·流行病与统计方法·

基于 CHARLS 数据库评估新型综合指标 TyG-BRI 与中老年人脑卒中风险的纵向关联

张姣，杨伟慧，孙丹，梅丽娜
湖州市妇幼保健院内科，浙江 湖州 313000

摘要：目的　利用中国健康与养老追踪调查（China Health and Retirement Longitudinal Study，CHARLS）数据库，研究甘油三酯－葡萄糖指数（trigyceride glucose index，TyG）-身体圆度指数（body roundness index，BRI）与中老年人脑卒中风险的相关性。**方法**　本研究基于 2011—2020 年 CHARLS 数据进行纵向研究。TyG 指数通过基线测量的空腹血糖与甘油三酯计算得出，TyG-BRI 则在 TyG 基础上进一步结合基线腰围和身高所构建。脑卒中的发生通过问卷调查方式进行判断。此次研究对缺失数据采用 MICE 插补后进行分析，将 TyG-BRI 按四分位数水平分层，进行 Kaplan-Meier 曲线生存分析。同时通过多因素 Cox 比例风险回归模型，评估不同 TyG-BRI 水平与脑卒中风险之间的关联。采用限制性立方样条（restricted cubic splines，RCS）分析 TyG-BRI 与脑卒中发生风险之间的剂量反应关系。最后，通过亚组分析和交互作用检验，探讨 TyG-BRI 与脑卒中关联在不同人群中的异质性。**结果**　整个随访周期中，纳入纵向研究人数 7 709 人，其中 536 人随访期间确诊为脑卒中。Cox 回归分析及 Kaplan-Meier 曲线均提示 TyG-BRI 水平与脑卒中风险正相关。以 Q1 组为参照，在模型 3 中，Q2、Q3、Q4 组的风险均显著增加，其风险比与置信区间分别为：Q2 组（*HR*=1.39，95%*CI*：1.04～1.86）、Q3 组（*HR*=1.70，95%*CI*：1.28～2.27）、Q4 组（*HR*=1.75，95%*CI*：1.28～2.40）。同时 RCS 曲线揭示了 TyG-BRI 与脑卒中之间线性关系，整体趋势为正相关。在亚组分析中，并未发现有与脑卒中独立相关的因素，敏感性分析也验证了上述结果的稳健性。**结论**　TyG-BRI 可在脑卒中风险管理的早期检测和预防中有重要的临床意义。

关键词：甘油三酯葡萄糖指数；身体圆度指数；脑卒中；纵向研究；中国健康与养老追踪调查
中图分类号：R543　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1003-8507（2026）07-1213-07
DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202510302

Association between TyG-BRI and stroke in middle-aged and older adults: a longitudinal study based on CHARLS

ZHANG Jiao, YANG Wei-hui, SUN Dan, MEI Li-na
Department of Internal Medicine, Huzhou Maternity & Child Health Care Hospital, Huzhou, Zhejiang 313000, China

Abstract: Objective To investigate the association between trigyceride glucose index - body roundness index (TyG-BRI) and the risk of stroke in middle-aged and older adults using the CHARLS database. **Methods** This study conducted a longitudinal study using CHARLS data from 2011 to 2020. The TyG index was calculated from baseline fasting blood glucose and triglyceride levels. TyG-BRI was developed by integrating the TyG index with baseline waist circumference and height. Stroke was identified through follow-up questionnaires. After imputing missing data using MICE, we analyzed the data by stratifying TyG-BRI according to quartile levels and conducted Kaplan-Meier survival curve analysis. Meanwhile, a multivariable Cox proportional hazards regression model was used to assess the association between different TyG-BRI levels and the risk of stroke. Restricted cubic spline (RCS) analysis was employed to examine the dose-response relationship between TyG-BRI and the incidence of stroke. Finally, subgroup analyses and interaction tests were performed to explore the heterogeneity of the association between TyG-BRI and stroke among different populations. **Results** A total of 7 709 individuals were included in the longitudinal study throughout the entire follow-up period, and 536 developed stroke. Both Cox regression and Kaplan-Meier analyses showed that higher TyG-BRI levels were associated with increased stroke risk. Using the first quartile (Q1) as reference, the fully adjusted model (Model 3) showed significantly elevated risks for Q2 (*HR*=1.39, 95% *CI*: 1.04-1.86), Q3 (*HR*=1.70, 95% *CI*: 1.28-2.27), and Q4 (*HR*=1.75, 95% *CI*: 1.28-2.40). RCS analysis revealed a linear relationship between TyG-BRI and stroke risk with an overall positive trend. Subgroup analyses did not identify any factors independently associated with stroke. Sensitivity analyses confirmed the robustness of these findings. **Conclusion** TyG-BRI shows potential as a useful indicator for early detection and prevention in stroke risk management.

Keywords: Triglyceride glucose index; Body roundness index; Stroke; Longitudinal study; China health and retirement longitudinal study

作者简介：张姣（1992—），女，硕士在读，主治医师，研究方向：内分泌与代谢
通信作者：梅丽娜，E-mail：15067750116@163.com

2021 年全球疾病负担(Global Burden of Disease Study,GBD)研究显示,全球脑卒中患病人数达 9 380 万,新发病例约 1 190 万,已成为全球第三大死因,占比 10.7%,仅次于缺血性心脏病与新冠肺炎(COVID-19)[1]。我国 2020 年脑卒中现患人数约 1 780 万,当年新发病例约 340 万,因脑卒中及相关并发症死亡的人数约为 230 万,且中年人的分布比例逐渐增加[2-4]。高发病率、高致残率、高死亡率、高复发率和高经济负担为脑卒中的五大特点。胰岛素抵抗(insulin resistance,IR)、肥胖与心脑血管风险密切相关[4-5]。甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride glucose index,TyG)作为临床评估 IR 的实用工具,因其简单可靠,已逐步代替高胰岛素-正常血糖钳夹试验或稳态模型评估的胰岛素抵抗指数(homeostasis model assessment of insulin resistance,HOMA)-IR。此外肥胖,尤其是内脏脂肪型肥胖,可通过诱发内质网应激及慢性炎症反应等机制进一步加剧 IR;反之,IR 也可通过对脂质代谢的负面影响及促进能量蓄积,从而形成并加重肥胖状态[6]。身体圆度指数(body roundness index,BRI)是由 Thomas 提出的一种与腹部肥胖相关的新型人体测量指标,它整合了腰围和身高,比身体质量指数(body mass index,BMI)、腰围等传统指标更有效地反映体脂和内脏脂肪比例[7]。

TyG 与 BRI 分别从代谢紊乱与体脂分布两个核心维度评估脑血管疾病风险,使用联合指标能够实现对个体脑卒中风险的更全面评估,尤其对内脏肥胖人群的识别具有重要筛查价值。目前国内临床研究大多数为单一血液指标或人体测量指标,且主要为横断面研究,无法确定因果关系。为此,本研究采用纵向队列研究,探讨 TyG-BRI 与脑卒中风险的关系,旨在为识别高风险人群,及早期干预提供依据,从而改善预后、降低脑卒中相关疾病负担。

1 资料与方法

1.1 资料来源 本研究基于 2011—2020 年中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study,CHARLS)数据。CHARLS 于 2011 年启动全国基线调查,采用多阶段抽样方法,覆盖全国 28 个省级行政单位、150 个县级单位以及 450 个村级单位。该数据库全面收集了我国 45 岁及以上中老年人群的人口学特征、健康状况、功能能力、社会经济状况及退休等多维信息,是一套具有全国代表性的高质量微观数据。

CHARLS 研究已通过北京大学生物医学伦理委员会的审查批准(伦理批号:IRB00001052-11015),所有参与者在入选研究前均签署了书面知情同意书。本研究下载并使用了共五轮 CHARLS 数据(2011 年、2013 年、2015 年、2018 年及 2020 年),数据来源网址为:https://charls.pku.edu.cn。

1.2 纳入及排除标准 本研究基于 2011 年参与 CHARLS 的基线人群(17 705)。排除标准:年龄小于 45 岁(162 人);既往有脑卒中病史(包括 2011 年确诊者,共 559 人);有高血压、糖尿病等慢性病(367 人);有慢性肿瘤、慢性肺部疾病(2 528 人);基线体测指标缺失(3 990 人);未完成整个调查周期(2 390 人)。最终 7 709 人纳入队列研究,后续随访中,确诊脑卒中 536 人,无脑卒中者 7 173 人。

1.3 观察指标及疾病诊断

1.3.1 指标的计算 TyG 计算公式[8]:TyG=In[空腹甘油三酯×空腹血糖/2],其中空腹血糖单位是 mg/dl,甘油三酯的单位是 mg/dl。

BRI 计算公式[7]:$BRI = 364.2 - 365.5 \times \sqrt{1-\frac{(腰围/2\pi)^2}{(身高/2)^2}}$,其中腰围和身高的单位均是 m。

TyG-BRI 计算公式:TyG-BRI= TyG × BRI

1.3.2 疾病的诊断标准 脑卒中诊断方法:通过问卷标准化问题获得由医生曾经告诉过患者诊断过中风或患者自己提供确诊中风事件的年龄及时间。

1.4 数据的收集 根据临床研究,纳入协变量包括人口统计学(年龄、性别、教育程度、BRI、BMI)、慢性病(高血压、糖尿病)、生活方式(吸烟和饮酒状况)、舒张压、收缩压、实验室检查包括白细胞、平均红细胞体积(mean corpuscular volume,MCV)、血小板、C 反应蛋白(c-reactive protein,CRP)、血尿素氮、血红蛋白、葡萄糖、血清肌酐、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol,HDL)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol,LDL)、总胆固醇、甘油三酯、糖化血红蛋白 A1c(glycated hemoglobin,HbA1c)、尿酸和 TyG。

1.5 统计学方法 在统计分析中,对于存在缺失值的数据采用多重插补(MICE,5 次迭代),其中连续变量采用预测均值匹配法、二分类变量采用逻辑回归模型插补。组间变量如符合正态分布,以($\bar{x} \pm s$)表示,比较采用 t 检验或单因素方差分析;如组间连续变量偏态分布,则以中位数[$M(P_{25},P_{75})$]表示,比较采用 U 检验,多组间比较采用 H 检验。计数资料以频数和构成比描述,组间性别、教育水平、吸烟、饮酒、高血压、糖尿病、脑卒中人数比较采用 χ^2 检验。以 TyG-BRI 的四分位数及连续变量构建模型,逐步纳入不同协变量,建立多个 Cox 比例风险回归模型,遵守 Rubin 法则(Rubin Rules)。应用 Kaplan-Meier 曲线和限制性立方样条(restricted cubic splines,RCS)回归分析 TyG-BRI 及其与脑卒中风险的关联,通过绘制时间

依赖性受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC）曲线，评估 TyG-BRI 对脑卒中风险的预测效能。将 TyG-BRI 作为连续变量进行亚组分析及交互作用检验，探讨不同人群中是否存在异质性。此外，采用预后评分匹配，按照 1∶4 最邻近方法，卡钳值 0.2）进行敏感性分析。所有统计分析均使用 R 软件(版本 4.4.3)、SPSS(版本 28.0)和 GraphPad Prism(版本 10.0)完成，检验水准 α=0.05。

2　结　果

2.1　TyG-BRI 四分位数不同人群基线资料比较　本研究将研究对象按 TyG-BRI 四分位数划分为四组：Q1 组(1 928 例)、Q2 组(1 927 例)、Q3 组(1 927 例)和 Q4 组(1 927 例)。共纳入 7 709 例参与者，其中男性 3 662 例，女性 4 047 例，平均年龄为 59.16 岁。随 TyG-BRI 水平升高，年龄逐渐增大，差异具有统计学意义($P<0.001$)。分析显示，白细胞计数、血小板计数、血糖、LDL、总胆固醇、甘油三酯、HbA1c、尿酸、BMI 均与 TyG-BRI 水平呈正相关($P<0.001$)；脑卒中、糖尿病和高血压的患病率也随 TyG-BRI 升高而增加($P<0.001$)。而尿素氮、MCV、肌酐和 HDL 则随 TyG-BRI 四分位数增加而降低($P<0.001$)。此外，Q4 组的吸烟和饮酒比例显著低于其他三组，差异均具有统计学意义($P<0.001$)。见表 1。

表 1　基线资料表[$(\bar{x}\pm s)$, $n(\%)$]

Table 1　Baseline characteristic of the study participants [$(\bar{x}\pm s)$, $n(\%)$]

变量	总计	Q1 组	Q2 组	Q3 组	Q4 组	P 值
n	7 709	1 928	1 927	1 927	1 927	
年龄(岁)	59.16 ± 9.40	59.16 ± 9.45	58.66 ± 9.26	58.88 ± 9.42	59.92 ± 9.45	<0.001
性别						
女性	4 047(52.50)	610(31.64)	905(46.96)	1 106(57.39)	1 426(74.00)	<0.001
男性	3 662(47.50)	1 318(68.36)	1 022(53.04)	821(42.61)	501(26.00)	
教育水平						0.006
初中以下	6 961(90.30)	1 739(90.20)	1 722(89.36)	1 722(89.36)	1 778(92.27)	
初中以上	748(9.70)	189(9.80)	205(10.64)	205(10.64)	149(7.73)	
吸烟						<0.001
否	4 659(60.44)	824(42.74)	1 077(55.89)	1 258(65.28)	1 500(77.84)	
是	3 050(39.56)	1 104(57.26)	850(44.11)	669(34.72)	427(22.16)	
饮酒						<0.001
否	5 091(66.04)	1 085(56.28)	1 192(61.86)	1 331(69.07)	1 483(76.96)	
是	2 618(33.96)	843(43.72)	735(38.14)	596(30.93)	444(23.04)	
高血压						<0.001
否	6 118(79.36)	1 734(89.94)	1 646(85.42)	1 490(77.32)	1 248(64.76)	
是	1 591(20.64)	194(10.06)	281(14.58)	437(22.68)	679(35.24)	
糖尿病						<0.001
否	7 357(95.43)	1 895(98.29)	1 878(97.46)	1 826(94.76)	1 758(91.23)	
是	352(4.57)	33(1.71)	49(2.54)	101(5.24)	169(8.77)	
脑卒中						<0.001
否	7 173(93.05)	1 848(95.85)	1 811(93.98)	1 773(92.01)	1 741(90.35)	
是	536(6.95)	80(4.15)	116(6.02)	154(7.99)	186(9.65)	
BRI	4.19 ± 1.33	2.68 ± 0.43	3.62 ± 0.32	4.51 ± 0.42	5.95 ± 0.90	<0.001
TyG	8.66 ± 0.66	8.28 ± 0.50	8.53 ± 0.53	8.74 ± 0.57	9.11 ± 0.70	<0.001
收缩压(mm Hg)	129.95 ± 21.23	124.36 ± 19.86	127.11 ± 19.86	131.17 ± 21.12	137.16 ± 21.83	<0.001
舒张压(mm Hg)	75.54 ± 12.08	72.64 ± 11.66	74.12 ± 11.90	76.39 ± 11.83	79.00 ± 11.96	<0.001
BMI(kg/m^2)	23.33 ± 3.73	20.01 ± 2.15	22.12 ± 2.38	24.11 ± 2.46	27.09 ± 3.47	<0.001
白细胞计数(10^9/L)	6.28 ± 2.24	6.12 ± 1.91	6.25 ± 3.07	6.24 ± 1.83	6.51 ± 1.88	<0.001
MCV(fL)	90.69 ± 8.58	91.36 ± 9.35	90.99 ± 9.01	90.52 ± 8.27	89.88 ± 7.49	<0.001
血小板计数(10^9/L)	211.51 ± 72.87	208.03 ± 73.31	213.08 ± 72.07	209.19 ± 71.66	215.75 ± 74.21	0.003
尿素氮(mg/dl*)	15.77 ± 4.59	16.24 ± 4.64	15.84 ± 4.88	15.61 ± 4.43	15.40 ± 4.37	<0.001
血糖(mmol/L)	6.09 ± 2.01	5.63 ± 1.31	5.87 ± 1.66	6.11 ± 1.88	6.74 ± 2.72	<0.001
肌酐(mg/dl*)	0.78 ± 0.24	0.80 ± 0.18	0.79 ± 0.23	0.78 ± 0.33	0.76 ± 0.19	<0.001
总胆固醇(mg/dl*)	193.59 ± 38.00	183.52 ± 35.59	191.06 ± 35.94	196.01 ± 37.39	203.76 ± 40.04	<0.001
甘油三酯(mmol/L)	1.42 ± 1.05	0.97 ± 0.54	1.21 ± 0.68	1.47 ± 0.90	2.05 ± 1.49	<0.001
HDL(mmol/L)	1.34 ± 0.40	1.52 ± 0.41	1.41 ± 0.39	1.29 ± 0.36	1.16 ± 0.33	<0.001
LDL(mmol/L)	3.03 ± 0.91	2.84 ± 0.82	3.02 ± 0.83	3.13 ± 0.90	3.13 ± 1.03	<0.001
CRP(mg/L)	2.67 ± 7.50	2.56 ± 8.60	2.60 ± 8.29	2.67 ± 7.52	2.83 ± 5.09	0.699
HbA1c(%)	5.25 ± 0.80	5.10 ± 0.56	5.16 ± 0.68	5.26 ± 0.79	5.50 ± 1.03	<0.001
尿酸(mg/dl*)	4.46 ± 1.25	4.39 ± 1.20	4.38 ± 1.22	4.48 ± 1.30	4.57 ± 1.26	<0.001
血红蛋白(g/dl)	14.36 ± 2.23	14.29 ± 2.15	14.34 ± 2.20	14.34 ± 2.29	14.47 ± 2.28	0.084

注：* 尿素氮为 1mg/dl=0.357mmol/L；肌酐为 1mg/dl=88.40umol/L；总胆固醇为 1mg/dl=0.025 9mmol/L；尿酸为 1mg/dl=0.059 5mmol/L。

2.2　共线性诊断及变量的筛选　基于单因素分析结果，本研究首先进行了多重共线性诊断。方差膨胀因子（variance inflation factor,VIF）分析显示 TyG-BRI、BRI、BMI、总胆固醇、TyG 指数和 LDL-C 之间存在高度共线性（VIF＞10）。为避免多重共线性干扰，同时结合变量的临床重要性，最终确定纳入年龄、TyG-BRI、收缩压、白细胞计数、MCV、血小板计数、血糖、肌酐、甘油三酯、HDL、LDL、HbA1c 和尿酸进行多因素 Cox 回归分析。BMI 的 VIF 虽小于 5，但可能出现对肥胖因素的重复调整，故未将其纳入多因素回归。

2.3　不同水平 TyG-BRI 与脑卒中之间的 Kaplan-Meier 曲线和 Cox 回归　随访期间共新发脑卒中 536 例，总随访时间为 9 年，中位随访时长 5 年，其中 TyG-BRI 四分位分组（Q1 ~ Q4 组）的发病人数分别为 80（4.1%）、116（6.0%）、154（8.0%）和 186 例（9.7%）。Kaplan-Meier 生存曲线进一步显示，随着 TyG-BRI 水平升高，脑卒中累积发病风险呈逐步上升趋势，且组间差异具有统计学意义（P<0.05），见图 1。多因素 Cox 比例风险回归分析结果与上述结论一致，TyG-BRI 是脑卒中风险的独立危险因素，见表 2。当 TyG-BRI 作为连续变量，每增加 1 个标准差，脑卒中风险增加 15%（*HR*=1.15，95% *CI*:1.03 ~ 1.27）。将 TyG-BRI 按四分位数划分，与 Q1 组相比，Q4 组在模型 3 中发生脑卒中的风险增加 75%（*HR*=1.75，95% *CI*:1.28 ~ 2.40）。为进一步评估 TyG-BRI 对脑卒中发生风险的预测效能，绘制时间依赖性 ROC 曲线，结果显示 TyG-BRI 预测随访第 3、5、7 和 9 年的脑卒中发生率 AUC 分别为 0.621、0.653、0.679、0.761，均高于 TyG、BRI 单独预测。见图 2。

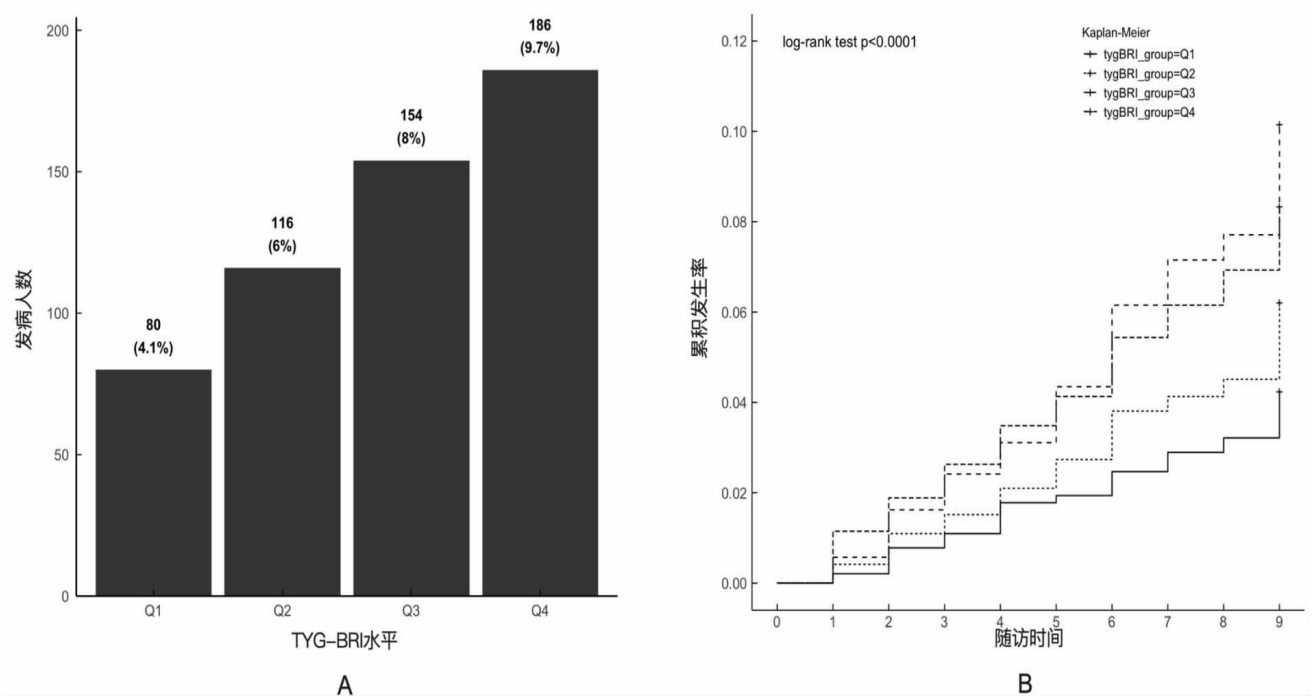


图 1　各组 TyG-BRI 脑卒中发病人数和累积发生率比较

Figure 1　Comparison of stroke case number and cumulative incidence across TyG-BRI groups

表 2　TyG-BRI 与脑卒中 Cox 回归模型

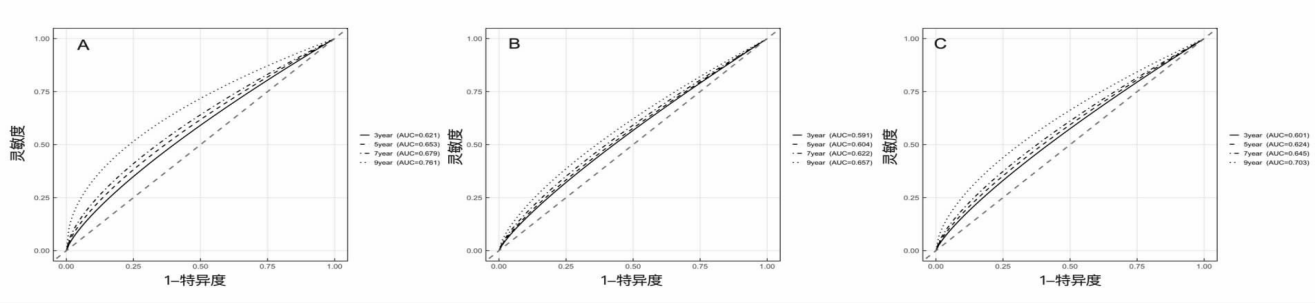
Table2　Association between TyG-BRI and stroke in the Cox regression

TyG-BRI	model1		model2		model3	
	HR（95%*CI*）	*P* 值	*HR*（95%*CI*）	*P* 值	*HR*（95%*CI*）	*P* 值
Q1	1.00 (Reference)	—	1.00 (Reference)	—	1.00 (Reference)	—
Q2	1.46 (1.10 ~ 1.95)	0.009	1.51 (1.13 ~ 2.01)	0.005	1.39(1.04 ~ 1.86)	0.025
Q3	1.97 (1.50 ~ 2.59)	<0.001	1.99 (1.51 ~ 2.63)	<0.001	1.70 (1.28 ~ 2.27)	0.003
Q4	2.39 (1.84 ~ 3.11)	<0.001	2.31 (1.74 ~ 3.07)	<0.001	1.75 (1.28 ~ 2.40)	0.004
每增加 1 个标准差	1.32（1.22 ~ 1.42）	<0.001	1.27 (1.17 ~ 1.39)	<0.001	1.15 (1.03 ~ 1.27)	0.009

注：model1 未调整变量；model2 调整了调整年龄及性别、教育水平、吸烟、饮酒、高血压、糖尿病；model3 在 model2 基础调整了收缩压、白细胞计数、MCV、血小板计数、血糖、肌酐、甘油三酯、HDL、LDL、HbA1c、尿酸。

2.4　TyG-BRI 与脑卒中之间的非线性效应分析　基于赤池信息准则最小原则及避免模型的过度拟合，选择 3 个节点构建 RCS 曲线，探究 TyG－BRI 与脑卒中风险是否存在非线性关系。结果显示，二者之间非

线性关系统计学意义不显著（*P* for nonlinear=0.053），总体趋势表明，TyG–BRI 水平与脑卒中风险之间呈正相关（*P* for overall＜0.05）。见图 3。



注：3year、5year、7year、9year 指随访的第 3、5、7 和 9 年；A 为 TyG–BRI；B 为 BRI；C 为 TyG。

图 2　TyG–BRI、BRI 和 TyG 预测新发脑卒中的时间依赖性 ROC 曲线

Figure 2　Time–dependent ROC curves of TyG–BRI, BRI, and TyG for predicting new–onset stroke

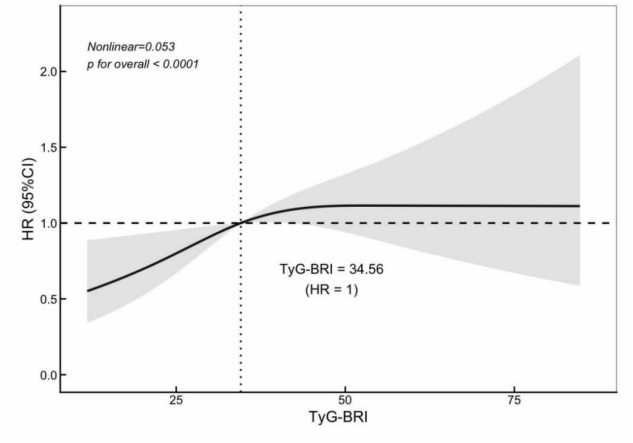


图 3　TyG–BRI 与脑卒中之间的非线性效应分析

Figure 3　Nonlinear associations of TyG–BRI with stroke incidence

2.5　TyG–BRI 与脑卒中之间的亚组分析　在不同 BMI、糖尿病、高血压、吸烟及饮酒等亚组分析分层中，连续变量 TyG–BRI 与脑卒中风险的交互作用均无统计学意义（*P* for interaction＞0.05）。性别亚组中交互作用存在统计学意义（*P* for interaction＜0.05），但经 Bonferroni 多重检验校正后，交互作用的统计学意义也不显著（校正 *P* for interaction=0.19）。见图 4。

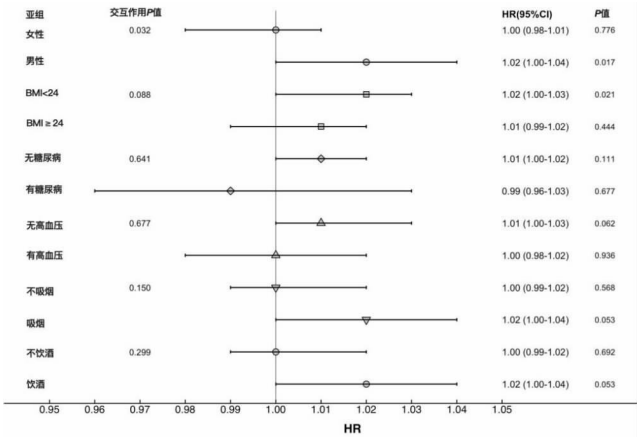


图 4　TyG–BRI 与新发脑卒中之间的亚组分析及交互作用

Figure 4　Subgroup analysis and interaction effect evaluation of the association between TyG–BRI and risk of new–onset stroke

2.6　敏感性分析　本研究采用预后评分匹配进行敏感性分析。基于基线对照人群协变量构建脑卒中风险预测模型，以预后评分进行 1:4 匹配（卡钳值 0.2）。匹配后脑卒中组 529 人、非脑卒中组 2 085 人，两组基线特征达到平衡（SMD＜0.1）。同时匹配后 Cox 分析显示，与 TyG–BRI Q1 组相比，Q4 组卒中风险显著升高（*HR*=1.76，95% *CI*: 1.18 ~ 2.61，*P*=0.005）。

3　讨　论

本研究基于 CHARLS 数据库 2011—2020 年的纵向数据，探讨了 TyG–BRI 指数与中国中老年人群脑卒中发生风险之间的关系。结果表明，TyG–BRI 水平与脑卒中风险呈显著正相关。在调整多种变量、亚组分层及进行敏感性分析后，该关联依然有统计学意义。

TyG 指数作为高效、便捷的 IR 的代替指标，已在多项研究显示，其与动脉粥样硬化以及多种心血管疾病，如高血压、中风和冠心病，均存在独立关联[9-10]。同时升高的 TyG 指数被证实与脑卒中多项不良长期临床结局密切相关，包括长期生存率降低[11]、全因死亡率[12]以及 1 年后卒中复发风险[13]。IR 可以通过全身炎症反应，减弱胰岛素敏感性，加速泡沫细胞形成，从而导致动脉粥样硬化及斑块的形成[14]。部分研究发现 IR 可能会通过氧化途径，导致促炎粘附分子、或胰岛素样生长因子过度表达，对血小板的粘附、聚集等产生影响[15]。此外，IR 通过抑制 PI3 – K 途径、或激活内皮钠通道，从而促进动脉收缩及僵硬[16]。上述机制可能参与了脑卒中的发生发展。

TyG 指数联合 BMI[17]、腰围[18]往往比两者单独使用对代谢性疾病有更高的预测价值。但也有少数研究发现单独 TyG（AUC：0.545）预测效能优于联合指标 TyG– 腰围、TyG–BMI（AUC 值分别为 0.536、0.528）[19]。出现上述结果差异的原因可能在于，在 BMI 和腰

围正常的人群中，部分个体仍可能存在内脏脂肪堆积或异位脂肪分布。这类 BMI 界定为非肥胖的个体，可能因内脏脂肪异常积聚或脂肪异位沉积导致代谢风险存在异质性，从而减弱 TyG 指数对代谢疾病或心脑血管疾病的预测能力。BRI 是当前一种新型人体测量指标，在预测体脂率和内脏脂肪组织百分比方面，相较于 BMI 和腰围有明显的优势。本研究发现，TyG-BRI 在随访的时间段内，预测效能均更高，如随访 9 年 AUC 达 0.761，而同期单独使用 TyG 和 BRI 的 AUC 为 0.703、0.657。近期研究表明，BRI 与多种慢性疾病的发生均密切相关，包括糖尿病、心血管疾病和结肠肿瘤等[20-22]。内脏脂肪堆积导致活性氧增加，促炎细胞因子水平增高，脂肪因子分泌失调等因素，增加脑卒中的风险[23]。本研究采用 TyG-BRI 四分位数进行 Cox 回归分析，结果显示，在调整不同混杂变量后其效应值有所衰减，但 TyG-BRI 仍是脑卒中发生风险的独立危险因素（$P<0.05$）。值得注意的是模型 3 中 Q4 与 Q3 效应相对持平，可能与此次纳入的部分变量相关，如调整 LDL 可能导致削弱脂蛋白异常对脑卒中的影响。RCS 分析结果表明，TyG-BRI 与脑卒中风险之间非线性关系不显著，两者之间整体趋势呈正相关。Wang 等[24]的研究结果同样指出，TyG-BRI 和心脑血管风险存在线性关联，这一发现与本研究结果相仿；然而，该研究并未进一步探讨 TyG-BRI 的具体风险临界值，而本研究则明确了这一关键数值，为临床风险评估提供了更精确的参考依据。

本研究优势在于，数据样本的人群具备良好的人群代表性，使得研究结论在我国中老年群体中具有较强的适用性与参考价值。其次，研究基于纵向数据分析，比横断面研究能更清晰地解释二者间因果关系。但也存在一定局限性，主要包括以下几个方面：其一，结局指标无法进一步区分脑卒中的具体亚型（如缺血性脑卒中、出血性脑卒中），难以分析 TyG-BRI 与不同亚型脑卒中风险的关联差异。其二，本研究数据来源于回顾性资料，回忆偏倚、测量偏倚难以完全避免，可能对结果准确性有影响。其三，研究通过多重插补法对缺失数据进行处理，并在回归模型中尽可能纳入目前已知混杂因素，但仍可能存在遗漏其他相关混杂因素。

综上所述，新型 TyG-BRI 与我国中老年人脑卒中风险独立相关，尤其是 BMI 正常但存在内脏性肥胖的患者中，能更早期的识别高危人群。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Xue J, Li XP, Zhao YJ, et al. Global, regional, and National burden of idiopathic epilepsy in older adults, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. BMC Medicine, 2025, 23(1): 443.

[2] Ma QF, Li R, Wang LJ, 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.

[3] Tu WJ, Wang LD. Special writing group of China stroke surveillance report. China stroke surveillance report 2021[J]. Mil Med Res, 2023, 10(1): 33-59.

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

[5] Louie JZ, Shiffman D, McPhaul MJ, et al. Insulin resistance probability score and incident cardiovascular disease [J]. Journal of Internal Medicine, 2023, 294(4): 531-535.

[6] Tong Y, Xu S, Huang L, et al. Obesity and insulin resistance: Pathophysiology and treatment [J]. Drug Discovery Today, 2022, 27 (3): 822-830.

[7] Thomas DM, Bredlau C, Bosy-Westphal A, et al. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model [J]. Obesity (Silver Spring, Md.), 2013, 21(11): 2264-2271.

[8] Guerrero-Romero F, Simental-Mendía LE, González-Ortiz M, et al. The product of triglycerides and glucose,a simple measure of insulin sensitivity.Comparison with the euglycemic-hyperinsulinemic clamp [J]. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2010, 95 (7): 3347-3351.

[9] Che BZ, Zhong CK, Zhang RJ, et al. Triglyceride-glucose index and triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio as potential cardiovascular disease risk factors: an analysis of UK biobank data [J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 34-45.

[10] Cui CC, Liu L, Zhang T, et al. Triglyceride-glucose index, renal function and cardiovascular disease: a National cohort study [J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 325.

[11] Miao MY, Bi YC, Hao LJ, et al. Triglyceride-glucose index and short-term functional outcome and in-hospital mortality in patients with ischemic stroke [J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 2023, 33(2): 399-407.

[12] Cai WM, Xu J, Wu X, et al. Association between triglyceride-glucose index and all-cause mortality in critically ill patients with ischemic stroke: analysis of the MIMIC-IV database [J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 138-150.

[13] Guo WY, Liu ZZ, Liu P, et al. Association between triglyceride-glucose index and 1-year recurrent stroke after acute ischemic stroke: Results from the Xi'an stroke registry study of China [J]. Cerebrovascular Diseases, 2024, 53(4): 391-402.

[14] Poznyak A, Grechko AV, Poggio P, et al. The diabetes Mellitus-Atherosclerosis connection: the role of lipid and glucose metabolism and chronic inflammation [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(5): 1835-1848.

[15] Brown E, Ozawa K, Moccetti F, et al. Arterial platelet adhesion in Atherosclerosis-Prone arteries of obese,Insulin-Resistant nonhuman primates[J]. Journal of the American Heart Association, 2021, 10(9): e019413.

[16] Hill MA, Yang Y, Zhang LP, et al. Insulin resistance, cardiovascular stiffening and cardiovascular disease [J]. Metabolism, 2021, 119: 154766.

[17] Wang R, Cheng XB,Tao WJ.Association between triglyceride glucose body mass index and cardiovascular disease in adults: evidence from NHANES 2011– 2020 [J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1362667.

[18] Liu L, Peng J, Wang N, et al. Comparison of seven surrogate insulin resistance indexes for prediction of incident coronary heart disease risk: a 10–year prospective cohort study [J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1290226.

[19] Cui CC, Qi YT, Song JY, et al. Comparison of triglyceride glucose index and modified triglyceride glucose indices in prediction of cardiovascular diseases in middle aged and older Chinese adults[J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 185.

[20] Rico–Martín S, Calderón–García JF, Sánchez–Rey P, et al. Effectiveness of body roundness index in predicting metabolic syndrome:A systematic review and meta–analysis [J]. Obesity Reviews, 2020, 21(7): e13023.

[21] Cai XT, Song SW, Hu JL, et al. Body roundness index improves the predictive value of cardiovascular disease risk in hypertensive patients with obstructive sleep apnea: a cohort study [J]. Clinical and Experimental Hypertension, 2023, 45(1): Article: 2259132.

[22] Gao WX, Jin LJ, Li DC, et al. Correction to: the association between the body roundness index and the risk of colorectal cancer: a cross–sectional study [J]. Lipids in Health and Disease, 2023, 22(1): 59.

[23] Preda A, Carbone F, Tirandi A, et al. Obesity phenotypes and cardiovascular risk: From pathophysiology to clinical management[J]. Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders, 2023, 24(5): 901–919.

[24] Bai WY, Chen HQ, Wan HQ, et al. Association between the triglyceride glucose–body roundness index and the incidence of cardiovascular disease among Chinese middle and old–aged adults: a nationwide prospective cohort study[J]. Acta Diabetologica, 2025, 62 (10): 1647–1657.

收稿日期:2025–10–22

（上接第 1206 页）

2018[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2024, 31(20): 1240–1244.(In Chinese)

[11] 周福新，王生芸，张效林，等. 2010–2019 年甘肃省肿瘤登记地区膀胱癌发病与死亡分析 [J]. 现代预防医学，2024，51(19)：3495–3500.
Zhou FX, Wang SY, Zhang XL, et al. Analysis of bladder cancer incidence and mortality in Gansu Province from 2010 to 2019[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(19): 3495–3500.(In Chinese)

[12] 徐源佑，张永辉，丁璐璐，等. 1972–2021 年江苏省启东市膀胱癌发病趋势分析[J]. 中国肿瘤，2024，33(6)：459–464.
Xu YY, Zhang YH, Ding LL, et al. Analysis of the incidence trend of bladder cancer in Qidong City, Jiangsu Province from 1972 to 2021 [J]. China Oncology, 2024, 33(6): 459–464.(In Chinese)

[13] 骆文书，姚杏娟，吉俊敏，等. 2015 年江苏省膀胱癌发病与死亡及 2006–2015 年变化趋势分析[J]. 中国肿瘤，2021，30(2)：112–118.
Luo WS, Yao XJ, Ji JM, et al. Analysis of the incidence and mortality of bladder cancer in Jiangsu Province in 2015 and the trend from 2006 to 2015 [J]. China Oncology, 2021, 30 (2): 112–118.(In Chinese)

[14] 刘哲，闫范书，余灵灵，等. 2005–2020 年中国膀胱癌死亡状况及 2021–2030 年趋势预测分析 [J]. 中国预防医学杂志，2024，25(11)：1341–1345.
Liu Z, Yan FS, Yu LL, et al. Mortality of bladder cancer in 2005–2020 and forecasting in China from 2021 to 2030 [J]. China Preventive Medicine, 2024, 25(11): 1341–1345.(In Chinese)

[15] 王静，姜玉，谭玉婷，等. 上海市长宁区 1988–2013 年肾癌，膀胱癌发病和死亡趋势分析 [J]. 中国肿瘤，2021，30(6)：422–428.
Wang J, Jiang Y, Tan YT, et al. Analysis of the incidence and mortality trends of renal cell carcinoma and bladder cancer in Changning District, Shanghai from 1988 to 2013 [J]. China Oncology, 2021, 30 (6): 422–428.(In Chinese)

[16] 何虎鹏，张静，董彩霞，等. 甘肃省≥18 岁成年居民吸烟现状分析[J]. 中国公共卫生，2021，37(8)：1237–1240.
He HP, Zhang J, Dong CX, et al. Smoking prevalence among adult residents in Gansu province,2013–2014:a cross–sectional study[J]. Chinese Journal of Public Health, 2021, 37(8): 1237–1240.(In Chinese)

[17] 季新灿，郭浩阳，汪伟，等. 1990–2019 年中国膀胱癌发病率趋势[J]. 济宁医学院学报，2023，46(2)：90–95.
Ji XC, Guo HY, Wang W, et al. Trends in the incidence of bladder cancer in China from 1990 to 2019 [J]. Journal of Jining Medical University, 2023, 46(2): 90–95.(In Chinese)

收稿日期:2025–11–09