

1990—2021 年中日美归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担及其预测分析

方岚希^{1,2)}, 刘冠林^{1,2)}, 杨宇航²⁾, 赵德龙²⁾, 戴琬宸²⁾, 孟 琼¹⁾

(1)昆明医科大学公共卫生学院, 云南 昆明 650500;

2)昆明医科大学第一临床医学院, 云南 昆明 650032)

[摘要] 目的 分析 1990—2021 年中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担及其变化趋势, 并预测 2022 年—2036 年的趋势。方法 利用 2021 年全球疾病负担数据库(global burden of disease, GBD 2021), 提取归因于高钠饮食的高血压肾病的年龄标准化死亡率(age-standardized mortality rates, ASMR)和年龄标准化伤残调整寿命年率(age-standardized disability-adjusted life year rates, ASDALYR)。采用预计年度百分比变化(estimated annual percentage change, EAPC)和Joinpoint 回归模型分析历史趋势, 并使用贝叶斯年龄-时期-队列(bayesian age-period-cohort, BAPC)模型预测未来疾病负担。结果 全球归因于高钠饮食的高血压肾病 ASMR 和 ASDALYR 总体呈显著上升趋势, EAPC 分别为 0.58(95%CI: 0.53 ~ 0.62)和 0.32(95%CI: 0.28 ~ 0.37), 分层分析提示男性 ASDALYR 差异有统计学意义(EAPC=0.44, 95%CI: 0.39 ~ 0.48)。在中日美三国比较中, 中国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 负担最重, 但呈下降趋势, EAPC 分别为-1.35(95%CI: -1.43 ~ -1.27)和-1.26(95%CI: -1.36 ~ -1.16), 且其女性下降更为显著。日本的疾病负担较轻, 且 ASMR 和 ASDALYR 下降趋势最为显著, EAPC 分别为-1.72(95%CI: -2.01 ~ -1.42)和-2.02(95%CI: -2.26 ~ -1.79), 其中女性下降趋势更显著。美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 呈上升趋势, EAPC 分别为 4.68(95%CI: 4.40 ~ 4.97)和 4.72(95%CI: 4.38 ~ 5.50), 且男性上升趋势显著高于女性。Joinpoint 分析显示, 全球女性和中国男性和女性的 ASDALYR 均是在 2004 年出现下降转折, 而日本早在 1995 年后即呈现下降趋势。BAPC 模型预测显示, 2022—2036 年, 中国与日本的男性和女性的 ASDALYR 均呈稳步下降趋势。其中, 中国男、女性该指标将分别从 24.65/10 万、14.06/10 万降至 23.38/10 万、13.46/10 万; 日本男、女性该指标则分别从 9.47/10 万、3.03/10 万降至 8.56/10 万、2.55/10 万。美国该指标则呈现出性别不一致, 男性 ASDALYR 预计从 22.53/10 万轻微下降至 22.10/10 万, 而女性则从 8.34/10 万持续上升至 9.34/10 万。结论 全球归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担总体尚未得到有效控制, 且存在显著的国家 and 性别差异。严格控制钠摄入是防治高血压肾病的关键潜在靶点, 各国应借鉴日本的有效经验, 制定精准的防控策略。

[关键词] 高血压肾病; 高钠饮食; 疾病负担; 伤残调整寿命年; 预测分析

[中图分类号] R181.3; R541.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095-610X(2026)06-0023-10

Disease Burden of Hypertensive Nephropathy Attributable to High Sodium Diet in China, Japan, and the United States During 1990—2021 and Its Predictive Analysis

FANG Lanxi^{1,2)}, LIU Guanlin^{1,2)}, YANG Yuhang²⁾, ZHAO Delong²⁾, DAI Wanchen²⁾, MENG Qiong¹⁾

(1) School of Public Health, Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650500; 2) The First Clinical School of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650032, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the disease burden and trends of hypertensive nephropathy attributed to

[收稿日期] 2025-11-05

[基金项目] 国家自然科学基金(82560663)

[作者简介] 方岚希(2004~), 男, 云南曲靖人, 在读本科生。刘冠林与方岚希对本文有同等贡献。

[通信作者] 孟琼, E-mail: mengqiong@kmmu.edu.cn

high sodium diet in China, Japan, and the United States from 1990 to 2021, and to project trends from 2022 to 2036. **Methods** Data were extracted from the 2021 Global Burden of Disease (GBD 2021) database, including age-standardized mortality rates (ASMR) and age-standardized disability-adjusted life year rates (ASDALYR) for hypertensive nephropathy attributed to high sodium diet. Estimated annual percentage change (EAPC) and Joinpoint regression models were used to analyze historical trends, while the Bayesian age-period-cohort (BAPC) model was employed to project future disease burden. **Results** Globally, ASMR and ASDALYR for hypertensive nephropathy attributed to high sodium diet showed significant upward trends, with EAPC of 0.58 (95%CI: 0.53 to 0.62) and 0.32 (95%CI: 0.28 to 0.37), respectively. Stratified analysis revealed statistically significant differences in ASDALYR among males (EAPC = 0.44, 95%CI: 0.39 to 0.48). Among the three countries, China bore the heaviest disease burden, though with a declining trend (EAPC: -1.35 [95%CI: -1.43 to -1.27] for ASMR and -1.26 [95%CI: -1.36 to -1.16] for ASDALYR), with more pronounced decline in females. Japan had the lightest disease burden with the most significant declining trends (EAPC: -1.72 [95%CI: -2.01 to -1.42] for ASMR and -2.02 [95%CI: -2.26 to -1.79] for ASDALYR), particularly among females. The United States showed upward trends (EAPC: 4.68 [95%CI: 4.40 to 4.97] for ASMR and 4.72 [95%CI: 4.38 to 5.50] for ASDALYR), with males showing significantly higher increases than females. Joinpoint analysis revealed that ASDALYR declined after 2004 globally in females and in both sexes in China, while Japan demonstrated declining trends after 1995. BAPC projections for 2022 to 2036 indicated that ASDALYR in both males and females in China and Japan would show steady decreases, with rates declining from 24.65 per 100,000 and 14.06 per 100,000 to 23.38 per 100,000 and 13.46 per 100,000 in Chinese males and females, respectively, and from 9.47 per 100,000 and 3.03 per 100,000 to 8.56 per 100,000 and 2.55 per 100,000 in Japanese males and females, respectively. The United States showed sex-specific divergence, with male ASDALYR slightly declining from 22.53 per 100,000 to 22.10 per 100,000, while female rates continued to increase from 8.34 per 100,000 to 9.34 per 100,000. **Conclusion** The global disease burden of hypertensive nephropathy attributed to high sodium diet remains inadequately controlled with significant national and gender disparities. Strict sodium intake control represents a key potential intervention target for preventing hypertensive nephropathy. Countries should adopt effective strategies from Japan's experience and develop precision-based prevention and control measures.

[**Key words**] Hypertensive kidney disease; Sodium dietary; Global burden of disease; Disability-adjusted life year; Predictive analysis

慢性高血压肾病(chronic kidney disease due to hypertension)是指由持续性高血压所引起的肾脏小动脉硬化及肾小球硬化,继而导致肾脏结构和功能发生进行性损害的一类疾病。其特征性表现为蛋白尿和肾小球滤过率进行性下降,最终可进展至终末期肾病^[1]。作为仅次于糖尿病肾病的全球终末期肾病的第二大病因^[2],高血压肾病已成为全球范围内重大的公共卫生问题。2021 年全球报告的高血压肾病现患病例数 2400 万,较 1990 年增长了 108.90%;新发病例数 128 万,较 1990 年增长了 176.38%^[3]。这表明全球范围内高血压肾病的危害仍在持续增加,探寻行之有效的防控策略刻不容缓。在高血压肾病的众多危险因素中,高钠饮食的作用尤为关键。其核心机制在于诱发水钠潴留,增加机体容量负荷,从而驱动血压升高;长期作用则导致持续性高血压,进而引发肾

脏的损伤^[4]。值得注意的是,近年来高钠饮食在部分地区的疾病负担归因分值出现显著波动^[5],这提示了其作为一种可干预因素的特性,因此,严格控制钠摄入可能是防治高血压肾病的一个关键潜在靶点。

由华盛顿大学健康指标与评估研究所主导的全球疾病负担(global burden of disease, GBD)研究,是一项持续更新的全球健康项目。该研究整合了医院记录、人口普查、流行病学调查及国际合作研究等多元数据源,并采用统计模型进行交叉验证,从而显著降低了单一数据来源可能带来的偏倚风险^[6]。本研究数据来自 GBD 2021 数据库,涵盖了 1990—2021 年间的全球健康数据,提供包括发病率、患病率、死亡率、伤残调整寿命年(disability-adjusted life year, DALY)在内的多维度健康指标。相较于其他数据库,其突出优势在于

直接提供年龄标准化指标,有效消除人口年龄结构差异,确保了不同地区、不同性别之间健康比较的准确性和公平性。

基于GBD研究数据,研究者们开展了多种高血压相关的疾病负担研究。然而,现有针对全球和中国高血压肾病疾病负担的分析多局限于发病趋势的描述,或仅简单罗列其所有危险因素,缺乏对高钠饮食这一具体、可干预因素的深入探讨;同时,针对美国、日本高血压肾病的特定分析更为缺乏。因此,本研究旨在利用GBD 2021数据,系统分析归因于高钠饮食的高血压肾病在中国、日本和美国不同性别中的疾病负担与变化趋势,并预测其未来15年的发展,以期为该病的精准防治和卫生资源优化配置提供最新的科学依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本研究的疾病负担数据来源于GBD 2021数据库(<https://vizhub.healthdata.org/gbd-results>),构建预测模型时使用到的人口学数据来自华盛顿大学健康指标与评估研究所(<https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/global-population-forecasts-2017-2100>)。为开展分析,本研究从GBD 2021数据库中提取了1990—2021年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病相关数据。具体步骤如下:在"GBD Results Tool"界面中,于"GBD Estimate"下选择"Risk";在"Measure"下依次选择"DALYs"和"Deaths";在"Metric"下选择"Number"和"Rate";在"Risk"下选择"High sodium diet";在"Cause"下选择"Hypertensive kidney disease";在"Location"下选择"Global"、"China"、"Japan"和"United States";在"Age"下选择"All ages"及"Age-standardized";在"Sex"下选择"Female"、"Male"和"Both";在"Year"下选择1990—2021年的全部年份;最后点击"Download"获取数据。相关研究已获得华盛顿大学机构审查委员会的伦理批准,并被授予豁免获取知情同意(<https://www.healthdata.org/research-analysis/gbd>)。

1.2 疾病定义与疾病负担评价指标

GBD 2021数据库根据国际疾病分类第10版(international classification of diseases-10, ICD-10)对慢性肾脏疾病进行了分类,与慢性肾脏疾病相关的ICD-10代码包括:D63.1、E10.2、E11.2、E12.2、E13.2、E14.2、I12~I13.9、N02~N08.8、

N15.0、N18~N18.9、Q61~Q62.8。其中,I12特指由高血压引起的慢性肾病,这些代码确保了数据的准确性和一致性。

患病率、发病率、死亡率等是传统的疾病负担评价指标,而DALY是世界卫生组织(World Health Organization, WHO)于1993年新提出的综合健康指标,其通过量化过早死亡导致的寿命损失(year of life lost, YLL)和伤残状态下的生存时间(year lived with disability, YLD),为评估疾病负担提供了标准化方法。目前,DALY已成为全球卫生政策制定和成本效益评估的核心指标,为资源配置和公共卫生干预措施的优先排序提供了重要依据。然而,在本研究中,由于比较对象涵盖全球、中国、日本和美国等不同地区的全体居民,其人口年龄结构存在差异,对于DALY这类随时间推移具有年龄特异性的指标,若直接比较其粗率,容易导致误导性结论。因此,为消除年龄这一混杂因素的影响,本研究采用年龄标准化率进行分析,其具体计算公式如下^[7]:

年龄标准化率= Σ (各年龄组实际率 $\times$ 标准人口年龄组占比);

通过年龄标准化,可以消除不同地区人口年龄结构差异的影响,从而有效比较不同年龄构成人群的年龄特异性流行病学和人口学比率集^[7]。本研究直接采用GBD 2021提供的年龄标准化死亡率(age-standardized mortality rate, ASMR)和年龄标准化伤残调整寿命年率(age-standardized disability-adjusted life year rate, ASDALYR)来评估归因于高钠饮食的高血压肾病的疾病负担。

1.3 统计学分析

1.3.1 预计年度百分比变化 预计年度百分比变化(estimated annual percentage change, EAPC)是评估疾病负担指标(如发病率、死亡率和DALY率)随时间变化趋势的重要参数。在本研究中,采用了EAPC分析1990—2021年间归因于高钠饮食的高血压肾病ASMR和ASDALYR的动态变化趋势。具体计算方法为:首先对观测率的自然对数(ln)与时间变量进行线性回归拟合,然后基于回归模型的斜率(β)计算EAPC值,其公式表达如下:

$$\hat{y} = \alpha + \beta x + \varepsilon;$$

$$\text{EAPC} = 100 \times (\exp(\beta) - 1)。$$

其中: x 为年份(时间变量); y 为观测率(如ASMR或ASDALYR)的自然对数; α 为回归截距; β 为

回归斜率,反映年均变化趋势; ε 为随机误差项。EAPC 的 95% 置信区间(confidence interval, CI)也通过该回归模型计算得出。趋势的判定依据如下:若 95%CI 的下限大于 0,则为上升趋势;若上限小于 0,则为下降趋势;若 95%CI 包含 0,则表明该趋势无统计学意义^[8-9]。

1.3.2 连接点回归模型 本研究采用连接点回归模型(Joinpoint)对ASDALYR 进行时间趋势分析,该模型通过分段线性回归识别疾病负担趋势中的阶段性变化特征^[10]。具体而言,使用 Joinpoint 5.3.0.0 软件,以 DALY 数据拟合对数线性模型,并通过蒙特卡罗置换检验筛选具有统计学意义的最优联结点模型。基于此最佳模型,计算 ASDALYR 的年度变化百分比(annual percentage change, APC)、平均年度变化百分比(average annual percentage change, AAPC)及其 95%CI。 $P < 0.05$ 时表示差异具有统计学意义,当 APC、AAPC 及其 95%CI 大于 0 时表示呈上升趋势,小于 0 则表示下降趋势。

1.3.3 贝叶斯年龄-时期-队列模型 贝叶斯年龄-时期-队列(Bayesian age-period-cohort, BAPC)模型是基于贝叶斯统计框架下的一种预测模型,其广泛应用于疾病负担的未来预测中,具有较其他单因素预测模型更优越的性能,模型表示如

下^[11]:

$$n_{ij} = \log(\lambda_{ij}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k;$$

其中: λ_{ij} 表示病例数, μ 表示截距, α_i 、 β_j 和 γ_k 表示年龄、时期和队列的影响。本研究中,为了预测 2022—2036 年归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担,使用 R 软件(版本 4.4.1)进行了 BAPC 建模分析,使用到的相关 R 包为“INLA_24.06.27”和“BAPC_0.0.36”。

2 结果

2.1 全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担的 EAPC 分析

中国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 均最大,按性别分层来看,中国男性和女性归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 均高于全球平均水平。而日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 均低于全球平均水平,见表 1。结果发现,1990—2021 年间,全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 两者变化趋势基本一致,不同性别的负担变化趋势也保持一致。其中,全球归因于高钠

表 1 1990—2021 年中日美归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR、ASDALYR 变化趋势(1/10 万)
Tab. 1 Trends in ASMR and ASDALYR of hypertensive nephropathy attributable to high sodium diet in China, Japan, and the United States, 1990—2021 (per 100,000)

项目	ASMR			ASDALYR		
	1990	2021	EAPC(95%CI)	1990	2021	EAPC(95%CI)
全球						
总体	0.58	0.67	0.58 (0.53 ~ 0.62)	14.46	15.75	0.32(0.28 ~ 0.37)
男性	0.80	0.93	0.62 (0.57 ~ 0.67)	19.19	21.32	0.44 (0.39 ~ 0.48)
女性	0.42	0.48	0.37 (0.33 ~ 0.42)	10.72	11.00	0.06 (0.00 ~ 0.11)
中国						
总体	0.98	0.75	-0.8(-0.87 ~ -0.74)	24.42	18.65	-0.80(-0.89 ~ -0.72)
男性	1.26	1.06	-0.46(-0.54 ~ -0.37)	29.32	24.18	-0.50(-0.59 ~ -0.41)
女性	0.8	0.54	-1.35(-1.43 ~ -1.27)	20.67	14.04	-1.26(-1.36 ~ -1.16)
日本						
总体	0.44	0.28	-1.72(-2.01 ~ -1.42)	9.98	5.85	-2.02(-2.26 ~ -1.79)
男性	0.66	0.45	-1.38(-1.65 ~ -1.11)	14.63	9.41	-1.71(-1.94 ~ -1.48)
女性	0.30	0.15	-2.45(-2.75 ~ -2.15)	6.67	3.02	-2.84(-3.07 ~ -2.61)
美国						
总体	0.19	0.67	4.68(4.40 ~ 4.97)	4.15	14.42	4.72(4.38 ~ 5.05)
男性	0.28	1.01	4.93(4.63 ~ 5.24)	5.34	21.77	5.32(4.91 ~ 5.73)
女性	0.16	0.40	3.58(3.35 ~ 3.81)	3.48	8.19	3.19(2.97 ~ 3.41)

饮食的高血压肾病 ASMR 和 ASDALYR 总体呈轻微上升趋势, EAPC 分别为 0.58 (95%CI: 0.53 ~ 0.62) 及 0.32 (95%CI: 0.28 ~ 0.37), 但全球女性 ASDALYR 的变化趋势不显著, EAPC 为 0.06 (95%CI: 0 ~ 0.11), 而全球男性 ASDALYR 的变化趋势显著, EAPC 为 0.44 (95%CI: 0.39 ~ 0.48); 美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 呈快速上升趋势, EAPC 分别为 4.68

(95%CI: 4.4 ~ 4.97) 及 4.72 (95%CI: 4.38 ~ 5.05); 中国和日本归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 均呈现下降趋势, 针对 ASMR, 中国和日本 EAPC 分别为 -0.8 (95%CI: -0.87 ~ -0.74) 和 -1.72 (95%CI: -2.01 ~ -1.42); 针对 ASDALYR, 中国和日本 EAPC 分别为 -0.8 (95%CI: -0.89 ~ -0.72) 和 -2.02 (95%CI: -2.26 ~ -1.79), 见表 1、图 1。

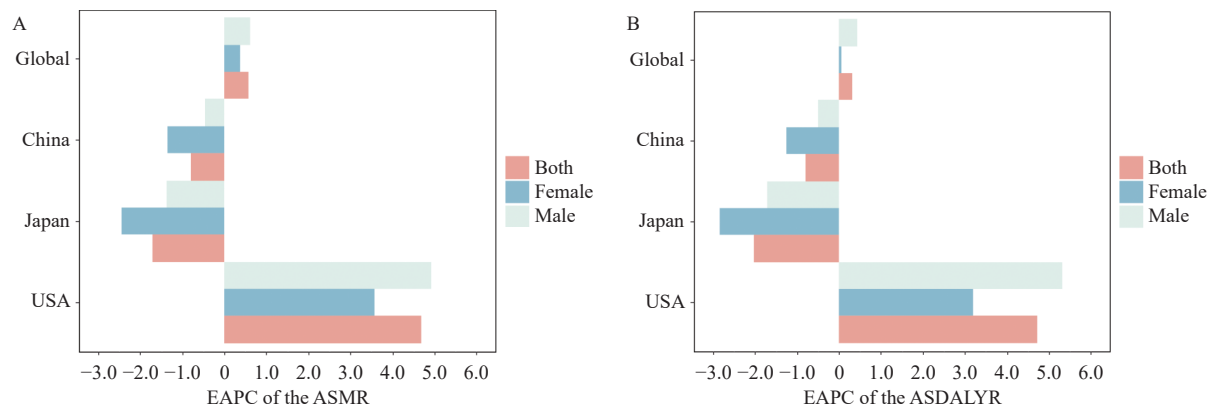


图 1 1990—2021 年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR、ASDALYR 变化趋势

Fig. 1 Trends in ASMR and ASDALYR of hypertensive nephropathy attributable to high sodium diet in global, China, Japan, and USA, 1990—2021

A: ASMR 变化趋势; B: ASDALYR 变化趋势。

2.2 全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病 Joinpoint 分析

1990—2021 年间, 全球归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 比较稳定, 有略微的上升趋势, AAPC 为 0.28 (95%CI: 0.21 ~ 0.34; $P < 0.001$); 中国和日本 ASDALYR 呈现下降趋势, AAPC 分别为 -0.90 (95%CI: -1.04 ~ -0.76; $P < 0.001$) 和 -1.79 (95%CI: -2.10 ~ -1.47; $P < 0.001$); 美国的 ASDALYR 呈快速上升趋势, AAPC 为 4.16 (95%CI: 3.83 ~ 4.50; $P < 0.001$)。按性别分层看, 男性和女性 1990—2021 年间 ASDALYR 的 AAPC 分别为 4.66 (95%CI: 4.22 ~ 5.10; $P < 0.001$) 和 2.79 (95%CI: 2.53 ~ 3.06; $P < 0.001$), 可见男性 ASDALYR 的上升趋势显著高于女性, 并于 2015 年后超过全球平均 ASDALYR 水平, 见表 2、图 2。

进一步按时间段分析发现: 部分时间区段内的 APC 具有统计学意义 ($P < 0.05$), 其中全球女性、中国男性和中国女性归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASDALYR 均在大约 2004 年后这一时间节点后呈现下降趋势, 2004—2007 年全球女性、中国男性和中国女性的 APC 依次为 -0.96 ($P < 0.05$)、-2.88 ($P < 0.05$) 及 -3.29 ($P < 0.05$); 而日本

表 2 1990—2021 年中日美归因于高钠饮食的高血压肾病 Joinpoint 回归分析结果

Tab. 2 Joinpoint regression analysis of hypertensive nephropathy attributable to high-sodium diet in the global, China, Japan and USA from 1990 to 2021

项目	AAPC	95%CI		P
		下限	上限	
全球				
总体	0.28	0.21	0.34	< 0.001***
男性	0.34	0.25	0.44	< 0.001***
女性	0.08	0.02	0.13	< 0.01**
中国				
总体	-0.90	-1.04	-0.76	< 0.001***
男性	-0.66	-0.9	-0.42	< 0.001***
女性	-1.26	-1.45	-1.07	< 0.001***
日本				
总体	-1.79	-2.10	-1.47	< 0.001***
男性	-1.48	-1.79	-1.17	< 0.001***
女性	-2.54	-3.01	-2.06	< 0.001***
美国				
总体	4.16	3.83	4.50	< 0.001***
男性	4.66	4.22	5.10	< 0.001***
女性	2.79	2.53	3.06	< 0.001***

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ 。

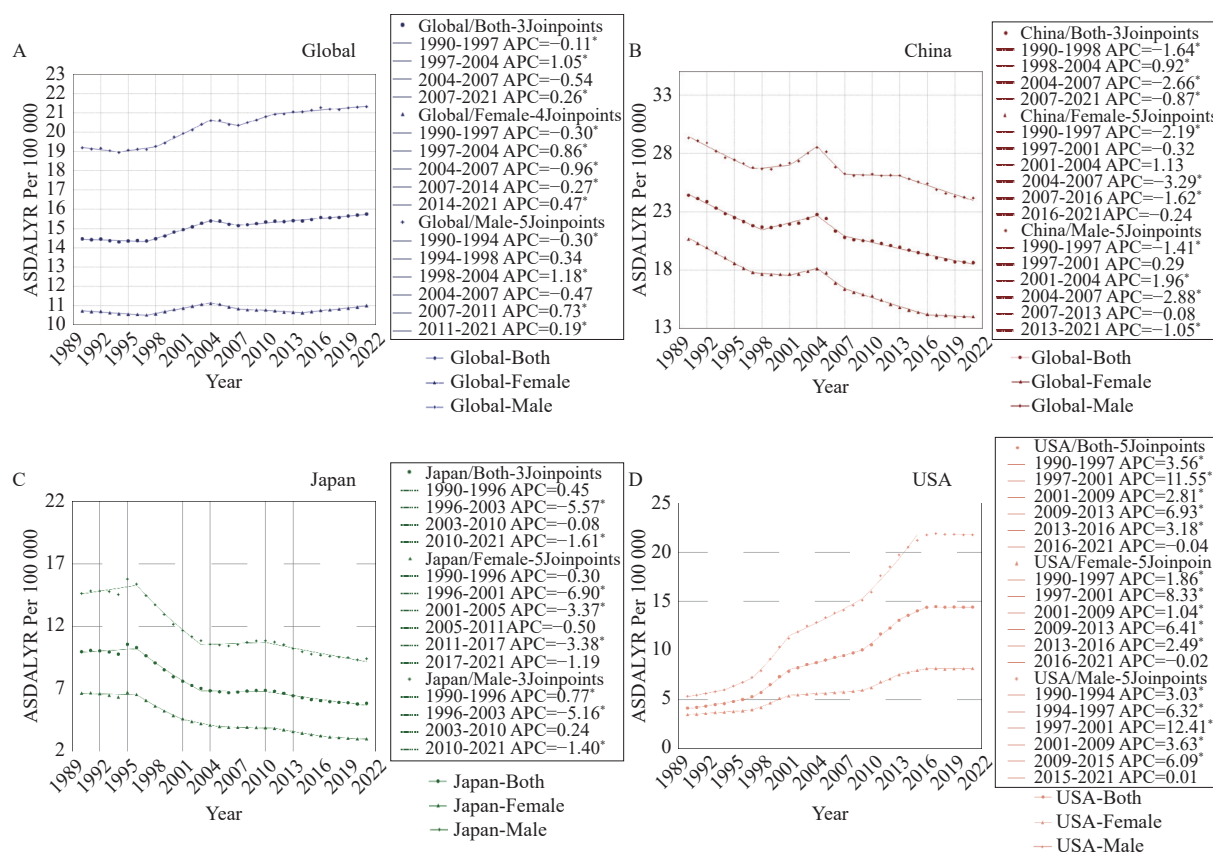


图 2 1990—2021 年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病 Joinpoint 分析

Fig. 2 Joinpoint regression analysis of hypertensive nephropathy attributable to high-sodium diet in the global, China, Japan and USA from 1990 to 2021

A: 全球; B: 中国; C: 日本; D: 美国; * $P < 0.05$ 。

早在约 1995 年后就呈现下降趋势, 1996—2003 年日本的 APC 为 $-5.57(95\%CI: -6.32 \sim -4.8; P < 0.001)$, 见图 2。

2.3 2022—2036 年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担预测

不同性别上看, 2022—2036 年全球的男性、女性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 均呈现上升趋势, 分别从 2022 年的 21.55/10 万和 11.09/10 万升至 2036 年的 21.95/10 万和 11.53/10 万; 美国女性 ASDALYR 也呈现上升趋势, 从 8.34/10 万升至 9.33/10 万, 而美国男性 ASDALYR 保持稳定, 甚至呈现出轻微的下降趋势(22.53/10 万降至 22.10/10 万)。2022—2036 年, 中国和日本的女性 ASDALYR 均呈稳步下降趋势。中国男性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 从 24.65/10 万降至 23.38/10 万, 中国女性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 从 14.06/10 万降至 13.46/10 万。而日本男性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 从 9.47 年/10 万人降至 8.55 年/10 万人, 日本女性归因于高钠饮食的高

血压肾病 ASDALYR 从 3.03/10 万降至 2.55/10 万, 见表 3、图 3。

3 讨论

3.1 全球、中国、日本和美国的疾病负担变化和性别差异

本研究表明, 在 1990—2021 年间, 全球归因于高钠饮食的高血压肾病 ASMR 和 ASDALYR 总体呈轻微上升趋势, 这一现象表明, 高钠饮食对高血压肾病的影响仍存在, 故持续强化公众健康教育, 推行以低钠饮食为核心的心血管-肾脏疾病预防策略仍然具有重要的公共卫生意义。性别分层分析进一步揭示, 该上升趋势仅在男性群体中有统计学意义, 提示高钠饮食对男性高血压肾病疾病负担的影响呈现上升趋势, 应重点关注男性群体。国家层面, 中国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASMR 和 ASDALYR 长期显著高于全球平均水平。相比之下, 美国和日本的负担较轻, 均低于全球平均水平。这可能与盐敏感的遗传易感

表 3 2022—2036 年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASDALYR 预测值(1/10 万)

Tab. 3 Predicted ASDALYR (per 100 000) for hypertensive nephropathy attributable to high sodium diet in global, China, Japan and USA population from 2022 to 2036 (per 100,000)

年份	全球		中国		日本		美国	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
2022	21.55	11.09	24.65	14.06	9.47	3.03	22.53	8.34
2023	21.60	11.14	24.60	14.05	9.43	3.00	22.51	8.39
2024	21.64	11.18	24.54	14.03	9.39	2.96	22.49	8.45
2025	21.68	11.22	24.47	14.01	9.34	2.93	22.47	8.50
2026	21.71	11.26	24.39	13.98	9.29	2.90	22.45	8.56
2027	21.75	11.30	24.31	13.95	9.23	2.86	22.44	8.63
2028	21.79	11.34	24.23	13.91	9.17	2.83	22.42	8.69
2029	21.82	11.37	24.14	13.87	9.11	2.79	22.40	8.76
2030	21.85	11.40	24.04	13.82	9.04	2.76	22.37	8.83
2031	21.87	11.43	23.94	13.77	8.97	2.73	22.34	8.91
2032	21.89	11.46	23.83	13.71	8.90	2.69	22.31	8.99
2033	21.91	11.48	23.73	13.65	8.82	2.66	22.27	9.07
2034	21.93	11.50	23.62	13.59	8.73	2.62	22.22	9.15
2035	21.94	11.51	23.50	13.52	8.65	2.59	22.16	9.24
2036	21.95	11.53	23.38	13.46	8.56	2.55	22.10	9.34

性不同有关。盐敏感(Salt sensitivity)是心血管医学中的一个专有名词,指的是个体对膳食钠摄入量变化的血压反应异常增大的现象。该现象与遗传因素密切相关,目前已发现多达 18 种的盐敏感性相关变异基因,某些特定基因变异会导致肾脏对钠的处理异常进而影响血压调节^[12]。流行病学调查显示,盐敏感主要见于非洲裔和东亚地区人群,老年人、肥胖者等也多伴有此现象^[13],有报告显示中国盐敏感人群比例可高达 40% 以上^[14];而有研究显示美国盐敏感人群比例为 20%~30%^[15]。对于同为东亚国家的日本,尽管其人口老龄化严重且理论上盐敏感人群比例与中国相近,但其长期以来低盐低油的饮食习惯有可能是导致了其归因于高钠饮食的疾病负担处于较低水平的重要原因。

从整体变化趋势上看,1990—2021 年美国归因于高钠饮食的高血压肾病疾病负担总体呈快速上升趋势,而中国和日本的疾病负担均呈下降趋势,这很大程度上与的各国政策和生活习惯有关。日本设立了多层次的国家减盐目标:从 2012 年政府提出的每日盐摄入量 8 g 到 2019 年高血压协会推荐的每日<6 g;数据显示日本平均每日盐摄入量自 20 世纪末至 21 世纪初有所下降,2019 年时成人日均盐摄入量约为 9.7 g^[16]。得益于持续推行的限盐政策,再加上日本长期形成的低盐饮食文化,其疾病负担持续下降符合预期。中国因高血压肾病整体负担沉重,已引起政府高度重视,近年来大力推广了全民健康政策,如《“健康中国 2030”规划纲要》明确提出到 2030 年将全国人

均每日食盐摄入量降低 20% 的目标、“全民体重管理年”呼吁通过降低盐摄入量来帮助控制体重等,在高血压控制率方面初见成效^[17-20]。建议中国针对地域饮食文化进行精准干预,在北方,重点改变家庭烹饪习惯,推广限盐勺与低钠盐;在南方及都市圈,则应教育公众识别腊味、外卖中的“隐形盐”,同时培训厨师运用天然食材增强风味,在保留菜系特色的同时推动健康转型。反观美国,其疾病负担快速增长,主要可归因于两个因素:(1)食品供应链中高盐加工食品占比长期居高不下^[21];(2)美国人口老龄化进程加剧,导致盐敏感性高血压患病风险更高的老年人口比例持续攀升。深究其因,这一现象与美国长期形成的生活节奏及饮食文化密不可分。在美国社会运作模式中,午餐时段普遍被压缩为短暂的工间休憩,而傍晚下班时间则相对较早,这种时间分配机制,促使大多数美国人形成“午餐求效率、晚餐重仪式”的餐饮逻辑——午间以三明治、汉堡等标准化快餐快速解决温饱;待到晚间回家,方在厨房花时间亲手烹制正餐。这也决定了美国高钠饮食的这一结构在短时间内难以通过政策的推行而改变。值得注意的是,全球女性和中国男性、女性归因于高钠饮食的高血压肾病的 ASDALYR 均在大约 2004 年后这一时间节点后呈现下降趋势;而日本早在约 1995 年后就呈现下降趋势。这一时间差异与不同时期的公共政策干预吻合:2004 年世界卫生大会(World Health Assembly)通过了《全球饮食、体力活动与健康战略(Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health)》,

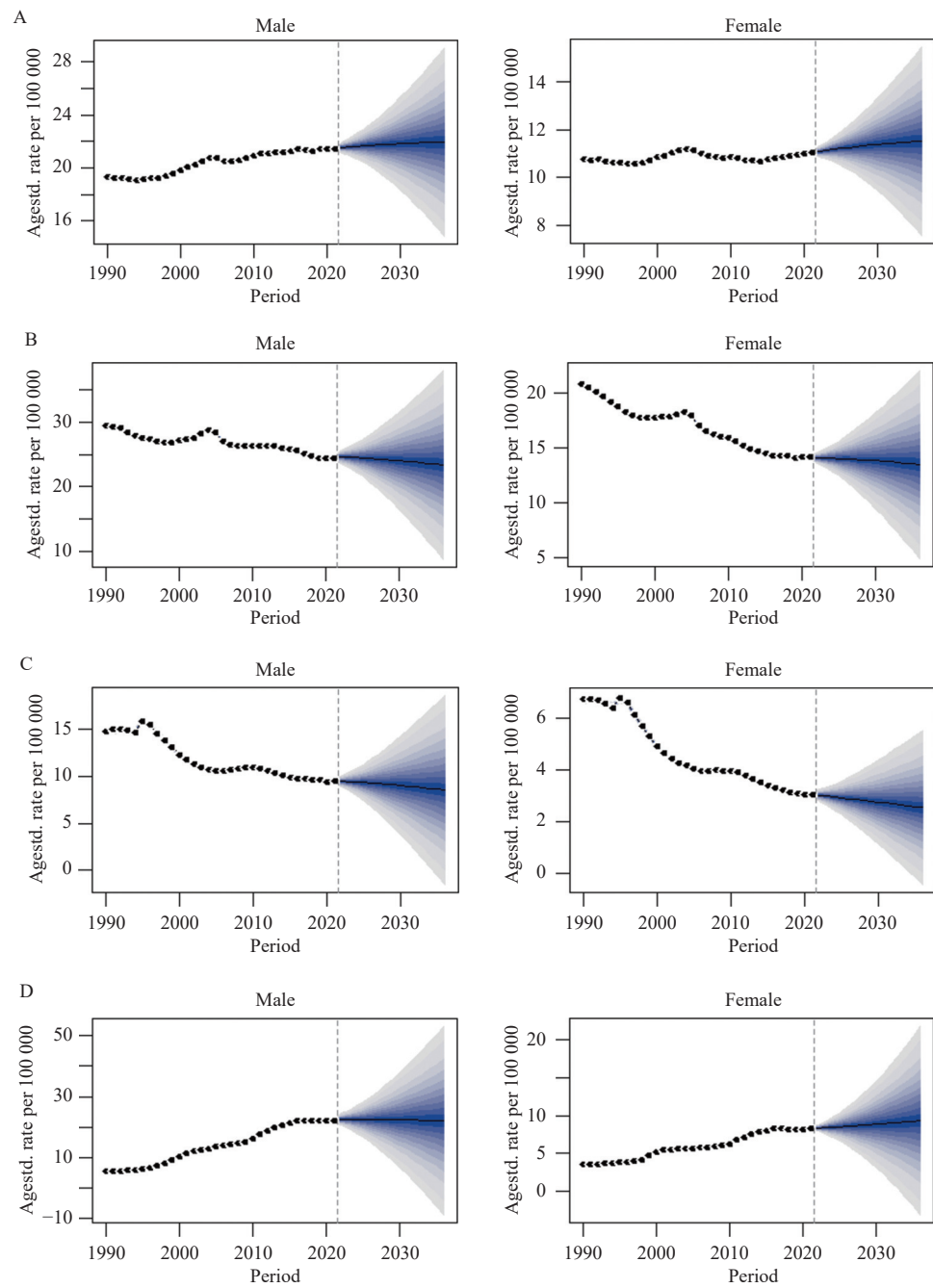


图 3 2022—2036 年全球、中国、日本和美国归因于高钠饮食的高血压肾病预测分析

Fig. 3 Predicted ASDALYR (per 100 000) for hypertensive nephropathy attributable to high sodium diet in global, China, Japan and USA population from 2022 to 2036 (per 100,000)

A: 全球; B: 中国; C: 日本; D: 美国。

明确将降低盐摄入列入全球健康行动议程，为全球包括中国在内的多数国家提供了政策框架，从而推动了其疾病负担的转折；而日本由于其国民低盐饮食传统深厚，受 2004 年全球政策的影响相对有限。据日本健康劳动福利省《国民营养调查》显示，1995 年日本人均盐摄入量达到 13.2 g/d 的峰值，随后从 1996 年起呈持续下降趋势^[22-23]，这很好的解释了日本早在约 1995 年后就呈现下降趋势这一研究结果。

而从性别角度看，1990—2021 年美国的男性和女性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 均呈现出快速上升的趋势，但其男性的上升趋势显著高于女性，并于 2015 年后超过全球平均 ASDALYR 水平。这提示：美国高血压肾病负担的增加除了国家政策与整体饮食习惯外，高钠饮食对不同性别群体的差异化影响也不容忽视。可能的原因包括：(1)男性作为大多数家庭的经济支柱，在全职工作、加班和短午休的职场比例更高，因

而其外食、快餐频率也更高,进一步增加了其盐摄入;(2)女性雌激素的分泌可以促进尿内皮素-1的升高,从而增强机体的钠排泄能力,降低其盐敏感性;有研究表明雌激素的扩血管作用可以降低高血压事件的发生率^[24-25];(3)男性和女性的生理结构不同导致面对高钠饮食时的代偿不同。男性的生理结构因素决定了其肾血流量高于女性,因而在长期高盐饮食状态下,男性的肾小球更容易处于高滤过状态,较高的囊内压更容易通过机械应力损伤肾小球足细胞,造成肾功能的下降。有效肾单位减少后,残余肾单位进一步代偿性高滤,形成正反馈,久之便演变为慢性高血压性肾病。这一假说已在动物模型上得以验证^[26-27];此外, Ellison 等^[28]近期的研究表明,在面对利尿剂的刺激时,女性远曲小管具备更强的结构重塑性,使其在面对基底远端更高浓度的 Na^+ 递送时能够更好的实现 Na^+ 的平衡,从而减轻了高钠对肾脏的损害。

3.2 全球、中国、日本和美国疾病负担趋势预测

BAPC 预测模型显示,预计 2022—2036 年全球男性和女性归因于高钠饮食的高血压肾病 ASDALYR 将持续升高,这表明全球大多数国家的高钠饮食的管理仍有待提升,部分国家的减盐政策可能因覆盖面不够、执行力度不足或未被广泛遵守而不能达到预期目的。而美国男性、中国和日本归因于高钠饮食的疾病负担呈下降趋势,这表明在高执行力的政府干预下,部分国家的高钠饮食管理可得到有效控制,同时也提示高血压肾病负担较重的国家应当积极借鉴日本、中国的相关政策,以此来降低归因于高钠饮食的疾病负担。值得关注的是,在预测趋势中美国呈现出了性别异质性,男性疾病负担下降的同时女性疾病负担仍继续升高,这提示 2022 年以前美国两性疾病负担的升高可能是由不同因素导致的。由于 BAPC 模型是一个基于“年龄-时期-队列”的预测模型,考虑到其预测结果受到人口结构的影响,可认为美国女性疾病负担的升高的主要原因是其老龄化程度显著高于男性,具体而言,美国老年人口中女性占比显著高于男性,如在 65 岁以上人群中,女性人口数约为男性的 1.23 倍;而在 85 岁以上人群中,该比例更高达 1.8 倍^[29-30]。同时,女性在更年期后,内源性雌激素对心血管系统的保护作用逐渐减弱,这一生理变化进一步加剧了其风险^[31]。因此,在人口老龄化与生理变化的双重作用下,美国女性的疾病负担预计将持续上升。

本研究创新性在于:(1)构建多视角分析框架,

涵盖全球、中国、日本和美国的相互比较,不仅填补了现存 GBD 数据库分析美国和日本高血压肾病负担的空白,还针对全球的三大经济体进行了对比讨论;(2)更新了全球和中国高血压肾病危险因素的研究,从罗列各危险因素的占比深入到观察 1990—2036 年高钠饮食这一危险因素对高血压肾病的影响;(3)纳入性别视角,解析不同性别群体归因于高钠饮食的高血压肾病负担差异。同时,本研究也存在一定的局限性:(1)GBD 数据库受到每个国家/地区疾病登记质量的限制,导致数据准确性有待提升;(2)本研究基于 GBD 2021 数据库评估了归因于高钠饮食的高血压肾病的趋势并预测了 2022—2036 年的疾病负担,但由于该数据库的信息滞后,预测结果可能不够准确;(3)高血压肾病的危险因素有很多,本研究仅考虑了高钠饮食这一重要因素,其他影响因素的归因疾病负担仍需要进一步研究。

综上所述,1990—2021 年全球归因于高钠饮食的高血压肾病的疾病负担总体呈轻微上升趋势,性别视角来看,仅在男性中呈现上升趋势。三个国家比较,中国归因于高钠饮食的高血压肾病负担最重,但从变化趋势上看,1990—2021 年中国和日本疾病负担总体呈下降趋势,美国的疾病负担总体呈上升趋势。值得注意的是,全球、中国和美国均在 2004 年后呈显著下降趋势。预测未来十五年内,全球归因于高钠饮食的高血压肾病的疾病负担仍将持续上升,为有效降低这一疾病负担,可考虑改变生活方式和借鉴日本和中国的相关政策措施。

[参考文献]

- [1] Sun D, Wang J, Shao W, et al. Pathogenesis and damage targets of hypertensive kidney injury[J]. *J Transl Int Med*, 2020, 8(4): 205–209.
- [2] Zhang C, Fang X, Zhang H, et al. Genetic susceptibility of hypertension-induced kidney disease[J]. *Physiol Rep*, 2021, 9(1): e14688.
- [3] He Y, Tang W, Chen J, et al. Global burden of chronic kidney disease due to hypertension (1990–2021): A systematic analysis of epidemiological trends, risk factors, and projections to 2036 from the GBD 2021 study[J]. *BMC Nephrol*, 2025, 26(1): 448.
- [4] Ameer O Z. Hypertension in chronic kidney disease: What lies behind the scene[J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 949260.

- [5] 吴树法, 曹汝岱, 黄文龙, 等. 1990 年—2021 年中国 and 全球高血压肾病疾病负担及预测研究 [J]. *华西医学*, 2025, 40(7): 1084–1090.
- [6] Murray C J L. The global burden of disease study at 30 years[J]. *Nat Med*, 2022, 28(10): 2019–2026.
- [7] Ahmad O B, Boschi-Pinto C, Lopez A D, et al. Age standardization of rates: A new WHO standard[R]. GPE Discuss Pap Ser, 2001, 31: 1–14.
- [8] Yang X, Zhang T, Zhang X, et al. Global burden of lung cancer attributable to ambient fine particulate matter pollution in 204 countries and territories, 1990–2019[J]. *Environ Res*, 2022, 204(Pt A): 112023.
- [9] Yang X, Chen H, Zhang T, et al. Global, regional, and national burden of blindness and vision loss due to common eye diseases along with its attributable risk factors from 1990 to 2019: A systematic analysis from the global burden of disease study 2019[J]. *Aging*, 2021, 13(15): 19614–19642.
- [10] 陈飞, 王悠清. 1990—2019 年中国食管癌疾病负担及其变化趋势分析 [J]. *中国肿瘤*, 2021, 30(6): 401–407.
- [11] Hu W, Fang L, Zhang H, et al. Global disease burden of COPD from 1990 to 2019 and prediction of future disease burden trend in China[J]. *Public Health*, 2022, 208: 89–97.
- [12] Parksook W W, Williams G H. Challenges and approach to identifying individuals with salt sensitivity of blood pressure[J]. *Am J Nephrol*, 2022, 53(11–12): 847–855.
- [13] Jeong S, Hunter S D, Cook M D, et al. Salty subjects: Unpacking racial differences in salt-sensitive hypertension[J]. *Curr Hypertens Rep*, 2024, 26(1): 43–58.
- [14] 曹铸文. 盐敏感性高血压钠代谢相关基因的研究进展 [J]. *临床与病理杂志*, 2020, 40(10): 2721–2726.
- [15] Romberger N T, Stock J M, Patik J C, et al. Inverse salt sensitivity in normotensive adults: Role of demographic factors[J]. *J Hypertens*, 2023, 41(6): 934–940.
- [16] Ikeda N, Yamashita H, Hattori J, et al. Reduction of cardiovascular events and related healthcare expenditures through achieving population-level targets of dietary salt intake in Japan: A simulation model based on the national health and nutrition survey[J]. *Nutrients*, 2022, 14(17): 3606.
- [17] 程显扬. 基于政策工具的《健康中国行动 (2019—2030 年)》文本分析 [J]. *东北大学学报 (社会科学版)*, 2020, 22(5): 65–72.
- [18] 国家卫生健康委员会官网. 体重管理指导原则(2024 年版)摘登 [J]. *新医学*, 2025, 56(6): 627–628.
- [19] 马丽媛, 王增武, 樊静, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2021》要点解读 [J]. *中国全科医学*, 2022, 25(27): 3331–3346.
- [20] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2024》要点解读 [J]. *实用医学杂志*, 2025, 41(14): 2111–2131.
- [21] Ahuja J K C, Li Y, Haytowitz D B, et al. Assessing changes in sodium content of selected popular commercially processed and restaurant foods: Results from the USDA: CDC sentinel foods surveillance program[J]. *Nutrients*, 2019, 11(8): 1754.
- [22] Niu K, Momma H, Kobayashi Y, et al. The traditional Japanese dietary pattern and longitudinal changes in cardiovascular disease risk factors in apparently healthy Japanese adults[J]. *Eur J Nutr*, 2016, 55(1): 267–279.
- [23] Japanese Society of Hypertension. Japanese Society of Hypertension guidelines for the management of hypertension (JSH 2004) [J]. *Hypertens Res*, 2006, 29 Suppl: S1–S105.
- [24] Gohar E Y, De Miguel C, Obi I E, et al. Acclimation to a high-salt diet is sex dependent[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(5): e020450.
- [25] Visniauskas B, Kilanowski-Doroh I, Ogola B O, et al. Estrogen-mediated mechanisms in hypertension and other cardiovascular diseases[J]. *J Hum Hypertens*, 2023, 37(8): 609–618.
- [26] Tao Y, Young-Stubbs C, Yazdizadeh Shotorbani P, et al. Sex and strain differences in renal hemodynamics in mice[J]. *Physiol Rep*, 2023, 11(6): e15644.
- [27] Oloyo A K, Imaga N O A, Fatope Y, et al. Sex differences in cardiac and renal responses to a high salt diet in Sprague-Dawley rats[J]. *Heliyon*, 2019, 5(5): e01665.
- [28] Tahaei E, Coleman R, Saritas T, et al. Distal convoluted tubule sexual dimorphism revealed by advanced 3D imaging[J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2020, 319(5): F754–F764.
- [29] Administration for Community Living. (2024). 2023 profile of older Americans [Report]. U.S. Department of Health and Human Services.
- [30] Robinson, K. (2007). Trends in health status and health care use among older women [Report]. National Center for Health Statistics, Centers for Disease Control and Prevention, U.S. Department of Health and Human Services.
- [31] Xiang D, Liu Y, Zhou S, et al. Protective effects of estrogen on cardiovascular disease mediated by oxidative stress[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2021, 2021: 5523516.