

# 白细胞滤除技术在临床输血中的实践与应用专家共识

——朱长太<sup>1,12</sup> 查占山<sup>2,12</sup> 陈 琼<sup>1</sup> 梅申聪<sup>1</sup> 蔡晓红<sup>3,12</sup> 龚裕春<sup>4,12</sup> 陆 奕<sup>4</sup>  
陆元善<sup>5,12</sup> 汤朝晖<sup>6,12</sup> 宛新建<sup>1</sup> 翁 巍<sup>7,12</sup> 张 琦<sup>8,12</sup> 朱自严<sup>9,12</sup> 张建军<sup>10,12</sup>  
戎瑞明<sup>11,12</sup> 夏 荣<sup>8,12</sup> 钱宝华<sup>2,12</sup>

**【摘 要】** 减少白细胞输入是预防输血不良反应的关键。使用白细胞滤器(LDF)过滤是一种高效去除血液制剂中白细胞的技术。在我国,基于 LDF 的白细胞滤除技术在临床应用尚不广泛。为科学指导去白细胞血液在我国的合理应用,基于系统性文献检索和循证医学方法,采用 Delphi 专家共识法,对于 LDF 去白细胞的适用人群、人员资质和环境设施、使用时机、质量控制和管理等形成了专家推荐意见。指出,各医疗机构应根据本地区经济水平、输血服务能力、服务对象疾病谱等选择性针对某些目标人群开展白细胞滤除技术,鼓励经济水平高、输血服务能力强的地区或医疗机构普遍开展白细胞滤除技术。本共识可为白细胞滤除技术在输血治疗中的临床应用提供指导和参考,以确保临床用血安全。

**【关键词】** 白细胞滤除技术;输血治疗;血液质量;血液安全;专家共识

中图分类号:R331.1 文献标识码:A

Expert Consensus on the Practice and Application of Leukocyte Depletion Technology in Clinical Blood Transfusion/ZHU Changtai, ZHA Zhanshan, CHEN Qiong, et al. //Chinese Health Quality Management, 2025, 32(6): 87—94

**Abstract** Reducing the input of white blood cells is crucial for preventing adverse reactions to blood transfusion. The use of the Leukocyte Depletion Filter (LDF) for filtration is an efficient technique for removing white blood cells from blood products. In China, the clinical application of leukocyte depletion technology based on LDF is not yet widespread. To provide scientific guidance for the rational use of leukocyte-depleted blood in China, based on systematic literature retrieval and evidence-based medicine methods, the Delphi expert consensus method was employed to form expert recommendations regarding the applicable population, personnel qualifications and environmental facilities, timing of use, quality control, and management of LDF leukocyte depletion. It is pointed out that medical institutions should selectively implement leukocyte depletion technology for certain target populations based on local economic levels, blood transfusion service capabilities, and the disease spectrum of service recipients. Regions or medical institutions with high economic levels and strong blood transfusion service capabilities are encouraged to widely implement leukocyte depletion technology. This consensus can provide guidance and reference for the clinical application of leukocyte depletion technology in blood transfusion therapy, ensuring the safety of clinical blood use.

**Key words** Leukocyte Depletion Technology; Blood Transfusion Therapy; Blood Quality; Blood Safety; Expert Consensus

**First-author's address** Shanghai Sixth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, 200233, China

血液制剂的非治疗性白细胞同 如非溶血性发热性输血反应(Febrile tions, FNHTR)、血小板输注无效  
种异体输注会引起一系列副作用, Non-Hemolytic Transfusion Reac- (Platelet Transfusion Refractoriness,

DOI:10.13912/j.cnki.chqm.2025.32.6.17

- 1 上海交通大学医学院附属第六人民医院 上海 200233 2 海军军医大学第一附属医院 上海 200433  
3 上海交通大学医学院附属瑞金医院 上海 200025 4 上海市血液管理办公室 上海 200051  
5 上海交通大学医学院附属第一人民医院 上海 200080 6 上海交通大学医学院附属新华医院 上海 200092  
7 上海交通大学医学院附属同仁医院 上海 200336 8 复旦大学附属华山医院 上海 200051  
9 上海市血液中心 上海 200051 10 复旦大学附属浦东医院 上海 200120  
11 复旦大学附属中山医院 上海 200032 12 上海市医学会输血专科分会 上海 200040

PTR)、输血相关移植抗宿主病 (Transfusion Related Graft—Versus—Host Disease, TA—GVHD)、输血相关急性肺损伤 (Transfusion Related Acute Lung Injury, TRALI)、白细胞相关感染性疾病等。减少白细胞输入是预防上述不良反应发生的关键。去除血液中白细胞的方法包括离心去白膜层法、洗涤法、血细胞分离机制取法和白细胞滤器 (Leukocyte—Depletion Filter, LDF) 等,其中 LDF 技术效率高、成本低,是全血滤除白细胞最有效、最便捷的方式。迄今为止,LDF 已经发展到第四代,可清除白细胞 99.999 9% 以上,残留白细胞  $<10^5/U^{[1-2]}$ 。

LDF 技术为临床安全用血提供了一种有效途径,并在输血领域得到了广泛应用。国际输血协会认为白细胞滤除应在临床输血治疗中推广使用。目前,加拿大、英国、爱尔兰、西班牙、葡萄牙、法国、荷兰、瑞士、奥地利、德国、芬兰、挪威等一些发达国家<sup>[2-11]</sup>已经普遍开展基于 LDF 的白细胞滤除技术,该技术主要用于全血以及成分血(红细胞、血浆和血小板制剂等),以提高临床用血安全性<sup>[2-4]</sup>。但对于不同的血液成分进行白细胞减少对某些患者群体是否获益也存在争议<sup>[2-4,12-13]</sup>。此外,临床应用 LDF 技术也不可避免地带来了一些不良反应,例如对血小板的激活作用,对血液中氧化、呼吸爆发等一些生化过程的激发作用以及红细胞的回收率和细胞损伤等<sup>[14]</sup>。LDF 材质中的微量化学物质对血液产生的有益或有害影响,也受到研究者的关注<sup>[14]</sup>。

出于证据质量、去白细胞过程不利因素和经济学等考量,也有一些国家(如美国等)采用了在大部分目标人群中实施去白细胞输血策略(选择性去除白细胞输血策略)<sup>[15]</sup>。

而在我国,由于受到医务人员观念、资源配置和经济学等主客观因素影响,去白细胞血液的临床应用开展远远不够。同时,LDF 临床应用的相关规范缺乏,进一步阻碍了去白细胞血液的推广应用。为科学指导临床医务人员使用去白细胞血液,上海市医学会输血专科分会组织相关领域专家制订了本共识。

## 1 资料与方法

基于系统性文献检索,共识制定工作组依据牛津大学循证医学研究中心证据分级和推荐标准(表 1),根据证据质量、利弊权衡、患者意愿和成本效益评估等,为每个临床问题制订了初步建议。然后,采用 Delphi 专家共识法,经过 4 轮专家讨论和函询(第 1 轮:会议讨论,确定框架内容;第 2 轮:函询调查,条目评级与达成初步共识;第 3 轮:修改意见与阐述原因;第 4 轮:再次修改与达成共识),最终制订了本共识。

## 2 共识证据诠释与推荐意见

### 2.1 LDF 技术进展

目前,临床输血领域主要采用 LDF 开展白细胞滤除技术。LDF 主要涉及以下两种机制<sup>[16-18]</sup>:机械拦截过滤和电荷吸附作用。机械拦截过滤依赖于 LDF 孔隙的大小以及细胞的可变形性,而电荷吸附作用则与物理化学吸附或粘附相关。这些

机制的共同作用可能导致白细胞粘附在过滤器表面。白细胞的粘附受到多种因素影响,包括过滤器的化学特性、电荷属性以及表面形态(如孔隙率和粗糙度)等。LDF 由多层不同直径的孔隙构成,能够实现深度过滤。其孔径大小直接决定了对颗粒的筛分能力。此外,通过涂覆甲基丙烯酸酯聚合物,LDF 的表面电荷可以被调节,从而产生较强的正电荷,进一步增强粘附能力。细胞的特性,包括直径、密度、变形能力和粘附性等,也对过滤效率有显著影响。

诞生于 20 世纪 60 年代的第一代血液过滤器是孔径为 170  $\mu\text{m}$ ~260  $\mu\text{m}$  的网状微聚体滤器,这类微聚体滤器主要用来去除血液中的大的微聚体颗粒,以预防急性呼吸窘迫综合征。20 世纪 70 年代初诞生的第二代血液过滤器是孔径为 20  $\mu\text{m}$ ~50  $\mu\text{m}$  采用棉纤维和醋酸纤维素制成的柱状过滤器。柱形结构过滤器除具有类似筛网截留细胞的作用外,还有吸附微聚体、细胞碎片的作用,在预防 FNHTR 中取得了明显效果。20 世纪 80 年代中期,第三代 LDF 是研究者采用合成纤维无纺布材料取代棉纤和合成纤维制成的血液过滤器。第三代 LDF 将疏水聚酯纤维处理后变为亲水性,对白细胞的吸附效果显著增强,白细胞去除率可达 99.9%,用于浓缩血小板悬液中去除白细胞时,血小板回收率可达 90%。第四代 LDF 诞生于 20 世纪 90 年代,

表 1 牛津大学循证医学研究中心证据分级和推荐标准

推荐强度	证据级别	描述
A	1a	同质 RCT 的系统评价;单个 RCT;全或无病案系列
B	2	同质队列研究评价;单个队列研究(包括低质量 RCT,如随访率<80%);基于患者结局的研究
	3	同质病例对照研究的系统评价;单个病例对照研究
C	4	病例系统研究(包括低质量队列研究和病例对照研究)
D	5	基于经验且未经严格论证的专家意见

注:RCT(Randomized Controlled Trial)即随机对照试验。表中从 A~D 分为 4 个推荐等级:A 级表示强烈推荐(广泛推荐使用);B 级表示推荐(多数情况下推荐使用);C 级表示有条件推荐(特定情况下推荐使用);D 级表示有限建议(仅在极少数情况下推荐使用)。

其采用新型超细聚酯纤维无纺布作为高效滤芯材料。这种滤网结构由经过表面改性的聚酯纤维构成,纤维表面的静电特性得以优化,滤膜的临界表面张力也随之提高。得益于此,第四代 LDF 滤膜的浸润性能显著提升,使得血液能够更顺畅地通过滤膜,白细胞去除率可高达 99.999%。第四代 LDF 目前已在发达国家广泛应用于临床,其普及率每年呈显著增长趋势<sup>[17]</sup>。由于第四代 LDF 具有操作简单、去除白细胞率高、无毒副作用、可减少输血不良反应和术后感染等特点,目前在临床得到了广泛应用。

#### 推荐意见 1

第四代 LDF 去除白细胞效率高、安全性好,值得在临床推广应用。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

## 2.2 LDF 技术的应用范围

### 2.2.1 降低 FNHTR

FNHTR 是以发热和寒战为主要临床表现,且能排除溶血、细菌污染及严重过敏等原因引起发热的一类输血反应。已有研究<sup>[19-20]</sup>表明,减少白细胞输入是降低临床 FNHTR 发生率的关键。输血引起 FNHTR 的主要原因是反复输入含有白细胞的血液成分,受者机体产生白细胞抗体,这些抗体大多属于人类白细胞抗原(Human Leukocyte Antigen,HLA)系统的同种抗体,再次输入含有白细胞的血液成分时,受者抗体与供者白细胞发生同种免疫反应,造成白细胞凝集并在单核巨噬细胞系统内破坏、溶解,释放出内源性致热源,引起 FNHTR<sup>[21-26]</sup>。因目前临床输血不做 HLA 配型,而多数供受者之间 HLA 不合,从而出现 HLA 抗体。而输注经 LDF 过滤后的去白细胞血液(全血、红细胞悬液、血小板、血浆等),可以有效降低 FNHTR 发生率。

#### 推荐意见 2

基于降低 FNHTR 目的 LDF 技术可用于:(1)有反复发热或有严重输血反应史的患者;(2)输血次数 $\geq 3$  次的患者,尤其是血液病、肿瘤等免疫力低下的患者。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

### 2.2.2 降低传播白细胞相关传染性病原体的危险性

输血相关的病毒,如巨细胞病毒(Cytomegalovirus,CMV)<sup>[5-6]</sup>、人类疱疹病毒 4 型(Human Herpes Virus 4,HHV-4)<sup>[7]</sup>、人类疱疹病毒 8 型(HHV-8)<sup>[8]</sup>、人类嗜 T 淋巴细胞性白血病 I 型病毒(Human T-Lymphotropic Virus1,HTLV-1)<sup>[9]</sup>、克雅氏病(Creutzfeldt-Jakob Disease,CJD)<sup>[10]</sup>、人类免疫缺陷病毒-1/2(Human Immunodeficiency Virus1/2,HIV-1/2)<sup>[11]</sup>等存在于白细胞上,与白细胞有高度亲和力,无法从感染的供血者血浆中分离,在检查中常因为不是常规检查项目或在窗口期而漏检,有可能通过输血传播给患者。LDF 在去除白细胞的同时,也去除了相关病毒,从而降低了病毒感染的风险<sup>[6-11]</sup>。CMV 对器官和骨髓移植、反复输血和免疫功能低下的患者感染最为严重,并有潜伏、复发和致癌的倾向。研究<sup>[27]</sup>表明,白细胞可以激活受血者体内的病毒,去除白细胞对预防潜伏病毒活化有意义。研究<sup>[5-6]</sup>还证实,应用 LDF 预防 CMV 已经取得满意的效果。应用 LDF 预防 HIV 正在研究中,但已证明 LDF 可以去除被 HIV 感染的白细胞<sup>[11]</sup>。

#### 推荐意见 3

基于降低白细胞相关传染性病原体感染风险的目的,LDF 技术可用于:(1)CMV 血清学检测呈阴性的 HIV 阳性患者;(2)器官和骨髓移植的候选者(捐献者和接受者 CMV 均呈阴性);(3)宫内输血者,

CMV 血清学检测无反应或未知的孕妇;(4)早产新生儿,出生体重过轻( $<1\ 200\text{ g}$ )的新生儿;(5)血浆置换患者;(6)多发创伤、严重外伤等需要大量输注血浆、血小板、冷沉淀的患者。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

### 2.2.3 预防 PTR

在临床输血治疗中,机采血小板的输注量仅次于红细胞和血浆,位列第 3 位。血小板的输注适用于预防和治疗血小板减少或血小板功能缺陷患者的出血。由于血小板有多种复杂的抗原成分,主要有血小板特异性抗原和血小板相关抗原(主要指 HLA-I 类抗原),输注血小板的患者可产生血小板抗体,引起 PTR。血小板特异性抗体单独存在的频率较低,仅为 2%~3%,一般常与 HLA 抗体共存,约为 18%<sup>[28]</sup>,因此,单独由血小板特异性抗体引起的 PTR 发生概率较小。HLA 抗体是主要的血小板抗体,它会影响血小板输注效果,是引起 PTR 的主要免疫因素<sup>[29]</sup>,并占 PTR 免疫因素的 70%~80%<sup>[28]</sup>。20 世纪 90 年代后期,加拿大血液服务机构开始实施红细胞和血小板产品的储存前白细胞去除策略<sup>[30]</sup>。研究<sup>[30-32]</sup>表明,在实施白细胞去除治疗策略后,长期输血的血液病患者的同种免疫发生率和同种免疫耐受性均显著下降,妊娠史和/或输血史以及接受过 3 次及以上血小板输注同种免疫和同种免疫耐受性也有所降低。另一项关于血小板难治性和同种异体免疫的研究<sup>[33]</sup>表明,常规使用白细胞耗尽的血小板,可将普通人群中 HLA 同种异体免疫发生率从 70%降低到约 25%,在接受化疗的患者中,当白细胞被移除或灭活时,同种异体免疫耐受性发生率从 15%降低到 5%。也有研究<sup>[28]</sup>表明,使用 LDF 能够推迟患者产生血小板抗体



的时间,但却不能阻止患者血小板抗体的产生,也不能避免已有血小板抗体的患者出现 PTR。研究<sup>[30]</sup>显示:成分血液(悬浮红细胞、血小板等)实施白细胞滤除技术与降低 PTR 之间存在较强的因果关系( $P < 0.01$ ),去白细胞血液成分可明显降低 PTR 发生率,从而减轻患者家庭和社会的经济负担,并提高血液资源利用率。

推荐意见 4

基于防止 PTR 的目的,LDF 技术可用于:(1)有输血史或妊娠史的患者;(2)输注血小板次数 $\geq 3$  次的患者;(3)恶性血液病需要长期输注血液的患者。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

2.2.4 预防 TA—GVHD

TA—GVHD 是输注含有淋巴细胞的血液成分所引发的一种罕见的致死性输血并发症。每次输血发生 TA—GVHD 风险的高低,取决于血液成分中残留淋巴细胞的数量和活性、受血者免疫系统对移植物的敏感性以及献血者和受血者之间 HLA 的差异程度。关于引发移植物抗宿主反应所需要输入淋巴细胞最低数量目前仍未可知,可能因不同的临床情景而异<sup>[34]</sup>。一般认为引起 TA—GVHD 需输入  $1 \times 10^7/\text{kg}$  以上的淋巴细胞,但在免疫功能缺陷儿童中有低至  $1 \times 10^4/\text{kg}$  的淋巴细胞即引起 TA—GVHD 的病例报道<sup>[35]</sup>,国外报道人类发生 TA—GVHD 最少淋巴细胞数量为  $8 \times 10^4/\text{kg}$ <sup>[34,36]</sup>。研究<sup>[37]</sup>表明,TA—GVHD 的发生严重程度还与 CD8+ 细胞和自然杀伤细胞(Natural Killer Cell,NK 细胞)活性有关。TA—GVHD 的发病率约为  $0.01\% \sim 0.1\%$ ,死亡率约  $84\% \sim 100\%$ <sup>[33]</sup>。由于 TA—GVHD 的成功治愈几率低,预防成为关键<sup>[34,36]</sup>。目前预防 TA—GVHD 的最有效方法是血液

辐照。白细胞过滤不能完全杜绝 TA—GVHD 的发生,辐照技术加白细胞滤除技术形成双重保障,可减少辐照后残留白细胞的潜在风险,大大降低 TA—GVHD 发生率。韩海心等的研究<sup>[38]</sup>表明,经输注辐照去白细胞悬浮红细胞治疗后,相较于对照组,观察组 CD4+、CD8+ 水平均显著升高( $P < 0.05$ ),这说明在急性白血病患者中,输注辐照去白细胞悬浮红细胞,可显著改善患者的免疫功能,医院感染总发生率、不良反应总发生率均显著低于对照组( $P < 0.05$ ),辐照去白细胞悬浮红细胞输血具有更高的安全性。

推荐意见 5

基于预防 TA—GVHD 的目的,辐照技术加 LDF 技术可用于各种原因导致的免疫系统功能严重缺陷的受血者,如严重型免疫联合缺陷病、早产儿、胸腺发育不良症、伴血小板减少紫癜湿疹免疫缺陷病、白血病、各种肿瘤放化疗后、造血干细胞移植等。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

2.2.5 减少白细胞所介导的炎症反应和器官再灌注损伤

研究<sup>[39-44]</sup>提示,外科手术患者使用 LDF 可减少患者白细胞所介导的炎症反应和器官再灌注损伤风险。还有研究<sup>[45]</sup>表明,心脏手术患者在体外循环(Cardiopulmonary Bypass,CPB)期间,血液接触到生物材料(管路)表面时,激肽系统、补体系统和凝血级联迅速激活,导致促炎介质的释放,缺血再灌注损伤和损伤相关分子释放进一步加剧了炎症反应,而使用 LDF 去除白细胞有助于减轻炎症反应,改善患者预后。文献<sup>[39]</sup>报道,白细胞滤除对室间隔缺损的心外科手术患者的肺脏具有保护作用。研究<sup>[43]</sup>进一步表明,在心脏停搏手术过程中应用 LDF 技术,能够有效降低心肌细胞损伤,并

有助于提高冠状动脉搭桥术患者的射血分数,从而促进术后恢复。还有研究<sup>[44]</sup>表明,LDF 技术在过滤白细胞方面是有效的,使用 LDF 患者手术后指征的改善较为明显,但在过滤结束时过滤效率降低。因此,凝血引起的血流阻塞,是心肺手术患者过滤大量白细胞的一个重要安全问题。

推荐意见 6

基于减少白细胞所介导的炎症反应和器官再灌注损伤的目的,LDF 技术可用于各类需要 CPB 支持的心外科手术。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

2.3 LDF 技术的使用时机

按照使用时机不同,白细胞滤除可分为储存前过滤(血站过滤)和储存后过滤(医院血库过滤)。在我国,储存前过滤和储存后过滤这两种方法都可用于去除白细胞。但研究者认为,储存前过滤比储存后过滤更为优越<sup>[46-47]</sup>。研究<sup>[48]</sup>报道,FNHTR 的发病机制与血液制剂在储存过程中白细胞产生和释放的 HLA 抗体、细胞因子有关。研究<sup>[46]</sup>还显示,随着保存时间的延长,白细胞产生的 HLA 抗体和炎症细胞因子白细胞介素(Interleukin-1,IL-1)、IL-6、IL-8、肿瘤坏死因子(Tumor Necrosis Factor,TNF)等物质被释放到血浆中,由于 LDF 无法清除这些物质,使得去白细胞血液成分的临床使用效果下降。与储存后滤除白细胞相比,储存前滤除血液制剂中的白细胞,可降低白细胞分泌的炎症细胞因子等造成不良影响的风险,血液储存过程中被破坏的白细胞片段引起同种免疫的频率也会降低<sup>[49]</sup>。同时,当输注多个单位的血液时,储存后过滤较为麻烦,更换每个规定单位的过滤器,在更换和过滤期间污染的风险更大。

研究<sup>[49]</sup>显示,在经过较长时间(28 d)的测试后,储存前过滤导致的红细胞溶血较少,对红细胞的损害也较小,这表明储存前过滤是提高红细胞稳定性更好的方法。Meta 分析<sup>[32]</sup>显示,与储存后过滤比较,储存前过滤是红细胞和浓缩血小板输血发生 FNHTR 的保护因素。储存前过滤与储存后过滤的性能比较见表 2。

推荐意见 7

储存前过滤和储存后过滤均可预防 FNHTR,但在条件允许时,推荐临床尽量使用储存前过滤的成分血液。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

2.4 人员资质和环境设施

2.4.1 人员资质

参照国家卫生健康委颁布的《医疗技术临床应用管理办法》(2018),开展白细胞滤除技术的操作人员须为医务人员,且须接受规范化培训,掌握无菌操作流程。

2.4.2 环境设施

参照国务院颁布的《血液制品管理条例》(2016),开展白细胞滤除技术环境设施应保证无菌操作,每次工作前有专人开启空气消毒设备消毒 30 min~40 min,并同时启动层流装置,工作后打扫净化室(台)卫生,用 1:1 000 新洁尔灭擦拭工作台面、所用器械及地面,被血液污染时应及时消毒。应定期进行操作场所空气和物表细菌培养,并符合相应规定标准。控制室温的措施必须有效,保证过滤温度符合标准要求。

2.4.3 标准化操作

(1)器械准备。检查滤器,确认外包装无破损、无潮湿,核对滤器型号与血液成分匹配(如红细胞专用滤器)。(2)技术操作和注意事项。连接管路,悬挂血袋,启动过滤,监控流速。滤除过程血液流速均一,

防止红细胞浓度过高或流速过慢堵塞滤盘,必须将母袋中血液轻轻充分混匀后悬挂至白细胞过滤柜中,悬挂高度正好使目标转移袋平放在台面上(核对留样条码和血袋条码一致后进行白细胞滤除操作),调节血液流速控制开关,使滴斗内血液流速可用肉眼辨别滴数(140 滴/min~180 滴/min)。1 U 悬浮红细胞在 8 min~10 min 内完成过滤;1.5 U 悬浮红细胞在 10 min~15 min 内完成过滤;2 U 悬浮红细胞在 15 min~20 min 内完成过滤。有研究<sup>[48]</sup>主张在采血后 5 h~7 h 过滤,以考虑到新鲜冰冻血浆制备的适宜时间,保证血浆中 V 和Ⅷ等不稳定因子的活性,确保新鲜冰冻血浆质量,并利于后期冷沉淀凝血因子的制备。在进行白细胞滤除的操作过程中,对于血液制剂要轻放轻拿,在排除目标袋中多余空气时不能用力过猛,目标袋和母袋的位置要尽量处于同一水平,防止振摇、压力过大和流速过快导致的红细胞破碎溶血。(3)影响白细胞滤除效率的主要因素。不同材质、不同厂家的滤器的品质各不相同,可能影响白细胞滤除效果及成分血质量,同时血液采集后的储存温度、时间等也是影响因素之一。文献<sup>[46-47]</sup>报道,血液采集后以 4℃贮存 4 h 的全血用 LDF 做去白处理效果最优,血液温度降低,白细胞滤除率显著提高,剩余白细胞数减少一半多,从  $4.70 \times 10^6$ /袋降低至  $1.77 \times 10^6$ /袋,合格率从 79.5%提高

至 99.2%,此时不仅全血白细胞去除率>99%,红细胞损失率<3%,血小板损失率也相对较低。这是因为当血液温度降低时,血液粘度增加,流速减小,白细胞因重力惯性过滤机理穿过滤器的减少,使血液在滤器中滞留的时间延长,有利于白细胞被滤器截留。同时,温度降低时,细胞膜脂质双分子层的流动性减弱,细胞的变形能力稍差,使白细胞更容易被滤器截留。研究<sup>[46]</sup>发现,200 mL 全血过滤时间最佳在 10 min,最长不宜超过 20 min,此时血液当中白细胞残留量、血红蛋白含量、储存期末溶血率均能维持在较好的质量控制范围。过滤时间过长会影响过滤效果,容易造成白细胞残留量过高,过滤效果差;过滤时间过长会影响储存期末溶血率,容易引起血浆溶血性报废,造成血液资源浪费。若超出 20 min 应及时采取干预措施,因为流速过慢可能会导致堵塞,亦有可能加大白细胞从滤网中漏出的风险。影响 LDF 效果的另一个问题是溶血。不合格滤器也可导致过滤后血液中的游离血红蛋白超标,这可能与红细胞通过滤器时受到切变力有关。但若使用合格滤器依自然重力过滤,一般不会导致溶血。滤器扭结管道的边缘以及采血袋管道上的易折塞入口处等也可导致红细胞部分损伤,故应对过滤后血液进行质量控制,一旦发现质量问题及时更换滤器<sup>[47]</sup>。(4)滤后处理。过滤完成后,立即用热

表 2 白细胞滤除储存前过滤与储存后过滤的性能比较

时机	制备条件	过滤方法	质量控制	临床效果
储存前过滤	(1)血液采集后<2 d;(2)符合国家标准的血液成分制备室	全密闭系统或无菌接管机连接血袋与滤器,避免了血液污染的可能	责任明确,便于血液产品的全过程质量管理,可发现过滤中的质量问题;炎性细胞因子无明显提高,滤后保存期内红细胞膜脆性改善	(1)预防 FNHTR,同种异体免疫临床效果较为满意;(2)完全过滤,充分发挥去白细胞输血的作用
储存后过滤	(1)储存效期<35 d;(2)医院血库二次制备	百级净化台内连接血袋与滤器,有二次污染风险	责任交叉,输注品没有质控,不能及时发现过滤的质量问题;代谢产物和炎性细胞因子与血液保存呈正相关,而且过滤不能去除已经形成的细胞碎片或细胞因子	(1)对预防 FNHTR 同种异体免疫效果不够理想;(2)有可能导致低血压

合机密封出入口端,防止污染,并标记“去白细胞”标签(含操作日期、时间、操作者等)。(5)血液保存。血站滤后的血液制剂按照《全血及成分血质量要求》《血站技术操作规程(2023 版)》要求保存,输血科滤后红细胞 24 h 内完成输注(若有延迟输注需重新评估质量)。

推荐意见 8

(1)开展白细胞滤除技术前,应建立标准化的白细胞滤除操作程序,并对相关人员进行培训。(2)血液采集后及时放入 4℃冷藏设备进行暂存。在滤白时,对于已经处于保存温度(4.0±2.0)℃的血液,应在室温 18℃~25℃下过滤,且应尽快完成过滤。(3)血站进行白细胞滤除时,血液是在采集后 2 d 内(采血次日为第 1 天)完成白细胞过滤,应根据采血时间合理安排过滤时间;为保证全血白细胞的过滤质量,全血采集后应尽快过滤。在输血科进行白细胞滤除时,血液(红细胞)储存有效期应低于 35 d。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

2.5 质量控制

血液制剂滤除白细胞的标 准<sup>[19,49]</sup>:一般认为过滤后血液白细胞降至 1×10<sup>8</sup> 个/L 可避免因白细胞抗体所致的 FNHTR;残留白细胞数小于 1×10<sup>7</sup> 个/L 可使 TA—GVHD 危险大为降低;白细胞降至 1×10<sup>6</sup> 个/L 可预防 HLA 抗体所致的同种免疫及与白细胞携带病毒相关疾病的传播。目前,国际公认的血液制剂滤除白细胞标准为:滤后白细胞含量≤2.5×10<sup>6</sup>/U,红细胞回收率≥85.0%,游离血红蛋白≤0.530 g/L,每单位全血过滤时间≤10 min。

美国血库协会(American Association of Blood Banks, AABB)及美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)的血液质量标准规

定滤除白细胞后白细胞残留量应低于 5×10<sup>6</sup>/U(1 U 为 450 mL);根据我国《全血及成分血质量要求》(GB 18469—2012)相关标准,预防 FNHTR 的白细胞残留量不超过 2.5×10<sup>8</sup> 个/U,预防白细胞抗原相关免疫反应与 CMV 感染的白细胞残留量不超过 2.5×10<sup>6</sup> 个/U<sup>[19]</sup>。

根据国家药品监督管理局《一次性使用去白细胞滤器》(YY 0329—2009)相关标准:(1)白细胞残留量不超过 2.5×10<sup>6</sup> 个/U<sup>[1]</sup>;(2)红细胞回收率>90%,血小板≥85%;(3)滤除白细胞过程中,有效细胞应不受到损伤和不丧失生理活性;(4)处理后的血液应符合微生物检测标准。细菌培养具体操作如下:以无菌技术分别向两支含 50 mL 硫乙醇培养液及一支含 50 mL 改良马丁培养液试管中加入 5 mL 过滤后的血液,混匀后培养(其中 1 支硫乙醇培养管置于 35℃培养箱,另 1 支改良马丁培养管置于 25℃培养箱),14 d 后观察结果。培养结果应为无细菌生长,有细菌生长则判定为不合格。

推荐意见 9

(1)开展白细胞滤除技术应进行白细胞残留计数、微生物培养等质量控制;(2)血液制剂中滤除白细胞应满足:①白细胞残留量<5×10<sup>6</sup>/U,红细胞回收率>90%,血小板≥85%;②过滤后血液制剂细菌培养(含厌氧菌)结果应为无细菌生长。(证据级别:2 级,推荐强度:A 级)

2.6 应用场景

基于 LDF 滤除白细胞技术无论是从理论上还是从实践上都显示出较大的临床应用潜能,该技术在降低 FNHTR、减少传播白细胞相关传染性病原体的危险性、防止同种免疫和 PTR、预防和降低 TA—GVHD、减少白细胞所介导的炎症反应和器官再灌注损伤等方面显示出较强的应用价值。目前,基于

LDF 滤除白细胞技术在世界范围内已在一些国家普遍开展并应用于临床输血服务,提高了输血安全性,但其使用也带来了成本的增加,因此在资源有限的情况下,需要根据患者的具体情况和风险评估结果来决定是否使用。鉴于我国各地区经济水平和不同医疗机构的输血服务能力差异较大,医疗机构应根据具体情况,针对某些目标人群,选择性开展白细胞滤除技术。

推荐意见 10

各医疗机构应根据本地区经济水平、输血服务能力、服务对象疾病谱等,选择性针对某些目标人群开展白细胞滤除技术,鼓励经济水平高、输血服务能力强的地区或医疗机构普遍开展白细胞滤除技术。(证据级别:2 级,推荐强度:B 级)

3 共识局限性声明

本共识可能存在以下不足:(1)本共识专家主要来自上海地区,专家代表性有限;(2)临床证据多来自观察性研究,高质量随机对照试验较为缺乏;(3)有些证据存在较大的不一致性;(4)来自亚洲和我国的证据较少,存在一定的偏倚风险。未来应继续加强针对 LDF 滤除白细胞疗效和安全性的研究。

4 共识适用范围声明

本共识适用于从事临床医学、输血医学、输血治疗的医务人员和管理人员。

执笔作者:

朱长太(上海交通大学医学院附属第六人民医院输血科)

查占山(海军军医大学第一附属医院输血科)



陈琼(上海交通大学医学院附属第六人民医院输血科)

并列第一作者(排名不分先后):

陈 琼(上海交通大学医学院附属第六人民医院输血科)

蔡晓红(上海交通大学医学院附属瑞金医院输血科)

查占山(海军军医大学第一附属医院输血科)

龚裕春(上海市血液管理办公室)

陆元善(上海交通大学医学院附属第一人民医院输血科)

陆 奕(上海市血液管理办公室质量督导组)

梅申聪(上海交通大学医学院附属第六人民医院护理部)

钱宝华(海军军医大学第一附属医院输血科)

汤朝晖(上海交通大学医学院附属新华医院输血科)

戎瑞明(复旦大学附属中山医院输血科)

宛新建(上海交通大学医学院附属第六人民医院消化内科)

翁 巍(上海交通大学医学院附属同仁医院输血科)

夏 荣(复旦大学附属华山医院输血科)

张 琦(复旦大学附属华山医院输血科)

朱长太(上海交通大学医学院附属第六人民医院输血科)

朱自严(上海市血液中心)

张建军(复旦大学附属浦东医院输血科)

参考文献

[1] 金凡力,张晓然. 去白细胞悬浮红细胞输血技术在急救输血中的实践及进展研究[J]. 中外医疗, 2024, 43(15): 185—189.

[2] VAMVAKAS EC. The abandoned controversy surrounding universal white blood cell reduction[J]. Blood Transfus, 2014, 12(2):

143—145.

[3] SEFTTEL MD, GROWE GH, PETR—ASZKO T, et al. Universal prestorage leukoreduction in Canada decreases platelet alloimmunization and refractoriness [J]. Blood, 2004, 103(1): 333—339.

[4] KING KE, SHIREY RS, THOMAN SK, et al. Universal leukoreduction decreases the incidence of febrile nonhemolytic transfusion reactions to RBCs[J]. Transfusion, 2004, 44(1): 25—29.

[5] HALL S, DANBY R, OSMAN H, et al. Transfusion in CMV seronegative T—depleted allogeneic stem cell transplant recipients with CMV—unselected blood components results in zero CMV transmissions in the era of universal leukocyte reduction: a UK dual center experience [J]. Transfus Med, 2015, 25(6): 418—423.

[6] VAMVAKAS EC. Is white blood cell reduction equivalent to antibody screening in preventing transmission of cytomegalovirus by transfusion? A review of the literature and meta—analysis[J]. Transfus Med Rev, 2005, 19(3): 181—199.

[7] QU L, XU S, ROWE D, et al. Efficacy of epstein—barr virus removal by leukoreduction of red blood cells[J]. Transfusion, 2005, 45(4): 591—595.

[8] MALONGA GA, DIENTA S, TRAORE FT, et al. Human herpesvirus 8 seroprevalence among blood donors in Mali [J]. J Med Virol, 2022, 94(9): 4554—4558.

[9] CÉSAIRE R, KÉROB—BAUCHET B, BOURDONNÉ O, et al. Evaluation of HTLV—I removal by filtration of blood cell components in a routine setting [J]. Transfusion, 2004, 44(1): 42—48.

[10] CERVIA JS, SOWEMIMO—COKER SO, ORTOLANO GA, et al. An overview of prion biology and the role of blood filtration in reducing the risk of transfusion—transmitted variant creutzfeldt—jakob disease[J]. Transfus Med Rev, 2006, 20(3): 190—206.

[11] BUSCH MP, LEE TH, HEITMAN J. Allogeneic leukocytes but not therapeutic blood elements induce reactivation and dissemination of latent HIV—I—Infection

[J]. Blood, 1992, 80(8): 2128—2135.

[12] GUPTA S, PANDEY—RAI S, SRIVASTAVA S, et al. Universal leukoreduction decreases the incidence of febrile nonhemolytic transfusion reactions to cellular blood components: a 5 year study[J]. International Blood Research & Reviews, 2014, 2(6): 279—288.

[13] CHIPOLLINI JJ, TANG DH, PATEL SY, et al. Perioperative transfusion of leukocyte—depleted blood products in contemporary radical cystectomy cohort does not adversely impact short—term survival[J]. Urology, 2017, 103: 142—148.

[14] 王云英, 李兴禄, 张莉萍, 等. 血液经白细胞过滤后红细胞膜的损伤[J]. 重庆医科大学学报, 2008, 33(2): 210—215.

[15] WORTHAM ST, ORTOLANO GA, WENZ B. A brief history of blood filtration: clot screens, microaggregate removal, and leukocyte reduction[J]. Transfus Med Rev, 2003, 17(3): 216—222.

[16] URIAS EVR, TELES LF, LULA JF, et al. Leukocyte filters: a review of the mechanisms and applications in hemotherapy [J]. Rev Assoc Med Bras, 2021, 67(7): 1056—1060.

[17] 韩 玮. 去白细胞成分输血合理应用策略的实验研究[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2008.

[18] SHARMA RR, MARWAHA N. Leukoreduced blood components: advantages and strategies for its implementation in developing countries[J]. Asian J Transfus Sci, 2010, 4(1): 3—8.

[19] 许丽影. 去白细胞输血预防非溶血性发热性输血反应的临床应用分析[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2020, 8(33): 44, 198.

[20] 周 燕, 温丽娜, 周 冰, 等. 输注去白细胞悬浮红细胞预防非溶血性发热输血反应的 Meta 分析[J]. 贵州中医药大学学报, 2020, 42(2): 61—63, 78.

[21] HARVEY AR, BASAVARAJU SV, CHUNG KW, et al. Transfusion—related adverse reactions reported to the National Healthcare Safety Network Hemovigilance Module, United States, 2010 to 2012 [J].

Transfusion,2015,55(4):709—718.

[22] WANG H,REN D,SUN H,et al. Research progress on febrile non—hemolytic—transfusion reaction:a narrative review[J]. Ann Transl Med,2022,10(24):1401.

[23] DADASHI M,OSTADALI M, MOHAMMADI S,et al. Major Histocompatibility Complex (MHC) antigens polymorphism and alloimmunization study in thalassemia patients with febrile non—hemolytic transfusion reaction (FNHTR)[J]. Transfus Clin Biol,2023,30(2):205—211.

[24] YANAGISAWA R,YAMANA-KA R,SHIMODAIRA S. Analysis of clinical factors associated with the occurrence time of allergic transfusion reactions or febrile non—hemolytic transfusion reactions[J]. Ann Clin Lab Sci,2022,52(3):382—390.

[25] LARSEN R,SANDHU N,HEE-GAARD NHH,et al. Changes in circulating inflammatory markers following febrile non—haemolytic transfusion reactions to leucoreduced red cells[J]. Vox Sang,2018,113(1):76—79.

[26] TSANTES AE,KYRIAKOU E, NIKOLOPOULOS GK,et al. Cost—effectiveness of leucoreduction for prevention of febrile non—haemolytic transfusion reactions[J]. Blood Transfus,2014,12(2):232—237.

[27] ADANE T,ENAWGAW B. Human leukocyte antigen alloimmunization prevention mechanisms in blood transfusion[J]. Asian J Transfus Sci,2023,17(2):264—272.

[28] 许 珣,管 政,汤博悦. 血小板型去 LDF 的临床应用[J]. 中华全科医学, 2015,13(10):1684—1686.

[29] HATAKEYAMA N,HORI T, YAMAMOTO M,et al. Platelet transfusion refractoriness attributable to HLA antibodies produced by donor—derived cells after allogeneic bone marrow transplantation from one HLA—antigen—mismatched mother[J]. Pediatr Transplant,2011,15(8):177—182.

[30] 李 萍. 去白细胞血液成分降低血小板输注无效发生率效果评价[J]. 临床医药文献电子杂志,2019,6(7):34.

[31] ENRIGHT H,DAVIS K,GERN-

SHEIMER T,et al. Factors influencing moderate to severe reactions to PLT transfusions: experience of the TRAP multicenter clinical trial[J]. Transfusion,2003,43(11):1545—1552.

[32] DEJIGOV MONTEIRO DA SILVA N, NUKUI Y, TAKAHASHI J, et al. Effect of post—storage filters vs. pre—storage filters for leukoreduction of blood components on clinical outcomes: a systematic review and meta—analysis[J]. Syst Rev,2024,13(1):196.

[33] 王 晶. X 射线血液辐照技术及其临床应用[J]. 中国医疗器械信息,2019,25(21):37—39,85.

[34] 叶立文. 预防输血相关性移植物抗宿主病发生的研究进展[J]. 标记免疫分析与临床,2015,22(12):1297—1299.

[35] 梁晓虎,李建民,沈 莉,等. 血液去除白细胞概况[J]. 河北医药,2005(1): 43—44.

[36] 林 洁,庄 远. 辐照血液临床应用中国专家共识[J]. 中国输血杂志,2023, 36(9):757—766.

[37] SOLHEIM BG. Pathogen reduction of blood components [J]. Transfus Apher Sci,2008,39(1):75—82.

[38] 韩海心,杨 讯,王 波,等. 辐照去白细胞悬浮红细胞治疗急性白血病的疗效观察及对患者免疫功能的影响[J]. 实用癌症杂志,2025,40(2):341—344.

[39] BOODRAM S, EVANS E. Use of leukocyte—depleting filters during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: a review[J]. J Extra Corpor Technol,2008,40(1):27—42.

[40] SIEVERT A. Leukocyte depletion as a mechanism for reducing neutrophil—mediated ischemic—reperfusion injury during transplantation [J]. J Extra Corpor Technol,2003,35(1):48—52.

[41] ZHANG X,ZHOU C,ZHUANG J,et al. Effects of leukocyte depletion on cardiopulmonary protection and inflammation after valve surgery[J]. Int J Artif Organs, 2010,33(11):812—818.

[42] BAKHTIARY F,MORITZ A, KLEINE P,et al. Leukocyte depletion during cardiac surgery with extracorporeal circula-

tion in high risk patients[J]. Inflamm Res, 2008,57(12):577—585.

[43] ROTH M,KRAUS B,SCHEFFOLD T,et al. The effect of leukocyte—depleted blood cardioplegia in patients with severe left ventricular dysfunction; a randomized,double—blind study[J]. J Thorac Cardiovasc Surg,2000,120(4):642—650.

[44] SMIT JJ,DE VRIES AJ,GU YJ, et al. Efficiency and safety of leukocyte filtration during cardiopulmonary bypass for cardiac surgery[J]. Transfus Sci,1999,20(3): 151—165.

[45] WARREN O,ALEXIOU C,MASSEY R,et al. The effects of various leukocyte filtration strategies in cardiac surgery[J]. Eur J Cardiothorac Surg,2007,31(4):665—676.

[46] 卢少芬,杜明仪,谭晓颖,等. 全血过滤白细胞时间长短对血液质量的影响研究[J]. 中国医药科学,2021,11(23):186—189.

[47] 李志坚,刘 伟,白 雪. 血液成分滤除白细胞的影响因素及关键控制点[J]. 实用医技杂志,2018,25(3):288—289.

[48] WANG H,REN D,SUN H, et al. Research progress on febrile non—hemolytic transfusion reaction:a narrative review[J]. Ann Transl Med,2022,10(24): 1401.

[49] SHIN GS,KIM B,KIM SH, et al. Comparison of efficiency between pre—storage and post—storage filtration by leukoreduction blood filter[J]. Biomedical Science Letters,2017,23(2):111—117.

通信作者:  
朱长太:上海交通大学医学院附属第六人民医院输血科主任  
E—mail:zet101@163.com  
戎瑞明:复旦大学附属中山医院输血科主任  
E—mail:rong.ruiming@zs—hospital.sh.cn  
夏 荣:复旦大学附属华山医院输血科主任  
E—mail:xiarongcn@126.com  
钱宝华:海军军医大学第一附属医院输血科  
E—mail:qianbh1963@163.com

收稿日期:2024—10—30

修回日期:2025—03—25

责任编辑:吴小红