

· 综述 ·

3D 打印技术在脊柱外科应用现状与未来[△]

张存鑫^{1,2}, 王德春¹, 吕超亮^{2*}

(1. 山东大学附属青岛市立医院脊柱外科, 山东青岛 266071; 2. 济宁市第一人民医院脊柱外科, 山东济宁 272000)

摘要: 随着医学 3D 打印技术的发展, 其在精准化、个性化医疗中显示出巨大优势, 有效推动了医学的发展。尤其在脊柱外科领域, 3D 打印技术在个性化内置物设计及制作、手术辅助导板、手术规划、体外矫形、教学培训、医患沟通和生物材料等方面均表现出广阔的应用前景。本文拟对近年来 3D 打印技术在脊柱外科领域中的应用现状进行综述, 为脊柱外科疾病治疗方案的精准性和个性化提供参考。

关键词: 脊柱外科, 3D 打印技术, 3D 打印内置物, 手术规划

中图分类号: R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 05-0448-06

Current status and future of 3D printing technology used in spinal surgery // ZHANG Cun-xin^{1,2}, WANG De-chun¹, LÜ Chao-liang². 1. Department of Spinal Surgery, Qingdao Municipal Hospital, Shandong University, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Department of Spine Surgery, The First People's Hospital of Jining City, Jining, Shandong 272000, China

Abstract: With the development of medical 3D printing technology, it has shown great advantages in precision and personalized medicine, effectively promoting the development of medicine. Especially in the field of spine surgery, 3D printing technology has shown broad application prospects in the design and manufacture of personalized implants, surgical auxiliary guides, surgical planning, extracorporeal orthotics, teaching and training, doctor-patient communication and biomaterials. This paper intends to review the application status of 3D printing technology in the field of spinal surgery in recent years, so as to provide reference for the accuracy and individualization of spinal surgery.

Key words: spine surgery, 3D printing technology, 3D printing implant, surgical planning

3D 打印技术是一种快速成型技术, 与传统打印机工作原理类似, 将打印材料按照图纸一层一层地打印叠加起来, 最终将图纸变成实物。由于其具有快速、高效、低成本、可满足个性化定制等优点, 目前已经广泛应用于工业设计、航空航天、医疗产业、学习教育、生物科技等领域。在医学领域中, 3D 打印的肝脏、颅骨、人工椎体、血管、生物工程脊髓、心脏组织等相继问世, 在精准化、个性化医疗中显示出巨大优势, 推动了医学的发展。在脊柱外科领域, 虽然 3D 打印技术目前仍处于起步阶段, 但具有广阔的应用前景。本文对 3D 打印技术在脊柱外科领域的应用现状进行综述, 旨在对脊柱外科疾病治疗方案的精准性和个性化提供参考。

1 3D 打印内置物在椎体融合中的应用

1.1 3D 打印人工椎体 (3D printed artificial vertebral body, 3DP-AVB)

脊柱肿瘤等疾病常需切除病椎以控制疾病, 虽然脊椎整块切除术 (total en bloc spondylectomy, TES) 有效提高了此类疾病的治疗效果, 但也破坏了脊柱的稳定结构, 重建脊柱稳定在 TES 中必不可少。目前常用的椎体替代物为钛网 (titanium mesh cage, TMC)、人工椎体 (artificial vertebral body, AVB)、异体或自体骨等。TMC 虽然可以提供较好的支撑力, 但 TMC 与椎体的接触属于点对面的接触, 容易导致局部应力集中, 发生 TMC 下沉、松动、椎板塌陷乃至脊柱畸形^[1]。AVB 虽然解决了 TMC 应力集中的问题, 但形状和尺寸单一, 无法满足患者个性化的需求, 特别在上颈椎和骶椎等特殊部位的 TES 中。然而, 3DP-AVB 可以满足患者个性化需求、实现内置物与骨缺

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100827

[△]基金项目: 山东省中医药科技项目 (编号: Q-2022025); 山东省医务系统职工科技创新计划项目 (编号: SDYWZGKCJHLH2023070)

作者简介: 张存鑫, 主治医师, 研究方向: 脊柱外科, (电子信箱) zhangcunxin2015@163.com

* 通信作者: 吕超亮, (电子信箱) lvchaoliangk@163.com

损的“无缝”拼接。

Yang等^[2]报道了1例颈胸脊索瘤患者,采用C₂到T₂的椎体螺钉将定制的3DP-AVB根据解剖安装在骨缺损处,不仅在难以实现椎体融合的脊柱节段进行融合,而且提供了出色的早期稳定性。Fang等^[3]对比分析了3DP-AVB和TMC在单节段颈前路椎体切除融合术(anterior cervical corpectomy and fusion, ACCF)中的应用效果,虽然两组患者疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分、颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI)均有改善,但3DP-AVB下沉率明显低于TMC。Zhou等^[4]回顾性分析3DP-AVB和AVB在胸腰肿瘤TES中的应用,随访1年发现,3DP-AVB的下沉距离明显小于AVB。此外,该团队还研究了3DP-AVB在单节段ACCF治疗脊髓型颈椎病中的应用,结论与胸腰段一致^[5]。Dong等^[6]采用3DP-AVB和TMC治疗了28例Kümmell病患者,发现3DP-AVB可显著减少术中失血量和手术时间,且在术后6个月时,假体下沉风险也较低。作者收治了1例食管癌脊柱转移的患者,由于肿瘤侵蚀导致T₈椎体塌陷、椎管狭窄并胸髓损伤。作者采用TES切除T₇、T₈、T₉椎体后置入3DP-AVB,术后取得了很好的临床疗效。

3DP-AVB与患者骨缺损的“无缝”拼接,不仅体现在尺寸方面;在打印材料方面,其诱导成骨、组织相容性等性质也表现出卓越的性能。3D打印可以精细控制3DP-AVB材料的机械和生物特性,以优化成骨细胞粘附、增殖和材料的降解。研究表明,以磷酸钙和羟基磷灰石作为材料的3DP-AVB表现出良好的骨诱导特性^[7]。Putra等^[8]将铁、锰、镁与羟丙基甲基纤维素混合,获得了一种新型可打印材料,即FeMn-akermanite。基于FeMn-akermanite的3D打印复合支架具有较好的生物降解性、非常低的饱和磁化强度和磁化率,具有良好的MRI相容性及足够的机械性能,可提供成骨细胞的粘附、增殖和成骨分化的功能环境。这些有利特性的综合效应使FeMn-akermanite成为良好的骨组织替代品。此外,金属/金属氧化物、海藻酸盐基生物材料、纳米乳化桉树提取物等3D打印材料还表现出良好的抗菌活性,有效减少了内植骨引起的感染^[9-11]。

3DP-AVB在满足患者个性化的假体外形及尺寸要求的同时,还可以显著降低假体下沉、松动、脱落及塌陷等并发症发生率,缩短手术时间,降低手术风险,提高椎间植骨融合率。在TES中,特别是在上

颈椎、骶椎等复杂解剖部位的TES中具有重要的价值,是TMC、骨块等材料的有效替代品。

1.2 3D打印椎间融合器(3D printed cage, 3DP-C)

椎间盘切除后需要植入新的Cage或自体/异体骨等,以维持正常的椎间高度及脊柱稳定性。自体骨是脊柱融合术中骨移植物的金标准,但存在供区疼痛、瘢痕、感染和血肿等并发症^[12, 13]。目前最为常用的Cage材料是聚醚醚酮(polyetheretherketone, PEEK),虽然PEEK机械强度高、射线穿透性好,但不能与椎体发生骨性融合,也不能被人体吸收。所以PEEK材质Cage发生松动、移位、塌陷等并发症并不少见。3DP-C不仅具有足够的强度,而且其多孔的设计,可以促进成骨细胞向其内部爬伸、长入,实现与椎体的完全融合。

Alan等^[14]采用3DP-C融合了97个腰椎节段,随访18个月后,仅1例患者(1.8%)因Cage下沉需要再次手术,下沉率远低于PEEK材质。Wang等回顾性分析了30例采用3DP-C行颈椎前路ACDF的患者,平均随访6个月,未发现3DP-C下沉^[15]。

3DP-C的材料除金属材质(如不锈钢、钛合金、钴合金、多孔钽、镁合金等)外^[16],还有氮化硅陶瓷、聚乳酸/β-磷酸钙、羟基磷灰石/聚乳酸、阿克曼石陶瓷等非金属材料^[17]。多种外形设计(多孔实体型、多孔框架型、全多孔型等)不仅能够增加与椎体的接触面积,而且多孔的设计有利于成骨细胞的长入。涂层技术的应用,进一步提升了3DP-C的融合效率。3DP-C根据患者CT扫描数据量身打造,虽然与常规Cage短期内临床效果相当,但远期效果明显优于后者,在脊柱融合术中具有较大的发展潜力和应用价值。

2 3D打印辅助导板(3D printed guides, 3DP-G)在辅助置钉中的应用

2.1 在开放手术中的应用

徒手置钉容易发生置钉错位、置钉无效、损伤神经、血管等并发症。研究表明,颈椎徒手置钉的错误率为10%~40%^[18]。虽然术中CT导航、机器人(机械臂)等有效提高了置钉的准确率,但其高昂的成本也限制了它们的应用。Sallent等^[19]在尸体标本上使用3DP-G置入颈椎椎弓根螺钉获得了极大的成功,推动了3DP-G在临床上的使用。Pijpker等^[20]采用3DP-G完成76例颈椎或胸椎后路手术,未见螺钉错位、神经血管损伤、小关节损伤或椎弓根壁损伤。李超等^[21]在寰枢或颈枕融合固定术中采用3DP-G,显

著降低了置钉时间、术中失血量和透视次数，并显著提高了置钉准确率及优良率。本文作者采用 3DP-G 辅助置入寰枢椎螺钉，也获得了良好的效果。

2.2 在微创手术中的应用

3DP-G 在经皮置入椎弓根螺钉或建立 PKP/PVP 工作通道中也有广泛应用。Zhang 等^[22]研究发现，采用 3DP-G 经皮置钉比传统徒手置钉可显著提高准确率，缩短手术时间，减少透视次数，并获得较低的 VAS 和 ODI 评分。Hu 等^[23]对比分析了 3DP-G 辅助建立 PKP 工作通道和常规 C 形臂 X 线机透视引导下徒手建立 PKP 工作通道治疗 36 例单节段骨质疏松性椎体压缩性骨折的患者，虽然术后所有患者均未出现症状性并发症，但 3DP-G 可最大限度地减少透视次数和透视剂量，缩短手术时间，是一种更为精准可行的手术方法。

2.3 在矫形手术中的应用

脊柱畸形患者除了存在矢状位和冠状位失衡外，还常伴有椎体旋转、发育不良、畸形等，这些因素大大增加了徒手置钉的难度^[24]。3DP-G 的设计和使用，巧妙解决了上述难题。Garg 等^[25]对比分析了 3DP-G 与徒手置钉在复杂脊柱畸形手术中的应用。虽然两组患者均无显著的螺钉错位，但在完美置钉方面存在显著差异，且 3DP-G 组手术时间、失血量、透视次数显著减少。Vissarionov 等^[26]对比分析了 37 例先天性脊柱侧弯患儿行手术矫正的置钉结果，其中 10 例采用徒手置钉，27 例采用 3DP-G 辅助置钉。结果表明，使用 3DP-G 辅助置钉比徒手置钉更准确。因此，当无法获得术中 CT 导航或机器人系统时，3DP-G 为脊柱矫形手术的准确置钉提供了一种有效的替代方案^[27]。

3 3D 打印技术在手术规划中应用

对于复杂的脊柱外科手术，单纯二维的影像资料往往不能全面、真实地反应患者脊柱真实情况。3D 打印技术不仅能够使二维的影像资料“看得见、摸得着”，而且借助 3D 打印软件可以在术前模拟手术过程，为复杂手术制定完善的术前规划。

Wang 等^[28]将有限元分析和 3D 打印模型应用于胸椎结核患者术前规划中。通过 3D 打印模型和术前手术模拟，增强了对患者病情的了解，并促进了针对患者的手术方案设计。Fayad 等^[29]治疗了 1 例存在严重脊柱失衡的患者。通过术前 CT 建立了脊柱 3D 打印模型，并根据分段几何为手术创建了 3D 虚拟计

划。在 3D 虚拟计划的辅助下，顺利进行了三级截骨术 (PSO)，重建了脊柱的平衡。Tu 等^[30]回顾性分析 24 例 (3D 打印组 11 例，常规组 13 例) 单个半椎体畸形的脊柱侧凸患者，所有患者均接受半椎体切除术和短节段固定。结果显示，3D 打印组的手术时间、失血量、输血量、螺钉置入时间及准确度、并发症发生率均显著优于对照组。Lador 等^[31]、Leary 等^[32]通过 3D 打印解剖模型在复杂脊柱肿瘤手术中的应用，也认为使用 3D 打印技术可以更好地进行术前计划，简化手术程序，并改善脊柱重建。

作者曾经诊治过 1 例患有强制性脊柱炎的“折叠人”患者，其 Cobb 角高达 150°。首先打印出患者的脊柱模型，确定截骨方案后，在 MIMICS 软件上进行手术模拟，确认截骨方案可行后，根据截骨需要设计螺钉置入的位置，并打印出 3DP-G 辅助置钉，最终使得该手术顺利实施。笔者的体会与赵永辉等^[33]一致，3DP-G 辅助强直性脊柱炎截骨矫形是一种安全可行且精确性较高的手术方法。

4 3D 打印支具 (3D printed braces, 3DP-B) 在脊柱侧弯中的应用

青少年特发性脊柱侧弯严重影响青少年的身心健康，虽然矫形手术可以在很大程度上纠正脊柱畸形，但是大多数患者并无手术指征。脊柱矫形支具的应用可有效预防并纠正脊柱侧弯。由于每个患儿的侧弯类型和角度存在差异，传统矫形支具并不能满足需求。3D 打印技术设计的矫形支具，满足了患者个性化的需求。Lin 等^[34]进行了一项前瞻性随机对照试验。将 30 例青少年特发性脊柱侧弯女性患者随机分为 3D 组 (使用 3DP-B) 和常规组 (使用常规支具)。所有患者均为全时佩戴，每 4~6 个月随访一次，直至骨成熟。结果显示，虽然两组支具的临床效果相当，但 3D 组患者的依从性和生活质量更高。Jin 等^[35]应用 3DP-B 结合传统技术治疗 9 例特发性脊柱侧弯患者，总体有效率为 100.0%。认为 3DP-B 结合传统技术治疗脊柱侧弯，实现了治疗的连续性和精准性，是临床有效的侧弯矫正技术。此外，3D 打印结合 CAD/CAM 制作的矫形支具，最大限度地提高了患者佩戴支具的依从性，并提高了个性化和透气性，减少佩戴时间。结合目前流行的智能穿戴技术，3D 打印智能支具也相继问世，能够实现对患者佩戴支具信息的实时监测，有利于医师为患者制定个性化的康复方案。

5 其他应用

除了临床实际应用之外, 3D 打印技术在脊柱外科教学和培训中也显示出巨大优势。研究表明, 3D 打印技术在解剖学授课^[36]、病理学授课^[37]、徒手置钉培训^[38]、复杂手术培训^[39]、常规手术培训^[40]等中的应用, 大大提高了医学生和医师的教学和培训效率。脊髓损伤和椎间盘退变给个人、家庭和社会带来了巨大的负担, 3D 打印脊髓和椎间盘为脊髓损伤和椎间盘退变的治疗带来新希望。3D 打印神经组织工程通过利用细胞移植、生物/化学分子信号传导和定向引导“桥梁”支架来提供神经细胞的直接替代或功能修复^[41-43], 为脊髓损伤的修复开辟了新天地。3D 打印椎间盘呈现出区域特异性基质, 显示出相应的组织学和免疫学表型, 表现出良好的生物力学功能^[44], 动物实验表明, 3D 打印椎间盘可以维持椎间隙高度并产生新的细胞外基质, 是用于个体化椎间盘修复和再生的良好生物材料^[45]。

6 总结和展望

综上所述, 3D 打印技术在脊柱内置物、术前规划、术中辅助、体外矫形、教学培训以及医患沟通等方面均发挥了重要作用, 特别是在复杂脊柱外科手术中, 3D 打印技术显示出了超乎寻常的辅助优势。虽然目前 3D 打印技术的应用仍然面临着一些困难, 但其广阔的应用前景和巨大的技术优势, 仍使众多脊柱外科医师对其抱有极大兴趣。相信在不久的将来, 3D 打印技术必将在脊柱外科领域得到普及, 惠及广大医生和患者。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张存鑫: 酝酿和设计实验、实施研究、数据采集及分析和解释、起草文章、获取研究经费; 王德春: 分析及解释数据、文章审阅; 吕超亮: 酝酿和设计实验、文章审阅、获取研究经费、提供行政及技术或材料支持、指导、支持性贡献

参考文献

- [1] Kwon SW, Chung CK, Won YI, et al. Mechanical failure after total en bloc spondylectomy and salvage surgery [J]. *Neurospine*, 2022, 19 (1): 146-154. DOI: 10.14245/ns.2244092.046.
- [2] Yang X, Wan W, Gong H, et al. Application of individualized 3D-printed artificial vertebral body for cervicothoracic reconstruction in a six-level recurrent chordoma [J]. *Turk Neurosurg*, 2020, 30 (1): 149-155. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.25296-18.2.
- [3] Fang T, Zhang M, Yan J, et al. Comparative analysis of 3D-printed artificial vertebral body versus titanium mesh cage in repairing bone defects following single-level anterior cervical corpectomy and fusion [J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27: e928022. DOI: 10.12659/MSM.928022.
- [4] Zhou H, Liu S, Li Z, et al. 3D-printed vertebral body for anterior spinal reconstruction in patients with thoracolumbar spinal tumors [J]. *J NeurosurgSpine*, 2022, 37 (2): 274-282. DOI: 10.3171/2022.1.SPINE.21900.
- [5] Wei F, Xu N, Li Z, et al. A prospective randomized cohort study on 3D-printed artificial vertebral body in single-level anterior cervical corpectomy for cervical spondylotic myelopathy [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8 (17): 1070. DOI: 10.21037/atm-19-4719.
- [6] Dong C, Wei H, Zhu Y, et al. Application of titanium alloy 3D-printed artificial vertebral body for stage III Kummell's disease complicated by neurological deficits [J]. *Clin Interv Aging*, 2020, 15: 2265-2276. DOI: 10.2147/CIA.S283809.
- [7] Lee KK, Raja N, Yun HS, et al. Multifunctional bone substitute using carbon dot and 3D printed calcium-deficient hydroxyapatite scaffolds for osteoclast inhibition and fluorescence imaging [J]. *Acta Biomater*, 2023, 159: 382-393. DOI: 10.1016/j.actbio.2023.01.028.
- [8] Putra NE, Leeflang MA, Klimopoulou M, et al. Extrusion-based 3D printing of biodegradable, osteogenic, paramagnetic, and porous femur-akermanite bone substitutes [J]. *Acta Biomater*, 2023, 162: 182-198. DOI: 10.1016/j.actbio.2023.03.033.
- [9] Abdullah T, Qurban RO, Bolarinwa SO, et al. 3D printing of Metal/Metal oxide incorporated thermoplastic nanocomposites with antimicrobial properties [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2020, 8: 568-186. DOI: 10.3389/fbioe.2020.568186.
- [10] Zhang H, Cheng J, Ao Q. Preparation of alginate-based biomaterials and their applications in biomedicine [J]. *Mar Drugs*, 2021, 19 (5): 264. DOI: 10.3390/md19050264.
- [11] Koshoyi O, Heinamaki J, Raal A, et al. Pharmaceutical 3D-printing of nanoemulsified eucalypt extracts and their antimicrobial activity [J]. *Eur J Pharm Sci*, 2023, 187: 106487. DOI: 10.1016/j.ejps.2023.106487.
- [12] Summers BN, Eisenstein SM. Donor site pain from the ilium. A complication of lumbar spine fusion [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1989, 71 (4): 677-80. DOI: 10.1302/0301-620X.71B4.2768321.
- [13] Rosman C, Wubbels GH, Manson WL, et al. Selective decontamination of the digestive tract prevents secondary infection of the abdominal cavity, and endotoxemia and mortality in sterile peritonitis in laboratory rats [J]. *Med Intensiva*, 1992, 47 (10): 603-615. DOI: 10.1016/j.medine.2023.05.018.
- [14] Alan N, Vodovotz L, Muthiah N, et al. Subsidence after lateral lumbar interbody fusion using a 3D-printed porous titanium interbody cage: single-institution case series [J]. *J NeurosurgSpine*, 2022, 37 (5): 663-669. DOI: 10.3171/2022.4.SPINE.2245.
- [15] Jin YZ, Zhao B, Lu XD, et al. Mid- and long-term follow-up efficacy analysis of 3D-printed interbody fusion cages for anterior cervical discectomy and fusion [J]. *Orthop Surg*, 2021, 13 (7): 1969-1978. DOI: 10.1111/os.13005.
- [16] Khorsandi D, Fahimpour A, Abasian P, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: printing techniques, materi-

- als, and applications [J]. *Acta Biomater*, 2021, 122: 26–49. DOI: 10.1016/j.actbio.2020.12.044.
- [17] Ke X, Zhang L, Yang X, et al. Low-melt bioactive glass-reinforced 3D printing akermanite porous cages with highly improved mechanical properties for lumbar spinal fusion [J]. *J Tiss Eng Regen Med*, 2018, 12 (5): 1149–1162. DOI: 10.1002/term.2624.
- [18] Ferrari V, Parchi P, Condino S, et al. An optimal design for patient-specific templates for pedicle spine screws placement [J]. *Int J Med Robot*, 2013, 9 (3): 298–304. DOI: 10.1002/rcs.1439.
- [19] Sallent A, Ramirez M, Catala J, et al. Precision and safety of multi-level cervical transpedicular screw fixation with 3D patient-specific guides: a cadaveric study [J]. *Sci Rep*, 2019, 9 (1): 15686. DOI: 10.1038/s41598-019-51936-w.
- [20] Pijpker P, Kraeima J, Witjes M, et al. Accuracy of patient-specific 3D-printed drill guides for pedicle and lateral mass screw insertion: an analysis of 76 cervical and thoracic screw trajectories [J]. *Spine*, 2021, 46 (3): 160–168. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003747.
- [21] 李超, 牛国旗, 刘香平, 等. 3D打印辅助与徒手颈椎椎弓钉置入比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (14): 1338–1340. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.21.
- Li C, Niu GQ, Liu XP, et al. 3D printing assisted screw placement versus conventional freehand counterpart for upper cervical deformity [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (14): 1338–1340. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.21.
- [22] Zhang M, Li J, Fang T, et al. Application of 3-dimensional printing guide template and pointed lotus-style regulator in percutaneous pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 2930. DOI: 10.1038/s41598-022-06256-x.
- [23] Hu PL, Lin JS, Meng H, et al. A novel "Three-dimensional-printed individual guide template-assisted percutaneous vertebroplasty" for osteoporotic vertebral compression fracture: a prospective, controlled study [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16 (1): 326. DOI: 10.1186/s13018-021-02471-w.
- [24] 徐会法, 李超, 刘峙辰, 等. 3D打印与导航辅助椎弓钉矫正先天性脊柱畸形 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (21): 1921–1926. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.21.01.
- Xu HF, Li C, Liu ZC, et al. 3D printed guider versus computer navigation for pedicle screw placement in correction of congenital spinal deformities [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (21): 1921–1926. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.21.01.
- [25] Garg B, Gupta M, Singh M, et al. Outcome and safety analysis of 3D-printed patient-specific pedicle screw jigs for complex spinal deformities: a comparative study [J]. *Spine J*, 2019, 19 (1): 56–64. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.05.001.
- [26] Vissarionov SV, Kokushin DN, Khusainov NO, et al. Comparing the treatment of congenital spine deformity using freehand techniques in vivo and 3D-printed templates in vitro (Prospective-Retrospective Single-Center Analytical Single-Cohort Study) [J]. *Adv Ther*, 2020, 37 (1): 402–419. DOI: 10.1007/s12325-019-01152-9.
- [27] Chen PC, Chang CC, Chen HT, et al. The accuracy of 3D printing assistance in the spinal deformity surgery [J]. *Biomed Research International*, 2019, 2019: 7196528. DOI: 10.1155/2019/7196528.
- [28] Wang B, Ke W, Hua W, et al. Biomechanical evaluation and the assisted 3D printed model in the patient-specific preoperative planning for thoracic spinal tuberculosis: a finite element analysis [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2020, 8: 807. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00807.
- [29] Fayad J, Turbucz M, Hajnal B, et al. Complicated postoperative flat back deformity correction with the aid of virtual and 3D printed anatomical models: case report [J]. *Front Surg*, 2021, 8: 662919. DOI: 10.3389/fsurg.2021.662919.
- [30] Tu Q, Chen H, Ding HW, et al. Three-dimensional printing technology for surgical correction of congenital scoliosis caused by hemivertebrae [J]. *World Neurosurg*, 2021, 149: e969–e981. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.01.063.
- [31] Lador R, Regev G, Salame K, et al. Use of 3-dimensional printing technology in complex spine surgeries [J]. *World Neurosurg*, 2020, 133: e327–e341. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.09.002.
- [32] Leary OP, Crozier J, Liu DD, et al. Three-dimensional printed anatomic modeling for surgical planning and real-time operative guidance in complex primary spinal column tumors: single-center experience and case series [J]. *World Neurosurg*, 2021, 145: e116–e126. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.09.145.
- [33] 赵永辉, 马宇龙, 罗浩天, 等. 3D打印手术导航辅助强直性脊柱炎截骨矫形 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (24): 2276–2280. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.24.17.
- Zhao YH, Ma YL, Luo HT, et al. 3D printed guiders assisted osteotomy and instrumented fusion for correction of kyphosis secondary to ankylosing spondylitis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (24): 2276–2280. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.24.17.
- [34] Lin Y, Cheung J, Chan CK, et al. A randomized controlled trial to evaluate the clinical effectiveness of 3D-printed orthosis in the management of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2022, 47 (1): 13–20. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004202.
- [35] Jin H, Zhang Z, Gao Y, et al. Case series: 3D printed orthopedic brace combined with traditional manipulative physiotherapy to treat new-onset scoliosis in adults [J]. *Medicine*, 2022, 101 (1): e28429. DOI: 10.1097/MD.00000000000028429.
- [36] Wu AM, Wang K, Wang JS, et al. The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study [J]. *Ann Transl Med*, 2018, 6 (20): 403. DOI: 10.21037/atm.2018.09.59.
- [37] Clifton W, Damon A, Soares C, et al. Investigation of a three-dimensional printed dynamic cervical spine model for anatomy and physiology education [J]. *Clin Anat*, 2021, 34 (1): 30–39. DOI: 10.1002/ca.23607.
- [38] Park HJ, Wang C, Choi KH, et al. Use of a life-size three-dimensional-printed spine model for pedicle screw instrumentation training [J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13 (1): 86. DOI: 10.1186/

s13018-018-0788-z.

- [39] Clifton W, Nottmeier E, Edwards S, et al. Development of a novel 3D printed phantom for teaching neurosurgical trainees the free-hand technique of C2 laminar screw placement [J]. World Neurosurg, 2019, 129: e812-e820. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.06.038.
- [40] Clifton W, Damon A, Stein R, et al. Biomimetic 3-dimensional-printed posterior cervical laminectomy and fusion simulation: advancements in education tools for trainee instruction [J]. World Neurosurg, 2020, 135: 308. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.12.134.
- [41] Joung D, Lavoie NS, Guo SZ, et al. 3D printed neural regeneration devices [J]. Adv Funct Mater, 2020, 30 (1): 10.1002/adfm.201906237. DOI: 10.1002/adfm.201906237.
- [42] Koffler J, Zhu W, Qu X, et al. Biomimetic 3D-printed scaffolds for spinal cord injury repair [J]. Nat Med, 2019, 25 (2): 263-269. DOI: 10.1038/s41591-018-0296-z.
- [43] Joung D, Truong V, Neitzke CC, et al. 3D printed stem-cell derived neural progenitors generate spinal cord scaffolds [J]. Adv Funct Mater, 2018, 28 (39): 1801850. DOI: 10.1002/adfm.201801850.
- [44] Sun B, Lian M, Han Y, et al. A 3D-bioprinted dual growth factor-releasing intervertebral disc scaffold induces nucleus pulposus and annulus fibrosus reconstruction [J]. Bioact Mater, 2021, 6 (1): 179-190. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2020.06.022.
- [45] Zhu M, Tan J, Liu L, et al. Construction of biomimetic artificial intervertebral disc scaffold via 3D printing and electrospinning [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2021, 128: 112310. DOI: 10.1016/j.msec.2021.112310.

(收稿:2023-11-13 修回:2024-08-08)

(同行评议专家:李瑞,孙麟,周勇)

(本文编辑:宁桦)

读者·作者·编者

本刊网站征集视频授课的公告

《中国矫形外科杂志》作为矫形外科(骨科)领域的专业学术期刊,一直以来致力于为广大医师提供高质量的学术交流平台。为了适应数字化时代的发展,更好的为广大读者提供更加便捷、高效的学习资源,同时也为广大医师搭建技术交流、知识传承的良好舞台,以展示您的精湛医术和学术成就。《中国矫形外科杂志》编辑部决定自2024年4月面向广大骨科医师征集骨科视频授课,置于本刊网站继续医学教育的视频课堂栏目,供广大读者开放获取学习。有关征集工作通知如下:

一、征集内容涉及骨科基础知识、基本理论和基本技能,以及骨科相关康复、护理、影像等内容;包括脊柱、关节、创伤、骨疾病和肢体畸形矫治等骨科各领域的视频授课。可以讲解疾病的解剖、病因、病理生理改变、诊断、治疗,也可以分享个人的经验与创新成果。可以是系列课程,也可是单个课程。

二、视频格式要求:mp4格式,70Mb以内(视频过大可用微信进行压缩),单个视频素材时间10~15min。一般采用PowerPoint软件录制,也可是录像。上传视频素材的同时附个人简介和近期照片,以便后期加工制作。

三、审查与制作:原则上要求主讲人具有副高及以上职称,或具有博士学位。所提供的视频素材不得含有涉密内容,不侵犯他人著作、肖像、名誉等合法权益,不得有涉及意识形态领域和医学伦理方面的违规问题。经《中国矫形外科杂志》编辑部审查通过后,由专人剪辑,按统一样式制作,在本刊网站相关栏目适时发布。

四、活动的意义:本刊视频授课是个人自愿的社会公益活动,活动有助于培养年轻医生,促进我国骨科专业的进步与发展。同时,活动也有助于提升授课人的学术影响力,传播您的经验与成就。您的授课视频将永久保留在本刊网站,并可检索查询。编辑部将出具《视频授课》证书,并定期对视频授课进行评估分析,适时对优秀视频课主讲人给予表彰。

五、视频上传

电子信箱: jiaoxingtougao@163.com

联系人: 邹雪莲, 15853871819

未来本刊网站将继续着力于为广大读者提供更多优质的内容和服务,感谢您的关注和支持,让我们一起为《中国矫形外科》杂志的不断发展贡献力量。

敬请关注《中国矫形外科杂志》网站, <http://jxwk.ijournal.cn>

《中国矫形外科杂志》编辑部

2024年4月22日