Advances in Education 教育进展, 2025, 15(10), 344-354
Published Online October 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2025.15101841

Hans汉斯

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

周　律[1]，陈真怡[2]，耿宇阳[3]，娄琪玥[3]，陶文一[3]，姚　辉[1]，刘冬冬[1]，代兴亮[1]，高　鹏[1*]

[1]安徽医科大学第一附属医院 神经外科，安徽 合肥
[2]安徽医科大学精神卫生与心理科学学院，安徽 合肥
[3]安徽医科大学第二临床医学院，安徽 合肥

收稿日期：2025年8月29日；录用日期：2025年9月24日；发布日期：2025年9月30日

摘　要

神经外科临床教学面临着诸多挑战，传统的教学方法难以满足现代医学教育的需求。近年来，多影像融合技术的快速发展为神经外科临床教学提供了新的可能性。该技术通过整合不同影像数据，提升了学生对复杂解剖结构的理解。同时，基于问题的学习(PBL)模式强调学生主动学习与团队合作，能够有效增强学习效果。本文综述了多影像融合技术与PBL在神经外科临床教学中的联合应用，分析了其在提升学生空间认知能力、手术规划能力和临床决策能力方面的优势及其协同效应。通过系统梳理现有研究成果，探讨了这种创新教学方法在实际应用中的关键问题，并对未来的发展方向进行了展望，以期为神经外科临床教学的改革提供参考和借鉴。

关键词

多影像融合技术，PBL，神经外科，医学教育，手术教学

The Application of Multi-Image Fusion Technology Combined with PBL Teaching Method in Neurosurgery Clinical Teaching

Lv Zhou[1], Zhenyi Chen[2], Yuyang Geng[3], Qiyue Lou[3], Wenyi Tao[3], Hui Yao[1], Dongdong Liu[1], Xingliang Dai[1], Peng Gao[1*]

[1]Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui
[2]School of Mental Health and Psychological Sciences, Anhui Medical University, Hefei Anhui
[3]Department of Clinical Medicine, The First Clinical College of Anhui Medical University, Hefei Anhui

[*]通讯作者。

文章引用: 周律, 陈真怡, 耿宇阳, 娄琪玥, 陶文一, 姚辉, 刘冬冬, 代兴亮, 高鹏. 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. DOI: 10.12677/ae.2025.15101841

Received: August 29, 2025; accepted: September 24, 2025; published: September 30, 2025

Abstract

Clinical teaching in neurosurgery faces numerous challenges, and traditional teaching methods struggle to meet the demands of modern medical education. In recent years, the rapid development of multi-modal image fusion technology has opened up new possibilities for neurosurgical clinical teaching. By integrating different imaging data, this technology enhances students' understanding of complex anatomical structures. Meanwhile, the Problem-Based Learning (PBL) model, which emphasizes students' active learning and teamwork, can effectively improve learning outcomes. This article reviews the combined application of multi-modal image fusion technology and PBL in neurosurgical clinical teaching, and analyzes their advantages and synergistic effects in enhancing students' spatial cognitive ability, surgical planning ability, and clinical decision-making ability. By systematically organizing existing research findings, the paper discusses key issues in the practical application of this innovative teaching method and provides an outlook on its future development, aiming to offer references for the reform of neurosurgical clinical teaching.

Keywords

Multi-Modal Image Fusion Technology, Problem-Based Learning, Neurosurgery, Medical Education, Surgical Teaching

Copyright © 2025 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

因为神经外科具有手术复杂性和高风险性特点，传统的教学模式在空间认知和手术技能训练方面的不足日益显现。因此，探索更有效的教学工具和方法显得尤为重要。近年来多影像融合技术的快速发展，尤其是 CT 与 MRI、DSA 与 MRI 的融合，为神经系统解剖的可视化提供了新的可能性。这种技术使得医学生和住院医生能够更直观地理解神经系统的复杂解剖结构，并在实操中更好地应用这些知识[1] [2]。

基于问题的学习模式(the Problem-Based Learning model, PBL)，通过真实的临床案例，促进学生主动学习和临床思维的培养。PBL 的引入使得学生不仅能够学习到基础知识，还能在实际操作中发展出解决复杂临床问题的能力[3]。在 PBL 的框架下，医学生通过小组讨论和案例分析，能够更深入地理解临床问题，并在此过程中提升自己的沟通和团队协作能力。

本文就当前神经外科临床教学的现状，探讨结合多影像融合技术与 PBL 模式的实施方式、优势及开展障碍，进行相关总结，以期为结合多影像融合技术与 PBL 教学法在神经外科临床教学中的应用提供依据。

2. 神经外科教学的特殊性与挑战

2.1. 神经解剖的复杂性

神经系统的解剖结构复杂且多样，给神经外科医生在进行手术时带来了显著的挑战。首先，三维空间关系的理解困难是神经解剖复杂性的主要原因之一。颅脑和脊柱区域包含多个重要的解剖结构，如动

脉、静脉和神经，这些结构在三维空间中相互交织，形成复杂的网络。研究表明，了解颅底的动脉和静脉解剖对确保安全的手术治疗至关重要，但由于这一区域的解剖复杂性，短时间内掌握这些知识是非常困难的[4]。

其次，辨识颅脑脊髓的重要神经血管结构也是一个巨大的挑战。颅脑脊髓不仅是多种神经和血管的交汇处，而且这些结构在手术过程中可能会隐藏在周围的解剖结构后面，增加了识别的难度[5]。例如，在处理位于颅底的肿瘤时，外科医生必须准确地识别出与肿瘤相邻的神经和血管，以避免术后并发症。准确识别这些结构的能力往往依赖于丰富的解剖学知识和实践经验。

最后，手术入路的选择多样性为神经外科手术提供了多个选择，但同时也带来了更高的复杂性。神经外科手术常用的入路包括经鼻内窥镜入路、经颅入路等，每种入路都有其独特的适应症和技术要求[6][7]。外科医生需要根据患者的具体情况、肿瘤的位置及其与周围重要结构的关系，选择合适的手术入路。这种多样性增加了手术规划的复杂性，也要求外科医生具备灵活应变的能力，以适应不同的手术情况。

综上所述，神经系统解剖的复杂性体现在其三维空间关系的理解、重要神经血管结构的辨识挑战以及多样的手术入路选择上。这些因素要求外科医生在进行神经外科手术时具备扎实的解剖学基础和丰富的临床经验，以确保手术的成功和患者的安全。

2.2. 传统教学方法的局限性

传统教学方法在医学教育中虽然有其历史和实践基础，但随着时代的发展，其局限性逐渐显现，尤其是在神经外科教学领域。首先，二维图像的认知偏差是传统教学的重要问题之一。许多医学课程仍然依赖于二维影像如 X 光片和普通 CT 图像，这些图像在空间理解和结构识别上存在局限。这种二维的视角往往无法充分展现复杂的三维解剖关系，导致学生在学习过程中产生认知偏差，无法准确理解神经系统的立体结构和临床相关性[8]。此外，传统方法通常缺乏对动态过程的介绍，使得学生在面对真实手术时难以形成系统性的思维。

其次，尸体标本的获取与保存问题也是传统教学的一大短板。尽管尸体解剖是医学教育的基石，但在实际操作中，尸体的获取、保存和使用都面临一系列伦理和实际问题。许多医学院校受到法律法规的限制，导致尸体资源稀缺，而尸体在保存过程中也可能因条件不当而影响教学质量[9]。这种资源的不可得性限制了学生的实践机会，也使得他们在面对真实病患时缺乏必要的解剖知识和手术经验。

最后，手术室观摩的实践限制同样不可忽视。传统的教学模式往往依赖于在手术室的观摩学习，但由于手术室的空间限制和患者安全的考虑，学生在观摩时的参与程度往往受到限制，难以进行深入的学习[10]。这种被动的学习方式容易导致学生的学习动机下降，无法激发其主动探索和实践的兴趣。此外，手术观摩往往缺乏系统化的反馈机制，学生的疑问和不解之处难以得到及时解决，进而影响学习效果。

综上所述，传统教学方法在神经外科教学中存在着二维图像的认知偏差、尸体标本获取与保存问题以及手术室观摩的实践限制等多方面的局限性。这些问题不仅影响了学生的学习体验，更对其未来的临床实践能力造成了负面影响。因此，亟需探索和引入新技术和教学方法，以弥补传统教学的不足，提升学生的学习效果与临床技能[11]-[13]。

3. 多影像融合技术的教学优势

3.1. 技术原理与实现方式

在神经外科临床工作和教学中，多影像融合技术的应用为医生提供了更精确的解剖结构和病变信息，促进了手术的安全性和有效性。本节将详细探讨 CT-MRI 融合、DSA-MRI 融合和 PET-CT 的功能代谢信息整合的技术原理与实现方式。

CT-MRI 融合的互补优势主要体现在影像的解剖信息和病理信息的互补性。CT 影像提供了优良的骨骼结构可视化，而 MRI 则在软组织对比度和细节方面具有无可比拟的优势。通过将 CT 和 MRI 影像进行融合，可以生成更为全面的解剖图像，为神经外科医生提供在手术中更为直观的信息。例如，CT 能快速显示颅骨结构，而 MRI 则能更好地显示肿瘤与周围组织的关系，这对于规划手术路径至关重要[14]。

另一方面，DSA (数字减影血管造影)与 MRI 的融合在血流动力学展示中发挥着重要作用。DSA 能够清晰地显示血管结构和血流情况，而 MRI 则能提供对组织的详细成像。这一结合使得医生能够在手术前评估肿瘤对血管的影响，从而制定出更为有效的手术方案。

PET-CT 结合了功能代谢信息与解剖信息，为颅脑肿瘤的诊断和治疗提供了新的视角。PET (正电子发射断层扫描)可通过代谢活性检测肿瘤的生物学特性，而 CT 则提供精确的解剖结构。通过将 PET 与 CT 图像进行融合，医生不仅可以了解肿瘤的位置和大小，还可以评估肿瘤的代谢状态。这种综合信息的获得，有助于制定个体化的治疗方案，例如在放疗规划中，医生能够更准确地确定肿瘤的边界和靶区，提升治疗效果[14]。

综上所述，CT-MRI 融合、DSA-MRI 融合和 PET-CT 的功能代谢信息整合，均通过各自的技术优势，为颅底外科手术提供了更加全面和精准的信息支持。这些技术的应用，不仅提升了手术的安全性，也为患者的康复提供了更为有利的条件。

3.2. 空间认知能力的培养

在神经外科教学中，空间认知能力的培养至关重要。随着医学影像技术的发展，三维重建与虚拟切割功能成为了有效的学习工具。这种技术使学生能够以更直观的方式理解复杂的解剖结构和手术路径，从而提高他们的空间认知能力。研究表明，三维重建能够帮助学生更好地理解空间关系和结构之间的相互位置，从而在实际手术中做出更为准确的判断和决策[15] [16]。

多平面同步显示技术也在空间认知能力的培养中发挥着重要作用。该技术允许学生在同一时间内查看不同平面的解剖图像，促进对空间关系的全面理解。这种方法不仅提高了学习效率，还帮助学生在较短时间内掌握复杂的空间信息，使其在临床实践中能够更好地进行空间定位和导航[17] [18]。

动态视角转换训练是另一种有效的教学策略。通过模拟手术操作或使用虚拟现实技术，学生可以在不同的视角下观察解剖结构。这种动态的视角转换不仅增强了学生的空间感知能力，还提高了他们的手眼协调能力和操作技能。这种训练方法被认为对培养学生的空间认知能力和实际操作能力具有显著的积极影响[19] [20]。

总之，空间认知能力的培养是神经外科教学中不可或缺的一部分。通过三维重建、虚拟切割、多平面同步显示技术和动态视角转换训练等方法，学生能够在更为直观和交互的环境中学习，从而提高其空间认知能力，这对其未来的临床实践将产生深远的影响。

3.3. 手术规划模拟功能

在神经外科手术中，手术规划模拟功能的实现对提高手术效率和安全性至关重要。通过虚拟手术入路设计、重要结构保护方案和并发症风险预测等方法，外科医生能够在手术前更好地了解患者的个体解剖结构，从而制定更为精准的手术计划。

虚拟手术入路设计是手术规划的重要组成部分。利用三维成像和图像融合技术，医生可以在计算机上模拟不同的手术路径，以确定最佳的入路方案。研究表明，使用三维重建技术进行虚拟手术规划可以显著提高肿瘤切除的成功率。例如，在一项针对颅内胶质瘤的研究中，应用 3D-Slicer 多模态图像融合技术进行术前规划，最终成功实现了 45 例患者的完全肿瘤切除[21]。这一技术的应用不仅使得手术入路设

计更加科学合理，还能有效降低术后并发症的发生率。

重要结构保护方案的制定也依赖于手术规划模拟功能。通过对患者颅脑解剖结构的详细分析，医生可以识别出手术过程中可能受到损伤的关键结构，如血管和神经。应用多模态图像融合技术，医生能够在手术前清晰地看到肿瘤与周围重要结构之间的关系，从而在手术中采取相应措施，避免对重要结构造成损伤。例如，在一项关于脑膜瘤手术的研究中，研究人员通过三维重建和图像融合技术，成功保护了多个重要的脑血管结构，确保了手术的顺利进行[22]。

并发症风险预测则是手术规划中的另一重要功能。借助于先进的成像技术，医生可以在手术前对潜在的并发症进行评估和预测。这一过程不仅有助于制定更为周全的手术计划，还能够为术后管理提供指导。例如，研究显示，在进行复杂的颅底肿瘤手术时，使用虚拟规划技术能够有效地识别手术风险，减少术后并发症的发生率[23]。通过这种方式，外科医生能够在手术过程中更好地应对突发情况，提升患者的安全性和满意度。

综上所述，手术规划模拟功能在神经外科手术中越来越凸显出重要的作用。通过虚拟手术入路设计、重要结构保护方案和并发症风险预测，外科医生能够更好地理解患者的解剖结构，从而制定出更为科学合理的手术计划。这不仅提高了手术的成功率，还降低了术后并发症的发生率，为患者的安全和健康提供了保障。

4. PBL 模式在神经外科教学中的应用

4.1. PBL 的基本教学流程

在医学教育中，问题导向学习(Problem-Based Learning, PBL)是一种以学生为中心的教学方法，通过真实的临床问题来激发学生的思考和解决问题的能力。PBL 的基本教学流程通常包括三个主要环节：临床问题的设计与呈现、小组讨论与自主学习、教师引导与反馈机制。

首先，临床问题的设计与呈现是 PBL 的起点。教师需要精心挑选和设计与课程相关的真实临床案例，以引发学生的兴趣和思考。这些案例通常涉及多种医学知识和技能，旨在促使学生在分析和讨论中整合所学的知识。例如，在某项研究中，研究人员探讨了 PBL 在医学遗传学教学中的应用，强调了通过临床案例实现深度学习的重要性[24]。这种方法不仅能提高学生的学习兴趣，还能帮助他们更好地理解复杂的医学概念和理论。

其次，小组讨论与自主学习是 PBL 的重要组成部分。在这一阶段，学生被分成小组，围绕提出的问题展开讨论。每个小组成员都需要积极参与，分享自己的见解和知识，同时也要倾听他人的观点。这种互动式的学习方式能够增强学生的合作能力和沟通技巧。研究表明，PBL 方法能够有效提升学生的批判性思维和问题解决能力[25]。小组讨论不仅促进了知识的共享与交流，还帮助学生在解决问题的过程中建立起自信心和独立思考的能力。

最后，教师的引导与反馈机制在 PBL 中同样至关重要。教师作为引导者，需在小组讨论中观察学生的互动并适时提供指导，确保讨论的方向正确且深入。此外，教师还需对学生的表现进行反馈，帮助他们识别学习中的不足之处并加以改进。例如，有研究显示，教师的反馈能够显著提升学生的学习动机和效果[26]。这种反馈机制的建立，不仅有助于学生理解和掌握知识，还能培养他们的自主学习能力，使他们在未来的学习中更具主动性。

通过上述三个环节的有效结合，PBL 教学流程能够最大限度地激发学生的学习潜能，提升他们的临床思维能力，为未来的医学实践打下坚实的基础。这一过程不仅强调知识的传递，更注重学生能力的培养，使他们在真实的医疗环境中能够灵活应对各种复杂的临床问题。

4.2. 临床思维能力的培养

在神经外科教学中，临床思维能力的培养也是非常重要的，尤其是在进行复杂手术和处理多种疾病时。通过多影像融合技术与问题为基础的学习(PBL)相结合，学生不仅能够获得必要的医学知识，还能在实际案例中锻炼临床思维能力。临床思维能力的培养可以从以下几个方面进行详细探讨。

首先，在鉴别诊断训练中，学生需要通过多种影像学检查结果进行综合分析，以识别疾病的不同可能性。例如，应用多模态成像技术，如 MRI 和 CT，帮助学生理解不同影像特征与疾病之间的关系，这种训练不仅提高了他们对影像学结果的解读能力，还促进了临床思维的灵活运用[27]。举例来说，神经肿瘤的诊断往往需要将影像学特征与病理信息结合，例如，通过分析肿瘤在影像学上的表现，学生可以更好地判断肿瘤的类型、位置及其对周围结构的影响，这种能力的培养对临床决策至关重要。

其次，治疗方案的选择也是临床思维能力的重要组成部分。学生在学习过程中，应该面对真实的临床案例，评估不同治疗方案的优缺点，并结合患者的具体情况做出合理的决定。借助多模态影像技术，学生能够更全面地理解肿瘤的生物学特性及其对治疗的反应。例如，针对甲状腺癌患者的淋巴结转移预测研究表明，结合多模态超声影像特征可以显著提高临床决策的准确性[28]。这种基于证据的学习方式能够帮助学生在未来的临床实践中，选择最适合患者的治疗方案。

最后，手术决策过程的模拟训练是提高临床思维能力的重要方式。通过虚拟手术模拟和实时反馈，学生可以在无风险的环境中练习手术技巧和决策能力。例如，利用虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术，学生能够在三维空间中进行手术规划，直观地理解手术步骤及注意事项[29]。这种模拟训练不仅增强了学生的手术决策能力，还提高了他们面对复杂情况时的应变能力。

综上所述，多影像融合技术与 PBL 在临床思维能力的培养中发挥了重要作用，帮助学生在鉴别诊断、治疗方案选择和手术决策模拟等方面全面提升能力。这种综合性的学习方法不仅为学生的未来职业生涯打下了坚实的基础，也为更好地服务患者提供了保障。

4.3. 团队协作能力的提升

在当今复杂的医疗环境中，团队协作能力的提升对于确保患者的安全和优化治疗效果至关重要。通过多学科协作模拟、角色扮演训练以及沟通技巧的培养，医疗教育能够有效地增强学生的团队协作能力。

首先，多学科协作模拟是提升团队协作能力的重要手段。这种模拟培训通过让学生在实际情境中与来自不同专业的同学合作，帮助他们理解各自的角色和职责。研究表明，这种实践能够提高学生的团队合作和沟通能力，从而为未来的临床工作做好准备[30] [31]。通过共同解决复杂的临床案例，学生能够在协作中学习，互相支持，增强信任感和责任感。这不仅提高了他们的专业技能，也培养了他们的集体意识和团队精神。

其次，角色扮演训练为学生提供了一个安全的环境，让他们可以模拟实际医疗情境，尝试不同的专业角色。这种方法促进了不同学科间的理解，减少了专业壁垒。例如，在急救模拟中，医学生和护理学生共同参与，模拟团队合作应对危机情况，从而增强了彼此的沟通和协作能力[32] [33]。通过这种互动，学生不仅学习了专业知识，还提升了对其他职业角色的理解，增强了团队协作的意识。

最后，沟通技巧的培养是团队协作能力提升的基础。有效的沟通能够确保团队成员之间的信息流通，提高协作效率。教育者可以通过模拟训练、案例讨论和小组活动等多种方式，加强学生的沟通技巧。例如，通过小组讨论和反馈，学生能够学习如何有效表达自己的观点，倾听他人的意见，从而促进团队内部的协作和协调[34]。在这种互动中，学生逐渐掌握如何在多学科团队中进行有效沟通，提高了他们的团队合作能力和自信心。

综上所述，通过多学科协作模拟、角色扮演训练和沟通技巧培养等多种方式，医疗教育能够有效提

升学生的团队协作能力。这不仅为学生的职业发展奠定了基础，也为未来的医疗服务质量和患者安全提供了保障。通过强化这些技能，教育者可以帮助学生更好地适应复杂的医疗环境，提高他们在团队中的表现，最终实现更高质量的患者护理。

5. 多影像融合技术与 PBL 教学法的协同效应

5.1. 教学内容的整合方式

在神经外科教学中，通过整合多种影像技术与基于问题的学习(PBL)方法，可以极大地提升学生的学习效果和临床技能。首先，影像数据作为 PBL 案例的基础，为学生提供了真实且复杂的临床情境。通过分析影像数据，学生可以在实际案例中识别病理特征并进行诊断。例如，研究表明，利用多模态影像融合技术能够更全面地评估肿瘤的特性及其与周围结构的关系，这为学生提供了丰富的学习素材[23] [35]。

其次，虚拟手术作为问题解决方案，能够帮助学生在实践中应用理论知识。虚拟手术模拟器允许学生在无风险的环境中进行手术练习，增强其手术技能和决策能力。这种方式不仅提高了学生的动手能力，还促进了对手术过程的深入理解。文献中提到，虚拟手术平台结合多模态影像数据，可以实现更精确的手术计划和更好的预后评估，这些都是学生在实际手术中需掌握的关键要素[36] [37]。

最后，动态反馈调整教学进度是提高教学质量的重要手段。通过实时监测学生在学习过程中的表现，教师可以根据学生的掌握情况及时调整教学策略。例如，结合学生在虚拟手术中的表现和影像分析能力，教师可以有针对性地提供额外的指导和资源。这种个性化的学习方式能够有效提高学生的学习效率和成就感，促进其在神经外科领域的专业成长。研究指出，利用动态反馈能够提升学生对复杂手术场景的理解和应对能力，从而增强其临床应变能力和综合素质[38] [39]。

总的来说，通过影像数据的整合、虚拟手术的应用以及动态反馈的调整，神经外科的教学能够更加系统化和个性化。这不仅提升了学生的学习体验，也为他们未来的临床实践打下了坚实的基础。

5.2. 典型教学案例分析

在颅底外科教学中，典型教学案例分析是一项重要的环节，旨在通过具体的手术实例，帮助学生和年轻医生理解和掌握复杂的手术技巧和术前规划。以下将详细分析两种常见的颅底手术案例：垂体瘤手术和听神经瘤手术。

首先，垂体瘤手术案例是颅底外科中最为经典的教学案例之一。垂体腺瘤通常通过神经内镜下的经鼻蝶入路进行切除。在一项研究中，采用三维图像融合技术进行手术规划，术前的 CT 和 MRI 资料被融合，帮助外科医生更准确地识别肿瘤位置及其与周围结构的关系[40]。这种方法不仅提高了手术的成功率，还能有效降低术后并发症的发生率[41]。根据一项回顾性研究，使用该技术的患者中，完全切除率达到 78.7%，且术后并发症发生率低于 15% [23]。这种教学模式强调了术前影像学评估的重要性，学生可以通过观察和分析这些影像数据，学习如何制定合理的手术方案。

其次，听神经瘤手术案例展示了如何在复杂的颅底解剖中进行精确的肿瘤切除。听神经瘤通常起源于内耳道，手术过程中需要精确保护听神经和面神经。在此类手术中，使用多模态影像融合技术，如 CT 和 MRI 的结合，能够为外科医生提供更清晰的肿瘤与神经结构的关系图谱，从而降低神经损伤的风险。研究表明，通过这种方法，手术的安全性和有效性得到了显著提高，术后听力恢复率也显著高于传统手术方法[42]。这类案例的分析使学生能够理解神经保护的重要性以及如何在手术中应用影像学技术来优化手术效果。

综上所述，典型教学案例分析不仅帮助学生和年轻医生掌握颅底外科的基本技能和知识，还能够通

过具体的手术实例，增强他们的临床思维能力和解决问题的能力。这种教学方式在未来的医学教育中将继续发挥重要作用。

6. 当前挑战

6.1. 技术层面的限制

在多影像融合技术与问题导向学习(PBL)在神经外科教学中的应用过程中，技术层面的限制显得尤为重要。这些限制主要体现在硬件设备的高成本、软件操作的复杂性以及数据标准化问题等多个方面。首先，硬件设备的高成本是一个显著的制约因素。多影像融合技术通常需要高性能的计算机和专业的医疗成像设备，如 CT、MRI 等。这些设备的采购和维护成本高昂，这种经济上的负担使得许多医学院和医院在选择教学工具时不得不权衡成本与效益。其次，软件操作的复杂性也是一个不可忽视的限制因素。多影像融合技术通常涉及多个软件平台，这些软件之间的操作界面和功能差异可能导致使用者在学习和应用过程中面临较大的技术挑战。最后，数据标准化问题也是制约多影像融合技术应用的一个重要因素。医学影像来自不同的设备和技术，数据格式和质量参差不齐，这使得在不同系统之间共享和整合数据变得困难。缺乏统一标准的数据格式可能导致数据融合的效率低下，甚至影响到最终的临床决策[43]。为了解决这些问题，需要从政策、教育和技术三个层面进行综合考虑，以推动多影像融合技术的进一步发展和应用。

6.2. 教学实施的障碍

在探索结合多影像融合技术与 PBL 模式在神经外科教学中的应用实施中，还存在一些困难。首先，师资培训需求是一项重要的障碍。研究表明，教师在采用新教学方法时，经常会遇到抵触情绪，特别是在缺乏必要的培训和支持的情况下[44]。有效的 PBL 实施依赖于教师具备足够的知识和技能，以引导学生通过临床案例进行深入探索和学习。然而，许多教师在 PBL 的教学方法上缺乏经验和培训，这导致了教师对新方法的抵制和学生学习积极性的降低。因此，为了有效实施 PBL，必须提供专门的培训和支持，使教师能够掌握相关知识，并提高其在教学中的自信心。其次，课程体系整合是另一个显著的障碍。PBL 要求对课程内容进行重新设计，以便将其与临床案例相结合。这种整合需要课程开发者和教师之间的紧密合作，但在实际操作中，这种协作往往受到时间、资源和行政支持的限制[45]。特别是在一些高压的医学院校，课程内容往往是按传统模式进行安排的，难以灵活调整。课程整合的缺乏不仅影响了 PBL 的有效性，还可能导致学生在不同课程之间产生知识碎片化，减弱学习效果。最后，时间资源配置也是实施 PBL 的一大挑战。研究表明，教师和学生在实施 PBL 时都面临工作负担过重的问题，尤其是在繁忙的医学教育环境中[46]。教师需要花费大量时间来准备案例和课程材料，而学生则可能因为繁重的学习任务而难以参与到 PBL 活动中。此外，缺乏有效的时间管理策略会导致 PBL 活动的实施流于形式，无法达到预期的教学效果。因此，教育机构需要重新评估课程安排和时间分配，以确保 PBL 活动能够顺利进行。为了克服这些挑战，教育机构应采取积极的措施，投资于教师的专业发展，优化课程设计，并合理配置教学时间，以促进新教学方法的有效实施。这不仅能提高学生的学习积极性和参与度，还有助于提升整体教学质量，为未来的医学教育奠定坚实的基础。

综上所述，多影像融合技术与 PBL 模式的结合为神经外科教学带来了新的机遇和挑战。通过合理的策略和有效的资源配置，有望实现这一创新教学方法的全面推广，为未来的神经外科教育注入新的活力。

致　谢

感谢以下项目对本研究的资助：安徽省教育厅省级质量工程项目(2022jyxm761, 2023jyxm1106)；大学

生创新训练计划项目(202510366012)。

参考文献

[1] Mellal, A., González-López, P., Giammattei, L., George, M., Starnoni, D., Cossu, G., *et al.* (2025) Evaluating the Impact of a Hand-Crafted 3D-Printed Head Model and Virtual Reality in Skull Base Surgery Training. *Brain and Spine*, **5**, Article ID: 104163. https://doi.org/10.1016/j.bas.2024.104163

[2] Li, X., Gao, P., Liu, A., Zuo, F., Hu, K., Wang, Y., *et al.* (2025) Enhancing Skull Base Tumor Management: The Combination of 3D Printing Technology and Endoscopic Surgical Techniques. *3D Printing in Medicine*, **11**, Article No. 26. https://doi.org/10.1186/s41205-025-00275-w

[3] Mohammed, A., Zegeye, R., Dawed, H. and Tessema, Y. (2024) Implementation of Problem-Based Learning in Undergraduate Medical Education in Ethiopia: An Exploratory Qualitative Study. *Advances in Medical Education and Practice*, **15**, 105-119. https://doi.org/10.2147/amep.s443384

[4] Srivatanakul, K. (2022) [Skull Base Vessel Anatomy]. *No Shinkei Geka*, **50**, 544-553. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35670167/

[5] Giotta Lucifero, A., Fernandez-Miranda, J.C., Nunez, M., *et al.* (2021) The Modular Concept in Skull Base Surgery: Anatomical Basis of the Median, Paramedian and Lateral Corridors. *Acta Biomedica*, **92**, e2021411. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34437364/

[6] Rao, D., Stein, R., Jenson, M., Patel, J. and Fiester, P. (2023) Imaging Review of the Endoscopic Operative Corridor for Clivus Lesions. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, **52**, 66-76. https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2022.07.005

[7] Tangsrivimol, J.A., Abouammo, M.D. and Prevedello, D.M. (2024) Endoscopic Anatomy of the Skull Base. In: Azab, W.A., Ed., *Endoscope-Controlled Transcranial Surgery*, Springer, 29-61. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61925-0_4

[8] Dai, K., Garcia, J. and Olave-Encina, K. (2023) In-between Worlds: Chilean University Lecturers' Experiences of Teaching Transition between Face-To-Face and Virtual Reality Contexts during the COVID-19 Pandemic. *Educational technology research and development*, **71**, 1851-1867. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10217-0

[9] Quek, F.F. (2024) Revolutionising Anatomy Education: The Current Role of Digital Technologies in Enhancing Anatomy Learning for Undergraduate Medical Students. *Cureus*, **16**, e75919. https://doi.org/10.7759/cureus.75919

[10] Prakash, J., Chatterjee, K., Jhamb, D., Srivastava, K. and Chauhan, V.S. (2021) Acceptability and Effectiveness of a Poetic Narrative Video Facilitated Large Classroom Teaching in Psychiatry. *Medical Journal Armed Forces India*, **77**, S157-S160. https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2021.01.001

[11] Chen, J. and Lu, H. (2022) Evaluation Method of Classroom Teaching Effect under Intelligent Teaching Mode. *Mobile Networks and Applications*, **27**, 1262-1270. https://doi.org/10.1007/s11036-022-01946-2

[12] Duan, A., Jiang, F., Li, L., Li, Q. and Chen, W. (2024) Design and Practice of Blended Teaching of Internal Medicine Nursing Based on O-AMAS Effective Teaching Model. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 580. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05588-8

[13] Li, H., Cai, Z., Liu, Y., Chen, Y., Lin, Q. and Liu, H. (2025) The Effect of PBL Teaching Method in the Teaching of Congenital Malformation. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1508415. https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1508415

[14] Li, Y., El Habib Daho, M., Conze, P., Zeghlache, R., Le Boité, H., Tadayoni, R., *et al.* (2024) A Review of Deep Learning-Based Information Fusion Techniques for Multimodal Medical Image Classification. *Computers in Biology and Medicine*, **177**, Article ID: 108635. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108635

[15] Dorfman, A., Weiss, O., Hagbi, Z., Levi, A. and Eilam, D. (2021) Social Spatial Cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **121**, 277-290. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.023

[16] Pfeffer, S. and Wolf, H. (2020) Arthropod Spatial Cognition. *Animal Cognition*, **23**, 1041-1049. https://doi.org/10.1007/s10071-020-01446-4

[17] Ishikawa, T. (2021) Spatial Thinking, Cognitive Mapping, and Spatial Awareness. *Cognitive Processing*, **22**, 89-96. https://doi.org/10.1007/s10339-021-01046-1

[18] Ben-Tov, M. and Gutfreund, Y. (2022) Spatial Cognition in Birds. *Current Biology*, **32**, R1085-R1089. https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.06.080

[19] LaDage, L.D., Gould, V.A., Sturgill, J.P., Holsinger, B.D. and Cobb Irvin, T.E. (2023) A Reflection on Noncognitive Factors Affecting Spatial Cognitive Testing: Examples from Nonmodel Species. *Journal of Comparative Psychology*, **137**, 102-115. https://doi.org/10.1037/com0000325

[20] Yang, K., Hu, Y., Zeng, Y., Tong, L., Gao, Y., Pei, C., *et al.* (2023) EEG Network Analysis of Depressive Emotion Interference Spatial Cognition Based on a Simulated Robotic Arm Docking Task. *Brain Sciences*, **14**, Article 44. https://doi.org/10.3390/brainsci14010044

[21] Liu, J. and Wang, B. (2024) Application of 3D-Slicer Software in the Treatment of Gliomas. *Journal of Craniofacial Surgery*, **36**, 578-581. https://doi.org/10.1097/scs.0000000000010786

[22] Zhao, J., Huo, H. and Jiang, J. (2025) Application of Multimodal Image Fusion 3D Reconstruction Technology Combined with 3D Printing Guide Plate in Meningioma Surgery. *World Neurosurgery*, **196**, Article ID: 123768. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.123768

[23] Jian, Z., Li, J., Wu, K., Li, Y., Li, S., Chen, H., *et al.* (2022) Surgical Effects of Resecting Skull Base Tumors Using Preoperative Multimodal Image Fusion Technology: A Retrospective Study. *Frontiers in Neurology*, **13**, Article 895638. https://doi.org/10.3389/fneur.2022.895638

[24] Wang, T., Liang, L. and Zheng, M.H. (2020) Application of Formative Evaluation and Teaching Feedback in PBL Teaching of Medical Genetics. *Hereditas*, **42**, 810-816. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32952116/

[25] Lu, Y.A., Lee, S., Hsu, M., Shih, F., Yen, W., Huang, C., *et al.* (2022) Effects of Problem-Based Learning Strategies on Undergraduate Nursing Students' Self-Evaluation of Their Core Competencies: A Longitudinal Cohort Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 15825. https://doi.org/10.3390/ijerph192315825

[26] Seo, Y.H. and Lim, S.O. (2024) Effect of PBL-INP Education on Nursing Process Confidence and Critical Thinking Deposition among Nursing Students. *Studies in Health Technology and Informatics*, **315**, 645-646. https://doi.org/10.3233/shti240258

[27] Xue, J., Li, S., Qu, N., Wang, G., Chen, H., Wu, Z., *et al.* (2023) Value of Clinical Features Combined with Multimodal Ultrasound in Predicting Lymph Node Metastasis in Cervical Central Area of Papillary Thyroid Carcinoma. *Journal of Clinical Ultrasound*, **51**, 908-918. https://doi.org/10.1002/jcu.23465

[28] Wan, F., He, W., Zhang, W., Zhang, H., Zhang, Y. and Guang, Y. (2023) Application of Decision Tree Algorithms to Predict Central Lymph Node Metastasis in Well-Differentiated Papillary Thyroid Carcinoma Based on Multimodal Ultrasound Parameters: A Retrospective Study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 2081-2097. https://doi.org/10.21037/qims-22-650

[29] Li, J., Liu, H., Liu, W., Zong, P., Huang, K., Li, Z., *et al.* (2023) Predicting Gastric Cancer Tumor Mutational Burden from Histopathological Images Using Multimodal Deep Learning. *Briefings in Functional Genomics*, **23**, 228-238. https://doi.org/10.1093/bfgp/elad032

[30] Ogunyemi, D., Haltigin, C., Vallie, S. and Ferrari, T.M. (2020) Evolution of an Obstetrics and Gynecology Interprofessional Simulation-Based Education Session for Medical and Nursing Students. *Medicine*, **99**, e22562. https://doi.org/10.1097/md.0000000000022562

[31] Qu, Z., Sun, J., Li, L., Zhao, L., Jiang, N., Fan, J., *et al.* (2024) The Effect of Simulated Problem Learning in Nursing Ethics on Moral Sensitivity, Empathy and Critical Thinking of Nursing Students: A Quasi-Experimental Study. *Nurse Education in Practice*, **80**, Article ID: 104119. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2024.104119

[32] Zhang, M. and Wang, W. (2024) Research on the Application Effect of Inter-Professional Training Program for Newly Enrolled Medical Staff in Operating Room Based on Digital Information Technology. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 1305. https://doi.org/10.1186/s12909-024-06256-7

[33] Lindsay, V.D., Meaghan, S., Evelyn, S. and Sheri, P. (2024) 'It Takes a Village to Raise a Resident': Lessons Learned on Interprofessional Socialization and Collaborative Practice from Recent Medical Graduates. *Medical Science Educator*, **35**, 893-903. https://doi.org/10.1007/s40670-024-02247-x

[34] Zhang, M. and Hu, W. (2024) Application of PBL Combined with CBL Teaching Method in Clinical Teaching of Vascular Surgery. *PLOS ONE*, **19**, e0306653. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306653

[35] Zagzoog, N., Zadeh, G., Lin, V. and Yang, V.X.D. (2022) Perspective Review on Applications of Optics in Skull Base Surgery. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **212**, Article ID: 107085. https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.107085

[36] Roddan, A., Czempiel, T., Xu, C., Xu, H., Weld, A., Chalau, V., *et al.* (2025) Multimodal Imaging Platform for Enhanced Tumor Resection in Neurosurgery: Integrating Hyperspectral and PCLE Technologies. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **20**, 1087-1096. https://doi.org/10.1007/s11548-025-03340-1

[37] Dalsania, A.K., Park, C.M., Nagraj, S., Lorenzatti, D., Filtz, A., Weissler-Snir, A., *et al.* (2025) A Practical Approach to Multimodality Imaging in Hypertrophic Cardiomyopathy. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 2606. https://doi.org/10.3390/jcm14082606

[38] Teoh, J.R., Dong, J., Zuo, X., Lai, K.W., Hasikin, K. and Wu, X. (2024) Advancing Healthcare through Multimodal Data Fusion: A Comprehensive Review of Techniques and Applications. *PeerJ Computer Science*, **10**, e2298. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2298

[39] Wu, X., Zhang, Y., Zhang, H. and Zhong, T. (2023) [Whole-Brain Parcellation for Macaque Brain Magnetic Resonance Images Based on Attention Mechanism and Multi-Modality Feature Fusion]. *Journal of Southern Medical University*, **43**, 2118-2125. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38189399/

[40] Hu, X., Wang, Y., Li, J., Qing, P., Yang, X., Zeng, J., *et al.* (2023) Three-Dimensional Multimodality Image Reconstruction as Teaching Tool for Case-Based Learning among Medical Postgraduates: A Focus on Primary Pelvic Bone Tumour Education. *BMC Medical Education*, **23**, Article No. 944. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04916-8

[41] Bland, T. (2025) Enhancing Medical Student Engagement through Cinematic Clinical Narratives: Multimodal Generative AI-Based Mixed Methods Study. *JMIR Medical Education*, **11**, e63865. https://doi.org/10.2196/63865

[42] Sun, M., Zhu, X., Niu, Y., Li, Y. and Wen, M. (2024) Multi-Modal Medical Image Fusion Approach Utilizing Gradient Domain Guided Image Filtering. *Current Medical Imaging Formerly Current Medical Imaging Reviews*, **20**, e15734056325441. https://doi.org/10.2174/0115734056325441241022085037

[43] Saad, M.A., Xavierselvan, M., Sharif, H.A., Selfridge, S., Pawle, R., Varvares, M., *et al.* (2021) Dual Function Antibody Conjugates for Multimodal Imaging and Photoimmunotherapy of Cancer Cells. *Photochemistry and Photobiology*, **98**, 220-231. https://doi.org/10.1111/php.13501

[44] Henderson, K.J., Coppens, E.R. and Burns, S. (2021) Addressing Barriers to Implementing Problem-Based Learning. *The AANA Journal*, **89**, 117-124. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33832571/

[45] Farrukh, K., Ambreen Usmani, and Syed Bilal Yousuf, (2023) Assessment of Problem-Based Learning in Dental Education and Exploring Barriers to Its Implementation: Theory to Reality. *Journal of the Pakistan Medical Association*, **73**, 2247-2250. https://doi.org/10.47391/jpma.7890

[46] Tefera, A.S., Melaku, E.E., Urgie, B.M., Hassen, E.M., Tamene, T.D. and Gebeyaw, E.D. (2024) Barriers to Implementing Problem-Based Learning at the School of Medicine of Debre Berhan University, Ethiopia. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 501. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05252-1