

· 专家共识 ·

医疗机构内物流系统血液运送的应用及管理上海专家共识

上海市医学会输血专科分会 上海市临床输血质控中心

DOI: 10.3969/j.issn.1671-2587.2023.04.001

执笔作者: 陈绍恒, 主要从事血小板储存损伤机制及输血质量管理相关研究, (E-mail) mrshaoheng@163.com。

通信作者: 陆元善, 主任技师, 硕士生导师, 主要从事相容性检验、临床输血管理研究工作, (E-mail) luyuanshan@126.com。

【摘要】 目前医疗机构内部血液由输血科发往临床用血科室仍以人工运送方式为主, 费时费力, 效率低下。随着各类物流传输系统在医疗机构内推广应用, 医疗机构内的血液标本、病理标本、药品等物资运输方式正向方便、快捷、安全、高效、智能的运输模式转变。为了推进医疗机构内自动化物流系统运送血液的应用, 提高发血效率, 保障临床用血安全性和及时性, 经上海市医学会输血专科分会临床输血专家及血液管理专家讨论, 特制订本共识。

【关键词】 医疗机构内 自动化物流传输系统 血液运送 输血管理 专家共识

【中图分类号】 R457 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-2587 (2023) 04-0433-06

输血是临床救治的重要手段之一, 其输注疗效取决于血液成分选择的合理性和使用的及时性^[1-2]。目前, 在大多数医疗机构内, 血液由输血科发往临床仍然以人工运送方式为主^[3-4]。随着我国医疗卫生水平的发展, 我国医疗机构、床位等资源均呈持续上涨形势。一方面, 医疗机构布局的扩张, 导致输血科与各个临床科室空间分布距离延长; 另一方面, 医院工作量的增加导致血液需求增加, 需要配备更多的转运人员。因此, 以传统人工方式运送血液, 效率低下, 费时费力的矛盾日益突出, 已难以满足临床需求^[5]。同时, 转运过程中血液存储和运送条件也无法实时监控, 存在一定的用血安全隐患。因此, 如何降低医院运送人员负荷, 提升血液发放转运效率, 确保血液方便、快捷、安全、高效转运, 保障用血安全性和及时性, 是目前广泛存在且迫切需解决的问题^[1, 6-8]。

随着智能信息化社会快速发展, 越来越多的医疗机构开始采用智能化、自动化的物流传输系统替代传统人工运送方式进行院内物资运输。与传统人工运输方式相比, 自动化物流传输系统具有装运灵活、运送载量大和安全可靠等特点, 大大提升了医院运转和管理效率。医院物流传输系统包括气动物物流传输系统^[9-10]、轨道物流传输系统^[11-12]、自动导引运输车 (automated guided vehicle, AGV) 传输系统^[13]、智能机器人传输系统^[14-15]等。

目前, 在国内利用自动化物流传输系统实现医院内血液运送属起步阶段, 仍面临诸多困难。一方面, 血液的运送过程中, 如环境温度^[16-17]、运送工具^[18-20]、运送时间^[16-17, 21], 以及振动^[7, 19, 22-24]等都会对血液质量造成影响。例如, 运输不当会导致红细胞破裂出现溶血^[25-30], 血浆或冷沉淀制剂凝血功能改

变^[31-35], 血小板活化^[36-41]等。运输导致的血液质量改变会直接影响临床治疗效果, 甚至还会增加输血不良反应的发生率, 严重危及输血安全^[9, 42-44]。另一方面, 根据《临床输血技术规范》, 血液从输血科发往临床过程, 还涉及发血和取血双方对相关信息核对和血液外观及质量查验、发血交接等程序^[45]。

由于血液运输的特殊性, 依托自动化物流传输系统实现血液院内运输, 需要建立一套管理体系, 涉及安全性评估、操作流程、交接管理、维护与保养、质量保证、质量控制、紧急预案等内容, 确保血液安全、方便、快捷、高效转运至临床, 提高血液管理水平, 保障临床输血安全。

1 系统设备要求

1.1 包含系统

医院自动化物流传输系统 (气动物物流传输系统、轨道物流传输系统、AGV传输系统、智能机器人传输系统等)、视频音频全程监管系统、医院管理信息系统 (hospital information system, HIS)、输血管理系统、护理系统、手麻系统等。

1.2 站点设置

包括输血科 (起始端)、手术室以及需要输血治疗的临床科室, 如ICU、急诊科、血液科等终端站。

1.3 其他设备、器材及耗材

血液运送箱、智能锁、保温装置 (冷源板、冰袋、棉袋等)、温控装置、一次性生物安全袋 (聚乙烯材质、尺寸适合、防水密封良好)。

1.4 血液运送箱要求

血液运送箱外观、内壁、箱体材料、保温性能等要求参照《血液运输要求》WS/T400-2012。血液

运送箱安装智能锁应符合相应的产品标准。

2 自动化物流运输系统运送血液的前期评估

2.1 自动化物流传输系统设施评估

内容包括：实时监控、调度能力、稳定性、运送时长、温度监测、配送目的地的准确性参数；自动化物流传输系统设施的清洁、消毒、维护，及验证标准。

2.2 自动化物流传输系统运送血液前准备和评估

2.2.1 管理制度、操作流程和培训

制定自动化血液运送系统管理制度和操作流程，并组织相关人员学习、培训和考核。

2.2.2 记录完整性

内容包括血液运送时长、温度监控、血液到站后接收时间、交接情况等记录，保证记录完整、可追溯。

2.2.3 事故及处理方案

内容包括发错站点、温度失控、运送时长超时、运送过程血袋破损等事故。

2.3 运送系统应用范围

2.3.1 血液制剂种类

现有输血科发放的所有的血液制剂。

2.3.2 血液制剂数量

运输血液制剂数量不应超过运输系统最大有效载荷。

2.4 运送箱保温及性能验证

运送箱保温及性能验证参照《血液运输要求》WS/T400-2012。红细胞和解冻后血浆的运送温度范围应该维持在 $2^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，解冻后的冷沉淀、血小板的运送温度应维持在 $20^{\circ}\text{C}\sim 24^{\circ}\text{C}$ ^[46-47]。

2.5 血液质量评估

运送至临床的血液质量应符合《GB 18469-2012全血及成分血质量要求》国家标准。

2.6 运送时长

医疗机构根据不同的自动化运送设备类型、运送距离，评估血液由输血科运送至临床所需要的时长，原则上不应超过30 min。此外，还应根据血液使用紧急情况设置优先运送级别。中央控制系统应保证紧急用血最高优先级，做到优先调配运输系统设备（轨道车、气动传输瓶、智能移动机器人等）至输血科、运送过程优先通过、优先到达站点、到达终端后即刻接收。具体措施包括：（1）血液运送前，输血科根据用血紧急程度，设置血液运送优先级，及时通知临床用血终端做好接收血液准备；（2）血液运送中。中央控制系统应保证紧急用血优先通过；（3）

血液运送达到站点后，输血科工作人员应及时与接收站点取得联系，敦促其尽快完成血液运送过程和发、领血交接确认。

如运送时长超过前期评估验证确定的时间范围，该信息将反馈至输血科。

2.7 生物安全风险评估

参照《病原微生物实验室生物安全管理条例》、《实验室生物安全通用要求》、《医疗废物管理条例》和《临床实验室安全准则》，制定《医疗机构内自动化血液运送系统生物安全管理制度》，组织相关人员对该血液运送系统作生物安全风险评估。

2.8 智能锁性能评估

为保障血液运输过程安全，应对血液运送箱安装智能锁，避免运输过程中途被无故打开，暴露外部环境，以确保运输过程在控。解锁方式包括但不限于指纹、密码、钥匙、刷卡、蓝牙等方式。智能锁应有检验合格报告，质量符合相关标准。

2.9 视频音频全程监管系统信息安全

定期对视频监控系统进行检测和维护，对网络系统采取保护措施，避免病人个人信息、诊治信息、血液信息外泄，保护患者个人隐私。

2.10 评估结果验收

相关管理部门将对上述评估内容进行核查，通过安全性、稳定性、可行性评估后，该系统方可应用于运送血液。

3 操作流程

3.1 发送前准备

3.1.1 发血核对

接到临床取血通知后，输血科人员核对领血内容信息，打印发血报告。输血科人员进行信息核对和血液外观及质量查验，具体检查内容与核对参照《临床输血技术规范》2000年版第25、26条。确认无误后，打印血液运送条码。

3.1.2 血液装载

检查血液运送箱，箱内温度应该在要求范围内。将血液装入生物安全袋，密封后张贴血液运送条码并扫描，与输血报告单一同放置血液运送箱。一个生物安全袋，只放置一个受血者血液。根据血液种类，决定是否放置冷媒。

3.1.3 系统准备

在系统中，设置目的站点和运送的优先级别，调配运送设备。

3.2 血液运送

血液发出前应联系接收站点医务人员，做好接

收血液准备，随后进行血液发送。同时，输血科应注意血液运送时间，预警等其他异常情况。

3.3 血液接收

3.3.1 运送过程检查

用血科室医护人员检查血液运送箱内温度是否在控，血液运送箱有无碰撞、损坏，运送时间是否异常，生物安全袋是否破损、漏袋等情况；确认无异常后，扫描生物安全袋上运送条码，完成运送过程确认。

3.3.2 血液接收核对

接收站点医护人员取出并打开生物安全袋，取出输血报告单，完成血液质量检查与信息核对（同上）。在系统中进行血袋扫码确认，护士打印领血单，在输血报告单和领血单上签字并填写接收时间，

完成领血及入科核对。

3.3.3 返还领血单

领血单及时返还输血科存档。

3.4 运送完成确认

输血科收到签字的领血单后，需要在系统上确认血液运送和接收情况，包括运送时长（两次扫描血液运送条码的时间差）、温度监控和系统预警情况等，完成血液运送过程和发、领血交接确认。

3.5 操作流程示意图

见图1。

4 运送全质量管理

4.1 制度保障

建立完善的管理制度、操作流程和培训制度，



图1 操作流程示意图

根据使用情况定期完善和更新，定期组织相关人员培训并考核。

4.2 运送系统稳定性和可靠性

4.2.1 定期对血液运送系统设施稳定性和可靠性进行评估。

4.2.2 因流程、系统设施发生变动，需再次评估。

4.3 血液运送设施的清洁、消毒

4.3.1 清洁、消毒

每天用湿毛巾擦拭物流终端运送设施（轨道车、气动传输瓶、智能移动机器人等）和血液运送箱，并使用500 mg/L ~ 1 000 mg/L的含氯消毒剂擦拭其表面与内部。具体内容参照表1。此外，根据实际使用情况，如血液渗漏、向隔离病房等高病原生

物传播风险的区域运送血液等情况，应增加清洁、消毒频次。血液运输箱应专箱专用，仅限于血液制剂运输，禁止运输临床检验、病理标本等其他标本或物品。

4.3.2 消毒质量监测

依据《医疗机构消毒技术规范》WS/T 367-2012、《临床输血技术规范》2000版和《血液运输要求》WS/T 400-2012 中的规定，对血液运送箱进行消毒并作消毒质量监测。血液运送箱内空气培养每月一次，无霉菌生长或培养皿（90 mm）细菌生长菌落 < 8 cfu/10 min 或 < 200 cfu/m³ 为合格，并有检测报告和记录。此外，根据实际使用情况，增加检测次数。

4.3.3 记录完整、可追溯

血液运送设施的清洁、消毒、消毒质量监测,设备的维护、保养、校准均需有记录,确保可查询、可追溯。

4.3.4 生物安全

应该严格按照《医疗机构消毒技术规范》WS/T 367-2012、《临床输血技术规范》2000版和《血液运输要求》WS/T 400-2012 中的规定,对血液运送设施进行消毒并作消毒质量监测,同时加强对相关人

员培训,提高消毒认识,重视血液安全。

4.4 血液运送设施日常维护、保养、校准

为了保证传输系统的正常运作,应每日检查运送设施、温控装置运行情况,定期对系统进行维护、保养、校准。具体内容参照表1。

4.5 流程管理

血液发放过程需严格按照上述操作流程内容执行。

表1 清洁、消毒与日常维护保养

时间	内容	执行人员
每日	物流运送设备(轨道车、气动传输瓶、智能移动机器人等)、血液运送箱清洁、消毒;检查运送设施、温控装置运行情况;	输血科人员
每月	对血液运送箱进行消毒并作消毒质量监测;温度监测和预警测试;	输血科人员
每月	自动化物流传输系统维护、保养,如感应与定位系统、网络系统、平衡系统等;	工程师
每年	自动化物流传输系统、温控或温度计校准	工程师
不定期	检查系统运送情况、消毒记录、消毒监测、温度监测,发现问题,及时沟通与上报	设备科/医务处

4.6 预警系统

当运送过程中出现错误需要及时反馈至输血科,包括血液运送当中丢失或者损坏、运送途中运送箱被打开、运送时间超时、温度异常、发错目的站、系统软件错误等。输血科、系统维护人员应根据预警情况,依照相关应急预案和处理流程做出相应处置。

4.7 应急预案

根据制定的管理制度、使用规范、操作规程,明确血液运送各个环节管理要求及责任人,应急预案具体包括以下内容:

4.7.1 运送温度失控

当血液送达临床,接收人员发现运送温度超出允许范围后,应立即通知输血科。输血科人员应第一时间积极排查原因,包括探头(或温度计)原因、软件原因、运送时间过长等,并作相应处理;

4.7.2 运送及时性无法确保

因运送系统、设备故障,如送错站点、软件故障、智能锁故障、电脑死机等情况,应及时排查原因做出处理,并对血液运送时长作评估,同时结合临床用血紧急程度等情况,及时启动人工发血模式。

4.7.3 血液渗漏处理

在做好个人防护的情况下,对运送站点设施、血液运送箱进行彻底消毒。消毒效果评价按照《医疗机构消毒技术规范》WS/T 367-2012、《临床输血技术规范》2000版和《血液运输要求》WS/T 400-2012 中的规定执行。

4.7.4 血液退回

接收站点医护人员经核对查验无误,扫描血液运送条码后,血液即默认出库,一概不予退回。

如遇下列情况,如血液保存箱温度失控、运送时长超过前期评估验证确定的时间范围、血液外观及质量异常(《临床输血技术规范》2000版第25、26条规定的情形)情况,接收人员应第一时间在监控系统下,视频取证、记录,并联系输血科;经输血科人员核实后,血液方可退回。

4.8 全质量管理内容

见图2。

利益冲突 本共识的制订过程中无相关利益冲突

本项目由上海市第一人民医院输血科牵头,由来自上海部分医疗机构的临床输血专家及采供血机构的血液管理专家组成专家委员会,共同讨论和制订本共识,所有专家及其所属单位同为并列第一作者及第一作者单位,按作者汉语姓氏拼音排序:

陆元善(上海市第一人民医院)、钱宝华(海军军医大学第一附属医院)、戎瑞明(复旦大学附属中山医院)、汤朝晖(上海交通大学医学院附属新华医院)、唐晓峰(海军军医大学第二附属医院)、吴江(上海交通大学医学院附属仁济医院)、夏荣(复旦大学附属华山医院)、查占山(海军军医大学第一附属医院)、张统宇(上海市血液管理办公室)、张晰(上海市血液中心)、邹峥嵘(上海市血液中心)。

参考文献

[1] TANCREDD T, BATES I. Improving blood



图2 血液运送全质量管理控制示意图

transfusion services[J].Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol,2019,61:130-142.

[2] ZAHEER H A,WAHEED U.Blood transfusion service in disasters[J].Transfus Apher Sci,2016,55(2):186-190.

[3] 程丽萍,徐海萍.护理送血对临床用血安全的作用[J].中国实用医药,2017,12(1):156-158.

[4] CHAY J W M,KIM J H,B M TAHA N S,et al.Urgent delivery - validation and operational implementation of urgent blood delivery by modern high speed hospital pneumatic tube system to support bleeding emergencies within a hospital massive transfusion protocol[J].Lab Med,2019,50(4):e59-e69.

[5] STANWORTH S J,DAVENPORT R,CURRY N,et al.Mortality from trauma haemorrhage and opportunities for improvement in transfusion practice[J].Br J Surg,2016,103(4):357-365.

[6] STORCH E K,CUSTER B S,JACOBS M R,et al.Review of current transfusion therapy and blood banking practices[J].Blood Rev,2019,38:100593.

[7] 周俊,张艳春.血液运输研究现状[J].中国输血杂志,2019,32(4):313-316.

[8] PENDRY K.The use of big data in transfusion medicine[J].Transfus Med,2015,25(3):129-137.

[9] LING G,DRAGHIC N.Aerial drones for blood delivery[J].Transfusion,2019,59(S2):1608-1611.

[10] 马怡然,郝一文.AABB关于“医用气动管道传送系统传送血液制品指导”的解读[J].临床输血与检验,2019,21(1):3-6.

[11] 马洪滨,刘璐,蒋英.医院智能化轨道物流传输系统的应用[J].中国医学装备,2013,10(1):38-40.

[12] 沙允杰.轨道物流系统在现代化医院中的作用[J].医疗卫生装备,2013,34(7):81-82.

[13] 唐红,袁超群,李丹,等.箱式物流系统在消毒供应中心的应用分析[J].中国医疗设备,2019,34(8):158-160.

[14] 夏述燕,王荃,吴波.人工智能机器人在手术室的应用及流程管理[J].世界最新医学信息文摘,2018,18(99):244-245.

[15] 刘建,班超,吴晓东,等.智能物流机器人在医院手术室自动物流管理中的应用[J].医疗卫生装备,2020,41(2):75-78.

[16] BRUNSKILL S,THOMAS S,WHITMORE E,et al.What is the maximum time that a unit of red blood cells can be safely left out of controlled temperature storage?[J].Transfus Med Rev,2012,26(3):209-223.e3.

[17] JARYL KOK J,LAM C L,LEE M J.Reducing delivery times of emergency blood products through pneumatic tube systems[J].Asian J Transfus Sci,2019,13(1):3.

[18] CHOI Y J,HUH H,BAE G E,et al.Effect of varying external pneumatic pressure on hemolysis and red blood cell elongation index in fresh and aged blood[J].Medicine,2018,97(28):e11460.

[19] BATES M,WATTS S,DOUGHTY H,et al.Effect of parachute delivery on red blood cell (RBC) and plasma quality measures of blood for transfusion[J].Transfusion,2021,61:S223-S233.

[20] GARCIA L O,SPERANSA D M R,RODRIGUES C B,et al.Validation of blood components transport through a pneumatic tube system[J].Hematol Transfus Cell Ther,2022,44(4):519-525.

[21] JARYL KOK J,LAM C L,LEE M J.Reducing delivery times of emergency blood products through pneumatic tube systems[J].Asian J Transfus Sci,2019,13(1):3.

- [22] OTANI T, OKI K I, AKINO M, et al. Effects of helicopter transport on red blood cell components[J]. *Blood Transfus*, 2012, 10(1):78-86.
- [23] MONTEIRO MILENA O B, NELSON D S P, PEDRO J M, et al. Effect on osmotic fragility of red blood cells of whole blood submitted to vibrations in an oscillating platform[J]. *Afr J Biotechnol*, 2011, 10(66):14197-14202.
- [24] ANDO H, NIEMINEN K, TOPPILA E, et al. Effect of impulse vibration on red blood cells in vitro[J]. *Scand J Work Environ Health*, 2005, 31(4):286-290.
- [25] STREICHERT T, OTTO B, SCHNABEL C, et al. Determination of hemolysis thresholds by the use of data loggers in pneumatic tube systems[J]. *Clin Chem*, 2011, 57(10):1390-1397.
- [26] TIWARI A K, PANDEY P, DIXIT S, et al. Speed of sample transportation by a pneumatic tube system can influence the degree of hemolysis[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2012, 50(3):471-474.
- [27] MULLINS G R, HARRISON J H, BRUNS D E. Smartphone monitoring of pneumatic tube system-induced sample hemolysis[J]. *Clin Chim Acta*, 2016, 462:1-5.
- [28] MULLINS G R, BRUNS D E. Air bubbles and hemolysis of blood samples during transport by pneumatic tube systems[J]. *Clin Chim Acta*, 2017, 473:9-13.
- [29] ISLAMZADA E, MATTHEWS K, LAMOUREUX E, et al. Blood unit segments accurately represent the biophysical properties of red blood cells in blood bags but not hemolysis[J]. *Transfusion*, 2022, 62(2):448-456.
- [30] FARNSWORTH C W, WEBBER D M, KREKELER J A, et al. Parameters for validating a hospital pneumatic tube system[J]. *Clin Chem*, 2019, 65(5):694-702.
- [31] WANG H, WANG L, LIANG H Y, et al. Falsely decreased FVIII activity following pneumatic tube transport[J]. *Int J Lab Hematol*, 2021, 43(2):305-310.
- [32] SUBBARAYAN D, CHOCCALINGAM C, LAKSHMI C K A. The effects of sample transport by pneumatic tube system on routine hematology and coagulation tests[J]. *Adv Hematol*, 2018, 2018:1-4.
- [33] LE QUELLEC S, PARIS M, NOUGIER C, et al. Pre-analytical effects of pneumatic tube system transport on routine haematology and coagulation tests, global coagulation assays and platelet function assays[J]. *Thromb Res*, 2017, 153:7-13.
- [34] YURT E F, AKBİYİK F, BICER C. Investigation of the effects of pneumatic tube transport system on routine biochemistry, hematology, and coagulation tests in Ankara City Hospital[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2022, 60:707 - 713.
- [35] SUCHSLAND J, WINTER T, GREISER A, et al. Extending laboratory automation to the wards: effect of an innovative pneumatic tube system on diagnostic samples and transport time[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2017, 55(2):225-230.
- [36] LEBRETON A, CASINI A, BULLA O, et al. Impact of pneumatic tube system transport for the monitoring of heparin therapy[J]. *Thromb Res*, 2017, 158:35-37.
- [37] THALÉN S, FORSLING I, EINTREI J, et al. Pneumatic tube transport affects platelet function measured by multiplate electrode aggregometry[J]. *Thromb Res*, 2013, 132(1):77-80.
- [38] SANDGREN P, LARSSON S, WAI-SAN P, et al. The effects of pneumatic tube transport on fresh and stored platelets in additive solution[J]. *Blood Transfus*, 2014, 12(1):85-90.
- [39] BOLLIGER D, SEEBERGER M D, TANAKA K A, et al. Pre-analytical effects of pneumatic tube transport on impedance platelet aggregometry[J]. *Platelets*, 2009, 20(7):458-465.
- [40] LORENZEN H, FRØSTRUP A B, LARSEN A S, et al. Pneumatic tube transport of blood samples affects global hemostasis and platelet function assays[J]. *Int J Lab Hematol*, 2021, 43(5):1207-1215.
- [41] LANCÉ M D, MARCUS M A E, VAN OERLE R, et al. Platelet concentrate transport in pneumatic tube systems - does it work?[J]. *Vox Sang*, 2012, 103(1):79-82.
- [42] CARSON J L, TRIULZI D J, NESS P M. Indications for and adverse effects of red-cell transfusion[J]. *N Engl J Med*, 2017, 377(13):1261-1272.
- [43] REMY K E, HALL M W, CHOLETTE J, et al. Mechanisms of red blood cell transfusion-related immunomodulation[J]. *Transfusion*, 2018, 58(3):804-815.
- [44] GLYNN S A, KLEIN H G, NESS P M. The red blood cell storage lesion: the end of the beginning[J]. *Transfusion*, 2016, 56(6):1462-1468.
- [45] 孟庆宝, 胡锋兰, 戴芳, 等. 临床输血路径管理体系的构建[J]. *中国输血杂志*, 2018, 31(5):445-447.
- [46] Fung M K, ed. *Technical manual*[M]. 18th ed. Bethesda, MD: American Association of Blood Banks, 2014.
- [47] 中华人民共和国卫生部. 血液运输要求: WS/T 400—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

(收稿日期: 2023-06-15)

(本文编辑: 王慧茹)