 2015. 35. 023.
 - 16 胡勇, 袁振山, 董伟鑫, 等. 数字化导向模板技术辅助置钉治疗寰枢椎不稳的临床应用[J]. 中华创伤杂志, 2014, 30(8): 768-773. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2014. 08. 005.
Hu Y, Yuan ZS, Dong WX, et al. Clinical application of digital drill template-assisted screw placement for atlantoaxial instability[J]. Chinese Journal of Trauma, 2014, 30(8): 768-773. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-8050. 2014. 08. 005.
 - 17 Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M. Safe and accurate mid-cervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system[J]. Spine, 2015, 40(6): E341-348. DOI: 10. 1097/BRS. 0000000000000772.
 - 18 陈玉兵, 陆声, 徐永清. 个体化导航模板在胸椎椎弓根螺钉置入中的初步临床应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(8): 669-674. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-406X. 2011. 08. 10. Chen Yubing,
Chen YB, Lu S, Xu YQ. Primary clinical application of patient-specific navigational template for the thoracic pedicle screw placement[J]. Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2011, 21(8): 669-674. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-406X. 2011. 08. 10.
 - 19 陈宣煌, 许卫红, 黄文华, 等. 基于3D打印的腰椎椎弓根螺钉数字化置入及临床应用[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(17): 2752-2757. DOI: 10. 3969/j. issn. 2095-4344. 2015. 17. 023.
 - 20 Merc M, Drslvensek I, Vogrin M, et al. A multi-level rapid prototyping drill guidetemplate reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2013, 133(7): 893-899. DOI: 10. 1007/s00402-013-1755-0.
 - 21 穆卫庐, 常军英, 贾东昭, 等. 3D打印手术导板引导骶髂螺钉置入的手术技术介绍[J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(7): 767-773. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-2352. 2015. 07. 012.
Mu WL, Chang JY, Jia DZ, et al. Surgical technique of ilio-sacral screws placement guided by 3D printing template in sacral fractures[J]. Chinese Journal of Orthopaedics, 2015, 35(7): 767-773. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-2352. 2015. 07. 012.
 - 22 王富友, 任翔, 杨柳. 3-D打印技术在关节外科的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2014, 28(3): 272-275. DOI: 10. 7507/1002-1892. 20140062.
Wang FY, Ren X, Yang L. Research progress of three-dimensional printing technique in joint surgery[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2014, 28(3): 272-275. DOI: 10. 7507/1002-1892. 20140062.
 - 23 冯珍, 杨初燕, 吴磊, 等. 个体化截瘫行走支具对脊髓损伤患者功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(9): 854-857. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2010. 09. 009.
Feng Z, Yang CY, Wu L, et al. The impact of individualized paraplegia orthosis on the function of Spinal cord injury patients[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2010, 25(9): 854-857. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2010. 09. 009.
 - 24 Fortin D, Cheriet F, Beauséjour M, et al. A 3D visualization tool for the design and customization of spinal braces[J]. Comput Med Imaging Graph, 2007, 31(8): 614-624.
 - 25 Visser D, Xue D, Ronsky JL, et al. Computer-aided optimal design of custom scoliosis braces considering clinical and patient evaluations[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2012, 107(3): 478-489. DOI: 10. 1016/j. compb. 2010. 12. 017.
 - 26 Desbiens-Blais F, Clin J, Parent S, et al. New brace design combining CAD/CAM and biomechanical simulation for the treatment of adolescent idiopathic scoliosis(下转第268页)