

## 基于 Zigbee 无线物联网的腹膜透析环境智能监测系统的研究进展

陈诺, 曹雨, 张宇芑, 戴欣然, 金禹彤, 刘洛晗, 段培

扬州大学护理学院·公共卫生学院 江苏扬州

**【摘要】**腹膜透析是肾脏替代治疗的重要方式, 本文从腹膜透析环境、自动化腹膜透析远程监控的研究进展、基于 Zigbee 无线物联网的腹膜透析环境智能监测系统三个方面综述了基于 Zigbee 无线物联网的腹膜透析环境智能监测系统的研究进展, 旨在进一步减少腹膜透析患者并发症的发生, 促进其治疗安全。

**【关键词】**Zigbee 无线物联网; 腹膜透析; 环境监测; 研究进展

**【基金项目】**扬州大学大学生创新训练校一般项目 (X20220784)

**【收稿日期】**2023 年 5 月 12 日 **【出刊日期】**2023 年 6 月 27 日 **【DOI】**10.12208/j.ijmd.20230103

### Research progress on zigbee wireless internet of things-based intelligent monitoring system for peritoneal dialysis environment

Nuo Chen, Yu Cao, Yupeng Zang, Xinran Dai, Yutong Jin, Luohan Liu, Pei Duan

School of Nursing and Public Health, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu

**【Abstract】** Peritoneal dialysis is an important modality of renal replacement therapy. In this paper, we provide a comprehensive review of the research progress in peritoneal dialysis environment, remote monitoring of automated peritoneal dialysis, and intelligent monitoring system for peritoneal dialysis environment based on Zigbee wireless IOT. The aim is to further reduce the occurrence of complications in peritoneal dialysis patients and promote treatment safety.

**【Keywords】** Zigbee wireless IoT; Peritoneal dialysis; Environmental monitoring; Research progress

慢性肾脏疾病 (CKD) 在近年来呈现上升趋势, 成为人类健康的重大威胁<sup>[1]</sup>。全球范围内, 2017 年约有 1200 万人死于 CKD, CKD 的全球患病率为 9.1%。全球 CKD 患者总数估计约为 6.975 亿, 其中近三分之一的 CKD 患者生活在中国 (1.323 亿) 和印度 (1.151 亿) 这两个国家<sup>[2]</sup>。对于末期肾脏疾病 (ESRD), 最常见的治疗方法是肾脏替代治疗, 可广泛分为血液透析 (HD)、腹膜透析 (PD) 和肾移植。

截至 2018 年底, 中国接受 HD 治疗的人数已超过 57.9 万人, 接受 PD 治疗的人数已超过 9.5 万人, 年增长率为 12% 至 15%<sup>[3]</sup>。在一些国家, 医疗系统已经实施了“PD 优先”政策, 优先考虑使用 PD, 除非存在医疗禁忌症。PD 主要在家庭透析环境下进行, 标准化的透析条件可以有效降低并发症的发生, 确保 PD 的疗效。相反, 对 PD 环境的控制不良可能导致腹膜炎甚至 PD 功能丧失。因此, 控制 PD 环境

的质量至关重要。利用现代物联网和 ZigBee 无线通信技术构建智能监控和控制系统, 可以将物联网智能感知、无线通信和控制系统与 PD 治疗集成。该系统可以实时感知环境和患者活动的变化, 并自动进行适当的调整, 控制或调整 PD 患者的行为。

#### 1 环境是腹膜透析患者发生腹膜炎的危险因素

PD 是一种肾脏替代治疗的方法, 其最初于 20 世纪 60 年代发明, 而至今至少已有 60 年的历史。它通过在腹膜腔内注入透析液, 利用腹膜的渗透和超滤功能实现清除体内代谢产物和维持水电解质平衡的目的。然而, 腹膜透析需要频繁的操作, 而且操作过程中需要保持良好的操作环境, 以避免患者发生腹膜透析相关的并发症。在居家环境中, 换液环境的要求更为重要, 因为患者需要自行进行操作, 缺乏专业人员的护理。

为了保证腹膜透析治疗的有效性和安全性, 患者需要配备一个相对独立的、符合卫生要求的固定

换液区。这个区域应该满足以下要求: 首先, 它应该保持洁净干燥, 以避免细菌和其他病原体的滋生; 其次, 它应该光线充足, 以便患者在操作过程中能够清晰地看到操作器具和透析液等物品; 最后, 定期进行空气消毒是必不可少的, 以避免空气中的微生物污染换液区。如果换液环境不符合要求, 可能会导致腹膜透析相关腹膜炎等并发症的发生, 严重的甚至可能导致患者退出腹膜透析或死亡。

据国外相关研究报道, 空气中细菌的浓度与空气中悬浮微粒的浓度密切相关, 空气中悬浮微粒扮演着微生物的载体角色<sup>[4]</sup>。在此基础上, 叶元君等<sup>[5]</sup>的研究发现, 在腹膜透析患者换液区环境中存在的致病菌均为凝固酶阴性葡萄球菌, 这些菌种曾经导致过与腹膜透析相关的腹膜炎。因此, 在进行 PD 治疗时, 良好的换液区空气质量是避免 PD 相关感染和延长 CAPD 治疗周期的重要环节。此外, 研究指出, 在高细颗粒物含量的环境中进行腹膜透析换液的患者 1 年内透析相关感染发生率远高于在低细颗粒物含量环境中进行换液的患者, 这表明腹膜透析相关感染发生率与换液环境的空气质量之间存在一定程度的相关性<sup>[6]</sup>。而空气灰尘大、紫外线灯强度不合格是换液区空气质量不达标独立危险因素, 且空气灰尘大又是导致换液区桌面环境不达标的独立危险因素<sup>[5]</sup>。因此, 保持良好的空气质量对于预防 PD 相关感染和延长 CAPD 治疗周期至关重要。

## 2 自动化腹膜透析远程监控的研究进展

自动化腹膜透析远程管理 (RM-APD)<sup>[7]</sup>是一种具有多种功能的管理方式, 包括但不限于远程监测患者生理指标、传输患者医疗数据、实现医患实时交流、提供专业医疗服务、进行必要的健康教育等。实践证明, RM-APD 可以显著提高患者的治疗依从性, 降低患者住院率及住院天数, 提高患者生活质量, 改善预后结局, 降低整体医疗支出<sup>[8]</sup>。研究还发现, RM-APD 可以有效提升基层医疗机构腹膜透析 (PD) 的治疗质量, 从而更好地促进基层医疗机构 PD 治疗水平的提高。此外, RM-APD<sup>[9]</sup>在应对新冠肺炎等突发公共卫生事件方面具有重大优势。可以预见的是, 随着科技的不断进步和医疗技术的不断创新, RM-APD 将在未来发挥越来越重要的作用, 为患者提供更加高效、便利的医疗服务。

APD 机的外部结构包括: 主机: 中央控制单元,

负责控制整个治疗过程, 包括透析液的流量、浓度、温度等参数的控制和监测。控制单元: 操作界面, 设有液晶显示屏和操作按键, 方便患者或护理人员进行治疗参数的调整和监测。加温单元: 控制透析液温度的部分, 能够通过加热装置将透析液加热至预设温度。电源: 电力供应部分, 可以通过插座或内置电池等方式为 APD 机提供电力。端口: 连接其他设备的接口, 包括腹膜导管连接口、透析液供应口、数据传输口等。

这些组成部分共同协作, 实现 APD 机的自动化腹膜透析治疗功能, 提高治疗的安全性和可靠性, 方便患者和护理人员进行操作和监测。另外, 数据记录仪实时监测治疗过程中的各项数据, 如透析液流量、温度、压力等, 并将这些数据传输到远程管理系统。互联网设备包括路由器和服务器等, 用于将治疗数据传输到远程管理系统进行实时监控和管理。自动腹膜透析远程管理的数据传输方式采用无线传输技术, 将数据记录仪监测到的治疗数据通过无线信号传输到互联网设备中, 再通过互联网将数据传输到远程管理系统。医护人员可以通过远程管理系统实时查看患者的治疗情况、监测数据和健康状况, 及时调整治疗方案, 实现远程管理和监控。无线传输技术的应用, 使得自动腹膜透析远程管理更加便捷和高效, 同时也降低了医疗成本和时间成本, 为患者带来更好的治疗效果和生活质量。

一项多中心历史队列观察研究<sup>[10]</sup>分析了哥伦比亚 9 个偏远腹膜透析中心在 2008 年到 2009 年期间共有 345 例 PD 患者接受远程管理的数据信息。通过比较腹膜炎发生率、生存率和掉队率等关键指标, 研究结果表明, RM-APD 作为一种远程管理腹膜透析的方式, 对于居住在偏远地区的患者来说是一种合适而又安全的治疗方法。此外, Amici 等<sup>[11]</sup>在一项研究中也发现, RM-APD 可以提高山区 PD 患者的治疗安全性和护理质量。这些研究结果不仅为 RM-APD 的临床应用提供了有力的支持, 同时也为远程医疗技术在腹膜透析治疗中的应用开辟了新的研究方向。尽管 RM-APD 在远程管理腹膜透析中具有明显的优势, 但是在实际应用中, 我们仍需关注一些潜在的风险和挑战, 例如如何保证传输数据的及时性和准确性, 如何协调医患沟通, 以及如何处理紧急事件。因此, 我们需要进一步深入研究这些问题, 并不断提高 RM-APD 的临床管理水平, 为腹

膜透析患者提供更加优质、便捷的医疗服务。

### 3 基于 Zigbee 无线物联的腹膜透析环境智能监测系统

作为其中的一种技术手段, 基于 ZigBee 技术的无线医疗监测系统以其低功耗、高定位精度和安全可靠的特点而备受青睐。该系统能够在远距离范围内对病患身体特征进行实时动态监测, 从而极大地改善了医疗环境, 提高了工作效率, 减少了人力资源浪费, 最终实现了医疗资源的共享, 具有重要的实际应用价值。具体而言, 该无线医疗监测系统由数据采集部分、控制部分和安全报警部分组成。数据采集部分主要由数据终端和数据采集点组成, 采集点能够检测腹膜透析中心内某处温度、湿度、空气质量、光照等相关参数。数据通过 ZigBee 网络进行传输, 如出现异常则启动控制模块和报警模块工作。协调器节点通过 ESP8266 模块接入云平台, 实现智能监测控制家庭腹膜透析室的环境。

除了能够实现对患者身体特征的实时动态监测外, 该系统还具有多用户之间信息共享的功能, 能够给用户带来更加直观的动态交互效果。特别地, 研究者将现代物联网技术和 ZigBee 无线通信技术应用于腹膜透析环境智能监测控制系统的构建, 该系统能够感知环境和患者活动的变化, 自动做出相应的措施来控制或调整腹膜透析患者行为, 增强了系统的自主性和智能化水平。

综上所述, 腹膜透析患者居家远程监控存在的问题: 现存腹膜透析患者居家远程监控主要针对治疗监控和调整, 无法实时监控患者居家环境。基于 Zigbee 无线物联的腹膜透析环境智能监测系统具有物联网智能化感知、无线通信和控制系统等优势, 有望解决腹膜透析患者环境监测及智能预警的问题。

#### 参考文献

- [1] Webster AC, Nagler EV, Morton RL, Masson P. Chronic Kidney Disease. *Lancet*. 2017;389(10075):1238-1252.
- [2] GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of

DiseaseStudy 2017[J].*Lancet*. 2020;395(10225):709-733

- [3] Teitelbaum I. Peritoneal Dialysis. *N Engl J Med*. 2021; 385(19): 1786-1795.
- [4] Li PK, Szeto CC. Success of the peritoneal dialysis programme in Hong Kong. *Nephrol Dial Transplant*. 2008; 23(5): 1475-1478.
- [5] 叶元君, 张晓辉, 刘延芬, 等. 腹膜透析患者居家环境和腹膜炎关系研究[J]. *浙江医学*, 2017, 39(14): 1198-1202.
- [6] Li PK, Chow KM, Van de Luijngaarden MW, et al. Changes in the worldwide epidemiology of peritoneal dialysis. *Nat Rev Nephrol*. 2017;13(2):90-103.
- [7] Milan Manani S, Rosner MH, Virzi GM, et al. Longitudinal Experience with Remote Monitoring for Automated Peritoneal Dialysis Patients. *Nephron*.
- [8] Sanabria M, Buitrago G, Lindholm B, et al. Remote Patient Monitoring Program in Automated Peritoneal Dialysis: Impact on Hospitalizations. *Perit Dial Int*. 2019; 39(5): 472-478.
- [9] Milan Manani S, Baretta M, Giuliani A, et al. Remote monitoring in peritoneal dialysis: benefits on clinical outcomes and on quality of life. *J Nephrol*. 2020;33(6): 1301-1308.
- [10] Sanabria M, Devia M, Hernández G, et al. Outcomes of a peritoneal dialysis program in remote communities within Colombia. *Perit Dial Int*. 2015;35(1):52-61.
- [11] Amici G, Lo Cicero A, Presello F, Zuccolo M, Romanini D, Bellina B, Janczar M, Castenetto E, Chiodarelli C, Martino FK. The advantages of remote patient monitoring in automated peritoneal dialysis]. *G Ital Nefrol*. 2020 Jun 10;37(3):2020-vol3. Italian.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS