· 论著 ·

献血年龄上限调整对献血不良反应与个体无偿献血行为的影响：一项多中心、回顾性队列研究

王陈赢[1]　王珏[1]　李长平[2]　陈伟[1]　李莹[3]　鲍旦[3]　张源秦[3]　赵鑫[4]　曾劲峰[5]
胡雨薇[1]　戴姝畅[1]　吴晓强[4]　范为民[3]
（1. 中国医学科学院 北京协和医学院 输血研究所，四川 成都 610052；2. 天津医科大学 公共卫生学院 流行病与卫生统计学系，天津 300070；3. 江西省血液中心，江西 南昌 330200；4. 海南省血液中心，海南 海口 570311；5. 深圳市血液中心，广东 深圳 518035）

摘要：目的　评估放宽无偿献血年龄上限后 56～65 岁献血者的献血相关不良反应风险、献血行为及其对血液供应的贡献，为我国献血年龄政策优化提供真实世界证据。**方法**　基于海南、深圳和江西三地献血数据库构建多中心回顾性队列，共纳入 1 180 767 名献血者、2 020 407 次全血及单采成分献血记录。按献血当次年龄分为 18～55 岁和 56～65 岁组。采用广义估计方程（GEE）比较两组总体、局部及全身献血相关不良反应风险，并采用限制性立方样条分析年龄与总体不良反应风险的连续关联。采用 Poisson GEE 比较年度献血频次，并评价 56～65 岁献血者的献血参与及供血贡献。本研究经中国医学科学院输血研究所伦理审查委员会批准（No. 2025012），并注册于中国临床试验注册中心（ChiCTR2500114960）。**结果**　18～55 岁组和 56～65 岁组分别纳入 1 960 711 和 59 696 次献血，总体献血相关不良反应发生率分别为 3.890‰和 0.704‰。多因素 GEE 分析显示，与 18～55 岁组相比，56～65 岁组总体不良反应（调整 OR = 0.294，95%CI：0.217～0.398，P<0.001）和全身不良反应（调整 OR = 0.163，95%CI：0.101～0.263，P<0.001）风险较低，局部不良反应风险差异无统计学意义（调整 OR = 1.337，95%CI：0.487～3.670，P = 0.573）。年龄与总体不良反应风险呈非线性关联（Poverall<0.001，Pnonlinear<0.001），18～65 岁范围内风险总体随年龄增加而下降。56～65 岁组年均献血 1.63 次，高于 18～55 岁组的 1.24 次（调整 IRR = 1.34，95%CI：1.30～1.39，P<0.001）。研究期间 56～65 岁组贡献全部献血人次的 2.95%，其全血献血人次和采集量分别占全部全血献血的 2.36%和 2.37%。**结论**　在现行健康筛查和规范管理条件下，56～65 岁献血者未表现出更高的短期献血相关不良反应风险，并具有较高的年度献血频次及一定的实际供血贡献。研究结果支持在严格健康筛查基础上适度放宽无偿献血年龄上限，以拓展献血者来源并补充血液供应。

关键词：无偿献血；献血者年龄上限；高龄献血者；献血不良反应；献血安全性；血液供应
中图分类号：R457.1　R197.6　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-549X（2026）9-1168-11
DOI：10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.09.004

Donation-related adverse reactions and individual voluntary donation behavior following adjustments of the upper age limit for blood donation: a multicenter retrospective cohort study

WANG Chenying[1], *WANG Jue*[1], *LI Changping*[2], *CHEN Wei*[1], *LI Ying*[3], *BAO Dan*[3], *ZHANG Yuanqin*[3], *ZHAO Xin*[4], *ZENG Jinfeng*[5], *HU Yuwei*[1], *DAI Shuchang*[1], *WU Xiaoqiang*[4], *FAN Weimin*[3].
1. *Institute of Blood Transfusion, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Chengdu* 610052, *China*; 2. *Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Tianjin Medical University, Tianjin* 300070, *China*; 3. *Jiangxi Provincial Blood Center, Nanchang* 330200, *China*; 4. *Hainan Provincial Blood Center, Haikou* 570311, *China*; 5. *Shenzhen Blood Center, Shenzhen* 518035, *China*.
Co-corresponding authors: WU Xiaoqiang, Email: 13876901731@163.com; *FAN Weimin, Email: jxfwm@sina.com*

Abstract: Objective　To evaluate the risk of donation-related adverse reactions, donation behavior, and contributions to the blood supply among donors aged 56–65 years following extension of the upper age limit for voluntary blood donation,

基金项目：传染病病原学实验室监测检测关键核心技术研究项目（2026ZD01909300）；新型监测场景病原学监测技术研究课题（2026ZD01909307）
第一作者简介：王陈赢（2001-），女，硕士研究生在读，Email：wangchenying0624@163.com；**共同通信作者：**吴晓强，Email：13876901731@163.com；范为民，Email：jxfwm@sina.com

and to provide real-world evidence for optimizing blood donation age policies in China. **Methods** A multicenter retrospective cohort was established using blood donation databases from Hainan, Shenzhen, and Jiangxi. A total of 1 180 767 donors contributing 2 020 407 whole-blood and apheresis donations were included. Donations were classified by donor age at each donation into the 18-55-year and 56-65-year groups. Generalized estimating equation (GEE) models were used to compare the risks of overall, local, and systemic donation-related adverse reactions between the two age groups. Restricted cubic spline analysis was used to assess the continuous association between donor age and the risk of overall adverse reactions. Poisson GEE models were used to compare annual donation frequency, and donation participation and contributions to the blood supply among donors aged 56-65 years were evaluated. The study was approved by the Ethics Committee of the Institute of Blood Transfusion, Chinese Academy of Medical Sciences (No. 2025012) and registered with the Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR2500114960). **Results** A total of 1 960 711 donations were included in the 18-55-year group and 59 696 in the 56-65-year group. The overall donation-related adverse reaction rates were 3.890‰ and 0.704‰, respectively. Multivariable GEE analysis showed that, compared with donors aged 18-55 years, those aged 56-65 years had lower risks of overall adverse reactions (adjusted OR=0.294, 95% CI:0.217-0.398, $P<0.001$) and systemic adverse reactions (adjusted OR=0.163, 95% CI:0.101-0.263, $P<0.001$), whereas no statistically significant difference was observed in the risk of local adverse reactions (adjusted OR=1.337, 95% CI:0.487-3.670, $P=0.573$). Donor age was nonlinearly associated with the risk of overall adverse reactions (P overall<0.001, P nonlinear<0.001), with the risk generally decreasing with increasing age between 18 and 65 years. The mean annual donation frequency was higher among donors aged 56-65 years than among those aged 18-55 years (1.63 *vs* 1.24 donations per year; adjusted IRR=1.34, 95% CI:1.30-1.39, $P<0.001$). During the study period, donors aged 56-65 years contributed 2.95% of all donations; their whole-blood donations and whole-blood collection volume accounted for 2.36% and 2.37% of the corresponding totals, respectively. **Conclusion** Under current health screening and standardized donor management, donors aged 56-65 years did not show an increased risk of short-term donation-related adverse reactions and demonstrated a higher annual donation frequency, together with a measurable contribution to the blood supply. These findings support appropriately extending the upper age limit for voluntary blood donation under strict health screening to broaden the donor pool and supplement the blood supply.

Key words: voluntary blood donation; upper age limit for blood donation; older blood donors; donation-related adverse reactions; donation safety; blood supply

血液是临床救治中不可替代的重要资源,其稳定供应主要依赖健康人群的自愿无偿献血。无偿献血不仅是满足临床用血需求的重要基础,其相关筛查制度也为献血者安全提供了关键保障。在献血者健康评估中,年龄作为一项基础性人口学特征长期被纳入初筛流程,其筛查标准主要基于对献血者自身安全及受血者风险的全面考量,涵盖短期献血反应与长期健康影响[1-4]。

近年来,针对不同年龄组献血不良反应的研究证据逐渐积累,多项大规模回顾性分析揭示了献血者年龄与献血不良反应发生之间的关系。现有研究普遍提示,献血年龄与献血相关不良反应风险存在显著关联,其中较低年龄与更高的不良反应发生风险相关。美国红十字会数据显示,虽然 60 岁以上献血者小型血肿发生率略高于年轻人,但 18~19 岁献血者发生献血相关不良反应的风险明显较高,其风险约为 80 岁以上献血者的 3 倍,并与 40 岁左右献血者存在明显差异[5]。日本红十字会的数据分析同样显示,较年轻献血者,尤其是 50 岁以下人群,献血后发生血管迷走神经反应的风险较高,而 50~69 岁献血者的相关风险总体较低[6-7]。加拿大、德国等国家的研究均呈现类似趋势:献血不良反应的发生率随年龄增长而降低[8-9]。此外,由 BEST 合作组织开展的 1 项跨越 5 个国家超过 20 万名 70 岁以上献血者的大型研究亦证实,70 岁以上献血者的血管迷走反应发生率低于 24~70 岁献血者,为严格筛查条件下较高年龄人群继续参与献血的安全性提供了进一步证据[2]。

综合现有证据,献血年龄本身并不能完全反映献血者的个体健康状态及献血风险,规范的健康评估、既往献血史及个体健康状况可能在较高年龄献血者风险筛选中发挥重要作用。部分国家和地区在健康筛查基础上允许较高年龄人群继续献血,相关研究并未观察到献血相关不良反应明显增加,同时提示该人群可对血液供应形成一定补充[9]。然而,不同国家和地区在献血年龄界限、既往献血史要求及健康筛查标准等方面存在差异,现有国际证据能否直接外推至我国献血人群,仍需本土真实世界数据进一步验证。

随着社会老龄化程度不断加深以及血液需求

持续增长，我国献血人群的年龄结构和血液供需形势发生了显著变化。目前，《中华人民共和国献血法》提倡献血年龄为 18～55 周岁。对于既往无献血反应、符合健康检查要求的多次献血者，献血年龄可以延长至 60 周岁。世界卫生组织（World Health Organization，WHO）献血者选择指南指出，献血年龄通常为 18～65 岁，但不同国家可根据本国法规、献血者健康状况及医疗评估制定具体年龄准入标准[10]。在我国地方实践中，不同地区对较高年龄献血者的准入条件亦存在一定差异。深圳将自愿献血年龄范围扩大至 60 周岁；海南允许既往无献血不良反应且符合健康检查要求的多次献血者延长至 65 周岁；江西亦允许主动要求献血且符合健康要求者延长至 65 周岁（表 1）。上述地区在献血年龄及准入条件方面的差异，为评价现行筛查和管理条件下较高年龄献血者的真实世界献血安全性及献血行为提供了研究基础。

总体来看，国内对于较高年龄献血者献血安全性的高质量研究证据仍较为缺乏，因此本研究基于深圳、海南及江西三地的献血相关数据，构建琼赣深无偿献血年龄上限研究队列，以献血当次年龄为暴露，比较 18～55 岁与 56～65 岁献血者在现行献血者筛查和管理条件下的献血相关不良反应风险，并进一步从连续年龄效应、献血类型及地区等维度评价结果的稳健性；同时分析较高年龄献血者的年度献血频次、献血参与及供血贡献等行为特征，为我国献血年龄相关政策优化及较高年龄献血者管理提供真实世界证据。

表 1　深圳、海南、江西无偿献血年龄上限调整政策对比

Table 1　Comparison of policies on adjustments to the upper age limit for voluntary blood donation in Shenzhen, Hainan, and Jiangxi

	政策名称	有关年龄上限调整的内容	政策生效日期
深圳市	《深圳经济特区无偿献血条例》修正案	将无偿献血常规 55 周岁上限统一提高至 60 周岁	2015 年 1 月 1 日
海南省	《海南经济特区无偿献血条例》	献血者年龄上限为 60 岁，既往无献血反应、符合健康检查要求的多次献血者年龄可延长至 65 周岁	2019 年 5 月 1 日
江西省	《江西省献血条例》	常规无偿献血年龄上限为 55 周岁，主动要求且符合健康要求可延至 65 周岁。	2025 年 1 月 1 日

1　研究对象与方法

1.1　数据来源

本研究数据来源于海南省血液中心信息系统、江西省血液中心信息系统以及深圳市血液信息管理系统。海南省数据覆盖 2019 年 5 月 1 日至 2025 年 10 月 17 日，由海南省血液中心信息系统提供，包含海南省辖区内采供血机构及献血点的献血记录；江西省数据覆盖 2025 年 1 月 1 日至 2025 年 11 月 15 日，由江西省血液中心信息系统提供，包含江西省辖区内采供血机构及献血点的献血记录；深圳市数据覆盖 2018 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日，由深圳市血液信息管理系统提供，包含深圳市血液中心所管理献血点的献血记录，不包括宝安区和龙岗区血站的献血记录。纳入数据包括全血献血及单采成分献血记录，主要变量包括献血者人口学特征、献血日期、献血类型、献血次数、献血量、献血模式、既往献血情况以及献血相关不良反应等。以单次献血记录为基本分析单位，对三地数据进行标准化清洗、变量统一及献血者身份匹配，并排除年龄、献血日期等关键分析变量缺失或不符合研究纳入范围的记录。

1.2　伦理声明与数据可用性

本研究使用的数据均为去标识化处理的既往献血记录。本研究方案经中国医学科学院输血研究所伦理审查委员会审查批准（伦理审查批件号：2025012），并于中国临床试验注册中心注册（注册号：ChiCTR2500114960）。鉴于本研究为基于既往去标识化献血记录开展的回顾性研究，不涉及对研究对象的额外干预，经伦理委员会审查后豁免知情同意。研究过程中严格遵循相关数据安全与隐私保护要求，研究数据不对外公开。

本研究遵循《加强流行病学中观察性研究的报告指南》（STROBE 声明）的相关要求，以确保研究报告的完整性和透明性[11]。

1.3　结局及统计分析

本研究的主要结局为单次献血后是否发生献血相关不良反应。献血不良反应的判定与分类依据《中华人民共和国卫生行业标准 WS/T 551—2017〈献血不良反应分类指南〉》进行，并结合血站信息系统中的相关登记字段予以识别和归类；根据研究目的，进一步将不良反应分为总体不良反应、局部不良反应和全身不良反应 3 类进行分析。次要结局为 56～65 岁献血者的献血行为特征及其供血贡献情况，包括年度献血频次、年度献血参与情况，以及对献血人次和全血采集量的贡献。采用描述性统计方法分析研究对象特征。连续变量根据

其分布特征采用均数±标准差或中位数(四分位数间距)描述,分类变量采用频数和构成比描述。两年龄组特征比较中,分类变量组间比较采用以献血者为聚类单位的 Rao-Scott χ^2 检验;重复献血间隔采用考虑献血者内重复观察相关性的调查设计校正 Wilcoxon 秩和检验,同时报告标准化差异(standardized mean difference,SMD)评价组间差异程度。鉴于同一献血者在研究期间可贡献多次献血记录,涉及献血相关不良反应的推断分析均以献血者为聚类单位。

根据献血者每次献血时的实际年龄,将献血记录分为 18~55 岁组和 56~65 岁组,同一献血者可随年龄增长在不同献血时间点进入不同年龄组。分别计算两组总体、局部及全身不良反应的发生例数和发生率。采用二项分布、Logit 连接函数的广义估计方程(generalized estimating equation,GEE)分析年龄组与献血相关不良反应之间的关联,估计比值比(odds ratio,OR)及 95%置信区间(95% confidence interval,95%CI)。利用单因素模型分别分析各因素与总体不良反应的关联;同时,多因素模型以 18~55 岁组为参照,纳入年龄组、性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔等协变量,既往献血间隔作为分类变量处理。GEE 主分析采用可交换型(exchangeable)工作相关结构,并使用稳健三明治标准误;另采用独立型(independence)和一阶自回归型(AR-1)工作相关结构进行敏感性分析,结合拟似然独立模型准则(quasi-likelihood under the independence model criterion,QIC)比较不同工作相关结构下的模型拟合情况。为进一步评价献血年龄与总体不良反应风险的关系,在 GEE 框架下采用限制性立方样条(restricted cubic spline,RCS)进行分析,以全队列年龄中位数 34 岁为参考值。模型调整因素与主要多因素 GEE 模型一致,以检验年龄的总体关联及非线性关联。

为评价主要结果的稳健性,本研究进一步开展献血类型和地区分层分析,并进行工作相关结构敏感性分析:1)分别按全血和单采成分献血进行分层分析,并检验年龄组与献血类型的交互作用;2)分别基于海南省、深圳市和江西省数据开展地区分层分析,并通过年龄组与地区的交互项评价地区间异质性;3)分别采用独立型、可交换型和一阶自回归型工作相关结构重新拟合 GEE 模型,比较年龄组效应估计及 QIC,以评价结果对工作相关结构设定的稳健性。

献血行为分析以每名献血者在每一自然年度内的献血记录为分析单位,并据此计算年度献血次数。采用 Poisson GEE 比较 56~65 岁组与 18~55 岁组的年度献血频次,估计发生率比(incidence rate ratio,IRR)及 95%CI。模型以献血者为聚类单位,采用独立型工作相关结构和稳健三明治标准误,并调整地区和自然年度;同时分别对全血献血和单采成分献血进行分析。年度献血参与情况以各地区当年度实际献血人群为基础,分别计算 56~65 岁献血者占年度献血者人数和献血人次的比例。考虑到三地数据覆盖年份不同,年度趋势分析仅在具有连续完整自然年度数据的地区开展,其中深圳市纳入的数据覆盖范围为 2018—2024 年,海南省纳入的数据覆盖范围为 2020—2024 年,采用拟二项分布 Logit 回归分析 56~65 岁献血人次占比随年份的变化;江西省纳入的数据仅覆盖 2025 年,因此对江西省及各地区非完整观察年度仅进行描述性分析。供血贡献分别从献血人次和全血采集量两个方面进行评价,计算 56~65 岁献血者占全部献血人次、全血献血人次和单采成分献血人次的比例。

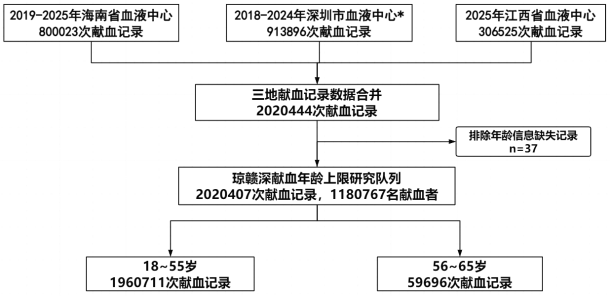
所有统计检验均为双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。统计分析采用 R 软件 4.5.1 版本完成。

2 结果

2.1 研究对象纳入及队列构建

本研究纳入海南省、深圳市及江西省献血相关数据。海南省数据覆盖 2019 年 5 月 1 日至 2025 年 10 月 17 日,共获得 800 023 次献血记录;深圳市数据覆盖 2018 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日,共纳入 913 859 次献血记录;江西省数据覆盖 2025 年 1 月 1 日至 2025 年 11 月 15 日,共纳入 306 525 次献血记录。经数据清洗、变量标准化及献血者身份匹配后,最终分析队列共纳入 1 180 767 名献血者,累计 2 020 407 次献血记录,包括全血献血和单采成分献血。

根据每次献血时的实际年龄,将献血记录分为 18~55 岁组和 56~65 岁组。其中,18~55 岁组共 1 960 711 人次,56~65 岁组共 59 696 人次。研究对象的纳入流程见图 1。



注：* 不包括宝安区和龙岗血站。

图 1　研究对象纳入及分析队列构建流程

Figure 1　Flowchart of study participant inclusion and cohort construction

2.2　研究对象特征

最终分析共纳入 2 020 407 次献血记录，其中 18~55 岁组 1 960 711 人次（97.0%），56~65 岁组 59 696 人次（3.0%）。总体献血记录中男性占 68.8%，重复献血占 58.0%，全血献血占 86.0%，个人献血占 86.0%。与 18~55 岁组相比，56~65 岁组男性、重复献血及单采成分献血所占比例较高，重复献血者的既往献血间隔中位数较短。从标准化差异看，两年龄组在是否首次献血和献血类型方面差异相对较大（SMD 分别为 0.528 和 0.439），其地区构成亦存在一定差异（SMD = 0.339）；性别、献血模式、重复献血间隔及全血单次献血量的 SMD 均<0.20。总体及两年龄组献血记录特征见表 2。

表 2　琼赣深年龄上限研究队列不同年龄组献血记录基本特征

Table 2　Characteristics of blood donations by age group in the Hainan-Jiangxi-Shenzhen upper-age-limit cohort

	总体（n = 2 020 407）	18~55 岁（n = 1 960 711）	56~65 岁（n = 59 696）	SMD	*P* 值
地区，n（%）				0.339	<0.001
海南	800 023（39.6）	782 151（39.9）	17 872（29.9）		
深圳	913 859（45.2）	888 698（45.3）	25 161（42.1）		
江西	306 525（15.2）	289 862（14.8）	16 663（27.9）		
性别，n（%）				0.141	<0.001
女	630 731（31.2）	615 757（31.4）	14 974（25.1）		
男	1 389 676（68.8）	1 344 954（68.6）	44 722（74.9）		
是否首次献血，n（%）				0.528	<0.001
首次献血	847 732（42.0）	836 352（42.7）	11 380（19.1）		
重复献血	1 172 675（58.0）	1 124 359（57.3）	48 316（80.9）		
献血类型，n（%）				0.439	<0.001
单采成分	283 096（14.0）	264 363（13.5）	18 733（31.4）		
全血	1 737 311（86.0）	1 696 348（86.5）	40 963（68.6）		
献血模式，n（%）				0.082	<0.001
个人献血	1 736 837（86.0）	1 683 945（85.9）	52 892（88.6）		
团体献血	283 570（14.0）	276 766（14.1）	6 804（11.4）		
重复献血间隔，d	234.0（105.0，524.0）	238.0（107.0，532.0）	151.0（23.0，365.0）	0.190	<0.001
全血单次献血量，n（%）				0.061	<0.001
1 unit	241 604（13.9）	235 980（13.9）	5 624（13.7）		
1.5 unit	487 635（28.1）	476 651（28.1）	10 984（26.8）		
2 unit	999 628（57.5）	975 353（57.5）	24 275（59.3）		
其他	8 444（0.5）	8 364（0.5）	80（0.2）		

注：数据以 n（%）或中位数（四分位数间距）表示；SMD 为标准化差异（standardized mean difference）。分类变量 *P* 值采用以献血者为聚类单位的 Rao-Scott χ^2 检验，重复献血间隔采用考虑献血者内重复观察相关性的调查设计校正 Wilcoxon 秩和检验。单次献血量仅在全血献血记录中统计，1 unit = 200 mL。

2.3　献血年龄与献血相关不良反应

2.3.1　献血相关不良反应发生情况及单因素分析

18~55 岁组共纳入 1 960 711 次献血记录，发生献血相关不良反应 7 628 例，发生率为 3.890‰；56~65 岁组共纳入 59 696 次献血记录，发生献血相关不良反应 42 例，发生率为 0.704‰。单因素 GEE 分析显示，年龄组、性别、献血史、献血类型、献血模式、季节及献血间隔均与总体献血相关不良反应存在统计学关联（总体 Wald 检验均 *P*<0.001）。

以 18~55 岁组为参照，56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险较低（粗 OR = 0.180，95% CI：0.133~0.245，*P*<0.001）。男性较女性发生风险较低（OR = 0.860，95% CI：0.820~0.902，*P*<0.001）；首次献血者较重复献血者发生风险较高（OR = 4.199，95% CI：3.986~4.424，*P*<0.001）。与单采成分献血相比，全血献血者总体不良反应发生风险较高（OR = 12.261，95% CI：10.065~14.935，*P*<0.001）；团体献血较个人献血发生风险亦较高（OR = 1.147，95% CI：1.078~1.220，*P*<0.001）。以春季为参照，夏季（OR = 0.837，95% CI：0.786~

0.892,P<0.001)和冬季(OR=0.909,95% CI:0.852~0.970,P=0.004)总体不良反应发生风险较低,而秋季较高(OR=1.081,95% CI:1.018~1.147,P=0.011)。以既往献血间隔 180~364 d 的重复献血记录为参照,首次献血者总体不良反应发生风险较高(OR=3.838,95%CI:3.496~4.214,P<0.001);重复献血但既往献血间隔不可获得者,以及间隔 1~55 d、56~89 d 和 90~179 d 者发生风险较低,而间隔≥365 d 者发生风险较高(OR=1.456,95%CI:1.306~1.624,P<0.001)(表 3)。

2.3.2 不同年龄组与献血相关不良反应的多因素 GEE 分析

GEE 粗模型分析结果显示,以 18~55 岁组为参照,56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险较低(粗 OR=0.180,95% CI:0.133~0.245,P<0.001),全身不良反应发生风险亦较低(粗 OR=0.108,95%CI:0.069~0.170,P<0.001);两年龄组局部不良反应发生风险差异无统计学意义(粗 OR=1.142,95%CI:0.421~3.099,P=0.794)。

进一步调整性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔后,56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险仍低于 18~55 岁组(调整 OR=0.294,95%CI:0.217~0.398,P<0.001);全身不良反应发生风险亦较低(调整 OR=0.163,95%CI:0.101~0.263,P<0.001),而局部不良反应发生风险在两年龄组间差异仍无统计学意义(调整 OR=1.337,95%CI:0.487~3.670,P=0.573)(表 4)。

2.3.3 献血年龄与总体不良反应风险的连续关联

采用限制性立方样条进一步分析献血年龄与总体献血相关不良反应风险的连续关联。以全队列年龄中位数 34 岁为参考年龄,在调整性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔后,献血年龄与总体献血相关不良反应风险存在统计学关联(Poverall<0.001),且呈非线性关系(Pnonlinear<0.001)。总体而言,在 18~65 岁年龄范围内,随着献血年龄增加,总体献血相关不良反应风险呈下降趋势(图 2)。

表 3 各献血特征与总体献血相关不良反应的单因素 GEE 分析

Table 3 Univariable GEE analysis of donation characteristics associated with overall donation-related adverse reactions

	献血人次	ADR 例数	ADR 发生率(‰)	粗 OR	95%CI	P 值
年龄组						<0.001
18~55 岁	1 960 711	7 628	3.890	1.000	Ref.	
56~65 岁	59 696	42	0.704	0.180	0.133~0.245	<0.001
性别						<0.001
女	630 731	2 648	4.198	1.000	Ref.	
男	1 389 676	5 022	3.614	0.860	0.820~0.902	<0.001
是否首次献血						<0.001
重复献血	1 172 675	1 908	1.627	1.000	Ref.	
首次献血	847 732	5 762	6.797	4.199	3.986~4.424	<0.001
献血类型						<0.001
单采成分	283 096	101	0.357	1.000	Ref.	
全血	1 737 311	7 569	4.357	12.261	10.065~14.935	<0.001
献血模式						<0.001
个人献血	1 736 837	6 461	3.720	1.000	Ref.	
团体献血	283 570	1 209	4.263	1.147	1.078~1.220	<0.001
季节						<0.001
春季	536 393	2 126	3.964	1.000	Ref.	
夏季	529 907	1 760	3.321	0.837	0.786~0.892	<0.001
秋季	509 879	2 183	4.281	1.081	1.018~1.147	0.011
冬季	444 228	1 601	3.604	0.909	0.852~0.970	0.004
献血间隔(d)						<0.001
180~364	268 568	478	1.780	1.000	Ref.	
1~55	181 959	24	0.132	0.074	0.049~0.112	<0.001
56~89	23 291	8	0.343	0.193	0.096~0.388	<0.001
90~179	231 593	309	1.334	0.749	0.650~0.864	<0.001
≥365	389 273	1 008	2.589	1.456	1.306~1.624	<0.001
首次献血	847 732	5 762	6.797	3.838	3.496~4.214	<0.001
重复献血(间隔信息缺失)	77 991	81	1.039	0.583	0.461~0.738	<0.001

注:ADR 为献血相关不良反应(adverse donation reaction),OR 为比值比(odds ratio),CI 为置信区间(confidence interval)。单因素分析采用独立型工作相关结构的广义估计方程,以献血者为聚类单位,并采用稳健三明治标准误;各因素分别单独进入模型,参照水平粗 OR 设为 1.000。献血间隔以 180~364 d 重复献血作为参照。

表 4 不同年龄组献血相关不良反应的 GEE 分析

Table 4 GEE analysis of donation-related adverse reactions by age group

	18~55 岁例数(‰)	56~65 岁例数(‰)	粗 OR(95%CI)	P 值(*GEE* 粗模型)	调整 OR(95%CI)	P 值(*GEE* 调整模型)
总体献血相关不良反应	7 628(3.890)	42(0.704)	0.180(0.133~0.245)	<0.001	0.294(0.217~0.398)	<0.001
局部不良反应	115(0.058)	4(0.067)	1.142(0.421~3.099)	0.794	1.337(0.487~3.670)	0.573
全身不良反应	5 618(2.860)	17(0.284)	0.108(0.069~0.170)	<0.001	0.163(0.101~0.263)	<0.001

注:以 18~55 岁组为参照;GEE 调整模型校正性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔。

2.4 不同年龄组与总体献血相关不良反应关联的分层及敏感性分析

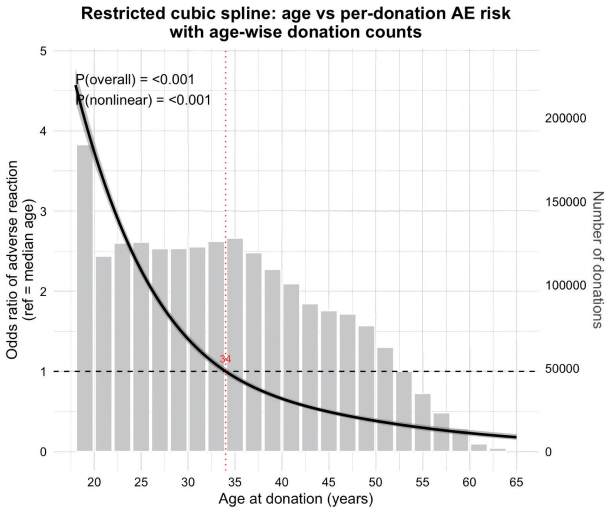
2.4.1 献血类型分层及交互作用分析

按献血类型分层后,在全血献血记录中,56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险低于 18~55 岁组(调整 OR=0.286,95%CI:0.210~0.390,P

<0.001)。在单采成分献血记录中,56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险与 18~55 岁组相比差异无统计学意义(调整 OR = 0.524,95% CI:0.127~2.164,P = 0.372)。进一步进行年龄组与献血类型的交互作用检验,结果显示交互作用无统计学意义(Pinteraction = 0.364),提示未观察到年龄组与总体献血相关不良反应之间的关联因献血类型不同而存在统计学差异(表 5)。

2.4.2　地区分层及年龄组与地区交互作用分析

按地区分层分析后,在海南、深圳和江西三个地区中,56~65 岁组总体献血相关不良反应发生风险均低于 18~55 岁组。海南地区调整 OR 为 0.159(95%CI:0.088~0.286,P<0.001),深圳地区调整 OR 为 0.390(95%CI:0.195~0.781,P = 0.008),江西地区调整 OR 为 0.421(95%CI:0.278~0.636,P<0.001)。进一步进行年龄组与地区的交互作用检验,结果显示交互作用具有统计学意义(Wald χ^2 = 7.356,df = 2,Pinteraction = 0.025),提示 56~65 岁组与总体献血相关不良反应风险较低的关联在三个地区中方向一致,但关联强度存在一定地区异质性(表 6)。



注:实线为调整后的比值比,阴影部分为 95% 置信区间,34 岁为参考值(整个队列的中值,OR = 1.0,水平虚线)。灰色柱状图表示相应年龄的献血人次(右纵轴)。

图 2　献血者的献血当次年龄与不良反应发生风险的限制性立方样条关系

Figure 2　Restricted cubic spline analysis of the association between age at donation and the risk of donation-related adverse reactions

表 5　献血类型分层下不同年龄组与总体献血相关不良反应的关联

Table 5　Association between age group and overall donation-related adverse reactions stratified by donation type

	年龄组(岁)	献血人次	ADR 例数	ADR 发生率(‰)	调整 OR(95%CI)	P 值	*Pinteraction*
全血	18~55	1 696 348	7 529	4.438	1.000(Ref.)		0.364
	56~65	40 963	40	0.976	0.286(0.210~0.390)	<0.001	
单采成分	18~55	264 363	99	0.375	1.000(Ref.)		
	56~65	18 733	2	0.107	0.524(0.127~2.164)	0.372	

注:ADR 为献血相关不良反应,OR 为比值比,CI 为置信区间。各献血类型分层分析均以 18~55 岁组为参照;调整模型校正性别、季节、献血模式及既往献血间隔。*Pinteraction* 为年龄组与献血类型交互作用检验 P 值。

表 6　地区分层下不同年龄组与总体献血相关不良反应的关联

Table 6　Association between age group and overall donation-related adverse reactions stratified by region

	年龄组(岁)	献血人次	ADR 例数	ADR 发生率(‰)	调整 OR(95%CI)	P 值	*Pinteraction*
海南	18~55	782 151	4 833	6.179	1.000(Ref.)		0.025
	56~65	17 872	11	0.615	0.159(0.088~0.286)	<0.001	
深圳	18~55	888 698	1 633	1.838	1.000(Ref.)		
	56~65	25 161	8	0.318	0.390(0.195~0.781)	0.008	
江西	18~55	289 862	1 162	4.009	1.000(Ref.)		
	56~65	16 663	23	1.380	0.421(0.278~0.636)	<0.001	

注:ADR 为献血相关不良反应,OR 为比值比,CI 为置信区间。各地区分层分析均以 18~55 岁组为参照;调整模型校正性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔。*Pinteraction* 为年龄组与地区交互作用检验 P 值($Wald\chi^2$ = 7.356,df = 2)。

2.4.3　GEE 工作相关结构敏感性分析

为评估主模型结果对 GEE 工作相关结构设定的稳健性,分别采用独立型、可交换型和一阶自回归型工作相关结构重新拟合总体献血相关不良反应的多因素 GEE 模型。结果显示,不同工作相关结构下,56~65 岁组与 18~55 岁组之间的效应估计基本一致:采用独立型 GEE 工作相关结构时,调整 OR 为 0.294(95%CI:0.217~0.398,P<0.001);采用可交换型 GEE 工作相关结构时,调整 OR 为 0.294(95%CI:0.217~0.398,P<0.001);采用一阶自回归型工作相关结构的 GEE 模型时,调整 OR 为 0.293(95%CI:0.216~0.397,P<0.001)。

三种 GEE 工作相关结构对应的 QIC 分别为 96 358.689、96 358.666 和 96 358.726,数值较为接

近,其中可交换型工作相关结构的 QIC 最低。不同工作相关结构下年龄组效应估计的方向和大小均基本一致,提示主要分析结果具有较好的稳健性(表 7)。

表 7 不同工作相关结构下年龄组与总体献血相关不良反应关联的敏感性分析

Table 7 Sensitivity analysis of the association between age group and overall donation-related adverse reactions using different GEE working correlation structures

	调整 OR(95%CI)	*P* 值	QIC
独立型(Independence)	0.294(0.217~0.398)	<0.001	96 358.689
可交换型(Exchangeable)	0.294(0.217~0.398)	<0.001	96 358.666
AR-1	0.293(0.216~0.397)	<0.001	96 358.726

注:OR 为比值比,CI 为置信区间,QIC 为拟似然独立模型准则。不同工作相关结构下的模型均校正性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔。主分析采用可交换型工作相关结构。

2.5 不同年龄组的年度献血行为、变化趋势及供血贡献

为比较不同年龄组的年度献血行为,将同一献血者在同一自然年度内的全部献血记录进行汇总,以每名献血者在每一自然年度内的献血情况作为一个年度观察单位。18~55 岁组共纳入 1 578 896 个年度观察单位,56~65 岁组共纳入 36 706 个年度观察单位。两组每名献血者年均献血次数分别为 1.24 次和 1.63 次。18~55 岁组中,每年献血 1 次者占 87.9%,每年献血≥5 次者占 1.10%;56~65 岁组相应比例分别为 80.1%和 3.54%,提示 56~65 岁组年度重复献血更为频繁。调整地区和自然年度后,Poisson GEE 分析显示,56~65 岁组的年度献血频次高于 18~55 岁组(IRR=1.34,95%CI:1.30~1.39,*P*<0.001)。进一步按献血类型分析,全血献血的 IRR 为 1.09(95% CI:1.08~1.09,*P*<0.001),单采成分献血的 IRR 为 1.94(95% CI:1.82~2.07,*P*<0.001),表明两年龄组年度献血频次的差异主要体现在单采成分献血(表 8)。

从年度变化看,在具有连续完整年度数据的深圳,56~65 岁组献血人次占当地年度总献血人次的比例由 2018 年的 1.94%逐步升至 2024 年的 3.74%,年度趋势检验显示该比例随年份增加而上升(OR/year = 1.11, 95% CI: 1.10 ~ 1.13, *P* < 0.001)。海南完整年度数据为 2020—2024 年,56~65 岁组献血人次占比总体呈上升变化,但线性趋势未达到统计学意义(OR/year=1.06,*P*=0.089)。江西仅纳入 2025 年数据,因缺乏连续年度观察,未进行年度趋势检验。不同地区完整年度与非完整年度的年度献血人数、献血人次占比及年均献血次数变化见图 3A~C。图中还显示,56~65 岁组在多数观察年度中的年均献血次数均高于 18~55 岁组,但不同地区的年度变化模式并不完全一致。

从整个研究期间的供血贡献看,56~65 岁组共完成 59 696 次献血,占全部献血人次的 2.95%。其中,单采成分献血 18 733 人次,占全部单采成分献血的 6.62%;全血献血 40 963 人次,占全部全血献血人次的 2.36%。按地区计算,56~65 岁组献血人次分别占海南、深圳和江西全部献血人次的 2.23%、2.75%和 5.44%,其中江西的贡献比例相对较高。进一步以全血献血评价其对血液供应的实际贡献。研究期间 56~65 岁组共完成 40 963 次全血献血,占全部全血献血人次的 2.36%;对应全血采集量约 14 144.25 L,占全部全血采集量的 2.37%。分地区看,56~65 岁组全血献血人次占比和全血采集量占比分别为海南 1.99%和 2.04%、深圳 1.65%和 1.64%、江西 5.14%和 5.30%。各地区全血献血人次贡献比例与采集量贡献比例总体接近,表明 56~65 岁组对全血供应的贡献不仅体现在献血次数,也在实际全血采集量中得到相应体现(图 3D)。

表 8 不同年龄组年度献血频次的 Poisson GEE 分析

Table 8 Poisson GEE analysis of annual donation frequency by age group

	18~55 岁年均献血次数	56~65 岁年均献血次数	调整 IRR(95%CI)	*P* 值
总体	1.24	1.63	1.34(1.30~1.39)	<0.001
全血	1.12	1.19	1.09(1.08~1.09)	<0.001
单采成分	3.38	7.01	1.94(1.82~2.07)	<0.001

注:IRR 为发生率比(incidence rate ratio),CI 为置信区间。年度献血频次分析以每名献血者在每一自然年度内的献血次数为结局,以献血者为聚类单位,采用 Poisson 广义估计方程(GEE)进行分析。模型调整地区和自然年度;18~55 岁组为参照组。

3 讨论

本研究基于海南、深圳和江西三地 1 180 767 名献血者、2 020 407 次献血记录构建多中心回顾性队列,系统评价了现行献血者筛查和管理条件下 56~65 岁献血者的献血相关不良反应风险及献血行为特征。研究结果显示,与 18~55 岁献血者相比,56~65 岁献血者总体献血相关不良反应和全身不良反应发生率均较低;在调整性别、献血类型、季节、献血模式及既往献血间隔后,上述关联仍然存在,而局部不良反应发生风险在两年龄组间未见统计学差异。限制性立方样条分析进一步显示,18~65 岁范围内献血年龄与总体献血相关不良反应风

险存在显著非线性关联，总体呈随年龄增加而下降的趋势。不同献血类型分层及不同 GEE 工作相关结构下的结果总体稳定，三个地区的效应方向亦保持一致，但关联强度存在一定地区异质性。与此同时，56～65 岁献血者具有较高的年度献血频次，并在献血人次和实际全血采集量方面对血液供应作出了一定贡献。上述结果提示，在严格健康筛查和规范管理的前提下，适度放宽无偿献血年龄上限具有较好的短期安全性，并有助于拓展献血者来源、补充血液供应。

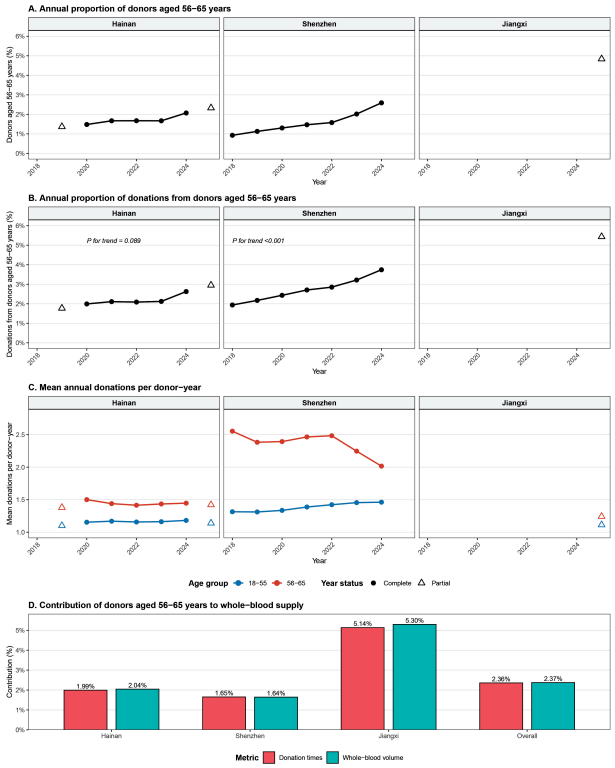


图 3　56～65 岁献血者年度献血行为特征及其对血液供应的贡献

Figure 3　Annual donation behavior and contributions to the blood supply among donors aged 56–65 years

本研究观察到年龄较高的献血者总体献血相关不良反应风险较低，这与既往国际研究的总体趋势一致。Eder 等基于美国红十字会献血数据的研究发现[12]，年轻献血者，特别是青少年和首次献血者，是献血相关不良反应的主要高风险人群，而随着年龄增长，不良反应发生率总体下降。Newman 等的研究同样提示[13]，血管迷走反应主要集中于年轻、低体重及首次献血者，高龄并不是献血不良反应升高的独立危险因素，而年龄增加通常伴随更低的全身反应发生率[14]。本研究中，18～55 岁组总体献血相关不良反应发生率为 3.890‰，56～65 岁组为 0.704‰；多因素 GEE 分析后，56～65 岁组总体不良反应调整 OR 为 0.294，全身不良反应调整 OR 为 0.163。与此同时，RCS 分析以全队列献血当次年龄中位数 34 岁作为参考，显示 18～65 岁范围内年龄与总体不良反应风险存在非线性连续关联，并总体呈下降趋势。这一结果进一步说明，在已经通过献血前健康筛查的人群中，年龄增加本身并未表现为短期献血相关不良反应风险升高。

56～65 岁献血者较低的不良反应风险可能与较高年龄献血者所具有的健康选择和献血者保留特征有关。本研究中，56～65 岁组重复献血者占 80.9%，明显高于 18～55 岁组的 57.3%，提示能够在较高年龄阶段继续献血者多为具有既往献血经历并持续符合健康筛查标准的人群。献血者随着年龄增长继续保留在献血队列中，需要经历持续的自我选择以及血站健康筛查，因此其健康状况、采血耐受性及对献血过程的熟悉程度可能优于一般同龄人群。既往研究亦表明，首次献血、献血经验不足等是献血相关不良反应的重要危险因素[15]。本研究单因素分析中首次献血者总体不良反应风险明显高于重复献血者；在进一步通过包含首次献血状态的既往献血间隔变量及其他相关因素进行调整后，56～65 岁组总体及全身不良反应风险仍然较低，提示年龄组间差异不能完全由献血经验构成差异解释。然而，观察性研究无法完全区分年龄本身与健康献血者效应、持续献血者选择等因素的作用。因此，本研究结果更准确地反映了“经现行准入制度筛选后实际完成献血的 56～65 岁献血者”的安全性，而不能简单外推至未经健康筛选的一般 56～65 岁人群。

值得注意的是，本研究中两年龄组局部不良反应发生风险未见统计学差异。局部不良反应主要与静脉条件、穿刺操作及采后压迫等因素有关，其影响机制与以血管迷走神经反应为主的全身不良反应并不完全相同，这可能是年龄与两类不良反应关联不同的重要原因[16]，另一方面，本研究中 56～65 岁组局部不良反应仅发生 4 例，事件数较少，调整后效应估计的 95%CI 较宽，因此现有结果更适宜解释为“未观察到 56～65 岁献血者局部不良反应风险增加的证据”，而不能据此认定年龄与局部不良反应完全不存在关联。今后仍需在更大规模的较高年龄献血人群中积累局部不良反应数据，以提高效应估计的精确性。

除安全性外，本研究进一步从年度献血频次和

实际供血贡献两个层面评价了 56~65 岁献血者的献血行为。56~65 岁组每名献血者年均献血 1.63 次,高于 18~55 岁组的 1.24 次;调整地区和自然年度后,其年度献血频次仍较高。这一结果与一些国家上调或取消献血年龄上限后的观察结果相似,Schreiber 等关于献血者保留的研究表明,中老年重复献血者是维持血液供应稳定的重要基础人群[17]。分献血类型分析显示,该差异在全血献血中相对较小,而在单采成分献血中更为明显,提示较高年龄献血者较高的年度献血频次部分来源于单采成分献血者的持续献血行为。因此,在评价其对血液供应的贡献时,不宜仅依据总体献血频次,而应进一步区分不同血液成分。从全血供应看,56~65 岁献血者共完成 40 963 次全血献血,占全部全血献血人次的 2.36%,对应采集量约 14 144.25 L,占全部全血采集量的 2.37%。这一比例虽然尚不足以改变总体血液供应格局,但提示在现有献血人群基础上,筛查合格的 56~65 岁献血者能够形成具有实际意义的补充性血液来源。

本研究具有一定优势。首先,本研究整合深圳市、海南省和江西省三地数据,共纳入超过 202 万次献血记录和 118 万余名献血者,为目前我国针对 56~65 岁献血者短期献血安全性评价提供了较大规模的真实世界数据。其次,本研究以单次献血时实际年龄确定暴露状态,同一献血者可随着年龄增长在不同时间进入不同年龄组,更符合献血年龄随时间变化的实际情况。统计分析中以献血者为聚类单位,通过 GEE 处理重复献血记录之间的相关性,并采用不同工作相关结构进行敏感性分析;同时结合限制性立方样条、献血类型分层及地区分层,从多个角度验证主要结果的稳健性。再次,本研究不仅评价短期献血相关不良反应,还进一步分析年度献血频次、献血参与及全血实际采集量,使对较高年龄献血者的评价从单纯的安全性拓展至其潜在供血贡献,为献血年龄政策评价提供了更完整的证据。

本研究亦存在若干局限性。首先,本研究为回顾性观察性研究,尽管多因素模型调整了多个与献血相关不良反应有关的因素,但仍无法完全排除未测量或残余混杂。特别是 56~65 岁献血者属于经过健康筛查后实际完成献血的人群,具有明显的健康选择和持续献血者选择特征,因此研究结果不能用于证明未经筛选的一般 56~65 岁人群具有同等安全性,也不能仅根据年龄组间风险差异推断提高年龄上限本身产生了保护作用。其次,三地数据来源、观察年份和年龄准入政策并不完全一致,且地区分层分析显示存在一定异质性;不同血站对轻微献血相关不良反应的识别和登记完整程度亦可能存在差异,从而造成一定的信息偏倚。第三,56~65 岁献血者总体占比较低,部分结局尤其是局部不良反应及单采成分献血不良反应事件数较少,相关效应估计的精确性有限。第四,本研究主要评价献血当次及采血过程相关的短期不良反应,尚未涉及重复献血对血红蛋白、铁储备、心血管健康及其他长期健康结局的影响,因此不能以短期不良反应风险较低替代对长期献血者健康的系统评价。最后,由于三地年龄政策实施时间及可获得数据时间窗不同,本研究并非严格意义上的政策实施前后比较,现有献血行为结果主要反映不同年龄献血者在观察期内的参与和供血特征,尚不能直接估计提高年龄上限所产生的净增供血效应。

综上,本研究表明,在海南、深圳和江西现行健康筛查及献血者管理条件下,实际完成献血的 56~65 岁献血者总体及全身献血相关不良反应风险未见增加,且低于 18~55 岁献血者,局部不良反应亦未观察到风险升高;连续年龄分析、献血类型分层及不同 GEE 工作相关结构分析总体支持这一结果。同时,筛查合格的 56~65 岁献血者具有较为持续的献血行为,并能够对全血及其他血液成分供应形成一定补充。上述结果为我国进一步评价和优化献血年龄准入政策提供了本土真实世界证据。未来在考虑适度放宽献血年龄上限时,仍应以个体健康状态和既往献血情况为基础,建立与年龄调整相匹配的健康筛查、动态监测和长期随访机制,并通过更大范围、多中心及前瞻性研究进一步评价其长期安全性和实际供血效益。

利益冲突说明/Conflict of Interests

所有作者均声明不存在利益冲突。

伦理批准及知情同意/Ethics Approval and Patient/Donor Consent

本研究通过中国医学科学院输血研究所伦理审查委员会批准(No:2025012);经伦理委员会审查后豁免知情同意。

作者贡献/Authors' Contribution

王陈赢:数据收集、整理、分析与论文撰写;王珏:研究方案框架策划与确立;李长平:数据分析方案设计,统计学指导;陈伟:数据清洗与辅助分析;李莹:江西省献血数据整理;鲍旦:江西省献血数据整理;张源秦:江西省献血数据整理;赵鑫:海南省献血数据整理;曾劲峰:深圳市献血数据整理;胡

雨薇：论文修改；戴姝畅：论文校对；吴晓强：海南省献血相关数据统筹、整理与提供；范为民：江西省献血相关数据统筹、整理与提供。

[参考文献]

[1] PINDYCK J, AVORN J, KURIYAN M, et al. Blood donation by the elderly. Clinical and policy considerations [J]. JAMA, 1987, 257(9):1186-1188.

[2] GOLDMAN M, GERMAIN M, GRÉGOIRE Y, et al. Safety of blood donation by individuals over age 70 and their contribution to the blood supply in five developed countries: a BEST Collaborative group study[J]. Transfusion, 2019, 59(4):1267-1272.

[3] DAVISON T E, MASSER B M, THORPE R. Growing evidence supports healthy older people continuing to donate blood into later life[J]. Transfusion, 2019, 59(4):1166-1170.

[4] HYDE M K, MASSER B M, THORPE R, et al. Rethinking the role of older donors in a sustainable blood supply [J]. Transfusion, 2025, 65(4):758-766.

[5] EDER A F, DY B A, KENNEDY J M, et al. The American Red Cross donor hemovigilance program: complications of blood donation reported in 2006[J]. Transfusion, 2008, 48(9):1809-1819.

[6] IMADA H, AKITA T, SUGIYAMA A, et al. Trend of blood donors entering the coronavirus pandemic era and challenges: age-period-cohort analysis using 75.5 million all blood donations data during 2006-2020 in Japan[J]. Transfusion, 2023, 63(6):1184-1194.

[7] TAKANASHI M, ODAJIMA T, AOTA S, et al. Risk factor analysis of vasovagal reaction from blood donation [J]. Transfus Apher Sci, 2012, 47(3):319-325.

[8] SHEHATA N, KUSANO R, HANNACH B, et al. Reaction rates in allogeneic donors[J]. Transfus Med, 2004, 14(5):327-333.

[9] ZEILER T, LANDER-KOX J, ALT T. Blood donation by elderly repeat blood donors[J]. Transfus Med Hemother, 2014, 41(4):242-250.

[10] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Blood donor selection: guidelines on assessing donor suitability for blood donation [M]. Geneva: World Health Organization, 2012.

[11] VON ELM E, ALTMAN D G, EGGER M, et al. The strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies[J]. Epidemiology, 2007, 18(6):800-804.

[12] EDER A F, HILLYER C D, DY B A, et al. Adverse reactions to allogeneic whole blood donation by 16- and 17-year-olds[J]. JAMA, 2008, 299(19):2279-2286.

[13] NEWMAN B H, SATZ S L, JANOWICZ N M, et al. Donor reactions in high-school donors: the effects of sex, weight, and collection volume[J]. Transfusion, 2006, 46(2):284-288.

[14] TROUERN-TREND J J, CABLE R G, BADON S J, et al. A case-controlled multicenter study of vasovagal reactions in blood donors: influence of sex, age, donation status, weight, blood pressure, and pulse[J]. Transfusion, 1999, 39(3):316-320.

[15] KAMEL H, TOMASULO P, BRAVO M, et al. Delayed adverse reactions to blood donation[J]. Transfusion, 2010, 50(3):556-565.

[16] NEWMAN B H. Blood donor complications after whole-blood donation[J]. Curr Opin Hematol, 2004, 11(5):339-345.

[17] SCHREIBER G B, SHARMA U K, WRIGHT D J, et al. First year donation patterns predict long-term commitment for first-time donors[J]. Vox Sang, 2005, 88(2):114-121.

（2026-07-09 收稿，09-11 修回，09-15 接收）

本文编辑：李宜博