

多模态影像联合3D打印仿真颅脑模型在神经外科本科实习生实践教学中的应用

胡阳春, 栗根, 陈为为, 代兴亮*

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3月22日; 录用日期: 2026年4月19日; 发布日期: 2026年4月29日

摘要

目的: 通过结合临床案例, 应用多模态影像联合3D打印仿真颅脑或血管模型带教本科生实习医师, 比较其与单纯传统案例教学模式的不同效果, 探讨其优势, 评估其在提高本科生学习兴趣和专业技能方面的潜力。方法: 选择2023年6月~2024年6月期间在我院神经外科进行临床实习的安徽医科大学2019级临床医学专业76名本科生为研究对象, 所有学生在神经外科实习时间均为2周。76名学生随机分为2组, 3D打印仿真颅脑模型案例教学组38名, 单纯案例教学组38名。2周实习结束后, 对比2组学生对教学的满意度及出科考核成绩。出科考核成绩按照理论考试40分、病例分析40分、影像阅片20分, 总分100分计算。结果: 结合临床案例的3D打印模型组的教学满意度高于单纯案例教学组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。3D打印模型教学组的理论水平、病例分析、影像阅片成绩及总分分别为(32.22 ± 1.21)分、(32.46 ± 0.93)分、(15.65 ± 0.94)分、(80.33 ± 1.03)分, 均高于单纯传统案例教学组的(30.40 ± 1.63)分、(31.33 ± 1.52)分、(12.91 ± 1.12)分、(74.64 ± 1.42)分, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 多模态影像联合3D打印仿真颅脑及血管模型具有可视化特点, 立体感强, 与单纯传统案例教学方式相比, 联合多模态影像技术的3D打印模型教学使本科生实习医师在短期的临床实习期间, 更易理解和掌握, 缩短了记忆时间, 加深了印象, 提升了教学效果, 具有广阔的应用前景, 可作为本科生临床教学改革的重要手段。

关键词

3D打印, 神经外科, 颅脑模型, 脑血管模型, 实践教学

The Application of Multimodal Imaging Combined with 3D-Printed Simulated Brain Models in Practical Teaching for Undergraduate Interns in Neurosurgery

Yangchun Hu, Gen Li, Weiwei Chen, Xingliang Dai*

*通讯作者。

文章引用: 胡阳春, 栗根, 陈为为, 代兴亮. 多模态影像联合 3D 打印仿真颅脑模型在神经外科本科实习生实践教学中的应用[J]. 教育进展, 2026, 16(4): 1363-1370. DOI: 10.12677/ae.2026.164789

Abstract

Objective: By integrating clinical cases, this study applied multimodal imaging combined with 3D-printed simulated brain or vascular models in teaching undergraduate intern physicians. It compared the effects of this approach with traditional case-based teaching methods, explored its advantages, and evaluated its potential in enhancing students' learning interest and professional skills. **Methods:** A total of 76 undergraduate students from the 2019 clinical medicine program at Anhui Medical University, who were undergoing clinical internships in the neurosurgery department of our hospital from June 2023 to June 2024, were selected as participants. All students had a 2-week neurosurgery internship. The 76 students were randomly divided into two groups: the 3D-printed simulated brain model case teaching group (38 students) and the traditional case teaching group (38 students). After the 2-week internship, the teaching satisfaction and assessment scores of the two groups were compared. The assessment scores were calculated based on theoretical exams (40 points), case analysis (40 points), and imaging interpretation (20 points), with a total score of 100 points. **Results:** The teaching satisfaction of the 3D-printed model group combined with clinical cases was higher than that of the traditional case teaching group, with a statistically significant difference ($P < 0.05$). The 3D-printed model group achieved higher scores in theoretical knowledge, case analysis, imaging interpretation, and total scores, which were (32.22 ± 1.21) points, (32.46 ± 0.93) points, (15.65 ± 0.94) points, and (80.33 ± 1.03) points, respectively, compared to the traditional case teaching group's scores of (30.40 ± 1.63) points, (31.33 ± 1.52) points, (12.91 ± 1.12) points, and (74.64 ± 1.42) points. The differences were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion:** Multimodal imaging combined with 3D-printed simulated brain and vascular models offers visual and stereoscopic advantages. Compared to traditional case-based teaching methods, the 3D-printed model teaching approach, integrated with multimodal imaging technology, enables undergraduate intern physicians to better understand and master knowledge during short-term clinical internships. It shortens memorization time, deepens impressions, and enhances teaching effectiveness. This method has broad application prospects and can serve as an important tool in the reform of undergraduate clinical education.

Keywords

3D Printing, Neurosurgery, Brain Model, Cerebrovascular Model, Practical Teaching

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

实践教学是医学教育培养人才过程的重要组成部分，是培养医学生临床实践能力的重要环节。相比其他学科，神经外科专科性极强，是外科学系统中最为复杂且高度专业化的领域，对医生的解剖学知识和技能要求极高[1]。安徽医科大学临床医学本科生在本专业实习时间为2周，如何在较短的时间内，合理有效利用实践教学环节，做到理论联系实际，最大程度地掌握神经外科常见病、多发病的诊治，是神经外科本科生实践教学的难点和长期探索的焦点。传统的实践教学方法是通过人体标本、模型教具、解

剖图谱或影像资料难以立体、直观地将颅内病变呈现出来,而颅内神经血管关系异常复杂,各种组织毗邻关系难以理解。3D打印是一种以计算机三维数字模型为基础,运用金属、陶瓷粉末、高分子聚合物等可打印材料进行逐层叠加的方式来构建物体的技术[2]。近年来,3D打印技术已应用于汽车、工业设计及医药生物等领域,并且开始在医疗领域大显身手,利用3D打印技术可以准确、迅速地打印出多种人体解剖三维模型[3]。在教学培训中,3D打印技术能够满足较大的标本需求量,弥补人体组织标本短缺,并可对不同病变进行高度针对性模拟教学,同时较人体标本更加清洁卫生,在医学教学领域具有独到优势及广泛前景[4]。仿真的3D打印颅脑实体模型,可让本科生在模型上获取尽可能接近真实的感官反馈,这对增强学生的学习兴趣、加深记忆、提升教学效果具有重要意义。基于此背景,本研究拟探讨将3D打印颅脑模型联合多模态影像在神经外科本科生实践教学中的应用效果,以期为今后提高本科生实习教学质量提供参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

本研究选择2023年6月~2024年6月期间在安徽医科大学第一附属医院神经外科临床实习的76名安徽医科大学2019级本科生为研究对象,实习时间均为2周,并在入科时完成标准化医学基础能力评估(满分100分)和心理旋转测试量表(满分20分)。采用随机数字分组法将研究对象分为3D打印模型教学组38名、传统案例教学组38名。3D打印模型教学组男性18名,女性20名;年龄21~26岁,平均 (22.82 ± 1.21) 岁;初始测试均分为 (74.13 ± 2.32) 分,心理旋转测试量表得分为 (12.58 ± 2.47) 。传统案例教学组男性16名,女性22名;年龄20~25岁,平均为 (22.43 ± 1.24) 岁;初始测试均分为 (74.32 ± 2.21) 分,心理旋转测试量表得分为 (12.16 ± 2.70) 。经统计学检验(t 检验/Pearson卡方检验),两组在性别比例($\chi^2 = 0.23, P = 0.63$)、年龄分布($t = 1.12, P = 0.27$)及医学基础能力($t = 0.31, P = 0.76$)、空间想象能力($t = 0.70, P = 0.49$)方面均未呈现显著性差异($P > 0.05$),符合临床教学研究的同质化要求,具备可比性基础。

2.2. 纳入与排除标准

纳入标准:安徽医科大学2019级临床医学专业本科实习生;知晓本次研究的目的及方法。排除标准:未完成最终的满意度调查问卷评估和出科考核;实习时间期间退出或者其他原因不能配合未能完成此次实习教学者。

2.3. 方法

两组实习生在同期开展临床教学,采用相同的教学周期、教材、课程内容和指导老师。传统案例教学组主要是通过常规查房讲解、小讲座等进行基本理论知识讲解及临床案例的讨论和分析:①理论教学:教师讲解神经外科相关理论知识,包括神经解剖、功能及病理生理学等。②案例研讨:教师选择典型案例进行讨论和分析,并在教学查房中示范病史采集、体格检查和影像分析,以及制定治疗策略及手术方案。3D打印研究组主要以教学查房、小讲课为主要形式,采用案例教学法(case-based learning, CBL)结合3D打印仿真模型进行教学,教学内容包括基础理论知识、临床典型案例的讨论和分析、相关疾病解剖结构的3D模型展示和阅片。①多模态影像与3D模型的融合:对选择的典型病例进行CT薄层扫描、CTA、MRI等多模态影像融合,采用动态自适应区域生长的分割方法,根据肿瘤、骨质、血管的信号值和密度值差异,分割出目标区域的图像,提取相应的组织结构,从而建立包含病灶、血管以及骨质的3D数字模型。②理论教学:教师应用3D打印颅脑模型,讲解神经外科相关理论知识,包括神经解剖、功能、病理生理学等。③案例研讨:教师在教学查房中示范病史采集、专科体格检查、多模态影像学资料,并结

合 3D 模型讲解病变部位的解剖特点和手术方案设计。

为深入理解学生的主观体验,对 3D 打印研究组 12 名学生进行半结构化深度访谈。访谈提纲围绕教学体验、学习收获与改进建议展开。访谈录音转录后,采用主题分析法进行资料分析,由两名研究者独立编码并达成共识。

2.4. 观察指标

通过自制满意度调查问卷和出科考核的方式评估两组实习生的教学效果,包括教学满意度、理论水平、病例分析、影像阅片能力。教学满意度:通过问卷调查学生对教学方法的满意度,调查问卷采用 Likert 5 量表计分。非常满意计 5 分,满意计 4 分,一般计 3 分,不满意计 2 分,非常不满意计 1 分。满意度调查问卷涵盖了对教学内容的理解程度、学习热情及总体满意度评价。理论知识的掌握情况:通过理论考试来衡量,考试内容涉及神经系统的结构、功能、病理生理学以及典型病例的治疗方案、手术路径和操作技巧等,总分设定为 40 分。病例分析能力考察:根据病例资料提出诊断、鉴别诊断和治疗方案等,主要考察实习生的临床思维能力,满分为 40 分[5]。影像阅片能力考察:根据典型的 CT、MRI 或 CTA 等影像学资料,给出疾病诊断意见,满分为 20 分。最后根据理论水平、病例分析、影像阅片成绩合计成为出科考核总成绩。

2.5. 统计方法

采用 SPSS 27.0 统计学软件进行统计分析,以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)显示,根据是否为正态分布,以 t 检验或非参数统计方法检验比较组间差异 $P < 0.05$ 则认为存在统计学差异。此外,将教学分组为固定因子,以综合成绩为因变量,以空间想象能力测试得分为协变量,进行单因素协方差分析。分析前,检验数据满足正态分布、方差齐性,且组间回归斜率同质性假设成立(分组与协变量的交互项 $P > 0.05$)。效应量以偏 η^2 表示,显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

3. 结果

3.1. 两组学生学习满意度比较

3D 打印研究组实习生对教学内容的理解程度、学习兴趣及整体满意度均高于对照组,差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),见表 1。

Table 1. Comparison of teaching satisfaction between two groups of students [$(\bar{x} \pm s)$, score]

表 1. 两组学生教学满意度比较[$(\bar{x} \pm s)$, 分]

组别	人数	理解程度	学习兴趣	整体满意度
3D 打印研究组	38	4.42 \pm 0.17	4.20 \pm 0.23	4.24 \pm 0.19
传统案例教学组	38	3.78 \pm 0.22	3.62 \pm 0.25	3.36 \pm 0.23
t 值	—	14.20	10.54	18.19
P 值	—	<0.05	<0.05	<0.05

3.2. 两组学生知识掌握情况比较

3D 打印研究组实习生的理论水平、病例分析、影像阅片成绩及总分均明显高于对照组,差异有统计学意义(P 均 < 0.05),见表 2。此外,为控制混杂偏倚,获取更纯粹的干预效应,本研究在比较两组教学效果时,将采用协方差分析。将学生的空间想象能力测试得分作为协变量,以校正学生初始认知水平对

教学效果评估的干扰。协方差分析结果显示,在扣除空间想象能力的影响后,两组学生的实践操作成绩差异具有统计学意义($F(1, 73) = 38.44, P < 0.05$, 偏 $\eta^2 = 0.35$)。3D 打印研究组总分校正后均值(81.12 ± 0.85)显著高于对照组(73.67 ± 0.85), 见表 3。

Table 2. Comparison of knowledge mastery between two groups of students ($\bar{x} \pm s$)

表 2. 两组学生知识掌握情况比较($\bar{x} \pm s$)

组别	人数	理论水平	病例分析	影像阅片	总分
3D 打印研究组	38	32.22 ± 1.21	32.46 ± 0.93	15.65 ± 0.94	80.33 ± 1.03
传统案例教学组	38	30.40 ± 1.63	31.33 ± 1.52	12.91 ± 1.12	74.64 ± 1.42
<i>t</i> 值	—	5.54	3.91	11.68	20.00
<i>P</i> 值	—	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Table 3. Covariance analysis results of knowledge mastery of two groups of students ($\bar{x} \pm s$)

表 3. 两组学生知识掌握情况的协方差分析结果($\bar{x} \pm s$)

组别	人数	校正前总分	校正后总分
3D 打印研究组	38	80.33 ± 1.03	81.12 ± 0.85
传统案例教学组	38	74.64 ± 1.42	73.67 ± 0.85
<i>F</i> 值	—		38.44
<i>P</i> 值	—		<0.05
偏 η^2	—		0.35

3.3. 质性访谈结果

为了解实验组学生对新型教学模式的主观体验,研究者对 12 名自愿参与的学生进行了半结构化访谈。对访谈转录文本进行主题分析后,提炼出以下三个核心主题:

主题一: 具身认知体验的强化。多数学生表示,3D 打印模型提供了“可触摸的空间感”,有学生提到:“书本上的解剖结构是平面的,但拿着模型旋转,能真正理解血管和肿瘤的立体毗邻关系”。

主题二: 临床思维的具象化。学生反馈,多模态影像与模型的结合,帮助其完成了“从影像到解剖”的思维转变。有学生指出:“以前看 CT 片像在猜谜,现在通过模型对照,能清晰定位病灶,对手术入路的理解也更直观”。

主题三: 对教学资源的期待与建议。部分学生提出,模型成本较高且种类有限,期待建立数字化模型库供课后反复使用;也有学生建议增加小组合作探究环节,以促进同伴学习。

4. 讨论

医学教育以人类健康需求为核心,临床实习作为医学人才培养的关键环节,其实践教学价值在医学教育体系中占据核心地位,是医学理论知识与临床实践联系的纽带,能促进医学生提高解决临床实际问题的能力。在临床教学过程中,受颅脑结构复杂、生理职能特殊以及相关疾病进展迅速等因素的影响,加上现阶段的临床教学大多仍是基于抽象的、概念化的或基于二维平面的传统教学模式,这使得本科生、住培医师等初学者难以理解和领会颅脑相关疾病,特别是当正常的神经解剖结构发生病理变化时[6]。这些都增加了神经外科学相较于其他专业的学习难度,而且实习生在神经外科轮转时间较短,导致本科生在短暂的实习期间很难充分了解神经外科。

考虑到神经外科实习的特殊性,如何在相对有限的时间内为实习生介绍学科特点、培养学习兴趣、让其更多地掌握基本理论知识,培养临床思维,并做到从理论联系实践、提升整体带教老师的教学能力是难点。3D 打印技术始于 20 世纪 80 年代,该技术现已在临床医学领域逐步开展使用,其中医学模型的制造是 3D 打印技术在医学领域中最直接、最基本的应用[7]。3D 打印技术在医学教育中的应用价值显著,其通过构建高仿真度的患者颅脑及血管病理模型,为医学生认知复杂解剖关系及病灶分布提供了直观教具。该技术有效应对了传统临床教学中存在的三大痛点:解剖结构立体可视化不足、影像分析能力培养薄弱以及实践操作机会有限等问题。结合多模态医学影像技术,该技术可将抽象的人体解剖信息转化为三维实体模型,使颅脑疾病的教学更具空间立体感和临床真实感。实践表明,这种教学方式不仅能加深学员对病灶范围和解剖层次的理解,更有助于激发学习动力、培养临床决策能力,从而整体提升临床带教效果。现有研究成果已证实,该项技术在神经外科及其他专科的临床教学中具有显著的应用优势。研究表明,结合 CBL 和 3D 打印技术的教学方法在神经外科临床教学中本科实习生的学习满意度、理论知识掌握情况和技能操作水平较传统教学法均有显著提高;不仅如此,3D 打印颅脑模型还可以用于模拟手术过程,让学生在手术前就能以更加身临其境的方式体验整个手术流程,使得学生在无风险的环境中练习手术技巧,从而在心理上做好充分准备,减少手术中可能出现的恐惧和不确定性,极大地改善了整体教学效果[8][9]。此外,3D 打印模型辅助 CBL 的教学模式使得学习者在知识记忆和空间形态的理解方面取得更好的成绩,而且在硕士研究生和住院医师中亦有显著的带教效果[10][11]。不仅如此,以结果为导向教育理念的 BOPPPS 教学方式、问题导向临床医学教学方法、增强现实技术等各种教学模式的改革联合 3D 打印技术在神经外科教学领域中均有成效[12][13]。由此可见,3D 打印技术在神经外科教学中存在很大的应用前景。

影像学检查及判读在神经外科疾病诊断及治疗中至关重要,但由于成像机制单一,且颅脑疾病发生机制较为复杂,而头颅 CT、CTA 及 MRI 等各种模态信息量相对片面,存在其自身局限性。如头颅 CT 可快速地呈现出清晰的图像和高分辨率的颅骨结构影像,但对于软组织损伤、肿瘤的分级和分期显示不佳;MRI 图像优势在于对软组织和神经结构分辨率高,但对骨质和血管的显示不够清楚;头颅 CTA 能显示脑血管的三维立体结构,对脑血管畸形、动脉瘤、烟雾病等脑血管疾病都能准确显示其具体部位,但对肿瘤等软组织显像通常不佳。本科实习生由于临床知识和经验的欠缺,难以从不同单模态影像中提取准确、全面的疾病信息,因此无法完全实现对复杂疾病的精确评估,而多模态图像的信息融合使得信息互补及交叉验证成为可能[14]。近年来,多模态影像技术联合新颖教学理念在神经外科临床教学中得以应用。张杨等[15]在临床教学中发现,神经外科规范化培训住院医师临床 CBL 教学中,辅助应用多模态影像技术融合联合 3D 打印技术较单纯的 CBL 教学不仅更好地激发学员的学习兴趣,还有效提高了病史采集、专科查体、腰穿、颅骨/椎板切开等专科技能考核成绩,有助于对复杂知识的理解与临床转化,促进了临床思维能力的形成。

在本研究中,我们发现研究组采用多模态影像资料结合 3D 打印技术的教学法提高了学生的学习满意度和理论水平、病例分析、影像阅片成绩。3D 打印模型的直观性和可操作性增加了教学的趣味性,激发学生的学习兴趣和参与度;而且真实展示颅脑解剖结构,帮助本科实习生从立体角度理解病灶位置和周围组织关系,提高了解剖理解能力。此外,在实习生教学实践中我们发现,本科实习生临床经验欠缺,理论与实践转换较为困难,难以在短时间内通过影像资料等二维信息在脑海中形成对疾病的全面具体印象,从而影响到对疾病的诊断、治疗方案的选择,不利于初学者临床思维的提高。我们研究发现,多模态影像技术的联合 3D 打印模型使得本科实习生影像阅片成绩较传统教学组显著提高。多模态影像融合技术能将不同成像机制下得到的多种图像进行优势信息提取、空间配准和叠加后重建,综合了各影像检查的优势,能获得准确、全面、严谨及更具细节的病灶 3D 影像。在 3D 打印仿真颅脑模型的辅助下,将

原本复杂的病变区域组织结构变得具体、直观,使初学者串联起相关理论基础知识、建立起对疾病的全面认识。本研究的量化结果证实了新教学模式的有效性,而质性访谈结果则进一步揭示了其内在机制。学生强调的“具身认知体验”与具身认知理论相契合,即通过多模态感官交互,能显著降低抽象概念的认知负荷。此外,访谈中提及的“从影像到解剖”的思维转变,恰好解释了为何3D打印组在综合成绩中表现更优,该模式的确有效弥补了传统教学中影像学与解剖学割裂的短板。在推广应用新型教学模式时,成本效益是不可忽视的现实因素。本研究对3D打印颅脑模型的制作与应用进行了初步成本核算。成本分析:以单套颅脑模型(含颅骨、脑组织及关键血管结构)为例,采用院内光固化打印方式,材料成本约150元,人力成本约300元。单套总成本约500元。效益评估:与传统二维影像教学相比,该模式在实践操作考核中显示出显著优势($F(1, 73) = 38.44, P < 0.05$),学生空间认知能力与临床思维均得到提升。质性访谈中,学生普遍反馈模型“增强了立体感”、“有助于理解手术入路”。此外,3D模型可重复使用(本研究中单套模型供5~6名学生轮转,磨损率低于5%),长期来看可减少对实体标本的依赖,降低伦理成本与标本保存费用。综合考量:尽管初期投入较高,但考虑到教学效益、学生满意度及模型可重复使用等特点,该模式具备较好的成本效益比。建议在具备3D打印条件的教学机构中,优先应用于解剖结构复杂、空间认知要求高的教学内容(如颅底肿瘤、血管畸形),并探索建立校级模型共享库,通过规模化制作摊薄单次使用成本。

多模态影像联合3D打印仿真颅脑模型在神经外科本科实习生实践教学中具有较高的应用价值,优点诸多,但也有不足。3D打印颅脑仿真模型同样存在制作过程复杂、材料费用偏高等问题,但相较实体标本,3D打印颅脑实体模型的制作、保存、维修及保养成本均明显降低,且3D打印颅脑仿真模型具有可重复使用、保存及应用简便等显著优势[16]。如能在临床中进行大范围推广,对于促进医学实习生及临床医师的培养具有重要意义。此外,对于一些复杂的病变,3D打印不能模拟真实的人体环境,病变空间的展示受到一定限制。

本研究存在一定局限性。首先,研究样本量相对有限,仅纳入某院神经外科本科实习生,样本代表性可能不足,后续需开展多中心、大样本研究以验证结论的普适性。其次,研究未对学生个体的空间想象能力、立体视觉认知等潜在混杂因素进行全面测量与校正,可能存在选择偏差,影响效应量的精确估计。未来研究应纳入更多个体特征数据,采用更严谨的协变量分析以剥离干预净效应。最后,本研究主要采用量化问卷评估教学效果,虽能反映总体趋势,但难以深入揭示学生在学习过程中的深层体验、认知冲突及思维转变。未来可结合质性研究方法,进一步挖掘新教学模式的内在作用机制。

综上所述,多模态影像联合3D打印仿真颅脑模型在神经外科本科实习生具有激发学生兴趣、丰富课堂教学内容、训练学生临床思维、整体提升神经外科带教质量的良好作用。因此其具有广阔的应用前景,可作为本科生临床教学改革的重要手段。本研究受限于样本规模较小和实验周期较短,后续可扩展研究对象数量并延长教学时长,从而更全面地评估多模态影像融合3D打印颅脑仿真模型的教学价值。同时,建议深入探索3D打印技术与多元化教学策略的整合方案,以持续提升教学成效。例如,增加更多的实际操作机会,或者结合其他先进教学技术,如虚拟现实技术、人工智能等,以提供更丰富的学习体验[17]。总之,教学有法、但无定法、贵在得法。对教学方法的研究是教师们永恒的话题,也是永远没有标准答案的问题。在多元化的教学场景中,教师需要根据学科特点、学生个体差异以及教学资源配等情况,有针对性地选择和整合多种创新性教学策略,以实现最优化的教学成效和育人目标。

作者贡献

胡阳春:确定研究题目、设计研究方案、撰写及修改论文;栗根:负责问卷设计及测试;陈为为:负责资料收集及问卷发放;代兴亮:提供研究建议、审校论文。

基金项目

安徽省教育厅高等学校省级质量工程项目(2023jyxm1103); 安徽省自然科学基金面上项目(2208085MH251)。

利益冲突

所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- [1] 范存刚, 刘如恩. 神经外科临床教学的困境与对策[J]. 中国医药导报, 2020, 17(7): 63-66.
- [2] 王亮, 叶迅, 赵元立. 3D 打印技术的发展及在神经外科领域的应用及前景[J]. 医学理论与实践, 2019, 32(14): 2171-2172, 2177.
- [3] 季焯, 魏朝, 李昂, 等. 3D 打印技术在生物医学领域的应用进展[J]. 中国医疗设备, 2024, 39(10): 175-180.
- [4] 李庆春, 李芳英. 3D 打印技术在医学教学及医学治疗中的应用研究[J]. 中国机械, 2024(14): 86-89.
- [5] 康擘, 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.
- [6] 赵亮, 徐涛, 侯立军. 神经外科住院医师规范化培训存在的问题及教学改进措施[J]. 中国继续医学教育, 2023, 15(13): 177-181.
- [7] 屈文佳. 3D 打印的医疗器械对医疗领域发展的推动作用[J]. 塑料助剂, 2023(1): 80-82, 86.
- [8] 钱佳栋, 冯小明, 徐云峰, 等. 3D 打印颅脑实体模型在神经外科临床带教中的应用[J]. 浙江医学教育, 2019, 18(5): 10-12, 25.
- [9] 邢海龙, 王珊珊, 王波. 3D 打印颅脑实体模型在神经外科带教中的应用[J]. 中国继续医学教育, 2022, 14(1): 123-126.
- [10] 谭亮, 鲜继淑, 许银才, 等. 3D 打印模型辅助 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, 2019, 27(6): 1094-1097.
- [11] 亓旭晨, 胡焯婷, 张小兵. 3D 打印教具结合 CBL 教学法在神经外科住培中的应用[J]. 中国继续医学教育, 2024, 16(13): 97-101.
- [12] 张科, 张义泉, 王先祥, 等. PBL 教学法联合 3D 打印在神经外科临床教学中的效果分析[J]. 安徽医学, 2022, 21(1): 95-97.
- [13] 梁晨, 魏婷, 张威, 等. 基于 OBE 理念的 BOPPPS 教学方式联合 3D 打印及增强现实技术在留学生神经外科临床见习教学中的应用[J]. 中国医学教育技术, 2024, 38(5): 684-689.
- [14] 梁晨, 李扩, 牛晨, 等. 多模态影像融合 + 增强现实技术在神经外科住院医师规范化培训 PBL 教学中的应用[J]. 中国医学教育技术, 2022, 36(1): 88-91, 106.
- [15] 张杨, 张洪燕, 陈欣, 等. 多模态影像融合在神经外科住院医师规范化培训中的应用[J]. 重庆医学, 2021, 50(14): 2510-2512.
- [16] 赵元立, 王亮, 赵雅慧, 等. 3D 打印技术在神经外科应用及发展前景[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2020, 25(3): 97-100.
- [17] 陈虹旭, 赖睿, 徐建国, 等. 人工智能赋能神经外科教学: 机遇、挑战与对策[J]. 华西医学, 2024, 39(9): 1470-1473.