

甘油三酯-葡萄糖指数与缺血性脑卒中的研究进展

罗伟刚, 刘万虎, 尹园园, 徐玉珠, 曹晓芸综述, 任慧玲审校

摘要: 研究脑卒中危险因素对早期识别高危人群、改善预后具有重要意义。研究证实胰岛素抵抗(IR)是脑血管疾病的独立危险因素。甘油三酯-葡萄糖(TyG)指数,作为一种简便可靠的胰岛素抵抗替代指标,TyG指数具有很大的潜在价值。较高的TyG指数与动脉粥样硬化、颈总动脉内膜中膜厚度、斑块不稳定、心血管疾病的发病率增加有关。大量证据证明TyG指数可以预测缺血性卒中的发病风险。TyG指数与缺血性卒中不良临床后果独立相关,可加剧住院期间神经系统恶化,引发缺血性卒中复发。TyG指数高的个体更容易发生脑血管疾病,并观察到潜在的线性剂量-反应关系。本文系统地总结了TyG指数与卒中发生之间关联的证据,探讨TyG指数在优化缺血性卒中风险分层中的价值。

关键词: 葡萄糖; 甘油三酯; 胰岛素抵抗; 卒中

中图分类号:R743.3 **文献标识码:**A

Research advances in the value of triglyceride-glucose index in ischemic stroke LUO Weigang, LIU Wanhu, YIN Yuanyuan, et al. (Department of Neurology, The Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: The research on risk factors for stroke is of great significance for the early identification of high-risk groups and the improvement of prognosis. Studies have confirmed that insulin resistance (IR) is an independent risk factor for cerebrovascular diseases. Triglyceride-glucose (TyG) index has a great potential value as a simple and reliable alternative index for IR. A relatively high TyG index is associated with increases in atherosclerosis, carotid intima-media thickness, carotid plaque instability, and the incidence rate of cardiovascular diseases. A large number of evidence has proved that TyG index can predict the risk of ischemic stroke. TyG index is independently associated with the adverse clinical outcomes of ischemic stroke, which can aggravate the deterioration of the nervous system during hospitalization and cause the recurrence of ischemic stroke. Individuals with a high TyG index are more likely to develop cerebrovascular diseases, and a potential linear dose-response relationship is observed. This article systematically summarizes the evidence for the association between TyG index and stroke and discusses the value of TyG in optimizing the risk stratification of ischemic stroke.

Key words: Glucose; Triglyceride; Insulin resistance; Stroke

卒中是世界范围内死亡或残疾的主要原因之一,给社会带来了巨大的负担。卒中危险因素的研究对早期识别高危人群、改善预后具有重要意义。胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)在缺血性脑卒中(ischemic stroke, IS)患者中普遍存在。先前的研究表明,胰岛素抵抗与缺血性卒中不良临床后果独立相关,可加剧住院期间神经系统恶化,引发缺血性卒中复发^[1]。IR被认为是卒中发生发展的关键危险因素。

高胰岛素-正葡萄糖钳夹技术是现在公认的IR评估的金标准,但临床并不常用。最近提出了一种简便可靠的胰岛素抵抗替代指标——甘油三酯-葡萄糖(triglyceride glucose, TyG)指数,可以广泛应用于临床实践,具有很大的潜在价值。以前的荟萃分析提示,TyG指数是与动脉粥样硬化性心血管疾病(包括卒中)发病率的增加独立相关,是主要心血管不良事件的独立危险因素^[2]。本文系统地总结了

TyG指数与缺血性卒中发生风险之间关联的证据。

1 TyG指数与胰岛素抵抗

IR患者表现为脂质代谢紊乱和糖代谢紊乱。高胰岛素促进肝脏脂肪变性,诱导脂肪新生,改变脂肪酸氧化,同时肝脏甘油三酯和极低密度脂蛋白的合成也会增加。基于胰岛素抵抗包括脂肪酸氧化和利用的损害这一概念,开发了TyG指数,空腹血糖(fast plasma glucose, FPG)和TG分别在肝脏和脂肪组织中主要反映IR。最早由Simmental-Mendia和Guerrero-Romero在2008年提出,为有价值的IR标记物^[3]。

高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验费时且昂贵。胰

收稿日期:2023-06-05;修订日期:2023-09-08

基金项目:河北省重点科技研究计划项目(20170651)

作者单位:(河北医科大学第三医院神经内科,河北 石家庄 050051)

通信作者:任慧玲,E-mail:renhuiling2010@163.com

胰岛素抵抗的稳态模型评估(Homeostatic model assessment for insalın resistance, HOMA-IR)需要测量血清胰岛素水平,难以在社区人群中进行大规模筛查。TyG指数简单可靠,其计算公式为 $\ln[\text{空腹甘油三酯}(\text{mg/dl}) \times \text{空腹葡萄糖}(\text{mg/dl})/2]$ 。既往研究表明,与HOMA-IR相比,TyG指数具有更好的敏感性(96.5%)和特异性(85%)^[4],Khan等^[5]对患有和不患有IR的受试者进行的研究表明,TyG指数的AUC为0.764,优于HOMA-IR的0.619。TyG指数被证明优于其他类似的标记物,在非糖尿病人群中检测IR具有高灵敏度,以识别IR风险和发展成糖尿病的风险^[6,7]。所以,TyG指数更适合识别血管疾病和代谢异常个体。

有研究证实,TyG指数和HOMA-IR之间的诊断一致性约为0.9^[8]。与内脏脂肪指标和其他脂质参数相比,TyG指数也是鉴别IR个体的最佳指标,TyG指数与HOMA-IR相关性更显著,独立于糖尿病^[9],它可能更优化风险分层和预后预测。TyG指数显示胰岛素抵抗状态,与HOMA-IR相比具有不同的途径。甘油三酯会增加游离脂肪酸,导致游离脂肪酸从脂肪到非脂肪组织的转移增加,从而导致胰岛素抵抗。高甘油三酯血症导致高游离脂肪酸转运至肝脏,导致肝葡萄糖输出量高。肝脏和肌肉中高水平的甘油三酯会干扰每个靶器官的葡萄糖代谢^[10]。也有研究证明,TyG指数比FPG和糖化血红蛋白(HbA1c)更能预测心血管疾病^[11]。TyG指数已被证实符合诊断胰岛素抵抗的“金标准”^[12]。但与HOMA-IR类似,现有研究结果的TyG指数截止点显示出不同的结果^[10]。

2 TyG指数与动脉粥样硬化疾病之间的关系

2.1 TyG指数与动脉粥样硬化性心血管疾病 流行病学研究表明,TyG指数与主要心血管危险因素和各种心血管疾病风险增加有关^[13]。一项韩国年轻人中关于TyG指数和心血管风险之间关系的研究,对年轻人的常规心血管危险因素进行调整后,高TyG指数与未来发生心肌梗死、卒中和死亡的风险显著升高相关^[14]。

TyG指数是预测冠状动脉疾病(CAD)患者临床结局的有用标记物^[15]。一个回顾性观察队列研究处理TyG指数和动脉粥样硬化性心血管疾病(atherosclerotic cardiovascular disease, ASCVD)大规模集中40岁以上人群(5 593 134例参与者),在8.2年的平均随访中,高TyG指数被发现与未来ASCVD事件的风险显著增加相关,包括卒中和心肌梗死^[16]。在此基础上,Akbar等^[17]通过剂量-反应Meta分析进一步报道了这种关联的非线性趋势。变异性大的TyG指数与动脉粥样硬化性心血管疾病(包括卒中)发病率

的增加独立相关。一个以社区为基础的老年参与者的的大型研究中也报道了类似结果。这表明长期的TyG变异性可能是老年人心血管疾病风险升高的重要指标^[18]。

以往的横断面和回顾性证据表明,TyG指数还与亚临床动脉粥样硬化风险的增加有关,如冠状动脉钙含量、斑块、动脉硬化和狭窄程度^[19]。Thai PV等^[20]通过临床研究发现TyG指数与冠状动脉狭窄有关。TyG指数越高,冠状动脉狭窄次数越多,病情越严重。一项应用血管内光学相干断层成像的研究,研究人员发现,与易损斑块特征相结合的TyG指数是心血管结局的一种新的生物标志物^[21]。

2.2 TyG指数与颈动脉粥样硬化 颈总动脉内膜-中膜厚度(common carotid arteries intima media thickness, cIMT)是颈动脉粥样硬化影像学标记物。在缺血性卒中患者中,TyG指数与颈动脉粥样硬化呈剂量依赖相关,包括平均cIMT和最大cIMT异常。在台湾的一项病例对照研究中得到类似结论,研究人员认为,TyG指数与cIMT显著相关,包括颈总动脉、颈内动脉和颈外动脉的IMT^[22]。在传统风险模型中加入TyG指数,显著提高了异常平均cIMT的风险分层能力^[23]。

中国东部地区40岁以上普通人群中4 499例参与者的一项交叉研究发现:TyG指数在高卒中风险人群中是颈动脉斑块的独立危险因素^[24]。一项横断面研究用高分辨率MRI来检测颅内动脉斑块,TyG指数与颅内动脉粥样硬化斑块和负担发生率增加的相关性比HOMA-IR更强^[25]。另一项基于人群的研究用颈动脉超声评估颈动脉斑块,较高的TyG指数与颈动脉斑块存在显著的线性关系,并且在稳定和不稳定的颈动脉斑块中都观察到这种关系^[26]。也有少量研究认为,TyG指数与动脉粥样硬化的高风险相关,但与颈动脉斑块无关^[27]。

3 TyG指数与缺血性卒中发生发展的病理生理机制

血浆TG水平升高被认为促进内皮功能障碍、斑块破裂和动脉炎症,而FPG水平升高干扰胰岛素信号传导可能诱导氧化应激。第一,IR参与了动脉粥样硬化的大部分过程:动脉粥样硬化初期促进泡沫细胞形成,晚期促进易损斑块形成。此外,在巨噬细胞中,通过诱导延长内质网应激和巨噬细胞凋亡,导致晚期动脉粥样硬化斑块坏死。第二,IR在分子水平导致不同程度的氧化反应、慢性炎症和内皮功能障碍,促进泡沫细胞的形成和中层平滑肌的迁移,损害血管重塑和生长,上述因素加速血管老化。Marfella等^[28]指出TyG指数通过影响先天免疫活性物质和炎症活性物质加速动脉粥样硬化斑块的不稳

定性。第三,IR通过影响血小板黏附、活化和聚集,诱导促炎和促血栓状态,从而导致内源性纤溶紊乱,相应血流动力学改变。并且可能通过降低抗血小板治疗的患者对阿司匹林的反应性而增加缺血性脑卒中的进展和复发^[29]。第四,也有研究报道,IR是高血压发展的“触发器”,包括诱导钠潴留、循环液量增加和激活交感神经系统^[30]。TyG指数也参与卒中的多种高危因素,如高血压、糖尿病和高尿酸血症的发生发展。

4 TyG指数与缺血性脑卒中

4.1 TyG指数对缺血性脑卒中发病风险的预测 在一般人群中,TyG指数与卒中发病风险的关系已被广泛研究。一项为期11年的随访研究显示,在一般人群中,基线和长期累积的平均TyG指数的升高都可以独立预测缺血性卒中^[31]。在高血压人群中,TyG指数与老年高血压患者首次缺血性卒中呈正相关^[32],而且高TyG水平的患者发生卒中和缺血性卒中的风险更高。中国唐山市开展的一项大型社区前瞻性队列研究,观察了19 924例高血压患者^[33],也得出类似的结论。这些研究表明,定期监测TyG指数可能有助于在高血压患者中识别卒中风险较高的个体。对TyG指数的常规监测,可能有助于为临床预防卒中提供新的依据。

一项来自中国东北农地区的横断面研究表明,TyG作为缺血性卒中的指标呈线性关系^[34]。Zhao等^[35]对11 777例参与者进行了队列研究,结果显示,TyG指数最高的参与者在6年的中位随访后发生缺血性卒中的风险显著增加。这种相关性被年龄显著修正,但与其他传统风险因素无关。TyG指数每增加一个单位,发生缺血性卒中的风险就增加67%。另一项来自韩国人群的全国性观察队列研究也表明,高TyG指数与较高的后续卒中风险有很强的相关性^[17]。但需要指出的是吸烟、饮酒、BMI评分和2型糖尿病状态这些传统的危险因素都可能导致炎症和血管内皮功能障碍,这可能掩盖IR和卒中之间的联系。因此,需要进一步的研究来评估TyG指数和卒中的长期影响,特别是在高危人群中。

TyG指数有助于识别老年人卒中复发风险增加的患者^[36]。Meta分析发现TyG指数最高的组发生卒中的风险明显增加,高TyG指数与脑梗死和非致死性卒中风险增加有关^[37],较高的TyG指数可能是卒中特别是缺血性卒中的预测因子。但在大型白种人种的类似研究结果显示TyG指数与脑血管疾病的相关性不显著^[38]。一部分原因可能因为研究者未对脑血管事件进行病因分型。部分脑血管事件继发于房颤。在亚洲亚组中,TyG指数高的受试者发生卒中的风险是其他受试者的1.39倍^[39]。亚洲人群,高

TyG指数比低TyG指数与脑血管疾病发生的概率更高相关。种族可能是影响脑血管疾病和TyG指数的关键因素^[40]。另外的一个影响因素是饮食方式。亚洲人比西方人摄入更多的含碳水化合物食物,从而增加了高甘油三酯血症和空腹血糖受损的可能性。

4.2 TyG指数与缺血性脑卒中不同病因亚型 许多研究支持TyG指数与卒中复发之间关系,但在影响不同病因分型的脑卒中的上,结果有所争议。Nam等^[41]报道,TyG指数仅与伴有大动脉粥样硬化的急性缺血性卒中患者的早期复发缺血性病损相关,与具有其他卒中机制的患者无关。Takao等^[42]结果表明,TyG指数水平较高与颅内动脉粥样硬化狭窄增加显著相关,且在大动脉粥样硬化型卒中中TyG指数与主要不良心血管事件的风险之间存在显著相关性,但在腔隙性或心源性卒中中则没有观察到。所以,TyG指数似乎通过一种与动脉粥样硬化相关的机制参与了卒中后早期复发的发生。

目前也有研究表明,TyG指数与脑小血管病也有着密切的关系。Yang等^[43]报道,在非糖尿病脑卒中患者中,无论脑卒中机制如何,TyG指数升高与卒中复发和死亡风险增加相关。在这项以小血管闭塞卒中患者为研究对象的研究中,TyG指数与这些患者缺血性卒中复发独立相关。Nam等^[44]研究表明,TyG指数越高,亚临床脑小血管病的发生率越高。TyG指数的增加与脑小血管病的影像学标记物有关。老年TyG指数升高与严重脑小血管病负荷或认知障碍的风险增加相关。在那些TyG指数水平较高的T2DM患者中,这种正关联往往更强^[45]。在无脑症状的中老年韩国人中,TyG指数与白质高信号和无症状脑梗死的体积有关^[46]。最近的一项回顾性研究,TyG指数是中度至重度血管周围间隙扩大的独立预测因子^[47]。

4.3 TyG指数与急性缺血性卒中的早期进展和预后 在急性缺血性卒中患者中,TyG指数与神经缺损程度呈正相关^[48],可以作为急性缺血性卒中患者神经功能缺损严重程度的独立预测因素,也与早期复发性缺血性病损相关^[41]。在症状出现4.5 h内接受静脉溶栓治疗的急性缺血性卒中患者中较高TyG指数与更高的早期神经功能恶化风险和更低的早期神经功能改善相关^[49]。对于单一皮质下梗死的患者,特别是大脑中动脉近端的梗死,TyG指数与早期神经功能恶化有关^[50]。这个部位被认为与穿支动脉粥样硬化斑块或是斑块不稳定有关。

较高的TyG指数与缺血性脑卒中的全因死亡率的风险增加和不良功能结果独立相关^[51]。在前瞻性和回顾性队列研究中,在非糖尿病和糖尿病患者中,以及在随访时间在3个月和12个月内的研究中,亚

组分析显示出相似的结果^[51]。在急性缺血性卒中溶栓后患者中TyG指数升高与死亡率、功能预后差存在关联^[52]。此外,在亚组分析中,TyG指数与非糖尿病患者的死亡率增加相关。所以,TyG指数也被证明是无糖尿病的急性缺血性卒中患者神经系统恶化和卒中复发的良好预测指标。研究表明,TyG指数与危重缺血性卒中患者的医院和ICU全因死亡有显著相关性^[53]。这一发现表明,TyG指数可能有助于识别死亡高危的缺血性卒中患者。

5 总结与展望

新的研究表明,靶向IR作为一种治疗策略,可在糖尿病患者和非糖尿病患者中使用抗糖尿病药物改善卒中预后。TyG指数间接反映了血管系统的生理和病理过程,与缺血性脑卒中发病风险、发病类型、早期进展及预后密切相关。作为易测量,低成本,可干预的胰岛素抵抗的替代指标,可利用其早期识别缺血性脑卒中的高危人群、评估患者早期进展风险及预测患者的不良预后。未来的研究需要进一步探讨两者之间的联系,并确定其适当的截断值,以利于更经济、有效地开展缺血性脑卒中防治工作。

利益冲突声明:所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:罗伟刚负责论文设计和撰写论文;刘万虎、尹园园负责文献收集;徐玉珠、曹晓芸负责论文修改;任慧玲负责拟定写作思路、指导撰写文章并最后定稿。

[参考文献]

- [1] Zhou Y, Pan Y, Yan H, et al. Triglyceride glucose index and prognosis of patients with ischemic stroke [J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 456.
- [2] Li J, Ren L, Chang C, et al. Correction; triglyceride-glucose index predicts adverse events in patients with acute coronary syndrome; a meta-analysis of cohort studies [J]. *Horm Metab Res*, 2021, 53 (9): e3.
- [3] Simental-Mendía LE, Ortega-Pacheco CJ, García-Guerrero E, et al. The triglycerides and glucose index is strongly associated with hepatic steatosis in children with overweight or obesity [J]. *Eur J Pediatr*, 2021, 180(6): 1755-1760.
- [4] 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]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2010, 95(7): 3347-3351.
- [5] Khan SH, Sobia F, Niazi NK, et al. Metabolic clustering of risk factors: evaluation of Triglyceride-glucose index (TyG index) for evaluation of insulin resistance [J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2018, 10: 74.
- [6] Simental-Mendía LE, Rodríguez-Morán M, Guerrero-Romero F. The product of fasting glucose and triglycerides as surrogate for identifying insulin resistance in apparently healthy subjects [J]. *Metab Syndr Relat Disord*, 2008, 6(4): 299-304.
- [7] Park HM, Lee HS, Lee YJ, et al. The triglyceride-glucose index is a more powerful surrogate marker for predicting the prevalence and incidence of type 2 diabetes mellitus than the homeostatic model assessment of insulin resistance [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2021, 180: 109042.
- [8] Guerrero-Romero F, Villalobos-Molina R, Jiménez-Flores JR, et al. Fasting triglycerides and glucose index as a diagnostic test for insulin resistance in young adults [J]. *Arch Med Res*, 2016, 47(5): 382-387.
- [9] Ma X, Dong L, Shao Q, et al. Triglyceride glucose index for predicting cardiovascular outcomes after percutaneous coronary intervention in patients with type 2 diabetes mellitus and acute coronary syndrome [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 1-14.
- [10] Tahapary DL, Pratihita LB, Fitri NA, et al. Challenges in the diagnosis of insulin resistance: focusing on the role of HOMA-IR and Triglyceride/glucose index [J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2022, 16(8): 102581.
- [11] Hu C, Zhang J, Liu J, et al. Discordance between the triglyceride glucose index and fasting plasma glucose or HbA1C in patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention predicts cardiovascular events: a cohort study from China [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 116.
- [12] Yusuf S, Hawken S, Ounpuu S, et al. Obesity and the risk of myocardial infarction in 27,000 participants from 52 countries: a case-control study [J]. *Lancet*, 2005, 366(9497): 1640-1649.
- [13] Tian X, Zuo Y, Chen S, et al. Triglyceride-glucose index is associated with the risk of myocardial infarction: an 11-year prospective study in the Kailuan cohort [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2021, 20(1): 19.
- [14] Cho YK, Han KD, Kim HS, et al. Triglyceride-glucose index is a useful marker for predicting future cardiovascular disease and mortality in young Korean adults: a nationwide population-based cohort study [J]. *J Lipid Atheroscler*, 2022, 11(2): 178-186.
- [15] Wang L, Cong HL, Zhang JX, et al. Triglyceride-glucose index predicts adverse cardiovascular events in patients with diabetes and acute coronary syndrome [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 80.
- [16] Mao Q, Zhou D, Li Y, et al. The triglyceride-glucose index predicts coronary artery disease severity and cardiovascular outcomes in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome [J]. *Dis Markers*, 2019, 2019: 1-11.
- [17] Akbar MR, Pranata R, Wibowo A, et al. The association between triglyceride-glucose index and major adverse cardiovascular events in patients with acute coronary syndrome-dose-response meta-analysis [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2021, 31(11): 3024-3030.
- [18] Chen F, Pan Y, Liu Z, et al. Impact of visit-to-visit triglyceride-glucose index variability on the risk of cardiovascular disease in the elderly [J]. *Int J Endocrinol*, 2022, 2022: 5125884.
- [19] Wang A, Tian X, Zuo Y, et al. Association of triglyceride-glucose index with intra- and extra-cranial arterial stenosis: a combined cross-sectional and longitudinal analysis [J]. *Endocrine*, 2021, 74(2): 308-317.
- [20] Thai PV, Tien HA, Minh H, et al. Triglyceride glucose index for the detection of asymptomatic coronary artery stenosis in patients with type 2 diabetes [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 1-10.
- [21] Zhao X, Wang Y, Chen R, et al. Triglyceride glucose index combined with plaque characteristics as a novel biomarker for cardiovascular outcomes after percutaneous coronary intervention in ST-elevated myocardial infarction patients: an intravascular optical coherence tomography study [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2021, 20(1): 131.
- [22] Alizargar J, Bai CH. Comparison of carotid ultrasound indices and

- the triglyceride glucose index in hypertensive and normotensive community-dwelling individuals: a case control study for evaluating atherosclerosis[J]. *Medicina*, 2018, 54(5):71.
- [23] Miao M, Zhou G, Bao A, et al. Triglyceride-glucose index and common carotid artery intima-media thickness in patients with ischemic stroke[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1):43.
- [24] Tang X, Zhang L, Li Y, et al. Relationship between triglyceride-glucose index and carotid plaques in a high-stroke-risk population in southeast China: a population-based cross-sectional survey [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 13:1023867.
- [25] Wang M, Mei L, Jin A, et al. Association between triglyceride glucose index and atherosclerotic plaques and Burden: findings from a community-based study [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1):204.
- [26] Wang A, Li Y, Zhou L, et al. Triglyceride-glucose index is related to carotid plaque and its stability in nondiabetic adults: a cross-sectional study[J]. *Front Neurol*, 2022, 13:823611.
- [27] Zhao S, Yu S, Chi C, et al. Association between macro- and microvascular damage and the triglyceride glucose index in community-dwelling elderly individuals: the Northern Shanghai Study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2019, 18(1):95.
- [28] Marfella R, Paolisso P, Sardu C, et al. SARS-COV-2 colonizes coronary thrombus and impairs heart microcirculation bed in asymptomatic SARS-CoV-2 positive subjects with acute myocardial infarction[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1):1-12.
- [29] Guo Y, Zhao J, Zhang Y, et al. Triglyceride glucose index influences platelet reactivity in acute ischemic stroke patients[J]. *BMC Neurol*, 2021, 21(1):409.
- [30] Wang F, Han L, Hu D. Fasting insulin, insulin resistance and risk of hypertension in the general population: a meta-analysis[J]. *Clin Chim Acta*, 2017, 464:57-63.
- [31] Wang A, Wang G, Liu Q, et al. Triglyceride-glucose index and the risk of stroke and its subtypes in the general population: an 11-year follow-up[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2021, 20(1):46.
- [32] Hu L, Bao H, Huang X, et al. Relationship between the triglyceride glucose index and the risk of first stroke in elderly hypertensive patients[J]. *Int J Gen Med*, 2022, 15:1271-1279.
- [33] Huang Z, Ding X, Yue Q, et al. Triglyceride-glucose index trajectory and stroke incidence in patients with hypertension: a prospective cohort study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1):141.
- [34] Shi W, Xing L, Jing L, et al. Value of triglyceride-glucose index for the estimation of ischemic stroke risk: insights from a general population[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2020, 30(2):245-253.
- [35] Zhao Y, Sun H, Zhang W, et al. Elevated triglyceride-glucose index predicts risk of incident ischaemic stroke: the Rural Chinese cohort study[J]. *Diabetes Metab*, 2021, 47(4):101246.
- [36] Wang F, Wang J, Han Y, et al. Triglyceride-glucose index and stroke recurrence in elderly patients with ischemic stroke [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 13:1005614.
- [37] Feng X, Yao Y, Wu L, et al. Triglyceride-glucose index and the risk of stroke: a systematic review and dose-response meta-analysis [J]. *Horm Metab Res*, 2022, 54(3):175-186.
- [38] Sánchez-Íñigo L, Navarro-González D, Fernández-Montero A, et al. The TyG index may predict the development of cardiovascular events[J]. *Eur J Clin Invest*, 2016, 46(2):189-197.
- [39] Yan F, Yan S, Wang J, et al. Association between triglyceride glucose index and risk of cerebrovascular disease: systematic review and meta-analysis[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1):226.
- [40] Moon S, Park JS, Ahn Y. The cut-off values of triglycerides and glucose index for metabolic syndrome in American and Korean adolescents[J]. *J Korean Med Sci*, 2017, 32(3):427.
- [41] Nam KW, Kwon HM, Lee YS. High triglyceride-glucose index is associated with early recurrent ischemic lesion in acute ischemic stroke[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):15335.
- [42] Hoshino T, Mizuno T, Ishizuka K, et al. Triglyceride-glucose index as a prognostic marker after ischemic stroke or transient ischemic attack: a prospective observational study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1):264.
- [43] Yang X, Wang G, Jing J, et al. Association of triglyceride-glucose index and stroke recurrence among nondiabetic patients with acute ischemic stroke[J]. *BMC Neurol*, 2022, 22(1):79.
- [44] Nam KW, Kwon HM, Jeong HY, et al. High triglyceride-glucose index is associated with subclinical cerebral small vessel disease in a healthy population: a cross-sectional study [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1):53.
- [45] Teng Z, Feng J, Dong Y, et al. Triglyceride glucose index is associated with cerebral small vessel disease burden and cognitive impairment in elderly patients with type 2 diabetes mellitus [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 13:970122.
- [46] Jung DH, Park B, Lee YJ. Relationship of the triglyceride-glucose index with subclinical white matter hypersensitivities of presumed vascular origin among community-dwelling Koreans [J]. *Int J Gen Med*, 2022, 15:603-608.
- [47] Cai Y, Chen B, Zeng X, et al. The triglyceride glucose index is a risk factor for enlarged perivascular space[J]. *Front Neurol*, 2022, 13:782286.
- [48] 黄妍, 付学军, 史会杰, 等. 三酰甘油-葡萄糖指数与急性缺血性卒中神经功能缺损的相关性分析[J]. *中国卒中杂志*, 2022, 17(3):251-257.
- [49] Zhang B, Lei H, Ambler G, et al. Association between triglyceride-glucose index and early neurological outcomes after thrombolysis in patients with acute ischemic stroke[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(10):3471.
- [50] Nam KW, Kang MK, Jeong HY, et al. Triglyceride-glucose index is associated with early neurological deterioration in single subcortical infarction: early prognosis in single subcortical infarctions [J]. *Int J Stroke*, 2021, 16(8):944-952.
- [51] Ma X, Han Y, Jiang L, et al. Triglyceride-glucose index and the prognosis of patients with acute ischemic stroke: a meta-analysis [J]. *Horm Metab Res*, 2022, 54(6):361-370.
- [52] Toh EMS, Lim AYL, Ming C, et al. Association of triglyceride-glucose index with clinical outcomes in patients with acute ischemic stroke receiving intravenous thrombolysis [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):1596.
- [53] Cai W, 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]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1):138.

引证本文: 罗伟刚, 刘万虎, 尹园园, 等. 甘油三酯-葡萄糖指数与缺血性脑中的研究进展[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2023, 40(12):1140-1144.