·专题报道——卫生人才培养新路径·

无线体域网驱动的预防医学教学模式创新：以智能与应急方向为例

周伊婕[1]，王仲朋[2]，何峰[2]，樊毫军[1]，庞博[1]，明东[2]

1. 天津大学卫生应急学院，天津 300072；
2. 天津大学医学院，天津 300072
通信作者：周伊婕，E-mail：yjzhou1994@tju.edu.cn

【摘　要】随着公共卫生智能化进程加速及应急响应需求激增，预防医学教育亟需融合技术创新以应对全球健康挑战。本研究提出依托无线体域网技术推进预防医学（智能与应急方向）教学模式创新，深入论证其教学适配性，并结合课程案例系统设计教学应用方案。方案内容涵盖实施路径、关键问题及对策、预期成效和评价机制，旨在提升学生智能技术应用及应急响应能力，为培养复合型公共卫生拔尖创新人才提供创新路径。
【关键词】无线体域网；预防医学；智能应急；医工交叉；教学创新

Innovation in teaching mode of wireless body area network-driven preventive medicine：a case study of intelligence and emergency response

ZHOU Yijie[1], WANG Zhongpeng[2], HE Feng[2], FAN Haojun[1], PANG Bo[1], MING Dong[2] (*1. School of Disaster and Emergency Medicine*, *Tianjin University*, *Tianjin* 300072, *China*; *2. Medical School of Tianjin University*, *Tianjin* 300072, *China*)
Corresponding author: ZHOU Yijie, E-mail: yjzhou1994@tju.edu.cn

【Abstract】 As the digital transformation of public health accelerates and the demand for emergency response surges, preventive medicine education urgently needs to integrate technological innovation in response to global health challenges. This paper proposes leveraging wireless body area network (WBAN) technology to innovate the teaching mode of preventive medicine (focusing on intelligence and emergency response), provides an in-depth argument for its pedagogical suitability, and, drawing on teaching cases, systematically designs an instructional application plan. The plan covers implementation pathways, key issues and countermeasures, expected outcomes, and evaluation mechanisms, with the aim of enhancing students' capabilities in applying intelligent technologies and responding to emergencies, thereby offering an innovative pathway for cultivating top-notch interdisciplinary talents in public health.
【Keywords】 wireless body area network; preventive medicine; intelligence and emergency response; medicine-engineering integration; teaching innovation

随着公共卫生领域的智能化发展与智慧应急响应需求的日益增长，应急医学技术及装备在公共卫生领域呈现出智能化、多样化、微型化的发展趋势，为预防医学实践提供了新的技术支撑与方法基础。《“十四五”国家应急体系规划》明确指出，制定应急管理领域大数据、物联网、人工智能等新技术应用标准，广泛部署智能化、网络化、集成化、微型化感知终端的发展目标[1]。现代化应急体系建设“十五五”规划》进一步提出加快“高精特专”“小快轻智”装备研发，全面实现科学应急、智慧应急的总体要求[2]。而传统预防医学课程体系中普遍缺乏智能设备实践模块，学生对新型健康监测技术的认知与应用能力培养不足。同时，医学与工程学交叉融合能力培养的紧迫性日益凸显，预防医学人才需要具备跨学科知识整合与应用的能力。无线体域网（wireless body area network, WBAN）技术是一种以人体为中心，由分布在体内外和周围的传感器、组网设备、终端构成的通信网络，它利用可穿戴生物传感器与物联网，可实现个体与救援人员、应急机构、救援装备之间的高度互动与全链条信息化，是人工智能时代新型卫生应急技术的必然发展趋势，亦为智能应急方向的预防医学教学指明了改革方向[3]。WBAN具有灵活自由、主动诊疗、及时救援与智能预防等特性，为预防医学实践教学提供了全新范式与技术框架，可有效促进预防医学教学与应急能力培养的深度融合，为培养具备智能技术应用能力的预防医学人才提供了可能。本文旨在探索以

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1148737
基金项目：天津市普通高等学校本科教学质量与教学改革研究计划重点项目（A231005605）
第一作者：周伊婕（1994—），副研究员，博士，研究方向：智能应急医学技术。
收稿日期：2025-08-26　修回日期：2025-12-08　录用日期：2026-01-17
利益冲突：不存在　伦理审查：不需要　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

WBAN 为框架的预防医学(智能与应急方向)教学改革路径，构建集预防、监测、应急于一体的创新型教学模式，培养适应智能时代需求的复合型预防医学人才。

1 WBAN 技术的预防医学教学适配性

1.1 WBAN 技术框架与功能特色　WBAN 是以人体为中心，由体表/体内传感器节点、基站及远程服务器构成的无线传感网络[4]，实时采集生理参数与健康数据，在远程医疗、家庭保健及运动健康等领域具有广泛应用前景。其核心功能包括[5]：(1)无感监测，动态采集个体生理信号，支持多场景实时监测。(2)主动诊疗，基于连续健康数据优化诊疗方案，实现个性化医疗。(3)紧急响应，智能识别异常体征并触发急救预警，提升救援效率。(4)智能预防，通过深度学习分析发病规律，预测疾病风险。这些 WBAN 独有的功能特点使之成为生命档案管理及公共卫生信息化的关键技术支撑。

1.2 WBAN 与智能应急方向预防医学课程的契合点　WBAN 与智能应急方向的预防医学课程在核心理念、先进技术、实践应用层面存在多重契合。(1)核心理念契合：WBAN 依托可穿戴设备实时监测人体生理信息，为灾难医学救援与公共卫生管理提供动态数据支撑，奠定了智能应急响应与风险预警的重要基础。这高度契合应急医学强调的黄金救援时间原则与预防医学防患于未然的核心理念。(2)先进技术契合：WBAN 整合健康大数据与人工智能分析，构建了从数据采集到精准干预的完整技术链条，可为风险评估与应急决策提供科学依据[6]。该技术有助于培养学生“预测—预警—预防”数字化预防医学思维，从而推动预防医学教学体系的数智化建设。(3)实践应用契合：WBAN 通过融合物联网、边缘计算及 5G 等前沿技术[7]，构建起跨学科创新教学平台，可基于真实案例模拟传染病暴发、灾害救援等应用场景。这种虚实结合的教学模式既契合预防医学的实践属性，又构建了跨学科教学平台，有效弥合了预防医学理论与智慧化应用间的断层，可显著提升学生应对复杂公共卫生挑战的能力。

2 WBAN 教学应用方案设计

面向智能与应急并重的预防医学教育，本研究分别从课程体系重构与教学场景设计两方面阐述 WBAN 教学应用方案(图 1)，并通过“无线体域网与应急医学”教学案例进行具体分析。

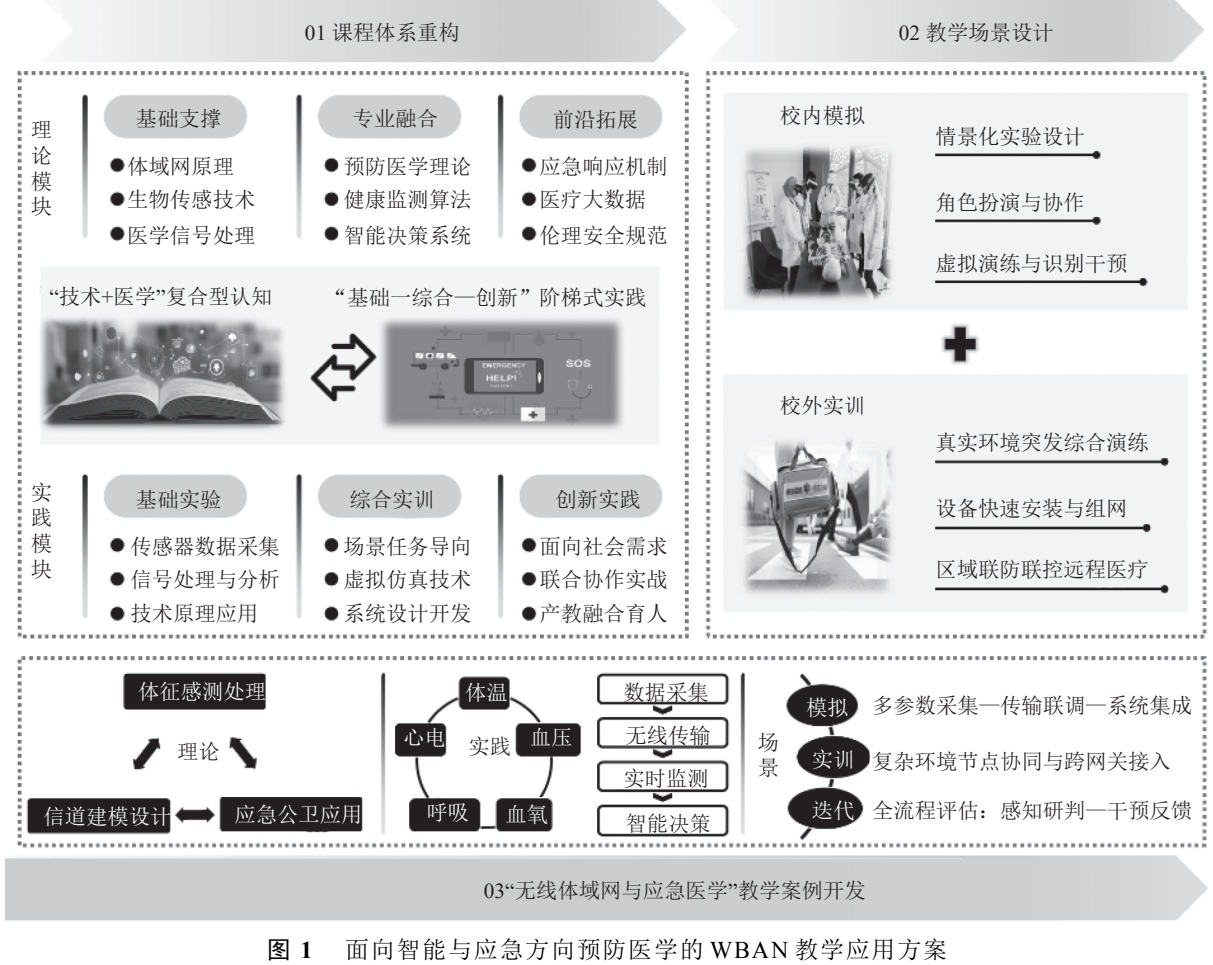


图 1　面向智能与应急方向预防医学的 WBAN 教学应用方案

Fig. 1　WBAN-based teaching application scheme for preventive medicine focusing on intelligence and emergency response

2.1 课程体系重构 课程体系重构是 WBAN 技术融入预防医学教学的首要环节，亟需将 WBAN 的基础理论、核心技术与应用实践深度融入教学，形成理论为基、实践为用的双轨驱动模式。理论模块重构应聚焦 WBAN 技术与预防医学的交叉知识体系，构建“基础支撑—专业融合—前沿拓展”三层架构。(1)基础支撑层，涵盖 WBAN 原理、生物传感技术、生物医学信号处理等内容，夯实无线传感、信号采集与核心算法等理论基础[8]。(2)专业融合层，结合预防医学理论、健康监测算法及智能决策系统，强化医疗应用背景下的数据分析与风险评估能力培养[9]。(3)前沿拓展层，融入应急响应机制、医疗大数据分析及伦理安全，突出医疗数据隐私保护、物联网伦理与智能系统下的应急响应，提升大数据管理与伦理规范水平[10]。其中，基础支撑层巩固理论根基，专业融合层提升综合能力，前沿拓展层引领创新方向。该架构不仅实现了 WBAN 技术与预防医学知识体系的深度融合，还突破了学科壁垒，有助于增强学生“技术+医学”的复合型认知。实践模块重构需遵循循序渐进、项目驱动的教学理念，设置“基础实验—综合实训—创新实践”阶梯式培养环节。基础实验环节注重传感器数据采集、信号处理与分析等核心技能的操作训练，强化学生对相关技术原理的理解与应用能力；综合实训环节则以场景化任务为导向，充分利用虚拟仿真、数字孪生等前沿技术，构建突发公共卫生事件模拟环境[11]，使学生可在指导下完成诸如基于 WBAN 生命体征监测系统的设计与开发，实现理论知识与实际应用的深度融合；创新实践环节鼓励学生面向真实社会需求，积极参与社区协作，联合校企或医疗机构共同开展医疗预防与健康管理等实战项目，推动产教融合和协同育人，强化创新意识与团队合作精神。

2.2 WBAN 教学场景设计 为了提升预防医学专业学生对 WBAN 核心技术及其在智能应急医学中的应用能力，采用“校内模拟+校外实训”一体化教学场景设计，突出理论实践协同与创新实用并重的教学特点[12]。校内模拟：在校内构建贴近实战的情境化实验。以可穿戴设备(如智能手环、智能贴片、蓝牙体温计)为载体，设置学生分别担任被监测者/数据分析师/公共卫生管理员的协作角色，完成健康数据的实时采集、传输与分析[13]。通过高密度人群体温与呼吸频率的连续监测训练，使学生系统掌握 WBAN 节点部署、加密传输与异常预警的基本原理，强化突发公共卫生事件中的数据决策与应急处置能力。以虚拟流感疫情演练为例，预设感染者身份以触发异常信号与预警流程，训练基于数据的风险识别与初步干预制定。校外实训：面向真实环境的综合演练，聚焦 WBAN 在突发事件中的应用。联合急救机构开展模拟自然灾害演练，要求学生在干扰条件下完成 WBAN 设备快速安装与组网，实时采集心率、血氧与定位等生命体征并回传至指挥中心，检验网络的灵活组网、跨平台互操作与数据可靠性保障。在地震应急场景中，学生需为多名受困者配置便携式生命监测终端，实现多点数据汇聚与危重伤员优先级判定，提升救援效率。实训进一步延展至区域联防联控与远程医疗指导等场景，拓展学生对 WBAN 在智能与应急医学中的应用边界与社会价值的整体认知。通过上述“校内+校外”互补式场景设计，WBAN 融入的预防医学教学同时实现理论掌握与能力建构，显著提升学生在智能医疗与应急救援情境中的实践与创新能力，为培养复合型预防医学人才提供有效支撑。

2.3 “无线体域网与应急医学”教学案例开发 本文以“无线体域网与应急医学”课程为例，分析该课程理论重构思路，并结合教学场景分析其实践模块重构的具体路径与成效。理论模块围绕 WBAN 体系结构，系统梳理生命体征信息的感测与处理方案，深入讲解信道建模、天线设计、物理层和接入层等关键技术[14]，以及预处理芯片与感测节点的协同原理，帮助学生构建对 WBAN 核心技术流程的系统认知，并结合应急医学与公共卫生应用，探讨 WBAN 技术在特殊医学环境下的应用需求与挑战。实践模块则以生命体征监测的 WBAN 实现为主题，要求学生以小组为单位，完成包含体温、心电、呼吸、血压、血氧等监测的 WBAN 系统设计与实现，覆盖数据采集、无线传输、实时监测与智能决策处理等环节，实现理论向实践的闭环转化。实践模块采用“校内模拟+校外实训”的分阶段设计，构建“模拟验证—实地检验—证据迭代”的教学闭环。校内模拟阶段：以实验室情境化场景贴近临床与应急处置，围绕低功耗无线协议开展多参数生命体征采集、传输联调与系统集成。重点包括：搭建实时监测仪表板，实现多参数融合展示与阈值趋势联合告警；引入运动伪差、信道干扰、节点失联等扰动，完成数据清洗、鲁棒时序同步与丢包重传验证；配套可复现实验脚本与量化指标，形成标准化训练闭环，确保一致性与可比性。校外实训阶段：依托急救站、社区演练及大型活动医疗保障，面向复杂环境开展多节点协同与跨网关接入。核心任务包括[15]：现场快速部署与网络自组织，验证移动场景下可靠传输与能源管理；深度对接急救流程，完成告

警分级、信息回传与指挥联动的流程化演练；针对中暑、挤压伤、群体性不适等突发事件，实施从感知、研判到干预与反馈的闭环处置并开展全流程评估。本模块既强化 WBAN 关键技术在应急医学场景下的适配能力，又促进与急救流程的标准化对接，旨在提升学生在复杂情境中的系统思维与实战能力。“无线体域网与应急医学”课程注重理论与实践的有机融合与螺旋式提升，为 WBAN 技术融入预防医学教学提供了切实可行的路径与经验。

3 WBAN 辅助预防医学教学实施路径

3.1 *硬件平台搭建*　WBAN 辅助教学的核心在于构建一个集成化、可动态感知的硬件基础。该平台包含以下关键要素：多模态感知层配备贴片式心电、肌电、血氧饱和度、体温及加速度传感器等微型可穿戴设备，精确采集个体的实时生理参数与运动状态；边缘聚合与通信层采用低功耗、高带宽的网关节点，负责对感知层数据进行本地化预处理并稳定可靠地上传至教学管理平台；场景模拟与控制层则依托环境传感器、可控环境发生器以及可穿戴的虚拟现实设备，构建可程序化控制的模拟灾情场景。在传感侧，姿态变化与身体快速移动都会影响生命体征的测量精度[16]。实验室内测量的静止态心率平均误差最大为±1.8 次/min，血氧的平均误差值最大为 1.4%[17]。医院等特殊场景下移动态心率误差在 4 次/min 之内，血压误差范围亦增大至 2% 以内[18]。在无线传输侧，通信距离影响无线节点性能[19]。以 Wi-Fi 为例，实验室/教室等短距离环境下收包率基本稳定在 100%，而长距离户外环境下的收包率则大幅下降，甚至有可能低于 50%。此外，无线节点数目变化影响体域网吞吐量，如教学场景下吞吐量约为十几 Mbps，应急演练场景的吞吐量能够达到 Gbps 级。此硬件平台的关键特性在于其高集成度、低生理负担、动态数据流捕获能力以及对模拟环境的高可控性，为后续教学应用提供坚实的数据基础与沉浸式体验环境。

3.2 *虚实结合教学*　基于硬件平台获取的实时、多维度数据流，教学模式创新表现为深度的虚实融合，具体体现在 2 个维度。首先是数字孪生技术的深度集成与应用。系统通过构建个体生理状态及模拟环境的实时动态数字孪生体，将复杂的生理–环境交互过程进行可视化呈现[20]。教师可依托此孪生体，引导学生解析数据异常、预判潜在风险并规划动态干预策略。该过程将预防医学核心理论转化为动态、交互式的验证与深度学习体验。另一维度是 WBAN 赋能的实地演练升级。学生在模拟或真实环境中进行应急技能操作，如生命体征监测、分类检伤、防疫措施执行等。在此过程中，学生的生理负荷、操作规范性及对环境刺激的响应被 WBAN 全程实时捕获、记录与反馈。该模式使学生不仅操练技能本身，更能在真实或准真实的生理、环境压力下体验、反思及优化其应急决策流程。这种数字孪生模型推演与真实生理/环境数据驱动的实地演练融合模式，有效弥合了预防医学理论教学与实际应用间的鸿沟。其在智能预警与应急处置方向的教学效能显著提升，学生的实践决策与操作能力得到实质性强化。

4 WBAN 融入预防医学教学的关键问题与对策

4.1 *资源建设：夯实技术支撑基础*　WBAN 融入预防医学教学对高性能设备平台和实时数据交互提出了较高要求，但当前医学教学设备普遍存在功耗高、成本昂贵、专用性不足等问题。这导致传统虚拟仿真系统难以有效模拟动态生理信号监测场景，从而制约了学生实践能力的培养。为应对这些挑战，本文提出以下具体对策：(1)实施分层级设备平台建设，在基础教学阶段采用通用 WBAN 设备，在高端科研中引入 BioHarness 系统等医疗级设备，构建“认知—验证—创新”三级实验体系，以满足不同教学需求。(2)开发低功耗教学专用设备，基于 ESP32 芯片定制开发板，集成心电、体温和运动传感模块，通过低功耗蓝牙 5.0 实现多节点组网，功耗控制在 15 mW 以下，以支持 8 h 连续教学实验。(3)构建虚实融合仿真系统，利用 Unity3D 引擎开发疫情响应等虚拟场景，接入真实 WBAN 数据流，模拟突发公共卫生事件中的群体健康监测与决策流程，强化学生的应急能力训练。这些措施将显著提升医学教学效率和实践效果。

4.2 *师资能力转型：打造跨学科教学团队*　针对传统预防医学教师物联网技术实操经验欠缺，以及单一学科背景团队难以驾驭 WBAN 所需融合医学、电子工程与算法等多维度知识体系的关键问题，亟需通过系统性师资能力转型打造跨学科教学团队[21]。具体建议如下：首先构建三级梯队机制，第 1 层由医学教师与工程师组建联合教研室，共同承担课程设计与设备开发；第 2 层引入企业技术导师开展深度技术工作坊，保障年度实践教学课时不少于 40 学时；第 3 层推行医学导师与工程技术导师协同指导的跨学科双导师制度。另外在能力提升路径方面，开发涵盖硬件操作与数据分析的《WBAN 医学应用标准化培训课程》；设立教师工程实践基地，要求年均参与企业研发项目≥1 项，强化产业技术对接能力；将 WBAN

课程开发、设备研制及临床转化能力纳入职称评聘核心指标体系，建立长效激励政策。通过上述机制，可实现教师知识结构的重塑与团队协作模式的创新，为培养掌握 WBAN 技术的复合型医学人才奠定坚实师资基础。

5 WBAN 赋能预防医学教学预期成效与评价机制

5.1 学生应急决策能力培养 在 WBAN 驱动的预防医学教学模式中，以“感知—判断—决策—执行”的闭环设定能力目标，重点培养学生的应急决策力与技术操作力。应急决策力培养要求在多源 WBAN 生理流与环境数据融合条件下，完成风险分层、异常识别、预警阈值设定与动态调整、处置方案优选与资源调配，并在不确定与信息不完备下实现时间敏感、准确率高、伦理合规的稳健决策与沟通。技术操作能力培养要求熟练完成传感节点选型部署、组网配对、校准与信号质量评估、功耗与安全管理，以及数据采集—特征提取—可视化与解释全流程，并具备端—边—云协同能力，与院前/院内信息系统进行标准对接、故障排查与风险防护。

5.2 预防医学人才培养范式创新 上述 WBAN 助力的预防医学教学应用方案与实施路径以问题/项目/情境三融合为牵引，构建“基础课程—仿真平台—临床/公卫场景—持续评价”四位一体路径，引入临床与工科双导师，结合标准化病人与数字孪生人群，开展急救、疾病控制、社区跨部门联训，同步强化算法素养、数据治理与规范实践。依托真实世界数据与复杂应急演练，培育能在突发公共卫生事件中开展群体监测、个体干预与智能调度的复合型人才。

5.3 多维度评价体系 构建以学习成效、临床应急与数据伦理为核心的多维度评价体系[22]。采用“过程—情境—结果”三层框架，过程层基于 WBAN 数据采集、分析与干预设计的作业与日志，考察数据素养、算法理解与规范操作；情境层以仿真/实地演练进行客观评估，设定响应时效、准确率与团队协作指标；结果层跟踪学生在真实人群管理项目中的健康指标改善与风险沟通质量。引入同伴互评、教师评分、行业导师联合赋分，确保信度与公正。同时嵌入隐私合规与安全审计清单，作为“一票否决”项，形成持续改进的闭环评价机制。

6 总结与展望

综上所述，WBAN 凭借其实时性、多模态与在体感知特性，重构了预防医学“教—学—练—评”全链条教学。展望未来，预防医学（智能与应急方向）教学将在“6G+人工智能”赋能下，通过低时延传感、边云协同及自适应推送技术，实现个性化学习路径与即时反馈机制。后续研究将有计划地积累教学实践数据，对本模式的教学效果开展持续跟踪与阶段性评估，为进一步优化与推广提供数据支撑。同时构建跨校共享的 WBAN 协作网络，贯通数据资源、案例库与师资体系，推动教学标准与安全机制共建，最终形成可持续、可推广的创新生态。

数据可用性声明 本研究未生成新的数据。

参考文献

[1] 中华人民共和国中央人民政府. “十四五”国家应急体系规划 [EB/OL]. (2021-12-30)[2025-08-21]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/14/content_5673424.htm.
[2] 中华人民共和国中央人民政府. 现代化应急体系建设“十五五”规划 [EB/OL]. (2026-06-08)[2026-07-06]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202606/content_7071452.htm.
[3] Majumdar P, Roy S, Sikdar S, et al. A survey on data-driven approaches for reliability, robustness, and energy efficiency in wireless body area networks[J]. Sensors, 2024, 24(20): 6531.
[4] Taleb H, Nasser A, Andrieux G, et al. Wireless technologies, medical applications and future challenges in WBAN: a survey[J]. Wireless Networks, 2021, 27(8): 5271-5295.
[5] Cornet B, Fang H, Ngo H, et al. An overview of wireless body area networks for mobile health applications[J]. IEEE Network, 2022, 36(1): 76-82.
[6] 薛亚林, 孙孟姊, 张红英, 等. 人工智能在医疗与健康管理中的应用现状与发展趋势 [J]. 中国预防医学杂志, 2025, 26(5): 521-528.
[7] Karunanithy K, Velusamy B. Edge device based efficient data collection in smart health monitoring system using wireless body area network[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2022, 72: 103280.
[8] 庞宇, 林今朝, 李国权, 等. 体域网系统架构、关键技术与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2020: 11-13.
[9] 范先群. 互联网+医疗健康 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 26-80.
[10] 余学清, 杨小红, 杨洋. 医疗+5G: 更安全、更高效、更温暖 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022: 286-339.
[11] 宋超, 章文, 洪云霞, 等. 医学虚拟仿真教学的人工智能化前景探讨 [J]. 医学教育研究与实践, 2023, 31(5): 515-519.
[12] 徐相蓉, 王胜锋, 张建荣, 等. 实战型公共卫生人才培养目标下混合式实践教学改革探讨 [J]. 中国公共卫生, 2025, 41(5): 636-640.
[13] 付瑞菊. 基于体域网无线信号与生物电信号的交互性研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2024.
[14] 孟令钢. 基于物联网的智慧医疗设备信息化的关键技术探析 [J]. 中国设备工程, 2024(14): 38-40.
[15] 焦秉立, 等. 医疗物联网: 网络框架与技术应用 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2021: 13-65.
[16] 胡玫, 王永喜. 基于 STM32 的可穿戴式无线体域网信息监测系统设计与实现 [J]. 自动控制系统与装置, 2021, 43(3): 20-23.
[17] 姚立平, 刘伟章, 谭仲威, 等. 一种基于 ZigBee 的无线心率血氧实时监测系统研究 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(29): 52-56.
[18] 吴磊. 住院智能护理系统的设计与实现 [D]. 桂林: 广西师范大学, 2019.
[19] 宋田田. 基于无线通信的远程医疗设备在线监测系统的设计和实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
[20] 武杰, 张波, 陈兆学, 等. 基于数字孪生的 CT 检查技术虚拟仿真教学 [J]. 生物医学工程学进展, 2025, 46(1): 115-122.
[21] 张玥, 喻荣彬, 王建明, 等. 新医科背景下公共卫生与预防医学创新人才培养现实问题与路径突破 [J]. 中国公共卫生, 2025, 41(1): 118-123.
[22] 肖琳, 罗纲. 新医科视角下线上线下混合式预防医学教学评价指标体系的构建 [J]. 大学, 2023(11): 133-136.