

3D打印技术联合PBL教学法在神经外科临床带教中的应用研究

吴炳山, 李仲颖, 顾松, 汪惊涛, 李志范, 王斌, 喻仁祥, 纪晨辉*

安徽医科大学第一附属医院神经外科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月13日; 发布日期: 2026年5月21日

摘要

目的: 探讨3D打印技术联合PBL教学法在神经外科住院医师规范化培训中的应用价值。方法: 将安徽医科大学第一附属医院神经外科2025年1~12月60名规培医师随机分为观察组与对照组, 各30名。对照组采用传统带教模式, 观察组采用3D打印联合PBL教学。比较两组理论成绩、操作技能、临床思维能力、教学满意度及主观评价。结果: 观察组理论、操作技能及临床思维评分均显著高于对照组($P < 0.001$), 教学满意度更高($P = 0.011$); 在解剖理解、手术流程、自主学习等方面优良率亦显著高于对照组($P < 0.05$)。结论: 3D打印联合PBL教学可显著提升神经外科规培医师的理论水平、操作技能与临床思维能力, 优化教学效果, 具有良好推广价值。

关键词

3D打印技术, PBL教学法, 神经外科, 临床带教, 教学效果

Application Research of 3D Printing Technology Combined with PBL Teaching Method in Clinical Teaching of Neurosurgery

Bingshan Wu, Zhongying Li, Song Gu, Jingtao Wang, Zhifan Li, Bin Wang, Renxiang Yu, Chenhui Ji*

Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: April 15, 2026; accepted: May 13, 2026; published: May 21, 2026

*通讯作者。

文章引用: 吴炳山, 李仲颖, 顾松, 汪惊涛, 李志范, 王斌, 喻仁祥, 纪晨辉. 3D打印技术联合PBL教学法在神经外科临床带教中的应用研究[J]. 教育进展, 2026, 16(5): 1050-1057. DOI: 10.12677/ae.2026.165956

Abstract

Objective: To explore the application value of 3D printing technology combined with problem-based learning (PBL) in the standardized training of neurosurgery residents. **Methods:** A total of 60 standardized training residents in the Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University from January to December 2025 were randomly divided into observation group and control group, with 30 cases in each group. The control group received traditional teaching mode, while the observation group was taught by 3D printing combined with PBL. The theoretical scores, operational skills, clinical thinking ability, teaching satisfaction and subjective evaluation were compared between the two groups. **Results:** The scores of theory, operational skills and clinical thinking in the observation group were significantly higher than those in the control group ($P < 0.001$), and the teaching satisfaction was also higher ($P = 0.011$). The excellent and good rates in anatomical understanding, surgical procedures, autonomous learning and other aspects were also significantly higher in the observation group ($P < 0.05$). **Conclusion:** 3D printing combined with PBL teaching can significantly improve the theoretical level, operational skills and clinical thinking ability of neurosurgery residents, optimize the teaching effect, and has good popularization value.

Keywords

3D Printing Technology, PBL Teaching Method, Neurosurgery, Clinical Teaching, Teaching Effect

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

神经外科作为医学领域中复杂性与风险性并存的重要学科，对临床医师的理论储备、操作技艺及临床思维均提出了极高要求。临床带教作为连接医学基础理论与临床实践的关键桥梁，是规培医师成长的核心环节。

当前，国内神经外科传统带教多采用“教师讲授 + 床边观摩 + 技能演示”的模式，以教师为主导，学员被动接受知识，缺乏主动思考与自主探究的机会。神经解剖结构复杂、位置深在，影像缺乏立体感，传统带教模式教学方式同质化，难以兼顾不同基础学员的个性化学习需求，限制了学员学习积极性与主观能动性，带教效果受限[1]。

随着数字化医疗技术与现代医学教育理念的快速发展，3D 打印技术与 PBL 教学法在医学教育领域的应用日渐广泛，为神经外科临床带教提供了新的方向。3D 打印技术将二维影像数据转化三维实体模型，直观呈现病变的毗邻关系，辅助建立神经解剖的三维认知[2]。以问题为导向的 PBL (Problem-Based Learning) 教学法，强调以临床实际问题为核心，驱动学员主动学习，团队协作解决问题，能有效培养医学生的临床思维与自主学习能力[3]。

这两种教学方式的融合可以实现优势互补，但应用于神经外科规培医师的系统研究仍较为缺乏。本研究以神经外科临床规培医师为研究对象，通过随机对照试验，评估 3D 打印技术联合 PBL 教学法在临床带教中的应用效果，旨在为神经外科临床带教模式的优化与创新提供实证依据，为高素质医学人才培养提供科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

选取安徽医科大学第一附属医院神经外科 2025 年 1 月至 2025 年 12 月接收的 60 名临床规培医师为研究对象。纳入标准：① 已完成基础课程学习，具备基本的医学理论知识；② 轮转时间满 8 周，能保证完整的教学周期；③ 自愿参与本研究并签署知情同意书。排除标准：① 中途因故退出轮转或资料不全者；② 因个人原因无法配合完成考核及问卷调查者。

采用随机数字表法将 60 名规培医师分为观察组和对照组，每组 30 名。观察组：男 18 名，女 12 名；年龄 22~28 岁，平均(25.3±1.8)岁；学历层次为本科 19 名，硕士 11 名。对照组：男 17 名，女 13 名；年龄 22~28 岁，平均(25.5±1.7)岁；学历层次为本科 18 名，硕士 12 名。采用统计学方法对两组学员的性别、年龄、学历层次、前期理论考试成绩等一般资料进行比较，差异均无统计学意义($P > 0.05$)，具有良好的可比性。

2.2. 带教师资

遴选 15 名具有 5 年及以上神经外科临床工作经验，具备主治医师及以上职称的神经外科医师担任带教老师。所有带教老师均熟悉 PBL 教学法及 3D 打印技术在医学教学中应用培训，熟练掌握 3D 模型的解读及结合 3D 模型设计 PBL 教学问题的方法，具备丰富的带教经验与良好的教学能力，统一授课标准与考核尺度。

2.3. 带教方法

两组规培医师的带教周期均为 8 周，教学内容涵盖神经外科常见疾病(脑出血、脑胶质瘤、脑膜瘤、脊髓肿瘤、颅脑损伤等)的诊疗规范、手术操作流程、术后病情管理及并发症防治等核心内容，课时安排、教学病例数量保持一致，仅带教模式存在差异。

2.3.1. 对照组：传统临床带教模式

采用“理论授课 + 床边观摩 + 技能演示”的传统带教模式，整个教学过程以带教老师为主导，学员按指示完成学习任务。具体实施：① 理论授课：带教老师依据教学大纲，集中讲授神经外科疾病的病因、病理生理、临床表现、诊断标准及治疗原则，结合影像资料进行病例分析；② 床边观摩：带教老师带领学员开展日常床边查房，观摩患者病史采集、体格检查、病情评估及诊疗方案制定过程，讲解临床诊疗的关键要点；③ 手术观摩与技能演示：安排学员进入手术室观摩神经外科手术操作，带教老师现场讲解手术步骤及注意事项。

2.3.2. 观察组：3D 打印技术联合 PBL 教学法

在传统带教模式的基础上，融合 3D 打印技术与 PBL 教学法开展带教，具体实施步骤如下：

1) 3D 模型制备：选取神经外科典型临床病例(如脑胶质瘤、高血压脑出血、复杂脑膜瘤等)，收集患者的薄层 CT/MRI 影像数据，利用 Mimics、3D Slicer 专业影像处理软件精准还原病变部位的形态、大小及与周围血管、神经、骨骼等组织的空间毗邻关系；通过多材料喷射 3D 打印机制作 1:1 的三维实体模型，其中红色标记动脉、蓝色标记静脉、黄色标记神经、白色标记骨骼，肿瘤或血肿病变部位采用特殊颜色突出显示，便于区分。

2) PBL 教学方案实施：将观察组 30 名学员分为 10 个学习小组，每组 3 人。带教老师结合 3D 打印模型与临床实际病例，提出针对性的临床问题。例如：“结合该 3D 模型，分析肿瘤与周围重要血管的毗

邻关系”、“若采用翼点入路，骨窗应如何设计，如何有效避免损伤侧裂静脉”、“请结合患者病情，分析患者产生这些临床变化的解剖基础”等。之后，学员进入自主学习阶段，利用课余时间查阅国内外相关文献、复习，诊疗知识，独立思考并分析问题；在小组讨论阶段，学员利用 3D 模型，从不同角度观察解剖结构与病变关系，分享各自的思考思路与初步方案；带教老师作为引导者指导并及时纠正学员的错误认知，对学员进行适当点拨引导；最后，各小组代表进行汇报，展示小组的问题思考过程、解决方案及理论依据；带教老师结合 3D 打印模型对各小组的汇报进行全面点评，并深入讲解知识要点，梳理知识体系。

3) 实践操作训练：依托 3D 打印实体模型开展模拟手术训练，强化学员对手术流程的掌握；模拟操作训练完成后，带教老师对学员的操作规范性进行点评与指导；随后安排学员参与临床手术观摩，将模型模拟操作的经验与临床实战相结合，推动理论知识向临床操作技能的转化。

2.4. 评价指标

带教周期结束后，对规培医师进行综合教学效果评价，具体包括：

1. 理论考试：考试内容依据规培教学大纲，涵盖神经外科常见疾病的病因、病理生理、临床表现、诊断与鉴别诊断、诊疗原则及神经解剖学基础等核心知识，试卷满分为 100 分，由 2 名神经外科主治医师独立阅卷并取平均分为考试成绩。

2. 操作技能考核：在医学模拟室开展实操考核，考核内容包括神经解剖结构识别、手术切口入路模拟设计、颅内血肿微创清除、神经血管保护等神经外科基础操作技能，满分为 100 分。由 3 名带教医师组成考核小组，依据标准进行现场评分，并取平均分作为考核成绩。

3. 临床思维能力评估：采用专用的神经外科临床思维能力评价量表进行评估，量表从病例分析能力、诊断思路逻辑性、治疗方案制定能力、并发症处理能力及病情判断能力 5 个维度进行评分，每个维度 20 分，量表满分为 100 分。学员需完成 2 例神经外科典型复杂病例的分析，撰写病例分析报告，由 2 名神经外科高级职称医师依据评价量表在分析能力及临床决策能力等多个方面对病例分析报告进行独立评分，取平均分作为最终评分。

4. 教学满意度调查：采用自制问卷开展调查，问卷内容涵盖教学内容、教学方法、带教师资、教学效果及学习积极性激发等维度，共 20 个评价条目，采用等级评分法，分为非常满意、满意、一般、不满意四个等级。满意度计算公式为：满意度 = (非常满意人数 + 满意人数) / 总人数 × 100%。

5. 主观评价：设计主观评价问卷，让学员对所接受的教学模式在解剖结构理解、自主学习能力培养及学习兴趣激发三个方面的效果进行分级评价，评价等级分为非常好、好、一般、差四个等级，计算各维度的优良率，优良率 = (非常好人数 + 好人数) / 总人数 × 100%。

2.5. 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计学软件对本研究的所有数据进行整理与分析。计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，两组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以率(%)表示，两组间比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组考核成绩及临床思维能力比较

两组规培医师的理论考试成绩、操作技能考核成绩及临床思维能力评分对比结果显示，观察组在三项指标上的得分均显著高于对照组，差异均具有统计学意义($P < 0.001$)。详见表 1。

3.2. 两组教学满意度比较

教学满意度调查结果显示, 观察组 30 名规培医师中, 非常满意 18 名, 满意 11 名, 一般 1 名, 不满意 0 名, 教学满意度为 96.67%; 对照组 30 名规培医师中, 非常满意 9 名, 满意 13 名, 一般 5 名, 不满意 3 名, 教学满意度为 73.33%。观察组教学满意度显著高于对照组, 差异具有统计学意义($\chi^2 = 6.405, P < 0.011$)。详见表 2。

Table 1. Comparison of assessment scores and clinical thinking ability scores between two groups of training resident physicians ($\bar{x} \pm s$, points)

表 1. 两组规培医师考核成绩及临床思维能力评分比较($\bar{x} \pm s$, 分)

组别	例数	理论考试成绩	操作技能考核成绩	临床思维能力评分
观察组	30	88.67 \pm 4.23	90.12 \pm 3.85	89.56 \pm 3.58
对照组	30	76.35 \pm 5.12	78.45 \pm 4.67	75.23 \pm 4.89
<i>t</i> 值	-	10.236	9.872	11.543
<i>P</i> 值	-	<0.001	<0.001	<0.001

Table 2. Comparison of teaching satisfaction between two groups of training resident physicians [n (%)]

表 2. 两组规培医师教学满意度比较[n (%)]

组别	例数	非常满意	满意	一般	不满意	满意度
观察组	30	18 (60.00)	11 (36.67)	1 (3.33)	0 (0.00)	29 (96.67)
对照组	30	9 (30.00)	13 (43.33)	5 (16.67)	3 (10.00)	22 (73.33)

3.3. 两组主观评价比较

主观评价结果显示, 观察组在解剖结构理解、自主学习能力及学习兴趣激发三个维度的优良率均显著高于对照组, 差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。其中, 观察组解剖结构理解与学习兴趣激发维度的优良率最高, 均达 96.67%。详见表 3。

Table 3. Comparison of subjective evaluations of teaching modes between two groups of training resident physicians [n (%)]

表 3. 两组规培医师对教学模式的主观评价比较[n (%)]

评价项目	组别	例数	非常好	好	一般	差	优良率
解剖结构理解	观察组	30	19 (63.33)	10 (33.33)	1 (3.34)	0 (0.00)	29 (96.67)
	对照组	30	8 (26.67)	12 (40.00)	7 (23.33)	3 (10.00)	20 (66.67)
自主学习能力	观察组	30	18 (60.00)	10 (33.33)	2 (6.67)	0 (0.00)	28 (93.33)
	对照组	30	7 (23.33)	11 (36.67)	9 (30.00)	3 (10.00)	18 (60.00)
学习兴趣	观察组	30	19 (63.33)	10 (33.33)	1 (3.34)	0 (0.00)	29 (96.67)
	对照组	30	8 (26.67)	12 (40.00)	7 (23.33)	3 (10.00)	20 (66.67)

4. 讨论

神经外科临床带教的核心目标在于培养兼具扎实的理论基础、精湛的操作技能、缜密的临床思维能力的复合型人才。传统的“填鸭式”带教模式以教师讲授为核心, 缺乏师生互动与实操机会, 难以应对

神经外科高难度、高风险的教学挑战[4]。本研究结果显示,3D打印技术联合PBL教学法在多个方面显著优于传统带教模式,全面提升教学效果。

4.1. 具象化呈现解剖结构,助力认知提升

神经外科解剖学的核心教学难点在于其结构的复杂性。传统带教依靠文字及二维影像资料难以构建准确的三维空间认知,导致学员对解剖结构的理解不足,无法精准把握病变与周围组织的毗邻关系,影响病变定位及手术入路设计等临床核心能力的培养[5]。3D打印技术可将二维影像数据转化为1:1的三维实体模型,使抽象的神经解剖结构变得可触摸、可旋转,让病变的形态、大小及与周围组织的空间关系更加直观[6]。在本研究的PBL教学中,学员可手持3D打印模型,从任意角度观察解剖结构与病变的关系,快速建立神经解剖的三维空间认知,将抽象的知识具象化,显著降低了学习门槛,缩短学习周期。本研究结果显示,观察组在解剖结构理解维度的优良率达96.67%,证实了该模式在强化规培医师空间认知与解剖记忆方面的独特优势。

4.2. 搭建高仿真演练平台,提升临床操作精准度

神经外科手术操作精准性要求高,手术容错率低,规培医师实操机会少,操作技能提升缓慢[7]。3D打印模型可精准还原病变部位及周围解剖结构的特征,构建高仿真的模拟手术场景[8]。在本联合教学模式中,学员围绕PBL教学的临床问题,在3D打印模型上开展手术入路设计、病变切除、血管神经保护等关键操作的训练,熟练掌握手术操作流程与操作技巧,提升学习效果。结果显示,观察组操作技能考核成绩为 90.12 ± 3.85 分,显著高于对照组的 78.45 ± 4.67 分,印证了该联合教学法在理论知识向临床操作技能转化方面的有效性。

4.3. 驱动主动探究式学习,建立良好思维模式

传统带教模式以教师为主导,学员机械接受知识,难以理解复杂解剖知识,易形成思维惰性,导致临床思维能力培养不足[9]。PBL教学法以临床实际问题为切入点,以3D打印模型为载体,有效激发学员的角色代入感,增强主动学习知识、分析问题能力,逐步形成“以患者为中心”的个体化临床思维模式,促进学员临床思维的形成与发展[10]。本研究结果显示,观察组临床思维能力评分为 89.56 ± 3.58 分,显著高于对照组的 75.23 ± 4.89 分,充分说明了该联合教学模式在规培医师临床思维训练方面的重要价值。

4.4. 契合个性化学习需求,激发学习内在驱动力

神经外科规培医师的基础及学习能力存在个体差异,传统带教模式难以兼顾不同学员的个性化学习需求,难以有效激发学员的学习积极性[11]。3D打印技术联合PBL教学法充分体现了“以学员为中心”的现代医学教育理念,能有效契合规培医师的个性化学习需求[12]。PBL教学的小组讨论机制赋予了每位学员表达与交流的机会,让学员从教学的“旁观者”转变为“参与者”,增强了学员的学习参与感与成就感,有效激发了学习内在驱动力[13]。本研究结果显示,观察组学习兴趣激发维度的优良率达96.67%,教学满意度达96.67%,均显著高于对照组,充分反映了该联合教学模式在提升学员学习体验、激发学习积极性方面的显著成效。

4.5. 实现优势互补,发挥协同教学效应

3D打印技术与PBL教学法的结合并非简单的技术叠加,而是两种教学方式的有机融合与优势互补,形成了“1+1>2”的协同教学效应,构建了闭环学习体系[14]。一方面,3D打印技术为PBL教学提供

了具象化的物质基础与操作工具，避免了空泛的纯口头讨论，让学员能依托模型直观分析问题、深入讨论，提升了 PBL 教学的效果；另一方面，PBL 教学法充分挖掘了 3D 打印模型的教学价值，避免了 3D 模型仅作为“展品”被被动观看，而是将其转化为学员主动探索、动手操作的核心工具，促使学员主动运用 3D 模型思考临床问题，实现了 3D 打印技术与临床教学的深度融合[15]。

4.6. 研究的局限性与未来展望

尽管本研究取得了积极成果，但仍存在一定局限性：

1. 成本与时间：3D 打印模型的制作需投入一定的时间和成本，目前尚难以覆盖所有神经外科病例。未来随着打印技术的优化、打印速度的提升及材料成本的降低，有望实现模型制作的常态化、规模化应用。

2. 仿真度限制：当前 3D 模型在组织触感模拟上与真实人体组织仍存在一定差距，未来可结合生物材料技术等，进一步提升模型的仿真度，增强模拟训练的真实性。

3. 样本局限：本研究为单中心研究，样本量相对有限。未来需开展多中心、大样本的长期随访研究，进一步验证该教学模式对医师远期职业生涯发展的影响。

此外，随着人工智能、虚拟现实(VR)等技术的发展，未来可将其与 3D 打印、PBL 教学法深度融合，构建更智能化、沉浸式的教学模式，为神经外科临床带教提供更有力的支撑[16]。

5. 结论

综上所述，3D 打印技术联合 PBL 教学法是一种创新的神经外科临床带教模式，通过 3D 打印技术将抽象的神经解剖结构具象化、模型化，为临床教学提供了直观的载体，同时以 PBL 教学法为导向，有效激发学员的学习兴趣，培养自主学习能力，锻炼临床思维。该联合教学模式能有效弥补传统带教模式的不足，在神经外科临床带教中具有较高的推广应用价值，为神经外科临床带教模式的优化与创新提供了新的思路与实证依据。未来，随着人工智能及数字化医疗技术的不断发展，通过进一步优化流程、融合前沿技术，该联合教学模式将为推动神经外科医学教育事业提供更强大的助力。

基金项目

安徽省教育厅高等学校科学研究项目重点项目(2023AH053312)。

参考文献

- [1] 李翔, 唐勇, 史岩, 等. 标准化带教模式在神经外科住院医师规范化培训中的应用[J]. 中国毕业后医学教育, 2026, 10(1): 48-51.
- [2] 王漾, 李鹏, 齐景翠, 等. 手术模拟及 3D 打印技术在耳科教学中的应用[J]. 河南医学研究, 2025, 34(5): 896-899.
- [3] 高永涛, 王春洁, 范丹楠, 郭双磊, 陈亚杰. 基于 CCTalk 平台的 PBL 教学模式在神经外科临床带教中的应用效果[J]. 中国现代医生, 2024, 62(11): 105-108.
- [4] Bongetta, D. and Zoia, C. (2025) Editorial: Training and Education in Neurosurgery: Strategies and Challenges for the Next Ten Years, Volume II. *Frontiers in Surgery*, **11**, Article ID: 1536176. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1536176>
- [5] Shen, J., Zhang, S., Sun, D., Ge, R., Chen, S., Fang, J., et al. (2025) Comparison of Face-to-Face Teaching and Online Teaching in Neurosurgery Education for Medical Students. *BMC Medical Education*, **25**, Article No. 232. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-06817-4>
- [6] 王拓, 张北辰, 周浩宇, 等. 3D 打印导板技术在神经外科肿瘤定位教学中的应用[J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(5): 600-603+609.
- [7] 杨驰, 王建标, 杨思明, 洪文明, 王斌. 实践性多模态融合教学法在神经外科培训中的运用[J]. 中华全科医学, 2022, 20(6): 1049-1051.
- [8] Menna, G., Riva, D., Ranalli, C., Marino, S., Martinelli, R., Olivi, A., et al. (2026) Advancing White Matter Knowledge in Neurosurgical Training: Validation and Educational Impact of a Novel 3-Dimensional-Printed Simulator. *World*

Neurosurgery, 206, Article ID: 124778. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.124778>

- [9] 徐维林, 张建民, 邵安文. 多模态影像技术在神经外科规培生教学中的应用[J]. 中国高等医学教育, 2025(6): 92-93+97.
- [10] 苗磊, 张伦, 王蛟蛟. PBL 教学法结合临床思维综合训练系统在神经外科临床教学中的应用[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2024, 36(3): 92-93+97.
- [11] 方泽斌, 翁宇翔, 俞建波, 等. 带教老师担任 SP 的改良 CBD 教学法在神经外科见习教学中的应用[J]. 中国高等医学教育, 2024(6): 102-103+112.
- [12] 王举磊, 王宝, 陈慧芸, 等. 3D 打印技术联合 CBL 教学模式在神经外科医师规范化培训中的应用[J]. 医学教育研究与实践, 2023, 31(2): 258-262.
- [13] 周律, 陈真怡, 耿宇阳, 等. 多影像融合技术结合 PBL 教学法在神经外科临床教学中的应用[J]. 教育进展, 2025, 15(10): 344-354.
- [14] 董阳, 郭孟果, 曹磊, 等. 3D 打印联合案例教学法在神经外科脑血管病教学中的应用效果[J]. 黑龙江医药科学, 2025, 48(4): 195-196.
- [15] 康暉, 曾静梅, 赵贤军, 等. 探讨案例教学法结合 3D 打印在神经外科临床教学中的应用[J]. 中国卫生产业, 2024, 21(13): 199-202.
- [16] 李洋, 张思佳, 张莉晗, 等. 人工智能融合 PBL 教学法神经外科临床教学管理模式优化路径研究[J]. 中国医院管理, 2025, 45(8): 70-72+76.