3D打印技术在全脊柱内镜手术临床教学中的应用

张 燕，张晗硕，丁 宇

（解放军总医院第六医学中心中医医学部骨伤科，北京市海淀区，邮编100048）

**[摘要] 目的** 探讨3D打印技术在全脊柱内镜手术临床教学中的应用。**方法** 通过3D打印技术重建拟手术病变节段脊柱骨性结构单元，结合术中观摩、术后脊柱内镜手术视频，复盘全脊柱内镜手术过程，教授学员脊柱内镜手术定位、手术路径、关键步骤及手术技巧要点。分别对2020年6月-2022年10月在本科室进修、轮转的医师及研究生等学员共30名，进行平均为期3个月的临床教学培训。培训结束后进行培训效果考核及满意度调查。**结果** 学员平均临床学习时间3个月，出科考核成绩为（86.77±6.43）分，合格率为100.00%，其中优秀率为83.33%。满意度调查结果显示学员满意度得分为（91.07±4.32）分。**结论** 通过3D打印技术重建手术节段模型，结合手术观摩及术后手术视频进行临床教学，学员能够较快的理解并掌握全脊柱内镜手术操作基本技术，有效的提升了学员培训效果，提高了学员全脊柱内镜临床手术技能，具有重要的教学价值。

**[关键词]** 3D打印；脊柱内镜手术；临床教学；手术培训

**[基金项目]** 2019年度首都临床诊疗技术研究及示范应用项目“富血小板血浆椎间盘注射联合椎间孔镜技术治疗腰椎间盘突出症及术后康复的临床研究”(Z191100006619028)

**[作者简介]** 张 燕（1979-），男，山东宁阳人，医学博士，解放军总医院第六医学中心中医医学部骨伤科副主任医师，主要从事脊柱退行性疾病诊及微创治疗技术相关研究；张晗硕（1995-），男，河北霸州人，医学硕士，解放军总医院第六医学中心中医医学部骨伤科医师，主要从事脊柱退行性疾病的诊治及脊柱生物力学有限元分析相关研究；丁宇（1969-），男，山东聊城人，解放军总医院第六医学中心中医医学部骨伤科主任医师、教授，主要从事骨伤康复及脊柱疾病微创治疗技术相关研究。

通讯作者：丁宇，E-mail：cosmos\_dingyu@163.com。

**[中图分类号]** G642.0

**[文献标志码]** A

近20年来，脊柱内镜相关的光学透镜、光纤、显示及计算机系统等设备和技术的进步，使得脊柱内镜手术得到了越来越广泛的临床应用[1]。由椎间孔入路逐渐扩大到了经椎板间入路等“全内镜”技术，用于治疗更广泛的脊柱疾病[2]。可以预测随着脊柱内镜技术的持续发展和应用，脊柱内镜手术最终将会成为脊柱外科治疗的主流方法。由于脊柱内镜手术对局部精细解剖要求高，操作器械不同于传统的手术器械，手术要求精细度更高，因此脊柱内镜手术初学者学习曲线长[3, 4]。目前的脊柱内镜学习方法主要有理论讲解、手术观摩、尸体标本操作、手术带教、脊柱内镜手术视频学习等方法，但仍然存在学习曲线偏长、对手术入路理解不深刻、对局部解剖辨识不准确等问题[5, 6]。

近年来3D打印技术发展迅速，已经被用到医学各领域，尤其是在脊柱外科应用更加广泛[7]。3D打印技术可用于术前的患者沟通宣教、手术模拟、术中辅助导航定位及专科医师的教育培训等方面[8]。本文将3D打印技术融入到在脊柱内镜手术教育培训过程中，通过术前理论讲解、术中观摩学习、术后结合手术视频及3D模型进行手术复盘及讨论，可有效的提高手术学习效率及成绩，对于培养脊柱内镜专科医师具有一定的教学价值。

**1资料与方法**

**1.1一般资料** 选取对2020年6月-2022年10月在解放军总医院第六医学中心中医医学部骨伤科进修、轮转的医师及研究生等学员共30名。

**1.2方法** 结合3D打印模型进行临床教学，平均每周进行2次培训，包括理论授课、手术观摩、术后视频观看、结合3D模型进行手术复盘，每次授课时长约3h。授课过程中使用3D模型结合手术视频重点讲解全脊柱内镜入路定位、手术路径、关键步骤及手术技巧。学员平均学习3个月，培训结束后对学员进行理论考核，并使用满意度调查表调查学员对培训的满意度。

**1.2.1 3D打印重建手术节段脊柱骨性结构单元** 利用CT扫描获目标节段脊柱的DICOM图像，创建一个基于计算机的3D CAD模型的脊柱单元，通过沉积的方式打印该3D模型。

**1.2.2** **全脊柱内镜手术观摩及视频录制** 全脊柱内镜手术观摩在手术室进行，手术同时进行视频录制。术中讲解如何定位手术节段及穿刺点、脊柱内镜手术基本操作过程、脊柱内镜手术器械的使用注意事项、术中应用解剖及手术效果评估等内容。使用与内镜系统配套的手术视频系统录制手术高清视频，将视频拷贝到教学U盘备用。

**1.2.3 使用3D模型进行教学实践** 使用重建的3D模型可直观的呈现出患者脊柱节段病变骨性增生狭窄部位，比如腰椎管狭窄患者，主要是上关节突内侧骨质增生造成侧隐窝狭窄，压迫行走根引起下肢间歇性跛行。首先结合3D模型首先脊柱疾病相关临床知识的理论讲解，使学员掌握脊柱疾病的临床理论、脊柱内镜手术的适应症。然后播放手术视频，示教老师同步在3D模型上复盘手术过程，让学员直观的理解内镜手术的定位、手术入路、重要步骤及手术技巧，理解脊柱内镜不同角度达到的不同解剖结构；使用脊柱内镜手术器械如环锯、磨钻及椎板咬钳等在3D模型上进行手术演示，边复盘、边示教、边讲解。学员可使用3D模型反复练习脊柱内镜手术过程。

**1.2.4 教学效果评价** 学员培训3个月结束后进行出科理论考核和满意度评估。理论考核为闭卷定时考核，考核时间60 min，满分100分，80分以上优秀，60分以上合格。理论考核内容主要包括脊柱疾病的临床表现、诊断、脊柱内镜基本理论知识，以及不同脊柱疾病内镜术式、入路定位选择、镜下重要解剖标记辨识、手术操作步骤及操作技巧、注意事项等内容。学员满意度调查表为满分100分的量化调查表格，主要包括术前理论授课、3D模型重建、术中手术观摩、术后视频观看、3D模型复盘、手术器械操作、术后讨论、教学方式、教学内容、教学流程等共10部分内容；优秀：10分，良好8分，一般6分，较差3分；10部分内容得分相加得到的总分为满意度分数。

**2结果**

学员平均临床学习时间3个月，出科考核成绩为（86.77±6.43）分，合格率为100.00%，其中优秀率为83.33%。满意度调查结果显示学员满意度得分为（91.07±4.32）分。

**3讨论**

全脊柱内镜手术属于脊柱微创手术的一种，相对于传统开放手术，具有创伤小、出血少、恢复快的优点[9]。但是全脊柱内镜手术操作难度大、手术视野小、镜下解剖结构辨识困难，因此学习曲线较长[10]。内镜手术对于局部精细解剖要求更高，尤其对骨性解剖结构必须具备精准的辨识。因此，在早期阶段外科医生必须经过专业的学习培训和不断的实践积累。

3D打印技术早在本世纪初就已被应用于医疗领域，近年来已得到广泛的研究和应用。在脊柱外科领域3D打印技术已经应用于医疗护理及教育培训的各个方面，包括术前患者宣教、制定手术计划、进行手术模拟、作为骨性结构替代置入物及医师教育培训[11]。3D模型可以重复使用，反复模拟病变的外科切除，研究制定详实的术前计划，有助于帮助减少手术时间；使用3D打印模型模拟手术过程，可减少重要神经、血管的损伤机会，降低手术风险[12]。随着3D打印技术的进一步发展和普及，在脊柱外科领域有望开展更多的创新性应用。

有研究报道，相对于使用传统的影像学图片教学，3D模型辅助教学可显著提高医学生的学习效率及学习成绩[13]。多项研究也证实了医师在3D模型上进行操作练习的表现与实践操作的表现具有很强的一致性[14]。虽然3D打印模型已被证明可以提高学员脊柱微创手术和常规开放手术的外科训练效率，但是到目前为止使用3D打印技术进行全脊柱内镜手术教学及培训国内外鲜有报道。我们通过教学实践发现，使用3D打印技术模拟重建手术病变节段脊柱骨骼标本，可以为学员提供直观的立体感及触觉反馈。学员使用3D模型结合手术视频，可以更好的理解脊柱内镜的手术入路、关键步骤及手术技巧。学员在3D模型上进行手术复盘及模拟练习后，能够快速理解脊柱内镜操作技术要点，更快的掌握全脊柱内镜手术。通过对学员理论考核及满意度调查结果的分析，我们认为3D打印技术科对临床教学起到积极的推动作用，有效的提升学习效率，对于培养脊柱内镜医师具有重要的价值。

在教学实践中，学员可以通过3D重建的脊柱节段，很直观地理解并掌握脊柱内镜的入路通道、套管角度及骨性标志定位点，理解病变节段的骨性减压范围及减压步骤。学员在模型上进行环锯操作练习时，可准确的在3D模型上进行环锯定位，使用锯除进行椎板开窗及侧隐窝减压，并能有效保护关节突峡部，防止关节突峡部断裂引起术后脊柱失稳的发生。学员使用磨钻或椎板咬钳进行侧隐窝减压时，可根据不同患者骨质增生的程度进行有效减压。学员在3D打印模型中反复练习过程中，具有比手术观摩更好的感性认识，产生直观形象的手术情景，具有身临其境的感觉，可快速提高手术技能。

国内外医学生培养，在大学阶段使用尸体标本进行教学是比较常规的教学方式，由于是医学生集体授课，教学效率高，并且标本使用率高。在临床实践教学阶段虽然也可以使用尸体标本进行手术示教，为学员提供实践机会，但尸体标本获取困难并且价格昂贵，并且尸体标本并不能完全模拟手术患者真实的脊柱病理变化。3D打印技术可真实重建手术节段脊柱的病变，不仅提高了学员对脊柱解剖结构的理解，更有助于理解脊柱的病理形态变化及手术方式的选择。Burkhart等人在他们的研究中发现，3D打印模型在触觉和生物力学上模拟脊柱后路手术的效果优于尸体标本[15]。3D打印模型可以用于术前模拟操作，术后的手术复盘，可有效提高学员的学习效率。

虽然3D打印技术有助于培养脊柱内镜医师，但在教学实践过程中仍存在不足之处。由于缺乏专门的生物学材料，我们的3D打印模型只是重建模拟了脊柱节段的骨性结构，没有模拟重建具有相同生物力学性能的黄韧带、椎间、肌肉、血管、神经等结构，这虽然影响了手术模拟的真实感受，但是对于教学培训来说，单一的骨性结构更容易使学员理解重度腰椎管狭窄症的骨性增生病变。综上所述，3D打印技术有利于学员快速理解并掌握全脊柱内镜，不仅提升了学员学习效率，快速掌握脊柱内镜关键技术，还让学员在教学过程中初步了解3D打印技术，扩展了知识面，有益于脊柱外科医师的培养。

**参考文献**

[1] Simpson AK, Lightsey HM 4th, Xiong GX, et al.Spinal endoscopy: evidence, techniques, global trends, and future projections[J].Spine J, 2022,22:64-74.

[2] Gatam AR, Gatam L, Phedy, et al.Full Endoscopic Lumbar Stenosis Decompression: A Future Gold Standard in Managing Degenerative Lumbar Canal Stenosis[J].Int J Spine Surg, 2022,16:821-830.

[3] Gadjradj PS, Vreeling A, Depauw PR, et al.Surgeons Learning Curve of Transforaminal Endoscopic Discectomy for Sciatica[J].Neurospine, 2022,19:594-602.

[4] Tan R, Lv X, Wu P, et al.Learning Curve and Initial Outcomes of Full-Endoscopic Posterior Lumbar Interbody Fusion[J].Front Surg, 2022,9:890689.

[5] 王伟恒, 唐国柯, 谢孝兴, 等. 微创脊柱内镜手术视频在脊柱外科进修医生继续教育中的应用[J]. 现代医药卫生, 2022,38(14):2476-2479.

[6] 刘丰平, 赵红卫, 陈海丹, 等. TESSYS椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的学习曲线及经验[J]. 中国矫形外科杂志, 2016,24(03):235-241.

[7] Garg B, Mehta N.Current status of 3D printing in spine surgery[J].J Clin Orthop Trauma, 2018,9:218-225.

[8] Tong Y, Kaplan DJ, Spivak JM, et al.Three-dimensional printing in spine surgery: a review of current applications[J].Spine J, 2020,20:833-846.

[9] Kapetanakis S, Gkantsinikoudis N, Charitoudis G.Full-Endoscopic Ventral Facetectomy vs Open Laminectomy for Lumbar Lateral Recess Stenosis: A Comparative Study and Brief Literature Review[J].Int J Spine Surg, 2022,16:361-372.

[10] Kotheeranurak V, Liawrungrueang W, Kuansongtham V, et al.Surgeons' Perspective, Learning Curve, Motivation, and Obstacles of Full-Endoscopic Spine Surgery in Thailand: Results From A Nationwide Survey[J].Biomed Res Int, 2022,2022:4971844.

[11] Kabra A, Mehta N, Garg B.3D printing in spine care: A review of current applications[J].J Clin Orthop Trauma, 2022,35:102044.

[12] Parr W, Burnard JL, Wilson PJ, et al.3D printed anatomical (bio)models in spine surgery: clinical benefits and value to health care providers[J].J Spine Surg, 2019,5:549-560.

[13] 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, 2018,6:403.

[14] Bohl MA, McBryan S, Pais D, et al.The Living Spine Model: A Biomimetic Surgical Training and Education Tool[J].Oper Neurosurg (Hagerstown), 2020,19:98-106.

[15] Burkhard M, Fürnstahl P, Farshad M.Three-dimensionally printed vertebrae with different bone densities for surgical training[J].Eur Spine J, 2019,28:798-806.

**Application of 3D printing technology in clinical teaching of full endoscopic spinal surgery**

ZHANG Yan, ZHANG Han-shuo, DING Yu

(Department of Orthopedics, Department of Traditional Chinese Medicine, Sixth Medical Center, PLA General Hospital, Haidian District, Beijing 100048, China)

[Abstract] **Objective:** To explore the application of 3D printing technology in the clinical teaching of full endoscopic spinal surgery. **Methods:** 3D printing technology was used to reconstruct the spinal bone structural unit of the proposed diseased segment, and combined with intraoperative observation, postoperative endoscopic spinal surgery video, and the process of total endoscopic spinal surgery, the students were taught the positioning, surgical path, key steps and surgical techniques of endoscopic spinal surgery. From June 2020 to October 2022, a total of 30 doctors and postgraduates who are studying and rotating in the undergraduate department will receive clinical teaching training with an average duration of 3 months. After the training, the training effect assessment and satisfaction survey were carried out. **Results:** The average clinical learning time of the students was 3 months, and the passing score was (86.77±6.43) points, the pass rate was 100.00%, and the excellent rate was 83.33%. The results of the satisfaction survey showed that the satisfaction score was (91.07±4.32) points. **Conclusion:** Through the reconstruction of surgical segment model by 3D printing technology, combined with surgical observation and postoperative surgical video for clinical teaching, students can quickly understand and master the basic operation techniques of full endoscopic spinal surgery, effectively improve the training effect of students and improve their clinical surgical skills of full endoscopic spinal surgery, which has important teaching value.

[Key words] 3D printing; Spinal endoscopic surgery; Clinical teaching; Surgical training