

中图分类号: R95 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2025)08-0029-04
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2025.08.007



物流机器人用于静脉用药调配中心药品智能运输管理效果评价*

李 皓, 邹锐元, 李 恺, 赖镇强

(广东省梅州市人民医院, 广东 梅州 514000)

摘要:目的 探讨物流机器人在静脉用药调配中心(PIVAS)药品智能运输管理中的效果。方法 2023年7月至9月以医院A栋13个科室为物流机器人药品智能运输管理试点科室,以采用人工运输的B栋14个科室为对照,对比物流机器人运输的效果,并于2024年3月至5月结合使用实际情况联同厂家对物流机器人进行升级,对比升级前后物流机器人使用效果。结果 物流机器人的取货时间(22.00 ± 2.54)s、送货时间(39.33 ± 4.02)min、超时率(6.72 ± 0.65)%、差错率0.08%,明显短于(或低于)人工配送的(785.00 ± 72.13)s, (52.02 ± 6.78)min, (11.13 ± 1.29)%, 2.97% ($P < 0.05$)。优化后日均发送车次为(8.87 ± 0.81)次、送货时间为(38.67 ± 5.24)min,明显小于(或短于)优化前的(11.61 ± 1.09)次和(39.33 ± 4.02)min;超时率为(8.81 ± 0.87)%、取货时间(31.00 ± 3.98)s、次均配送量(7.89 ± 0.76)组、货柜利用率为(28.42 ± 2.53)组/车、医护人员总满意度为100.00%,明显高于(或长于)优化前的(6.72 ± 0.65)%, (22.00 ± 2.54)s, (5.91 ± 0.62)组, (20.57 ± 2.08)组/车, 80.00% ($P < 0.05$);优化前后物流机器人差错率无显著差异(0.08% 比 0 , $P > 0.05$)。结论 物流机器人应用于PIVAS药品运输,能有效提高运输效率与安全性,提升医院智能管理水平。

关键词: 静脉用药调配中心; 物流机器人; 智能运输管理; 药物配送

Effect of Logistics Robot in Intelligent Transportation Management of Drugs in Pharmacy Intravenous Admixture Services

Li Hao, ZOU Ruiyuan, LI Kai, LAI Zhenqiang

(Meizhou People's Hospital, Meizhou, Guangdong, China 514000)

Abstract: Objective To investigate the effect of logistics robot in the intelligent transportation management of drugs in Pharmacy Intravenous Admixture Services (PIVAS). **Methods** From July to September 2023, thirteen departments in building A of the hospital were selected as pilot departments for intelligent transportation management of logistics robots for drugs, with the fourteen departments in building B that used manual transportation as a control, the effectiveness of logistics robot transportation were compared. From March to May 2024, the logistics robot was upgraded in conjunction with the actual use of the manufacturer, and the performance of the logistics robot before and after the upgrade were compared. **Results** The logistics robot's pickup time was (22.00 ± 2.54)s, delivery time was (39.33 ± 4.02)min, overtime rate was (6.72 ± 0.65)%, and error rate was 0.08%, which were all obviously shorter or lower than (785.00 ± 72.13)s, (52.02 ± 6.78)min, (11.13 ± 1.29)%, 2.97% of manual delivery ($P < 0.05$). After optimization, the average daily number of vehicles sent was (8.87 ± 0.81)times, delivery time was (38.67 ± 5.24)min, which were lower or shorter than (11.61 ± 1.09)times and (39.33 ± 4.02)min before optimization; the overtime rate was (8.81 ± 0.87)%, pickup time was (31.00 ± 3.98)s, average delivery volume per shipment was (7.89 ± 0.76)sets, container utilization rate was (28.42 ± 2.53)sets per vehicle, and healthcare worker satisfaction was 100.00%, which were all higher or longer than those before optimization ($P < 0.05$). There was no significant difference in error rate of logistic robot before and after optimization ($P > 0.05$). **Conclusion** Logistics robots applied to drug transportation in PIVAS can effectively improve transportation efficiency and safety, and enhance the level of intelligent management.

Key words: Pharmacy Intravenous Admixture Service; logistics robot; intelligent transportation management; drug distribution

静脉用药调配中心(PIVAS)是医疗服务中的重要环节,其药物配置与配送工作是与各科室联系最紧密的核心职能,配送准确性与时效性直接决定了患者能否获得高质量、安全的静脉用药服务。传统模式下,相关工作主要由人工完成,不仅增加了医院的人力成本,还存在效率低、易出错等问题^[1]。2022年我国发布《“十四五”全民健康信息化规划》^[2],明确提出提升药品供应

链的智能化水平,鼓励医疗机构采用先进的智能技术和机器人,因此,医院智能管理等创新技术体系的开发与应用成为医院管理升级研究的热点,物流机器人是PIVAS智能化升级的新型工具,其通过智能化系统与强大的负载能力,可实现多种类、大体积药物与物品的安全运输^[3]。当前,已有医院将物流机器人应用于手术室器械等运输工作中,效果良好^[4]。我院PIVAS服务全院

*基金项目:广东省梅州市医药卫生科研项目[2024-B-91]。

第一作者:李皓,男,大学本科,主管药师,研究方向为静脉用药调配,(电子信箱)LHmz1987@126.com。

60多个科室,日均调配输液量超过3 000袋,在不增加人力成本的前提下提升其工作效率十分重要。鉴于此,本研究中拟进一步观察物流机器人在PIVAS药品智能运输管理中的应用效果。现报道如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象

2023年7月至9月以医院A栋(新建,已完成5G智能化布置)的心血管内科、胸外科、产科、妇科、新生儿科等13个科室为物流机器人药品智能运输管理试点科室,以采用人工运输的B栋的特需医疗科、消化科、胃肠外科、肝胆外科、神经外科、神经内科等14个科室为对照,对比物流机器人运输的效果,并于2024年3月至5月结合使用实际情况联同厂家对物流机器人进行升级,对比升级前后物流机器人使用效果。

1.2 医院物流机器人设计、使用与优化

设计:选择物流机器人类型前,需根据医院实际使用场景,对机器人用途、运输能力、运动速度、避障精度和箱体稳定性提出明确要求,根据当前医院物流痛点分析,最终选择了分体式物流运输机器人,其由药柜和运输底盘组成(见图1)。基于户外运送药物的需求,该机器人具备高防水等级(IPX5级,能防喷射水流侵入)特点,不良天气情况下也可正常运行。且具有目的地智能识别、自动调度、门禁系统自主呼唤、电梯自主呼唤功能,由2台测试机完成现场勘查、地图测绘与路径部署后即可投入使用,最终实现全程自动化运行。且该机器人在药品发送使用与收取方面具备权鉴、收发货监控、实时数据分析功能。

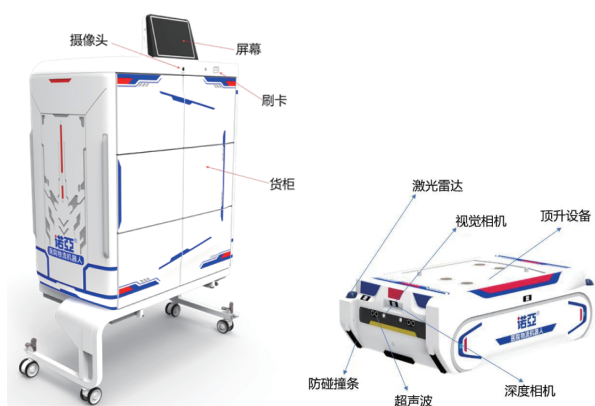


图1 物流机器人结构示意图

Fig.1 Structural diagram of logistics robot

使用:当PIVAS收到配送任务后,工作人员扫描交接单二维码,订单信息自动录入机器人系统,箱门开启,系统自动识别该柜门对应楼层进行发货。机器人根据对应科室自动规划路线配送,通过运输底盘上的激光雷达、视觉相机对周围环境和路况进行识别,超声波传感器等进行距离识别,实现避障、绕障。由于医院环

境复杂,人流量大,为避免与障碍物剧烈碰撞导致药物破损或人员受伤等,底盘前端安装了防撞撞条。到达目标楼栋后,机器人通过智能系统自动呼叫电梯,电梯底盘的顶升设备可使药柜在不平整区域自动调整悬挂参数,如上下电梯时,尽可能保证药柜平稳运行。机器人到达订单对应楼层前,提前向对应科室专员发送取货信息,在对应楼层指定地点等待取货。护士取货时,需在药柜上端指定区域刷卡或通过大屏幕提示操作进行身份识别,识别成功后,对应柜门开启,取货成功柜门关闭后,机器人自动呼叫电梯去往下一楼层,并发送取货信息。取货全过程由药柜上方的摄像头记录,并发送至云端系统,以供查阅。所有药品运输完毕后自动回到PIVAS进行充电或下一轮药品运输。单件药品运送时间控制在1 h内,以保证药品配送时效性。相应运送流程见图2。

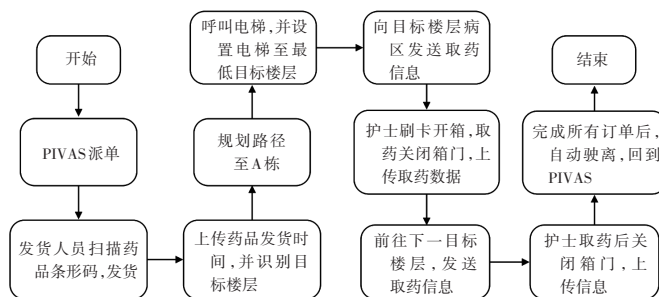


图2 物流机器人运送流程

Fig.2 Delivery process of logistics robot

优化:PIVAS根据医院应用初代机器人情况,联合厂家从两方面进行适配性与创造性改造。1)制订规范化的管理流程:加强应用反馈机制,由PIVAS主动与数据中心和相关厂家沟通,及时反馈机器人在使用过程中遇到的问题,并提出切实可行的解决方案,形成巡检方案和应急管理方案。PIVAS的物流机器人管理专员与厂家相关人员定期对机器人管理方案进行沟通与升级。同时,加强专用电梯和应急管理,确保机器人在各种情况下均能安全、高效地运行。2)加强路径规划:科学规划机器人配送模式,采用“相对固定”配送模式,即配送同栋楼的机器人相对固定,并采用优先配送最近邻的原则,尽量缩短配送距离。在机器人运行过程中,根据实际情况采取了如下措施。①改进药品调配顺序。出于科室对药品配送时效性的不同需求,重新规划不同科室的配药出科顺序和批次,提高机器人配送效率。②箱体改造。针对实际应用中机器人药柜空间利用率较低的问题,将四箱门货柜改造为六箱门,提高机器人空间利用率。③订单系统优化。由传统的触摸屏手动下单升级为货柜自动识别系统,减少人为错误,提高订单处理速度和准确性。④退药功能开发。开发机器人运载退药功能,实现退药请求、安全收集和运输,以及与退

药管理系统的无缝对接。⑤充电方式改进。将室内充电改为户外充电,提高安全性并为机器人提供稳定的电源供应。⑥设施完善。尝试增加冷链系统,以保证部分需严格冷藏保存药物的活性。

1.3 观察指标

静脉用药配送情况:记录并比较机器与人工配送总次数、取货时间(工人到PIVAS或机器人底盘接收货物的时间)、送货时间。

药品事故:分别记录机器人优化前后的差错率和超时率。其中,超时率 = 超时配送次数 / 总配送次数 × 100%,按配送时间超过1 h计算,下文同。

应用效率:统计机器人优化前后配送次数、次均配送量、取货时间、送货时间、超时率、货柜利用率,货柜利用率 = 总配送组数 / 总配送车次(组/车)。

满意度:调查机器人相关使用科室工作人员对机器人满意度的主观评价,分为非常满意、满意、不满意,

总满意 = 非常满意 + 满意。

1.4 统计学处理

采用SPSS 22.0统计学软件分析。计量资料以 $\bar{X} \pm s$ 表示,行 t 检验;计数资料以率(%)表示,行 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

结果见表1至表3。

表1 两种运输方式静脉用药配送及药品事故发生情况比较

Tab. 1 Comparison of intravenous drug delivery and drug accident occurrence between two transportation modes

运输方式	配送时间($\bar{X} \pm s$)		事故指标	
	取货时间(s)	送货时间(min)	超时率($\bar{X} \pm s, \%$)	差错[次(%)]
人工($n=539$)	785.00 ± 72.13	52.02 ± 6.78	11.13 ± 1.29	16(2.97)
机器($n=3720$)	22.00 ± 2.54	39.33 ± 4.02	6.72 ± 0.65	3(0.08)
t 值	642.877	61.680	125.706	88.401
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000

表2 物流机器人优化前后应用效率比较

Tab. 2 Comparison of application efficiency before and after the logistic robot's optimization

时间	配送时间		事故指标		效率指标		
	取货时间($\bar{X} \pm s, s$)	送货时间($\bar{X} \pm s, min$)	超时率($\bar{X} \pm s, \%$)	差错[次(%)]	日均配送车次($\bar{X} \pm s, 次$)	次均配送量($\bar{X} \pm s, 组$)	货柜利用率($\bar{X} \pm s, 组/车$)
优化前($n=3720$)	22.00 ± 2.54	39.33 ± 4.02	6.72 ± 0.65	3(0.08)	11.61 ± 1.09	5.91 ± 0.62	20.57 ± 2.08
优化后($n=2907$)	31.00 ± 3.98	38.67 ± 5.24	8.81 ± 0.87	0(0)	8.87 ± 0.81	7.89 ± 0.76	28.42 ± 2.53
t/χ^2 值	111.826	5.802	111.907	2.345	113.277	116.774	138.577
P 值	0.000	0.000	0.000	0.126	0.000	0.000	0.000

表3 医护人员满意度比较[人(%)]

Tab. 3 Comparison of satisfaction of medical staff[person(%)]

组别	非常满意	满意	不满意	总满意
优化前($n=15$)	10(66.67)	2(13.33)	3(20.00)	12(80.00)
优化后($n=28$)	27(96.43)	1(3.57)	0(0)	28(100.00)
χ^2 值				6.020
P 值				0.014

3 讨论

3.1 当前医院物流痛点分析

随着现代医疗技术的快速发展,医院的药品管理和配送面临日益严峻的挑战。PIVAS智能化改革已初见成效,但多集中于系统智能化改造,例如分拣系统、智能扫描、摆药、存储系统等^[5]。在药品运送方面存在以下痛点^[6-7]:1)人工运输不借助智能化系统,运送时间节点、运送路径、交接均由人工录入,易致药物错误发放,配送时间长。2)物品及交接信息由人工录入,科室无法查询配送进度,发放记录可能出现缺失,导致回溯困难。3)当前(机器人应用前)非人工运输(气动物流传输系统、轨道小车、箱式物流传输系统)方式存在速度慢、箱体易翻转、存放所需空间大等问题。

3.2 物流机器人应用效果

针对我院科室众多、占地面积大等特征,PIVAS引入物流机器人进行智能化改造,同时连接医院信息系统(HIS),各配送科室设置独立识别代码,并标注在输液标签和交接单上,同时生成对应的二维码以供鉴权识别。本研究中,人工配送的取货时间、送货时间、差错率与超时率明显长于(或高于)机器配送,提示机器人能有效提高药品运送效率,降低药品运输差错率。人工调度流程烦琐,导致取货与送货时间延长,送货时效性不足,且因人为因素易出现差错^[8-9]。而我院使用的物流机器人具有较高智能化水平,药品装箱后,智能工作台通过扫描二维码将配送科室的代码写入药箱底部的芯片,智能载货柜能自动读取药箱芯片信息,并转换为配送信息,从而实现自动配送。物流机器人的应用可使配送实现信息化、精准化、自动化,收取药品则需要刷卡才可打开对应箱门,有效避免药品取拿错误,大幅提高药品使用安全性^[10-11]。同时,物流机器人的运行轨迹、配送进度等数据可实时上传,管理平台可追溯配送过程,有利于PIVAS精细化管理。此外,物流机器人具有自动路径规划、避障等功能,可自主实现目的地

别、停车卸货等,可提高配送效率^[12-13]。物流机器人系统也可以实现全天候、持续不断的运输服务,不受人员工作时间和休息的限制,保证药品的及时供应^[14-15]。最后机器人运输还可有效减少人与人之间的接触,降低院内交叉感染风险^[16]。

2024年第1季度医院联合厂家对机器人进行了优化,优化后机器人日均发送车次、送货时间、次均配送量、货柜利用率均明显优于优化前($P < 0.05$)。但存在超时率更高,取货时间更长的情况($P < 0.05$),可能与指标计算方式欠妥及意外情况(如电梯等待次数增加导致超时)有关。在物流机器人应用过程中,观察到机器人次均配送量较少,为提高配送效率,与厂家进行改进方案的沟通,最终确定设计6门柜物流机器人。优化后的物流机器人单次可搭载的药品数量增加,药品信息录入也从可手动操作完成向全自动识别进行转变,并针对已有取药系统故障进行优化,有效降低了差错率^[17]。由于货柜增加,同时优化了发货系统,因此货柜利用率更高,日均发送车次更少,有效提高了配送效率和经济性。

3.3 不足与展望

本院在物流机器人优化方面,积极探索集成制冷机组的设计方案,希望能在不增加机器人体积的前提下实现^[18]。但该方式需兼顾空间限制、机械结构优化、能源管理、热控制以及成本与重量等因素,来实现制冷效率与载货能力的均衡。这一技术挑战较大,但实现后将有效提升医疗物资的安全性,符合医药冷链物流的发展趋势(目前,该技术正处于加速研发阶段)。同时,引入冷链监控系统以实现实时监控和温度预警也已在开发中,这不仅能增强医疗物资的安全性,也是医药冷链物流发展的重要方向。应急管理措施方面,缺乏在系统故障时的连续运作保障措施。在路径规划过程中,电梯呼叫与门禁呼叫缺乏灵活性,等待时间较长,与甘粒等^[19]面临的问题类似。在药物配送过程中,仅考虑距离可能会导致部分紧急用药需求无法满足,因此,计划未来实现机器人根据优先级自主规划科室配送顺序的方案。在优化为6门货柜后,虽然空置率和送货时间更低,但超时率和取货时间更高,该情况应引起重视,日后还需进一步优化发货流程。

物流机器人应用于PIVAS药品运输,能有效提高智能管理水平,有利于医院精细化管理,实现药品的快速配送。

参考文献

[1] DENG J, CHEN Y, ZHANG X, et al. Intelligent supervision of PIVAS drug dispensing based on image recognition technology[J]. PLoS One, 2024, 19(4):e0298109.

- [2] 国家卫生健康委,国家中医药局,国家疾控局.“十四五”全民健康信息化规划[A/OL]. (2022-11-07)[2023-08-28]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s3585u/202211/49eb570ca79a42f688f9efac42e3c0f1.shtml>.
- [3] WANG X, GU M, GAO X, et al. Application of information-intelligence technologies in pharmacy intravenous admixture services in a Chinese third-class hospital[J]. BMC Health Serv Res, 2022, 22(1):1238.
- [4] 刘森森,张笑萍,冯立,等.物流机器人在手术室配送服务中的应用进展[J].医药高职教育与现代护理,2023,6(4):365-368.
- [5] 赵耀,彭霄霞,仇锦春,等.某三甲医院静脉用药集中调配中心智能化、信息化、均质化建设的实践[J].中国医院药学杂志,2019,39(17):1808-1811.
- [6] 黄博,钱晓萍.医院PIVAS智能化建设与实践[J].中国药事,2022,36(11):1300-1307.
- [7] 刘明德,苏芸,王江,等.浅析轨道车在智能药房中的应用设计[J].南方农机,2021,52(3):116-118.
- [8] 徐锦,武琼,王琳,等.品管圈活动在持续降低PIVAS药品报损率中的应用[J].海峡药学,2022,34(3):182-185.
- [9] 谢家隆,陈敏仪,谢彦媛.医院物流机器人在智能化药房中的应用[J].中国卫生标准管理,2020,11(11):20-22.
- [10] 钱黄静,王晓础,朱幸洁,等.机器人自动化传送系统在手术室耗材管理中的应用及效果评价[J].中国现代医生,2020,58(36):147-149.
- [11] 李杰,曹景超.多学科协作品管圈提升静脉用药调配中心处方前置审核质量实践与效果[J].中国药业,2024,33(17):42-46.
- [12] 江龙韬,刘怡沛,张卓.基于ARM及机器视觉的智能药品运送机器人系统设计与研究[J].计算机测量与控制,2022,30(8):211-217.
- [13] 刘明德,王江.基于双目视觉的药房机器人局部避障控制系统设计[J].现代电子技术,2021,44(18):177-181.
- [14] 杨金燕,邹丽,秦媛,等.四川省药品现代物流现状与发展路径[J].中国药业,2024,33(19):13-17.
- [15] 陈静,胡硕婷.物流机器人干预对手术室器械耗材配送管理效果的Meta分析[J].循证护理,2022,8(15):2018-2022.
- [16] 林洪,代国友,许政坛,等.四川省医院智能静脉用药配置设备使用现状调查[J].中国药业,2022,31(8):18-22.
- [17] 魏建华,李广义,程启元,等.基于智能货架和物流机器人的手术室智能物流体系建设研究[J].中国医学装备,2022,19(2):137-141.
- [18] 叶华,张志尧,陈晓怡,等.物流机器人在医院静脉配置药品配送中的应用[J].中华医院管理杂志,2019,35(7):610-613.
- [19] 甘粒,杨晓东,张志毅,等.服务型机器人在医院药品配送场景中的应用管理与成效分析[J].中国卫生资源,2020,23(6):583-588.

(收稿日期:2024-08-22;修回日期:2025-01-16)