· 论著 ·

2026—2035 年临床用血需求展望

——基于 DeepSeek-V3.2 大模型

江猛　张寒梅　李琳琳　孔健　王昕　郭敏香　梁丞　吴慧
(淄博市中心血站,山东 淄博 255000)

摘要:目的　本研究旨在分析未来十年(2026—2035 年)人口结构演变趋势,并分析其对无偿献血及临床血液供需的影响。**方法**　基于全国、山东省和淄博市的 2021—2025 年采供血数据,分析血液管理中的关键影响因素。使用 DeepSeek-V3.2 大模型解析未来十年人口结构比例、分析 2030 年和 2035 年住院人数、临床用血需求量、血液供应量以及献血人次,以便调整未来工作重点和方向。**结果**　根据 DeepSeek 推演,2030 年全国 60 岁以上人口占比高于 27%(3.7 亿/13.8 亿),2035 年占比高于 30%(4.0 亿/13.5 亿),人口老龄化进程加剧。这种人口结构的变化导致全国适龄献血者人群占比预计从 59.2%(8.35 亿/14.10 亿)下降至 52%(7.1 亿/13.6 亿);而血液需求量相对于 2024 年增长 87.8%(由 2 692.7 万增加到 5 056 万)。每年都需要提高一定比例的献血率才能维持血液供需平衡。根据政策要求,预计 2035 年山东省 18~60 周岁人群的献血比例需要增加 122.57%[从 20.07‰(116.41 万人次/5800 万人)增加至 44.67‰(218.9 万人次/4900 万人)],或许能满足临床用血需求。**结论**　结合 DeepSeek-V3.2 大模型、计算机 AI 预测模型以及献血激励措施可以监测人口结构,预测临床用血需求,管理血液,保障临床用血长期可持续性。鉴于本研究数据基础的局限性(5 个年度观测点),应视为趋势性判断或方法而非精确预测。

关键词:人口老龄化;临床医疗用血;血液供需预测;无偿献血管理;人工智能模型
中图分类号:R457.1　R193.3　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1004-549X(2026)8-1074-09
DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.08.012

Outlook on clinical blood demand from 2026 **to** 2035—**a DeepSeek-V**3.2 **large modelbased analysis**

JIANG Meng, *ZHANG Hanmei*, *LI Linlin*, *KONG Jian*, *WANG Xin*, *GUO Minxiang*, *LIANG Cheng*, *WU Hui*.
Zibo Central Blood Bank, *Zibo* 255000, *China*.
Corresponding author: *ZHANG Hanmei*, *Email*: 13953393818@163.*com*

Abstract: Objective　To analyze the demographic evolution of China over the forthcoming decade (2026-2035) and to systematically evaluate its potential implications for voluntary blood donation practices and the equilibrium of clinical blood supply and demand. **Methods**　Leveraging comprehensive blood collection and utilization data from 2021 to 2025 at the national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels, we identified and examined critical determinants influencing blood management systems. The DeepSeek-V3.2 large language model was deployed to project future population age structures, and to generate quantitative estimates for hospitalization volumes, clinical blood requirements, available blood supply, and donation frequencies for the target years 2030 and 2035, thereby furnishing an evidence base for strategic planning and priority-setting. **Results**　DeepSeek-derived projections indicate that the proportion of China's population aged 60 years and above will surpass 27% (370 million/1 380 million) by 2030 and exceed 30% (400 million/1 350 million) by 2035, signaling a marked acceleration in population aging. This demographic shift is projected to reduce the proportion of the national population eligible to donate blood from 59.2% (835 million out of 1.41 billion) to 52% (710 million out of 1.36 billion), while the demand for blood is expected to increase by 87.8% relative to 2024, rising from 26.927 million units to 50.56 million units. Sustaining blood supply-demand balance will necessitate progressive annual increases in donation rates. Under prevailing policy frameworks, the required blood donation rate among the eligible population in Shandong Province would need to rise by 122.57% by 2035[from 20.07‰ (1.1641 million person-times/58 million people) to 44.67‰ (2.189 million person-times/49 million people)] to potentially satisfy projected clinical requirements. **Conclusion**　By integrating DeepSeek-V3.2, AI predictive models, and blood donation incentive measures, it is possible to monitor population

第一作者简介:江猛(1975-),男,副主任技师,Email:zbxzjiangmeng@126.com;**通信作者:**张寒梅,Email:13953393818@163.com

demographics, forecast clinical blood demand, manage blood supplies, and ensure the long-term sustainability of clinical blood availability. It must be acknowledged, however, that the present analysis is constrained by a limited data foundation (comprising only five annual observation points); accordingly, the projections should be interpreted as directional trend indicators or methodological illustrations rather than definitive quantitative forecasts.

Key words: population aging; clinical blood use; blood supply and demand prediction; voluntary blood donation management; artificial intelligence model

血液采集与供应在医疗保健领域起着至关重要的作用。在多个国家中,维持安全且充足的血液供应、满足临床需求,一直是一项极具挑战性的任务[1]。中国作为世界上的人口大国,正逐渐走向老龄化社会。血液需求人群和献血人群之间存在的年龄差异促使人口结构的变化对血液服务中的供求平衡构成了威胁[2]。早期的研究报告显示,中国 65 岁及以上人口的比例将从 2016 年的 10%(1.42 亿人)翻倍增长至 2036 年的 22%(3.09 亿人),而中国预计将在 2029 年达到人口峰值[3]。人口老龄化程度的加深意味着老年慢性病治疗所需的临床用血增加,社会血液供应系统即将面临更大的挑战。此外,尽管我国连续 20 年献血总量有所增长,但每年的千人献血率仍低于世界平均水平(30‰~40‰)[4]。综合这些因素,可以预见未来 20 年我国血液供应短缺现象可能进一步加剧。

近年来,数据模型驱动的血液管理方法在医疗保健领域愈发受到青睐,这进一步凸显了改进需求预测和资源优化在血液供求管理系统中的必要性[5]。目前已有的研究采用了回归分析、机器学习、混合模型和时间序列模型等前沿发展成果,设计出应对血液供应链管理和临床用血需求预测的创新解决方案[6-7]。这些数据模型的使用显示出减少血液浪费、缓解临床血液短缺情况的优点,另一方面也能提升患者治疗效果。因此,本研究结合 DeepSeek 数据模型,以过往 2021—2025 年的临床用血和采血数据、住院患者人数(2020—2024 年)和患者用血等数据为基础,解析未来十年中国人口结构变化导致的血液供需差异,并以现有政策为基础,提出减少血液供需差异的有效策略,以满足临床用血需求。

1 资料和方法

1.1 研究数据收集

根据国家卫健委发布的血液采集监测数据和人口普查数据,收集“十四五”期间全国、山东省和淄博市的人口数据、采供血数据、住院人数(2020—2024 年)、住院患者人均用血量等数据。选择淄博市第一医院、市中心医院、桓台县、临淄区等地收集 2021—2025 年住院患者资料,包括年龄、入院次数、疾病名称、红细胞用量等。根据《中国卫生健康统计年鉴》,收集山东省恶性肿瘤年龄发病率、心脏病和脑血管病住院率,以及二级以上医院出院病人手术比例等数据。

1.2 人口结构分析

收集“十四五”期间全国人口数据,随后通过 AI 大模型(DeepSeek-V3.2)分析预测 2030 年、2035 年全国、山东省、淄博市人口数量和年龄结构比例。

1.3 采血数据分析

分析对比全国、山东省、淄博市 2021—2025 年期间的各年度采血量和采血人次,根据每年献血人次计算年人均献血量以及“十四五”期间的平均千人口献血率。

1.4 住院患者临床用血分析

分析对比全国、山东省、淄博市 2020—2024 年各年度入院患者人次、红细胞用量。本研究所使用的住院人次数据为年度汇总值,全国、山东省、淄博市各仅有 5 个年度观测点(2020—2024 年),2022—2024 年数据包含一定的波动性。因此,本研究的模型在统计推断能力上存有局限,据此,本研究的结果应被视为“基于有限数据的趋势性初步判断”,而非精准的预测,其结论可在未来年度数据的支撑下持续验证与修正。

研究以淄博市部分住院患者数据为例,分析对比淄博市 2021—2025 年期间主要用血医院各年度总的入院患者人数,各年龄分布,60 岁以上患者占比,总红细胞用量,用血患者占比,人均用血量,分析在“十四五”期间的采供血变化规律。千人口献血率(‰)=(采血人次/总人口数)×1 000。

1.4.1 数据趋势

为降低疫情波动对长期趋势的干扰,本研究采用 2020—2024 年数据拟合线性回归模型。选择以 2021 年为起点,基于以下考虑:2020 年,全国住院人次受防控措施影响呈现非典型波动(2020 年 23

012.8 万人次,2021 年即回升至 24 731.8 万人次);随着政策调整,2023—2024 年住院服务逐步恢复常态。因此,以 2021—2024 年数据估计的线性趋势,可近似反映去除疫情急性冲击后的医疗服务增长轨迹。

采用 DeepSeek-V3.2 线性回归模型预测 2030 年和 2035 年住院患者数量:某年全国住院患者数 $\hat{y}=2\ 488.17x+27\ 699.325$;山东住院患者数 $\hat{y}=187.37x+1\ 706.675$;淄博市住院患者数 $\hat{y}=8.33x+97.36$[注:2021 年(1)、2030 年(10)、2035 年(15),x=年数−mean x,mean x=2.5,线性回归模型预测每年增长 2 488.17 万、187.37 万、8.33 万,即患者增加线性趋势]。

1.4.2 模型验证

为评估预测模型的可靠性与稳健性,本研究采用回代验证(Retrospective Validation)方法:基于 2021—2023 年数据拟合线性回归模型,预测 2024 年住院患者数,将预测值($\hat{y}$)与实际观测值(y)进行比较,计算相对误差($RE=|\hat{y}-y|/y\times100\%$)和平均绝对百分比误差(MAPE)。同时报告模型的决定系数(R^2)以反映拟合优度。

1.4.3 敏感性分析

鉴于仅 5 个年度观测点的数据基础,本研究从两个维度进行敏感性分析,以评估预测结论的稳健性:1)模型形式敏感性:在线性模型基础上,尝试二次曲线模型($\hat{y}=ax^2+bx+c$),比较两种模型下 2035 年预测值的差异,评估预测结论对模型形式选择的敏感程度。2)关键参数敏感性(人均用血量):以 2025 年人均用血量基线值为中心,设定乐观(−10%)、中性(基线)、悲观(+10%)三种情景,分别测算 2035 年血液需求量,以反映参数不确定性对预测结论的影响范围。由于数据年限的客观限制,本研究的预测结果应视为趋势性参考或方法,随着 2025 年各层级入院人次及以后年度数据的公布积累,预测精度亦将相应提升。

1.5 全国、山东省、淄博市 2030 年和 2035 年采供血分析

随后使用 DeepSeek-V3.2 模型,依据目前住院患者数据,推算出 2030 年、2035 年淄博市、山东省、全国住院患者人次。依据 2025 年的住院患者人均用血量来测算 2030 年、2035 年淄博市、山东省、全国血液的需求量。接着根据预测的淄博市、山东省血液采集数据计算 2030 年、2035 年千人口献血率,并与相关机构指出的千人口献血率进行对比,分析适龄人口的献血率达到多少才能满足相关机构的血液供给基本需求。

2 结果

2.1 采血情况分析

“十四五”期间我国各地区采血数据如表 1 所示。从 2021 年到 2025 年,全国献血总量下降了 10.75%,山东省献血总量下降 14.44%,淄博市采血总量下降了 18.78%,总体均呈现下降趋势。进一步数据分析发现,2025 年全国、山东省和淄博市千人口献血率分别为 10.7‰(下降 10.83%)、10.65‰(下降 12.42%)和 12.72‰(下降 11.54%)。“十四五”期间各地区采血量和献血率均有持续下降,可能造成临床血液资源短缺,而山东省整体采血量和采血人次下降比例均超全国平均水平,血液供应短缺更加严重,需要尽快采取措施维持血液临床供给的稳定。此外,根据各地区总体献血量和采血人次,计算得到 2021—2025 年期间全国、山东省和淄博市人均献血量为 1.7 U、1.76 U 和 1.775 U,各地区差异不大。

2025 年全国无偿献血 1 510.9 万人次、献血总量 2 549.8 万 U。全国血站服务体系建设发展规划(2021—2025 年)提出预计到 2025 年采血量达 3 200 万单位,但完成率仅为 79.68%,与目标存在一定差距。

表 1　全国、山东省、淄博市 2021—2025 年采血情况分析

Table 1　Analysis of blood collection status at the national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels, 2021–2025

	全国			山东省			淄博市		
	采血量(万 U)	采血人次(万人)	千人口献血率(‰)	采血量(万 U)	采血人次(万人)	千人口献血率(‰)	采血量(万 U)	采血人次	千人口献血率(‰)
2021 年	2 855.90	1 674.50	12	217.55	123.46	12.16	12.2800	67 716	14.38
2022 年	2 760.20	1 603.50	11.5	211.69	118.83	11.7	12.3848	67 523	14.35
2023 年	2 892.10	1 699.20	12.2	215.21	121.99	12.0	11.9617	68 168	14.58
2024 年	2 692.70	1 582.20	11.4	196.99	112.25	11.06	10.5586	59 603	12.76
2025 年	2 549.80	1 510.90	10.7	186.12	107.32	10.65	9.9738	58 989	12.72
总体	13 750.70	8 070.30	11.56	1 027.56	583.85	11.51	57.1589	321 999	13.75

2.2 人口结构分析

使用 DeepSeek-V3.2 对全国、山东省以及淄博市的未来人口趋势进行预测。如表 2 所示,以 2023 年的全国人口数据为基础,2030 年和 2035 年全国人口持续负增长,但人口老龄化问题则持续加重。到 2035 年,预计全国 60 岁以上人群达到 4.0 亿(占比>30%),65 岁以上为 3.0 亿~3.2 亿(22%~24%)。到 2035 年,山东省和淄博市 60 岁以上人口占比均>30%,65 岁以上人口占比达到 24%~26%,从深度老龄化向重度老龄化加速迈进,高龄化趋势严峻,而适龄献血人群占比下降,医疗与社会保障压力巨大。

表 2 全国、山东省、淄博市人口关键指标演变趋势

Table 2 Trends in key population indicators for national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels

	人口指标	总人口	18~60 岁人口 n(%)	60 岁及以上人口 n(%)	65 岁及以上人口 n(%)
全国	2023 年	14.10 亿	8.35 亿(59.2)	2.97 亿(21.1)	2.17 亿(15.4)
	2030 年(预测)	13.8 亿~14.0 亿	7.6 亿~7.8 亿(55~57)	3.6 亿~3.8 亿(26~28)	2.6 亿~2.8 亿(19~21)
	2035 年(预测)	13.5 亿~13.7 亿	7.0 亿~7.2 亿(51~53)	>4.0 亿(>30)	3.0 亿-3.2 亿(22~24)
山东省	2023 年	10 122.97 万	5 800 万(57.3)	2 349.4 万(23.61)	1 819.4 万(18.29)
	2030 年(预测)	10 050 万~10 100 万	5 200 万~5 400 万(52~54)	>2 800 万(>28)	2 200 万~2 300 万(22~23)
	2035 年(预测)	9 900 万~10 000 万	4 800 万~5 000 万(48~50)	>3 000 万(>30)	2 500 万~2 600 万(25~26)
淄博市	2023 年	470.6 万	275 万(58.5)	109.32 万(23.24)	76.99 万(16.37)
	2030 年(预测)	460 万	240 万~250 万(52~54)	>125 万(>27)	95 万~100 万(20~22)
	2035 年(预测)	450 万	220 万~230 万(48~51)	135 万-140 万(>30)	110 万~115 万(24~26)

2.3 临床用血和老年人口占比的分析

接着对各地区住院患者数据进行分析,如表 3 所示。以 2020 年为对比,2024 年全国入院人次增加了 35.54%,山东省入院人次提高了 48.36%,淄博市入院人次提高了 29.22%。其中,山东省入院患者数涨幅最高,可能带来较大的血液需求。进一步以淄博市部分主要医院患者信息为例,分析临床用血需求。如表 4 所示,2021 年合计住院人次为 258 298,2025 年为 289 589,增长约为 12.11%。同时,在汇总的入院患者数据中,60 岁以上患者占比逐年增加,到 2025 年 60 岁以上患者占比大于 50%。2025 年临床用血患者人次为 43 757,相对于 2021 年增长了 19.16%(表 5)。临床用血患者在住院人次中的占比逐年下降,在 2024 年达到最低为 12.91%,但在 2025 年(占比 15.11%)又有飞速的增加,较 2024 年增长 17.04%;60 岁以上用血患者占比从 2021 年的 57.34% 增加到 2025 年的 65.51%,临床用血需求大多来自老龄人口。另外,2025 年淄博市主要用血医院临床用血量达 49 036 单位,住院患者人均次用量为 0.17 单位,而临床用血患者人均次用量为 1.12 单位,表明未来临床用血将形成持续性的刚性需求压力。

2.4 重度用血患者主要疾病类型分析

临床住院患者统计中,60 岁以上人群需要输血的主要疾病类型包括恶性肿瘤、心血管疾病、血液系统疾病以及重大外科手术等。根据《中国卫生健康统计年鉴》推算出山东省 60 岁以上人口中因癌症、严重血液病、重大手术等需要输血的重症患者占比大约为 2%~2.5%。另外,基于前文的人口预测分析,2030 年山东省 60 岁及以上人口超 2 800 万,需要输血的重症患者人数达到 56 万~70 万人/年,预计将消耗全省 60%~70%的临床用血量。到 2035 年,山东省 60 岁及以上人口超 3 000 万,随着人群进一步老龄化,山东省需要输血的重症患者比例可能升至 2.5%~3%,重症患者人数达到 75 万~90 万人/年,预计消耗全省 65%的临床用血量。

表 3 全国、山东省、淄博市各年度入院患者人次统计

Table 3 Statistics on annual hospital admissions at national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels

	全国入院人次(万人次)	山东省入院人次(万人次)	淄博市入院人次
2020 年	23 012.8	1 340.0	835 437
2021 年	24 731.8	1 490.0	868 270
2022 年	24 686.2	1 484.0	873 671
2023 年	30 187.3	1 864.0	1 072 881
2024 年	31 192.0	1 988.0	1 079 561

注:2025 年全国、山东省、淄博市入院数据未经官方公布,故采用 2020—2024 年五年数据。

表 4 淄博市 2021—2025 年主要医院住院患者年龄分布

Table 4 Statistical analysis of age distribution in major hospitals in Zibo city from 2021 to 2025

	18 周岁以下	18~60 周岁	60 岁以上	合计住院人次	60 岁以上占比(%)
2021 年	27 777	113 316	117 205	258 298	45.38
2022 年	22 023	120 691	122 496	265 210	46.19
2023 年	28 405	132 381	146 877	307 663	47.74
2024 年	25 759	129 120	152 221	307 100	49.57
2025 年	21 630	116 235	151 724	289 589	52.39

除重症患者之外,意外事故导致的临床急性用血需求也是数据分析的一部分。根据山东省公安厅交通管理局发布的年度交通事故统计数据和应急管理部的工伤事故报告进行推算,2030 年山东省总人口(1.01 亿人)中,约有 3 万~5 万人/年发

生严重事故损伤,需要紧急输血;2035 年,随着自动驾驶、安全法规完善,意外事故发生率可能微降,但仍有 2.8 万~4.5 万人/年需要紧急输血。

表 5　淄博市 2021—2025 年主要医院住院用血患者年龄段分布统计分析

Table 5　Statistical analysis of age distribution of inpatients requiring blood transfusion in major hospitals in Zibo city by year from 2021 to 2025

	18 周岁以下	18~60 周岁	60 岁以上	用血患者年度住院人次	用血患者在总住院患者中的占比(%)	60 岁以上用血患者占比(%)
2021 年	654	15 013	21 055	36 722	14.22	57.34
2022 年	810	15 445	21 567	37 822	14.26	57.02
2023 年	684	15 672	25 724	42 080	13.68	61.13
2024 年	593	15 178	23 880	39 651	12.91	60.23
2025 年	337	14 756	28 664	43 757	15.11	65.51

2.5　模型验证与敏感性分析

2.5.1　模型验证

回代验证结果显示,基于 2021—2023 年数据预测 2024 年住院人次的相对误差均控制在 6%以内(表 6),表明线性模型对趋势的拟合与外推具有一定的可靠性。

表 6　回代验证结果(预测 2024 年)

Table 6　Substitution verification results (forecast for 2024)

	预测值(万人次)	实际值(万人次)	相对误差(%)
全　国	31 990.6	31 192	2.56
山东省	1 986.67	1 988	0.07
淄博市	114.29	107.96	5.86

注:三级的 MAPE 为 2.83%,<5%(MAPE < 5%:表示预测精度较高),显示出模型对趋势具有较好的拟合能力。

2.5.2　敏感性分析

模型形式敏感性:针对全国住院患者预测,以线性模型作为主要预测工具(R^2 = 0.769,基于 2021—2024 年数据),显示模型相对稳健。尝试采用二次曲线模型拟合同一数据集,虽然其拟合优度较高(R^2 = 0.969),但因样本量仅 4 个、参数 3 个(自由度 = 1),其较高的 R^2 存在过拟合风险,外推可靠性需保持谨慎态度。因此,本研究以线性模型为主要预测依据,将其预测结果理解为基于有限数据的趋势性判断或方法。

人均用血量参数敏感性:以全国 2035 年预测值为例,当 2025 年人均用血量较基线值(0.076 U,基于 2021—2024 年全国住院患者人均用血量数据线性回归模型拟合下降趋势计算)分别降低 10%和升高 10%时,2035 年血液需求量分别为 4 014 万 U、4 469 万 U 和 4 924 万 U,波动幅度为±10.2%。结果提示,人均用血量的精确估计对预测结论有一定影响,后续需重点监测该指标的变化趋势。

2.6　未来十年临床住院患者用血量和血液需求增长分析

借助 DeepSeek-V3.2 模型,预测 2030 年和 2035 年入院患者数并计算临床血液需求量。2030 年全国、山东省、淄博市临床住院患者血液需求量分别为 39 870 116 U、3 080 880 U 和 143 820 U;2035 年全国、山东省、淄博市临床住院患者血液需求量分别为 50 569 290 U、4 008 312 U 和 181 350 U,如表 7 所示。临床用血量整体呈现上升趋势。随后对 2030 年和 2035 年血液采集量进行计算并与临床血液需求量进行对比,如表 8 所示。2030 年全国、山东省、淄博市的千人口献血率为 16.8‰、17.4‰和 17.6‰;2035 年全国、山东省、淄博市的千人口献血率为 21.9‰、22.9‰和 22.8‰。

表 7　2030 年和 2035 年全国、山东省、淄博市住院患者血液需求分析

Table 7　Analysis of blood demand for inpatients at national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels in 2030 and 2035

	全国			山东省			淄博市		
	入院人次(万人次)	采血需求量(U)	住院患者人均用血量(U)	入院人次(万人次)	采血需求量(U)	住院患者人均用血量(U)	入院人次(万人次)	采血需求量(U)	住院患者人均用血量(U)
2030 年	46 360.6	39 870 116	0.086	3 112.0	3 080 880	0.099	159.8	143 820	0.09
2035 年	58 801.5	50 569 290	0.086	4 048.8	4 008 312	0.099	201.5	181 350	0.09

表 8　2030 年和 2035 年全国、山东省、淄博市血液采集分析

Table 8　Analysis of blood collection at national, provincial (Shandong), and municipal (Zibo) levels in 2030 and 2035

		人口(万人)	血液需求(U)	血液采集(U)	采血人次	千人口献血率(‰)
全国	2030 年	140 000	39 870 116	35 700 000~39 984 000	23 520 000	15~16.8
	2035 年	136 000	50 569 290	50 632 800	29 784 000	21.9
山东省	2030 年	10 075	3 080 880	2 659 800~3 085 368	1 753 050	15~17.4
	2035 年	9 950	4 008 312	4 010 248	2 278 550	22.9
淄博市	2030 年	460	143 820	122 475~143 704	80 960	15~17.6
	2035 年	450	181 350	182 115	102 600	22.8

注:千人口献血率达 15‰为山东省采供血 2030 年("十五五")工作目标。

2.7 山东省“十五五”计划采血情况分析

2026 年山东省无偿献血工作要点指出预计 2030 年全省千人口献血率达 15‰,基于此信息,我们进一步计算 2030 年和 2035 年献血人次,分析适龄人口的献血率达到多少才能满足需求。“十五五”期间(2030 年)以 15‰献血率为标准,山东省和淄博市献血人次预计分别需要达到 1 511 250(人次)和 69 000(人次),适龄人口献血比例预计达到 28.51‰和 28.16‰,相较于 2025 年增长了 42.05%和 20.34%。在“十六五”期间(2035 年),全省千人口献血率预计为 22‰,那么山东省和淄博市的“十六五”献血人次为 2 189 000(人次)和 99 000(人次),适龄人口献血比例预计达到 44.67‰和 44‰,相较于 2025 年增长了 122.57%和 88.03%(表 9~10)。淄博市与其他山东省级区域存在血液供求地域差异。

表 9 2030 年山东省、淄博市适龄人口献血比例分析

Table 9 Analysis of blood donation rates among the eligible population in Shandong Province and Zibo City in 2030

	“十四五”献血率(‰)	“十四五”适龄人口献血比例(‰)	2030 年人口(万人)	“十五五”献血率(‰)	“十五五”要达到的献血人次	“十五五”适龄人口献血比例(‰)
淄博	13.8	23.4	460	15	69 000	28.16
山东	11.5	20.07	10 050~10 100	15	1 511 250	28.51

表 10 2035 年山东省、淄博市适龄人口献血比例分析

Table 10 Analysis of blood donation rates among the eligible population in Shandong Province and Zibo City in 2035

	“十四五”献血率(‰)	“十四五”适龄人口献血比例(‰)	2035 年人口(万人)	“十六五”献血率(‰)	“十六五”要达到的献血人次	“十六五”适龄人口献血比例(‰)
淄博	13.8	23.4	450	22	99 000	44
山东	11.5	20.07	9 900~10 000	22	2 189 000	44.67

3 讨论

中国是世界上年采血量和志愿献血人数最多的国家,近 20 年我国的血液服务已获得了较大的进展。尽管如此,临床治疗对血液的需求仍未得到满足。由于我国人口结构的变化,预计到 2036 年我国血液供应量将比 2016 年下降,而需求量将增加,为了保持全国范围内的血液供需平衡,供应量需要逐年增长[8]。此外,据估计,未来不同地区之间的血液供求差异将会进一步扩大,到 2036 年老年人口比例较高的地区的血液需求将大于供应。这些发现表明,不同地区之间的血液供需不平衡日益严重,需要立即采取战略性和持续性的行动。

临床研究显示,影响献血意愿的因素较多,例如人口老龄化、献血人群性别、教育水平以及流行病的存在均能影响人们对献血的积极性,使得血液采集成为一个复杂且持续存在的问题[9-10]。根据国家卫健委发布的血液采集监测数据,2020—2025 年我国血液采集量呈现显著波动特征,2020 年血液采集量大幅下降,这可能与新冠疫情的流行有关。随后,经过多平台宣传和鼓励措施的施行,全国采血总量得到了明显回升,到 2023 年血液采集量达到最高值,较 2020 年增长 9.7%。从 2023 年起,血液采集量呈现下滑趋势,到 2025 年血液采集量已低于 2021 年(下降了 3.3%),这可能与人口结构变化、青年人群无偿献血意识改变、社会经济的改变有关。

人口老龄化程度加深与适龄青年献血参与度下降均会对临床用血形成巨大的压力。在 2023 年的全国人口数据统计中,我国 60 岁以上老年人口占比突破 21.1%,而适龄献血人群(18~60 岁)在总人口中的占比不足 60%;到 2035 年,全国老年人口数据>30%,达到 WHO 的重度老龄化社会标准,而 18~60 岁人群占比下降 12.2%。这一人口结构变化直接导致住院患者中的老年患者占比增加,而老年慢性病、外科手术、癌症以及意外事故的增加又引起医疗用血的大量增加[11-12]。作为无偿献血的主力军,适龄青年的人口占比逐年降低,血液采集量不足,这极大影响了我国的血液需求与供应的平衡[13-15]。在当前的研究中,以淄博市主要医院为例,2021—2025 年,住院患者中 60 岁以上人群占比年均增长率为 3.64%,用血患者住院人次年均增长 4.48%。老年慢性病患者的持续增加及临床用血患者的增长均促使未来十年我国临床医疗用血的供需矛盾进一步加剧。

值得关注的是,随着科学技术的发展,人工智能(AI)已被应用于医疗保健领域。通过计算机深度学习和计算能力,AI 模型可为自动数据分析和提高临床诊断率提供有效的参考[16-17]。同时,AI

模型可通过融合历史无偿献血数据、区域人口结构、季节性临床用血波动规律及实时社会活动数据,建立动态血液需求预测模型,使采供血机构能够动态调整血液的采集计划,最大限度提升血液资源利用效率[18-19]。Li 等[20]的研究结果显示,AI 模型管理的使用可显著降低每日的红细胞库存水平,降低了血液管理成本和资源浪费,并且不会产生医疗用血短缺的风险,保障了医疗系统血液需求的稳定运行。AI 模型在临床血液供求预测和管理系统中均显示出了较大的潜力。

本研究基于 2020—2024 年共 5 个年度观测点,这一数据基础在时间序列预测中属于小样本情形,其统计推断能力存在固有局限。此外,研究包含了 COVID-19 疫情期间,住院量经历了非典型的起伏波动。这一时期的趋势外推至未来十年,包含一定的不确定性。为部分缓解这一问题,研究采用 2021—2024 年(去除疫情影响明显的 2020 年)的数据计算趋势参数,并通过回代验证和敏感性分析评估了预测结论的稳健性。验证结果表明,模型对 2024 年的回代预测误差在可接受范围内(<6%),提示预测结论对主要假设的变化不敏感。

研究团队将本研究的预测结果定位为趋势性判断或方法而非精确的确定性预测。随着 2025 年及以后年度数据的公布积累(新增第 6、第 7 个及更多观测点),模型可逐步采用二次曲线或更复杂的时间序列方法,精度将不断提高。此外,人均用血量作为影响需求总量的关键参数,其未来变化受临床输血技术进步、患者血液管理推广等因素影响较大,可在后续研究中持续跟踪。

本研究选择使用 DeepSeek-V3. 2 模型对未来十年我国人口结构进行预测,并以此为基础对 2030 年和 2035 年全国、山东省以及淄博市地区的入院患者人数、住院患者血液需求量、血液采集量等数据进行分析。DeepSeek-V3. 2 模型预测结果显示,2030 年和 2035 年全国人口将持续负增长,然而各地 60 岁以上人口占比均超过 30%,人口老龄化问题则持续加重。随后,人口老龄化问题加重所带来的慢性病患者增加和临床用血需求增加也是对采供血系统稳定发展的一个巨大挑战。基于 AI 模型预测的未来人口数,本研究使用线性回归模型预测 2030 年和 2035 年住院患者数和全国血液需求量,结果显示,2030 年和 2035 年全国住院患者人次和血液需求量均有大幅增长。到 2035 年,全国整体血液需求量达到 5 056 万单位,仅山东省 60 岁以上老年人群体(预测>3000 万人)每年就可能产生约 75 万~90 万量级(2. 5%~3%)的重度用血需求人群,这将对血站形成巨大的、持续性的供应压力。为了保持全国范围内的血液供需平衡,血液供应量需要逐年增长,因此需要提高人群献血量。2030 年和 2035 年全国血液采集预计千人口献血率为 16. 8‰和 21. 9‰,山东省预计千人口献血率为 17. 4‰和 22. 9‰,2035 年献血率数据相较于 2025 年几乎翻了一番,增长明显。另外,2026 年山东省无偿献血工作要点指出 2030 年全省千人口献血率预计达到 15‰,以此为标准本研究预测得到的千人口献血率均超过 15‰,2030 年完成此目标可以基本维持临床血液供应的“紧平衡”状态,基本满足临床用血需求。

无偿献血者是血液以及血液制品最安全的来源,青年群体作为无偿献血人群的主要组成部分,其献血行为直接影响血液供应的稳定性与可持续性[21]。当前数据显示,我国 18~35 岁青年群体献血量占总献血量的 50%~70%,但随着人口结构变化及社会认知演变,青年群体占比下降以及其献血意愿的波动均可能对采供血体系产生显著冲击[22-24]。因此,为了满足日益增长的临床用血需求,需要对适龄健康人群献血率进行精准预测并给予鼓励政策以进一步提高适龄青年献血率。根据相关政策,我们以 15‰和 22‰分别作为山东省“十五五”献血率和“十六五”献血率指标进行分析,结果显示,相较于 2025 年,2030 年山东省适龄人口献血比例预计需要达到 28. 51‰(涨幅 42. 05%),2035 年适龄人口献血比例预计为 44. 67‰(增加了 122. 57%)。但山东省适龄人口占比从 2025 年的 57. 3%下降至 2030 年的 53%,到 2035 年适龄人口占比为 49%,与大幅增长的临床用血需求相背离,加剧了血液供需矛盾。如何提高献血人员认知水平和调动适龄青年献血意愿,提高献血率是未来十年无偿献血机构的重要工作难题,这有助于在人口结构变化背景下保障临床用血的长期稳定供应[25-26]。

综上所述,未来十年(2026—2035 年)临床医疗用血的稳定性将受到多重因素的共同影响,包括人口老龄化、慢性病患病率攀升、恶性肿瘤以及外科手术增加等,临床血液需求量逐年上涨。然而,适龄献血人群占比和献血人次却逐年下降。本研究利用 AI 模型预测未来人口结构变化,评估未来临床用血需求,并以此为基础提出减小供血差距的

措施。加强血库和医院的透明度和沟通,提高适龄青年无偿献血认知水平有助于提高无偿献血率,保障医疗用血安全、提升血液资源使用效率。

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 Consent

本研究不涉及伦理审批及知情同意。

作者贡献/Authors' Contribution

江猛:研究方案设计、论文撰写、论文最终版本修订;张寒梅:数据整理、论文撰写;李琳琳:统计分析、论文版本修订;孔健:样本收集、数据整理;王昕、郭敏香:文献查阅、数据整理;梁丞、吴慧:资料收集、数据整理。

[参考文献]

[1] 戴超凡,田苗. 临床用血需求量的动态变化与影响因素分析[J]. 江苏卫生事业管理,2025,36(6):921-924.
DAI C F, TIAN M. Analysis of dynamic changes and influencing factors of clinical blood demand[J]. Jiangsu Healthcare Administration, 2025, 36(6):921-924.

[2] OU-YANG J, BEI CH, HE B, et al. Factors influencing blood donation: a cross-sectional survey in Guangzhou, China[J]. Transfus Med, 2017,27(4):256-267.

[3] 何涛,毛伟,余泽波,等. 临床用血季节性特征分析及未来用血趋势预测[J]. 中国输血杂志,2018,31(11):1277-1280.
HE T, MAO W, YU Z B, et al. Seasonal characteristic analysis of clinic blood consumption and tendency prediction[J]. Chin J Blood Transfusion. 2018,31(11):1277-1280.

[4] 国家卫生和计划生育委员会. 2016 年国家血液安全报告[M]. 北京:人民卫生出版社,2017.
National Health and Family Planning Commission. 2016 National Blood Safety Report[M]. Beijing: People's Medical Publishing House,2017.

[5] 师晓东. 基于血液产品需求预测的血站采血及制备计划研究与实现[D]. 西南交通大学,2024.
SHI X D. Research and realization of blood collection and preparation plan at blood station based on blood product demand forecast[D]. Southwest Jiaotong University, 2024.

[6] LI N, PHAM T, CHENG C, et al. Blood demand forecasting and supply management: an analytical assessment of key studies utilizing novel computational techniques[J]. Transfus Med Rev,2023,37(4):150768.

[7] FARIMAN S K, DANESH K, POURTALEBIYAN M, et al. A robust optimization model for multi-objective blood supply chain network considering scenario analysis under uncertainty: a multi-objective approach[J]. Sci Rep, 2024,14(1):9452.

[8] YU X, WANG Z, SHEN Y, et al. Population-based projections of blood supply and demand, China, 2017-2036[J]. Bull World Health Organ,2020,98(1):10-18.

[9] PIERSMA T W, MERZ E M. (Non-)donor demographics, donation willingness, and the donor career[J]. Transfusion,2019,59(6):1894-1896.

[10] FARIA I, THIVALAPILL N, MAKIN J, et al. Bleeding, hemorrhagic shock, and the global blood supply[J]. Crit Care Clin, 2022,38(4):775-793.

[11] LIN Y M, HO T F, MA C C, et al. Forecasting blood supply and demand under population aging: implications and challenges for healthcare resource allocation[J]. BMC Health Serv Res, 2026,26(1):369.

[12] BASROWI R W, RAHAYU E M, KHOE L C, et al. The road to healthy ageing: what has Indonesia achieved so far?[J]. Nutrients, 2021,13(10):3441.

[13] PING H, XING N. Blood shortages and donation in China[J]. Lancet,2016,387:1905-1906.

[14] ZHU Y, XIE D, WANG X, et al. Challenges and research in managing blood supply in China[J]. Transfus Med Rev, 2017,31:84-88.

[15] 李晨昕,滕五晓. 北京市医疗用血短缺的成因及发展趋势预测[J]. 医学与社会,2019,32(3):6-9,13.
LI C X, TENG W X. Cause and trend forecast of medical blood shortage in Beijing city[J]. Medicine and Society, 2019, 32(3):6-9, 13.

[16] WANG Y, ZHANG W, RAO Q, et al. Forecasting demands of blood components based on prediction models[J]. Transfus Clin Biol, 2024,31(3):141-148.

[17] HAQUE LAMEM M F, SAHID M I. Artificial intelligence in hemovigilance: A narrative review on advancing blood safety and monitoring systems[J]. Digit Health, 2025,11:20552076251406306.

[18] LI N, LEWIN A, NING S, et al. Privacy-preserving federated data access and federated learning: Improved data sharing and AI model development in transfusion medicine[J]. Transfusion, 2025, 65(1):22-28.

[19] 彭荣荣,刘芸男,杨冬燕,等. 临床用血需求的 ARIMA 模型预测[J]. 郑州大学学报(医学版),2019,54(6):874-878.
PENG R R, LIU Y N, YANG D Y, et al. Prediction of clinical blood demand based on the ARIMA model[J]. Journal of Zhengzhou University (Medical Sciences), 2019, 54(6):874-878.

[20] LI N, ARNOLD D M, DOWN D G, et al. From demand

forecasting to inventory ordering decisions for red blood cells through integrating machine learning, statistical modeling, and inventory optimization[J]. Transfusion, 2022,62(1):87-99.

[21] 梁丽华,陈存意,陈超红. 肇庆市适龄人群无偿献血认知情况的调查分析[J]. 中国当代医药,2019,26(36):193-195.
LIANG L H, CHEN C Y, Chen C H. Investigation and analysis on the cognition situation of voluntary blood donation among the age-appropriate population in Zhaoqing city[J]. China Modern Medicine, 2019, 26(36):193-195.

[22] 张莉,李飞. 庆阳市无偿献血现状调查分析[J]. 发展,2021(5):58-59.
ZHANG L, LI F. Investigation and analysis of the current situation of voluntary blood donation in Qingyang City[J]. Developing, 2021(5):58-59.

[23] 褚嘉琪. 宁波:35 岁以下青年成为献血主力军[J]. 健康必读,2025(1):8.
CHU J Q. Ningbo: Youth under 35 become the main force in blood donation[J]. Healthmust-Readmagazine, 2025(1):8.

[24] 陈玉凡,应小祎,洪淑芳. 金华市 2018—2020 年无偿献血情况及人群特征分析[J]. 中国乡村医药,2023,30(11):76-78.
CHEN Y F, YING X W, HONG S F. Analysis of voluntary blood donation and population characteristics in Jinhua City from 2018 to 2020[J]. Chinese Journal of Rural Medicine and Pharmacy, 2023, 30(11):76-78.

[25] CUI W, LUN H, WANG X, et al. Effectiveness of a cognitive intervention in raising awareness of voluntary blood donation among residents in Zibo, China[J]. Medicine (Baltimore), 2025,104(38):e44599.

[26] 国家卫生健康委办公厅, 中央宣传部办公厅, 全国总工会办公厅, 等. 关于进一步做好无偿献血者激励奖励工作的通知[J]. 中华人民共和国国家卫生健康委员会公报,2023(11):22-23.
General Office of the National Health Commission, General Office of the Publicity Department of the CPC Central Committee, General Office of the All-China Federation of Trade Unions, and other relevant departments, et al. Circular on further improving the incentive and reward for voluntary blood donors[J]. Gazette of the Ministry of Health of People's Republic of China, 2023(11):22-23.

(2026-07-06 收稿,07-23 修回,08-04 接收)

本文编辑:李宜博