

基于人机工程学的孕妇专用智能坐便器设计及中医外治功能的集成探究

陆宁静¹, 张佳宁¹, 唐明新¹, 孙 淼^{2*}

¹黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第一医院妇科二科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年5月20日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月30日

摘 要

随着“健康中国2030”战略的深入实施, 面向特殊人群的智能家居医疗化产品成为民生科技的重要方向。孕妇作为典型的生理特殊群体, 在妊娠期间经历显著的体型改变与功能代偿, 有流行病学数据显示, 孕期便秘患病率达32.4%, 外阴阴道炎复发率较非孕期显著升高。然而, 当前主流智能坐便器设计仍以“健康成年人”为基准用户, 缺乏对孕妇群体的人机适配研究。目前, 中医外治法在妇产科领域的有效性已被广泛证实, 但其与智能卫浴产品的技术融合尚处空白。因此, 本文旨在探讨中医外治法的生物学机制, 并提出基于人机工程设计的智能化外治载体设计方案, 以解决社会特殊群体的实际问题。

关键词

妊娠期, 阴道炎, 中医外治, 智能化载体, 人机工学

Research on the Design of an Ergonomic Smart Toilet for Pregnant Women and the Integration of Traditional Chinese Medicine External Therapy Functions

Ningjing Lu¹, Jianing Zhang¹, Mingxin Tang¹, Miao Sun^{2*}

¹Graduate School Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²Gynecology Department II, First Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: May 20, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 30, 2026

*通讯作者。

文章引用: 陆宁静, 张佳宁, 唐明新, 孙淼. 基于人机工程学的孕妇专用智能坐便器设计及中医外治功能的集成探究[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(4): 1105-1111. DOI: 10.12677/airr.2026.154100

Abstract

With the in-depth implementation of the “Healthy China 2030” strategy, smart home medical products tailored to special populations have become a key focus of technology for public welfare. As a typical group with unique physiological characteristics, pregnant women undergo significant physical changes and functional adaptations during pregnancy. Epidemiological data indicate that the prevalence of constipation during pregnancy reaches 32.4%, and the recurrence rate of vulvovaginitis is significantly higher than in non-pregnant women. However, current mainstream smart toilet designs still use “healthy adults” as the baseline user group, lacking research on human-machine adaptation for pregnant women. While the effectiveness of traditional Chinese medicine (TCM) external therapies in obstetrics and gynecology has been widely validated, their technical integration with smart bathroom products remains unexplored. Therefore, this paper aims to explore the biological mechanisms of TCM external therapies and propose a design scheme for intelligent external therapy devices based on ergonomic principles to address the practical challenges faced by this specific demographic.

Keywords

Pregnancy, Vaginitis, Traditional Chinese Medicine External Therapies, Smart Delivery Device, Ergonomics

Copyright © 2026 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

随着“健康中国 2030”¹战略的深入推进,医疗服务模式正从“疾病治疗”向“健康管理”转型,居家精准健康监测成为学术研究与产业应用的热点方向。智能马桶作为卫浴空间的核心设备,因其每日高频使用、非侵入式交互、生物样本易获取等天然优势,被学界视为实现家庭精准健康监测的关键基础设施。

然而,当前市售主流智能坐便器产品,无论是以 TOTO、松下为代表的日系品牌,还是九牧、恒洁等国产品牌,其功能研发仍聚焦于健康成年人的通用型需求,集中在温水冲洗、暖风烘干、座圈加热、除臭等舒适性配置。近年来,部分高端型号开始尝试集成尿液试纸分析、心电信号检测等健康监测模块,但整体上仍停留在“健康数据采集”层面,尚未出现针对特定病理生理状态形成“检测-干预”闭环的产品。更为关键的是,这些产品的人机工程学设计均以标准成年人体型为基准,未考虑孕妇因腹部容积增加、重心前移、脊柱前凸等生理改变所带来的起坐支撑方式改变与清洁操作障碍。文献调研显示,已有学者从通用设计角度对坐便器进行人机工学优化,但专门面向孕妇群体、兼顾其体型特征与特殊外治需求的智能坐便器仍属市场空白。因此,开发一款以孕妇为中心、能够实现中医外治功能集成的智能坐便器,既是填补当前市场结构性空白的前瞻性探索,也为“健康中国 2030”战略下特殊人群的居家精准健康管理提供了可落地的技术路径。

孕妇是生理特殊性突出但健康监测手段严重匮乏的人群,在妊娠期间经历显著的体型改变与功能代偿:腹部容积增加导致重心前移、骨盆前倾角增大、下肢静脉回流受阻,这些变化直接体现在如厕行为

¹<https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100132/201610/cef9821abcf4544bb27e2bc533bd7cf.shtml>

中——一起坐需要更强的支撑力、排便时肛直肠角难以达到理想排便角度、私处清洁难度增加。流行病学数据显示, 孕期便秘患病率达 32.4% [1], 外阴阴道炎复发率较非孕期显著升高。然而, 当前孕妇健康管理仍依赖“产检监测 + 主观自述”的传统模式, 存在三大痛点: 监测频率低——两次产检间隔可达 4 周, 难以捕捉快速变化的病理生理过程; 数据主观性强——排便日记、尿频主诉可能存在显著回忆偏倚; 预警能力弱——异常指标发现时往往已进入临床期。中医外治法是妊娠期阴道炎安全有效的干预手段。智能化外治载体的引入, 实现了中医传统疗法的流程化与规范化, 为妊娠期生殖道感染的防治提供了“医学 + 工程”的创新解决方案。

2. 妊娠期阴道炎的中医现状

妊娠期女性阴道微生态发生重构, 妊娠期外阴阴道假丝酵母菌病(VVC)的发病率高达 15%~30% [2]。临床实践证实, 下生殖道感染可导致绒毛膜羊膜炎, 进而诱发胎膜早破(PROM)及产后子宫内膜炎等[3]。而口服全身性抗真菌药物则被证实与流产及胎儿法洛四联征等心脏畸形风险相关[4]。

中医外治法在安全性上具有天然优势。然而, 传统中医外治法在现代化临床路径中遭遇了严重的工程学瓶颈, 如药液浓度、冲洗时间、冲洗角度均缺乏统一标准, 导致疗效差异巨大。因此, 本研究提出一种基于临床需求的创新思路: 在中医理论的基础上, 引入智能化外治载体(Intelligent External Treatment Carrier), 利用现代传感与控制技术, 解决传统外治法的操作难题, 实现妊娠期阴道炎管理的规范化与精准化。临床针对妊娠期湿热下注型阴道炎, 多选用蛇床子洗方或苦参汤加减。核心药物包括: 苦参、黄柏、蛇床子等。中药外洗液能有效调节局部的免疫微环境。实验数据显示, 苦参、黄柏提取物能显著减轻黏膜充血、水肿, 缓解红肿热痛症状[5]。

3. 智能化外治载体在孕期管理中的应用价值

鉴于传统盆浴、熏洗存在的局限性, 本研究提出将“智能化外治载体”, 即经过医疗化改造的智能冲洗装置引入妊娠期阴道炎的临床护理路径。这并非简单的生活辅助, 而是基于医学工程学(Medical Engineering)的治疗模式创新。

3.1. 基于人体工学(Ergonomics)的依从性优化

在妊娠晚期, 孕妇脊柱前凸, 重心前移, 下蹲动作困难且危险。传统坐浴盆需放置在坐便圈上或地面上, 操作繁琐, 且容易造成会阴部局部受压, 影响血液循环。智能化载体采用符合孕期骨盆解剖结构的“零压感座圈”设计[6]。通过座圈的曲面设计, 引导孕妇保持骨盆中立位, 有效分散坐骨结节压力, 放松盆底肌群, 便于药液深入。同时设置装置高度与标准坐姿匹配, 孕妇无需弯腰、下蹲即可完成治疗, 彻底规避了因体位不当导致的腹压升高和跌倒风险。这种将医疗护理融入日常如厕行为中的形式, 极大地降低了患者的心理负担和操作门槛, 使治疗方案得以切实实施(图 1)。

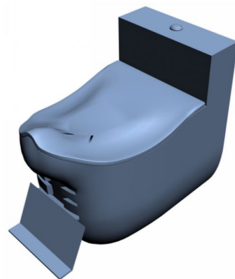


Figure 1. Preliminary gray-scale design sketch of a smart toilet

图 1. 智能座便器初步灰模设计图

3.2. 系统详细设计与关键性能参数

为实现从临床需求到技术方案的可靠转化, 本节对智能化外治载体的核心功能模块进行详细的工程设计, 并明确其关键性能参数[7]。

3.2.1. 基于流体力学的恒温定向给药系统

恒温系统基于闭环反馈控制原理。药液出口处集成一只不锈钢封装的 NTC 热敏电阻(型号 MF58, 标称阻值 100 k Ω , B 值 3950, 测温精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), 其模拟信号经仪表放大器调理后, 由微控制单元(MCU)内置的 12 位逐次逼近型 ADC 进行采集。主控芯片选用意法半导体 STM32F103C8T6, 该 MCU 基于 ARM Cortex-M3 内核, 主频 72 MHz, 具备丰富的外设接口。控制算法采用带积分分离与输出限幅的位置式 PID 算法, 控制周期设定为 500 ms。算法输出为 10 位分辨率的 PWM 信号, 经功率 MOSFET 驱动贴附于 S 形预热流道背面的 PTC 加热片(额定功率 45 W, 居里温度 110 $^{\circ}\text{C}$), 以调节加热速率。当药液温度低于目标温度时, 增大 PWM 占空比; 接近目标时逐步减小功率, 使流经预热通道后的药液出口温度恒定在 39.0 $^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。为保障极端失效模式下的安全, 硬件电路中独立串联一只 85 $^{\circ}\text{C}$ 热熔断路器, 实现与 MCU 软件无关的干烧物理保护。清洗水流采用蠕动泵(流量范围 0~800 mL/min, 控制精度 $\pm 5\%$)驱动, 结合脉冲调制生成频率 5 Hz 的柔和气泡脉冲水流, 在有效清除分泌物的同时将水压控制在安全阈值以内, 避免冲击宫颈口。

3.2.2. 雾化给药模块

药液雾化子系统选用微孔压电超声雾化技术, 其核心元件为一片环形压电陶瓷换能片(谐振频率 110 ± 2 kHz), 通过微锥孔金属网片(孔径 5~7 μm)将药液挤出雾化。药液由微型精密蠕动泵(流量 0.5~2.0 mL/min 可调, 精度 $\pm 5\%$)从一次性药液盒中定量输送至雾化片表面, 形成低速弥散的雾滴群。该雾化方式无热效应, 避免了中药活性成分的高温降解, 且雾化量可精确控制, 保证每次治疗的中药递送总量一致。

给药时, 装置内置药液雾化模块, 将中药提取液雾化为微米级颗粒。雾化药液能更均匀地弥散并附着于阴道皱襞及外阴皮肤表面, 显著增加了药物与病灶的接触面积, 提高了生物利用度。整个系统预设了标准化的治疗程序(如: 清洗 30 秒 $\rightarrow$ 雾化给药 3 分钟 $\rightarrow$ 烘干), 确保每次治疗的药量和时间恒定, 消除了人为操作误差, 为临床疗效的评价提供了标准化的变量控制。

3.2.3. 传感与控制硬件架构

为进一步明确本方案的技术可行性, 本研究团队基于调查基础[8], 探究性提出该智能载体关键功能模块的具体工程复现及建议采用的参数阐述如下: 温度传感与控制系统由数字式温度传感器、微控制器以及加热控温元件构成。整机电气系统以 24 V 直流安全电压供电, 通过隔离式 DC-DC 模块为数字电路提供 3.3 V 工作电压。除温度传感器外, 系统集成液位检测(电容式接近开关, 用于空载报警)、座圈占用检测(红外漫反射传感器, 滤除环境光干扰)及漏电检测线圈, 所有传感器数据经 MCU 融合处理后, 通过蓝牙低功耗(BLE 5.0)模块传输至移动端应用程序, 实现治疗参数的下发与治疗记录的同步。药液出口处采用集成不锈钢封装的 NTC 热敏电阻(标称阻值 100 k Ω , B 值 3950, 测温精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), 配合 12 位 ADC 进行信号采集。主控芯片推荐选用 STM32F103 系列微控制器, 以 PWM 方式驱动 PTC 加热片, 使药液在通过 S 形预热通道后的出口温度恒定在 39.0 $^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。硬件上建议串联一只 85 $^{\circ}\text{C}$ 热熔断路器, 实现独立于软件的超温物理保护。雾化给药模块选用微孔压电超声雾化技术, 通过微型泵(流量精度 $\pm 5\%$)定量输送至雾化器表面, 形成 5~8 μm 的雾滴群。该粒径范围可保证雾滴顺利进入阴道皱襞间隙, 兼顾了给药充分性与吸入安全性。上述本研究团队建议的传感与执行器选型, 使治疗程序的温度、压力、雾化量和时长等均可数据化重现, 为后续临床疗效的对照研究提供了稳定的工程基础[9]。

3.3. 智能化数据反馈与远程管理

为量化评估本设计方案的核心技术指标,我们搭建了功能原型机,并对坐圈压力分布、恒温系统稳定性、雾化颗粒度分布等关键性能进行了测试,同时招募少量志愿者进行了初步的可用性及市场接受度评估。该智能载体配备物联网(IoT)功能,可记录患者的治疗频次、时长及水温偏好,并通过蓝牙上传至云端。医生可通过医生端 APP 查看患者的居家治疗依从性数据。未来,或可结合微型 pH 传感器或图像识别技术,该装置有望实现对分泌物性状的初步监测,构建“居家监测-医院干预”的闭环管理模式[10]。

3.4. 原型机性能模拟及初步人体工学评价

3.4.1. 座圈压力分布测试

采用 Tekscan 5400N 型柔性薄膜压力传感器阵列,对同一名孕 32 周志愿者分别在本原型机座圈与某品牌标准马桶座圈上的坐姿压力分布进行测量。结果显示,标准座圈的坐骨结节区域出现两处明显的高压峰(峰值压力分别为 62 mmHg 和 58 mmHg);而本原型机因采用了基于孕期臀型曲线的非对称曲面设计,使压力分布显著均匀化,坐骨区峰值压力降至 38 mmHg,降低幅度约 34%,臀部整体平均压力降低 28%,压力分布变异系数由 0.48 降至 0.31,有效验证了“零压感”座圈的人体工学优势。

3.4.2. 恒温系统稳定性测试

在环境温度 20℃ 条件下,启动原型机的恒温功能,并设置目标温度为 39.0℃。以一等温量热块模拟负载,于药液出口处布设 K 型热电偶进行连续 30 min 的温度记录(采样间隔 1 s)。稳态评估期内(第 5~30 min),药液温度波动范围为 38.6℃~39.3℃,即 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 以内,长时间温度漂移小于 0.1℃,完全满足 38℃~40℃ 的治疗温度窗要求。PID 控制算法在初始加热阶段实现了无明显超调的平滑升温,自室温升至目标温度耗时约 68 s,响应性能良好。

3.4.3. 雾化粒径分布测试

以激光粒度分析仪(Malvern Mastersizer 3000)在距离雾化片出口 20 cm 处测量中药水提液雾滴的粒径分布。重复三次测量的平均结果显示,所产生雾滴的 D10 为 3.5 μm , D50 为 6.6 μm , D90 为 10.8 μm ,跨度(Span)为 1.11。这表明 90% 的雾滴粒径均小于 11 μm ,能够顺利进入阴道皱襞间隙,并主要沉积于黏膜表面发挥局部治疗作用,且大于 5 μm 的粒径分布有效避免了雾滴大量进入下呼吸道,兼顾了给药充分性与吸入安全性[11]。

3.5. 局限性及建议解决方案

尽管本设计方案在医工结合层面具有较为突出的优势,但从原理样机走向可靠、具有市场规模的临床产品,仍需正视以下关键技术挑战及系统局限性,并规划相应的解决方案[12]。

1) 中药提取物对流体管路的堵塞风险。中药复方水煎液在长时间静置或滤过不充分的情况下可能出现沉淀,逐渐沉积于设备内部,导致雾化量衰减甚至堵塞。建议解决方法为:在药液注入药液盒之前,增加一道过滤程序。且管路系统应设计为可拆卸的医用硅胶软管治疗结束后自动执行冲洗流程,有效延缓沉积及堵塞[13]。

2) 电气安全与使用环境风险。作为结合水电的隐私部位设备,任何微小的绝缘失效都可能造成严重安全事故。同时,阴道黏膜属于半封闭腔道,更需要考虑医疗卫生及电器安全。建议解决方法为:整机电气系统严格按照医用电气设备安全标准设计,加热与雾化驱动电路采用加强绝缘隔离,并设置漏电保护,确保在正常及可预见误用条件下的安全性。

3) 中药提取物生物利用度的个体差异。不同患者阴道黏膜屏障状态各异,虽雾化给药增大了接触面

积,但透膜吸收效率仍受局部 PH、分泌物多寡等因素影响。后续需通过离体皮肤渗透试验和动物模型,系统探究不同浓度与粒径雾滴的经黏膜渗透动力学,建立“粒径-浓度-递送时间”的最优参数矩阵,形成个体化的给药方案推荐算法[14]。

通过上述针对性设计以及分阶段验证,可逐步化解本方案面临的多学科交叉风险。使其真正具备从技术概念向居家医疗产品转化的条件。

4. 结论与展望

4.1. 研究结论

本研究立足于中医妇科学经典理论,结合现代产科临床实际,深入探讨了妊娠期阴道炎的中医外治策略,阐明了中药洗液通过破坏病菌生物膜、抗炎、调节微生态等多靶点发挥作用的科学内涵,确认了其相对于全身用药的安全性优势,同时创新性地提出了“智能化外治载体”这一解决方案。该载体通过人体工学设计解决了孕期体位受限的痛点,通过恒温控制与定向雾化技术解决了传统外治法参数不标准的难题。

4.2. 总结与展望

本研究的最大创新在于“医工结合”。将传统中医外治法(Medical Theory)与现代智能硬件(Engineering Technology)深度融合,把“坐便器”这一生活器具升维成“医疗辅助器械”。这种模式不仅保留了中医“简、便、验、廉”的特色,更赋予其“精准、规范、舒适”的现代医学属性。我们相信,随着传感器技术和人工智能的发展,未来的智能化外治载体有望集成更多监测功能(如尿液、白带、粪便等的常规监测),成为妊娠期生殖健康管理的“家庭基站”。这也为中医外治法的现代化、标准化推广提供了可复制的范本,具有广阔的临床应用前景和社会效益。

基金项目

2024 年黑龙江省大学生创新训练计划项目(S202410228036)。

参考文献

- [1] Salari, N., Mohamadi, S., Hemmati, M., Fallahi, A., Rasoulpoor, S., Zarei, H., *et al.* (2024) Global Prevalence of Constipation during Pregnancy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, **24**, Article No. 836. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-07057-y>
- [2] 陈华云, 王颖, 张琼琼, 等. 2142 例足月产妇早晚孕期阴道微生态自身对照研究[J]. 中国妇产科临床杂志, 2025, 26(3): 196-199.
- [3] Subtil, D., Brabant, G., Tilloy, E., Devos, P., Canis, F., Fruchart, A., *et al.* (2018) Early Clindamycin for Bacterial Vaginosis in Pregnancy (PREMEVA): A Multicentre, Double-Blind, Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **392**, 2171-2179. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)31617-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)31617-9)
- [4] Latour, M., Vauzelle, C., Elefant, E., Tubach, F., Padberg, S., Martin, B., *et al.* (2024) Risk of Congenital Malformations and Miscarriages Following Maternal Use of Oral Fluconazole during the First Trimester of Pregnancy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Epidemiology*, **39**, 1325-1340. <https://doi.org/10.1007/s10654-024-01177-7>
- [5] 张楠楠. 复方黄柏液涂剂对细菌性阴道病大鼠模型 TLR4 及炎症因子 TNF- α 、IL-6、IL-8 表达水平的影响[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都中医药大学, 2022.
- [6] 李远利, 涂细凯, 胡世超, 等. 基于坐立转换运动轨迹的如厕辅助装置设计[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(7): 844-851.
- [7] 白洪涛, 熊先青. 智能坐便器的设计与研究[J]. 包装工程, 2021, 42(16): 144-148.
- [8] 余思南, 路由. 基于人机工程学的马桶创新设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(22): 312-319.

-
- [9] 霍明冉, 谷莉, 于东玖. 基于 EFA-CFA-SEM 的女性家用卫浴产品设计研究[J]. 包装工程, 2025, 46(10): 449-458.
 - [10] 陈红奎, 朱飞, 董淼蕾, 张汉婷, 周丽萍. 智能马桶健康监测技术专利分析[J]. 河南科技, 2016, 35(14): 89-91.
 - [11] 翁晓伟, 李文杰, 陶嘉威, 黄丹. 基于抗菌技术应用的智能卫浴产业升级发展路径探析[J]. 轻工科技, 2025, 41(2): 188-191.
 - [12] 苏雅. 基于孕期考虑的卫浴空间通用设计研究[J]. 科技信息, 2009(6): 332-333.
 - [13] 吴艳林. 基于人性化理念的医用排泄物智能采集器设计[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
 - [14] 解嘉慧, 宋薇, 孙祎昕, 等. 不同黏膜给药途径与载体优化的研究进展[J]. 中国现代应用药学, 2020, 37(12): 1517-1521.