

· 基层卫生服务 ·

甘油三酯 - 葡萄糖 - 体重指数与常州市武进区农村地区居民脑卒中发病风险的关联研究

孔晓玲¹, 强德仁¹, 闫于飘¹, 任怡霖¹, 宗菁¹, 杨佳成¹, 石素逸¹, 杭栋², 刘逸舒², 张锡炳¹

1. 常州市武进区疾病预防控制中心, 江苏 常州 213161; 2. 南京医科大学公共卫生学院

摘要: **目的** 探讨甘油三酯 - 葡萄糖 - 身体质量指数(triglyceride glucose-body mass index, TyG-BMI)与脑卒中发病的相关性和剂量 - 反应关系。**方法** 采用前瞻性队列研究设计, 比较脑卒中发病与未发病人群之间的人口学特征、行为生活方式、家族史、血生化结果等指标差异。根据 TyG-BMI 的四分位数, 将全部研究对象由低到高分为 Q1 ~ Q4 四组。采用 Cox 比例风险回归模型分析 TyG-BMI 与脑卒中发病风险之间的关联, 计算风险比(hazard ratio, HR)及其 95% 置信区间(confidence interval, CI)。采用限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)模型分析 TyG-BMI 与脑卒中发病风险的剂量 - 反应关系。在 RCS 提示非线性趋势后, 进一步利用 R 软件 segmented 包进行分段 Cox 回归识别阈值效应, 并通过 Davies 检验和似然比检验比较模型拟合优度。**结果** 本研究共纳入 17 173 名研究对象, 中位随访时间为 19.5 年, 随访期间内新发脑卒中 2 374 例, 发病密度为 805/10 万人年。脑卒中发病人群与未发病人群的年龄、学历、收入、体力活动强度、高血压史、脑卒中家族史、收缩压、舒张压、身体质量指数(body mass index, BMI)、腰围、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、TyG-BMI 比较, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。调整混杂因素后, 随着 TyG-BMI 水平增加, 脑卒中发病风险逐渐增加($P < 0.001$)。与 Q1 组相比, Q2、Q3、Q4 组新发脑卒中风险分别增加了 18.1% ($HR=1.181, 95\%CI: 1.037 \sim 1.346$)、33.3% ($HR=1.333, 95\%CI: 1.171 \sim 1.517$)、57.0% ($HR=1.570, 95\%CI: 1.366 \sim 1.804$)。RCS 分析结果显示, TyG-BMI 与脑卒中发病风险存在正向关联(P 总体 < 0.05), 且存在非线性剂量 - 反应关系(P 非线性 < 0.05)。分段 Cox 回归识别出阈值为 214.3, 似然比检验证实分段模型拟合优度显著优于传统线性模型($P=0.037$)。在阈值两侧, TyG-BMI 每增加一个单位, 脑卒中风险均显著增加 (低于阈值: $HR=1.151, 95\%CI: 1.032 \sim 1.325, P < 0.001$; 高于阈值: $HR=1.232, 95\%CI: 1.085 \sim 1.418, P < 0.001$)。**结论** TyG-BMI 与脑卒中发病风险呈非线性剂量 - 反应关系, 且存在显著的阈值效应(214.3)。当 TyG-BMI 超过该阈值后, 脑卒中风险上升幅度更为明显。TyG-BMI 可作为农村社区人群脑卒中风险筛查的简易指标。

关键词: 脑卒中; 甘油三酯 - 葡萄糖 - 体重指数; 队列研究

中图分类号: R54 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2026)13-2417-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202601404

The association between the triglyceride glucose-body mass index and stroke incidence among residents in rural areas of Wujin District, Changzhou

KONG Xiao-ling*, QIANG De-ren, YAN Yu-piao, REN Yi-lin, ZONG Jing, YANG Jia-cheng, SHI Su-yi, HANG Dong, LIU Yi-shu, ZHANG Xi-bing

*Wujin District Center for Disease Control and Prevention, Changzhou, Jiangsu 213161, China

Abstract: **Objective** To investigate the correlation and dose-response relationship between the triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI) and the incidence of stroke. **Methods** A prospective cohort study design was employed to compare differences in demographic characteristics, behavioral lifestyles, family history, and blood biochemical results between individuals who developed stroke and those who did not. All subjects were divided into four groups, Q1 to Q4, based on the quartiles of TyG-BMI in ascending order. The Cox proportional hazards regression model was used to analyze the association between TyG-BMI and stroke risk, calculating the hazard ratio (HR) and its 95% confidence interval (CI). A Restricted Cubic Spline (RCS) model was used to analyze the dose-response relationship between TyG-BMI and stroke risk. After the RCS analysis suggested a nonlinear trend, we further utilized the segmented package in R software to perform piecewise Cox regression to identify the threshold effect. The goodness of fit of the models was compared using the Davies test and the

基金项目: 南京医科大学常州公共卫生高等研究院开放课题(CPHN202303); 2024 年武进区科技创新发展专项资金

作者简介: 孔晓玲 (1994—), 女, 硕士, 主管医师, 研究方向: 慢性病预防与控制

通信作者: 张锡炳, E-mail: 51132036@qq.com

likelihood ratio test. **Results** This study included 17 173 subjects with a median follow-up time of 19.5 years. During the follow-up period, 2 374 new stroke cases occurred, with an incidence density of 805 per 100 000 person-years. Significant differences ($P<0.05$) were observed between the stroke group and the non-stroke group in terms of age, education level, income, physical activity intensity, history of hypertension, family history of stroke, systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), body mass index (BMI), waist circumference (WC), fasting plasma glucose (FPG), total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and TyG-BMI. After adjusting for confounding factors, the risk of stroke gradually increased with rising TyG-BMI levels ($P<0.001$). Compared to the Q1 group, the risk of new-onset stroke increased by 18.1% ($HR=1.181$, 95% CI : 1.037–1.346), 33.3% ($HR=1.333$, 95% CI : 1.171–1.517), and 57.0% ($HR=1.570$, 95% CI : 1.366–1.804) in the Q2, Q3, and Q4 groups, respectively. The RCS analysis showed a positive association between TyG-BMI and stroke risk (P for overall <0.05), and a non-linear dose-response relationship was identified (P for non-linearity <0.05). Piecewise Cox regression identified a threshold value of 214.3, and the likelihood ratio test confirmed that the piecewise model had a significantly better fit than the traditional linear model ($P=0.037$). On both sides of the threshold, each unit increase in TyG-BMI was significantly associated with an increased risk of stroke (below the threshold: $HR=1.151$, 95% CI : 1.032–1.325, $P<0.001$; above the threshold: $HR=1.232$, 95% CI : 1.085–1.418, $P<0.001$). **Conclusion** TyG-BMI exhibits a nonlinear dose-response relationship with the risk of stroke, with a significant threshold effect identified at 214.3. The risk of stroke increased more markedly when TyG-BMI exceeded this threshold. TyG-BMI may serve as a simple indicator for stroke risk screening in rural community populations.

Keywords: Stroke; Triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI); Cohort study

脑卒中作为全球主要致残和致死病因之一,早期识别其危险因素至关重要。胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)是脑卒中的独立危险因素,但其复杂检测方法限制了大规模应用^[1-2]。因此,开发简便、经济、可靠的替代指标成为研究重点。

在众多 IR 替代指标中,甘油三酯-葡萄糖(triglyceride glucose, TyG)指数及其衍生指标因仅需常规生化检测而备受关注。单纯 TyG 指数未纳入肥胖参数,为此研究者提出了 TyG- 身体质量指数(TyG-body mass index, TyG-BMI)、TyG- 腰围(TyG-waist circumference, TyG-WC)、TyG- 腰围身高比(TyG-waist-to-height ratio, TyG-WHtR)等复合指标。本研究优先选择 TyG-BMI,主要基于以下考虑:其一,契合基层公共卫生实践。BMI 是基本公共卫生服务及“健康体重”专项行动的核心监测指标,数据规范完整,选择 TyG-BMI 有助于科研成果与慢病管理衔接。其二,保障数据质量。基于区域健康档案系统发现,本区农村人群 BMI 数据的完整和规范性显著优于腰围指标,选用 TyG-BMI 可避免因大量缺失值影响结论稳健性。其三,便于社区干预转化。TyG-BMI 能直观反映“体重超标与血脂异常协同增加胰岛素抵抗风险”的机制,有利于在基层健康宣教中转化为通俗信息,提高居民对代谢风险的认知。

TyG-BMI 指数结合了血脂、血糖和肥胖指标,在评估 IR 及预测心脑血管事件方面具有潜在优势^[3]。一项荟萃分析证实, TyG-BMI 升高与脑卒中风险增加显著相关,且在亚洲人群中尤为突出^[2]。既往研究已初步验证其关联:一项针对中国中老年人人群的 10 年随访研究表明 TyG-BMI 最高四分位组缺血性脑卒

中风险增加 70.5%^[4];基于 CHARLS 数据库的研究进一步指出, TyG 在 BMI 与脑卒中风险之间起中介作用,中介效应达 50%^[5]。然而,现有证据多集中于城市或中老年人群^[6-8],针对农村全人群的剂量-反应关系研究有限。农村居民在生活方式、膳食结构、体力活动及医疗资源可及性等方面具有独特性,其代谢特征可能与城市人群存在差异,故 TyG-BMI 与脑卒中的关联形式尚需独立验证。鉴于脑卒中已成为我国农村居民的主要疾病负担之一^[9],探索简便、经济的风险评估工具对农村一级预防具有重要公共卫生意义。本研究基于武进区农村队列,旨在探讨 TyG-BMI 与新发脑卒中风险的剂量-反应关系,为农村人群脑卒中防控提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究依托“江苏省常州市武进区农村自然人群队列”,基线调查于 2004 年 6 月—2005 年 9 月进行,采用多阶段整群抽样方法,在武进区 24 个乡镇中抽取 6 个乡镇的 23 个行政村/居委会,共建立 20 803 人的研究队列。纳入标准:(1)基线调查时年龄 ≥ 35 岁;(2)在当地居住时间 ≥ 6 个月。排除年龄 <35 岁 3 119 例、基线患脑卒中 298 例、关键社会人口学信息缺失 213 例。最终共纳入研究对象 17 173 例,其中 161 例在随访期间失访,在生存分析中作为删失数据予以利用。因此,实际纳入 Cox 回归模型的分析样本为 17 173 例。所有参与者均在调查前签署书面知情同意书。本队列分别于 2008—2009、2012—2013 和 2018—2019 年完成了三轮面对面随访,每次随访均采用与基线一致的半结构化问卷收集

信息,并进行了系统的体格检查与血液生化检测。本研究关注的结局事件为脑卒中的首次发病。结局信息主要通过以下途径获取:对于 2018—2019 年之后的发病事件,于 2023—2024 年通过江苏省死因监测系统、常州市慢性病网络管理信息系统及武进区公共卫生服务管理系统,系统搜集了全部研究对象的脑卒中首次发病信息及死亡结局。本研究通过复旦大学泰州健康科学研究院伦理委员会批准(EC_AF_006),调查对象均自愿参加本研究,并签署知情同意书。

1.2 研究方法 问卷调查:采用南京医科大学课题组统一编制的调查问卷,由经过系统培训并通过考核的调查员进行面对面访谈。问卷内容涵盖人口学特征、社会经济状况、行为与生活方式、饮食习惯、体力活动水平、个人疾病史及家族史等信息。体格检查:由经培训的测量员使用标准化方法进行体格测量。测量指标包括身高、体重、腰围和血压。身高、体重用于计算 BMI, $BMI = \text{体重}(\text{kg}) / \text{身高}(\text{m})^2$ 。依据标准程序测量血压并检测血液生化指标,血压测量要求研究对象在安静环境下静坐 15 min,随后使用经校验的电子血压计连续测量其左上臂血压 3 次,每次间隔 5 min,最终计算平均值用于分析。血液标本于研究对象空腹至少 8 h 后采集,并应用 OLYMPUS AU640 全自动生化分析仪测定空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、及高密度脂蛋白胆固醇 (high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 浓度。全部检测仪器与操作流程均通过常州市疾病预防控制中心实验室认证。

1.3 变量定义 (1)脑卒中:经二级及以上医疗机构明确诊断为脑卒中且在常州市慢性病网络管理信息系统中有报卡记录;或研究对象自报有脑卒中病史。脑卒中类型包括蛛网膜下腔出血、脑出血、脑梗死以及未分类脑卒中,其对应的国际疾病分类第 10 次修订本(international classification of diseases, tenth revision, ICD-10),编码范围为 I60 至 I64。(2)家庭收入:基线调查时所有共同生活的家庭成员税后净收入的总和,家庭月收入分为 3 个等级,低收入(<1 000 元)、中等收入(1 000 ~ 2 999 元)、高收入($\geq 3 000$ 元)。(3)吸烟状况:①从不吸烟:一生中从未吸过烟;②已戒烟:曾有吸烟史,但在基线调查时已完全停止吸烟;③现在吸烟:基线调查时,每日至少吸烟 1 支、且持续至少 6 个月及以上,并且调查时仍在吸烟。(4)饮酒状况:①从不饮酒:从未饮用过任何类型的酒精饮品;②偶尔饮酒:过去超过 6 个月的时间里,平均每周饮酒 1 ~ 2 次;③经常饮酒:指在过去超过 6 个月的时间里,平均每周饮酒达到 3 次或以上。(5)体力活动强度:依据国际体力活动问卷(International Physical Activity Questionnaire, IPAQ)的标准,对个体的体力活动水平

进行评估和分级。IPAQ 将体力活动水平划分为高、中、低三个等级,计算个体每周从事某项体力活动水平的公式为该项体力活动对应的代谢当量(metabolic equivalent, MET) $\times$ 每周频率(d/w) $\times$ 每天时间(min/d)。其中高强度组满足下述二条标准中任何一条:①各类高强度体力活动合计 ≥ 3 d,且每周总体力活动水平 $\geq 1 500 \text{ MET} \cdot \text{min}/\text{w}$;② 3 种强度的体力活动合计 ≥ 7 d 且每周总体力活动水平 $\geq 3 000 \text{ MET} \cdot \text{min}/\text{w}$ 。中等强度组满足下述三条标准中任何一条:①满足每天至少 20 min 的各类高强度体力活动,合计 ≥ 3 d;②满足每天至少 30 min 的各类中等强度和 / 或步行类活动,合计 ≥ 5 d;③ 3 种强度的体力活动合计 ≥ 5 d,且每周总体力活动水平 $\geq 600 \text{ MET} \cdot \text{min}/\text{w}$ 。低强度组满足下述二条标准中任何一条:①没有报告任何活动;②报告了一些活动,但是尚不满足上述中、高分组标准^[9]。(6)脑卒中家族史:指研究对象的一级亲属(父母、子女或兄弟姐妹)中,至少有一人患有脑卒中。(7)高血压:基线时平均收缩压 $\geq 140 \text{ mm Hg}$ 和 / 或舒张压 $\geq 90 \text{ mm Hg}$,或调查前已被二级及以上医疗机构确诊为高血压或近两周服用降压药者。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 26.0 软件进行所有统计分析。连续变量经正态性检验后,符合正态分布者以(均数 $\pm$ 标准)描述,组间比较采用独立样本 t 检验;不符合正态分布者以中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验。脑卒中的发病密度为随访期间新发病例数与总随访人年数之比。采用 Cox 比例风险回归模型分析 TyG-BMI 与脑卒中发病之间的关系,并计算 HR 和 95% CI 。其中 TyG-BMI 按照四分位数分为四组:Q1 组 ($\text{TyG-BMI} \leq 171.087$), Q2 组 ($171.088 \leq \text{TyG-BMI} \leq 194.952$), Q3 组 ($194.953 \leq \text{TyG-BMI} \leq 223.321$), Q4 组 ($223.322 \leq \text{TyG-BMI} \leq 459.953$)。为验证结果的稳定性,采用两种模型:模型 1 未校正协变量;为了控制潜在的混杂偏倚,基于先验知识和既往文献构建了多变量回归模型,模型 2 中调整的协变量均为根据既往文献确定的、可能与暴露和结局相关的因素。具体包括社会人口学因素(年龄、学历、收入),它们既是心脑血管疾病的危险因素,也与多种生活方式暴露相关;生活方式因素(吸烟、饮酒、身体活动强度),它们是公认的心脑血管疾病危险因素;以及临床指标和遗传背景(是否高血压、脑卒中家族史、腰围、BMI、空腹血糖、收缩压、舒张压、总胆固醇、甘油三酯、HDL-C),其中高血压是心脑血管疾病最强的危险因素之一,而家族史则反映了共同的遗传易感性。采用 MSTATA V0.96 软件

选取 4 个节点 ($P_5, P_{35}, P_{65}, P_{95}$) 绘制限制立方样条 (restricted cubic splines, RCS) 图, 探讨 TyG-BMI 与新发脑卒中的剂量-反应关系。在 RCS 提示非线性趋势后, 进一步采用分段 Cox 回归模型识别潜在的阈值效应。该模型利用 R 语言 segmented 包 (版本 2.1-4) 自动搜索断点位置, 并在断点前后分别拟合不同的风险比。断点的选择基于 Davies 检验和似然比检验, 以判断分段模型是否显著优于传统模型。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 研究对象特征 本研究纳入调查对象 17 173 例, 其中男 7 268 例 (42.32%), 女 9 905 例 (57.68%), 年龄 (52.98 ± 11.82) 岁。中位随访时间为 19.5 年, 累积新发脑卒中患者 2 374 例, 发病密度为 805/10 万人年 (男性为 857/10 万人年, 女性为 769/10 万人年), 累积发病率为 13.82% (男为 14.36%, 女为 13.43%), 标化发病率为 12.97% (男为 13.30%, 女为 12.52%)。脑卒中发病人群的收缩压、舒张压、BMI、腰围、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯水平均高于未发病人群, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。脑卒中发病人群与未发病人群的年龄、学历、收入、体力活动强度、是否患高血压、脑卒中家族史、TyG-BMI 分布差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 1。

2.2 TyG-BMI 与新发脑卒中的剂量反应关系 以连续性 TyG-BMI 为自变量, 是否新发脑卒中为因变量进行 RCS 评估, 在校正混杂因素后, TyG-BMI 与脑卒中发病存在非线性剂量反应关系, 随着 TyG-BMI 升高, 脑卒中的发病风险呈上升趋势 ($P_{\text{总体}} < 0.05$, $P_{\text{非线性}} < 0.05$)。通过分段 Cox 回归识别 TyG-BMI 的阈值为 214.3, 当 TyG-BMI 低于 214.3 时, 每增加一个单位与脑卒中风险呈显著正相关 (调整后 $HR=1.151$, 95%CI: 1.032 ~ 1.325, $P<0.001$); 当 TyG-BMI 高于 214.3 时, 其每增加一个单位与脑卒中风险显著正相关 (调整后 $HR=1.232$, 95%CI: 1.085 ~ 1.418, $P<0.001$)。似然比检验显示分段模型的拟合优度显著优于传统线性模型 ($P=0.037$), 证实了阈值效应的存在。见图 1。

采用 TyG-BMI 四分位数分组进行 Cox 回归分析, 结果显示, 随着 TyG-BMI 四分位数的升高, 脑卒中发病密度呈递增趋势。校正混杂因素后, 多因素 Cox 回归分析显示, Q2、Q3、Q4 组新发脑卒中风险较 Q1 组分别增加了 18.1% ($P=0.012$)、33.3% ($P<0.001$)、57.0% ($P<0.001$), 且趋势性检验达到统计学意义 ($P<0.001$)。该结果与 RCS 分析提示的阈值效应相一致——阈值 214.3 位于 Q3 组内, 进一步

支持 TyG-BMI 升高与脑卒中风险增加存在正向关联。见表 2。

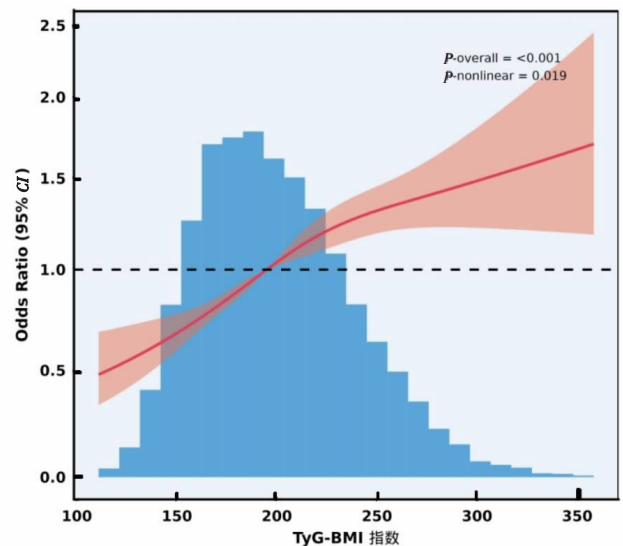


图 1 TyG-BMI 与新发脑卒中风险的剂量-反应关系

Figure 1 Dose-response relationship between TyG-BMI and the risk of new-onset stroke

3 讨 论

本研究发现, 随着 TyG-BMI 水平升高, 脑卒中发病风险逐渐增加。与 Q1 组相比, Q2、Q3、Q4 组的风险分别增加 18.1%、33.3%、57.0%。这一结果与近年多项大规模研究一致。基于 CHARLS 的研究也发现, TyG-BMI 每增加 10 个单位, 脑卒中风险增加 4.9%^[11]。此外, 本研究还发现了 TyG-BMI 与脑卒中风险之间的非线性剂量-反应关系, 这与 2024 年发表的一项研究结果一致^[12]。

TyG-BMI 作为 IR 的替代指标, 其与脑卒中风险的关联涉及多种机制。IR 状态下, 胰岛素介导的一氧化氮合成受损, 导致血管收缩、炎症及血栓形成^[13]; 同时 IR 促进血小板聚集, 增加动脉阻塞风险^[14]。IR 常伴血脂异常, 加速动脉粥样硬化^[15]。与单纯 TyG 相比, TyG-BMI 增加了肥胖维度, 肥胖者 IR 水平更高^[2]; 脂肪过度堆积释放促炎因子, 加剧慢性炎症与 IR^[3], 这可能是 TyG-BMI 预测脑卒中风险更优的重要原因。

本研究采用前瞻性队列设计, 中位随访 19.5 年, 样本量大 ($n=17\ 173$), 结果具有较高的统计学效能和可靠性。同时, 采用 RCS 模型分析剂量-反应关系, 精确描述了 TyG-BMI 与脑卒中风险的关联模式, 尤其发现了非线性关系。与近期重要研究相比, 结果既有一致性也有补充。2025 年一项针对中国中老年人的研究表明, 三种改良 TyG 指数 (含 TyG-BMI) 均与脑卒中风险显著相关^[16]; 2023 年的研究发现, 与 Q1 组相比, Q2 ~ Q4 组年轻成年人早发中风风险显著增

表 1 两组基线资料比较 $[(\bar{x} \pm s), n(\%)]$ Table 1 Comparison of baseline characteristics between the two groups $[(\bar{x} \pm s), n(\%)]$

项目	未发生脑卒中($n=14\ 799$)	新发脑卒中($n=2\ 374$)	χ^2 值	P 值
年龄(岁)	52.02 $\pm$ 11.78	58.97 $\pm$ 10.19	-30.17	<0.001
性别			3.09	0.079
女	8 575(57.9)	1 330(56.0)		
男	6 224(42.1)	1 044(44.0)		
学历			268.55	<0.001
文盲	1 842(12.4)	489(20.6)		
小学	5 062(34.2)	1 024(43.1)		
初中	6 316(42.7)	706(29.7)		
高中	1 364(9.2)	123(5.2)		
大专及以上	78(0.5)	11(0.5)		
未知	137(0.9)	21(0.9)		
家庭收入			10.80	0.013
低	1 928(13.0)	366(15.4)		
中等	12 223(82.6)	1 906(80.3)		
高	487(3.3)	73(3.1)		
未知	161(1.1)	29(1.2)		
吸烟状况			2.61	0.625
从不	10 086(68.2)	1 596(67.2)		
已戒烟	586(4.0)	92(3.9)		
现在吸烟	3 994(27.0)	664(28.0)		
未知	133(0.9)	22(0.9)		
饮酒状况			9.19	0.056
从不	8 815(59.6)	1 407(59.3)		
偶尔	2 484(16.8)	365(15.4)		
经常	496(3.4)	68(2.9)		
每天	2 866(19.4)	513(21.6)		
未知	138(0.9)	21(0.9)		
体力活动强度			36.67	<0.001
轻	6 123(41.4)	1 138(47.9)		
中	6 958(47.0)	1 003(42.2)		
重	1 567(10.6)	212(8.9)		
未知	151(1.0)	21(0.9)		
高血压			433.60	<0.001
否	11 657(78.8)	1 432(60.3)		
是	2 636(17.8)	861(36.3)		
未知	506(3.4)	81(3.4)		
脑卒中家族史			28.79	<0.001
否	11 789(79.7)	1 770(74.6)		
是	2 038(13.8)	404(17.0)		
未知	972(6.6)	200(8.4)		
收缩压(mm Hg)	124.33 $\pm$ 19.70	135.24 $\pm$ 21.99	-22.73	<0.001
舒张压(mm Hg)	79.53 $\pm$ 10.53	83.29 $\pm$ 11.56	-14.88	<0.001
BMI(kg/m ²)	23.29 $\pm$ 3.33	23.90 $\pm$ 3.43	-8.00	<0.001
腰围(cm)	79.78 $\pm$ 9.74	82.62 $\pm$ 9.98	-13.12	<0.001
空腹血糖(mmol/L)	5.27 $\pm$ 1.56	5.58 $\pm$ 1.98	-7.33	<0.001
总胆固醇(mmol/L)	4.39 $\pm$ 1.05	4.62 $\pm$ 1.10	-9.52	<0.001
甘油三酯(mmol/L)	1.48 $\pm$ 1.31	1.63 $\pm$ 1.37	-5.17	<0.001
HDL-C(mmol/L)	1.52 $\pm$ 0.50	1.54 $\pm$ 0.53	-1.51	0.131
TyG-BMI			98.44	<0.001
Q1	3 837(25.9)	454(19.1)		
Q2	3 744(25.3)	539(22.7)		
Q3	3 667(24.8)	621(26.2)		
Q4	3 551(24.0)	760(32.0)		

表 2 TyG-BMI 与新发脑卒中的关联

Table 2 Association between TyG-BMI and new-onset stroke

变量	N	Cases	发病密度(1/10 万人年)	HR(95%CI)	P 值	aHR(95%CI)	P 值
全人群							
Q1	4 291	454	626	1.000		1.000	
Q2	4 283	539	725	1.150(1.015 ~ 1.303)	0.028	1.181(1.037 ~ 1.346)	0.012
Q3	4 288	621	834	1.323(1.172 ~ 1.493)	<0.001	1.333(1.171 ~ 1.517)	<0.001
Q4	4 311	760	1038	1.656(1.474 ~ 1.860)	<0.001	1.570(1.366 ~ 1.804)	<0.001
趋势检验 P 值				<0.001		<0.001	

注:aHR 校正年龄、学历、收入、吸烟、饮酒、身体活动强度、是否高血压、脑卒中家族史、收缩压、舒张压、BMI、腰围、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、HDL-C。

加^[17]。本研究进一步证实 TyG-BMI 是脑卒中风险的独立危险因素,并为非线性关系提供了新证据。人群代表性方面,本研究基于常州市武进区农村居民,丰富了现有证据。此前研究多集中于城市或中老年人,农村地区证据较少。考虑到城乡在生活方式、医疗资源等方面的差异,本研究为农村地区脑卒中一级预防提供了重要参考。

本研究发现,TyG-BMI 与新发脑卒中风险存在非线性剂量-反应关系,首次在常州武进区农村人群中识别出阈值为 214.3。分段 Cox 回归显示,阈值两侧风险均显著增加,超过 214.3 后风险上升更明显,提示该值可作为脑卒中一级预防的重要参考切点,将其纳入社区健康管理有助于精准识别高危人群、优化资源分配。

尽管本研究基于大样本、长期随访的前瞻性队列设计,但仍存在以下局限性:第一,作为观察性研究,虽校正了多项传统心血管危险因素,但仍可能存在残留混杂。未能获取降脂药、降糖药的具体用药史及依从性信息,可能影响关联强度的真实估计。第二,TyG-BMI 基于基线单次测量计算,未反映 19.5 年随访期内的动态变化;身高、体重为自报数据,可能存在测量误差。第三,研究对象仅来自常州武进区农村地区,结果向其他种族或经济发达地区外推时需谨慎。第四,未区分脑卒中亚型(缺血性与出血性),未来需进一步探讨 TyG-BMI 与不同亚型的关联。第五,本研究未评价 TyG-BMI 的预测效能,未来需专门设计队列研究验证其在风险预测中的增量价值。

综上所述,TyG-BMI 是脑卒中发病的危险因素,两者之间存在正向非线性剂量-反应关系且存在显著的阈值效应。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 顾京渝,唐向阳. 三酰甘油葡萄糖-体质量指数与动脉粥样硬化性缺血性卒中的关系及其预测价值研究进展[J]. 中国脑血管病杂志,2025,22(9):644-649.

Gu JY, Tang XY. Research progress on the relationship between triglyceride-glucose-body mass index and atherosclerotic ischemic stroke and its predictive value[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases, 2025, 22(9): 644-649.(In Chinese)

[2] Rao XY, Xin ZY, Yu QW, et al. Triglyceride-glucose-body mass index and the incidence of cardiovascular diseases: a meta-analysis of cohort studies[J]. Cardiovascular Diabetology, 2025, 24(1): 34.

[3] 常诗英,杨青岩. TyG 指数、TyG-BMI 指数与 2 型糖尿病并发缺血性脑卒中的研究进展 [J]. 临床医学进展,2023,13(5): 7840-7846.

Chang SY, Yang QY. Research progress of TyG index, TyG-BMI index and type 2 diabetes complicated with ischemic stroke [J]. Advances in Clinical Medicine, 2023, 13(5): 7840-7846.(In Chinese)

[4] 缪莹,汪宇,晏丕军,等. 甘油三酯葡萄糖指数及其结合肥胖指标与中老年人新发缺血性脑卒中的关系:一项追踪 10 年的前瞻性队列研究[J]. 中国全科医学,2022,25(26):3232-3239.

Miao Y, Wang Y, Yan PJ, et al. Influencing factors of TyG and its combination with obesity indicators for new-onset ischemic stroke in middle-aged and elderly population:a 10-year follow-up prospective cohort study[J]. Chinese General Practice, 2022, 25(26): 3232-3239.(In Chinese)

[5] Huo RR, Liao Q, Zhai L, et al. Interacting and joint effects of triglyceride-glucose index (TyG) and body mass index on stroke risk and the mediating role of TyG in middle-aged and older Chinese adults: a nationwide prospective cohort study [J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 30.

[6] Shao YK, Hu HF, Li QM, et al. Link between triglyceride-glucose-body mass index and future stroke risk in middle-aged and elderly Chinese: a nationwide prospective cohort study [J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 81.

[7] Huo RR, Zhai L, Liao Q, et al. Changes in the triglyceride glucose-body mass index estimate the risk of stroke in middle-aged and older Chinese adults: a nationwide prospective cohort study [J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 254.

[8] Miao Y, Wang Y, He Y, et al. TyG-BMI as a predictor of ischemic stroke over 10 years in middle-aged and older adults: findings from the China cardiometabolic disease and cancer cohort (4C)study[J]. Frontiers in Neurology, 2025, 16: 1609853.

[9] Tu WJ, Zhao ZP, Yin P, et al. Estimated burden of stroke in China in 2020[J]. JAMA Netw Open, 2023, 6(3): e231455.

[10] 杨展,左满芳,王艳. 国际体力活动问卷在 2 型糖尿病患者体力活动调查中的适用性分析 [J]. 解放军护理杂志,2021,38

(下转第 2456 页)

- [2] Schick J, Anderson TR. Obesity, hypertension and brain health[J]. Current Hypertension Reports, 2025, 27(1): 24.
- [3] 周钰媛,李俊琳,祝淑珍,等. 湖北省中老年人人群肥胖代谢表型及其影响因素分析 [J]. 现代预防医学, 2025, 52(11): 1935-1940.
Zhou YY, Li JL, Zhu SZ, et al. Analysis of obesity metabolic phenotypes and their influencing factors in middle-aged and elderly populations in Hubei Province [J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(11): 1935-1940.(In Chinese)
- [4] WHO Expert Consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies [J]. Lancet, 2004, 363(9403): 157-163.
- [5] Stone NJ, Bilek S, Rosenbaum S. Recent National cholesterol education program adult treatment panel III update: adjustments and options[J]. American Journal of Cardiology, 2005, 96(4A): 53E-59E.
- [6] Karra P, Winn M, Pauleck S, et al. Metabolic dysfunction and obesity-related cancer: beyond obesity and metabolic syndrome [J]. Obesity (Silver Spring, Md.), 2022, 30(7): 1323-1334.
- [7] 张小宇,王琪,付春迎,等. 心血管代谢疾病患者肥胖状态与痴呆的关联研究[J]. 现代预防医学, 2025, 52(9): 1537-1543.
Zhang XY, Wang Q, Fu CY, et al. Study on the association between obesity status and dementia in patients with cardiovascular metabolic diseases[J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(9): 1537-1543. (In Chinese)
- [8] 张小丹,林深荣,安芹璇,等. 社会经济地位对城乡居民发生超重肥胖影响的队列研究 [J]. 现代预防医学, 2023, 50(23): 4231-4237, 4246.
Zhang XD, Lin SR, An QY, et al. A cohort study on the influence of socio-economic status on overweight and obesity in urban and rural residents [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(23): 4231-4237, 4246.(In Chinese)
- [9] 赵劭娟,严新风,于传宁,等. 2018 年深圳市成人肥胖和向心性肥胖现状及影响因素[J]. 中华疾病控制杂志, 2022, 26(3): 347-350, 361.
Zhao SJ, Yan XF, Yu CN, et al. Prevalence and influencing factors of obesity and abdominal obesity among adults in Shenzhen in 2018[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2022, 26(3): 347-350, 361.(In Chinese)
- [10] Barber TM, Kyrou I, Randeve HS, et al. Mechanisms of insulin resistance at the crossroad of obesity with associated metabolic abnormalities and cognitive dysfunction [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(2): 546.
- [11] Wong zhang DE, Tran V, Vinh A, et al. Pathophysiological links between obesity and dementia [J]. NeuroMolecular Medicine, 2023, 25(4): 451-456.
- [12] 黄小菲,陈盈浩,张娜. 温州市某县≥60 岁人群老年痴呆症患病现状及影响因素研究 [J]. 中国健康教育, 2025, 41(7): 662-666.
Huang XF, Chen YH, Zhang N. Current situation of Alzheimer's Disease and its influencing factors among residents aged 60 years old and above in a County of Wenzhou City[J]. Chinese Journal of Health Education, 2025, 41(7): 662-666.(In Chinese)[13]Christoffersen M. Shared risk factors between dementia and atherosclerotic cardiovascular disease [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(17): 9777.
- [14] Lozupone M, Panza F. Impact of apolipoprotein E isoforms on sporadic Alzheimer's disease: beyond the role of amyloid beta [J]. Neural Regeneration Research, 2024, 19(1): 80-83.
- [15] 张巾英,彭滢,刘晓,等. 社区中老年人降低痴呆风险的生活方式现状及其影响因素研究 [J]. 中国全科医学, 2023, 26(13): 1577-1583.
Zhang JY, Peng Y, Liu X, et al. Dementia risk reduction lifestyle status and influencing factors among community-dwelling middle-aged and elderly adults [J]. Chinese General Practice, 2023, 26(13): 1577-1583.(In Chinese)
- [16] Tari AR, Walker TL, Huuha AM, et al. Neuroprotective mechanisms of exercise and the importance of fitness for healthy brain ageing[J]. Lancet, 2025, 405(10484): 1093-1118.
- [17] Song D, Li Y, Yang LL, et al. Bridging systemic metabolic dysfunction and Alzheimer's disease: the liver interface [J]. Molecular Neurodegeneration, 2025, 20(1): 61.

收稿日期: 2025-11-22

(上接第 2422 页)

(5): 55-58.

Yang Z, Zuo MF, Wang Y. Can the international physical activity questionnaire be used in surveying the physical activity of type 2 diabetes patients?[J]. Nursing Journal of Chinese People's Liberation Army, 2021, 38(5): 55-58.(In Chinese)

- [11] Jian H, Jie L, Jiang Y, et al. Synergistic effects of triglyceride-glucose index and body mass index combined with depression in predicting stroke events: a study based on two National cohorts [J]. Front Nutr, 2025, 12: 1633655.
- [12] Liang WC, Ouyang HC. The association between triglyceride-glucose index combined with obesity indicators and stroke risk: A longitudinal study based on CHARLS data [J]. BMC Endocrine Disorders, 2024, 24(1): 234.
- [13] Zhang YY, Li YJ, Hu XQ, et al. Unveiling the negative synergistic effect of wall shear stress and insulin on endothelial NO dynamics by

mathematical modeling [J]. Bulletin of Mathematical Biology, 2025, 87(4): 46.

- [14] Qu J, Wu D, Ko CW, et al. Deficiency of apoA-IV in female 129X1/SvJ mice leads to Diet-Induced obesity, insulin resistance, and decreased energy expenditure[J]. Nutrients, 2023, 15(21): 4655.
- [15] Jiang L, Xu L, Lu Y, et al. The correlation between insulin resistance and blood lipids in children [J]. Journal of Medical Biochemistry, 2024, 43(6): 860-869.
- [16] Sun JA, Meng XL, Guo LC, et al. Association between modified triglyceride glucose indices and stroke risk in middle-aged and older Chinese adults: a prospective cohort study [J]. Cardiovascular Diabetology, 2025, 24(1): 274.
- [17] Xu WQ, Zhao HY, Han X, et al. Relationship between early-onset stroke and triglyceride-glucose index among young Chinese adults [J]. Lipids in Health and Disease, 2023, 22(1): 3.

收稿日期: 2026-01-24