

1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担趋势分析及预测研究



朱艳平¹, 何望生², 杨文明², 李蒙蒙¹, 龙仕真¹

1. 安徽中医药大学第一临床医学院 (合肥 230031)

2. 安徽中医药大学第一附属医院神经内科 (合肥 230031)

【摘要】目的 分析 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担的时空分布特征及年龄-时期-队列效应, 并预测 2022—2035 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担趋势, 以为制定和调整防控策略提供科学依据。**方法** 利用 2021 年全球疾病负担数据库 (Global Burden of Disease, GBD), 采用 R 4.4.2 软件的贝叶斯年龄-时期-队列 (Bayesian age-period-cohort, BAPC) 模型对 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中的发病率、死亡率及伤残调整寿命年 (disability-adjusted life years, DALYs) 的时间趋势进行分析, 并预测 2022—2035 年疾病负担趋势。**结果** 中国缺血性脑卒中标化发病率由 1990 年的 100.05/10 万升至 135.79/10 万, 增幅达 35.7% [平均年度变化百分比 (average annual percent change, AAPC) = 0.967 7, 95%CI: 0.933 1~1.002 2, $P < 0.01$]; 标化死亡率由 1990 年的 75.22/10 万降至 64.47/10 万, 降幅为 14.3% (AAPC = -0.486 7, 95%CI: -0.747 2~-0.225 6, $P < 0.01$)。全球缺血性脑卒中标化发病率由 1990 年的 109.79/10 万降至 92.39/10 万, 降幅为 15.8% (AAPC = -0.567 3, 95%CI: -0.654 5~-0.480 0, $P < 0.01$); 标化死亡率由 1990 年的 73.15/10 万降至 44.18/10 万, 降幅达 39.6% (AAPC = -1.602 1, 95%CI: -1.809 6~-1.394 2, $P < 0.01$)。中国标化 DALYs 率下降 14.91% (1 387.93/10 万至 1 180.98/10 万), 全球标化 DALYs 率下降 34.90% (1 286.31/10 万至 837.36/10 万)。预测至 2035 年, 全球缺血性脑卒中标化发病率将升至 100.51/10 万, 标化死亡率将降至 39.53/10 万; 中国缺血性脑卒中标化发病率将升至 168.52/10 万, 标化死亡率将降至 52.51/10 万。**结论** 全球与中国的缺血性脑卒中标化发病率呈现明显“反向趋异”现象, 二者标化死亡率及标化 DALYs 率虽均呈现下降趋势, 但降幅具有明显差异性, 中国降幅小于全球, 形成“发散性差异”, 需警惕人口老龄化带来的长期负担及防控措施滞后的风险。未来应加强中国老年人群慢性病筛查与社区健康管理, 同时推动国际经验本土化 (如卒中单元标准化), 以缩小与全球疾病负担的差距, 应对老龄化背景下的缺血性脑卒中防控挑战。

【关键词】 缺血性脑卒中; 疾病负担; 发病率; 死亡率; 伤残调整寿命年

【中图分类号】 R 743 **【文献标识码】** A

Analysis and prediction of disease burden of ischemic stroke in China and globally from 1990 to 2021

ZHU Yanping¹, HE Wangsheng², YANG Wenming², LI Mengmeng¹, LONG Shizhen¹

1. First School of Clinical Medical, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230031, China

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202504072

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金项目 (U22A20366); 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2021A0553)

通信作者: 何望生, 副主任医师, 硕士研究生导师, Email: 13956038577@163.com

2. Department of Neurology, The First Affiliated Hospital of Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230031, China
Corresponding author: HE Wangsheng, Email: 13956038577@163.com

【Abstract】Objective To analyze the spatial and temporal distribution characteristics and age-period-cohort effects of ischemic stroke disease burden in China and globally from 1990 to 2021, and forecast the ischemic stroke disease burden in China and globally from 2022 to 2035, in order to provide scientific basis for formulating and adjusting prevention and control strategies. **Methods** Global Burden of Disease Study 2021 (GBD 2021) and Bayesian age-period-cohort (BAPC) model of R 4.4.2 software were used to analyze time trends in incidence, mortality, and disability-adjusted life years (DALYs) of ischemic stroke in China and globally from 1990 to 2021, and projected disease burden trends from 2022 to 2035. **Results** The standardized incidence of ischemic stroke in China increased from 100.05/100 000 in 1990 to 135.79/100 000, with an increase rate of 35.7% (average annual percent change, AAPC=0.967 7, 95%CI: 0.933 1 to 1.002 2, $P<0.01$). The standardized mortality decreased from 75.22 per 100 000 in 1990 to 64.47 per 100 000, with a reduction rate of 14.3% (AAPC=-0.486 7, 95%CI: -0.747 2 to -0.225 6, $P<0.01$). The standardized incidence of ischemic stroke globally decreased from 109.79/100 000 in 1990 to 92.39/100 000, with a reduction rate of 15.8% (AAPC=-0.567 3, 95%CI: -0.654 5 to -0.480 0, $P<0.01$). The standardized mortality decreased from 73.15 per 100 000 in 1990 to 44.18 per 100 000, with a reduction of 39.6% (AAPC=-1.602 1, 95%CI: -1.809 6 to -1.394 2, $P<0.01$). The standardized DALYs rate in China decreased by 14.91% (from 1 387.93/100 000 to 1 180.98/100 000), and the global standardized DALYs rate decreased by 34.90% (from 1 286.31/100 000 to 837.36/100 000). It is predicted that by 2035, the standardized incidence of ischemic stroke globally will rise to 100.51 per 100 000, and the standardized mortality will drop to 39.53 per 100 000. In China, the standardized incidence of ischemic stroke will rise to 168.52 per 100 000, and the standardized mortality will drop to 52.51 per 100 000. **Conclusion** The standardized incidence of ischemic stroke globally and in China shows a significant "reverse trend". Although both the standardized mortality and standardized DALYs rate have shown a downward trend, the decline rates are significantly different. The decline rate in China is smaller than that globally, forming a "divergent difference". It is necessary to be vigilant about the long-term burden brought by population aging and the risk of lagging prevention and control measures. In the future, chronic disease screening and community health management among the elderly population in China should be strengthened. At the same time, the localization of international experiences (such as the standardization of stroke units) should be promoted to narrow the global disease burden gap and address the challenges of ischemic stroke prevention and control in the context of aging.

【Keywords】 Ischemic stroke; Disease burden; Incidence; Mortality; Disability-adjusted life years

缺血性脑卒中是由脑动脉阻塞引起的脑组织缺血性坏死, 占所有脑卒中病例的 85% 以上, 是全世界致残和死亡的主要原因之一^[1-2]。其高发病率、致残率及死亡率对公众健康构成巨大威胁^[3-4]。在过去的几十年里, 缺血性脑卒中的发病病例持续增加, 特别是给发展中国家和低收入国家带来了较重的疾病负担^[5]。近年来, 随着人口老龄化进程加速与城市化的深入发展, 我国缺血性脑卒中的新发病例数呈现上升的态势, 年龄标准化发病率也呈上升趋势, 对社会医疗保障体系造成巨大压力^[6-7]。然而, 既往研究多聚焦于

短期流行病学特征, 基于横断面数据或短期观察性队列, 缺少对长期趋势及年龄-时期-队列 (age-period-cohort, APC) 效应的系统分析。本研究基于全球疾病负担研究 2021 (Global Burden of Disease Study 2021, GBD 2021) 数据库, 结合 Joinpoint 回归模型与 APC 模型, 分析 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中发病率、死亡率及伤残调整寿命年 (disability adjusted life years, DALYs) 的时空演变规律, 并对 2022—2035 年缺血性脑卒中的疾病负担进行预测^[8]。通过分析 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担

的时空分布特征及年龄-时期-队列效应,揭示缺血性脑卒中疾病负担的长期规律,并对未来趋势进行预测,旨在为制定和调整科学的防控策略提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本研究数据来源于全球健康评估权威机构—美国华盛顿大学健康指标与评估研究所(IHME)发布的GBD 2021数据库^[9-10]。通过全球健康数据交换平台(Global Health Data Exchange, GHDx)系统整合204个国家和地区,及811个次区域的多维度健康信息,并融合371种疾病与88类危险因素的相关数据,构建了涵盖发病率、死亡率、DALYs等关键指标的综合性健康评估体系^[11]。研究采用以下数据筛选标准:疾病类型限定为“ischemic stroke”,选取1990—2021年全球及中国地区的疾病负担数据,分析维度包含全性别、男性、女性三类群体,并覆盖全年龄段、年龄标准化值及20个精细划分的年龄层(从<5岁至≥95岁,每5岁为间隔)的死亡率、发病率与DALYs指标^[12]。病例诊断严格遵循国际统一标准,依据《国际疾病分类》第十一版(ICD-11)进行疾病编码,编码为8B11.0^[13]。预测人口数据采用GBD 2017研究发布的全球标准人口预测数据(2018—2100年),对预测结果进行校准。

1.2 研究方法

1.2.1 趋势分析

本研究基于GBD 2021数据平台及循证医学证据,构建系统性多维分析框架,全面解析1990—2021年间缺血性脑卒中的疾病负担演变规律。通过整合地理分布差异、年龄特异性模式及时间动态特征,采用Joinpoint回归模型联合蒙特卡洛置换检验方法,精确识别发病率与死亡率趋势的统计学拐点,并运用年度变化百分比(annual percentage change, APC)及平均年度变化百分比(average annual percentage change, AAPC)量化疾病负担波动的时空异质性特征^[14-15]。Joinpoint回归模型的方程为:

$$E[y|x] = \beta_0 + \beta_1 x + \delta_1 (x - \tau_1) + \cdots + \delta_k (x - \tau_k)$$

在分段回归分析中,缺血性脑卒中发病率或死亡率为被预测变量(y),年份为预测变量(x)。模型参数包括基线值(β_0)、年度变化率(β_1)

及不同阶段的变化率差异(δ),通过 k 个拐点($\tau_1 - \tau_k$)连接分段线性趋势。通过Joinpoint回归分析软件(v5.3.0.0)执行双尾假设检验($\alpha=0.05$)确定分割点的统计显著性,其核心算法通过迭代计算寻找最优拐点组合,使分段函数与观测数据的拟合优度达到最准。

1.2.2 BAPC模型预测

本研究基于R 4.4.2软件,采用贝叶斯年龄-时期-队列(Bayesian age-period-cohort, BAPC)模型建立疾病趋势预测模型^[16]。BAPC模型为对数线性泊松模型,模型参数通过马尔可夫链蒙特卡洛(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)算法进行50 000次迭代采样,应用Gelman-Rubin诊断准则(收敛阈值 $R < 1.1$)确保参数收敛。利用1990—2021年全球及中国缺血性脑卒中疾病负担数据建立预测模型框架,构建2022—2035年疾病发展趋势预测体系。该预测过程通过R软件的BAPC包和INLA包实现,同时引入滚动时间窗验证策略,动态评估模型在时序数据中的稳健性表现。

1.3 统计学方法

采用Microsoft Excel 2016软件对1990—2021年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担数据进行整理,按照性别和年龄对1990—2021年我国及全球缺血性脑卒中的流行病学及疾病负担进行分层分析。计算变化率公式为变化率=(2021年数值-1990年数值)/1990年数值 $\times 100\%$ 。采用Joinpoint回归模型评估1990—2021年我国及全球缺血性脑卒中发病率、死亡率及DALYs率的AAPC和APC,运用 t 检验进行趋势分析,检验水准 $\alpha=0.05$ 。AAPC >0 表示在相应时间段内缺血性脑卒中发病率、死亡率及DALYs率呈上升趋势,AAPC <0 则表示其呈下降趋势。数据分析使用R 4.4.2软件,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2021年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担情况

缺血性脑卒中发病和死亡人数在中国及全球均呈现随年龄缓慢增长的“偏态单峰分布”升降趋势,且发病人数峰值位于70~74岁,死亡人数峰值位于80~84岁(图1)。女性人群的标化发病率和标化死亡率在中国及全球均呈现年龄依赖

性递增趋势。而中国男性人群的标化发病率和死亡率均随年龄增长呈现出波动性增减趋势,其标化发病率峰值位于 80~84 岁,而后递减;标化死亡率峰值位于 90~94 岁,而后递减。全球男性人群的标化发病率和标化死亡率均随年龄增长而不断增加,但其标化死亡率于 90~94 岁之后增长趋势明显变缓(图 2)。

2.2 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担变化趋势

结果显示,虽然中国与全球的缺血性脑卒中发病人数均明显增多,但二者的标化发病率呈现较为明显的“反向趋异”现象。1990—2021 年间,全球缺血性脑卒中发病人数由 415.19 万例 [95% 不确定性区间 (uncertain interval, UI): 353.68 万~486.82 万] 升至 780.44 万例 (95%UI: 671.98 万~894.37 万),

增幅达 88.0%; 标准化发病率由 109.79/10 万 [95% 置信区间 (confidence interval, CI): 93.56/10 万~127.62/10 万] 降至 92.39/10 万 (95%UI: 79.84 万/10 万~105.82 万/10 万), 降幅为 15.8% (AAPC=-0.567 3, 95%CI: -0.654 5~-0.480 0, $P < 0.01$)。而中国缺血性脑卒中发病人数由 76.12 万例 (95%UI: 62.14 万~93.78 万) 升至 277.21 万例 (95%UI: 229.57 万~331.92 万), 增幅为 264.2%; 标准化发病率由 100.05/10 万 (95%UI: 81.52/10 万~120.91/10 万) 升至 135.79/10 万 (95%UI: 113.25/10 万~159.83/10 万), 增幅为 35.7% (AAPC=0.967 7, 95%CI: 0.933 1~1.002 2, $P < 0.01$)。此外,中国与全球的缺血性脑卒中死亡人数均明显增多,二者标化死亡率虽均呈现下降趋势,但降幅具有明显差异,中国降幅小于全球,形成“发散性差异”。全球缺血性脑卒中死亡人数由 231.71 万

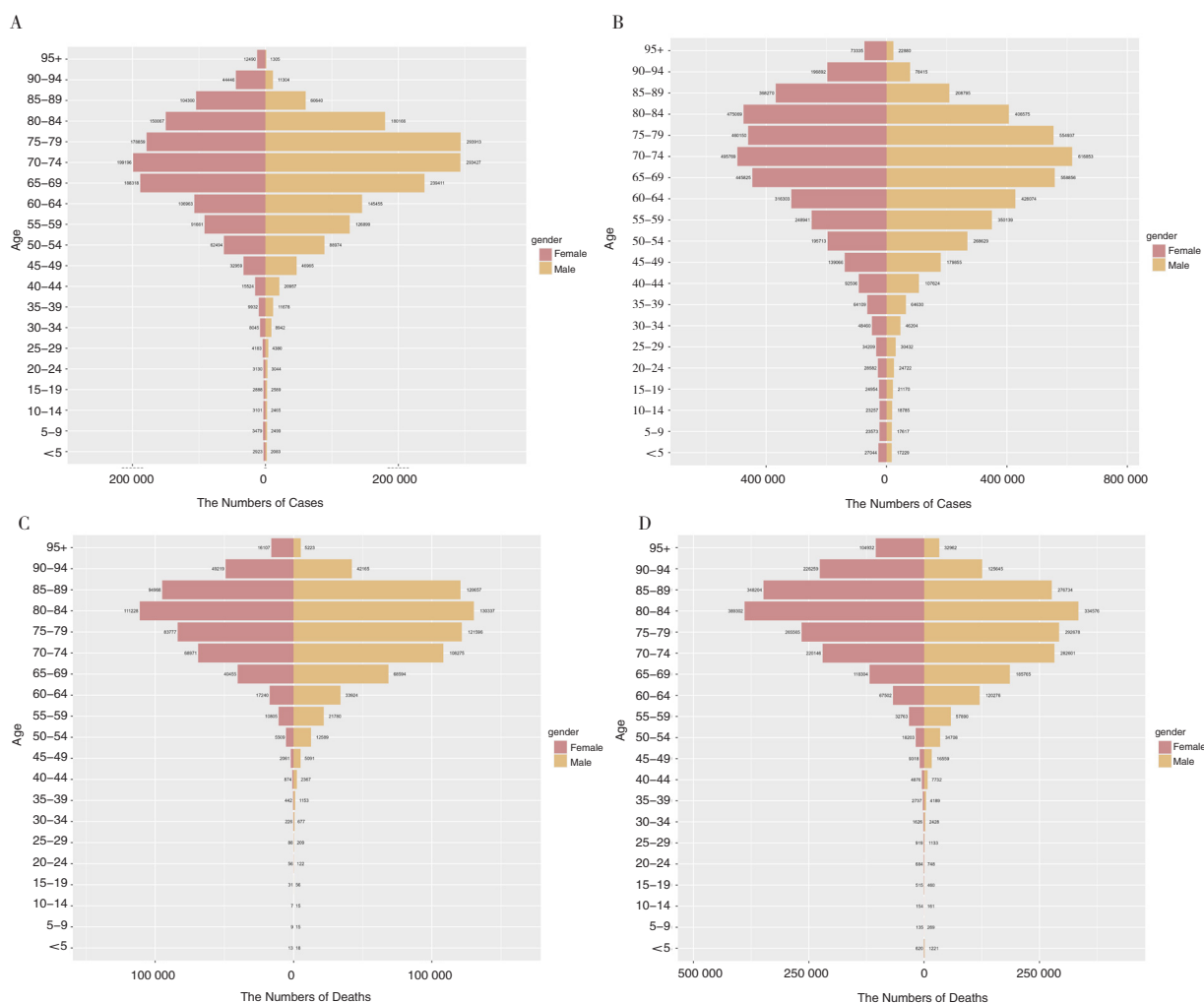


图1 2021年中国及全球缺血性脑卒中发病人数与死亡人数

Figure 1. The number of cases and deaths of ischemic stroke in China and globally in 2021

注: A. 2021年中国缺血性脑卒中发病人数; B. 2021年全球缺血性脑卒中发病人数; C. 2021年中国缺血性脑卒中死亡人数; D. 2021年全球缺血性脑卒中死亡人数。

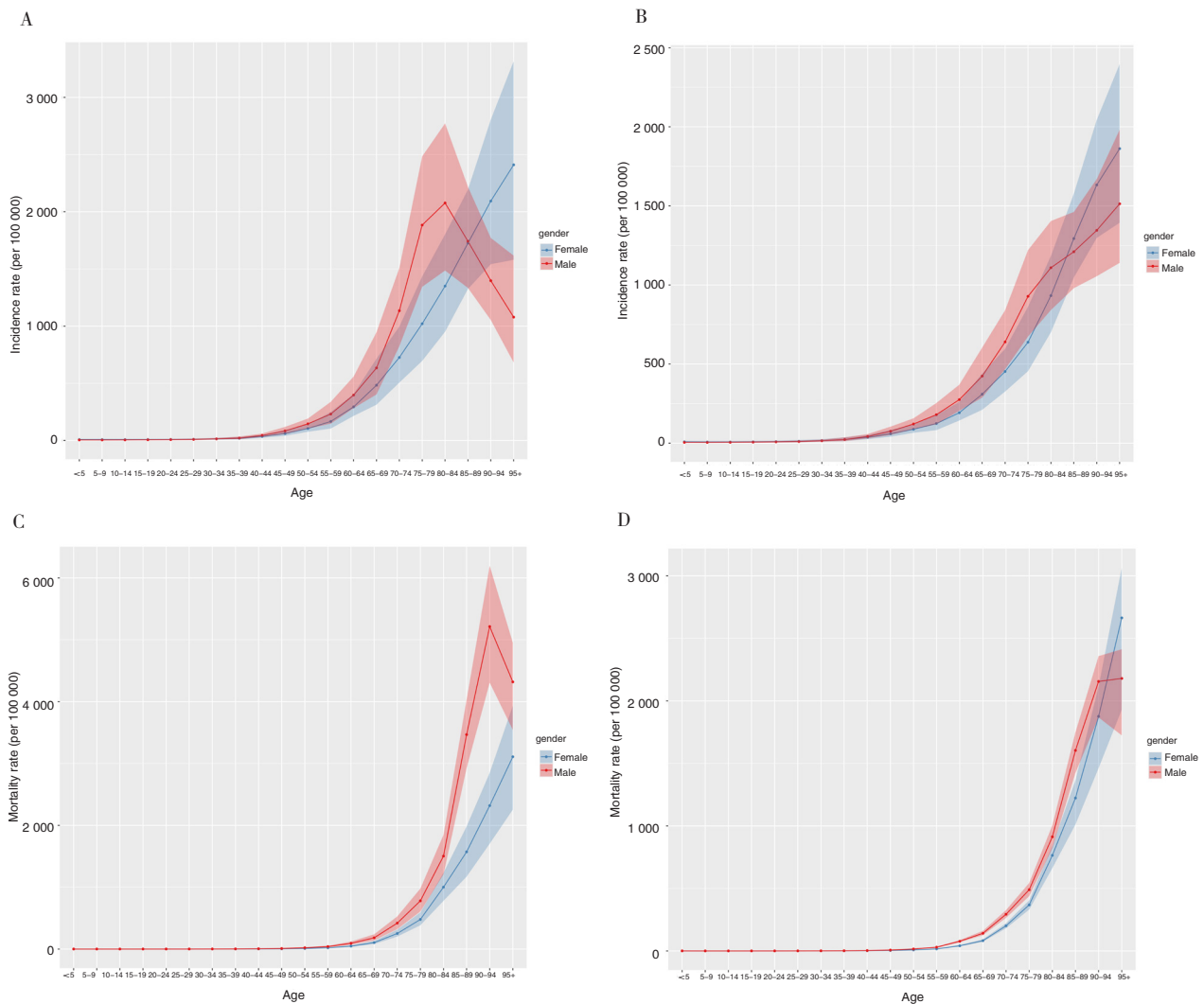


图2 2021年中国及全球缺血性脑卒中发病率与死亡率

Figure 2. The incidence and mortality of ischemic stroke in China and globally in 2021

注：A. 2021年中国缺血性脑卒中发病率；B. 2021年全球缺血性脑卒中发病率；C. 2021年中国缺血性脑卒中死亡率；D. 2021年全球缺血性脑卒中死亡率。

例（95%UI：213.15万~247.56万）增至359.15万例（95%UI：321.33万~388.83万），增幅为55.0%；标准化死亡率从73.15/10万（95%UI：66.36/10万~77.94/10万）降至44.18/10万（95%UI：39.29/10万~47.81/10万），降幅为39.6%（AAPC=-1.602 1，95%CI：-1.809 6~-1.394 2， $P < 0.01$ ）。而中国缺血性脑卒中死亡人数由42.80万例（95%UI：36.23万~50.64万）增至117.70万例（95%UI：98.69万~137.27万），增幅达175.0%；标准化死亡率从75.22/10万（95%UI：64.48/10万~88.23/10万）降至64.47/10万（95%UI：54.03/10万~74.82/10万），降幅为14.3%（AAPC=-0.486 7，95%CI：-0.747 2~-0.225 6， $P < 0.01$ ）（表1）。

Joinpoint 回归分析显示，1990—2021 年全球标化发病率呈现阶段性波动特征，表现为初期稳步下降（1990—2015 年）、中期短暂反弹（2015—2019 年）、后期再度下行（2019—2021 年）的三阶段动态演变（AAPC=-0.567 3， $P < 0.01$ ）；全球标化死亡率则保持单一下降轨迹（AAPC=-1.602 1， $P < 0.01$ ）。1990—2021 年中国标化发病率则表现为先升（1990—2019 年）后降（2019—2021 年）的二阶段变化（AAPC=0.967 7， $P < 0.01$ ）；中国标化死亡率则表现为多次升降交替波动模式，先降（1990—1998 年）、后升（1998—2004 年）、再降（2004—2007 年）、再升（2007—2010 年）、再降（2010—2021 年）的五阶段变化（AAPC=-0.486 7， $P < 0.01$ ）（图3）。

表1 1990—2021年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担状况
Table 1. Disease burden of ischemic stroke in China and globally from 1990 to 2021

指标	1990年			2021年		
	女性	男性	总体	女性	男性	总体
中国						
发病例数 (万)	36.23	39.89	76.12	122.50	154.71	277.21
(95% UI)	(29.65~44.26)	(32.15~49.40)	(62.14~93.77)	(100.90~147.34)	(126.94~188.42)	(229.57~331.90)
标化发病率 (1/10万)	91.25	110.06	100.05	114.93	157.38	135.79
(95% CI)	(75.16~108.95)	(89.54~134.17)	(81.52~120.91)	(95.48~135.80)	(130.6~188.87)	(113.25~159.83)
死亡例数 (万)	20.68	22.12	42.80	50.21	67.49	117.70
(95% UI)	(17.24~24.86)	(17.82~27.76)	(36.23~50.64)	(39.58~61.67)	(53.81~83.12)	(98.69~137.27)
标化死亡率 (1/10万)	65.28	90.97	75.22	48.58	88.32	64.47
(95% CI)	(54.24~78.46)	(75.13~111.27)	(64.48~88.23)	(38.15~59.77)	(71.73~107.19)	(54.03~74.82)
DALYs (万人年)	466.37	526.25	992.61	984.75	1 358.30	2 343.04
(95% UI)	(401.71~554.15)	(427.72~653.62)	(851.01~1,165.62)	(812.87~1,186.05)	(1 100.203~1 639.23)	(1 991.90~2 693.39)
标化DALYs率 (1/10万)	1 221.12	1 619.76	1 387.93	921.94	1 518.49	1 180.98
(95% CI)	(1 047.23~1 440.62)	(1 339.76~1 981.58)	(1 188.74~1 621.40)	(760.75~1 107.52)	(1 243.01~1 819.06)	(1 009.70~1 356.67)
全球						
发病例数 (万)	214.09	201.11	415.20	378.20	402.24	780.45
(95% UI)	(182.64~250.09)	(169.63~236.52)	(353.68~486.82)	(325.36~433.620)	(344.46~466.69)	(671.98~894.37)
标化发病率 (1/10万)	102.87	117.02	109.79	82.85	102.77	92.39
(95% CI)	(87.94~119.63)	(99.3~136.42)	(93.56~127.62)	(71.31~94.81)	(88.65~118.80)	(79.84~105.82)
死亡例数 (万)	130.97	100.75	231.71	181.28	177.87	359.15
(95% UI)	(119.45~139.48)	(92.27~110.77)	(213.15~247.56)	(157.30~200.13)	(161.18~196.29)	(321.33~388.83)
标化死亡率 (1/10万)	69.89	76.50	73.15	38.54	51.16	44.18
(95% CI)	(62.93~74.40)	(70.09~83.14)	(66.36~77.94)	(33.46~42.53)	(46.21~56.22)	(39.29~47.81)
DALYs (万人年)	2 429.56	2 188.03	4 617.62	3 335.05	3 700.74	7 035.79
(95% UI)	(2 255.12~2 605.27)	(2 006.34~2 411.92)	(4 296.20~4 941.46)	(2 977.59~3 665.33)	(3 358.11~4 065.97)	(6 432.96~7 600.71)
标化DALYs率 (1/10万)	1 199.95	1 383.23	1 286.31	719.52	975.30	837.36
(95% CI)	(1 105.61~1 284.13)	(1 267.48~1 510.01)	(1 195.19~1 376.06)	(642.82~791.64)	(885.61~1 069.81)	(763.73~904.98)

注：DALYs, disability adjusted life years, 伤残调整寿命年；UI, uncertain interval, 不确定性区间；CI, confidence interval, 置信区间。

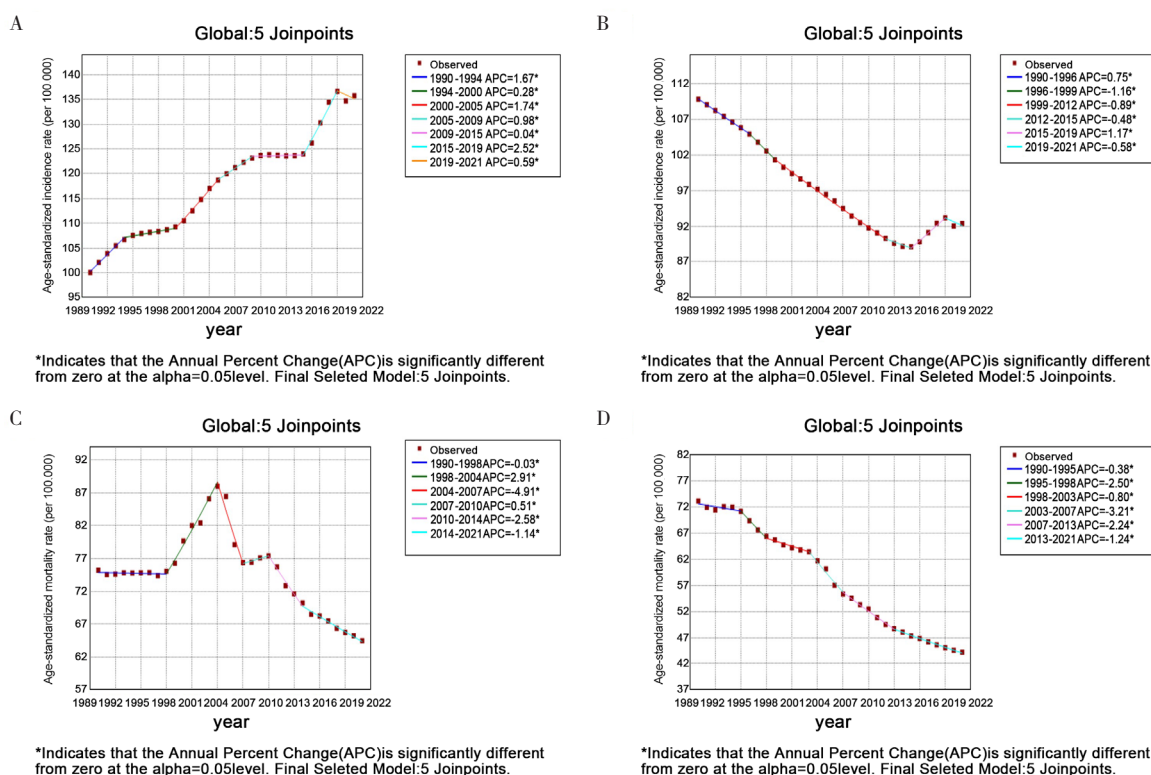


图3 1990—2021年中国及全球缺血性脑卒中标准化发病率与标准化死亡率变化趋势

Figure 3. The changing trends of standardized incidence and mortality of ischemic stroke in China and globally from 1990 to 2021

注：A. 1990—2021年中国缺血性脑卒中疾病标准化发病率变化趋势；B. 1990—2021年全球缺血性脑卒中疾病标准化发病率变化趋势；C. 1990—2021年中国缺血性脑卒中疾病标准化死亡率变化趋势；D. 1990—2021年全球缺血性脑卒中疾病标准化死亡率变化趋势。APC，annual percent change，年度变化百分比。*表示对应时期的年龄标准化率变化具有统计学意义（ $P < 0.05$ ）。

此外，缺血性脑卒中在中国与全球的疾病负担均表现出较明显的性别差异，男性群体的标准化发病率、标准化死亡率和均系统性高于女性（表1）。

标化 DALYs 率评估结果从健康负担角度佐证了区域间的异质性分布特征，1990—2021年间，中国标化 DALYs 率下降 14.91%（1 387.93/10 万至 1 180.98/10 万），全球标化 DALYs 率下降 34.90%（1 286.31/10 万至 837.36/10 万）（表1）。

2.3 2022—2035年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担预测情况

本研究预测模型显示，至 2035 年，全球缺血性脑卒中年龄标准化发病率将达 100.51/10 万（较基准年增长 8.8%），同期年龄标准化死亡率预计下降至 39.53/10 万（降幅达 10.5%）。中国疾病负担将呈现更为明显的变化趋势，年龄标准化发病率预测值升至 168.52/10 万（24.1% 相对增幅），明显高于全球平均水平，而年龄标准化死亡率则降至 52.51/10 万（降幅 18.6%）（图4）。

3 讨论

本研究利用 GBD 2021 数据库，采用标化发病率、标化死亡率、标化 DALYs 率和 AAPC 对 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中的疾病负担趋势进行分析。结果显示，中国与全球的缺血性脑卒中标准化发病率呈现较为明显的“反向趋异”现象，中国缺血性脑卒中标准化发病率呈上升趋势，全球缺血性脑卒中标准化发病率则呈下降趋势。两者标准化发病率的差异可能源于多维度因素的综合作用，有研究证据表明，环境细颗粒物（PM_{2.5}，空气动力学直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ）可以通过血脑屏障、嗅觉系统、肠脑轴等多种途径进入大脑发挥神经毒性，导致神经发育障碍及中枢神经系统损伤^[17]。另外有研究发现，PM_{2.5} 暴露与缺血性脑卒中发病风险呈正相关关系，随着大气 PM_{2.5} 值不断降低，归因于 PM_{2.5} 的缺血性脑卒中疾病负担不断下降^[18-19]。而各国环境 PM_{2.5} 值暴露的趋势存在显著差异，发达国家的

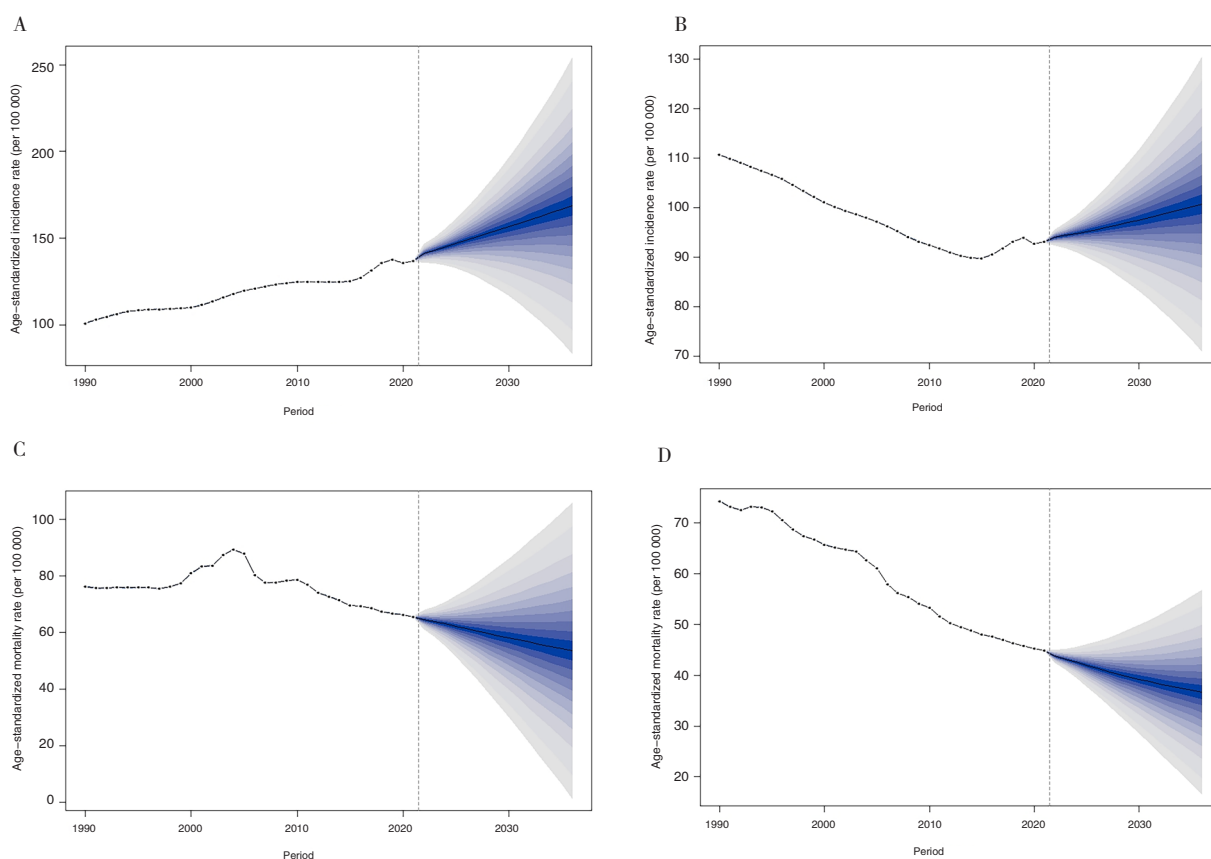


图4 中国及全球缺血性脑卒中标准化发病率与标准化死亡率预测

Figure 4. Prediction of standardized incidence and mortality of ischemic stroke in China and globally

注：A. 中国缺血性脑卒中疾病标准化发病率预测；B. 全球缺血性脑卒中疾病标准化发病率预测；C. 中国缺血性脑卒中疾病标准化死亡率预测；D. 全球缺血性脑卒中疾病标准化死亡率预测。

环境 PM_{2.5} 暴露量较低，欠发达国家或中等发达国家的环境 PM_{2.5} 暴露量较高，这可能导致中国及全球的缺血性脑卒中标准化发病率表现出差异性^[20]。其次，缺血性脑卒中筛查的普及差异也可能是导致中国与全球差异的原因之一^[21]。

中国与全球的标准化死亡率、标准化 DALYs 率虽均呈现下降趋势，但降幅具有明显差异，中国降幅小于全球，形成“发散性差异”。这种差异可能源于社会健康系统多维度失衡：人口结构转型速率与公共卫生体系建设存在时序错配，导致高危人群规模增长与防控能力提升不同步；慢性病管理效能与疾病谱变化需求间形成张力，关键风险因素干预滞后于疾病负担增长；区域医疗资源分布梯度差异持续影响救治技术的可及性，形成急救—康复服务链的断裂带；此外，健康数据采集标准性与监测体系的完备性差异，也可能影响真实的疾病负担分布特征^[22]。这种系统性失衡提示，需要建立多级预防机制、优化急救服务体系、构建全周期健康管理路径，并推进循证决策支持系统的智能化升级，从而破解

慢性病防控中的结构性问题^[23]。

此外，中国及全球的缺血性脑卒中疾病负担表现出较为明显的年龄依赖性与性别相关性。发病人数和死亡人数表现为随年龄缓慢增长的“偏态单峰分布”趋势，发病人数峰值位于 70~74 岁，死亡人数峰值位于 80~84 岁。女性人群的标准化发病率和标准化死亡率在中国及全球均呈现年龄依赖性递减趋势。而中国男性人群的标准化发病率和死亡率均随年龄增长呈现出波动性增减趋势，全球男性人群的标准化发病率和标准化死亡率均随年龄增长不断增加，但其增长趋势于 90~94 岁之后明显变缓。这种性别差异可能反映了生物学与社会建构因素在疾病自然史中的动态作用^[24]。研究发现，雌激素赋予了绝经前女性更强的脑血管保护作用，这种保护作用会随着绝经后年龄的增长而减弱，这也解释了中国及全球女性缺血性脑卒中发病率随年龄递增的生理基础^[25]。男性雄激素则呈现“双刃剑”效应，具体表现为男性雄激素通过增强 NF- κ B 介导的小胶质细胞炎症反应，可能

加剧青壮年期缺血性脑卒中风险,但随年龄增长出现睾酮水平下降,又可能部分抵消其促炎效应,使得中国男性发病率呈现波动特征^[26]。此外,X染色体剂量补偿效应使女性免疫应答更具优势,但也可能增加自身免疫性缺血性脑卒中的易感性,形成性别特异性疾病谱分布^[27]。社会建构因素可能进一步放大了生物学差异,有研究显示,中国男性吸烟率(50.5%)明显高于女性(2.1%),长期烟草暴露通过神经毒素直接损伤血脑屏障,可能导致中年男性发病风险的异常波动^[28-29]。而女性因绝经后对慢性病管理的依从性更高,部分延缓了死亡率攀升速度。这提示需要根据性别建立针对性的健康干预策略,特别是在危险因素控制窗口期选择、共病管理优先级确定及康复服务体系构建等方面实施差异化干预。

模型预测数据表明我国未来缺血性脑卒中的疾病负担仍处于较高水平,防控工作形势依然严峻。中国缺血性脑卒中发病率预计持续攀升的重要因素包括人口老龄化加速、环境PM2.5暴露的滞后效应,以及慢性病管理效能区域性失衡等。人口老龄化进程加速使得老年健康问题日益突出,心脑血管疾病等慢性病高发^[30]。有研究表明,PM2.5污染的滞后效应被证实与缺血性脑卒中死亡率呈正相关关系,环境污染可以导致缺血性脑卒中老年人超额死亡风险大大增加^[31]。此外,慢性病管理效能区域性失衡,医疗资源配置不均导致高危人群防控效果参差。在此背景下,加快转变健康领域发展模式,开展全生命周期健康照护服务十分有必要^[32]。未来可能进一步受气候变暖诱发血液黏稠度增加风险^[33]、电子烟流行提前发病年龄等因素影响^[34],因此亟需通过PM2.5源头治理、数字健康预警及精准康复干预重构防控范式,以应对“老龄化-环境-医疗资源”的三重压力。为破解这一困局,有必要实施“风险窗口期-精准干预”策略,建立慢性病一体化管理系统,优化公共卫生资源配置,向老年慢性病领域倾斜,为病人提供全程健康管理服务,实现各级医疗机构资源的高效利用^[34-35]。

本研究存在一定局限性:国际数据异质性可能影响可比性;人口结构调整会弱化老龄化效应,需辅以粗率分析;数据更新延迟及模型假设限制预测信度;政策干预的滞后效应需进行动态评估,如健康中国战略的慢性病防控成效需长期追踪验证。

参考文献

- 1 Chidambaram SB, Rathipriya AG, Mahalakshmi AM, et al. The influence of gut dysbiosis in the pathogenesis and management of ischemic stroke[J]. *Cells*, 2022, 11(7): 1239. DOI: [10.3390/cells11071239](https://doi.org/10.3390/cells11071239).
- 2 Yi Y, Liu Z, Wang M, et al. Penumbra in acute ischemic stroke[J]. *Curr Neurovasc Res*, 2021, 18(5): 572-585. DOI: [10.2174/1567202619666211231094046](https://doi.org/10.2174/1567202619666211231094046).
- 3 魏思源, 吴曦, 吴智鑫, 等. 急性缺血性脑卒中(风痰阻络证)患者发生AGI的危险因素与短期预后的临床研究[J]. *中国中医急症*, 2025, 34(3): 425-428. [Wei SY, Wu X, Wu ZX, et al. Clinical study on risk factors for AGI and short-term prognosis in patients with acute ischemic stroke (pattern of wind-phlegm obstructing collateral)[J]. *Journal of Emergency in Traditional Chinese Medicine*, 2025, 34(3): 425-428.] DOI: [10.3969/j.issn.1004-745X.2025.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-745X.2025.03.010).
- 4 Tang L, Yin Y, Liu H, et al. Blood-brain barrier-penetrating and lesion-targeting nanoplatforms inspired by the pathophysiological features for synergistic ischemic stroke therapy[J]. *Adv Mater*, 2024, 36(21): e2312897. DOI: [10.1002/adma.202312897](https://doi.org/10.1002/adma.202312897).
- 5 Xia X, Yue W, Chao B, et al. Prevalence and risk factors of stroke in the elderly in Northern China: data from the National Stroke Screening Survey[J]. *J Neurol*, 2019, 266(6): 1449-1458. DOI: [10.1007/s00415-019-09281-5](https://doi.org/10.1007/s00415-019-09281-5).
- 6 夏达建, 谢云芳, 张冬梅, 等. 1982—2021年中国缺血性脑卒中死亡趋势及年龄-时期-队列效应分析[J]. *现代预防医学*, 2025, 52(4): 590-596, 607. [Xia DJ, Xie YF, Zhang DM, et al. Analysis of mortality trends and age-period-cohort effects of ischemic stroke in China, 1982-2021[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2025, 52(4): 590-596, 607.] DOI: [10.20043/j.cnki.MPM.202408469](https://doi.org/10.20043/j.cnki.MPM.202408469).
- 7 Ma Q, Li R, Wang L, et al. Temporal trend and attributable risk factors of stroke burden in China, 1990-2019: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet Public Health*, 2021, 6(12): e897-e906. DOI: [10.1016/S2468-2667\(21\)00228-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00228-0).
- 8 王前友, 赵博轩, 王文安. 1990—2019年中国缺血性脑卒中发病和死亡趋势及年龄-时期-队列模型分析[J]. *中华全科医学*, 2024, 22(6): 1059-1063. [Wang QY, Zhao BX, Wang WA. Analysis of trend and age-period-cohort model on ischemic stroke incidence and mortality from 1990 to 2019 in China[J]. *Chinese Journal of General Practice*, 2024, 22(6): 1059-1063.] DOI: [10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.003566](https://doi.org/10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.003566).
- 9 GBD 2021 Fertility and Forecasting Collaborators. Global fertility in 204 countries and territories, 1950-2021, with forecasts to 2100: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2057-2099. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)00550-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00550-6).
- 10 杨丰一, 曹海军. 2000—2021年中国对外卫生援助规模、渠道、区域和领域分析[J]. *中国公共卫生*, 2023, 39(11): 1469-1474. [Yang FY, Cao HJ. Scale, channels, regions and fields of China's development assistance for health from 2000 to 2021: a published data-and documents-based analysis[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2023, 39(11): 1469-1474.] DOI: [10.11847/](https://doi.org/10.11847/)

- zggs1143522.
- 11 GBD 2021 Causes of Death Collaborators. Global burden of 288 causes of death and life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2100–2132. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)00367-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00367-2).
 - 12 杨雅娜, 罗羽. 社区护士灾害应对能力评价指标体系的构建研究[J]. *护理研究*, 2010, 24(10): 855–858. [Yang YN, Luo Y. Study on construction of evaluation index system for disaster preparedness and coping capacity of community nurses[J]. *Chinese Nursing Research*, 2010, 24(10): 855–858.] DOI: [10.3969/j.issn.1009-6493.2010.10.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6493.2010.10.004).
 - 13 Harrison JE, Weber S, Jakob R, et al. ICD-11: an international classification of diseases for the twenty-first century[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2021, 21(Suppl 6): 206. DOI: [10.1186/s12911-021-01534-6](https://doi.org/10.1186/s12911-021-01534-6).
 - 14 Ahad A, Fatima E, Sultan W, et al. Patterns in mortality associated with heart failure and lung cancer among older adults in the United States: An analysis of 20 years[J]. *Int J Cardiol Cardiovasc Risk Prev*, 2024, 24: 200353. DOI: [10.1016/j.ijcrp.2024.200353](https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2024.200353).
 - 15 于洗河, 曹鹏, 贾欢欢, 等. 1990—2019 年我国及不同 SDI 水平国家和地区高血压性心脏病疾病负担比较分析[J]. *中国卫生经济*, 2021, 40(6): 54–57. [Yu XH, Cao P, Jia HH, et al. Comparative Analysis of the Burden of Hypertensive Heart Disease in China and Countries with Different SDI Levels from 1990 to 2019[J]. *Chinese Health Economics*, 2021, 40(6): 54–57.] <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/ChVQZXJpb2RpY2FsQ0hJMjAyNTA2MjJlSD3pnd3NqajlwMjEwNjAxMxola3lndnY3OTg%3D>
 - 16 Ju W, Zheng R, Zhang S, et al. Cancer statistics in Chinese older people, 2022: current burden, time trends, and comparisons with the US, Japan, and the Republic of Korea[J]. *Sci China Life Sci*, 2023, 66(5): 1079–1091. DOI: [10.1007/s11427-022-2218-x](https://doi.org/10.1007/s11427-022-2218-x).
 - 17 Liu XQ, Huang J, Song C, et al. Neurodevelopmental toxicity induced by PM2.5 Exposure and its possible role in Neurodegenerative and mental disorders[J]. *Hum Exp Toxicol*, 2023, 42: 9603271231191436. DOI: [10.1177/09603271231191436](https://doi.org/10.1177/09603271231191436).
 - 18 葛锡泳, 陆艳, 王临池, 等. 2012—2021 年归因于大气 PM2.5 的苏州市脑卒中早死寿命损失分析[J]. *职业与健康*, 2023, 39(24): 3313–3317. [Ge XY, Lu Y, Wang LC, et al. Analysis on life loss of stroke early death attributed to atmospheric PM2.5 in Suzhou City from 2012 to 2021[J]. *Occupation and Health*, 2023, 39(24): 3313–3317.] DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2023.0632](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2023.0632).
 - 19 Chen Z, Liu P, Xia X, et al. The underlying mechanism of PM2.5-induced ischemic stroke[J]. *Environ Pollut*, 2022, 310: 119827. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.119827](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119827).
 - 20 Sang S, Chu C, Zhang T, et al. The global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter in 204 countries and territories, 1990—2019: a systematic analysis of the global burden of disease study 2019[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2022, 238: 113588. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2022.113588](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113588).
 - 21 曾泽延, 余龙, 秦旺, 等. 一种基于多普勒超声与神经网络的脑缺血风险评估方法[J]. *医用生物力学*, 2024, 39(4): 706–711. [Zeng ZY, Yu L, Qin W, et al. A cerebral ischemia risk assessment method based on doppler ultrasound and neural network[J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2024, 39(4): 706–711.] DOI: [10.16156/j.1004-7220.2024.04.020](https://doi.org/10.16156/j.1004-7220.2024.04.020).
 - 22 刘玉莲, 许才明, 孟雪晖. 中医医疗资源配置效率及空间自相关分析[J]. *卫生经济研究*, 2022, 39(10): 35–39. [Liu YL, Xu CM, Meng XH. Allocation efficiency and spatial auto-correlation analysis of traditional Chinese medicine resources[J]. *Health Economics Research*, 2022, 39(10): 35–39.] DOI: [10.14055/j.cnki.33-1056/f.2022.10.007](https://doi.org/10.14055/j.cnki.33-1056/f.2022.10.007).
 - 23 刘昭, 陈敏霞, 申斗, 等. 医防融合背景下卒中高危人群防治策略优化与体系建设[J]. *中国卒中杂志*, 2025, 20(3): 270–276. [Liu Z, Chen MX, Shen D, et al. Optimization and system construction of prevention and treatment strategies for high-risk populations of stroke under the background of integration of medical care and prevention[J]. *Chinese Journal of Stroke*, 2025, 20(3): 270–276.] DOI: [10.3969/j.issn.1673-5765.2025.03.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5765.2025.03.002).
 - 24 周业勤. 社会建构视域下养老需求的治理创新[J]. *江苏社会科学*, 2025, (2): 123–131, 243. [Zhou YQ. Governance innovation of elderly care needs from the perspective of social construction[J]. *Jiangsu Social Sciences*, 2025, (2): 123–131, 243.] DOI: [10.13858/j.cnki.cn32-1312/c.20250324.002](https://doi.org/10.13858/j.cnki.cn32-1312/c.20250324.002).
 - 25 Rexrode KM, Madsen TE, Yu AYY, et al. The impact of sex and gender on stroke[J]. *Circ Res*, 2022, 130(4): 512–528. DOI: [10.1161/CIRCRESAHA.121.319915](https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.319915).
 - 26 Gasbarrino K, Di Iorio D, Daskalopoulou SS. Importance of sex and gender in ischaemic stroke and carotid atherosclerotic disease[J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(6): 460–473. DOI: [10.1093/eurheartj/ehab756](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab756).
 - 27 陈小舒, 陈家璧. 动物性染色体剂量补偿[J]. *遗传*, 2025, 47(2): 200–210. [Chen XS, Chen JB. Dosage compensation of sex chromosomes in animals[J]. *Hereditas*, 2025, 47(2): 200–210.] DOI: [10.16288/j.ycz.24-165](https://doi.org/10.16288/j.ycz.24-165).
 - 28 李天一, 郑渊杰, 滕熠, 等. 1990—2021 年全球及中国肺癌疾病负担变化趋势及因素分解[J]. *中国肿瘤*, 2025, 34(5): 355–367. [Li TY, Zheng YJ, Teng Y, et al. Trends and Decomposition of Disease Burden for Lung Cancer Worldwide and in China from 1990 to 2021[J]. *China Cancer*, 2025, 34(5): 355–367.] DOI: [10.11735/j.issn.1004-0242.2025.05.A005](https://doi.org/10.11735/j.issn.1004-0242.2025.05.A005).
 - 29 张蓓, 张郑, 任浩, 等. 母亲分娩前后吸烟与后代精神疾病关系的孟德尔随机化研究[J]. *中国心理卫生杂志*, 2025, 39(3): 207–214. [Zhang B, Zhang Z, Ren H, et al. A Mendelian randomization study of relationship between maternal smoking around birth and offspring psychiatric disorders[J]. *Chinese Mental Health Journal*, 2025, 39(3): 207–214.] DOI: [10.3969/j.issn.1000-6729.2025.03.03](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6729.2025.03.03).
 - 30 姜辉. 高压氧治疗技术在老年疾病康复与保健中的应用[J]. *中华保健医学杂志*, 2025, 27(2): 186–191. [Jiang H. Application of hyperbaric oxygen therapy technology in geriatric rehabilitation and healthcare[J]. *Chin J Health Care Med*, 2025, 27(2): 186–191.] DOI: [10.3969/j.issn.1674-3245.2025.02.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-3245.2025.02.002).

- 31 尹春苗, 张莹, 杨涵. 2014—2016 年成都市多种污染物对心脑血管疾病死亡人数的影响研究 [J]. 成都信息工程大学学报, 2024, 39(5): 618–625. [Yin CM, Zhang Y, Yang H. The effects of multiple pollutants on cardiovascular mortality in Chengdu during 2014—2016[J]. Journal of Chengdu University Of Information Technology, 2024, 39(5): 618–625.] DOI: [10.16836/j.cnki.jcuit.2024.05.015](https://doi.org/10.16836/j.cnki.jcuit.2024.05.015).
- 32 王昭茜, 贺晓迎. 全生命周期社区健康照护服务的供给困境、运行机制与优化路径 [J]. 西北大学学报 (哲学社会科学版), 2025, 55(3): 133–144. [Wang ZQ, He XY. Supplying dilemmas, operational mechanisms, and optimization pathways of community health care across the whole-life cycle[J]. Journal of Northwest University (Philosophy and Social Science Edition), 2025, 55(3): 133–144.] DOI: [10.16152/j.cnki.xdxbsk.2025-03-012](https://doi.org/10.16152/j.cnki.xdxbsk.2025-03-012).
- 33 Ogoh S, Sato K, Okazaki K, et al. Blood flow distribution during heat stress: cerebral and systemic blood flow[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2013, 33(12): 1915–1920. DOI: [10.1038/jcbfm.2013.149](https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.149).
- 34 陈友兰, 伍啸青, 林艺兰, 等. 2017—2022 年福建省厦门市居民急性心脑血管疾病监测结果 [J]. 现代疾病预防控制, 2024, 35(7): 518–522. [Chen YL, Wu XQ, Lin YL, et al. Surveillance of acute cardiovascular and cerebrovascular diseases events in Xiamen, Fujian, 2017—2022[J]. Modern Disease Control and Prevention, 2024, 35(7): 518–522.] DOI: [10.13515/j.cnki.hnjpm.1006-8414.2024.07.008](https://doi.org/10.13515/j.cnki.hnjpm.1006-8414.2024.07.008).
- 35 程卓卓, 张睿, 胡娇, 等. 老年人慢性病共病与日常生活活动能力受损的关联研究 [J/OL]. 中国全科医学. (2025–05–07). [Cheng ZZ, Zhang R, Hu J, et al. Study on the association between multiple chronic conditions and impaired activities of daily living in the elderly[J/OL]. Chinese General Practice. (2025–05–07).] https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=w3MPIJRjtYGjftvTd_4envY6n32H-Y61tUa9BvCEcOPVbCTCI_Fb76lvogNnf-TRZfG3SSCvugwmPjUYaVFgeFJj8PprtV61Ag43Nm7xKYTVQfsDp56T5btwT-B0HSQkzuELo0AC3lSe2r8pxSxi-cJnZ4P65Jt_BJZ-2E5445usI-6XRBZK4g==&uniplatform=NZKPT&language=CHS

收稿日期: 2025 年 04 月 20 日 修回日期: 2025 年 05 月 28 日

本文编辑: 沈力 黄笛

引用本文: 朱艳平, 何望生, 杨文明, 等. 1990—2021 年中国及全球缺血性脑卒中疾病负担趋势分析及预测研究 [J]. 数理医药学杂志, 2025, 38(11): 800–810. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202504072](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202504072).

Zhu YP, He WS, Yang WM, et al. Analysis and prediction of disease burden of ischemic stroke in China and globally from 1990 to 2021 [J]. Journal of Mathematical Medicine, 2025, 38(11): 800–810. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202504072](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202504072).