

超声与知识图谱：构建医学教育智慧化教学新模式

骆云凯

浙江大学医学院附属第四医院超声医学科，浙江 义乌

收稿日期：2025年7月30日；录用日期：2025年8月29日；发布日期：2025年9月10日

摘要

随着便携式超声系统的研制及其普遍应用，多功能超声技术在医学教育当中的地位愈发明显，超声波培训可推动医学生对基础学科的学习，还能增进他们的体格检查水平并掌握诊断窍门，在医学教育相关领域，尤其是在超声波培训的范畴，经历了明显的改变。本文旨在讨论将超声波培训与知识图谱相整合，查探现代教育背景下，搭建超声学科四维框架知识图谱，以及凭借知识图谱的医学教育智慧化教学新途径。

关键词

超声医学，知识图谱，智慧化教学模式

Ultrasound and Knowledge Graphs: Constructing a Novel Paradigm for Intelligent Medical Training

Yunkai Luo

Department of Ultrasound in Medicine, The Fourth Affiliated Hospital of School of Medicine, Zhejiang University, Yiwu Zhejiang

Received: Jul. 30th, 2025; accepted: Aug. 29th, 2025; published: Sep. 10th, 2025

Abstract

With the development and widespread application of portable ultrasound systems, the position of multifunctional ultrasound technology in medical education has become increasingly evident. Ultrasound training can promote medical students' learning of basic disciplines, enhance their

文章引用：骆云凯. 超声与知识图谱：构建医学教育智慧化教学新模式[J]. 教育进展, 2025, 15(9): 673-680.

DOI: 10.12677/ae.2025.1591723

physical examination level, and help them master diagnostic tips. In the field of medical education, especially in the field of ultrasound training, significant changes have been made. This article aims to discuss the integration of ultrasound training with knowledge graphs, explore the construction of a four-dimensional framework knowledge graph for ultrasound discipline under the background of modern education, and explore new ways of intelligent teaching in medical education based on knowledge graphs.

Keywords

Ultrasonic Medicine, Knowledge Graphs, Paradigm for Intelligent Educational Training

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

三十多年前,德国解剖学课堂上增添了超声波培训[1]。这种方法不仅明显提高了学生的学习动力,还推动了解剖学教育的前进[2]。21世纪开端之后,伴随便携式超声波设备的发展,越来越多的证据体现出其在床边应用的广泛价值,POCUS的概念逐渐被普遍接纳。这些系统推动多功能超声技术在医学生教育中开展应用[3]。由于其存在大量优点,对于日常临床实践而言,超声波作为诊断工具起着至关重要的作用,且成为扩展临床检查方面最常采用的成像程序[4]。作为一种无辐射、非侵入且成本效益不错的技术,它同样满足了医学生在学习起始阶段实践常用临床成像工具的理想条件[5][6]。超声波培训可促进医学生对基础学科知识的理解,通过把重点放在体格检查的扩展事宜上,提高诊断与操作技能的掌握[6][7]。

在不断变迁的教育环境范畴中,超声波培训依旧面临不少挑战,旧式的教学途径,诸如讲座与研讨会,若不将实践训练加以结合,不足以练就强大的图像获取技能,随着超声波教学需求的加大也逐渐暴露出合格学生导师的欠缺,以及针对他们持续教育和发展需求的重要性,此外,对超声波技能的评估仍是一个关键区域,需运用可靠方法以保证课程质量,并保护患者不被训练不足的临床医生影响[8]。

超声波急需进行创新的培训方法[9],保障医疗人员接受专业且全面的培训,以保障他们能安全有效地借助超声波技术开展工作,本文引入知识图谱这一技术,探索搭建医学教育化教学新架构。

2. 超声医学教学现状

超声诊断学是影像医学专业学生必须掌握的一门基础课程,我国目前的医学教学中最为广泛应用的教学方式仍然是以“灌输”为主的授课方式,即LBL教学法。这种传统的教学方式,使理论知识的学习非常枯燥空洞,且传统教学中,知识点往往按章节孤立讲解,学生难以理解不同知识点间的内在逻辑,无法构建完整的知识框架,导致在面对复杂病例时,无法综合运用所学知识进行准确诊断。

为了改变现状,各专家学者引入翻转课堂、PBL、CBL等多种教学方法,不断尝试医学教改,给医学教育注入新活力。这也使超声医学教学资源越来越丰富多样,包括教材、课件、视频、病例库等。但也正是资源的“过分”丰富,导致不同资源间缺乏统一标准与关联,学生在学习过程中需在多个平台、多种资料间切换,不仅增加学习负担,且难以建立知识间的有机联系。例如,教材中的理论知识与配套的病例视频未能精准对应,学生难以将理论知识及时应用于实际病例分析。而超声医学又是一门实践性极强的学科,操作技能与图像判读能力的培养至关重要。

当传统单一的实习生课堂教学无法满足学生临床工作的需要,而多元化的教学方式又无法系统整合

教学资源，这就导致了当下超声医学的教学困境：知识体系碎片化，教学资源分散性，临床实践局限性。

因此，如何统整纷繁复杂的教学资源，如何高效利用课堂时间，在混合教学模式下，汲取各个教学方法的优点，取长补短，让学生成为课堂的主体，提升学生临床思维、解决问题以及实践能力，是现下超声医学教学的一大难题，也是当前教改急需攻克的难点。

3. 知识图谱概述

知识图谱也以语义网络相称，为带有方向与标签的图结构，节点对应着现实世界中的实体(诸如物体、事件、情境或概念)，边代表它们之间的关系[10]。在医学教育范畴中，知识图谱(KGs)旨在抓取教学与学习过程中的核心部分，以及这些要素彼此间呈现出的具有临床意义的认知关联，它采用数据驱动跟知识驱动相结合的混合手段，从医学学科内容里抽取实体、关系及另外的相关信息，此过程可搭建认知支架，同时借助标注标签对数字化医学教育资源开展梳理与管理[11]。

知识图谱在教育方面的重要性体现为，它们可以克服传统学习资源的种种局限，赋予一个动态、互联且个性化的学习经历[12]。

知识图谱(KGs)近年来在教育领域里逐渐崭露头角，成为不可替代的工具，这些结构化知识表示形式在个性化学习、课程设计、概念映射和教育内容推荐系统等方面起到了关键效能，促进教育领域的积极发展[13]-[15]。

在当今医学教育信息爆炸的环境中，搭建学科知识图谱(KGs)为解决知识碎片化问题给出了关键方案，依靠知识本身自带的结构性特质，知识图谱把丰富但分散开来的医学信息整合为条理清楚的表征模样，该方式能够给予个性化的学习体验，更新教学模式，带动学生的参与劲头，并最终实现医学教学效果的提高。

4. 超声波课程智慧化教学模式构建

4.1. 构建超声学科四维框架知识图谱

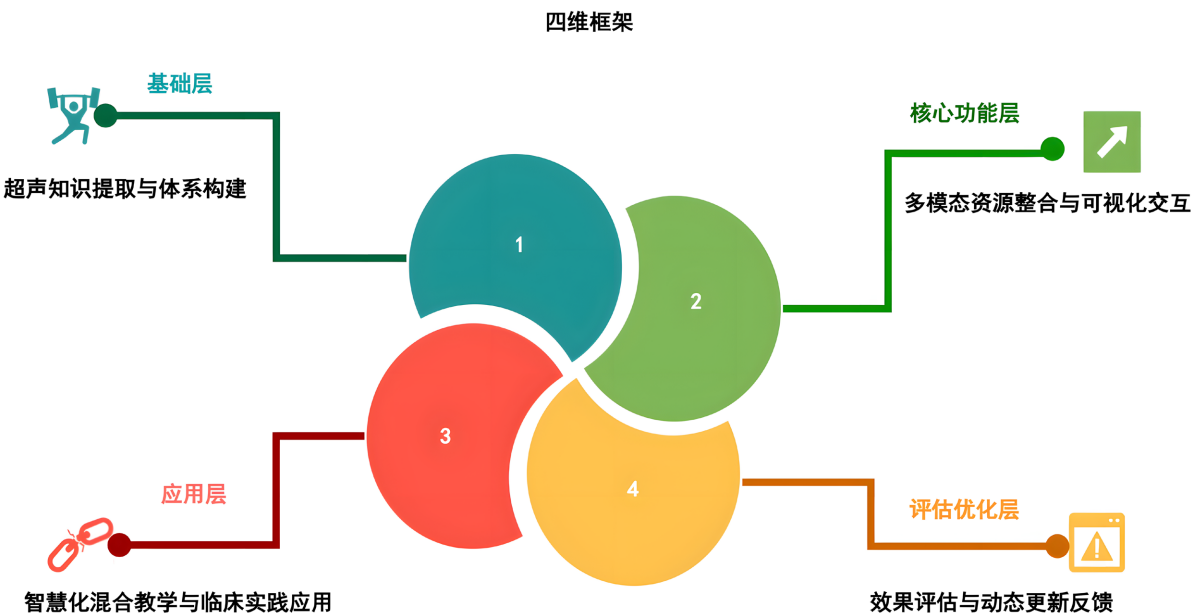


Figure 1. A four-dimensional framework for the KGs of ultrasound discipline
图 1. 超声学科知识图谱四维框架图

知识图谱可以通过多种方式构建,利用现有数据库或文本等资源[16]。在构建“超声医学”知识图谱(KGs)的过程中,教师以课程教学大纲为指导,以核心教材为基础,聚焦学生需求,以解决问题为导向,分析学生的学习情况,对核心知识点进行分类、梳理与整合,最终形成结构清晰、易于理解和记忆的知识网络。此外,还围绕这些相互关联的知识点整合多样化的教学资源[17]。知识图谱可以标注为基础层、核心功能层,应用层、评估优化层四维框架,层层递进,同时上传到虚拟教学平台,实现优质教学资源共建共享,帮助学生掌握课程的基础理论知识,系统提升学生临床实际操作能力。见图1。

4.1.1. 基础层: 超声知识提取与体系构建

基础层主要聚焦本体设计工作,需要界定超声医学领域的关键概念及其层级结构和相互关系,本体开发以临床诊疗逻辑为基础,整合设备技术原理、解剖学基础、疾病体系、超声图像特征、诊断流程与治疗策略六大维度。

在非结构化文本中创建知识图谱(KGs)关乎提取概念、事件和关系[18]。教师们对超声医学课程大纲、专业教材以及相关学术文献进行了深度分析,精准找到了该学科的核心知识点,教师们也把自然语言处理(NLP)技术与专家访谈法结合运用起来了。因为绝大多数医学实体有同义词,而医生可能采用不同的名称去指代同一项目,实体创建是关键步骤[19],提炼出三类核心实体:基础领域实体、临床领域实体、操作领域实体,然后对这些知识点进行分类及分级操作,明晰实体彼此间的临床逻辑关联,进而建立起层次分明的知识体系。

超声医学知识跟人体解剖学、病理学、临床医学等相关学科实现了系统整合,如,在进行腹部超声检查这个阶段,使超声图像特征跟消化系统的病理改变、临床诊断及治疗方案相互关联,这种整合可促进构建全面的知识体系,实现跨学科知识的汇聚融合,知识图谱里的知识点会依据最新医学研究成果以及教学过程中收集的反馈不断更新,这种动态更新机制给知识体系的维护搭建了可持续框架,保障知识图谱始终具备时效性及准确性。

就技术层面而言,采用“半自动化”模式开展构建:通过NLP系统实现文本实体与关系的初步筛查,随后交由专家进行人工审核修正,通过计算机辅助方法从颈动脉狭窄文献中识别斑块稳定性与缺血性卒中的关联,经专家审核后增加“风险预测”关联类别,处理异构数据间的矛盾,采用证据等级标签实现数据差异展示。

4.1.2. 核心功能层: 多模态资源整合与可视化交互

知识图谱的表示形式可直观助力对实体及其关系的理解,同时也能协助发现隐藏信息和未识别的相关联系[20]。就基础层的知识架构而言,借用“多模态资源整合与可视化设计”的思路,做到超声知识的高效呈现及交流。

各类教学资源(涵盖文本、图像、视频、动画及虚拟仿真资源)皆经过分类和标注,保证跟特定知识点精准契合[11]。“二尖瓣狭窄”节点可跟典型超声动图、听诊音频及介入治疗案例建立链接,搭建“影像-体征-治疗”的资源链带。

其次,从课程整体角度,开发适配超声学科的可视化系统,研究不同的图形化元素对知识表达的效果,以“知识地图”的形式可视化地显示出来。采用“系统-器官-疾病-影像特征”的层级节点结构,支持节点缩放、关系筛选等知识图谱的交互功能,增强学生的学习体验。通过分析学生在知识图谱中的学习路径,可以优化资源推荐策略,从而基于该知识图谱推送提供个性化教学内容。

可视化交互设计需实现专业分析与用户友好并重:以力为导向布局表现节点连接强度,集成时间轴筛选模块,动态展示指南修订,针对实操性知识模块,构建“动态步骤分解”模块,以颈动脉超声探查过程为例,选择“纵切面扫查”选项即可自动播放规范操作视频,即时标识主要解剖标志。

4.1.3. 应用层：智慧化混合教学与临床实践应用

知识图谱的运用属于“超声医学”线上线下混合的智慧化教学模式，建立共享平台以促进研究人员和临床医生共同发现、交流和应用[21]。教师可以通过知识图谱来发布教学计划，实施教学干预，开展教学互动等。知识图谱也为学生学习提供了优质的线上平台，能够帮助学生更直观地理解知识脉络及重难点，为学生学习提供目标导向。

若教学应用于临床场景里，知识图谱构建为青年医生给予实时决策支持，如在检查当中若碰到“肝内低回声结节”时，借助知识图谱迅速调取鉴别诊断要点，链接穿刺活检的操作规范要点，压缩诊断思考链路，大幅度地提升学生的临床操作技能。

4.1.4. 评估优化层：效果审查与动态更新反馈

创建科学合理的教学效果考核体系，涵盖学习效果以及临床应用范畴，用以评估知识图谱应用呈现的效果，指标体系囊括知识图谱使用时长、影像解读的准确率、操作规范的评分；诊断契合情况、操作时间减少占比等多个方面，经由问卷调查、师生访谈等方式去收集使用反馈，结合当下医学研究新进展，动态更新知识图谱里的节点与资源，并按照教学反思、研究进展更新知识图谱内容。

4.2. 构建基于知识图谱的智慧化教学

本研究整体回顾了国内外针对智能线上线下混合式教学方法的现存研究及理论框架，意在界定智能教学法的核心特征，按照智能教学在各学科内的成功应用实例，以及知识图谱于教育领域的成熟应用实例，提出以知识图谱为核心的超声医学智能教学新模型，此模型有三个核心构成部分：教学设计内容、教学实施办法及教学评价环节。

4.3. 基于知识图谱的智慧化教学实施步骤

基于知识图谱的智慧教学实施过程包含三个部分：教学设计、教学实施计划和教学评价，以及它们的具体实施步骤。见图 2。

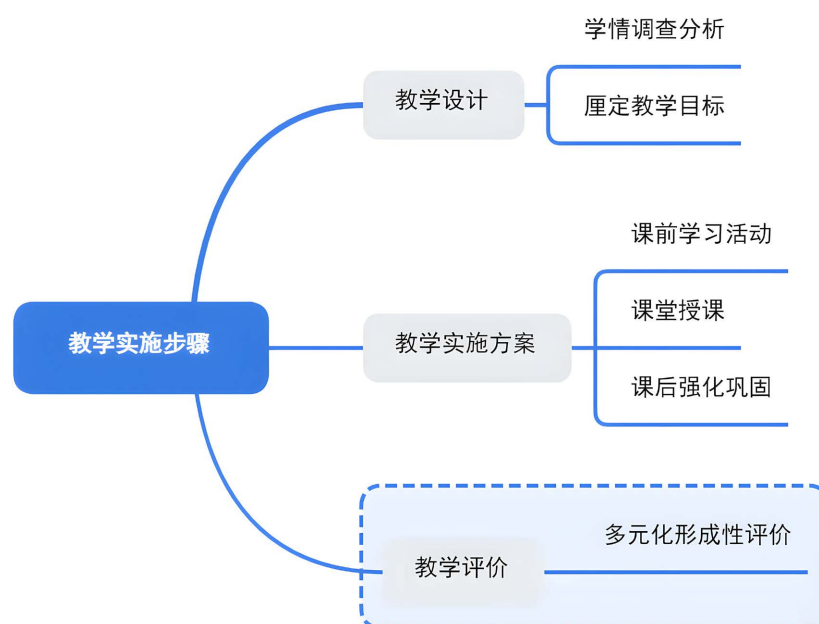


Figure 2. Implementation step diagram of intelligent teaching based on knowledge graph
图 2. 基于知识图谱的智慧化教学实施步骤图

4.3.1. 教学设计

(1) 学情调查分析。以问卷调查、前期操作考核记录及知识图谱预测试等手段,对医学生进行全面的学情分析,考核学生对人体解剖学、病理学与超声设备原理的掌握水平,弄清楚关联认知的薄弱点;借助模拟操作的相关数据,发现学生在标准化扫查与异常影像识别中的技能弱点;依据线上平台给出的数据反馈,考察学生对多模态资源的偏好特点、自主学习时长及互动参与的积极性,为后续资源推送及教学干预提供佐证,最终塑造动态更迭的学情画像,使教学设计与学生实际需求相契合。

(2) 厘定教学目标。教学目标设置遵照系统化流程,依照既定的教学大纲与课程标准,仔细斟酌学生的认知水平与专业要求,也整合了理论知识、操作本领及临床思维,跟医学教育的总体目标相契合一致,明确学生应掌握的核心知识点,然后设置可量化的操作要求,提升学习目标的可实施性,把它细化成可精准量化的学习成果,教学目标还着重去培养学生的临床推理能力,这种既兼顾教育理论又兼顾学习者需求的双重导向,为智能教学方法的有效开展打下了坚实基础。

4.3.2. 教学实施方案

(1) 课前学习活动,教师课前借助线上智慧平台发送知识图谱和学习任务,学生自主学习后,完成形成性评价,教师对测验成绩数据做认真分析,进而调整教学的关键重点,在肝脏超声检查教学这个阶段,由于教学时间不充裕,病例多样性欠佳,较难给每位学生呈现所有超声特征,而该教学模式能让教师发布知识图谱供学生自主学习,提供微课程且开展学后测评,由此得出的分析结果会为课堂教学中的针对性重点内容提供指引。

(2) 课堂授课,采用以学生充当课堂主体,结合以问题为导向的教学模式,教师针对预先选定的学习难点,采用展示对比影像学图谱、引领结构化小组讨论等手段,推动课堂参与度上扬,依靠虚拟仿真系统,让学生开展实操活动,实时调用知识图谱中的节点去验证操作的实际效果,进而实现理论知识与实践应用的有效结合。

(3) 课后强化巩固,老师借助智慧平台发放课后拓展作业,在借助知识图谱衔接临床案例的强化练习时,学生凭借知识图谱访问临床病例库,梳理超声鉴别路径,做好拓展作业,助力学生稳固知识基础与临床的衔接。

以 PBL 教学模式下颈动脉狭窄超声诊断为例,教学流程在知识图谱介入后呈现这些差异:

问题提出阶段:学生摆脱了仅从案例文本中自由发问的局限,而是利用知识图谱组织症状维度、解剖层级与疾病类别的关联节点,结构化问题自动编排,典型问题如“右侧肢体麻木与左侧颈动脉狭窄的解剖机制?”“斑块回声特征与卒中发生风险的关系?”。

资料检索阶段:知识图谱聚合多种证据,针对颈动脉狭窄分级这一节点,(直径狭窄率) NASCET 标准与 ECST 标准同步展示,并说明应用情境,减少学生对文献差异的困惑。

讨论推进阶段:教师借助后台数据追踪学生对学习节点的浏览路径,当分析表明多数医学生集中研习“斑块稳定性评估”却忽略“操作规范”指引,可即时聚焦研讨主题为“规范扫查操作提升评估可靠性”。

总结阶段:基于知识图谱的认知路径自动生成,勾勒症状诊断至方案筛选的认知路线,指明各推理环节的缺漏,辅助后续开展靶向补救措施。

4.3.3. 教学评价

“超声医学”知识图谱采用多维度的形成性的评价体系,意在提升学生学习动力与积极性、提高课堂参与程度并提高教学成效。

以知识图谱为依托的智慧化教学评价体系在两个层面发挥功用:(1) 学生这一层面,智慧平台借助前

沿分析技术，对学生跟知识图谱的互动情况开展精准分析，进而完成对自主学习成果的全面量化测评，(2) 教师这一层面，教师依靠问卷调查收集学生对知识图谱的评价，并按照反馈长久改进教学，逐步改进知识图谱与教学模式。

5. 讨论与展望

5.1. 讨论

5.1.1. 医学知识图谱的动态迭代与适配

将超声技术与知识图谱融合的智慧化教学模式，以成果达成为目标指引，以学生个体为核心，兼顾特定教学目标、满足学生需求的课程体系，在现代教育和数字化转型的大环境中，知识图谱的构建与发展为医学教学改革开拓了新方向。

随着医学研究逐渐发展，超声医学领域持续有理论更新，为了贴合时代演变的步伐，知识图谱也必需优化改进。以最新理论知识为指引，持续吸纳学生在教学期间的意见与反馈，实施动态化调节，使其更贴合智慧化教学的具体需求。

5.1.2. 个性化医学学习路径的算法精进

知识图谱的个性化学习路径推荐算法有较大的潜力，值得进一步探究，以便给予学生更精准的学习指引，以学生的学习行为数据为基础，给予精细引导，提升学习成效。

5.1.3. 超声教学评价体系的拓展转型

在教学实践开展阶段，扩大评价维度，从“结果量化”深层过渡到“过程性考核”，增添“临床思维链”评价，进一步修缮教学评价体系，给学生呈上更全面的反馈内容。

5.2. 展望

知识图谱已成为未来超声医学教育的主要基石，为更多医学生在日渐数字化和网络普及的世界里提供个性化的优质学习体验，未来的研究还应聚焦于提高医学知识图谱可解释性，这对提升技术辅助医疗决策的准确程度和功效有益[22]。在这个变革时代的初始阶段，让我们采用这些新技术，使知识得以顺利获取，而且实现动态个性化，让世界各地的学习者受惠。

6. 结语

本文围绕现代医学教育背景这一大环境展开探讨，探索了将超声波培训跟知识图谱结合起来的医学智慧化教学模式，我们构建出超声学科四维框架的知识图谱，进而在此基础上形成了智慧化教学实施步骤，结合现阶段的问卷调查可知，学生对知识图谱可视化交互以及多模拟资源整合有较高的认同，认为这样的教学形式更容易帮助他们领会超声医学知识，增进学习兴趣与积极主动性。

基金项目

2024 年浙江省教育厅一般项目(Y202455126)。

参考文献

- [1] Teichgräber, U.K.M., Meyer, J.M.A., Nautrup, C.P. and Rautenfeld, D.B. (1996) Ultrasound Anatomy: A Practical Teaching System in Human Gross Anatomy. *Medical Education*, **30**, 296-298.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1996.tb00832.x>
- [2] Hoffmann, B., Blaivas, M., Abramowicz, J., Bachmann, M., Badea, R., Braden, B., *et al.* (2020) Medical Student Ultrasound Education, a WFUMB Position Paper, Part II. A Consensus Statement of Ultrasound Societies. *Medical*

- Ultrasonography*, **22**, 220-229. <https://doi.org/10.11152/mu-2599>
- [3] Kameda, T., Taniguchi, N., Konno, K., Koibuchi, H., Omoto, K. and Itoh, K. (2022) Ultrasonography in Undergraduate Medical Education: A Comprehensive Review and the Education Program Implemented at Jichi Medical University. *Journal of Medical Ultrasonics*, **49**, 217-230. <https://doi.org/10.1007/s10396-021-01178-z>
- [4] Winter, L., Neubauer, R., Weimer, J., Dietrich, C.F., Wittek, A., Schiestl, L., *et al.* (2024) Peer Teachers as Ultrasound Instructors—A Systematic Literature Review of Peer Teaching Concepts in Undergraduate Ultrasound Education. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 1369. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06345-7>
- [5] Weimer, J.M., Widmer, N., Strelow, K., Hopf, P., Buggenhagen, H., Dirks, K., *et al.* (2023) Long-Term Effectiveness and Sustainability of Integrating Peer-Assisted Ultrasound Courses into Medical School—A Prospective Study. *Tomography*, **9**, 1315-1328. <https://doi.org/10.3390/tomography9040104>
- [6] Celebi, N., Griewatz, J., Malek, N.P., Krieg, S., Kuehn, T., Muller, R., *et al.* (2019) Development and Implementation of a Comprehensive Ultrasound Curriculum for Undergraduate Medical Students—A Feasibility Study. *BMC Medical Education*, **19**, Article No. 170. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1611-1>
- [7] Boivin, Z., Carpenter, S., Lee, G., Chimileski, B., Harrison, J., Choudhary, D., *et al.* (2022) Evaluation of a Required Vertical Point-of-Care Ultrasound Curriculum for Undergraduate Medical Students. *Cureus*, **14**, e30002. <https://doi.org/10.7759/cureus.30002>
- [8] Neubauer, R. (2024) Exploring the Dynamics of Ultrasound Training in Medical Education: Current Trends, Debates, and Approaches to Didactics and Hands-On Learning.
- [9] Wittek, A., Strizek, B. and Recker, F. (2025) Innovations in Ultrasound Training in Obstetrics. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, **311**, 871-880. <https://doi.org/10.1007/s00404-024-07777-8>
- [10] Wang, Q., Yang, F., Quan, L., Fu, M., Yang, Z. and Wang, J. (2025) Knowledge Graph and Its Application in the Study of Neurological and Mental Disorders. *Frontiers in Psychiatry*, **16**, Article 1452557. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2025.1452557>
- [11] 江丽, 何文华, 朱宝安. 知识图谱在人体解剖学课程混合教学中的应用探析[J]. 漯河职业技术学院学报, 2025, 24(2): 48-50.
- [12] Nair, L.S., Shivani, M.K. and Jo Cheriyan, S. (2022) Enabling Remote School Education Using Knowledge Graphs and Deep Learning Techniques. *Procedia Computer Science*, **215**, 618-625. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.064>
- [13] Zheng, L., Niu, J., Long, M. and Fan, Y. (2023) An Automatic Knowledge Graph Construction Approach to Promoting Collaborative Knowledge Building, Group Performance, Social Interaction and Socially Shared Regulation in CSCL. *British Journal of Educational Technology*, **54**, 686-711. <https://doi.org/10.1111/bjet.13283>
- [14] Zhang, H., Shen, X., Yi, B., Wang, W. and Feng, Y. (2023) KGAN: Knowledge Grouping Aggregation Network for Course Recommendation in MOOCs. *Expert Systems with Applications*, **211**, Article 118344. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118344>
- [15] Xia, X. and Qi, W. (2023) Learning Behavior Interest Propagation Strategy of MOOCs Based on Multi Entity Knowledge Graph. *Education and Information Technologies*, **28**, 13349-13377. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11719-3>
- [16] Nicholson, D.N. and Greene, C.S. (2020) Constructing Knowledge Graphs and Their Biomedical Applications. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, **18**, 1414-1428. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.05.017>
- [17] Forum, T. (2025) Construction and Application of Knowledge Mapping for Medical Microbiology Curriculum.
- [18] 王君, 王磊, 陶格斯, 等. 医学微生物课程知识图谱构建及应用[J]. 基础医学教育, 2025, 27(2): 91-98.
- [19] Zhao, X., Jia, Y., Li, A., Jiang, R. and Song, Y. (2020) Multi-Source Knowledge Fusion: A Survey. *World Wide Web*, **23**, 2567-2592. <https://doi.org/10.1007/s11280-020-00811-0>
- [20] Sun, H., Song, Z., Chen, Q., Wang, M., Tang, F., Dou, L., *et al.* (2023) MMiKG: A Knowledge Graph-Based Platform for Path Mining of Microbiota-Mental Diseases Interactions. *Briefings in Bioinformatics*, **24**, bbad340. <https://doi.org/10.1093/bib/bbad340>
- [21] Ping, P., Watson, K., Han, J. and Bui, A. (2017) Individualized Knowledge Graph: A Viable Informatics Path to Precision Medicine. *Circulation Research*, **120**, 1078-1080. <https://doi.org/10.1161/circresaha.116.310024>
- [22] Murali, L., Gopakumar, G., Viswanathan, D.M. and Nedungadi, P. (2023) Towards Electronic Health Record-Based Medical Knowledge Graph Construction, Completion, and Applications: A Literature Study. *Journal of Biomedical Informatics*, **143**, Article 104403. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2023.104403>