中国比较医学杂志
Chinese Journal of Comparative Medicine
ISSN 1671-7856,CN 11-4822/R

《中国比较医学杂志》网络首发论文

题目：　人工智能赋能本科阶段开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的探索与实践
作者：　杨桥，曹岗
收稿日期：　2026-02-10
网络首发日期：　2026-08-27
引用格式：　杨桥，曹岗．人工智能赋能本科阶段开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的探索与实践[J/OL]．中国比较医学杂志．https://link.cnki.net/urlid/11.4822.R.20260827.1201.002

网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

人工智能赋能本科阶段开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的探索与实践

杨 桥，曹 岗✉

（浙江中医药大学药学院，杭州 310000）
*通信作者 曹岗(1981—)，男，博士，研究员，研究方向：中药炮制与药理研究。E-mail：caogang33@163.com

摘要 《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课是一门面向生物医学相关专业本科生的交叉前沿课程，旨在系统培养学生对实验小鼠组织病理学的数字化认知与智能分析能力。随着数字病理与人工智能技术在生物医学研究中的深入应用，本课程通过构建系统化的小鼠数字病理图谱库与轻量化 AI 分析工具链，设计了“理论奠基-数字观察-AI 量化-综合探究”的递进式教学内容，并采用以能力为导向的多元评价体系，着重推动形态学知识与计算思维的深度融合，为“新医科”背景下培养具备数字化素养的交叉创新人才提供了一种系统化的教学范式。本文系统阐述了课程建设的整体框架、内容设计与实施路径，以期为医学实验教学的数字化与智能化转型提供参考。

关键词 人工智能；数字病理；实验小鼠；组织病理；新医科
中图分类号 R361；G642；R-33 文献标志码 A

Artificial intelligence-enabled exploration and delivery of the undergraduate elective course “Laboratory Mouse Histopathology and Digital Atlas”

YANG Qiao, CAO Gang✉

(School of Pharmaceutical Sciences, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310000, China)

Abstract The elective course “Laboratory Mouse Histopathology and Digital Atlas” is an interdisciplinary, cutting-edge offering for undergraduate students in biomedical majors that aims to equip students with the skills in digital identification and intelligent analysis of laboratory mouse histopathology. In response to the increasing application of digital pathology and artificial intelligence (AI) in biomedical research, the course incorporates a systematic digital pathology atlas of mice and a lightweight AI analysis toolchain. It features a progressive pedagogical framework comprising theoretical foundations, digital observation, AI-based quantification, and comprehensive inquiry, together with a competency-based, multidimensional evaluation system. The course emphasizes the deep integration of morphological knowledge with computational thinking, thereby providing a systematic teaching paradigm for cultivating interdisciplinary professionals with digital literacy in the context of New Medical Science. This paper systematically presents the overall framework, content design, and implementation of the course, and aims to provide a reference for the digital and intelligent transformation of experimental medical education.

Key words artificial intelligence; digital pathology; laboratory mouse; histopathology; new medical science

在转化医学与精准医疗快速发展的时代背景下，实验小鼠作为研究人类疾病机制、评价药物疗效与安全性的核心模式动物，其地位日益凸显[1,2]。通过构建基因修饰或疾病诱导的小鼠模型，研究者能够在活体系统中模拟人类疾病的病理进程，从而为理解疾病本质、发现治疗靶点提供不可替代的平台[3-5]。在这一过程中，对小鼠模型进行准确、深入的组织病理学分析，是解读表型、验证假说、连接微观形态与宏观功能的关键环节，堪称转化医学研究中的“金标准”[6]。该领域已积累了丰富的专业知识资源，如秦川教授团队主编的《实验动物比较组织学彩色图谱》《比较组织学》以及苏宁教授团

收稿日期：2026-02-10
基金项目：浙江中医药大学校级教改一般项目（创新实验专项）（CXJX25010）。
作者简介：杨桥(1993—)，男，在读博士研究生，实验师，研究方向：人类疾病动物模型的建立与评价研究。E-mail：20201054@zcmu.edu.cn
网络首发时间：2026-08-27 13:54:59 网络首发地址：https://link.cnki.net/urlid/11.4822.R.20260827.1201.002

队等主编的《实验动物组织病理学彩色图谱》等[7-9]，为实验动物病理教学奠定了形态学基础。此外，Treuting 等[10]的《Comparative Anatomy and Histology》等英文著作也为跨物种病理比较提供了重要参考。然而，当前医学院校本科阶段的实验教学在组织病理学领域面临显著挑战。传统教学模式高度依赖实体光学显微镜和有限的物理切片，存在优质标本稀缺、共享困难、教学时空受限、观察结果主观性强且难以量化等固有瓶颈[11]。这与现代生物医学研究日益依赖数字病理切片的高通量分析、远程协作与人工智能（artificial intelligence，AI）辅助诊断的大趋势形成了鲜明反差[12,13]。现有的《病理学》或《组织学》课程多聚焦于人体病理，专门面向实验小鼠、同步系统整合数字技术资源的相关教学内容近乎空白，致使学生进入科研实验室后，在模型动物病理读片能力与前沿数据分析技能方面存在双重短板。

与此同时，以全切片数字化扫描和深度学习为代表的 AI 技术，正在深刻变革病理学的实践模式。数字切片不仅实现病理资源的永久保存与无障碍共享，更使海量病理图像的定量化、标准化分析成为可能[14-16]。AI 算法能够辅助完成从组织区域分割、特定细胞识别到病变程度定量评估等一系列复杂任务，极大地提升了分析的精度与效率[17,18]。这为革新传统病理学教学模式，将经典的形态认知训练与前沿的计算分析能力培养相融合，提供了前所未有的技术赋能。在“新医科”建设强调学科交叉与创新能力培养的指引下，本科教育亟需打破学科壁垒，将基础医学知识与前沿信息技术进行有机整合[19]。为此，面向生命科学、基础医学、药学等专业的高年级本科生，开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课。本课程旨在构建一个以系统化小鼠数字病理图谱库为基石，以交互式 AI 分析工具为手段，集理论教学、技能实训于一体的新型教学平台。它不仅致力于弥补学生在实验动物病理学专业知识上的不足，更着重培养其运用数字化工具解决复杂生物医学问题的思维素养与初步实践能力。

本文基于课程初步建设与教学实践，旨在系统阐述开设本课程的必要性与紧迫性，详细介绍课程资源建设、教学内容设计与多元化考核方式的具体方案，以期为同类院校推进医学实验教学数字化、智能化改革提供有益的参考与借鉴。

1 开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的必要性

1.1 契合教育数字化与“新医科”交叉融合的战略方向

当前，我国高等教育正处于以质量提升为核心的内涵式发展阶段，并对医学教育提出了“新医科”建设的明确要求，强调主动适应医学新发展，促进医工、医理等多学科交叉融合，培养具备创新精神和前沿视野的高素质复合型人才[19]。教育部在相关指导意见中多次强调，要深化教育教学改革，推动 AI 等现代信息技术与教育教学的深度融合，以科研反哺教学，提升学生的实践创新能力[20]。在此背景下，以实体显微镜和有限切片为核心的传统组织病理学教学模式，已难以满足现代生物医学研究对定量化、数字化分析能力的迫切需求。开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课，正是为精准响应这一战略需求而推进的主动革新。本课程将前沿的数字病理技术、AI 分析方法与经典的实验小鼠疾病模型病理知识体系深度融合，旨在为学生构建连接微观形态认知与宏观数据解析的桥梁。本课程不仅传授知识，更致力于培养学生运用数字化工具解决复杂生物医学问题的“硬实力”，是本校落实立德树人根本任务、推动科研优势向教学资源有效转化、培育面向未来医学科技竞争后备力量的关键举措。

1.2 重塑本科生数据驱动下的科研创新思维范式

传统病理学教学侧重于形态的定性描述与识别，而现代生物医学研究已进入以高通量、定量化为特征的数据驱动时代[12,21,22]。本课程建设的必要性在于，它系统性地重塑本科生的科研思维训练范式。首先，课程通过引入高质量的小鼠正常与病变组织数字切片图谱库，彻底打破了优质教学资源的时空壁垒。学生得以在课前、课中、课后随时访问海量案例，进行系统性比对与深度学习，这是传统教学无法实现的，极大夯实了其形态学认知基础。更重要的是，课程引入以 AI 图像分析为代表的数字量化工具（如 QuPath、ImageJ 等），引导学生从“看”病理走向“算”病理。学生将亲手操作软件，完成从组织区域分割、特定细胞自动识别计数到病变特征定量测量等任务。这一过程将抽象的“病变程

度”转化为具体的“数据指标”（如炎症细胞数目、纤维化面积百分比、脂滴密度等），迫使学生思考形态变化背后的量化意义，建立起严谨的、基于证据的科研逻辑。在最终的综合探究项目中，这一数据驱动思维在“验证分析”与“探索观察”双路径任务中得到集中检验。学生一方面需要对时序性病变切片执行定量分析方案，通过数据验证病理演进规律；另一方面需要对未知切片进行系统观察与描述，并基于形态证据提出诊断假设。这种“数据-验证-结论”与“观察-特征-假设”的双重训练闭环，高度模拟了前沿科研的真实路径，能有效培养学生的逻辑推理、信息整合与批判性思维等核心创新能力。

1.3 驱动教学团队跨学科转型与教研深度互哺

本课程的建设与实施，对师资队伍而言既是一项挑战，更是推动专业发展与教研能力提升的重要契机。其必要性深刻地体现在对教师团队“跨学科复合能力”的锻造过程中。课程要求组建由病理学/组织学背景的教师与生物信息学/计算科学背景的教师深度融合的教学团队。在共同备课与授课的密切协作中，双方必须展开深入的知识“对话”与“翻译”——病理学教师需要理解算法背后的逻辑与应用边界，而信息学教师则需掌握足够的病理学知识，以确保技术应用的生物学合理性。这一过程强有力地驱动教师突破各自学科的舒适区，更新知识结构，从而成长为既精通专业又能驾驭交叉技术的“双能型”教师。

与此同时，课程也为“科研反哺教学”与“教学启发科研”构建了绝佳的闭环场景。教师能够将自身科研项目中产生的高价值小鼠模型数字切片以及为解决特定科学问题而开发或优化的图像分析流程，经过精心的教学化设计后引入课堂，使教学内容直接承载前沿科研的“鲜活性”。学生在使用数字工具进行探索性分析时产生的新颖观察视角或提出的挑战性问题，也常常能为教师的科学研究带来新的灵感，甚至催生新的跨学科合作课题。为了保持课程内容的前沿性，教学团队还必须持续跟踪数字病理与 AI 分析领域的最新进展，并将其有机融入教学实践。这种教研深度融合的良性互动，不仅显著提升了教学质量，也同步增强了教师团队的科研活力与创新能力，最终实现了个人成长、课程建设与学科发展的共赢。

2 开展《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的建设

2.1 师资队伍建设：构建跨学科“双能型”教学团队

开设《实验小鼠组织病理与数字图谱》这类前沿交叉课程，其首要且核心的任务是打造一支具备复合知识背景与协作创新能力的师资队伍。课程建设聚焦于打破学科壁垒，其关键举措在于组建一个由病理学与信息学教师构成的双核心教学团队。团队中，精通实验病理学或兽医病理学的教师负责确保小鼠疾病模型组织学知识的系统性与准确性；而具备生物信息学、医学图像处理或 AI 背景的教师，则着力引导学生掌握数字图像处理与分析工具的内在逻辑与实际应用。这种组合并非简单的拼凑，它要求双方在课程设计与实施的全过程中深度协作，共同将前沿技术转化为可教学、可训练的具体模块。

为使这种协作持续深化，建立常态化的跨学科教研机制至关重要。通过定期的集体备课、教学研讨会和联合科研活动，促进两类教师展开深入的“知识对话”。例如，面对病理学教师提出的“如何量化小鼠肝组织脂肪变性程度”这一教学需求，信息学教师可据此设计基于颜色空间分析或深度学习的解决方案，并共同将其转化为学生能够上手操作的实验指南。这一过程本身即是教师知识更新与能力拓展的催化剂，有力驱动着教师向既懂专业又懂技术的“双能型”转型。此外，团队积极鼓励教师以研促教，实现教研反哺。支持教师将自身在科研课题中产生的优质小鼠模型数字切片、图像分析流程或算法，经过教学化改造后引入课堂。这不仅能极大丰富教学资源的“实战性”，也使教师在与学生就具体技术问题进行的互动中，时常能获得新的科研灵感，从而形成教研融合的良性循环，最终全面提升团队的学术活力与教学质量。

2.2 平台与资源建设：打造数字化、智能化的教学新基建

本课程的有效实施，高度依赖于坚实的数字化平台与智能化资源体系作为支撑。其建设的核心任务涵盖以下 3 个方面：

建设系统化的小鼠数字病理教学图谱库是首要任务，也是整个课程的基石。团队与学校实验动物中心、病理学平台展开深度合作，系统性地采集、制备、扫描并标注涵盖小鼠主要器官（如心脏、肝脏、脾脏、肺、肾脏）的正常组织结构，以及非酒精性脂肪性肝病、心肌肥厚、肺纤维化、肾小管间质肾炎等典型疾病模型的病变组织，最终形成一套结构化、高分辨率的全切片图像数据库。该图谱库不仅为学生提供丰富的观察学习素材，更是后续所有定量分析得以进行的标准化数据基础。

在此基础上，集成与开发一套轻量化、教学友好的 AI 分析工具链，是帮助学生跨越技术门槛的关键。针对本科生的知识背景，筛选并整合一系列开源或免费的专业软件（QuPath、ImageJ），构建“一站式”分析环境。其中包括数字切片浏览与基础标注软件、通用图像处理平台，以及适用于病理图像 AI 分析的专门工具。图 1 展示了学生使用数字工具进行病理图像分析的标准操作流程。教学团队为此编写了详细的本地化上机手册，并针对肝细胞脂滴识别、肾组织区域分割、炎症细胞计数等特定教学场景，从而极大降低学生的技术入门难度，使其能将精力聚焦于理解分析逻辑与结果解读本身。

最后，依托高性能计算与混合式教学平台，保障上述资源与工具提供稳定运行。考虑到数字切片数据体量庞大，本研究构建了网络云服务终端，以确保大文件的流畅读取与复杂计算的稳定运行。通过建立课程专用的线上学习社区，用于发布教程、分享案例、进行线上答疑和项目协作，实现了“线上理论学习与资源获取、线下集中实操与研讨”的混合式教学模式，有效延伸教学时空，提升学习效率与灵活性。

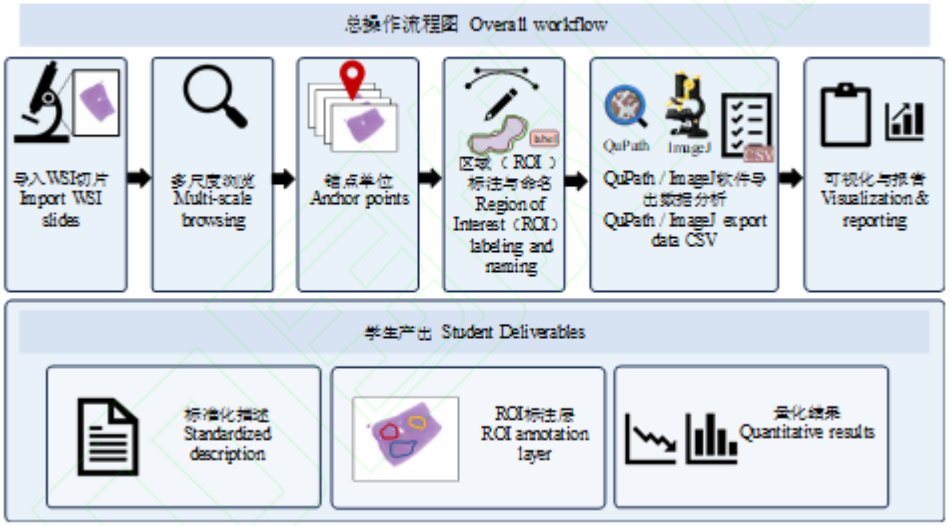

图 1 学生 AI 定量分析标准操作流程
Figure 1 Standard operating procedure of AI-based quantitative analysis for students

3 《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的课程内容

3.1 课程设计原则与总体结构

本课程设计遵循“前沿交叉性”“认知递进性”和“科研实践性”三大原则。在当前本科教学中，能够系统性地整合实验小鼠病理学、数字图像处理及 AI 分析技术的课程尚属空白，充分体现本课程的前沿交叉特性。课程内容遵循从经典理论到数字认知、再到智能分析的递进逻辑，确保学生知识结构与能力培养的层层深入。同时，课程强调解决真实科研场景下的微观形态分析问题，通过大量上机实操与综合项目，强化学以致用的实践能力。本课程作为连接基础医学知识与前沿科研方法的桥梁，适用于基础医学、临床医学、药学、生命科学、生物医学工程及生物信息学等相关专业的高年级本科生，同时也为有志于从事计算病理学或利用模型动物开展深入研究的初学者提供系统的入门训练。

3.2 课程内容与学时安排

课程采用“理论精讲、上机实训、项目探究”相结合的混合式教学模式，总学时为 32 学时，其中理论精讲与案例研讨共计 20 学时，侧重构建知识框架与理解技术原理；上机实训与综合探究共计 12

学时，专注于软件工具操作与数据分析能力的培养。课程具体安排如表 1 所示。

表1 《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课内容安排

Table 1 Elective course content arrangement for “Experimental Mouse Histopathology & Digital Atlas”

模块 Module	序号 No.	内容名称 Content	教学目标 Teaching objectives	学时 Credits	类型 Type
第一模块：数字病理基础理论 Module 1: fundamentals of digital pathology	1	课程导论：实验小鼠疾病模型与组织病理学 Course introduction: mouse disease models and histopathology	A: 了解实验小鼠作为疾病模型的价值及常见疾病模型类型； B: 明确组织病理学在生物医学研究中的核心作用。 A: Understand the value of mice as disease models and common model types; B: Recognize the core role of histopathology in biomedical research.	2	理论 Theory
	2	数字病理学概论与技术基础 Introduction to digital pathology and technical foundations	A: 掌握数字切片扫描、存储与管理的基本概念； B: 了解全切片图像（WSI）格式及其优势。 A: Grasp basic concepts of slide scanning, storage, and management; B: Understand whole slide image (WSI) formats and their advantages.	2	理论 Theory
	3	数字切片阅读器操作与病理描述规范 Digital slide viewer operation and pathological description standards	A: 熟练操作数字切片阅读软件进行多尺度浏览； B: 掌握规范化病理描述与区域标注的方法。 A: Skillfully use slide viewer software for multi-scale navigation; B: Master standardized pathological description and region annotation.	2	实践 Practice
	4	小鼠正常组织数字图谱观察（I）：实质器官 Digital atlas observation of normal mouse tissues (I): parenchymal organs	A: 掌握以肝细胞、肾小管上皮、心肌纤维等为代表的实质细胞的正常形态、排列结构（如肝小叶、肾单位）及器官功能分区。 A: Master the normal morphology and arrangement (e.g., hepatic lobule, nephron) of parenchymal cells (hepatocytes, renal tubular epithelium, cardiac muscle fibers, etc.) and the functional zonation of organs.	6	理论＋实践 Theory & practice
	5	小鼠正常组织数字图谱观察（II）：管腔与特殊结构器官 Digital atlas observation of normal mouse tissues (II): luminal and specialized structural organs	A: 掌握管腔器官“黏膜-肌层-外膜”的分层结构观察法; B: 掌握骨骼、肌肉、脑、视网膜等独特组织的形态学特征与观察逻辑。 A: Master the observational method for the layered architecture (mucous membrane - muscular layer - outer membrane) of luminal organs. B: Master the morphological characteristics and observational logic for unique tissues like bone, muscle, brain, and retina.	6	理论＋实践 Theory & practice
第二模块：数字图谱观察与标注实践 Module 2: digital atlas observation & annotation practice	6	经典疾病模型病理图谱分析（I）：实质器官经典疾病模型 Pathological atlas analysis of classical disease models (I): parenchymal organ models	A: 肝：识别与量化肝细胞脂肪变性（大泡/小泡）、气球样变、炎症细胞浸润（门管区/小叶内）。 B: 肾：识别肾小管上皮细胞水肿、空泡变性、坏死脱落，评估管型形成与间质炎症。 C: 心：测量心肌纤维肥大（核增大、肌纤维增粗），观察间质纤维化。 D: 肺：识别肺泡炎、肺泡壁增厚，评估纤维母细胞灶形成与肺结构重塑。 A: Liver: identify and quantify hepatocyte steatosis (macro/microvesicular), ballooning degeneration, and inflammatory cell infiltration (portal/lobular). B: Kidney: identify renal tubular epithelial edema, vacuolar degeneration, necrosis, and detachment; assess cast formation and interstitial inflammation. C: Heart: measure cardiomyocyte hypertrophy (nuclear enlargement, fiber thickening); observe interstitial fibrosis. D: Lung: identify alveolitis, alveolar wall thickening, and assess fibroblast foci formation and architectural remodeling.	4	理论＋实践 Theory & practice
	7	经典疾病模型病理图谱分析（II）：管腔与特殊结构器官经典疾病模型 Pathological atlas analysis of classical disease models (II): luminal and specialized structural organ models	管腔器官： A: 结肠：评估黏膜上皮完整性（溃疡）、隐窝结构破坏、炎性浸润深度（黏膜/黏膜下层/肌层）。 B: 主动脉：识别粥样斑块（脂质核心、纤维帽），测量内膜增厚，评估斑块稳定性。 Luminal organs: A: Colon: assess mucosal epithelial integrity (ulceration), crypt architectural distortion, and depth of inflammatory infiltration (mucosa/submucosa/muscularis). B: Aorta: identify atherosclerotic plaques (lipid core, fibrous cap), measure intimal thickening, and assess plaque stability. 特殊结构器官： A: 脑（海马/皮层）：识别淀粉样斑块、神经原纤维缠结（特殊染色或免疫组化），观察神经元丢失与胶质细胞反应。 B: 骨骼肌：评估肌纤维大小不一、坏死与再生纤维、结缔组织增生。 Specialized structural organs: A: Brain (hippocampus/cortex): Identify amyloid plaques, neurofibrillary tangles (via special stains/IHC), and observe neuronal loss and glial response. B: Skeletal muscle: evaluate variation in fiber size, necrotic and regenerating fibers, and connective tissue proliferation.	4	理论＋实践 Theory & practice
第三模块：AI 辅助定	8	病理图像 AI 分析基础与开源工具	A: 了解机器学习/深度学习在图像分析中的基本概念；	2	理论 Theory

量分析技术 Module 3: AI-assisted quantitative analysis techniques		导论 Fundamentals of AI analysis for pathological images and introduction to open-source tools	B: 熟悉 QuPath, ImageJ 等开源工具的平台界面与核心功能。 A: Understand basic concepts of ML/DL in image analysis; B: Get familiar with platforms like QuPath and ImageJ.		
	9	上机实训 I：组织区域分割与细胞检测 Hands-on Session I: Tissue Region Segmentation and Cell Detection	A: 使用预训练模型或阈值法实现组织（如皮质/髓质）与细胞核的自动分割； B: 学习评估与优化分割结果的参数调整。 A: Use pre-trained models or thresholding to segment tissues and nuclei; B: Learn to evaluate and optimize results by parameter tuning.	1	实践 Practice
	10	上机实训 II：表型定量与统计分析 Hands-on Session II: Phenotypic Quantification and Statistical Analysis	A: 对分割结果进行形态计量（面积、数量、密度）与光密度测量； B: 将测量数据导出并进行基础的统计分析与可视化。 A: Perform morphometry and densitometry on segmented objects; B: Export data for basic statistical analysis and visualization.	1	实践 Practice
第四模块：综合探究项目 Module 4: comprehensive research project	11	综合探究实践：数字病理双路径分析 Comprehensive practice: dual-path digital pathology analysis	A: （验证分析路径）能够对已知疾病模型的时序性切片，设计并执行定量分析方案，验证病理进展规律。 B: （探索观察路径）能够对未知病变切片进行系统性形态学观察、规范描述，并基于证据提出合理的诊断假设与鉴别。 A: (Validation path) design and execute a quantitative analysis plan on time-series slides of a known disease model to validate pathological progression. B: (Exploration path) conduct systematic morphological observation and standardized description of an unknown pathological slide, and propose a reasonable diagnostic hypothesis with differentials based on evidence.	2	实践 Practice

3.3 典型教学案例

本节通过两个典型案例，具体呈现学生运用数字工具进行病理分析的完整过程。学生按照 2.2 节图 1 所示的标准图像分析流程开展实践。

3.3.1 案例一：验证分析路径—单侧输尿管梗阻模型（unilateral ureteral obstruction，UUO）肾间质纤维化的时序性定量分析

以 3 名学生组成的研究小组为例，学生对教师提供的 6 组 UUO 模型肾切片（假手术组、3 d、7 d、14 d、21 d、28 d 组，每组 3 张，分组信息保密）进行盲法分析，该过程的完整分析流程如图 2 所示。首先将 6 张切片导入 QuPath v 0.7.0 软件建立项目，每张切片随机选取 10 个皮质视野进行区域标注；随后设定 Masson 染色胶原阳性阈值并执行批量分析；最后将数据导出至 Excel 进行统计分析。学生在 QuPath 软件中的典型分析界面截图展示了组织区域标注和胶原阳性识别的具体操作，各组代表性病理图像（Masson 染色，100×）显示，蓝色胶原纤维随梗阻时间延长逐渐增多，从 3 d 的轻度间质水肿逐步发展为 28 d 的广泛纤维化。定量分析结果表明，胶原阳性面积百分比随梗阻时间延长呈递增趋势，14 d 后进入快速进展期。学生在分组揭盲后成功验证了 UUO 模型肾间质纤维化的时序性演变规律，体现了其对 AI 定量分析工具的熟练掌握和对病理进展规律的深入理解。

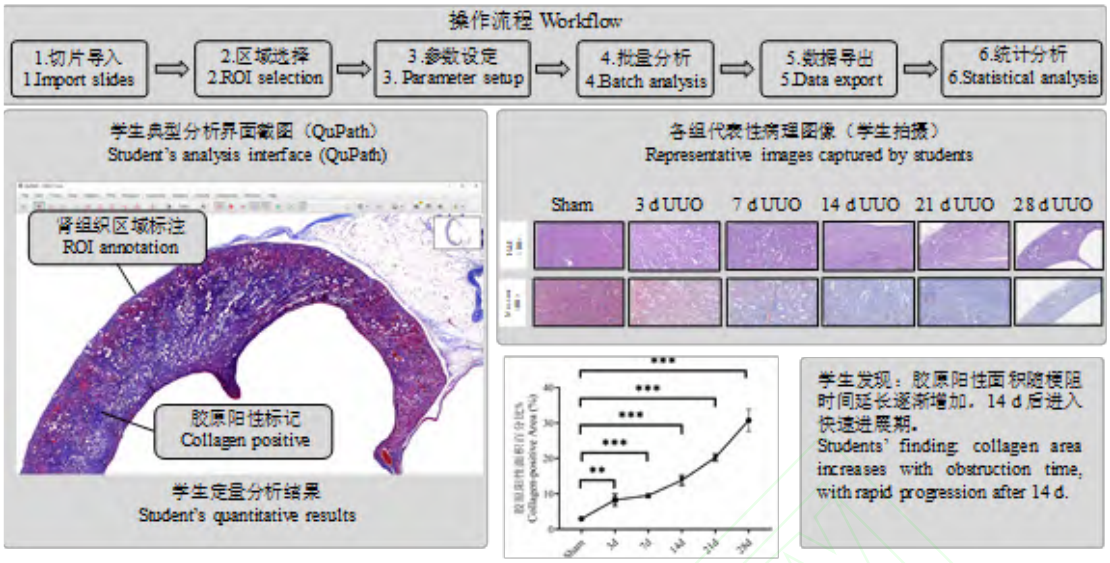

图 2 学生验证分析路径典型案例：UUO 模型肾间质纤维化时序性定量分析
Figure 2 Typical case of validation analysis path: Time-series quantitative analysis of renal interstitial fibrosis in UUO model

3.3.2 案例二：探索观察路径—未知肝组织切片的病理诊断

以 1 名学生独立完成的探索观察任务为例，学生对一份未标注信息的肝组织数字切片（设计为同时具有脂肪肝和肝纤维化病变的模型）进行系统观察与诊断，其完整的诊断推理流程如图 3 所示。首先进行低倍镜全景观察，识别出两种不同性质的病变区域；随后切换至高倍镜分别观察其细节特征；接着调取课程正常图谱库进行比对以确认异常；再查阅参考书目验证诊断依据；最终撰写规范化诊断报告。学生在 QuPath 软件中的典型观察界面截图展示了其对脂肪变性区域（HE 染色）和纤维化区域（Masson 染色）的同步观察与标注，病理特征对比图展现了学生将观察到的病变特征与正常组织进行系统比对的过程。诊断推理过程清晰呈现了学生从观察到结论的逻辑链条：从“空泡”和“蓝染束”两个关键发现出发，分别匹配脂肪变性和纤维化的特征；经查阅验证后综合判断为两种病变共存，最终得出“非酒精性脂肪性肝病合并肝纤维化”的诊断结论。学生通过提交的诊断报告体现了其观察的系统性、描述的规范性和推理的严谨性，展现了探索观察路径在培养学生独立诊断能力方面的教学效果。

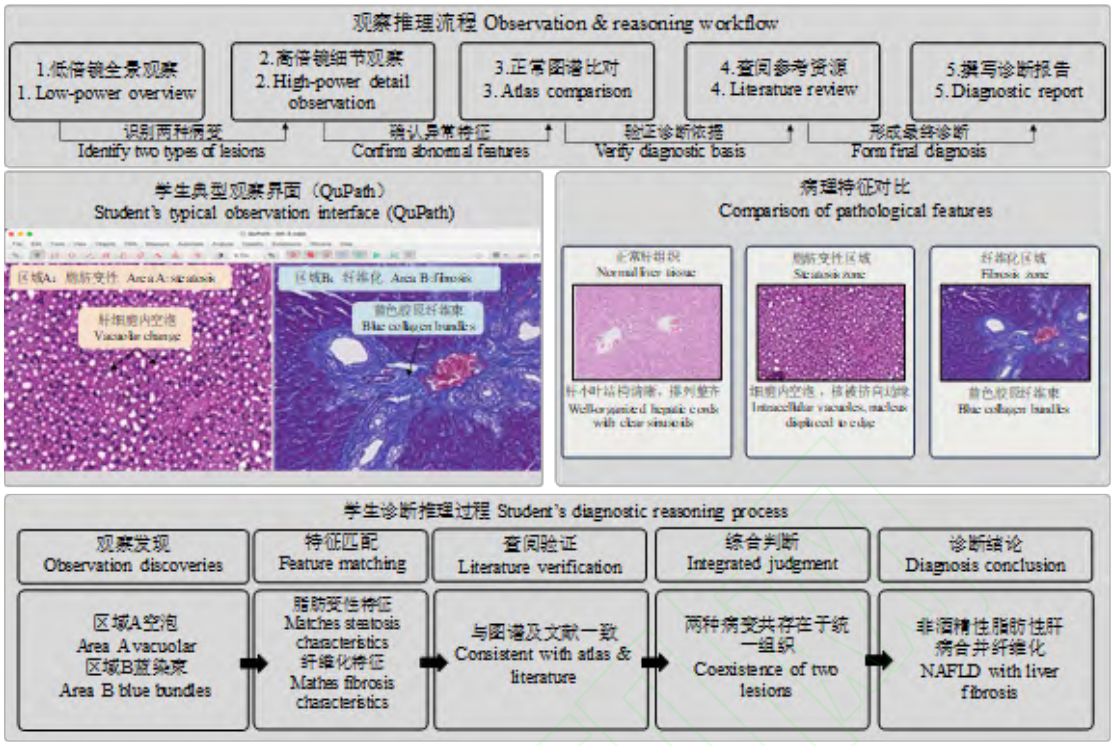

图 3 学生探索观察路径典型案例：未知肝组织切片的病理诊断
Figure 3 Typical case of exploratory observation path: Pathological diagnosis of unknown liver tissue slide

4 课程考核与效果评估

4.1 考核方式与评分量表

为精准评估学生对数字化病理认知与前沿技术应用的综合能力，本课程构建了以能力为导向、过程性实操考核为基础、终结性项目评估为核心的多元化评价体系。该体系彻底摒弃传统理论考试，总评成绩（100 分）由三部分构成：过程性实操作业（40%）旨在夯实基础技能，包括数字切片观察与标注报告、AI 分析技术实验报告；综合探究项目（50%）作为终极检验，通过“验证分析”与“探索观察”双路径任务，全面考察学生在定量分析、逻辑推理与形态诊断等方面的知识整合与创新应用能力；课堂参与与学习态度（10%）则激励持续的学习投入。本设计实现了评价重心从“知识复现”到“能力建构”的根本性转移，通过将评价深度嵌入学习过程，驱动学生完成从问题定义到结论推导的科研闭环，形成了“以评促学、以评促教、以评促改”的良性循环，有力支撑了课程教学目标的达成。

4.2 初步教学效果评估

课程结束后，通过前后测试对比、项目报告评审及问卷调查对教学效果进行初步评估。在病理读片能力方面，课程前后测试显示学生各项核心能力均有显著提升，准确识别肝小叶结构的正确率从 42.9%提升至 96.4%，准确描述脂肪变性特征从 35.7%提升至 92.9%，能够区分坏死与凋亡从 25.0%提升至 85.7%。特别在“独立完成 AI 定量分析”这一课程特色能力培养上，从课程前的 0%提升至 82.1%，充分体现了实践教学的有效性。综合探究项目方面，28 份项目报告中 18 份（64.3%）达到优秀水平，能够规范使用 AI 工具完成定量分析并形成合理结论，选题涵盖 UUO 模型肾纤维化、NAFLD 肝脂肪变性等多种疾病模型。学生满意度调查显示，96.4%的学生对课程拓宽前沿技术认知表示认可，96.5%肯定 AI 工具对病理量化理解的促进作用，96.4%认为综合探究项目有助于培养科研思维能力。典型的学生反馈如“以前看病理切片只能凭感觉描述，现在可以用数据说话”“亲手操作后对图像分析的原理理解更深”等，从侧面印证了课程目标的达成。教学反思表明，后续需针对学生基础差异增加分层指导，适当延长项目实践时间，并持续扩充图谱库病例类型。

5 结语

《实验小鼠组织病理与数字图谱》选修课的建设，是应对医学教育数字化与智能化转型的一次实质性探索。本课程并未停留在传统知识的数字化再现，而是致力于构建深度融合经典形态学认知、现代数字技术方法与初步科研思维训练的交叉性学习平台。通过“数字图谱系统观察”与“AI 量化分析实践”的有机结合，课程旨在系统培养学生的数据素养、计算思维及解决复杂生物医学问题的能力，从而为“新医科”背景下培养具备跨界整合素质的科研与临床人才，提供一条清晰的实践路径。

本课程的探索，其意义不仅在于教学内容的更新，更在于形成一种可资借鉴的“融合式”课程建设范式。其将前沿的 AI 技术、专业的实验小鼠病理学知识以及真实的科研分析流程，转化为适合本科高年级学生的结构化的教学模块与资源体系。从跨学科“双能型”师资团队的构建到数字化教学新基建的打造，再到以能力为导向的多元考核评价，这一系列举措共同构成推动实验教学内涵式发展的关键支撑。实践证明，这一课程模式有效弥合了传统医学教育与前沿科研实践之间的鸿沟，不仅是将技术转化为教学生产力的积极尝试，更是对如何在本科阶段开展深度交叉学科教学、主动适应医学创新发展需求的一次重要探索。随着教育数字化进程的不断深入，本课程的建设经验有望为同类院校推进医学实验教学的智能化改革与创新人才培养模式提供具有参考价值的方案。

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

参考文献：

[1] Farooqi I S, Xu Y. Translational potential of mouse models of human metabolic disease [J]. Cell, 2024, 187(16): 4129-4143.
[2] 陈玥， 苏丹， 贵文娟， 等． 实验动物与人类年龄相关性研究进展 [J]． 中国比较医学杂志， 2019， 29（11）： 116-122．
Chen Y, Su D, Gui W J, et al. Advances in research on the correlation of ages between laboratory animals and humans [J]. Chin J Comp Med, 2019, 29(11): 116-122.
[3] Qi F, Qin C. Characteristics of animal models for COVID-19 [J]. Anim Model Exp Med, 2022, 5(5): 401-409.
[4] Dutrow E V, Emera D, Yim K, et al. Modeling uniquely human gene regulatory function *via* targeted humanization of the mouse genome [J]. Nat Commun, 2022, 13(1): 304.
[5] Sefik E, Xiao T, Chiorazzi M, et al. Engineering mice to study human immunity [J]. Annu Rev Immunol, 2025, 43: 451-487.
[6] Rubin R, Strayer D S, Rubin E, et al. Rubin’s Pathology: Clinicopathologic Foundations of Medicine [M]. 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2007: 1-1572.
[7] 秦川． 实验动物比较组织学彩色图谱 [M]． 北京： 科学出版社， 2017： 1-247．
Qin C. Color Atlas of Comparative Histology in Laboratory Animals [M]. Beijing: Science Press, 2017: 1-247.
[8] 秦川． 比较组织学 [M]． 北京： 科学出版社， 2020： 1-350．
Qin C. Comparative Histology [M]. Beijing: Science Press, 2020: 1-350.
[9] 苏宁， 陈平圣， 李懿萍． 实验动物组织病理学彩色图谱 [M]． 南京： 东南大学出版社， 2020： 1-687．
Su N, Chen P S, Li Y P. Color Atlas of Histopathology in Laboratory Animals [M]. Nanjing: Southeast University Press; 2020: 1-687.
[10] Treuting P M, Dintzis S M, Montine K S. Comparative Anatomy and Histology: A Mouse, Rat, and Human Atlas [M]. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2018: 1-573.
[11] Gurcan M N, Boucheron L E, Can A, et al. Histopathological image analysis: a review [J]. IEEE Rev Biomed Eng, 2009, 2: 147-171.
[12] 李凤玲， 步宏． 近 5 年中国病理教学研究现状 [J]． 临床与实验病理学杂志， 2023， 39（12）： 1509-1513．
Li F L, Bu H. Research status of pathology teaching in China in recent 5 years [J]. Chin J Clin Exp Pathol, 2023, 39(12): 1509-1513.
[13] 史敏， 陈颖， 王晓东， 等． 人工智能在病理诊断领域的纵深发展：从应对挑战到重塑未来 [J]． 海军军医大学学报， 2025， 46（11）： 1387-1393．
Shi M, Chen Y, Wang X D, et al. In-depth development of artificial intelligence in pathological diagnosis: from addressing challenges to reshaping the future [J]. Acad J Nav Med Univ, 2025, 46(11): 1387-1393.
[14] 胡东方， 银梅， 王异民， 等． 兽医病理学数字化标本库的建设与应用 [J]． 黑龙江畜牧兽医， 2020， 63（22）： 152-154， 161， 170．
Hu D F, Yin M, Wang Y M, et al. Construction and application of digital specimen database of veterinary pathology [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2020, 63(22): 152-154, 161, 170.
[15] 常玲玲， 黄勇， 赵晓民， 等． 数字化切片在动物病理解剖学实验教学中的应用 [J]． 实验室研究与探索， 2021， 40（10）： 193-196．
Chang L L, Huang Y, Zhao X M, et al. Application of digital slides in the experimental teaching of animal anatomical pathology [J]. Res Explor Lab, 2021, 40(10): 193-196.
[16] 杨长绍， 陆继辉， 许凌瑞， 等． 数字病理切片在基层病理实习教学中的应用探索 [J]． 临床医学研究与实践， 2026， 11（2）： 170-173．
Yang C S, Lu J H, Xu L R, et al. Exploration on the application of digital pathological slices in grassroots pathology internship teaching [J]. Clin Res Pract, 2026, 11(2): 170-173.
[17] 肖立， 李小静， 张美花， 等． 基于病理数字切片的肿瘤 AI 诊断模型构建 [J]． 西部医学， 2025， 37（3）： 366-371．
Xiao L, Li X J, Zhang M H, et al. Construction of a tumor AI diagnostic model based on pathology digital slices [J]. Med J West China, 2025, 37(3): 366-371.
[18] 李若涵， 秦雯． 从病理图像到分子预测： 多模态人工智能驱动的结直肠癌 MSI 检测新范式 [J]． 中国普通外科杂志， 2025， 34（10）： 2232-2242．

Li R H, Qin W. From histopathological imaging to molecular prediction: a multimodal AI-driven paradigm for MSI detection in colorectal cancer [J]. China J Gen Surg, 2025, 34(10): 2232-2242.

[19] 唐琳， 归航， 王辰． 健康中国背景下新医科建设工作的再思考 [J]． 国家教育行政学院学报， 2024， 28（1）： 51-57．
Tang L, Gui H, Wang C. Reimaging medical education in the age of healthy China [J]. J Natl Acad Educ Adm, 2024, 28(1): 51-57.

[20] 中华人民共和国教育部． 教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见 [EB/OL]． （2025-04-15） [2026-02-08]． http：//www．moe．gov．cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476．html．
Ministry of Education of the People’s Republic of China. Opinions of the Ministry of Education and nine other departments on accelerating the digitalization of education [EB/OL]. (2025-04-15) [2026-02-08]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476.html.

[21] 陈灵锋， 林洁， 俞训彬， 等． 基于高通量测序分析甲状腺癌基因变异和临床病理特征相关性的单中心回顾性队列研究 [J]． 临床与实验病理学杂志， 2025， 41（1）： 74-80．
Chen L F, Lin J, Yu X B, et al. Next-generation sequencing analysis of genetic profiling and its relationship with clinicopathologic characteristics of thyroid carcinoma: a single-center retrospective cohort study [J]. Chin J Clin Exp Pathol, 2025, 41(1): 74-80.

[22] 张新华， 李才伟， 张瑜， 等． 多靶点全景数字病理： 从原理到应用 [J]． 中国光学（中英文）， 2022， 15（6）： 1258-1274．
Zhang X H, Li C W, Zhang Y, et al. Multi-target panoramic digital pathology: from principle to application [J]. Chin Opt, 2022, 15(6): 1258-1274.