



PBL与3D打印数字化技术在脊柱外科教学中的应用

王放¹, 李杰¹, 张廷¹, 王栋¹, 贺西京^{1,2}

1. 西安交通大学第二附属医院骨科中心, 陕西 西安 710004;

2. 西安国际医学中心医院骨科, 陕西 西安 710100

摘要: **目的** 探究问题驱动教学法(Problem-based Learning, PBL)联合3D打印技术、数字化工具及人工智能反馈系统,对脊柱外科临床教学中医学硕士研究生理论掌握、临床技能、综合素质及教学认可度的影响,构建“数字化—素质化—智能化”三位一体新型教学体系。**方法** 选取2023年3月—2025年3月在脊柱外科轮转的医学专硕68名(分批次入组,每批次教学周期8周),随机分为实验组与对照组各34名。对照组用传统教学,实验组加用PBL、3D打印、数字化平台及AI反馈系统,比较两组理论成绩、临床技能、综合素质及教学评价得分。**结果** 实验组理论成绩(82.56 ± 5.32)分、临床技能(85.36 ± 4.89)分、综合素质(88.62 ± 4.15)分、教学评价(35.28 ± 3.15)分,均显著高于对照组(75.12 ± 6.18)分、(73.25 ± 5.67)分、(76.35 ± 5.23)分、(26.75 ± 4.23)分,差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 该新型教学模式可提升专硕多方面能力,为脊柱外科临床教学改革提供有效路径,值得推广。

关键词: PBL教学法; 3D打印; 数字化技术; 人工智能反馈; 脊柱外科; 临床教学

DOI: 10.13555/j.cnki.c.m.e.2026.04.015

中图分类号: G642 文献标志码: A 文章编号: 2096-3181(2026)04-0619-06

Application of PBL and 3D Printing Digital Technology in Spine Surgery Teaching

WANG Fang¹, LI Jie¹, ZHANG Ting¹, WANG Dong¹, HE Xijing^{1,2}

1. Orthopedic Center, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, China;

2. Department of Orthopedics, Xi'an International Medical Center Hospital, Xi'an 710100, China

Abstract: **Objective** To explore the impact of the PBL teaching method combined with 3D printing technology, digital tools, and artificial intelligence (AI) feedback systems in the clinical teaching of Spinal Surgery on postgraduate students' theoretical knowledge, clinical skills, comprehensive competencies, and acceptance of the teaching, and construct a “digital-qualitative-intelligent” three-in-one teaching system. **Methods** A total of 68 professional degree medical postgraduates rotating in the Department of Spinal Surgery of our hospital from March 2023 to March 2025 were enrolled (in batches; each teaching cycle lasted 8 weeks) and randomly assigned to the experimental group and the control group ($n=34$ each). The control group received

收稿日期: 2025-12-09

基金项目: 陕西省自然科学基金面上项目(2024J-YBMS-702)

作者简介: 王放(1989—),男,副主任医师,博士,陕西商洛人,研究方向为脊柱微创与脊柱脊髓损伤。

通信作者: 贺西京(1958—),男,主任医师,博士生导师,研究方向为脊柱脊髓损伤。



traditional teaching, while the experimental group received an integrated mode combining PBL, 3D printing, a digital teaching platform, and an AI feedback system. Theoretical knowledge, clinical skills, comprehensive competency, and teaching evaluation scores were compared between the two groups. **Results** The experimental group achieved significantly higher scores in theoretical knowledge (82.56 ± 5.32), clinical skills (85.36 ± 4.89), comprehensive competency (88.62 ± 4.15), and teaching evaluation (35.28 ± 3.15) than the control group (75.12 ± 6.18 , 73.25 ± 5.67 , 76.35 ± 5.23 , and 26.75 ± 4.23 , respectively), with all differences being statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** This new teaching mode enhances various competencies of professional master's students and provides an effective pathway for reforming clinical education in Spinal Surgery, making it worthy of promotion.

Keywords: PBL teaching method; 3D printing; Digital technology; AI feedback; Spinal Surgery; Clinical teaching

脊柱外科为外科学中复杂、精准的学科,其临床教学一直面临着解剖抽象、手术风险大、理论与实践相结合难等问题。作为未来临床诊疗骨干的医学研究生,迫切需要一种有效的教学模式来提高他们的临床思维和实践能力^[1-2]。传统的脊柱外科教学,主要依赖于课堂教学和手术观察,学生不能直观地理解脊柱的三维解剖关系和病变特点,导致其对疾病的诊断和治疗仅停留在浅层次^[3-4]。

问题驱动教学法(Problem-based Learning, PBL)是近几年出现的一种以问题为导向、探究式学习模式,被广泛应用于医学教学^[5-7]。3D打印技术因其对人体解剖结构的精确还原,可为临床教学提供可视化的操作载体,对提高空间认知能力具有重要意义^[8-9]。数字化技术(如虚拟仿真平台、在线协作工具)能打破时空限制,优化教学资源整合;人工智能反馈系统则可实现教学过程的实时监测、个性化评估与精准指导。本研究将上述技术与方法深度融合,构建“数字化—素质化—智能化”三位一体的临床教学模式,探索其在脊柱外科教学中的应用效果,为教学模式优化提供实证支撑。

1 资料及方法

1.1 基线资料

本研究选取2023年3月—2025年3月在西安交通大学第二附属医院(以下简称本院)脊柱外科进行临床见习或实习的68名医学专业学位硕士在读研究生作为研究对象。按照随机数字表法将其分为实验组和对照组,每组各34名。

样本量估算:本研究采用两独立样本 t 检验进行样本量估算。参考既往PBL联合3D打印相关教学研究报道的中等至较大效应量(Cohen's d 取0.8为保守估计),设双侧 $\alpha = 0.05$ 、检验效能($1 - \beta$) = 0.80,则每组至少需26名。考虑约20%的失访/退出风险,最终

确定每组34名,共68名。

研究实施时间与入组方式:研究时间跨度为2023年3月—2025年3月,研究对象按临床轮转批次分批入组,单批次教学周期为8周,共入组4批次,各批次之间相互独立、无交叉;每批次结束后即完成结局评价。

实验组中,男性20名,女性14名;年龄区间为22~28岁,平均年龄为(23.68 ± 1.35)岁,其中骨科专业硕士18名,其余专业硕士16名。对照组中,男性18名,女性16名;年龄区间为23~29岁,平均年龄为(24.52 ± 1.42)岁,其中骨科专业硕士18名,其余专业硕士16名。两组学生在性别、年龄、专业方向等一般资料方面比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。

纳入标准:①医学专业学位硕士在读,处于脊柱外科临床见习或实习阶段,且尚未进入脊柱外科亚专业系统学习;②未接受过脊柱外科相关的PBL教学法培训或3D打印技术辅助教学;③自愿参与本研究并签署知情同意书;④能够保证在脊柱外科临床学习时间不少于6周,且能配合完成全程教学及评估。

排除标准:①临床学习期间因疾病、事假等原因导致脊柱外科学习时间不足4周,无法完成规定教学内容及评估者;②既往接受过脊柱外科相关的PBL教学或3D打印技术辅助教学;③存在严重的沟通障碍、认知功能异常,或因存在精神疾病等无法配合完成教学活动及效果评估;④中途退出研究或拒绝提供完整评估数据者;⑤既往有脊柱外科疾病史或接受过脊柱外科手术者(可能影响对教学内容的客观理解);⑥同期参与其他脊柱外科相关教学研究项目者。

1.2 方法

两组均已完成为期8周的脊柱外科临床教学,授课教师均为3位副主任医师或以上职称教师,授课内



容涵盖脊柱外科常见疾病的诊治和基本操作。

对照组采用传统的临床教学模式,每周2次,每次90分钟,内容涉及脊柱解剖学,常见疾病的诊断和手术原理;同时结合临床病例开展临床指导,每天随带教教师参加病房查房和手术观摩,每周安排60分钟的技能操作演示,包括脊柱查体和手术器械使用等内容。

实验组采用“PBL教学法+3D打印技术+数字化平台+人工智能反馈”的整合教学模式,具体如下。

PBL病例研讨:每周1次(每次120分钟),以真实临床病例为核心设置探究性问题(如“复杂脊柱骨折的个体化治疗方案制定”),引导学生通过在线协作工具(如腾讯文档、飞书)分组查阅文献、整理资料、开展跨时空讨论,教师全程引导并把控研讨方向。

3D打印实操训练:采用1:1精准复刻的脊柱模型(含颈椎、胸椎、腰椎、骶椎模型各5组),每周1次(每次45分钟),结合数字化解剖软件(如Complete Anatomy),指导学生观察病变区域空间结构,模拟手术路径规划与内固定器械放置,教师现场纠错指导。

模型数据来源为临床薄层CT影像数据(DICOM格式)。CT采用多排螺旋扫描获取脊柱骨性结构数据,管电压120 kVp,自动管电流(参考200~300 mAs),螺距0.8~1.2 mm;原始层厚0.625 mm,重建层厚0.625~1.0 mm,重建间隔0.5~1.0 mm;矩阵512×512;FOV约220~320 mm(按不同节段调整);采用骨算法/高分辨率重建核进行图像重建。影像数据导入Mimics 21.0(Materialise)完成阈值分割与区域生长等操作,生成三维重建模型并导出STL文件;必要时对网格进行修补与平滑处理后用于打印。打印设备为Form 3B+(SLA),打印材料为光敏树脂;打印层厚设定为0.05~0.10 mm,理论成型精度约±0.1~0.2 mm。精度验证:随机选取10处解剖标志点(如椎体前后径、椎弓根宽度、椎管矢状径、棘突长度等),分别测量打印模型与原始三维重建模型的对应该尺寸并计算绝对误差;结果显示,模型关键解剖尺寸误差控制在毫米级范围内(平均误差约0.4~0.6 mm,最大误差约1.0~1.5 mm),以支持“1:1精准复刻”的表述,并满足教学与路径规划演示的精度需求。

数字化教学支撑:搭建专属在线教学平台,整合电子教材、手术视频、解剖图谱及病例数据库等资源,学生可随时自主学习;利用虚拟仿真手术系统进行术前模拟演练,记录操作轨迹与关键参数。

人工智能反馈优化:引入脊柱外科教学专用AI

反馈系统,通过图像识别、动作捕捉技术,实时分析学生在3D打印模型及虚拟仿真系统中的操作行为(如椎弓根螺钉置入角度、进针深度),生成量化评估报告,指出操作偏差并提供个性化改进建议;对理论学习进度、病例分析逻辑进行数据化追踪,推送针对性补充学习资源。

本研究使用的AI反馈系统为商用虚拟现实外科教学与评估平台Osso VR(Osso VR, Inc.)。系统采用基于深度相机的光学动作捕捉(如深度相机+视觉标记/器械端识别标记)实时采集器械与关键解剖标志点的空间位姿,并通过多源数据融合与滤波(如卡尔曼滤波)降低抖动误差;在此基础上对“计划轨迹(plan)”与“实际轨迹(actual)”进行配准与对齐(基于标志点/模型坐标系的刚体配准),实现操作过程的实时量化评估。系统空间定位精度阈值设定为 ≤ 2.0 mm,角度精度阈值设定为 $\leq 2.0^\circ$ (采样频率约30 Hz)。操作偏差评估采用以下量化指标:置钉角度偏差($|\theta_{actual} - \theta_{plan}|$,单位 $^\circ$)、入钉点偏移(mm)、进针深度偏差(mm),必要时增加椎弓根壁穿破距离/方向(mm)等安全性指标。量化报告按预设分级标准输出:当角度偏差 $\leq 3^\circ$ 、入钉点偏移 ≤ 2 mm、深度偏差 ≤ 2 mm判定为“优秀”; $\leq 5^\circ/\leq 3$ mm为“良好”; $\leq 8^\circ/\leq 5$ mm为“合格”;超过上述阈值判定为“需改进”。系统基于偏差类型与方向(如内倾/外倾、头侧/尾侧、浅/深)自动生成个性化纠错建议,并对理论学习进度与病例分析任务完成情况进行数据化追踪,推送针对性补充学习资源,以提高教学评价的客观性与可重复性。

1.3 观察指标

理论知识掌握情况:采用闭卷笔试形式考核脊柱外科专业知识,试卷满分为100分,包含单选题30道(每题1分)、多选题10道(每题2分)、简答题3道(每题10分),内容涵盖脊柱解剖结构、常见疾病诊断标准、手术适应症及并发症处理等,考核时间为90分钟,以实际得分进行统计分析。

临床技能操作能力:通过模拟操作考核评估实践能力,满分为100分。考核项目包括脊柱物理检查(20分)、3D打印模型下手术入路设计(30分)、内固定器械模拟放置(30分)、病例分析及治疗方案制定(20分),由3名高年资医师按照统一评分标准独立打分,取平均分作为最终成绩。

综合素质评估:新增综合素质考核维度(满分100分),包括自主学习能力、团队协作能力、创新思维能力、沟通表达能力及批判性思维能力5个维度(各20分)。为降低评分者主观偏差,采用标准化评分量



表(见表1)。其中“创新思维”包含二级指标:治疗方案优化建议的可行性(0~10分)与创新性(0~10分);“批判性思维”包含二级指标:对现有诊疗方案证据的评价(0~10分)与提出可执行改进路径(0~10分)。评分由3名高年资教师独立完成,考核前进行统一培训,取三者平均分作为最终成绩。

表1 综合素质标准化评分量表

维度(20分)	二级指标(0~10分)	评分要点	分值
自主学习能力	学习投入	平台学习记录、文献检索与整理质量。	0~10
	学习成效	要点总结与知识迁移能力。	0~10
团队协作能力	协作贡献	分工执行、信息共享与支持同伴。	0~10
	沟通协调	讨论表达清晰、倾听与整合他人观点。	0~10
创新思维	可行性	治疗方案优化建议可实施、风险可控。	0~10
	创新性	新思路/新路径/新工具应用的原创性。	0~10
沟通表达能力	病例汇报	结构清晰、重点突出、时间控制。	0~10
	医患沟通	同理心、解释清晰、风险告知到位。	0~10
批判性思维	证据评估	能识别证据等级与局限,论证充分。	0~10
	改进路径	提出可执行改进方案并进行风险—获益权衡。	0~10

注:各维度满分20分,均由二级指标(每项0~10分)构成;评分者依据“证据充分性/逻辑性/可执行性”等要点评分。

教学模式评价:采用自制问卷调查评估学生对教学方法的认可程度。问卷包含8个条目,涉及学习兴趣提升、空间结构理解、临床思维培养、自主学习能力促进等方面,每个条目采用Likert 5级评分法(1分表示非常不认可,5分表示非常认可),总分范围为8~40分。问卷编制基于文献回顾与专家讨论形成初稿,并邀请6名医学教育/脊柱外科专家进行内容效度评价,计算内容效度指数($I-CVI \geq 0.78$, $S-CVI/Ave \geq 0.90$);在预调查80名学生后进行结构效度检验,并报告内部一致性($Cronbach's \alpha = 0.86$)。得分越高表明对教学模式的认可度越高。

1.4 统计学方法

采用SPSS 25.0统计学软件进行数据分析,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以率(%)表示,采用 χ^2 检验。除 P 值外,进一步计算效应量(Cohen's d)以反映两组差异的实际意义。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组学生理论知识掌握情况

实验组理论知识得分为(82.56 ± 5.32)分,对照组理论知识得分为(75.12 ± 6.18)分,两者相比具有统计学差异($P < 0.05$),效应量Cohen's $d = 1.29$ 。详见表2。

2.2 两组学生临床技能操作能力

实验组临床技能操作得分为(85.36 ± 4.89)分,对照组临床技能操作得分为(73.25 ± 5.67)分,两者相比具有统计学差异($P < 0.05$),效应量Cohen's $d = 2.29$ 。详见表3。

表2 理论知识掌握情况对比表(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	理论知识得分	t	P	Cohen's d
实验组	34	82.56 ± 5.32	4.287	0.000	1.29
对照组	34	75.12 ± 6.18			

注:两组学生理论知识得分比较,采用独立样本 t 检验,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

表3 临床技能操作能力对比表(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	临床技能操作得分	t	P	Cohen's d
实验组	34	85.36 ± 4.89	5.721	0.000	2.29
对照组	34	73.25 ± 5.67			

注:两组学生临床技能操作得分比较,采用独立样本 t 检验,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 两组学生综合素质评估情况

实验组综合素质评估得分为(88.62 ± 4.15)分,对照组综合素质评估得分为(76.35 ± 5.23)分,实验组显著高于对照组,差异有统计学意义($t = 7.935$, $P = 0.000 < 0.05$),效应量Cohen's $d = 2.6$ 。详见表4。

表4 综合素质评估情况对比表(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	综合素质评估得分	t	P	Cohen's d
实验组	34	88.62 ± 4.15	7.935	0.000	2.60
对照组	34	76.35 ± 5.23			

注:两组学生综合素质得分比较,采用独立样本 t 检验,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。



2.4 两组学生对教学模式的评价

实验组教学模式评价得分为 (35.28 ± 3.15) 分,对照组教学模式评价得分为 (26.75 ± 4.23) 分,两者相比具有统计学差异($P < 0.05$),效应量Cohen's $d = 2.29$ 。详细见表5。

表5 教学模式评价对比表(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	教学模式评价得分	t	P	Cohen's d
实验组	34	35.28 ± 3.15	6.842	0.000	2.29
对照组	34	26.75 ± 4.23			

注:两组学生对教学模式的评价得分比较,采用独立样本 t 检验,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

3 讨论

为深化前文提出的“数字化—素质化—智能化”三位一体教学体系,本研究在讨论中按上述框架分层阐释。①数字化:3D打印+数字化平台提升空间认知与资源可及性;②素质化:PBL驱动的主动学习与综合素质培养;③智能化:AI反馈形成“操作—评估—优化”闭环并实现个性化指导。三者协同作用共同提升教学成效。

3.1 数字化与智能化融合提升理论与技能教学实效

脊柱外科手术解剖结构复杂,病因复杂,传统教学方式主要依靠口头讲解和二维影像演示,很难使学生真正了解复杂的空间关系和病理变化^[10-11]。本组结果表明,实验组在理论知识测验中的表现明显优于对照组($P < 0.05$)。

实验组采用的整合教学模式中,3D打印模型提供了具象化的解剖载体,配合数字化解剖软件与虚拟仿真系统,使学生能多维度观察病变特征与解剖关系;PBL教学法以问题驱动探究,促使学生主动整合理论知识与临床实践;而人工智能反馈系统则实现了“操作—评估—优化”的闭环训练,通过实时量化分析与个性化建议,帮助学生快速定位操作偏差,显著提升技能训练效率^[12-13]。研究结果显示,实验组理论知识与临床技能得分均显著高于对照组,印证了数字化与智能化技术对教学实效的强化作用,与“问题探究—实体操作—数字仿真—智能优化”的教学逻辑高度契合。

与既往主要聚焦“PBL+3D打印”组合的脊柱外科教学研究^[1,9,13]相比,本研究进一步引入数字化教学平台与AI反馈系统:数字化平台可实现资源整合与跨时空协作,AI反馈则提供客观量化的操作偏差评估

与个性化改进建议,从而在教学效率、个体化指导与综合素质培养方面形成额外增益。

3.2 素质化培养适配现代医学人才需求

现代医学对临床医师的要求已从单纯的“知识+技能”转向“综合素质+核心能力”,包括自主学习、团队协作、创新思维及医患沟通等关键素质^[14]。本研究在观察指标中新增综合素质评估维度,正是顺应这一人才培养趋势。实验组通过PBL小组协作研讨,培养学生的团队协作与沟通表达能力;数字化平台支持自主拓展学习,强化自主学习能力,3D打印的数字化模型允许反复操作且无风险,学习者可在模型上尝试不同手术入路(腰椎后路与侧方入路)的操作差异,对比不同内固定器械的安装效果,这种容错性训练能显著提升操作自信心,为临床实际手术积累宝贵的操作经验,这也是实验组在模拟手术考核中表现更优的重要原因。

对于脊柱融合手术等复杂操作,人工智能模型能直观展示植骨块的最佳放置位置、融合器的尺寸选择标准。当练习颈椎前路椎间盘切除手术时,学习者可在人工智能模型上模拟显露椎体、减压操作的全过程,通过触摸硬膜囊的模拟质地,体会“减压充分与避免损伤”的平衡要点,有效缩短从理论认知到实际操作的转化周期^[15]。AI反馈与病例探究结合,鼓励学生质疑现有方案、提出创新思路,促进批判性思维与创新思维发展。结果显示实验组综合素质得分显著高于对照组,表明该教学模式不仅能提升知识与技能,更能全方位赋能综合素质培养,实现从“技术型人才”到“复合型人才”的培养目标^[16-17]。

3.3 教学模式认可度差异的深层教学逻辑

本研究中,实验组对教学模式的评价得分明显高于对照组($P < 0.05$)。出现此类结果的核心原因并非仅技术手段的新颖性,更在于该模式契合成人学习规律:以问题驱动教学法(PBL)提升学习动机与意义建构,实体与数字化载体强化空间认知,而AI的即时反馈降低试错成本并促进精准改进。脊柱外科教学面临的核心问题,是从抽象理论到临床决策能力的转换,传统“教师讲授—学生被动接受”的教学模式难以满足研究生培养高层次思维的需要^[18]。

从学习体验来看,数字化资源的便捷性、3D数字化打印与虚拟仿真的趣味性、AI反馈的即时性,极大地提升了学习参与感;从学习效果来看,知识掌握更扎实、技能提升更快速、综合素质更全面,使学生获得明确的成长反馈;从职业发展来看,该模式所培养的自主探究、智能工具应用等能力,适配未来精准医疗与数字化医疗的发展趋势,增强了学生的职业竞争



力^[19-20]。此外,教学模式的个性化设计(如 AI 推送的定制化学习资源)满足了不同学生的学习节奏与薄弱点,进一步提升了教学认可度。

3.4 本研究的局限性及应用前景

本研究在验证 PBL 教学模式与 3D 打印数字化技术相结合效果的同时,也有其局限性。①样本数量仅限于 68 人,且全部为硕士生,无法纳入不同教育水平和多中心数据,导致结论普适性较差。②教学效果评价多集中于教学结束后一周内,若无长达三个月的长期追踪,则不能证明知识及技能之长期留存效果。③目前 3D 打印数字化模型只能静态再现解剖结构,缺少对生物力学性能的仿真,无法满足实际手术中组织弹性反馈的需要;AI 反馈系统目前主要聚焦于操作行为分析,对临床思维的深度评估能力仍需优化。

4 结语

虽然存在上述局限,但这种教学模式仍有广阔的应用前景。在样本扩展方面,可联合多所医学院校开展前瞻性研究,包括本科生、硕士生和规培医生等不同人群,对该模式的适用性进行验证。评价体系方面,可以引进客观结构化临床测验(Objective Structured Clinical Examination, OSCE),增加患者的标准化互动环节,全面评估学生的临床思维和交流能力。优化 AI 反馈系统,整合自然语言处理技术,实现对病例分析逻辑、诊疗思路的深度评估与指导。在推广应用方面,此类模式可以扩展到脊柱外科的继续教育,对基层医院的医生进行针对性的培训;结合虚拟现实 AI 技术,建立“PBL+3D 数字化打印+AI”三位一体系统,实现虚拟手术方案设计和实体建模操作的无缝连接,为虚拟手术设计提供了新的思路。此类创新的教学模式,不仅可以提高教学效率,而且为脊柱外科精准训练提供规范化的解决方案,促进脊柱外科教学由“经验传承”向“数据驱动”转变。

参考文献:

- [1]杨旭铭,牟东刚,张继美,等.PBL教学法结合3D打印在脊柱外科临床教学中的应用效果[J].昆明学院学报,2020,42(3):124-126.
- [2]童凯,廖琦,胡戈亮,等.PBL联合MDT教学模式在脊柱外科病例教学中的实践探索[J].卫生职业教育,2025,43(15):47-50.
- [3]曲哲,高啸,冯虎.基于在线平台的PBL教学模式在脊柱外科见习带教中应用[J].继续医学教育,2025,39(5):26-30.
- [4]吴炳轩,刘宝戈.3D打印模型联合PBL教学法在脊柱肿瘤教学中的应用研究[J].继续医学教育,2024,38(11):58-61.
- [5]张玉娜,武霞,刘波,等.PBL联合案例式立体教学法在住院医师规范化培训脊柱外科教学中的应用[J].中国毕业后医学教育,2024,8(3):183-186.
- [6]管俊杰,陈向东,陈晓庆,等.情景模拟联合PBL教学法在脊柱侧弯住培教学中的应用研究[J].中国继续医学教育,2024,16(1):54-57.
- [7]魏周阳,谭谈,刘忠,等.数字化解剖与虚拟手术仿真系统在骨科PBL教学中的应用及效果评价[J].医学教育研究与实践,2023,31(2):215-219.
- [8]赵雄,张丰,王新力,等.3D打印模型辅助CBL与PBL教学模式在脊柱畸形教学查房中的应用效果[J].中国医药导报,2022,19(16):67-70.
- [9]冯改丰,周劲松,靳辉,等.3D打印在中枢神经系统解剖学教学中的应用研究[J].医学教育研究与实践,2024,32(1):79-84.
- [10]曹振华,孙明霞,杨铁翼,等.PBL教学法结合3D打印在脊柱外科临床教学应用效果及知识掌握度分析[J].健康必读,2021(5):175.
- [11]田野,魏磊鑫,林文波,等.3D打印技术的脊柱外科临床教学[J].解放军医院管理杂志,2017,24(8):779-781.
- [12]夏子茗,徐敏,黄承军,等.CBL与PBL教学模式在脊柱骨科临床实习的应用[J].中国中医药现代远程教育,2023,21(8):32-35.
- [13]何彬,刘豪,赵金秋.3D打印联合PBL教学法应用于脊柱外科教学的效果[J].继续医学教育,2023,37(9):45-48.
- [14]张向东,牛伟刚,王彬.3D打印技术在中医骨伤临床专业型硕士脊柱手术PBL教学中的应用[J].中国卫生产业,2016,13(12):113-115.
- [15]高永月,曹博强,庄宗,等.3D打印联合PBL教学法在脑血管疾病住培教学中的应用分析[J].中国继续医学教育,2023,15(10):46-50.
- [16]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.
- [17]刘金伟,张净宇,刘艳成,等.3D打印个性化人工椎体的应用现状和发展趋势[J].中国矫形外科杂志,2025,33(14):1295-1302.
- [18]杨冠华,王智斌.3D打印技术联合PBL教学法在神经外科临床教学中的应用价值分析[J].世界最新医学信息文摘,2021,21(48):359-360.
- [19]杨昊睿,刘璐,康南.数字化技术在强直性脊柱炎手术中的应用进展[J].中国修复重建外科杂志,2025,39(7):896-902.
- [20]门茜儒,刘林.人工智能赋能医学教育现代化的应用挑战与现实路径[J].医学教育研究与实践,2025,33(5):641-646.

(编辑:杨雪莹)